

목

차

1. 설계기준
2. 단면가정
3. 바닥판 설계
 - 3.1 좌측바닥판 설계
 - 3.2 우측바닥판 설계
 - 3.3 중앙부(거더부)
 - 3.4 중앙부(가로보)
 - 3.5 내부지점부 주장을검토
4. 주형설계
 - 4.1 유효폭 계산
 - 4.2 단면가정
 - 4.3 작용하중의 산정
 - 4.4 주형의 단면력 해석
 - 가. MODELING
 - 나. 단면제정수
 - 다. 하중재하
 - 라. 부재력 집계
 - 마. 피로하중 집계
 - 바. 적용 부재력 요약
 - 사. 반력 집계
 - 4.5 뒀비틀림(WARPING TORSION)에 대한 검토
 - 4.6 2차 부정정력에 대한 영향 검토
 - 4.7 단면검토
 - 4.8 단면요약도
5. 이음부의 설계
 - 5.1 현장이음의 설계
 - 5.2 용접부의 검토
6. 보강재 설계
 - 6.1 FLANGE 보강재
 - 6.2 WEB 보강재
 - 6.3 지점부 보강재
 - 6.4 책업 보강재
7. 가로보 설계
 - 7.1 가로보의 설계
 - 7.2 가로보의 연결
8. 다이아프램 검토
 - 8.1 일반부
 - 8.2 지점부
 - 8.3 지점부 다이아프램의 응력 검토
9. 전단연결재
10. 사용성 검토
 - 10.1 피로 검토
 - 10.2 처짐 검토
11. 솟음(CAMBER)
12. 신축이음의 설계

1. 설 계 조 건

1) 교 량 제 원

- (1) 교 량 명 : 오창JCT RAMP-C
- (2) 교 량 등 급 : 1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)
- (3) 교 량 형 식 : HD박스 거더교
- (4) 교 량 연 장 : $45.000 + 45.000 + 45.000 + 45.000 = 180.000$ m
- (5) 교 량 폭 원 : B = 9.170 m
- (6) Girder 제 원 : B = 2.400 m H = 1.800 ~ 2.200 m
- (7) 사 각(Skew) : 90.000 °
- (8) 곡률반경(R) : 좌측 = 380.000 m 중앙 = 380.000 m 우측 = 380.000 m
- (9) 설 계 속 도 : 60.000 km/h

(10) 사용재료 및 물리적 특성치

① 강 재

▪ 사 용 재 료

주 부 재	SM520B(상판, 하판, 복부판, 상부종리브, 하부종리브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트)
부 부 재	SM400B(지점부의 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 세로보, 일반부 가로보, 지점부 가로보)
강재 탄성계수 (E_{st})	205,000.000 MPa
강재의 전단탄성계수 (G)	79,000.000 MPa

▪ 허용 응력 (MPa)

(도.설.해 3.3.2.1)

강 종		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490	SM490Y SM 520 SMA490	SM 570 SMA570	HSB500	HSB600	HSB800
응력 종류,	판두께(mm)							
축방향 인장응력 및 휨 인장응력	40 이하	140	190	215	270	230	270	380
	40 초과 75 이하	130	175 (190)	200 (215)	260 (270)			
	75 초과 100이하			195 (215)	250 (270)			

강 종		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490	SM490Y SM 520 SMA490	SM 570 SMA570	HSB500	HSB600	HSB800
응력 종류, 판두께(mm)								
a 휨 압축응력	40 이하	140	190	215	270	230	270	380
	40 초과 75 이하	130	175 (190)	200 (215)	260 (270)			
	75 초과 100이하			195 (215)	250 (270)			
전단응력	40 이하	80	110	125	155	135	155	220
	40 초과 75 이하	75	100 (110)	115 (125)	150 (155)			
	75 초과 100이하			115 (125)	145 (155)			
지압응력 (강판과 강판 사이)	40 이하	210	285	325	405	345	405	570
	40 초과 75 이하	195	265 (285)	300 (325)	390 (405)			
	75 초과 100이하			295 (325)	375 (405)			

※ TMC 강재일 경우에는 ()안의 값을 적용한다.

압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, π형 단면과 같이 횡자굴이 일어나기 어려운 경우 휨 압축응력 적용

▪ 항복 응력 (MPa)

(도.설.해 3.2.5)

강 종		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490	SM490Y SM 520 SMA490	SM 570 SMA570	HSB500	HSB600	HSB800
응력 종류, 판두께(mm)								
기준 항복점	40 이하	235	315	355	450	380	450	690
	40 초과 75 이하	215	295 (315)	335 (355)	430 (450)			
	75 초과 100이하			325 (355)	420 (450)			

※ TMC 강재일 경우에는 ()안의 값을 적용하고, HSB 600인 경우에는 []안의 값을 적용한다.

강종 판두께 (mm)	SS 400 SM 400 SMA400	SM 490 [SM490C-TMC]	SM490Y SM 520 SMA490 [SM520C-TMC]	SM 570 SMA570 [SM570-TMC]
40 이하	$140 : \frac{l}{r} \leq 18.6$ $140 - 0.82 \left(\frac{l}{r} - 18.6 \right) :$ $18.6 < \frac{l}{r} \leq 92.8$ $\frac{1,200,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 92.8 < \frac{l}{r}$	$190 : \frac{l}{r} \leq 16.0$ $190 - 1.29 \left(\frac{l}{r} - 16.0 \right) :$ $16.0 < \frac{l}{r} \leq 80.1$ $\frac{1,200,000}{5,000 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 80.1 < \frac{l}{r}$	$215 : \frac{l}{r} \leq 15.1$ $215 - 1.55 \left(\frac{l}{r} - 15.1 \right) :$ $15.1 < \frac{l}{r} \leq 75.5$ $\frac{1,200,000}{4,400 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 75.5 < \frac{l}{r}$	$270 : \frac{l}{r} \leq 13.4$ $270 - 2.19 \left(\frac{l}{r} - 13.4 \right) :$ $13.4 < \frac{l}{r} \leq 67.1$ $\frac{1,200,000}{3,500 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 67.1 < \frac{l}{r}$
40 초과 75 이하	$130 : \frac{l}{r} \leq 19.4$ $130 - 0.73 \left(\frac{l}{r} - 19.4 \right) :$ $19.4 < \frac{l}{r} \leq 97$ $\frac{1,200,000}{7,300 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 97 < \frac{l}{r}$	$175 : \frac{l}{r} \leq 16.6$ $175 - 1.15 \left(\frac{l}{r} - 16.6 \right) :$ $16.6 < \frac{l}{r} \leq 82.8$ $\frac{1,200,000}{5,300 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 82.8 < \frac{l}{r}$	$200 : \frac{l}{r} \leq 15.5$ $200 - 1.4 \left(\frac{l}{r} - 15.5 \right) :$ $15.5 < \frac{l}{r} \leq 77.7$ $\frac{1,200,000}{4,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 77.7 < \frac{l}{r}$	$260 : \frac{l}{r} \leq 13.7$ $260 - 2.07 \left(\frac{l}{r} - 13.7 \right) :$ $13.7 < \frac{l}{r} \leq 68.6$ $\frac{1,200,000}{3,600 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 68.6 < \frac{l}{r}$
75 초과 100 이하	$195 : \frac{l}{r} \leq 15.8$ $195 - 1.35 \left(\frac{l}{r} - 15.8 \right) :$ $15.8 < \frac{l}{r} \leq 78.9$ $\frac{1,200,000}{4,800 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 78.9 < \frac{l}{r}$	$250 : \frac{l}{r} \leq 13.9$ $250 - 1.96 \left(\frac{l}{r} - 13.9 \right) :$ $13.9 < \frac{l}{r} \leq 69.4$ $\frac{1,200,000}{3,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 69.4 < \frac{l}{r}$		
비고	l : 부재의 유효 좌굴길이 (mm) r : 부재 총단면의 단면 회전 반경 (mm)			

※ TMC 강재일 경우에는 일반강재에 40이하 값을 사용함

강종 판두께 (mm)	HSB500	HSB600	HSB800	비 고
80 이하	$230 : \frac{l}{r} \leq 14.6$ $230 - 1.72 \left(\frac{l}{r} - 14.6 \right) :$ $14.6 < \frac{l}{r} \leq 73.0$ $\frac{1,200,000}{4,100 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 73.0 < \frac{l}{r}$	$270 : \frac{l}{r} \leq 13.4$ $270 - 2.19 \left(\frac{l}{r} - 13.4 \right) :$ $13.4 < \frac{l}{r} \leq 67.1$ $\frac{1,200,000}{3,500 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 67.1 < \frac{l}{r}$	$380 : \frac{l}{r} \leq 18.0$ $380 - 4.18 \left(\frac{l}{r} - 18.0 \right) :$ $18.0 < \frac{l}{r} \leq 54.2$ $\frac{1,200,000}{2,300 + \left(\frac{l}{r} \right)^2} : 54.2 < \frac{l}{r}$	
80 초과 100 이하				
비고	l : 부재의 유효 좌굴길이 (mm) r : 부재 총단면의 단면 회전 반경 (mm)			

▪ ㉔ 이외의 허용 휨 압축 응력 (MPa)

(도.설.해 3.3.2.1)

강 종		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490 [SM490C-TMC]	SM490Y SM 520 SMA490 [SM520C-TMC]	SM 570 SMA570 SM570C-TMC]
판두께 (mm)					
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2$	40 이하	$140 : \frac{l}{b} \leq 4.6$ $140 - 2.49(\frac{l}{b} - 4.6) :$ $4.6 < \frac{l}{b} \leq 30$	$190 : \frac{l}{b} \leq 4.0$ $190 - 3.91(\frac{l}{b} - 4.0) :$ $4.0 < \frac{l}{b} \leq 30$	$215 : \frac{l}{b} \leq 3.8$ $215 - 4.69(\frac{l}{b} - 3.8) :$ $3.8 < \frac{l}{b} \leq 27$	$270 : \frac{l}{b} \leq 3.4$ $270 - 6.64(\frac{l}{b} - 3.4) :$ $3.4 < \frac{l}{b} \leq 25$
	40 초과 75 이하	$130 : \frac{l}{b} \leq 4.9$ $130 - 2.21(\frac{l}{b} - 4.9) :$ $4.9 < \frac{l}{b} \leq 30$	$175 : \frac{l}{b} \leq 4.1$ $175 - 3.48(\frac{l}{b} - 4.1) :$ $4.1 < \frac{l}{b} \leq 30$	$200 : \frac{l}{b} \leq 3.9$ $200 - 4.24(\frac{l}{b} - 3.9) :$ $3.9 < \frac{l}{b} \leq 27$	$260 : \frac{l}{b} \leq 3.4$ $260 - 6.25(\frac{l}{b} - 3.4) :$ $3.4 < \frac{l}{b} \leq 25$
	75 초과 100 이하	$130 - 2.21(\frac{l}{b} - 4.9) :$ $4.9 < \frac{l}{b} \leq 30$	$175 - 3.48(\frac{l}{b} - 4.1) :$ $4.1 < \frac{l}{b} \leq 30$	$195 : \frac{l}{b} \leq 3.9$ $195 - 4.07(\frac{l}{b} - 3.9) :$ $3.9 < \frac{l}{b} \leq 27$	$250 : \frac{l}{b} \leq 3.5$ $250 - 5.94(\frac{l}{b} - 3.5) :$ $3.5 < \frac{l}{b} \leq 25$
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	40 이하	$140 : \frac{l}{b} \leq \frac{9.3}{K}$ $140 - 1.24(K\frac{l}{b} - 9.3) :$ $\frac{9.3}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$190 : \frac{l}{b} \leq \frac{8.0}{K}$ $190 - 1.95(K\frac{l}{b} - 8.0) :$ $\frac{8.0}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$215 : \frac{l}{b} \leq \frac{7.5}{K}$ $215 - 2.35(K\frac{l}{b} - 7.5) :$ $\frac{7.5}{K} < \frac{l}{b} \leq 27$	$270 : \frac{l}{b} \leq \frac{6.7}{K}$ $270 - 3.32(K\frac{l}{b} - 6.7) :$ $\frac{6.7}{K} < \frac{l}{b} \leq 25$
	40 초과 75 이하	$130 : \frac{l}{b} \leq \frac{9.7}{K}$ $130 - 1.10(K\frac{l}{b} - 9.7) :$ $\frac{9.7}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$175 : \frac{l}{b} \leq \frac{8.3}{K}$ $175 - 1.74(K\frac{l}{b} - 8.3) :$ $\frac{8.3}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$200 : \frac{l}{b} \leq \frac{7.8}{K}$ $200 - 2.12(K\frac{l}{b} - 7.8) :$ $\frac{7.8}{K} < \frac{l}{b} \leq 27$	$260 : \frac{l}{b} \leq \frac{6.9}{K}$ $260 - 3.12(K\frac{l}{b} - 6.9) :$ $\frac{6.9}{K} < \frac{l}{b} \leq 25$
	75 초과 100 이하	$130 - 1.10(K\frac{l}{b} - 9.7) :$ $\frac{9.7}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$175 - 1.74(K\frac{l}{b} - 8.3) :$ $\frac{8.3}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$195 : \frac{l}{b} \leq \frac{7.9}{K}$ $195 - 2.04(K\frac{l}{b} - 7.9) :$ $\frac{7.9}{K} < \frac{l}{b} \leq 27$	$250 : \frac{l}{b} \leq \frac{6.9}{K}$ $250 - 2.97(K\frac{l}{b} - 6.9) :$ $\frac{6.9}{K} < \frac{l}{b} \leq 25$
비 고		A_w : 복부판의 총 단면적 (mm ²) A_c : 압축플랜지의 총단면적 (mm ²) l : 압축플랜지의 고정점간의 거리 (mm) b : 압축플랜지의 폭 (mm) $K : \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$			

※ TMC 강재일 경우에는 ()안의 값을 적용한다.

강 종		HSB500	HSB600	HSB800	비 고
판두께 (mm)					
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2$	100 이하	$230 : \frac{l}{b} \leq 3.6$ $230 - 5.19(\frac{l}{b} - 3.6) :$ $3.6 < \frac{l}{b} \leq 27$	$270 : \frac{l}{b} \leq 3.4$ $270 - 6.64(\frac{l}{b} - 3.4) :$ $3.4 < \frac{l}{b} \leq 25$	$380 : \frac{l}{b} \leq 5.4$ $380 - 12.63(\frac{l}{b} - 5.4) :$ $5.4 < \frac{l}{b} \leq 19$	
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	100 이하	$230 : \frac{l}{b} \leq \frac{7.3}{K}$ $230 - 2.60(K\frac{l}{b} - 7.3) :$ $\frac{7.3}{K} < \frac{l}{b} \leq 27$	$270 : \frac{l}{b} \leq \frac{6.7}{K}$ $270 - 3.32(K\frac{l}{b} - 6.7) :$ $\frac{6.7}{K} < \frac{l}{b} \leq 25$	$380 : \frac{l}{b} \leq \frac{10.8}{K}$ $380 - 6.13(K\frac{l}{b} - 10.8) :$ $\frac{10.8}{K} < \frac{l}{b} \leq 19$	
비 고		A_w : 복부판의 총 단면적 (mm^2) A_c : 압축플랜지의 총단면적 (mm^2) l : 압축플랜지의 고정점간의 거리 (mm) b : 압축플랜지의 폭 (mm) $K : \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$			

▪ 강재 주거더의 허용응력 증가율

(도.설.해 3.9.3.1)

하중의 조합			증 가 율 (%)	
			정의 휨모멘트를 받는 부분	부의 휨모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주 하 중	압 축 연	15	0
		인 장 연	0	0
3	주하중 + 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차	압 축 연	30	15
		인 장 연	15	15
4	가설시 하중	압 축 연	25	25
		인 장 연	25	25

▪ 마찰 이음용 고장력 볼트 허용력 (kN) (1볼트 1마찰면 마다)

(도.설.해 3.3.2.3)

볼트의 등급	F 8 T	F 10 T	S 10 T	F 13 T	S 13 T
나사호칭					
M 20	31	39	39	50	50
M 22	39	48	48	63	63
M 24	45	56	56	73	73
M 27	58	73	73	-	-
M 30	71	89	89	-	-

② 바닥판 콘크리트 (도.설.해 3.9.2.7, 도.설.해 3.9.2.8, 도.설.해 4.2.3, 도.설.해 4.6.3.3)

콘크리트 설계 기준강도 (f_{ck})	27.0 MPa
콘크리트 탄성계수 (E_c)	27,804.0 MPa
전단 탄성계수 (G_c)	11,916.0 MPa
탄성계수비 (n)	7.0
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차	10.000 °C
바닥판 콘크리트와 강재의 선팅창계수 (α)	0.000012
건조수축 계수 (ϵ_s)	0.000270
상 대 습 도	70.0 %
CREEP 계수 (ϕ_2)	$\phi_2 = 2\phi_1$: 2

③ 바닥판 및 Half-Deck 철근

철근 설계 항복강도 (f_{yk})	400.0 MPa
철근 탄성계수 (E_s)	200,000.0 MPa

④ Half-Deck 콘크리트

콘크리트 설계 기준강도 (f_{ckh})	50.0 MPa
콘크리트 탄성계수 (E_h)	32,902.0 MPa
전단 탄성계수 (G_h)	14,101.0 MPa
탄성계수비 (n_h)	6.2
초기 건조수축 계수 (ϵ_{s0})	0.000045
최종 건조수축 계수 (ϵ_{s1})	0.000225
콘크리트의 초기크리프 (ϕ_0)	0.5
콘크리트의 초기크리프 (ϕ_1)	1.5

2) 하 중 조 건

(1) 고 정 하 중

(도.설.해 2.1.2)

- ① 철근 콘크리트 : 25.000 kN/m³
- ② 무근 콘크리트 : 23.500 kN/m³
- ③ 강 재 : 78.500 kN/m³
- ④ 포장 콘크리트 : 23.500 kN/m³

(2) 활 하 중

(도.설.해 2.1.3)

① 설계 차선수 산정

$W_c = 8.100$ m , $N = 2$ 차로

$W = 3.000$ m

∴ 설계 차로폭 3.000m마다 2차로 연속으로 재하

② 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

▪ DB-24 하중

- 전륜하중 : $P_f = 24.000$ kN
- 후륜하중 : $P_r = 96.000$ kN

▪ DL-24 하중

- 차로당 등분포 하중 : $W_L = 12.700$ kN/m
- 모멘트 계산시 집중하중 : $P_m = 108.000$ kN
- 전단력 계산시 집중하중 : $P_s = 156.000$ kN

③ 총 격 계 수

▪ 1 지간

$$i = 15 / (40 + L) = 0.178 < 0.300 \therefore i = 0.178$$

▪ 2 지간

$$i = 15 / (40 + L) = 0.176 < 0.300 \therefore i = 0.176$$

▪ 3 지간

$$i = 15 / (40 + L) = 0.176 < 0.300 \therefore i = 0.176$$

▪ 4 지간

$$i = 15 / (40 + L) = 0.178 < 0.300 \therefore i = 0.178$$

(3) 콘크리트의 Creep와 건조수축의 영향

- 철근 콘크리트의 바닥판의 Creep와 건조수축의 영향에 대한 단면력을 검토한다.

(4) 지점침하에 의한 영향

- 각 지점에서 발생할 수 있는 부등침하의 발생을 가정하여 가장 불리한 단면력을 산정한다.

(5) 온도변화에 대한 영향

- 바닥판과 주형의 온도차 발생시 생기는 단면력 및 응력을 산정하고 이때의 온도 변화는 직선변화 한다고 가정한다.

(6) 풍 하 중

(도.설.해 2.1.9)

단 면 형 상	풍 하 중
$1 \leq B/D < 8$	$(4.0 - 0.2(B/D)) D \geq 6.0$
$8 \leq B/D$	$2.4 D \geq 6.0$

(7) 총 돌 하 중

(도.설.해 2.4.3.3, 도.설.해 2.4.3.6)

- 다음에 제시된 총돌력은 난간인 경우 바닥판의 설계에만 사용하며, 이 총돌력만을 사용하여 차량 방호 울타리 자체를 설계하는 것은 곤란하다.

수 평 력 (kN/m)		작용 높이	수 직 력 (kN/m)
도심 도로상	일반 도로상		
3.750	2.500	난간 상단부	1.000

- 다음에 제시된 총돌력은 벽식 강성 방호 울타리인 경우 바닥판의 설계에만 사용하며, 이 총돌력만을 사용하여 차량 방호 울타리 자체를 설계하는 것은 곤란하다.

① 수평 총돌력 H는 노면상 1.0m 높이에 교축을 따라 1.0m마다 작용하면 다음 식에 의하여 구한다.

$$H = \left(\frac{V}{60}\right)^2 \times 7.5 + 2.5 \text{ (kN/m)}$$

② 방호벽 상단에 횡방향으로 10kN/m의 수평하중을 재하한다.

(다만, 곡률반지름 $R \leq 200\text{m}$ 인 곡선부에 대해서는 ①, ② 모두에 대해 그 수평총돌력은 계산된 값의 2배로 한다)

(8) 원 심 하 중

- 교량의 곡선부는 모든 설계차로에 재하된 DB하중의 백분율로서 표현되는 원심하중에 의해 설계한다.

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} (\%)$$

CF : 원심하중으로서 충격을 포함하지 않은 활하중의 백분률
 V : 설계속도 (km/h)
 R : 곡선반경(m)

- 곡선부 교량에서 자동차에 의한 원심하중은 위 식과 같이 충격을 포함하지 않는 활하중에 대한 백분율로 표현되는데, 이때의 활하중이란 최대하중 효과가 발생되도록 설계 차로 위에 한대씩 재하된 DB하중을 말함.

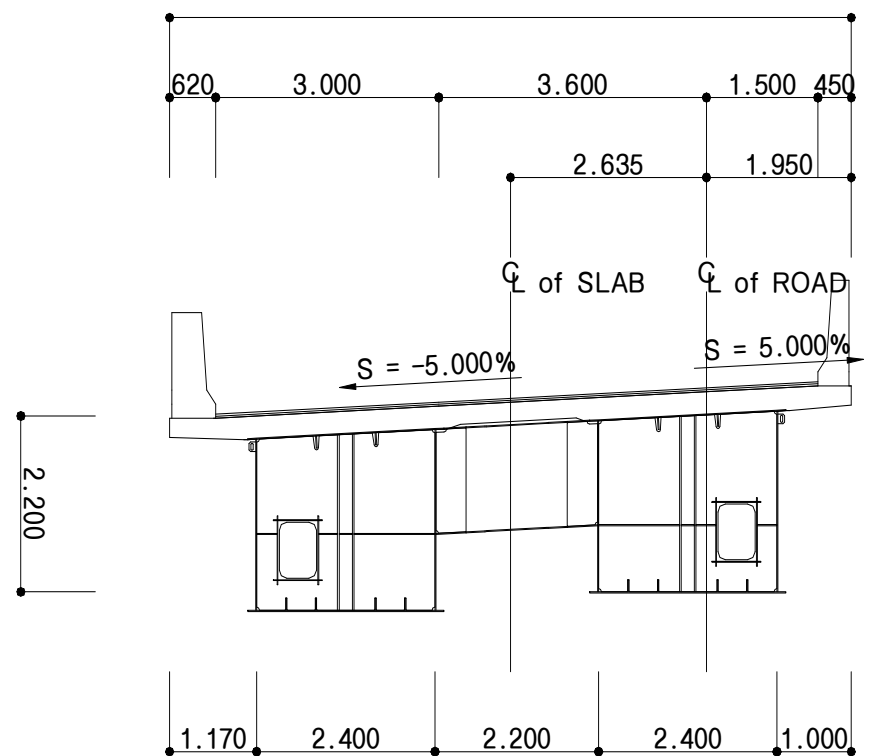
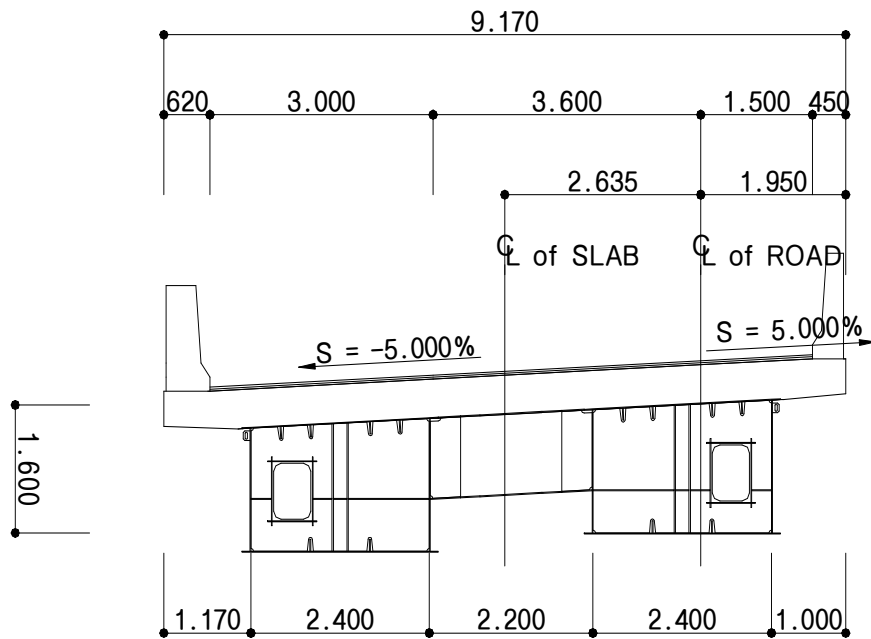
3) 설 계 방 법

- (1) 바 닥 판 : 강도 설계법
(2) Steel Box Girder : 허용응력 설계법

4) 참 고 문 헌

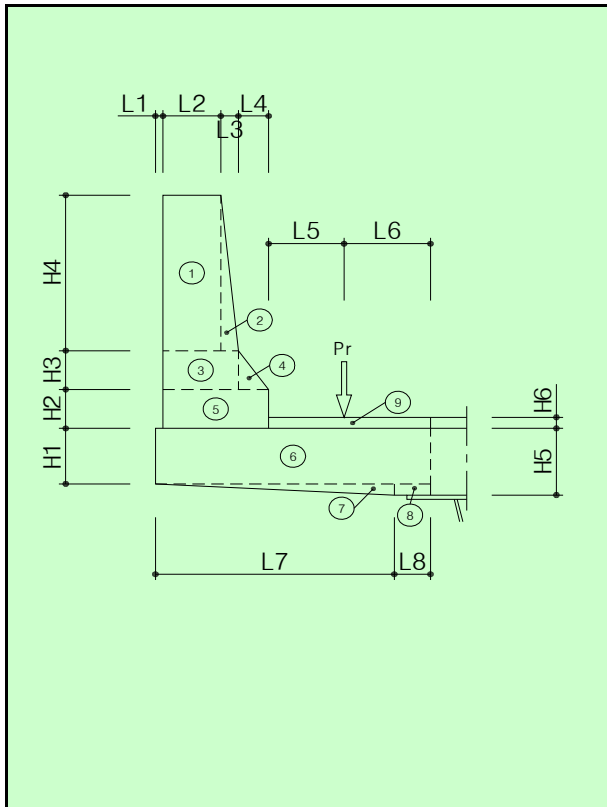
- (1) 도로교 설계기준 (2010)
(2) 도로교 설계기준 해설 (2008)
(3) 콘크리트 구조 설계기준 (2007)
(4) 도로설계 편람 (2008)
(5) 도로설계 요령 (2001)
(6) 강구조 편람 (1995)
(7) 강도로교 상세부 설계지침 (2006)

2. 단면가정



3. 바닥판 설계

3.1 좌측 캔틸레버부



H1	0.240 m	L1	0.030 m
H2	0.175 m	L2	0.230 m
H3	0.175 m	L3	0.070 m
H4	0.970 m	L4	0.120 m
H5	0.290 m	L5	0.300 m
H6	0.050 m	L6	0.190 m
H7	0.000 m	L7	0.830 m
R	380.000 m	L8	0.110 m
V	60.000 km/h	L9	0.000 m
콘크리트 단위중량		25.000 kN/m ³	
무근콘크리트 단위중량		23.500 kN/m ³	
포장 단위중량		23.500 kN/m ³	
DB 1후륜 하중 (Pr)		96.000 kN	
탱크 총 중량			
탱크궤도 길이			
탱크하중 작용점(L5)			
트레일러 1후륜 하중			
트레일러하중 작용점(L5)			

(1) 고정 하중

N0.	산 식	작용하중(kN)	작용거리(m)	모멘트(kN·m)
1	$0.230 \times 0.970 \times 25.000$	5.578	0.795	4.434
2	$\frac{1}{2} \times 0.070 \times 0.970 \times 25.000$	0.849	0.657	0.557
3	$0.300 \times 0.175 \times 25.000$	1.313	0.760	0.998
4	$\frac{1}{2} \times 0.120 \times 0.175 \times 25.000$	0.263	0.570	0.150
5	$0.420 \times 0.175 \times 25.000$	1.838	0.700	1.286
6	$0.940 \times 0.240 \times 25.000$	5.640	0.470	2.651
7	$\frac{1}{2} \times 0.830 \times 0.050 \times 25.000$	0.519	0.387	0.201
8	$0.110 \times 0.050 \times 25.000$	0.138	0.055	0.008
9	$0.490 \times 0.050 \times 23.500$	0.576	0.245	0.141
TOTAL		16.711		10.425

(2) 활 하 중 (DB-24 : Pr = 96 kN)

▪ 윤하중 분포폭

(도.설 3.6.1.4)

$$E = 0.8 \cdot X + 1.14 = 0.8 \times 0.190 + 1.14 = 1.292 \text{ m} \quad \text{여기서, } X = 0.190 \text{ m}$$

▪ 총 격 계 수

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.190) = 0.373 > 0.300 \quad i = 0.300$$

▪ 작용 모멘트

$$Ml+i = (96.00 / 1.292) \times 0.190 \times (1 + 0.30) = 18.353 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(3) 차량 충돌 하중

(도.설.해 2.4.3.6)

① 수평충돌력 H는 노면상 1.0m 높이에 교축을 따라 1.0m 마다 작용시

$$H = (V/60)^2 \times 7.5 + 2.5$$

여기서,

H : 강성 방호울타리 1m 높이에 직각으로 작용하는 교축 1m당의 수평충돌력(kN/m)

V : 차량의 충돌 속도(km/h), 최근 도로환경이 개선되고 주행속도가 높아지는 경향이 있으므로 충돌속도는 도로의 설계속도로 볼 수 있다.

$$H = (60.000 / 60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 10.000 \text{ kN/m} \quad \text{작용높이 } h = 1.195 \text{ m}$$

$$Mco = 10.000 \times 1.195 = 11.950 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

② 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10.000 kN/m 의 수평하중 재하시

$$H = 10.000 = 10.000 \text{ kN/m} \quad \text{작용높이 } h = 1.465 \text{ m}$$

$$Mco = 10.000 \times 1.465 = 14.650 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

③ 곡선반경 R > 200m 이므로 ①과 ②에 의해 계산된 값중에서 큰 값을 적용

$$Mco = 14.650 = 14.650 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(4) 풍 하 중 (3.000 kN/m²)

(도.설.해 2.1.11)

$$Pw = 3.000 \times 1.270 = 3.810 \text{ kN/m}$$

$$Mw = 3.810 \times (1.270 / 2 + 0.05 + 0.29 / 2) = 3.162 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(5) 원 심 하 중

(도.설.해 2.1.17)

$$CF = 0.79 V^2 / R(\%)$$

여기서,

CF : 원심하중으로서 충격을 포함하지 않은 활하중의 백분율

V : 설계속도 (km/h)

R : 곡선반경 (m)

▪ 일반 차량하중 작용시

$$CF = 0.79 \times 60.000^2 / 380.000 = 7.484 (\%)$$

$$Pcf = 96.000 / 1.292 \times 7.484 / 100 = 5.561 \text{ kN/m} \quad \text{작용높이 } h = 1.995 \text{ m}$$

$$Mcf = 5.561 \times 1.995 = 11.094 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(6) 작용 모멘트

구 분	고정하중(M _D)	활하중(M _{L+i})	균중하중(M _{L+i})	충돌하중(M _{CO})	난간충돌하중(M _{CO})	풍하중(M _W)	원심하중(M _{CF})
모 멘 트	10.425	18.353	0.000	14.650	0.000	3.162	11.094

(7) 하 중 조 합

(도.설.해 2.2.3.2)

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{CO}	M_W	M_{CF}	비 고
CASE 1	kN·m	1.30	2.15			1.30	
CASE 2	"	1.30	1.30	1.30		1.30	차량 충돌하중
CASE 3	"	1.30	1.30		0.65	1.30	활하중 재하시
CASE 4	"	1.20		1.20	1.20		차량 충돌하중
CASE 5	"	1.30			1.30		
CASE 6	"	1.00	1.00		0.30	0.00	사용모멘트
CASE 7	"	1.00	1.00	0.00		0.00	차량충돌 사용모멘트

(8) 계산 적용 모멘트 산정

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{CO}	M_W	M_{CF}	소 계
CASE 1	kN·m	13.552	39.459			14.423	67.434
CASE 2	"	13.552	23.859	19.045		14.423	70.879
CASE 3	"	13.552	23.859		2.055	14.423	53.889
CASE 4	"	12.510		17.580	3.795		33.885
CASE 5	"	13.552			4.111		17.663
최대 계수 모멘트							70.879
CASE 6	"	10.425	18.353		0.949	0.000	29.726
CASE 7	"	10.425	18.353	0.000		0.000	28.778
최대 사용 모멘트							29.726

(9) 캔틸레버판 단부 설계

(도.설.해 4.7.6.4)

- ① 주철근량 : 들보단부 이외의 캔틸레버부 바닥판에서 필요한 주철근량의 2배를 주철근으로 배근한다.
- ② 배력철근량 : 들보단부 이외의 캔틸레버부 바닥판 상측에 배력 철근량의 2배를 배력철근으로 배근한다.
- ③ 배치범위 : 도로교설계기준 강교편 바닥판에 배치 범위가 명시되지 않아 콘크리트편 4.7.5.7을 적용하 캔틸레버판의 고정하중에 대한 지간을 배치 범위로 적용한다.

(10) 바닥판의 최소 두께 ($\lambda = 0.19 \leq 0.25$ 인 경우)

(도.설.해 3.6.1.5)

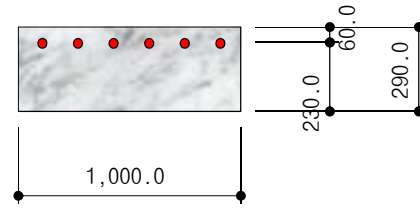
$$h_{min} = (280 \cdot L + 180) = (280 \times 0.190 + 180) = 233.2 \text{ mm} > 220.0 \text{ mm} \quad \therefore h_{req} = 233.2 \text{ mm}$$

$$h_{use} = 290.0 \text{ mm} > h_{req} = 233.2 \text{ mm} \quad \cdots \cdots \text{O.K !!}$$

(11) 단 면 검 토

① 캔틸레버부

f_{ck}	=	27.0	MPa	f_y	=	400.0	MPa
M_u	=	70.9	kN·m	M	=	29.7	kN·m
b	=	1,000.0	mm	h	=	290.0	mm
β	=	0.85		d'	=	60.0	mm
ϕ_f	=	0.85		d	=	230.0	mm



■ 강도 감소계수 (ϕ_f) 산정

(콘.설.해 6.2.2)

$$T = A_s \times f_y = 1,324.0 \times 400.0$$

$$= 529,600.0$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 0.85 \times 27.0 \times a \times 1,000.0$$

$$= 22,950.0 a$$

$$T = C \text{ 이므로, } a = 23.076 \text{ mm}$$

$$c = 23.076 / \beta = 23.076 / 0.85$$

$$= 27.149 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 400.0 / 200,000.0$$

$$= 0.0020$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times (d - c) / c = 0.003 \times (230.0 - 27.149) / 27.149$$

$$= 0.0224$$

$$\epsilon_t = 0.0224 \geq 0.0050 \text{ 이므로 인장지배 단면이며, } \phi_f = 0.85 \text{를 적용한다.}$$

■ 필요 철근량 산정

$$a = A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 0.017429 A_s \text{ ----- ①}$$

$$M_u = \phi_f \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = 78,200.0 A_s - 170.0 A_s \cdot a \text{ ----- ②}$$

식①을 식②에 대입하여 이차방정식으로 A_s 를 구한다.

$$70,878,626.8 = -2.962963 A_s^2 + 78,200.0 A_s$$

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 939.844 \text{ mm}^2$$

■ 사용 철근량 산정

$$\therefore A_{s \text{ use}} = \text{H } 16 @ 300.0 = 662.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{H } 16 @ 300.0 = 662.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 1,324.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.409] \quad \dots\dots 0.K !!$$

■ 철근량 검토

$$A_{s \text{ min}} = 1.4 / f_y \times b \times d = 805.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 6.3.2})$$

$$= 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d = 746.9 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 6.3.2})$$

$$= \text{수축 온도 철근량} = 580.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 5.7.2})$$

$$\therefore A_{s \text{ min}} = 805.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ max}} = 0.714 \times \rho_b \times b \times d = 4,805.3 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 6.2.2})$$

$$\therefore A_{s \text{ max}} \geq A_{s \text{ use}} \geq A_{s \text{ min}} \quad \dots\dots 0.K !!$$

■ 휨에 대한 검토

$$a = A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 23.076 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0.85 \times 1,324.0 \times 400.0 \times (230.0 - a/2) = 98.343 \text{ kN·m}$$

$$\therefore \phi M_n \geq Mu \quad [\text{사용률} = 1.387] \quad \dots\dots 0.K !!$$

▪ 배력 철근량 산정 (도.설.해 3.6.1.4)

$$\text{백분율} = 120 / \sqrt{(L)} = 120 / \sqrt{(0.940)} = 123.771 \% \geq 67.0 \%$$

$$A_s = 939.844 \times 67.000 \% = 629.696 \text{ mm}^2$$

$$\text{수축} \cdot \text{온도철근량} = 0.002 \cdot b \cdot h = 580.000 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 629.696 \text{ mm}^2$$

▪ 배력철근 사용 철근량 산정

$$\begin{aligned} \therefore A_{s \text{ use}} &= \text{H } 16 @ 200.0 &= 993.0 \text{ mm}^2 \\ \Sigma &= 993.0 \text{ mm}^2 &[\text{사용률} = 1.577] \quad \dots\dots 0.K !! \end{aligned}$$

② 캔틸레버부 단부 설계 (도.설.해 4.7.6.4)

철근 콘크리트 바닥판의 경우 일반적으로 거더의 단부외의 캔틸레버 바닥판에서 필요한 철근량의 2배를 배치하는 것이 좋다. 배치 범위는 캔틸레버의 고정하중에 대한 지간 0.940m 이상 배치 한다.

▪ 주 철 근

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 1,879.689 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_{s \text{ use}} = \text{H } 16 @ 150.0 = 1,324.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{H } 13 @ 150.0 = 844.7 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 2,168.7 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.154] \quad \dots\dots 0.K !!$$

▪ 배 력 철 근

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 1,259.392 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_{s \text{ use}} = \text{H } 19 @ 200.0 = 1,432.5 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 1,432.5 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.137] \quad \dots\dots 0.K !!$$

③ 사용성 검토

탄성계수비 n	$= E_s / E_c$	$= 7.0$	
$A_{s \text{ use}}$	$= \text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	(개수 = 6.7 ea)
	$\text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	
		$\Sigma = 1,324.0 \text{ mm}^2$	
철근비 ρ	$= A_s / b d$		
	$= 1,324.0 / (1,000.0 \times 230.0)$	$= 0.00576$	
중립축 k	$= -n\rho + \sqrt{(2n\rho + (n\rho)^2)}$		
	$= -0.0403 + \sqrt{(2 \times 0.0403 + 0.0403^2)}$	$= 0.24644$	
중립축 거리 x	$= k \times d = 0.24644 \times 230.0$	$= 56.680$	
	$j = 1 - k / 3 = 1 - 0.246 / 3$	$= 0.918$	
철근 응력 f_s	$= M / (A_s \times j \times d)$		
	$= 29.73 / (1,324.0 \times 0.918 \times 230.0)$	$= 106.354 \text{ MPa}$	

▪ 균 열 검 토 (콘.설.해 4.2)

$$\text{최소 두께 } c_c = 60.0 - 15.9 / 2 = 52.050 \text{ mm}$$

$$\text{인장연단 폭 } s_1 = 375 \times (210 / f_s) - 2.5 \cdot c_c \quad (\text{콘.설.해 6.3.3})$$

$$= 375 \times (210 / 106.354) - 2.5 \times 52.050 = 610.327 \text{ mm}$$

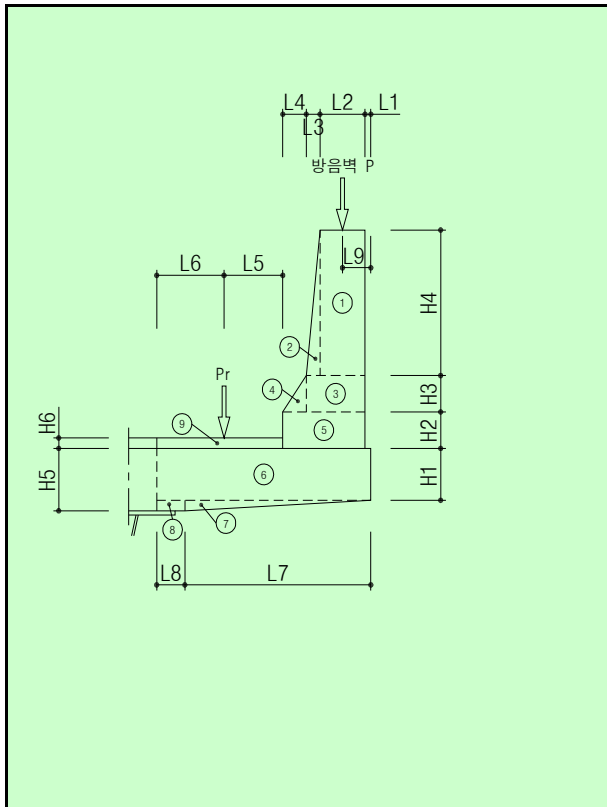
$$\text{인장연단 폭 } s_2 = 300 \times (210 / f_s)$$

$$= 300 \times (210 / 106.354) = 592.362 \text{ mm}$$

$$\text{Min} = 592.362 \text{ mm}$$

$$\therefore s = 1,000.0 / 6.7\text{ea} = 150.0 \text{ mm} \leq s_\alpha = 592.4 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

3.2 우측 캔틸레버부



H1	0.240 m	L1	0.000 m
H2	0.175 m	L2	0.400 m
H3	0.175 m	L3	0.070 m
H4	0.970 m	L4	0.120 m
H5	0.290 m	L5	0.300 m
H6	0.050 m	L6	0.220 m
H7	1.000 m	L7	1.000 m
R	380.000 m	L8	0.110 m
V	60.000 km/h	L9	0.230 m
콘크리트 단위중량			25.000 kN/m ³
무근콘크리트 단위중량			23.500 kN/m ³
포장 단위중량			23.500 kN/m ³
DB 1후륜 하중 (Pr)			96.000 kN
탱크 총 중량			
탱크궤도 길이			
탱크하중 작용점(L5)			
트레일러 1후륜 하중			
트레일러하중 작용점(L5)			

(1) 고정 하중

N0.	산 식	작용하중(kN)	작용거리(m)	모멘트(kN·m)
1	$0.400 \times 0.970 \times 25.000$	9.700	0.910	8.827
2	$\frac{1}{2} \times 0.070 \times 0.970 \times 25.000$	0.849	0.687	0.583
3	$0.470 \times 0.175 \times 25.000$	2.056	0.875	1.799
4	$\frac{1}{2} \times 0.120 \times 0.175 \times 25.000$	0.263	0.600	0.158
5	$0.590 \times 0.175 \times 25.000$	2.581	0.815	2.104
6	$1.110 \times 0.240 \times 25.000$	6.660	0.555	3.696
7	$\frac{1}{2} \times 1.000 \times 0.050 \times 25.000$	0.625	0.443	0.277
8	$0.110 \times 0.050 \times 25.000$	0.138	0.055	0.008
9	$0.520 \times 0.050 \times 23.500$	0.611	0.260	0.159
10	방음벽 하중 or 난간하중	1.000	0.880	0.880
TOTAL		24.482		18.490

(2) 활 하 중 (DB-24 : Pr = 96 kN)

- 윤택중 분포폭 (도.설 3.6.1.4)
 $E = 0.8 \cdot X + 1.14 = 0.8 \times 0.220 + 1.14 = 1.316 \text{ m}$ 여기서, $X = 0.220 \text{ m}$
- 총 격 계 수
 $i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.220) = 0.373 > 0.300 \quad i = 0.300$
- 작용 모멘트
 $M_{I+i} = (96.00 / 1.316) \times 0.220 \times (1 + 0.30) = 20.863 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$

(3) 차량 충돌 하중 (도.설.해 2.4.3.6)

① 수평충돌력 H는 노면상 1.0m 높이에 교축을 따라 1.0m 마다 작용시

$$H = (V/60)^2 \times 7.5 + 2.5$$

여기서,
H : 강성 방호울타리 1m 높이에 직각으로 작용하는 교축 1m당의 수평충돌력(kN/m)
V : 차량의 충돌 속도(km/h), 최근 도로환경이 개선되고 주행속도가 높아지는 경향이 있으므로 충돌속도는 도로의 설계속도로 볼 수 있다.

$$H = (60.000 / 60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 10.000 \text{ kN/m} \quad \text{작용높이 } h = 1.195 \text{ m}$$

$$M_{co} = 10.000 \times 1.195 = 11.950 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

② 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10.000 kN/m 의 수평하중 재하시

$$H = 10.000 = 10.000 \text{ kN/m} \quad \text{작용높이 } h = 1.465 \text{ m}$$

$$M_{co} = 10.000 \times 1.465 = 14.650 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

③ 곡선반경 R > 200m 이므로 ①과 ②에 의해 계산된 값중에서 큰 값을 적용

$$M_{co} = 14.650 = 14.650 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(4) 풍 하 중 (3.000 kN/m²) (도.설.해 2.1.11)

$$P_w = 3.000 \times 2.270 = 6.810 \text{ kN/m}$$

$$M_w = 6.810 \times (2.270 / 2 + 0.05 + 0.29 / 2) = 9.057 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(5) 원 심 하 중 (도.설.해 2.1.17)

$$CF = 0.79 V^2 / R(\%)$$

여기서,
CF : 원심하중으로서 충격을 포함하지 않은 활하중의 백분율
V : 설계속도 (km/h)
R : 곡선반경 (m)

- 일반 차량하중 작용시
 $CF = 0.79 \times 60.000^2 / 380.000 = 7.484 (\%)$
 $P_{cf} = 96.000 / 1.316 \times 7.484 / 100 = 5.460 \text{ kN/m} \quad \text{작용높이 } h = 1.995 \text{ m}$
 $M_{cf} = 5.460 \times 1.995 = 10.892 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$

(6) 작용 모멘트

구 분	고정하중(M _D)	활하중(M _{L+i})	균중하중(M _{L+j})	충돌하중(M _{CO})	난간충돌하중(M _{CO})	풍하중(M _W)	원심하중(M _{CF})
모 멘 트	18.490	20.863	0.000	14.650	0.000	9.057	10.892

(7) 하 중 조 합

(도.설.해 2.2.3.2)

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{CO}	M_W	M_{CF}	비 고
CASE 1	kN·m	1.30	2.15			1.30	
CASE 2	"	1.30	1.30	1.30		1.30	차량 충돌하중
CASE 3	"	1.30	1.30		0.65	1.30	활하중 재하시
CASE 4	"	1.20		1.20	1.20		차량 충돌하중
CASE 5	"	1.30			1.30		
CASE 6	"	1.00	1.00		0.30	0.00	사용모멘트
CASE 7	"	1.00	1.00	0.00		0.00	차량충돌 사용모멘트

(8) 계산 적용 모멘트 산정

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{CO}	M_W	M_{CF}	소 계
CASE 1	kN·m	24.037	44.856			14.159	83.052
CASE 2	"	24.037	27.122	19.045		14.159	84.364
CASE 3	"	24.037	27.122		5.887	14.159	71.206
CASE 4	"	22.188		17.580	10.869		50.637
CASE 5	"	24.037			11.774		35.812
최대 계수 모멘트							84.364
CASE 6	"	18.490	20.863		2.717	0.000	42.070
CASE 7	"	18.490	20.863	0.000		0.000	39.353
최대 사용 모멘트							42.070

(9) 캔틸레버판 단부 설계

(도.설.해 4.7.6.4)

- ① 주철근량 : 들보단부 이외의 캔틸레버부 바닥판에서 필요한 주철근량의 2배를 주철근으로 배근한다.
- ② 배력철근량 : 들보단부 이외의 캔틸레버부 바닥판 상측에 배력 철근량의 2배를 배력철근으로 배근한다.
- ③ 배치범위 : 도로교설계기준 강교편 바닥판에 배치 범위가 명시되지 않아 콘크리트편 4.7.5.7을 적용하 캔틸레버판의 고정하중에 대한 지간을 배치 범위로 적용한다.

(10) 바닥판의 최소 두께 ($\lambda = 0.22 \leq 0.25$ 인 경우)

(도.설.해 3.6.1.5)

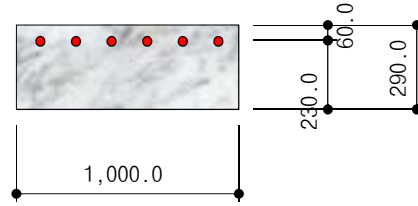
$$h_{min} = (280 \cdot L + 180) = (280 \times 0.220 + 180) = 241.6 \text{ mm} > 220.0 \text{ mm} \quad \therefore h_{req} = 241.6 \text{ mm}$$

$$h_{use} = 290.0 \text{ mm} > h_{req} = 241.6 \text{ mm} \quad \dots\dots \mathbf{O.K !!}$$

(11) 단 면 검 토

① 캔틸레버부

f_{ck}	=	27.0	MPa	f_y	=	400.0	MPa
M_u	=	84.4	kN·m	M	=	42.1	kN·m
b	=	1,000.0	mm	h	=	290.0	mm
β	=	0.85		d'	=	60.0	mm
ϕ_f	=	0.85		d	=	230.0	mm



■ 강도 감소계수 (ϕ_f) 산정

(콘.설.해 6.2.2)

$$T = A_s \times f_y = 1,324.0 \times 400.0$$

$$= 529,600.0$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 0.85 \times 27.0 \times a \times 1,000.0$$

$$= 22,950.0 a$$

$$T = C \text{ 이므로, } a = 23.076 \text{ mm}$$

$$c = 23.076 / \beta = 23.076 / 0.85$$

$$= 27.149 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 400.0 / 200,000.0$$

$$= 0.0020$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times (d - c) / c = 0.003 \times (230.0 - 27.149) / 27.149$$

$$= 0.0224$$

$$\epsilon_t = 0.0224 \geq 0.0050 \text{ 이므로 인장지배 단면이며, } \phi_f = 0.85 \text{를 적용한다.}$$

■ 필요 철근량 산정

$$a = A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 0.017429 A_s \text{ ----- ①}$$

$$M_u = \phi_f \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = 78,200.0 A_s - 170.0 A_s \cdot a \text{ ----- ②}$$

식①을 식②에 대입하여 이차방정식으로 A_s 를 구한다.

$$84,363,745.0 = -2.962963 A_s^2 + 78,200.0 A_s$$

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 1,126.940 \text{ mm}^2$$

■ 사용 철근량 산정

$$\therefore A_{s \text{ use}} = \text{H } 16 @ 300.0 = 662.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{H } 16 @ 300.0 = 662.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 1,324.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.175] \quad \dots\dots 0.K !!$$

■ 철근량 검토

$$A_{s \text{ min}} = 1.4 / f_y \times b \times d = 805.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 6.3.2})$$

$$= 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d = 746.9 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 6.3.2})$$

$$= \text{수축 온도 철근량} = 580.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 5.7.2})$$

$$\therefore A_{s \text{ min}} = 805.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ max}} = 0.714 \times \rho_b \times b \times d = 4,805.3 \text{ mm}^2 \quad (\text{ 콘.설.해 6.2.2})$$

$$\therefore A_{s \text{ max}} \geq A_{s \text{ use}} \geq A_{s \text{ min}} \quad \dots\dots 0.K !!$$

■ 휨에 대한 검토

$$a = A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 23.076 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 0.85 \times 1,324.0 \times 400.0 \times (230.0 - a/2) = 98.343 \text{ kN·m}$$

$$\therefore \phi M_n \geq Mu \quad [\text{사용률} = 1.166] \quad \dots\dots 0.K !!$$

▪ 배력 철근량 산정 (도.설.해 3.6.1.4)

$$\text{백분율} = 120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{1.110} = 113.899 \% \geq 67.0 \%$$

$$A_s = 1,126.940 \times 67.000 \% = 755.050 \text{ mm}^2$$

$$\text{수축} \cdot \text{온도철근량} = 0.002 \cdot b \cdot h = 580.000 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 755.050 \text{ mm}^2$$

▪ 배력철근 사용 철근량 산정

$$\begin{aligned} \therefore A_{s \text{ use}} &= \text{H } 16 @ 200.0 &= 993.0 \text{ mm}^2 \\ \Sigma &= 993.0 \text{ mm}^2 &[\text{사용률} = 1.315] \quad \dots\dots 0.K !! \end{aligned}$$

② 캔틸레버부 단부 설계 (도.설.해 4.7.6.4)

철근 콘크리트 바닥판의 경우 일반적으로 거더의 단부외의 캔틸레버 바닥판에서 필요한 철근량의 2배를 배치하는 것이 좋다. 배치 범위는 캔틸레버의 고정하중에 대한 지간 1.110m 이상 배치 한다.

▪ 주 철 근

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 2,253.879 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_{s \text{ use}} = \text{H } 16 @ 150.0 = 1,324.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{H } 16 @ 150.0 = 1,324.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 2,648.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.175] \quad \dots\dots 0.K !!$$

▪ 배 력 철 근

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 1,510.099 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_{s \text{ use}} = \text{H } 16 @ 100.0 = 1,986.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 1,986.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.315] \quad \dots\dots 0.K !!$$

③ 사용성 검토

탄성계수비 n	$= E_s / E_c$	$= 7.0$	
$A_{s \text{ use}}$	$= \text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	(개수 = 6.7 ea)
	$\text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	
		$\Sigma = 1,324.0 \text{ mm}^2$	
철근비 ρ	$= A_s / b d$		
	$= 1,324.0 / (1,000.0 \times 230.0)$	$= 0.00576$	
중립축 k	$= -n\rho + \sqrt{(2n\rho + (n\rho)^2)}$		
	$= -0.0403 + \sqrt{(2 \times 0.0403 + 0.0403^2)}$	$= 0.24644$	
중립축 거리 x	$= k \times d = 0.24644 \times 230.0$	$= 56.680$	
	$j = 1 - k / 3 = 1 - 0.246 / 3$	$= 0.918$	
철근 응력 f_s	$= M / (A_s \times j \times d)$		
	$= 42.07 / (1,324.0 \times 0.918 \times 230.0)$	$= 150.518 \text{ MPa}$	

▪ 균 열 검 토 (콘.설.해 4.2)

$$\text{최소 두께 } c_c = 60.0 - 15.9 / 2 = 52.050 \text{ mm}$$

$$\text{인장연단 폭 } s_1 = 375 \times (210 / f_s) - 2.5 \cdot c_c \quad (\text{콘.설.해 6.3.3})$$

$$= 375 \times (210 / 150.518) - 2.5 \times 52.050 = 393.069 \text{ mm}$$

$$\text{인장연단 폭 } s_2 = 300 \times (210 / f_s)$$

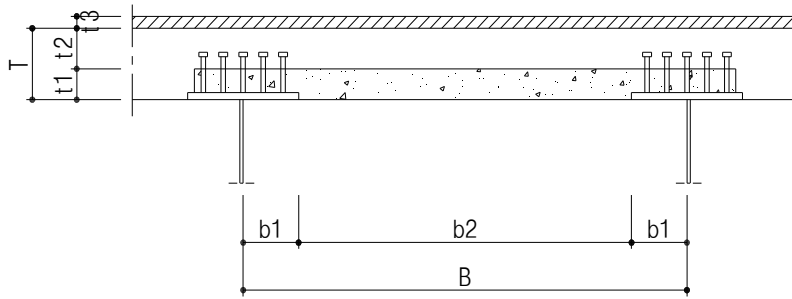
$$= 300 \times (210 / 150.518) = 418.555 \text{ mm}$$

$$\text{Min} = 393.069 \text{ mm}$$

$$\therefore s = 1,000.0 / 6.7\text{ea} = 150.0 \text{ mm} \leq s_\alpha = 393.1 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

3.3 중 앙 부 (거더부)

1) 합 성 전



T	=	290.0	mm
t_1	=	140.0	mm
t_2	=	150.0	mm
t_3	=	50.0	mm
B	=	2,400.0	mm
b_1	=	280.0	mm
b_2	=	1,840.0	mm

(1) Half-Deck 두께의 검토

- 최소두께

- ① 인장연단에서 주철근 중심까지의 거리 (d') = 50.0 mm
- ② 사용 철근의 직경 : 주철근 = H16 , 배력철근 = H16
- ③ 최소두께 : $h_{min} = 50.0 + 20.0 + 8.0 + 16.0 = 94.0$ mm

- 두께검토

$$T_{deck} = 140.0 \text{ mm} > h_{req} = 94.0 \text{ mm} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 피복두께검토

- ① 철근의 최소 피복두께 : 30.0 mm
- ② 인장철근 피복두께 : $50.0 - 8.0 = 42.0 \text{ mm} > 30.0 \text{ mm} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$

(2) 설계하중에 의한 단면력

▪ 고 정 하 중

$$\begin{aligned}
 \text{Half-Deck} &: 0.140 \text{ m} \times 25.000 \text{ kN/m}^3 = 3.500 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{바닥판} &: 0.150 \text{ m} \times 25.000 \text{ kN/m}^3 = 3.750 \text{ kN/m}^3 \\
 \hline
 \Sigma &= 7.250 \text{ kN/m}^3 \\
 \text{계산지간 } L &: 2.400 \text{ m} \quad \text{바닥판 지점의 수 } n &: 2 \\
 M_d &= (1/8) \cdot Wd \cdot L^2 = (1/8) \times 7.250 \times 2.400^2 = 5.220 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{도.설 4.7.5.4})
 \end{aligned}$$

▪ 작용 모멘트

구 분	고정하중(M_D)	활하중(M_{L+i})	균중하중(M_{L+i})	충돌하중(M_{CO})	난간충돌하중(M_{CO})	풍하중(M_W)	원심하중(M_{CF})
모 멘 트	5.220						

▪ 하 중 조 합

(도.설.해 2.2.3.2)

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{CO}	M_W	M_{CF}	비 고
CASE 1	kN·m	1.30				1.30	
CASE 2	"	1.00	1.00		0.30	1.00	사용모멘트

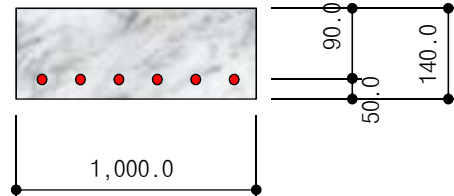
▪ 계산 적용 모멘트 산정

CASE	단위	M _D	M _{L+i}	M _{CO}	M _W	M _{CF}	소 계
CASE 1	kN·m	6.786					6.786
최대 계수 모멘트							6.786
CASE 2	"	5.220					5.220
최대 사용 모멘트							5.220

(3) 단 면 검 토

① 철근량 산정

f_{ck}	=	50.0	MPa	f_y	=	400.0	MPa
M_u	=	6.8	kN·m	M	=	5.2	kN·m
b	=	1,000.0	mm	h	=	140.0	mm
β	=	0.70		d'	=	50.0	mm
ϕ_f	=	0.85		d	=	90.0	mm



▪ 강도 감소계수 (ϕ_f) 산정

(콘.설.해 6.2.2)

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \times f_y = 1,324.0 \times 400.0 = 529,600.0 \\
 C &= 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 0.85 \times 50.0 \times a \times 1,000.0 = 42,500.0 a \\
 T &= C \text{ 이므로, } a = 12.461 \text{ mm} \\
 c &= 12.461 / \beta = 12.461 / 0.70 = 17.904 \text{ mm} \\
 \epsilon_y &= f_y / E_s = 400.0 / 200,000.0 = 0.0020 \\
 \epsilon_t &= 0.003 \times (d - c) / c = 0.003 \times (90.0 - 17.904) / 17.904 = 0.0121 \\
 \epsilon_t &= 0.0121 \geq 0.0050 \text{ 이므로 인장지배 단면이며, } \phi_f = 0.85 \text{ 를 적용한다.}
 \end{aligned}$$

▪ 필요 철근량 산정

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 0.011494 A_s \quad \text{----- ①} \\
 M_u &= \phi_f \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = 30,600.0 A_s - 170.0 A_s \cdot a \quad \text{----- ②} \\
 \text{식①을 식②에 대입하여 이차방정식으로 } A_s \text{를 구한다.} \\
 6,786,000.0 &= -1.954023 A_s^2 + 30,600.0 A_s \\
 \therefore A_{s \text{ req}} &= 224.997 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

▪ 사용 철근량 산정

$$\begin{aligned}
 \therefore A_{s \text{ use}} &= \text{H } 16 @ 300.0 = 662.0 \text{ mm}^2 \quad (1\text{Cycle}) \\
 &\quad \text{H } 16 @ 300.0 = 662.0 \text{ mm}^2 \quad (2\text{Cycle}) \\
 \Sigma &= 1,324.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 5.885] \quad \dots\dots \text{O.K !!}
 \end{aligned}$$

▪ 철근량 검토

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ min}} &= 1.4 / f_y \times b \times d = 315.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 6.3.2}) \\
 &= 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d = 397.7 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 6.3.2}) \\
 &= \text{수축 온도 철근량} = 280.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 5.7.2}) \\
 \therefore A_{s \text{ min}} &= 397.7 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \text{ max}} &= 0.714 \times \rho_b \times b \times d = 2,851.2 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 6.2.2}) \\
 \therefore A_{s \text{ max}} &\geq A_{s \text{ use}} \geq A_{s \text{ min}} \quad \dots\dots \text{O.K !!}
 \end{aligned}$$

▪ 힘에 대한 검토

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 15.218 \text{ mm} \\ \Phi M_n &= 0.85 \times 1,324.0 \times 400.0 \times (90.0 - a/2) = 37.089 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ \therefore \Phi M_n &\geq Mu \quad [\text{사용률} = 5.466] \quad \dots\dots \text{O.K !!} \end{aligned}$$

▪ 배력 철근량 산정

(도.설.해 3.6.1.4)

$$\begin{aligned} \text{백분율} &= 120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{2.400} = 77.460 \% \geq 67.0 \% \\ A_s &= 224.997 \times 67.000 \% = 150.748 \text{ mm}^2 \\ \text{수축}\cdot\text{온도철근량} &= 0.002 \cdot b \cdot h = 280.000 \text{ mm}^2 \\ \therefore A_{s \text{ req}} &= 280.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▪ 배력철근 사용 철근량 산정

$$\begin{aligned} \therefore A_{s \text{ use}} &= \text{H } 16 @ 200.0 = 993.0 \text{ mm}^2 \\ \Sigma &= 993.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 3.546] \quad \dots\dots \text{O.K !!} \end{aligned}$$

③ 사용성 검토

탄성계수비 n	$= E_s / E_d$	$= 6.4$	
$A_{s \text{ use}}$	$= \text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	(개수 = 6.7 ea)
	$\text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	
	Σ	$= 1,324.0 \text{ mm}^2$	
철근비 ρ	$= A_s / bd$		
	$= 1,324.0 / (1,000.0 \times 90.0)$	$= 0.01471$	
중립축 k	$= -n\rho + \sqrt{(2n\rho + (n\rho)^2)}$		
	$= -0.0942 + \sqrt{(2 \times 0.0942 + 0.0942^2)}$	$= 0.34988$	
중립축 거리 x	$= k \times d = 0.34988 \times 90.0$	$= 31.490$	
j	$= 1 - k / 3 = 1 - 0.350 / 3$	$= 0.883$	
철근 응력 f_s	$= M / (A_s \times j \times d)$		
	$= 5.22 / (1,324.0 \times 0.883 \times 90.0)$	$= 49.590 \text{ MPa}$	

▪ 균 열 검 토

(콘.설.해 4.2)

$$\begin{aligned} \text{최소 두께 } c_c &= 50.0 - 15.9 / 2 = 42.050 \text{ mm} \\ \text{인장연단 폭 } s_1 &= 375 \times (210 / f_s) - 2.5 \cdot c_c \quad (\text{콘.설.해 6.3.3}) \\ &= 375 \times (210 / 49.590) - 2.5 \times 42.050 = 1,482.889 \text{ mm} \\ \text{인장연단 폭 } s_2 &= 300 \times (210 / f_s) \\ &= 300 \times (210 / 49.590) = 1,270.411 \text{ mm} \\ \therefore s &= 1,000.0 / 6.7\text{ea} = 150.0 \text{ mm} \leq s_a = 1,270.4 \text{ mm} \quad \dots\dots \text{O.K !!} \end{aligned}$$

2) 합 성 후

(1) 바닥판 두께의 검토

$$h_{min} = (40 \cdot L + 130) = (40 \times 2.400 + 130) = 226.0 \text{ mm} > 220.0 \text{ mm} \quad \therefore h_{req} = 226.0 \text{ mm}$$

$$h_{use} = 290.0 \text{ mm} > h_{req} = 226.0 \text{ mm} \quad \dots\dots \text{O.K.!!}$$

(2) 설계하중에 의한 단면력

- 고정하중

철근콘크리트	:	0.290	m	×	25.000	kN/m ³	=	7.250	kN/m ³
포장콘크리트	:	0.050	m	×	23.500	kN/m ³	=	1.175	kN/m ³
							Σ	=	8.425 kN/m ³

계산지간 L : 2.4 m 바닥판 지점의 수 n : 4

$$M_d = (1/10) \cdot Wd \cdot L^2 = (1/10) \times 8.425 \times 2.400^2 = 4.853 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{☞ 도.설 4.7.5.4})$$

- **활 하 중** (DB-24 : Pr = 96 kN)

- 총 격 계 수

충격계수 (도.설.해 2.1.4)

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 2.400) = 0.354 > 0.300 \quad i = 0.300$$

- 작용 모멘트

$$M_{l+i} = (2.40+0.6) \times 96.0/9.6 \times (1+0.300) = \mathbf{39.000} \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad (\text{도.설.해 3.6.1.4})$$

- 바닥판이 3개 이상의 지점인 경우 계산된 값에 0.8 배를 취한다.

$$M_{l+i} = 39.000 \times 0.8 = 31.200 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

(3) 작용 모멘트

구 분	고정하중(M_D)	활하중(M_{L+i})	군중하중(M_{L+i})	충돌하중(M_{Co})	난간충돌하중(M_{Co})	풍하중(M_W)	원심하중(M_{CF})
모 멘 트	4.853	31.200					

(4) 하 중 조 합

(도.설.해 2.2.3.2)

CASE	단위	M _D	M _{L+i}	M _{CO}	M _W	M _{CF}	비 고
CASE 1	kN·m	1.30	2.15			1.30	
CASE 2	"	1.30	1.30			1.30	활하중 재하시
CASE 3	"	1.30			1.30		
CASE 4	"	1.00	1.00		0.00	0.00	사용모멘트

(5) 계산 적용 모멘트 산정

[illegible]

(6) 캔틸레버판 단부 설계

(도.설.해 4.7.6.4)

- ① 주철근량 : 들보단부 이외의 캔틸레버부 바닥판에서 필요한 주철근량의 2배를 주철근으로 배근한다.
- ② 배력철근량 : 들보단부 이외의 캔틸레버부 바닥판 상측에 배력 철근량의 2배를 배력철근으로 배근한다.
- ③ 배치범위 : 도로교설계기준 강교판 바닥판에 배치 범위가 명시되지 않아 콘크리트판 4.7.5.7을 적용하여 캔틸레버판의 고정하중에 대한 지간을 배치 범위로 적용한다.

(7) 바닥판의 최소 두께 (연속판)

(도.설.해 3.6.1.5)

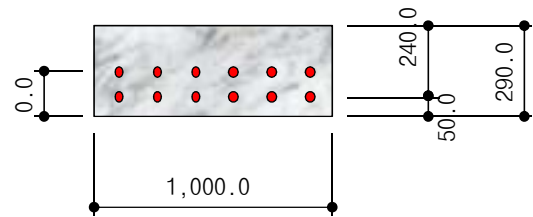
$$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 2.400 + 130) = 202.0 \text{ mm} < 220.0 \text{ mm} \therefore h_{req} = 220.0 \text{ mm}$$

$$h_{use} = 290.0 \text{ mm} > h_{req} = 220.0 \text{ mm} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(8) 단 면 검 토

① 중앙부 (내측)

$f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$	$f_y = 400.0 \text{ MPa}$
$M_u = 73.4 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M = 36.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$b = 1,000.0 \text{ mm}$	$h = 290.0 \text{ mm}$
$\beta = 0.85$	$d_1 = 50.0 \text{ mm}$
$\phi_f = 0.85$	$d_2 = 0.0 \text{ mm}$
$d = 240.0 \text{ mm}$	$d' = 50.0 \text{ mm}$



▪ 피복 산정

$$d' = \frac{1,324.0 \times 50.0 + 0.0 \times 0.0}{1,324.0 + 0.0} = 50.0 \text{ mm}$$

▪ 강도 감소계수 (ϕ_f) 산정

(콘.설.해 6.2.2)

$$T = A_s \times f_y = 1,324.0 \times 400.0 = 529,600.0$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 0.85 \times 27.0 \times a \times 1,000.0 = 22,950.0 a$$

$$T = C \text{ 이므로, } a = 23.076 \text{ mm}$$

$$c = 23.076 / \beta = 23.076 / 0.85 = 27.149 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 400.0 / 200,000.0 = 0.0020$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times (d_t - c) / c = 0.003 \times (240.0 - 27.149) / 27.149 = 0.0235$$

$$\epsilon_t = 0.0235 \geq 0.0050 \text{ 이므로 인장지배 단면이며, } \phi_f = 0.85 \text{를 적용한다.}$$

▪ 필요 철근량 산정

$$a = A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 0.017429 A_s \quad \text{----- ①}$$

$$M_u = \phi_f \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = 81,600.0 A_s - 170.0 A_s \cdot a \quad \text{----- ②}$$

식①을 식②에 대입하여 이차방정식으로 A_s 를 구한다.

$$73,388,640.0 = -2.962963 A_s^2 + 81,600.0 A_s$$

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 930.832 \text{ mm}^2$$

▪ 사용 철근량 산정

$$\begin{aligned} \therefore A_{s \text{ use}} &= \text{H } 16 @ 150.0 &= 1,324.0 \text{ mm}^2 & (\text{Half-Deck}) \\ &\text{H } 0 @ 0.0 &= 0.0 \text{ mm}^2 & (1\text{Cycle}) \\ &\text{H } 0 @ 0.0 &= 0.0 \text{ mm}^2 & (2\text{Cycle}) \\ \hline \Sigma &= 1,324.0 \text{ mm}^2 & [\text{사용률} = 1.422] & \dots\dots \text{O.K !!} \end{aligned}$$

▪ 철근량 검토

$$\begin{aligned}
 A_{s \min} &= 1.4 / f_y \times b \times d = 840.0 \text{ mm}^2 & (\text{콘.설.해 6.3.2}) \\
 &= 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d = 779.4 \text{ mm}^2 & (\text{콘.설.해 6.3.2}) \\
 &= \text{수축 온도 철근량} = 580.0 \text{ mm}^2 & (\text{콘.설.해 5.7.2}) \\
 \therefore A_{s \min} &= 840.0 \text{ mm}^2 \\
 A_{s \max} &= 0.714 \times \rho_b \times b \times d = 5,014.2 \text{ mm}^2 & (\text{콘.설.해 6.2.2}) \\
 \therefore A_{s \max} &\geq A_{s \text{ use}} \geq A_{s \min} & \dots\dots 0.K !!
 \end{aligned}$$

▪ 힘에 대한 검토

$$\begin{aligned}
 a &= A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 23.076 \text{ mm} \\
 \Phi M_n &= 0.85 \times 1,324.0 \times 400.0 \times (240.0 - a/2) = 102.844 \text{ kN}\cdot\text{m} \\
 \therefore \Phi M_n &\geq Mu & [\text{사용률} = 1.401] \dots\dots 0.K !!
 \end{aligned}$$

▪ 배력 철근량 산정

(콘.설.해 3.6.1.4)

$$\begin{aligned}
 \text{백분율} &= 120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{2.400} = 77.460 \% \geq 67.0 \% \\
 A_s &= 930.832 \times 67.000 \% = 623.657 \text{ mm}^2 \\
 \text{수축}\cdot\text{온도철근량} &= 0.002 \cdot b \cdot h = 580.000 \text{ mm}^2 \\
 \therefore A_{s \text{ req}} &= 623.657 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

▪ 배력철근 사용 철근량 산정

$$\begin{aligned}
 \therefore A_{s \text{ use}} &= H \ 16 \ @ \ 200.0 = 993.0 \text{ mm}^2 \\
 \Sigma &= 993.0 \text{ mm}^2 & [\text{사용률} = 1.592] \dots\dots 0.K !!
 \end{aligned}$$

② 사용성 검토

탄성계수비 n	=	E_s / E_c	=	7.0	
$A_{s \text{ use}}$	=	H 16 @ 150.0	=	1,324.0 mm ²	(개수 = 6.7 ea)
	=	H 0 @ 0.0	=	0.0 mm ²	
	=	H 0 @ 0.0	=	0.0 mm ²	
	Σ		=	1,324.0 mm ²	
철근비 ρ	=	A_s / bd			
	=	$1,324.0 / (1,000.0 \times 240.0)$	=	0.00552	
중립축 k	=	$-n\rho + \sqrt{(2n\rho + (n\rho)^2)}$			
	=	$-0.0386 + \sqrt{(2 \times 0.0386 + 0.0386^2)}$	=	0.24196	
중립축 거리 x	=	$k \times d = 0.24196 \times 240.0$	=	58.071	
j	=	$1 - k / 3 = 1 - 0.242 / 3$	=	0.919	
철근 응력 f_s	=	$M / (A_s \times j \times d) + \text{합성전 철근 응력}(f_s)$			
	=	$36.05 / (1,324.0 \times 0.919 \times 240.0) + 49.590$	=	123.413 MPa	

▪ 균열 검토

(콘.설.해 4.2)

$$\begin{aligned}
 \text{최소 두께 } c_c &= 50.0 - 15.9 / 2 = 42.050 \text{ mm} \\
 \text{인장연단 폭 } s_1 &= 375 \times (210 / f_s) - 2.5 \cdot c_c & (\text{콘.설.해 6.3.3}) \\
 &= 375 \times (210 / 123.413) - 2.5 \times 42.050 = 532.976 \text{ mm} \\
 \text{인장연단 폭 } s_2 &= 300 \times (210 / f_s) \\
 &= 300 \times (210 / 123.413) = 510.481 \text{ mm} \\
 \therefore s &= 1,000.0 / 6.7ea = 150.0 \text{ mm} \leq s_a = 510.5 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!
 \end{aligned}$$

3.4 중 양 부 (강도 설계법)

1) 가로보부

(1) 고정 하중

$$\begin{aligned} \text{철근콘크리트} &: 0.240 \text{ m} \times 25.000 \text{ kN/m}^3 = 6.000 \text{ kN/m}^3 \\ \text{포장콘크리트} &: 0.050 \text{ m} \times 23.500 \text{ kN/m}^3 = 1.175 \text{ kN/m}^3 \\ \Sigma &= 7.175 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{계산지간 } L &: 2.080 \text{ m} \quad \text{바닥판 지점의 수 } n &: 4 \\ M_d &= (1/10) \cdot Wd \cdot L^2 = (1/10) \times 7.175 \times 2.080^2 = 3.104 \text{ kN/m}^3 \quad (\text{도.설 4.7.5.4}) \end{aligned}$$

(2) 활 하중 (DB-24 : Pr = 96 kN)

▪ 충격 계수 (도.설.해 2.1.4)

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 2.080) = 0.356 > 0.300 \quad i = 0.300$$

▪ 작용 모멘트

$$Ml+i = (2.08+0.6) \times 96.0 / 9.6 \times (1+0.300) = 34.840 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \quad (\text{도.설.해 3.6.1.4})$$

바닥판이 3개 이상의 지점인 경우 계산된 값에 0.8 배를 취한다. (도.설.해 3.6.1.4)

$$Ml+i = 34.840 \times 0.8 = 27.872 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(3) 작용 모멘트

구 분	고정하중(M_D)	활하중(M_{L+i})	균중하중(M_{L+i})	충돌하중(M_{C0})	난간충돌하중(M_{C0})	풍하중(M_W)	원심하중(M_{CF})
모 멘 트	3.104	27.872					

(4) 하 중 조 합

(도.설.해 2.2.3.2)

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{C0}	M_W	M_{CF}	비 고
CASE 1	kN·m	1.30	2.15			1.30	
CASE 2	"	1.30	1.30			1.30	활하중 재하시
CASE 3	"	1.30			1.30		
CASE 4	"	1.00	1.00		1.00	1.00	사용모멘트

(5) 계산 적용 모멘트 산정

CASE	단위	M_D	M_{L+i}	M_{C0}	M_W	M_{CF}	소 계
CASE 1	kN·m	4.035	59.925			0.000	63.960
CASE 2	"	4.035	36.234			0.000	40.269
CASE 3	"	4.035			0.000		4.035
최대 계수 모멘트							63.960
CASE 4	"	3.104	27.872		0.000	0.000	30.976
최대 사용 모멘트							30.976

(6) 캔틸레버판 단부 설계

(도.설.해 4.7.6.4)

- ① 배치범위 : 도로교설계기준 강교판 바닥판에 배치 범위가 명시되지 않아 콘크리트판 4.7.5.7을 적용하여 캔틸레버판의 고정하중에 대한 지간을 배치 범위로 적용한다.

(7) 바닥판의 최소 두께 (연속판)

(콘.설.해 3.6.1.5)

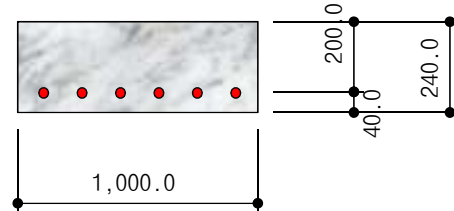
$$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = (30 \times 2.080 + 130) = 192.4 \text{ mm} < 220.0 \text{ mm} \therefore h_{req} = 220.0 \text{ mm}$$

$$h_{use} = 240.0 \text{ mm} > h_{req} = 220.0 \text{ mm} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

(8) 단 면 검 토

① 중앙부 (내측)

$f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$	$f_y = 400.0 \text{ MPa}$
$M_u = 64.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$	$M = 31.0 \text{ kN}\cdot\text{m}$
$b = 1,000.0 \text{ mm}$	$h = 240.0 \text{ mm}$
$\beta = 0.85$	$d' = 40.0 \text{ mm}$
$\phi_f = 0.85$	$d = 200.0 \text{ mm}$



■ 강도 감소계수 (ϕ_f) 산정

(콘.설.해 6.2.2)

$$T = A_s \times f_y = 1,324.0 \times 400.0 = 529,600.0$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 0.85 \times 27.0 \times a \times 1,000.0 = 22,950.0 a$$

$$T = C \text{ 이므로, } a = 23.076 \text{ mm}$$

$$c = 23.076 / \beta = 23.076 / 0.85 = 27.149 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 400.0 / 200,000.0 = 0.0020$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times (d_t - c) / c = 0.003 \times (200.0 - 27.149) / 27.149 = 0.0191$$

$$\epsilon_t = 0.0191 \geq 0.0050 \text{ 이므로 인장지배 단면이며, } \phi_f = 0.85 \text{를 적용한다.}$$

■ 필요 철근량 산정

$$a = A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 0.017429 A_s \quad \text{----- ①}$$

$$M_u = \phi_f \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = 68,000.0 A_s - 170.0 A_s \cdot a \quad \text{----- ②}$$

식①을 식②에 대입하여 이차방정식으로 A_s 를 구한다.

$$63,960,249.6 = -2.962963 A_s^2 + 68,000.0 A_s$$

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 982.668 \text{ mm}^2$$

■ 사용 철근량 산정

$$\therefore A_{s \text{ use}} = \begin{array}{l} \text{H } 16 @ 300.0 \\ \text{H } 16 @ 300.0 \end{array} = \begin{array}{l} 662.0 \text{ mm}^2 \text{ (1Cycle)} \\ 662.0 \text{ mm}^2 \text{ (2Cycle)} \end{array}$$

$$\Sigma = 1,324.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.347] \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

■ 철근량 검토

$$A_{s \text{ min}} = 1.4 / f_y \times b \times d = 700.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 6.3.2})$$

$$= 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d = 649.5 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 6.3.2})$$

$$= \text{수축 온도 철근량} = 480.0 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 5.7.2})$$

$$\therefore A_{s \text{ min}} = 700.0 \text{ mm}^2$$

$$A_{s \text{ max}} = 0.714 \times \rho_b \times b \times d = 4,178.5 \text{ mm}^2 \quad (\text{콘.설.해 6.2.2})$$

$$\therefore A_{s \text{ max}} \geq A_{s \text{ use}} \geq A_{s \text{ min}} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

▪ 휨에 대한 검토

$$\begin{aligned} a &= A_s \times f_y / (\beta \times f_{ck} \times b) = 23.076 \text{ mm} \\ \Phi M_n &= 0.85 \times 1,324.0 \times 400.0 \times (200.0 - a/2) = 84.838 \text{ kN}\cdot\text{m} \\ \therefore \Phi M_n &\geq Mu \quad [\text{사용률} = 1.326] \quad \dots\dots \text{O.K !!} \end{aligned}$$

▪ 배력 철근량 산정

(도.설.해 3.6.1.4)

$$\begin{aligned} \text{백분율} &= 120 / \sqrt{L} = 120 / \sqrt{2.080} = 83.205 \% \geq 67.0 \% \\ A_s &= 982.668 \times 67.000 \% = 658.387 \text{ mm}^2 \\ \text{수축}\cdot\text{온도철근량} &= 0.002 \cdot b \cdot h = 480.000 \text{ mm}^2 \\ \therefore A_{s \text{ req}} &= 658.387 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

▪ 배력철근 사용 철근량 산정

$$\begin{aligned} \therefore A_{s \text{ use}} &= \text{H } 16 @ 200.0 = 993.0 \text{ mm}^2 \\ \Sigma &= 993.0 \text{ mm}^2 \quad [\text{사용률} = 1.508] \quad \dots\dots \text{O.K !!} \end{aligned}$$

② 사용성 검토

탄성계수비 n	$= E_s / E_c$	$= 7.0$	
$A_{s \text{ use}}$	$= \text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	(개수 = 6.7 ea)
	$\text{H } 16 @ 300.0$	$= 662.0 \text{ mm}^2$	
	Σ	$= 1,324.0 \text{ mm}^2$	
철근비 ρ	$= A_s / bd$		
	$= 1,324.0 / (1,000.0 \times 200.0)$	$= 0.00662$	
중립축 k	$= -n\rho + \sqrt{(2n\rho + (n\rho)^2)}$		
	$= -0.0463 + \sqrt{(2 \times 0.0463 + 0.0463^2)}$	$= 0.26160$	
중립축 거리 x	$= k \times d = 0.26160 \times 200.0$	$= 52.320$	
j	$= 1 - k / 3 = 1 - 0.262 / 3$	$= 0.913$	
철근 응력 f_s	$= M / (A_s \times j \times d)$		
	$= 30.98 / (1,324.0 \times 0.913 \times 200.0)$	$= 128.155 \text{ MPa}$	

▪ 균열 검토

(콘.설.해 4.2)

$$\begin{aligned} \text{최소 두께 } c_c &= 40.0 - 15.9 / 2 = 32.050 \text{ mm} \\ \text{인장연단 폭 } s_1 &= 375 \times (210 / f_s) - 2.5 \cdot c_c \quad (\text{콘.설.해 6.3.3}) \\ &= 375 \times (210 / 128.155) - 2.5 \times 32.050 = 534.367 \text{ mm} \\ \text{인장연단 폭 } s_2 &= 300 \times (210 / f_s) \\ &= 300 \times (210 / 128.155) = 491.593 \text{ mm} \\ \text{Min} &= 491.593 \text{ mm} \\ \therefore s &= 1,000.0 / 6.7\text{ea} = 150.0 \text{ mm} \leq s_a = 491.6 \text{ mm} \quad \dots\dots \text{O.K !!} \end{aligned}$$

3.5 내부지점부 주장을검토

(도.설.해 3.9.2.3)

- 인장력을 받는 바닥판에서 콘크리트의 단면을 무시하고 설계를 하는 경우에는 바닥판 콘크리트 단면적에 1.5% 이상의 교축방향 철근을 배근하여야 한다. 이경우 교축방향 철근의 총주변장의 바닥판 콘크리트의 단면적에 대한 비, 즉 주장은 0.0035 mm/mm^2 이상으로 하면 좋다. 또한 바닥판 작용에 대처하기 위하여 배치된 철근을 교축방향 철근의 일부로 볼 수 있다.
- 철근은 고정하중에 의한 휨모멘트의 부호가 변하는 점을 지나서 바닥판 콘크리트의 압축측에 정착한다.

- 필요 철근량 산정

$$A_c = 1,000.0 \times 240.0 = 240,000.0 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_{s \text{ req}} = 240,000.0 \times 1.5\% = 3,600.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 철근량

$$\begin{array}{rcll} \therefore A_{s \text{ use}} = & \text{H } 19 @ 100.0 & = & 2,865.0 \text{ mm}^2 \\ & \text{H } 19 @ 100.0 & = & 2,865.0 \text{ mm}^2 \\ \hline \Sigma & = & 5,730.0 \text{ mm}^2 & [\text{사용률} = 1.592] \dots\dots \text{O.K !!} \end{array}$$

- 주장을 검토

$$\text{사용철근 개수} : 10.000 + 10.000 = 20.00 \text{ EA/m}$$

$$\text{주 장 른} : \mu = \frac{\pi \times D \times n + \pi \times D \times n}{1000 \times t_m} > 0.0035 \text{ mm/mm}^2$$

여기서, D : 철근 직경

n : 철근 개수

1,000 : 단위 폭 (mm)

t_m : 중간 슬래브 두께 (mm)

$$\mu = \frac{\pi \times 19.10 \times 10.00 + \pi \times 19.10 \times 10.00}{1,000.00 \times 240.00} = 0.0050 \text{ mm/mm}^2$$

$$\mu = 0.0050 \text{ mm/mm}^2 > \mu_a = 0.0035 \text{ mm/mm}^2 \quad \text{O.K.}$$

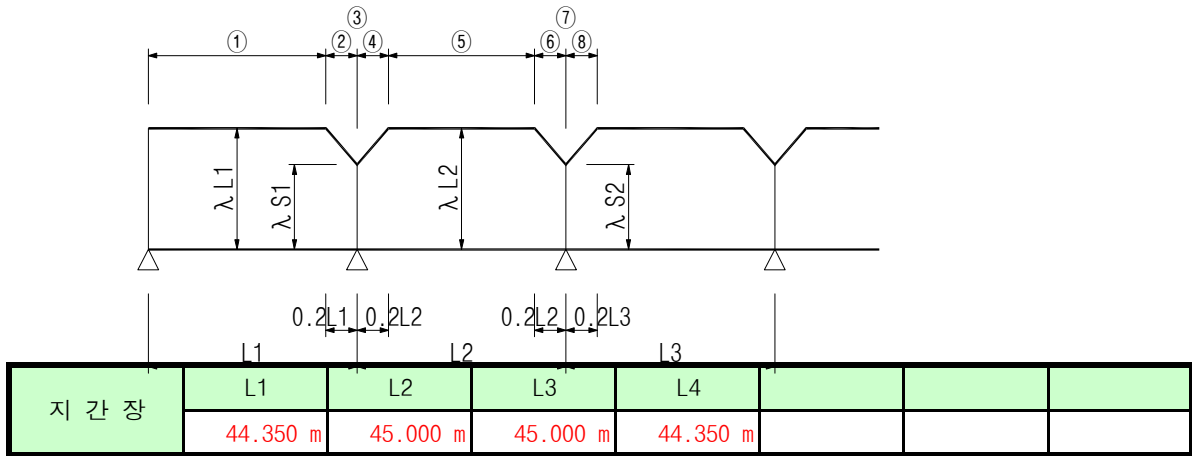
4. 주형의 설계

4.1 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭의 고려하여 단면응력을 검토 하도록 하며, 해석 시에는 전단면을 적용한다.

1) 플랜지 유효폭

(도.설.해 3.8.3.4)



▪ 등가 지간장 산정식

- 연속거더

- ① λ_{L1} (지간 중앙부) : $l = 0.8 \cdot L_1$
- ⑤ λ_{L2} (지간 중앙부) : $l = 0.6 \cdot L_2$
- ③ λ_{S1} (중간지점) : $l = 0.2 \cdot (L_1 + L_2)$
- ⑦ λ_{S2} (중간지점) : $l = 0.2 \cdot (L_2 + L_3)$

②④⑥⑧ 양단의 유효폭을 사용하여 직선적으로 변화한다.

▪ 유효폭 산정식

(도.설.해 3.8.3.4)

- 지간 중앙부 유효폭 산정식

- $b/l < 0.05$, $\lambda = b$
- $0.05 < b/l < 0.30$, $\lambda = \{1.1 - 2(b/l)\} \times b$
- $b/l > 0.30$, $\lambda = 0.15 \times l$

- 지점부 유효폭 산정식

- $b/l < 0.02$, $\lambda = b$
- $0.02 < b/l < 0.30$, $\lambda = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \times b$
- $b/l > 0.30$, $\lambda = 0.15 \times l$

- 플랜지 돌출폭

$b =$ 각 위치별 상부플랜지 폭 / 2 를 적용. 단, 상부플랜지 개구부의 경우 $b = (\text{상부플랜지 폭} - b_e)$ 를 적

- 플랜지 유효폭

$B = 2 \times ((\lambda L \text{ or } \lambda S) + b_e)$. 단, 상부플랜지 개구부의 경우 $B = (\lambda L \text{ or } \lambda S) + b_e$

[G1]

(단위 : m)

위치	단면 번호	능가 지간장 (l)	복부간격(2b)		플랜지 돌출폭(be)		b / l		λ_L or λ_S		강재 플랜지 유효폭	
			상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부
C1(A1)	1	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C2	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
0.20L	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C3	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C4	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C5	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C6	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C7	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C8	4	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
0.20L	4	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C9	5	직선변화							1.130	1.130	2.499	2.499
C10(P1)	6	17.870	2.400	2.400	0.120	0.120	0.067	0.067	1.038	1.038	2.317	2.317
C11	5	직선변화							1.128	1.128	2.496	2.496
0.20L	5	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C12	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C13	7	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C14	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C15	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C16	2	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C17	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
0.20L	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C18	8	직선변화							1.129	1.129	2.498	2.498
C19(P2)	9	18.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.067	0.067	1.040	1.040	2.320	2.320
C20	8	직선변화							1.129	1.129	2.498	2.498
0.20L	8	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C21	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C22	2	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C23	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C24	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C25	7	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C26	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
0.20L	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C27	5	직선변화							1.128	1.128	2.496	2.496
C28(P3)	6	17.870	2.400	2.400	0.120	0.120	0.067	0.067	1.038	1.038	2.317	2.317
C29	5	직선변화							1.130	1.130	2.499	2.499
0.20L	5	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C30	4	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C31	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C32	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C33	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640

위치	단면 번호	등가 지간장 (l)	복부간격(2b)		플랜지 돌출폭(be)		b / l		λ_L or λ_S		강재 플랜지 유효폭	
			상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부
C34	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C35	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C36	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C37(A2)	1	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640

[G2]

(단위 : m)

위치	단면 번호	능가 지간장 (l)	복부간격(2b)		플랜지 돌출폭(be)		b / l		λ_L or λ_S		강재 플랜지 유효폭	
			상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부
C1(A1)	1	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C2	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
0.20L	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C3	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C4	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C5	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C6	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C7	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C8	4	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
0.20L	4	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C9	5	직선변화							1.130	1.130	2.499	2.499
C10(P1)	6	17.870	2.400	2.400	0.120	0.120	0.067	0.067	1.038	1.038	2.317	2.317
C11	5	직선변화							1.128	1.128	2.496	2.496
0.20L	5	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C12	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C13	7	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C14	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C15	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C16	2	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C17	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
0.20L	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C18	8	직선변화							1.129	1.129	2.498	2.498
C19(P2)	9	18.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.067	0.067	1.040	1.040	2.320	2.320
C20	8	직선변화							1.129	1.129	2.498	2.498
0.20L	8	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C21	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C22	2	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C23	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C24	3	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C25	7	27.000	0.400	2.400	0.120	0.120	0.010	0.044	0.280	1.200	0.400	2.640
C26	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
0.20L	4	27.000	2.400	2.400	0.120	0.120	0.044	0.044	1.200	1.200	2.640	2.640
C27	5	직선변화							1.128	1.128	2.496	2.496
C28(P3)	6	17.870	2.400	2.400	0.120	0.120	0.067	0.067	1.038	1.038	2.317	2.317
C29	5	직선변화							1.130	1.130	2.499	2.499
0.20L	5	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C30	4	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C31	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C32	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C33	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640

위치	단면 번호	등가 지간장 (l)	복부간격(2b)		플랜지 돌출폭(be)		b / l		λ_L or λ_S		강재 플랜지 유효폭	
			상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부	상 부	하 부
C34	3	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640
C35	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C36	2	35.480	0.400	2.400	0.120	0.120	0.008	0.034	0.280	1.200	0.400	2.640
C37(A2)	1	35.480	2.400	2.400	0.120	0.120	0.034	0.034	1.200	1.200	2.640	2.640

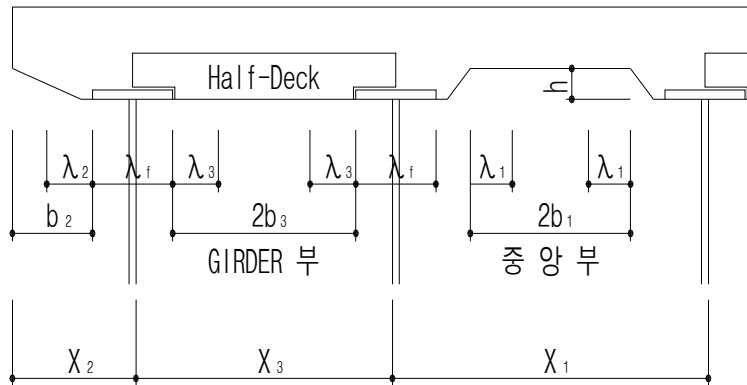
2) 바닥판 유효폭

(도.설.해 3.8.3.4, 3.9.2.4)

바닥판의 유효폭의 계산은 플랜지의 유효폭 계산 규정에 의하고, λ 와 b 는 아래 그림과 같이 한다.

이 경우 수평에 대한 현치의 경사는 도.설.해 3.6.1.10의 규정에 의하지만 계산상에는 45° 로 취급한다.

(1) 좌측 캔틸레버부 (G1)



X_1 : 인접 거더의 복부 사이의 간격
 X_2 : 외측거더복부에서 캔틸레버 끝단거리
 X_3 : 거더 내측 거리
 h : 현치 높이
 b_e : 복부판내측에서 상부플랜지 끝단거리
 $2b_1 = X_1 - 2(b_e + h)$
 $b_2 = X_2 - b_e$
 $2b_3 = X_3 - 2b_e$

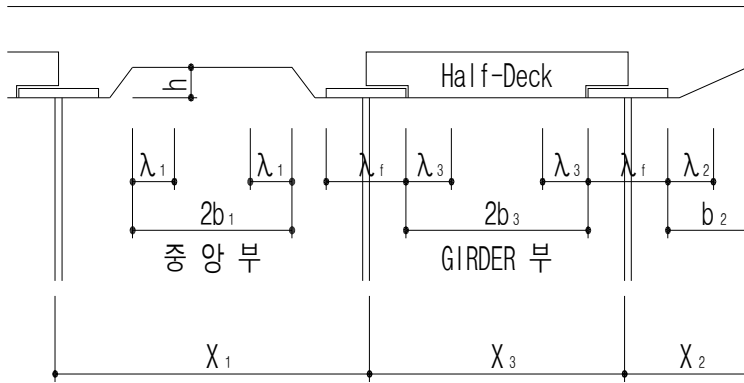
[G1]

(단위 : m)

위치	단면 번호	등가 지간 장	플랜 지 유효	현차 높이 (h)	X_1	X_2	X_3	플랜 지 돌출	b_1 / l	b_2 / l	b_3 / l	λ_1	λ_2	λ_3	B
C1(A1)	1	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C2	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
0.20L	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C3	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C4	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C5	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C6	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C7	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C8	4	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
0.20L	4	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C9	5	직선변화										0.892	0.847	0.000	4.288
C10(P1)	6	17.870	2.317	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.052	0.049	0.000	0.842	0.804	0.000	4.013
C11	5	직선변화										0.891	0.846	0.000	4.284
0.20L	5	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C12	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C13	7	27.000	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.034	0.033	0.040	0.930	0.880	0.920	4.500
C14	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C15	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C16	2	27.000	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.034	0.033	0.040	0.930	0.880	0.920	4.500
C17	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
0.20L	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C18	8	직선변화										0.891	0.846	0.000	4.286
C19(P2)	9	18.000	2.320	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.052	0.049	0.000	0.843	0.805	0.000	4.018
C20	8	직선변화										0.891	0.846	0.000	4.286
0.20L	8	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C21	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C22	2	27.000	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.034	0.033	0.040	0.930	0.880	0.920	4.500
C23	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C24	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C25	7	27.000	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.034	0.033	0.040	0.930	0.880	0.920	4.500
C26	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
0.20L	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.034	0.033	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C27	5	직선변화										0.891	0.846	0.000	4.284
C28(P3)	6	17.870	2.317	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.052	0.049	0.000	0.842	0.804	0.000	4.013
C29	5	직선변화										0.892	0.847	0.000	4.288
0.20L	5	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C30	4	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C31	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C32	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500
C33	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C34	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500

위치	단면 번호	등가 지간 장	플랜 지 유효	현차 높이 (h)	X_1	X_2	X_3	플랜 지 돌출	b_1 / l	b_2 / l	b_3 / l	λ_1	λ_2	λ_3	B
C35	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C36	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.000	2.400	0.120	0.026	0.025	0.030	0.930	0.880	0.920	4.500
C37(A2)	1	35.480	2.640	0.050	2.200	1.000	0.000	0.120	0.026	0.025	0.000	0.930	0.880	0.000	4.500

(2) 우측 캔틸레버부 (G2)



X_1 : 인접 거더의 복부 사이의 간격

X_2 : 외측거더복부에서 캔틸레버 끝단거리

X_3 : 거더 내측 거리

h : 현치 높이

b_e : 복부판내측에서 상부플랜지 끝단거리

$$2b_1 = X_1 - 2(b_e + h)$$

$$b_2 = X_2 - b_e$$

$$2b_3 = X_3 - 2b_e$$

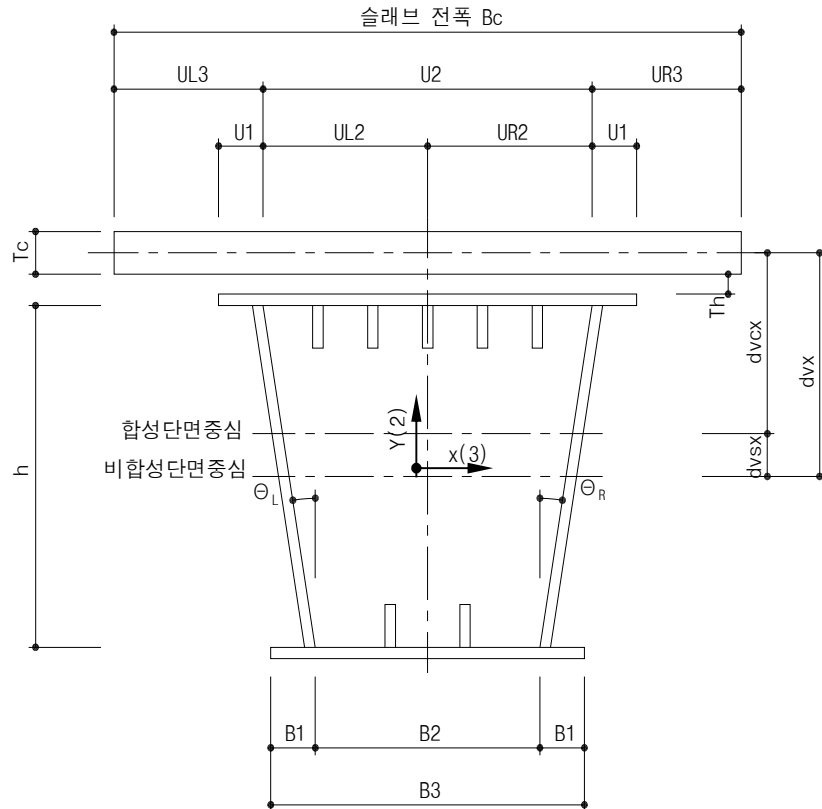
[G2]

(단위 : m)

위치	단면 번호	등가 지간 장	플랜 지 유효	현차 높이 (h)	X_1	X_2	X_3	플랜 지 돌출	b_1 / l	b_2 / l	b_3 / l	λ_1	λ_2	λ_3	B
C1(A1)	1	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C2	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
0.20L	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C3	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C4	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C5	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C6	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C7	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C8	4	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
0.20L	4	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C9	5	직선변화										0.892	0.998	0.000	4.439
C10(P1)	6	17.870	2.317	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.052	0.059	0.000	0.842	0.932	0.000	4.141
C11	5	직선변화										0.891	0.998	0.000	4.435
0.20L	5	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C12	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C13	7	27.000	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.034	0.039	0.040	0.930	1.050	0.920	4.670
C14	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C15	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C16	2	27.000	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.034	0.039	0.040	0.930	1.050	0.920	4.670
C17	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
0.20L	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C18	8	직선변화										0.891	0.998	0.000	4.437
C19(P2)	9	18.000	2.320	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.052	0.058	0.000	0.843	0.933	0.000	4.146
C20	8	직선변화										0.891	0.998	0.000	4.437
0.20L	8	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C21	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C22	2	27.000	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.034	0.039	0.040	0.930	1.050	0.920	4.670
C23	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C24	3	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C25	7	27.000	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.034	0.039	0.040	0.930	1.050	0.920	4.670
C26	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
0.20L	4	27.000	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.034	0.039	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C27	5	직선변화										0.891	0.998	0.000	4.435
C28(P3)	6	17.870	2.317	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.052	0.059	0.000	0.842	0.932	0.000	4.141
C29	5	직선변화										0.892	0.998	0.000	4.439
0.20L	5	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C30	4	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C31	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C32	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670
C33	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C34	3	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670

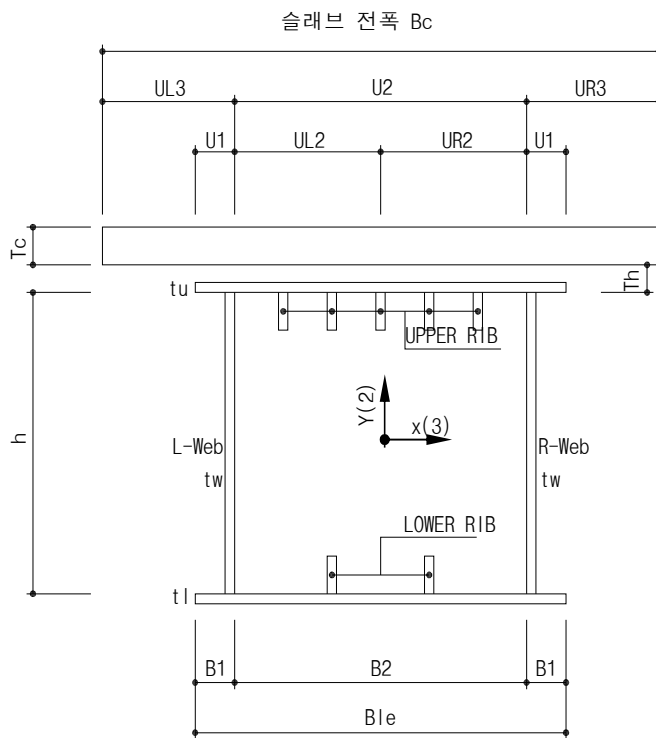
위치	단면 번호	등가 지간 장	플랜 지 유효	현차 높이 (h)	X_1	X_2	X_3	플랜 지 돌출	b_1 / l	b_2 / l	b_3 / l	λ_1	λ_2	λ_3	B
C35	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C36	2	35.480	0.400	0.050	2.200	1.170	2.400	0.120	0.026	0.030	0.030	0.930	1.050	0.920	4.670
C37(A2)	1	35.480	2.640	0.050	2.200	1.170	0.000	0.120	0.026	0.030	0.000	0.930	1.050	0.000	4.670

4.2 단 면 가 정(합성전)



주형의 탄성변형 및 부정정력을 계산하는 경우에는 정부모멘트에 관계없이 바닥판 콘크리트의 합성작용을 고려한다. (도.설 3.9.1.2)

B_c	: 바닥판 콘크리트의 폭
B_h	: Half-deck 콘크리트의 폭
T_c	: 바닥판 콘크리트의 두께
T_{c1}	: Half-deck 콘크리트의 두께
T_h	: 바닥판 콘크리트의 현치 높이
N	: 강재와 콘크리트의 탄성계수비 ($N = E_s / E_c$)
A_c	: 바닥판 콘크리트의 단면적
A_{ch}	: Half-deck 콘크리트의 단면적
A_v	: 합성후 (강재 + Half-Deck + 바닥판 콘크리트)의 환산 단면적
A_{vh}	: 합성전 (강재 + Half-deck 콘크리트)의 환산 단면적
$I_{cx}(y)$	: 2축(3축) 방향 바닥판 콘크리트의 단면 2차 모멘트
$I_{cxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 Half-deck 콘크리트의 단면 2차 모멘트
$d_{vx}(y)$	: 2축(3축) 방향 강재단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
$d_{vxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 강재단면 도심에서 Half-deck 도심까지의 거리
$d_{vcx}(y)$	: 2축(3축) 방향 합성후 합성단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
$d_{vcxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 합성전 합성단면 도심에서 Half-deck 도심까지의 거리
$d_{vsx}(y)$	: 2축(3축) 방향 합성단면 도심에서 강재단면 도심까지의 거리 (합성전 및 합성후 단면에서의 도심축 이동량)
$d_{vsxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 합성단면 도심에서 강재단면 도심까지의 거리 (합성전 및 2차 합성후 단면에서의 도심축 이동량)
I_{33}	: 합성전 강재단면의 3축 방향(종방향) 단면2차 모멘트
I_{22}	: 합성전 강재단면의 2축 방향(횡방향) 단면2차 모멘트
I_{v33}	: 합성후 단면의 3축 방향(종방향) 단면2차 모멘트
I_{v33h}	: 합성전 단면의 3축 방향(종방향) 단면2차 모멘트
I_{v22}	: 합성후 단면의 2축 방향(횡방향) 단면2차 모멘트
I_{v22h}	: 합성전 단면의 2축 방향(횡방향) 단면2차 모멘트
Θ_L	: 좌측 복부판과 연직선이 이루는 각도
Θ_R	: 우측 복부판과 연직선이 이루는 각도



Bc = 4,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

U2 = 2,400.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

U3 = 0.0 mm

UL3 = 1,000.0 mm

UR3 = 1,100.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

B3 = 2,640.0 mm

Tc = 440.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,600.0 mm

n = 7.0

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	805.0	2.125E+07	1.711E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	725.0	6.525E+06	4.731E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-725.0	-2.610E+06	1.892E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-806.0	-2.553E+07	2.058E+10	3.802E+05
합계		109,080.0	-	-3.671E+05	4.431E+10	8.216E+09

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	0.0	0.000E+00	2.880E+09	1.080E+05
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-1,206.0	-2.316E+07	2.793E+10	2.304E+05
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	1,206.0	2.316E+07	2.793E+10	2.304E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		109,080.0	-	0.000E+00	5.931E+10	3.373E+10

① 합성전 단면

$$I_x' = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 44,311,203,480.0 + 8,216,225,160.0 = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -367,080.0 / 109,080.0 = -3.4 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 52,527,428,640.0 - 109,080.0 \times -3.4^2 = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$I_y' = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 59,306,342,400.0 + 33,733,476,000.0 = 9.304\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$\delta_x = \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 109,080.0 = 0.0 \text{ mm}$$

$$I_{22} = I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 93,039,818,400.0 - 109,080.0 \times 0.0^2 = 9.304\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$Bu = U^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$H = h + tu/2 + tl/2 = 1,600.0 + 10.0 / 2 + 12.0 / 2 = 1,611.0 \text{ mm}$$

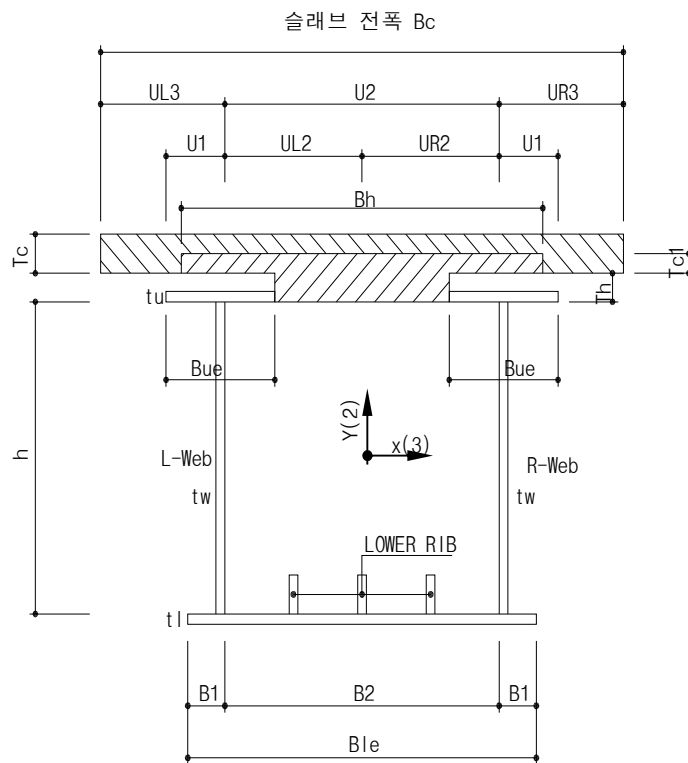
$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,611.0 = 3.886\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 3,885,732.0^2 / \{ (1,611.0 + 1,611.0) / 12.0 + 2,412.0 / 10.0 + 2,412.0 / 12.0 \} = 8.498\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

◎ FRAME SECTION NAME 2 < G1 >



Bc =	4,500.0	mm
Bh =	2,500.0	mm
U1 =	120.0	mm
U2 =	2,400.0	mm
UL2 =	1,200.0	mm
UR2 =	1,200.0	mm
U3 =	400.0	mm
UL3 =	1,000.0	mm
UR3 =	1,100.0	mm
B1 =	120.0	mm
B2 =	2,400.0	mm
B3 =	2,640.0	mm
Tc =	240.0	mm
Tc1 =	90.0	mm
Th =	50.0	mm
h =	1,800.0	mm
n =	7.0	
n _h =	6.2	
Θ _L =	0.000	°
Θ _R =	0.000	°

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	-1,120.0	-4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
R-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	1,120.0	4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		86,480.0	-	0.000E+00	7.344E+10	1.851E+10

① 합성전 단면 (Steel + Half-Deck)

$$\begin{aligned}
 Ach &= (Bh \times Tc1) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th \\
 &= (2,500.0 \times 90.0) + \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\} \times 50.0 = 3.170E+05 \text{ mm}^2 \\
 Avh &= \sum As + Ach / n_h = 86,480.0 + 317,000.0 / 6.2 = 1.376E+05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- X(3)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_x' &= \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 35,006,534,480.0 + 11,671,196,826.7 = 4.668E+10 \text{ mm}^4 \\
 \delta_y &= \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.5 \text{ mm} \\
 I_{33} &= I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 46,677,731,306.7 - 86,480.0 \times (-282.5)^2 = 3.978E+10 \text{ mm}^4 \\
 I_{cxh} &= (Bh \times Tc1^3 / 12) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th^3 / 12 \\
 &\quad + (Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2)^2 + \{U2-(U3-U1) \times 2\} \times Th \times (Th/2)^2 \\
 &\quad - Ach \times (d_{vxh} - h/2 + \delta_y)^2 \\
 &= (2,500.0 \times 90.0^3 / 12) + \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\} \times 50.0^3 / 12 \\
 &\quad + (2,400.0 \times 90.0) \times (50.0+90.0/2)^2 + \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\} \times 50.0 \times (50.0/2)^2 \\
 &\quad - 317,000.0 \times (1,257.2 - 1,800.0/2 + -282.5)^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4 \\
 d_{vxh} &= h/2 - \delta_y + [(Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2) + \{U2-(U3-U1) \times 2\} \times (Th^2/2)] / Ach \\
 &= 1,800.0/2 - (-282.5) + [(2,500.0 \times 90.0) \times (50.0 + 90.0/2) + \\
 &\quad \{2,400.0 - (400.0 - 120.0) \times 2\} \times (50.0^2 / 2)] / 317,000.0 = 1,257.2 \text{ mm} \\
 d_{vcxh} &= d_{vxh} \cdot \sum As / Avh = 1,257.2 \times 86,480.0 / 137,609.0 = 790.1 \text{ mm} \\
 d_{vsxh} &= d_{vxh} - d_{vcxh} = 1,257.2 - 790.1 = 467.1 \text{ mm} \\
 I_{v33h} &= I_{33} + I_{cxh} / n_h + \sum As \cdot d_{vsxh}^2 + Ach / n_h \cdot d_{vcxh}^2 \\
 &= 39,775,250,581.3 + 491,010,120.9 / 6.2 + 86,480.0 \times 467.1^2 \\
 &\quad + 317,000.0 / 6.2 \times 790.1^2 = 9.064E+10 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_y' &= \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 73,442,835,200.0 + 18,506,972,266.7 = 9.195E+10 \text{ mm}^4 \\
 \delta_x &= \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 86,480.0 = 0.0 \text{ mm} \\
 I_{22} &= I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 91,949,807,466.7 - 86,480.0 \times 0.0^2 = 9.195E+10 \text{ mm}^4 \\
 I_{cyh} &= (Tc1 \times Bh^3 / 12) + Th \times \{U2 - (U3-U1) \times 2\}^3 / 12 \\
 &= (90.0 \times 2,500.0^3 / 12) + 50.0 \times \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\}^3 / 12 = 1.431E+11 \text{ mm}^4 \\
 d_{vyh} &= UR2 + (Bh - UL2 - UR2) / 2 - \delta_x - Bh/2 \\
 &= 1,200.0 + 50.0 - 0.0 - 2,500.0 / 2 = 0.0 \text{ mm} \\
 d_{vcyh} &= d_{vyh} \cdot \sum As / Avh = 0.0 \times 86,480.0 / 137,609.0 = 0.0 \text{ mm} \\
 d_{vsyh} &= d_{vyh} - d_{vcyh} = 0.0 - 0.0 = 0.0 \text{ mm} \\
 I_{v22h} &= I_{22} + I_{cyh} / n_h + \sum As \cdot d_{vsyh}^2 + Ach / n_h \cdot d_{vcyh}^2 \\
 &= 91,949,807,466.7 + 143,143,766,666.7 / 6.2 + 86,480.0 \times 0.0^2 \\
 &\quad + 317,000.0 / 6.2 \times 0.0^2 = 1.150E+11 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

※ 합성전 단면의 K값 산정시 Half-Deck Con'c의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\text{Half-Deck Con'c의 강도} = f_{ckh} = 50.0 \text{ MPa}$$

$$\text{강재의 전단 탄성계수} = = 7.900\text{E}+04 \text{ MPa}$$

$$\text{Half-Deck의 전단 탄성계수} = G_h = 3.290\text{E}+04 / (2 (1 + 0.167)) = 1.410\text{E}+04 \text{ MPa}$$

$$\text{Half-Deck의 환산두께} = t_{hu} = 140.0 \times 1.410\text{E}+04 / 7.900\text{E}+04 = 25.0 \text{ mm}$$

$$Bu = U2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$H = h + t_{hu}/2 + tl/2 = 1,800.0 + 25.0 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.5 \text{ mm}$$

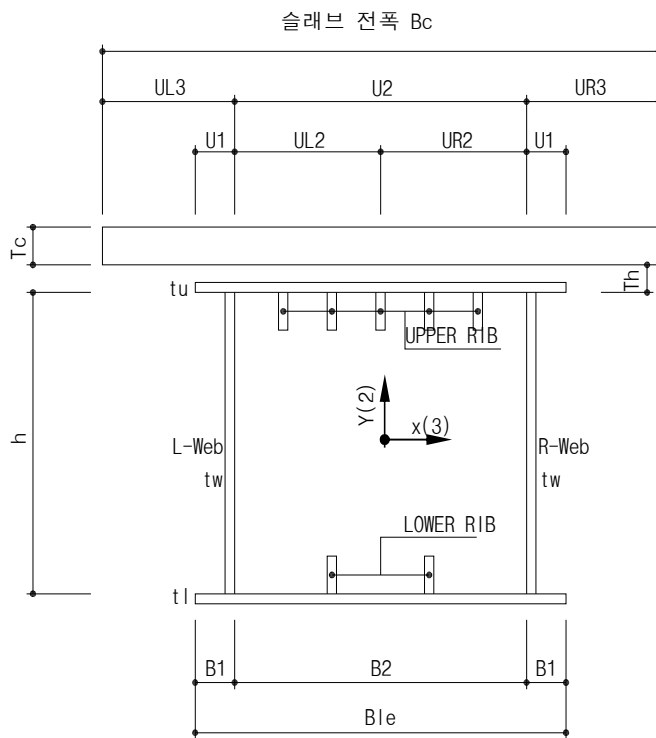
$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R)/tw + Bu/t_{hu} + Bl/tl \}$$

$$= 4 \times 4,386,208.6^2 / \{ (1,818.5 + 1,818.5) / 12.0 + 2,412.0 / 25.0$$

$$+ 2,412.0 / 12.0 \} = 1.281\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,800.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구 분	규 격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	905.0	2.389E+07	2.162E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	825.0	7.425E+06	6.126E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합 계		113,880.0	-	-3.551E+05	5.620E+10	1.169E+10

Y(2)축 방향

구 분	규 격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	0.0	0.000E+00	2.880E+09	1.080E+05
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합 계		113,880.0	-	0.000E+00	6.629E+10	3.373E+10

① 합성전 단면

$$I_x' = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 56,202,219,480.0 + 11,688,225,160.0 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.1 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 67,890,444,640.0 - 113,880.0 \times -3.1^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$I_y' = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 66,287,635,200.0 + 33,733,533,600.0 = 1.000\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_x = \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 113,880.0 = 0.0 \text{ mm}$$

$$I_{22} = I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 100,021,168,800.0 - 113,880.0 \times 0.0^2 = 1.000\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$Bu = U^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

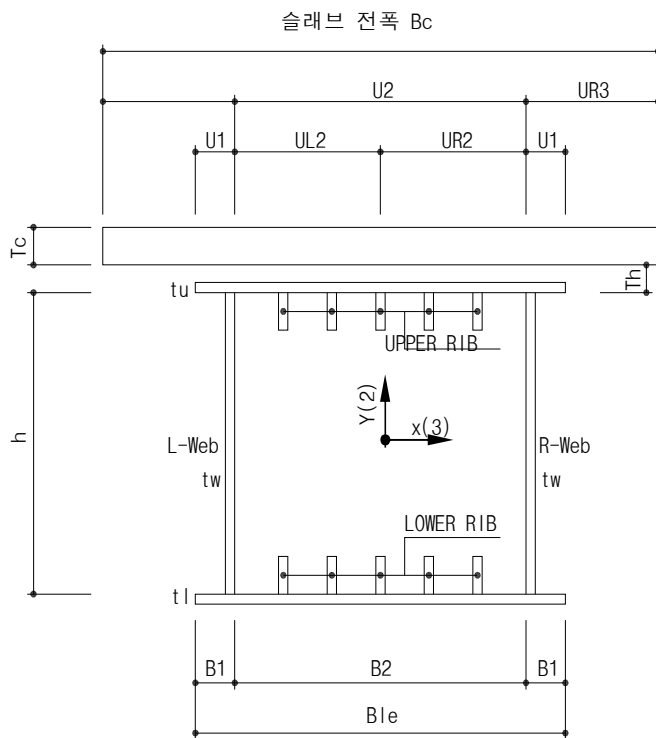
$$H = h + tu/2 + tl/2 = 1,800.0 + 10.0 / 2 + 12.0 / 2 = 1,811.0 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,811.0 = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 4,368,132.0^2 / \{ (1,811.0 + 1,811.0) / 12.0 + 2,412.0 / 10.0 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.026\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$Bc = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,836.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	923.0	2.437E+07	2.249E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	843.0	8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
L - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
R - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-843.0	-8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-924.0	-2.927E+07	2.705E+10	3.802E+05
합계		123,144.0	-	-4.905E+06	6.446E+10	1.242E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
L - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-1,206.0	-2.657E+07	3.204E+10	2.644E+05
R - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	1,206.0	2.657E+07	3.204E+10	2.644E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		123,144.0	-	0.000E+00	7.081E+10	3.373E+10

① 합성전 단면

$$I_x' = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 64,462,178,280.0 + 12,417,905,272.0 = 7.688\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,905,120.0 / 123,144.0 = -39.8 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 76,880,083,552.0 - 123,144.0 \times -39.8^2 = 7.668\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$I_y' = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 70,808,267,904.0 + 33,733,735,768.0 = 1.045\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_x = \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 123,144.0 = 0.0 \text{ mm}$$

$$I_{22} = I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 104,542,003,672.0 - 123,144.0 \times 0.0^2 = 1.045\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$Bu = U2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

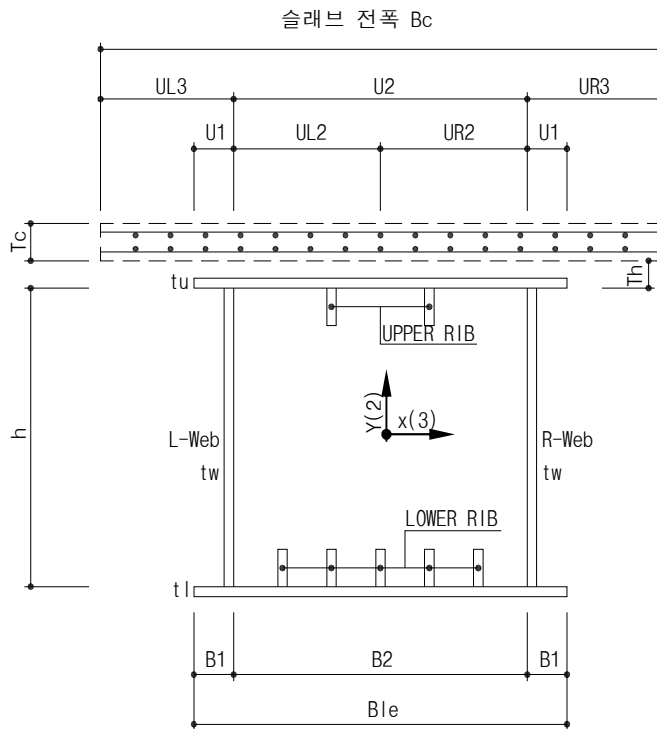
$$H = h + tu/2 + tl/2 = 1,836.0 + 10.0 / 2 + 12.0 / 2 = 1,847.0 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,847.0 = 4.455\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 4,454,964.0^2 / \{ (1,847.0 + 1,847.0) / 12.0 + 2,412.0 / 10.0 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.058\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,996.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	1,004.0	3.181E+07	3.193E+10	3.802E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	923.0	3.877E+06	3.578E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-923.0	-9.692E+06	8.945E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,006.0	-4.249E+07	4.275E+10	9.011E+05
합계		136,524.0	-	-1.650E+07	8.721E+10	1.593E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-1,206.0	-2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	1,206.0	2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		136,524.0	-	0.000E+00	7.371E+10	4.293E+10

① 합성전 단면

$$I_x' = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 87,205,703,820.0 + 15,933,035,652.0 = 1.031\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -16,501,620.0 / 136,524.0 = -120.9 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 103,138,739,472.0 - 136,524.0 \times -120.9^2 = 1.011\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$I_y' = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 73,705,302,144.0 + 42,933,550,948.0 = 1.166\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_x = \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 136,524.0 = 0.0 \text{ mm}$$

$$I_{22} = I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 116,638,853,092.0 - 136,524.0 \times 0.0^2 = 1.166\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$Bu = U2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

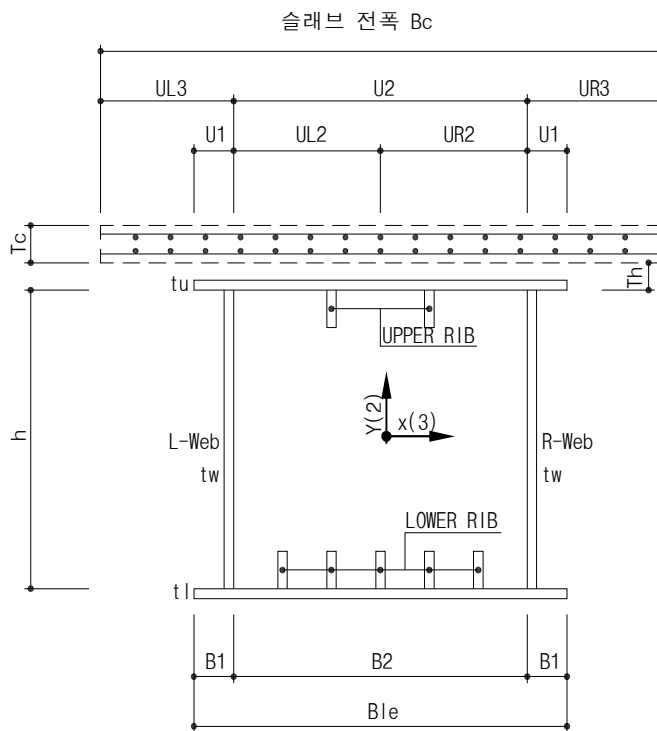
$$H = h + tu/2 + tl/2 = 1,996.0 + 12.0 / 2 + 16.0 / 2 = 2,010.0 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,010.0 = 4.848\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 4,848,120.0^2 / \{ (2,010.0 + 2,010.0) / 12.0 + 2,412.0 / 12.0 + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.369\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$Bc = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 2,200.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As · Y(mm ³)	As · Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	1,106.0	3.504E+07	3.875E+10	3.802E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	1,025.0	4.305E+06	4.413E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-1,025.0	-1.076E+07	1.103E+10	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,108.0	-4.680E+07	5.186E+10	9.011E+05
합계		141,420.0	-	-1.822E+07	1.061E+11	2.132E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As · X(mm ³)	As · X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-1,206.0	-3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	1,206.0	3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		141,420.0	-	0.000E+00	8.083E+10	4.293E+10

① 합성전 단면

$$I_x' = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 106,052,831,340.0 + 21,324,843,780.0 = 1.274\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -18,221,340.0 / 141,420.0 = -128.8 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 127,377,675,120.0 - 141,420.0 \times -128.8^2 = 1.250\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$I_y' = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 80,826,220,800.0 + 42,933,609,700.0 = 1.238\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_x = \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 141,420.0 = 0.0 \text{ mm}$$

$$I_{22} = I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 123,759,830,500.0 - 141,420.0 \times 0.0^2 = 1.238\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$Bu = U^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

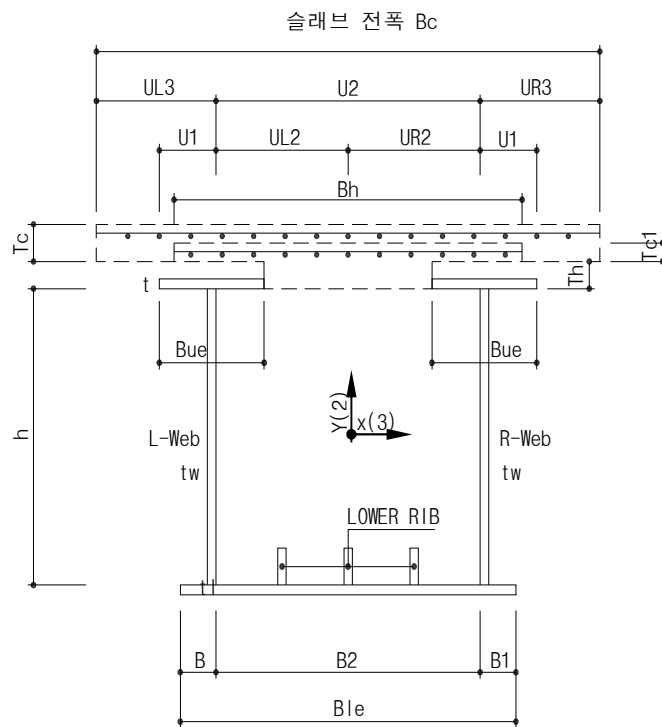
$$H = h + tu/2 + tl/2 = 2,200.0 + 12.0 / 2 + 16.0 / 2 = 2,214.0 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,214.0 = 5.340\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 5,340,168.0^2 / \{ (2,214.0 + 2,214.0) / 12.0 + 2,412.0 / 12.0 + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.583\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



Bc =	4,500.0	mm
Bh =	2,500.0	mm
U1 =	120.0	mm
U2 =	2,400.0	mm
UL2 =	1,200.0	mm
UR2 =	1,200.0	mm
U3 =	400.0	mm
UL3 =	1,000.0	mm
UR3 =	1,100.0	mm
B1 =	120.0	mm
B2 =	2,400.0	mm
B3 =	2,640.0	mm
Tc =	240.0	mm
Tc1 =	90.0	mm
Th =	50.0	mm
h =	1,800.0	mm
n =	7.0	
nh =	6.2	
θ _L =	0.000	°
θ _R =	0.000	°

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-825.0	-8.663E+06	7.147E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합계		93,380.0	-	-3.012E+07	3.970E+10	1.168E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	-1,120.0	-4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
R-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	1,120.0	4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		93,380.0	-	0.000E+00	7.623E+10	1.851E+10

① 합성전 단면 (Steel + Half-Deck)

$$\begin{aligned}
 Ach &= (Bh \times Tc1) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th \\
 &= (2,500.0 \times 90.0) + \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\} \times 50.0 = 3.170E+05 \text{ mm}^2 \\
 Avh &= \sum As + Ach / n_h = 93,380.0 + 317,000.0 / 6.2 = 1.445E+05 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

- X(3)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_x' &= \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 39,702,846,980.0 + 11,684,134,326.7 = 5.139E+10 \text{ mm}^4 \\
 \delta_y &= \sum A_s Y / \sum A_s = -30,124,580.0 / 93,380.0 = -322.6 \text{ mm} \\
 I_{33} &= I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 51,386,981,306.7 - 93,380.0 \times (-322.6)^2 = 4.167E+10 \text{ mm}^4 \\
 I_{cxh} &= (Bh \times Tc1^3 / 12) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th^3 / 12 \\
 &\quad + (Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2)^2 + \{U2-(U3-U1) \times 2\} \times Th \times (Th/2)^2 \\
 &\quad - Ach \times (d_{vxh} - h/2 + \delta_y)^2 \\
 &= (2,500.0 \times 90.0^3 / 12) + \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\} \times 50.0^3 / 12 \\
 &\quad + (2,400.0 \times 90.0) \times (50.0+90.0/2)^2 + \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\} \times 50.0 \times (50.0/2)^2 \\
 &\quad - 317,000.0 \times (1,297.3 - 1,800.0/2 + -322.6)^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4 \\
 d_{vxh} &= h/2 - \delta_y + [(Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2) + \{U2-(U3-U1) \times 2\} \times (Th^2/2)] / Ach \\
 &= 1,800.0/2 - (-322.6) + [(2,500.0 \times 90.0) \times (50.0 + 90.0/2) + \\
 &\quad \{2,400.0 - (400.0 - 120.0) \times 2\} \times (50.0^2 / 2)] / 317,000.0 = 1,297.3 \text{ mm} \\
 d_{vcxh} &= d_{vxh} \cdot \sum As / Avh = 1,297.3 \times 93,380.0 / 144,509.0 = 838.3 \text{ mm} \\
 d_{vsxh} &= d_{vxh} - d_{vcxh} = 1,297.3 - 838.3 = 459.0 \text{ mm} \\
 I_{v33h} &= I_{33} + I_{cxh} / n_h + \sum As \cdot d_{vsxh}^2 + Ach / n_h \cdot d_{vcxh}^2 \\
 &= 41,668,729,859.1 + 491,010,120.9 / 6.2 + 93,380.0 \times 459.0^2 \\
 &\quad + 317,000.0 / 6.2 \times 838.3^2 = 9.735E+10 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_y' &= \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 76,226,835,200.0 + 18,507,100,566.7 = 9.473E+10 \text{ mm}^4 \\
 \delta_x &= \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 93,380.0 = 0.0 \text{ mm} \\
 I_{22} &= I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 94,733,935,766.7 - 93,380.0 \times 0.0^2 = 9.473E+10 \text{ mm}^4 \\
 I_{cyh} &= (Tc1 \times Bh^3 / 12) + Th \times \{U2 - (U3-U1) \times 2\}^3 / 12 \\
 &= (90.0 \times 2,500.0^3 / 12) + 50.0 \times \{2,400.0 - (400.0-120.0) \times 2\}^3 / 12 = 1.431E+11 \text{ mm}^4 \\
 d_{vyh} &= UR2 + (Bh - UL2 - UR2) / 2 - \delta_x - Bh/2 \\
 &= 1,200.0 + 50.0 - 0.0 - 2,500.0 / 2 = 0.0 \text{ mm} \\
 d_{vcyh} &= d_{vyh} \cdot \sum As / Avh = 0.0 \times 93,380.0 / 144,509.0 = 0.0 \text{ mm} \\
 d_{vsyh} &= d_{vyh} - d_{vcyh} = 0.0 - 0.0 = 0.0 \text{ mm} \\
 I_{v22h} &= I_{22} + I_{cyh} / n_h + \sum As \cdot d_{vsyh}^2 + Ach / n_h \cdot d_{vcyh}^2 \\
 &= 94,733,935,766.7 + 143,143,766,666.7 / 6.2 + 93,380.0 \times 0.0^2 \\
 &\quad + 317,000.0 / 6.2 \times 0.0^2 = 1.178E+11 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

※ 합성전 단면의 K값 산정시 Half-Deck Con'c의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\text{Half-Deck Con'c의 강도} = f_{ckh} = 50.0 \text{ MPa}$$

$$\text{강재의 전단 탄성계수} = = 7.900\text{E}+04 \text{ MPa}$$

$$\text{Half-Deck의 전단 탄성계수} = G_h = 3.290\text{E}+04 / (2 (1 + 0.167)) = 1.410\text{E}+04 \text{ MPa}$$

$$\text{Half-Deck의 환산두께} = t_{hu} = 140.0 \times 1.410\text{E}+04 / 7.900\text{E}+04 = 25.0 \text{ mm}$$

$$Bu = U2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$H = h + t_{hu}/2 + tl/2 = 1,800.0 + 25.0 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.5 \text{ mm}$$

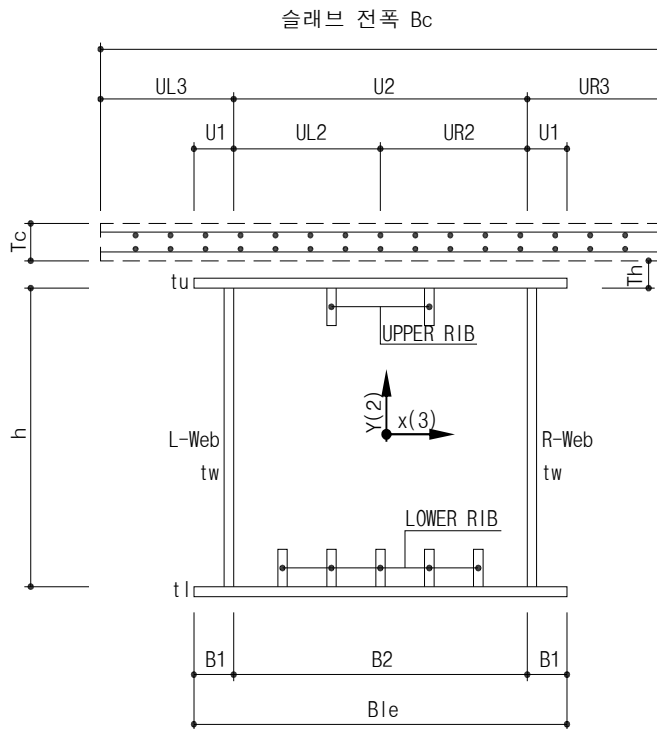
$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R)/tw + Bu/t_{hu} + Bl/tl \}$$

$$= 4 \times 4,386,208.6^2 / \{ (1,818.5 + 1,818.5) / 12.0 + 2,412.0 / 25.0$$

$$+ 2,412.0 / 12.0 \} = 1.281\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,996.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	1,003.0	2.648E+07	2.656E+10	2.200E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	923.0	3.877E+06	3.578E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-923.0	-9.692E+06	8.945E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,006.0	-4.249E+07	4.275E+10	9.011E+05
합계		131,244.0	-	-2.183E+07	8.183E+10	1.593E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	6.860E+04
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-1,206.0	-2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	1,206.0	2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		131,244.0	-	0.000E+00	7.639E+10	3.987E+10

① 합성전 단면

$$I_x' = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 81,830,394,540.0 + 15,932,875,492.0 = 9.776E+10 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -21,829,140.0 / 131,244.0 = -166.3 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 97,763,270,032.0 - 131,244.0 \times -166.3^2 = 9.413E+10 \text{ mm}^4$$

$$I_y' = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 76,393,302,144.0 + 39,866,926,948.0 = 1.163E+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_x = \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 131,244.0 = 0.0 \text{ mm}$$

$$I_{22} = I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 116,260,229,092.0 - 131,244.0 \times 0.0^2 = 1.163E+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$Bu = U^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B^2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

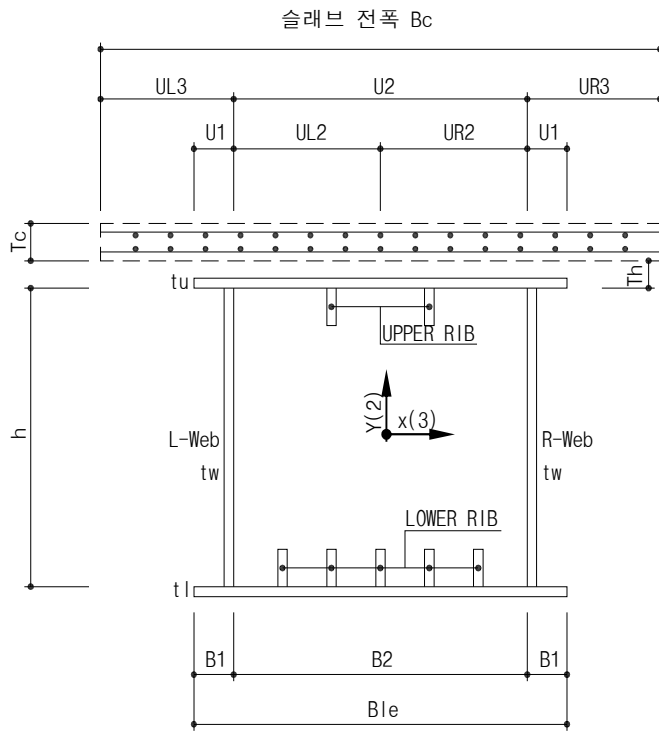
$$H = h + tu/2 + tl/2 = 1,996.0 + 10.0 / 2 + 16.0 / 2 = 2,009.0 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,009.0 = 4.846E+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 4,845,708.0^2 / \{ (2,009.0 + 2,009.0) / 12.0 + 2,412.0 / 10.0 + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.292E+11 \text{ mm}^4$$



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 2,200.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	1,105.0	2.917E+07	3.224E+10	2.200E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	1,025.0	4.305E+06	4.413E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-1,025.0	-1.076E+07	1.103E+10	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,108.0	-4.680E+07	5.186E+10	9.011E+05
합계		136,140.0	-	-2.409E+07	9.954E+10	2.132E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-1,206.0	-3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	1,206.0	3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		136,140.0	-	0.000E+00	8.083E+10	3.987E+10

① 합성전 단면

$$I_x' = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 99,535,774,860.0 + 21,324,683,620.0 = 1.209\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,087,420.0 / 136,140.0 = -176.9 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 120,860,458,480.0 - 136,140.0 \times -176.9^2 = 1.166\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$I_y' = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 80,826,220,800.0 + 39,866,985,700.0 = 1.207\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

$$\delta_x = \sum A_s X / \sum A_s = 0.0 / 136,140.0 = 0.0 \text{ mm}$$

$$I_{22} = I_y' - \sum A_s \times \delta_x^2 = 120,693,206,500.0 - 136,140.0 \times 0.0^2 = 1.207\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$Bu = U2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$Bl = B2 + tw/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

$$H = h + tu/2 + tl/2 = 2,200.0 + 10.0 / 2 + 16.0 / 2 = 2,213.0 \text{ mm}$$

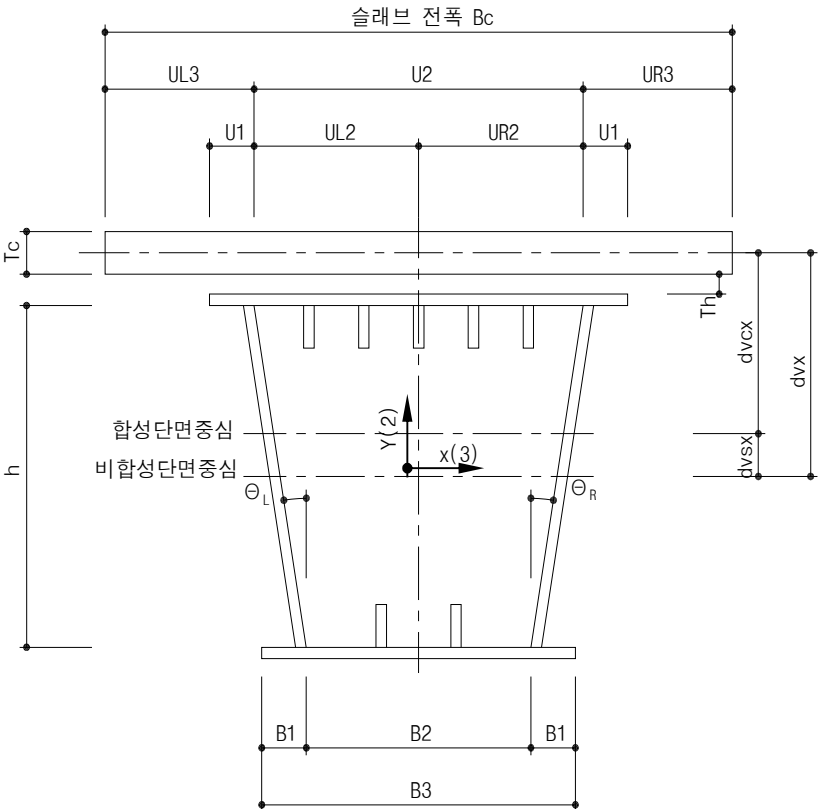
$$F = (Bu+Bl)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,213.0 = 5.338\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tu + Bl / tl \}$$

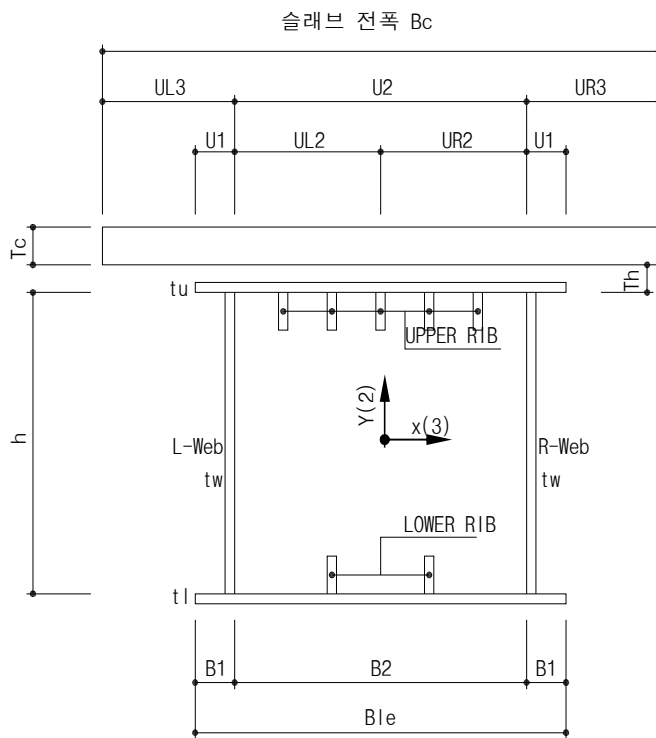
$$= 4 \times 5,337,756.0^2 / \{ (2,213.0 + 2,213.0) / 12.0 + 2,412.0 / 10.0 + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.498\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

4.2 단 면 가 정(합성후)



주형의 탄성변형 및 부정정력을 계산하는 경우에는 정부모멘트에 관계없이 바닥판 콘크리트의 합성작용을 고려한다. (도.설 3.9.1.2)

B_c	: 바닥판 콘크리트의 폭
B_h	: Half-deck 콘크리트의 폭
T_c	: 바닥판 콘크리트의 두께
T_{c1}	: Half-deck 콘크리트의 두께
T_h	: 바닥판 콘크리트의 현치 높이
N	: 강재와 콘크리트의 탄성계수비 ($N = E_s / E_c$)
A_c	: 바닥판 콘크리트의 단면적
A_{ch}	: Half-deck 콘크리트의 단면적
A_v	: 합성후 (강재 + Half-Deck + 바닥판 콘크리트)의 환산 단면적
A_{vh}	: 합성전 (강재 + Half-deck 콘크리트)의 환산 단면적
$I_{cx}(y)$	: 2축(3축) 방향 바닥판 콘크리트의 단면 2차 모멘트
$I_{cxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 Half-deck 콘크리트의 단면 2차 모멘트
$d_{vx}(y)$	: 2축(3축) 방향 강재단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
$d_{vxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 강재단면 도심에서 Half-deck 도심까지의 거리
$d_{vcx}(y)$	: 2축(3축) 방향 합성후 합성단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
$d_{vcxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 합성전 합성단면 도심에서 Half-deck 도심까지의 거리
$d_{vsx}(y)$	: 2축(3축) 방향 합성단면 도심에서 강재단면 도심까지의 거리 (합성전 및 합성후 단면에서의 도심축 이동량)
$d_{vsxh}(yh)$	: 2축(3축) 방향 합성단면 도심에서 강재단면 도심까지의 거리 (합성전 및 2차 합성후 단면에서의 도심축 이동량)
I_{33}	: 합성전 강재단면의 3축 방향(종방향) 단면2차 모멘트
I_{22}	: 합성전 강재단면의 2축 방향(횡방향) 단면2차 모멘트
I_{v33}	: 합성후 단면의 3축 방향(종방향) 단면2차 모멘트
I_{v33h}	: 합성전 단면의 3축 방향(종방향) 단면2차 모멘트
I_{v22}	: 합성후 단면의 2축 방향(횡방향) 단면2차 모멘트
I_{v22h}	: 합성전 단면의 2축 방향(횡방향) 단면2차 모멘트
Θ_L	: 좌측 복부판과 연직선이 이루는 각도
Θ_R	: 우측 복부판과 연직선이 이루는 각도



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 440.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,600.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	805.0	2.125E+07	1.711E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	725.0	6.525E+06	4.731E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-725.0	-2.610E+06	1.892E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-806.0	-2.553E+07	2.058E+10	3.802E+05
합계		109,080.0	-	-3.671E+05	4.431E+10	8.216E+09

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	0.0	0.000E+00	2.880E+09	1.080E+05
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-1,206.0	-2.316E+07	2.793E+10	2.304E+05
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	1,206.0	2.316E+07	2.793E+10	2.304E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		109,080.0	-	0.000E+00	5.931E+10	3.373E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,500.0 \times 440.0 = 1.980\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 109,080.0 + 1,980,000.0 / 7.0 = 3.919\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,500.0 \times 440.0^3 / 12 = 3.194\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,600.0 / 2 - -3.4 + 50.0 + 440.0 / 2 = 1,073.4 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,073.4 \times 109,080.0 / 391,937.1 = 298.7 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,073.4 - 298.7 = 774.6 \text{ mm}$$

$$I_{v33} = I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2$$

$$= 52,526,193,329.0 + 31,944,000,000.0 / 7.0 + 109,080.0 \times 774.6^2 + 1,980,000.0 / 7.0 \times 298.7^2 = 1.478\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 440.0 \times 4,500.0^3 / 12 = 3.341\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,100.0 - 0.0 - 4,500.0 / 2 = 50.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 50.0 \times 109,080.0 / 391,937.1 = 13.9 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 50.0 - 13.9 = 36.1 \text{ mm}$$

$$I_{v22} = I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2$$

$$= 93,039,818,400.0 + 3,341,250,000,000.0 / 7.0 + 109,080.0 \times 36.1^2 + 1,980,000.0 / 7.0 \times 13.9^2 = 5.706\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 440.0 / 7.0 = 72.9 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,600.0 + 72.9 / 2 + 12.0 / 2 = 1,642.4 \text{ mm}$$

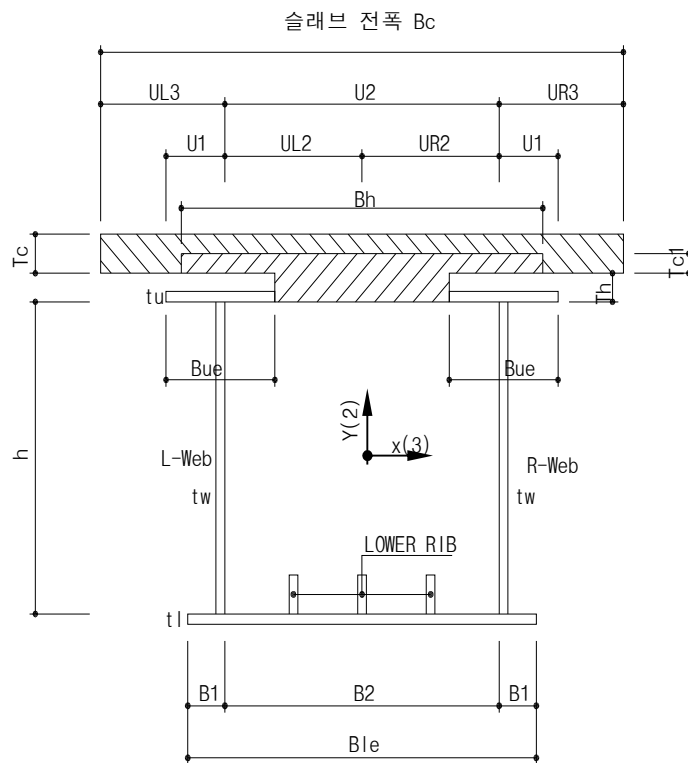
$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,642.4 = 3.962\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\int ds/t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 3,961,537.7^2 / \{ (1,642.4 + 1,642.4) / 12.0 + 2,412.0 / 72.9 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.236\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

◎ FRAME SECTION NAME 2 < G1 >



Bc =	4,500.0	mm
Bh =	2,500.0	mm
U1 =	120.0	mm
U2 =	2,400.0	mm
UL2 =	1,200.0	mm
UR2 =	1,200.0	mm
U3 =	400.0	mm
UL3 =	1,000.0	mm
UR3 =	1,100.0	mm
B1 =	120.0	mm
B2 =	2,400.0	mm
B3 =	2,640.0	mm
Tc =	240.0	mm
Tc1 =	90.0	mm
Th =	50.0	mm
h =	1,800.0	mm
n =	7.0	
n _h =	6.2	
Θ _L =	0.000	°
Θ _R =	0.000	°

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	-1,120.0	-4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
R-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	1,120.0	4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		86,480.0	-	0.000E+00	7.344E+10	1.851E+10

① 합성후 단면 (Steel + Half-Deck + Slab)

$$\begin{aligned}
 Ach &= (Bh \times Tc1) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th &= & 3.170E+05 \text{ mm}^2 \\
 Ac &= Bc \times Tc - Bh \times Tc1 = 4,500.0 \times 240.0 - 2,500.0 \times 90.0 &= & 8.550E+05 \text{ mm}^2 \\
 Av &= \sum As + Ac / n + Ach / n_h &= & 2.598E+05 \text{ mm}^2 \\
 &= 86,480.0 + 855,000.0 / 7.0 + 317,000.0 / 6.2
 \end{aligned}$$

- X(3)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_{cx} &= Bc \times Tc^3 / 12 - Bh \times Tc1^3 / 12 + Bc \times Tc \times (Tc/2)^2 \\
 &\quad - Bh \times Tc1 \times (Tc1/2)^2 - Ac \times (d_{vx}-h/2 + \delta_y - Th)^2 \\
 &= 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 - 2,500.0 \times 90.0^3 / 12 + 4,500.0 \times 240.0 \\
 &\quad \times (240.0/2)^2 - 2,500.0 \times 90.0 \times (90.0/2)^2 - 855,000.0 \\
 &\quad \times (1,372.3 - 1,800.0/2 + -282.5 - 50.0)^2 &= & 3.433E+09 \text{ mm}^4 \\
 I_{cxh} &= (Bh \times Tc1^3 / 12) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th^3 / 12 \\
 &\quad + (Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2)^2 + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times (Th/2)^2 \\
 &\quad - Ach \times (d_{vxh} - h/2 + \delta_y)^2 &= & 4.910E+08 \text{ mm}^4 \\
 d_{vx} &= h/2 - \delta_y + [Bc \times Tc \times (Th+Tc/2) - Bh \times Tc1 \times (Th+Tc1/2)] / Ac \\
 &= 1,800.0/2 - (-282.5) + [4,500.0 \times 240.0 \times (50.0 + 240.0/2) \\
 &\quad - 2,500.0 \times 90.0 \times (50.0 + 90.0/2)] / 855,000.0 &= & 1,372.3 \text{ mm} \\
 d_{vcx} &= [d_{vx} \cdot \sum As + (d_{vx} - d_{vxh}) \times Ach / n_h] / Av \\
 &= [1,372.3 \times 86,480.0 + (1,372.3 - 1,257.2) \times 317,000.0 / 6.2] / 259,751.9 &= & 479.5 \text{ mm} \\
 d_{vsx} &= d_{vx} - d_{vcx} = 1,372.3 - 479.5 &= & 892.7 \text{ mm} \\
 I_{v33} &= I_{33} + I_{cx}/n + I_{cxh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsx}^2 + Ac/n \cdot d_{vcx}^2 + A_{ch}/n_h \cdot (d_{vxh} - d_{vsx})^2 \\
 &= 39,775,250,581.3 + 3,433,440,789.5/7.0 + 491,010,120.9/6.2 + 86,480.0 \\
 &\quad \times 892.7^2 + 855,000.0/7.0 \times 479.5^2 + 317,000.0/6.2 \times (1,257.2 - 892.7)^2 &= & 1.441E+11 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_{cy} &= Tc \times Bc^3 / 12 - Tc1 \times Bh^3 / 12 + Tc \times Bc \times (UR2+UR3-Bc/2)^2 - Ac \times d_{vy}^2 \\
 &= 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 - 90.0 \times 2,500.0^3 / 12 + 240.0 \times 4,500.0 \times (1,200.0 \\
 &\quad + 1,100.0 - 4,500.0/2)^2 - 855,000.0 \times 63.2^2 &= & 1.705E+12 \text{ mm}^4 \\
 I_{cyh} &= (Tc1 \times Bh^3 / 12) + (Th+tu) \times \{U2 - (U3-U1) \times 2\}^3 / 12 &= & 1.431E+11 \text{ mm}^4 \\
 d_{vy} &= Tc \times [(UR2 + UR3)^2 - (UL2 + UL3)^2] / 2 / Ac \\
 &= 240.0 \times [(1,200.0 + 1,100.0)^2 - (1,200.0 + 1,000.0)^2] / 2 / 855,000.0 &= & 63.2 \text{ mm} \\
 d_{vcy} &= d_{vy} \cdot \sum Avh / Av = 63.2 \times 137,609.0 / 259,751.9 &= & 33.5 \text{ mm} \\
 d_{vsy} &= d_{vy} - d_{vcy} = 63.2 - 33.5 &= & 29.7 \text{ mm} \\
 I_{v22} &= I_{22} + I_{cy}/n + I_{cyh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsy}^2 + Ac/n \cdot d_{vcy}^2 + A_{ch}/n_h \cdot d_{vsy}^2 \\
 &= 91,949,807,466.7 + 1,704,601,973,684.2/7.0 + 143,143,766,666.7/6.2 + 86,480.0 \times 29.7^2 \\
 &\quad + 855,000.0 / 7.0 \times 33.5^2 + 317,000.0 / 6.2 \times 29.7^2 &= & 3.588E+11 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Half-Deck Con'c 와 SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\text{Slab Con'c의 강도} = f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\text{Slab의 전단 탄성계수} = G_c = 2.780\text{E}+04 / (2 (1 + 0.167)) = 1.192\text{E}+04 \text{ MPa}$$

Half-Deck+Slab의 환산두께

$$t_{cu} = (140.0 \times 14,100.9/79,000.0) + \{(240.0 - 90.0) \times (11,916.0/79,000.0)\} = 47.6 \text{ mm}$$

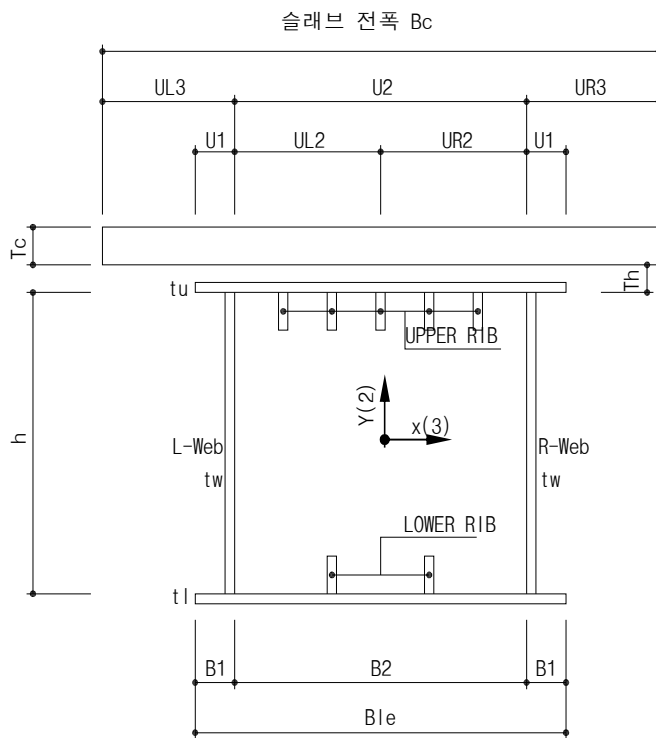
$$H = h + t_{cu}/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6 / 2 + 12.0 / 2 = 1,829.8 \text{ mm}$$

$$F = (Bu + Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,829.8 = 4.413\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu/t_{cu} + Bl/tl \}$$

$$= 4 \times 4,413,494.7^2 / \{ (1,829.8 + 1,829.8) / 12.0 + 2,412.0 / 47.6 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.400\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,800.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	905.0	2.389E+07	2.162E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	825.0	7.425E+06	6.126E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합계		113,880.0	-	-3.551E+05	5.620E+10	1.169E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	0.0	0.000E+00	2.880E+09	1.080E+05
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		113,880.0	-	0.000E+00	6.629E+10	3.373E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,500.0 \times 240.0 = 1.080\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 113,880.0 + 1,080,000.0 / 7.0 = 2.682\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.184\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,800.0 / 2 - -3.1 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,073.1 \times 113,880.0 / 268,165.7 = 455.7 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,073.1 - 455.7 = 617.4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 67,889,337,493.8 + 5,184,000,000.0 / 7.0 + 113,880.0 \times 617.4^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 455.7^2 = 1.441\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 = 1.823\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,100.0 - 0.0 - 4,500.0 / 2 = 50.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 50.0 \times 113,880.0 / 268,165.7 = 21.2 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 50.0 - 21.2 = 28.8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 100,021,168,800.0 + 1,822,500,000,000.0 / 7.0 + 113,880.0 \times 28.8^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 21.2^2 = 3.605\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

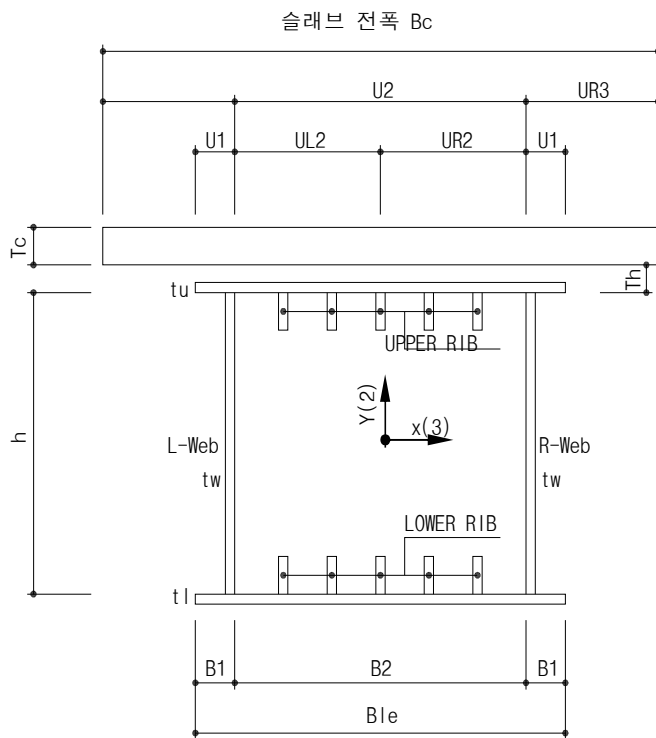
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,800.0 + 44.3 / 2 + 12.0 / 2 = 1,828.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,828.1 = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\int ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 4,409,480.6^2 / \{ (1,828.1 + 1,828.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.388\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$Bc = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,836.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구 분	규 격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	923.0	2.437E+07	2.249E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	843.0	8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
L - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
R - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-843.0	-8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-924.0	-2.927E+07	2.705E+10	3.802E+05
합 계		123,144.0	-	-4.905E+06	6.446E+10	1.242E+10

Y(2)축 방향

구 분	규 격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
L - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-1,206.0	-2.657E+07	3.204E+10	2.644E+05
R - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	1,206.0	2.657E+07	3.204E+10	2.644E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합 계		123,144.0	-	0.000E+00	7.081E+10	3.373E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,500.0 \times 240.0 = 1.080\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 123,144.0 + 1,080,000.0 / 7.0 = 2.774\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.184\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,836.0 / 2 - -39.8 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,127.8 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,127.8 \times 123,144.0 / 277,429.7 = 500.6 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,127.8 - 500.6 = 627.2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 76,684,700,892.6 + 5,184,000,000.0 / 7.0 + 123,144.0 \times 627.2^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 500.6^2 = 1.645\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 = 1.823\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,100.0 - 0.0 - 4,500.0 / 2 = 50.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 50.0 \times 123,144.0 / 277,429.7 = 22.2 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 50.0 - 22.2 = 27.8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 104,542,003,672.0 + 1,822,500,000,000.0 / 7.0 + 123,144.0 \times 27.8^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 22.2^2 = 3.651\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

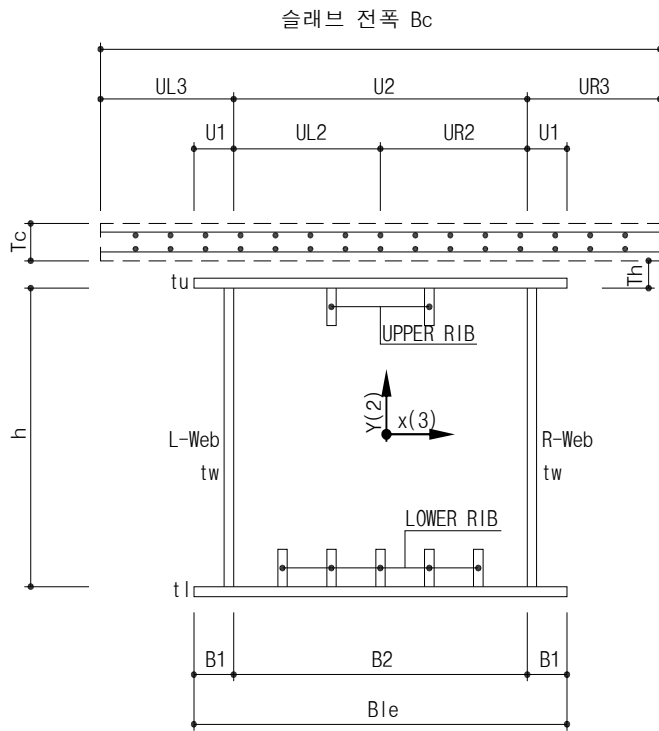
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,836.0 + 44.3 / 2 + 12.0 / 2 = 1,864.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,864.1 = 4.496\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 4,496,312.6^2 / \{ (1,864.1 + 1,864.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.428\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$Bc = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,996.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As · Y(mm ³)	As · Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	1,004.0	3.181E+07	3.193E+10	3.802E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	923.0	3.877E+06	3.578E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-923.0	-9.692E+06	8.945E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,006.0	-4.249E+07	4.275E+10	9.011E+05
합계		136,524.0	-	-1.650E+07	8.721E+10	1.593E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As · X(mm ³)	As · X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-1,206.0	-2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	1,206.0	2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		136,524.0	-	0.000E+00	7.371E+10	4.293E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,500.0 \times 240.0 = 1.080\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 136,524.0 + 1,080,000.0 / 7.0 = 2.908\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.184\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,996.0 / 2 - (-120.9 + 50.0 + 240.0) / 2 = 1,288.9 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,288.9 \times 136,524.0 / 290,809.7 = 605.1 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,288.9 - 605.1 = 683.8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 101,144,192,999.4 + 5,184,000,000.0 / 7.0 + 136,524.0 \times 683.8^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 605.1^2 = 2.222\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 = 1.823\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,100.0 - 0.0 - 4,500.0 / 2 = 50.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 50.0 \times 136,524.0 / 290,809.7 = 23.5 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 50.0 - 23.5 = 26.5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 116,638,853,092.0 + 1,822,500,000,000.0 / 7.0 + 136,524.0 \times 26.5^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 23.5^2 = 3.772\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

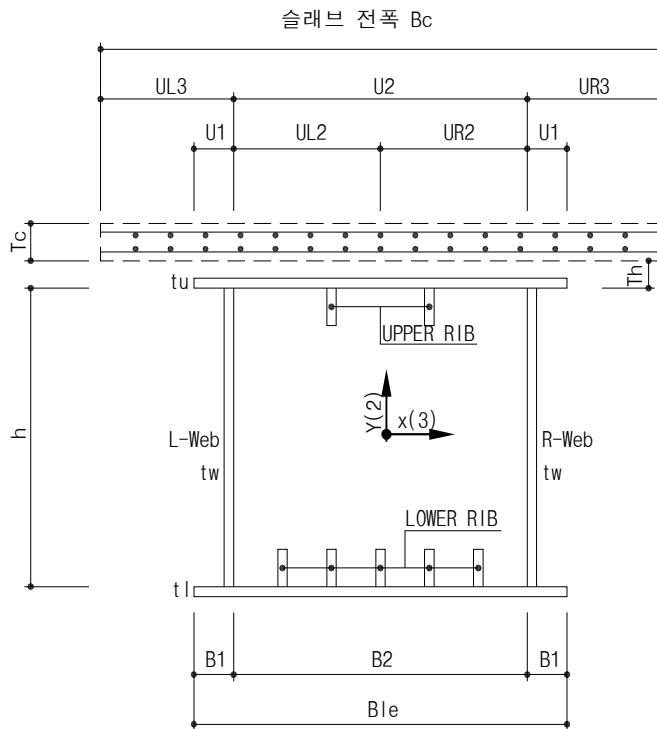
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 12.0 + 240.0 / 7.0 = 46.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,996.0 + 46.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,027.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,027.1 = 4.889\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 4,889,468.6^2 / \{ (2,027.1 + 2,027.1) / 12.0 + 2,412.0 / 46.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.769\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$Bc = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 2,200.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	1,106.0	3.504E+07	3.875E+10	3.802E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	1,025.0	4.305E+06	4.413E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-1,025.0	-1.076E+07	1.103E+10	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,108.0	-4.680E+07	5.186E+10	9.011E+05
합계		141,420.0	-	-1.822E+07	1.061E+11	2.132E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-1,206.0	-3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	1,206.0	3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		141,420.0	-	0.000E+00	8.083E+10	4.293E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,500.0 \times 240.0 = 1.080\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 141,420.0 + 1,080,000.0 / 7.0 = 2.957\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.184\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 2,200.0 / 2 - (-128.8 + 50.0 + 240.0 / 2) = 1,398.8 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,398.8 \times 141,420.0 / 295,705.7 = 669.0 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,398.8 - 669.0 = 729.9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 125,029,936,247.2 + 5,184,000,000.0 / 7.0 + 141,420.0 \times 729.9^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 669.0^2 = 2.702\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 = 1.823\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,100.0 - 0.0 - 4,500.0 / 2 = 50.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 50.0 \times 141,420.0 / 295,705.7 = 23.9 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 50.0 - 23.9 = 26.1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 123,759,830,500.0 + 1,822,500,000,000.0 / 7.0 + 141,420.0 \times 26.1^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 23.9^2 = 3.843\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

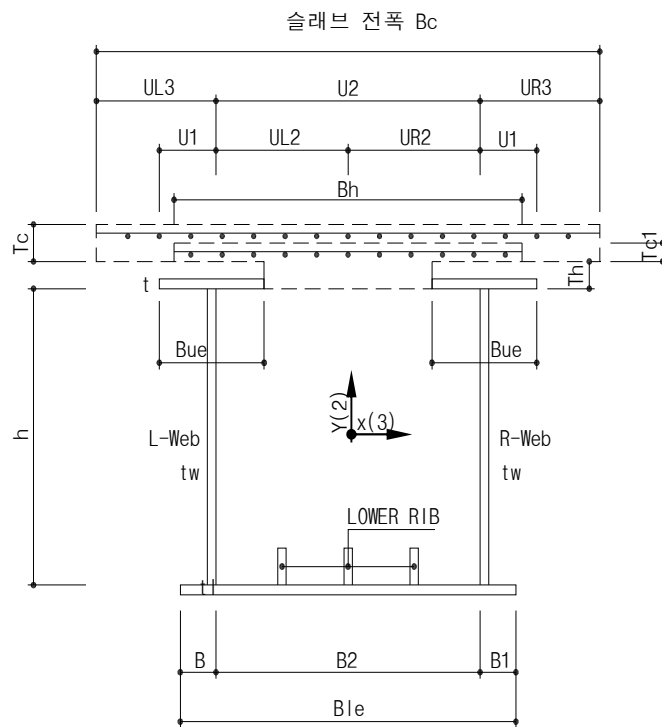
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 12.0 + 240.0 / 7.0 = 46.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 2,200.0 + 46.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,231.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,231.1 = 5.382\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\int ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 5,381,516.6^2 / \{ (2,231.1 + 2,231.1) / 12.0 + 2,412.0 / 46.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 2.016\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Bc =	4,500.0	mm
Bh =	2,500.0	mm
U1 =	120.0	mm
U2 =	2,400.0	mm
UL2 =	1,200.0	mm
UR2 =	1,200.0	mm
U3 =	400.0	mm
UL3 =	1,000.0	mm
UR3 =	1,100.0	mm
B1 =	120.0	mm
B2 =	2,400.0	mm
B3 =	2,640.0	mm
Tc =	240.0	mm
Tc1 =	90.0	mm
Th =	50.0	mm
h =	1,800.0	mm
n =	7.0	
n_h =	6.2	
Θ_L =	0.000	°
Θ_R =	0.000	°

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As · Y(mm ³)	As · Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-825.0	-8.663E+06	7.147E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합계		93,380.0	-	-3.012E+07	3.970E+10	1.168E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As · X(mm ³)	As · X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	-1,120.0	-4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
R-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	1,120.0	4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		93,380.0	-	0.000E+00	7.623E+10	1.851E+10

① 합성후 단면 (Steel + Half-Deck + Slab)

$$\begin{aligned}
 Ach &= (Bh \times Tc1) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th &= & 3.170E+05 \text{ mm}^2 \\
 Ac &= Bc \times Tc - Bh \times Tc1 = 4,500.0 \times 240.0 - 2,500.0 \times 90.0 &= & 8.550E+05 \text{ mm}^2 \\
 Av &= \sum As + Ac / n + Ach / n_h &= & 2.667E+05 \text{ mm}^2 \\
 &= 93,380.0 + 855,000.0 / 7.0 + 317,000.0 / 6.2
 \end{aligned}$$

- X(3)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_{cx} &= Bc \times Tc^3 / 12 - Bh \times Tc1^3 / 12 + Bc \times Tc \times (Tc/2)^2 \\
 &\quad - Bh \times Tc1 \times (Tc1/2)^2 - Ac \times (d_{vx}-h/2 + \delta_y - Th)^2 \\
 &= 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 - 2,500.0 \times 90.0^3 / 12 + 4,500.0 \times 240.0 \\
 &\quad \times (240.0/2)^2 - 2,500.0 \times 90.0 \times (90.0/2)^2 - 855,000.0 \\
 &\quad \times (1,412.3 - 1,800.0/2 + -322.6 - 50.0)^2 &= & 3.433E+09 \text{ mm}^4 \\
 I_{cxh} &= (Bh \times Tc1^3 / 12) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th^3 / 12 \\
 &\quad + (Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2)^2 + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times (Th/2)^2 \\
 &\quad - Ach \times (d_{vxh} - h/2 + \delta_y)^2 &= & 4.910E+08 \text{ mm}^4 \\
 d_{vx} &= h/2 - \delta_y + [Bc \times Tc \times (Th+Tc/2) - Bh \times Tc1 \times (Th+Tc1/2)] / Ac \\
 &= 1,800.0/2 - (-322.6) + [4,500.0 \times 240.0 \times (50.0 + 240.0/2) \\
 &\quad - 2,500.0 \times 90.0 \times (50.0 + 90.0/2)] / 855,000.0 &= & 1,412.3 \text{ mm} \\
 d_{vcx} &= [d_{vx} \cdot \sum As + (d_{vx} - d_{vxh}) \times Ach / n_h] / Av \\
 &= [1,412.3 \times 93,380.0 + (1,412.3 - 1,297.3) \times 317,000.0 / 6.2] / 266,651.9 &= & 516.7 \text{ mm} \\
 d_{vsx} &= d_{vx} - d_{vcx} = 1,412.3 - 516.7 &= & 895.7 \text{ mm} \\
 I_{v33} &= I_{33} + I_{cx}/n + I_{cxh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsx}^2 + Ac/n \cdot d_{vcx}^2 + A_{ch}/n_h \cdot (d_{vxh} - d_{vsx})^2 \\
 &= 41,668,729,859.1 + 3,433,440,789.5/7.0 + 491,010,120.9/6.2 + 93,380.0 \\
 &\quad \times 895.7^2 + 855,000.0/7.0 \times 516.7^2 + 317,000.0/6.2 \times (1,297.3 - 895.7)^2 &= & 1.580E+11 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$\begin{aligned}
 I_{cy} &= Tc \times Bc^3 / 12 - Tc1 \times Bh^3 / 12 + Tc \times Bc \times (UR2+UR3-Bc/2)^2 - Ac \times d_{vy}^2 \\
 &= 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 - 90.0 \times 2,500.0^3 / 12 + 240.0 \times 4,500.0 \times (1,200.0 \\
 &\quad + 1,100.0 - 4,500.0/2)^2 - 855,000.0 \times 63.2^2 &= & 1.705E+12 \text{ mm}^4 \\
 I_{cyh} &= (Tc1 \times Bh^3 / 12) + (Th+tu) \times \{U2 - (U3-U1) \times 2\}^3 / 12 &= & 1.431E+11 \text{ mm}^4 \\
 d_{vy} &= Tc \times [(UR2 + UR3)^2 - (UL2 + UL3)^2] / 2 / Ac \\
 &= 240.0 \times [(1,200.0 + 1,100.0)^2 - (1,200.0 + 1,000.0)^2] / 2 / 855,000.0 &= & 63.2 \text{ mm} \\
 d_{vcy} &= d_{vy} \cdot \sum Avh / Av = 63.2 \times 144,509.0 / 266,651.9 &= & 34.2 \text{ mm} \\
 d_{vsy} &= d_{vy} - d_{vcy} = 63.2 - 34.2 &= & 28.9 \text{ mm} \\
 I_{v22} &= I_{22} + I_{cy}/n + I_{cyh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsy}^2 + Ac/n \cdot d_{vcy}^2 + A_{ch}/n_h \cdot d_{vsy}^2 \\
 &= 94,733,935,766.7 + 1,704,601,973,684.2/7.0 + 143,143,766,666.7/6.2 + 93,380.0 \times 28.9^2 \\
 &\quad + 855,000.0 / 7.0 \times 34.2^2 + 317,000.0 / 6.2 \times 28.9^2 &= & 3.616E+11 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Half-Deck Con'c 와 SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\text{Slab Con'c의 강도} = f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\text{Slab의 전단 탄성계수} = G_c = 2.780\text{E}+04 / (2 (1 + 0.167)) = 1.192\text{E}+04 \text{ MPa}$$

Half-Deck+Slab의 환산두께

$$t_{cu} = (140.0 \times 14,100.9/79,000.0) + \{(240.0 - 90.0) \times (11,916.0/79,000.0)\} = 47.6 \text{ mm}$$

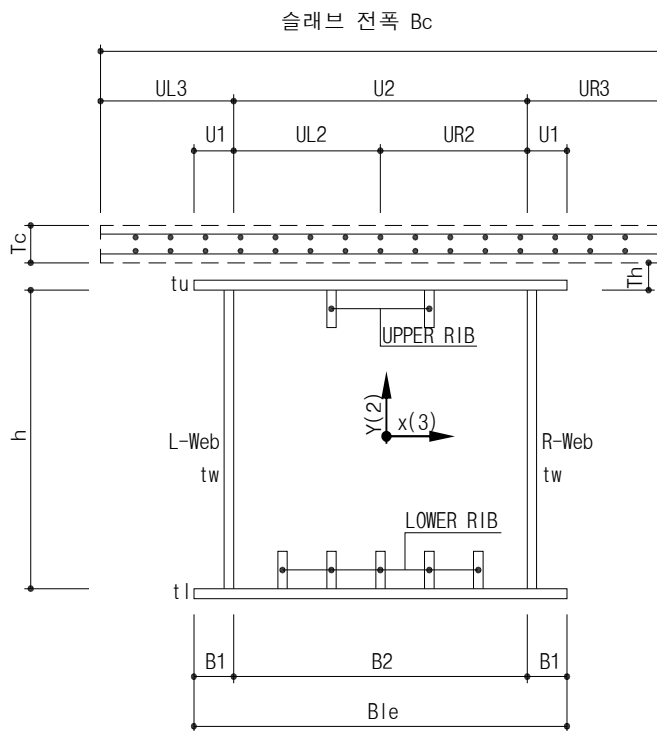
$$H = h + t_{cu}/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6 / 2 + 12.0 / 2 = 1,829.8 \text{ mm}$$

$$F = (Bu + Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,829.8 = 4.413\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu/t_{cu} + Bl/tl \}$$

$$= 4 \times 4,413,494.7^2 / \{ (1,829.8 + 1,829.8) / 12.0 + 2,412.0 / 47.6 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.400\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,996.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	1,003.0	2.648E+07	2.656E+10	2.200E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	923.0	3.877E+06	3.578E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-923.0	-9.692E+06	8.945E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,006.0	-4.249E+07	4.275E+10	9.011E+05
합계		131,244.0	-	-2.183E+07	8.183E+10	1.593E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	6.860E+04
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-1,206.0	-2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	1,206.0	2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		131,244.0	-	0.000E+00	7.639E+10	3.987E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,500.0 \times 240.0 = 1.080\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 131,244.0 + 1,080,000.0 / 7.0 = 2.855\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.184\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,996.0 / 2 - -166.3 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,334.3 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,334.3 \times 131,244.0 / 285,529.7 = 613.3 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,334.3 - 613.3 = 721.0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 94,132,541,365.2 + 5,184,000,000.0 / 7.0 + 131,244.0 \times 721.0^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 613.3^2 = 2.211\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 = 1.823\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,100.0 - 0.0 - 4,500.0 / 2 = 50.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 50.0 \times 131,244.0 / 285,529.7 = 23.0 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 50.0 - 23.0 = 27.0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 116,260,229,092.0 + 1,822,500,000,000.0 / 7.0 + 131,244.0 \times 27.0^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 23.0^2 = 3.768\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

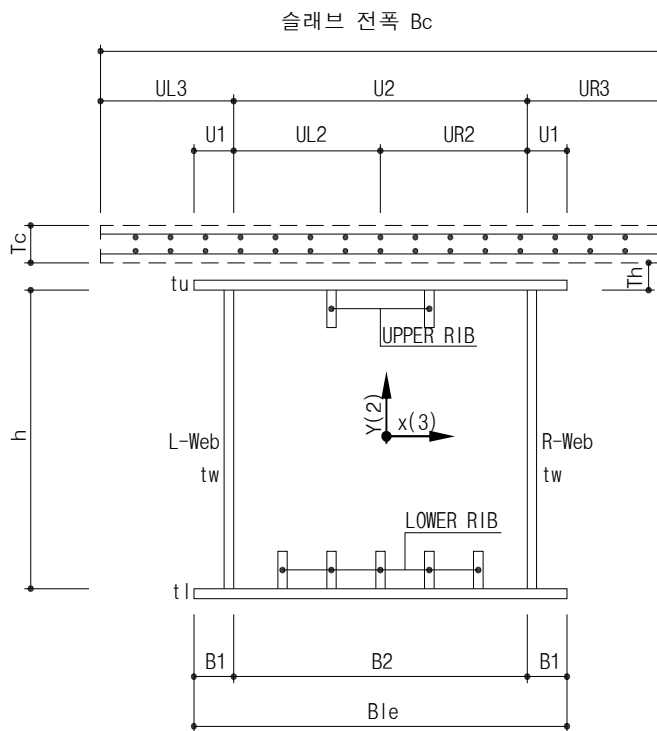
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,996.0 + 44.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,026.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,026.1 = 4.887\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 4,887,056.6^2 / \{ (2,026.1 + 2,026.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.760\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$B_c = 4,500.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 2,200.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	1,105.0	2.917E+07	3.224E+10	2.200E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	1,025.0	4.305E+06	4.413E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-1,025.0	-1.076E+07	1.103E+10	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,108.0	-4.680E+07	5.186E+10	9.011E+05
합계		136,140.0	-	-2.409E+07	9.954E+10	2.132E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-1,206.0	-3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	1,206.0	3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		136,140.0	-	0.000E+00	8.083E+10	3.987E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,500.0 \times 240.0 = 1.080\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 136,140.0 + 1,080,000.0 / 7.0 = 2.904\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,500.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.184\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 2,200.0 / 2 - -176.9 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,446.9 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,446.9 \times 136,140.0 / 290,425.7 = 678.3 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,446.9 - 678.3 = 768.7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 116,598,641,216.5 + 5,184,000,000.0 / 7.0 + 136,140.0 \times 768.7^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 678.3^2 = 2.688\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,500.0^3 / 12 = 1.823\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,100.0 - 0.0 - 4,500.0 / 2 = 50.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 50.0 \times 136,140.0 / 290,425.7 = 23.4 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 50.0 - 23.4 = 26.6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 120,693,206,500.0 + 1,822,500,000,000.0 / 7.0 + 136,140.0 \times 26.6^2 \\ &\quad + 1,080,000.0 / 7.0 \times 23.4^2 = 3.812\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

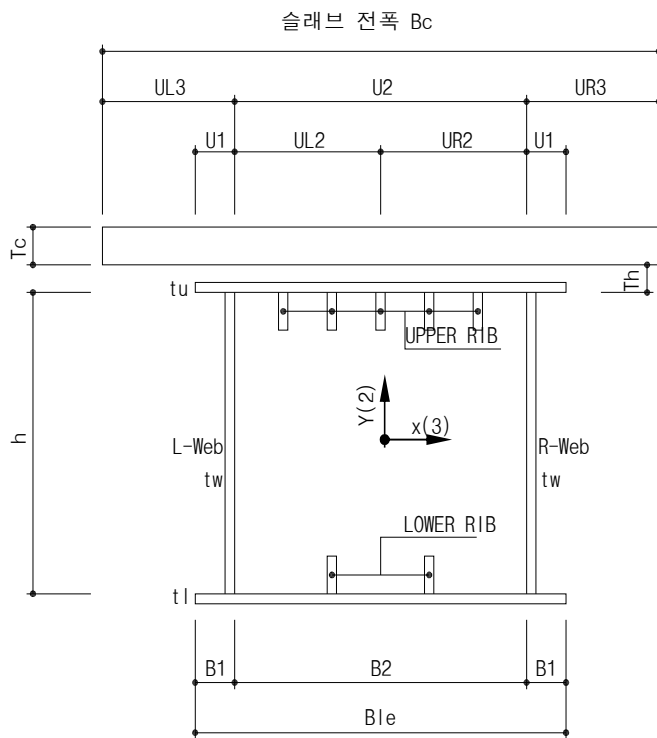
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 2,200.0 + 44.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,230.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,230.1 = 5.379\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 5,379,104.6^2 / \{ (2,230.1 + 2,230.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 2.006\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$Bc = 4,670.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,170.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 440.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,600.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	805.0	2.125E+07	1.711E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	725.0	6.525E+06	4.731E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-725.0	-2.610E+06	1.892E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-806.0	-2.553E+07	2.058E+10	3.802E+05
합계		109,080.0	-	-3.671E+05	4.431E+10	8.216E+09

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	0.0	0.000E+00	2.880E+09	1.080E+05
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-1,206.0	-2.316E+07	2.793E+10	2.304E+05
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	1,206.0	2.316E+07	2.793E+10	2.304E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		109,080.0	-	0.000E+00	5.931E+10	3.373E+10

① 합성후 단면

$$Ac = Bc \times Tc = 4,670.0 \times 440.0 = 2.055E+06 \text{ mm}^2$$

$$Av = \sum As + Ac / N = 109,080.0 + 2,054,800.0 / 7.0 = 4.026E+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = Bc \times Tc^3 / 12 = 4,670.0 \times 440.0^3 / 12 = 3.315E+10 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + Tc/2 = 1,600.0 / 2 - -3.4 + 50.0 + 440.0 / 2 = 1,073.4 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum As / Av = 1,073.4 \times 109,080.0 / 402,622.9 = 290.8 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,073.4 - 290.8 = 782.6 \text{ mm}$$

$$I_{v33} = I_{33} + I_{cx} / n + \sum As \cdot d_{vsx}^2 + Ac / n \cdot d_{vcx}^2$$

$$= 52,526,193,329.0 + 33,150,773,333.3 / 7.0 + 109,080.0 \times 782.6^2 + 2,054,800.0 / 7.0 \times 290.8^2 = 1.489E+11 \text{ mm}^4$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = Tc \times Bc^3 / 12 = 440.0 \times 4,670.0^3 / 12 = 3.734E+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-Bc/2 = 1,200.0 + 1,170.0 - 0.0 - 4,670.0 / 2 = 35.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum As / Av = 35.0 \times 109,080.0 / 402,622.9 = 9.5 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 35.0 - 9.5 = 25.5 \text{ mm}$$

$$I_{v22} = I_{22} + I_{cy} / n + \sum As \cdot d_{vsy}^2 + Ac / n \cdot d_{vcy}^2$$

$$= 93,039,818,400.0 + 3,734,410,643,333.3 / 7.0 + 109,080.0 \times 25.5^2 + 2,054,800.0 / 7.0 \times 9.5^2 = 6.266E+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + Tc / n = 10.0 + 440.0 / 7.0 = 72.9 \text{ mm}$$

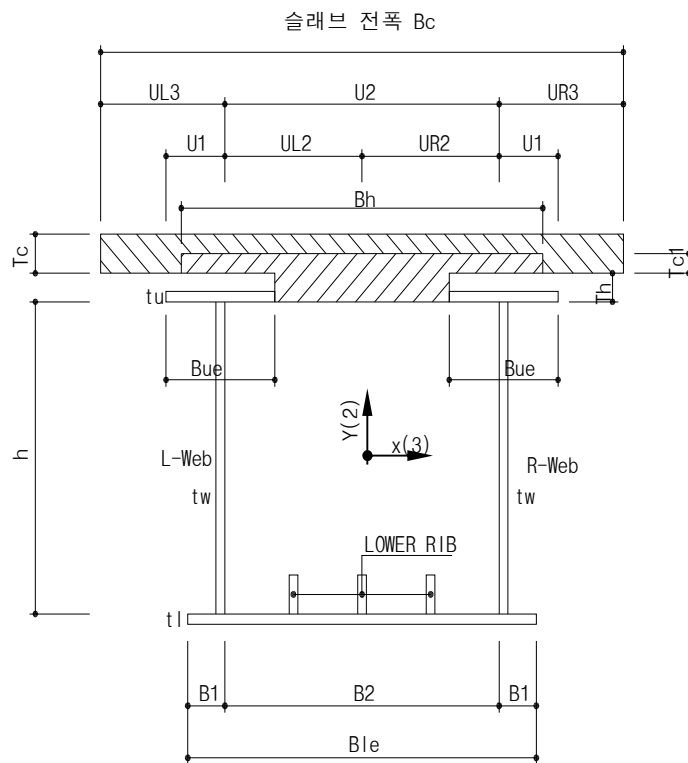
$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,600.0 + 72.9 / 2 + 12.0 / 2 = 1,642.4 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,642.4 = 3.962E+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\int ds/t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 3,961,537.7^2 / \{ (1,642.4 + 1,642.4) / 12.0 + 2,412.0 / 72.9 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.236E+11 \text{ mm}^4$$



Bc =	4,670.0	mm
Bh =	2,500.0	mm
U1 =	120.0	mm
U2 =	2,400.0	mm
UL2 =	1,200.0	mm
UR2 =	1,200.0	mm
U3 =	400.0	mm
UL3 =	1,100.0	mm
UR3 =	1,170.0	mm
B1 =	120.0	mm
B2 =	2,400.0	mm
B3 =	2,640.0	mm
Tc =	240.0	mm
Tc1 =	90.0	mm
Th =	50.0	mm
h =	1,800.0	mm
n =	7.0	
n _h =	6.2	
Θ _L =	0.000	°
Θ _R =	0.000	°

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	-1,120.0	-4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
R-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	1,120.0	4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		86,480.0	-	0.000E+00	7.344E+10	1.851E+10

① 합성후 단면 (Steel + Half-Deck + Slab)

$$Ach = (Bh \times Tc1) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th = 3.170E+05 \text{ mm}^2$$

$$Ac = Bc \times Tc - Bh \times Tc1 = 4,670.0 \times 240.0 - 2,500.0 \times 90.0 = 8.958E+05 \text{ mm}^2$$

$$Av = \sum As + Ac / n + Ach / n_h = 86,480.0 + 895,800.0 / 7.0 + 317,000.0 / 6.2 = 2.656E+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$\begin{aligned} I_{cx} &= Bc \times Tc^3 / 12 - Bh \times Tc1^3 / 12 + Bc \times Tc \times (Tc/2)^2 \\ &\quad - Bh \times Tc1 \times (Tc1/2)^2 - Ac \times (d_{vx}-h/2 + \delta_y - Th)^2 \\ &= 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 - 2,500.0 \times 90.0^3 / 12 + 4,670.0 \times 240.0 \\ &\quad \times (240.0/2)^2 - 2,500.0 \times 90.0 \times (90.0/2)^2 - 895,800.0 \\ &\quad \times (1,371.4 - 1,800.0/2 + -282.5 - 50.0)^2 = 3.644E+09 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{cxh} &= (Bh \times Tc1^3 / 12) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th^3 / 12 \\ &\quad + (Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2)^2 + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times (Th/2)^2 \\ &\quad - Ach \times (d_{vxh} - h/2 + \delta_y)^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{vx} &= h/2 - \delta_y + [Bc \times Tc \times (Th+Tc/2) - Bh \times Tc1 \times (Th+Tc1/2)] / Ac \\ &= 1,800.0/2 - (-282.5) + [4,670.0 \times 240.0 \times (50.0 + 240.0/2) \\ &\quad - 2,500.0 \times 90.0 \times (50.0 + 90.0/2)] / 895,800.0 = 1,371.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{vcx} &= [d_{vx} \cdot \sum As + (d_{vx} - d_{vxh}) \times Ach / n_h] / Av \\ &= [1,371.4 \times 86,480.0 + (1,371.4 - 1,257.2) \times 317,000.0 / 6.2] / 265,580.5 = 468.5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,371.4 - 468.5 = 902.8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx}/n + I_{cxh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsx}^2 + Ac/n \cdot d_{vcx}^2 + A_{ch}/n_h \cdot (d_{vxh} - d_{vsx})^2 \\ &= 39,775,250,581.3 + 3,644,450,264.6/7.0 + 491,010,120.9/6.2 + 86,480.0 \\ &\quad \times 902.8^2 + 895,800.0/7.0 \times 468.5^2 + 317,000.0/6.2 \times (1,257.2 - 902.8)^2 = 1.454E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$\begin{aligned} I_{cy} &= Tc \times Bc^3 / 12 - Tc1 \times Bh^3 / 12 + Tc \times Bc \times (UR2+UR3-Bc/2)^2 - Ac \times d_{vy}^2 \\ &= 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 - 90.0 \times 2,500.0^3 / 12 + 240.0 \times 4,670.0 \times (1,200.0 \\ &\quad + 1,170.0 - 4,670.0/2)^2 - 895,800.0 \times 43.8^2 = 1.919E+12 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$I_{cyh} = (Tc1 \times Bh^3 / 12) + (Th+tu) \times \{U2 - (U3-U1) \times 2\}^3 / 12 = 1.431E+11 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} d_{vy} &= Tc \times [(UR2 + UR3)^2 - (UL2 + UL3)^2] / 2 / Ac \\ &= 240.0 \times [(1,200.0 + 1,170.0)^2 - (1,200.0 + 1,100.0)^2] / 2 / 895,800.0 = 43.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum Avh / Av = 43.8 \times 137,609.0 / 265,580.5 = 22.7 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 43.8 - 22.7 = 21.1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy}/n + I_{cyh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsy}^2 + Ac/n \cdot d_{vcy}^2 + A_{ch}/n_h \cdot d_{vsy}^2 \\ &= 91,949,807,466.7 + 1,919,418,905,679.8/7.0 + 143,143,766,666.7/6.2 + 86,480.0 \times 21.1^2 \\ &\quad + 895,800.0 / 7.0 \times 22.7^2 + 317,000.0 / 6.2 \times 21.1^2 = 3.894E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Half-Deck Con'c 와 SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\text{Slab Con'c의 강도} = f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\text{Slab의 전단 탄성계수} = G_c = 2.780\text{E}+04 / (2 (1 + 0.167)) = 1.192\text{E}+04 \text{ MPa}$$

Half-Deck+Slab의 환산두께

$$t_{cu} = (140.0 \times 14,100.9 / 79,000.0) + \{ (240.0 - 90.0) \times (11,916.0 / 79,000.0) \} = 47.6 \text{ mm}$$

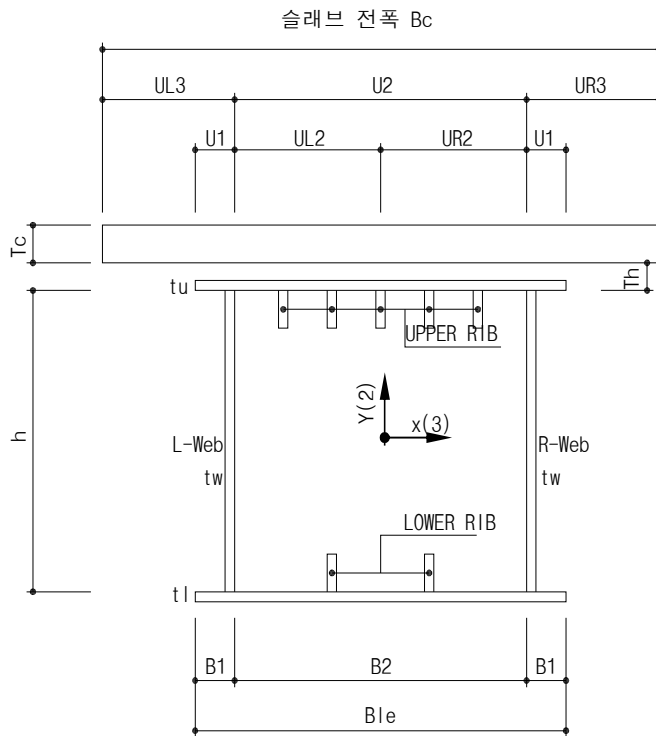
$$H = h + t_{cu} / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 47.6 / 2 + 12.0 / 2 = 1,829.8 \text{ mm}$$

$$F = (Bu + Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,829.8 = 4.413\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H / \cos \Theta_L + H / \cos \Theta_R) / tw + Bu / t_{cu} + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 4,413,494.7^2 / \{ (1,829.8 + 1,829.8) / 12.0 + 2,412.0 / 47.6 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.400\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$B_c = 4,670.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,170.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,800.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구 분	규 격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	905.0	2.389E+07	2.162E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	825.0	7.425E+06	6.126E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합 계		113,880.0	-	-3.551E+05	5.620E+10	1.169E+10

Y(2)축 방향

구 분	규 격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	0.0	0.000E+00	2.880E+09	1.080E+05
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	0.0	0.000E+00	5.760E+08	4.320E+04
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합 계		113,880.0	-	0.000E+00	6.629E+10	3.373E+10

① 합성 후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,670.0 \times 240.0 = 1.121\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 7.0 = 2.740\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.380\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,800.0 / 2 - -3.1 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,073.1 \times 113,880.0 / 273,994.3 = 446.0 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,073.1 - 446.0 = 627.1 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 67,889,337,493.8 + 5,379,840,000.0 / 7.0 + 113,880.0 \times 627.1^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 = 2.037\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,170.0 - 0.0 - 4,670.0 / 2 = 35.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 35.0 \times 113,880.0 / 273,994.3 = 14.5 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 35.0 - 14.5 = 20.5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 100,021,168,800.0 + 2,036,951,260,000.0 / 7.0 + 113,880.0 \times 20.5^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 14.5^2 = 3.911\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

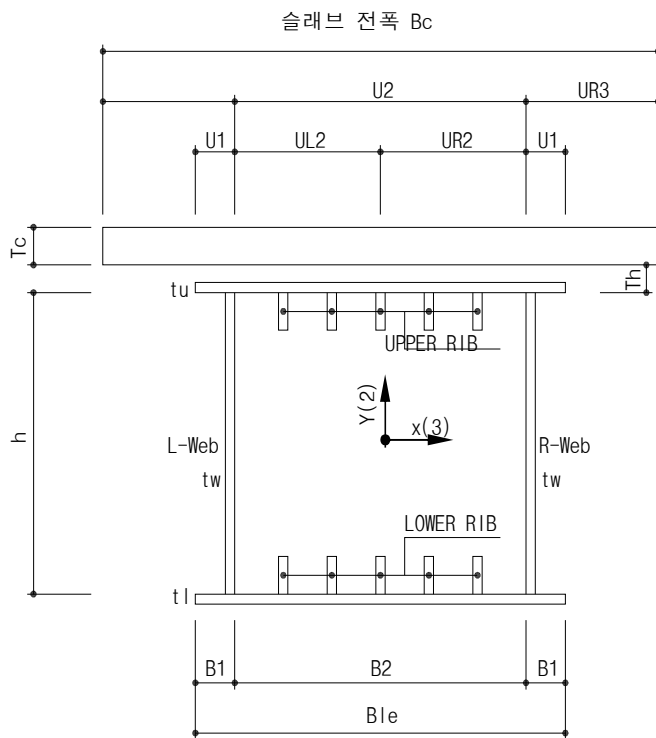
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,800.0 + 44.3 / 2 + 12.0 / 2 = 1,828.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,828.1 = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\int ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 4,409,480.6^2 / \{ (1,828.1 + 1,828.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.388\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$B_c = 4,670.0 \text{ mm}$$

$$U_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR_2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U_3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL_3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$UR_3 = 1,170.0 \text{ mm}$$

$$B_1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B_2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B_3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$T_c = 240.0 \text{ mm}$$

$$T_h = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,836.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	923.0	2.437E+07	2.249E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	843.0	8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
L - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
R - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-843.0	-8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-924.0	-2.927E+07	2.705E+10	3.802E+05
합계		123,144.0	-	-4.905E+06	6.446E+10	1.242E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
L - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-1,206.0	-2.657E+07	3.204E+10	2.644E+05
R - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	1,206.0	2.657E+07	3.204E+10	2.644E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		123,144.0	-	0.000E+00	7.081E+10	3.373E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,670.0 \times 240.0 = 1.121\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 123,144.0 + 1,120,800.0 / 7.0 = 2.833\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.380\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,836.0 / 2 - -39.8 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,127.8 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,127.8 \times 123,144.0 / 283,258.3 = 490.3 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,127.8 - 490.3 = 637.5 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 76,684,700,892.6 + 5,379,840,000.0 / 7.0 + 123,144.0 \times 637.5^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 490.3^2 = 1.660\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 = 2.037\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,170.0 - 0.0 - 4,670.0 / 2 = 35.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 35.0 \times 123,144.0 / 283,258.3 = 15.2 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 35.0 - 15.2 = 19.8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 104,542,003,672.0 + 2,036,951,260,000.0 / 7.0 + 123,144.0 \times 19.8^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 15.2^2 = 3.956\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

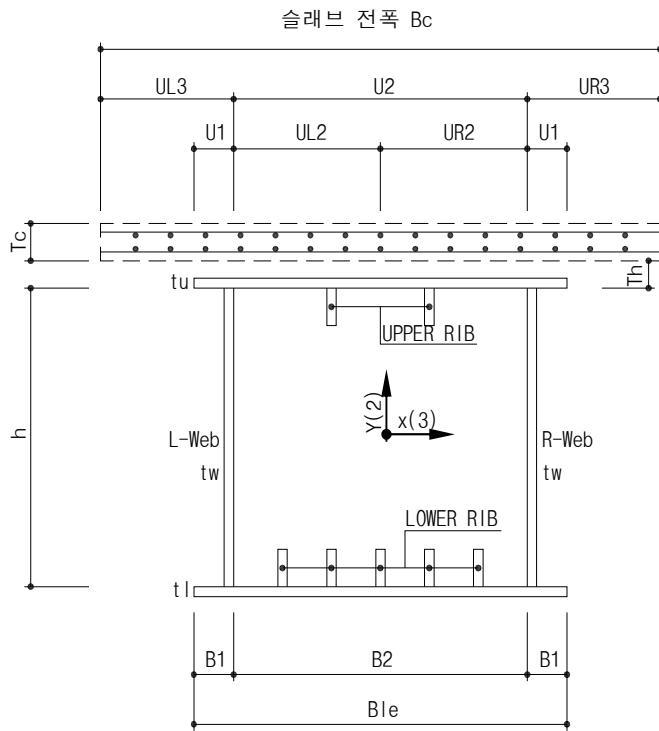
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,836.0 + 44.3 / 2 + 12.0 / 2 = 1,864.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,864.1 = 4.496\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 4,496,312.6^2 / \{ (1,864.1 + 1,864.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.428\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$Bc = 4,670.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,170.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,996.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As · Y(mm ³)	As · Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	1,004.0	3.181E+07	3.193E+10	3.802E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	923.0	3.877E+06	3.578E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-923.0	-9.692E+06	8.945E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,006.0	-4.249E+07	4.275E+10	9.011E+05
합계		136,524.0	-	-1.650E+07	8.721E+10	1.593E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As · X(mm ³)	As · X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-1,206.0	-2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	1,206.0	2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		136,524.0	-	0.000E+00	7.371E+10	4.293E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,670.0 \times 240.0 = 1.121\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 136,524.0 + 1,120,800.0 / 7.0 = 2.966\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.380\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,996.0 / 2 - (-120.9 + 50.0 + 240.0 / 2) = 1,288.9 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,288.9 \times 136,524.0 / 296,638.3 = 593.2 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,288.9 - 593.2 = 695.7 \text{ mm}$$

$$I_{v33} = I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2$$

$$= 101,144,192,999.4 + 5,379,840,000.0 / 7.0 + 136,524.0 \times 695.7^2 + 1,120,800.0 / 7.0 \times 593.2^2 = 2.243\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 = 2.037\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,170.0 - 0.0 - 4,670.0 / 2 = 35.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 35.0 \times 136,524.0 / 296,638.3 = 16.1 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 35.0 - 16.1 = 18.9 \text{ mm}$$

$$I_{v22} = I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2$$

$$= 116,638,853,092.0 + 2,036,951,260,000.0 / 7.0 + 136,524.0 \times 18.9^2 + 1,120,800.0 / 7.0 \times 16.1^2 = 4.077\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 12.0 + 240.0 / 7.0 = 46.3 \text{ mm}$$

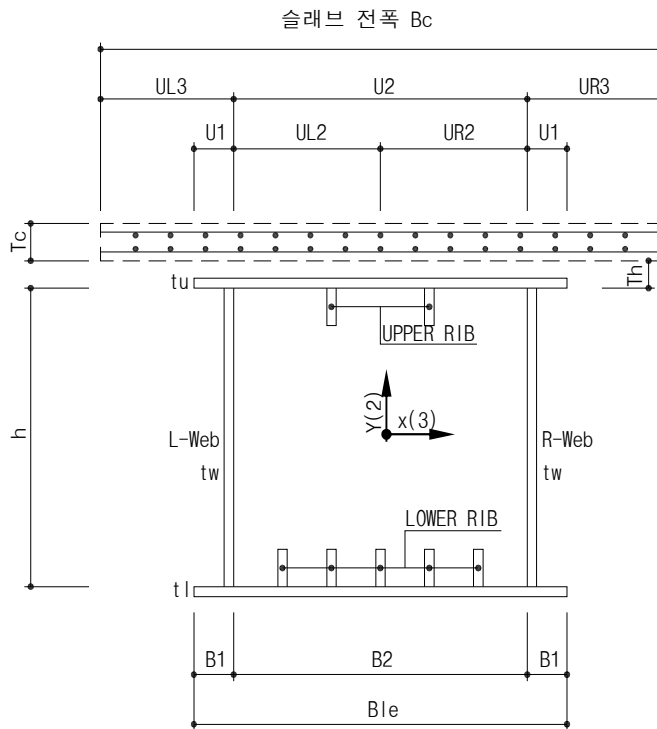
$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,996.0 + 46.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,027.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,027.1 = 4.889\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\int ds/t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \}$$

$$= 4 \times 4,889,468.6^2 / \{ (2,027.1 + 2,027.1) / 12.0 + 2,412.0 / 46.3 + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.769\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$Bc = 4,670.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,170.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 2,200.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	1,106.0	3.504E+07	3.875E+10	3.802E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	1,025.0	4.305E+06	4.413E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-1,025.0	-1.076E+07	1.103E+10	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,108.0	-4.680E+07	5.186E+10	9.011E+05
합계		141,420.0	-	-1.822E+07	1.061E+11	2.132E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-1,206.0	-3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	1,206.0	3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		141,420.0	-	0.000E+00	8.083E+10	4.293E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,670.0 \times 240.0 = 1.121\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 141,420.0 + 1,120,800.0 / 7.0 = 3.015\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.380\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 2,200.0 / 2 - (-128.8 + 50.0 + 240.0 / 2) = 1,398.8 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,398.8 \times 141,420.0 / 301,534.3 = 656.1 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,398.8 - 656.1 = 742.8 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 125,029,936,247.2 + 5,379,840,000.0 / 7.0 + 141,420.0 \times 742.8^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 656.1^2 = 2.727\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 = 2.037\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,170.0 - 0.0 - 4,670.0 / 2 = 35.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 35.0 \times 141,420.0 / 301,534.3 = 16.4 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 35.0 - 16.4 = 18.6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 123,759,830,500.0 + 2,036,951,260,000.0 / 7.0 + 141,420.0 \times 18.6^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 16.4^2 = 4.148\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

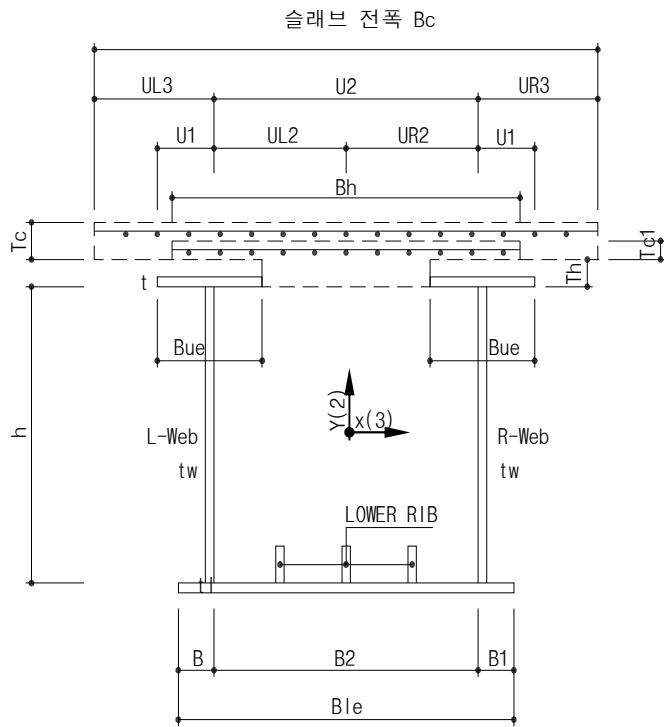
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 12.0 + 240.0 / 7.0 = 46.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 2,200.0 + 46.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,231.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,231.1 = 5.382\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\int ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 5,381,516.6^2 / \{ (2,231.1 + 2,231.1) / 12.0 + 2,412.0 / 46.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 2.016\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



Bc =	4,670.0	mm
Bh =	2,500.0	mm
U1 =	120.0	mm
U2 =	2,400.0	mm
UL2 =	1,200.0	mm
UR2 =	1,200.0	mm
U3 =	400.0	mm
UL3 =	1,100.0	mm
UR3 =	1,170.0	mm
B1 =	120.0	mm
B2 =	2,400.0	mm
B3 =	2,640.0	mm
Tc =	240.0	mm
Tc1 =	90.0	mm
Th =	50.0	mm
h =	1,800.0	mm
n =	7.0	
n_h =	6.2	
Θ_L =	0.000	°
Θ_R =	0.000	°

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As · Y(mm ³)	As · Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-825.0	-8.663E+06	7.147E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
합계		93,380.0	-	-3.012E+07	3.970E+10	1.168E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As · X(mm ³)	As · X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	-1,120.0	-4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
R-UPPER FL.	1 - 400.0 × 10.0	4,000.0	1,120.0	4.480E+06	5.018E+09	5.333E+07
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-1,206.0	-2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	1,206.0	2.605E+07	3.142E+10	2.592E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.840E+10
합계		93,380.0	-	0.000E+00	7.623E+10	1.851E+10

① 합성후 단면 (Steel + Half-Deck + Slab)

$$Ach = (Bh \times Tc1) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th = 3.170E+05 \text{ mm}^2$$

$$Ac = Bc \times Tc - Bh \times Tc1 = 4,670.0 \times 240.0 - 2,500.0 \times 90.0 = 8.958E+05 \text{ mm}^2$$

$$Av = \sum As + Ac / n + Ach / n_h = 93,380.0 + 895,800.0 / 7.0 + 317,000.0 / 6.2 = 2.725E+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$\begin{aligned} I_{cx} &= Bc \times Tc^3 / 12 - Bh \times Tc1^3 / 12 + Bc \times Tc \times (Tc/2)^2 \\ &\quad - Bh \times Tc1 \times (Tc1/2)^2 - Ac \times (d_{vx} - h/2 + \delta_y - Th)^2 \\ &= 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 - 2,500.0 \times 90.0^3 / 12 + 4,670.0 \times 240.0 \\ &\quad \times (240.0/2)^2 - 2,500.0 \times 90.0 \times (90.0/2)^2 - 895,800.0 \\ &\quad \times (1,411.4 - 1,800.0/2 + -322.6 - 50.0)^2 = 3.644E+09 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{cxh} &= (Bh \times Tc1^3 / 12) + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times Th^3 / 12 \\ &\quad + (Bh \times Tc1) \times (Th+Tc1/2)^2 + \{U2 - (U3-U1) \times 2\} \times (Th/2)^2 \\ &\quad - Ach \times (d_{vxh} - h/2 + \delta_y)^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{vx} &= h/2 - \delta_y + [Bc \times Tc \times (Th+Tc/2) - Bh \times Tc1 \times (Th+Tc1/2)] / Ac \\ &= 1,800.0/2 - (-322.6) + [4,670.0 \times 240.0 \times (50.0 + 240.0/2) \\ &\quad - 2,500.0 \times 90.0 \times (50.0 + 90.0/2)] / 895,800.0 = 1,411.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{vcx} &= [d_{vx} \cdot \sum As + (d_{vx} - d_{vxh}) \times Ach / n_h] / Av \\ &= [1,411.4 \times 93,380.0 + (1,411.4 - 1,297.3) \times 317,000.0 / 6.2] / 272,480.5 = 505.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,411.4 - 505.1 = 906.3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx}/n + I_{cxh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsx}^2 + Ac/n \cdot d_{vcx}^2 + A_{ch}/n_h \cdot (d_{vxh} - d_{vsx})^2 \\ &= 41,668,729,859.1 + 3,644,450,264.6/7.0 + 491,010,120.9/6.2 + 93,380.0 \\ &\quad \times 906.3^2 + 895,800.0/7.0 \times 505.1^2 + 317,000.0/6.2 \times (1,297.3 - 906.3)^2 = 1.594E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$\begin{aligned} I_{cy} &= Tc \times Bc^3 / 12 - Tc1 \times Bh^3 / 12 + Tc \times Bc \times (UR2+UR3-Bc/2)^2 - Ac \times d_{vy}^2 \\ &= 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 - 90.0 \times 2,500.0^3 / 12 + 240.0 \times 4,670.0 \times (1,200.0 \\ &\quad + 1,170.0 - 4,670.0/2)^2 - 895,800.0 \times 43.8^2 = 1.919E+12 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$I_{cyh} = (Tc1 \times Bh^3 / 12) + (Th+tu) \times \{U2 - (U3-U1) \times 2\}^3 / 12 = 1.431E+11 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned} d_{vy} &= Tc \times [(UR2 + UR3)^2 - (UL2 + UL3)^2] / 2 / Ac \\ &= 240.0 \times [(1,200.0 + 1,170.0)^2 - (1,200.0 + 1,100.0)^2] / 2 / 895,800.0 = 43.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum Avh / Av = 43.8 \times 144,509.0 / 272,480.5 = 23.2 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 43.8 - 23.2 = 20.6 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy}/n + I_{cyh}/n_h + \sum As \cdot d_{vsy}^2 + Ac/n \cdot d_{vcy}^2 + A_{ch}/n_h \cdot d_{vsy}^2 \\ &= 94,733,935,766.7 + 1,919,418,905,679.8/7.0 + 143,143,766,666.7/6.2 + 93,380.0 \times 20.6^2 \\ &\quad + 895,800.0 / 7.0 \times 23.2^2 + 317,000.0 / 6.2 \times 20.6^2 = 3.922E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Half-Deck Con'c 와 SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\text{Slab Con'c의 강도} = f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\text{Slab의 전단 탄성계수} = G_c = 2.780\text{E}+04 / (2 (1 + 0.167)) = 1.192\text{E}+04 \text{ MPa}$$

Half-Deck+Slab의 환산두께

$$t_{cu} = (140.0 \times 14,100.9/79,000.0) + \{(240.0 - 90.0) \times (11,916.0/79,000.0)\} = 47.6 \text{ mm}$$

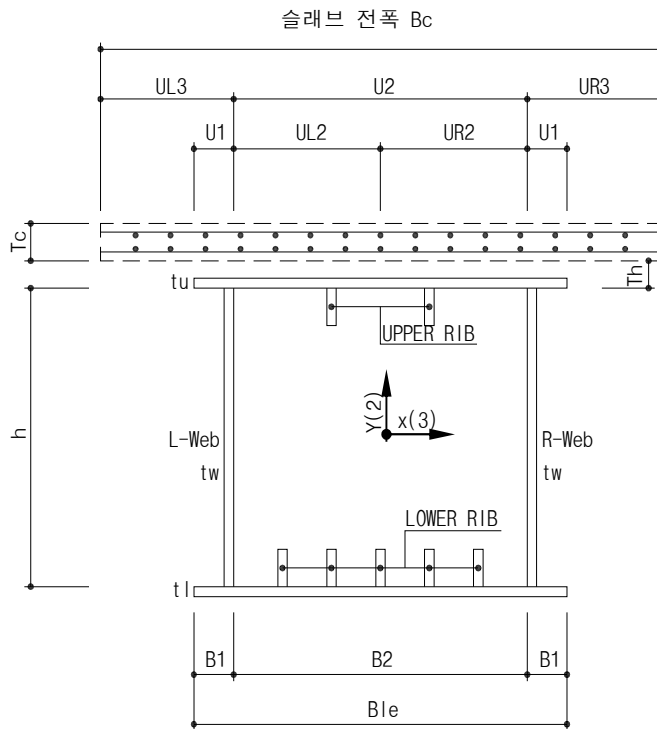
$$H = h + t_{cu}/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6 / 2 + 12.0 / 2 = 1,829.8 \text{ mm}$$

$$F = (Bu + Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,829.8 = 4.413\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$K = 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t)$$

$$= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu/t_{cu} + Bl/tl \}$$

$$= 4 \times 4,413,494.7^2 / \{ (1,829.8 + 1,829.8) / 12.0 + 2,412.0 / 47.6 + 2,412.0 / 12.0 \} = 1.400\text{E}+11 \text{ mm}^4$$



$$Bc = 4,670.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,170.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 1,996.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	Y(mm)	AS·Y(mm ³)	AS·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	1,003.0	2.648E+07	2.656E+10	2.200E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	923.0	3.877E+06	3.578E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-923.0	-9.692E+06	8.945E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,006.0	-4.249E+07	4.275E+10	9.011E+05
합계		131,244.0	-	-2.183E+07	8.183E+10	1.593E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	AS(mm ²)	X(mm)	AS·X(mm ³)	AS·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	6.860E+04
L - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-1,206.0	-2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
R - WEB	1 - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	1,206.0	2.889E+07	3.484E+10	2.874E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		131,244.0	-	0.000E+00	7.639E+10	3.987E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,670.0 \times 240.0 = 1.121\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 131,244.0 + 1,120,800.0 / 7.0 = 2.914\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.380\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 1,996.0 / 2 - -166.3 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,334.3 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,334.3 \times 131,244.0 / 291,358.3 = 601.1 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,334.3 - 601.1 = 733.3 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 94,132,541,365.2 + 5,379,840,000.0 / 7.0 + 131,244.0 \times 733.3^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 601.1^2 = 2.233\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 = 2.037\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,170.0 - 0.0 - 4,670.0 / 2 = 35.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 35.0 \times 131,244.0 / 291,358.3 = 15.8 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 35.0 - 15.8 = 19.2 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 116,260,229,092.0 + 2,036,951,260,000.0 / 7.0 + 131,244.0 \times 19.2^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 15.8^2 = 4.073\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

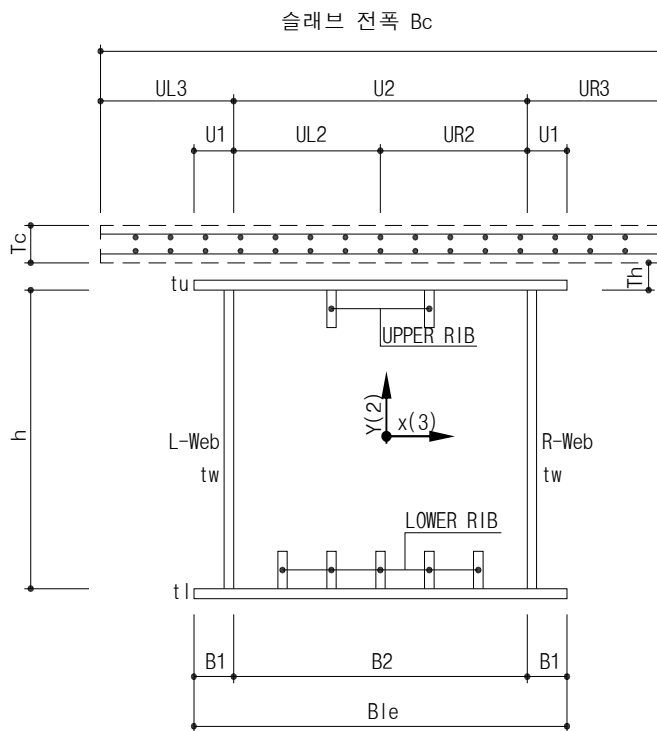
※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 1,996.0 + 44.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,026.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,026.1 = 4.887\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 4,887,056.6^2 / \{ (2,026.1 + 2,026.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.760\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$



$$Bc = 4,670.0 \text{ mm}$$

$$U1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$U2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$UL2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$UR2 = 1,200.0 \text{ mm}$$

$$U3 = 0.0 \text{ mm}$$

$$UL3 = 1,100.0 \text{ mm}$$

$$UR3 = 1,170.0 \text{ mm}$$

$$B1 = 120.0 \text{ mm}$$

$$B2 = 2,400.0 \text{ mm}$$

$$B3 = 2,640.0 \text{ mm}$$

$$Tc = 240.0 \text{ mm}$$

$$Th = 50.0 \text{ mm}$$

$$h = 2,200.0 \text{ mm}$$

$$n = 7.0$$

$$\Theta_L = 0.000^\circ$$

$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

X(3)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	Y(mm)	As·Y(mm ³)	As·Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	1,105.0	2.917E+07	3.224E+10	2.200E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	1,025.0	4.305E+06	4.413E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	1.065E+10
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-1,025.0	-1.076E+07	1.103E+10	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-1,108.0	-4.680E+07	5.186E+10	9.011E+05
합계		136,140.0	-	-2.409E+07	9.954E+10	2.132E+10

Y(2)축 방향

구분	규격	As(mm ²)	X(mm)	As·X(mm ³)	As·X ² (mm ⁴)	I _{yo} (mm ⁴)
L-UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.533E+10
R-UPPER FL.	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	0.0	0.000E+00	6.720E+08	6.860E+04
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-1,206.0	-3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	1,206.0	3.184E+07	3.840E+10	3.168E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	0.0	0.000E+00	3.360E+09	1.715E+05
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	2.453E+10
합계		136,140.0	-	0.000E+00	8.083E+10	3.987E+10

① 합성후 단면

$$A_c = B_c \times T_c = 4,670.0 \times 240.0 = 1.121\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$A_v = \sum A_s + A_c / N = 136,140.0 + 1,120,800.0 / 7.0 = 2.963\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

- X(3)축 방향

$$I_{cx} = B_c \times T_c^3 / 12 = 4,670.0 \times 240.0^3 / 12 = 5.380\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$d_{vx} = h/2 - \delta_y + Th + T_c/2 = 2,200.0 / 2 - -176.9 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,446.9 \text{ mm}$$

$$d_{vcx} = d_{vx} \cdot \sum A_s / A_v = 1,446.9 \times 136,140.0 / 296,254.3 = 664.9 \text{ mm}$$

$$d_{vsx} = d_{vx} - d_{vcx} = 1,446.9 - 664.9 = 782.0 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v33} &= I_{33} + I_{cx} / n + \sum A_s \cdot d_{vsx}^2 + A_c / n \cdot d_{vcx}^2 \\ &= 116,598,641,216.5 + 5,379,840,000.0 / 7.0 + 136,140.0 \times 782.0^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 664.9^2 = 2.714\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- Y(2)축 방향

$$I_{cy} = T_c \times B_c^3 / 12 = 240.0 \times 4,670.0^3 / 12 = 2.037\text{E}+12 \text{ mm}^4$$

$$d_{vy} = UR2+UR3-\delta_x-B_c/2 = 1,200.0 + 1,170.0 - 0.0 - 4,670.0 / 2 = 35.0 \text{ mm}$$

$$d_{vcy} = d_{vy} \cdot \sum A_s / A_v = 35.0 \times 136,140.0 / 296,254.3 = 16.1 \text{ mm}$$

$$d_{vsy} = d_{vy} - d_{vcy} = 35.0 - 16.1 = 18.9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v22} &= I_{22} + I_{cy} / n + \sum A_s \cdot d_{vsy}^2 + A_c / n \cdot d_{vcy}^2 \\ &= 120,693,206,500.0 + 2,036,951,260,000.0 / 7.0 + 136,140.0 \times 18.9^2 \\ &\quad + 1,120,800.0 / 7.0 \times 16.1^2 = 4.118\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

※ 합성 단면의 K값 산정시 Con'c SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

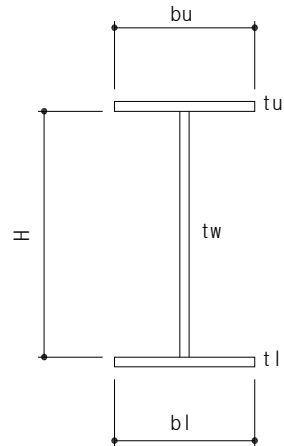
$$tcu = tu + T_c / n = 10.0 + 240.0 / 7.0 = 44.3 \text{ mm}$$

$$H = h + tcu/2 + tl/2 = 2,200.0 + 44.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,230.1 \text{ mm}$$

$$F = (Bu+Bl) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,230.1 = 5.379\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds/t) \\ &= 4F^2 / \{ (H/\cos\Theta_L + H/\cos\Theta_R) / tw + Bu / tcu + Bl / tl \} \\ &= 4 \times 5,379,104.6^2 / \{ (2,230.1 + 2,230.1) / 12.0 + 2,412.0 / 44.3 \\ &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 2.006\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

◎ 가로보 단면 < 1 >



bu	=	300.0	mm
bl	=	300.0	mm
H	=	1,000.0	mm
tu	=	12.0	mm
tw	=	12.0	mm
tl	=	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	506.0	1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.000E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-506.0	-1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
합 계		19,200.0	-	0.000E+00	1.843E+09	1.000E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$X(\text{mm})$	$A_s \cdot X(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot X^2(\text{mm}^4)$	$I_{yo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.440E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		19,200.0	-	-	-	5.414E+07

$$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 1,843,459,200.0 + 1,000,086,400.0 = 2.844\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 0.0 + 54,144,000.0 = 5.414\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

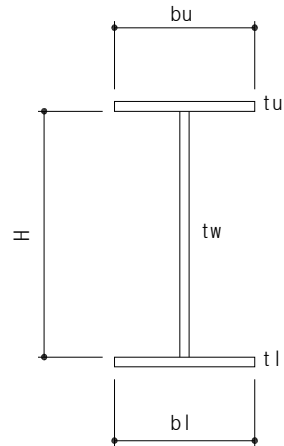
- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$K = \sum (b \times t^3) / 3$$

$$= (300.0 \times 12.0^3 + 1,000.0 \times 12.0^3 + 300.0 \times 12.0^3) / 3 = 9.216\text{E}+05 \text{ mm}^4$$

◎ 가로보 단면 < 2 >



bu	=	300.0	mm
bl	=	300.0	mm
H	=	1,100.0	mm
tu	=	12.0	mm
tw	=	12.0	mm
tl	=	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	556.0	2.002E+06	1.113E+09	4.320E+04
WEB	1 - 1,100.0 × 12.0	13,200.0	-	-	-	1.331E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-556.0	-2.002E+06	1.113E+09	4.320E+04
합 계		20,400.0	-	0.000E+00	2.226E+09	1.331E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$X(\text{mm})$	$A_s \cdot X(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot X^2(\text{mm}^4)$	$I_{yo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,100.0 × 12.0	13,200.0	-	-	-	1.584E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		20,400.0	-	-	-	5.416E+07

$$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 2,225,779,200.0 + 1,331,086,400.0 = 3.557\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 0.0 + 54,158,400.0 = 5.416\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

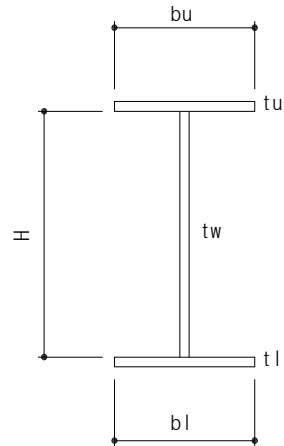
- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$K = \sum (b \times t^3) / 3$$

$$= (300.0 \times 12.0^3 + 1,100.0 \times 12.0^3 + 300.0 \times 12.0^3) / 3 = 9.792\text{E}+05 \text{ mm}^4$$

◎ 가로보 단면 < 3 >



bu	=	300.0	mm
bl	=	300.0	mm
H	=	1,200.0	mm
tu	=	12.0	mm
tw	=	12.0	mm
tl	=	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	606.0	2.182E+06	1.322E+09	4.320E+04
WEB	1 - 1,200.0 × 12.0	14,400.0	-	-	-	1.728E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-606.0	-2.182E+06	1.322E+09	4.320E+04
합 계		21,600.0	-	0.000E+00	2.644E+09	1.728E+09

Y(2)축 방향

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$X(\text{mm})$	$A_s \cdot X(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot X^2(\text{mm}^4)$	$I_{yo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,200.0 × 12.0	14,400.0	-	-	-	1.728E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		21,600.0	-	-	-	5.417E+07

$$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 2,644,099,200.0 + 1,728,086,400.0 = 4.372\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 0.0 + 54,172,800.0 = 5.417\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

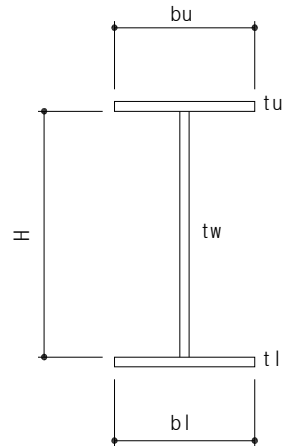
- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$K = \sum (b \times t^3) / 3$$

$$= (300.0 \times 12.0^3 + 1,200.0 \times 12.0^3 + 300.0 \times 12.0^3) / 3 = 1.037\text{E}+06 \text{ mm}^4$$

◎ 가로보 단면 < 4 >



bu	=	300.0	mm
bl	=	300.0	mm
H	=	1,300.0	mm
tu	=	12.0	mm
tw	=	12.0	mm
tl	=	12.0	mm

X(3)축 방향

구 분	구 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	656.0	2.362E+06	1.549E+09	4.320E+04
WEB	1 - 1,300.0 × 12.0	15,600.0	-	-	-	2.197E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-656.0	-2.362E+06	1.549E+09	4.320E+04
합 계		22,800.0	-	0.000E+00	3.098E+09	2.197E+09

Y(2)축 방향

구 분	구 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$X(\text{mm})$	$A_s \cdot X(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot X^2(\text{mm}^4)$	$I_{yo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
WEB	1 - 1,300.0 × 12.0	15,600.0	-	-	-	1.872E+05
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	2.700E+07
합 계		22,800.0	-	-	-	5.419E+07

$$I_{33} = \sum A_s Y^2 + \sum I_{xo} = 3,098,419,200.0 + 2,197,086,400.0 = 5.296\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = \sum A_s X^2 + \sum I_{yo} = 0.0 + 54,187,200.0 = 5.419\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

※모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정 강성

- 비틀림 강성

(도.설.해 3.8.2.3)

$$K = \sum (b \times t^3) / 3$$

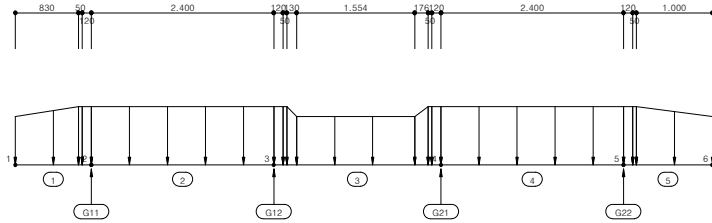
$$= (300.0 \times 12.0^3 + 1,300.0 \times 12.0^3 + 300.0 \times 12.0^3) / 3 = 1.094\text{E}+06 \text{ mm}^4$$

4.3 작용하중의 산정

가. 횡방향 하중분배

1) 합성전 고정하중(슬래브 자중)

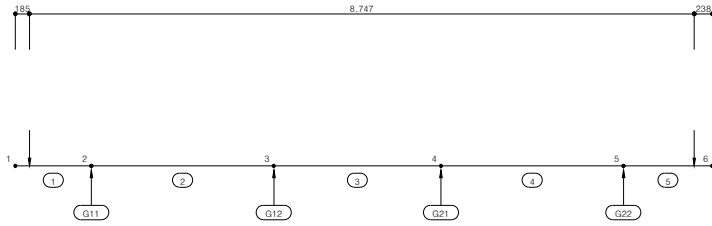
(1) 슬래브자중(STA. 0K+282.900)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m ²)	위치 (m)	하중(kN/m ²)	
W1	1	0.000	-6.000	0.830	-7.250	분포하중
W2	1	0.830	-7.250	0.880	-7.250	분포하중
W3	1	0.880	-7.250	1.000	-7.250	분포하중
W4	2	0.000	-7.250	2.400	-7.250	분포하중
W5	3	0.000	-7.250	0.120	-7.250	분포하중
W6	3	0.120	-7.250	0.170	-7.250	분포하중
W7	3	0.170	-7.250	0.300	-6.000	분포하중
W8	3	0.300	-6.000	1.854	-6.000	분포하중
W9	3	1.854	-6.000	2.030	-7.250	분포하중
W10	3	2.030	-7.250	2.080	-7.250	분포하중
W11	3	2.080	-7.250	2.200	-7.250	분포하중
W12	4	0.000	-7.250	2.400	-7.250	분포하중
W13	5	0.000	-7.250	0.120	-7.250	분포하중
W14	5	0.120	-7.250	0.170	-7.250	분포하중
W15	5	0.170	-7.250	1.170	-6.000	분포하중

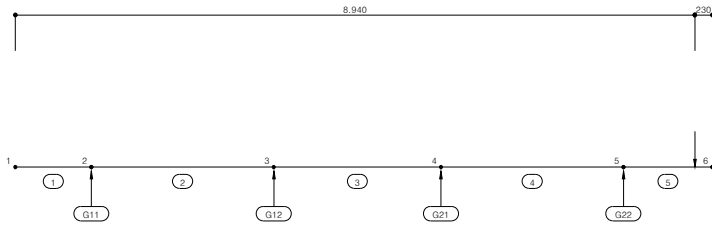
2) 합성후 고정하중

(1) 방호벽(STA. 0K+282.900)



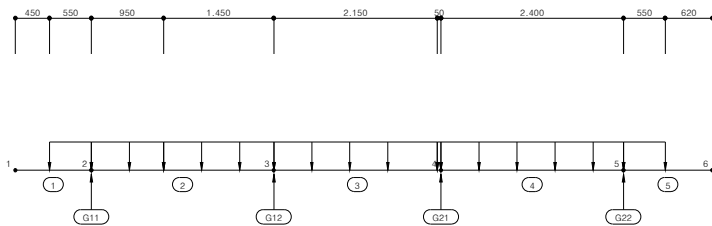
하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m ²)	위치 (m)	하중(kN/m ²)	
P1	1	0.185	-9.839	-	-	집중하중
P2	5	0.932	-15.449	-	-	집중하중

(2) 방음벽(우)(STA. 0K+282.900)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m ²)	위치 (m)	하중(kN/m ²)	
P1	5	0.940	-1.000	-	-	집중하중

(3) 아스콘(STA. 0K+282.900)



하중명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		하중종류
		위치 (m)	하중(kN/m ²)	위치 (m)	하중(kN/m ²)	
W1	1	0.450	-1.175	1.000	-1.175	분포하중
W2	2	0.000	-1.175	0.950	-1.175	분포하중
W3	2	0.950	-1.175	2.400	-1.175	분포하중
W4	3	0.000	-1.175	2.150	-1.175	분포하중
W5	3	2.150	-1.175	2.200	-1.175	분포하중
W6	4	0.000	-1.175	2.400	-1.175	분포하중
W7	5	0.000	-1.175	0.550	-1.175	분포하중

3) 활하중

연석간의 교폭 $W_c = 8.100 \text{ m}$ (STA. 0K+282.900)

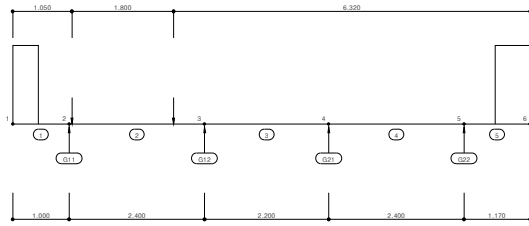
∴ 설계 차로수 $N = 2$ (도.설 2.1.3)

설계 차로폭 $W = W_c / N = 8.100 / 2 = 4.050 > 3.6 \text{ m} \Rightarrow W = 3.600 \text{ m}$

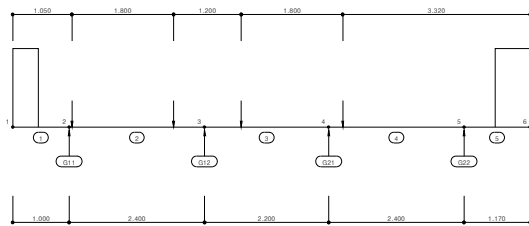
곡선교와 같이 차량의 편심재하에 대한 설계가 중요한 교량에서는 표준차로폭이나 설계차로폭에 관계없이 DB하중이나 DL하중을 표준점유폭인 3m마다 연속시켜서 설계차선수 이내로 최대의 편심효과가 일어날 수 있도록 재하한다.

설계차로폭 $W = 3.0 \text{ m}$

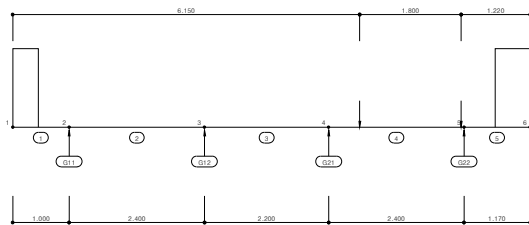
< G1 Max DB 1선 >



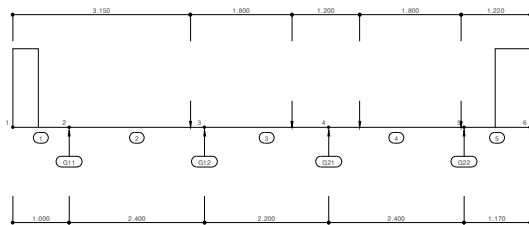
< G1 Max DB 2선 >



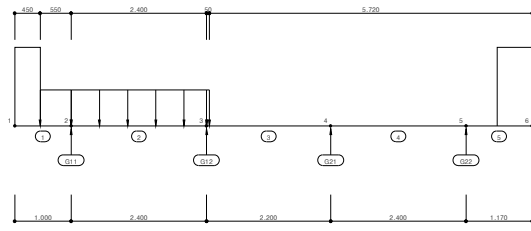
< G2 Max DB 1선 >



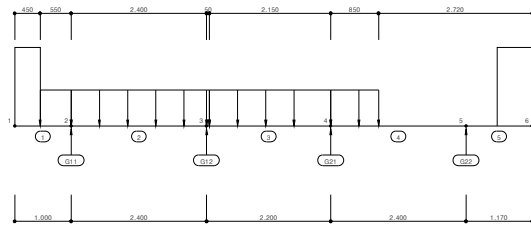
< G2 Max DB 2선 >



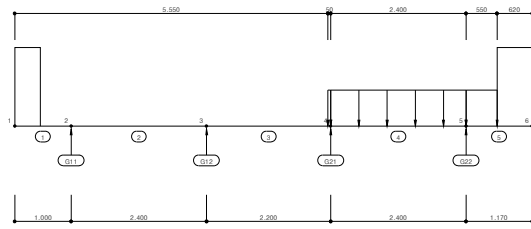
< G1 Max DL 1선 >



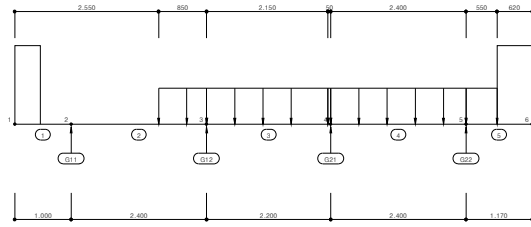
< G1 Max DL 2선 >



< G2 Max DL 1선 >



< G2 Max DL 2선 >



4) 활하중의 크기

◁ DB-24 (운하중)

전륜 하중 $P_f = 24.000 \text{ kN}$

후륜 하중 $P_r = 96.000 \text{ kN}$

◁ DL-24 (차선하중)

$W = 12.700 / 3.0 = 4.233 \text{ kN/m}$

$P_m = ##### / 3.0 = 36.000 \text{ kN}$

$P_s = ##### / 3.0 = 52.000 \text{ kN}$

5) 활하중 충격계수 (도.설 2.1.4)

지간장 (L) = $44.350 + 45.000 + 45.000 + 44.350 \text{ m}$

따라서, 내부 지점 및 지간내에 재하되는 하중에 대한 충격계수는 아래와 같다.

다만, 탱크궤도하중과 탱크 트레일러 하중에는 일률적으로 충격계수를 0.15로 적용 한다.

◁ 제1 지간

$$i = \frac{15}{40 + 44.35} = 0.178 < 0.3 \Rightarrow 0.178$$

◁ 제2 지간

$$i = \frac{15}{40 + 45} = 0.176 < 0.3 \Rightarrow 0.176$$

◁ 제3 지간

$$i = \frac{15}{40 + 45} = 0.176 < 0.3 \Rightarrow 0.176$$

◁ 제4 지간

$$i = \frac{15}{40 + 44.35} = 0.178 < 0.3 \Rightarrow 0.178$$

◁ 제1 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (44.350 + 45.000) / 2} = 0.177 < 0.3 \Rightarrow 0.177$$

◁ 제2 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (45.000 + 45.000) / 2} = 0.176 < 0.3 \Rightarrow 0.176$$

◁ 제3 내부지점

$$i = \frac{15}{40 + (45.000 + 44.350) / 2} = 0.177 < 0.3 \Rightarrow 0.177$$

∴ 계산된 충격계수 중 가장 큰 0.178 를 적용함.

6) 풍하중 (도.설 2.1.11)

다음의 계산은 활하중 비재하시의 값으로 활하중 재하시에는 산정된 값의 1/2을 적용한다.

< A1 - 위치 : Sta 0+278.55 >

- 좌측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

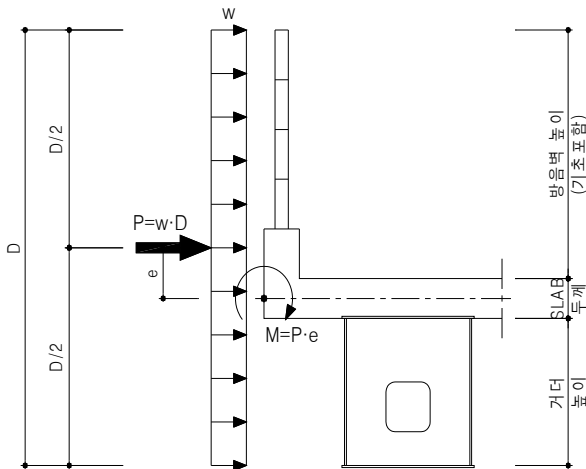
$$= 1.800 + 0.290 + 1.320 = 3.410 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 3.410 = 2.689$$

$$I \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (3.410 / 9.170)] = 11.8 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 ⇒ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 11.806 \text{ kN/m}$$

$$w = 3462.2 \text{ N/m}^2$$

$$e = -0.240 \text{ m}$$

$$M = -2.833 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

- 우측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

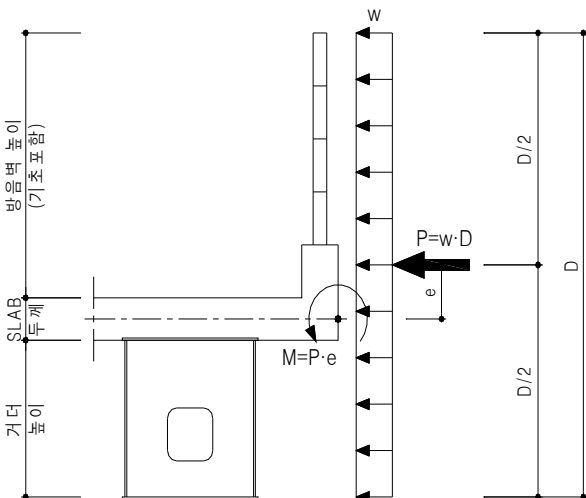
$$= 1.800 + 0.290 + 2.000 = 4.090 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 4.090 = 2.242$$

$$I \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (4.090 / 9.170)] = 14.5 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 ⇒ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 14.526 \text{ kN/m}$$

$$w = 3551.6 \text{ N/m}^2$$

$$e = 0.100 \text{ m}$$

$$M = 1.453 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

< P1 - 위치 : Sta 0+322.90 >

- 좌측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

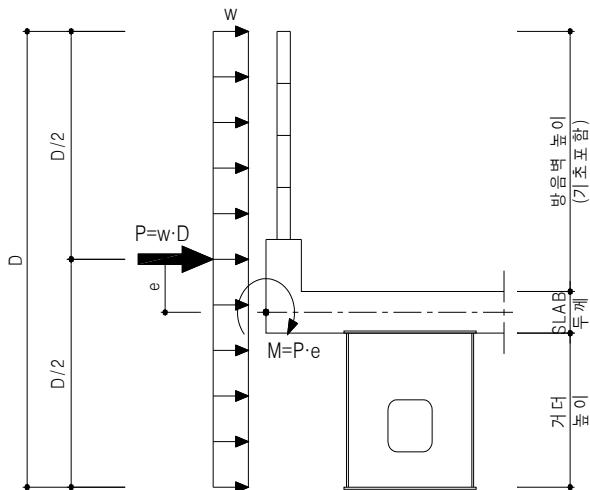
$$= 2.200 + 0.290 + 1.320 = 3.810 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 3.810 = 2.407$$

$$1 \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (3.810 / 9.170)] = 13.4 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 ⇒ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 13.406 \text{ kN/m}$$

$$w = 3518.6 \text{ N/m}^2$$

$$e = -0.440 \text{ m}$$

$$M = -5.899 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

- 우측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

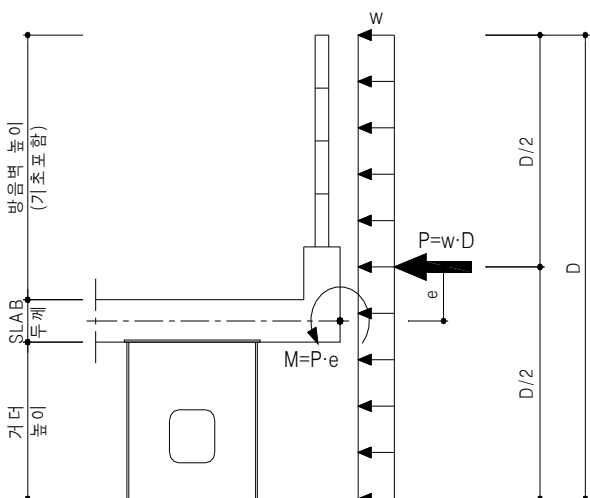
$$= 2.200 + 0.290 + 2.000 = 4.490 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 4.490 = 2.042$$

$$1 \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (4.490 / 9.170)] = 16.1 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 ⇒ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 16.126 \text{ kN/m}$$

$$w = 3591.5 \text{ N/m}^2$$

$$e = -0.100 \text{ m}$$

$$M = -1.613 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

< P2 - 위치 : Sta 0+367.90 >

- 좌측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

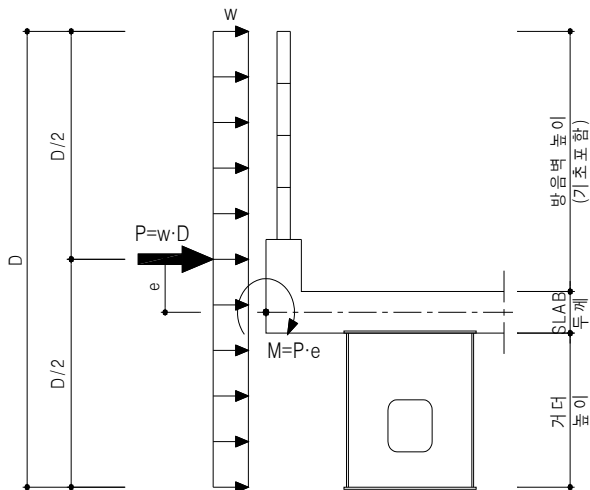
$$= 2.200 + 0.290 + 1.320 = 3.810 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 3.810 = 2.407$$

$$1 \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (3.810 / 9.170)] = 13.4 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 $\Rightarrow$ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 13.406 \text{ kN/m}$$

$$w = 3518.6 \text{ N/m}^2$$

$$e = -0.440 \text{ m}$$

$$M = -5.899 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

- 우측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

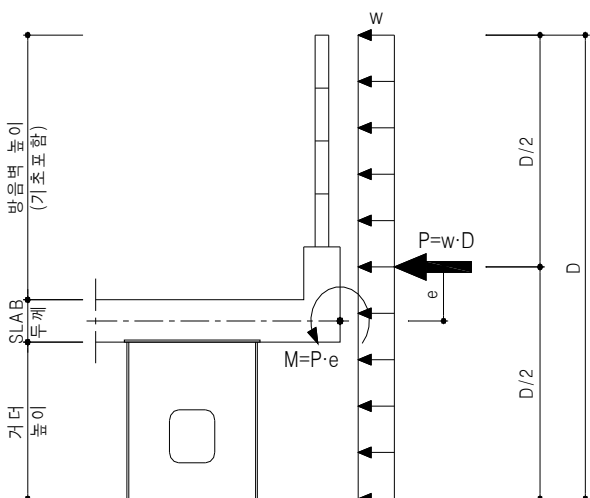
$$= 2.200 + 0.290 + 2.000 = 4.490 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 4.490 = 2.042$$

$$1 \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (4.490 / 9.170)] = 16.1 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 $\Rightarrow$ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 16.126 \text{ kN/m}$$

$$w = 3591.5 \text{ N/m}^2$$

$$e = -0.100 \text{ m}$$

$$M = -1.613 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

< P3 - 위치 : Sta 0+412.90 >

- 좌측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

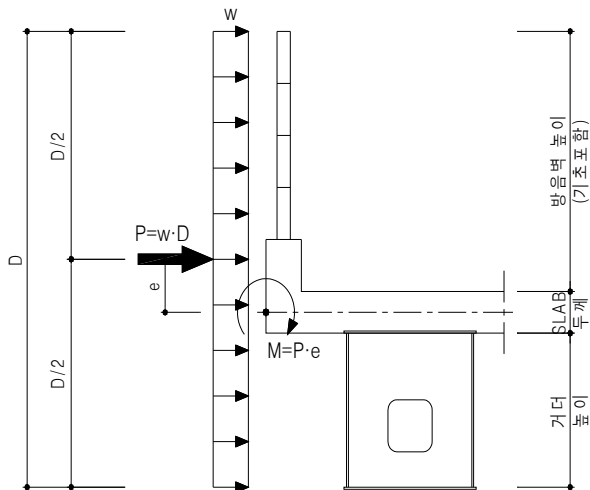
= 2.200 + 0.290 + 1.320 = 3.810 m

B / D = 9.170 / 3.810 = 2.407

$1 \leq B / D < 8$ 이므로 $P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$

$P = [4.0 - 0.2 (3.810 / 9.170)] = 13.4 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$

(외측 $\Rightarrow$ 내측 풍하중 재하시)



$p = 13.406 \text{ kN/m}$

$w = 3518.6 \text{ N/m}^2$

$e = -0.440 \text{ m}$

$M = -5.899 \text{ N} \cdot \text{m/m}$

- 우측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

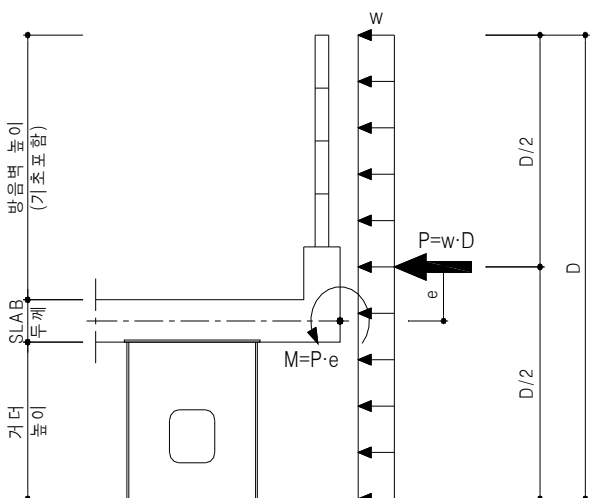
= 2.200 + 0.290 + 2.000 = 4.490 m

B / D = 9.170 / 4.490 = 2.042

$1 \leq B / D < 8$ 이므로 $P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$

$P = [4.0 - 0.2 (4.490 / 9.170)] = 16.1 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$

(외측 $\Rightarrow$ 내측 풍하중 재하시)



$p = 16.126 \text{ kN/m}$

$w = 3591.5 \text{ N/m}^2$

$e = -0.100 \text{ m}$

$M = -1.613 \text{ N} \cdot \text{m/m}$

- 좌측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

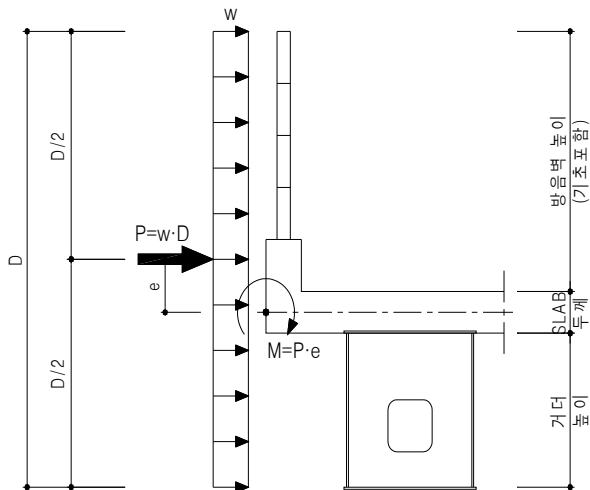
$$= 1.800 + 0.290 + 1.320 = 3.410 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 3.410 = 2.689$$

$$1 \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (3.410 / 9.170)] = 11.8 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 ⇒ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 11.806 \text{ kN/m}$$

$$w = 3462.2 \text{ N/m}^2$$

$$e = -0.240 \text{ m}$$

$$M = -2.833 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

- 우측 캔틸레버부

교량 폭원 (B) = 9.170 m

교량 총높이 (D) = 거더높이 + SLAB두께 + 방음벽높이 =

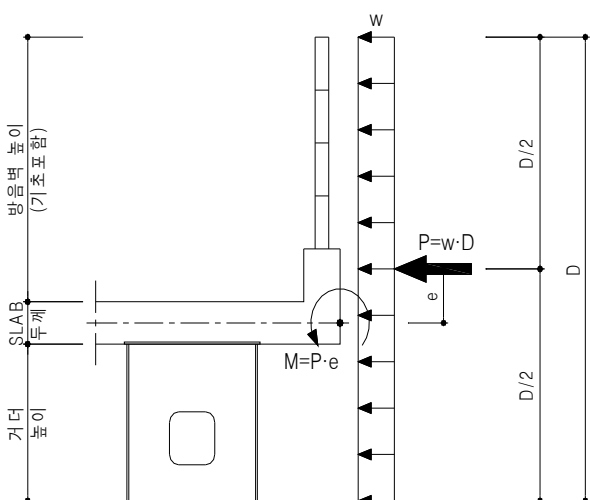
$$= 1.800 + 0.290 + 2.000 = 4.090 \text{ m}$$

$$B / D = 9.170 / 4.090 = 2.242$$

$$1 \leq B / D < 8 \text{ 이므로 } P = [4.0 - 0.2 (B / D)] D$$

$$P = [4.0 - 0.2 (4.090 / 9.170)] = 14.5 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ kN/m}$$

(외측 ⇒ 내측 풍하중 재하시)



$$p = 14.526 \text{ kN/m}$$

$$w = 3551.6 \text{ N/m}^2$$

$$e = 0.100 \text{ m}$$

$$M = 1.453 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

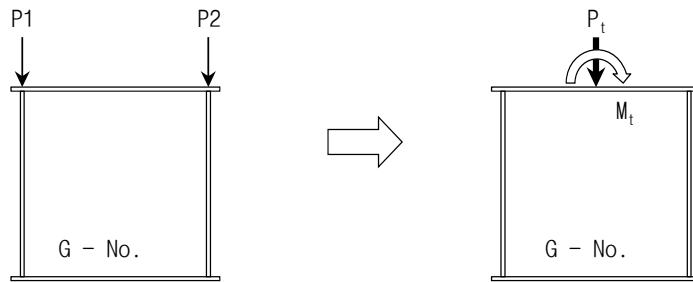
나. 주형별 작용 하중

1) 강재자중 - 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재자중 47.322 % 할증적용

$$\text{총강재중량} / \text{모델링 강재중량} = 5019.210 \text{ kN} / 3406.960 \text{ kN} = 1.47322$$

· 단 면 - 1	: 0.109 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	12.615 kN/m
· 단 면 - 2	: 0.086 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	10.001 kN/m
· 단 면 - 3	: 0.114 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	13.170 kN/m
· 단 면 - 4	: 0.123 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	14.241 kN/m
· 단 면 - 5	: 0.137 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	15.789 kN/m
· 단 면 - 6	: 0.141 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	16.355 kN/m
· 단 면 - 7	: 0.093 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	10.799 kN/m
· 단 면 - 8	: 0.131 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	15.178 kN/m
· 단 면 - 9	: 0.136 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	15.744 kN/m
· 가로보 - 1	: 0.019 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	2.220 kN/m
· 가로보 - 2	: 0.020 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	2.359 kN/m
· 가로보 - 3	: 0.022 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	2.498 kN/m
· 가로보 - 4	: 0.023 m ²	× 78.50 kN/m ³	× 1.47322 =	2.637 kN/m

2) 합성전 고정하중(Half-deck)



< Sta 0+282.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+287.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+297.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+307.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+337.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+352.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+382.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+397.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+427.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+437.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+447.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+452.90 >

거더 No.	거더폭(m)	Half-deck 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	8.750				
G - 2	2.400	8.750				

< Sta 0+278.55 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	26.536	28.391	54.927	2.226	
G - 2	2.400	26.575	29.686	56.261	3.733	

< Sta 0+282.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+287.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+292.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+297.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+302.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+307.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+312.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+317.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+322.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+327.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+332.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+337.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+342.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+347.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+352.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+357.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+362.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+367.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+372.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+377.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+382.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+387.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+392.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+397.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+402.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+407.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+412.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+417.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+422.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+427.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+432.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+437.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+442.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+447.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

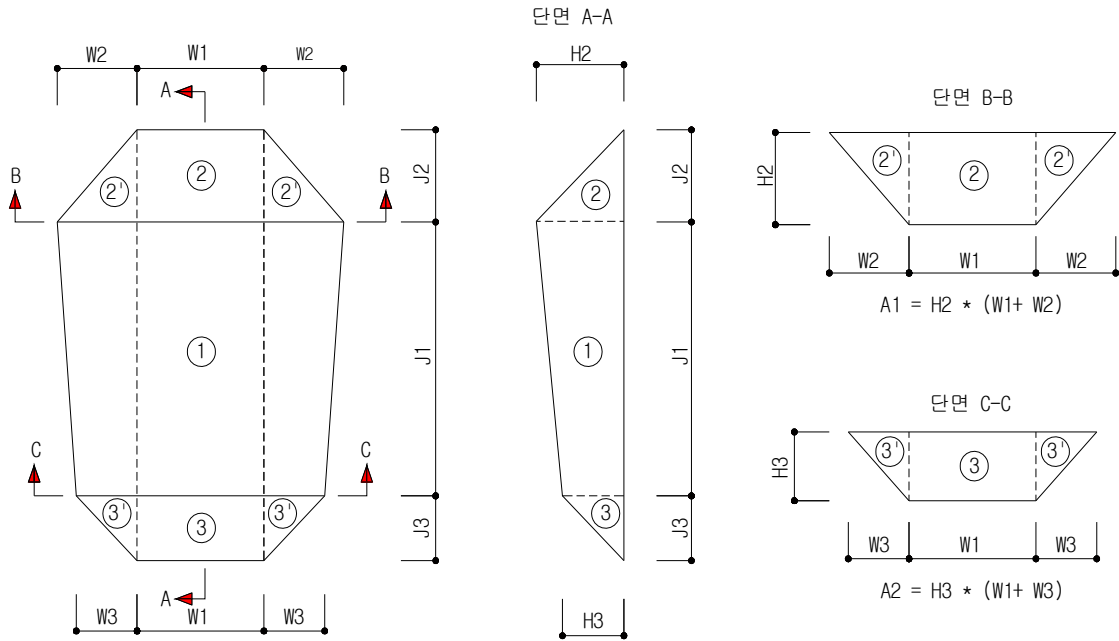
< Sta 0+452.90 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	15.531	15.678	31.209	0.176	
G - 2	2.400	14.679	17.318	31.997	3.167	

< Sta 0+457.25 >

거더 No.	거더폭(m)	슬래브 자중				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN · m/m)	
G - 1	2.400	26.536	28.391	54.927	2.226	
G - 2	2.400	26.575	29.686	56.261	3.733	

가로보 현치 자중



* 산식 정리

$$V(1)$$

$$= 1/2 \times J1 \times (A1 + A2) = 1/2 \times J1 \times (H2 \times (W1 + W2) + H3 \times (W1 + W3))$$

$$V(2) + (2')$$

$$= (1/2 \times H2 \times J2 \times W1) + (1/2 \times H2 \times J2 \times W2 \times 1/3) \times 2 \text{ ea}$$

$$V(3) + (3')$$

$$= (1/2 \times H3 \times J3 \times W1) + (1/2 \times H3 \times J3 \times W3 \times 1/3) \times 2 \text{ ea}$$

가로보 단위 길이당 작용 하중

$$\therefore \Sigma V \times \text{단위중량} / \text{가로보 길이}$$

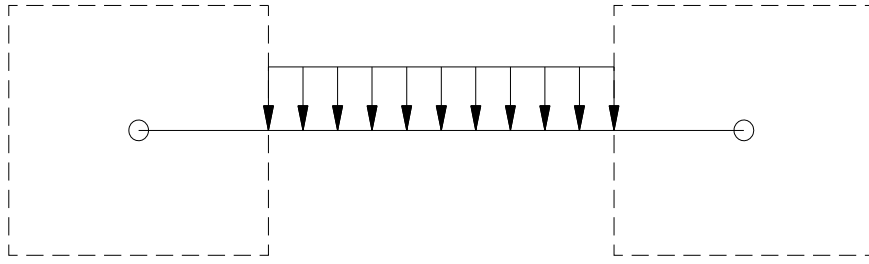
* 입력자료

[illegible]

* 계산자료

위치	체적 (m³)				단위중량 (kN/m³)	길이당 중량 (kN/m)
	V(1)	V(2)+(2')	V(3)+(3')	Σ V		
G1-C1	0.000	0.000	0.000	0.000	25.000	0.000
G1-C2	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C3	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C4	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C5	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C6	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C7	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C8	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C9	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C10	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C11	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C12	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C13	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C14	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C15	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C16	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C17	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C18	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C19	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C20	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C21	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C22	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C23	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C24	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C25	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C26	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C27	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C28	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C29	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C30	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C31	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C32	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C33	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C34	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C35	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C36	0.032	0.001	0.002	0.035	25.000	0.516
G1-C37	0.000	0.000	0.000	0.000	25.000	0.000

* 가로보 하중 작용위치



3) 합성후 고정하중

< Sta 0+278.55 >

거더 No.	거더폭(m)	Pavement 및 방호벽, 중분대				비 고
		P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	
G - 1	2.400	15.563	0.147	15.710	-18.499	
G - 2	2.400	-6.148	26.243	20.095	38.869	

상기 하중과 점검로 등의 부속설비 하중으로 500.0 N/m² 을 설계에 반영 (강도로교 상세부 설계지침 P131)

거더당 작용하는 부속설비 하중 $W(kN/m) = 0.5 \text{ kN/m}^2 \times \text{슬래브 평균폭(m)} / \text{총거더수}$

$$W = 0.50 \times 9.170 / 2 = 2.293 \text{ kN/m}$$

4) 활하중

< DB-24 G1 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	1.117	1.006	2.123	-0.133	-0.062	
	G - 2	2.400	-0.145	0.021	-0.123	0.199	-1.617	
2 차선	G - 1	2.400	1.061	1.728	2.789	0.800	0.287	
	G - 2	2.400	1.177	0.034	1.211	-1.372	-1.132	

< DB-24 G2 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	0.021	-0.145	-0.123	-0.199	1.617	
	G - 2	2.400	1.006	1.117	2.123	0.133	0.062	
2 차선	G - 1	2.400	0.034	1.177	1.211	1.372	1.132	
	G - 2	2.400	1.728	1.061	2.789	-0.800	-0.287	

< DL-24 G1 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	1.665	1.533	3.198	-0.159	-0.050	
	G - 2	2.400	-0.233	0.034	-0.198	0.320	-1.617	
2 차선	G - 1	2.400	1.582	2.592	4.173	1.212	0.290	
	G - 2	2.400	1.795	0.032	1.827	-2.115	-1.158	

< DL-24 G2 MAX > : 단위하중재하

차선 재하	거더No.	거더폭(m)	격자해석용 거더별 활하중 계수					비 고
			P1(kN/m)	P2(kN/m)	Pt(kN/m)	Mt(kN)	e(m)	
1 차선	G - 1	2.400	0.034	-0.233	-0.198	-0.320	1.617	
	G - 2	2.400	1.533	1.665	3.198	0.159	0.050	
2 차선	G - 1	2.400	0.032	1.795	1.827	2.115	1.158	
	G - 2	2.400	2.592	1.582	4.173	-1.212	-0.290	

- 풍하중

< A1 - 위치 : Sta. 0+278.55 >

- LWind (Left -> Right)

LWind		G - 1	G - 2	단 위
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m
거더중심 ~ 교좌장치(P2)				
수 직 하 중	P1	-2.066	2.066	kN/m
	P2			
	Pt	-2.066	2.066	
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m
수 평 하 중	H	-11.806	0.000	kN/m

- RWind (Right -> Left)

RWind		G - 1	G - 2	단 위
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m
거더중심 ~ 교좌장치(P2)				
수 직 하 중	P1	2.348	-2.348	kN/m
	P2			
	Pt	2.348	-2.348	
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m
수 평 하 중	H	6.000	0.000	kN/m

< P1 - 위치 : Sta. 0+322.90 >

- LWind (Left -> Right)

LWind		G - 1	G - 2	단 위
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m
거더중심 ~ 교좌장치(P2)				
수 직 하 중	P1	-2.346	2.346	kN/m
	P2			
	Pt	-2.346	2.346	
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m
수 평 하 중	H	-13.406	0.000	kN/m

- RWind (Right -> Left)

RWind		G - 1	G - 2	단 위
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m
거더중심 ~ 교좌장치(P2)				
수 직 하 중	P1	2.609	-2.609	kN/m
	P2			
	Pt	2.609	-2.609	
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m
수 평 하 중	H	6.000	0.000	kN/m

< P2 - 위치 : Sta. 0+367.90 >

- LWind (Left -> Right)

LWind		G - 1	G - 2	단 위	
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m	
거더중심 ~ 교좌장치(P2)					
수 직 하 중	P1	-2.346	2.346	kN/m	
	P2				
	Pt	-2.346	2.346		
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m	
수 평 하 중		H	-13.406	0.000	kN/m

- RWind (Right -> Left)

RWind		G - 1	G - 2	단 위	
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m	
거더중심 ~ 교좌장치(P2)					
수 직 하 중	P1	2.609	-2.609	kN/m	
	P2				
	Pt	2.609	-2.609		
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m	
수 평 하 중		H	6.000	0.000	kN/m

< P3 - 위치 : Sta. 0+412.90 >

- LWind (Left -> Right)

LWind		G - 1	G - 2	단 위
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m
거더중심 ~ 교좌장치(P2)				
수 직 하 중	P1	-2.346	2.346	kN/m
	P2			
	Pt	-2.346	2.346	
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m
수 평 하 중	H	-13.406	0.000	kN/m

- RWind (Right -> Left)

RWind		G - 1	G - 2	단 위	
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m	
거더중심 ~ 교좌장치(P2)					
수 직 하 중	P1	2.609	-2.609	kN/m	
	P2				
	Pt	2.609	-2.609		
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m	
수 평 하 중		H	6.000	0.000	kN/m

< A2 - 위치 : Sta. 0+457.25 >

- LWind (Left -> Right)

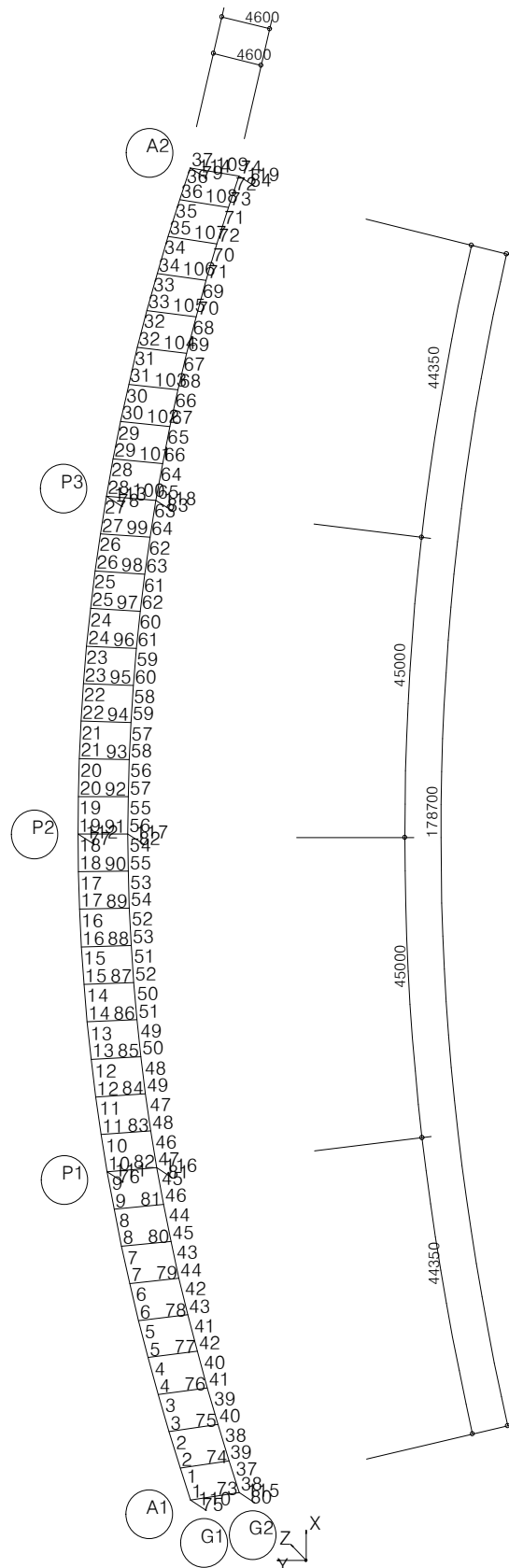
LWind		G - 1	G - 2	단 위
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m
거더중심 ~ 교좌장치(P2)				
수 직 하 중	P1	-2.066	2.066	kN/m
	P2			
	Pt	-2.066	2.066	
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m
수 평 하 중	H	-11.806	0.000	kN/m

- RWind (Right -> Left)

RWind		G - 1	G - 2	단 위
거더중심 ~ 교좌장치(P1)		0.000	0.000	m
거더중심 ~ 교좌장치(P2)				
수 직 하 중	P1	2.348	-2.348	kN/m
	P2			
	Pt	2.348	-2.348	
	Mt	0.000	0.000	kN · m/m
수 평 하 중	H	6.000	0.000	kN/m

4.4 모델링 및 단면제원

1) 모델링



2) 단면 제정수

- 주형 (합성전)

구 분		A (mm ²)	I33 (mm ⁴)	I22 (mm ⁴)	K (mm ⁴)	비 고
FRM.SEC-1	합성전	1.091E+05	5.253E+10	9.304E+10	8.498E+10	
	절점번호	1, 37, 38, 74				
FRM.SEC-2	합성전	1.376E+05	9.064E+10	1.150E+11	1.281E+11	
	절점번호	2, 3, 5, 7, 16, 22, 31, 33, 35, 36, 39, 40, 42, 44, 53, 59, 68, 70, 72, 73				
FRM.SEC-3	합성전	1.139E+05	6.789E+10	1.000E+11	1.026E+11	
	절점번호	4, 6, 14, 15, 23, 24, 32, 34, 41, 43, 51, 52, 60, 61, 69, 71				
FRM.SEC-4	합성전	1.231E+05	7.668E+10	1.045E+11	1.058E+11	
	절점번호	8, 12, 17, 21, 26, 30, 45, 49, 54, 58, 63, 67				
FRM.SEC-5	합성전	1.365E+05	1.011E+11	1.166E+11	1.369E+11	
	절점번호	9, 11, 27, 29, 46, 48, 64, 66				
FRM.SEC-6	합성전	1.414E+05	1.250E+11	1.238E+11	1.583E+11	
	절점번호	10, 28, 47, 65				
FRM.SEC-7	합성전	1.445E+05	9.735E+10	1.178E+11	1.281E+11	
	절점번호	13, 25, 50, 62				
FRM.SEC-8	합성전	1.312E+05	9.413E+10	1.163E+11	1.292E+11	
	절점번호	18, 20, 55, 57				
FRM.SEC-9	합성전	1.361E+05	1.166E+11	1.207E+11	1.498E+11	
	절점번호	19, 56				

- 주형 (합성후)

구 분		A (mm ²)	I33 (mm ⁴)	I22 (mm ⁴)	K (mm ⁴)	비 고
FRM.SEC-1	합성후	3.919E+05	1.478E+11	5.706E+11	1.236E+11	
	절점번호	1, 37				
FRM.SEC-2	합성후	2.598E+05	1.441E+11	3.588E+11	1.400E+11	
	절점번호	2, 3, 5, 7, 16, 22, 31, 33, 35, 36				
FRM.SEC-3	합성후	2.682E+05	1.441E+11	3.605E+11	1.388E+11	
	절점번호	4, 6, 14, 15, 23, 24, 32, 34				
FRM.SEC-4	합성후	2.774E+05	1.645E+11	3.651E+11	1.428E+11	
	절점번호	8, 12, 17, 21, 26, 30				
FRM.SEC-5	합성후	2.908E+05	2.222E+11	3.772E+11	1.769E+11	
	절점번호	9, 11, 27, 29				
FRM.SEC-6	합성후	2.957E+05	2.702E+11	3.843E+11	2.016E+11	
	절점번호	10, 28				
FRM.SEC-7	합성후	2.667E+05	1.580E+11	3.616E+11	1.400E+11	
	절점번호	13, 25				
FRM.SEC-8	합성후	2.855E+05	2.211E+11	3.768E+11	1.760E+11	
	절점번호	18, 20				
FRM.SEC-9	합성후	2.904E+05	2.688E+11	3.812E+11	2.006E+11	
	절점번호	19				
FRM.SEC-10	합성후	4.026E+05	1.489E+11	6.266E+11	1.236E+11	
	절점번호	38, 74				
FRM.SEC-11	합성후	2.656E+05	1.454E+11	3.894E+11	1.400E+11	
	절점번호	39, 40, 42, 44, 53, 59, 68, 70, 72, 73				
FRM.SEC-12	합성후	2.740E+05	1.453E+11	3.911E+11	1.388E+11	
	절점번호	41, 43, 51, 52, 60, 61, 69, 71				
FRM.SEC-13	합성후	2.833E+05	1.660E+11	3.956E+11	1.428E+11	
	절점번호	45, 49, 54, 58, 63, 67				
FRM.SEC-14	합성후	2.966E+05	2.243E+11	4.077E+11	1.769E+11	
	절점번호	46, 48, 64, 66				
FRM.SEC-15	합성후	3.015E+05	2.727E+11	4.148E+11	2.016E+11	
	절점번호	47, 65				

구 분		A (mm ²)	I33 (mm ⁴)	I22 (mm ⁴)	K (mm ⁴)	비 고
FRM.SEC-16	합성후	2.725E+05	1.594E+11	3.922E+11	1.400E+11	
	절점번호	50, 62				
FRM.SEC-17	합성후	2.914E+05	2.233E+11	4.073E+11	1.760E+11	
	절점번호	55, 57				
FRM.SEC-18	합성후	2.963E+05	2.714E+11	4.118E+11	2.006E+11	
	절점번호	56				

- 가로보 및 세로보

구 분		A (mm ²)	I33 (mm ⁴)	I22 (mm ⁴)	K (mm ⁴)	비 고
FRM.SEC-1	단면제원	1.920E+04	2.844E+09	5.414E+07	9.216E+05	
	부재번호	73, 109				
FRM.SEC-2	단면제원	2.040E+04	3.557E+09	5.416E+07	9.792E+05	
	부재번호	74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108				
FRM.SEC-3	단면제원	2.160E+04	4.372E+09	5.417E+07	1.037E+06	
	부재번호	81, 83, 90, 92, 99, 101				
FRM.SEC-4	단면제원	2.280E+04	5.296E+09	5.419E+07	1.094E+06	
	부재번호	82, 91, 100				

3) 하 중 조 합

(1) CASE 1 : 합성전 고정하중 (단면 : Steel)

- ① STEEL 자중
- ② 콘크리트 자중
 - ⓐ 바닥판 자중
 - ⓑ 가로보현치 자중
- ③ Half-deck 자중

(2) CASE 2 : 합성후 고정하중 (단면 : Steel + Slab)

- ① 포장, 보도, 방음벽 및 방호책 등 합성후 고정하중
- ② 점검로 등의 부속설비 하중(500 N/m^2)

(3) CASE 3 : 활하중 및 풍하중 (단면 : Steel + Slab)

- 단위하중을 재하하여 나온 횡분배된 결과를 기준으로 각 거더별 가중치를 산정

SAP2000 Program의 BRIDGE 기능을 이용 거더별로 산정한 가중치를 곱하여 단면력을 산정

- ① DB-24 하중 : 표준트럭하중을 연행하중으로 적용하였으며, 뒷바퀴간의 간격을 4.2~9.0m로 적용
- ② DL-24 하중 : 차선하중은 SAP BRIDGE에서 재하하였으며, Ps 및 Pm 하중은 재하경간내에서 검토단면에 최대단면력을 발생시키는 위치에 재하
- ③ 풍 하 중 : 교량에 측면에 작용하는 풍하중을 횡분배 산정 후 적용

(4) CASE 4 : 지점침하 (단면 : Steel + Slab)

- 합성후 단면에 대하여 각 지점 위치별 10 mm 의 부등침하를 조합하여 적용

4) 부재력 집계

[BENDING MOMENT]

< Girder 1 >

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
1	1	-0.328	-0.607	-0.698	2.008	-2.547	24.921	-18.564	0.146	-0.163	A1
	2	1,232.684	1,625.277	1,169.100	2,052.660	-244.456	107.438	-76.580	70.550	-53.003	
2	2	1,232.825	1,625.151	1,167.973	2,054.583	-244.635	109.639	-78.042	70.459	-53.026	
	3	2,208.257	2,819.832	2,157.363	3,317.488	-508.328	74.700	-56.152	150.978	-111.080	
3	3	2,208.482	2,819.843	2,156.351	3,319.550	-508.419	76.750	-57.496	150.884	-111.112	
	4	2,723.305	3,424.049	2,651.241	3,974.363	-793.817	54.026	-42.479	231.594	-169.717	
4	4	2,723.474	3,424.109	2,650.704	3,975.496	-793.900	55.308	-43.288	231.488	-169.744	
	5	2,744.845	3,418.388	2,639.829	4,088.795	-1,070.328	46.139	-37.564	312.381	-228.788	
5	5	2,744.899	3,418.437	2,639.812	4,089.203	-1,070.364	46.473	-37.720	312.252	-228.801	
	6	2,252.781	2,836.210	2,126.274	3,816.742	-1,351.679	42.206	-35.266	393.200	-287.993	
6	6	2,252.669	2,836.202	2,126.870	3,815.598	-1,351.632	41.561	-34.723	393.033	-287.984	
	7	1,264.046	1,641.928	1,115.025	3,069.986	-1,662.344	36.302	-30.850	473.596	-347.048	
7	7	1,263.769	1,641.866	1,116.215	3,067.459	-1,662.661	34.822	-29.677	473.383	-347.008	
	8	-215.960	-153.501	-373.301	1,999.019	-1,989.942	11.386	-10.478	551.505	-404.791	
8	8	-216.303	-153.539	-371.701	1,996.527	-1,990.698	9.612	-8.991	551.259	-404.722	
	9	-2,092.557	-2,696.465	-2,264.307	1,036.330	-3,336.285	74.764	-98.063	620.708	-457.551	
9	9	-2,092.856	-2,696.480	-2,262.930	1,035.253	-3,337.413	75.564	-98.449	620.506	-457.494	
	10	-4,367.169	-5,951.090	-4,307.181	687.638	-6,080.467	417.061	-583.729	658.818	-492.722	P1
10	10	-4,367.138	-5,951.017	-4,307.058	687.306	-6,082.295	393.122	-528.696	658.909	-492.823	P1
	11	-2,375.338	-3,052.236	-2,570.174	987.963	-3,598.824	62.396	-70.189	564.299	-363.860	
11	11	-2,375.281	-3,052.472	-2,571.568	990.111	-3,598.191	62.130	-70.707	564.473	-363.989	
	12	-787.351	-872.097	-988.735	2,177.846	-2,417.379	25.991	-16.858	438.034	-221.112	
12	12	-787.190	-872.228	-990.241	2,180.089	-2,417.429	27.187	-17.949	438.263	-221.145	
	13	402.037	561.895	189.254	2,992.047	-2,107.739	45.125	-34.398	303.047	-176.749	
13	13	402.214	561.885	188.215	2,993.654	-2,107.737	46.294	-35.308	303.262	-176.773	
	14	1,088.079	1,396.600	893.106	3,376.042	-1,948.352	46.346	-36.233	165.731	-149.423	
14	14	1,088.191	1,396.655	892.767	3,376.884	-1,948.293	46.928	-36.634	165.927	-149.448	
	15	1,261.376	1,619.576	1,099.617	3,366.459	-1,852.061	45.840	-36.248	240.623	-224.043	
15	15	1,261.390	1,619.668	1,100.004	3,365.686	-1,851.853	45.631	-36.024	240.435	-224.046	
	16	924.310	1,229.647	807.906	2,948.086	-1,800.580	43.800	-34.709	393.294	-298.499	
16	16	924.219	1,229.760	808.991	2,945.883	-1,800.342	42.847	-33.893	393.076	-298.474	
	17	96.969	239.675	37.447	2,099.686	-1,867.359	24.620	-18.781	543.530	-371.754	
17	17	96.827	239.824	38.951	2,097.283	-1,867.561	23.374	-17.656	543.293	-371.708	
	18	-1,124.890	-1,498.700	-1,143.962	1,609.325	-3,061.489	59.377	-75.082	684.304	-439.980	
18	18	-1,125.026	-1,498.564	-1,142.643	1,608.480	-3,062.374	59.936	-75.137	684.115	-439.949	
	19	-2,746.877	-3,969.468	-2,509.611	1,644.248	-5,459.844	378.658	-525.000	791.398	-490.438	P2

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
19	19	-2,748.133	-3,971.059	-2,510.395	1,643.603	-5,460.144	377.592	-522.553	792.255	-490.858	P2
	20	-1,125.237	-1,498.828	-1,142.708	1,608.520	-3,063.067	61.319	-78.256	684.374	-440.007	
20	20	-1,125.110	-1,498.975	-1,144.002	1,609.329	-3,062.170	60.811	-78.320	684.567	-440.040	
	21	97.408	240.727	40.031	2,097.556	-1,867.927	20.066	-16.126	543.283	-371.624	
21	21	97.553	240.577	38.507	2,099.996	-1,867.725	21.415	-17.306	543.525	-371.673	
	22	925.184	1,231.257	810.663	2,946.028	-1,800.291	41.088	-32.974	393.009	-298.376	
22	22	925.271	1,231.143	809.598	2,948.218	-1,800.550	42.258	-33.881	393.228	-298.402	
	23	1,262.811	1,621.852	1,102.358	3,365.836	-1,851.598	45.326	-35.635	240.344	-223.963	
23	23	1,262.793	1,621.756	1,101.955	3,366.647	-1,851.834	45.817	-35.980	240.532	-223.962	
	24	1,090.011	1,399.457	895.848	3,376.604	-1,947.778	47.744	-36.637	166.152	-149.388	
24	24	1,089.900	1,399.401	896.151	3,375.836	-1,947.868	47.426	-36.353	165.959	-149.366	
	25	404.496	565.358	191.830	2,993.490	-2,107.050	47.727	-35.503	303.580	-176.998	
25	25	404.311	565.359	192.855	2,991.910	-2,107.079	46.709	-34.652	303.365	-176.974	
	26	-784.582	-868.242	-986.411	2,179.833	-2,416.977	28.218	-17.879	438.575	-221.372	
26	26	-784.744	-868.112	-984.912	2,177.610	-2,416.960	27.005	-16.893	438.351	-221.340	
	27	-2,373.588	-3,049.603	-2,569.597	990.183	-3,600.385	63.458	-72.434	564.377	-363.924	
27	27	-2,373.619	-3,049.334	-2,568.174	988.033	-3,601.001	63.878	-72.256	564.212	-363.801	
	28	-4,373.182	-5,957.980	-4,313.866	686.221	-6,115.361	398.113	-539.036	656.911	-491.919	P3
28	28	-4,373.156	-5,957.981	-4,313.944	686.443	-6,113.745	422.450	-594.975	656.824	-491.802	P3
	29	-2,093.336	-2,696.686	-2,264.035	1,034.721	-3,339.170	80.502	-108.908	620.010	-457.215	
29	29	-2,092.853	-2,696.448	-2,265.308	1,035.864	-3,337.933	79.830	-108.855	620.254	-457.292	
	30	-216.823	-154.259	-372.843	1,995.418	-1,990.891	3.973	-6.389	551.153	-404.598	
30	30	-216.309	-153.995	-374.225	1,997.905	-1,990.135	5.764	-7.870	551.434	-404.685	
	31	1,262.146	1,639.339	1,114.067	3,066.298	-1,662.584	34.677	-29.696	473.454	-346.972	
31	31	1,262.626	1,639.662	1,113.074	3,069.039	-1,662.412	36.397	-30.982	473.712	-347.035	
	32	2,249.941	2,831.817	2,123.061	3,815.637	-1,352.283	46.177	-37.059	393.195	-288.027	
32	32	2,250.259	2,832.085	2,122.649	3,817.023	-1,352.400	47.199	-37.783	393.409	-288.057	
	33	2,741.550	3,412.768	2,634.452	4,091.519	-1,071.217	54.283	-41.676	312.445	-228.893	
33	33	2,741.633	3,412.900	2,634.594	4,091.178	-1,071.210	54.341	-41.699	312.617	-228.893	
	34	2,719.721	3,417.541	2,644.450	3,979.509	-778.390	64.886	-48.190	231.688	-169.879	
34	34	2,719.531	3,417.496	2,645.167	3,978.072	-778.281	63.856	-47.439	231.826	-169.852	
	35	2,206.130	2,815.012	2,151.035	3,325.485	-509.415	86.388	-62.487	151.005	-111.266	
35	35	2,205.649	2,814.771	2,152.247	3,322.553	-509.237	84.327	-61.000	151.118	-111.220	
	36	1,233.875	1,625.284	1,166.669	2,060.923	-245.507	117.628	-82.155	70.413	-53.183	
36	36	1,233.350	1,625.040	1,167.992	2,057.938	-245.236	115.256	-80.426	70.513	-53.139	
	37	-0.101	-0.423	-0.850	3.297	-3.709	27.990	-20.766	0.169	-0.199	A2

< Girder 2 >

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
37	38	-0.222	-0.513	-1.583	2.457	-2.176	2.405	-1.609	0.096	-0.102	A1
	39	1,190.598	1,604.927	1,355.005	2,004.803	-229.888	67.094	-88.946	69.617	-49.663	
38	39	1,190.724	1,604.750	1,353.193	2,003.640	-230.410	65.215	-85.835	69.522	-49.684	
	40	2,193.329	2,820.565	2,334.741	3,274.798	-513.471	48.572	-62.007	150.427	-109.657	
39	40	2,193.560	2,820.556	2,333.278	3,273.591	-513.536	46.928	-59.330	150.331	-109.690	
	41	2,713.000	3,426.412	2,809.968	3,937.235	-791.182	37.307	-47.240	230.995	-169.080	
40	41	2,713.155	3,426.446	2,809.171	3,936.707	-791.196	36.380	-45.707	230.887	-169.105	
	42	2,730.558	3,417.060	2,793.156	4,052.482	-1,069.813	36.229	-46.704	311.311	-228.017	
41	42	2,730.606	3,417.101	2,793.065	4,052.186	-1,069.740	36.091	-46.435	311.179	-228.030	
	43	2,241.902	2,838.030	2,282.577	3,770.530	-1,379.863	39.574	-52.151	391.467	-286.738	
42	43	2,241.782	2,838.019	2,283.212	3,771.171	-1,380.005	40.329	-53.310	391.300	-286.729	
	44	1,256.137	1,649.213	1,275.193	3,035.642	-1,663.436	43.015	-58.289	471.905	-345.517	
43	44	1,255.835	1,649.147	1,276.670	3,037.031	-1,663.290	44.694	-60.939	471.689	-345.475	
	45	-212.605	-135.163	-248.571	1,983.878	-2,053.564	32.960	-48.371	554.664	-405.500	
44	45	-212.978	-135.192	-246.403	1,985.265	-2,053.421	35.333	-52.206	554.417	-405.431	
	46	-2,074.834	-2,680.363	-2,363.399	1,016.442	-3,262.544	42.813	-39.280	645.976	-470.362	
45	46	-2,075.177	-2,680.381	-2,361.424	1,016.893	-3,259.940	38.867	-36.936	645.768	-470.302	
	47	-4,366.117	-6,075.510	-5,317.586	681.508	-6,034.605	506.108	-365.247	768.065	-552.607	P1
46	47	-4,366.260	-6,075.661	-5,317.604	681.316	-6,034.939	505.490	-364.906	768.046	-552.638	P1
	48	-2,363.194	-3,042.146	-2,668.174	974.370	-3,440.196	52.977	-41.509	588.536	-376.495	
47	48	-2,363.109	-3,042.393	-2,670.154	973.167	-3,442.327	55.828	-43.232	588.713	-376.626	
	49	-783.904	-852.909	-858.067	2,160.681	-2,391.489	32.188	-39.578	440.648	-221.673	
48	49	-783.721	-853.056	-860.137	2,159.457	-2,392.458	30.305	-36.544	440.877	-221.705	
	50	397.875	574.574	360.650	2,963.696	-2,195.436	44.699	-54.566	301.513	-175.573	
49	50	398.070	574.562	359.346	2,962.748	-2,195.751	43.329	-52.348	301.731	-175.596	
	51	1,082.704	1,404.797	1,059.701	3,343.140	-1,944.286	43.293	-53.463	164.639	-148.712	
50	51	1,082.820	1,404.851	1,059.296	3,342.591	-1,944.303	42.723	-52.494	164.836	-148.736	
	52	1,254.375	1,625.480	1,262.193	3,322.442	-1,848.930	42.317	-53.297	239.220	-222.761	
51	52	1,254.391	1,625.584	1,262.724	3,322.856	-1,848.645	42.605	-53.681	239.031	-222.763	
	53	916.950	1,237.677	969.005	2,911.327	-1,877.485	42.363	-54.928	391.556	-296.929	
52	53	916.853	1,237.809	970.426	2,912.536	-1,876.917	43.540	-56.739	391.333	-296.904	
	54	95.132	252.699	160.673	2,071.023	-1,946.563	30.753	-42.993	546.253	-372.239	
53	54	94.975	252.877	162.744	2,072.743	-1,945.910	32.604	-45.957	546.011	-372.191	
	55	-1,116.474	-1,491.224	-1,229.830	1,571.457	-2,948.322	45.475	-40.112	710.212	-452.452	
54	55	-1,116.612	-1,491.054	-1,227.996	1,572.221	-2,946.139	42.414	-38.305	710.023	-452.422	
	56	-2,730.953	-4,065.789	-3,428.527	1,627.951	-5,408.665	479.323	-348.476	907.573	-550.963	P2
55	56	-2,729.693	-4,064.180	-3,427.644	1,628.294	-5,408.719	478.587	-348.165	906.714	-550.650	P2
	57	-1,116.002	-1,490.158	-1,226.917	1,572.887	-2,946.099	46.301	-39.874	709.734	-452.138	
56	57	-1,115.861	-1,490.346	-1,228.917	1,572.136	-2,948.403	49.208	-41.646	709.936	-452.175	
	58	95.725	253.995	163.936	2,073.977	-1,946.250	31.236	-42.448	545.942	-372.074	

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
57	58	95.875	253.813	161.855	2,072.324	-1,946.883	29.411	-39.525	546.182	-372.121	
	59	917.876	1,239.377	972.147	2,913.825	-1,877.120	43.004	-54.950	391.300	-296.835	
58	59	917.968	1,239.244	970.742	2,912.672	-1,877.702	41.749	-52.938	391.520	-296.862	
	60	1,255.710	1,627.644	1,265.063	3,323.572	-1,848.513	42.837	-53.509	238.979	-222.704	

< Girder 2 >

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
59	60	1,255.692	1,627.540	1,264.545	3,323.161	-1,848.838	42.397	-52.777	239.169	-222.703	
	61	1,084.555	1,407.532	1,062.235	3,342.525	-1,943.943	43.817	-54.160	165.023	-148.697	
60	61	1,084.434	1,407.474	1,062.647	3,343.088	-1,943.963	44.258	-54.819	164.827	-148.673	
	62	400.045	577.643	362.910	2,962.470	-2,195.185	45.614	-56.572	301.981	-175.785	
61	62	399.846	577.650	364.220	2,963.432	-2,194.904	46.921	-58.632	301.764	-175.761	
	63	-781.495	-849.562	-855.725	2,158.972	-2,391.478	34.127	-44.150	441.276	-221.998	
62	63	-781.679	-849.416	-853.645	2,160.202	-2,390.480	36.064	-47.296	441.051	-221.966	
	64	-2,359.421	-3,036.945	-2,662.877	972.305	-3,435.068	44.761	-37.821	589.657	-376.965	
63	64	-2,359.479	-3,036.664	-2,660.854	973.501	-3,432.914	41.470	-35.902	589.490	-376.838	
	65	-4,353.863	-6,058.922	-5,300.153	682.935	-6,018.747	493.827	-359.056	770.993	-553.812	P3
64	65	-4,353.623	-6,058.659	-5,300.117	683.136	-6,018.390	493.899	-359.167	771.039	-553.794	P3
	66	-2,070.997	-2,674.628	-2,353.920	1,018.115	-3,253.892	36.948	-35.724	646.926	-470.703	
65	66	-2,070.486	-2,674.395	-2,355.735	1,017.693	-3,256.402	40.477	-37.886	647.170	-470.781	
	67	-212.080	-134.073	-243.721	1,986.879	-2,053.837	34.462	-49.943	554.955	-405.579	
66	67	-211.517	-133.803	-245.736	1,985.616	-2,053.998	32.123	-46.182	555.243	-405.669	
	68	1,254.835	1,647.434	1,275.941	3,036.204	-1,663.226	42.314	-55.794	471.809	-345.432	
67	68	1,255.338	1,647.757	1,274.626	3,035.061	-1,663.444	40.532	-52.910	472.069	-345.495	
	69	2,238.702	2,833.306	2,279.493	3,765.641	-1,379.255	36.779	-46.038	391.136	-286.534	
68	69	2,239.036	2,833.581	2,278.973	3,765.214	-1,379.173	35.798	-44.404	391.354	-286.564	
	70	2,725.299	3,409.212	2,786.530	4,044.318	-1,068.924	31.528	-37.341	310.861	-227.755	
69	70	2,725.391	3,409.358	2,786.778	4,044.788	-1,069.044	31.450	-37.124	311.037	-227.755	
	71	2,706.659	3,416.565	2,800.662	3,924.420	-790.114	31.492	-36.193	230.500	-168.789	
70	71	2,706.470	3,416.535	2,801.648	3,925.181	-790.084	32.399	-37.526	230.642	-168.763	
	72	2,186.180	2,809.536	2,323.958	3,258.967	-512.413	42.688	-51.246	150.021	-109.391	
71	72	2,185.689	2,809.314	2,325.720	3,260.482	-512.271	44.586	-54.159	150.138	-109.345	
	73	1,183.267	1,593.768	1,344.076	1,990.218	-229.574	62.793	-81.514	69.402	-49.428	
72	73	1,182.771	1,593.602	1,346.305	1,991.674	-228.802	65.145	-85.255	69.509	-49.388	
	74	0.037	-0.295	-2.135	3.997	-3.139	2.997	-1.946	0.111	-0.111	A2

[SHEAR FORCE]

< Girder 1 >

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
1	1	-310.713	-476.633	-308.147	59.846	-654.005	22.985	-28.656	12.194	-16.262	A1
	2	-250.404	-304.660	-229.881	157.078	-471.830	6.824	-9.264	12.194	-16.262	
2	2	-238.085	-299.087	-242.941	107.325	-526.102	4.974	-4.244	11.616	-16.111	
	3	-154.886	-176.375	-152.992	264.562	-352.721	18.268	-13.764	11.616	-16.111	
3	3	-152.491	-177.000	-143.993	145.669	-457.094	6.437	-6.807	11.726	-16.149	
	4	-50.884	-64.782	-54.045	313.593	-290.671	15.942	-12.477	11.726	-16.149	
4	4	-47.222	-64.152	-42.803	211.192	-395.268	8.389	-9.646	11.812	-16.183	
	5	43.902	58.571	47.154	378.742	-231.736	13.356	-10.709	11.812	-16.183	
5	5	49.002	60.410	57.798	280.196	-335.172	9.133	-10.754	11.845	-16.199	
	6	150.591	172.608	147.730	444.472	-176.262	12.504	-10.146	11.845	-16.199	
6	6	154.877	173.680	157.492	347.085	-279.349	8.946	-10.693	11.818	-16.120	
	7	245.984	296.380	247.432	506.600	-127.532	12.839	-10.526	11.818	-16.120	
7	7	251.081	297.797	253.085	413.057	-230.662	5.973	-7.190	11.562	-15.632	
	8	333.711	431.638	343.021	563.771	-88.010	16.612	-13.687	11.562	-15.632	
8	8	338.540	430.829	333.705	513.143	-183.514	9.525	-6.846	10.570	-13.896	
	9	413.560	586.760	423.649	656.698	-53.049	33.605	-26.700	10.570	-13.896	
9	9	415.198	573.317	364.104	669.081	-111.949	84.956	-58.331	7.049	-7.667	
	10	495.489	729.228	454.037	825.549	-65.802	109.303	-78.373	7.049	-7.667	P1
10	10	-438.941	-658.003	-392.518	91.429	-815.133	76.250	-103.994	18.931	-25.805	P1
	11	-358.647	-502.086	-302.581	148.257	-655.359	56.106	-79.500	18.931	-25.805	
11	11	-355.898	-514.254	-361.695	103.752	-643.120	25.882	-31.608	25.301	-29.406	
	12	-280.884	-358.337	-271.759	214.060	-497.942	5.729	-7.091	25.301	-29.406	
12	12	-276.248	-359.355	-280.988	136.325	-536.920	13.372	-15.857	27.057	-30.392	
	13	-191.626	-225.516	-191.053	271.871	-398.186	8.678	-6.789	27.057	-30.392	
13	13	-186.742	-224.446	-186.023	175.495	-452.841	10.270	-12.288	27.521	-30.629	
	14	-93.651	-101.758	-96.091	326.037	-319.060	12.267	-9.899	27.521	-30.629	
14	14	-89.411	-100.708	-86.359	228.224	-383.244	10.013	-12.071	27.573	-30.654	
	15	20.106	11.501	3.583	392.586	-255.587	12.506	-10.167	27.573	-30.654	
15	15	24.518	12.768	13.485	295.343	-324.479	9.830	-11.932	27.531	-30.589	
	16	115.617	135.457	103.418	460.245	-204.585	12.665	-10.356	27.531	-30.589	
16	16	120.513	136.652	109.413	372.555	-280.649	7.074	-8.662	27.273	-30.105	
	17	203.146	270.497	199.351	527.038	-170.744	15.956	-13.122	27.273	-30.105	
17	17	208.148	269.975	191.769	472.631	-238.356	7.386	-5.315	26.272	-28.220	
	18	281.626	425.872	281.694	617.835	-139.603	32.021	-25.517	26.272	-28.220	
18	18	286.115	416.419	228.534	628.530	-184.130	77.680	-53.663	22.664	-21.465	
	19	363.363	572.349	318.478	786.993	-129.485	102.340	-73.878	22.664	-21.465	P2
19	19	-363.634	-572.704	-318.671	129.235	-787.018	73.404	-101.253	21.590	-22.741	P2
	20	-286.402	-416.806	-228.746	183.983	-628.575	53.184	-76.577	21.590	-22.741	

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
20	20	-281.752	-426.062	-281.886	139.522	-617.858	25.510	-32.036	28.270	-26.309	
	21	-208.262	-270.140	-191.946	238.272	-472.629	5.279	-7.336	28.270	-26.309	
21	21	-203.230	-270.623	-199.480	170.721	-527.017	13.255	-16.296	30.119	-27.292	
	22	-120.601	-136.785	-109.546	280.609	-372.577	8.423	-6.984	30.119	-27.292	
22	22	-115.706	-135.592	-103.548	204.559	-460.238	10.476	-12.985	30.590	-27.544	
	23	-24.596	-12.888	-13.605	324.466	-295.321	11.757	-9.774	30.590	-27.544	
23	23	-20.179	-11.616	-3.723	255.588	-392.534	10.260	-12.765	30.657	-27.587	
	24	89.328	100.583	86.210	383.246	-228.204	11.994	-9.997	30.657	-27.587	
24	24	93.546	101.607	95.964	319.030	-326.060	9.963	-12.451	30.632	-27.537	
	25	186.643	224.303	185.901	452.810	-175.509	12.331	-10.303	30.632	-27.537	
25	25	191.542	225.391	190.990	398.243	-271.866	6.782	-8.701	30.388	-27.054	
	26	276.170	359.238	280.931	536.982	-136.332	16.101	-13.494	30.388	-27.054	
26	26	281.052	358.538	272.113	498.216	-214.097	7.486	-5.912	29.369	-25.217	
	27	356.068	514.461	362.053	643.401	-103.755	32.308	-26.196	29.369	-25.217	
27	27	360.280	504.180	304.416	656.352	-148.095	81.001	-56.748	25.641	-18.553	
	28	440.560	660.069	394.336	816.166	-90.597	105.837	-77.036	25.641	-18.553	P3
28	28	-496.519	-730.467	-455.106	66.018	-826.494	78.536	-109.639	7.366	-6.920	P3
	29	-416.214	-574.529	-365.158	112.108	-670.060	58.325	-84.902	7.366	-6.920	
29	29	-413.580	-586.696	-423.686	53.056	-656.962	27.285	-34.847	13.829	-10.545	
	30	-338.575	-430.795	-333.759	183.402	-513.431	7.253	-10.355	13.829	-10.545	
30	30	-333.468	-431.244	-342.787	87.916	-563.961	14.313	-17.935	15.605	-11.549	
	31	-250.841	-297.409	-252.855	230.486	-413.185	6.320	-5.547	15.605	-11.549	
31	31	-245.727	-295.962	-247.065	127.373	-506.820	11.074	-13.985	16.111	-11.807	
	32	-154.623	-173.266	-157.128	279.129	-347.338	10.028	-8.612	16.111	-11.807	
32	32	-150.421	-172.293	-147.377	176.077	-444.738	10.551	-13.328	16.200	-11.838	
	33	-48.823	-60.086	-57.437	334.928	-280.475	10.450	-8.962	16.200	-11.838	
33	33	-43.783	-58.343	-46.941	231.545	-379.063	10.982	-13.899	16.194	-11.808	
	34	47.322	64.354	42.997	394.957	-211.585	9.636	-8.355	16.194	-11.808	
34	34	50.614	64.454	53.907	290.374	-313.974	12.609	-16.179	16.172	-11.723	
	35	152.209	176.658	143.843	456.650	-145.986	7.118	-6.556	16.172	-11.723	
35	35	154.186	175.379	152.263	352.403	-264.830	13.742	-18.212	16.150	-11.614	
	36	237.367	298.065	242.193	525.705	-107.485	4.840	-5.245	16.150	-11.614	
36	36	250.560	304.643	229.716	472.944	-156.905	10.125	-7.245	16.264	-12.231	
	37	310.851	476.566	307.959	654.749	-60.064	29.985	-23.625	16.264	-12.231	A2

< Girder 2 >

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
37	38	-303.326	-476.867	-363.087	55.390	-648.776	30.893	-23.930	11.529	-16.182	A1
	39	-243.497	-302.181	-266.648	154.504	-465.578	11.481	-7.824	11.529	-16.182	
38	39	-244.956	-306.862	-253.579	107.675	-529.866	6.447	-5.969	12.106	-16.332	
	40	-162.402	-181.417	-142.698	261.377	-358.242	12.718	-16.110	12.106	-16.332	
39	40	-153.937	-179.901	-151.689	144.397	-458.938	8.934	-7.469	11.996	-16.293	
	41	-53.287	-64.846	-40.880	311.081	-293.434	11.386	-13.860	11.996	-16.293	
40	41	-46.095	-64.592	-52.120	210.218	-394.810	11.694	-9.464	11.909	-16.258	
	42	44.171	60.663	58.595	376.959	-232.061	9.555	-11.333	11.909	-16.258	
41	42	49.920	59.704	47.950	279.866	-334.004	12.767	-10.283	11.876	-16.242	
	43	150.412	174.579	158.585	443.426	-175.791	8.904	-10.496	11.876	-16.242	
42	43	156.978	174.388	148.824	346.329	-278.402	12.734	-10.204	11.903	-16.320	
	44	247.187	299.359	259.363	505.201	-127.081	9.146	-10.760	11.903	-16.320	
43	44	252.937	298.819	253.707	411.518	-230.614	9.302	-7.369	12.159	-16.807	
	45	334.650	434.832	364.196	561.885	-87.986	12.153	-14.436	12.159	-16.807	
44	45	340.672	436.523	373.514	514.333	-182.336	5.275	-7.268	13.151	-18.544	
	46	414.783	594.449	484.017	657.192	-52.836	24.978	-31.263	13.151	-18.544	
45	46	424.629	608.768	543.559	679.203	-110.517	56.578	-82.544	16.672	-24.773	
	47	503.947	766.673	654.047	834.294	-65.375	76.459	-106.788	16.672	-24.773	P1
46	47	-445.610	-693.388	-591.883	92.451	-822.972	103.841	-75.490	36.359	-35.677	P1
	48	-366.287	-535.472	-481.387	149.452	-664.321	79.470	-55.516	36.359	-35.677	
47	48	-357.550	-522.428	-422.277	103.052	-643.115	31.510	-25.263	29.990	-32.077	
	49	-283.442	-364.509	-311.780	213.234	-498.575	7.138	-5.289	29.990	-32.077	
48	49	-277.227	-362.608	-302.549	135.096	-534.101	15.835	-12.901	28.233	-31.090	
	50	-193.555	-226.612	-192.073	271.685	-396.000	7.069	-8.532	28.233	-31.090	
49	50	-187.591	-226.803	-197.105	174.103	-450.473	12.411	-9.980	27.768	-30.853	
	51	-95.449	-101.883	-86.611	324.768	-317.300	9.994	-11.960	27.768	-30.853	
50	51	-88.839	-102.052	-96.343	227.129	-381.132	12.347	-9.904	27.716	-30.827	
	52	19.337	12.669	14.143	391.006	-254.031	10.068	-12.022	27.716	-30.827	
51	52	25.776	12.282	4.241	294.302	-322.631	12.439	-9.938	27.758	-30.893	
	53	115.953	137.208	114.740	458.530	-203.118	10.036	-11.933	27.758	-30.893	
52	53	121.904	136.892	108.744	370.942	-278.989	9.403	-7.398	28.015	-31.375	
	54	203.630	272.926	219.250	525.074	-169.204	12.578	-14.971	28.015	-31.375	
53	54	209.478	274.329	226.833	473.246	-237.564	4.743	-6.335	29.016	-33.260	
	55	282.073	432.237	337.323	617.801	-139.057	24.716	-30.705	29.016	-33.260	
54	55	289.071	442.567	390.480	635.404	-186.850	52.840	-76.312	32.623	-40.015	
	56	365.376	600.478	500.972	792.656	-135.929	72.813	-100.683	32.623	-40.015	P2
55	56	-365.249	-600.341	-501.018	135.979	-792.671	99.748	-72.433	39.900	-32.577	P2
	57	-288.945	-442.432	-390.527	186.871	-635.411	75.377	-52.460	39.900	-32.577	
56	57	-282.105	-432.292	-337.385	138.962	-617.794	30.751	-24.749	33.219	-29.008	
	58	-209.513	-274.389	-226.898	237.460	-473.240	6.382	-4.777	33.219	-29.008	

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
57	58	-203.694	-273.026	-219.366	169.104	-525.051	15.311	-12.741	31.370	-28.026	
	59	-121.972	-136.998	-108.865	278.872	-370.957	7.234	-9.062	31.370	-28.026	
58	59	-116.015	-137.310	-114.862	203.046	-458.451	12.301	-10.207	30.899	-27.772	
	60	-25.846	-12.394	-4.372	322.556	-294.253	9.766	-12.069	30.899	-27.772	
59	60	-19.413	-12.785	-14.253	253.929	-390.995	12.464	-10.273	30.831	-27.729	
	61	88.753	101.925	96.223	381.030	-227.125	9.697	-11.903	30.831	-27.729	
60	61	95.384	101.781	86.469	317.202	-324.756	12.541	-10.262	30.855	-27.778	
	62	187.533	226.712	196.972	450.385	-174.099	9.713	-11.832	30.855	-27.778	
61	62	193.486	226.506	191.884	395.869	-271.669	9.251	-7.394	31.099	-28.261	
	63	277.164	362.512	302.367	533.973	-135.118	12.577	-15.118	31.099	-28.261	
62	63	283.130	364.090	311.183	498.206	-213.174	4.977	-6.458	32.117	-30.098	
	64	357.241	522.015	421.685	642.748	-103.094	24.952	-30.831	32.117	-30.098	
63	64	364.521	533.180	479.325	663.150	-149.607	55.466	-79.436	35.845	-36.762	
	65	443.846	691.099	589.823	821.741	-93.223	75.440	-103.808	35.845	-36.762	P3
64	65	-502.263	-764.425	-652.029	65.096	-832.753	104.703	-75.473	25.140	-16.831	P3
	66	-422.945	-606.520	-541.541	110.255	-677.553	80.460	-55.592	25.140	-16.831	
65	66	-414.092	-593.477	-483.017	52.997	-656.431	30.332	-24.520	18.677	-13.206	
	67	-339.983	-435.554	-372.516	182.559	-513.521	6.337	-4.817	18.677	-13.206	
66	67	-334.238	-434.222	-363.485	88.174	-561.420	13.837	-11.840	16.901	-12.202	
	68	-252.529	-298.215	-253.001	230.943	-410.812	7.680	-9.900	16.901	-12.202	
67	68	-246.796	-298.784	-258.793	127.449	-504.542	10.371	-8.925	16.394	-11.944	
	69	-156.629	-173.871	-148.306	278.885	-345.613	10.416	-13.113	16.394	-11.944	
68	69	-149.981	-173.962	-158.056	176.256	-442.627	10.206	-8.731	16.305	-11.912	
	70	-49.623	-59.241	-47.569	334.453	-279.119	10.430	-13.026	16.305	-11.912	
69	70	-43.816	-60.104	-58.065	232.583	-375.998	11.325	-9.515	16.311	-11.942	
	71	46.366	64.830	52.441	395.287	-209.365	9.469	-11.660	16.311	-11.942	
70	71	53.921	65.609	41.530	294.022	-310.277	14.164	-11.499	16.332	-12.027	
	72	154.271	180.321	152.009	459.302	-144.029	7.300	-8.563	16.332	-12.027	
71	72	163.143	182.480	143.589	358.823	-260.507	16.801	-13.013	16.353	-12.136	
	73	245.494	307.399	254.082	530.106	-107.589	5.608	-5.677	16.353	-12.136	
72	73	243.151	301.699	266.557	464.909	-154.371	7.586	-10.913	16.239	-11.520	
	74	302.676	475.497	362.506	647.697	-55.374	23.610	-30.226	16.239	-11.520	A2

[TORSION MOMENT]

< Girder 1 >

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
1	1	-75.641	-57.618	55.853	493.420	-540.378	87.862	-76.177	6.661	-2.773	A1
	2	-75.641	-62.488	136.295	409.235	-578.589	87.862	-76.177	6.661	-2.773	
2	2	-80.472	-66.232	51.598	488.426	-539.378	105.861	-118.085	7.506	-3.739	
	3	-80.472	-67.116	144.052	406.379	-602.439	105.861	-118.085	7.506	-3.739	
3	3	-51.791	-43.645	14.184	408.797	-400.139	66.154	-75.346	6.159	-4.306	
	4	-51.791	-44.530	106.641	300.323	-457.143	66.154	-75.346	6.159	-4.306	
4	4	-18.398	-14.877	-23.906	370.863	-304.138	22.748	-26.655	4.129	-5.340	
	5	-18.398	-15.761	68.563	235.424	-359.915	22.748	-26.655	4.129	-5.340	
5	5	13.232	12.615	-60.719	336.729	-243.169	18.494	-18.285	5.907	-6.868	
	6	13.232	11.730	31.725	276.082	-382.281	18.494	-18.285	5.907	-6.868	
6	6	43.449	38.251	-98.876	416.293	-287.907	58.365	-56.270	10.594	-8.871	
	7	43.449	37.366	-6.423	361.132	-416.626	58.365	-56.270	10.594	-8.871	
7	7	60.186	49.249	-137.845	501.869	-354.642	84.110	-85.398	15.603	-10.969	
	8	60.186	48.365	-45.396	441.340	-454.936	84.110	-85.398	15.603	-10.969	
8	8	58.263	42.310	-158.554	588.711	-426.453	63.851	-85.307	18.886	-12.347	
	9	58.263	41.425	-66.097	536.861	-527.268	63.851	-85.307	18.886	-12.347	
9	9	40.435	29.871	-112.738	583.862	-434.985	131.032	-134.878	12.755	-9.364	
	10	40.435	28.986	-20.293	554.025	-540.651	131.032	-134.878	12.755	-9.364	P1
10	10	3.585	21.384	37.450	526.661	-503.086	144.718	-131.525	4.967	-6.037	P1
	11	3.585	20.499	129.899	422.269	-537.475	144.718	-131.525	4.967	-6.037	
11	11	-20.869	0.889	77.937	504.786	-479.351	68.918	-45.908	5.565	-13.123	
	12	-20.869	0.005	170.385	403.195	-536.211	68.918	-45.908	5.565	-13.123	
12	12	-29.731	-14.845	49.230	434.504	-385.335	67.482	-63.113	4.994	-11.417	
	13	-29.731	-15.729	141.678	328.933	-448.510	67.482	-63.113	4.994	-11.417	
13	13	-23.550	-16.847	0.015	388.491	-308.868	37.802	-37.064	4.682	-8.522	
	14	-23.550	-17.732	92.459	256.887	-370.596	37.802	-37.064	4.682	-8.522	
14	14	-6.711	-7.700	-52.072	343.255	-222.481	2.770	-2.317	5.892	-6.445	
	15	-6.711	-8.584	40.383	222.913	-340.794	2.770	-2.317	5.892	-6.445	
15	15	12.011	3.882	-101.809	372.243	-256.024	43.242	-40.332	8.910	-5.971	
	16	12.011	2.997	-9.364	310.673	-388.047	43.242	-40.332	8.910	-5.971	
16	16	25.179	10.581	-144.921	449.838	-330.692	72.201	-71.956	12.988	-6.819	
	17	25.179	9.696	-52.470	385.923	-435.594	72.201	-71.956	12.988	-6.819	
17	17	27.159	8.404	-163.811	540.649	-404.262	58.699	-75.982	15.732	-7.706	
	18	27.159	7.519	-71.374	484.238	-506.098	58.699	-75.982	15.732	-7.706	
18	18	15.835	3.025	-117.348	544.604	-414.673	114.339	-117.985	9.265	-4.449	
	19	15.835	2.140	-24.891	510.231	-521.388	114.339	-117.985	9.265	-4.449	P2
19	19	-15.503	-1.752	25.206	521.245	-509.205	114.375	-111.584	4.556	-9.473	P2
	20	-15.503	-2.636	117.643	414.455	-543.577	114.375	-111.584	4.556	-9.473	

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
20	20	-26.983	-7.315	71.714	506.171	-483.742	76.472	-59.758	7.847	-15.889	
	21	-26.983	-8.199	164.167	404.315	-540.236	76.472	-59.758	7.847	-15.889	
21	21	-25.061	-9.545	52.749	435.720	-385.385	72.065	-72.402	6.866	-12.955	
	22	-25.061	-10.429	145.195	330.688	-449.298	72.065	-72.402	6.866	-12.955	
22	22	-11.883	-2.835	9.663	388.219	-310.296	40.384	-43.298	6.010	-8.855	
	23	-11.883	-3.720	102.119	256.143	-371.828	40.384	-43.298	6.010	-8.855	
23	23	6.868	8.789	-39.991	340.943	-222.719	2.215	-2.658	6.490	-5.840	
	24	6.868	7.904	52.455	222.808	-343.075	2.215	-2.658	6.490	-5.840	
24	24	23.561	17.743	-92.279	370.467	-257.111	37.435	-37.922	8.538	-4.646	
	25	23.561	16.859	0.172	308.808	-388.758	37.435	-37.922	8.538	-4.646	
25	25	29.821	15.865	-141.492	448.898	-328.861	63.708	-67.687	11.450	-4.949	
	26	29.821	14.980	-49.039	385.641	-434.350	63.708	-67.687	11.450	-4.949	
26	26	20.417	-0.559	-171.054	536.890	-403.878	46.187	-68.978	12.966	-5.430	
	27	20.417	-1.444	-78.602	480.043	-505.276	46.187	-68.978	12.966	-5.430	
27	27	-7.437	-25.427	-133.932	537.910	-423.432	132.740	-146.335	5.196	-5.131	
	28	-7.437	-26.311	-41.499	503.751	-527.285	132.740	-146.335	5.196	-5.131	P3
28	28	-50.408	-41.739	11.392	534.212	-560.231	133.652	-130.043	10.734	-14.767	P3
	29	-50.408	-42.624	103.853	428.914	-589.377	133.652	-130.043	10.734	-14.767	
29	29	-71.421	-58.252	54.034	518.915	-546.997	84.386	-61.989	13.944	-21.179	
	30	-71.421	-59.136	146.473	418.625	-597.787	84.386	-61.989	13.944	-21.179	
30	30	-73.911	-65.949	32.848	446.239	-453.274	84.044	-81.256	12.687	-18.120	
	31	-73.911	-66.833	125.292	346.891	-512.916	84.044	-81.256	12.687	-18.120	
31	31	-56.948	-54.670	-6.089	404.008	-372.927	54.798	-55.209	10.579	-13.057	
	32	-56.948	-55.555	86.361	277.446	-427.686	54.798	-55.209	10.579	-13.057	
32	32	-24.805	-26.610	-42.330	371.093	-286.426	16.532	-14.686	8.456	-8.086	
	33	-24.805	-27.495	50.123	232.964	-344.658	16.532	-14.686	8.456	-8.086	
33	33	11.501	6.776	-74.117	355.210	-238.750	30.431	-24.457	6.708	-3.999	
	34	11.501	5.891	18.333	299.727	-375.205	30.431	-24.457	6.708	-3.999	
34	34	52.264	44.993	-104.685	459.264	-298.305	78.942	-67.753	5.451	-6.182	
	35	52.264	44.108	-12.236	401.813	-406.412	78.942	-67.753	5.451	-6.182	
35	35	89.098	78.309	-133.285	610.900	-398.817	120.856	-107.051	4.698	-7.905	
	36	89.098	77.424	-40.843	548.033	-479.955	120.856	-107.051	4.698	-7.905	
36	36	86.727	77.303	-122.084	587.626	-400.147	78.097	-88.658	3.475	-7.190	
	37	86.727	72.434	-41.654	550.534	-484.133	78.097	-88.658	3.475	-7.190	A2

< Girder 2 >

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
37	38	-74.121	-49.035	245.090	415.836	-618.278	154.406	-220.530	6.596	-3.136	A1
	39	-74.121	-63.799	77.625	470.329	-531.233	154.406	-220.530	6.596	-3.136	
38	39	-80.009	-55.664	244.292	400.426	-637.375	144.982	-201.993	7.512	-4.010	
	40	-80.009	-71.353	51.742	473.030	-544.803	144.982	-201.993	7.512	-4.010	
39	40	-51.179	-34.078	184.891	294.602	-524.766	85.900	-116.629	6.167	-4.537	
	41	-51.179	-49.758	-7.545	353.584	-399.831	85.900	-116.629	6.167	-4.537	
40	41	-18.354	-7.059	129.695	249.034	-431.353	27.039	-33.899	4.176	-5.517	
	42	-18.354	-22.726	-62.583	323.652	-294.991	27.039	-33.899	4.176	-5.517	
41	42	14.312	20.877	80.035	280.117	-340.298	43.735	-28.572	6.118	-7.065	
	43	14.312	5.222	-112.108	417.830	-245.172	43.735	-28.572	6.118	-7.065	
42	43	44.587	45.551	27.754	374.532	-332.722	121.537	-83.268	10.720	-9.022	
	44	44.587	29.909	-164.220	506.990	-278.144	121.537	-83.268	10.720	-9.022	
43	44	62.134	56.367	-27.488	473.289	-398.067	199.222	-134.914	15.755	-11.124	
	45	62.134	40.732	-219.377	581.097	-335.150	199.222	-134.914	15.755	-11.124	
44	45	61.198	48.815	-71.375	578.762	-466.781	256.778	-168.392	19.011	-12.489	
	46	61.198	33.178	-263.287	677.987	-408.020	256.778	-168.392	19.011	-12.489	
45	46	42.931	37.652	-3.995	569.875	-479.021	203.268	-128.760	13.172	-9.637	
	47	42.931	22.017	-195.883	671.746	-435.226	203.268	-128.760	13.172	-9.637	P1
46	47	1.598	28.752	212.040	422.585	-620.813	123.280	-186.913	5.027	-6.255	P1
	48	1.598	13.117	20.139	469.213	-519.158	123.280	-186.913	5.027	-6.255	
47	48	-23.045	9.849	274.276	384.230	-621.144	149.174	-231.903	5.658	-13.190	
	49	-23.045	-5.787	82.373	446.157	-522.240	149.174	-231.903	5.658	-13.190	
48	49	-31.029	-6.675	222.048	309.361	-539.048	113.531	-169.403	5.112	-11.540	
	50	-31.029	-22.308	30.182	374.097	-416.847	113.531	-169.403	5.112	-11.540	
49	50	-24.211	-9.133	156.106	247.053	-455.343	59.878	-87.338	4.817	-8.633	
	51	-24.211	-24.768	-35.791	307.611	-322.495	59.878	-87.338	4.817	-8.633	
50	51	-6.916	-0.573	89.879	224.086	-361.790	1.843	-2.662	6.044	-6.580	
	52	-6.916	-16.208	-102.005	361.880	-223.878	1.843	-2.662	6.044	-6.580	
51	52	11.985	10.052	25.627	323.483	-307.173	81.368	-55.965	9.015	-6.110	
	53	11.985	-5.584	-166.279	456.824	-246.436	81.368	-55.965	9.015	-6.110	
52	53	25.714	16.178	-34.450	415.382	-376.267	162.342	-109.466	13.138	-6.962	
	54	25.714	0.540	-226.371	540.870	-310.254	162.342	-109.466	13.138	-6.962	
53	54	28.181	12.729	-77.411	525.064	-445.719	221.176	-143.790	15.972	-7.895	
	55	28.181	-2.906	-269.301	624.153	-384.292	221.176	-143.790	15.972	-7.895	
54	55	16.040	8.088	-9.898	525.118	-460.878	175.459	-113.154	9.579	-4.627	
	56	16.040	-7.547	-201.792	626.705	-414.891	175.459	-113.154	9.579	-4.627	P2
55	56	-15.193	8.636	202.506	415.538	-626.905	115.627	-178.686	4.879	-9.967	P2
	57	-15.193	-7.000	10.614	461.378	-525.327	115.627	-178.686	4.879	-9.967	
56	57	-28.128	2.995	269.598	384.503	-624.339	144.286	-222.264	7.913	-15.916	
	58	-28.128	-12.640	77.712	446.007	-525.249	144.286	-222.264	7.913	-15.916	

부재 번호	절점 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중		풍 하 중		지점침하		비 고
		Steel+Half	SLAB		Max	Min	Max	Min	Max	Min	
57	58	-25.717	-0.547	226.547	310.361	-541.051	109.647	-162.704	6.993	-13.113	
	59	-25.717	-16.184	34.638	376.440	-415.694	109.647	-162.704	6.993	-13.113	
58	59	-12.144	5.367	166.272	246.134	-457.335	56.083	-81.557	6.156	-9.040	
	60	-12.144	-10.268	-25.619	306.801	-323.946	56.083	-81.557	6.156	-9.040	
59	60	7.010	16.337	102.366	223.788	-361.992	2.668	-1.801	6.639	-6.031	
	61	7.010	0.704	-89.499	361.698	-224.208	2.668	-1.801	6.639	-6.031	
60	61	24.354	24.969	36.154	322.383	-307.533	87.590	-59.942	8.700	-4.814	
	62	24.354	9.332	-155.760	455.228	-246.983	87.590	-59.942	8.700	-4.814	
61	62	31.172	22.513	-29.969	416.664	-373.909	169.831	-113.670	11.576	-5.108	
	63	31.172	6.879	-221.848	538.865	-309.156	169.831	-113.670	11.576	-5.108	
62	63	22.657	5.307	-83.115	522.297	-446.588	232.141	-149.240	13.052	-5.596	
	64	22.657	-10.330	-275.028	621.180	-384.642	232.141	-149.240	13.052	-5.596	
63	64	-5.284	-17.844	-24.236	519.729	-469.781	185.782	-122.401	5.461	-5.126	
	65	-5.284	-33.481	-216.141	621.310	-423.019	185.782	-122.401	5.461	-5.126	P3
64	65	-53.948	-36.176	185.617	428.517	-680.203	129.316	-203.907	10.972	-15.180	P3
	66	-53.948	-51.811	-6.271	473.313	-578.511	129.316	-203.907	10.972	-15.180	
65	66	-74.474	-50.236	250.628	400.630	-689.897	167.351	-254.747	14.166	-21.523	
	67	-74.474	-65.872	58.720	460.457	-590.831	167.351	-254.747	14.166	-21.523	
66	67	-76.086	-58.664	206.013	326.442	-591.933	133.494	-196.345	12.873	-18.352	
	68	-76.086	-74.298	14.132	390.213	-486.475	133.494	-196.345	12.873	-18.352	
67	68	-58.514	-47.839	150.472	265.697	-519.617	81.658	-118.242	10.794	-13.318	
	69	-58.514	-63.474	-41.414	320.725	-386.037	81.658	-118.242	10.794	-13.318	
68	69	-25.884	-20.204	100.511	234.374	-428.782	26.584	-39.615	8.692	-8.361	
	70	-25.884	-35.839	-91.375	332.589	-289.920	26.584	-39.615	8.692	-8.361	
69	70	11.173	13.257	55.555	291.626	-329.158	37.975	-29.015	6.945	-4.241	
	71	11.173	-2.380	-136.363	426.493	-253.683	37.975	-29.015	6.945	-4.241	
70	71	52.208	50.771	8.754	402.940	-351.071	120.426	-87.754	5.718	-6.170	
	72	52.208	35.137	-183.117	527.465	-292.613	120.426	-87.754	5.718	-6.170	
71	72	89.093	82.956	-41.773	555.688	-465.775	204.797	-146.336	5.006	-7.858	
	73	89.093	67.321	-233.667	647.585	-393.072	204.797	-146.336	5.006	-7.858	
72	73	85.242	78.530	-64.273	541.324	-462.143	222.225	-155.132	3.867	-7.003	
	74	85.242	63.839	-230.909	628.193	-406.841	222.225	-155.132	3.867	-7.003	A2

5) 활하중 부재력 집계 및 피로하중 작용범위 산정

[DB 하중]

< Girder 1 >

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
1	1	1.996	-2.521	46.242	-654.005	4.517	700.246	A1
	2	2,052.660	-201.143	132.902	-471.830	2,253.803	604.731	
2	2	2,054.583	-201.365	132.902	-526.102	2,255.948	659.004	
	3	3,317.488	-417.106	264.562	-352.721	3,734.594	617.283	
3	3	3,319.550	-417.386	264.562	-457.094	3,736.936	721.656	
	4	3,974.363	-635.908	313.593	-290.671	4,610.271	604.264	
4	4	3,975.496	-636.190	313.593	-395.268	4,611.686	708.860	
	5	4,088.795	-856.598	378.742	-231.736	4,945.393	610.478	
5	5	4,089.203	-856.847	378.742	-335.172	4,946.050	713.914	
	6	3,768.584	-1,077.131	444.472	-176.262	4,845.715	620.734	
6	6	3,768.584	-1,077.336	444.472	-279.349	4,845.920	723.821	
	7	3,030.363	-1,297.402	506.600	-127.532	4,327.765	634.132	
7	7	3,030.363	-1,297.493	506.600	-230.662	4,327.856	737.262	
	8	1,999.019	-1,525.662	563.771	-88.010	3,524.681	651.781	
8	8	1,999.019	-1,525.662	563.771	-183.514	3,524.681	747.285	
	9	813.796	-1,804.287	623.434	-50.054	2,618.083	673.487	
9	9	813.796	-1,804.287	623.434	-111.949	2,618.083	735.383	
	10	634.505	-3,019.261	711.548	-58.426	3,653.766	769.974	P1
10	10	634.505	-3,021.949	711.548	-695.510	3,656.454	1,407.059	P1
	11	987.963	-2,390.502	123.044	-533.152	3,378.465	656.196	
11	11	990.111	-2,391.626	123.044	-592.071	3,381.737	715.115	
	12	2,177.846	-1,940.650	214.060	-432.762	4,118.496	646.822	
12	12	2,180.089	-1,940.885	214.060	-518.679	4,120.974	732.739	
	13	2,992.047	-1,538.726	271.871	-357.191	4,530.773	629.062	
13	13	2,993.654	-1,538.726	271.871	-449.138	4,532.380	721.009	
	14	3,376.042	-1,143.730	326.037	-284.659	4,519.772	610.696	
14	14	3,376.884	-1,143.730	326.037	-381.896	4,520.614	707.933	
	15	3,341.965	-947.635	392.586	-217.448	4,289.600	610.034	
15	15	3,341.965	-947.804	392.586	-319.267	4,289.769	711.853	
	16	2,885.008	-1,262.320	460.245	-159.107	4,147.328	619.353	
16	16	2,885.008	-1,262.362	460.245	-271.825	4,147.370	732.070	
	17	2,043.426	-1,584.722	527.038	-119.815	3,628.148	646.853	
17	17	2,043.426	-1,584.722	527.038	-214.747	3,628.148	741.785	
	18	921.367	-1,954.375	599.221	-79.434	2,875.742	678.655	
18	18	921.367	-1,954.375	599.221	-125.031	2,875.742	724.252	
	19	839.445	-2,530.594	699.689	-78.513	3,370.039	778.202	P2

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
19	19	839.445	-2,530.802	699.689	-699.687	3,370.247	1,399.376	P2
	20	918.280	-1,953.830	124.959	-540.755	2,872.110	665.715	
20	20	921.323	-1,954.864	124.959	-599.259	2,876.187	724.218	
	21	2,041.068	-1,584.783	214.673	-441.226	3,625.851	655.899	
21	21	2,043.452	-1,585.037	214.673	-527.017	3,628.489	741.690	
	22	2,883.255	-1,262.551	271.782	-366.354	4,145.806	638.136	
22	22	2,884.948	-1,262.551	271.782	-460.238	4,147.499	732.020	
	23	3,341.011	-947.908	319.264	-295.321	4,288.919	614.585	
23	23	3,341.957	-947.908	319.264	-392.534	4,289.865	711.798	
	24	3,376.604	-1,143.288	381.935	-227.930	4,519.892	609.865	
24	24	3,376.604	-1,143.559	381.935	-326.060	4,520.163	707.995	
	25	2,993.490	-1,538.470	449.126	-164.983	4,531.960	614.109	
25	25	2,993.490	-1,538.586	449.126	-271.866	4,532.076	720.992	
	26	2,179.833	-1,941.020	518.698	-118.712	4,120.853	637.410	
26	26	2,179.833	-1,941.020	518.698	-214.097	4,120.853	732.796	
	27	990.183	-2,393.899	591.994	-70.344	3,384.082	662.338	
27	27	990.183	-2,393.899	591.994	-123.076	3,384.082	715.071	
	28	633.214	-3,032.596	695.259	-62.653	3,665.810	757.912	P3
28	28	633.404	-3,032.596	695.259	-711.934	3,666.000	1,407.193	P3
	29	811.389	-1,802.220	112.108	-561.323	2,613.609	673.431	
29	29	813.540	-1,803.316	112.108	-623.564	2,616.856	735.673	
	30	1,995.418	-1,525.027	183.402	-475.108	3,520.445	658.510	
30	30	1,997.905	-1,525.262	183.402	-563.961	3,523.167	747.363	
	31	3,028.036	-1,297.396	230.486	-411.689	4,325.432	642.175	
31	31	3,030.114	-1,297.396	230.486	-506.820	4,327.510	737.307	
	32	3,768.281	-1,077.557	279.129	-347.338	4,845.838	626.466	
32	32	3,769.602	-1,077.557	279.129	-444.738	4,847.159	723.866	
	33	4,091.519	-857.263	334.928	-280.475	4,948.782	615.403	
33	33	4,091.519	-857.263	334.928	-379.063	4,948.782	713.991	
	34	3,979.509	-636.779	394.957	-211.585	4,616.288	606.542	
34	34	3,979.509	-636.779	394.957	-313.974	4,616.288	708.931	
	35	3,325.485	-418.056	456.650	-142.933	3,743.541	599.583	
35	35	3,325.485	-418.056	456.650	-264.830	3,743.541	721.479	
	36	2,060.923	-202.056	525.705	-80.274	2,262.979	605.979	
36	36	2,060.923	-202.056	525.705	-132.524	2,262.979	658.229	
	37	3.297	-3.709	654.749	-46.370	7.005	701.119	A2

< Girder 2 >

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
37	38	2.457	-2.176	42.898	-648.776	4.633	691.674	A1
	39	2,004.803	-184.761	132.524	-465.578	2,189.564	598.102	
38	39	2,004.803	-184.784	132.524	-529.866	2,189.587	662.390	
	40	3,274.798	-409.908	261.377	-358.242	3,684.706	619.619	
39	40	3,274.798	-410.179	261.377	-458.938	3,684.977	720.315	
	41	3,937.235	-633.456	311.081	-293.434	4,570.691	604.516	
40	41	3,937.235	-633.696	311.081	-394.810	4,570.931	705.891	
	42	4,052.482	-854.943	376.959	-232.061	4,907.425	609.020	
41	42	4,052.482	-855.137	376.959	-334.004	4,907.619	710.963	
	43	3,734.193	-1,076.290	443.426	-175.791	4,810.483	619.216	
42	43	3,734.809	-1,076.382	443.426	-278.402	4,811.191	721.828	
	44	3,004.312	-1,297.596	505.201	-127.081	4,301.908	632.282	
43	44	3,005.328	-1,297.596	505.201	-230.614	4,302.924	735.815	
	45	1,983.878	-1,510.620	561.885	-87.986	3,494.498	649.871	
44	45	1,985.265	-1,510.620	561.885	-182.336	3,495.885	744.221	
	46	803.624	-1,782.805	623.700	-49.465	2,586.429	673.164	
45	46	805.235	-1,782.886	623.700	-110.517	2,588.121	734.216	
	47	630.902	-3,016.846	714.761	-58.425	3,647.748	773.186	P1
46	47	630.902	-3,016.846	714.761	-696.809	3,647.748	1,411.570	P1
	48	974.370	-2,364.731	122.873	-536.381	3,339.101	659.255	
47	48	974.370	-2,364.731	122.873	-591.514	3,339.101	714.387	
	49	2,160.681	-1,923.046	213.234	-432.729	4,083.727	645.962	
48	49	2,160.681	-1,923.543	213.234	-516.401	4,084.224	729.634	
	50	2,963.696	-1,535.563	271.685	-355.313	4,499.259	626.998	
49	50	2,963.696	-1,535.633	271.685	-447.653	4,499.329	719.338	
	51	3,343.140	-1,140.585	324.768	-283.817	4,483.725	608.586	
50	51	3,343.140	-1,140.585	324.768	-380.727	4,483.725	705.495	
	52	3,309.214	-945.990	391.006	-217.000	4,255.204	608.006	
51	52	3,309.754	-946.043	391.006	-318.977	4,255.797	709.983	
	53	2,858.302	-1,261.603	458.530	-159.338	4,119.905	617.868	
52	53	2,859.301	-1,261.603	458.530	-271.628	4,120.904	730.158	
	54	2,025.501	-1,569.336	525.074	-119.733	3,594.837	644.807	
53	54	2,026.885	-1,569.336	525.074	-213.978	3,596.221	739.052	
	55	917.127	-1,931.564	598.979	-79.615	2,848.691	678.594	
54	55	919.464	-1,931.739	598.979	-125.105	2,851.203	724.084	
	56	835.252	-2,521.329	701.534	-81.702	3,356.581	783.235	P2
55	56	835.252	-2,521.329	701.534	-701.493	3,356.581	1,403.027	P2
	57	919.468	-1,932.012	125.130	-544.680	2,851.480	669.810	

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
56	57	919.468	-1,932.012	125.130	-598.995	2,851.480	724.126	
	58	2,027.160	-1,569.077	213.949	-441.577	3,596.237	655.526	
57	58	2,027.160	-1,569.624	213.949	-525.051	3,596.784	739.000	
	59	2,859.665	-1,261.714	271.626	-364.757	4,121.379	636.383	
58	59	2,859.665	-1,261.869	271.626	-458.451	4,121.534	730.077	
	60	3,309.757	-946.198	319.029	-294.253	4,255.955	613.283	
59	60	3,309.757	-946.198	319.029	-390.995	4,255.955	710.024	
	61	3,342.525	-1,140.385	380.731	-227.125	4,482.910	607.856	
60	61	3,343.088	-1,140.562	380.731	-324.756	4,483.650	705.488	
	62	2,962.470	-1,535.580	447.682	-164.219	4,498.050	611.901	
61	62	2,963.432	-1,535.580	447.682	-271.669	4,499.012	719.352	
	63	2,158.972	-1,923.203	516.444	-118.614	4,082.175	635.058	
62	63	2,160.202	-1,923.203	516.444	-213.174	4,083.405	729.618	
	64	972.305	-2,359.065	591.642	-70.006	3,331.370	661.648	
63	64	973.501	-2,359.130	591.642	-122.827	3,332.631	714.469	
	65	632.213	-3,000.874	697.091	-65.431	3,633.087	762.522	P3
64	65	632.405	-3,002.169	697.091	-714.336	3,634.574	1,411.427	P3
	66	806.225	-1,784.513	110.255	-565.966	2,590.738	676.220	
65	66	806.225	-1,784.513	110.255	-623.347	2,590.738	733.602	
	67	1,986.879	-1,510.671	182.559	-475.217	3,497.550	657.776	
66	67	1,986.879	-1,511.227	182.559	-561.420	3,498.106	743.979	
	68	3,005.159	-1,297.382	230.943	-409.229	4,302.541	640.172	
67	68	3,005.159	-1,297.540	230.943	-504.542	4,302.699	735.485	
	69	3,730.923	-1,075.733	278.885	-345.613	4,806.656	624.499	
68	69	3,730.923	-1,075.733	278.885	-442.627	4,806.656	721.512	
	70	4,044.318	-854.216	334.453	-279.119	4,898.534	613.572	
69	70	4,044.788	-854.216	334.453	-375.998	4,899.004	710.450	
	71	3,924.420	-632.631	395.287	-209.365	4,557.051	604.652	
70	71	3,925.181	-632.631	395.287	-310.277	4,557.812	705.565	
	72	3,258.967	-409.166	459.302	-140.647	3,668.133	599.949	
71	72	3,260.482	-409.166	459.302	-260.507	3,669.648	719.810	
	73	1,990.218	-183.846	530.106	-78.777	2,174.064	608.882	
72	73	1,991.674	-183.846	530.106	-131.941	2,175.520	662.046	
	74	3.997	-3.139	647.697	-42.862	7.136	690.559	A2

[DL 하중]

< Girder 1 >

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
1	1	2.008	-2.547	59.846	-624.441	4.555	684.287	A1
	2	1,856.854	-244.456	157.078	-460.783	2,101.310	617.860	
2	2	1,859.393	-244.635	157.078	-476.332	2,104.028	633.410	
	3	3,122.631	-508.328	227.349	-329.461	3,630.959	556.810	
3	3	3,125.186	-508.419	227.349	-394.658	3,633.605	622.006	
	4	3,855.168	-793.817	268.272	-258.540	4,648.985	526.812	
4	4	3,856.760	-793.900	268.272	-327.294	4,650.660	595.565	
	5	4,085.389	-1,070.328	324.690	-198.313	5,155.717	523.002	
5	5	4,085.693	-1,070.364	324.690	-268.721	5,156.057	593.411	
	6	3,816.742	-1,351.679	391.448	-147.596	5,168.421	539.044	
6	6	3,816.742	-1,351.679	391.448	-220.400	5,168.421	611.848	
	7	3,069.986	-1,662.344	467.185	-107.637	4,732.330	574.822	
7	7	3,069.986	-1,662.661	467.185	-181.105	4,732.647	648.290	
	8	1,898.728	-1,989.942	552.358	-77.834	3,888.670	630.192	
8	8	1,898.728	-1,990.698	552.358	-146.621	3,889.426	698.979	
	9	1,036.330	-3,336.285	656.698	-53.049	4,372.615	709.746	
9	9	1,036.330	-3,337.413	669.081	-110.000	4,373.743	779.080	
	10	687.638	-6,080.467	825.549	-65.802	6,768.105	891.351	P1
10	10	687.638	-6,082.295	825.549	-815.133	6,769.933	1,640.682	P1
	11	943.307	-3,598.824	148.257	-655.359	4,542.131	803.616	
11	11	944.113	-3,598.824	148.257	-655.359	4,542.937	803.616	
	12	1,691.296	-2,417.379	203.744	-497.942	4,108.675	701.687	
12	12	1,693.974	-2,417.429	203.744	-536.920	4,111.403	740.665	
	13	2,742.693	-2,107.739	247.016	-398.186	4,850.432	645.201	
13	13	2,744.763	-2,107.739	247.016	-452.841	4,852.502	699.856	
	14	3,299.297	-1,948.352	296.278	-319.060	5,247.649	615.339	
14	14	3,300.025	-1,948.352	296.278	-383.244	5,248.377	679.522	
	15	3,366.459	-1,852.061	357.046	-255.587	5,218.520	612.634	
15	15	3,366.459	-1,852.061	357.046	-324.479	5,218.520	681.525	
	16	2,948.086	-1,800.580	428.418	-204.585	4,748.666	633.003	
16	16	2,948.086	-1,800.580	428.418	-280.649	4,748.666	709.067	
	17	2,099.686	-1,867.359	511.999	-170.744	3,967.045	682.743	
17	17	2,099.686	-1,867.561	511.999	-238.356	3,967.247	750.354	
	18	1,609.325	-3,061.489	617.835	-139.603	4,670.814	757.438	
18	18	1,609.325	-3,062.374	628.530	-184.130	4,671.699	812.659	
	19	1,644.248	-5,459.844	786.993	-129.485	7,104.092	916.478	P2
19	19	1,644.248	-5,460.144	786.993	-787.018	7,104.392	1,574.011	P2
	20	1,608.520	-3,063.067	183.983	-628.575	4,671.587	812.559	

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
20	20	1,609.329	-3,063.067	183.983	-628.575	4,672.396	812.559	
	21	2,097.556	-1,867.927	238.272	-472.629	3,965.483	710.901	
21	21	2,099.996	-1,867.927	238.272	-511.996	3,967.923	750.268	
	22	2,946.028	-1,800.291	280.609	-372.577	4,746.319	653.187	
22	22	2,948.218	-1,800.550	280.609	-428.415	4,748.768	709.024	
	23	3,365.836	-1,851.598	324.466	-293.185	5,217.434	617.651	
23	23	3,366.647	-1,851.834	324.466	-357.019	5,218.481	681.485	
	24	3,299.830	-1,947.778	383.246	-228.204	5,247.608	611.450	
24	24	3,299.830	-1,947.868	383.246	-296.302	5,247.698	679.549	
	25	2,744.739	-2,107.050	452.810	-175.509	4,851.789	628.319	
25	25	2,744.739	-2,107.079	452.810	-247.020	4,851.818	699.831	
	26	1,693.698	-2,416.977	536.982	-136.332	4,110.675	673.314	
26	26	1,693.698	-2,416.977	536.982	-203.755	4,110.675	740.737	
	27	944.147	-3,600.385	643.401	-103.755	4,544.532	747.157	
27	27	944.147	-3,601.001	656.352	-148.095	4,545.148	804.447	
	28	686.221	-6,115.361	816.166	-90.597	6,801.582	906.763	P3
28	28	686.443	-6,115.361	816.166	-826.494	6,801.804	1,642.660	P3
	29	1,034.721	-3,339.170	110.131	-670.060	4,373.891	780.190	
29	29	1,035.864	-3,339.170	110.131	-670.060	4,375.034	780.190	
	30	1,894.682	-1,990.891	146.511	-513.431	3,885.573	659.942	
30	30	1,897.384	-1,990.891	146.511	-552.459	3,888.275	698.970	
	31	3,066.298	-1,662.584	180.979	-413.185	4,728.882	594.164	
31	31	3,069.039	-1,662.584	180.979	-467.286	4,731.623	648.264	
	32	3,815.637	-1,352.283	220.233	-330.269	5,167.920	550.502	
32	32	3,817.023	-1,352.400	220.233	-391.604	5,169.423	611.837	
	33	4,087.049	-1,071.217	268.516	-258.642	5,158.266	527.157	
33	33	4,087.049	-1,071.217	268.516	-324.910	5,158.266	593.426	
	34	3,859.936	-778.390	327.041	-197.003	4,638.326	524.044	
34	34	3,859.936	-778.390	327.041	-268.583	4,638.326	595.623	
	35	3,130.137	-509.415	394.235	-145.986	3,639.552	540.221	
35	35	3,130.137	-509.415	394.235	-227.484	3,639.552	621.719	
	36	1,865.358	-245.507	475.868	-107.485	2,110.865	583.353	
36	36	1,865.358	-245.507	475.868	-156.905	2,110.865	632.773	
	37	3.223	-3.613	625.258	-60.064	6.836	685.322	A2

< Girder 2 >

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
37	38	2.361	-2.142	55.390	-613.881	4.503	669.271	A1
	39	1,792.989	-229.888	154.504	-450.318	2,022.877	604.823	
38	39	1,792.989	-230.410	154.504	-481.996	2,023.399	636.500	
	40	3,072.077	-513.471	226.319	-335.812	3,585.548	562.131	
39	40	3,072.077	-513.536	226.319	-396.869	3,585.613	623.187	
	41	3,809.234	-791.182	266.100	-261.142	4,600.416	527.242	
40	41	3,809.234	-791.196	266.100	-326.833	4,600.430	592.933	
	42	4,037.734	-1,069.813	322.970	-198.334	5,107.547	521.304	
41	42	4,037.734	-1,069.813	322.970	-267.602	5,107.547	590.572	
	43	3,770.530	-1,379.863	390.035	-146.919	5,150.393	536.955	
42	43	3,771.171	-1,380.005	390.035	-219.532	5,151.176	609.567	
	44	3,035.642	-1,663.436	465.412	-107.069	4,699.078	572.482	
43	44	3,037.031	-1,663.436	465.412	-180.774	4,700.467	646.186	
	45	1,881.833	-2,053.564	550.127	-77.521	3,935.397	627.649	
44	45	1,883.326	-2,053.564	550.127	-146.161	3,936.890	696.288	
	46	1,016.442	-3,262.544	657.192	-52.836	4,278.986	710.028	
45	46	1,016.893	-3,262.544	679.203	-109.226	4,279.437	788.428	
	47	681.508	-6,034.605	834.294	-65.375	6,716.113	899.668	P1
46	47	681.508	-6,034.939	834.294	-822.972	6,716.447	1,657.265	P1
	48	921.524	-3,440.196	149.452	-664.321	4,361.720	813.773	
47	48	921.524	-3,442.327	149.452	-664.321	4,363.851	813.773	
	49	1,683.712	-2,391.489	202.834	-498.575	4,075.201	701.409	
48	49	1,683.712	-2,392.458	202.834	-534.101	4,076.170	736.934	
	50	2,713.416	-2,195.436	245.675	-396.000	4,908.852	641.675	
49	50	2,713.416	-2,195.751	245.675	-450.473	4,909.167	696.148	
	51	3,257.456	-1,944.286	294.467	-317.300	5,201.742	611.767	
50	51	3,257.456	-1,944.303	294.467	-381.132	5,201.759	675.600	
	52	3,322.442	-1,848.930	355.123	-254.031	5,171.372	609.154	
51	52	3,322.856	-1,848.930	355.123	-322.631	5,171.786	677.754	
	53	2,911.327	-1,877.485	426.400	-203.118	4,788.812	629.518	
52	53	2,912.536	-1,877.485	426.400	-278.989	4,790.021	705.389	
	54	2,071.023	-1,946.563	509.767	-169.204	4,017.586	678.971	
53	54	2,072.743	-1,946.563	509.767	-237.564	4,019.306	747.331	
	55	1,571.457	-2,948.322	617.801	-139.057	4,519.779	756.858	
54	55	1,572.221	-2,948.322	635.404	-186.850	4,520.543	822.254	
	56	1,627.951	-5,408.665	792.656	-135.929	7,036.616	928.586	P2
55	56	1,628.294	-5,408.719	792.656	-792.671	7,037.013	1,585.328	P2
	57	1,572.887	-2,946.099	186.871	-635.411	4,518.986	822.282	
56	57	1,572.887	-2,948.403	186.871	-635.411	4,521.290	822.282	
	58	2,073.977	-1,946.250	237.460	-473.240	4,020.227	710.700	

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
57	58	2,073.977	-1,946.883	237.460	-509.754	4,020.860	747.213	
	59	2,913.825	-1,877.120	278.872	-370.957	4,790.945	649.828	
58	59	2,913.825	-1,877.702	278.872	-426.355	4,791.527	705.226	
	60	3,323.572	-1,848.513	322.556	-291.824	5,172.085	614.380	
59	60	3,323.572	-1,848.838	322.556	-355.131	5,172.410	677.687	
	61	3,257.539	-1,943.943	381.030	-226.933	5,201.482	607.963	
60	61	3,257.885	-1,943.963	381.030	-294.475	5,201.848	675.505	
	62	2,712.370	-2,195.185	450.385	-174.099	4,907.555	624.484	
61	62	2,713.483	-2,195.185	450.385	-245.685	4,908.668	696.071	
	63	1,681.544	-2,391.478	533.973	-135.118	4,073.022	669.091	
62	63	1,683.227	-2,391.478	533.973	-202.843	4,074.705	736.815	
	64	920.762	-3,435.068	642.748	-103.094	4,355.830	745.842	
63	64	921.421	-3,435.068	663.150	-149.607	4,356.489	812.757	
	65	682.935	-6,018.747	821.741	-93.223	6,701.682	914.963	P3
64	65	683.136	-6,018.747	821.741	-832.753	6,701.883	1,654.493	P3
	66	1,018.115	-3,253.892	108.972	-677.553	4,272.007	786.525	
65	66	1,018.115	-3,256.402	108.972	-677.553	4,274.517	786.525	
	67	1,885.593	-2,053.837	146.356	-513.521	3,939.430	659.878	
66	67	1,885.593	-2,053.998	146.356	-549.430	3,939.591	695.787	
	68	3,036.204	-1,663.226	181.061	-410.812	4,699.430	591.873	
67	68	3,036.204	-1,663.444	181.061	-464.719	4,699.648	645.780	
	69	3,765.641	-1,379.255	219.948	-328.497	5,144.896	548.445	
68	69	3,765.641	-1,379.255	219.948	-389.342	5,144.896	609.290	
	70	4,027.241	-1,068.924	268.017	-257.180	5,096.165	525.197	
69	70	4,027.531	-1,069.044	268.017	-322.281	5,096.575	590.298	
	71	3,794.127	-790.114	327.318	-195.192	4,584.241	522.509	
70	71	3,795.234	-790.114	327.318	-265.492	4,585.348	592.810	
	72	3,054.676	-512.413	397.270	-144.029	3,567.089	541.299	
71	72	3,056.567	-512.413	397.270	-225.935	3,568.980	623.205	
	73	1,777.734	-229.574	482.324	-107.589	2,007.308	589.913	
72	73	1,779.719	-229.574	482.324	-154.371	2,009.293	636.695	
	74	3.820	-3.020	612.561	-55.374	6.840	667.935	A2

[풍하중]

< Girder 1 >

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
1	1	24.921	-18.564	22.985	-28.656	43.485	51.641	A1
	2	107.438	-76.580	6.824	-9.264	184.018	16.089	
2	2	109.639	-78.042	6.824	-9.264	187.682	16.089	
	3	74.700	-56.152	18.268	-13.764	130.852	32.033	
3	3	76.750	-57.496	18.268	-13.764	134.246	32.033	
	4	54.026	-42.479	15.942	-12.477	96.506	28.420	
4	4	55.308	-43.288	15.942	-12.477	98.596	28.420	
	5	46.139	-37.564	13.356	-10.709	83.703	24.066	
5	5	46.473	-37.720	13.356	-10.754	84.193	24.110	
	6	42.206	-35.266	12.504	-10.146	77.473	22.649	
6	6	42.206	-35.266	12.504	-10.693	77.473	23.196	
	7	36.302	-30.850	12.839	-10.526	67.151	23.366	
7	7	36.302	-30.850	12.839	-10.526	67.151	23.366	
	8	11.386	-10.478	16.612	-13.687	21.864	30.299	
8	8	11.386	-10.478	16.612	-13.687	21.864	30.299	
	9	74.764	-98.063	33.605	-26.700	172.827	60.305	
9	9	75.564	-98.449	84.956	-58.331	174.013	143.287	
	10	417.061	-583.729	109.303	-78.373	1,000.791	187.676	P1
10	10	417.061	-583.729	109.303	-103.994	1,000.791	213.297	P1
	11	62.396	-70.189	56.106	-79.500	132.586	135.606	
11	11	62.396	-70.707	56.106	-79.500	133.103	135.606	
	12	25.991	-16.858	5.729	-7.091	42.849	12.820	
12	12	27.187	-17.949	13.372	-15.857	45.135	29.229	
	13	45.125	-34.398	8.678	-6.789	79.523	15.466	
13	13	46.294	-35.308	10.270	-12.288	81.602	22.558	
	14	46.346	-36.233	12.267	-9.899	82.579	22.167	
14	14	46.928	-36.634	12.267	-12.071	83.562	24.338	
	15	45.840	-36.248	12.506	-10.167	82.089	22.673	
15	15	45.840	-36.248	12.506	-11.932	82.089	24.438	
	16	43.800	-34.709	12.665	-10.356	78.509	23.021	
16	16	43.800	-34.709	12.665	-10.356	78.509	23.021	
	17	24.620	-18.781	15.956	-13.122	43.401	29.078	
17	17	24.620	-18.781	15.956	-13.122	43.401	29.078	
	18	59.377	-75.082	32.021	-25.517	134.459	57.538	
18	18	59.936	-75.137	77.680	-53.663	135.073	131.343	
	19	378.658	-525.000	102.340	-73.878	903.659	176.218	P2
19	19	378.658	-525.000	102.340	-101.253	903.659	203.592	P2
	20	61.319	-78.256	53.184	-76.577	139.575	129.761	

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
20	20	61.319	-78.320	53.184	-76.577	139.639	129.761	
	21	20.066	-16.126	5.279	-7.336	36.193	12.615	
21	21	21.415	-17.306	13.255	-16.296	38.721	29.551	
	22	41.088	-32.974	8.423	-6.984	74.062	15.407	
22	22	42.258	-33.881	10.476	-12.985	76.139	23.461	
	23	45.326	-35.635	11.757	-9.774	80.961	21.532	
23	23	45.817	-35.980	11.757	-12.765	81.797	24.523	
	24	47.744	-36.637	11.994	-9.997	84.380	21.991	
24	24	47.744	-36.637	11.994	-12.451	84.380	24.445	
	25	47.727	-35.503	12.331	-10.303	83.230	22.634	
25	25	47.727	-35.503	12.331	-10.303	83.230	22.634	
	26	28.218	-17.879	16.101	-13.494	46.098	29.594	
26	26	28.218	-17.879	16.101	-13.494	46.098	29.594	
	27	63.458	-72.434	32.308	-26.196	135.892	58.505	
27	27	63.878	-72.434	81.001	-56.748	136.313	137.750	
	28	398.113	-539.036	105.837	-77.036	937.149	182.874	P3
28	28	422.450	-594.975	105.837	-109.639	1,017.426	215.476	P3
	29	80.502	-108.908	58.325	-84.902	189.410	143.227	
29	29	80.502	-108.908	58.325	-84.902	189.410	143.227	
	30	3.973	-6.389	7.253	-10.355	10.363	17.608	
30	30	5.764	-7.870	14.313	-17.935	13.635	32.248	
	31	34.677	-29.696	6.320	-5.547	64.373	11.867	
31	31	36.397	-30.982	11.074	-13.985	67.379	25.059	
	32	46.177	-37.059	10.028	-8.612	83.235	18.640	
32	32	47.199	-37.783	10.551	-13.328	84.982	23.879	
	33	54.283	-41.676	10.450	-8.962	95.959	19.412	
33	33	54.341	-41.699	10.982	-13.899	96.040	24.881	
	34	64.886	-48.190	9.636	-8.355	113.077	17.991	
34	34	64.886	-48.190	12.609	-16.179	113.077	28.788	
	35	86.388	-62.487	7.118	-6.556	148.875	13.674	
35	35	86.388	-62.487	13.742	-18.212	148.875	31.954	
	36	117.628	-82.155	4.840	-5.245	199.784	10.085	
36	36	117.628	-82.155	10.125	-7.245	199.784	17.370	
	37	27.990	-20.766	29.985	-23.625	48.756	53.610	A2

< Girder 2 >

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
37	38	2.405	-1.609	30.893	-23.930	4.014	54.823	A1
	39	67.094	-88.946	11.481	-7.824	156.039	19.305	
38	39	67.094	-88.946	11.481	-7.824	156.039	19.305	
	40	48.572	-62.007	12.718	-16.110	110.579	28.827	
39	40	48.572	-62.007	12.718	-16.110	110.579	28.827	
	41	37.307	-47.240	11.386	-13.860	84.547	25.246	
40	41	37.307	-47.240	11.694	-13.860	84.547	25.555	
	42	36.229	-46.704	9.555	-11.333	82.933	20.888	
41	42	36.229	-46.704	12.767	-11.333	82.933	24.100	
	43	39.574	-52.151	8.904	-10.496	91.725	19.400	
42	43	40.329	-53.310	12.734	-10.496	93.639	23.231	
	44	43.015	-58.289	9.146	-10.760	101.304	19.906	
43	44	44.694	-60.939	9.302	-10.760	105.633	20.062	
	45	32.960	-48.371	12.153	-14.436	81.330	26.589	
44	45	35.333	-52.206	12.153	-14.436	87.539	26.589	
	46	42.813	-39.280	24.978	-31.263	82.092	56.242	
45	46	42.813	-39.280	56.578	-82.544	82.092	139.121	
	47	506.108	-365.247	76.459	-106.788	871.355	183.247	P1
46	47	506.108	-365.247	103.841	-106.788	871.355	210.629	P1
	48	52.977	-41.509	79.470	-55.516	94.485	134.986	
47	48	55.828	-43.232	79.470	-55.516	99.060	134.986	
	49	32.188	-39.578	7.138	-5.289	71.766	12.427	
48	49	32.188	-39.578	15.835	-12.901	71.766	28.736	
	50	44.699	-54.566	7.069	-8.532	99.265	15.602	
49	50	44.699	-54.566	12.411	-9.980	99.265	22.391	
	51	43.293	-53.463	9.994	-11.960	96.756	21.954	
50	51	43.293	-53.463	12.347	-11.960	96.756	24.307	
	52	42.317	-53.297	10.068	-12.022	95.614	22.090	
51	52	42.605	-53.681	12.439	-12.022	96.286	24.461	
	53	42.363	-54.928	10.036	-11.933	97.292	21.970	
52	53	43.540	-56.739	10.036	-11.933	100.279	21.970	
	54	30.753	-42.993	12.578	-14.971	73.746	27.549	
53	54	32.604	-45.957	12.578	-14.971	78.561	27.549	
	55	45.475	-40.112	24.716	-30.705	85.587	55.421	
54	55	45.475	-40.112	52.840	-76.312	85.587	129.152	
	56	479.323	-348.476	72.813	-100.683	827.799	173.496	P2
55	56	479.323	-348.476	99.748	-100.683	827.799	200.431	P2
	57	46.301	-39.874	75.377	-52.460	86.175	127.837	
56	57	49.208	-41.646	75.377	-52.460	90.854	127.837	
	58	31.236	-42.448	6.382	-4.777	73.684	11.159	

부재 번호	절점 번호	모 멘 트		전 단 력		피로하중 작용범위		비 고
		Max	Min	Max	Min	모멘트	전단력	
57	58	31.236	-42.448	15.311	-12.741	73.684	28.051	
	59	43.004	-54.950	7.234	-9.062	97.954	16.296	
58	59	43.004	-54.950	12.301	-10.207	97.954	22.508	
	60	42.837	-53.509	9.766	-12.069	96.347	21.835	
59	60	42.837	-53.509	12.464	-12.069	96.347	24.533	
	61	43.817	-54.160	9.697	-11.903	97.977	21.601	
60	61	44.258	-54.819	12.541	-11.903	99.077	24.445	
	62	45.614	-56.572	9.713	-11.832	102.186	21.545	
61	62	46.921	-58.632	9.713	-11.832	105.553	21.545	
	63	34.127	-44.150	12.577	-15.118	78.277	27.695	
62	63	36.064	-47.296	12.577	-15.118	83.360	27.695	
	64	44.761	-37.821	24.952	-30.831	82.583	55.783	
63	64	44.761	-37.821	55.466	-79.436	82.583	134.902	
	65	493.827	-359.056	75.440	-103.808	852.883	179.248	P3
64	65	493.899	-359.167	104.703	-103.808	853.066	208.512	P3
	66	36.948	-35.724	80.460	-55.592	72.672	136.051	
65	66	40.477	-37.886	80.460	-55.592	78.363	136.051	
	67	34.462	-49.943	6.337	-4.817	84.405	11.154	
66	67	34.462	-49.943	13.837	-11.840	84.405	25.677	
	68	42.314	-55.794	7.680	-9.900	98.108	17.581	
67	68	42.314	-55.794	10.371	-9.900	98.108	20.271	
	69	36.779	-46.038	10.416	-13.113	82.817	23.529	
68	69	36.779	-46.038	10.416	-13.113	82.817	23.529	
	70	31.528	-37.341	10.430	-13.026	68.869	23.456	
69	70	31.528	-37.341	11.325	-13.026	68.869	24.350	
	71	31.492	-36.193	9.469	-11.660	67.685	21.128	
70	71	32.399	-37.526	14.164	-11.660	69.925	25.824	
	72	42.688	-51.246	7.300	-8.563	93.934	15.863	
71	72	44.586	-54.159	16.801	-13.013	98.745	29.814	
	73	62.793	-81.514	5.608	-5.677	144.307	11.285	
72	73	65.145	-85.255	7.586	-10.913	150.400	18.498	
	74	2.997	-1.946	23.610	-30.226	4.943	53.836	A2

6) 부재력 요약

[단면 - 1]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	736.917	1,018.157	710.937	1,340.213	82.098	40.475	절점 1 에서 2.50 M
G2	711.718	1,006.227	825.441	1,311.860	45.976	39.930	절점 38 에서 2.47 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-280.656	-351.711	-263.169	-540.017	-17.534	-16.262	절점 1 에서 2.50 M
G2	-273.551	-350.254	-307.713	-534.535	-14.698	-16.182	절점 38 에서 2.47 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-75.641	-62.161	102.082	-553.416	-76.177	-2.773	절점 1 에서 2.50 M
G2	-74.121	-57.989	148.933	-560.385	-220.530	-3.136	절점 38 에서 2.47 M

[단면 - 2]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	2,794.374	3,494.650	2,701.474	4,146.164	65.096	271.934	절점 4 에서 2.50 M
G2	2,780.857	3,496.021	2,869.624	4,106.898	48.065	271.099	절점 41 에서 2.47 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-4.927	2.456	2.176	-306.186	-1.138	-16.183	절점 4 에서 2.50 M
G2	-4.152	3.185	3.238	-306.242	-0.258	-16.258	절점 41 에서 2.47 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-18.398	-15.319	22.328	-304.138	-26.655	-5.340	절점 4 에서 2.50 M
G2	-18.354	-14.893	33.556	-353.931	-33.899	-5.517	절점 41 에서 2.47 M

[단면 - 3]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	2,777.031	3,483.371	2,692.634	4,104.858	64.074	256.161	절점 4 에서 1.52 M
G2	2,764.572	3,485.235	2,859.400	4,065.200	45.797	255.420	절점 41 에서 1.51 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-25.127	-19.426	-15.364	-339.729	-3.307	-16.183	절점 4 에서 1.52 M
G2	-24.140	-19.227	-18.347	-339.510	-3.742	-16.258	절점 41 에서 1.51 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-18.398	-15.147	4.298	-304.138	-26.655	-5.340	절점 4 에서 1.52 M
G2	-18.354	-11.838	71.041	-381.421	-33.899	-5.517	절점 41 에서 1.51 M

[단면 - 4]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-787.190	-872.228	-990.241	-2,417.429	-17.949	-221.145	절점 12 에서 0.00 M
G2	-783.721	-853.056	-860.137	-2,392.458	-36.544	-221.705	절점 49 에서 0.00 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-276.248	-359.355	-280.988	-536.920	-15.857	-30.392	절점 12 에서 0.00 M
G2	-277.227	-362.608	-302.549	-534.101	-12.901	-31.090	절점 49 에서 0.00 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-20.869	0.005	170.385	403.195	68.918	5.565	절점 12 에서 0.00 M
G2	-23.045	-5.787	82.373	-522.240	-231.903	-13.190	절점 49 에서 0.00 M

[단면 - 5]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-2,375.281	-3,052.472	-2,571.568	-3,598.191	-70.707	-363.989	절점 11 에서 0.00 M
G2	-2,363.109	-3,042.393	-2,670.154	-3,442.327	-43.232	-376.626	절점 48 에서 0.00 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-355.898	-514.254	-361.695	-643.120	-31.608	-29.406	절점 11 에서 0.00 M
G2	-366.287	-535.472	-481.387	-664.321	-55.516	-35.677	절점 48 에서 0.00 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	3.585	20.499	129.899	422.269	144.718	4.967	절점 11 에서 0.00 M
G2	-23.045	9.849	274.276	384.230	149.174	5.658	절점 48 에서 0.00 M

[단면 - 6]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-4,373.156	-5,957.981	-4,313.944	-6,113.745	-594.975	-491.802	절점 28 에서 0.00 M
G2	-4,366.260	-6,075.661	-5,317.604	-6,034.939	-364.906	-552.638	절점 47 에서 0.00 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-496.519	-730.467	-455.106	-826.494	-109.639	-6.920	절점 28 에서 0.00 M
G2	503.947	766.673	654.047	834.294	76.459	16.672	절점 47 에서 0.00 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-50.408	-41.739	11.392	-560.231	-130.043	-14.767	절점 28 에서 0.00 M
G2	1.598	28.752	212.040	422.585	123.280	5.027	절점 47 에서 0.00 M

[단면 - 7]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	928.739	1,205.985	726.550	3,336.169	59.980	207.936	절점 24 에서 1.52 M
G2	922.494	1,215.718	904.100	3,303.660	54.596	206.665	절점 61 에서 1.51 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	115.843	146.323	123.396	356.335	3.862	30.632	절점 24 에서 1.52 M
G2	117.588	146.974	120.177	354.417	5.107	30.855	절점 61 에서 1.51 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	23.561	17.473	-64.080	-287.706	-37.922	-4.646	절점 24 에서 1.52 M
G2	24.354	20.199	-22.389	354.170	87.590	8.700	절점 61 에서 1.51 M

[단면 - 8]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-1,125.110	-1,498.975	-1,144.002	-3,062.170	-78.320	-440.040	절점 20 에서 0.00 M
G2	-1,116.474	-1,491.224	-1,229.830	-2,948.322	-40.112	-452.452	절점 55 에서 0.00 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-281.752	-426.062	-281.886	-617.858	-32.036	-26.309	절점 20 에서 0.00 M
G2	289.071	442.567	390.480	635.404	52.840	32.623	절점 55 에서 0.00 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-26.983	-7.315	71.714	506.171	76.472	7.847	절점 20 에서 0.00 M
G2	28.181	-2.906	-269.301	-384.292	-143.790	-7.895	절점 55 에서 0.00 M

[단면 - 9]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-2,748.133	-3,971.059	-2,510.395	-5,460.144	-522.553	-490.858	절점 19 에서 0.00 M
G2	-2,730.953	-4,065.789	-3,428.527	-5,408.665	-348.476	-550.963	절점 56 에서 0.00 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-363.634	-572.704	-318.671	-787.018	-101.253	-22.741	절점 19 에서 0.00 M
G2	365.376	600.478	500.972	792.656	72.813	32.623	절점 56 에서 0.00 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	15.835	2.140	-24.891	-521.388	-117.985	-4.449	절점 19 에서 0.00 M
G2	-15.193	8.636	202.506	415.538	115.627	4.879	절점 56 에서 0.00 M

[단면 - 11]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-	-	-	-	-	-	절점 1 에서 2.50 M
G2	1,033.415	1,409.959	1,182.337	1,787.724	60.994	59.591	절점 38 에서 3.69 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-	-	-	-	-	-	절점 1 에서 2.50 M
G2	-255.314	-316.580	-280.516	-487.627	-10.148	-16.182	절점 38 에서 3.69 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-	-	-	-	-	-	절점 1 에서 2.50 M
G2	-74.121	-61.837	101.706	-539.456	-220.530	-3.136	절점 38 에서 3.69 M

[현장이음 - 1]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	1,884.687	2,442.202	1,835.528	2,965.152	100.112	120.785	절점 2 에서 3.12 M
G2	1,858.939	2,435.856	2,026.787	2,917.140	64.940	120.092	절점 39 에서 3.10 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-184.773	-223.701	-186.721	-410.181	-6.718	-16.111	절점 2 에서 3.12 M
G2	-192.067	-229.740	-184.273	-415.207	-7.624	-16.332	절점 39 에서 3.10 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-80.472	-66.785	109.383	-559.997	-118.085	-3.739	절점 2 에서 3.12 M
G2	-80.009	-65.471	123.938	-575.336	-201.993	-4.010	절점 39 에서 3.10 M

[현장이음 - 2]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	2,747.809	3,452.153	2,670.425	4,034.358	59.547	241.601	절점 4 에서 0.62 M
G2	2,736.574	3,454.329	2,832.852	3,995.091	40.770	240.944	절점 41 에서 0.62 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-39.023	-44.873	-31.557	-372.227	-6.782	-16.183	절점 4 에서 0.62 M
G2	-37.935	-45.065	-38.274	-371.847	-7.094	-16.258	절점 41 에서 0.62 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-18.398	-14.987	-12.346	-304.138	-26.655	-5.340	절점 4 에서 0.62 M
G2	-18.354	-9.019	105.650	-410.259	-33.899	-5.517	절점 41 에서 0.62 M

[현장이음 - 3]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	2,150.729	2,715.645	2,021.445	3,756.544	46.412	403.105	절점 6 에서 0.62 M
G2	2,139.720	2,718.301	2,182.759	3,713.119	45.143	401.379	절점 43 에서 0.62 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	163.075	192.955	168.736	364.513	6.520	11.818	절점 6 에서 0.62 M
G2	165.167	193.841	162.647	363.762	9.808	11.903	절점 43 에서 0.62 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	43.449	38.140	-87.318	398.206	58.365	10.594	절점 6 에서 0.62 M
G2	44.587	43.595	3.748	386.196	121.537	10.720	절점 43 에서 0.62 M

[현장이음 - 4]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	382.869	594.508	234.399	2,445.136	33.189	522.210	절점 7 에서 3.12 M
G2	380.956	608.848	382.972	2,427.377	47.903	523.553	절점 44 에서 3.09 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	308.578	373.281	309.297	502.081	7.658	11.562	절점 7 에서 3.12 M
G2	309.781	375.776	322.769	500.316	4.813	12.159	절점 44 에서 3.09 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	60.186	48.697	-80.063	451.919	84.110	15.603	절점 7 에서 3.12 M
G2	62.134	46.594	-147.429	533.441	199.222	15.755	절점 44 에서 3.09 M

[현장이음 - 5]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-2,358.429	-3,066.835	-2,497.427	-3,610.189	-153.418	-461.898	절점 9 에서 0.62 M
G2	-2,343.354	-3,068.391	-2,705.518	-3,545.904	-73.392	-480.595	절점 46 에서 0.62 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	425.103	592.809	375.347	687.389	87.988	7.049	절점 9 에서 0.62 M
G2	434.417	628.514	557.375	697.469	59.055	16.672	절점 46 에서 0.62 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	40.435	29.760	-101.181	577.871	131.032	12.755	절점 9 에서 0.62 M
G2	42.931	35.696	-27.991	581.086	203.268	13.172	절점 46 에서 0.62 M

[현장이음 - 6]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-2,605.527	-3,378.015	-2,766.189	-3,861.123	-121.758	-379.978	절점 10 에서 4.37 M
G2	-2,595.178	-3,384.648	-2,973.655	-3,711.504	-77.296	-398.504	절점 47 에서 4.32 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-368.550	-521.573	-313.822	-673.995	-82.561	-25.805	절점 10 에서 4.37 M
G2	-376.067	-555.204	-495.193	-682.944	-58.012	-35.677	절점 47 에서 4.32 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	3.585	20.610	118.345	431.261	144.718	4.967	절점 10 에서 4.37 M
G2	1.598	15.070	44.117	454.200	123.280	5.027	절점 47 에서 4.32 M

[현장이음 - 7]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-296.239	-259.628	-498.751	-2,282.195	-35.137	-204.496	절점 12 에서 1.87 M
G2	-296.605	-242.643	-342.628	-2,318.614	-56.460	-204.403	절점 49 에서 1.85 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-250.802	-300.994	-247.260	-482.413	-6.656	-30.392	절점 12 에서 1.87 M
G2	-252.047	-303.544	-261.115	-479.859	-5.411	-31.090	절점 49 에서 1.85 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-29.731	-15.176	83.900	390.500	67.482	4.994	절점 12 에서 1.87 M
G2	-31.029	-12.538	150.088	317.458	113.531	5.112	절점 49 에서 1.85 M

[현장이음 - 8]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	1,024.392	1,321.010	826.070	3,363.602	52.090	182.920	절점 13 에서 4.37 M
G2	1,018.701	1,329.958	997.753	3,330.885	47.918	181.768	절점 50 에서 4.32 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-101.907	-121.025	-107.331	-334.049	-7.379	-30.629	절점 13 에서 4.37 M
G2	-103.690	-121.312	-100.417	-332.259	-8.915	-30.853	절점 50 에서 4.32 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-23.550	-17.621	80.905	-353.237	-37.064	-8.522	절점 13 에서 4.37 M
G2	-24.211	-22.815	-11.814	-334.852	-87.338	-8.633	절점 50 에서 4.32 M

[현장이음 - 9]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	1,240.901	1,599.652	1,084.556	3,347.865	51.164	259.545	절점 15 에서 0.62 M
G2	1,233.374	1,605.999	1,251.578	3,305.537	47.200	258.105	절점 52 에서 0.62 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	32.715	32.041	24.728	313.266	7.306	27.531	절점 15 에서 0.62 M
G2	33.963	31.728	18.059	312.231	9.391	27.758	절점 52 에서 0.62 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	12.011	3.771	-90.252	-268.444	-40.332	-5.971	절점 15 에서 0.62 M
G2	11.985	8.097	1.629	335.904	81.368	9.015	절점 52 에서 0.62 M

[현장이음 - 10]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	451.133	685.722	375.923	2,460.147	44.911	487.112	절점 16 에서 3.12 M
G2	446.221	697.076	523.963	2,436.038	46.335	488.166	절점 53 에서 3.09 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	178.012	212.139	165.626	462.024	6.725	27.273	절점 16 에서 3.12 M
G2	178.758	213.861	177.816	460.210	5.088	28.015	절점 53 에서 3.09 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	25.179	10.028	-87.138	-392.046	-71.956	-6.819	절점 16 에서 3.12 M
G2	25.714	6.404	-154.411	-318.412	-109.466	-6.962	절점 53 에서 3.09 M

[현장이음 - 11]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-1,309.740	-1,770.933	-1,292.462	-3,309.021	-125.599	-446.261	절점 18 에서 0.62 M
G2	-1,300.876	-1,776.470	-1,477.595	-3,205.260	-72.468	-464.658	절점 55 에서 0.62 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	295.640	435.913	239.778	647.117	80.762	22.664	절점 18 에서 0.62 M
G2	298.482	462.314	404.297	653.967	55.338	32.623	절점 55 에서 0.62 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	15.835	2.914	-105.789	-425.044	-117.985	-4.449	절점 18 에서 0.62 M
G2	16.040	6.133	-33.894	536.330	175.459	9.579	절점 55 에서 0.62 M

[현장이음 - 12]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-1,310.039	-1,771.304	-1,292.586	-3,309.600	-128.007	-446.363	절점 19 에서 4.37 M
G2	-1,300.034	-1,775.250	-1,476.336	-3,205.024	-73.775	-464.314	절점 56 에서 4.32 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-295.922	-436.291	-239.985	-647.155	-79.661	-22.741	절점 19 에서 4.37 M
G2	-298.348	-462.162	-404.333	-653.960	-54.955	-32.577	절점 56 에서 4.32 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-15.503	-2.526	106.090	424.882	114.375	4.556	절점 19 에서 4.37 M
G2	-15.193	-5.046	34.591	-536.533	-178.686	-9.967	절점 56 에서 4.32 M

[현장이음 - 13]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	451.886	686.876	377.237	2,460.418	42.304	487.079	절점 21 에서 1.87 M
G2	447.157	698.462	525.433	2,437.626	45.297	488.093	절점 58 에서 1.85 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-178.095	-212.263	-165.753	-462.010	-7.026	-27.292	절점 21 에서 1.87 M
G2	-178.816	-213.947	-177.922	-460.183	-5.249	-28.026	절점 58 에서 1.85 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-25.061	-9.877	87.418	392.091	72.065	6.866	절점 21 에서 1.87 M
G2	-25.717	-6.412	154.571	318.524	109.647	6.993	절점 58 에서 1.85 M

[현장이음 - 14]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	1,242.275	1,601.763	1,086.837	3,348.018	50.739	259.452	절점 22 에서 4.37 M
G2	1,234.669	1,608.010	1,253.847	3,306.349	47.321	258.038	절점 59 에서 4.32 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-32.791	-32.158	-24.846	-313.240	-7.243	-27.544	절점 22 에서 4.37 M
G2	-34.025	-31.822	-18.177	-312.164	-9.024	-27.772	절점 59 에서 4.32 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-11.883	-3.609	90.564	268.559	40.384	6.010	절점 22 에서 4.37 M
G2	-12.144	-8.314	-1.643	-336.382	-81.557	-9.040	절점 59 에서 4.32 M

[현장이음 - 15]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	1,026.256	1,323.878	829.170	3,363.400	53.270	183.164	절점 24 에서 0.62 M
G2	1,020.412	1,332.628	1,000.729	3,330.798	49.052	181.978	절점 61 에서 0.62 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	101.805	120.881	107.208	334.026	7.430	30.632	절점 24 에서 0.62 M
G2	103.633	121.228	100.287	332.176	9.494	30.855	절점 61 에서 0.62 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	23.561	17.632	-80.721	353.104	37.435	8.538	절점 24 에서 0.62 M
G2	24.354	23.013	12.154	334.753	87.590	8.700	절점 61 에서 0.62 M

[현장이음 - 16]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-293.795	-255.881	-495.044	-2,242.721	-35.252	-204.724	절점 25 에서 3.12 M
G2	-294.599	-239.453	-338.659	-2,317.829	-62.736	-204.661	절점 62 에서 3.09 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	250.724	300.879	247.205	482.474	6.800	30.388	절점 25 에서 3.12 M
G2	251.989	303.459	260.942	479.744	5.089	31.099	절점 62 에서 3.09 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	29.821	15.312	-83.708	-390.441	-67.687	-4.949	절점 25 에서 3.12 M
G2	31.172	12.741	-149.903	-317.249	-113.670	-5.108	절점 62 에서 3.09 M

[현장이음 - 17]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-2,604.848	-3,376.448	-2,765.351	-3,864.422	-124.794	-379.818	절점 27 에서 0.62 M
G2	-2,590.568	-3,378.040	-2,965.320	-3,703.257	-71.688	-398.969	절점 64 에서 0.62 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	370.184	523.669	315.657	675.005	84.106	25.641	절점 27 에서 0.62 M
G2	374.309	552.928	493.143	681.782	57.964	35.845	절점 64 에서 0.62 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-7.437	-25.537	-122.376	-432.127	-146.335	-5.131	절점 27 에서 0.62 M
G2	-5.284	-19.800	-48.234	-454.686	-122.401	-5.126	절점 64 에서 0.62 M

[현장이음 - 18]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-2,359.518	-3,067.763	-2,499.167	-3,612.473	-163.868	-461.538	절점 28 에서 4.37 M
G2	-2,337.914	-3,060.932	-2,696.485	-3,538.604	-71.542	-481.085	절점 65 에서 4.32 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-426.118	-594.019	-376.400	-688.353	-87.982	-6.920	절점 28 에서 4.37 M
G2	-432.725	-626.250	-555.346	-695.813	-58.067	-16.831	절점 65 에서 4.32 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-50.408	-42.513	92.297	-583.743	-130.043	-14.767	절점 28 에서 4.37 M
G2	-53.948	-49.858	17.705	-589.696	-203.907	-15.180	절점 65 에서 4.32 M

[현장이음 - 19]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	382.092	593.311	233.066	2,444.276	29.870	522.190	절점 30 에서 1.87 M
G2	381.417	609.243	384.631	2,428.712	46.489	523.951	절점 67 에서 1.85 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-308.333	-372.884	-309.061	-502.292	-8.810	-11.549	절점 30 에서 1.87 M
G2	-309.364	-375.152	-322.048	-499.782	-4.499	-12.202	절점 67 에서 1.85 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-73.911	-66.280	67.516	-463.956	-81.256	-18.120	절점 30 에서 1.87 M
G2	-76.086	-64.527	134.048	-546.594	-196.345	-18.352	절점 67 에서 1.85 M

[현장이음 - 20]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	2,148.192	2,711.557	2,017.896	3,756.468	50.574	403.258	절점 31 에서 4.37 M
G2	2,136.991	2,714.068	2,179.494	3,708.263	41.718	401.249	절점 68 에서 4.32 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-162.818	-192.535	-168.369	-364.755	-6.160	-11.807	절점 31 에서 4.37 M
G2	-164.807	-193.298	-162.111	-363.039	-10.190	-11.944	절점 68 에서 4.32 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	-56.948	-55.444	74.806	-409.454	-55.209	-13.057	절점 31 에서 4.37 M
G2	-58.514	-61.520	-17.438	-398.278	-118.242	-13.318	절점 68 에서 4.32 M

[현장이음 - 21]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	2,744.108	3,445.700	2,664.284	4,038.133	69.076	241.803	절점 33 에서 4.37 M
G2	2,730.165	3,444.568	2,824.493	3,983.259	35.876	240.563	절점 70 에서 4.32 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	39.127	45.085	31.756	371.944	6.706	16.194	절점 33 에서 4.37 M
G2	38.186	45.399	38.634	372.353	7.105	16.311	절점 70 에서 4.32 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	11.501	6.002	6.779	-352.700	-24.457	-3.999	절점 33 에서 4.37 M
G2	11.173	-0.426	-112.384	-253.683	-29.015	-4.241	절점 70 에서 4.32 M

[현장이음 - 22]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	1,883.405	2,439.026	1,831.791	2,970.523	109.420	120.852	절점 35 에서 1.87 M
G2	1,851.054	2,424.024	2,017.220	2,902.537	61.473	119.858	절점 72 에서 1.85 M

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	184.069	222.700	185.988	409.832	6.602	16.150	절점 35 에서 1.87 M
G2	192.753	230.607	185.030	415.713	8.343	16.353	절점 72 에서 1.85 M

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	풍 하 중	지점침하	비 고
	Steel+Half	슬래브					
G1	89.098	77.977	-98.618	568.309	120.856	4.698	절점 35 에서 1.87 M
G2	89.093	77.092	-113.743	585.997	204.797	5.006	절점 72 에서 1.85 M

7) 반력 집계

(1) G1 최대인 경우

• DB 하중

[1차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계 ($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	508.225	-35.488	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,683.795	992.172	75
G2	276.077	453.950	428.717	5.158	-40.082	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,227.455	1,040.941	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계 ($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	541.757	-44.557	434.553	-278.338	25.635	-16.995	3,791.141	2,805.752	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	59.703	-38.868	275.264	-430.966	59.582	-73.911	4,088.344	3,503.165	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계 ($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	539.706	-58.146	403.536	-258.538	25.603	-29.386	3,137.415	2,153.537	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	34.985	-53.249	256.478	-400.320	59.649	-93.603	3,309.066	2,739.181	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계 ($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	542.023	-44.067	434.504	-278.277	25.075	-16.829	3,809.876	2,825.491	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	56.365	-39.394	274.022	-428.464	60.177	-75.232	4,062.679	3,480.268	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계 ($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	509.677	-35.887	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,702.844	1,008.577	79
G2	270.654	446.226	422.056	5.058	-42.812	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,207.767	1,018.030	84

[2차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	690.624	-61.561	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,866.193	966.098	75
G2	276.077	453.950	428.717	241.922	-39.816	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,464.220	1,041.207	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	740.927	-78.099	434.553	-278.338	25.635	-16.995	3,990.311	2,772.209	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	346.114	-77.550	275.264	-430.966	59.582	-73.911	4,374.755	3,464.484	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	732.210	-103.229	403.536	-258.538	25.603	-29.386	3,329.919	2,108.454	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	312.922	-104.525	256.478	-400.320	59.649	-93.603	3,587.003	2,687.905	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	742.258	-77.272	434.504	-278.277	25.075	-16.829	4,010.110	2,792.286	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	341.929	-78.447	274.022	-428.464	60.177	-75.232	4,348.243	3,441.215	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	693.340	-62.348	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,886.507	982.116	79
G2	270.654	446.226	422.056	239.137	-42.466	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,441.846	1,018.376	84

• DL 하중

[1차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	535.580	-46.284	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,711.149	981.375	75
G2	276.077	453.950	428.717	6.189	-58.036	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,228.486	1,022.986	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	1,027.610	-54.139	434.553	-278.338	25.635	-16.995	4,276.994	2,796.169	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	96.834	-46.981	275.264	-430.966	59.582	-73.911	4,125.475	3,495.052	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	983.603	-122.693	403.536	-258.538	25.603	-29.386	3,581.312	2,088.990	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	68.628	-109.207	256.478	-400.320	59.649	-93.603	3,342.710	2,683.223	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	1,029.502	-53.544	434.504	-278.277	25.075	-16.829	4,297.355	2,816.014	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	93.862	-47.568	274.022	-428.464	60.177	-75.232	4,100.175	3,472.094	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	538.142	-46.789	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,731.309	997.675	79
G2	270.654	446.226	422.056	6.072	-61.313	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,208.782	999.529	84

[2차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	731.136	-79.721	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,906.705	947.938	75
G2	276.077	453.950	428.717	233.981	-58.105	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,456.279	1,022.917	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	1,418.588	-93.735	434.553	-278.338	25.635	-16.995	4,667.972	2,756.573	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	663.861	-92.201	275.264	-430.966	59.582	-73.911	4,692.502	3,449.832	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	1,349.815	-214.636	403.536	-258.538	25.603	-29.386	3,947.524	1,997.047	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	601.175	-214.180	256.478	-400.320	59.649	-93.603	3,875.256	2,578.250	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	1,422.354	-92.745	434.504	-278.277	25.075	-16.829	4,690.207	2,776.813	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	658.727	-93.285	274.022	-428.464	60.177	-75.232	4,665.041	3,426.378	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	735.888	-80.735	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,929.055	963.729	79
G2	270.654	446.226	422.056	231.334	-60.790	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,434.043	1,000.052	84

(2) G2 최대인 경우

• DB 하중

[1차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	9.433	-25.665	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,185.002	1,001.994	75
G2	276.077	453.950	428.717	495.357	-20.845	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,717.655	1,060.177	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	38.881	-33.616	434.553	-278.338	25.635	-16.995	3,288.265	2,816.693	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	543.834	-47.182	275.264	-430.966	59.582	-73.911	4,572.475	3,494.851	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	21.864	-46.272	403.536	-258.538	25.603	-29.386	2,619.573	2,165.411	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	541.590	-61.313	256.478	-400.320	59.649	-93.603	3,815.672	2,731.117	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	42.141	-33.301	434.504	-278.277	25.075	-16.829	3,309.994	2,836.256	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	543.581	-47.539	274.022	-428.464	60.177	-75.232	4,549.895	3,472.123	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	11.192	-26.126	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,204.359	1,018.338	79
G2	270.654	446.226	422.056	493.781	-20.453	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,696.491	1,040.389	84

[2차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	269.000	-53.341	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,444.569	974.318	75
G2	276.077	453.950	428.717	666.732	-34.769	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,889.030	1,046.253	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	318.633	-68.956	434.553	-278.338	25.635	-16.995	3,568.017	2,781.352	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	752.233	-84.491	275.264	-430.966	59.582	-73.911	4,780.874	3,457.542	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	295.528	-93.299	403.536	-258.538	25.603	-29.386	2,893.237	2,118.384	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	738.369	-111.275	256.478	-400.320	59.649	-93.603	4,012.451	2,681.156	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	322.437	-68.275	434.504	-278.277	25.075	-16.829	3,590.290	2,801.283	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	750.634	-85.247	274.022	-428.464	60.177	-75.232	4,756.948	3,434.416	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DB 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	273.928	-54.179	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,467.095	990.284	79
G2	270.654	446.226	422.056	663.880	-34.044	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,866.590	1,026.798	84

• DL 하중

[1차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	15.453	-33.319	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,191.023	994.341	75
G2	276.077	453.950	428.717	493.547	-26.760	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,715.844	1,054.263	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	62.415	-40.837	434.553	-278.338	25.635	-16.995	3,311.799	2,809.471	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	1,039.823	-56.846	275.264	-430.966	59.582	-73.911	5,068.464	3,485.187	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	42.977	-94.541	403.536	-258.538	25.603	-29.386	2,640.686	2,117.142	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	991.119	-128.108	256.478	-400.320	59.649	-93.603	4,265.200	2,664.322	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	65.494	-40.535	434.504	-278.277	25.075	-16.829	3,333.347	2,829.023	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	1,037.137	-57.274	274.022	-428.464	60.177	-75.232	5,043.451	3,462.388	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	19.358	-33.846	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,212.525	1,010.618	79
G2	270.654	446.226	422.056	490.431	-26.244	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,693.140	1,034.598	84

[2차선 재하]

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	294.721	-68.851	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,470.290	958.808	75
G2	276.077	453.950	428.717	654.345	-44.601	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,876.643	1,036.421	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	608.474	-81.740	434.553	-278.338	25.635	-16.995	3,857.858	2,768.568	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	1,455.489	-101.055	275.264	-430.966	59.582	-73.911	5,484.130	3,440.979	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	560.470	-190.681	403.536	-258.538	25.603	-29.386	3,158.179	2,021.002	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	1,375.388	-230.269	256.478	-400.320	59.649	-93.603	4,649.470	2,562.161	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	613.240	-80.924	434.504	-278.277	25.075	-16.829	3,881.093	2,788.634	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	1,450.580	-101.962	274.022	-428.464	60.177	-75.232	5,456.894	3,417.701	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	DL 하중(R_{L+I})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	301.057	-69.959	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,494.224	974.505	79
G2	270.654	446.226	422.056	648.894	-43.684	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,851.604	1,017.158	84

(3) 최대 반력 집계

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	731.136	-79.721	136.197	-95.482	17.018	-15.053	1,906.705	947.938	75
G2	276.077	453.950	428.717	666.732	-58.105	96.252	-138.053	15.427	-8.695	1,889.030	1,022.917	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	1,418.588	-93.735	434.553	-278.338	25.635	-16.995	4,667.972	2,756.573	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	1,455.489	-101.055	275.264	-430.966	59.582	-73.911	5,484.130	3,440.979	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	1,349.815	-214.636	403.536	-258.538	25.603	-29.386	3,947.524	1,997.047	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	1,375.388	-230.269	256.478	-400.320	59.649	-93.603	4,649.470	2,562.161	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	1,422.354	-92.745	434.504	-278.277	25.075	-16.829	4,690.207	2,776.813	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	1,450.580	-101.962	274.022	-428.464	60.177	-75.232	5,456.894	3,417.701	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		지점침하(R_G)		합 계($R_D+R_L+R_W/2+R_G$)		절점 번호
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	735.888	-80.735	137.254	-95.964	16.837	-15.258	1,929.055	963.729	79
G2	270.654	446.226	422.056	663.880	-61.313	96.200	-138.040	15.674	-9.074	1,866.590	999.529	84

(4) 하부 설계시 작용반력

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중						최대 반력집계 합계		절점 번호
				만재 하 시		좌측 편재 하 시		우측 편재 하 시				
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	348.231	499.640	242.582	731.136	-79.721	535.580	-46.284	15.453	-33.319	1,906.705	947.938	75
G2	276.077	453.950	428.717	233.981	-58.105	6.189	-58.036	493.547	-26.760	1,889.030	1,022.917	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중						최대반력집계 합계		절점 번호
				만재하시		좌측 편재하시		우측 편재하시				
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	933.406	1,354.630	718.437	1,418.588	-93.735	1,027.610	-54.139	62.415	-40.837	4,667.972	2,756.573	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	663.861	-92.201	96.834	-46.981	1,039.823	-56.846	5,484.130	3,440.979	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중						최대반력집계 합계		절점 번호
				만재하시		좌측 편재하시		우측 편재하시				
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	730.418	1,119.131	520.789	1,349.815	-214.636	983.603	-122.693	42.977	-94.541	3,947.524	1,997.047	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	601.175	-214.180	68.628	-109.207	991.119	-128.108	4,649.470	2,562.161	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중						최대 반력 집계 합계		절점 번호
				만재 하 시		좌측 편재 하 시		우측 편재 하 시				
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	939.311	1,362.130	724.085	1,422.354	-92.745	1,029.502	-53.544	65.494	-40.535	4,690.207	2,776.813	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	658.727	-93.285	93.862	-47.568	1,037.137	-57.274	5,456.894	3,417.701	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활 하 중						최대반력집계 합계		절점 번호
				만재하시		좌측 편재하시		우측 편재하시				
	Steel+Half	슬래브		Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	
G1	353.189	505.994	248.521	735.888	-80.735	538.142	-46.789	19.358	-33.846	1,929.055	963.729	79
G2	270.654	446.226	422.056	231.334	-60.790	6.072	-61.313	490.431	-26.244	1,866.590	999.529	84

(5) 부반력 검토

$R = 2R_{L+1} + R_D$ or $R = R_D + R_W$ 중 불리한 값을 사용하여 설계한다. (도로교 설계기준 2.4.1.2)

R : 받침반력 (kN)

R_{L+1} : 충격을 포함한 활하중에 의한 최대 부반력 (kN)

R_L : 고정하중에 의한 받침반력 R_W : 풍하중에 의한 최대 부반력 (kN)

< A1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	고정하중 합계 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		부반력 검토		부반력(R)	절점 번호
	Steel	슬래브			Max	Min	Max	Min	$2R_{L+1} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	348.231	499.640	242.582	1,090.453	731.136	-79.721	136.197	-95.482	931.010	994.971	-	75
G2	276.077	453.950	428.717	1,158.744	666.732	-58.105	96.252	-138.053	1,042.534	1,020.691	-	80

< P1 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	고정하중 합계 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		부반력 검토		부반력(R)	절점 번호
	Steel	슬래브			Max	Min	Max	Min	$2R_{L+1} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	933.406	1,354.630	718.437	3,006.473	1,418.588	-93.735	434.553	-278.338	2,819.002	2,728.135	-	76
G2	963.021	1,494.013	1,374.393	3,831.427	1,455.489	-101.055	275.264	-430.966	3,629.318	3,400.462	-	81

< P2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	고정하중 합계 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		부반력 검토		부반력(R)	절점 번호
	Steel	슬래브			Max	Min	Max	Min	$2R_{L+1} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	730.418	1,119.131	520.789	2,370.338	1,349.815	-214.636	403.536	-258.538	1,941.065	2,111.800	-	77
G2	739.572	1,228.003	1,118.619	3,086.194	1,375.388	-230.269	256.478	-400.320	2,625.656	2,685.873	-	82

< P3 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	고정하중 합계 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		부반력 검토		부반력(R)	절점 번호
	Steel	슬래브			Max	Min	Max	Min	$2R_{L+1} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	939.311	1,362.130	724.085	3,025.525	1,422.354	-92.745	434.504	-278.277	2,840.036	2,747.249	-	78
G2	956.309	1,485.270	1,367.547	3,809.126	1,450.580	-101.962	274.022	-428.464	3,605.203	3,380.662	-	83

< A2 >

거더 번호	합성전 고정하중(R_D)		합성후 고정하중 (R_D)	고정하중 합계 (R_D)	활 하 중(R_{L+1})		풍 하 중(R_W)		부반력 검토		부반력(R)	절점 번호
	Steel	슬래브			Max	Min	Max	Min	$2R_{L+1} + R_D$	$R_D + R_W$		
G1	353.189	505.994	248.521	1,107.704	735.888	-80.735	137.254	-95.964	946.234	1,011.740	-	79
G2	270.654	446.226	422.056	1,138.936	663.880	-61.313	96.200	-138.040	1,016.311	1,000.896	-	84

4.5 뒤틀림(WARPING TORSION)에 대한 검토

1) 합성전 WARPING TORSION 에 대한 검토

(철.설 9.10.1 강교설계의 기초 P168)

비틀림상수비 가장 큰 단면 6 에 대하여 검토함

$$\begin{aligned}
 B_u &= U_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm} \\
 B_l &= B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm} \\
 H &= h + t_u/2 + t_l/2 = 2,200.0 + 12.0 / 2 + 16.0 / 2 = 2,214.0 \text{ mm} \\
 F &= (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 2,214.0 = 5,340,168.0 \text{ mm}^2 \\
 \beta_u &= (B_u \times t_u) / (t_w \times H) = (2,412.0 \times 12.0) / (12.0 \times 2,214.0) = 1.089 \\
 \beta_l &= (B_l \times t_l) / (t_w \times H) = (2,412.0 \times 16.0) / (12.0 \times 2,214.0) = 1.453 \\
 \varepsilon &= 2 \times t_u \times t_l / t_w^2 = 2 \times 12.0 \times 16.0 / 12.0^2 = 2.667
 \end{aligned}$$

▪ 비틀림 함수

$$\begin{aligned}
 q' &= \{(B_u + B_l) / 2 \times t_w \times \varepsilon\} / (\beta_u + \beta_l + \varepsilon) \\
 &= \{(2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 12.0 \times 2.667\} / (1.089 + 1.453 + 2.667) = 14,818.4
 \end{aligned}$$

▪ 쏘구침 함수(Unit Warping)

$$\begin{aligned}
 \Delta \omega &= \{(B_u + B_l) / 2 / 2 \times H\} + (q' \times H) / t_w \\
 &= \{(2,412.0 + 2,412.0) / 2 / 2 \times 2,214.0\} + (14,818.4 \times 2,214.0) / 12.0 = 5,404,072.2 \\
 \omega_1 &= \{-\Delta \omega \times (\beta_l + 3)\} / (\beta_u + \beta_l + 6) \\
 &= \{-5,404,072.2 \times (1.453 + 3)\} / (1.089 + 1.453 + 6) = -2,816,906.9 \\
 \omega_2 &= \{\Delta \omega \times (\beta_u + 3)\} / (\beta_u + \beta_l + 6) \\
 &= \{5,404,072.2 \times (1.089 + 3)\} / (1.089 + 1.453 + 6) = 2,587,165.3
 \end{aligned}$$

▪ 쏘구침 비틀림 상수

$$\begin{aligned}
 I_w &= H \times t_w / 3 \{ \omega_1^2 (2 + \beta_u) + 2 \times \omega_1 \times \omega_2 + \omega_2^2 (2 + \beta_l) \} \\
 &= 2,214.0 \times 12.0 / 3 \times \{ -2,816,906.9^2 \times (2 + 1.089) + 2 \times -2,816,906.9 \\
 &\quad \times 2,587,165.27 + 2,587,165.3^2 \times (2 + 1.453) \} = 2.927\text{E}+17 \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

▪ 순수 비틀림 상수

$$\begin{aligned}
 K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t) \\
 &= 4F^2 / \{ (H / \cos \Theta_L + H / \cos \Theta_R) / t_w + B_u / t_{hu} + B_l / t_l \} \\
 &= 4 \times 5,340,168.0^2 / \{ (2,214.0 + 2,214.0) / 12.0 + 2,412.0 / 12.0 \\
 &\quad + 2,412.0 / 16.0 \} = 1.583\text{E}+11
 \end{aligned}$$

▪ 비틀림 상수비

$$\alpha = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot K}{E_s \cdot I_w}} = 45,000.0 \times \sqrt{\frac{79,000.0 \times 1.583\text{E}+11}{205,000.0 \times 2.927\text{E}+17}} = 20.542$$

$\alpha = 20.54 > 10.0$ ※ 검토결과 $\alpha > 10$ 이므로 뒤틀림에 따른 응력 계산을 생략할 수 있다.

L : 지간장(45,000.0 mm)

E_s : 탄성계수(205,000.0 MPa)

G : 전단탄성계수(79,000.0 MPa)

◎ 단면별 비틀림 모멘트 고려범위 판정 결과

구 분	B_u	B_l	H	T_u	t_l	t_w	$F(\text{mm}^2)$	β_u	β_l	ε	q'
단면-1	2,412.0	2,412.0	2,211.0	10.0	12.0	12.0	5.33E+06	0.909	1.091	1.667	13156.4
단면-2	2,412.0	2,412.0	2,218.5	25.0	12.0	12.0	5.35E+06	2.265	1.087	4.167	16039.5
단면-3	2,412.0	2,412.0	2,211.0	10.0	12.0	12.0	5.33E+06	0.909	1.091	1.667	13156.4
단면-4	2,412.0	2,412.0	2,211.0	10.0	12.0	12.0	5.33E+06	0.909	1.091	1.667	13156.4
단면-5	2,412.0	2,412.0	2,214.0	12.0	16.0	12.0	5.34E+06	1.089	1.453	2.667	14818.4
단면-6	2,412.0	2,412.0	2,214.0	12.0	16.0	12.0	5.34E+06	1.089	1.453	2.667	14818.4
단면-7	2,412.0	2,412.0	2,218.5	25.0	12.0	12.0	5.35E+06	2.265	1.087	4.167	16039.5
단면-8	2,412.0	2,412.0	2,213.0	10.0	16.0	12.0	5.34E+06	0.908	1.453	2.222	14032.3
단면-9	2,412.0	2,412.0	2,213.0	10.0	16.0	12.0	5.34E+06	0.908	1.453	2.222	14032.3

구 분	$\Delta\omega$	ω_1	ω_2	L	$I_w(\text{mm}^6)$	$K(\text{mm}^4)$	α	판 정
단면-1	5,090,526.0	-2,603,109.9	2,487,416.1	44,350.0	2.29E+17	1.40E+11	21.55	$\alpha > 10$
단면-2	5,640,815.9	-2,465,206.2	3,175,609.7	44,350.0	3.67E+17	1.72E+11	18.82	$\alpha > 10$
단면-3	5,090,526.0	-2,603,109.9	2,487,416.1	44,350.0	2.29E+17	1.40E+11	21.55	$\alpha > 10$
단면-4	5,090,526.0	-2,603,109.9	2,487,416.1	44,350.0	2.29E+17	1.40E+11	21.55	$\alpha > 10$
단면-5	5,404,072.2	-2,816,906.9	2,587,165.3	44,350.0	2.93E+17	1.58E+11	20.25	$\alpha > 10$
단면-6	5,404,072.2	-2,816,906.9	2,587,165.3	45,000.0	2.93E+17	1.58E+11	20.54	$\alpha > 10$
단면-7	5,640,815.9	-2,465,206.2	3,175,609.7	45,000.0	3.67E+17	1.72E+11	19.10	$\alpha > 10$
단면-8	5,256,661.2	-2,799,632.3	2,457,028.9	45,000.0	2.65E+17	1.50E+11	21.02	$\alpha > 10$
단면-9	5,256,661.2	-2,799,632.3	2,457,028.9	45,000.0	2.65E+17	1.50E+11	21.02	$\alpha > 10$

※ 검토결과 비틀림 상수비 $\alpha < 0.4$ 일 경우 순수비틀림에 따른 응력계산을, $\alpha > 10$ 일 경우 뒀비틀림에 대한 응력계산을 각각 생략할 수 있다.

2) 합성후 WARPING TORSION 에 대한 검토

비틀림상수비 가장 큰 단면 6 에 대하여 검토함

$$\begin{aligned}
 B_u &= U_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,412.0 \text{ mm} \\
 B_l &= B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,077.0 + 12.0 / 2 + 12.0 / 2 = 2,089.0 \text{ mm} \\
 H &= h + t_u/2 + t_l/2 = 2,200.0 + 46.3 / 2 + 16.0 / 2 = 2,231.2 \text{ mm} \\
 F &= (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,089.0) / 2 \times 2,231.2 = 5,021,203.1 \text{ mm}^2 \\
 \beta_u &= (B_u \times t_u) / (t_w \times H) = (2,412.0 \times 46.3) / (12.0 \times 2,231.2) = 4.171 \\
 \beta_l &= (B_l \times t_l) / (t_w \times H) = (2,089.0 \times 16.0) / (12.0 \times 2,231.2) = 1.248 \\
 \epsilon &= 2 \times t_u \times t_l / t_w^2 = 2 \times 46.3 \times 16.0 / 12.0^2 = 10.289
 \end{aligned}$$

▪ 비틀림 함수

$$\begin{aligned}
 q' &= \{(B_u + B_l) / 2 \times t_w \times \epsilon\} / (\beta_u + \beta_l + \epsilon) \\
 &= \{(2,412.0 + 2,089.0) / 2 \times 12.0 \times 10.289\} / (4.171 + 1.248 + 10.289) = 17,688.8
 \end{aligned}$$

▪ 쏘구침 함수(Unit Warping)

$$\begin{aligned}
 \Delta \omega &= \{(B_u + B_l) / 2 / 2 \times H\} + (q' \times H) / t_w \\
 &= \{(2,412.0 + 2,089.0) / 2 / 2 \times 2,231.2\} + (17,688.8 \times 2,231.2) / 12.0 = 5,799,463.6 \\
 \omega_1 &= \{-\Delta \omega \times (\beta_l + 3)\} / (\beta_u + \beta_l + 6) \\
 &= \{-5,799,463.6 \times (1.248 + 3)\} / (4.171 + 1.248 + 6) = -2,157,575.5 \\
 \omega_2 &= \{\Delta \omega \times (\beta_u + 3)\} / (\beta_u + \beta_l + 6) \\
 &= \{5,799,463.6 \times (4.171 + 3)\} / (4.171 + 1.248 + 6) = 3,641,888.1
 \end{aligned}$$

▪ 쏘구침 비틀림 상수

$$\begin{aligned}
 I_w &= H \times t_w / 3 \{ \omega_1^2 (2 + \beta_u) + 2 \times \omega_1 \times \omega_2 + \omega_2^2 (2 + \beta_l) \} \\
 &= 4 \times 5,021,203.1^2 / \{ (2,299.8 + 2,299.8) / 12.0 + 2,412.0 / 46.3 \\
 &\quad \times 3,641,888.12 + 3,641,888.1^2 \times (2 + 1.248) \} = 5.006\text{E}+17 \text{ mm}^6
 \end{aligned}$$

▪ 순수 비틀림 상수

$$\begin{aligned}
 K &= 4 \cdot F^2 / (\oint ds / t) \\
 &= 4F^2 / \{ (H / \cos \Theta_L + H / \cos \Theta_R) / t_w + B_u / t_u + B_l / t_l \} \\
 &= 4 \times 5,021,203.1^2 / \{ (2,231.2 + 2,231.2) / 12.0 + 2,412.0 / 46.3 \\
 &\quad + 2,089.0 / 16.0 \} = 1.819\text{E}+11
 \end{aligned}$$

▪ 비틀림 상수비

$$\alpha = L \cdot \sqrt{\frac{G \cdot K}{E_s \cdot I_w}} = 45,000.0 \times \sqrt{\frac{79,000.0 \times 1.819\text{E}+11}{205,000.0 \times 5.006\text{E}+17}} = 16.837$$

$\alpha = 16.84 > 10.0$ ※ 검토결과 $\alpha > 10$ 이므로 뒀비틀림에 따른 응력 계산을 생략할 수 있다.

L : 지간장(45,000.0 mm)

E_s : 탄성계수(205,000.0 MPa)

G : 전단탄성계수(79,000.0 MPa)

◎ 단면별 비틀림 모멘트 고려범위 판정 결과

구 분	B_u	B_l	H	T_u	t_l	t_w	$F(\text{mm}^2)$	β_u	β_l	ε	q'
단면-1	2,412.0	2,089.0	2,242.5	72.9	12.0	12.0	5.05E+06	6.534	0.932	12.150	16727.4
단면-2	2,412.0	2,089.0	2,229.8	47.6	12.0	12.0	5.02E+06	4.291	0.937	7.933	16279.0
단면-3	2,412.0	2,089.0	2,228.2	44.3	12.0	12.0	5.01E+06	3.996	0.938	7.383	16188.3
단면-4	2,412.0	2,089.0	2,228.2	44.3	12.0	12.0	5.01E+06	3.996	0.938	7.383	16188.3
단면-5	2,412.0	2,089.0	2,231.2	46.3	16.0	12.0	5.02E+06	4.171	1.248	10.289	17688.8
단면-6	2,412.0	2,089.0	2,231.2	46.3	16.0	12.0	5.02E+06	4.171	1.248	10.289	17688.8
단면-7	2,412.0	2,089.0	2,229.8	47.6	12.0	12.0	5.02E+06	4.291	0.937	7.933	16279.0
단면-8	2,412.0	2,089.0	2,230.2	44.3	16.0	12.0	5.02E+06	3.993	1.249	9.844	17622.8
단면-9	2,412.0	2,089.0	2,230.2	44.3	16.0	12.0	5.02E+06	3.993	1.249	9.844	17622.8

구 분	$\Delta\omega$	ω_1	ω_2	L	$I_w(\text{mm}^6)$	$K(\text{mm}^4)$	α	판 정
단면-1	5,649,179.6	-1,649,362.7	3,999,816.9	44,350.0	5.11E+17	1.75E+11	16.14	$\alpha > 10$
단면-2	5,533,992.7	-1,940,436.4	3,593,556.3	44,350.0	4.25E+17	1.69E+11	17.35	$\alpha > 10$
단면-3	5,513,062.8	-1,985,394.6	3,527,668.2	44,350.0	4.12E+17	1.68E+11	17.57	$\alpha > 10$
단면-4	5,513,062.8	-1,985,394.6	3,527,668.2	44,350.0	4.12E+17	1.68E+11	17.57	$\alpha > 10$
단면-5	5,799,463.6	-2,157,575.5	3,641,888.1	44,350.0	5.01E+17	1.82E+11	16.59	$\alpha > 10$
단면-6	5,799,463.6	-2,157,575.5	3,641,888.1	45,000.0	5.01E+17	1.82E+11	16.84	$\alpha > 10$
단면-7	5,533,992.7	-1,940,436.4	3,593,556.3	45,000.0	4.25E+17	1.69E+11	17.61	$\alpha > 10$
단면-8	5,784,601.4	-2,186,376.7	3,598,224.7	45,000.0	4.90E+17	1.81E+11	16.97	$\alpha > 10$
단면-9	5,784,601.4	-2,186,376.7	3,598,224.7	45,000.0	4.90E+17	1.81E+11	16.97	$\alpha > 10$

※ 검토결과 비틀림 상수비 $\alpha < 0.4$ 일 경우 순수비틀림에 따른 응력계산을, $\alpha > 10$ 일 경우 뒀비틀림에 대한 응력계산을 각각 생략할 수 있다.

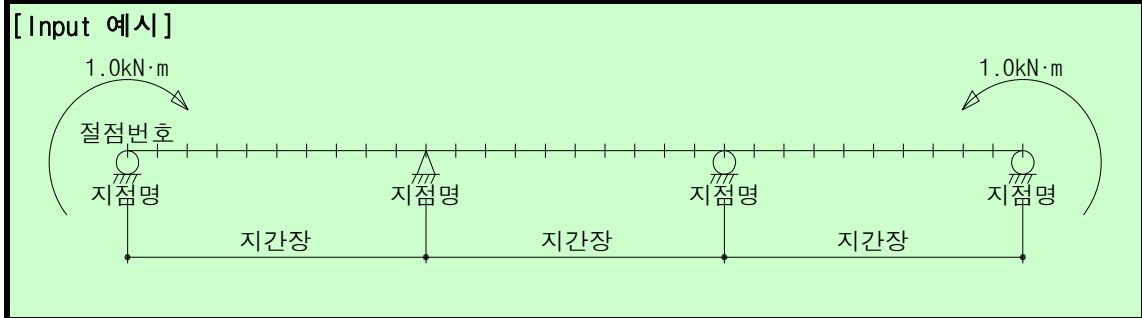
4.6 2차 부정정력에 대한 영향 검토

(강구조편람 제7장 P35)

※ 콘크리트-강재 합성형 교량에서는 고정하중과 활하중에 의한 응력 이외에 건조수축, 크리프, 강-콘크리트 온도차에 의한 응력이 발생된다. 더구나 강항섬형교가 2경간 이상의 연속교일 경우에는 건조수축, 크리프, 온도차에 의해 부정정력이 추가적으로 발생되며 이와같은 하중을 2차 모멘트라고 한다.

1) 정정계의 모멘트에 영향계수 k 를 곱하여 부정정계의 휨모멘트를 얻는 방법

※ 영향계수 계산은 전산을 이용하여 산출하며 산출 방법은 양단에 단위 모멘트 $M = 1.0\text{kN}\cdot\text{m}$ 를 작용시켜 각 절점에 작용되는 모멘트 값을 영향계수 k 값을 취한다.



[Output 요약 - 합성전]

거더명	절점번호	지점명	지간장(m)	k 값
G1	1	A1		1.000
	2		44.35	0.870
	3			0.721
	4			0.572
	5			0.423
	6			0.274
	7			0.125
	8			-0.024
	9			-0.173
	10	P1		-0.322
	11		45	-0.267
	12			-0.212
	13			-0.157
	14			-0.102
	15			-0.047
	16			0.008
	17			0.063
	18			0.118
	19	P2		0.173
	20		45	0.118
	21			0.063
	22			0.008
	23			-0.047
	24			-0.102
	25			-0.157
	26			-0.212
	27			-0.267
	28	P3		-0.322
	29		44.35	-0.173
	30			-0.024
	31			0.125
	32			0.274
	33			0.423
	34			0.572
	35			0.721
	36			0.870
	37	A2		1.000

거더명	절점번호	지점명	지간장(m)	k 값
G2	38	A1		1.000
	39		44.35	0.870
	40			0.721
	41			0.571
	42			0.422
	43			0.273
	44			0.124
	45			-0.025
	46			-0.174
	47	P1		-0.322
	48		45	-0.267
	49			-0.212
	50			-0.157
	51			-0.102
	52			-0.047
	53			0.008
	54			0.063
	55			0.118
	56	P2		0.173
	57		45	0.118
	58			0.063
	59			0.008
	60			-0.047
	61			-0.102
	62			-0.157
	63			-0.212
	64			-0.267
	65	P3		-0.322
	66		44.35	-0.173
	67			-0.024
	68			0.125
	69			0.274
	70			0.423
	71			0.572
	72			0.721
	73			0.871
	74	A2		1.000

[Output 요약 - 합성후]

거더명	절점번호	지점명	지간장(m)	k 값
G1	1	A1		1.000
	2		44.35	0.867
	3			0.714
	4			0.562
	5			0.409
	6			0.256
	7			0.104
	8			-0.049
	9			-0.202
	10	P1		-0.354
	11		45	-0.293
	12			-0.231
	13			-0.170
	14			-0.108
	15			-0.047
	16			0.015
	17			0.076
	18			0.138
	19	P2		0.199
	20		45	0.138
	21			0.076
	22			0.015
	23			-0.047
	24			-0.108
	25			-0.170
	26			-0.231
	27			-0.293
	28	P3		-0.354
	29		44.35	-0.202
	30			-0.049
	31			0.104
	32			0.256
	33			0.409
	34			0.562
	35			0.714
	36			0.867
	37	A2		1.000

거더명	절점번호	지점명	지간장(m)	k 값
G2	38	A1		1.000
	39		44.35	0.867
	40			0.714
	41			0.561
	42			0.408
	43			0.255
	44			0.103
	45			-0.050
	46			-0.202
	47	P1		-0.355
	48		45	-0.293
	49			-0.232
	50			-0.170
	51			-0.108
	52			-0.047
	53			0.015
	54			0.076
	55			0.138
	56	P2		0.200
	57		45	0.138
	58			0.076
	59			0.015
	60			-0.047
	61			-0.108
	62			-0.170
	63			-0.231
	64			-0.293
	65	P3		-0.355
	66		44.35	-0.202
	67			-0.049
	68			0.104
	69			0.256
	70			0.409
	71			0.562
	72			0.715
	73			0.867
	74	A2		1.000

2) k 값의 적용방법

※ k 값은 주형의 설계에서 바닥판 콘크리트의 크리프와 건조수축, 그리고 강재보와 바닥판 콘크리트와의 온도차 등에 의해 단면내의 발생하는 2차모멘트를 계산하는 데 이용된다.

(1) 바닥판 콘크리트의 크리프

(도.설.해 3.9.2.6)

바닥판 콘크리트	$\Delta f_c = \frac{1}{n_1} \left[\frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi y_{v1}}{I_{v1}} \right] - E_{c1} \frac{f_c}{E_c} \phi$
강재거더	$\Delta f_s = \frac{P_\phi}{A_{v1}} + \frac{M_\phi y_{v1}}{I_{v1}}$
여기서,	$P_\phi = E_{c1} A_c \varepsilon_{\phi 0} = E_{c1} A_c \frac{N_c}{E_c A_c} \phi = N_c \frac{2\phi_1}{2 + \phi_1}$
	$M_\phi = P_\phi \left[d_{c1} + \frac{r_c^2}{d_c} \right] \approx P_\phi \cdot d_{c1}$

(2) 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차

(도.설.해 3.9.2.7)

바닥판 콘크리트	$f_c = \frac{1}{n} \left[\frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v y_v}{I_v} \right] - E_c \varepsilon_t$
강재거더	$f_s = \frac{P_1}{A_v} + \frac{M_v y_v}{I_v}$
여기서, $\varepsilon_t = \alpha \cdot \Delta_t$ (콘크리트가 인장이 되는 경우, 즉 강재거더 쪽이 고온인 경우를 정으로 한다)	
	$P_1 = E_s \cdot \varepsilon_t \cdot \frac{A_c}{n} \quad M_v = P_1 \cdot d_c$

(3) 바닥판 콘크리트의 건조수축

(도.설.해 3.9.2.8)

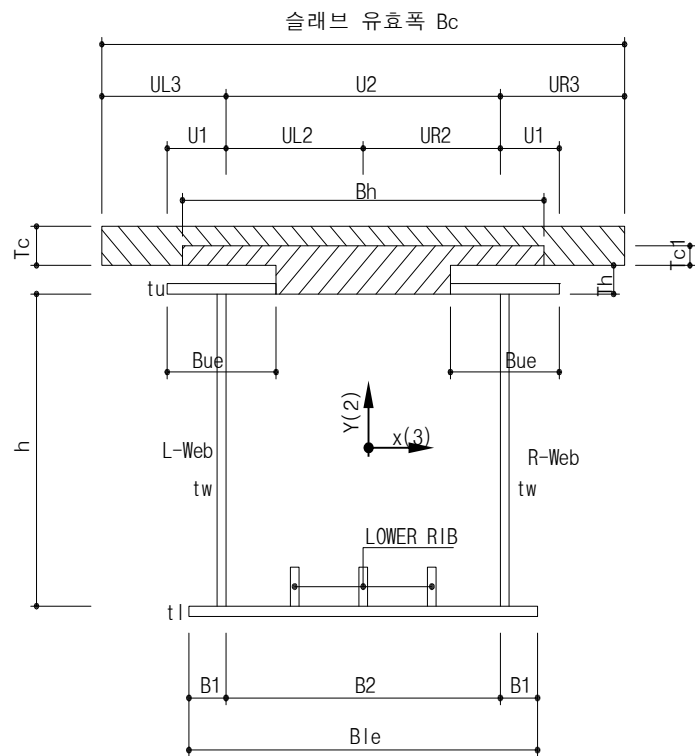
바닥판 콘크리트	$f_c = \frac{1}{n_2} \left[\frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2} y_{v2}}{I_{v2}} \right] - E_{c2} \varepsilon_s$
강재거더	$f_s = \frac{P_2}{A_{v2}} + \frac{M_{v2} y_{v2}}{I_{v2}}$
여기서,	$E_2 = \frac{E_s}{n_2}$
	$P_2 = \frac{E_s \varepsilon_s A_c}{n_2} = E_{c2} \varepsilon_s A_c \quad M_{v2} = P_2 \cdot d_{c2}$

4.7 단 면 검 토(정모멘트)

4.7.1 정모멘트(HalfDeck)

[G2 : 단면 - 2] : 절점 41 로 부터 이격거리 2.473 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc	= 4,500.0 mm
UL3	= 1,000.0 mm
UR3	= 1,100.0 mm
Bh	= 2,500.0 mm
U1	= 120.0 mm
UL2	= 1,200.0 mm
UR2	= 1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue	= 400.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble	= 2,640.0 mm
B1	= 120.0 mm
B2	= 2,400.0 mm
Tc	= 240.0 mm
Tc1	= 90.0 mm
Th	= 50.0 mm
h	= 1,800.0 mm
Θ_L	= 0.000 °
Θ_R	= 0.000 °

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	2,780.857
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	3,496.021
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,869.624
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	48.065
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	4,377.997
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-0.968
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	3.238
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-0.258
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-322.629
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-33.247
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	33.556
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-33.899
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-376.398

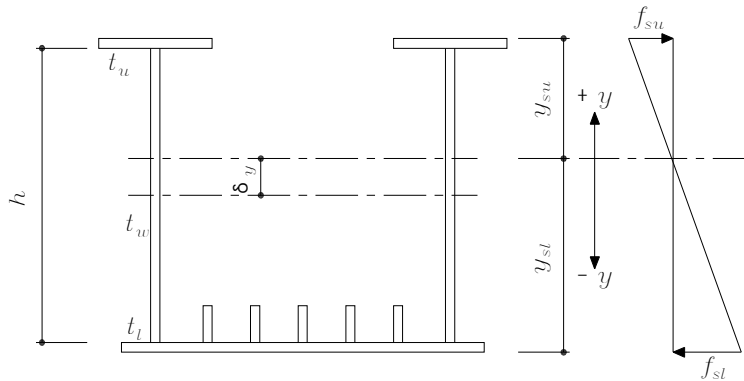
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

[illegible]

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2 = 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978E+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2 = 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2 = (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

- Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.233 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.540 \text{ MPa}$$

- 바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,496.02 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 5.321 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,496.02 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.450 \text{ MPa}$$

■ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{st} \cdot y_{su} / I_{33} = 2,780.86 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 22.255 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{st} \cdot y_{sl} / I_{33} = 2,780.86 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -33.644 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 3,496.02 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 27.979 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 3,496.02 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -42.296 \text{ MPa}$$

■ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 0.968 / 43,200.0 + 33.247 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.338 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 2.869.62 \times 339.8 / (144.144.512.711.7 \times 7.0) = 0.966 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.380 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.930 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 5.968 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -30.304 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 3.238 / 43,200.0 + 33.556 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.392 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 2.516 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 1.474 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 2.105 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.420 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 9.105 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -46.233 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 322.629 / 43,200.0 + 376.398 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 11.022 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 0.003 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 0.258 / 43,200.0 + 33.899 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.326 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = 0.497 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 2,780.9 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 1.239E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 1,239,357.7 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 4.957E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 495,743.1 \times 853.5 = 4.231E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.233 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.540 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times 918.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 4.233 \times 0.5/32,902.0 = -0.893 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times 778.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 3.540 \times 0.5/32,902.0 = -0.662 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 5.872 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.298 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = 0.497 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.525 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.552 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 4.111 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 0.840 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = 0.484 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (429.8 + 289.8) / 2 = 359.779 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	237,839.4	1,781.9	1.371E+08	1.797E+11	4.031E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 137,148,450.0 / 237,839.4 = 576.643 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 576.643 = 398.042 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,310,996,511.7 + 179,706,397,621.4 - 237,839.4 \times 576.643^2 = 1.409E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 576.643 = 613.357 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 613.357 - 240.0 = 373.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 576.643 = 463.357 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 463.357 - (90.0+50.0) = 323.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 576.643 = 333.357 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 333.357 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,488.643 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 1,239,357.7 + (5.283+4.168) / 2 \times 317,000.0 \times 364.5 / 359.8 = 2.757E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 2,756,824.3 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 2.363E+06 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 2,362,992.2 \times 398.0 = 9.406E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2} = 4.233 + 5.321 + 1.380 + -0.893 + -0.525 = 9.516 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hl1} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2} = 3.540 + 4.450 + 0.930 + -0.662 + -0.552 = 7.708 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,362,992/237,839 + 0.484 \times 940,569,100 \times 613/140,931,701,824) = 1.703 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,362,992/237,839 + 0.484 \times 940,569,100 \times 373/140,931,701,824) = 1.592 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,362,992.2/237,839.4 + 0.484 \times 940,569,099.9 \times 463.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 9.516 \times 1.5/32,902.0 = -7.103 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,362,992.2/237,839.4 + 0.484 \times 940,569,099.9 \times 323.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 7.708 \times 1.5/32,902.0 = -5.594 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,362,992.2/237,839.4 + 0.484 \times 940,569,099.9 \times 333.4/140,931,701,824.0 = 11.013 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,362,992.2/237,839.4 + 0.484 \times 940,569,099.9 \times -1,488.6/140,931,701,824.0 = 5.122 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = 0.484 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	229,074.5	1,781.9	1.286E+08	1.714E+11	4.030E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 128,605,362.4 / 229,074.5 = 561.413 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 561.413 = 413.272 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,297,420,195.0 + 171,379,582,233.0 - 229,074.5 \times 561.413^2 = 1.395E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 561.413 = 628.587 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 628.587 - 240.0 = 388.587 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 561.413 = 478.587 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 478.587 - (90.0+50.0) = 338.587 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 561.413 = 348.587 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 348.587 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,473.413 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

- P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 413.3 = 3.899E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

- SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.484 \times 389,851,806 \times 629/139,476,293,053) = 0.710 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.484 \times 389,851,806 \times 389/139,476,293,053) = 0.663 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + 0.484 \times 389,851,805.8 \times 478.6/139,476,293,052.8) - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.668 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + 0.484 \times 389,851,805.8 \times 338.6/139,476,293,052.8) - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.681 \text{ MPa}$$

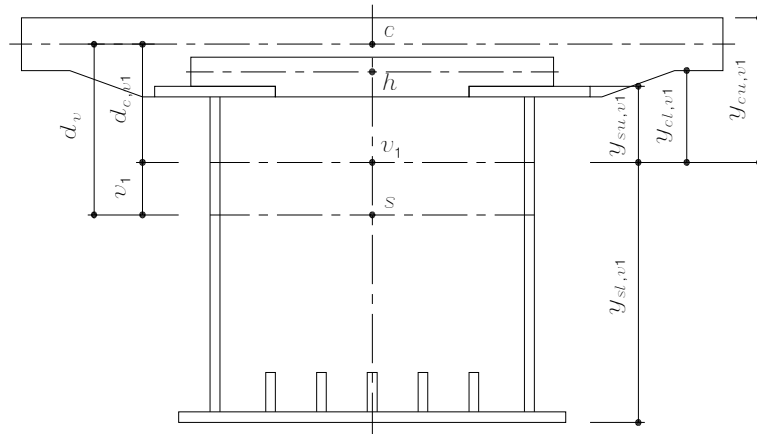
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/229,074.5 + 0.484 \times 389,851,805.8 \times 348.6/139,476,293,052.8 = 4.590 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/229,074.5 + 0.484 \times 389,851,805.8 \times -1,473.4/139,476,293,052.8 = 2.123 \text{ MPa}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = 0.484 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (579.8 + 339.779) / 2 = 459.779 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	61,071.4	1,089.7	6.655E+07	7.252E+10	2.452E+08	
합 계	-	198,680.5	1,781.9	9.195E+07	1.280E+11	4.010E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 91,954,383.1 / 198,680.5 = 462.825 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,089.737 - 462.825 = 626.911 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,099,691,532.8 + 127,999,503,291.5 - 198,680.5 \times 462.825^2 = 1.255E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 462.825 = 727.175 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 727.175 - 240.0 = 487.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 462.825 = 577.175 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 577.175 - (90.0 + 50.0) = 437.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 462.825 = 447.175 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 447.175 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,374.825 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s} \\ = (1.649 + 0.966) / 2 \times 855,000.0 \times 479.515 / 459.779 = 1.166E+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,165,997.3 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.166E+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,165,997.3 \times 626.9 = 7.310E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 1.649 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.966 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,165,997.3 / 198,680.5 + 0.484 \times 730,976,907.9 \times 727.2 / 125,540,361,700.1) \\ - 13,902.0 \times 1.649 \times 2.0 / 27,804.0 = -1.083 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,165,997.3 / 198,680.5 + 0.484 \times 730,976,907.9 \times 487.2 / 125,540,361,700.1) \\ - 13,902.0 \times 0.966 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.449 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,165,997.3 / 198,680.5 + 0.484 \times 730,976,908 \times 577 / 125,540,361,700) = 1.209 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,165,997.3 / 198,680.5 + 0.484 \times 730,976,908 \times 437 / 125,540,361,700) = 1.145 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ = 1,165,997.3 / 198,680.5 + 0.484 \times 730,976,907.9 \times 447.2 / 125,540,361,700.1 = 7.129 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ = 1,165,997.3 / 198,680.5 + 0.484 \times 730,976,907.9 \times -1,374.8 / 125,540,361,700.1 = 1.994 \text{ MPa}$$

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205.000,0 / 21,0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.484 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/798.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.785 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.484 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/558.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.860 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.484 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/648.7) = 2.722 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.484 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/508.7) = 2.575 \text{ MPa}$$

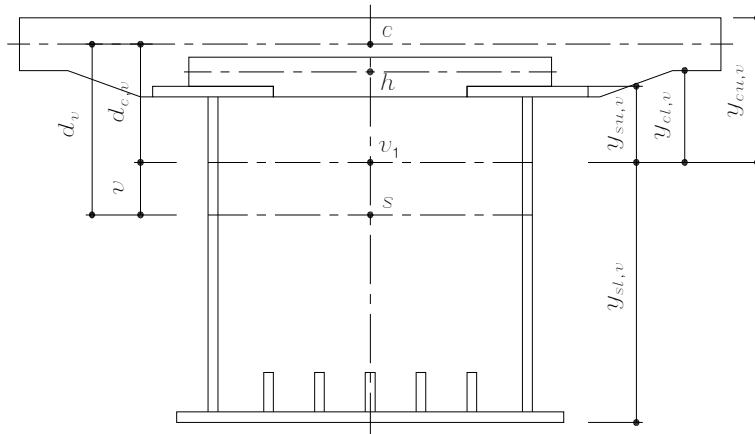
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + 0.484 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/116,544,541,789.2 = 16.028 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + 0.484 \times 1,574,046,639.5 \times -1,303.3/116,544,541,789.2 = 4.118 \text{ MPa}$$



(11) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

$$d_{h,v} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{c,v} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

- 온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vc1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 317,000.0 / 6.2 = 1.258\text{E}+06 \text{ N}$$

- SLAB 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vh2} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 855,000.0 / 7.0 = 3.005\text{E}+06 \text{ N}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = P_{vc1} + P_{vh2} = 1,257,774.2 + 3,004,714.285714 = 4.262\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{vc1} \times d_{h,v} + P_{vh2} \times d_{c,v} = 1,257,774.2 \times 364.5 + 3,004,714.3 \times 479.5 = 1.899\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.484 \times 1,899,219,115.5 \times 579.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.464 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.484 \times 1,899,219,115.5 \times 339.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.683 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hu,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.484 \times 1,899,219,115.5 \times 429.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -0.859 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hl,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.484 \times 1,899,219,115.5 \times 289.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.003 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.484 \times 1,899,219,115.5 \times 299.8/144,144,512,711.7 = 18.322 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.484 \times 1,899,219,115.5 \times -1,522.2/144,144,512,711.7 = 6.703 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 326.834/43,200.0 + 33.247/105,269,009.6 + 409.953/105,923,872.7 = 11.752 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 326.834/43,200.0 + 33.247/105,269,009.6 + 409.953/105,923,872.7 = 11.752 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.8 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 326.963/43,200.0 + 33.247/105,269,009.6 + 426.903/105,923,872.7 = 11.915 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore$ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	9.554	7.991	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	8.136	6.777	20.000	20.000
1+2+3+5+6	4.164	2.441	10.800	10.800	11.622	9.127	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.708	2.387	10.800	10.800	5.781	4.572	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	3.244	1.704	12.420	12.420	4.922	3.569	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	4.172	3.069	12.420	12.420	6.641	5.576	23.000	23.000
1+2+4+5+6	1.649	0.966	13.500	13.500	4.195	3.257	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	4.164	2.441	13.500	13.500	6.300	4.677	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	3.708	2.387	13.500	13.500	0.460	0.122	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	3.244	1.704	14.580	14.580	-0.399	-0.882	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	4.172	3.069	14.580	14.580	1.319	1.125	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	50.234	-75.940	198.962	215.000				
1+5+6	60.217	-73.802	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	75.290	-150.340	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	114.051	-136.983	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	132.372	-130.280	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	95.729	-143.685	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	38.206	-61.808	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	47.311	-108.042	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	86.072	-94.686	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	104.393	-87.983	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	67.750	-101.388	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.064	0.125	0.009	0.009	0.073	0.134	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.078	0.118	0.009	0.009	0.087	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.123	0.489	0.009	0.009	0.131	0.498	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.213	0.406	0.009	0.009	0.222	0.415	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.224	0.278	0.009	0.009	0.233	0.286	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.117	0.338	0.009	0.009	0.126	0.347	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.020	0.053	0.006	0.006	0.026	0.059	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.031	0.162	0.006	0.006	0.037	0.167	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.103	0.124	0.006	0.006	0.108	0.130	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.129	0.092	0.006	0.006	0.135	0.098	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.054	0.122	0.006	0.006	0.060	0.128	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{132.372}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.752}{125.000}\right)^2 = 0.224 + 0.009 = 0.233 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-150.340}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.752}{125.000}\right)^2 = 0.489 + 0.009 = 0.498 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 50.234)} = 2.07 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 599.6 / (206 \times 1.200) = 2.4 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 132.372)} = 1.27 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

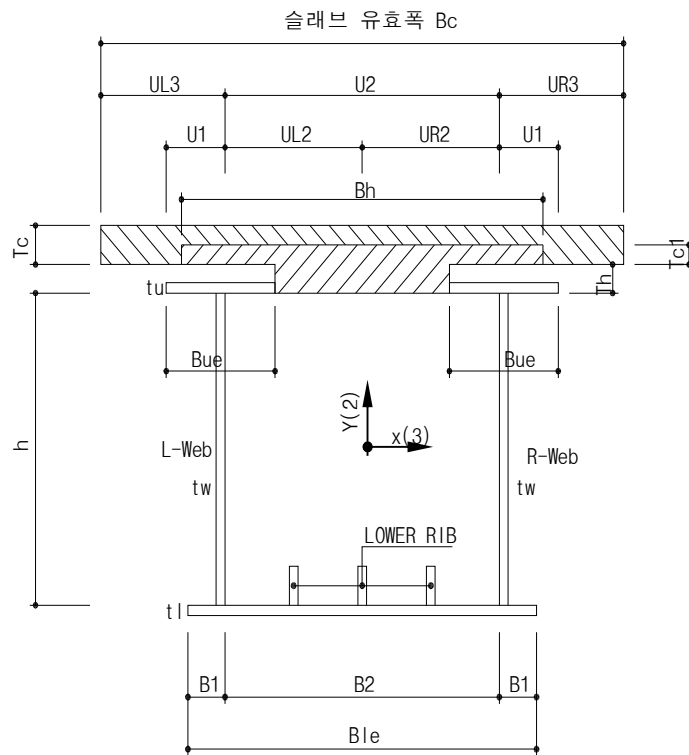
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	12.421	10.388	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	11.002	9.174	30.000	0.K !!
1+2+3+11	7.088	3.743	16.200	0.K !!	17.882	13.646	30.000	0.K !!
1+2+3-11	8.016	5.109	16.200	0.K !!	19.601	15.653	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	7.552	4.426	16.200	0.K !!	17.323	13.436	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	7.096	4.372	16.200	0.K !!	11.483	8.881	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)+11	6.632	3.689	16.200	0.K !!	10.624	7.877	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)-11	7.560	5.055	16.200	0.K !!	12.342	9.884	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	2.143	1.256	16.200	0.K !!	5.878	4.598	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	7.088	3.743	16.200	0.K !!	17.882	13.646	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	8.016	5.109	16.200	0.K !!	19.601	15.653	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	7.552	4.426	16.200	0.K !!	10.405	7.650	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	7.096	4.372	16.200	0.K !!	4.565	3.095	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	6.632	3.689	16.200	0.K !!	3.706	2.092	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	7.560	5.055	16.200	0.K !!	5.424	4.099	30.000	0.K !!
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별				
	상 연	하 연						
1	65.304	-98.722	355.000	0.K !!				
1+5+6	75.287	-96.584	355.000	0.K !!				
1+2+3+11	110.960	-230.816	355.000	0.K !!				
1+2+3-11	74.317	-244.221	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6	102.621	-235.381	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	141.382	-222.024	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)+11	159.703	-203.703	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)-11	134.679	-228.727	355.000	0.K !!				
1+2+4+5+6	46.673	-80.992	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+11	110.960	-230.815	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4-11	74.316	-244.220	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+5+6	66.249	-180.395	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	105.009	-167.038	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	123.331	-160.336	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	86.688	-173.741	355.000	0.K !!				

[G2 : 단면 - 7] : 절점 61 로 부터 이격거리 1.506 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

$B_c = 4,500.0$ mm

UL3 = 1,000.0 mm

UR3 = 1,100.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

$T_c = 240.0$ mm

$T_{c1} = 90.0$ mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	922.494
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	1,215.718
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	904.100
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	54.596
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	3,510.325
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	264.562
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	120.177
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	5.107
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	387.826
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	44.553
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-22.389
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	87.590
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	406.665

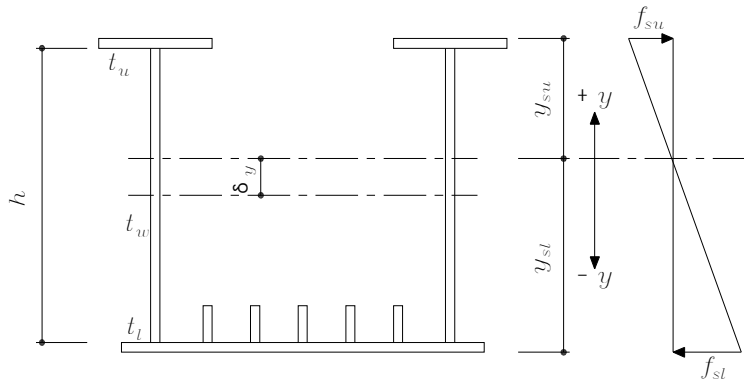
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

[illegible]

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -30,124,580.0 / 93,380.0 = -322.602 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2 = 11,684,134,326.7 + 39,702,846,980.0 - 93,380.0 \times (-322.602)^2 = 4.167\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2 = 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-30,124,580.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (93,380.0 + 317,000.0 / 6.2) = 136.394 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2 = (11,684,134,326.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (39,702,846,980.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (93,380.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 136.4^2 = 9.735\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 136.394 = 903.606 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 903.6 - (90.0 + 50.0) = 763.606 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 136.394 = 773.606 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 136.394 \} = -1,048.394 \text{ mm}$$

- Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 922.49 \times 903.6 / (97,350,936,435.7 \times 6.2) = 1.381 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 922.49 \times 763.6 / (97,350,936,435.7 \times 6.2) = 1.167 \text{ MPa}$$

- 바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,215.72 \times 903.6 / (97,350,936,435.7 \times 6.2) = 1.820 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,215.72 \times 763.6 / (97,350,936,435.7 \times 6.2) = 1.538 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{s1} \cdot y_{su} / I_{33} = 922.49 \times 773.6 / 97,350,936,435.7 = 7.331 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{s1} \cdot y_{sl} / I_{33} = 922.49 \times -1,048.4 / 97,350,936,435.7 = -9.935 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,215.72 \times 773.6 / 97,350,936,435.7 = 9.661 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,215.72 \times -1,048.4 / 97,350,936,435.7 = -13.092 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

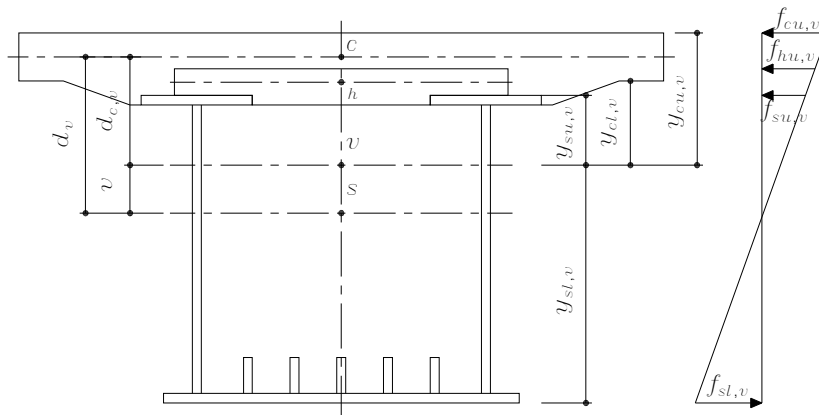
$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386 \text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 264.562 / 43,200.0 + 44.553 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 6.547 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(2) 합 성 후

- SLAB에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yc} = \sum A_c Y / \sum A_c = 931,725,000.0 / 855,000.0 = 1,089.737 \text{ mm}$$

- SLAB의 단면2차 모멘트

$$I_c = \sum I_{xoc} + \sum A_c Y^2 - A_c \cdot \delta_{yc}^2$$

$$= 3,007,125,000.0 + 1,015,761,375,000.0 - 855,000.0 \times 1,089.737^2 = 3.433\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_v(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	93,380.0	-322.6	-3.012E+07	9.718E+09	4.167E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	266,651.9	1,741.8	1.528E+08	2.033E+11	4.224E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v2} = \sum AY / \sum A = 152,813,668.8 / 266,651.9 = 573.083 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = \sum I_{xo} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v2}^2$$

$$= 42,238,416,581.2 + 203,339,206,814.5 - 266,651.9 \times 573.083^2 = 1.580\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 573.083 = 616.917 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = d_{cu,v} - T_c = 616.917 - 240.0 = 376.917 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 573.083 = 466.917 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v} = d_{hu,v} - (T_{c1} + T_h) = 466.917 - (90.0+50.0) = 326.917 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = h/2 + t_u - \delta_{v2} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 573.083 = 336.917 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = d_{su,v} - (h + t_u + t_l) = 336.917 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,485.083 \text{ mm}$$

- SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 904.10 \times 616.9 / (158,002,705,253.5 \times 7.0) = 0.504 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 904.10 \times 376.9 / (158,002,705,253.5 \times 7.0) = 0.308 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 904.10 \times 466.9 / (158,002,705,253.5 \times 6.2) = 0.431 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 904.10 \times 326.9 / (158,002,705,253.5 \times 6.2) = 0.302 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 904.10 \times 336.9 / (158,002,705,253.5 \times 1.0) = 1.928 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 904.10 \times -1,485.1 / (158,002,705,253.5 \times 1.0) = -8.498 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 120.177 / 43,200.0 + 22.389 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 2.993 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 3,510.33 \times 616.9 / (158,002,705,253.5 \times 7.0) = 1.958 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 3,510.33 \times 376.9 / (158,002,705,253.5 \times 7.0) = 1.196 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 3,510.33 \times 466.9 / (158,002,705,253.5 \times 6.2) = 1.673 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 3,510.33 \times 326.9 / (158,002,705,253.5 \times 6.2) = 1.171 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 3,510.33 \times 336.9 / (158,002,705,253.5 \times 1.0) = 7.485 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 3,510.33 \times -1,485.1 / (158,002,705,253.5 \times 1.0) = -32.994 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 387.826 / 43,200.0 + 406.665 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 12.817 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 5.11 \times 616.9 / (158,002,705,253.5 \times 7.0) = 0.003 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 5.11 \times 376.9 / (158,002,705,253.5 \times 7.0) = 0.002 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 5.11 \times 466.9 / (158,002,705,253.5 \times 6.2) = 0.002 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 5.11 \times 326.9 / (158,002,705,253.5 \times 6.2) = 0.002 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 5.11 \times 336.9 / (158,002,705,253.5 \times 1.0) = 0.011 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 5.11 \times -1,485.1 / (158,002,705,253.5 \times 1.0) = -0.048 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 5.107 / 43,200.0 + 87.590 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.945 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = -0.119 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -322.602 = 1,297.287 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,297.3 \times 93,380.0 / (93,380.0 + 317,000.0 / 6.2) = 838.291 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	93,380.0	-322.6	-3.012E+07	9.718E+09	4.167E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	134,283.2		9.743E+06	4.858E+10	4.173E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 9,743,161.9 / 134,283.2 = 72.557 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.557 = 902.128 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 41,732,086,003.7 + 48,576,723,259.9 - 134,283.2 \times 72.557^2 = 8.960E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.557 = 967.443 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 967.443 - (90.0 + 50.0) = 827.443 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.557 = 837.443 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 837.443 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.557 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 922.5 \times 838.3 \times 317,000.0 / (6.2 \times 97,350,936,435.7) = 4.061E+05 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 406,149.5 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 1.625E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 162,459.8 \times 902.1 = 1.466E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 922.49 \times 903.6 / (97,350,936,435.7 \times 6.2) = 1.381 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 922.49 \times 763.6 / (97,350,936,435.7 \times 6.2) = 1.167 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (162,459.8/134,283.2 + -0.119 \times 146,559,477.4 \times 967.4/89,601,876,555.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 1.381 \times 0.5/32,902.0 = -0.421 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi h}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (162,459.8/134,283.2 + -0.119 \times 146,559,477.4 \times 827.4/89,601,876,555.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 1.167 \times 0.5/32,902.0 = -0.332 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 162,459.8/134,283.2 + -0.119 \times 146,559,477.4 \times 837.4/89,601,876,555.3 = 1.047 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 162,459.8/134,283.2 + -0.119 \times 146,559,477.4 \times -984.6/89,601,876,555.3 = 1.402 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = -0.119 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	93,380.0	-322.6	-3.012E+07	9.718E+09	4.167E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	127,466.0		3.099E+06	4.210E+10	4.172E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 3,098,538.3 / 127,466.0 = 24.309 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 24.309 = 950.376 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 41,721,526,646.3 + 42,100,311,291.2 - 127,466.0 \times 24.309^2 = 8.375E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 24.309 = 1,015.691 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 1,015.691 - (90.0 + 50.0) = 875.691 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 24.309 = 885.691 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 885.691 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -936.309 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 950.4 = 2.988E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/127,466.0 + -0.119 \times 298,839,539.9 \times 1,015.7/83,746,516,378.4) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.773 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/127,466.0 + -0.119 \times 298,839,539.9 \times 875.7/83,746,516,378.4) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.767 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/127,466.0 + -0.119 \times 298,839,539.9 \times 885.7/83,746,516,378.4 = 2.091 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/127,466.0 + -0.119 \times 298,839,539.9 \times -936.3/83,746,516,378.4 = 2.865 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = -0.127 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 573.083 = 401.602 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (466.9 + 326.9) / 2 = 396.917 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	93,380.0	-322.6	-3.012E+07	9.718E+09	4.167E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	244,739.4	1,741.8	1.315E+08	1.825E+11	4.220E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 131,455,950.0 / 244,739.4 = 537.126 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 537.126 = 437.558 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 42,204,475,789.5 + 182,522,168,343.6 - 244,739.4 \times 537.126^2 = 1.541E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 537.126 = 652.874 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 652.874 - 240.0 = 412.874 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 537.126 = 502.874 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 502.874 - (90.0+50.0) = 362.874 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 537.126 = 372.874 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 372.874 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,449.126 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 406,149.5 + (1.057+0.742)/2 \times 317,000.0 \times 401.6 / 396.9 = 6.946E+05 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 694,623.9 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 5.954E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 595,391.9 \times 437.6 = 2.605E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2} = 1.381 + 1.820 + 0.431 + -0.421 + -0.773 = 2.438 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hl1} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2} = 1.167 + 1.538 + 0.302 + -0.332 + -0.767 = 1.909 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (595,392/244,739 + -0.127 \times 260,518,733 \times 653/154,118,219,583) = 0.328 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (595,392/244,739 + -0.127 \times 260,518,733 \times 413/154,118,219,583) = 0.335 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (595,391.9/244,739.4 + -0.127 \times 260,518,733.4 \times 502.9/154,118,219,582.9)$$

$$- 18,801.1 \times 2.438 \times 1.5/32,902.0 = -1.876 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (595,391.9/244,739.4 + -0.127 \times 260,518,733.4 \times 362.9/154,118,219,582.9)$$

$$- 18,801.1 \times 1.909 \times 1.5/32,902.0 = -1.419 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 595,391.9/244,739.4 + -0.127 \times 260,518,733.4 \times 372.9/154,118,219,582.9 = 2.353 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 595,391.9/244,739.4 + -0.127 \times 260,518,733.4 \times -1,449.1/154,118,219,582.9 = 2.744 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = -0.127 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	93,380.0	-322.6	-3.012E+07	9.718E+09	4.167E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	235,974.5	1,741.8	1.229E+08	1.742E+11	4.219E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 122,912,862.4 / 235,974.5 = 520.874 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 520.874 = 453.811 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 42,190,899,472.7 + 174,195,352,955.3 - 235,974.5 \times 520.874^2 = 1.524E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 520.874 = 669.126 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 669.126 - 240.0 = 429.126 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 520.874 = 519.126 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 519.126 - (90.0+50.0) = 379.126 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 520.874 = 389.126 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 389.126 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,432.874 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

▪ P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 453.8 = 4.281E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/235,974 + 0.127 \times 428,093,807 \times 669/152,364,192,162) = 0.537 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/235,974 + 0.127 \times 428,093,807 \times 429/152,364,192,162) = 0.549 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

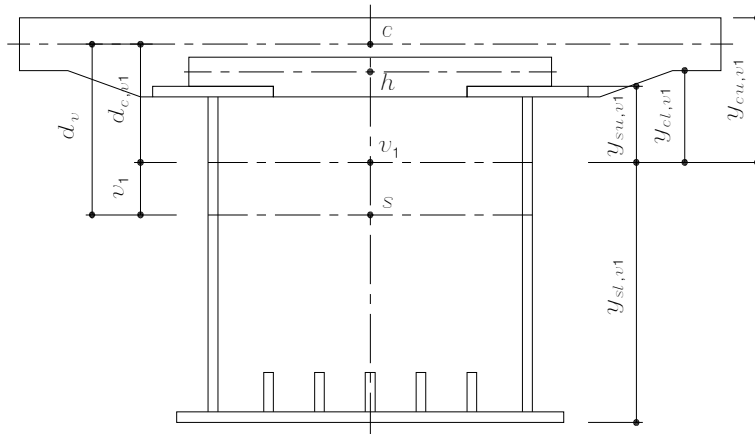
$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/235,974.5 + -0.127 \times 428,093,806.5 \times 519.1/152,364,192,162.3) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.730 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/235,974.5 + -0.127 \times 428,093,806.5 \times 379.1/152,364,192,162.3) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.727 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/235,974.5 + -0.127 \times 428,093,806.5 \times 389.1/152,364,192,162.3 = 3.859 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/235,974.5 + -0.127 \times 428,093,806.5 \times -1,432.9/152,364,192,162.3 = 4.509 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = -0.127 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 573.083 = 516.654 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (616.9 + 376.917) / 2 = 496.917 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	93,380.0	-322.6	-3.012E+07	9.718E+09	4.167E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	61,071.4	1,089.7	6.655E+07	7.252E+10	2.452E+08	
합 계	-	205,580.5	1,741.8	8.626E+07	1.308E+11	4.199E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 86,261,883.1 / 205,580.5 = 419.602 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,089.737 - 419.602 = 670.135 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 41,993,170,810.5 + 130,815,274,013.8 - 205,580.5 \times 419.602^2 = 1.366E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 419.602 = 770.398 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 770.398 - 240.0 = 530.398 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 419.602 = 620.398 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 620.398 - (90.0 + 50.0) = 480.398 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 419.602 = 490.398 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 490.398 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,331.602 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s} \\ = (0.504 + 0.308) / 2 \times 855,000.0 \times 516.654 / 496.917 = 3.611E+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 361,093.6 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 3.611E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 361,093.6 \times 670.1 = 2.420E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 0.504 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.308 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (361,093.6 / 205,580.5 + -0.127 \times 241,981,577.4 \times 770.4 / 136,612,823,646.4) \\ - 13,902.0 \times 0.504 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.391 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (361,093.6 / 205,580.5 + -0.127 \times 241,981,577.4 \times 530.4 / 136,612,823,646.4) \\ - 13,902.0 \times 0.308 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.191 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

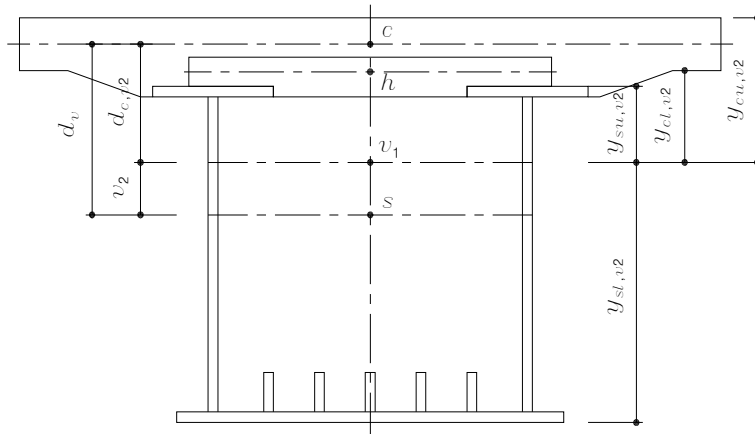
$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (361,094 / 205,580 + -0.127 \times 241,981,577 \times 620 / 136,612,823,646) = 0.261 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (361,094 / 205,580 + -0.127 \times 241,981,577 \times 480 / 136,612,823,646) = 0.266 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ = 361,093.6 / 205,580.5 + -0.127 \times 241,981,577.4 \times 490.4 / 136,612,823,646.4 = 1.646 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ = 361,093.6 / 205,580.5 + -0.127 \times 241,981,577.4 \times -1,331.6 / 136,612,823,646.4 = 2.056 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = -0.127 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	93,380.0	-322.6	-3.012E+07	9.718E+09	4.167E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	40,714.3	1,089.7	4.437E+07	4.835E+10	1.635E+08	
합 계	-	185,223.3	1,741.8	6.408E+07	1.066E+11	4.191E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 64,077,954.6 / 185,223.3 = 345.950 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,089.737 - 345.950 = 743.787 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 41,911,422,220.3 + 106,640,629,746.9 - 185,223.3 \times 345.950^2 = 1.264E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 345.950 = 844.050 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 844.050 - 240.0 = 604.050 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 345.950 = 694.050 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 694.050 - (90.0 + 50.0) = 554.050 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 345.950 = 564.050 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 564.050 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,257.950 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 855,000.0 / 21.0 = 2.254E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,253,535.7 \times 743.8 = 1.676E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/185,223.3 + -0.127 \times 1,676,150,848.7 \times 564.1/844.1) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.124 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/185,223.3 + -0.127 \times 1,676,150,848.7 \times 564.1/604.1) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.105 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/185,223.3 + -0.127 \times 1,676,150,848.7 \times 564.1/694.1) = 1.774 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/185,223.3 + -0.127 \times 1,676,150,848.7 \times 564.1/554.1) = 1.812 \text{ MPa}$$

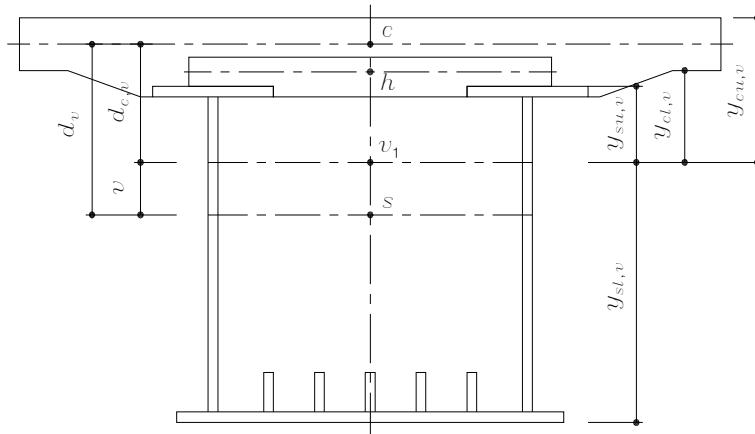
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/185,223.3 + -0.127 \times 1,676,150,848.7 \times 564.1/126,384,301,676.2 = 11.217 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/185,223.3 + -0.127 \times 1,676,150,848.7 \times -1,257.9/126,384,301,676.2 = 14.285 \text{ MPa}$$



(11) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

$$d_{h,v} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 573.083 = 401.602 \text{ mm}$$

$$d_{c,v} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 573.083 = 516.654 \text{ mm}$$

- 온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vc1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 317,000.0 / 6.2 = 1.258\text{E}+06 \text{ N}$$

- SLAB 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vh2} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 855,000.0 / 7.0 = 3.005\text{E}+06 \text{ N}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = P_{vc1} + P_{vh2} = 1,257,774.2 + 3,004,714.285714 = 4.262\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{vc1} \times d_{h,v} + P_{vh2} \times d_{c,v} = 1,257,774.2 \times 401.6 + 3,004,714.3 \times 516.7 = 2.058\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,v1} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (4,262,488.5/266,651.9 + -0.127 \times 2,057,521,170.7 \times 616.9/158,002,705,253.5) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.199 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v1} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (4,262,488.5/266,651.9 + -0.127 \times 2,057,521,170.7 \times 376.9/158,002,705,253.5) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.142 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{hu,v1} &= 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hu,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t \\ &= (1/6.2) \times (4,262,488.5/266,651.9 + -0.127 \times 2,057,521,170.7 \times 466.9/158,002,705,253.5) \\ &\quad - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.495 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{hl,v1} &= 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hl,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t \\ &= (1/6.2) \times (4,262,488.5/266,651.9 + -0.127 \times 2,057,521,170.7 \times 326.9/158,002,705,253.5) \\ &\quad - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.457 \text{ MPa} \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/266,651.9 + 0.127 \times 2,057,521,170.7 \times 336.9/158,002,705,253.5 = 15.428 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/266,651.9 + 0.127 \times 2,057,521,170.7 \times -1,485.1/158,002,705,253.5 = 18.441 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 772.565/43,200.0 + 44.553/105,269,009.6 + 429.054/105,923,872.7 = 22.357 \text{ MPa}$$

※ $u = 22.4 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 772.565/43,200.0 + 44.553/105,269,009.6 + 429.054/105,923,872.7 = 22.357 \text{ MPa}$$

※ $u = 22.4 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 775.118/43,200.0 + 44.553/105,269,009.6 + 472.848/105,923,872.7 = 22.830 \text{ MPa}$$

※ $u = 22.8 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore$ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	3.201	2.705	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	2.007	1.607	20.000	20.000
1+2+3+5+6	2.462	1.504	10.800	10.800	4.111	3.080	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.811	0.092	10.800	10.800	1.540	1.012	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	-0.387	-1.049	2.174	2.174	0.046	-0.445	23.000	2.875
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	2.010	1.234	12.420	12.420	3.035	2.469	23.000	23.000
1+2+4+5+6	0.507	0.310	13.500	13.500	0.621	0.372	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	2.464	1.505	13.500	13.500	2.293	1.543	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.813	0.093	13.500	13.500	-0.278	-0.525	3.125	3.125
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	-0.386	-1.049	2.552	2.552	-1.773	-1.982	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	2.012	1.235	14.580	14.580	1.216	0.932	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	16.991	-23.027	198.962	215.000				
1+5+6	20.129	-18.761	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	29.542	-60.252	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	48.616	-36.658	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	64.044	-18.216	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	33.188	-55.099	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	12.407	-14.214	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	19.886	-47.184	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	38.961	-23.589	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	54.389	-5.148	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	23.532	-42.031	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.007	0.011	0.032	0.032	0.039	0.043	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.009	0.008	0.032	0.032	0.041	0.040	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.019	0.079	0.032	0.032	0.051	0.111	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.039	0.029	0.032	0.032	0.071	0.061	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.053	0.005	0.032	0.032	0.084	0.037	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.014	0.050	0.032	0.032	0.046	0.082	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.002	0.003	0.022	0.022	0.024	0.025	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.005	0.031	0.021	0.021	0.027	0.052	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.021	0.008	0.021	0.021	0.042	0.029	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.035	0.000	0.021	0.021	0.056	0.022	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.007	0.021	0.021	0.021	0.028	0.042	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{64.044}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{22.357}{125.000}\right)^2 = 0.053 + 0.032 = 0.084 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-60.252}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{22.357}{125.000}\right)^2 = 0.079 + 0.032 = 0.111 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (6 \times 80) = 5.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 16.991)} = 3.56 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 673.8 / (206 \times 1.200) = 2.7 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 64.044)} = 1.83 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

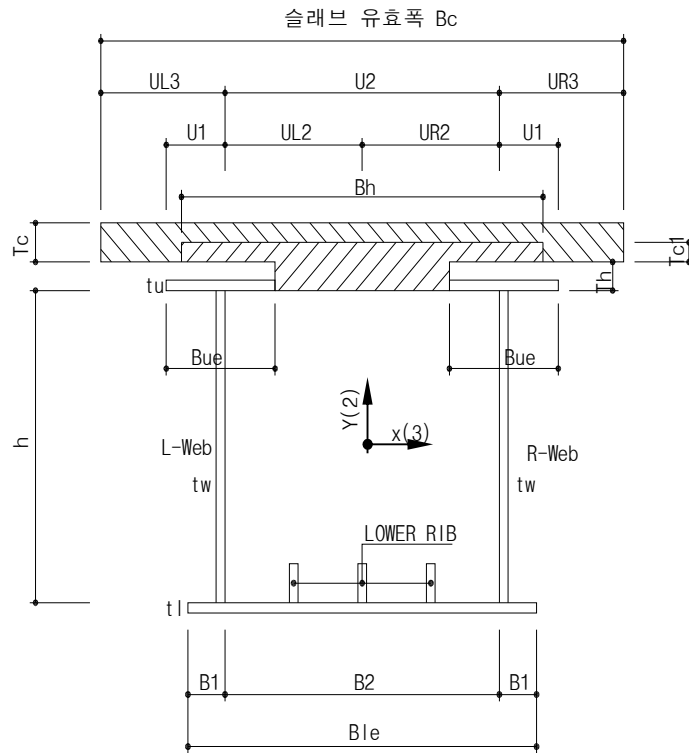
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	4.161	3.517	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	2.968	2.418	30.000	0.K !!
1+2+3+11	3.667	1.831	16.200	0.K !!	6.824	4.970	30.000	0.K !!
1+2+3-11	6.064	4.114	16.200	0.K !!	9.813	7.885	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	4.865	2.973	16.200	0.K !!	7.125	5.329	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.214	1.561	16.200	0.K !!	4.554	3.261	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)+11	2.016	0.419	16.200	0.K !!	3.060	1.804	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)-11	4.413	2.703	16.200	0.K !!	6.049	4.719	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	0.658	0.402	16.200	0.K !!	1.164	0.813	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	3.668	1.831	16.200	0.K !!	6.826	4.971	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	6.065	4.115	16.200	0.K !!	9.815	7.886	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	4.867	2.973	16.200	0.K !!	4.760	3.331	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	3.216	1.561	16.200	0.K !!	2.189	1.263	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	2.017	0.420	16.200	0.K !!	0.695	-0.194	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	4.415	2.703	16.200	0.K !!	3.684	2.720	30.000	0.K !!
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별				
	상 연	하 연						
1	22.089	-29.935	355.000	0.K !!				
1+5+6	25.226	-25.669	355.000	0.K !!				
1+2+3+11	56.116	-93.478	355.000	0.K !!				
1+2+3-11	25.260	-130.360	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6	43.826	-107.653	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	62.900	-84.058	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)+11	78.328	-68.630	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)-11	44.458	-102.499	355.000	0.K !!				
1+2+4+5+6	15.184	-19.744	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+11	56.122	-93.502	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4-11	25.266	-130.384	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+5+6	31.272	-90.656	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	50.346	-67.062	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	65.774	-48.621	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	34.918	-85.503	355.000	0.K !!				

[G1 : 최대모멘트] : 절점 4 로 부터 이격거리 2.499 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,500.0 mm

UL3 = 1,000.0 mm

UR3 = 1,100.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Tc1 = 90.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	2,794.374
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	3,494.650
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,701.474
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	65.096
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	4,418.098
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-2.471
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	2.176
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-1.138
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-322.938
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-33.717
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	22.328
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-26.655
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-322.806

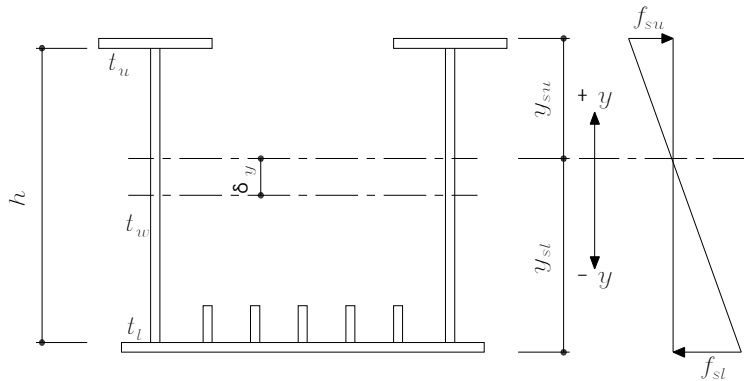
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10
RC. SLAB	1 - 2,500.0 × 150.0	375,000.0	1,115.0	4.181E+08	4.662E+11	7.031E+08
RC. SLAB	1 - 950.0 × 240.0	228,000.0	1,070.0	2.440E+08	2.610E+11	1.094E+09
RC. SLAB	1 - 1,050.0 × 240.0	252,000.0	1,070.0	2.696E+08	2.885E+11	1.210E+09
SLAB 단면 합계		855,000.0	-	9.317E+08	1.016E+12	3.007E+09
Half-deck	1 - 2,500.0 × 90.0	225,000.0	995.0	2.239E+08	2.228E+11	1.519E+08
	1 - 1,840.0 × 50.0	92,000.0	925.0	8.510E+07	7.872E+10	1.917E+07
Half-deck 단면 합계		317,000.0	-	3.090E+08	3.015E+11	1.710E+08
※ $A_s = 86,480.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 855,000.0 \text{ mm}^2$ $A_h = 317,000.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합성 전

- 강제에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2$$

$$= 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times -282.517^2 = 3.978\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_y$$

$$= 171,041,666.7 + 301,473.125 \cdot 0.000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-24,432,080.0 + 308,975,000.0/6.2) / (86,480.0 + 317,000.0/6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$\begin{aligned}
I_{33} &= (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh}/n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2/n_h) - (A_s + A_h/n_h) \cdot \delta_{v1}^2 \\
&= (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7/6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0/6.2) \\
&\quad - (86,480.0 + 317,000.0/6.2) \times 184.6^2 = 9.064\text{E}+10 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1}+T_h) - \delta_{v1} = 1.800.0/2 + (90.0+50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

- Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2.794.37 \times 855.4 / (90.640.702.295.4 \times 6.2) = 4.253 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{sl} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2.794.37 \times 715.4 / (90.640.702.295.4 \times 6.2) = \mathbf{3.557 \text{ MPa}}$$

- 바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 3.494.65 \times 855.4 / (90.640.702.295.4 \times 6.2) = \mathbf{5.319 \text{ MPa}}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 3.494,65 \times 715,4 / (90,640,702,295,4 \times 6,2) = \mathbf{4.449 \text{ MPa}}$$

■ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{st} \cdot y_{su} / I_{33} = 2,794.37 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 22.363 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{st} \cdot y_{sl} / I_{33} = 2,794.37 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -33.807 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 3,494.65 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 27.968 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 3,494.65 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -42.279 \text{ MPa}$$

■ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} u &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 2.471 / 43,200.0 + 33.717 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.377 \text{ MPa} \end{aligned}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 2,701.47 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.299 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 2,701.47 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.876 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 2,701.47 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 5.618 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 2,701.47 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -28.529 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} u &= V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 2.176 / 43,200.0 + 22.328 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.261 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 4,418.10 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 2.539 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 4,418.10 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 1.488 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 4,418.10 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 2.125 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 4,418.10 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.433 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 4,418.10 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 9.188 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 4,418.10 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -46.657 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} u &= V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 322.938 / 43,200.0 + 322.806 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 10.523 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = -1.14 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = -0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = -1.14 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

■ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = -1.14 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = -0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = -1.14 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

■ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = -1.14 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -0.002 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = -1.14 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 0.012 \text{ MPa}$$

■ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 1.138 / 43,200.0 + 26.655 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.278 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = 0.498 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5/2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h/n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0/6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

■ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

■ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

■ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{hu,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{sl} \cdot d_{vh1,s} / (n_h \cdot I_{33}) = 2,794.4 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 1.245E+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{phi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 1,245,381.8 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 4.982E+05 \text{ N}$$

- P_{phi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{phi} = P_{phi} \times d_{h,hs} = 498,152.7 \times 853.5 = 4.252E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,794.37 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.253 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,794.37 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.557 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{phi}/A_{vh1} + k \cdot M_{phi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h = (1/7.8) \times (498,152.7/127,383.2 + 0.498 \times 425,178,114.5 \times 918.8/83,729,142,983.3) - 26,321.6 \times 4.253 \times 0.5/32,902.0 = -0.897 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{phi}/A_{vh1} + k \cdot M_{phi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h = (1/7.8) \times (498,152.7/127,383.2 + 0.498 \times 425,178,114.5 \times 778.8/83,729,142,983.3) - 26,321.6 \times 3.557 \times 0.5/32,902.0 = -0.664 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh1} = P_{phi}/A_{vh1} + k \cdot M_{phi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1} = 498,152.7/127,383.2 + 0.498 \times 425,178,114.5 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 5.904 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh1} = P_{phi}/A_{vh1} + k \cdot M_{phi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1} = 498,152.7/127,383.2 + 0.498 \times 425,178,114.5 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.300 \text{ MPa}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = 0.498 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.525 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.552 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 4.113 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 0.837 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = 0.485 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (429.8 + 289.8) / 2 = 359.779 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	237,839.4	1,781.9	1.371E+08	1.797E+11	4.031E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 137,148,450.0 / 237,839.4 = 576.643 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 576.643 = 398.042 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,310,996,511.7 + 179,706,397,621.4 - 237,839.4 \times 576.643^2 = 1.409E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 576.643 = 613.357 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 613.357 - 240.0 = 373.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 576.643 = 463.357 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 463.357 - (90.0+50.0) = 323.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 576.643 = 333.357 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 333.357 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,488.643 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 1,245,381.8 + (5.197+4.109) / 2 \times 317,000.0 \times 364.5 / 359.8 = 2.740E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 2,739,506.2 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 2.348E+06 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 2,348,148.2 \times 398.0 = 9.347E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2}$$

$$= 4.253 + 5.319 + 1.299 + -0.897 + -0.525 = 9.450 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hlt} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2}$$

$$= 3.557 + 4.449 + 0.876 + -0.664 + -0.552 = 7.666 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,348,148/237,839 + 0.485 \times 934,660,547 \times 613/140,931,701,824) = 1.692 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,348,148/237,839 + 0.485 \times 934,660,547 \times 373/140,931,701,824) = 1.582 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,348,148.2/237,839.4 + 0.485 \times 934,660,546.9 \times 463.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 9.450 \times 1.5/32,902.0 = -7.053 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,348,148.2/237,839.4 + 0.485 \times 934,660,546.9 \times 323.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 7.666 \times 1.5/32,902.0 = -5.565 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,348,148.2/237,839.4 + 0.485 \times 934,660,546.9 \times 333.4/140,931,701,824.0 = 10.946 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,348,148.2/237,839.4 + 0.485 \times 934,660,546.9 \times -1,488.6/140,931,701,824.0 = 5.081 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = 0.485 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	229,074.5	1,781.9	1.286E+08	1.714E+11	4.030E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 128,605,362.4 / 229,074.5 = 561.413 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 561.413 = 413.272 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,297,420,195.0 + 171,379,582,233.0 - 229,074.5 \times 561.413^2 = 1.395E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 561.413 = 628.587 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 628.587 - 240.0 = 388.587 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 561.413 = 478.587 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 478.587 - (90.0+50.0) = 338.587 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 561.413 = 348.587 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 348.587 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,473.413 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

■ P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 413.3 = 3.899E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

■ SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.485 \times 389,851,806 \times 629/139,476,293,053) = 0.710 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.485 \times 389,851,806 \times 389/139,476,293,053) = 0.664 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

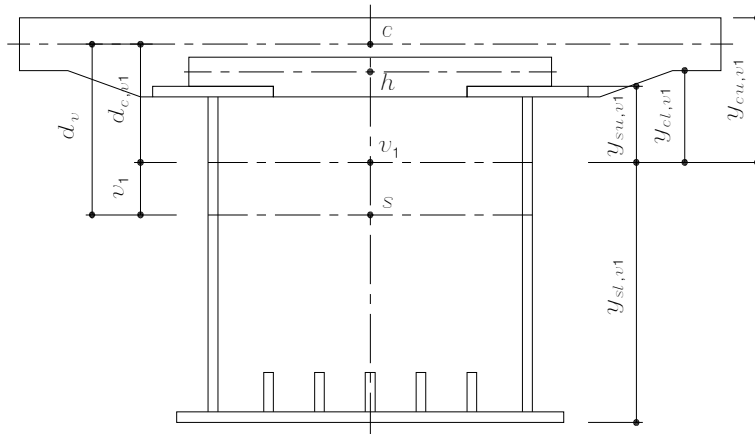
$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times 478.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.668 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times 338.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.680 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times 348.6/139,476,293,052.8 = 4.591 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times -1,473.4/139,476,293,052.8 = 2.119 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = 0.485 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (579.8 + 339.779) / 2 = 459.779 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	61,071.4	1,089.7	6.655E+07	7.252E+10	2.452E+08	
합 계	-	198,680.5	1,781.9	9.195E+07	1.280E+11	4.010E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 91,954,383.1 / 198,680.5 = 462.825 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,089.737 - 462.825 = 626.911 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,099,691,532.8 + 127,999,503,291.5 - 198,680.5 \times 462.825^2 = 1.255E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 462.825 = 727.175 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 727.175 - 240.0 = 487.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 462.825 = 577.175 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 577.175 - (90.0 + 50.0) = 437.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 462.825 = 447.175 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 447.175 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,374.825 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s}$$

$$= (1.552 + 0.910) / 2 \times 855,000.0 \times 479.515 / 459.779 = 1.098E+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,097,673.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.098E+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,097,673.9 \times 626.9 = 6.881E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 1.552 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.910 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,097,673.9 / 198,680.5 + 0.485 \times 688,144,199.8 \times 727.2 / 125,540,361,700.1) - 13,902.0 \times 1.552 \times 2.0 / 27,804.0 = -1.020 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,097,673.9 / 198,680.5 + 0.485 \times 688,144,199.8 \times 487.2 / 125,540,361,700.1) - 13,902.0 \times 0.910 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.423 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1})$$

$$= (1/6.2) \times (1,097,674 / 198,680 + 0.485 \times 688,144,200 \times 577 / 125,540,361,700) = 1.139 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1})$$

$$= (1/6.2) \times (1,097,674 / 198,680 + 0.485 \times 688,144,200 \times 437 / 125,540,361,700) = 1.079 \text{ MPa}$$

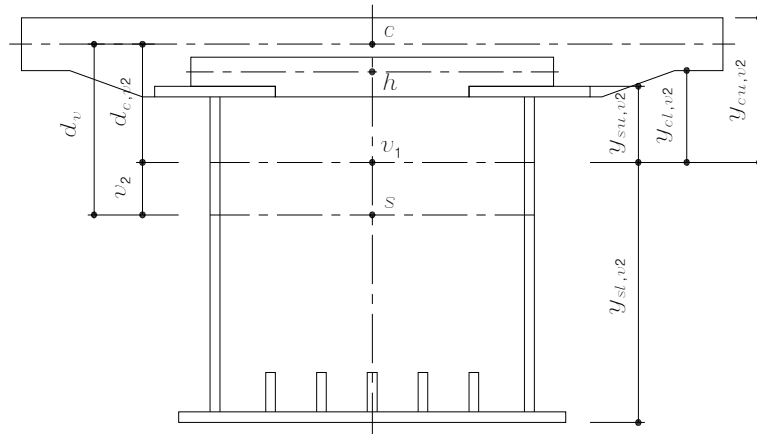
- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,097,673.9 / 198,680.5 + 0.485 \times 688,144,199.8 \times 447.2 / 125,540,361,700.1 = 6.714 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,097,673.9 / 198,680.5 + 0.485 \times 688,144,199.8 \times -1,374.8 / 125,540,361,700.1 = 1.870 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = 0.485 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	40,714.3	1,089.7	4.437E+07	4.835E+10	1.635E+08	
합 계	-	178,323.3	1,781.9	6.977E+07	1.038E+11	4.002E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 69,770,454.6 / 178,323.3 = 391.258 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,089.737 - 391.258 = 698.479 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,017,942,942.6 + 103,824,859,024.6 - 178,323.3 \times 391.258^2 = 1.165E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 391.258 = 798.742 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 798.742 - 240.0 = 558.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 391.258 = 648.742 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 648.742 - (90.0 + 50.0) = 508.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 391.258 = 518.742 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 518.742 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,303.258 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 855,000.0 / 21.0 = 2.254E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,253,535.7 \times 698.5 = 1.574E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/798.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.785 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/558.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.860 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/648.7) = 2.724 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/508.7) = 2.576 \text{ MPa}$$

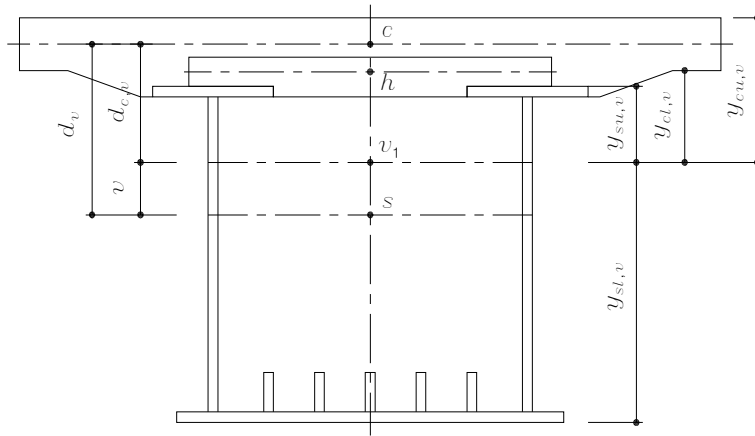
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/116,544,541,789.2 = 16.035 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times -1,303.3/116,544,541,789.2 = 4.101 \text{ MPa}$$



(11) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

$$d_{h,v} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{c,v} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

- 온도 변형률

$$\varepsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vc1} = E_s \cdot \varepsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 317,000.0 / 6.2 = 1.258\text{E}+06 \text{ N}$$

- SLAB 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vh2} = E_s \cdot \varepsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 855,000.0 / 7.0 = 3.005\text{E}+06 \text{ N}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = P_{vc1} + P_{vh2} = 1,257,774.2 + 3,004,714.285714 = 4.262\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{vc1} \times d_{h,v} + P_{vh2} \times d_{c,v} = 1,257,774.2 \times 364.5 + 3,004,714.3 \times 479.5 = 1.899\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \varepsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 579.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.463 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \varepsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 339.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.682 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hu,v}/I_v) - E_h \cdot \varepsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 429.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -0.859 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hl,v}/I_v) - E_h \cdot \varepsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 289.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.003 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 299.8/144,144,512,711.7 = 18.326 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times -1,522.2/144,144,512,711.7 = 6.682 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 327.585/43,200.0 + 33.717/105,269,009.6 + 345.134/105,923,872.7 = 11.162 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.2 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 327.585/43,200.0 + 33.717/105,269,009.6 + 345.134/105,923,872.7 = 11.162 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.2 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 328.154/43,200.0 + 33.717/105,269,009.6 + 358.462/105,923,872.7 = 11.301 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.3 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore$ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	9.573	8.006	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	8.151	6.790	20.000	20.000
1+2+3+5+6	4.091	2.397	10.800	10.800	11.575	9.099	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.689	2.361	10.800	10.800	5.716	4.507	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	3.226	1.679	12.420	12.420	4.858	3.505	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	4.152	3.043	12.420	12.420	6.575	5.510	23.000	23.000
1+2+4+5+6	1.552	0.909	13.500	13.500	4.130	3.217	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	4.091	2.397	13.500	13.500	6.255	4.650	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	3.689	2.361	13.500	13.500	0.397	0.058	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	3.226	1.679	14.580	14.580	-0.462	-0.944	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	4.152	3.043	14.580	14.580	1.255	1.061	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	50.331	-76.087	198.962	215.000				
1+5+6	60.348	-73.949	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	75.155	-149.135	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	113.441	-135.964	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	131.766	-129.282	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	95.115	-142.647	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	37.996	-60.187	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	47.186	-106.849	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	85.472	-93.679	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	103.797	-86.997	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	67.146	-100.361	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.064	0.125	0.008	0.008	0.072	0.133	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.079	0.118	0.008	0.008	0.087	0.126	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.122	0.481	0.008	0.008	0.130	0.489	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.211	0.400	0.008	0.008	0.218	0.408	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.222	0.273	0.008	0.008	0.230	0.281	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.116	0.333	0.008	0.008	0.124	0.341	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.020	0.050	0.006	0.006	0.026	0.056	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.031	0.158	0.005	0.005	0.036	0.163	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.101	0.122	0.005	0.005	0.106	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.128	0.090	0.005	0.005	0.133	0.095	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.054	0.120	0.005	0.005	0.059	0.125	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{131.766}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.162}{125.000}\right)^2 = 0.222 + 0.008 = 0.230 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-149.135}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.162}{125.000}\right)^2 = 0.481 + 0.008 = 0.489 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 50.331)} = 2.07 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 599.6 / (206 \times 1.200) = 2.4 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 131.766)} = 1.28 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

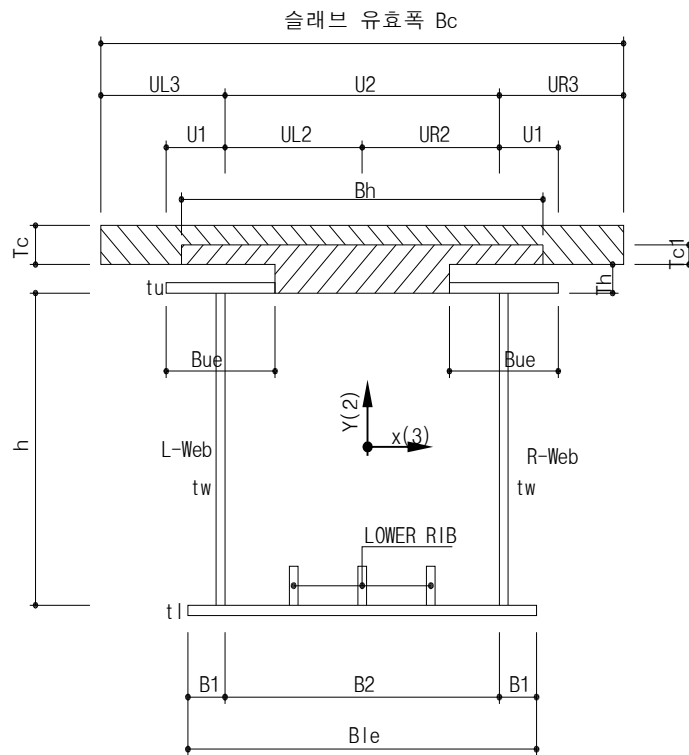
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	12.445	10.408	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	11.023	9.192	30.000	0.K !!
1+2+3+11	7.013	3.699	16.200	0.K !!	17.843	13.624	30.000	0.K !!
1+2+3-11	7.939	5.063	16.200	0.K !!	19.560	15.629	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	7.476	4.381	16.200	0.K !!	17.280	13.411	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	7.074	4.345	16.200	0.K !!	11.421	8.819	30.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	6.611	3.663	16.200	0.K !!	10.563	7.817	30.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	7.537	5.027	16.200	0.K !!	12.280	9.822	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	2.017	1.182	16.200	0.K !!	5.796	4.547	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	7.013	3.699	16.200	0.K !!	17.843	13.624	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	7.939	5.063	16.200	0.K !!	19.560	15.629	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	7.476	4.381	16.200	0.K !!	10.364	7.627	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	7.074	4.345	16.200	0.K !!	4.506	3.036	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	6.611	3.663	16.200	0.K !!	3.647	2.033	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	7.537	5.027	16.200	0.K !!	5.364	4.039	30.000	0.K !!

하 중 조 합	Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연		
1	65.431	-98.913	355.000	0.K !!
1+5+6	75.448	-96.775	355.000	0.K !!
1+2+3+11	110.815	-229.629	355.000	0.K !!
1+2+3-11	74.164	-242.994	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	102.506	-234.175	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	140.792	-221.004	355.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	159.118	-202.679	355.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	134.110	-227.687	355.000	0.K !!
1+2+4+5+6	46.391	-78.887	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	110.814	-229.623	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	74.163	-242.988	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	66.147	-179.206	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	104.433	-166.035	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	122.758	-159.353	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	86.107	-172.718	355.000	0.K !!

[G1 : 최대모멘트] : 절점 14 로 부터 이격거리 3.748 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,500.0 mm

UL3 = 1,000.0 mm

UR3 = 1,100.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Tc1 = 90.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	1,269.393
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	1,616.421
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,090.047
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	57.628
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	3,628.971
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-23.824
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-18.903
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-5.122
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-317.035
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-15.075
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	17.269
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-2.317
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-303.310

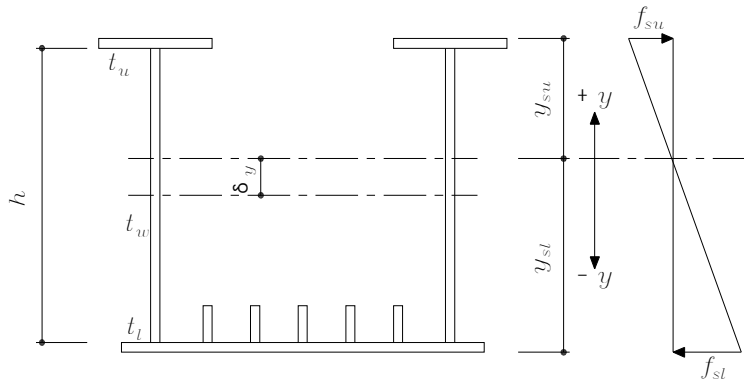
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구분	규격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10
RC. SLAB	1 - 2,500.0 × 150.0	375,000.0	1,115.0	4.181E+08	4.662E+11	7.031E+08
RC. SLAB	1 - 950.0 × 240.0	228,000.0	1,070.0	2.440E+08	2.610E+11	1.094E+09
RC. SLAB	1 - 1,050.0 × 240.0	252,000.0	1,070.0	2.696E+08	2.885E+11	1.210E+09
SLAB 단면 합계		855,000.0	-	9.317E+08	1.016E+12	3.007E+09
Half-deck	1 - 2,500.0 × 90.0	225,000.0	995.0	2.239E+08	2.228E+11	1.519E+08
	1 - 1,840.0 × 50.0	92,000.0	925.0	8.510E+07	7.872E+10	1.917E+07
Half-deck 단면 합계		317,000.0	-	3.090E+08	3.015E+11	1.710E+08
※ $A_s = 86,480.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 855,000.0 \text{ mm}^2$ $A_h = 317,000.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2$$

$$= 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2$$

$$= 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h)$$

$$= (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2$$

$$= (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,269.39 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.932 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,269.39 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.616 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,616.42 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.460 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,616.42 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.058 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{s1} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,269.39 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 10.159 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{s1} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,269.39 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -15.358 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,616.42 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 12.936 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,616.42 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -19.556 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2e_a = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2e_a = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

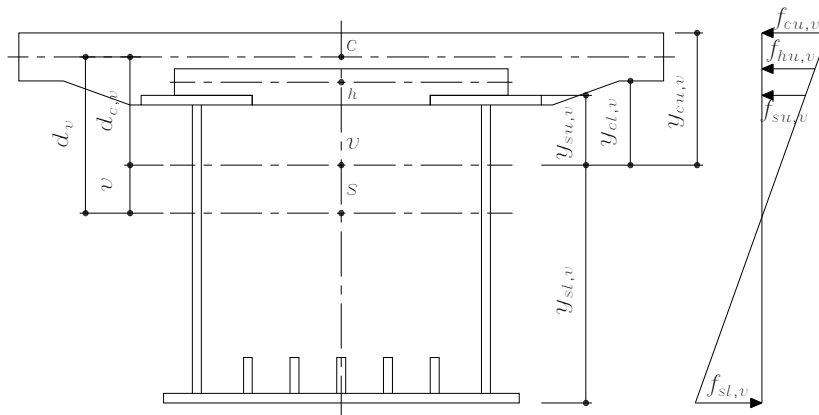
$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + t_l / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 23.824 / 43,200.0 + 15.075 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.695 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- SLAB에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yc} = \sum A_c Y / \sum A_c = 931,725,000.0 / 855,000.0 = 1,089.737 \text{ mm}$$

- SLAB의 단면2차 모멘트

$$I_c = \sum I_{xoc} + \sum A_c Y^2 - A_c \cdot \delta_{yc}^2 = 3,007,125,000.0 + 1,015,761,375,000.0 - 855,000.0 \times 1,089.737^2 = 3.433\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	<i>n</i>	<i>A_v</i> (mm ²)	<i>Y</i> (mm)	<i>A</i> · <i>Y</i> (mm ³)	<i>A</i> · <i>Y</i> ² (mm ⁴)	<i>I_{xo}</i> (mm ⁴)	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	259,751.9	1,781.9	1.585E+08	2.005E+11	4.034E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v2} = \sum AY / \sum A = 158,506,168.8 / 259,751.9 = 610.221 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = \sum I_{xo} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v2}^2 = 40,344,937,303.5 + 200,523,436,092.3 - 259,751.9 \times 610.221^2 = 1.441\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 610.221 = 579.779 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = d_{cu,v} - T_c = 579.779 - 240.0 = 339.779 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 610.221 = 429.779 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v} = d_{hu,v} - (T_{c1} + T_h) = 429.779 - (90.0 + 50.0) = 289.779 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = h/2 + t_u - \delta_{v2} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 610.221 = 299.779 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = d_{su,v} - (h + t_u + t_l) = 299.779 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,522.221 \text{ mm}$$

- SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 1,090.05 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.626 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 1,090.05 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.367 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 1,090.05 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.524 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 1,090.05 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.353 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 1,090.05 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 2.267 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 1,090.05 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -11.511 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 18.903 / 43,200.0 + 17.269 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.601 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 3,628.97 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 2.085 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 3,628.97 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 1.222 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 3,628.97 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.745 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 3,628.97 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.177 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 3,628.97 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 7.547 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 3,628.97 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -38.323 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 317.035 / 43,200.0 + 303.310 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 10.202 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = -5.12 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = -0.003 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = -5.12 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = -0.002 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = -5.12 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = -0.002 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = -5.12 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = -0.002 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = -5.12 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -0.011 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = -5.12 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 0.054 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 5.122 / 43,200.0 + 2.317 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.140 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = -0.061 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 1,269.4 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 5.657E+05 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 565,736.4 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 2.263E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 226,294.5 \times 853.5 = 1.931E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,269.39 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.932 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,269.39 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.616 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (226,294.5/127,383.2 + -0.061 \times 193,144,554.9 \times 918.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 1.932 \times 0.5/32,902.0 = -0.560 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (226,294.5/127,383.2 + -0.061 \times 193,144,554.9 \times 778.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 1.616 \times 0.5/32,902.0 = -0.431 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 226,294.5/127,383.2 + -0.061 \times 193,144,554.9 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 1.665 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 226,294.5/127,383.2 + -0.061 \times 193,144,554.9 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.922 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = -0.061 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.734 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.731 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 2.423 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 2.826 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (429.8 + 289.8) / 2 = 359.779 \text{ mm}$$

■ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	237,839.4	1,781.9	1.371E+08	1.797E+11	4.031E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 137,148,450.0 / 237,839.4 = 576.643 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 576.643 = 398.042 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,310,996,511.7 + 179,706,397,621.4 - 237,839.4 \times 576.643^2 = 1.409E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 576.643 = 613.357 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 613.357 - 240.0 = 373.357 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 576.643 = 463.357 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 463.357 - (90.0+50.0) = 323.357 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 576.643 = 333.357 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 333.357 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,488.643 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 565,736.4 + (1.690+1.249)/2 \times 317,000.0 \times 364.5 / 359.8 = 1.038E+06 \text{ N}$$

■ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 1,037,555.5 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 8.893E+05 \text{ N}$$

■ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 889,333.3 \times 398.0 = 3.540E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2} = 1.932 + 2.460 + 0.524 + -0.560 + -0.734 = 3.622 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hl1} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2} = 1.616 + 2.058 + 0.353 + -0.431 + -0.731 = 2.865 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (889,333/237,839 + -0.062 \times 353,991,618 \times 613/140,931,701,824) = 0.521 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (889,333/237,839 + -0.062 \times 353,991,618 \times 373/140,931,701,824) = 0.526 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (889,333.3/237,839.4 + -0.062 \times 353,991,618.5 \times 463.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 3.622 \times 1.5/32,902.0 = -2.767 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (889,333.3/237,839.4 + -0.062 \times 353,991,618.5 \times 323.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 2.865 \times 1.5/32,902.0 = -2.115 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 889,333.3/237,839.4 + -0.062 \times 353,991,618.5 \times 333.4/140,931,701,824.0 = 3.687 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 889,333.3/237,839.4 + -0.062 \times 353,991,618.5 \times -1,488.6/140,931,701,824.0 = 3.971 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	229,074.5	1,781.9	1.286E+08	1.714E+11	4.030E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 128,605,362.4 / 229,074.5 = 561.413 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 561.413 = 413.272 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,297,420,195.0 + 171,379,582,233.0 - 229,074.5 \times 561.413^2 = 1.395E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 561.413 = 628.587 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 628.587 - 240.0 = 388.587 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 561.413 = 478.587 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 478.587 - (90.0 + 50.0) = 338.587 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 561.413 = 348.587 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 348.587 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,473.413 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

■ P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 413.3 = 3.899E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

■ SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.062 \times 389,851,806 \times 629/139,476,293,053) = 0.573 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.062 \times 389,851,806 \times 389/139,476,293,053) = 0.579 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

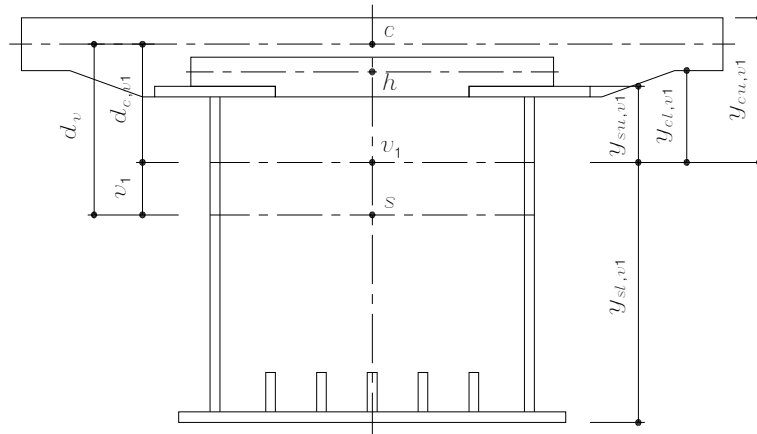
$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times 478.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.715 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times 338.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.714 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times 348.6/139,476,293,052.8 = 4.058 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times -1,473.4/139,476,293,052.8 = 4.374 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = -0.062 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (579.8 + 339.779) / 2 = 459.779 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	61,071.4	1,089.7	6.655E+07	7.252E+10	2.452E+08	
합 계	-	198,680.5	1,781.9	9.195E+07	1.280E+11	4.010E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 91,954,383.1 / 198,680.5 = 462.825 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,089.737 - 462.825 = 626.911 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,099,691,532.8 + 127,999,503,291.5 - 198,680.5 \times 462.825^2 = 1.255E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 462.825 = 727.175 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 727.175 - 240.0 = 487.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 462.825 = 577.175 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 577.175 - (90.0 + 50.0) = 437.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 462.825 = 447.175 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 447.175 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,374.825 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s} \\ = (0.626 + 0.367) / 2 \times 855,000.0 \times 479.515 / 459.779 = 4.429E+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 442,912.3 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.429E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 442,912.3 \times 626.9 = 2.777E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 0.626 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.367 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (442,912.3 / 198,680.5 + -0.062 \times 277,666,755.5 \times 727.2 / 125,540,361,700.1) \\ - 13,902.0 \times 0.626 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.474 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (442,912.3 / 198,680.5 + -0.062 \times 277,666,755.5 \times 487.2 / 125,540,361,700.1) \\ - 13,902.0 \times 0.367 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.213 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

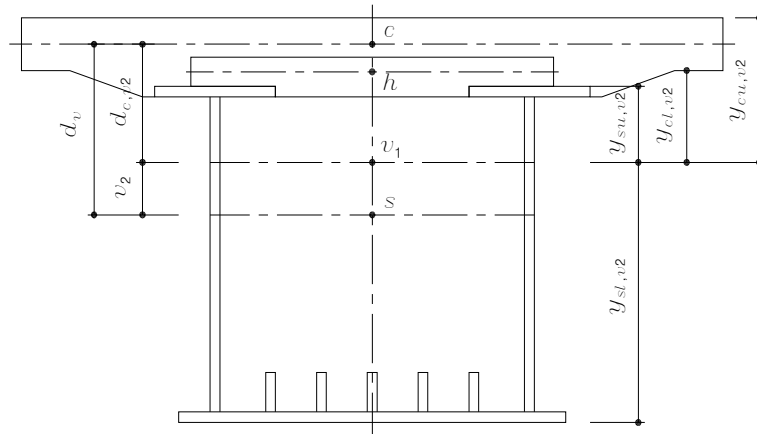
$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (442,912 / 198,680 + -0.062 \times 277,666,755 \times 577 / 125,540,361,700) = 0.347 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (442,912 / 198,680 + -0.062 \times 277,666,755 \times 437 / 125,540,361,700) = 0.350 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ = 442,912.3 / 198,680.5 + -0.062 \times 277,666,755.5 \times 447.2 / 125,540,361,700.1 = 2.168 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ = 442,912.3 / 198,680.5 + -0.062 \times 277,666,755.5 \times -1,374.8 / 125,540,361,700.1 = 2.418 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = -0.062 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	40,714.3	1,089.7	4.437E+07	4.835E+10	1.635E+08	
합 계	-	178,323.3	1,781.9	6.977E+07	1.038E+11	4.002E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 69,770,454.6 / 178,323.3 = 391.258 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,089.737 - 391.258 = 698.479 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,017,942,942.6 + 103,824,859,024.6 - 178,323.3 \times 391.258^2 = 1.165E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 391.258 = 798.742 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 798.742 - 240.0 = 558.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 391.258 = 648.742 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 648.742 - (90.0 + 50.0) = 508.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 391.258 = 518.742 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 518.742 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,303.258 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 855,000.0 / 21.0 = 2.254E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,253,535.7 \times 698.5 = 1.574E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/798.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.066 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/558.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.056 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/648.7) = 1.951 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/508.7) = 1.970 \text{ MPa}$$

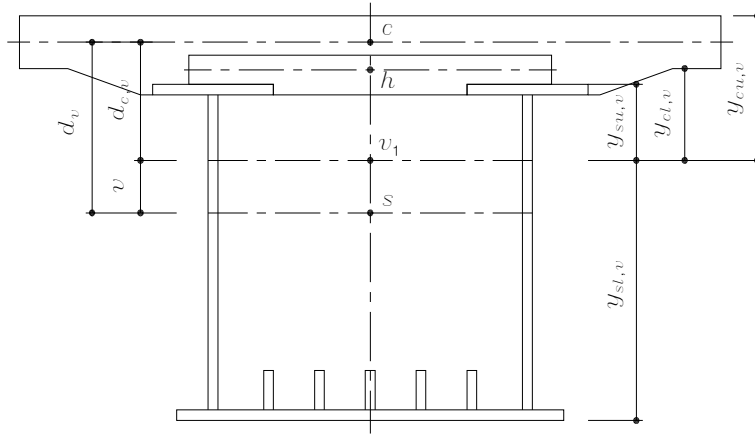
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/116,544,541,789.2 = 12.203 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times -1,303.3/116,544,541,789.2 = 13.729 \text{ MPa}$$



(11) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

$$d_{h,v} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{c,v} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

- 온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vc1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 317,000.0 / 6.2 = 1.258\text{E}+06 \text{ N}$$

- SLAB 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vh2} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 855,000.0 / 7.0 = 3.005\text{E}+06 \text{ N}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = P_{vc1} + P_{vh2} = 1,257,774.2 + 3,004,714.285714 = 4.262\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{vc1} \times d_{h,v} + P_{vh2} \times d_{c,v} = 1,257,774.2 \times 364.5 + 3,004,714.3 \times 479.5 = 1.899\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 579.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.060 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 339.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.032 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hu,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 429.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.358 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hl,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 289.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.340 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 299.8/144,144,512,711.7 = 16.165 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.062 \times 1,899,219,115.5 \times -1,522.2/144,144,512,711.7 = 17.653 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 359.762/43,200.0 + 15.075/105,269,009.6 + 320.580/105,923,872.7 = 11.498 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.5 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 359.762/43,200.0 + 15.075/105,269,009.6 + 320.580/105,923,872.7 = 11.498 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.5 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 362.323/43,200.0 + 15.075/105,269,009.6 + 321.738/105,923,872.7 = 11.568 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.6 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore$ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	4.393	3.674	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	3.098	2.511	20.000	20.000
1+2+3+5+6	2.712	1.589	10.800	10.800	5.367	4.041	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	1.265	0.425	10.800	10.800	2.183	1.531	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.205	-0.607	12.420	2.174	0.824	0.192	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	2.325	1.457	12.420	12.420	3.541	2.871	23.000	23.000
1+2+4+5+6	0.623	0.365	13.500	13.500	1.159	0.805	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	2.710	1.588	13.500	13.500	2.906	1.983	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	1.263	0.424	13.500	13.500	-0.279	-0.527	3.125	3.125
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.203	-0.608	14.580	2.552	-1.637	-1.867	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	2.323	1.456	14.580	14.580	1.079	0.813	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	23.095	-34.913	198.962	215.000				
1+5+6	27.184	-30.166	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	36.998	-80.000	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	59.114	-55.509	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	75.279	-37.856	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	42.949	-73.162	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	16.504	-22.067	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	24.056	-60.417	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	46.172	-35.926	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	62.337	-18.273	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	30.007	-53.579	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.013	0.026	0.008	0.008	0.022	0.035	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.016	0.020	0.008	0.008	0.024	0.028	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.030	0.138	0.008	0.008	0.038	0.147	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.057	0.067	0.008	0.008	0.066	0.075	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.073	0.023	0.008	0.008	0.081	0.032	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.024	0.088	0.008	0.008	0.032	0.096	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.004	0.007	0.006	0.006	0.010	0.013	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.008	0.051	0.005	0.005	0.013	0.056	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.030	0.018	0.005	0.005	0.035	0.023	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.046	0.004	0.005	0.005	0.052	0.009	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.011	0.034	0.005	0.005	0.016	0.040	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{75.279}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.498}{125.000}\right)^2 = 0.073 + 0.008 = 0.081 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-80.000}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.498}{125.000}\right)^2 = 0.138 + 0.008 = 0.147 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 23.095)} = 3.05 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 599.6 / (206 \times 1.200) = 2.4 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 75.279)} = 1.69 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

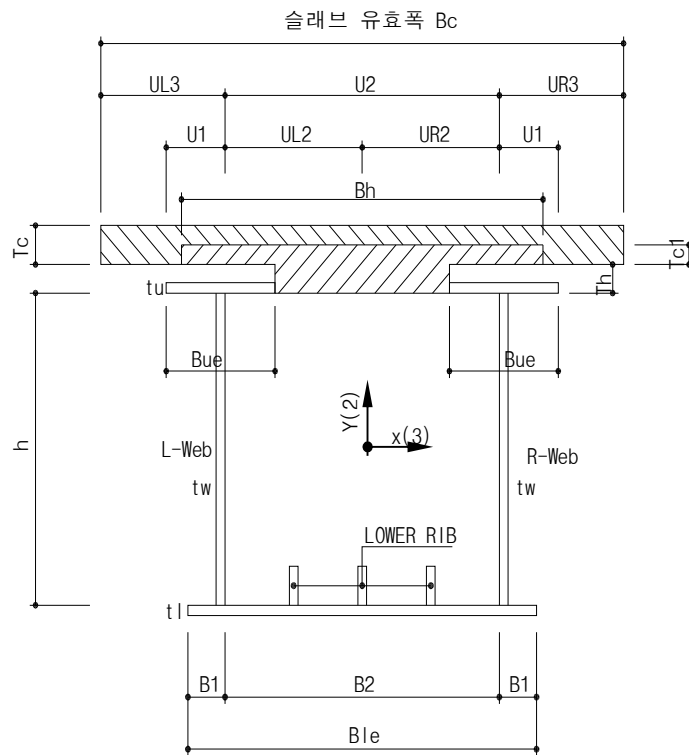
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	5.710	4.776	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	4.416	3.613	30.000	0.K !!
1+2+3+11	4.238	2.073	16.200	0.K !!	8.786	6.425	30.000	0.K !!
1+2+3-11	6.357	4.136	16.200	0.K !!	11.502	9.105	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	5.297	3.105	16.200	0.K !!	8.849	6.603	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.851	1.940	16.200	0.K !!	5.665	4.093	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)+11	2.791	0.908	16.200	0.K !!	4.306	2.753	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)-11	4.911	2.972	16.200	0.K !!	7.023	5.432	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	0.811	0.475	16.200	0.K !!	1.896	1.396	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	4.236	2.072	16.200	0.K !!	8.785	6.425	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	6.356	4.136	16.200	0.K !!	11.501	9.104	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	5.296	3.104	16.200	0.K !!	5.649	3.927	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	3.849	1.939	16.200	0.K !!	2.465	1.417	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	2.789	0.908	16.200	0.K !!	1.107	0.077	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	4.909	2.971	16.200	0.K !!	3.823	2.757	30.000	0.K !!
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별				
	상 연	하 연						
1	30.024	-45.388	355.000	0.K !!				
1+5+6	34.112	-40.640	355.000	0.K !!				
1+2+3+11	65.362	-125.094	355.000	0.K !!				
1+2+3-11	33.032	-160.401	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6	53.286	-138.000	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	75.402	-113.508	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)+11	91.567	-97.343	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)-11	57.748	-131.161	355.000	0.K !!				
1+2+4+5+6	20.232	-30.128	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+11	65.357	-125.067	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4-11	33.027	-160.374	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+5+6	36.463	-112.550	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	58.579	-88.058	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	74.744	-70.405	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	42.414	-105.712	355.000	0.K !!				

[G1 : 최대모멘트] : 절점 23 로 부터 이격거리 1.249 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,500.0 mm

UL3 = 1,000.0 mm

UR3 = 1,100.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Tc1 = 90.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	1,270.902
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	1,618.747
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,092.562
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	57.898
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	3,628.783
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	23.632
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	18.760
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	5.196
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	317.074
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	15.436
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-16.879
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	2.215
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	303.443

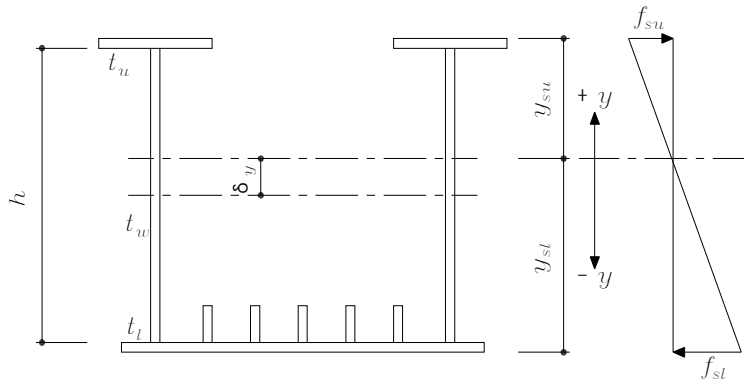
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구분	규격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10
RC. SLAB	1 - 2,500.0 × 150.0	375,000.0	1,115.0	4.181E+08	4.662E+11	7.031E+08
RC. SLAB	1 - 950.0 × 240.0	228,000.0	1,070.0	2.440E+08	2.610E+11	1.094E+09
RC. SLAB	1 - 1,050.0 × 240.0	252,000.0	1,070.0	2.696E+08	2.885E+11	1.210E+09
SLAB 단면 합계		855,000.0	-	9.317E+08	1.016E+12	3.007E+09
Half-deck	1 - 2,500.0 × 90.0	225,000.0	995.0	2.239E+08	2.228E+11	1.519E+08
	1 - 1,840.0 × 50.0	92,000.0	925.0	8.510E+07	7.872E+10	1.917E+07
Half-deck 단면 합계		317,000.0	-	3.090E+08	3.015E+11	1.710E+08
※ $A_s = 86,480.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 855,000.0 \text{ mm}^2$ $A_h = 317,000.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2$$

$$= 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2$$

$$= 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h)$$

$$= (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2$$

$$= (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,270.90 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.934 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,270.90 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.618 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,618.75 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.464 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,618.75 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.061 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{s1} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,270.90 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 10.171 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{s1} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,270.90 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -15.376 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,618.75 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 12.955 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,618.75 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -19.584 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2e_a = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2e_a = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

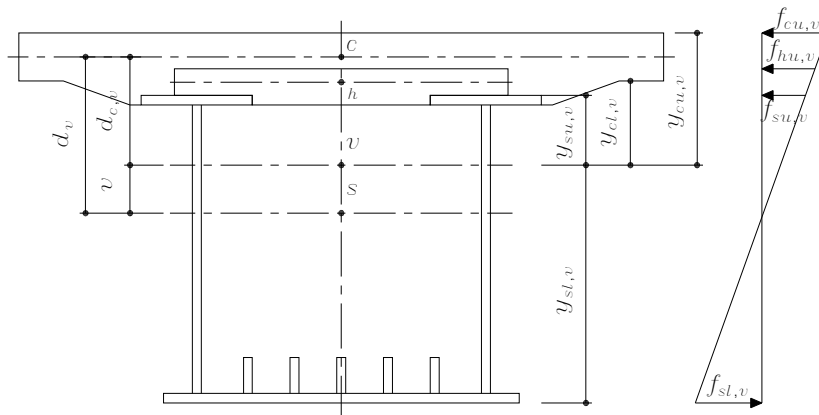
$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + t_l / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 23.632 / 43,200.0 + 15.436 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.694 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- SLAB에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yc} = \sum A_c Y / \sum A_c = 931,725,000.0 / 855,000.0 = 1,089.737 \text{ mm}$$

- SLAB의 단면2차 모멘트

$$I_c = \sum I_{xoc} + \sum A_c Y^2 - A_c \cdot \delta_{yc}^2 = 3,007,125,000.0 + 1,015,761,375,000.0 - 855,000.0 \times 1,089.737^2 = 3.433\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	<i>n</i>	<i>A_v</i> (mm ²)	<i>Y</i> (mm)	<i>A</i> · <i>Y</i> (mm ³)	<i>A</i> · <i>Y</i> ² (mm ⁴)	<i>I_{xo}</i> (mm ⁴)	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	259,751.9	1,781.9	1.585E+08	2.005E+11	4.034E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v2} = \sum AY / \sum A = 158,506,168.8 / 259,751.9 = 610.221 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = \sum I_{xo} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v2}^2 = 40,344,937,303.5 + 200,523,436,092.3 - 259,751.9 \times 610.221^2 = 1.441\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 610.221 = 579.779 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = d_{cu,v} - T_c = 579.779 - 240.0 = 339.779 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 610.221 = 429.779 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v} = d_{hu,v} - (T_{c1} + T_h) = 429.779 - (90.0 + 50.0) = 289.779 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = h/2 + t_u - \delta_{v2} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 610.221 = 299.779 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = d_{su,v} - (h + t_u + t_l) = 299.779 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,522.221 \text{ mm}$$

- SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 1,092.56 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.628 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 1,092.56 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.368 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 1,092.56 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.525 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 1,092.56 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.354 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 1,092.56 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 2.272 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 1,092.56 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -11.538 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 18.760 / 43,200.0 + 16.879 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.594 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 3,628.78 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 2.085 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 3,628.78 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 1.222 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 3,628.78 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.745 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 3,628.78 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.177 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 3,628.78 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 7.547 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 3,628.78 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -38.321 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 317.074 / 43,200.0 + 303.443 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 10.204 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 5.20 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.003 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 5.20 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.002 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 5.20 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.002 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 5.20 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.002 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 5.20 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 0.011 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 5.20 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -0.055 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 5.196 / 43,200.0 + 2.215 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.141 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = -0.061 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 1,270.9 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 5.664E+05 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 566,408.9 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 2.266E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 226,563.6 \times 853.5 = 1.934E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,270.90 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.934 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,270.90 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.618 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h$$

$$= (1/7.8) \times (226,563.6/127,383.2 + -0.061 \times 193,374,156.8 \times 918.8/83,729,142,983.3)$$

$$- 26,321.6 \times 1.934 \times 0.5/32,902.0 = -0.561 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi h}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h$$

$$= (1/7.8) \times (226,563.6/127,383.2 + -0.061 \times 193,374,156.8 \times 778.8/83,729,142,983.3)$$

$$- 26,321.6 \times 1.618 \times 0.5/32,902.0 = -0.432 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh1} = P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1}$$

$$= 226,563.6/127,383.2 + -0.061 \times 193,374,156.8 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 1.667 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh1} = P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1}$$

$$= 226,563.6/127,383.2 + -0.061 \times 193,374,156.8 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.924 \text{ MPa}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = -0.061 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.734 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.731 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 2.423 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 2.826 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (429.8 + 289.8) / 2 = 359.779 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	237,839.4	1,781.9	1.371E+08	1.797E+11	4.031E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 137,148,450.0 / 237,839.4 = 576.643 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 576.643 = 398.042 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,310,996,511.7 + 179,706,397,621.4 - 237,839.4 \times 576.643^2 = 1.409E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 576.643 = 613.357 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 613.357 - 240.0 = 373.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 576.643 = 463.357 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 463.357 - (90.0+50.0) = 323.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 576.643 = 333.357 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 333.357 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,488.643 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 566,408.9 + (1.694+1.252)/2 \times 317,000.0 \times 364.5 / 359.8 = 1.039E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 1,039,408.0 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 8.909E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 890,921.2 \times 398.0 = 3.546E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2} = 1.934 + 2.464 + 0.525 + -0.561 + -0.734 = 3.628 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hl1} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2} = 1.618 + 2.061 + 0.354 + -0.432 + -0.731 = 2.870 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (890,921/237,839 + -0.062 \times 354,623,643 \times 613/140,931,701,824) = 0.521 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (890,921/237,839 + -0.062 \times 354,623,643 \times 373/140,931,701,824) = 0.527 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (890,921.2/237,839.4 + -0.062 \times 354,623,643.1 \times 463.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 3.628 \times 1.5/32,902.0 = -2.771 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (890,921.2/237,839.4 + -0.062 \times 354,623,643.1 \times 323.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 2.870 \times 1.5/32,902.0 = -2.119 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 890,921.2/237,839.4 + -0.062 \times 354,623,643.1 \times 333.4/140,931,701,824.0 = 3.694 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 890,921.2/237,839.4 + -0.062 \times 354,623,643.1 \times -1,488.6/140,931,701,824.0 = 3.978 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	229,074.5	1,781.9	1.286E+08	1.714E+11	4.030E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 128,605,362.4 / 229,074.5 = 561.413 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 561.413 = 413.272 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,297,420,195.0 + 171,379,582,233.0 - 229,074.5 \times 561.413^2 = 1.395E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 561.413 = 628.587 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 628.587 - 240.0 = 388.587 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 561.413 = 478.587 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 478.587 - (90.0+50.0) = 338.587 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 561.413 = 348.587 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 348.587 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,473.413 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

■ P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 413.3 = 3.899E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

■ SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.062 \times 389,851,806 \times 629/139,476,293,053) = 0.573 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.062 \times 389,851,806 \times 389/139,476,293,053) = 0.579 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

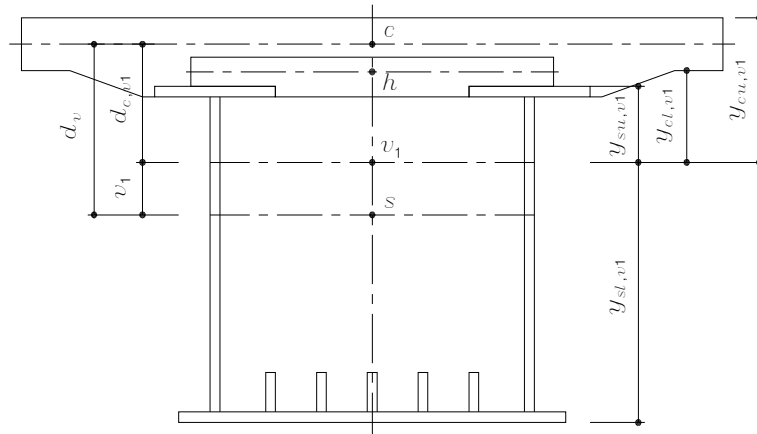
$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times 478.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.715 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times 338.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.714 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times 348.6/139,476,293,052.8 = 4.058 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + -0.062 \times 389,851,805.8 \times -1,473.4/139,476,293,052.8 = 4.374 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = -0.062 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (579.8 + 339.779) / 2 = 459.779 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	61,071.4	1,089.7	6.655E+07	7.252E+10	2.452E+08	
합 계	-	198,680.5	1,781.9	9.195E+07	1.280E+11	4.010E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 91,954,383.1 / 198,680.5 = 462.825 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,089.737 - 462.825 = 626.911 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,099,691,532.8 + 127,999,503,291.5 - 198,680.5 \times 462.825^2 = 1.255E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 462.825 = 727.175 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 727.175 - 240.0 = 487.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 462.825 = 577.175 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 577.175 - (90.0 + 50.0) = 437.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 462.825 = 447.175 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 447.175 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,374.825 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s}$$

$$= (0.628 + 0.368) / 2 \times 855,000.0 \times 479.515 / 459.779 = 4.439E+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 443,934.2 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.439E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 443,934.2 \times 626.9 = 2.783E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 0.628 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.368 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (443,934.2 / 198,680.5 + -0.062 \times 278,307,399.3 \times 727.2 / 125,540,361,700.1) - 13,902.0 \times 0.628 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.475 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (443,934.2 / 198,680.5 + -0.062 \times 278,307,399.3 \times 487.2 / 125,540,361,700.1) - 13,902.0 \times 0.368 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.213 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1})$$

$$= (1/6.2) \times (443,934 / 198,680 + -0.062 \times 278,307,399 \times 577 / 125,540,361,700) = 0.348 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1})$$

$$= (1/6.2) \times (443,934 / 198,680 + -0.062 \times 278,307,399 \times 437 / 125,540,361,700) = 0.351 \text{ MPa}$$

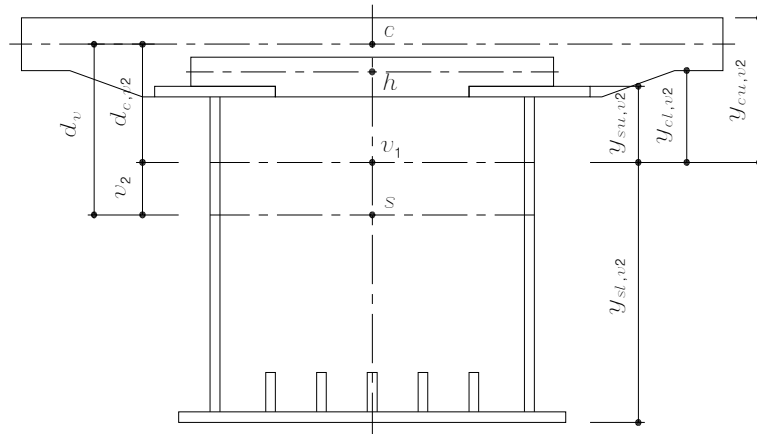
- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 443,934.2 / 198,680.5 + -0.062 \times 278,307,399.3 \times 447.2 / 125,540,361,700.1 = 2.173 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 443,934.2 / 198,680.5 + -0.062 \times 278,307,399.3 \times -1,374.8 / 125,540,361,700.1 = 2.423 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = -0.062 \quad ※ \text{2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	40,714.3	1,089.7	4.437E+07	4.835E+10	1.635E+08	
합 계	-	178,323.3	1,781.9	6.977E+07	1.038E+11	4.002E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 69,770,454.6 / 178,323.3 = 391.258 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,089.737 - 391.258 = 698.479 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,017,942,942.6 + 103,824,859,024.6 - 178,323.3 \times 391.258^2 = 1.165E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 391.258 = 798.742 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 798.742 - 240.0 = 558.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 391.258 = 648.742 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 648.742 - (90.0 + 50.0) = 508.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 391.258 = 518.742 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 518.742 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,303.258 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 855,000.0 / 21.0 = 2.254E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,253,535.7 \times 698.5 = 1.574E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/798.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.066 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/558.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.056 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/648.7) = 1.951 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/508.7) = 1.970 \text{ MPa}$$

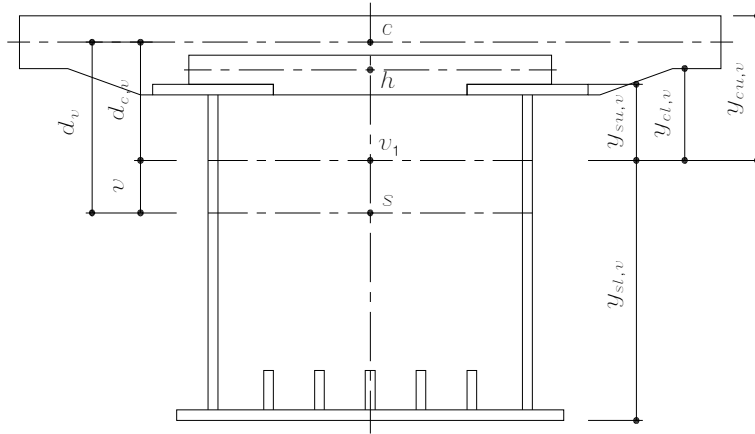
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/116,544,541,789.2 = 12.203 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + -0.062 \times 1,574,046,639.5 \times -1,303.3/116,544,541,789.2 = 13.729 \text{ MPa}$$



(11) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

$$d_{h,v} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{c,v} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

- 온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vc1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 317,000.0 / 6.2 = 1.258\text{E}+06 \text{ N}$$

- SLAB 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vh2} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 855,000.0 / 7.0 = 3.005\text{E}+06 \text{ N}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = P_{vc1} + P_{vh2} = 1,257,774.2 + 3,004,714.285714 = 4.262\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{vc1} \times d_{h,v} + P_{vh2} \times d_{c,v} = 1,257,774.2 \times 364.5 + 3,004,714.3 \times 479.5 = 1.899\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 579.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.060 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 339.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.032 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hu,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 429.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.358 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hl,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + -0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 289.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.340 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.062 \times 1,899,219,115.5 \times 299.8/144,144,512,711.7 = 16.165 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.062 \times 1,899,219,115.5 \times -1,522.2/144,144,512,711.7 = 17.653 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 359.466/43,200.0 + 15.436/105,269,009.6 + 320.322/105,923,872.7 = 11.492 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.5 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 359.466/43,200.0 + 15.436/105,269,009.6 + 320.322/105,923,872.7 = 11.492 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.5 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 362.063/43,200.0 + 15.436/105,269,009.6 + 321.430/105,923,872.7 = 11.562 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.6 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ $f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	4.398	3.679	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	3.103	2.516	20.000	20.000
1+2+3+5+6	2.713	1.590	10.800	10.800	5.373	4.046	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	1.266	0.426	10.800	10.800	2.185	1.534	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.206	-0.606	12.420	2.174	0.827	0.194	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	2.326	1.458	12.420	12.420	3.543	2.873	23.000	23.000
1+2+4+5+6	0.631	0.370	13.500	13.500	1.167	0.811	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	2.714	1.591	13.500	13.500	2.911	1.987	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	1.267	0.427	13.500	13.500	-0.278	-0.526	3.125	3.125
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.208	-0.605	14.580	2.552	-1.636	-1.866	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	2.327	1.459	14.580	14.580	1.080	0.813	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	23.126	-34.960	198.962	215.000				
1+5+6	27.216	-30.210	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	37.035	-80.069	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	59.163	-55.565	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	75.328	-37.912	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	42.998	-73.218	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	16.545	-22.219	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	24.086	-60.513	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	46.213	-36.008	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	62.378	-18.355	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	30.048	-53.662	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.014	0.026	0.008	0.008	0.022	0.035	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.016	0.020	0.008	0.008	0.024	0.028	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.030	0.139	0.008	0.008	0.038	0.147	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.057	0.067	0.008	0.008	0.066	0.075	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.073	0.024	0.008	0.008	0.081	0.032	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.024	0.088	0.008	0.008	0.032	0.096	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.004	0.007	0.006	0.006	0.010	0.013	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.008	0.051	0.005	0.005	0.014	0.056	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.030	0.018	0.005	0.005	0.035	0.023	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.046	0.004	0.005	0.005	0.052	0.009	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.011	0.034	0.005	0.005	0.016	0.040	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{75.328}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.492}{125.000}\right)^2 = 0.073 + 0.008 = 0.081 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-80.069}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.492}{125.000}\right)^2 = 0.139 + 0.008 = 0.147 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 23.126)} = 3.05 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 599.6 / (206 \times 1.200) = 2.4 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 75.328)} = 1.69 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

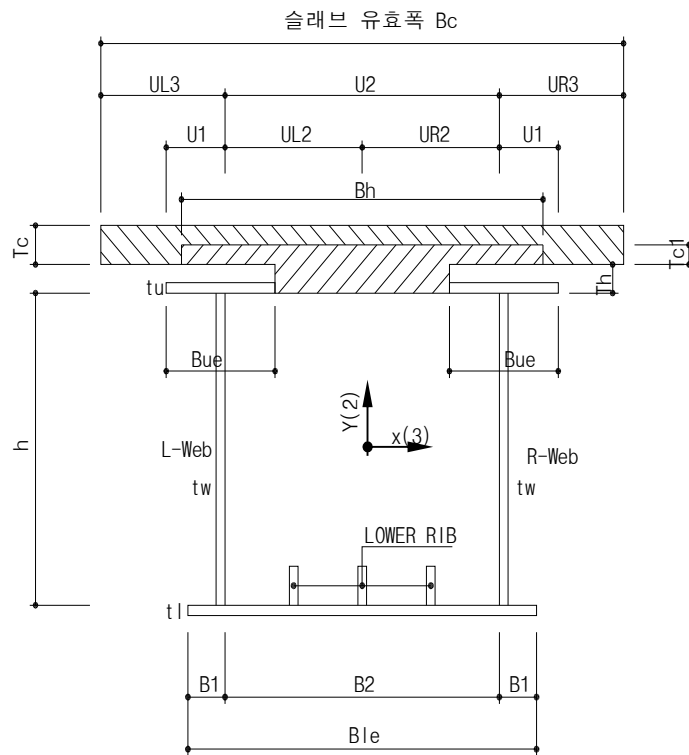
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	5.718	4.782	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	4.422	3.619	30.000	0.K !!
1+2+3+11	4.239	2.074	16.200	0.K !!	8.795	6.433	30.000	0.K !!
1+2+3-11	6.359	4.137	16.200	0.K !!	11.511	9.112	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	5.299	3.106	16.200	0.K !!	8.857	6.609	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.852	1.942	16.200	0.K !!	5.669	4.097	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)+11	2.792	0.910	16.200	0.K !!	4.311	2.757	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)-11	4.912	2.974	16.200	0.K !!	7.027	5.436	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	0.819	0.480	16.200	0.K !!	1.905	1.402	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	4.241	2.075	16.200	0.K !!	8.796	6.434	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	6.360	4.138	16.200	0.K !!	11.512	9.113	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	5.301	3.106	16.200	0.K !!	5.656	3.931	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	3.854	1.943	16.200	0.K !!	2.467	1.418	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	2.794	0.911	16.200	0.K !!	1.109	0.079	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	4.913	2.974	16.200	0.K !!	3.825	2.758	30.000	0.K !!
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별				
	상 연	하 연						
1	30.064	-45.448	355.000	0.K !!				
1+5+6	34.154	-40.698	355.000	0.K !!				
1+2+3+11	65.408	-125.185	355.000	0.K !!				
1+2+3-11	33.078	-160.491	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6	53.334	-138.088	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	75.461	-113.584	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)+11	91.626	-97.419	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)-11	57.808	-131.237	355.000	0.K !!				
1+2+4+5+6	20.278	-30.293	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+11	65.414	-125.212	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4-11	33.084	-160.519	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+5+6	36.498	-112.656	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	58.625	-88.152	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	74.790	-70.499	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	42.460	-105.805	355.000	0.K !!				

[G1 : 최대모멘트] : 절점 33 로 부터 이격거리 2.499 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,500.0 mm

UL3 = 1,000.0 mm

UR3 = 1,100.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Tc1 = 90.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	2,790.867
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	3,488.592
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,695.706
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	74.316
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	4,421.452
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	2.796
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-1.972
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	1.318
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	322.792
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	17.834
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-27.892
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-24.457
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-308.950

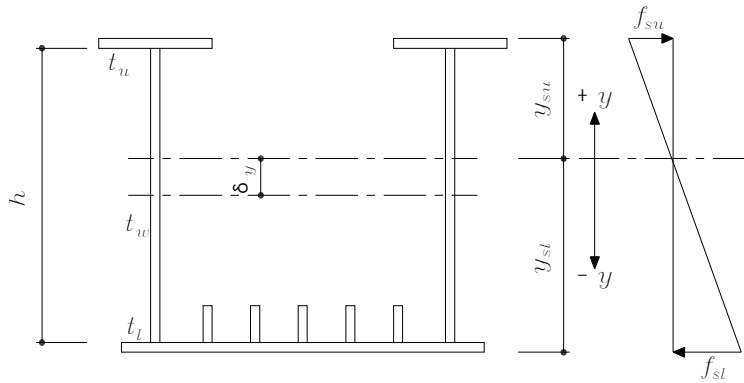
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구분	규격		$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	2	- 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0	- 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1	- 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1	- 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2	- 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1	- 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계			86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10
RC. SLAB	1	- 2,500.0 × 150.0	375,000.0	1,115.0	4.181E+08	4.662E+11	7.031E+08
RC. SLAB	1	- 950.0 × 240.0	228,000.0	1,070.0	2.440E+08	2.610E+11	1.094E+09
RC. SLAB	1	- 1,050.0 × 240.0	252,000.0	1,070.0	2.696E+08	2.885E+11	1.210E+09
SLAB 단면 합계			855,000.0	-	9.317E+08	1.016E+12	3.007E+09
Half-deck	1	- 2,500.0 × 90.0	225,000.0	995.0	2.239E+08	2.228E+11	1.519E+08
	1	- 1,840.0 × 50.0	92,000.0	925.0	8.510E+07	7.872E+10	1.917E+07
Half-deck 단면 합계			317,000.0	-	3.090E+08	3.015E+11	1.710E+08
※ $A_s = 86,480.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 855,000.0 \text{ mm}^2$ $A_h = 317,000.0 \text{ mm}^2$							

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2 = 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978E+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2 = 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2 = (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,790.87 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.248 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,790.87 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.553 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,488.59 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 5.310 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,488.59 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.441 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{s1} \cdot y_{su} / I_{33} = 2,790.87 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 22.335 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{s1} \cdot y_{sl} / I_{33} = 2,790.87 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -33.765 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 3,488.59 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 27.919 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 3,488.59 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -42.206 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / Gh = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 2.796 / 43,200.0 + 17.834 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.234 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$\begin{aligned} f_{hu,v} &= M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 2,695.71 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.296 \text{ MPa} \\ f_{hl,v} &= M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 2,695.71 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.874 \text{ MPa} \end{aligned}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$\begin{aligned} f_{su,v} &= M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 2,695.71 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 5.606 \text{ MPa} \\ f_{sl,v} &= M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 2,695.71 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -28.468 \text{ MPa} \end{aligned}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$\begin{aligned} B_w &= UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm} \\ B_l &= B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm} \\ H &= h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm} \\ \text{전단탄성계수비 } n_{hs} &= G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6 \\ F_v &= (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2 \\ u &= V_{sc}/A_w + M_{sc}t/(2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 1.972 / 43,200.0 + 27.892 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.309 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$\begin{aligned} f_{cu,v} &= M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 4,421.45 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 2.541 \text{ MPa} \\ f_{cl,v} &= M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 4,421.45 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 1.489 \text{ MPa} \end{aligned}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$\begin{aligned} f_{hu,v} &= M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 4,421.45 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 2.126 \text{ MPa} \\ f_{hl,v} &= M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 4,421.45 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 1.434 \text{ MPa} \end{aligned}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$\begin{aligned} f_{su,v} &= M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 4,421.45 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 9.195 \text{ MPa} \\ f_{sl,v} &= M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 4,421.45 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -46.692 \text{ MPa} \end{aligned}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$\begin{aligned} B_w &= UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm} \\ B_l &= B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm} \\ H &= h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm} \\ \text{전단탄성계수비 } n_{hs} &= G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6 \\ F &= (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2 \\ u &= V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 322.792 / 43,200.0 + 308.950 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 10.389 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 1.32 \times 579.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 1.32 \times 339.8 / (144,144,512,711.7 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 1.32 \times 429.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 1.32 \times 289.8 / (144,144,512,711.7 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 1.32 \times 299.8 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = 0.003 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 1.32 \times -1,522.2 / (144,144,512,711.7 \times 1.0) = -0.014 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 1.318 / 43,200.0 + 24.457 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.261 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = 0.498 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5/2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h/n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0/6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{st} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 2,790.9 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 1.244E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 1,243,818.9 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 4.975E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 497,527.5 \times 853.5 = 4.246E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,790.87 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.248 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,790.87 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.553 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi} / A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1} / I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0} / E_h = (1/7.8) \times (497,527.5/127,383.2 + 0.498 \times 424,644,506.8 \times 918.8/83,729,142,983.3) - 26,321.6 \times 4.248 \times 0.5/32,902.0 = -0.896 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi} / A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1} / I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0} / E_h = (1/7.8) \times (497,527.5/127,383.2 + 0.498 \times 424,644,506.8 \times 778.8/83,729,142,983.3)$$

$$- 26,321.6 \times 3.553 \times 0.5 / 32,902.0 = -0.664 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,vh1} &= P_{\phi hi} / A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1} / I_{vh1} \\ &= 497,527.5 / 127,383.2 + 0.498 \times 424,644,506.8 \times 788.8 / 83,729,142,983.3 = 5.897 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,vh1} &= P_{\phi hi} / A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1} / I_{vh1} \\ &= 497,527.5 / 127,383.2 + 0.498 \times 424,644,506.8 \times -1,033.2 / 83,729,142,983.3 = 1.298 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = 0.498 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.525 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.552 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 4.113 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 0.837 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = 0.485 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (429.8 + 289.8) / 2 = 359.779 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	237,839.4	1,781.9	1.371E+08	1.797E+11	4.031E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 137,148,450.0 / 237,839.4 = 576.643 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 576.643 = 398.042 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,310,996,511.7 + 179,706,397,621.4 - 237,839.4 \times 576.643^2 = 1.409E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 576.643 = 613.357 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 613.357 - 240.0 = 373.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 576.643 = 463.357 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 463.357 - (90.0+50.0) = 323.357 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 576.643 = 333.357 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 333.357 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,488.643 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 1,243,818.9 + (5.186+4.100) / 2 \times 317,000.0 \times 364.5 / 359.8 = 2.735E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 2,734,807.6 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 2.344E+06 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 2,344,120.8 \times 398.0 = 9.331E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2}$$

$$= 4.248 + 5.310 + 1.296 + -0.896 + -0.525 = 9.434 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hlt} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2}$$

$$= 3.553 + 4.441 + 0.874 + -0.664 + -0.552 = 7.653 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,344,121/237,839 + 0.485 \times 933,057,490 \times 613/140,931,701,824) = 1.690 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,344,121/237,839 + 0.485 \times 933,057,490 \times 373/140,931,701,824) = 1.579 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,344,120.8/237,839.4 + 0.485 \times 933,057,489.5 \times 463.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 9.434 \times 1.5/32,902.0 = -7.041 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,344,120.8/237,839.4 + 0.485 \times 933,057,489.5 \times 323.4/140,931,701,824.0)$$

$$- 18,801.1 \times 7.653 \times 1.5/32,902.0 = -5.555 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,344,120.8/237,839.4 + 0.485 \times 933,057,489.5 \times 333.4/140,931,701,824.0 = 10.927 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,344,120.8/237,839.4 + 0.485 \times 933,057,489.5 \times -1,488.6/140,931,701,824.0 = 5.072 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = 0.485 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	122,142.9	1,089.7	1.331E+08	1.450E+11	4.905E+08	
합 계	-	229,074.5	1,781.9	1.286E+08	1.714E+11	4.030E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 128,605,362.4 / 229,074.5 = 561.413 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 561.413 = 413.272 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,297,420,195.0 + 171,379,582,233.0 - 229,074.5 \times 561.413^2 = 1.395E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 561.413 = 628.587 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 628.587 - 240.0 = 388.587 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 561.413 = 478.587 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 478.587 - (90.0+50.0) = 338.587 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 561.413 = 348.587 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 348.587 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,473.413 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

- P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 413.3 = 3.899E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

- SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.485 \times 389,851,806 \times 629/139,476,293,053) = 0.710 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/229,074 + 0.485 \times 389,851,806 \times 389/139,476,293,053) = 0.664 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

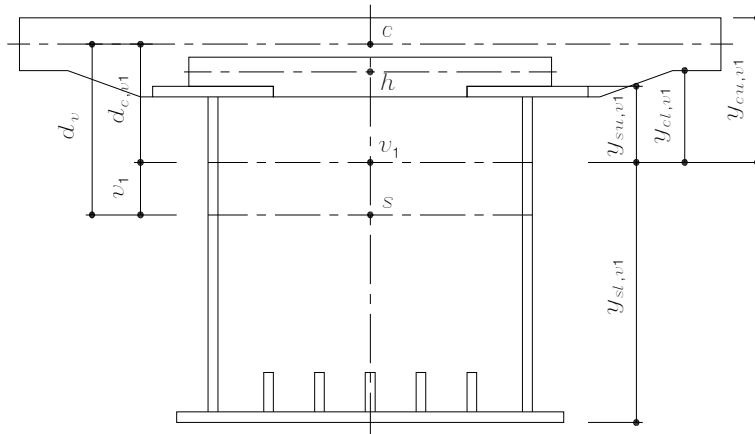
$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times 478.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.668 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times 338.6/139,476,293,052.8) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.680 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times 348.6/139,476,293,052.8 = 4.591 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/229,074.5 + 0.485 \times 389,851,805.8 \times -1,473.4/139,476,293,052.8 = 2.119 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = 0.485 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (579.8 + 339.779) / 2 = 459.779 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	61,071.4	1,089.7	6.655E+07	7.252E+10	2.452E+08	
합 계	-	198,680.5	1,781.9	9.195E+07	1.280E+11	4.010E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 91,954,383.1 / 198,680.5 = 462.825 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,089.737 - 462.825 = 626.911 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,099,691,532.8 + 127,999,503,291.5 - 198,680.5 \times 462.825^2 = 1.255E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 462.825 = 727.175 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 727.175 - 240.0 = 487.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 462.825 = 577.175 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 577.175 - (90.0 + 50.0) = 437.175 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 462.825 = 447.175 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 447.175 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,374.825 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s} \\ = (1.549 + 0.908) / 2 \times 855,000.0 \times 479.515 / 459.779 = 1.095E+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,095,330.2 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.095E+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,095,330.2 \times 626.9 = 6.867E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 1.549 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.908 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,095,330.2 / 198,680.5 + 0.485 \times 686,674,922.0 \times 727.2 / 125,540,361,700.1) \\ - 13,902.0 \times 1.549 \times 2.0 / 27,804.0 = -1.017 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,095,330.2 / 198,680.5 + 0.485 \times 686,674,922.0 \times 487.2 / 125,540,361,700.1) \\ - 13,902.0 \times 0.908 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.422 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

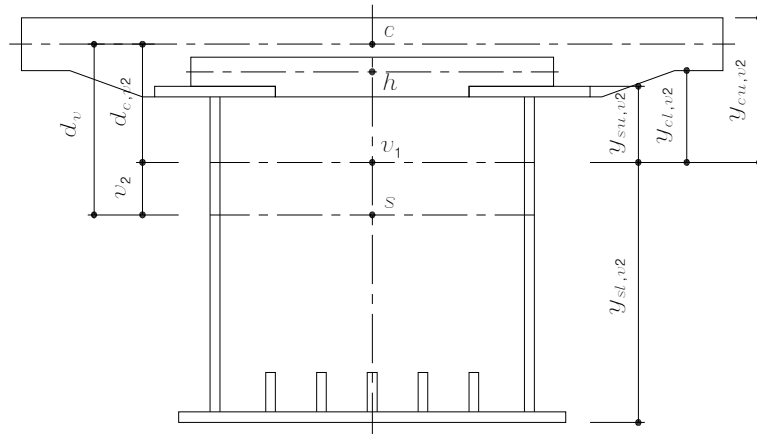
$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,095,330.2 / 198,680.5 + 0.485 \times 686,674,922.0 \times 577.2 / 125,540,361,700.1) = 1.136 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,095,330.2 / 198,680.5 + 0.485 \times 686,674,922.0 \times 437.2 / 125,540,361,700.1) = 1.076 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ = 1,095,330.2 / 198,680.5 + 0.485 \times 686,674,922.0 \times 447.2 / 125,540,361,700.1 = 6.699 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ = 1,095,330.2 / 198,680.5 + 0.485 \times 686,674,922.0 \times -1,374.8 / 125,540,361,700.1 = 1.866 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = 0.485 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	40,714.3	1,089.7	4.437E+07	4.835E+10	1.635E+08	
합 계	-	178,323.3	1,781.9	6.977E+07	1.038E+11	4.002E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 69,770,454.6 / 178,323.3 = 391.258 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,089.737 - 391.258 = 698.479 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,017,942,942.6 + 103,824,859,024.6 - 178,323.3 \times 391.258^2 = 1.165E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 391.258 = 798.742 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 798.742 - 240.0 = 558.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 391.258 = 648.742 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 648.742 - (90.0 + 50.0) = 508.742 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 391.258 = 518.742 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 518.742 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,303.258 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 855,000.0 / 21.0 = 2.254E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,253,535.7 \times 698.5 = 1.574E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/798.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.785 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/558.7) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.860 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/648.7) = 2.724 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/508.7) = 2.576 \text{ MPa}$$

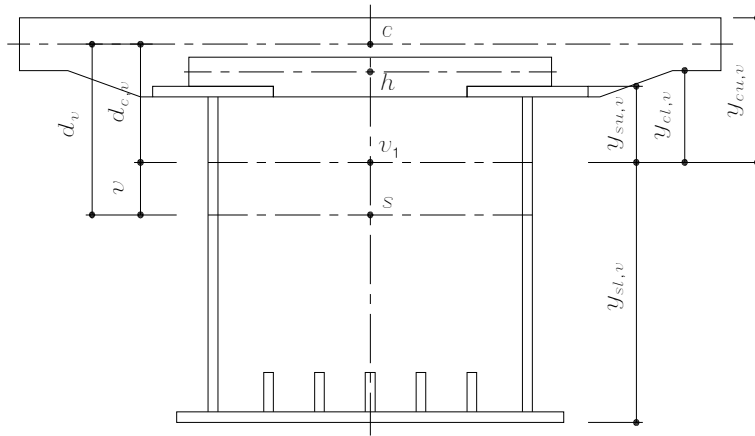
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times 518.7/116,544,541,789.2 = 16.035 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,253,535.7/178,323.3 + 0.485 \times 1,574,046,639.5 \times -1,303.3/116,544,541,789.2 = 4.101 \text{ MPa}$$



(11) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

$$d_{h,v} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 610.221 = 364.463 \text{ mm}$$

$$d_{c,v} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,089.737 - 610.221 = 479.515 \text{ mm}$$

- 온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vc1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 317,000.0 / 6.2 = 1.258\text{E}+06 \text{ N}$$

- SLAB 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vh2} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 855,000.0 / 7.0 = 3.005\text{E}+06 \text{ N}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = P_{vc1} + P_{vh2} = 1,257,774.2 + 3,004,714.285714 = 4.262\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{vc1} \times d_{h,v} + P_{vh2} \times d_{c,v} = 1,257,774.2 \times 364.5 + 3,004,714.3 \times 479.5 = 1.899\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 579.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.463 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 339.8/144,144,512,711.7) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.682 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hu,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 429.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -0.859 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hl,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 289.8/144,144,512,711.7) - 32,902.0 \times 0.000120 = -1.003 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times 299.8/144,144,512,711.7 = 18.326 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,262,488.5/259,751.9 + 0.485 \times 1,899,219,115.5 \times -1,522.2/144,144,512,711.7 = 6.682 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 327.560/43,200.0 + 17.834/105,269,009.6 + 336.842/105,923,872.7 = 10.932 \text{ MPa}$$

※ $u = 10.9 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 327.560/43,200.0 + 17.834/105,269,009.6 + 336.842/105,923,872.7 = 10.932 \text{ MPa}$$

※ $u = 10.9 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 328.219/43,200.0 + 17.834/105,269,009.6 + 349.070/105,923,872.7 = 11.063 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.1 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ $f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	9.558	7.994	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	8.138	6.779	20.000	20.000
1+2+3+5+6	4.090	2.397	10.800	10.800	11.560	9.086	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.687	2.358	10.800	10.800	5.711	4.503	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	3.224	1.676	12.420	12.420	4.853	3.500	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	4.150	3.040	12.420	12.420	6.570	5.505	23.000	23.000
1+2+4+5+6	1.550	0.908	13.500	13.500	4.125	3.212	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	4.090	2.397	13.500	13.500	6.251	4.646	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	3.687	2.359	13.500	13.500	0.401	0.062	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	3.224	1.677	14.580	14.580	-0.457	-0.941	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	4.150	3.041	14.580	14.580	1.260	1.065	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	50.255	-75.971	198.962	215.000				
1+5+6	60.265	-73.836	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	75.066	-148.996	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	113.319	-135.839	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	131.645	-129.156	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	94.994	-142.521	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	37.954	-60.111	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	47.148	-106.797	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	85.401	-93.640	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	103.727	-86.957	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	67.076	-100.322	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.064	0.125	0.008	0.008	0.071	0.133	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.079	0.118	0.008	0.008	0.086	0.126	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.122	0.480	0.008	0.008	0.130	0.488	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.210	0.399	0.008	0.008	0.218	0.407	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.222	0.273	0.008	0.008	0.229	0.281	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.116	0.332	0.008	0.008	0.123	0.340	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.020	0.050	0.005	0.005	0.025	0.055	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.031	0.158	0.005	0.005	0.036	0.163	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.101	0.121	0.005	0.005	0.106	0.126	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.128	0.090	0.005	0.005	0.133	0.095	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.053	0.119	0.005	0.005	0.058	0.124	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{131.645}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{10.932}{125.000}\right)^2 = 0.222 + 0.008 = 0.229 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-148.996}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{10.932}{125.000}\right)^2 = 0.480 + 0.008 = 0.488 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 50.255)} = 2.07 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 599.6 / (206 \times 1.200) = 2.4 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 131.645)} = 1.28 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

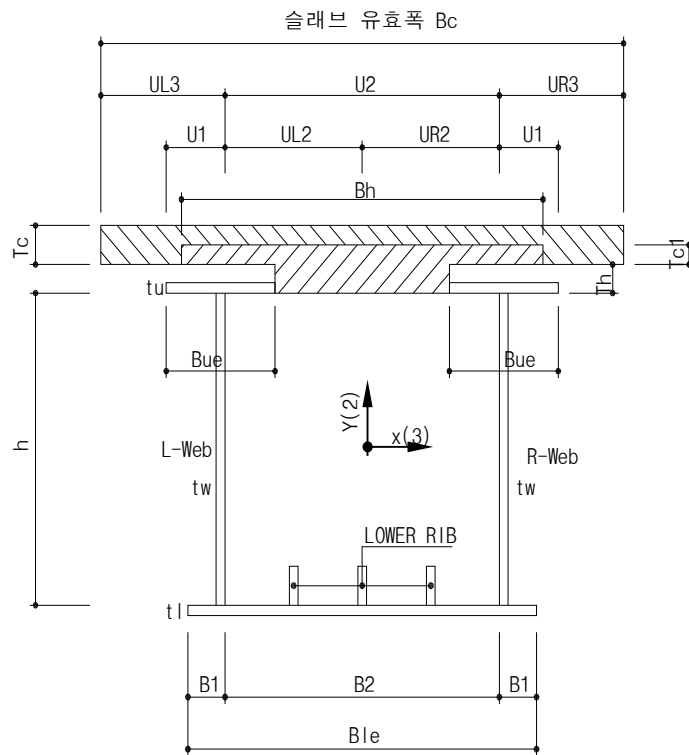
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	12.426	10.392	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	11.005	9.177	30.000	0.K !!
1+2+3+11	7.013	3.699	16.200	0.K !!	17.824	13.608	30.000	0.K !!
1+2+3-11	7.939	5.063	16.200	0.K !!	19.541	15.613	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	7.476	4.381	16.200	0.K !!	17.262	13.396	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	7.073	4.343	16.200	0.K !!	11.413	8.812	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)+11	6.610	3.661	16.200	0.K !!	10.554	7.809	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)-11	7.536	5.025	16.200	0.K !!	12.271	9.814	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	2.014	1.181	16.200	0.K !!	5.788	4.540	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	7.013	3.699	16.200	0.K !!	17.824	13.608	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	7.939	5.063	16.200	0.K !!	19.541	15.614	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	7.476	4.381	16.200	0.K !!	10.359	7.622	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	7.074	4.343	16.200	0.K !!	4.510	3.039	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	6.611	3.661	16.200	0.K !!	3.651	2.036	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	7.537	5.025	16.200	0.K !!	5.369	4.041	30.000	0.K !!
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별				
	상 연	하 연						
1	65.331	-98.762	355.000	0.K !!				
1+5+6	75.341	-96.627	355.000	0.K !!				
1+2+3+11	110.715	-229.476	355.000	0.K !!				
1+2+3-11	74.064	-242.841	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6	102.399	-234.023	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	140.652	-220.866	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)+11	158.978	-202.541	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)-11	133.970	-227.549	355.000	0.K !!				
1+2+4+5+6	46.337	-78.781	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+11	110.716	-229.483	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4-11	74.065	-242.848	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+5+6	66.106	-179.162	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	104.358	-166.005	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	122.684	-159.323	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	86.033	-172.688	355.000	0.K !!				

[G2 : 최대모멘트] : 절점 41 로 부터 이격거리 2.473 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Tc1 = 90.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	2,780.857
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	3,496.021
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,869.624
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	48.065
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	4,377.997
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-0.968
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	3.238
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-0.258
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-322.629
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-33.247
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	33.556
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-33.899
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-376.398

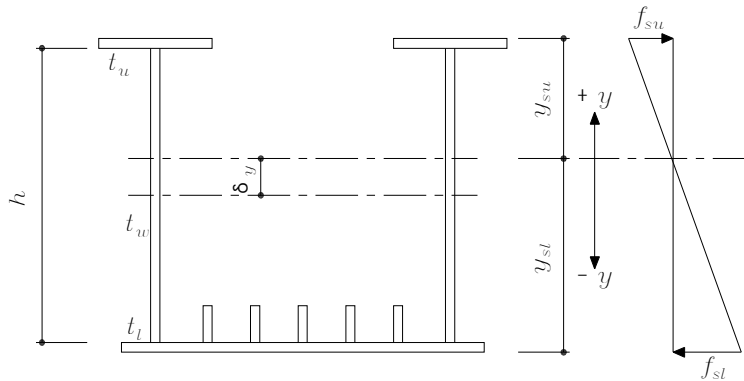
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10
RC. SLAB	1 - 2,500.0 × 150.0	375,000.0	1,115.0	4.181E+08	4.662E+11	7.031E+08
RC. SLAB	1 - 1,050.0 × 240.0	252,000.0	1,070.0	2.696E+08	2.885E+11	1.210E+09
RC. SLAB	1 - 1,120.0 × 240.0	268,800.0	1,070.0	2.876E+08	3.077E+11	1.290E+09
SLAB 단면 합계		895,800.0	-	9.754E+08	1.062E+12	3.203E+09
Half-deck	1 - 2,500.0 × 90.0	225,000.0	995.0	2.239E+08	2.228E+11	1.519E+08
	1 - 1,840.0 × 50.0	92,000.0	925.0	8.510E+07	7.872E+10	1.917E+07
Half-deck 단면 합계		317,000.0	-	3.090E+08	3.015E+11	1.710E+08
※ $A_s = 86,480.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 895,800.0 \text{ mm}^2$ $A_h = 317,000.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2 = 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978E+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2 = 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2 = (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

- Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.233 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.540 \text{ MPa}$$

- 바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,496.02 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 5.321 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,496.02 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.450 \text{ MPa}$$

■ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{st} \cdot y_{su} / I_{33} = 2,780.86 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 22.255 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{st} \cdot y_{sl} / I_{33} = 2,780.86 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -33.644 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 3,496.02 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 27.979 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 3,496.02 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -42.296 \text{ MPa}$$

■ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

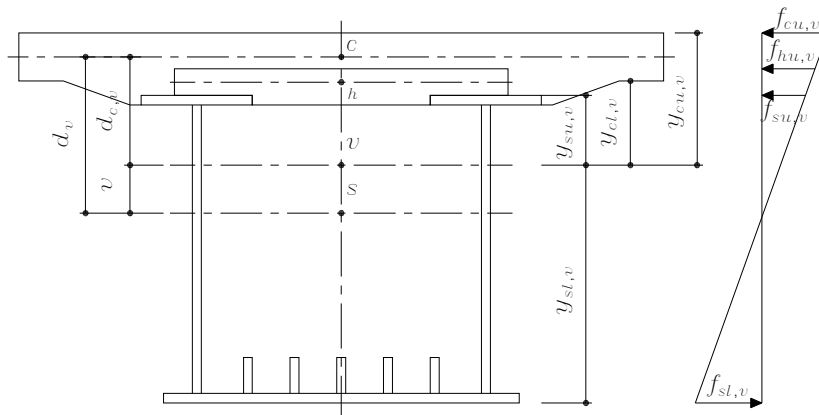
$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 0.968 / 43,200.0 + 33.247 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.338 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(2) 합 성 후

- SLAB에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yc} = \sum A_c Y / \sum A_c = 975,381,000.0 / 895,800.0 = 1,088.838 \text{ mm}$$

- SLAB의 단면2차 모멘트

$$I_c = \sum I_{xoc} + \sum A_c Y^2 - A_c \cdot \delta_{yc}^2 = 3,202,965,000.0 + 1,062,473,295,000.0 - 895,800.0 \times 1,088.838^2 = 3.644\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	<i>n</i>	<i>A_v</i> (mm ²)	<i>Y</i> (mm)	<i>A</i> · <i>Y</i> (mm ³)	<i>A</i> · <i>Y</i> ² (mm ⁴)	<i>I_{xo}</i> (mm ⁴)	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	265,580.5	1,781.0	1.647E+08	2.072E+11	4.038E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v2} = \sum AY / \sum A = 164,742,740.3 / 265,580.5 = 620.312 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = \sum I_{xo} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v2}^2 = 40,375,081,514.2 + 207,194,400,453.0 - 265,580.5 \times 620.312^2 = 1.454\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 620.312 = 569.688 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = d_{cu,v} - T_c = 569.688 - 240.0 = 329.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 620.312 = 419.688 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v} = d_{hu,v} - (T_{c1} + T_h) = 419.688 - (90.0 + 50.0) = 279.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = h/2 + t_u - \delta_{v2} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 620.312 = 289.688 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = d_{su,v} - (h + t_u + t_l) = 289.688 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,532.312 \text{ mm}$$

- SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 1.606 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.930 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.336 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.890 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 5.718 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 2,869.62 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -30.246 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 3.238 / 43,200.0 + 33.556 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.392 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 2.451 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 1.418 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 2.039 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.359 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 8.724 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 4,378.00 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -46.145 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 322.629 / 43,200.0 + 376.398 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 11.022 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = -0.26 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 0.003 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 0.258 / 43,200.0 + 33.899 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.326 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = 0.497 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 2,780.9 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 1.239E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 1,239,357.7 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 4.957E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 495,743.1 \times 853.5 = 4.231E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.233 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,780.86 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.540 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times 918.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 4.233 \times 0.5/32,902.0 = -0.893 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times 778.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 3.540 \times 0.5/32,902.0 = -0.662 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 5.872 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 495,743.1/127,383.2 + 0.497 \times 423,121,434.7 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.298 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = 0.497 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.525 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.552 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 4.111 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.497 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 0.840 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = 0.484 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 620.312 = 354.373 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (419.7 + 279.7) / 2 = 349.688 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	243,668.0	1,781.0	1.434E+08	1.864E+11	4.034E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 143,385,021.4 / 243,668.0 = 588.444 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 588.444 = 386.240 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,341,140,722.4 + 186,377,361,982.1 - 243,668.0 \times 588.444^2 = 1.423E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 588.444 = 601.556 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 601.556 - 240.0 = 361.556 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 588.444 = 451.556 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 451.556 - (90.0 + 50.0) = 311.556 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 588.444 = 321.556 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 321.556 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,500.444 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 1,239,357.7 + (5.239 + 4.128) / 2 \times 317,000.0 \times 354.4 / 349.7 = 2.744E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 2,743,919.1 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 2.352E+06 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 2,351,930.7 \times 386.2 = 9.084E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2}$$

$$= 4.233 + 5.321 + 1.336 + -0.893 + -0.525 = 9.472 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hl1} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2}$$

$$= 3.540 + 4.450 + 0.890 + -0.662 + -0.552 = 7.668 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,351,931/243,668 + 0.484 \times 908,410,613 \times 602/142,344,424,854) = 1.645 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,351,931/243,668 + 0.484 \times 908,410,613 \times 362/142,344,424,854) = 1.539 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,351,930.7/243,668.0 + 0.484 \times 908,410,612.9 \times 451.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 9.472 \times 1.5/32,902.0 = -7.101 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,351,930.7/243,668.0 + 0.484 \times 908,410,612.9 \times 311.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 7.668 \times 1.5/32,902.0 = -5.594 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,351,930.7/243,668.0 + 0.484 \times 908,410,612.9 \times 321.6/142,344,424,854.4 = 10.646 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,351,930.7/243,668.0 + 0.484 \times 908,410,612.9 \times -1,500.4/142,344,424,854.4 = 5.013 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = 0.484 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	234,903.0	1,781.0	1.348E+08	1.781E+11	4.033E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 134,841,933.8 / 234,903.0 = 574.032 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 574.032 = 400.652 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,327,564,405.7 + 178,050,546,593.7 - 234,903.0 \times 574.032^2 = 1.410E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 574.032 = 615.968 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 615.968 - 240.0 = 375.968 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 574.032 = 465.968 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 465.968 - (90.0 + 50.0) = 325.968 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 574.032 = 335.968 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 335.968 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,486.032 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

■ P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 400.7 = 3.779E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

■ SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.484 \times 377,947,536 \times 616/140,974,485,216) = 0.688 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.484 \times 377,947,536 \times 376/140,974,485,216) = 0.643 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + 0.484 \times 377,947,535.9 \times 466.0/140,974,485,216.3) - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.678 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + 0.484 \times 377,947,535.9 \times 326.0/140,974,485,216.3) - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.689 \text{ MPa}$$

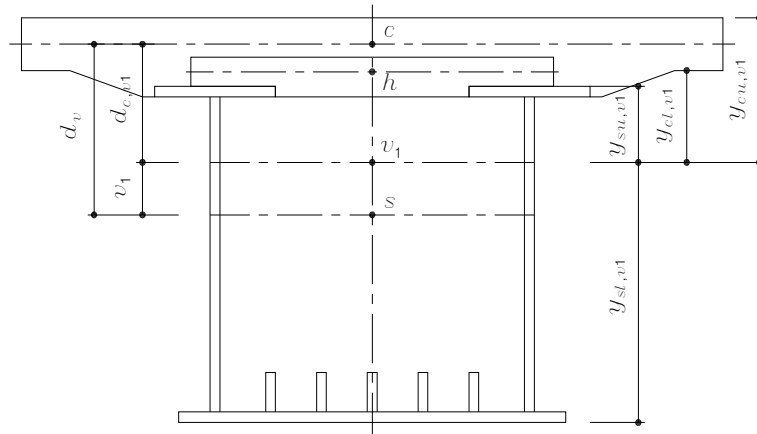
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/234,903.0 + 0.484 \times 377,947,535.9 \times 336.0/140,974,485,216.3 = 4.452 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/234,903.0 + 0.484 \times 377,947,535.9 \times -1,486.0/140,974,485,216.3 = 2.086 \text{ MPa}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = 0.484 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,088.838 - 620.312 = 468.526 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (569.7 + 329.688) / 2 = 449.688 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	63,985.7	1,088.8	6.967E+07	7.586E+10	2.603E+08	
합 계	-	201,594.7	1,781.0	9.507E+07	1.313E+11	4.011E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 95,072,668.8 / 201,594.7 = 471.603 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,088.838 - 471.603 = 617.235 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,114,763,638.2 + 131,334,985,471.9 - 201,594.7 \times 471.603^2 = 1.266E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 471.603 = 718.397 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 718.397 - 240.0 = 478.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 471.603 = 568.397 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 568.397 - (90.0 + 50.0) = 428.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 471.603 = 438.397 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 438.397 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,383.603 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s} \\ = (1.606 + 0.930) / 2 \times 895,800.0 \times 468.526 / 449.688 = 1.184E+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,183,516.2 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.184E+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,183,516.2 \times 617.2 = 7.305E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 1.606 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.930 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,183,516.2 / 201,594.7 + 0.484 \times 730,507,599.8 \times 718.4 / 126,613,201,943.9) \\ - 13,902.0 \times 1.606 \times 2.0 / 27,804.0 = -1.044 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,183,516.2 / 201,594.7 + 0.484 \times 730,507,599.8 \times 478.4 / 126,613,201,943.9) \\ - 13,902.0 \times 0.930 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.415 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

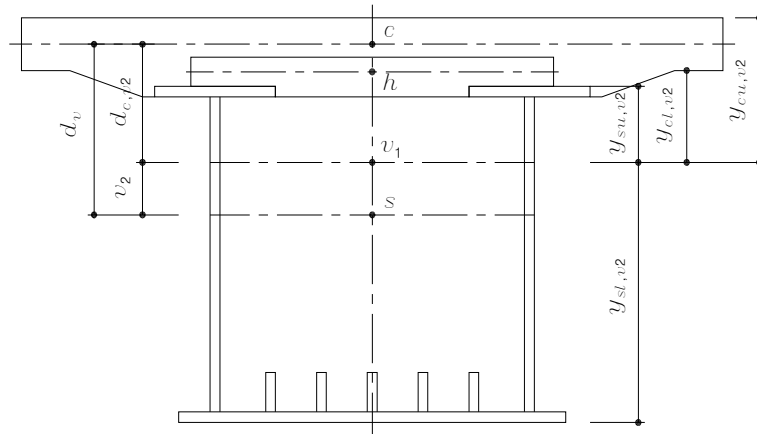
$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,183,516 / 201,595 + 0.484 \times 730,507,600 \times 568 / 126,613,201,944) = 1.203 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,183,516 / 201,595 + 0.484 \times 730,507,600 \times 428 / 126,613,201,944) = 1.140 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ = 1,183,516.2 / 201,594.7 + 0.484 \times 730,507,599.8 \times 438.4 / 126,613,201,943.9 = 7.095 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ = 1,183,516.2 / 201,594.7 + 0.484 \times 730,507,599.8 \times -1,383.6 / 126,613,201,943.9 = 2.007 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = 0.484 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	42,657.1	1,088.8	4.645E+07	5.057E+10	1.735E+08	
합 계	-	180,266.2	1,781.0	7.185E+07	1.060E+11	4.003E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 71,849,311.7 / 180,266.2 = 398.573 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,088.838 - 398.573 = 690.264 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,027,991,012.8 + 106,048,513,811.5 - 180,266.2 \times 398.573^2 = 1.174E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 398.573 = 791.427 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 791.427 - 240.0 = 551.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 398.573 = 641.427 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 641.427 - (90.0 + 50.0) = 501.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 398.573 = 511.427 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 511.427 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,310.573 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 895,800.0 / 21.0 = 2.361E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,361,072.9 \times 690.3 = 1.630E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.484 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/791.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.759 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.484 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/551.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.836 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.484 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/641.4) = 2.807 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.484 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/501.4) = 2.656 \text{ MPa}$$

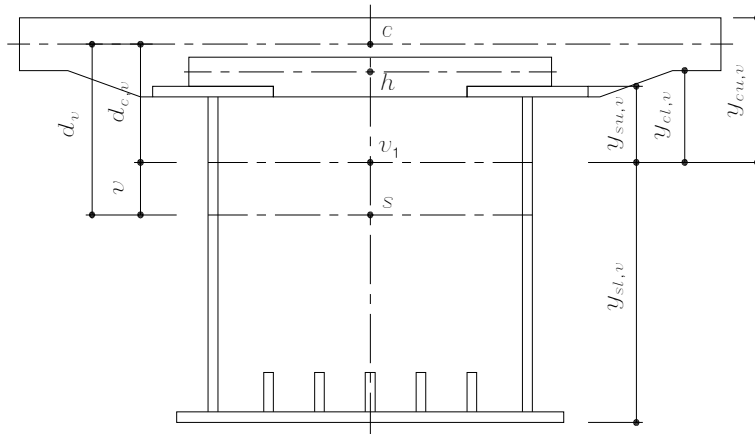
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + 0.484 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/117,439,276,630.0 = 16.533 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + 0.484 \times 1,629,764,676.5 \times -1,310.6/117,439,276,630.0 = 4.295 \text{ MPa}$$



(11) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

$$d_{h,v} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 620.312 = 354.373 \text{ mm}$$

$$d_{c,v} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,088.838 - 620.312 = 468.526 \text{ mm}$$

- 온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vc1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 317,000.0 / 6.2 = 1.258\text{E}+06 \text{ N}$$

- SLAB 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{vh2} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 895,800.0 / 7.0 = 3.148\text{E}+06 \text{ N}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = P_{vc1} + P_{vh2} = 1,257,774.2 + 3,148,097.142857 = 4.406\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{vc1} \times d_{h,v} + P_{vh2} \times d_{c,v} = 1,257,774.2 \times 354.4 + 3,148,097.1 \times 468.5 = 1.921\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,405,871.3/265,580.5 + 0.484 \times 1,920,685,826.9 \times 569.7/145,377,587,318.6) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.446 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/7.0) \times (4,405,871.3/265,580.5 + 0.484 \times 1,920,685,826.9 \times 329.7/145,377,587,318.6) - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.665 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hu,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,405,871.3/265,580.5 + 0.484 \times 1,920,685,826.9 \times 419.7/145,377,587,318.6) - 32,902.0 \times 0.000120 = -0.840 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{hl,v}/I_v) - E_h \cdot \epsilon_t$$

$$= (1/6.2) \times (4,405,871.3/265,580.5 + 0.484 \times 1,920,685,826.9 \times 279.7/145,377,587,318.6) - 32,902.0 \times 0.000120 = -0.984 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.484 \times 1,920,685,826.9 \times 289.7/145,377,587,318.6 = 18.442 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.484 \times 1,920,685,826.9 \times -1,532.3/145,377,587,318.6 = 6.791 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 326.834/43,200.0 + 33.247/105,269,009.6 + 409.953/105,923,872.7 = 11.752 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 326.834/43,200.0 + 33.247/105,269,009.6 + 409.953/105,923,872.7 = 11.752 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.8 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 326.963/43,200.0 + 33.247/105,269,009.6 + 426.903/105,923,872.7 = 11.915 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ $f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	9.554	7.991	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	8.136	6.777	20.000	20.000
1+2+3+5+6	4.057	2.348	10.800	10.800	11.511	9.026	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.587	2.280	10.800	10.800	5.743	4.538	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	3.141	1.614	12.420	12.420	4.903	3.554	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	4.033	2.945	12.420	12.420	6.582	5.522	23.000	23.000
1+2+4+5+6	1.606	0.930	13.500	13.500	4.151	3.217	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	4.057	2.348	13.500	13.500	6.189	4.576	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	3.587	2.279	13.500	13.500	0.421	0.088	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	3.141	1.614	14.580	14.580	-0.419	-0.896	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	4.033	2.945	14.580	14.580	1.261	1.072	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	50.234	-75.940	198.962	215.000				
1+5+6	60.217	-73.802	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	74.659	-150.194	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	113.386	-136.793	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	131.828	-130.002	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	94.944	-143.584	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	37.956	-61.750	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	46.680	-107.896	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	85.407	-94.496	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	103.849	-87.704	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	66.965	-101.287	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.064	0.125	0.009	0.009	0.073	0.134	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.078	0.118	0.009	0.009	0.087	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.121	0.488	0.009	0.009	0.129	0.497	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.210	0.405	0.009	0.009	0.219	0.414	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.222	0.276	0.009	0.009	0.231	0.285	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.115	0.337	0.009	0.009	0.124	0.346	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.020	0.053	0.006	0.006	0.026	0.059	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.030	0.161	0.006	0.006	0.036	0.167	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.101	0.124	0.006	0.006	0.107	0.129	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.128	0.091	0.006	0.006	0.134	0.097	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.053	0.122	0.006	0.006	0.059	0.128	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{131.828}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.752}{125.000}\right)^2 = 0.222 + 0.009 = 0.231 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-150.194}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.752}{125.000}\right)^2 = 0.488 + 0.009 = 0.497 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 50.234)} = 2.07 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 579.4 / (206 \times 1.200) = 2.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 131.828)} = 1.28 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

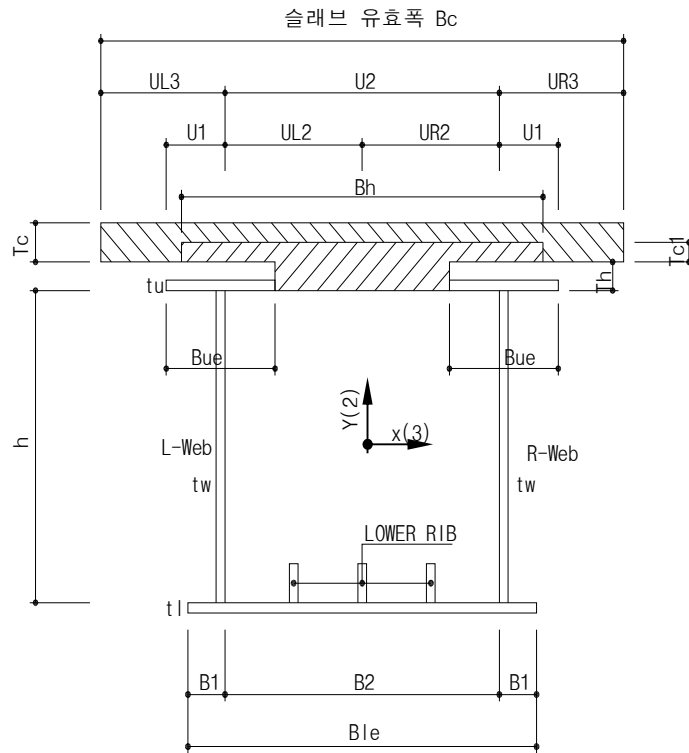
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	12.421	10.388	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	11.002	9.174	30.000	0.K !!
1+2+3+11	6.912	3.593	16.200	0.K !!	17.701	13.482	30.000	0.K !!
1+2+3-11	7.804	4.923	16.200	0.K !!	19.380	15.450	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	7.358	4.258	16.200	0.K !!	17.122	13.253	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	6.888	4.190	16.200	0.K !!	11.354	8.765	30.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	6.441	3.524	16.200	0.K !!	10.514	7.781	30.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	7.334	4.855	16.200	0.K !!	12.194	9.749	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	2.088	1.208	16.200	0.K !!	5.821	4.546	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	6.912	3.593	16.200	0.K !!	17.701	13.482	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	7.804	4.923	16.200	0.K !!	19.380	15.450	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	7.358	4.258	16.200	0.K !!	10.204	7.467	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	6.888	4.189	16.200	0.K !!	4.436	2.979	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	6.441	3.524	16.200	0.K !!	3.596	1.995	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	7.334	4.855	16.200	0.K !!	5.276	3.963	30.000	0.K !!

하 중 조 합	Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연		
1	65.304	-98.722	355.000	0.K !!
1+5+6	75.287	-96.584	355.000	0.K !!
1+2+3+11	109.936	-230.463	355.000	0.K !!
1+2+3-11	73.052	-244.045	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	101.477	-235.116	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	140.204	-221.716	355.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	158.646	-203.274	355.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	133.412	-228.507	355.000	0.K !!
1+2+4+5+6	46.348	-80.917	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	109.936	-230.461	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	73.052	-244.044	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	65.105	-180.130	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	103.831	-166.730	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	122.273	-159.938	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	85.389	-173.521	355.000	0.K !!

[G2 : 최대모멘트] : 절점 51 로 부터 이격거리 3.703 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

$B_c = 4,670.0$ mm

$UL_3 = 1,100.0$ mm

$UR_3 = 1,170.0$ mm

$B_h = 2,500.0$ mm

$U_1 = 120.0$ mm

$UL_2 = 1,200.0$ mm

$UR_2 = 1,200.0$ mm

상부 플랜지 유효폭

$B_{ue} = 400.0$ mm

하부 플랜지 유효폭

$B_{le} = 2,640.0$ mm

$B_1 = 120.0$ mm

$B_2 = 2,400.0$ mm

$T_c = 240.0$ mm

$T_{c1} = 90.0$ mm

$T_h = 50.0$ mm

$h = 1,800.0$ mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	1,261.552
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	1,623.417
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,262.604
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	51.662
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	3,593.153
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-23.718
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-13.478
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-5.930
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-316.019
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-19.215
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-54.034
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-2.662
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-259.927

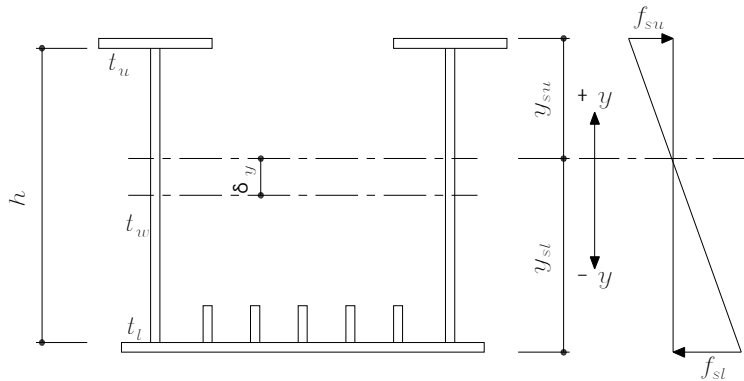
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10
RC. SLAB	1 - 2,500.0 × 150.0	375,000.0	1,115.0	4.181E+08	4.662E+11	7.031E+08
RC. SLAB	1 - 1,050.0 × 240.0	252,000.0	1,070.0	2.696E+08	2.885E+11	1.210E+09
RC. SLAB	1 - 1,120.0 × 240.0	268,800.0	1,070.0	2.876E+08	3.077E+11	1.290E+09
SLAB 단면 합계		895,800.0	-	9.754E+08	1.062E+12	3.203E+09
Half-deck	1 - 2,500.0 × 90.0	225,000.0	995.0	2.239E+08	2.228E+11	1.519E+08
	1 - 1,840.0 × 50.0	92,000.0	925.0	8.510E+07	7.872E+10	1.917E+07
Half-deck 단면 합계		317,000.0	-	3.090E+08	3.015E+11	1.710E+08
※ $A_s = 86,480.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 895,800.0 \text{ mm}^2$ $A_h = 317,000.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2 = 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978E+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2 = 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2 = (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

- Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,261.55 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.920 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,261.55 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.606 \text{ MPa}$$

- 바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,623.42 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.471 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,623.42 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.067 \text{ MPa}$$

■ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{st} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,261.55 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 10.096 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{st} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,261.55 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -15.263 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,623.42 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 12.992 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,623.42 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -19.641 \text{ MPa}$$

■ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

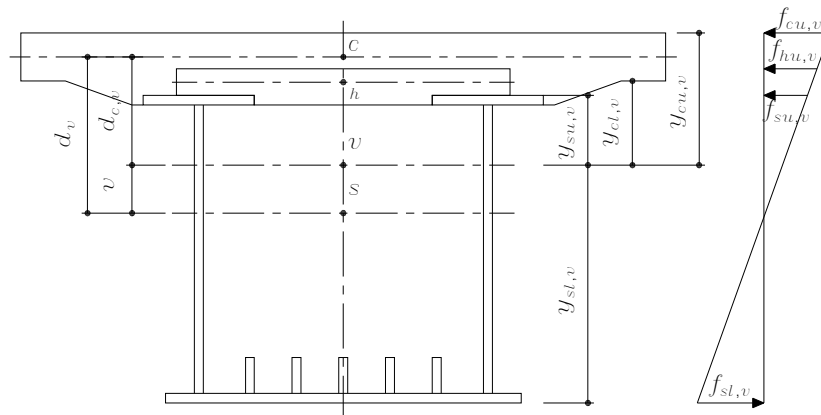
$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 23.718 / 43,200.0 + 19.215 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.732 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- SLAB에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yc} = \sum A_c Y / \sum A_c = 975,381,000.0 / 895,800.0 = 1,088.838 \text{ mm}$$

- SLAB의 단면2차 모멘트

$$I_c = \sum I_{xoc} + \sum A_c Y^2 - A_c \cdot \delta_{yc}^2 = 3,202,965,000.0 + 1,062,473,295,000.0 - 895,800.0 \times 1,088.838^2 = 3.644\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	<i>n</i>	<i>A_v</i> (mm ²)	<i>Y</i> (mm)	<i>A</i> · <i>Y</i> (mm ³)	<i>A</i> · <i>Y</i> ² (mm ⁴)	<i>I_{xo}</i> (mm ⁴)	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	265,580.5	1,781.0	1.647E+08	2.072E+11	4.038E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v2} = \sum AY / \sum A = 164,742,740.3 / 265,580.5 = 620.312 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = \sum I_{xo} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v2}^2 = 40,375,081,514.2 + 207,194,400,453.0 - 265,580.5 \times 620.312^2 = 1.454\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 620.312 = 569.688 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = d_{cu,v} - T_c = 569.688 - 240.0 = 329.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 620.312 = 419.688 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v} = d_{hu,v} - (T_{c1} + T_h) = 419.688 - (90.0 + 50.0) = 279.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = h/2 + t_u - \delta_{v2} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 620.312 = 289.688 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = d_{su,v} - (h + t_u + t_l) = 289.688 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,532.312 \text{ mm}$$

- SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 1,262.60 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.707 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 1,262.60 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.409 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 1,262.60 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.588 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 1,262.60 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.392 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 1,262.60 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 2.516 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 1,262.60 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -13.308 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 13.478 / 43,200.0 + 54.034 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.822 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 3,593.15 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 2.011 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 3,593.15 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 1.164 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 3,593.15 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.673 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 3,593.15 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.115 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 3,593.15 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 7.160 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 3,593.15 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -37.873 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 316.019 / 43,200.0 + 259.927 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 9.769 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = -5.93 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = -0.003 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = -5.93 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = -0.002 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = -5.93 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = -0.003 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = -5.93 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = -0.002 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = -5.93 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -0.012 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = -5.93 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 0.063 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 5.930 / 43,200.0 + 2.662 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.162 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = -0.061 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 1,261.6 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 5.622E+05 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 562,241.8 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 2.249E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 224,896.7 \times 853.5 = 1.920E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,261.55 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.920 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,261.55 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.606 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (224,896.7/127,383.2 + -0.061 \times 191,951,507.1 \times 918.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 1.920 \times 0.5/32,902.0 = -0.557 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (224,896.7/127,383.2 + -0.061 \times 191,951,507.1 \times 778.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 1.606 \times 0.5/32,902.0 = -0.429 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 224,896.7/127,383.2 + -0.061 \times 191,951,507.1 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 1.655 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 224,896.7/127,383.2 + -0.061 \times 191,951,507.1 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.910 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = -0.061 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.734 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.731 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 2.423 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 2.826 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 620.312 = 354.373 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (419.7 + 279.7) / 2 = 349.688 \text{ mm}$$

■ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	243,668.0	1,781.0	1.434E+08	1.864E+11	4.034E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 143,385,021.4 / 243,668.0 = 588.444 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 588.444 = 386.240 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,341,140,722.4 + 186,377,361,982.1 - 243,668.0 \times 588.444^2 = 1.423E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 588.444 = 601.556 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 601.556 - 240.0 = 361.556 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 588.444 = 451.556 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 451.556 - (90.0 + 50.0) = 311.556 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 588.444 = 321.556 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 321.556 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,500.444 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 562,241.8 + (1.768 + 1.299) / 2 \times 317,000.0 \times 354.4 / 349.7 = 1.055E+06 \text{ N}$$

■ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 1,054,740.7 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 9.041E+05 \text{ N}$$

■ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 904,063.5 \times 386.2 = 3.492E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2} = 1.920 + 2.471 + 0.588 + -0.557 + -0.734 = 3.688 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hl1} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2} = 1.606 + 2.067 + 0.392 + -0.429 + -0.731 = 2.905 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (904,063/243,668 + -0.062 \times 349,185,835 \times 602/142,344,424,854) = 0.517 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (904,063/243,668 + -0.062 \times 349,185,835 \times 362/142,344,424,854) = 0.522 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (904,063.5/243,668.0 + -0.062 \times 349,185,835.2 \times 451.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 3.688 \times 1.5/32,902.0 = -2.825 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (904,063.5/243,668.0 + -0.062 \times 349,185,835.2 \times 311.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 2.905 \times 1.5/32,902.0 = -2.152 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 904,063.5/243,668.0 + -0.062 \times 349,185,835.2 \times 321.6/142,344,424,854.4 = 3.661 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 904,063.5/243,668.0 + -0.062 \times 349,185,835.2 \times -1,500.4/142,344,424,854.4 = 3.939 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	234,903.0	1,781.0	1.348E+08	1.781E+11	4.033E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 134,841,933.8 / 234,903.0 = 574.032 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 574.032 = 400.652 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,327,564,405.7 + 178,050,546,593.7 - 234,903.0 \times 574.032^2 = 1.410E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 574.032 = 615.968 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 615.968 - 240.0 = 375.968 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 574.032 = 465.968 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 465.968 - (90.0 + 50.0) = 325.968 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 574.032 = 335.968 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 335.968 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,486.032 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

■ P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 400.7 = 3.779E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

■ SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.062 \times 377,947,536 \times 616/140,974,485,216) = 0.559 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.062 \times 377,947,536 \times 376/140,974,485,216) = 0.565 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

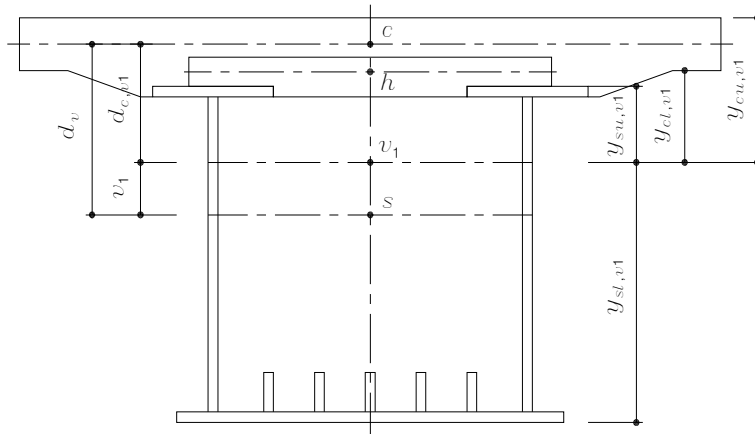
$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times 466.0/140,974,485,216.3) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.722 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh4} &= 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h \\
 &= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times 326.0/140,974,485,216.3) \\
 &\quad - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.720 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times 336.0/140,974,485,216.3 = 3.960 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh4} &= P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4} \\
 &= 943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times -1,486.0/140,974,485,216.3 = 4.263 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = -0.062 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,088.838 - 620.312 = 468.526 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (569.7 + 329.688) / 2 = 449.688 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	63,985.7	1,088.8	6.967E+07	7.586E+10	2.603E+08	
합 계	-	201,594.7	1,781.0	9.507E+07	1.313E+11	4.011E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 95,072,668.8 / 201,594.7 = 471.603 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,088.838 - 471.603 = 617.235 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,114,763,638.2 + 131,334,985,471.9 - 201,594.7 \times 471.603^2 = 1.266E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 471.603 = 718.397 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 718.397 - 240.0 = 478.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 471.603 = 568.397 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 568.397 - (90.0 + 50.0) = 428.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 471.603 = 438.397 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 438.397 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,383.603 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s}$$

$$= (0.707 + 0.409) / 2 \times 895,800.0 \times 468.526 / 449.688 = 5.207E+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 520,734.5 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 5.207E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 520,734.5 \times 617.2 = 3.214E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 0.707 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.409 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (520,734.5/201,594.7 + -0.062 \times 321,415,564.4 \times 718.4/126,613,201,943.9) - 13,902.0 \times 0.707 \times 2.0/27,804.0 = -0.530 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (520,734.5/201,594.7 + -0.062 \times 321,415,564.4 \times 478.4/126,613,201,943.9) - 13,902.0 \times 0.409 \times 2.0/27,804.0 = -0.230 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1})$$

$$= (1/6.2) \times (520,735/201,595 + -0.062 \times 321,415,564 \times 568/126,613,201,944) = 0.402 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1})$$

$$= (1/6.2) \times (520,735/201,595 + -0.062 \times 321,415,564 \times 428/126,613,201,944) = 0.406 \text{ MPa}$$

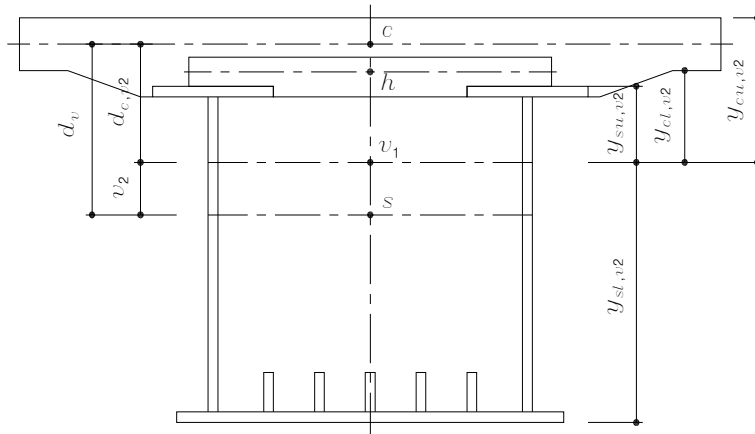
- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 520,734.5/201,594.7 + -0.062 \times 321,415,564.4 \times 438.4/126,613,201,943.9 = 2.514 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 520,734.5/201,594.7 + -0.062 \times 321,415,564.4 \times -1,383.6/126,613,201,943.9 = 2.801 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = -0.062 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	42,657.1	1,088.8	4.645E+07	5.057E+10	1.735E+08	
합 계	-	180,266.2	1,781.0	7.185E+07	1.060E+11	4.003E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 71,849,311.7 / 180,266.2 = 398.573 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,088.838 - 398.573 = 690.264 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,027,991,012.8 + 106,048,513,811.5 - 180,266.2 \times 398.573^2 = 1.174E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 398.573 = 791.427 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 791.427 - 240.0 = 551.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 398.573 = 641.427 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 641.427 - (90.0 + 50.0) = 501.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 398.573 = 511.427 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 511.427 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,310.573 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 895,800.0 / 21.0 = 2.361E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,361,072.9 \times 690.3 = 1.630E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/791.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.044 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/551.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.035 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/641.4) = 2.024 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/501.4) = 2.043 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/117,439,276,630.0 = 12.658 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times -1,310.6/117,439,276,630.0 = 14.225 \text{ MPa}$$

$$- 32,902.0 \times 0.000120 = -1.309 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.062 \times 1,920,685,826.9 \times 289.7/145,377,587,318.6 = 16.352 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.062 \times 1,920,685,826.9 \times -1,532.3/145,377,587,318.6 = 17.845 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 353.216/43,200.0 + 19.215/105,269,009.6 + 313.962/105,923,872.7 = 11.323 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.3 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 353.216/43,200.0 + 19.215/105,269,009.6 + 313.962/105,923,872.7 = 11.323 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.3 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 356.181/43,200.0 + 19.215/105,269,009.6 + 315.292/105,923,872.7 = 11.404 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.4 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore$ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	4.391	3.673	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	3.100	2.513	20.000	20.000
1+2+3+5+6	2.718	1.573	10.800	10.800	5.361	4.020	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	1.219	0.395	10.800	10.800	2.239	1.596	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.186	-0.610	12.420	2.174	0.912	0.287	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	2.253	1.401	12.420	12.420	3.567	2.905	23.000	23.000
1+2+4+5+6	0.704	0.407	13.500	13.500	1.214	0.836	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	2.717	1.572	13.500	13.500	2.888	1.952	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	1.218	0.395	13.500	13.500	-0.233	-0.472	3.125	3.125
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.185	-0.611	14.580	2.552	-1.561	-1.781	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	2.251	1.400	14.580	14.580	1.095	0.838	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	23.088	-34.903	198.962	215.000				
1+5+6	27.166	-30.167	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	36.842	-81.348	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	59.635	-56.119	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	75.987	-38.275	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	43.283	-73.964	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	16.678	-23.772	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	23.844	-61.676	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	46.637	-36.447	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	62.989	-18.603	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	30.285	-54.292	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.013	0.026	0.008	0.008	0.022	0.035	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.016	0.020	0.008	0.008	0.024	0.028	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.029	0.143	0.008	0.008	0.038	0.151	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.058	0.068	0.008	0.008	0.066	0.076	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.074	0.024	0.008	0.008	0.082	0.032	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.024	0.089	0.008	0.008	0.032	0.098	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.004	0.008	0.006	0.006	0.010	0.014	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.008	0.053	0.005	0.005	0.013	0.058	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.030	0.018	0.005	0.005	0.035	0.024	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.047	0.004	0.005	0.005	0.052	0.009	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.011	0.035	0.005	0.005	0.016	0.040	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{75.987}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.323}{125.000}\right)^2 = 0.074 + 0.008 = 0.082 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-81.348}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.323}{125.000}\right)^2 = 0.143 + 0.008 = 0.151 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 23.088)} = 3.05 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 579.4 / (206 \times 1.200) = 2.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 75.987)} = 1.68 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

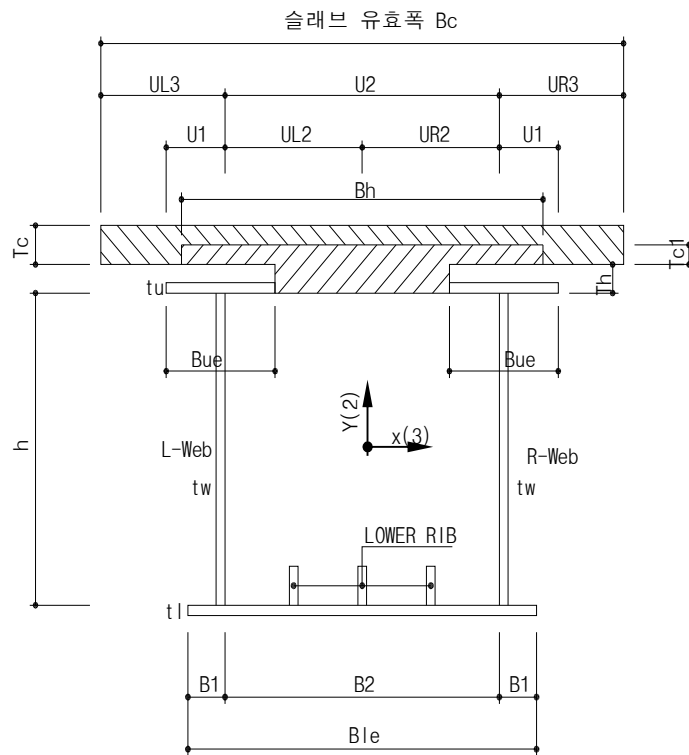
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	5.709	4.774	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	4.417	3.615	30.000	0.K !!
1+2+3+11	4.210	2.029	16.200	0.K !!	8.742	6.371	30.000	0.K !!
1+2+3-11	6.277	4.040	16.200	0.K !!	11.398	8.990	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	5.244	3.035	16.200	0.K !!	8.779	6.521	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.745	1.857	16.200	0.K !!	5.657	4.097	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)+11	2.711	0.852	16.200	0.K !!	4.329	2.788	30.000	0.K !!
∑(1~3)+∑(5~10)-11	4.778	2.862	16.200	0.K !!	6.985	5.407	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	0.916	0.530	16.200	0.K !!	1.966	1.435	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	4.209	2.028	16.200	0.K !!	8.741	6.371	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	6.275	4.039	16.200	0.K !!	11.397	8.989	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	5.242	3.034	16.200	0.K !!	5.565	3.834	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	3.743	1.856	16.200	0.K !!	2.444	1.410	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	2.710	0.851	16.200	0.K !!	1.116	0.100	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	4.776	2.861	16.200	0.K !!	3.771	2.719	30.000	0.K !!
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별				
	상 연	하 연						
1	30.015	-45.374	355.000	0.K !!				
1+5+6	34.093	-40.638	355.000	0.K !!				
1+2+3+11	65.032	-126.256	355.000	0.K !!				
1+2+3-11	32.327	-161.946	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6	52.758	-139.365	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	75.550	-114.136	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)+11	91.903	-97.784	355.000	0.K !!				
∑(1~3)+∑(5~10)-11	57.706	-131.981	355.000	0.K !!				
1+2+4+5+6	20.462	-32.343	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+11	65.026	-126.225	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4-11	32.321	-161.914	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+5+6	35.862	-113.801	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)	58.655	-88.572	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)+11	75.007	-70.727	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+∑(5~10)-11	42.302	-106.417	355.000	0.K !!				

[G2 : 최대모멘트] : 절점 60 로 부터 이격거리 1.234 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Tc1 = 90.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	1,262.964
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	1,625.622
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,265.092
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	51.994
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	3,593.069
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	23.521
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	13.366
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	6.372
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	316.146
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	19.438
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	54.400
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	2.668
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	259.898

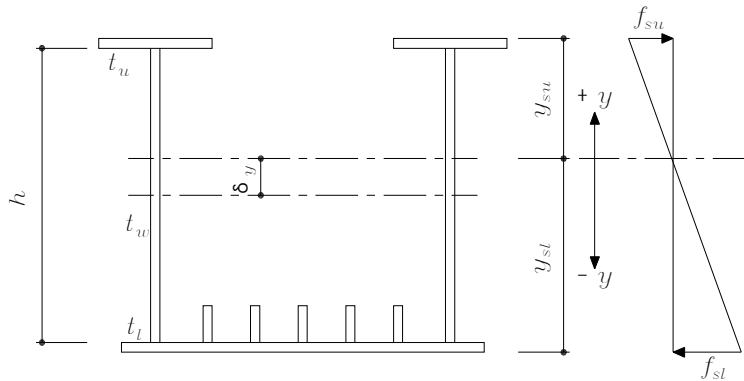
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	2 - 400.0 × 10.0	8,000.0	905.0	7.240E+06	6.552E+09	6.667E+04
UPPER RIB	0 - 0.0 × 0.0	0.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	0.000E+00
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		86,480.0	-	-2.443E+07	3.501E+10	1.167E+10
RC. SLAB	1 - 2,500.0 × 150.0	375,000.0	1,115.0	4.181E+08	4.662E+11	7.031E+08
RC. SLAB	1 - 1,050.0 × 240.0	252,000.0	1,070.0	2.696E+08	2.885E+11	1.210E+09
RC. SLAB	1 - 1,120.0 × 240.0	268,800.0	1,070.0	2.876E+08	3.077E+11	1.290E+09
SLAB 단면 합계		895,800.0	-	9.754E+08	1.062E+12	3.203E+09
Half-deck	1 - 2,500.0 × 90.0	225,000.0	995.0	2.239E+08	2.228E+11	1.519E+08
	1 - 1,840.0 × 50.0	92,000.0	925.0	8.510E+07	7.872E+10	1.917E+07
Half-deck 단면 합계		317,000.0	-	3.090E+08	3.015E+11	1.710E+08
※ $A_s = 86,480.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 895,800.0 \text{ mm}^2$ $A_h = 317,000.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2 = 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2 = 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2 = (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

- Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,262.96 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.922 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,262.96 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.608 \text{ MPa}$$

- 바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,625.62 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.474 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,625.62 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 2.069 \text{ MPa}$$

■ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{st} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,262.96 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 10.108 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{st} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,262.96 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -15.280 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 1,625.62 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 13.010 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 1,625.62 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -19.667 \text{ MPa}$$

■ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

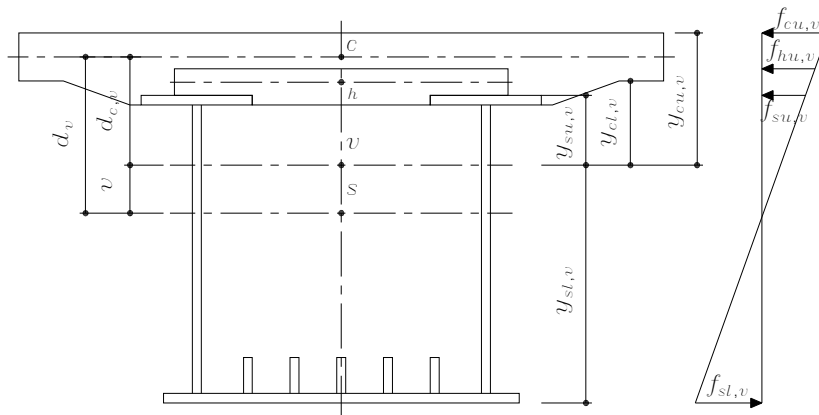
$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 23.521 / 43,200.0 + 19.438 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.729 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- SLAB에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yc} = \sum A_c Y / \sum A_c = 975,381,000.0 / 895,800.0 = 1,088.838 \text{ mm}$$

- SLAB의 단면2차 모멘트

$$I_c = \sum I_{xoc} + \sum A_c Y^2 - A_c \cdot \delta_{yc}^2 = 3,202,965,000.0 + 1,062,473,295,000.0 - 895,800.0 \times 1,088.838^2 = 3.644\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_v(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	265,580.5	1,781.0	1.647E+08	2.072E+11	4.038E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v2} = \sum AY / \sum A = 164,742,740.3 / 265,580.5 = 620.312 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = \sum I_{xo} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v2}^2 = 40,375,081,514.2 + 207,194,400,453.0 - 265,580.5 \times 620.312^2 = 1.454\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 620.312 = 569.688 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = d_{cu,v} - T_c = 569.688 - 240.0 = 329.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 620.312 = 419.688 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v} = d_{hu,v} - (T_{c1} + T_h) = 419.688 - (90.0 + 50.0) = 279.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = h/2 + t_u - \delta_{v2} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 620.312 = 289.688 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = d_{su,v} - (h + t_u + t_l) = 289.688 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,532.312 \text{ mm}$$

- SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 1,265.09 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.708 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 1,265.09 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.410 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 1,265.09 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.589 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 1,265.09 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.393 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 1,265.09 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 2.521 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 1,265.09 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -13.334 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 13.366 / 43,200.0 + 54.400 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.823 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 3,593.07 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 2.011 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 3,593.07 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 1.164 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 3,593.07 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.673 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 3,593.07 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.115 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 3,593.07 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 7.160 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 3,593.07 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -37.872 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 316.146 / 43,200.0 + 259.898 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 9.772 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 6.37 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.004 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 6.37 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.002 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 6.37 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.003 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 6.37 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.002 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 6.37 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 0.013 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 6.37 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -0.067 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 6.372 / 43,200.0 + 2.668 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.173 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = -0.061 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 1,263.0 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 5.629E+05 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결합으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 562,871.1 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 2.251E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 225,148.4 \times 853.5 = 1.922E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,262.96 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.922 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 1,262.96 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 1.608 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h$$

$$= (1/7.8) \times (225,148.4/127,383.2 + -0.061 \times 192,166,350.0 \times 918.8/83,729,142,983.3) - 26,321.6 \times 1.922 \times 0.5/32,902.0 = -0.558 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh1} = 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi h}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h$$

$$= (1/7.8) \times (225,148.4/127,383.2 + -0.061 \times 192,166,350.0 \times 778.8/83,729,142,983.3) - 26,321.6 \times 1.608 \times 0.5/32,902.0 = -0.429 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh1} = P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1}$$

$$= 225,148.4/127,383.2 + -0.061 \times 192,166,350.0 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 1.657 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh1} = P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1}$$

$$= 225,148.4/127,383.2 + -0.061 \times 192,166,350.0 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.912 \text{ MPa}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = -0.061 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5/2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성 단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성 단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2$$

$$= 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

▪ P_{vhi} 에 의해 합성 단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs}$$

$$= (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.734 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs}$$

$$= (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.731 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2}$$

$$= 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 2.423 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2}$$

$$= 314,443.5/120,566.0 + -0.061 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 2.825 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 620.312 = 354.373 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (419.7 + 279.7) / 2 = 349.688 \text{ mm}$$

■ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	243,668.0	1,781.0	1.434E+08	1.864E+11	4.034E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 143,385,021.4 / 243,668.0 = 588.444 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 588.444 = 386.240 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,341,140,722.4 + 186,377,361,982.1 - 243,668.0 \times 588.444^2 = 1.423E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 588.444 = 601.556 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 601.556 - 240.0 = 361.556 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 588.444 = 451.556 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 451.556 - (90.0 + 50.0) = 311.556 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 588.444 = 321.556 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 321.556 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,500.444 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 562,871.1 + (1.772 + 1.302) / 2 \times 317,000.0 \times 354.4 / 349.7 = 1.057E+06 \text{ N}$$

■ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 1,056,507.9 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 9.056E+05 \text{ N}$$

■ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 905,578.2 \times 386.2 = 3.498E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2}$$

$$= 1.922 + 2.474 + 0.589 + -0.558 + -0.734 = 3.694 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hl1} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2}$$

$$= 1.608 + 2.069 + 0.393 + -0.429 + -0.731 = 2.910 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (905,578/243,668 + -0.062 \times 349,770,888 \times 602/142,344,424,854) = 0.518 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (905,578/243,668 + -0.062 \times 349,770,888 \times 362/142,344,424,854) = 0.523 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (905,578.2/243,668.0 + -0.062 \times 349,770,888.4 \times 451.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 3.694 \times 1.5/32,902.0 = -2.830 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (905,578.2/243,668.0 + -0.062 \times 349,770,888.4 \times 311.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 2.910 \times 1.5/32,902.0 = -2.156 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 905,578.2/243,668.0 + -0.062 \times 349,770,888.4 \times 321.6/142,344,424,854.4 = 3.667 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 905,578.2/243,668.0 + -0.062 \times 349,770,888.4 \times -1,500.4/142,344,424,854.4 = 3.945 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	234,903.0	1,781.0	1.348E+08	1.781E+11	4.033E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 134,841,933.8 / 234,903.0 = 574.032 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 574.032 = 400.652 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,327,564,405.7 + 178,050,546,593.7 - 234,903.0 \times 574.032^2 = 1.410E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 574.032 = 615.968 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 615.968 - 240.0 = 375.968 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 574.032 = 465.968 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 465.968 - (90.0 + 50.0) = 325.968 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 574.032 = 335.968 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 335.968 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,486.032 \text{ mm}$$

■ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

■ P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 400.7 = 3.779E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

■ SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.062 \times 377,947,536 \times 616/140,974,485,216) = 0.559 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.062 \times 377,947,536 \times 376/140,974,485,216) = 0.565 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times 466.0/140,974,485,216.3)$$

$$- 13,225.8 \times 0.000225 = -2.722 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times 326.0/140,974,485,216.3)$$

$$- 13,225.8 \times 0.000225 = -2.720 \text{ MPa}$$

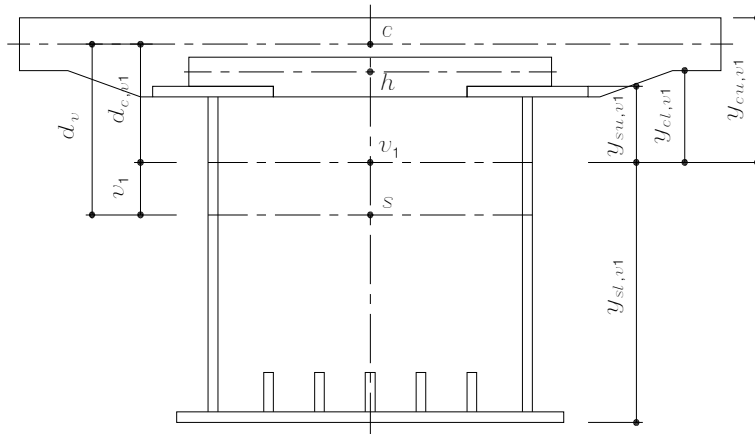
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times 336.0/140,974,485,216.3 = 3.960 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/234,903.0 + -0.062 \times 377,947,535.9 \times -1,486.0/140,974,485,216.3 = 4.263 \text{ MPa}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = -0.062 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,088.838 - 620.312 = 468.526 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (569.7 + 329.688) / 2 = 449.688 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	63,985.7	1,088.8	6.967E+07	7.586E+10	2.603E+08	
합 계	-	201,594.7	1,781.0	9.507E+07	1.313E+11	4.011E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 95,072,668.8 / 201,594.7 = 471.603 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,088.838 - 471.603 = 617.235 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,114,763,638.2 + 131,334,985,471.9 - 201,594.7 \times 471.603^2 = 1.266E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 471.603 = 718.397 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 718.397 - 240.0 = 478.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 471.603 = 568.397 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 568.397 - (90.0 + 50.0) = 428.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 471.603 = 438.397 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 438.397 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,383.603 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s} \\ = (0.708 + 0.410) / 2 \times 895,800.0 \times 468.526 / 449.688 = 5.218E+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 521,760.6 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 5.218E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 521,760.6 \times 617.2 = 3.220E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 0.708 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.410 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (521,760.6 / 201,594.7 + -0.062 \times 322,048,923.7 \times 718.4 / 126,613,201,943.9) \\ - 13,902.0 \times 0.708 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.531 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (521,760.6 / 201,594.7 + -0.062 \times 322,048,923.7 \times 478.4 / 126,613,201,943.9) \\ - 13,902.0 \times 0.410 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.230 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

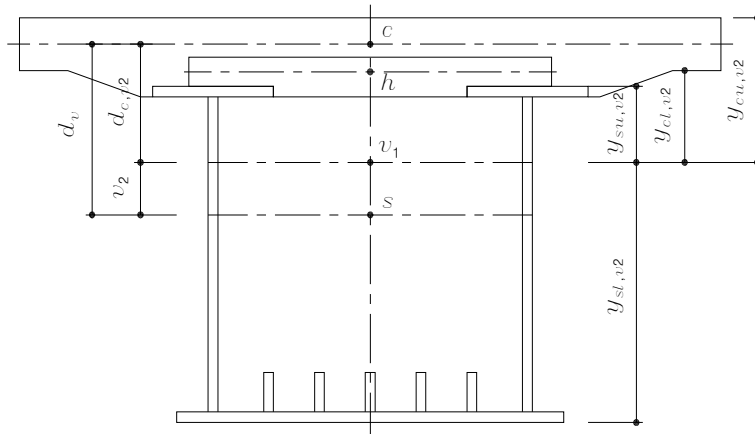
$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (521,761 / 201,595 + -0.062 \times 322,048,924 \times 568 / 126,613,201,944) = 0.403 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (521,761 / 201,595 + -0.062 \times 322,048,924 \times 428 / 126,613,201,944) = 0.407 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ = 521,760.6 / 201,594.7 + -0.062 \times 322,048,923.7 \times 438.4 / 126,613,201,943.9 = 2.519 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ = 521,760.6 / 201,594.7 + -0.062 \times 322,048,923.7 \times -1,383.6 / 126,613,201,943.9 = 2.806 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = -0.062 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	42,657.1	1,088.8	4.645E+07	5.057E+10	1.735E+08	
합 계	-	180,266.2	1,781.0	7.185E+07	1.060E+11	4.003E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 71,849,311.7 / 180,266.2 = 398.573 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,088.838 - 398.573 = 690.264 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,027,991,012.8 + 106,048,513,811.5 - 180,266.2 \times 398.573^2 = 1.174E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 398.573 = 791.427 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 791.427 - 240.0 = 551.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 398.573 = 641.427 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 641.427 - (90.0 + 50.0) = 501.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 398.573 = 511.427 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 511.427 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,310.573 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 895,800.0 / 21.0 = 2.361E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,361,072.9 \times 690.3 = 1.630E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/791.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.044 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/551.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -2.035 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/641.4) = 2.024 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/501.4) = 2.043 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/117,439,276,630.0 = 12.658 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + -0.062 \times 1,629,764,676.5 \times -1,310.6/117,439,276,630.0 = 14.225 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.062 \times 1,920,685,826.9 \times 289.7/145,377,587,318.6 = 16.352 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.062 \times 1,920,685,826.9 \times -1,532.3/145,377,587,318.6 = 17.845 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 353.033/43,200.0 + 19.438/105,269,009.6 + 314.298/105,923,872.7 = 11.324 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.3 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 353.033/43,200.0 + 19.438/105,269,009.6 + 314.298/105,923,872.7 = 11.324 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.3 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 356.219/43,200.0 + 19.438/105,269,009.6 + 315.632/105,923,872.7 = 11.410 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.4 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65 \phi^2 + 0.13 \phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① \quad f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② \quad f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore$ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	4.397	3.677	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	3.105	2.517	20.000	20.000
1+2+3+5+6	2.720	1.574	10.800	10.800	5.367	4.024	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	1.221	0.397	10.800	10.800	2.242	1.598	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.187	-0.608	12.420	2.174	0.914	0.289	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	2.254	1.402	12.420	12.420	3.570	2.907	23.000	23.000
1+2+4+5+6	0.712	0.412	13.500	13.500	1.222	0.842	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	2.721	1.575	13.500	13.500	2.894	1.956	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	1.222	0.398	13.500	13.500	-0.231	-0.470	3.125	3.125
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.189	-0.607	14.580	2.552	-1.559	-1.780	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	2.256	1.403	14.580	14.580	1.097	0.839	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	23.117	-34.947	198.962	215.000				
1+5+6	27.198	-30.209	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	36.878	-81.415	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	59.682	-56.175	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	76.035	-38.331	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	43.330	-74.020	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	16.721	-23.943	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	23.875	-61.782	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	46.679	-36.542	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	63.031	-18.697	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	30.326	-54.386	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.014	0.026	0.008	0.008	0.022	0.035	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.016	0.020	0.008	0.008	0.024	0.028	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.029	0.143	0.008	0.008	0.038	0.152	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.058	0.068	0.008	0.008	0.066	0.076	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.074	0.024	0.008	0.008	0.082	0.032	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.024	0.090	0.008	0.008	0.032	0.098	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.004	0.008	0.006	0.006	0.010	0.014	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.008	0.053	0.005	0.005	0.013	0.058	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.030	0.018	0.005	0.005	0.036	0.024	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.047	0.004	0.005	0.005	0.052	0.009	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.011	0.035	0.005	0.005	0.016	0.040	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{76.035}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.324}{125.000}\right)^2 = 0.074 + 0.008 = 0.082 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-81.415}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.324}{125.000}\right)^2 = 0.143 + 0.008 = 0.152 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 23.117)} = 3.05 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 579.4 / (206 \times 1.200) = 2.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 76.035)} = 1.68 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

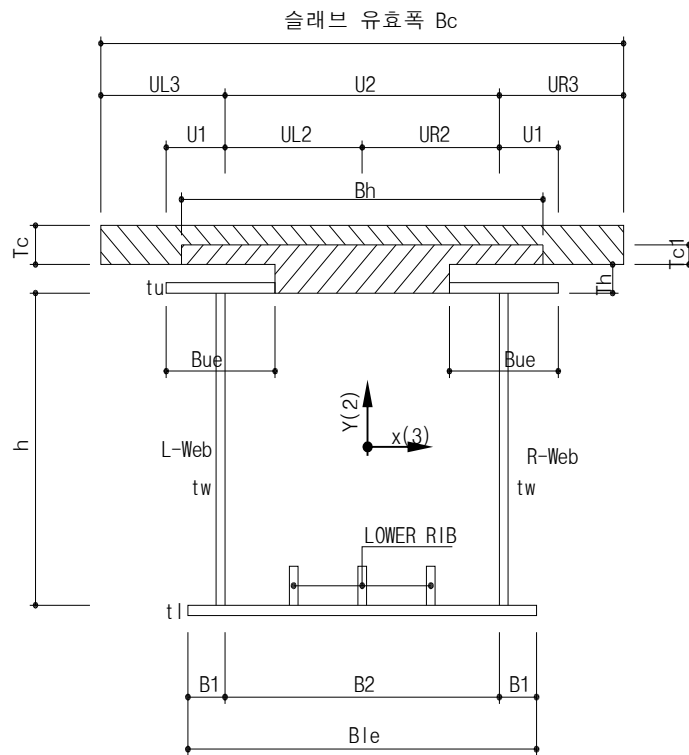
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	5.716	4.780	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	4.424	3.620	30.000	0.K !!
1+2+3+11	4.212	2.030	16.200	0.K !!	8.751	6.378	30.000	0.K !!
1+2+3-11	6.278	4.041	16.200	0.K !!	11.407	8.997	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	5.245	3.036	16.200	0.K !!	8.787	6.528	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.746	1.858	16.200	0.K !!	5.661	4.101	30.000	0.K !!
Σ(1~3)+Σ(5~10)+11	2.713	0.853	16.200	0.K !!	4.333	2.792	30.000	0.K !!
Σ(1~3)+Σ(5~10)-11	4.779	2.863	16.200	0.K !!	6.989	5.411	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	0.924	0.535	16.200	0.K !!	1.976	1.442	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	4.214	2.031	16.200	0.K !!	8.752	6.379	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	6.280	4.042	16.200	0.K !!	11.408	8.998	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	5.247	3.037	16.200	0.K !!	5.571	3.838	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+Σ(5~10)	3.748	1.859	16.200	0.K !!	2.446	1.412	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+Σ(5~10)+11	2.715	0.854	16.200	0.K !!	1.118	0.102	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+Σ(5~10)-11	4.781	2.864	16.200	0.K !!	3.774	2.721	30.000	0.K !!
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별				
	상 연	하 연						
1	30.053	-45.431	355.000	0.K !!				
1+5+6	34.133	-40.693	355.000	0.K !!				
1+2+3+11	65.076	-126.345	355.000	0.K !!				
1+2+3-11	32.371	-162.035	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6	52.804	-139.452	355.000	0.K !!				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	75.608	-114.212	355.000	0.K !!				
Σ(1~3)+Σ(5~10)+11	91.960	-97.860	355.000	0.K !!				
Σ(1~3)+Σ(5~10)-11	57.763	-132.057	355.000	0.K !!				
1+2+4+5+6	20.510	-32.528	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+11	65.082	-126.379	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4-11	32.377	-162.068	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+5+6	35.897	-113.918	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+Σ(5~10)	58.701	-88.678	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+Σ(5~10)+11	75.053	-70.834	355.000	0.K !!				
1+2+3+0.5×4+Σ(5~10)-11	42.349	-106.523	355.000	0.K !!				

[G2 : 최대모멘트] : 절점 70 로 부터 이격거리 2.468 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

Bh = 2,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 400.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Tc1 = 90.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
E_h : Half-Deck 콘크리트의 탄성계수	MPa	32,902.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
ϵ_h : Half-Deck 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000225
ϵ_{hs} : Half-Deck 콘크리트의 초기건조수축율	-	0.000045
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
ϕ_{d1} : Half-Deck 콘크리트의 최종 크리프 계수	-	1.5
ϕ_{d0} : Half-Deck 콘크리트의 초기 크리프 계수	-	0.5
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
n_h : 강과 Half-Deck 콘크리트의 탄성계수비	-	6.2
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_{s1} : 합성전 고정하중(자중)에 의한 모멘트	kN·m	2,774.831
M_{s2} : 합성전 고정하중(바닥판)에 의한 모멘트	kN·m	3,486.925
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,861.924
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	43.188
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	4,367.534
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	1.682
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-2.812
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	0.227
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	323.182
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	16.611
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-40.404
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	37.975
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	375.566

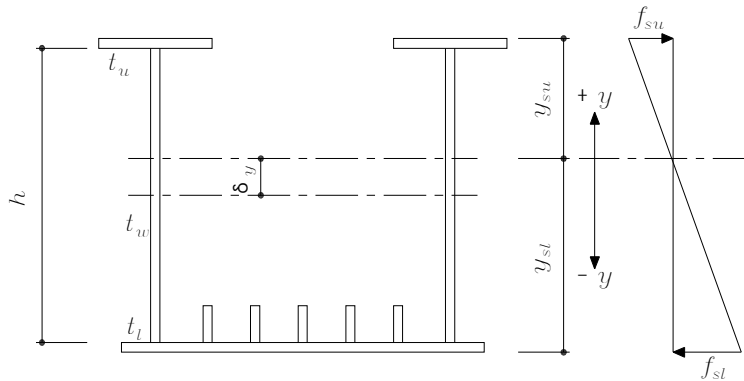
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

[illegible]

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

- 강재에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{ys} = \sum A_s Y / \sum A_s = -24,432,080.0 / 86,480.0 = -282.517 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xos} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_{ys}^2 = 11,671,196,826.7 + 35,006,534,480.0 - 86,480.0 \times (-282.517)^2 = 3.978\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- Half-Deck에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yh} = \sum A_h Y / \sum A_h = 308,975,000.0 / 317,000.0 = 974.685 \text{ mm}$$

- Half-Deck의 단면2차 모멘트

$$I_h = \sum I_{xoh} + \sum A_h Y^2 - A_h \cdot \delta_{yh}^2 = 171,041,666.7 + 301,473,125,000.0 - 317,000.0 \times 974.685^2 = 4.910\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{v1} = (\sum A_s Y + \sum A_h Y / n_h) / (\sum A_s + \sum A_h / n_h) = (-24,432,080.0 + 308,975,000.0 / 6.2) / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 184.600 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{33} = (\sum I_{xos} + \sum I_{xoh} / n_h) + (\sum A_s Y^2 + \sum A_h Y^2 / n_h) - (A_s + A_h / n_h) \cdot \delta_{v1}^2 = (11,671,196,826.7 + 171,041,666.7 / 6.2) + (35,006,534,480.0 + 301,473,125,000.0 / 6.2) - (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) \times 184.6^2 = 9.064\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 184.600 = 855.400 \text{ mm}$$

$$y_{hl} = y_{hu} - (T_{c1} + T_h) = 855.4 - (90.0 + 50.0) = 715.400 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_{v1} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 184.600 = 725.400 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_{v1} \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + 184.600 \} = -1,096.600 \text{ mm}$$

- Half-Deck 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{hu1} = M_{s1} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,774.83 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.224 \text{ MPa}$$

$$f_{hl1} = M_{s1} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,774.83 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.532 \text{ MPa}$$

- 바닥판 하중

$$f_{hu2} = M_{s2} \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,486.93 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 5.308 \text{ MPa}$$

$$f_{hl2} = M_{s2} \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 3,486.93 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.439 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

- 자중(강재+Half-Deck)

$$f_{su1} = M_{st} \cdot y_{su} / I_{33} = 2,774.83 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 22.207 \text{ MPa}$$

$$f_{sl1} = M_{st} \cdot y_{sl} / I_{33} = 2,774.83 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -33.571 \text{ MPa}$$

-바닥판 하중

$$f_{su2} = M_{s2} \cdot y_{su} / I_{33} = 3,486.93 \times 725.4 / 90,640,702,295.4 = 27.906 \text{ MPa}$$

$$f_{sl2} = M_{s2} \cdot y_{sl} / I_{33} = 3,486.93 \times -1,096.6 / 90,640,702,295.4 = -42.186 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w / 2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

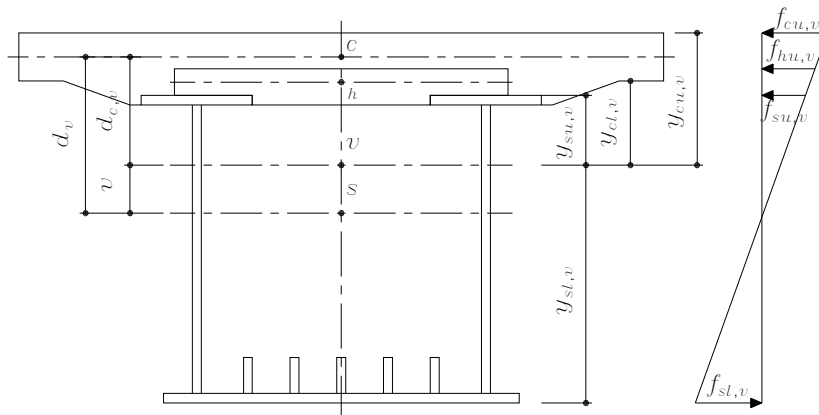
$$B_l = B_2 + t_w / 2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0 / 2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께}) / 2 + tl / 2 = 1,800.0 + 24.989 / 2 + 12.0 / 2 = 1,818.495 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s / G_h = 79,000.0 / 14,100.9 = 5.6$$

$$F = (B_u + B_l) / 2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0) / 2 \times 1,818.5 = 4.386E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 1.682 / 43,200.0 + 16.611 / (2 \times 4,386,208.7 \times 12.0) = 0.197 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(2) 합 성 후

- SLAB에 의한 도심축 이동량

$$\delta_{yc} = \sum A_c Y / \sum A_c = 975,381,000.0 / 895,800.0 = 1,088.838 \text{ mm}$$

- SLAB의 단면2차 모멘트

$$I_c = \sum I_{xoc} + \sum A_c Y^2 - A_c \cdot \delta_{yc}^2 = 3,202,965,000.0 + 1,062,473,295,000.0 - 895,800.0 \times 1,088.838^2 = 3.644\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	A _v (mm ²)	Y(mm)	A · Y(mm ³)	A · Y ² (mm ⁴)	I _{xo} (mm ⁴)	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	265,580.5	1,781.0	1.647E+08	2.072E+11	4.038E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v2} = \sum AY / \sum A = 164,742,740.3 / 265,580.5 = 620.312 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = \sum I_{xo} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v2}^2 = 40,375,081,514.2 + 207,194,400,453.0 - 265,580.5 \times 620.312^2 = 1.454\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 620.312 = 569.688 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = d_{cu,v} - T_c = 569.688 - 240.0 = 329.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 620.312 = 419.688 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v} = d_{hu,v} - (T_{c1} + T_h) = 419.688 - (90.0 + 50.0) = 279.688 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 강재 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = h/2 + t_u - \delta_{v2} = 1,800.0 / 2 + 10.0 - 620.312 = 289.688 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = d_{su,v} - (h + t_u + t_l) = 289.688 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,532.312 \text{ mm}$$

- SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 2,861.92 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 1.602 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 2,861.92 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.927 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_{sc} \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 2,861.92 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.333 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_{sc} \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 2,861.92 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.888 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 2,861.92 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 5.703 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 2,861.92 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -30.165 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F_v = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc}/A_w + M_{sct}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 2.812 / 43,200.0 + 40.404 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.447 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 4,367.53 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 2.445 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 4,367.53 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 1.415 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_v \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 4,367.53 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 2.034 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_v \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 4,367.53 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 1.355 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 4,367.53 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 8.703 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 4,367.53 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -46.035 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_v/A_w + M_{vt}/(2 \cdot F \cdot t_w) = 323.182 / 43,200.0 + 375.566 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 11.027 \text{ MPa}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

▪ SLAB 응력 검토

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \times n) = 0.23 \times 569.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \times n) = 0.23 \times 329.7 / (145,377,587,318.6 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 응력 검토

$$f_{hu,v} = M_w \cdot y_{hu,v} / (I_v \times n) = 0.23 \times 419.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v} = M_w \cdot y_{hl,v} / (I_v \times n) = 0.23 \times 279.7 / (145,377,587,318.6 \times 6.2) = 0.000 \text{ MPa}$$

▪ 플랜지 응력 검토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / (I_v \times n) = 0.23 \times 289.7 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / (I_v \times n) = 0.23 \times -1,532.3 / (145,377,587,318.6 \times 1.0) = -0.002 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토 (도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$B_w = UL_2 + UR_2 + t_w/2 \times 2ea = 1,200.0 + 1,200.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$B_l = B_2 + t_w/2 \times 2ea = 2,400.0 + 12.0/2 \times 2 = 2,412.000 \text{ mm}$$

$$H = h + (\text{환산두께})/2 + tl/2 = 1,800.0 + 47.6/2 + 12.0/2 = 1,829.807 \text{ mm}$$

$$\text{전단탄성계수비 } n_{hs} = G_s/G_c = 79,000.0 / 11,916.0 = 6.6$$

$$F = (B_u + B_l)/2 \times H = (2,412.0 + 2,412.0)/2 \times 1,829.8 = 4.413E+06 \text{ mm}^2$$

$$U = V_w/A_w + M_{wt}/(2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 0.227 / 43,200.0 + 37.975 / (2 \times 4,413,494.7 \times 12.0) = 0.364 \text{ MPa}$$

(5) Half-Deck 초기 크리프 손실

$$k = 0.498 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h1} = n_h \cdot (1 + \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 0.5 / 2) = 7.750$$

$$d_{vh1} = \delta_{yh} - \delta_{ys} = 974.685 - -282.517 = 1,257.202 \text{ mm}$$

$$d_{vh1,s} = d_{vh1} \cdot A_s / (A_s + A_h / n_h) = 1,257.2 \times 86,480.0 / (86,480.0 + 317,000.0 / 6.2) = 790.085 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	7.8	40,903.2	974.7	3.987E+07	3.886E+10	6.336E+07	
합 계	-	127,383.2		1.544E+07	4.576E+10	3.984E+10	

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 15,435,661.9 / 127,383.2 = 121.175 \text{ mm}$$

▪ 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 121.175 = 853.510 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh1} = \sum I_{ovh1} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,838,606,726.0 + 45,760,952,537.7 - 127,383.2 \times 121.175^2 = 8.373E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 121.175 = 918.825 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh1} = y_{hu,vh1} - (T_c + T_h) = 918.825 - (90.0 + 50.0) = 778.825 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh1} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 121.175 = 788.825 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh1} = y_{su,vh1} - (h + t_u + t_l) = 788.825 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,033.175 \text{ mm}$$

▪ 크리프를 일으키기 전, 합성전 고정하중에 의해 Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{hi} = M_{s1} \cdot d_{vh1,s} \cdot A_h / (n_h \cdot I_{33}) = 2,774.8 \times 790.1 \times 317,000.0 / (6.2 \times 90,640,702,295.4) = 1.237E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi hi} = N_{hi} \cdot 2 \cdot \phi_{d0} / (2 + \phi_{d0}) = 1,236,672.0 \times 2 \times 0.5 / (2 + 0.5) = 4.947E+05 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi hi}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi hi} = P_{\phi hi} \times d_{h,hs} = 494,668.8 \times 853.5 = 4.222E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h1} = E_h / (1 + \phi_{d0} / 2) = 32,902.0 / (1 + 0.5 / 2) = 26,321.600 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 상·하부 플랜지에 작용하는 응력

$$f_{hu} = M_s \cdot y_{hu} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,774.83 \times 855.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 4.224 \text{ MPa}$$

$$f_{hl} = M_s \cdot y_{hl} / (I_{33} \cdot n_h) = 2,774.83 \times 715.4 / (90,640,702,295.4 \times 6.2) = 3.532 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{hu,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hu,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hu} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (494,668.8/127,383.2 + 0.498 \times 422,204,548.4 \times 918.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 4.224 \times 0.5/32,902.0 = -0.891 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{hl,vh1} &= 1/n_{h1} \cdot (P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{hl,vh1}/I_{vh1}) - E_{h1} \cdot f_{hl} \cdot \phi_{d0}/E_h \\
 &= (1/7.8) \times (494,668.8/127,383.2 + 0.498 \times 422,204,548.4 \times 778.8/83,729,142,983.3) \\
 &\quad - 26,321.6 \times 3.532 \times 0.5/32,902.0 = -0.660 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{su,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 494,668.8/127,383.2 + 0.498 \times 422,204,548.4 \times 788.8/83,729,142,983.3 = 5.863 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,vh1} &= P_{\phi hi}/A_{vh1} + k \cdot M_{\phi hi} \cdot y_{sl,vh1}/I_{vh1} \\
 &= 494,668.8/127,383.2 + 0.498 \times 422,204,548.4 \times -1,033.2/83,729,142,983.3 = 1.290 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(6) Half-Deck 초기 건조수축 손실

$$k = 0.498 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h2} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d0}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 0.5 / 2) = 9.300$$

구 분	n	$A_{vh2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	9.3	34,086.0	974.7	3.322E+07	3.238E+10	5.280E+07	
합 계	-	120,566.0		8.791E+06	3.928E+10	3.983E+10	

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심축 이동량

$$d_{h,s} = \sum AY / \sum A = 8,791,038.3 / 120,566.0 = 72.915 \text{ mm}$$

- 강재와 Half-Deck 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - d_{h,s} = 974.685 - 72.915 = 901.770 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh2} = \sum I_{ovh2} + \sum AY^2 - A \cdot d_{h,s}^2 = 39,828,047,368.5 + 39,284,540,569.0 - 120,566.0 \times 72.915^2 = 7.847E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - d_{h,s} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 72.915 = 967.085 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh2} = y_{hu,vh2} - (T_{c1} + T_h) = 967.085 - (90.0 + 50.0) = 827.085 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh2} = h/2 + t_u - d_{h,s} = 1,800.00/2 + 10.0 - 72.915 = 837.085 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh2} = y_{hu,vh2} - (h + t_u + t_l) = 837.085 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -984.915 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhi} = E_s \cdot \epsilon_{hs} \cdot A_h / n_{h2} = 205,000.0 \times 0.000045 \times 317,000.0 / 9.3 = 3.144E+05 \text{ N}$$

- P_{vhi} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhi} = P_{vhi} \times d_{h,hs} = 314,443.5 \times 901.8 = 2.836E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h2} = E_s / n_{h2} = 205,000.0 / 9.3 = 22,043.011 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hu,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 967.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.524 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh2} = 1/n_{h2} \cdot (P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{hl,vh2}/I_{vh2}) - E_{h2} \cdot \epsilon_{hs} = (1/9.3) \times (314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 827.1/78,471,591,800.5) - 22,043.0 \times 0.000045 = -0.552 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{su,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times 837.1/78,471,591,800.5 = 4.114 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh2} = P_{vhi}/A_{vh2} + k \cdot M_{vhi} \cdot y_{sl,v2}/I_{vh2} = 314,443.5/120,566.0 + 0.498 \times 283,555,701.3 \times -984.9/78,471,591,800.5 = 0.836 \text{ MPa}$$

(7) Half-Deck 최종 크리프 손실

$$k = 0.485 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h3} = n_h \cdot (1 + \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 1.5 / 2) = 10.850$$

$$d_{vh2} = \delta_{yh} - \delta_{v2} = 974.685 - 620.312 = 354.373 \text{ mm}$$

$$d_{vh2,s} = (y_{hu,v} + y_{hl,v}) / 2 = (419.7 + 279.7) / 2 = 349.688 \text{ mm}$$

▪ 탄성계수비에 의한 환산 단면계수

구 분	n	$A_{vh3}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh3}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	10.9	29,216.6	974.7	2.848E+07	2.776E+10	4.525E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	243,668.0	1,781.0	1.434E+08	1.864E+11	4.034E+10	

▪ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v3} = \sum AY / \sum A = 143,385,021.4 / 243,668.0 = 588.444 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v3} = 974.685 - 588.444 = 386.240 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh3} = \sum I_{ovh3} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v3}^2 = 40,341,140,722.4 + 186,377,361,982.1 - 243,668.0 \times 588.444^2 = 1.423E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh3} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 588.444 = 601.556 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh3} = y_{cu,vh3} - T_c = 601.556 - 240.0 = 361.556 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh3} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v3} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 588.444 = 451.556 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh3} = y_{hu,vh3} - (T_{c1} + T_h) = 451.556 - (90.0 + 50.0) = 311.556 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh3} = h/2 + t_u - \delta_{v3} = 1,800.00/2 + 10.0 - 588.444 = 321.556 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh3} = y_{su,vh3} - (h + t_u + t_l) = 321.556 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,500.444 \text{ mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_{he} = N_{ht} + (f_{hu2} + f_{hl2} + f_{hu,v} + f_{hl,v} + f_{hu,vh1} + f_{hl,vh1} + f_{hu,vh2} + f_{hl,vh2}) / 2 \cdot A_h \cdot d_{vh2} / d_{vh2,s} = 1,236,672.0 + (5.225 + 4.116) / 2 \times 317,000.0 \times 354.4 / 349.7 = 2.737E+06 \text{ N}$$

▪ 강재보와 결함으로 인해 Half-Deck에 생기는 압축력

$$P_{\phi he} = N_{he} \cdot 2 \cdot \phi_{d1} / (2 + \phi_{d1}) = 2,737,011.9 \times 2 \times 1.5 / (2 + 1.5) = 2.346E+06 \text{ N}$$

▪ $P_{\phi he}$ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\phi he} = P_{\phi he} \times d_{h,hs} = 2,346,010.2 \times 386.2 = 9.061E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{h3} = E_h / (1 + \phi_{d1} / 2) = 32,902.0 / (1 + 1.5 / 2) = 18,801.143 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hu} = f_{hut} + f_{hu2} + f_{hu,v} + f_{hu,vh1} + f_{hu,vh2}$$

$$= 4.224 + 5.308 + 1.333 + -0.891 + -0.524 = 9.449 \text{ MPa}$$

$$\sum f_{hl} = f_{hlt} + f_{hl2} + f_{hl,v} + f_{hl,vh1} + f_{hl,vh2}$$

$$= 3.532 + 4.439 + 0.888 + -0.660 + -0.552 = 7.648 \text{ MPa}$$

▪ SLAB 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cu,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,346,010/243,668 + 0.485 \times 906,123,893 \times 602/142,344,424,854) = 1.641 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh3} = 1/n \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{cl,vh3}/I_{vh3})$$

$$= (1/7.0) \times (2,346,010/243,668 + 0.485 \times 906,123,893 \times 362/142,344,424,854) = 1.535 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{hu,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hu,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hu} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,346,010.2/243,668.0 + 0.485 \times 906,123,892.8 \times 451.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 9.449 \times 1.5/32,902.0 = -7.083 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh3} = 1/n_{h3} \cdot (P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{hl,vh3}/I_{vh3}) - E_{h3} \cdot \sum f_{hl} \cdot \phi_{d1}/E_h$$

$$= (1/10.9) \times (2,346,010.2/243,668.0 + 0.485 \times 906,123,892.8 \times 311.6/142,344,424,854.4)$$

$$- 18,801.1 \times 7.648 \times 1.5/32,902.0 = -5.580 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{su,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,346,010.2/243,668.0 + 0.485 \times 906,123,892.8 \times 321.6/142,344,424,854.4 = 10.622 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh3} = P_{\phi he}/A_{vh3} + k \cdot M_{\phi he} \cdot y_{sl,vh3}/I_{vh3}$$

$$= 2,346,010.2/243,668.0 + 0.485 \times 906,123,892.8 \times -1,500.4/142,344,424,854.4 = 4.991 \text{ MPa}$$

(8) Half-Deck 최종 건조수축 손실

$$k = 0.485 \quad ※ \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_{h4} = n_h \cdot (1 + 2 \cdot \phi_{d1}/2) = 6.2 \times (1 + 2 \times 1.5 / 2) = 15.500$$

구 분	n	$A_{vh4}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ovh4}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	15.5	20,451.6	974.7	1.993E+07	1.943E+10	3.168E+07	
SLAB	7.0	127,971.4	1,088.8	1.393E+08	1.517E+11	5.206E+08	
합 계	-	234,903.0	1,781.0	1.348E+08	1.781E+11	4.033E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{v4} = \sum AY / \sum A = 134,841,933.8 / 234,903.0 = 574.032 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 Half-Deck 도심까지 거리

$$d_{h,hs} = \delta_{yh} - \delta_{v4} = 974.685 - 574.032 = 400.652 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{vh4} = \sum I_{ovh4} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{v4}^2 = 40,327,564,405.7 + 178,050,546,593.7 - 234,903.0 \times 574.032^2 = 1.410E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,vh4} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (240.0+50.0) - 574.032 = 615.968 \text{ mm}$$

$$y_{cl,vh4} = y_{cu,vh4} - T_c = 615.968 - 240.0 = 375.968 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,vh4} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{v4} = 1,800.0/2 + (90.0+50.0) - 574.032 = 465.968 \text{ mm}$$

$$y_{hl,vh4} = y_{hu,vh4} - (T_{c1} + T_h) = 465.968 - (90.0+50.0) = 325.968 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,vh4} = h/2 + t_u - \delta_{v4} = 1,800.00/2 + 10.0 - 574.032 = 335.968 \text{ mm}$$

$$y_{sl,vh4} = y_{su,vh4} - (h + t_u + t_l) = 335.968 - (1,800.0+10.0+12.0) = -1,486.032 \text{ mm}$$

- Half-Deck 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{vhe} = E_s \cdot \epsilon_h \cdot A_h / n_{h4} = 205,000.0 \times 0.000225 \times 317,000.0 / 15.5 = 9.433E+05 \text{ N}$$

- P_{ve} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{vhe} = P_{vhe} \times d_{h,hs} = 943,330.6 \times 400.7 = 3.779E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{h4} = E_s / n_{h4} = 205,000.0 / 15.5 = 13,225.806 \text{ MPa}$$

- SLAB 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cu,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.485 \times 377,947,536 \times 616/140,974,485,216) = 0.688 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,vh4} = 1/n \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{cl,vh4}/I_{vh4}) = (1/7.0) \times (943,331/234,903 + 0.485 \times 377,947,536 \times 376/140,974,485,216) = 0.644 \text{ MPa}$$

▪ Half-Deck 콘크리트의 응력변화량

$$f_{hu,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hu,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + 0.485 \times 377,947,535.9 \times 466.0/140,974,485,216.3) - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.678 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,vh4} = 1/n_{h4} \cdot (P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{hl,vh4}/I_{vh4}) - E_{h4} \cdot \epsilon_h$$

$$= (1/15.5) \times (943,330.6/234,903.0 + 0.485 \times 377,947,535.9 \times 326.0/140,974,485,216.3) - 13,225.8 \times 0.000225 = -2.689 \text{ MPa}$$

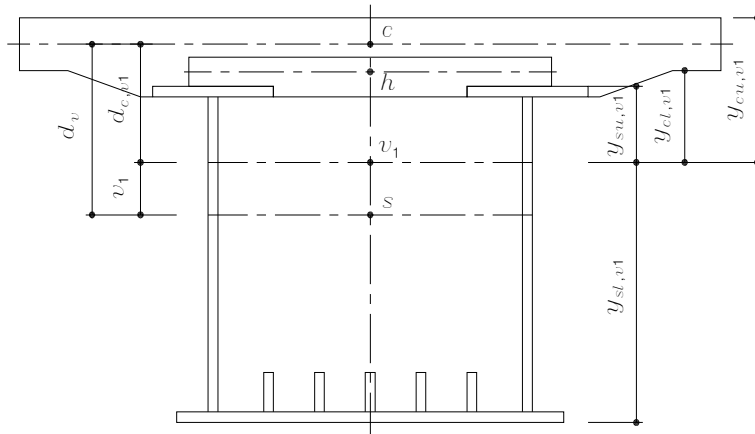
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{su,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/234,903.0 + 0.485 \times 377,947,535.9 \times 336.0/140,974,485,216.3 = 4.453 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,vh4} = P_{vhe}/A_{vh4} + k \cdot M_{vhe} \cdot y_{sl,vh4}/I_{vh4}$$

$$= 943,330.6/234,903.0 + 0.485 \times 377,947,535.9 \times -1,486.0/140,974,485,216.3 = 2.082 \text{ MPa}$$



(9) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k_2 = 0.485 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$d_{vc} = \delta_{yc} - \delta_{v2} = 1,088.838 - 620.312 = 468.526 \text{ mm}$$

$$d_{vc,s} = (y_{cu,v} + y_{cl,v}) / 2 = (569.7 + 329.688) / 2 = 449.688 \text{ mm}$$

구 분	n	$A_{v1}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov1}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	14.0	63,985.7	1,088.8	6.967E+07	7.586E+10	2.603E+08	
합 계	-	201,594.7	1,781.0	9.507E+07	1.313E+11	4.011E+10	

- 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v1} = \sum AY / \sum A = 95,072,668.8 / 201,594.7 = 471.603 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v1} = \delta_{yc} - \delta_{c,v1} = 1,088.838 - 471.603 = 617.235 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v1} = \sum I_{ov1} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v1}^2 = 40,114,763,638.2 + 131,334,985,471.9 - 201,594.7 \times 471.603^2 = 1.266E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v1} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 471.603 = 718.397 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 718.397 - 240.0 = 478.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v1} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v1} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 471.603 = 568.397 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v1} = y_{hu,v1} - (T_{c1} + T_h) = 568.397 - (90.0 + 50.0) = 428.397 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = h/2 + t_u - \delta_{c,v1} = 1,800.00/2 + 10.0 - 471.603 = 438.397 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{su,v1} - (h + t_u + t_l) = 438.397 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,383.603 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = (f_{cu,v} + f_{cl,v}) / 2 \cdot A_c \cdot d_{vc} / d_{vc,s} \\ = (1.602 + 0.927) / 2 \times 895,800.0 \times 468.526 / 449.688 = 1.180E+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결함으로 인해 SLAB에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,180,340.5 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.180E+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,180,340.5 \times 617.2 = 7.285E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = 1.602 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = 0.927 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,180,340.5 / 201,594.7 + 0.485 \times 728,547,444.6 \times 718.4 / 126,613,201,943.9) \\ - 13,902.0 \times 1.602 \times 2.0 / 27,804.0 = -1.041 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ = (1/14.0) \times (1,180,340.5 / 201,594.7 + 0.485 \times 728,547,444.6 \times 478.4 / 126,613,201,943.9) \\ - 13,902.0 \times 0.927 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.414 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 콘크리트의 응력 변화량

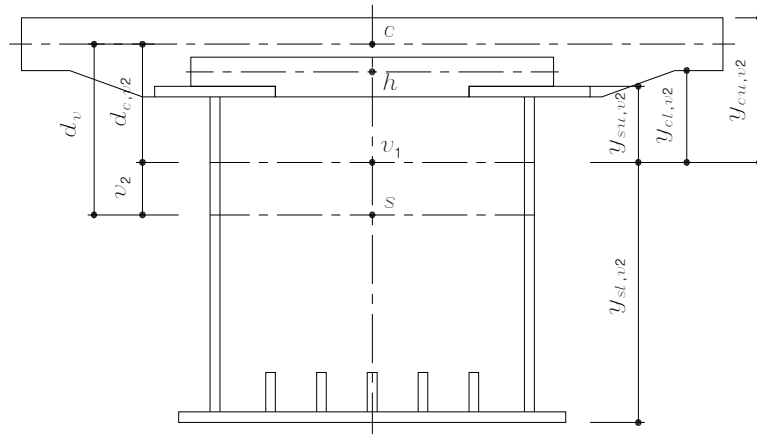
$$f_{hu,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hu,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,180,340 / 201,595 + 0.485 \times 728,547,445 \times 568 / 126,613,201,944) = 1.200 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v1} = 1/n_h \cdot (P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{hl,v1} / I_{v1}) \\ = (1/6.2) \times (1,180,340 / 201,595 + 0.485 \times 728,547,445 \times 428 / 126,613,201,944) = 1.137 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ = 1,180,340.5 / 201,594.7 + 0.485 \times 728,547,444.6 \times 438.4 / 126,613,201,943.9 = 7.078 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k_2 \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ = 1,180,340.5 / 201,594.7 + 0.485 \times 728,547,444.6 \times -1,383.6 / 126,613,201,943.9 = 1.994 \text{ MPa}$$



(10) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

$$k_2 = 0.485 \quad ※ \text{2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

구 분	n	$A_{v2}(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{ov2}(\text{mm}^4)$	비고
STEEL	1.0	86,480.0	-282.5	-2.443E+07	6.902E+09	3.978E+10	
Half-Deck	6.2	51,129.0	974.7	4.983E+07	4.857E+10	7.920E+07	
SLAB	21.0	42,657.1	1,088.8	4.645E+07	5.057E+10	1.735E+08	
합 계	-	180,266.2	1,781.0	7.185E+07	1.060E+11	4.003E+10	

■ 합성단면 도심축 이동량

$$\delta_{c,v2} = \sum AY / \sum A = 71,849,311.7 / 180,266.2 = 398.573 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심에서 SLAB 도심까지 거리

$$d_{c,v2} = \delta_{yc} - \delta_{c,v2} = 1,088.838 - 398.573 = 690.264 \text{ mm}$$

■ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{v2} = \sum I_{ov2} + \sum AY^2 - A \cdot \delta_{c,v2}^2 = 40,027,991,012.8 + 106,048,513,811.5 - 180,266.2 \times 398.573^2 = 1.174E+11 \text{ mm}^4$$

■ 합성단면 도심축에서 SLAB 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{cu,v2} = h/2 + (T_c + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (240.0 + 50.0) - 398.573 = 791.427 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 791.427 - 240.0 = 551.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{hu,v2} = h/2 + (T_{c1} + T_h) - \delta_{c,v2} = 1,800.0/2 + (90.0 + 50.0) - 398.573 = 641.427 \text{ mm}$$

$$y_{hl,v2} = y_{hu,v2} - (T_{c1} + T_h) = 641.427 - (90.0 + 50.0) = 501.427 \text{ mm}$$

■ 합성단면 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = h/2 + t_u - \delta_{c,v2} = 1,800.00/2 + 10.0 - 398.573 = 511.427 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{su,v2} - (h + t_u + t_l) = 511.427 - (1,800.0 + 10.0 + 12.0) = -1,310.573 \text{ mm}$$

■ 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 895,800.0 / 21.0 = 2.361E+06 \text{ N}$$

■ P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,361,072.9 \times 690.3 = 1.630E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.485 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/791.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.758 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.485 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/551.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.835 \text{ MPa}$$

▪ 합성단면 도심축에서 Half-Deck 상·하부 플랜지 연단거리

$$f_{hu,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hu,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.485 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/641.4) = 2.809 \text{ MPa}$$

$$f_{hl,v2} = 1/n_h \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{hl,v2}/I_{v2})$$

$$= (1/6.2) \times (2,361,072.9/180,266.2 + 0.485 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/501.4) = 2.657 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + 0.485 \times 1,629,764,676.5 \times 511.4/117,439,276,630.0 = 16.540 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k_2 \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,361,072.9/180,266.2 + 0.485 \times 1,629,764,676.5 \times -1,310.6/117,439,276,630.0 = 4.277 \text{ MPa}$$

$$= (1/6.2) \times (4,405,871.3/265,580.5 + 0.485 \times 1,920,685,826.9 \times 279.7/145,377,587,318.6) - 32,902.0 \times 0.000120 = -0.983 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.485 \times 1,920,685,826.9 \times 289.7/145,377,587,318.6 = 18.446 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k_2 \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v$$

$$= 4,405,871.3/265,580.5 + 0.485 \times 1,920,685,826.9 \times -1,532.3/145,377,587,318.6 = 6.771 \text{ MPa}$$

(12) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 327.677/43,200.0 + 16.611/105,269,009.6 + 415.970/105,923,872.7 = 11.670 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.7 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 327.677/43,200.0 + 16.611/105,269,009.6 + 415.970/105,923,872.7 = 11.670 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.7 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w/2 + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}/2 + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 327.791/43,200.0 + 16.611/105,269,009.6 + 434.958/105,923,872.7 = 11.852 \text{ MPa}$$

※ $u = 11.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$

(13) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65\phi^2 + 0.13\phi + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.4.2.1)

- 압축부의 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설.해 3.4.2.2)

$$b / 10.5 = 10.3 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 16 = 6.8 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 10.5 = 10.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow ① f_{ca} = 24,000 (t_u/b)^2 = 205.8 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (SM520B 사용) (도.설.해 3.3.2.1)

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	21,600.0 mm^2	$A_w/A_c = 5.400 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	4,000.0 mm^2	
l : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,400.0 mm	
b : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	400.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.387	

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$8/K = 3.1 < l / b = 2,400.0 / 400.0 = 6.0 \leq 27.0$$

$$\Rightarrow ② f_{ca} = 215.0 - 2.4 (K \cdot l / b - 7.5) = 215.0 - 2.4 \times (2.387 \times 2,400.0 / 400.0 - 7.5) = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ ①에 허용응력 값이 ②에 허용응력 값보다 작은 경우에는 국부좌굴에 대한 허용응력을 사용한다.

$$f_{ca} = 199.0 \text{ MPa}$$

∴ $f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력 (도.설.해 3.9.3.1)

- SLAB 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 27.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

- Half-Deck 허용응력

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 20.000 \text{ MPa} \quad (f_{ck} = 50.0 \text{ MPa 사용 })$$

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 2.500 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	9.531	7.971	20.000	20.000
1+5+6	-	-	-	-	8.116	6.760	20.000	20.000
1+2+3+5+6	4.047	2.342	10.800	10.800	11.482	9.003	20.000	20.000
1+2+3+5+6+7+8+9+10	3.577	2.272	10.800	10.800	5.731	4.529	20.000	20.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	3.132	1.607	12.420	12.420	4.892	3.545	23.000	23.000
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	4.022	2.937	12.420	12.420	6.570	5.512	23.000	23.000
1+2+4+5+6	1.602	0.927	13.500	13.500	4.141	3.209	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+5+6	4.047	2.342	13.500	13.500	6.175	4.565	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	3.577	2.272	13.500	13.500	0.423	0.090	25.000	25.000
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	3.132	1.607	14.580	14.580	-0.415	-0.894	3.375	3.375
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	4.022	2.937	14.580	14.580	1.262	1.073	27.000	27.000
하 중 조 합	Steel							
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)					
	상 연	하 연	상 연	하 연				
1	50.113	-75.757	198.962	215.000				
1+5+6	60.090	-73.630	215.000	215.000				
1+2+3+5+6	74.496	-149.830	215.000	215.000				
1+2+3+5+6+7+8+9+10	113.189	-136.488	247.250	215.000				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	131.635	-129.717	279.500	247.250				
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	94.743	-143.259	279.500	247.250				
1+2+4+5+6	37.888	-61.612	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+5+6	46.590	-107.646	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	85.283	-94.303	268.750	268.750				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	103.729	-87.532	290.250	290.250				
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	66.838	-101.074	290.250	290.250				

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(14) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.063	0.124	0.009	0.009	0.072	0.133	0.K !!	0.K !!
1+5+6	0.078	0.117	0.009	0.009	0.087	0.126	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.120	0.486	0.009	0.009	0.129	0.494	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	0.210	0.403	0.009	0.009	0.218	0.412	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	0.222	0.275	0.009	0.009	0.231	0.284	0.K !!	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	0.115	0.336	0.009	0.009	0.124	0.344	0.K !!	0.K !!
1+2+4+5+6	0.020	0.053	0.006	0.006	0.026	0.059	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.030	0.160	0.006	0.006	0.036	0.166	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	0.101	0.123	0.006	0.006	0.106	0.129	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	0.128	0.091	0.006	0.006	0.133	0.097	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	0.053	0.121	0.006	0.006	0.059	0.127	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{131.635}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{11.670}{125.000}\right)^2 = 0.222 + 0.009 = 0.231 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-149.830}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{11.670}{125.000}\right)^2 = 0.486 + 0.009 = 0.494 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(15) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.1, 3.4.2.2, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 6.8 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{min} = \text{Rib 간격}/80 = 2,400.0 / (3 \times 80) = 10.0 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

- 합 성 전

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 50.113)} = 2.07 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

- 합 성 후

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 579.4 / (206 \times 1.200) = 2.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 131.635)} = 1.28 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(16) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

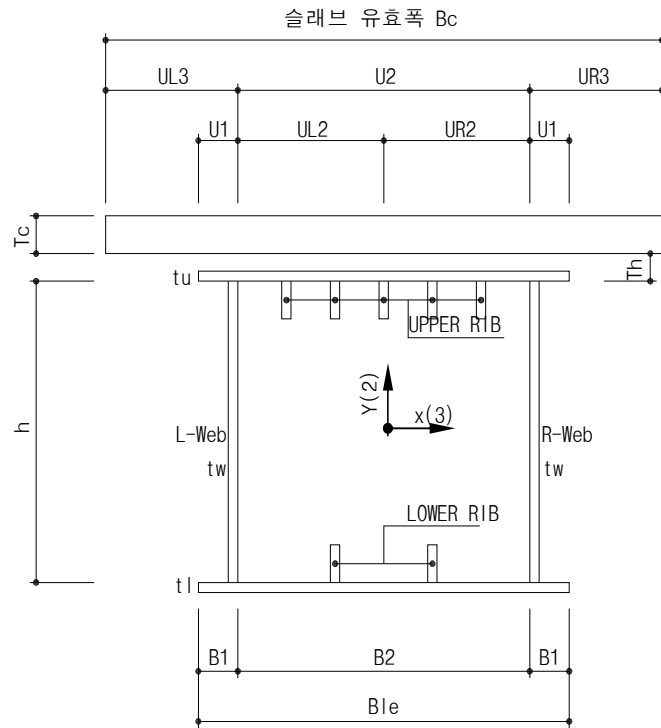
하 중 조 합	Concrete				Half-Deck Concrete			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	12.391	10.363	30.000	0.K !!
1+5+6	-	-	-	-	10.975	9.152	30.000	0.K !!
1+2+3+11	6.894	3.583	16.200	0.K !!	17.657	13.448	30.000	0.K !!
1+2+3-11	7.785	4.912	16.200	0.K !!	19.334	15.414	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6	7.340	4.248	16.200	0.K !!	17.080	13.220	30.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	6.870	4.177	16.200	0.K !!	11.329	8.745	30.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	6.425	3.513	16.200	0.K !!	10.490	7.762	30.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	7.315	4.842	16.200	0.K !!	12.167	9.728	30.000	0.K !!
1+2+4+5+6	2.083	1.205	16.200	0.K !!	5.808	4.536	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	6.895	3.583	16.200	0.K !!	17.657	13.448	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	7.785	4.912	16.200	0.K !!	19.334	15.414	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	7.340	4.248	16.200	0.K !!	10.180	7.449	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	6.870	4.177	16.200	0.K !!	4.429	2.974	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	6.425	3.513	16.200	0.K !!	3.590	1.991	30.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	7.315	4.842	16.200	0.K !!	5.268	3.958	30.000	0.K !!

하 중 조 합	Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연		
1	65.147	-98.484	355.000	0.K !!
1+5+6	75.124	-96.357	355.000	0.K !!
1+2+3+11	109.718	-229.902	355.000	0.K !!
1+2+3-11	72.826	-243.444	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	101.249	-234.547	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7+8+9+10	139.942	-221.204	355.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)+11$	158.388	-202.758	355.000	0.K !!
$\Sigma(1\sim3)+\Sigma(5\sim10)-11$	133.171	-227.975	355.000	0.K !!
1+2+4+5+6	46.260	-80.733	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+11	109.718	-229.904	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4-11	72.826	-243.446	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	64.972	-179.707	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)$	103.665	-166.364	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)+11$	122.111	-159.593	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+ $\Sigma(5\sim10)-11$	85.219	-173.135	355.000	0.K !!

4.7.2 정모멘트

[G2 : 단면 - 1] : 절점 38 로 부터 이격거리 2.473 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 440.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,600.0 mm

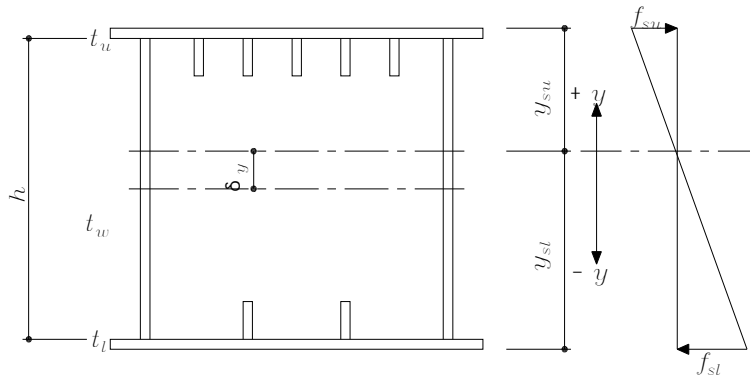
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,717.945
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	825.441
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	45.976
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	1,351.790
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-623.804
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-307.713
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-14.698
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-558.066
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-132.110
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	148.933
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-220.530
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-673.786

X(3)축 방향 단면 제원

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -367,080.0 / 109,080.0 = -3.365 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,600.0 / 2 + 10.0 - -3.365 = 813.365 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,600.0 / 2 + 12.0 + -3.365 \} = -808.635 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 8,216,225,160.0 + 44,311,203,480.0 - 109,080.0 \times -3.365^2 = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 1,717.945 \times 813.4 / 52,526,193,329.0 = 26.602 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 1,717.945 \times -808.6 / 52,526,193,329.0 = -26.448 \text{ MPa}$$

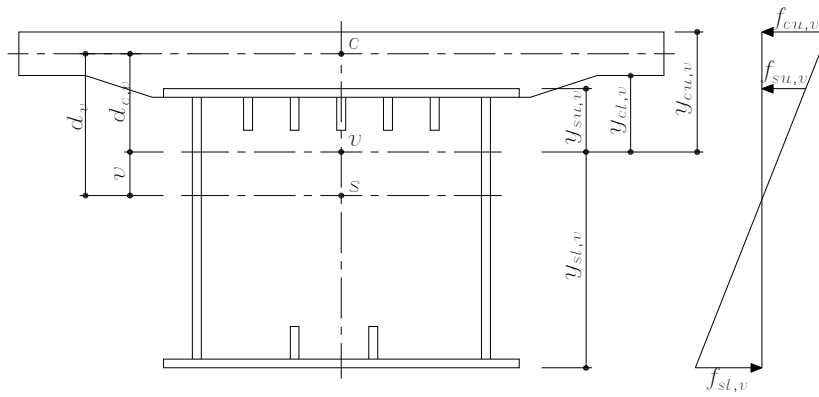
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 3.886\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 623.804 / 38,400.0 + 132.110 / (2 \times 3,885,732.0 \times 12.0) = 17.662 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 2,054,800.0 / 7.0 = 293,542.9 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 33,150,773,333.3 / 7.0 = 4.736\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 109,080.0 + 293,542.9 = 402,622.9 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 813.4 - 10.0 + 50.0 + 440.0/2 = 1,073.4 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 293,542.9 \times 1,073.4 / 402,622.9 = 782.6 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.4 - 782.6 = 290.8 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 782.6^2 + 4,735,824,761.9 + 293,542.9 \times 290.8^2 = 1.489\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 813.4 - 782.6 = 30.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -808.6 - 782.6 = -1,591.2 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 290.8 + 440.0 / 2 = 510.8 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 510.8 - 440.0 = 70.8 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 825.441 \times 30.8 / 148,886,866,884.0 = 0.171 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 825.441 \times -1,591.2 / 148,886,866,884.0 = -8.822 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 825.441 \times 510.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.405 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 825.441 \times 70.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.056 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 3.962\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 307.713 / 38,400.0 + 148.933 / (2 \times 3,961,537.7 \times 12.0) = 9.580 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 1,351.790 \times 30.8 / 148,886,866,884.0 = 0.280 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 1,351.790 \times -1,591.2 / 148,886,866,884.0 = -14.447 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,351.790 \times 510.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.663 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 1,351.790 \times 70.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.092 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 558.066 / 38,400.0 + 673.786 / (2 \times 3,961,537.7 \times 12.0) = 21.620 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 45.976 \times 30.8 / 148,886,866,884.0 = 0.010 \text{ MPa}$$

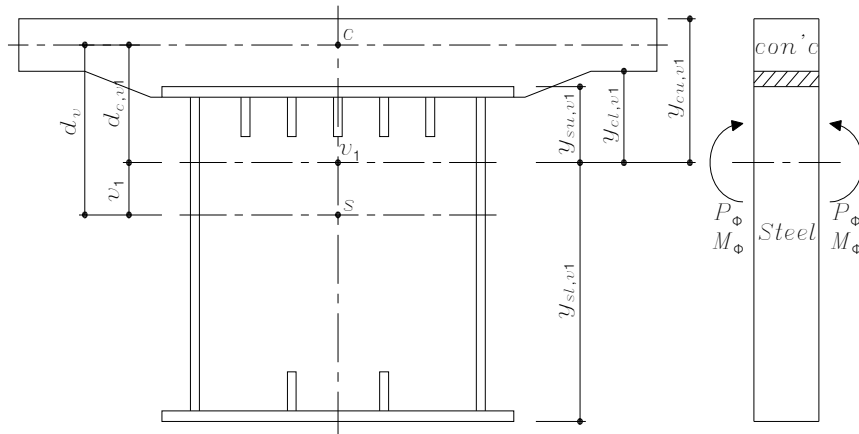
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 45.976 \times -1,591.2 / 148,886,866,884.0 = -0.491 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 45.976 \times 510.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.023 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 45.976 \times 70.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.003 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 14.698 / 38,400.0 + 220.530 / (2 \times 3,961,537.7 \times 12.0) = 2.702 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.924 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 109,080.0 + 2,054,800.0 / 14.0 = 2.559 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (2,054,800.0 / 14.0) \times 1,073.4 / 255,851.4 = 615.7 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.4 - 615.7 = 457.6 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 615.7^2) + (33,150,773,333.3 / 14.0 + 2,054,800.0 / 14.0 \times 457.6^2) = 1.270 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 813.4 - 615.7 = 197.6 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -808.6 - 615.7 = -1,424.4 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 457.6 + 440.0 / 2 = 677.6 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 677.6 - 440.0 = 237.6 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 825.4 \times 290.8 \times 2,054,800.0 / (7.0 \times 148,886,866,884.0) = 4.733 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 473,255.1 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.733 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 473,255.1 \times 457.6 = 2.166 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 825.441 \times 510.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.405 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 825.441 \times 70.8 / (148,886,866,884.0 \times 7.0) = 0.056 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (473,255.1/255,851.4 + 0.924 \times 216,570,918.1 \times 677.6/126,987,231,420.3)$$

$$- 13,902.0 \times 0.405 \times 2.0/27,804.0 = -0.196 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (473,255.1/255,851.4 + 0.924 \times 216,570,918.1 \times 237.6/126,987,231,420.3)$$

$$- 13,902.0 \times 0.056 \times 2.0/27,804.0 = 0.103 \text{ MPa}$$

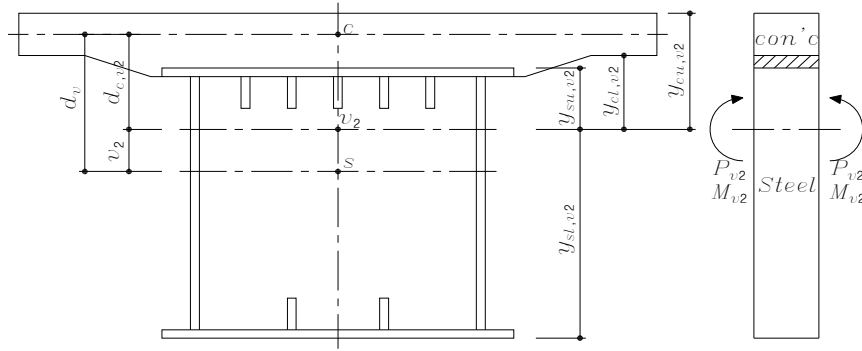
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 473,255.1/255,851.4 + 0.924 \times 216,570,918.1 \times 197.6/126,987,231,420.3 = 2.161 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 473,255.1/255,851.4 + 0.924 \times 216,570,918.1 \times -1,424.4/126,987,231,420.3 = -0.394 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 109,080.0 + 2,054,800.0 / 21.0 = 2.069E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (2,054,800.0/21.0) \times 1,073.4 / 206,927.6 = 507.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.4 - 507.6 = 565.8 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 507.6^2) + (33,150,773,333.3/21.0 + 2,054,800.0/21.0 \times 565.8^2) = 1.135E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 813.4 - 507.6 = 305.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -808.6 - 507.6 = -1,316.2 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 565.8 + 440.0 / 2 = 785.8 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 785.8 - 440.0 = 345.8 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 2,054,800.0 / 21.0 = 5.416E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 5,415,865.7 \times 785.8 = 3.064E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

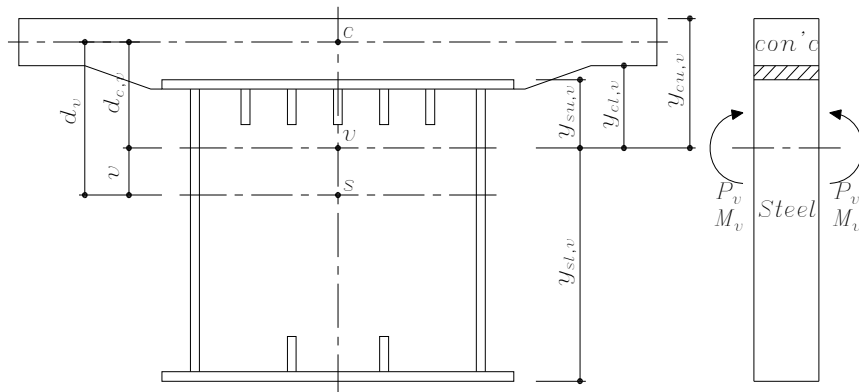
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (5,415,865.7/206,927.6 + 0.924 \times 3,064,376,206.8 \times 785.8/113,530,183,553.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -0.457 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (5,415,865.7/206,927.6 + 0.924 \times 3,064,376,206.8 \times 345.8/113,530,183,553.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -0.979 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 5,415,865.7/206,927.6 + 0.924 \times 3,064,376,206.8 \times 305.8/113,530,183,553.3 = 33.796 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 5,415,865.7/206,927.6 + 0.924 \times 3,064,376,206.8 \times -1,316.2/113,530,183,553.3 = -6.639 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 2,054,800.0 / 7.0 = 7.221\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 7,221,154.3 \times 290.8 = 2.100\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (7,221,154.3/402,622.9 + 0.924 \times 2,099,910,825.9 \times 510.8/148,886,866,884.0) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = 0.176 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (7,221,154.3/402,622.9 + 0.924 \times 2,099,910,825.9 \times 70.8/148,886,866,884.0) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.643 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 7,221,154.3/402,622.9 + 0.924 \times 2,099,910,825.9 \times 30.8/148,886,866,884.0 = 18.336 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 7,221,154.3/402,622.9 + 0.924 \times 2,099,910,825.9 \times -1,591.2/148,886,866,884.0 = -2.792 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,489.583 / 38,400.0 + 132.110 / 93,257,568.0 + 822.719 / 95,076,905.1 = 48.861 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 48.9 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 946.215 / 38,400.0 + 132.110 / 93,257,568.0 + 369.464 / 95,076,905.1 = 29.944 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 29.9 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,496.933 / 38,400.0 + 132.110 / 93,257,568.0 + 932.984 / 95,076,905.1 = 50.212 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 50.2 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0\} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	26.602	-26.448	135.100	215.000
1+2+3	1.067	0.148	10.800	10.800	27.053	-49.716	215.000	215.000
1+2+3+5	0.871	0.251	10.800	10.800	29.214	-50.110	247.250	215.000
1+2+3+5+6	0.414	-0.728	10.800	1.890	63.010	-56.749	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.591	-1.371	12.420	2.174	81.347	-59.541	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	0.238	-0.086	12.420	2.174	44.674	-53.957	279.500	247.250
1+2+4	0.427	0.059	12.960	12.960	26.783	-35.761	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	1.078	0.149	13.500	13.500	27.057	-49.962	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	0.882	0.252	13.500	13.500	29.218	-50.356	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	0.426	-0.727	13.500	2.363	63.015	-56.995	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.602	-1.369	14.580	2.552	81.351	-59.787	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.249	-0.084	14.580	2.552	44.678	-54.202	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.039	0.015	0.153	0.153	0.192	0.168	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.016	0.053	0.153	0.153	0.169	0.206	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.014	0.054	0.153	0.153	0.167	0.207	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.065	0.070	0.153	0.153	0.218	0.222	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.085	0.058	0.153	0.153	0.238	0.211	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.026	0.048	0.153	0.153	0.178	0.200	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.011	0.019	0.040	0.040	0.051	0.059	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.010	0.035	0.103	0.103	0.113	0.138	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.012	0.035	0.103	0.103	0.115	0.138	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.055	0.045	0.103	0.103	0.158	0.148	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.079	0.042	0.103	0.103	0.182	0.146	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.024	0.035	0.103	0.103	0.127	0.138	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{81.347}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{48.861}{125.000}\right)^2 = 0.085 + 0.153 = 0.238 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-56.749}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{48.861}{125.000}\right)^2 = 0.070 + 0.153 = 0.222 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,600.0 / (206 \times 1.200) = 6.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 26.602)} = 2.84 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

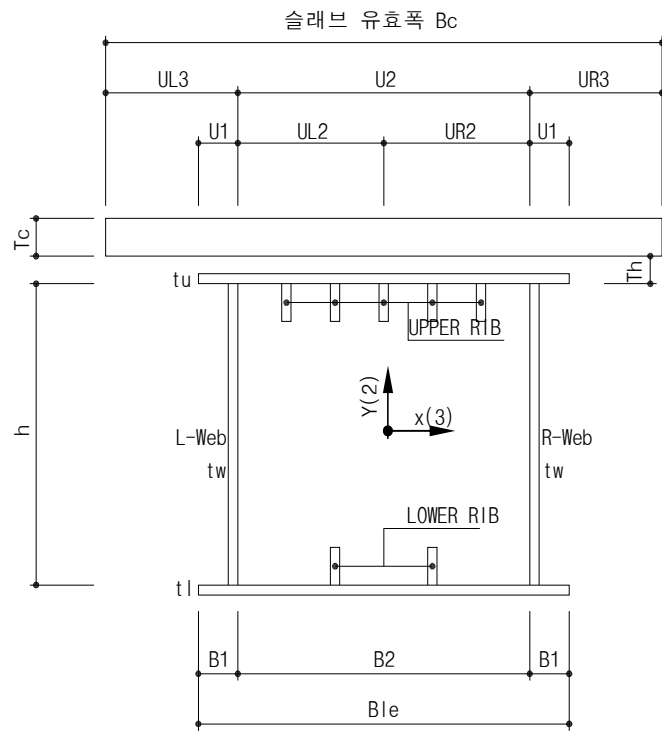
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	34.583	-34.382	355.000	0.K !!
1+2+3	1.950	0.270	16.200	0.K !!	35.406	-76.911	355.000	0.K !!
1+2+3+7	2.127	0.913	16.200	0.K !!	53.743	-79.703	355.000	0.K !!
1+2+3+5	1.754	0.373	16.200	0.K !!	37.567	-77.305	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	1.298	-0.606	16.200	0.K !!	71.364	-83.944	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	1.474	-1.248	16.200	0.K !!	89.700	-86.736	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	1.121	0.037	16.200	0.K !!	53.027	-81.152	355.000	0.K !!
1+2+4	0.548	0.076	16.200	0.K !!	34.814	-46.341	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	1.962	0.272	16.200	0.K !!	35.411	-77.157	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	2.138	-0.371	16.200	0.K !!	53.747	-79.949	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	1.765	0.375	16.200	0.K !!	37.572	-77.551	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	1.309	-0.604	16.200	0.K !!	71.368	-84.189	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1.485	-1.247	16.200	0.K !!	89.705	-86.982	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.133	0.038	16.200	0.K !!	53.032	-81.397	355.000	0.K !!

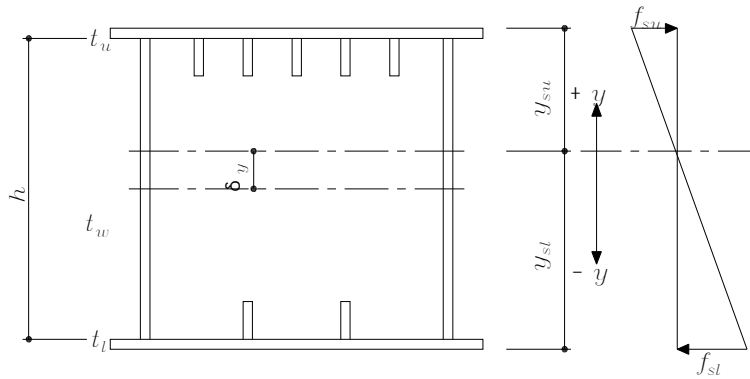
[G2 : 단면 - 3] : 절점 41 로 부터 이격거리 1.509 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc =	4,670.0 mm
UL3 =	1,100.0 mm
UR3 =	1,170.0 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,640.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,640.0 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	1,800.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 6,249.807 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 84.060 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 6,249.807 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -83.671 \text{ MPa}$$

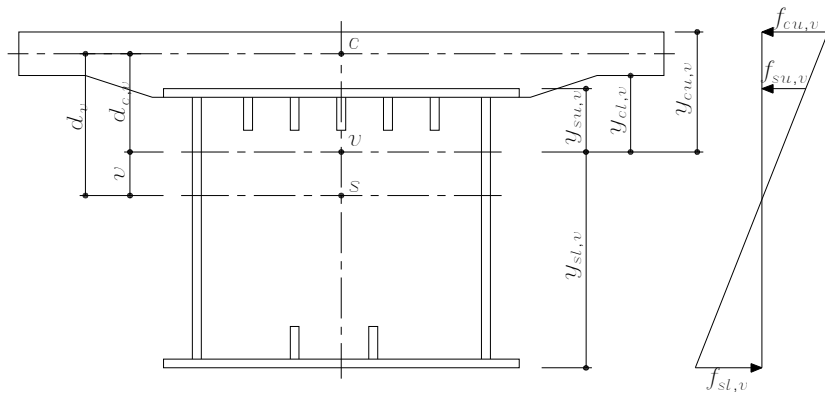
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 43.366 / 43,200.0 + 30.193 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 1.292 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 2,859.400 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 5.629 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,859.400 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -30.228 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,859.400 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.591 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,859.400 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.917 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 18.347 / 43,200.0 + 71.041 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 1.096 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,320.620 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 8.505 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,320.620 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -45.676 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,320.620 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 2.405 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,320.620 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.385 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 357.639 / 43,200.0 + 403.887 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 12.095 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 45.797 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.090 \text{ MPa}$$

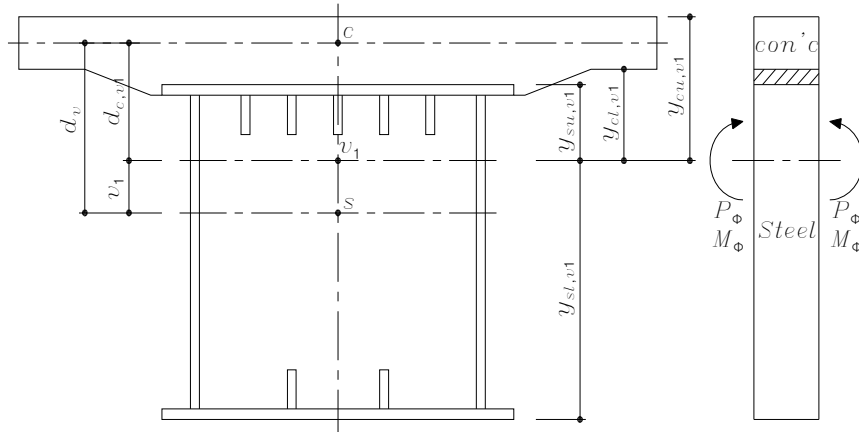
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 45.797 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.484 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 45.797 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.025 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 45.797 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 3.742 / 43,200.0 + 33.899 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 0.407 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.514 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 2,859.4 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 1.405 \times 10^6 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,405,439.1 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.405 \times 10^6 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,405,439.1 \times 630.1 = 8.856 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,859.400 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.591 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 2,859.400 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.917 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,405,439.1/193,937.1 + 0.514 \times 885,617,066.9 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 1.591 \times 2.0/27,804.0 = -0.874 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,405,439.1/193,937.1 + 0.514 \times 885,617,066.9 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.917 \times 2.0/27,804.0 = -0.263 \text{ MPa}$$

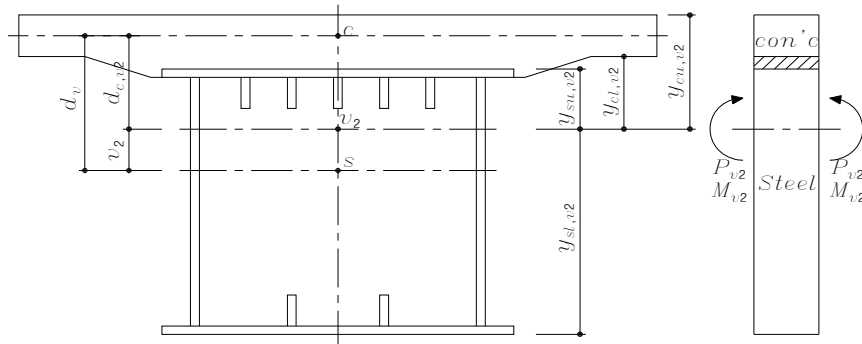
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,405,439.1/193,937.1 + 0.514 \times 885,617,066.9 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 8.996 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,405,439.1/193,937.1 + 0.514 \times 885,617,066.9 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = 2.217 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

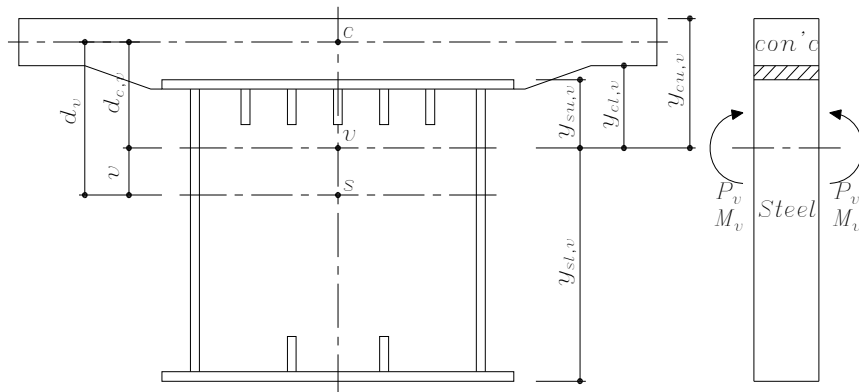
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.514 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.386 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.514 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.501 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.514 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 23.422 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.514 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 5.034 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.514 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.780 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.514 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.993 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.514 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 16.154 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.514 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 4.824 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 419.352 / 43,200.0 + 30.193 / 104,835,168.0 + 474.928 / 105,827,533.7 = 14.483 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 14.5 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 65.455 / 43,200.0 + 30.193 / 104,835,168.0 + 104.940 / 105,827,533.7 = 2.795 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 2.8 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 421.223 / 43,200.0 + 30.193 / 104,835,168.0 + 491.878 / 105,827,533.7 = 14.686 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 14.7 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	84.060	-83.671	135.100	215.000
1+2+3	3.996	2.302	10.800	10.800	98.195	-159.575	215.000	215.000
1+2+3+5	3.122	2.038	10.800	10.800	107.191	-157.358	247.250	215.000
1+2+3+5+6	1.736	0.537	10.800	10.800	130.613	-152.324	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.956	-0.456	12.420	2.174	146.767	-147.500	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	2.516	1.530	12.420	12.420	114.459	-157.148	279.500	247.250
1+2+4	1.617	0.931	12.960	12.960	89.780	-114.383	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	4.009	2.309	13.500	13.500	98.240	-159.817	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	3.134	2.046	13.500	13.500	107.236	-157.600	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	1.748	0.544	13.500	13.500	130.658	-152.566	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.968	-0.449	14.580	2.552	146.812	-147.742	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	2.528	1.538	14.580	14.580	114.504	-157.390	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.387	0.151	0.013	0.013	0.401	0.165	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.209	0.551	0.013	0.013	0.222	0.564	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.188	0.536	0.013	0.013	0.201	0.549	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.279	0.502	0.013	0.013	0.292	0.515	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.276	0.356	0.013	0.013	0.289	0.369	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.168	0.404	0.013	0.013	0.181	0.417	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.121	0.197	0.000	0.000	0.121	0.197	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.134	0.354	0.009	0.009	0.142	0.362	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.159	0.344	0.009	0.009	0.168	0.353	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.236	0.322	0.009	0.009	0.245	0.331	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.256	0.259	0.009	0.009	0.265	0.268	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.156	0.294	0.009	0.009	0.164	0.303	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{84.060}{135.100}\right)^2 + \left(\frac{14.483}{125.000}\right)^2 = 0.387 + 0.013 = 0.401 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-159.575}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{14.483}{125.000}\right)^2 = 0.551 + 0.013 = 0.564 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 84.060)} = 1.60 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

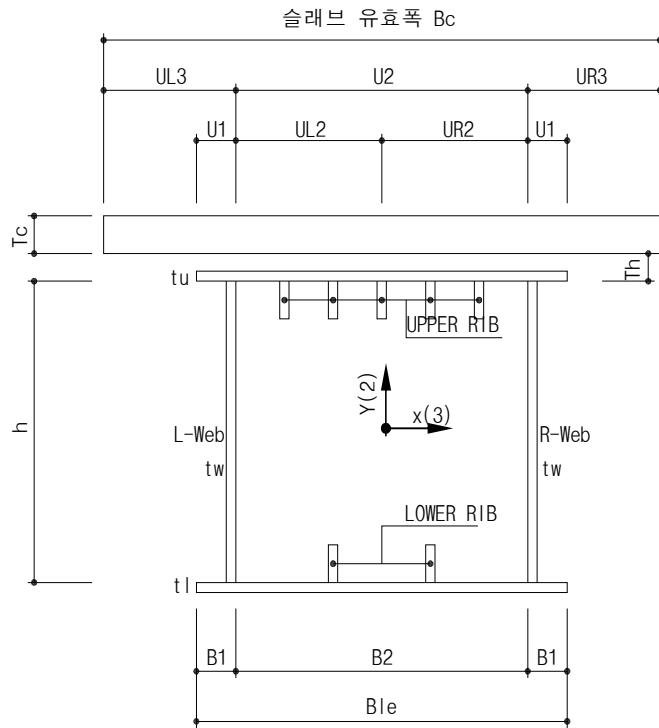
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	109.279	-108.772	355.000	0.K !!
1+2+3	7.239	4.169	16.200	0.K !!	134.883	-246.271	355.000	0.K !!
1+2+3+7	8.019	5.162	16.200	0.K !!	151.037	-251.095	355.000	0.K !!
1+2+3+5	6.364	3.906	16.200	0.K !!	143.879	-244.055	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	4.978	2.405	16.200	0.K !!	167.301	-239.021	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	4.198	1.412	16.200	0.K !!	183.455	-234.197	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	5.758	3.398	16.200	0.K !!	151.147	-243.845	355.000	0.K !!
1+2+4	2.094	1.206	16.200	0.K !!	116.686	-148.553	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	7.251	4.177	16.200	0.K !!	134.928	-246.513	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	6.471	3.183	16.200	0.K !!	151.082	-241.689	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	6.377	3.913	16.200	0.K !!	143.924	-244.297	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	4.991	2.412	16.200	0.K !!	167.346	-239.263	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	4.211	1.419	16.200	0.K !!	183.500	-234.439	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	5.771	3.405	16.200	0.K !!	151.192	-244.087	355.000	0.K !!

[G2 : 단면 - 11] : 절점 38 로 부터 이격거리 3.688 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,600.0 mm

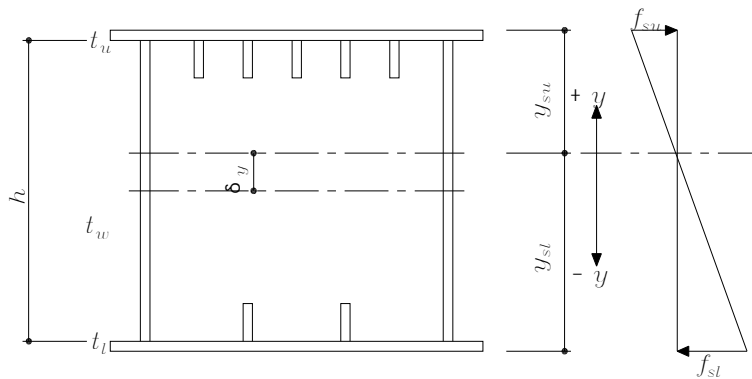
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,443.373
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,182.337
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	60.994
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	1,847.315
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-571.894
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-280.516
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-10.148
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-508.883
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-135.958
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	101.706
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-220.530
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-652.857

X(3)축 방향 단면 제원

2) 응 력 검 토



(1) 합성 전

- 도심축 이동량

$$\delta_y = \Sigma A_s Y / \Sigma A_s = -367,080.0 / 109,080.0 = -3.365 \text{ mm}$$

- 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,600.0 / 2 + 10.0 - 3.365 = 813.365 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,600.0 / 2 + 12.0 + -3.365 \} = -808.635 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2$$

$$= 8,216,225,160.0 + 44,311,203,480.0 - 109,080.0 \times -3.365^2 = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 플랜지 응력 검토

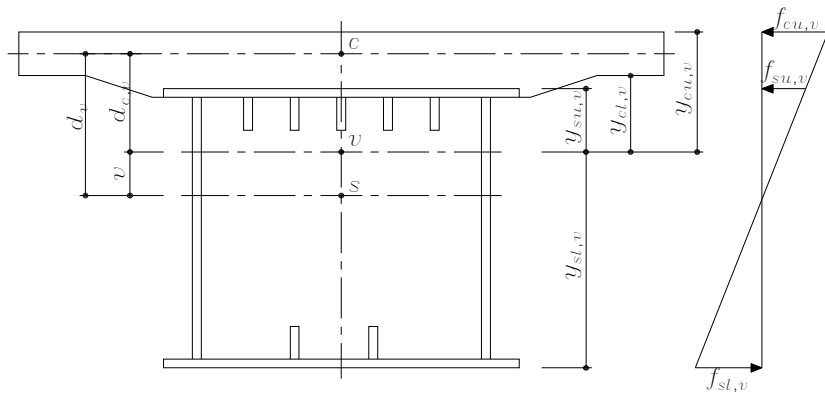
$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 2,443.373 \times 813.4 / 52,526,193,329.0 = 37.836 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 2,443.373 \times -808.6 / 52,193,329.0 = -37.615 \text{ MPa}$$

- 부재의 전단응력 검토

$$F = 3.886 \times 10^6 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 571.894 / 38,400.0 + 135.958 / (2 \times 3,885,732.0 \times 12.0) = \mathbf{16.351 \text{ MPa}} \end{aligned}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 109,080.0 + 160,114.3 = 269,194.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 813.4 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 973.4 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 973.4 / 269,194.3 = 578.9 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 973.4 - 578.9 = 394.4 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 578.9^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 394.4^2 = 1.148\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 813.4 - 578.9 = 234.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -808.6 - 578.9 = -1,387.6 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 394.4 + 240.0 / 2 = 514.4 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 514.4 - 240.0 = 274.4 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 1,182.337 \times 234.4 / 114,764,434,000.8 = 2.415 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 1,182.337 \times -1,387.6 / 114,764,434,000.8 = -14.295 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,182.337 \times 514.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 0.757 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 1,182.337 \times 274.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 0.404 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 3.927\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 280.516 / 38,400.0 + 101.706 / (2 \times 3,927,080.6 \times 12.0) = 8.384 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 1,847.315 \times 234.4 / 114,764,434,000.8 = 3.773 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 1,847.315 \times -1,387.6 / 114,764,434,000.8 = -22.335 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,847.315 \times 514.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 1.183 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 1,847.315 \times 274.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 0.631 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 508.883 / 38,400.0 + 652.857 / (2 \times 3,927,080.6 \times 12.0) = 20.179 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 60.994 \times 234.4 / 114,764,434,000.8 = 0.125 \text{ MPa}$$

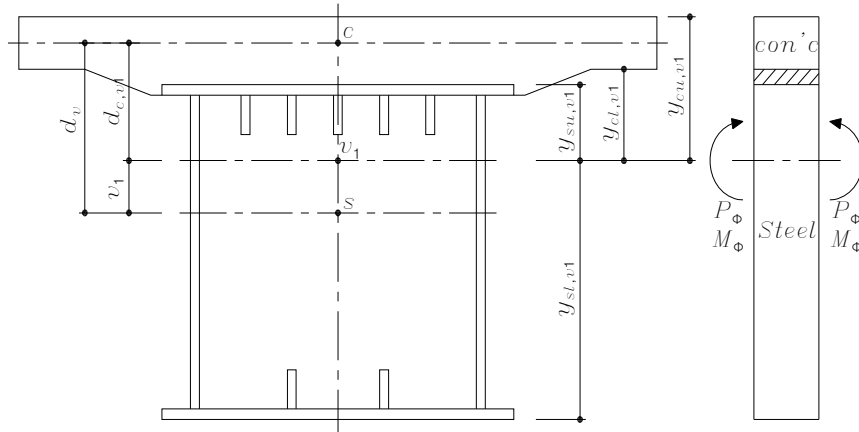
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 60.994 \times -1,387.6 / 114,764,434,000.8 = -0.737 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 60.994 \times 514.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 0.039 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 60.994 \times 274.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 0.021 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 10.148 / 38,400.0 + 220.530 / (2 \times 3,927,080.6 \times 12.0) = 2.604 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.886 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 109,080.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.891\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 973.4 / 189,137.1 = 412.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 973.4 - 412.0 = 561.4 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 412.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 561.4^2) = 9.665\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 813.4 - 412.0 = 401.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -808.6 - 412.0 = -1,220.6 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 561.4 + 240.0 / 2 = 681.4 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 681.4 - 240.0 = 441.4 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 1,182.3 \times 394.4 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 114,764,434,000.8) = 6.506\text{E}+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 650,607.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 6.506\text{E}+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 650,607.9 \times 561.4 = 3.652\text{E}+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,182.337 \times 514.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 0.757 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 1,182.337 \times 274.4 / (114,764,434,000.8 \times 7.0) = 0.404 \text{ MPa}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (650,607.9/189,137.1 + 0.886 \times 365,227,496.8 \times 681.4/96,654,624,917.9)$$

$$- 13,902.0 \times 0.757 \times 2.0/27,804.0 = -0.348 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (650,607.9/189,137.1 + 0.886 \times 365,227,496.8 \times 441.4/96,654,624,917.9)$$

$$- 13,902.0 \times 0.404 \times 2.0/27,804.0 = -0.053 \text{ MPa}$$

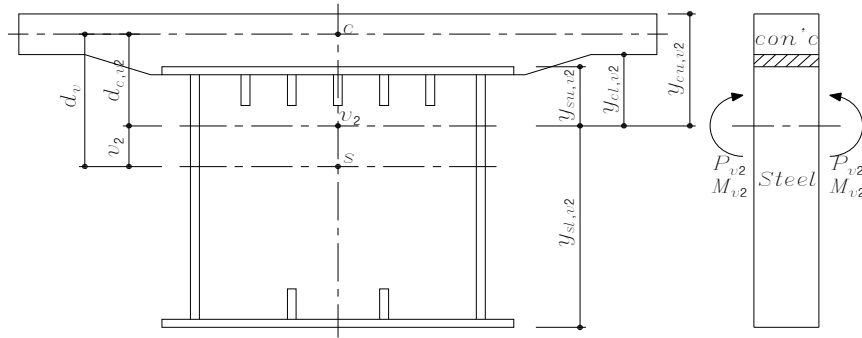
■ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 650,607.9/189,137.1 + 0.886 \times 365,227,496.8 \times 401.4/96,654,624,917.9 = 4.784 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 650,607.9/189,137.1 + 0.886 \times 365,227,496.8 \times -1,220.6/96,654,624,917.9 = -0.647 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 109,080.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.625E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 973.4 / 162,451.4 = 319.8 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 973.4 - 319.8 = 653.6 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 319.8^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 653.6^2) = 8.674E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 813.4 - 319.8 = 493.6 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -808.6 - 319.8 = -1,128.4 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 653.6 + 240.0 / 2 = 773.6 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 773.6 - 240.0 = 533.6 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 773.6 = 1.931E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

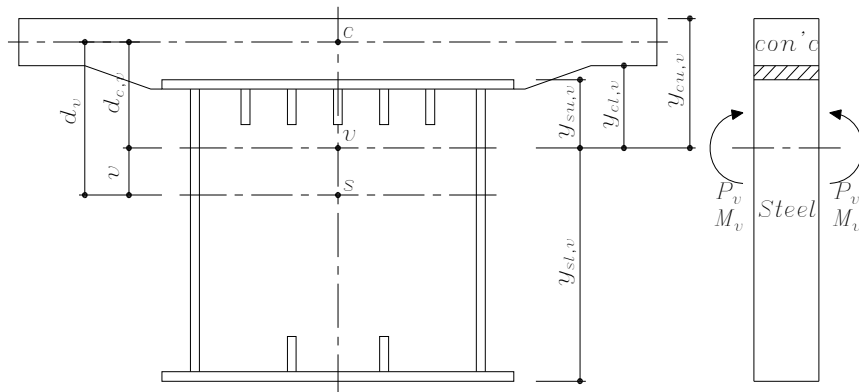
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/162,451.4 + 0.886 \times 1,930,740,375.8 \times 773.6/86,735,683,550.2) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.043 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/162,451.4 + 0.886 \times 1,930,740,375.8 \times 533.6/86,735,683,550.2) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.269 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/162,451.4 + 0.886 \times 1,930,740,375.8 \times 493.6/86,735,683,550.2 = 27.920 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/162,451.4 + 0.886 \times 1,930,740,375.8 \times -1,128.4/86,735,683,550.2 = -4.072 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1} / n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 394.4 = 1.554\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/269,194.3 + 0.886 \times 1,553,532,393.5 \times 514.4/114,764,434,000.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.365 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/269,194.3 + 0.886 \times 1,553,532,393.5 \times 274.4/114,764,434,000.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.776 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/269,194.3 + 0.886 \times 1,553,532,393.5 \times 234.4/114,764,434,000.8 = 17.444 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/269,194.3 + 0.886 \times 1,553,532,393.5 \times -1,387.6/114,764,434,000.8 = -2.011 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,361.293 / 38,400.0 + 135.958 / 93,257,568.0 + 754.563 / 94,249,933.7 = 44.914 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 44.9 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 862.558 / 38,400.0 + 135.958 / 93,257,568.0 + 322.237 / 94,249,933.7 = 27.339 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 27.3 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,366.367 / 38,400.0 + 135.958 / 93,257,568.0 + 864.828 / 94,249,933.7 = 46.216 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 46.2 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0\} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	37.836	-37.615	135.100	215.000
1+2+3	1.940	1.035	10.800	10.800	44.024	-74.246	215.000	215.000
1+2+3+5	1.592	0.982	10.800	10.800	48.808	-74.893	247.250	215.000
1+2+3+5+6	0.548	-0.286	10.800	1.890	76.727	-78.965	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.184	-1.062	12.420	2.174	94.171	-80.976	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	0.913	0.490	12.420	12.420	59.284	-76.954	279.500	247.250
1+2+4	0.796	0.425	12.960	12.960	40.375	-52.648	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	1.960	1.045	13.500	13.500	44.086	-74.615	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	1.611	0.993	13.500	13.500	48.870	-75.262	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	0.568	-0.276	13.500	2.363	76.790	-79.334	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.203	-1.052	14.580	2.552	94.233	-81.345	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.933	0.500	14.580	14.580	59.346	-77.323	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.078	0.031	0.129	0.129	0.208	0.160	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.042	0.119	0.129	0.129	0.171	0.248	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.039	0.121	0.129	0.129	0.168	0.250	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.096	0.135	0.129	0.129	0.225	0.264	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.114	0.107	0.129	0.129	0.243	0.236	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.045	0.097	0.129	0.129	0.174	0.226	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.024	0.042	0.033	0.033	0.058	0.075	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.027	0.077	0.087	0.087	0.114	0.165	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.033	0.078	0.087	0.087	0.121	0.166	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.082	0.087	0.087	0.087	0.169	0.175	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.105	0.079	0.087	0.087	0.193	0.166	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.042	0.071	0.087	0.087	0.129	0.158	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{94.171}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{44.914}{125.000}\right)^2 = 0.114 + 0.129 = 0.243 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-78.965}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{44.914}{125.000}\right)^2 = 0.135 + 0.129 = 0.264 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,600.0 / (206 \times 1.200) = 6.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca} / f_c)} = \sqrt{(215.0 / 37.836)} = 2.38 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

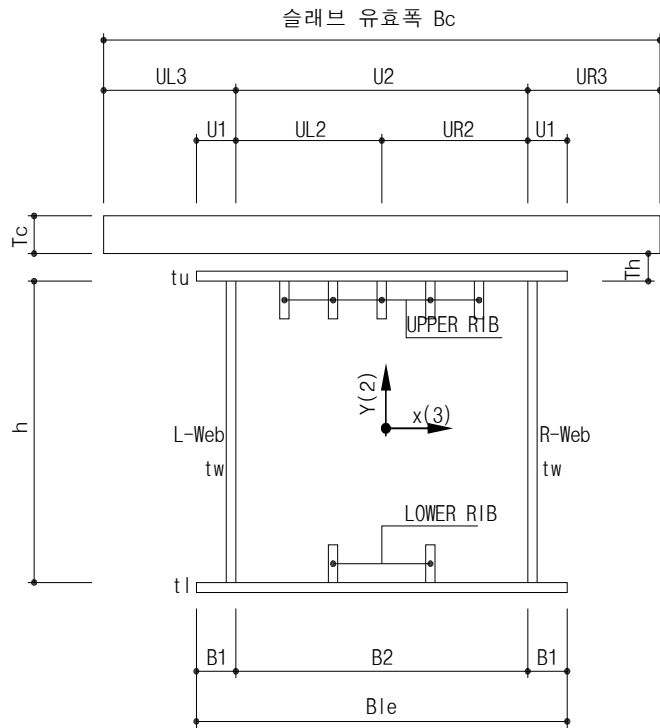
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	49.186	-48.900	355.000	0.K !!
1+2+3	3.527	1.882	16.200	0.K !!	60.438	-115.505	355.000	0.K !!
1+2+3+7	3.892	2.658	16.200	0.K !!	77.882	-117.516	355.000	0.K !!
1+2+3+5	3.179	1.829	16.200	0.K !!	65.222	-116.152	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	2.136	0.560	16.200	0.K !!	93.142	-120.224	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	1.771	-0.216	16.200	0.K !!	110.585	-122.235	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	2.501	1.336	16.200	0.K !!	75.698	-118.213	355.000	0.K !!
1+2+4	1.023	0.546	16.200	0.K !!	52.450	-68.221	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	3.547	1.892	16.200	0.K !!	60.501	-115.874	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	3.182	1.116	16.200	0.K !!	77.944	-117.885	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	3.199	1.840	16.200	0.K !!	65.284	-116.521	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	2.155	0.571	16.200	0.K !!	93.204	-120.593	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1.791	-0.205	16.200	0.K !!	110.648	-122.604	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	2.520	1.347	16.200	0.K !!	75.761	-118.582	355.000	0.K !!

[G1 : 최소단면] : 절점 37 로 부터 이격거리 0.000 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,500.0 mm

UL3 = 1,000.0 mm

UR3 = 1,100.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 440.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,600.0 mm

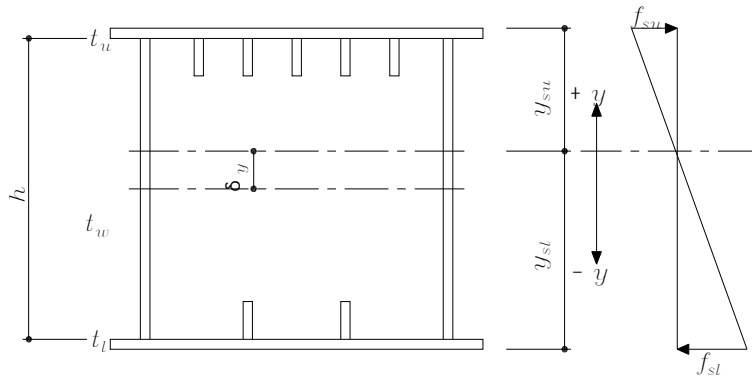
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중
합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	805.0	2.125E+07	1.711E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	725.0	6.525E+06	4.731E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	4.096E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-725.0	-2.610E+06	1.892E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-806.0	-2.553E+07	2.058E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		109,080.0	-	-3.671E+05	4.431E+10	8.216E+09
RC. SLAB	1 - 4,500.0 × 440.0	1,980,000.0	1,070.0	2.119E+09	2.267E+12	3.194E+10
SLAB 단면 합계		1,980,000.0	-	2.119E+09	2.267E+12	3.194E+10
※ $A_s = 109,080.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,980,000.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -367,080.0 / 109,080.0 = -3.365 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,600.0 / 2 + 10.0 - -3.365 = 813.365 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,600.0 / 2 + 12.0 + -3.365 \} = -808.635 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 8,216,225,160.0 + 44,311,203,480.0 - 109,080.0 \times -3.365^2 = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -0.525 \times 813.4 / 52,526,193,329.0 = -0.008 \text{ MPa}$$

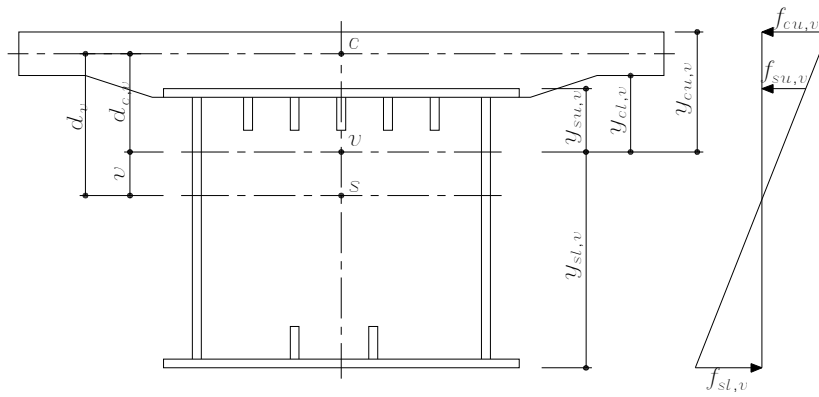
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -0.525 \times -808.6 / 52,526,193,329.0 = 0.008 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 3.886\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 787.417 / 38,400.0 + 159.161 / (2 \times 3,885,732.0 \times 12.0) = 22.212 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,980,000.0 / 7.0 = 282,857.1 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 31,944,000,000.0 / 7.0 = 4.563\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 109,080.0 + 282,857.1 = 391,937.1 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 813.4 - 10.0 + 50.0 + 440.0/2 = 1,073.4 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 282,857.1 \times 1,073.4 / 391,937.1 = 774.6 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.4 - 774.6 = 298.7 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 774.6^2 + 4,563,428,571.4 + 282,857.1 \times 298.7^2 = 1.478\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 813.4 - 774.6 = 38.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -808.6 - 774.6 = -1,583.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 298.7 + 440.0 / 2 = 518.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 518.7 - 440.0 = 78.7 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = -0.850 \times 38.7 / 147,786,201,327.1 = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = -0.850 \times -1,583.3 / 147,786,201,327.1 = 0.009 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = -0.850 \times 518.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = -0.850 \times 78.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 3.962\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 307.959 / 38,400.0 + 41.654 / (2 \times 3,961,537.7 \times 12.0) = 8.458 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 3.466 \times 38.7 / 147,786,201,327.1 = 0.001 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 3.466 \times -1,583.3 / 147,786,201,327.1 = -0.037 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 3.466 \times 518.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.002 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 3.466 \times 78.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 686.006 / 38,400.0 + 593.057 / (2 \times 3,961,537.7 \times 12.0) = 24.102 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 27.990 \times 38.7 / 147,786,201,327.1 = 0.007 \text{ MPa}$$

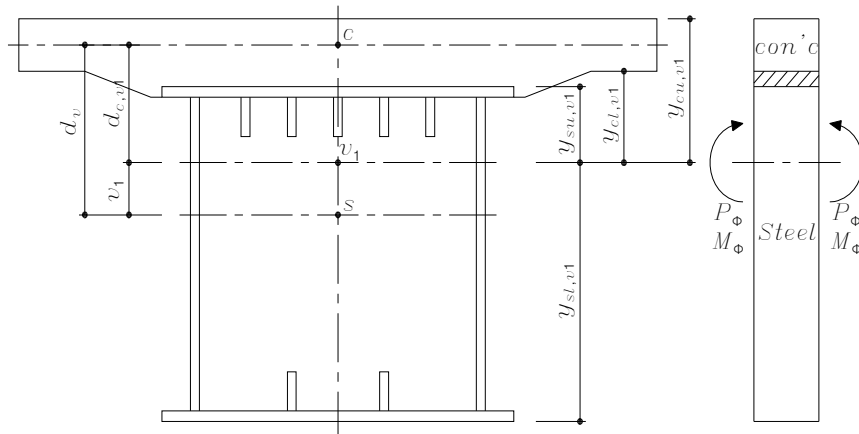
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 27.990 \times -1,583.3 / 147,786,201,327.1 = -0.300 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 27.990 \times 518.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.014 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 27.990 \times 78.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.002 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 29.985 / 38,400.0 + 78.097 / (2 \times 3,961,537.7 \times 12.0) = 1.602 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 1.000 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 109,080.0 + 1,980,000.0 / 14.0 = 2.505E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,980,000.0 / 14.0) \times 1,073.4 / 250,508.6 = 606.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.4 - 606.0 = 467.4 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) = (52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 606.0^2) + (31,944,000,000.0 / 14.0 + 1,980,000.0 / 14.0 \times 467.4^2) = 1.258E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 813.4 - 606.0 = 207.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -808.6 - 606.0 = -1,414.6 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 467.4 + 440.0 / 2 = 687.4 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 687.4 - 440.0 = 247.4 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) = -0.8 \times 298.7 \times 1,980,000.0 / (7.0 \times 147,786,201,327.1) = -4.860E+02 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -486.0 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -4.860E+02 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -486.0 \times 467.4 = -2.271E+05 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = -0.850 \times 518.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = -0.850 \times 78.7 / (147,786,201,327.1 \times 7.0) = 0.000 \text{ MPa}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (-486.0/250,508.6 + 1.000 \times -227,139.6 \times 687.4/125,758,290,678.8)$$

$$- 13,902.0 \times 0.000 \times 2.0/27,804.0 = 0.000 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (-486.0/250,508.6 + 1.000 \times -227,139.6 \times 247.4/125,758,290,678.8)$$

$$- 13,902.0 \times 0.000 \times 2.0/27,804.0 = 0.000 \text{ MPa}$$

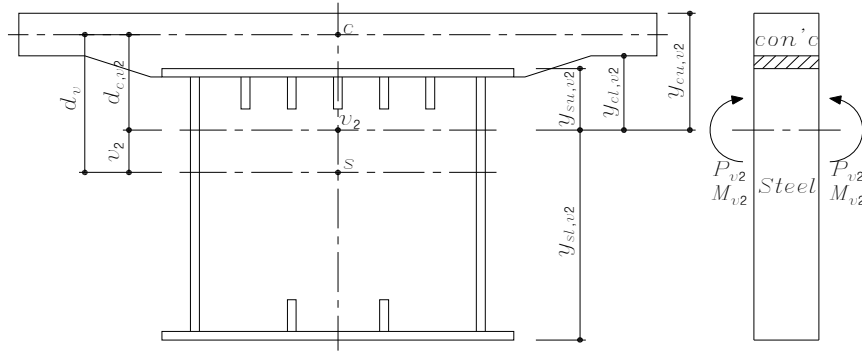
■ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= -486.0/250,508.6 + 1.000 \times -227,139.6 \times 207.4/125,758,290,678.8 = -0.002 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= -486.0/250,508.6 + 1.000 \times -227,139.6 \times -1,414.6/125,758,290,678.8 = 0.001 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수

Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 109,080.0 + 1,980,000.0 / 21.0 = 2.034E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,980,000.0/21.0) \times 1,073.4 / 203,365.7 = 497.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.4 - 497.6 = 575.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) = (52,526,193,329.0 + 109,080.0 \times 497.6^2) + (31,944,000,000.0/21.0 + 1,980,000.0/21.0 \times 575.7^2) = 1.123E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 813.4 - 497.6 = 315.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -808.6 - 497.6 = -1,306.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 575.7 + 440.0 / 2 = 795.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 795.7 - 440.0 = 355.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,980,000.0 / 21.0 = 5.219E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 5,218,714.3 \times 795.7 = 3.005E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

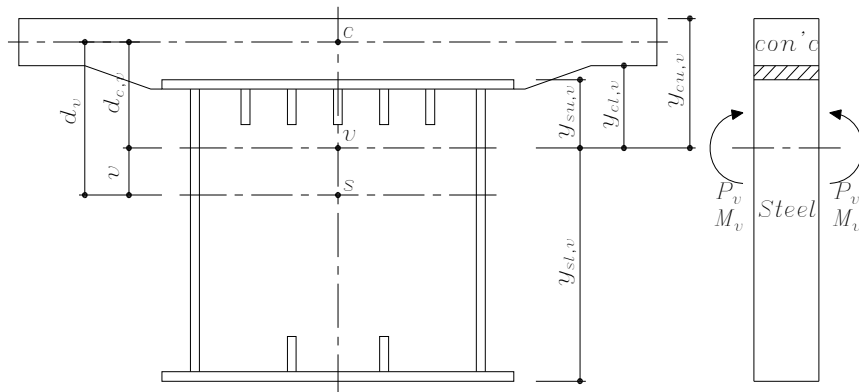
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (5,218,714.3/203,365.7 + 1.000 \times 3,004,543,105.4 \times 795.7/112,312,415,155.2) - 9,761.9 \times 0.000270 = -0.400 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (5,218,714.3/203,365.7 + 1.000 \times 3,004,543,105.4 \times 355.7/112,312,415,155.2) - 9,761.9 \times 0.000270 = -0.961 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} = 5,218,714.3/203,365.7 + 1.000 \times 3,004,543,105.4 \times 315.7/112,312,415,155.2 = 34.108 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} = 5,218,714.3/203,365.7 + 1.000 \times 3,004,543,105.4 \times -1,306.3/112,312,415,155.2 = -9.283 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,980,000.0 / 7.0 = 6.958\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 6,958,285.7 \times 298.7 = 2.079\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (6,958,285.7/391,937.1 + 1.000 \times 2,078,636,216.2 \times 518.7/147,786,201,327.1) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = 0.242 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (6,958,285.7/391,937.1 + 1.000 \times 2,078,636,216.2 \times 78.7/147,786,201,327.1) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.642 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 6,958,285.7/391,937.1 + 1.000 \times 2,078,636,216.2 \times 38.7/147,786,201,327.1 = 18.298 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 6,958,285.7/391,937.1 + 1.000 \times 2,078,636,216.2 \times -1,583.3/147,786,201,327.1 = -4.515 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,781.382 / 38,400.0 + 159.161 / 93,257,568.0 + 634.711 / 95,076,905.1 = 54.773 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 54.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,125.361 / 38,400.0 + 159.161 / 93,257,568.0 + 119.751 / 95,076,905.1 = 32.272 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 32.3 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,796.374 / 38,400.0 + 159.161 / 93,257,568.0 + 673.759 / 95,076,905.1 = 55.574 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 55.6 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-0.008	0.008	135.100	215.000
1+2+3	0.001	0.000	10.800	10.800	-0.007	-0.020	215.000	215.000
1+2+3+5	0.002	0.000	10.800	10.800	-0.010	-0.019	247.250	215.000
1+2+3+5+6	-0.399	-0.960	1.890	1.890	34.098	-9.303	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-0.157	-1.603	2.174	2.174	52.396	-13.818	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	-0.641	-0.318	2.174	2.174	15.800	-4.787	279.500	247.250
1+2+4	0.014	0.002	12.960	12.960	-0.001	-0.283	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	0.008	0.001	13.500	13.500	-0.004	-0.170	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	0.009	0.001	13.500	13.500	-0.006	-0.169	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	-0.392	-0.959	2.363	2.363	34.102	-9.453	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-0.150	-1.601	2.552	2.552	52.400	-13.968	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-0.634	-0.317	2.552	2.552	15.804	-4.937	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	0.192	0.192	0.192	0.192	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.000	0.000	0.192	0.192	0.192	0.192	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.000	0.000	0.192	0.192	0.192	0.192	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.019	0.002	0.192	0.192	0.211	0.194	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.035	0.003	0.192	0.192	0.227	0.195	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.003	0.000	0.192	0.192	0.195	0.192	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.000	0.000	0.046	0.046	0.046	0.046	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.000	0.000	0.127	0.127	0.127	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.000	0.000	0.127	0.127	0.127	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.016	0.001	0.127	0.127	0.143	0.128	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.033	0.002	0.127	0.127	0.159	0.129	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.003	0.000	0.127	0.127	0.129	0.127	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{52.396}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{54.773}{125.000}\right)^2 = 0.035 + 0.192 = 0.227 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-13.818}{247.250}\right)^2 + \left(\frac{54.773}{125.000}\right)^2 = 0.003 + 0.192 = 0.195 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,600.0 / (206 \times 1.200) = 6.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 0.008)} = 163.14 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

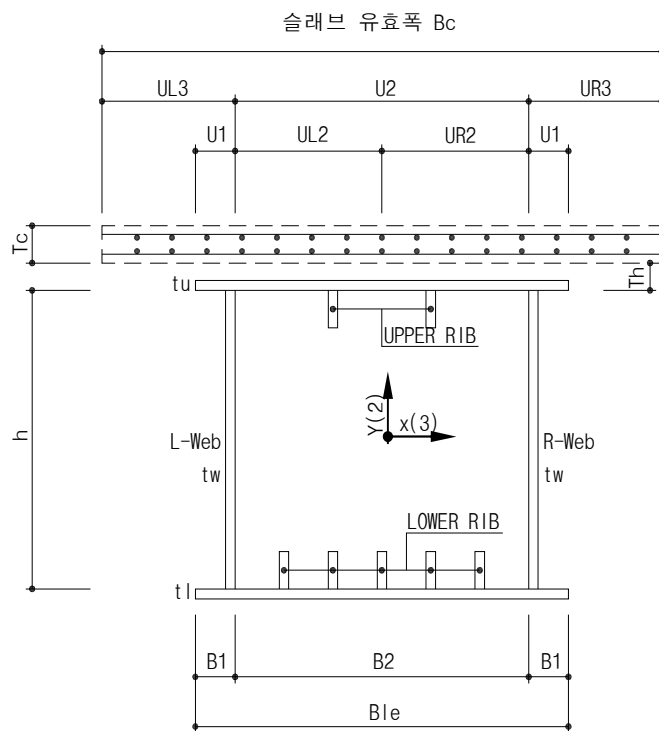
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-0.011	0.011	355.000	0.K !!
1+2+3	0.003	0.000	16.200	0.K !!	-0.009	-0.057	355.000	0.K !!
1+2+3+7	0.245	0.643	16.200	0.K !!	-18.307	-4.573	355.000	0.K !!
1+2+3+5	0.003	0.000	16.200	0.K !!	-0.011	-0.057	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-0.397	-0.960	16.200	0.K !!	34.097	-9.340	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-0.155	-1.602	16.200	0.K !!	52.395	-13.856	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-0.639	-0.318	16.200	0.K !!	15.798	-4.825	355.000	0.K !!
1+2+4	0.013	0.002	16.200	0.K !!	-0.004	-0.278	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.010	0.002	16.200	0.K !!	-0.005	-0.207	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	0.252	-0.641	16.200	0.K !!	18.293	-4.723	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.010	0.001	16.200	0.K !!	-0.008	-0.207	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-0.390	-0.959	16.200	0.K !!	34.100	-9.490	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-0.148	-1.601	16.200	0.K !!	52.399	-14.006	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-0.632	-0.317	16.200	0.K !!	15.802	-4.975	355.000	0.K !!

4.7.3 부모멘트

[G1 : 단면 - 4] : 절점 12 로 부터 이격거리 0.000 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

$B_c = 4,500.0$ mm

$U_1 = 120.0$ mm

$UL_2 = 1,200.0$ mm

$UR_2 = 1,200.0$ mm

상부 플랜지 유효폭

$B_{ue} = 2,640.0$ mm

하부 플랜지 유효폭

$B_{le} = 2,640.0$ mm

$B_1 = 120.0$ mm

$B_2 = 2,400.0$ mm

$T_c = 240.0$ mm

$T_h = 50.0$ mm

$h = 1,836.0$ mm

$\Theta_L = 0.000$ °

$\Theta_R = 0.000$ °

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-1,659.417
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-990.241
M_w : 풍하중에의한 모멘트	kN·m	-17.949
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-2,638.574
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-635.603
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-280.988
V_w : 풍하중에의한 전단력	kN	-15.857
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-575.241
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-20.865
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	170.385
M_{wt} : 풍하중에의한 비틀림모멘트	kN·m	68.918
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	443.218
t_{cu}, t_{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

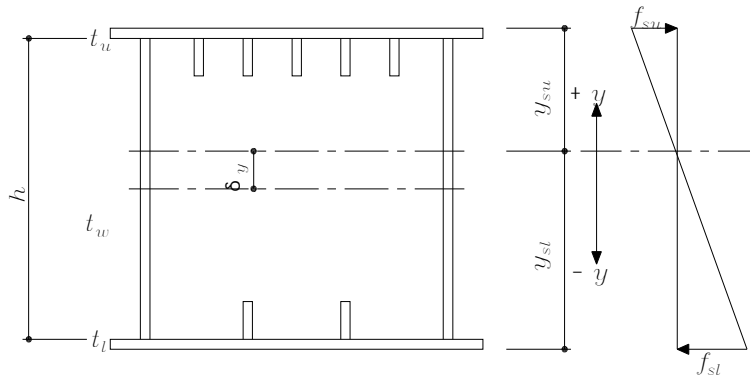
합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	923.0	2.437E+07	2.249E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	843.0	8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
L - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
R - WEB	1 - 1,836.0 × 12.0	22,032.0	-	-	-	6.189E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-843.0	-8.852E+06	7.462E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-924.0	-2.927E+07	2.705E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		123,144.0	-	-4.905E+06	6.446E+10	1.242E+10
UPPER RE-Bar (A_{rU})		12,892.5	1,148.0	14,800,590.0	16,991,077,320.0	-
LOWER RE-Bar (A_{rL})		12,892.5	1,008.0	12,995,640.0	13,099,605,120.0	-
RE-Bar 합계		25,785.0		2.780E+07	3.009E+10	-
RC. SLAB	1 - 4,500.0 × 240.0	1,080,000.0	1,088.0	1.175E+09	1.278E+12	5.184E+09
※ $A_s = 123,144.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,080,000.0 \text{ mm}^2$ $A_r = 25,785.0 \text{ mm}^2$						

$$\ast \quad A_s = 123,144.0 \text{ mm}^2 \quad A_{c1} = 1,080,000.0 \text{ mm}^2 \quad A_r = 25,785.0 \text{ mm}^2$$

2) 응 력 검 토



(1) 합성 전

- 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,905,120.0 / 123,144.0 = -39.832 \text{ mm}$$

- 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,836.0 / 2 + 10.0 - 39.832 = 967.832 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,836.0 / 2 + 12.0 + -39.832 \} = -890.168 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2$$

$$= 12,417,905,272.0 + 64,462,178,280.0 - 123,144.0 \times -39.832^2 = 7.668\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 플랜지 응력 검토

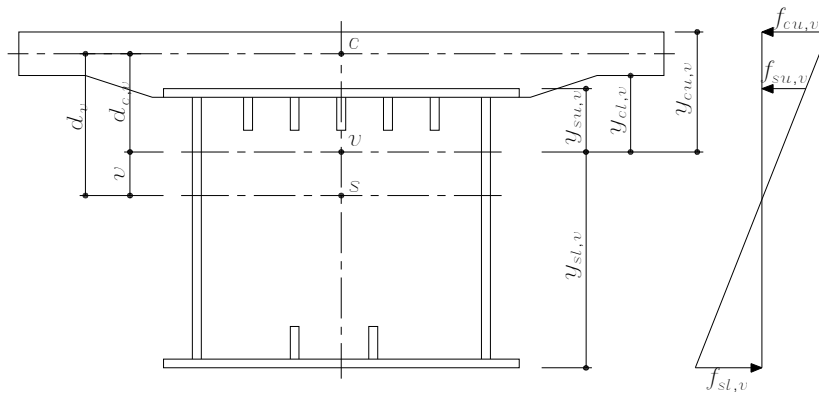
$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -1,659.417 \times 967.8 / 76,684,700,892.6 = \mathbf{-20.943 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -1,659.417 \times -890.2 / 76,684,700,892.6 = 19.263 \text{ MPa}$$

- 부재의 전단응력 검토

$$F' = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.455E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma_u &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 635.603 / 44.064.0 + 20.865 / (2 \times 4.454.964.0 \times 12.0) = 14.620 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 123,144.0 + 25,785.0 = 148,929.0 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 967.8 - 10.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 1,117.8 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,785.0 \times 1,117.8 / 148,929.0 = 193.5 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,117.8 - 193.5 = 924.3 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 76,684,700,892.6 + 123,144.0 \times 193.5^2 + 0.0 + 25,785.0 \times 924.3^2 = 1.033\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 967.8 - 193.5 = 774.3 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -890.2 - 193.5 = -1,083.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 924.3 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 994.3 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 924.3 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 854.3 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -990.241 \times 774.3 / 103,325,944,802.5 = -7.421 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -990.241 \times -1,083.7 / 103,325,944,802.5 = 10.386 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -990.241 \times 994.3 / 103,325,944,802.5 = -9.529 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -990.241 \times 854.3 / 103,325,944,802.5 = -8.187 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 4.496\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 280.988 / 44,064.0 + 170.385 / (2 \times 4,496,312.6 \times 12.0) = 7.956 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -2,638.574 \times 774.3 / 103,325,944,802.5 = -19.773 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -2,638.574 \times -1,083.7 / 103,325,944,802.5 = 27.674 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -2,638.574 \times 994.3 / 103,325,944,802.5 = -25.391 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -2,638.574 \times 854.3 / 103,325,944,802.5 = -21.816 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 575.241 / 44,064.0 + 443.218 / (2 \times 4,496,312.6 \times 12.0) = 17.162 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -17.949 \times 774.3 / 103,325,944,802.5 = -0.135 \text{ MPa}$$

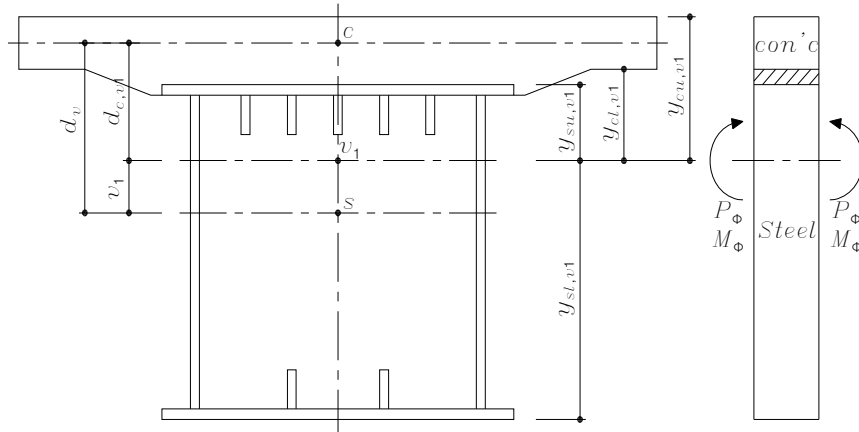
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -17.949 \times -1,083.7 / 103,325,944,802.5 = 0.188 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -17.949 \times 994.3 / 103,325,944,802.5 = -0.025 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -17.949 \times 854.3 / 103,325,944,802.5 = -0.021 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 15.857 / 44,064.0 + 68.918 / (2 \times 4,496,312.6 \times 12.0) = 0.999 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,080,000.0 / 7.0 = 154,285.7 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,184,000,000.0 / 7.0 = 7.406E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 123,144.0 + 154,285.7 = 277,429.7 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 967.8 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,127.8 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 154,285.7 \times 1,127.8 / 277,429.7 = 627.2 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,127.8 - 627.2 = 500.6 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.231 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 123,144.0 + 1,080,000.0 / 14.0 = 2.003E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,080,000.0/14.0) \times 1,127.8 / 200,286.9 = 434.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,127.8 - 434.4 = 693.4 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (76,684,700,892.6 + 123,144.0 \times 627.2^2) + (5,184,000,000.0/7.0 + 1,080,000.0/7.0 \times 500.6^2) = 1.448E+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1}) = -990.2 \times 500.6 \times 1,080,000.0 / (7.0 \times 144,833,138,594.3) = -5.281E+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -528,084.7 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -5.281E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -528,084.7 \times 693.4 = -3.662E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -528,084.7/148,929.0 + -0.231 \times -366,192,104.6 \times 994.3/103,325,944,802.5 = -2.731 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -528,084.7/148,929.0 + -0.231 \times -366,192,104.6 \times 854.3/103,325,944,802.5 = -2.845 \text{ MPa}$$

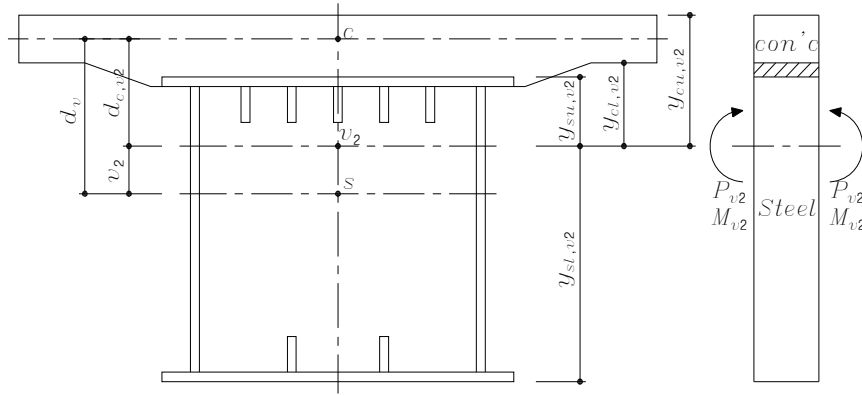
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -528,084.7/148,929.0 + -0.231 \times -366,192,104.6 \times 774.3/103,325,944,802.5 = -2.911 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -528,084.7/148,929.0 + -0.231 \times -366,192,104.6 \times -1,083.7/103,325,944,802.5 = -4.434 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 123,144.0 + 1,080,000.0 / 21.0 = 1.746E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,080,000.0/21.0) \times 1,127.8 / 174,572.6 = 332.3 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,127.8 - 332.3 = 795.6 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,080,000.0 / 21.0 = 2.847E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,846,571.4 \times 795.6 = 2.265E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

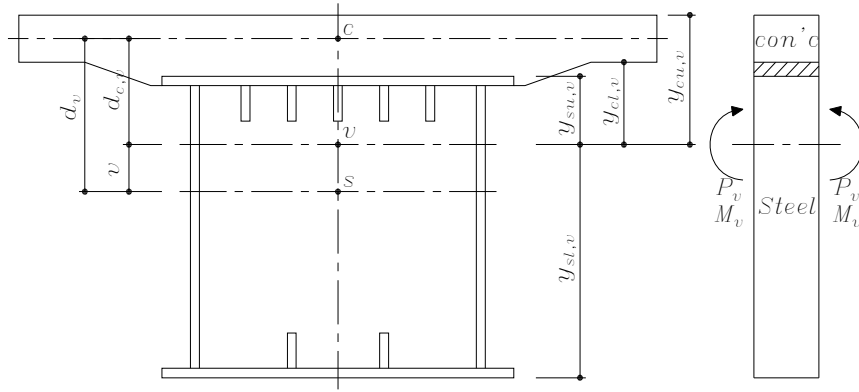
$$\begin{aligned} f_{ru,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,929.0 + -0.231 \times 2,264,664,626.9 \times 994.3/103,325,944,802.5 \\ &= 14.072 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,929.0 + -0.231 \times 2,264,664,626.9 \times 854.3/103,325,944,802.5 \\ &= 14.782 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,929.0 + -0.231 \times 2,264,664,626.9 \times 774.3/103,325,944,802.5 = 15.187 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,929.0 + -0.231 \times 2,264,664,626.9 \times -1,083.7/103,325,944,802.5 = 24.609 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팅장계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,080,000.0 / 7.0 = 3.795\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,795,428.6 \times 500.6 = 1.900\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,795,428.6/148,929.0 + -0.231 \times 1,900,052,791.7 \times 994.3/103,325,944,802.5 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -3.345 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,795,428.6/148,929.0 + -0.231 \times 1,900,052,791.7 \times 854.3/103,325,944,802.5 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -2.750 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,795,428.6/148,929.0 + -0.231 \times 1,900,052,791.7 \times 774.3/103,325,944,802.5 = 22.191 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,795,428.6/148,929.0 + -0.231 \times 1,900,052,791.7 \times -1,083.7/103,325,944,802.5 = 30.095 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,491.832 / 44,064.0 + 20.865 / 106,919,136.0 + 613.603 / 107,911,501.7 = 39.737 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 39.7 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 932.448 / 44,064.0 + 20.865 / 106,919,136.0 + 239.303 / 107,911,501.7 = 23.574 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 23.6 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,499.760 / 44,064.0 + 20.865 / 106,919,136.0 + 648.062 / 107,911,501.7 = 40.237 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 40.2 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (12.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 166.4 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(12.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 198.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 12.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 166.4 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, \pi 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-20.943	19.263	215.000	166.433
1+2+3	-34.920	-30.003	160.000	160.000	-48.137	57.323	215.000	166.433
1+2+3+5	-37.650	-32.848	160.000	160.000	-51.048	52.888	215.000	166.433
1+2+3+5+6	-23.579	-18.067	160.000	160.000	-35.860	77.497	215.000	166.433
1+2+3+5+6+7	-26.924	-20.816	184.000	184.000	-13.670	107.592	247.250	191.398
1+2+3+5+6-7	-20.233	-15.317	184.000	184.000	-58.051	47.402	247.250	191.398
1+2+4	-9.554	-8.208	192.000	192.000	-28.498	29.837	258.000	199.720
1+2+3+0.5×4	-34.932	-30.014	200.000	200.000	-48.204	57.417	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5	-37.663	-32.859	200.000	200.000	-51.115	52.982	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5+6	-23.591	-18.077	200.000	200.000	-35.928	77.591	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-26.936	-20.827	216.000	216.000	-13.737	107.687	290.250	224.685
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-20.246	-15.328	216.000	216.000	-58.118	47.496	290.250	224.685

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.009	0.013	0.101	0.101	0.111	0.114	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.050	0.119	0.101	0.101	0.151	0.220	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.056	0.101	0.101	0.101	0.157	0.202	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.028	0.217	0.101	0.101	0.129	0.318	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.003	0.316	0.101	0.101	0.104	0.417	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.055	0.061	0.101	0.101	0.156	0.162	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.012	0.022	0.025	0.025	0.037	0.047	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.032	0.076	0.066	0.066	0.098	0.142	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.036	0.065	0.066	0.066	0.102	0.131	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.018	0.139	0.066	0.066	0.084	0.205	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.002	0.230	0.066	0.066	0.069	0.296	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.040	0.045	0.066	0.066	0.106	0.111	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-51.048}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{39.737}{125.000} \right) = 0.056 + 0.101 = 0.157 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{107.592}{191.398} \right)^2 + \left(\frac{39.737}{125.000} \right) = 0.316 + 0.101 = 0.417 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{1,836.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{7.4} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 19.263)} = 3.34 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

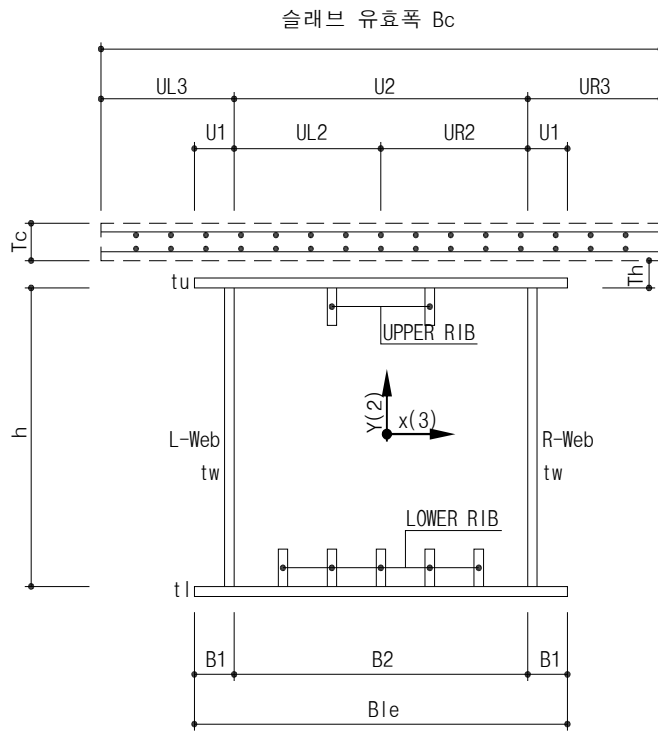
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-27.226	25.042	355.000	0.K !!
1+2+3	-66.978	-57.547	240.000	0.K !!	-79.385	98.042	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-70.323	-60.297	240.000	0.K !!	-101.575	128.138	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-69.708	-60.392	240.000	0.K !!	-82.296	93.608	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-55.637	-45.611	240.000	0.K !!	-67.108	118.217	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-58.982	-48.361	240.000	0.K !!	-44.918	148.312	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-52.291	-42.861	240.000	0.K !!	-89.299	88.121	355.000	0.K !!
1+2+4	-12.412	-10.665	240.000	0.K !!	-37.008	38.731	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-66.990	-57.558	240.000	0.K !!	-79.452	98.136	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-70.335	-60.307	240.000	0.K !!	-57.261	128.232	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-69.721	-60.403	240.000	0.K !!	-82.363	93.702	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-55.649	-45.621	240.000	0.K !!	-67.176	118.311	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-58.994	-48.371	240.000	0.K !!	-44.985	148.406	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-52.304	-42.872	240.000	0.K !!	-89.366	88.215	355.000	0.K !!

[G1 : 단면 - 5] : 절점 11 로 부터 이격거리 0.000 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종:	SM520B
Bc =	4,283.5 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,496.4 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,496.4 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	1,996.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-5,427.753
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-2,571.568
M_w : 풍하중에의한 모멘트	kN·m	-70.707
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-3,962.180
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-870.152
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-361.695
V_w : 풍하중에의한 전단력	kN	-31.608
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-688.330
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	24.084
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	129.899
M_{wt} : 풍하중에의한 비틀림모멘트	kN·m	144.718
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	499.595
t_{cu}, t_{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

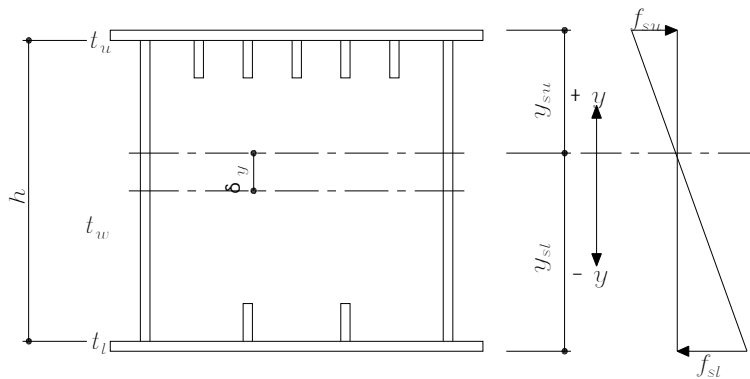
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

[illegible]

2) 응 력 검 토



(1) 합성 전

- 도심축 이동량

$$\delta_y = \Sigma A_s Y / \Sigma A_s = -15,920,448.6 / 132,504.0 = -120.151 \text{ mm}$$

- 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,996.0 / 2 + 12.0 - -120.151 = 1,130.151 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,996.0 / 2 + 16.0 + -120.151 \} = -893.849 \text{ mm}$$

- 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2$$

$$= 15,932,965,972.7 + 83,144,285,398.2 - 132,504.0 \times -120.151^2 = 9.716\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 플랜지 응력 검토

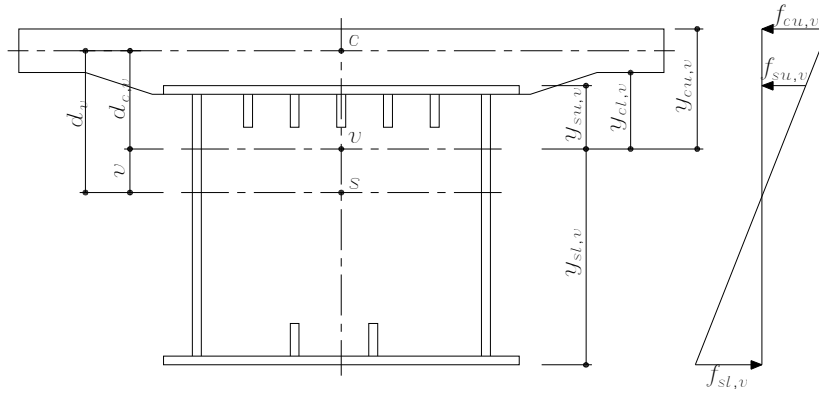
$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -5,427.753 \times 1,130.2 / 97,164,398,865.5 = \mathbf{-63.132 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -5,427.753 \times -893.8 / 97,164,398,865.5 = 49.932 \text{ MPa}$$

- 부재의 전단응력 검토

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.704E+06 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \sigma &= V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) \\ &= 870.152 / 47.904.0 + 24.084 / (2 \times 4.703.832.2 \times 12.0) = 18.378 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 132,504.0 + 24,544.7 = 157,048.7 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,130.2 - 12.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,272.3 / 24,544.7 = 1,278.2 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 24,544.7 \times 1,278.2 / 157,048.7 = 199.8 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,278.2 - 199.8 = 1,078.4 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 97,164,398,865.5 + 132,504.0 \times 199.8^2 + 0.0 + 24,544.7 \times 1,078.4^2 = 1.310E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,130.2 - 199.8 = 930.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -893.8 - 199.8 = -1,093.6 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,078.4 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,272.3 / 24,544.7 = 1,148.4 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,078.4 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,272.3 / 24,544.7 = 1,008.4 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -2,571.568 \times 930.4 / 130,995,509,639.8 = -18.264 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -2,571.568 \times -1,093.6 / 130,995,509,639.8 = 21.469 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -2,571.568 \times 1,148.4 / 130,995,509,639.8 = -22.544 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -2,571.568 \times 1,008.4 / 130,995,509,639.8 = -19.796 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 4.744E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 361.695 / 47,904.0 + 129.899 / (2 \times 4,743,950.1 \times 12.0) = 8.691 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -3,962.180 \times 930.4 / 130,995,509,639.8 = -28.141 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -3,962.180 \times -1,093.6 / 130,995,509,639.8 = 33.078 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -3,962.180 \times 1,148.4 / 130,995,509,639.8 = -34.735 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -3,962.180 \times 1,008.4 / 130,995,509,639.8 = -30.501 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 688.330 / 47,904.0 + 499.595 / (2 \times 4,743,950.1 \times 12.0) = 18.757 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -70.707 \times 930.4 / 130,995,509,639.8 = -0.502 \text{ MPa}$$

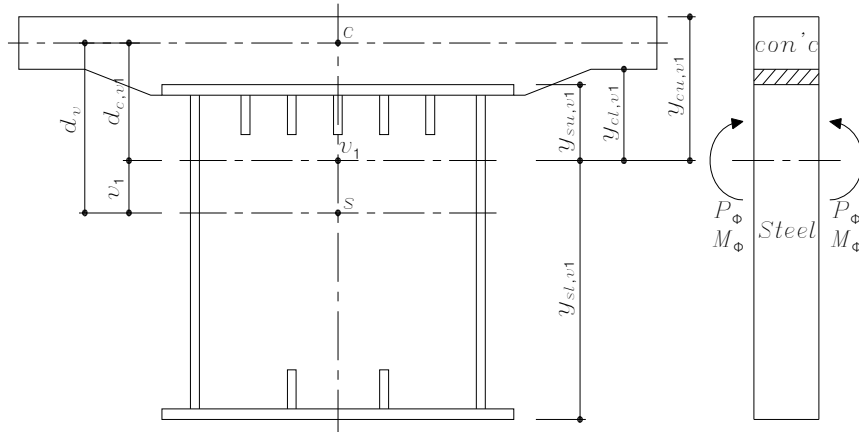
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -70.707 \times -1,093.6 / 130,995,509,639.8 = 0.590 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -70.707 \times 1,148.4 / 130,995,509,639.8 = -0.089 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -70.707 \times 1,008.4 / 130,995,509,639.8 = -0.078 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 31.608 / 47,904.0 + 144.718 / (2 \times 4,743,950.1 \times 12.0) = 1.931 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,028,049.6 / 7.0 = 146,864.2 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 4,934,638,080.0 / 7.0 = 7.049\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 132,504.0 + 146,864.2 = 279,368.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,130.2 - 12.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,288.2 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 146,864.2 \times 1,288.2 / 279,368.3 = 677.2 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,288.2 - 677.2 = 611.0 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.293 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 132,504.0 + 1,028,049.6 / 14.0 = 2.059\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,028,049.6/14.0) \times 1,288.2 / 205,936.2 = 459.3 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,288.2 - 459.3 = 828.8 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (97,164,398,865.5 + 132,504.0 \times 677.2^2) + (4,934,638,080.0/7.0 + 1,028,049.6/7.0 \times 611.0^2) = 1.857\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -2,571.6 \times 611.0 \times 1,028,049.6 / (7.0 \times 185,690,942,153.9) = -1.243\text{E}+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1,242,630.6 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.243\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,242,630.6 \times 828.8 = -1.030\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -1,242,630.6/157,048.7 + -0.293 \times -1,029,924,078.6 \times 1,148.4/130,995,509,639.8 = -5.268 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,242,630.6/157,048.7 + -0.293 \times -1,029,924,078.6 \times 1,008.4/130,995,509,639.8 = -5.590 \text{ MPa}$$

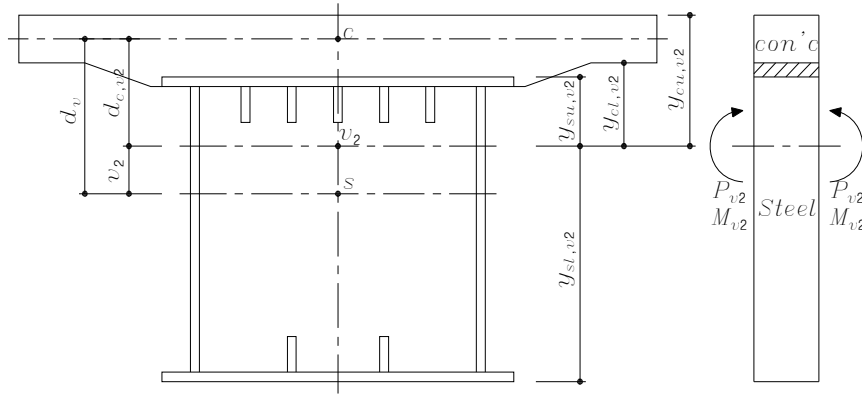
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -1,242,630.6/157,048.7 + -0.293 \times -1,029,924,078.6 \times 930.4/130,995,509,639.8 = -5.770 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,242,630.6/157,048.7 + -0.293 \times -1,029,924,078.6 \times -1,093.6/130,995,509,639.8 = -10.431 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 132,504.0 + 1,028,049.6 / 21.0 = 1.815E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,028,049.6/21.0) \times 1,288.2 / 181,458.8 = 347.5 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,288.2 - 347.5 = 940.6 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,028,049.6 / 21.0 = 2.710E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,709,645.0 \times 940.6 = 2.549E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

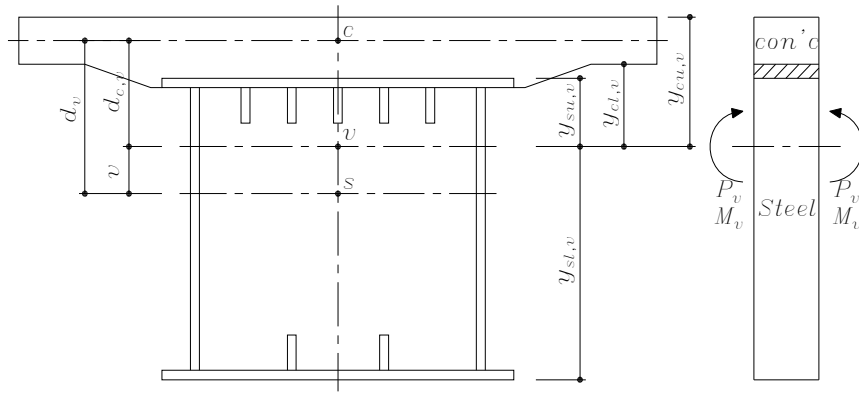
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,709,645.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,548,767,306.6 \times 1,148.4/130,995,509,639.8 = 10.709 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,709,645.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,548,767,306.6 \times 1,008.4/130,995,509,639.8 = 11.507 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,709,645.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,548,767,306.6 \times 930.4/130,995,509,639.8 = 11.951 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,709,645.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,548,767,306.6 \times -1,093.6/130,995,509,639.8 = 23.486 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,028,049.6 / 7.0 = 3.613\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,612,860.0 \times 611.0 = 2.207\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,612,860.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,207,343,091.6 \times 1,148.4/130,995,509,639.8 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -7.263 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,612,860.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,207,343,091.6 \times 1,008.4/130,995,509,639.8 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -6.572 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,612,860.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,207,343,091.6 \times 930.4/130,995,509,639.8 = 18.413 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,612,860.0/157,048.7 + -0.293 \times 2,207,343,091.6 \times -1,093.6/130,995,509,639.8 = 28.402 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,920.176 / 47,904.0 + 24.084 / 112,891,971.6 + 629.494 / 113,854,802.9 = 45.826 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 45.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,263.454 / 47,904.0 + 24.084 / 112,891,971.6 + 274.617 / 113,854,802.9 = 29.000 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 29.0 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,935.980 / 47,904.0 + 24.084 / 112,891,971.6 + 701.853 / 113,854,802.9 = 46.792 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 46.8 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-63.132	49.932	215.000	205.600
1+2+3	-57.279	-50.296	160.000	160.000	-109.538	104.478	215.000	205.600
1+2+3+5	-62.547	-55.886	160.000	160.000	-115.308	94.048	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-51.838	-44.380	160.000	160.000	-103.356	117.533	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-59.101	-50.952	184.000	184.000	-84.943	145.936	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-44.575	-37.807	184.000	184.000	-121.769	89.131	247.250	236.440
1+2+4	-22.633	-19.873	192.000	192.000	-81.899	71.991	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-57.323	-50.335	200.000	200.000	-109.789	104.774	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-62.591	-55.925	200.000	200.000	-115.559	94.343	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-51.882	-44.419	200.000	200.000	-103.607	117.829	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-59.145	-50.991	216.000	216.000	-85.195	146.231	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-44.619	-37.846	216.000	216.000	-122.020	89.426	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.086	0.059	0.134	0.134	0.221	0.193	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.260	0.258	0.134	0.134	0.394	0.393	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.288	0.209	0.134	0.134	0.422	0.344	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.231	0.327	0.134	0.134	0.366	0.461	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.118	0.381	0.134	0.134	0.252	0.515	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.243	0.142	0.134	0.134	0.377	0.277	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.101	0.085	0.037	0.037	0.138	0.123	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.167	0.166	0.090	0.090	0.257	0.256	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.185	0.135	0.090	0.090	0.275	0.224	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.149	0.210	0.090	0.090	0.238	0.300	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.086	0.278	0.090	0.090	0.176	0.367	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.177	0.104	0.090	0.090	0.266	0.193	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-115.308}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{45.826}{125.000} \right) = 0.288 + 0.134 = 0.422 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{145.936}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{45.826}{125.000} \right) = 0.381 + 0.134 = 0.515 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{1,996.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.1} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 49.932)} = 2.08 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

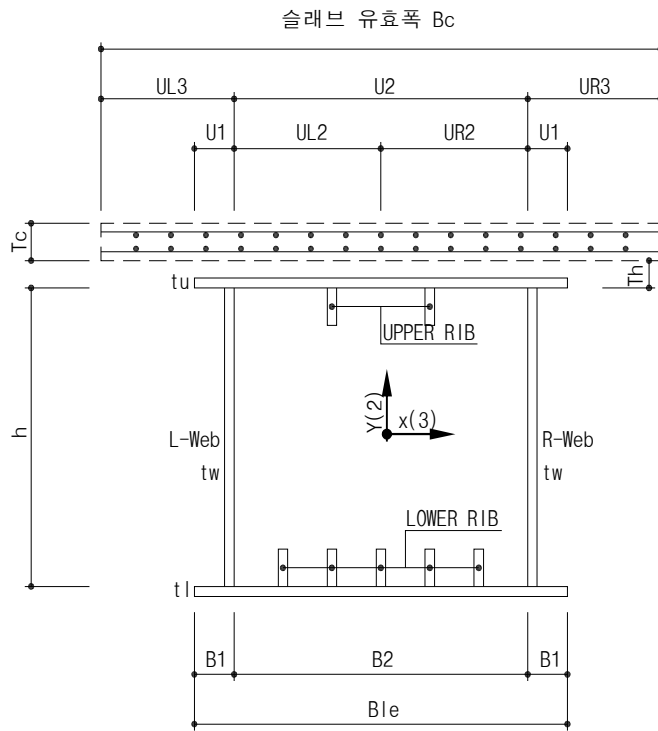
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-82.072	64.911	355.000	0.K !!
1+2+3	-103.988	-91.311	240.000	0.K !!	-166.319	163.938	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-111.251	-97.883	240.000	0.K !!	-184.732	192.340	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-109.255	-96.901	240.000	0.K !!	-172.089	153.507	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-98.546	-85.394	240.000	0.K !!	-160.138	176.993	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-105.810	-91.966	240.000	0.K !!	-141.725	205.395	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-91.283	-78.822	240.000	0.K !!	-178.550	148.591	355.000	0.K !!
1+2+4	-29.396	-25.812	240.000	0.K !!	-106.318	93.411	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-104.032	-91.349	240.000	0.K !!	-166.570	164.233	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-111.295	-97.922	240.000	0.K !!	-148.157	192.636	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-109.300	-96.940	240.000	0.K !!	-172.340	153.803	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-98.591	-85.433	240.000	0.K !!	-160.389	177.288	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-105.854	-92.005	240.000	0.K !!	-141.976	205.691	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-91.328	-78.861	240.000	0.K !!	-178.802	148.886	355.000	0.K !!

[G2 : 단면 - 6] : 절점 47 로 부터 이격거리 0.000 m

1) 단면가정 및 설계조건

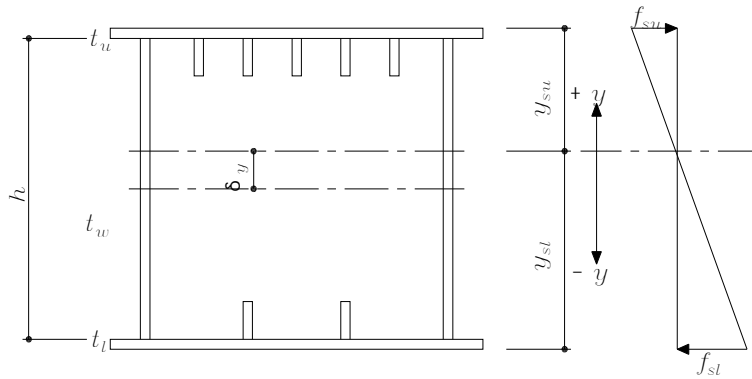


주부재 강종:	SM520B
Bc =	4,141.1 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,317.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,317.0 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	2,200.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-10,441.921
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-5,317.604
M_w : 풍하중에의한 모멘트	kN·m	-364.906
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-6,587.577
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	1,270.619
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	654.047
V_w : 풍하중에의한 전단력	kN	76.459
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	889.195
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	30.351
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	212.040
M_{wt} : 풍하중에의한 비틀림모멘트	kN·m	123.280
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	489.252
t_{cu}, t_{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

X(3)축 방향 단면 제원

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -16,781,962.9 / 132,375.4 = -126.776 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,200.0 / 2 + 12.0 - -126.776 = 1,238.776 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,200.0 / 2 + 16.0 + -126.776 \} = -989.224 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 21,324,687,007.6 + 94,966,314,622.9 - 132,375.4 \times -126.776^2 = 1.142E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -10,441.921 \times 1,238.8 / 114,163,459,859.1 = -113.304 \text{ MPa}$$

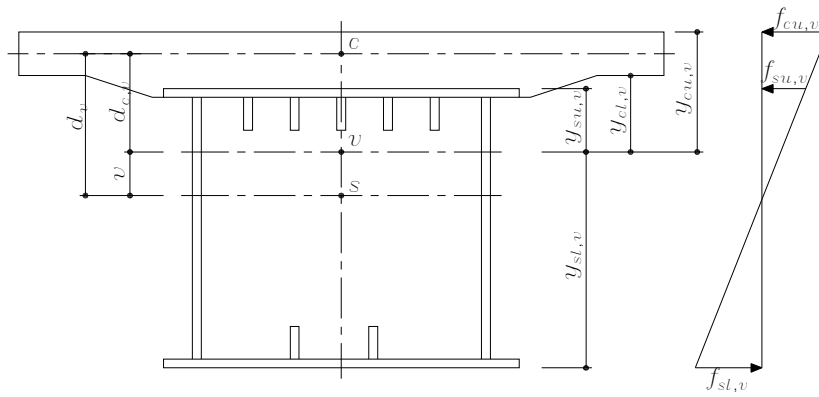
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -10,441.921 \times -989.2 / 114,163,459,859.1 = 90.479 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.983E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 1,270.619 / 52,800.0 + 30.351 / (2 \times 4,982,584.9 \times 12.0) = 24.319 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 132,375.4 + 23,728.6 = 156,104.1 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,238.8 - 12.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 11,864.3 / 23,728.6 = 1,386.8 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 23,728.6 \times 1,386.8 / 156,104.1 = 210.8 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,386.8 - 210.8 = 1,176.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 114,163,459,859.1 + 132,375.4 \times 210.8^2 + 0.0 + 23,728.6 \times 1,176.0^2 = 1.529\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,238.8 - 210.8 = 1,028.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -989.2 - 210.8 = -1,200.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,176.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 11,864.3 / 23,728.6 = 1,246.0 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,176.0 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 11,864.3 / 23,728.6 = 1,106.0 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -5,317.604 \times 1,028.0 / 152,860,521,080.9 = -35.761 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -5,317.604 \times -1,200.0 / 152,860,521,080.9 = 41.746 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -5,317.604 \times 1,246.0 / 152,860,521,080.9 = -43.344 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -5,317.604 \times 1,106.0 / 152,860,521,080.9 = -38.474 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 5.021\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 654.047 / 52,800.0 + 212.040 / (2 \times 5,021,164.7 \times 12.0) = 14.147 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -6,587.577 \times 1,028.0 / 152,860,521,080.9 = -44.301 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -6,587.577 \times -1,200.0 / 152,860,521,080.9 = 51.715 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -6,587.577 \times 1,246.0 / 152,860,521,080.9 = -53.696 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -6,587.577 \times 1,106.0 / 152,860,521,080.9 = -47.663 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 889.195 / 52,800.0 + 489.252 / (2 \times 5,021,164.7 \times 12.0) = 20.901 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -364.906 \times 1,028.0 / 152,860,521,080.9 = -2.454 \text{ MPa}$$

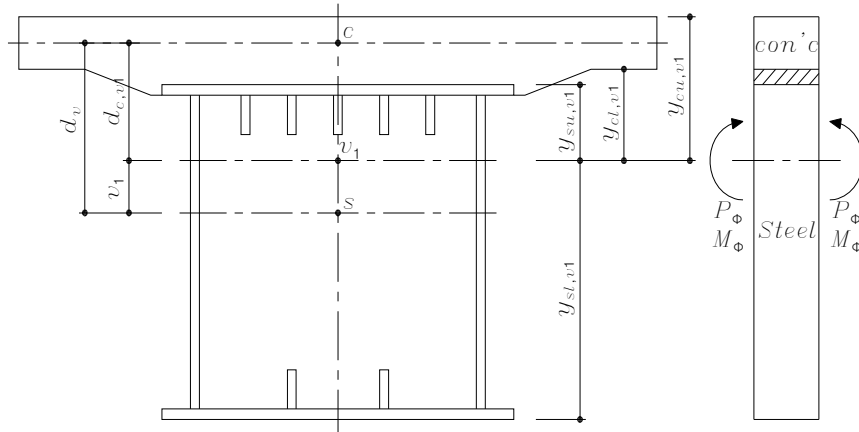
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -364.906 \times -1,200.0 / 152,860,521,080.9 = 2.865 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -364.906 \times 1,246.0 / 152,860,521,080.9 = -0.425 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -364.906 \times 1,106.0 / 152,860,521,080.9 = -0.377 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 76.459 / 52,800.0 + 123.280 / (2 \times 5,021,164.7 \times 12.0) = 2.471 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 993,868.8 / 7.0 = 141,981.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 4,770,570,240.0 / 7.0 = 6.815\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 132,375.4 + 141,981.3 = 274,356.7 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,238.8 - 12.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,396.8 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 141,981.3 \times 1,396.8 / 274,356.7 = 722.8 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,396.8 - 722.8 = 673.9 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.355 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 132,375.4 + 993,868.8 / 14.0 = 2.034\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (993,868.8/14.0) \times 1,396.8 / 203,366.1 = 487.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,396.8 - 487.6 = 909.2 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (114,163,459,859.1 + 132,375.4 \times 722.8^2) + (4,770,570,240.0/7.0 + 993,868.8/7.0 \times 673.9^2) = 2.159\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1}) = -5,317.6 \times 673.9 \times 993,868.8 / (7.0 \times 215,913,221,633.9) = -2.357\text{E}+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -2,356,601.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -2.357\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -2,356,601.9 \times 909.2 = -2.143\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -2,356,601.9/156,104.1 + -0.355 \times -2,142,603,279.4 \times 1,246.0/152,860,521,080.9 = -8.900 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -2,356,601.9/156,104.1 + -0.355 \times -2,142,603,279.4 \times 1,106.0/152,860,521,080.9 = -9.596 \text{ MPa}$$

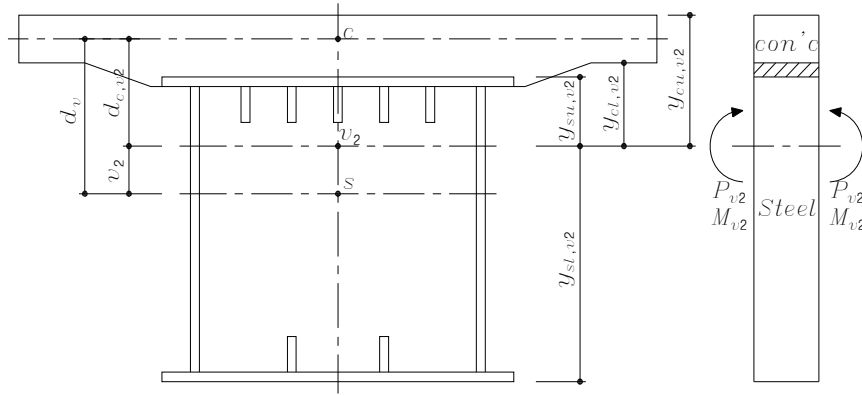
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -2,356,601.9/156,104.1 + -0.355 \times -2,142,603,279.4 \times 1,028.0/152,860,521,080.9 = -9.984 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -2,356,601.9/156,104.1 + -0.355 \times -2,142,603,279.4 \times -1,200.0/152,860,521,080.9 = -21.064 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 132,375.4 + 993,868.8 / 21.0 = 1.797E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (993,868.8/21.0) \times 1,396.8 / 179,702.5 = 367.9 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,396.8 - 367.9 = 1,028.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 993,868.8 / 21.0 = 2.620E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,619,554.2 \times 1,028.9 = 2.695E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

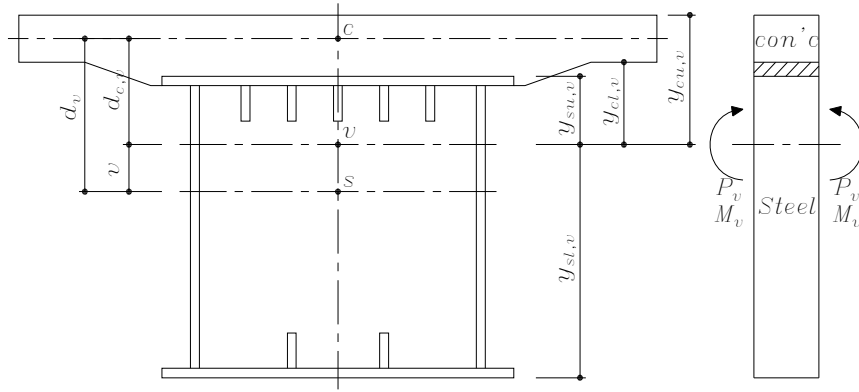
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,619,554.2/156,104.1 + -0.355 \times 2,695,300,753.0 \times 1,246.0/152,860,521,080.9 = 8.986 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,619,554.2/156,104.1 + -0.355 \times 2,695,300,753.0 \times 1,106.0/152,860,521,080.9 = 9.862 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,619,554.2/156,104.1 + -0.355 \times 2,695,300,753.0 \times 1,028.0/152,860,521,080.9 = 10.350 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,619,554.2/156,104.1 + -0.355 \times 2,695,300,753.0 \times -1,200.0/152,860,521,080.9 = 24.288 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 993,868.8 / 7.0 = 3.493\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,492,738.9 \times 673.9 = 2.354\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,492,738.9/156,104.1 + -0.355 \times 2,353,881,439.3 \times 1,246.0/152,860,521,080.9 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -9.033 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,492,738.9/156,104.1 + -0.355 \times 2,353,881,439.3 \times 1,106.0/152,860,521,080.9 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -8.268 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,492,738.9/156,104.1 + -0.355 \times 2,353,881,439.3 \times 1,028.0/152,860,521,080.9 = 16.758 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,492,738.9/156,104.1 + -0.355 \times 2,353,881,439.3 \times -1,200.0/152,860,521,080.9 = 28.930 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,813.861 / 52,800.0 + 30.351 / 119,582,036.6 + 701.292 / 120,507,952.5 = 59.366 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 59.4 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,001.125 / 52,800.0 + 30.351 / 119,582,036.6 + 335.320 / 120,507,952.5 = 40.936 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 40.9 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,852.090 / 52,800.0 + 30.351 / 119,582,036.6 + 762.933 / 120,507,952.5 = 60.602 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 60.6 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, \pi 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-113.304	90.479	215.000	205.600
1+2+3	-97.040	-86.137	160.000	160.000	-193.366	183.940	215.000	205.600
1+2+3+5	-105.940	-95.733	160.000	160.000	-203.350	162.876	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-96.954	-85.871	160.000	160.000	-193.000	187.164	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-105.987	-94.139	184.000	184.000	-176.242	216.094	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-87.921	-77.603	184.000	184.000	-209.758	158.233	247.250	236.440
1+2+4	-43.769	-38.851	192.000	192.000	-151.519	135.089	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-97.253	-86.325	200.000	200.000	-194.593	185.372	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-106.153	-95.922	200.000	200.000	-204.577	164.308	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-97.166	-86.059	200.000	200.000	-194.227	188.596	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-106.199	-94.327	216.000	216.000	-177.469	217.527	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-88.134	-77.792	216.000	216.000	-210.985	159.666	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.278	0.194	0.226	0.226	0.503	0.419	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.809	0.800	0.226	0.226	1.034	1.026	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.895	0.628	0.226	0.226	1.120	0.853	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.806	0.829	0.226	0.226	1.031	1.054	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.508	0.835	0.226	0.226	0.734	1.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.720	0.448	0.226	0.226	0.945	0.673	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.345	0.300	0.074	0.074	0.419	0.374	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.524	0.520	0.150	0.150	0.675	0.671	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.579	0.409	0.150	0.150	0.730	0.559	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.522	0.539	0.150	0.150	0.673	0.689	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.374	0.614	0.150	0.150	0.524	0.765	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.528	0.331	0.150	0.150	0.679	0.481	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-203.350}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{59.366}{125.000} \right) = 0.895 + 0.226 = 1.120 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{216.094}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{59.366}{125.000} \right) = 0.835 + 0.226 = 1.061 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,200.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.9} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 90.479)} = 1.54 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

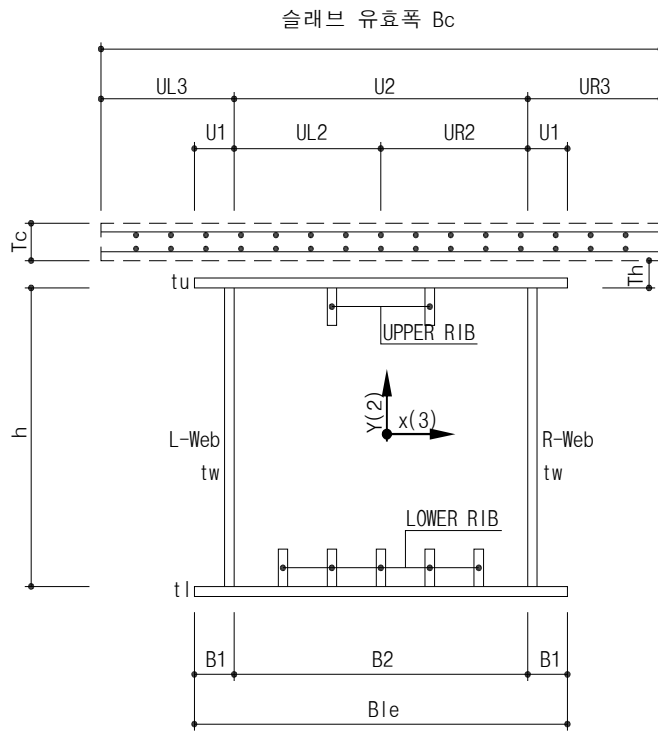
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-147.295	117.623	355.000	0.K !!
1+2+3	-171.794	-152.491	240.000	0.K !!	-289.032	283.080	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-180.826	-160.758	240.000	0.K !!	-305.790	312.010	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-180.694	-162.087	240.000	0.K !!	-299.016	262.016	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-171.707	-152.225	240.000	0.K !!	-288.666	286.304	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-180.740	-160.493	240.000	0.K !!	-271.907	315.234	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-162.675	-143.957	240.000	0.K !!	-305.424	257.373	355.000	0.K !!
1+2+4	-56.772	-50.393	240.000	0.K !!	-196.238	174.757	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-172.006	-152.679	240.000	0.K !!	-290.259	284.512	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-181.039	-160.947	240.000	0.K !!	-273.500	313.443	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-180.906	-162.276	240.000	0.K !!	-300.243	263.448	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-171.920	-152.413	240.000	0.K !!	-289.893	287.736	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-180.953	-160.681	240.000	0.K !!	-273.134	316.667	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-162.887	-144.146	240.000	0.K !!	-306.651	258.806	355.000	0.K !!

[G1 : 단면 - 8] : 절점 20 로 부터 이격거리 0.000 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc =	4,285.7 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,497.8 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,497.8 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	1,996.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-2,624.085
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-1,144.002
M_w : 풍하중에의한 모멘트	kN·m	-78.320
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-3,502.210
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-707.814
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-281.886
V_w : 풍하중에의한 전단력	kN	-32.036
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-660.186
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-34.298
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	71.714
M_{wt} : 풍하중에의한 비틀림모멘트	kN·m	76.472
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	552.253
t_{cu}, t_{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

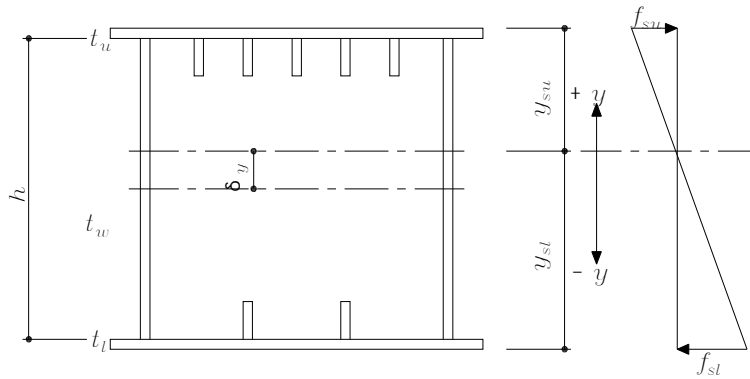
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	① - 2,497.8 × 10.0	24,977.8	1,003.0	2.505E+07	2.513E+10	2.081E+05
UPPER RIB	② - 150.0 × 14.0	4,200.0	923.0	3.877E+06	3.578E+09	7.875E+06
L - WEB	③ - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
R - WEB	④ - 1,996.0 × 12.0	23,952.0	-	-	-	7.952E+09
LOWER RIB	⑤ - 150.0 × 14.0	10,500.0	-923.0	-9.692E+06	8.945E+09	1.969E+07
LOWER FL.	⑥ - 2,497.8 × 16.0	39,964.5	-1,006.0	-4.020E+07	4.045E+10	8.526E+05
강재 단면 합계		127,546.3	-	-2.097E+07	7.810E+10	1.593E+10
UPPER RE-Bar (A_{ru})		12,278.5	1,228.0	15,078,000.3	18,515,784,333.8	-
LOWER RE-Bar (A_{rl})		12,278.5	1,088.0	13,359,010.0	14,534,602,893.9	-
RE-Bar 합계		24,557.0	-	2.844E+07	3.305E+10	-
RC. SLAB	⑦ - 4,285.7 × 240.0	1,028,565.6	1,168.0	1.201E+09	1.403E+12	4.937E+09
※ $A_s = 127,546.3 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,028,565.6 \text{ mm}^2$ $A_r = 24,557.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -20,966,433.5 / 127,546.3 = -164.383 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,996.0 / 2 + 10.0 - -164.383 = 1,172.383 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,996.0 / 2 + 16.0 + -164.383 \} = -849.617 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 15,932,815,095.9 + 78,096,740,381.5 - 127,546.3 \times -164.383^2 = 9.058\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -2,624.085 \times 1,172.4 / 90,583,031,338.3 = -33.963 \text{ MPa}$$

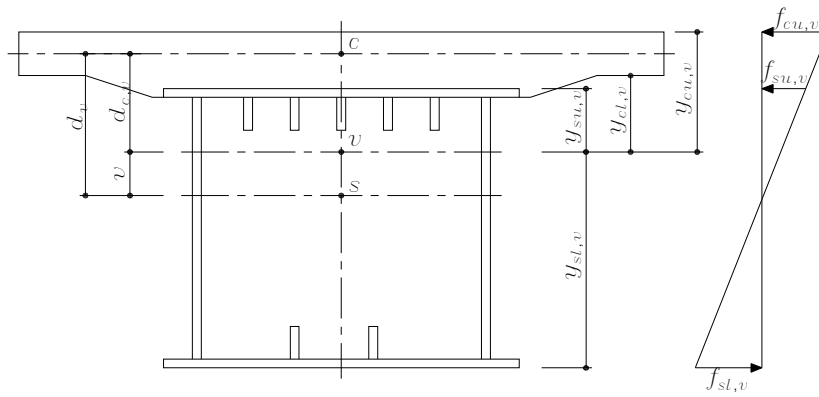
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -2,624.085 \times -849.6 / 90,583,031,338.3 = 24.612 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.703\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 707.814 / 47,904.0 + 34.298 / (2 \times 4,702,848.0 \times 12.0) = 15.080 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 127,546.3 + 24,557.0 = 152,103.3 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,172.4 - 10.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,278.5 / 24,557.0 = 1,322.4 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 24,557.0 \times 1,322.4 / 152,103.3 = 213.5 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,322.4 - 213.5 = 1,108.9 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 90,583,031,338.3 + 127,546.3 \times 213.5^2 + 0.0 + 24,557.0 \times 1,108.9^2 = 1.266\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,172.4 - 213.5 = 958.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -849.6 - 213.5 = -1,063.1 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,108.9 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,278.5 / 24,557.0 = 1,178.9 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,108.9 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,278.5 / 24,557.0 = 1,038.9 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -1,144.002 \times 958.9 / 126,592,694,827.2 = -8.665 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -1,144.002 \times -1,063.1 / 126,592,694,827.2 = 9.607 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -1,144.002 \times 1,178.9 / 126,592,694,827.2 = -10.653 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -1,144.002 \times 1,038.9 / 126,592,694,827.2 = -9.388 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 4.743\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 281.886 / 47,904.0 + 71.714 / (2 \times 4,742,977.6 \times 12.0) = 6.514 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -3,502.210 \times 958.9 / 126,592,694,827.2 = -26.528 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -3,502.210 \times -1,063.1 / 126,592,694,827.2 = 29.411 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -3,502.210 \times 1,178.9 / 126,592,694,827.2 = -32.614 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -3,502.210 \times 1,038.9 / 126,592,694,827.2 = -28.741 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 660.186 / 47,904.0 + 552.253 / (2 \times 4,742,977.6 \times 12.0) = 18.633 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -78.320 \times 958.9 / 126,592,694,827.2 = -0.593 \text{ MPa}$$

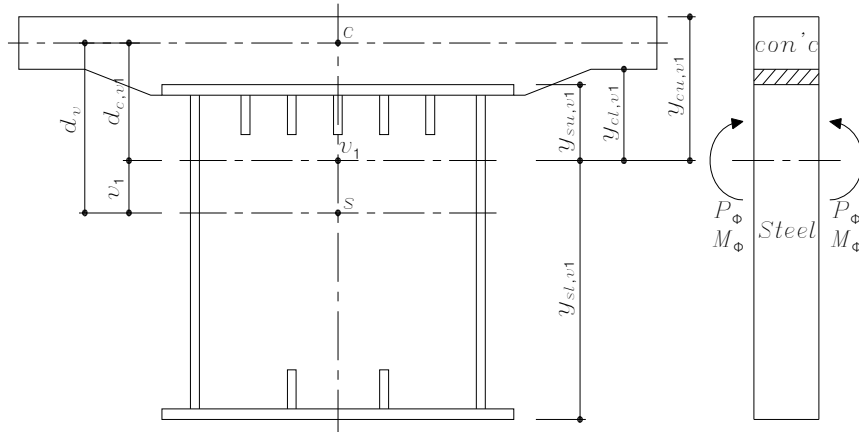
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -78.320 \times -1,063.1 / 126,592,694,827.2 = 0.658 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -78.320 \times 1,178.9 / 126,592,694,827.2 = -0.104 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -78.320 \times 1,038.9 / 126,592,694,827.2 = -0.092 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 32.036 / 47,904.0 + 76.472 / (2 \times 4,742,977.6 \times 12.0) = 1.341 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,028,565.6 / 7.0 = 146,937.9 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 4,937,114,880.0 / 7.0 = 7.053\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 127,546.3 + 146,937.9 = 274,484.2 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,172.4 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,332.4 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 146,937.9 \times 1,332.4 / 274,484.2 = 713.3 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,332.4 - 713.3 = 619.1 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.138 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 127,546.3 + 1,028,565.6 / 14.0 = 2.010\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,028,565.6/14.0) \times 1,332.4 / 201,015.3 = 487.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,332.4 - 487.0 = 845.4 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (90,583,031,338.3 + 127,546.3 \times 713.3^2) + (4,937,114,880.0/7.0 + 1,028,565.6/7.0 \times 619.1^2) = 1.840\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -1,144.0 \times 619.1 \times 1,028,565.6 / (7.0 \times 183,984,849,358.7) = -5.657\text{E}+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -565,663.5 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -5.657\text{E}+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -565,663.5 \times 845.4 = -4.782\text{E}+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -565,663.5/152,103.3 + 0.138 \times -478,218,096.3 \times 1,178.9/126,592,694,827.2 = -4.333 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -565,663.5/152,103.3 + 0.138 \times -478,218,096.3 \times 1,038.9/126,592,694,827.2 = -4.260 \text{ MPa}$$

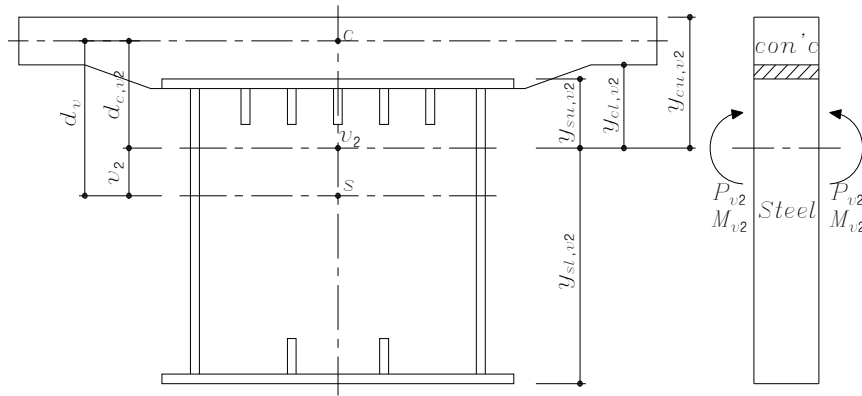
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -565,663.5/152,103.3 + 0.138 \times -478,218,096.3 \times 958.9/126,592,694,827.2 = -4.219 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -565,663.5/152,103.3 + 0.138 \times -478,218,096.3 \times -1,063.1/126,592,694,827.2 = -3.165 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 127,546.3 + 1,028,565.6 / 21.0 = 1.765E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,028,565.6/21.0) \times 1,332.4 / 176,525.6 = 369.7 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,332.4 - 369.7 = 962.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,028,565.6 / 21.0 = 2.711E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,711,005.0 \times 962.7 = 2.610E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

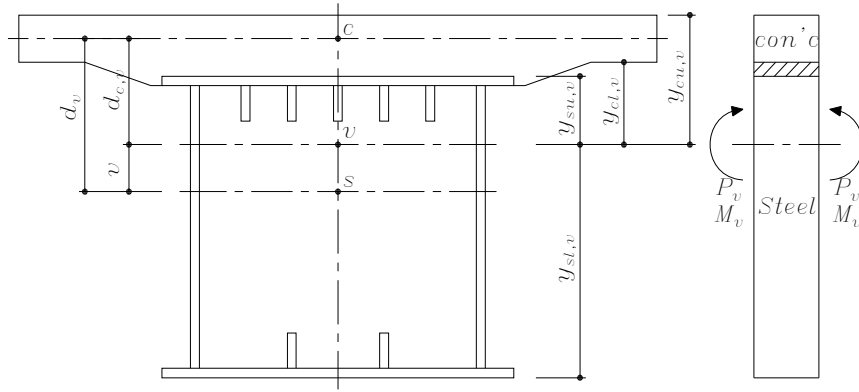
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,711,005.0/152,103.3 + 0.138 \times 2,609,873,790.3 \times 1,178.9/126,592,694,827.2 = 21.176 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,711,005.0/152,103.3 + 0.138 \times 2,609,873,790.3 \times 1,038.9/126,592,694,827.2 = 20.777 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,711,005.0/152,103.3 + 0.138 \times 2,609,873,790.3 \times 958.9/126,592,694,827.2 = 20.550 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,711,005.0/152,103.3 + 0.138 \times 2,609,873,790.3 \times -1,063.1/126,592,694,827.2 = 14.801 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,028,565.6 / 7.0 = 3.615\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,614,673.4 \times 619.1 = 2.238\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,614,673.4/152,103.3 + 0.138 \times 2,237,940,512.8 \times 1,178.9/126,592,694,827.2 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 2.039 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,614,673.4/152,103.3 + 0.138 \times 2,237,940,512.8 \times 1,038.9/126,592,694,827.2 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 1.698 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,614,673.4/152,103.3 + 0.138 \times 2,237,940,512.8 \times 958.9/126,592,694,827.2 = 26.103 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,614,673.4/152,103.3 + 0.138 \times 2,237,940,512.8 \times -1,063.1/126,592,694,827.2 = 21.172 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,649.885 / 47,904.0 + 34.298 / 112,868,352.2 + 623.967 / 113,831,461.3 = 40.227 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 40.2 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,021.736 / 47,904.0 + 34.298 / 112,868,352.2 + 148.186 / 113,831,461.3 = 22.934 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 22.9 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,665.903 / 47,904.0 + 34.298 / 112,868,352.2 + 662.203 / 113,831,461.3 = 40.897 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 40.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-33.963	24.612	215.000	205.600
1+2+3	-43.267	-38.129	160.000	160.000	-69.156	63.631	215.000	205.600
1+2+3+5	-47.601	-42.389	160.000	160.000	-73.374	60.466	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-26.425	-21.612	160.000	160.000	-52.824	75.266	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-24.386	-19.914	184.000	184.000	-26.722	96.439	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-28.464	-23.310	184.000	184.000	-78.927	54.094	247.250	236.440
1+2+4	-10.758	-9.480	192.000	192.000	-43.221	34.877	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-43.320	-38.175	200.000	200.000	-69.452	63.960	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-47.653	-42.435	200.000	200.000	-73.671	60.795	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-26.477	-21.658	200.000	200.000	-53.121	75.595	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-24.438	-19.960	216.000	216.000	-27.018	96.768	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-28.516	-23.356	216.000	216.000	-79.223	54.423	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.025	0.014	0.104	0.104	0.129	0.118	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.103	0.096	0.104	0.104	0.207	0.199	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.116	0.086	0.104	0.104	0.220	0.190	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.060	0.134	0.104	0.104	0.164	0.238	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.012	0.166	0.104	0.104	0.115	0.270	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.102	0.052	0.104	0.104	0.205	0.156	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.028	0.020	0.023	0.023	0.051	0.043	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.067	0.062	0.069	0.069	0.135	0.130	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.075	0.056	0.069	0.069	0.144	0.124	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.039	0.087	0.069	0.069	0.108	0.155	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.009	0.122	0.069	0.069	0.077	0.190	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.075	0.038	0.069	0.069	0.143	0.107	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-73.374}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{40.227}{125.000} \right) = 0.116 + 0.104 = 0.220 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{96.439}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{40.227}{125.000} \right) = 0.166 + 0.104 = 0.270 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{1,996.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.1} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 24.612)} = 2.96 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

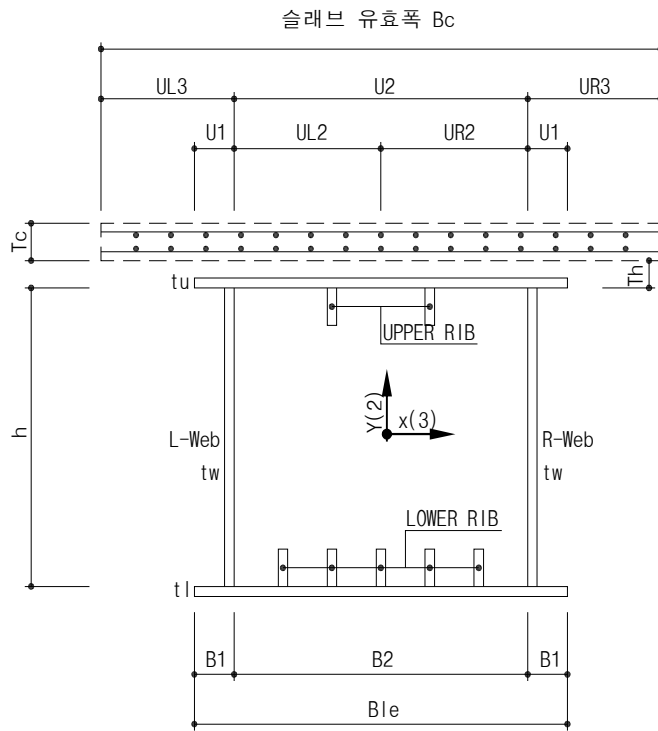
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-44.151	31.996	355.000	0.K !!
1+2+3	-83.970	-73.998	240.000	0.K !!	-112.451	107.720	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-86.009	-75.695	240.000	0.K !!	-138.553	128.892	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-88.303	-78.258	240.000	0.K !!	-116.669	104.555	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-67.127	-57.481	240.000	0.K !!	-96.119	119.355	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-65.088	-55.783	240.000	0.K !!	-70.017	140.528	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-69.166	-59.178	240.000	0.K !!	-122.222	98.183	355.000	0.K !!
1+2+4	-13.954	-12.297	240.000	0.K !!	-56.009	45.143	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-84.022	-74.044	240.000	0.K !!	-112.747	108.049	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-81.983	-72.346	240.000	0.K !!	-86.645	129.221	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-88.355	-78.304	240.000	0.K !!	-116.966	104.884	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-67.179	-57.526	240.000	0.K !!	-96.416	119.684	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-65.140	-55.829	240.000	0.K !!	-70.313	140.857	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-69.218	-59.224	240.000	0.K !!	-122.519	98.512	355.000	0.K !!

[G2 : 단면 - 9] : 절점 56 로 부터 이격거리 0.000 m

1) 단면가정 및 설계조건

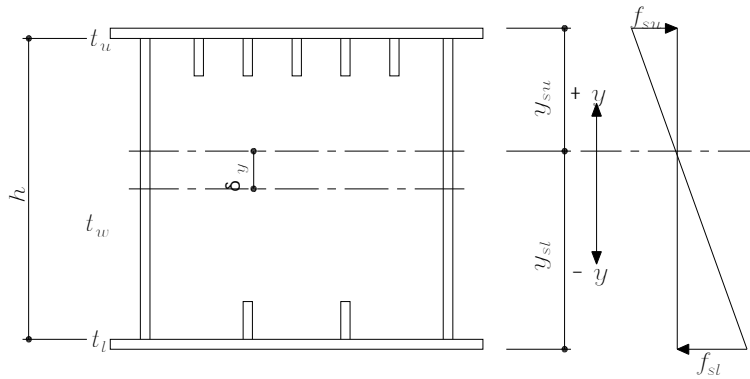


주부재 강종:	SM520B
Bc =	4,146.3 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,320.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,320.0 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	2,200.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

구	분	단 위	입력 Data
E_s	: 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c	: 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ϵ_s	: 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α	: 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2	: 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n	: 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt	: 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s	: 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-6,796.742
M_{sc}	: 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-3,428.527
M_w	: 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	-348.476
M_v	: (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-5,959.628
V_s	: 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	965.854
V_{sc}	: 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	500.972
V_w	: 풍하중에 의한 전단력	kN	72.813
V_v	: (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	861.686
M_{st}	: 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-6.557
M_{sct}	: 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	202.506
M_{wt}	: 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	115.627
M_{vt}	: (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	478.231
t_{cu}, t_{cl}	: 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

X(3)축 방향 단면 제원

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -21,950,460.0 / 127,820.0 = -171.729 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,200.0 / 2 + 10.0 - -171.729 = 1,281.729 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,200.0 / 2 + 16.0 + -171.729 \} = -944.271 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 21,324,547,726.7 + 89,342,855,180.0 - 127,820.0 \times -171.729^2 = 1.069\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -6,796.742 \times 1,281.7 / 106,897,862,191.5 = -81.494 \text{ MPa}$$

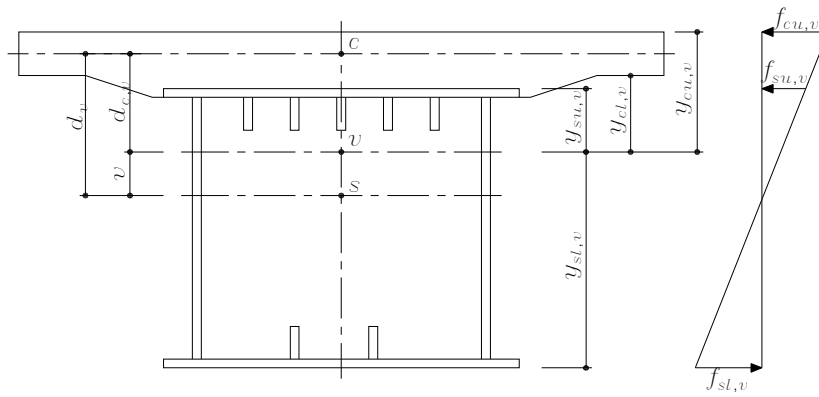
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -6,796.742 \times -944.3 / 106,897,862,191.5 = 60.038 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.984\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 965.854 / 52,800.0 + 6.557 / (2 \times 4,983,676.0 \times 12.0) = 18.348 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 127,820.0 + 23,758.2 = 151,578.2 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,281.7 - 10.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 11,879.1 / 23,758.2 = 1,431.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 23,758.2 \times 1,431.7 / 151,578.2 = 224.4 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,431.7 - 224.4 = 1,207.3 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 106,897,862,191.5 + 127,820.0 \times 224.4^2 + 0.0 + 23,758.2 \times 1,207.3^2 = 1.480\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,281.7 - 224.4 = 1,057.3 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -944.3 - 224.4 = -1,168.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,207.3 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 11,879.1 / 23,758.2 = 1,277.3 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,207.3 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 11,879.1 / 23,758.2 = 1,137.3 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -3,428.527 \times 1,057.3 / 147,965,353,048.1 = -24.499 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -3,428.527 \times -1,168.7 / 147,965,353,048.1 = 27.080 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -3,428.527 \times 1,277.3 / 147,965,353,048.1 = -29.597 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -3,428.527 \times 1,137.3 / 147,965,353,048.1 = -26.353 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 5.022\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 500.972 / 52,800.0 + 202.506 / (2 \times 5,022,281.7 \times 12.0) = 11.168 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -5,959.628 \times 1,057.3 / 147,965,353,048.1 = -42.586 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -5,959.628 \times -1,168.7 / 147,965,353,048.1 = 47.071 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -5,959.628 \times 1,277.3 / 147,965,353,048.1 = -51.447 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -5,959.628 \times 1,137.3 / 147,965,353,048.1 = -45.808 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 861.686 / 52,800.0 + 478.231 / (2 \times 5,022,281.7 \times 12.0) = 20.287 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -348.476 \times 1,057.3 / 147,965,353,048.1 = -2.490 \text{ MPa}$$

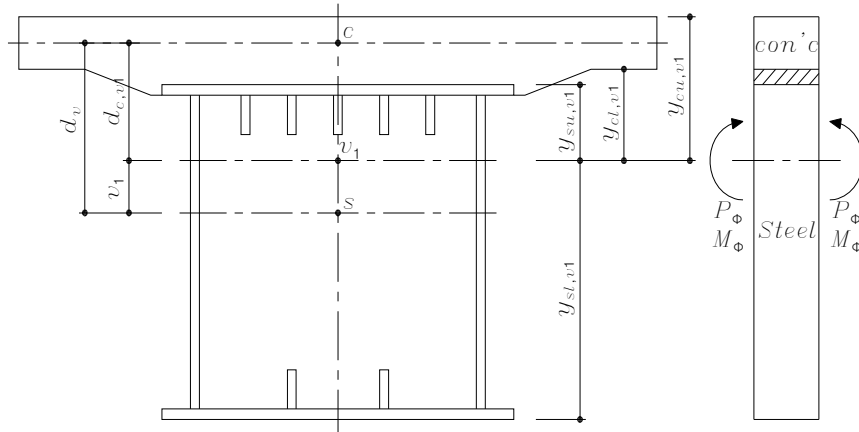
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -348.476 \times -1,168.7 / 147,965,353,048.1 = 2.752 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -348.476 \times 1,277.3 / 147,965,353,048.1 = -0.430 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -348.476 \times 1,137.3 / 147,965,353,048.1 = -0.383 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 72.813 / 52,800.0 + 115.627 / (2 \times 5,022,281.7 \times 12.0) = 2.338 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 995,109.6 / 7.0 = 142,158.5 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 4,776,526,080.0 / 7.0 = 6.824\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 127,820.0 + 142,158.5 = 269,978.5 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,281.7 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,441.7 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 142,158.5 \times 1,441.7 / 269,978.5 = 759.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,441.7 - 759.1 = 682.6 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.200 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 127,820.0 + 995,109.6 / 14.0 = 1.989\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (995,109.6/14.0) \times 1,441.7 / 198,899.3 = 515.2 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,441.7 - 515.2 = 926.5 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_{c1}/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (106,897,862,191.5 + 127,820.0 \times 759.1^2) + (4,776,526,080.0/7.0 + 995,109.6/7.0 \times 682.6^2) = 2.140\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -3,428.5 \times 682.6 \times 995,109.6 / (7.0 \times 214,019,670,610.5) = -1.554\text{E}+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1,554,462.1 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.554\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,554,462.1 \times 926.5 = -1.440\text{E}+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v} / I_{rv}$$

$$= -1,554,462.1 / 151,578.2 + 0.200 \times -1,440,222,423.9 \times 1,277.3 / 147,965,353,048.1 = -12.738 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v} / I_{rv}$$

$$= -1,554,462.1 / 151,578.2 + 0.200 \times -1,440,222,423.9 \times 1,137.3 / 147,965,353,048.1 = -12.465 \text{ MPa}$$

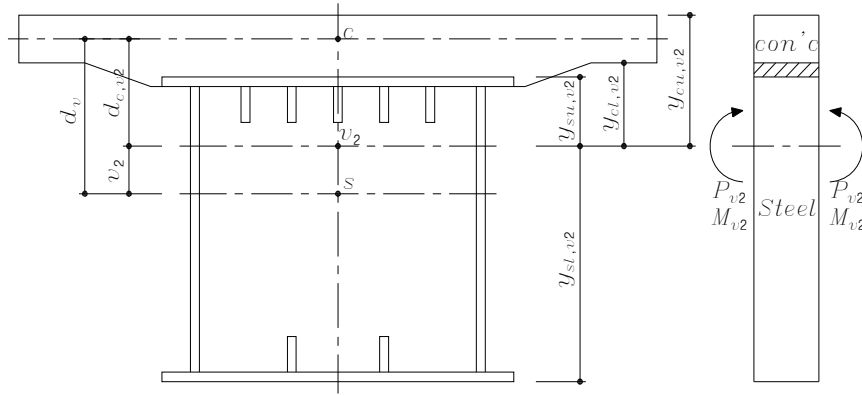
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v} / I_{rv}$$

$$= -1,554,462.1 / 151,578.2 + 0.200 \times -1,440,222,423.9 \times 1,057.3 / 147,965,353,048.1 = -12.310 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v} / I_{rv}$$

$$= -1,554,462.1 / 151,578.2 + 0.200 \times -1,440,222,423.9 \times -1,168.7 / 147,965,353,048.1 = -7.984 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 127,820.0 + 995,109.6 / 21.0 = 1.752E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (995,109.6/21.0) \times 1,441.7 / 175,206.2 = 389.9 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,441.7 - 389.9 = 1,051.8 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 995,109.6 / 21.0 = 2.623E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,622,824.6 \times 1,051.8 = 2.759E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

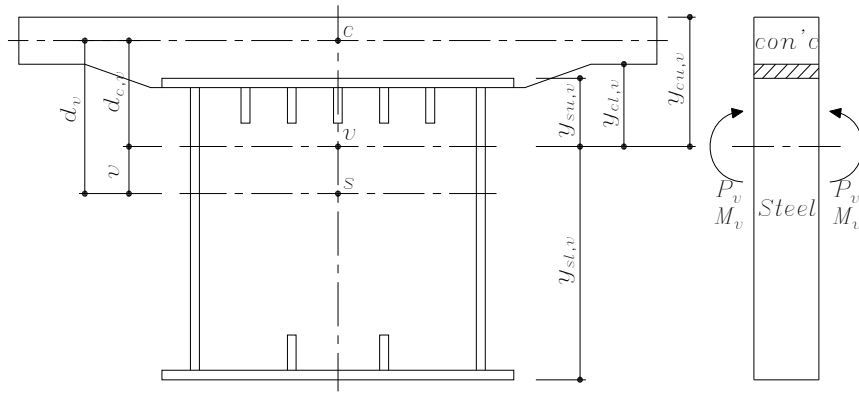
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,622,824.6/151,578.2 + 0.200 \times 2,758,687,035.4 \times 1,277.3/147,965,353,048.1 = 22.058 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,622,824.6/151,578.2 + 0.200 \times 2,758,687,035.4 \times 1,137.3/147,965,353,048.1 = 21.537 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,622,824.6/151,578.2 + 0.200 \times 2,758,687,035.4 \times 1,057.3/147,965,353,048.1 = 21.239 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,622,824.6/151,578.2 + 0.200 \times 2,758,687,035.4 \times -1,168.7/147,965,353,048.1 = 12.953 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 995,109.6 / 7.0 = 3.497\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,497,099.5 \times 682.6 = 2.387\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,497,099.5/151,578.2 + 0.200 \times 2,387,049,181.4 \times 1,277.3/147,965,353,048.1 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 2.586 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,497,099.5/151,578.2 + 0.200 \times 2,387,049,181.4 \times 1,137.3/147,965,353,048.1 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 2.135 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,497,099.5/151,578.2 + 0.200 \times 2,387,049,181.4 \times 1,057.3/147,965,353,048.1 = 26.477 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,497,099.5/151,578.2 + 0.200 \times 2,387,049,181.4 \times -1,168.7/147,965,353,048.1 = 19.307 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,328.512 / 52,800.0 + 6.557 / 119,608,224.0 + 680.737 / 120,534,761.1 = 49.803 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 49.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,539.639 / 52,800.0 + 6.557 / 119,608,224.0 + 318.134 / 120,534,761.1 = 31.854 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 31.9 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,364.918 / 52,800.0 + 6.557 / 119,608,224.0 + 738.551 / 120,534,761.1 = 50.972 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 51.0 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, \pi 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-81.494	60.038	215.000	205.600
1+2+3	-81.044	-72.161	160.000	160.000	-148.580	134.189	215.000	205.600
1+2+3+5	-93.781	-84.627	160.000	160.000	-160.890	126.205	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-71.723	-63.089	160.000	160.000	-139.650	139.158	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-69.137	-60.955	184.000	184.000	-113.173	158.465	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-74.309	-65.224	184.000	184.000	-166.127	119.851	247.250	236.440
1+2+4	-30.027	-26.736	192.000	192.000	-108.484	89.870	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-81.259	-72.352	200.000	200.000	-149.825	135.565	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-93.996	-84.818	200.000	200.000	-162.135	127.581	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-71.938	-63.281	200.000	200.000	-140.895	140.534	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-69.352	-61.146	216.000	216.000	-114.418	159.841	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-74.524	-65.415	216.000	216.000	-167.372	121.227	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.144	0.085	0.159	0.159	0.302	0.244	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.478	0.426	0.159	0.159	0.636	0.585	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.560	0.377	0.159	0.159	0.719	0.536	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.422	0.458	0.159	0.159	0.581	0.617	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.210	0.449	0.159	0.159	0.368	0.608	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.451	0.257	0.159	0.159	0.610	0.416	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.177	0.133	0.045	0.045	0.222	0.178	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.311	0.278	0.106	0.106	0.417	0.385	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.364	0.246	0.106	0.106	0.470	0.353	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.275	0.299	0.106	0.106	0.381	0.405	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.155	0.332	0.106	0.106	0.262	0.438	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.333	0.191	0.106	0.106	0.439	0.297	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-160.890}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{49.803}{125.000} \right) = 0.560 + 0.159 = 0.719 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{139.158}{205.600} \right)^2 + \left(\frac{49.803}{125.000} \right) = 0.458 + 0.159 = 0.617 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,200.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.9} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 60.038)} = 1.89 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

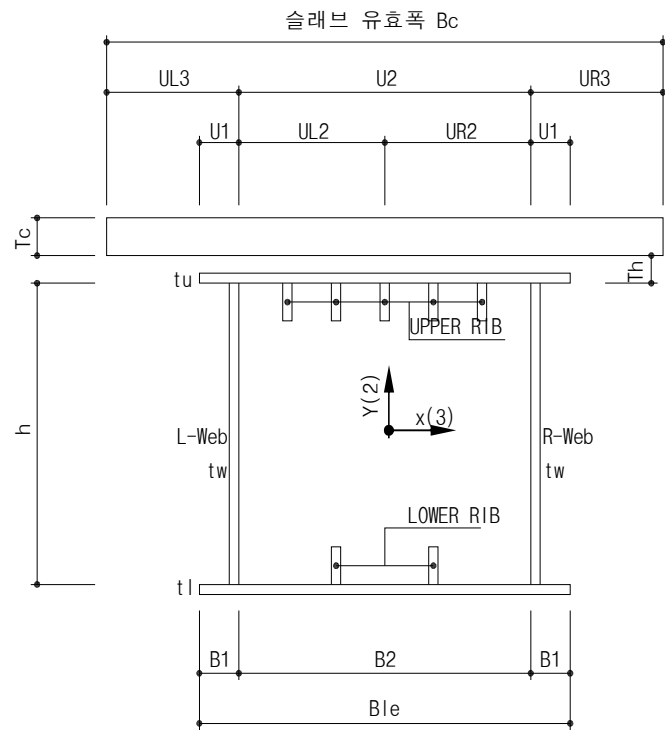
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-105.943	78.050	355.000	0.K !!
1+2+3	-149.087	-132.746	240.000	0.K !!	-229.352	214.456	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-151.673	-134.881	240.000	0.K !!	-255.829	233.763	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-161.825	-145.212	240.000	0.K !!	-241.662	206.472	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-139.766	-123.675	240.000	0.K !!	-220.422	219.425	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-137.181	-121.540	240.000	0.K !!	-193.945	238.732	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-142.352	-125.809	240.000	0.K !!	-246.899	200.118	355.000	0.K !!
1+2+4	-38.906	-34.642	240.000	0.K !!	-140.282	116.006	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-149.302	-132.938	240.000	0.K !!	-230.597	215.832	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-146.716	-130.803	240.000	0.K !!	-204.120	235.139	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-162.039	-145.403	240.000	0.K !!	-242.907	207.848	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-139.981	-123.866	240.000	0.K !!	-221.667	220.801	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-137.395	-121.731	240.000	0.K !!	-195.190	240.108	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-142.567	-126.001	240.000	0.K !!	-248.144	201.494	355.000	0.K !!

4.7.4 정모멘트(Splice)

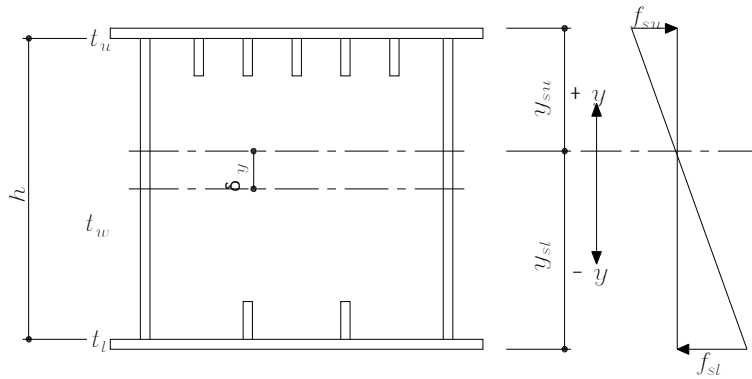
[G2 : SPLICE - 1] : 절점 39 로 부터 이격거리 3.097 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc =	4,670.0 mm
UL3 =	1,100.0 mm
UR3 =	1,170.0 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,640.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,640.0 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	1,800.0 mm
Θ _L =	0.000 °
Θ _R =	0.000 °

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 4,294.796 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 57.765 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 4,294.796 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -57.497 \text{ MPa}$$

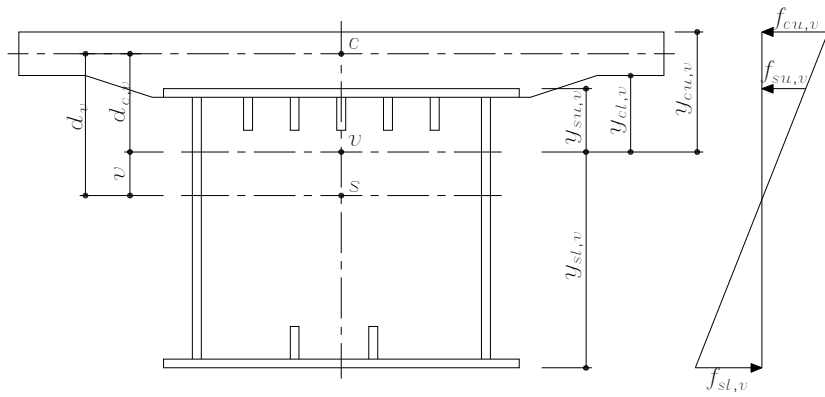
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 421.807 / 43,200.0 + 145.480 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 11.152 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 2,026.787 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 3.990 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,026.787 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -21.426 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,026.787 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.128 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,026.787 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.650 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 184.273 / 43,200.0 + 123.938 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 5.437 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 3,037.232 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 5.979 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 3,037.232 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -32.108 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 3,037.232 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.690 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 3,037.232 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.974 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 435.351 / 43,200.0 + 680.342 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 16.506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 64.940 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.128 \text{ MPa}$$

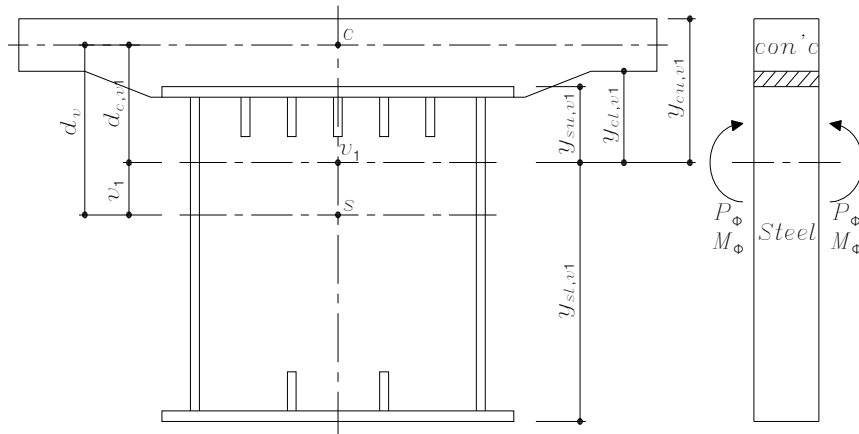
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 64.940 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.687 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 64.940 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.036 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 64.940 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.021 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 7.624 / 43,200.0 + 201.993 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 2.085 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.771 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) = 2,026.8 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 9.962 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 996,196.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 9.962 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 996,196.9 \times 630.1 = 6.277 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,026.787 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.128 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 2,026.787 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.650 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (996,196.9/193,937.1 + 0.771 \times 627,739,033.8 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 1.128 \times 2.0/27,804.0 = -0.549 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (996,196.9/193,937.1 + 0.771 \times 627,739,033.8 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.650 \times 2.0/27,804.0 = -0.139 \text{ MPa}$$

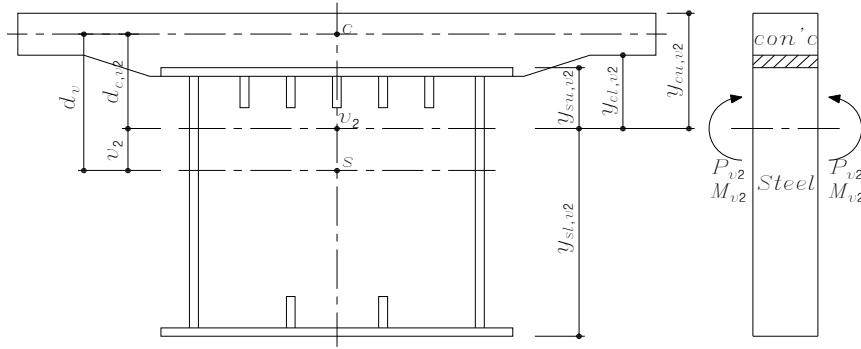
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 996,196.9/193,937.1 + 0.771 \times 627,739,033.8 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 6.996 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 996,196.9/193,937.1 + 0.771 \times 627,739,033.8 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = -0.210 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수

Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

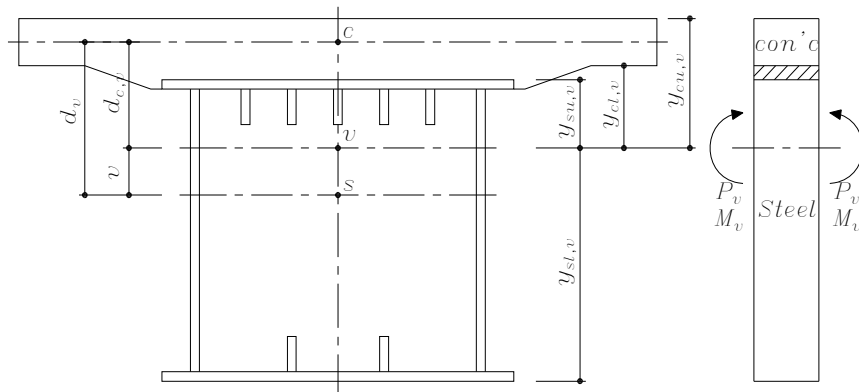
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.771 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.182 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.771 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.355 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.771 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 26.300 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.771 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = -1.276 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팅창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.771 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.529 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.771 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.849 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.771 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 17.043 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.771 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 0.052 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,041.431 / 43,200.0 + 145.480 / 104,835,168.0 + 804.280 / 105,827,533.7 = 33.095 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 33.1 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 613.704 / 43,200.0 + 145.480 / 104,835,168.0 + 325.931 / 105,827,533.7 = 18.674 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 18.7 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,045.243 / 43,200.0 + 145.480 / 104,835,168.0 + 905.277 / 105,827,533.7 = 34.137 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 34.1 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	57.765	-57.497	135.100	215.000
1+2+3	2.818	1.623	10.800	10.800	67.734	-111.032	215.000	215.000
1+2+3+5	2.269	1.485	10.800	10.800	74.730	-111.242	247.250	215.000
1+2+3+5+6	1.088	0.130	10.800	10.800	101.030	-112.518	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.559	-0.718	12.420	2.174	118.073	-112.466	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.616	0.979	12.420	12.420	83.987	-112.570	279.500	247.250
1+2+4	1.164	0.671	12.960	12.960	61.883	-79.610	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	2.836	1.634	13.500	13.500	67.798	-111.375	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.287	1.495	13.500	13.500	74.794	-111.585	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	1.106	0.141	13.500	13.500	101.094	-112.861	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.577	-0.708	14.580	2.552	118.137	-112.809	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.634	0.989	14.580	14.580	84.051	-112.913	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.183	0.072	0.070	0.070	0.253	0.142	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.099	0.267	0.070	0.070	0.169	0.337	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.091	0.268	0.070	0.070	0.161	0.338	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.167	0.274	0.070	0.070	0.237	0.344	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.178	0.207	0.070	0.070	0.249	0.277	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.090	0.207	0.070	0.070	0.160	0.277	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.058	0.095	0.015	0.015	0.073	0.111	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.064	0.172	0.048	0.048	0.111	0.219	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.077	0.172	0.048	0.048	0.125	0.220	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.141	0.176	0.048	0.048	0.189	0.224	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.166	0.151	0.048	0.048	0.213	0.199	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.084	0.151	0.048	0.048	0.132	0.199	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{57.765}{135.100}\right)^2 + \left(\frac{33.095}{125.000}\right)^2 = 0.183 + 0.070 = 0.253 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-112.518}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{33.095}{125.000}\right)^2 = 0.274 + 0.070 = 0.344 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 57.765)} = 1.93 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

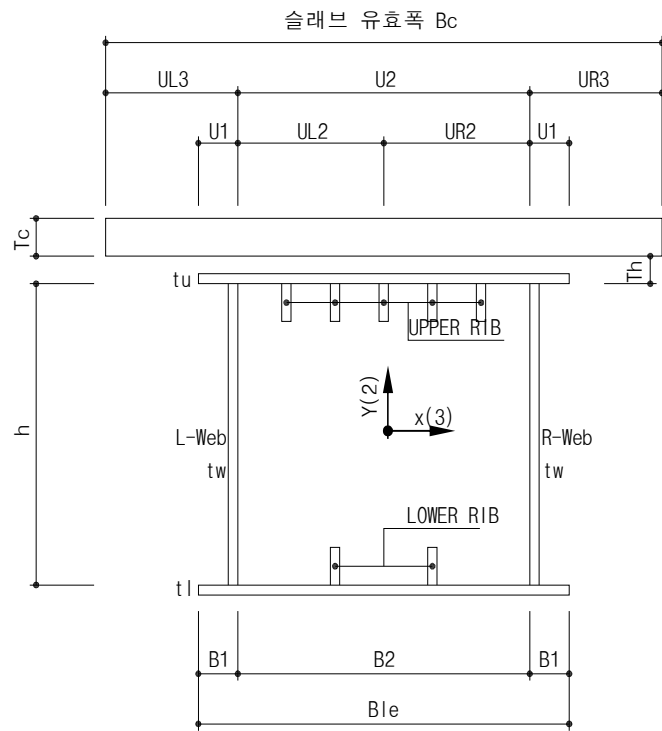
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	75.095	-74.747	355.000	0.K !!
1+2+3	5.101	2.938	16.200	0.K !!	93.137	-171.634	355.000	0.K !!
1+2+3+7	5.629	3.786	16.200	0.K !!	110.179	-171.686	355.000	0.K !!
1+2+3+5	4.551	2.799	16.200	0.K !!	100.133	-171.844	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	3.370	1.445	16.200	0.K !!	126.432	-173.120	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	2.841	0.596	16.200	0.K !!	143.475	-173.068	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	3.899	2.293	16.200	0.K !!	109.390	-173.172	355.000	0.K !!
1+2+4	1.502	0.865	16.200	0.K !!	80.410	-103.287	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	5.119	2.948	16.200	0.K !!	93.201	-171.977	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	4.590	2.100	16.200	0.K !!	110.243	-171.925	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	4.569	2.810	16.200	0.K !!	100.197	-172.187	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	3.388	1.455	16.200	0.K !!	126.496	-173.463	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	2.859	0.607	16.200	0.K !!	143.539	-173.411	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	3.917	2.304	16.200	0.K !!	109.454	-173.515	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 2] : 절점 41 로 부터 이격거리 0.619 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

$B_c = 4,670.0$ mm

$UL3 = 1,100.0$ mm

$UR3 = 1,170.0$ mm

$U1 = 120.0$ mm

$UL2 = 1,200.0$ mm

$UR2 = 1,200.0$ mm

상부 플랜지 유효폭

$B_{ue} = 2,640.0$ mm

하부 플랜지 유효폭

$B_{le} = 2,640.0$ mm

$B1 = 120.0$ mm

$B2 = 2,400.0$ mm

$T_c = 240.0$ mm

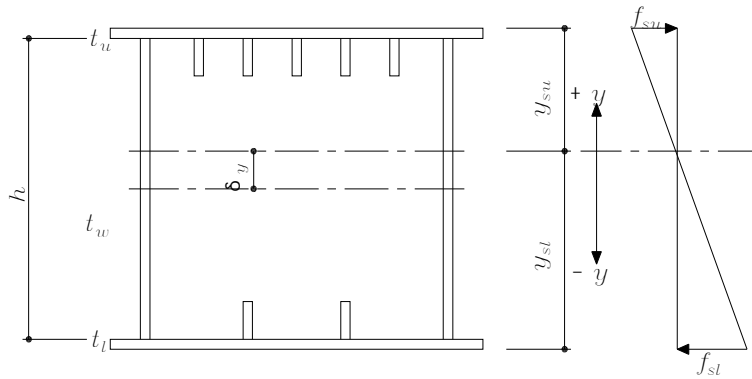
$T_h = 50.0$ mm

$h = 1,800.0$ mm

$\Theta_L = 0.000$ °

$\Theta_R = 0.000$ °

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 6,190.903 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 83.268 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 6,190.903 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -82.882 \text{ MPa}$$

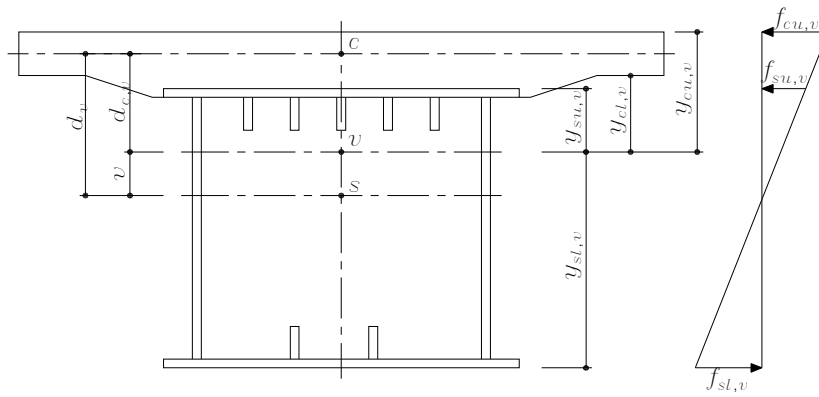
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 83.001 / 43,200.0 + 27.373 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 2.182 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 2,832.852 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 5.577 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,832.852 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -29.948 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,832.852 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.577 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,832.852 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.908 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 38.274 / 43,200.0 + 105.650 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 1.884 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,236.035 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 8.339 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,236.035 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -44.782 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,236.035 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 2.357 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,236.035 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.358 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 391.652 / 43,200.0 + 432.726 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 13.155 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 40.770 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.080 \text{ MPa}$$

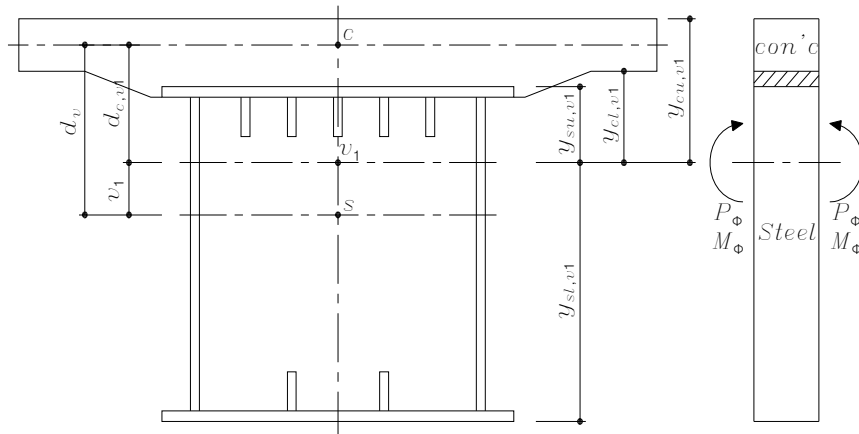
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 40.770 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.431 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 40.770 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.023 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 40.770 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.013 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 7.094 / 43,200.0 + 33.899 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 0.485 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.542 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 2,832.9 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 1.392 \times 10^6 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,392,390.4 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.392 \times 10^6 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,392,390.4 \times 630.1 = 8.774 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,832.852 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.577 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 2,832.852 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.908 \text{ MPa}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,392,390.4 / 193,937.1 + 0.542 \times 877,394,613.0 \times 750.1 / 122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 1.577 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.856 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,392,390.4 / 193,937.1 + 0.542 \times 877,394,613.0 \times 510.1 / 122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.908 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.254 \text{ MPa}$$

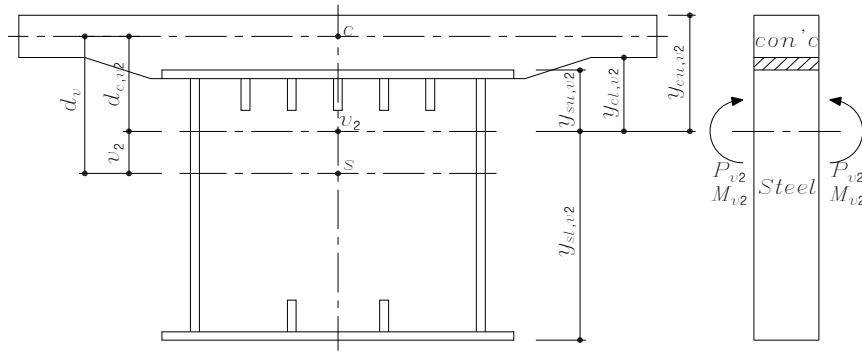
■ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,392,390.4 / 193,937.1 + 0.542 \times 877,394,613.0 \times 470.1 / 122,409,033,764.6 = 9.005 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,392,390.4 / 193,937.1 + 0.542 \times 877,394,613.0 \times -1,351.9 / 122,409,033,764.6 = 1.930 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2 / 2) = 7.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1} / n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1} / n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0 / 21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c / n_2 + A_c / n_2 \cdot d_{c,v2}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0 / 21.0 + 1,120,800.0 / 21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1} / n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

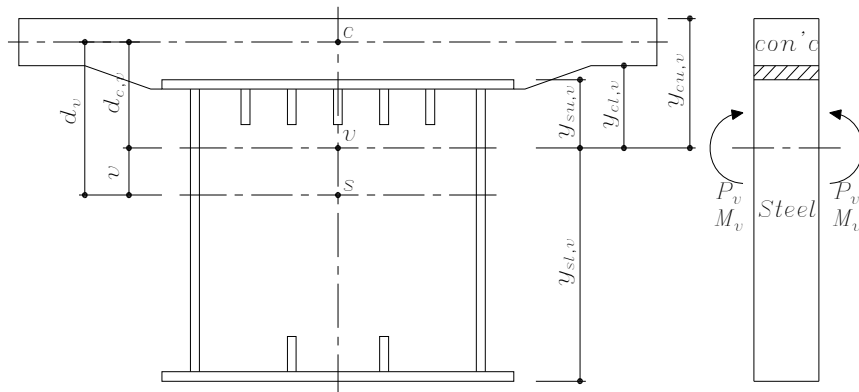
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.542 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.364 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.542 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.485 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.542 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 23.730 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.542 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 4.358 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팅창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.542 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.753 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.542 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.978 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.542 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 16.249 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.542 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 4.313 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 512.927 / 43,200.0 + 27.373 / 104,835,168.0 + 538.375 / 105,827,533.7 = 17.222 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 17.2 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 128.369 / 43,200.0 + 27.373 / 104,835,168.0 + 139.549 / 105,827,533.7 = 4.551 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 4.6 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 516.474 / 43,200.0 + 27.373 / 104,835,168.0 + 555.325 / 105,827,533.7 = 17.464 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 17.5 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	83.268	-82.882	135.100	215.000
1+2+3	3.934	2.266	10.800	10.800	97.184	-157.611	215.000	215.000
1+2+3+5	3.078	2.012	10.800	10.800	106.189	-155.681	247.250	215.000
1+2+3+5+6	1.714	0.527	10.800	10.800	129.919	-151.323	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.961	-0.451	12.420	2.174	146.169	-147.010	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	2.468	1.504	12.420	12.420	113.670	-155.636	279.500	247.250
1+2+4	1.599	0.921	12.960	12.960	88.925	-113.261	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	3.945	2.272	13.500	13.500	97.224	-157.827	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	3.090	2.019	13.500	13.500	106.229	-155.897	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	1.726	0.533	13.500	13.500	129.959	-151.539	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.973	-0.444	14.580	2.552	146.209	-147.225	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	2.479	1.511	14.580	14.580	113.710	-155.852	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.380	0.149	0.019	0.019	0.399	0.168	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.204	0.537	0.019	0.019	0.223	0.556	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.184	0.524	0.019	0.019	0.203	0.543	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.276	0.495	0.019	0.019	0.295	0.514	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.273	0.354	0.019	0.019	0.292	0.373	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.165	0.396	0.019	0.019	0.184	0.415	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.119	0.193	0.001	0.001	0.120	0.194	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.131	0.345	0.012	0.012	0.143	0.357	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.156	0.336	0.012	0.012	0.169	0.349	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.234	0.318	0.012	0.012	0.246	0.330	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.254	0.257	0.012	0.012	0.266	0.270	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.153	0.288	0.012	0.012	0.166	0.301	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{83.268}{135.100}\right)^2 + \left(\frac{17.222}{125.000}\right)^2 = 0.380 + 0.019 = 0.399 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-157.611}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{17.222}{125.000}\right)^2 = 0.537 + 0.019 = 0.556 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 83.268)} = 1.61 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

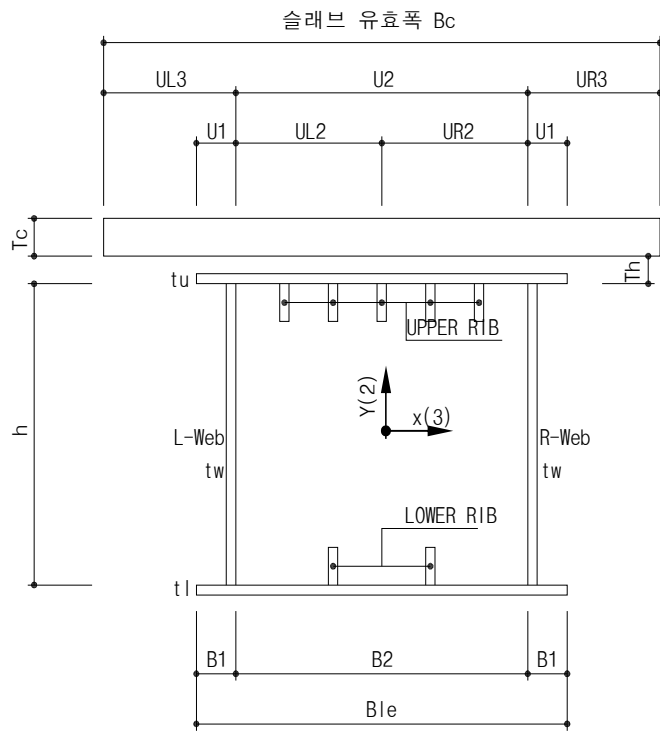
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	108.249	-107.747	355.000	0.K !!
1+2+3	7.118	4.100	16.200	0.K !!	133.427	-242.959	355.000	0.K !!
1+2+3+7	7.871	5.078	16.200	0.K !!	149.676	-247.272	355.000	0.K !!
1+2+3+5	6.262	3.846	16.200	0.K !!	142.432	-241.029	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	4.898	2.361	16.200	0.K !!	166.162	-236.671	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	4.145	1.383	16.200	0.K !!	182.412	-232.357	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	5.652	3.338	16.200	0.K !!	149.913	-240.984	355.000	0.K !!
1+2+4	2.072	1.194	16.200	0.K !!	115.579	-147.110	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	7.129	4.106	16.200	0.K !!	133.467	-243.174	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	6.376	3.129	16.200	0.K !!	149.716	-238.861	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	6.274	3.853	16.200	0.K !!	142.472	-241.245	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	4.910	2.367	16.200	0.K !!	166.203	-236.886	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	4.157	1.390	16.200	0.K !!	182.452	-232.573	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	5.663	3.345	16.200	0.K !!	149.953	-241.199	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 3] : 절점 43 로 부터 이격거리 0.618 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

$B_c = 4,670.0$ mm

$UL_3 = 1,100.0$ mm

$UR_3 = 1,170.0$ mm

$U_1 = 120.0$ mm

$UL_2 = 1,200.0$ mm

$UR_2 = 1,200.0$ mm

상부 플랜지 유효폭

$B_{ue} = 2,640.0$ mm

하부 플랜지 유효폭

$B_{le} = 2,640.0$ mm

$B_1 = 120.0$ mm

$B_2 = 2,400.0$ mm

$T_c = 240.0$ mm

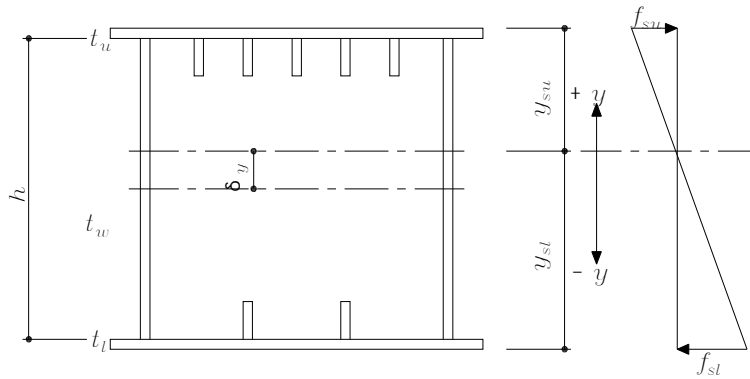
$T_h = 50.0$ mm

$h = 1,800.0$ mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 4,858.021 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 65.341 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 4,858.021 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -65.038 \text{ MPa}$$

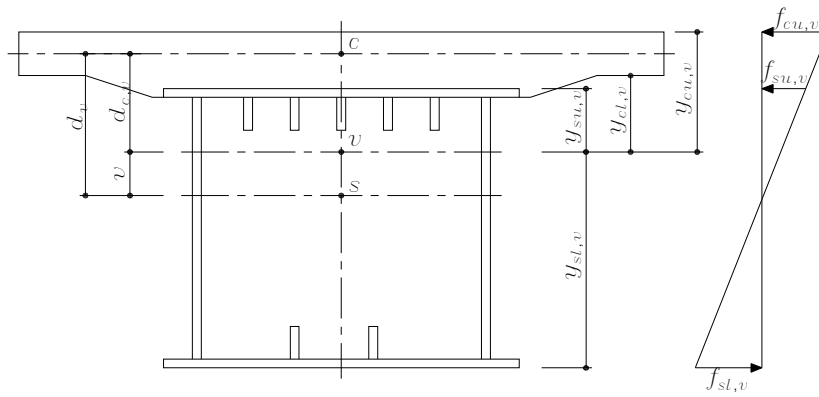
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 359.008 / 43,200.0 + 88.183 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 9.152 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 2,182.759 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 4.297 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,182.759 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -23.075 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,182.759 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.215 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,182.759 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.700 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 162.647 / 43,200.0 + 3.748 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 3.800 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,114.499 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 8.100 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,114.499 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -43.497 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,114.499 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 2.290 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,114.499 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.319 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 380.569 / 43,200.0 + 457.685 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 13.134 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 45.143 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.089 \text{ MPa}$$

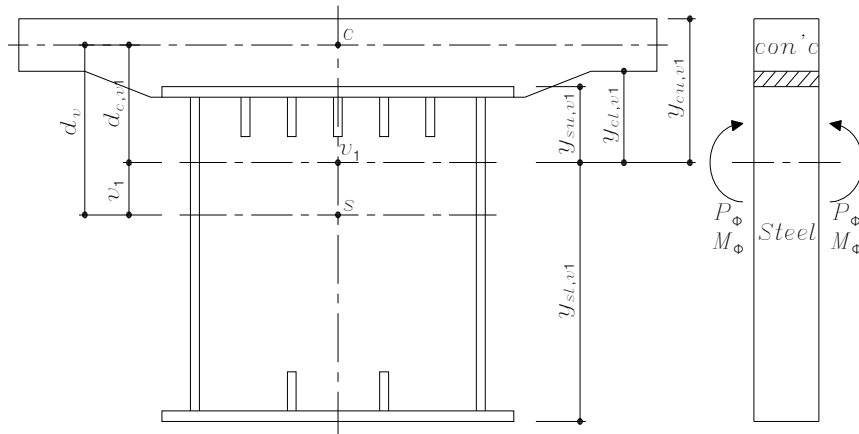
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 45.143 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.477 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 45.143 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.025 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 45.143 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.014 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 9.808 / 43,200.0 + 121.537 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 1.375 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.236 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 2,182.8 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 1.073 \times 10^6 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,072,859.7 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.073 \times 10^6 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,072,859.7 \times 630.1 = 6.760 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,182.759 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.215 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 2,182.759 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.700 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,072,859.7/193,937.1 + 0.236 \times 676,047,004.3 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 1.215 \times 2.0/27,804.0 = -0.750 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,072,859.7/193,937.1 + 0.236 \times 676,047,004.3 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.700 \times 2.0/27,804.0 = -0.257 \text{ MPa}$$

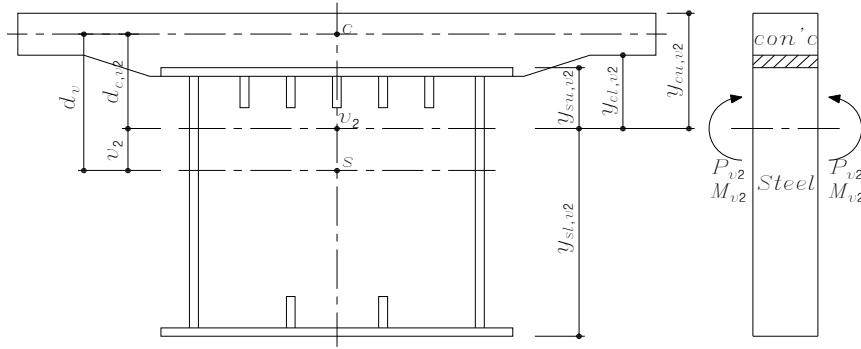
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,072,859.7/193,937.1 + 0.236 \times 676,047,004.3 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 6.146 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,072,859.7/193,937.1 + 0.236 \times 676,047,004.3 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = 3.768 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수

Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

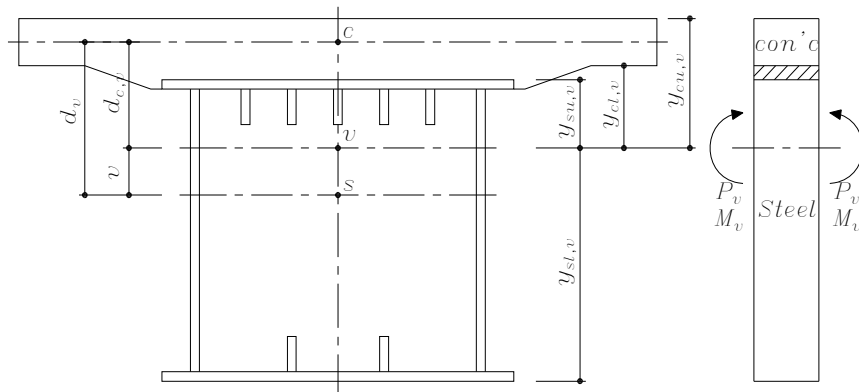
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.236 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.607 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.236 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.660 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.236 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 20.309 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.236 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 11.860 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팅창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.236 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.052 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.236 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.150 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.236 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 15.193 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.236 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 9.987 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 902.224 / 43,200.0 + 88.183 / 104,835,168.0 + 461.432 / 105,827,533.7 = 26.086 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 26.1 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 531.463 / 43,200.0 + 88.183 / 104,835,168.0 + 125.285 / 105,827,533.7 = 14.327 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 14.3 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 907.128 / 43,200.0 + 88.183 / 104,835,168.0 + 522.201 / 105,827,533.7 = 26.774 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 26.8 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	65.341	-65.038	135.100	215.000
1+2+3	3.505	2.019	10.800	10.800	77.737	-131.610	215.000	215.000
1+2+3+5	2.755	1.762	10.800	10.800	83.883	-127.842	247.250	215.000
1+2+3+5+6	1.148	0.102	10.800	10.800	104.192	-115.982	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.096	-1.048	12.420	2.174	119.385	-105.995	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	2.200	1.252	12.420	12.420	88.999	-125.969	279.500	247.250
1+2+4	1.240	0.714	12.960	12.960	69.727	-88.590	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	3.517	2.026	13.500	13.500	77.782	-131.848	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.767	1.769	13.500	13.500	83.927	-128.081	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	1.161	0.109	13.500	13.500	104.236	-116.221	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.109	-1.041	14.580	2.552	119.429	-106.234	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	2.212	1.259	14.580	14.580	89.044	-126.207	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.234	0.092	0.044	0.044	0.277	0.135	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.131	0.375	0.044	0.044	0.174	0.418	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.115	0.354	0.044	0.044	0.159	0.397	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.178	0.291	0.044	0.044	0.221	0.335	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.182	0.184	0.044	0.044	0.226	0.227	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.101	0.260	0.044	0.044	0.145	0.303	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.073	0.118	0.009	0.009	0.082	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.084	0.241	0.029	0.029	0.113	0.270	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.098	0.227	0.029	0.029	0.127	0.256	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.150	0.187	0.029	0.029	0.180	0.216	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.169	0.134	0.029	0.029	0.199	0.163	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.094	0.189	0.029	0.029	0.123	0.218	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{65.341}{135.100}\right)^2 + \left(\frac{26.086}{125.000}\right)^2 = 0.234 + 0.044 = 0.277 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-131.610}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{26.086}{125.000}\right)^2 = 0.375 + 0.044 = 0.418 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 65.341)} = 1.81 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

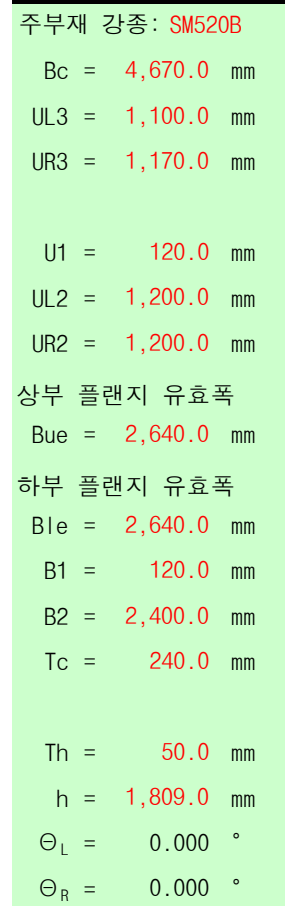
(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

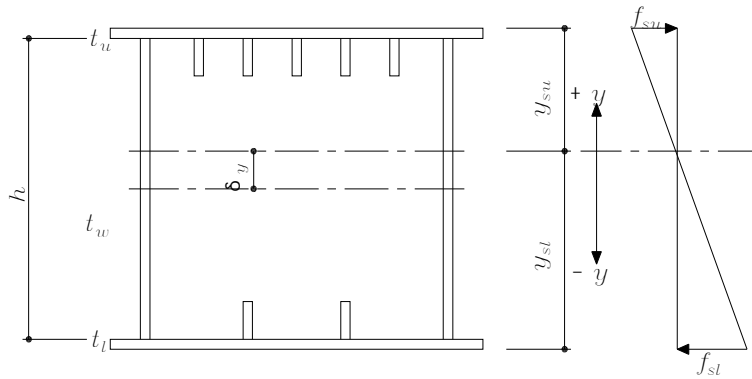
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	84.943	-84.549	355.000	0.K !!
1+2+3	6.502	3.745	16.200	0.K !!	107.943	-208.065	355.000	0.K !!
1+2+3+7	7.554	4.895	16.200	0.K !!	123.136	-218.052	355.000	0.K !!
1+2+3+5	5.753	3.488	16.200	0.K !!	114.089	-204.297	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	4.146	1.828	16.200	0.K !!	134.398	-192.437	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	3.094	0.679	16.200	0.K !!	149.591	-182.450	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	5.198	2.978	16.200	0.K !!	119.205	-202.424	355.000	0.K !!
1+2+4	1.604	0.924	16.200	0.K !!	90.618	-115.024	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	6.515	3.752	16.200	0.K !!	107.988	-208.303	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	5.463	2.603	16.200	0.K !!	123.180	-198.316	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	5.765	3.495	16.200	0.K !!	114.133	-204.536	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	4.158	1.836	16.200	0.K !!	134.442	-192.676	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	3.107	0.686	16.200	0.K !!	149.635	-182.689	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	5.210	2.985	16.200	0.K !!	119.250	-202.662	355.000	0.K !!

1) 단면가정 및 설계조건



2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,833,840.0 / 122,496.0 = -39.461 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,809.0 / 2 + 10.0 - -39.461 = 953.961 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,809.0 / 2 + 12.0 + -39.461 \} = -877.039 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,879,811,418.0 + 62,550,342,570.0 - 122,496.0 \times -39.461^2 = 7.424\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 989.804 \times 954.0 / 74,239,404,827.7 = 12.719 \text{ MPa}$$

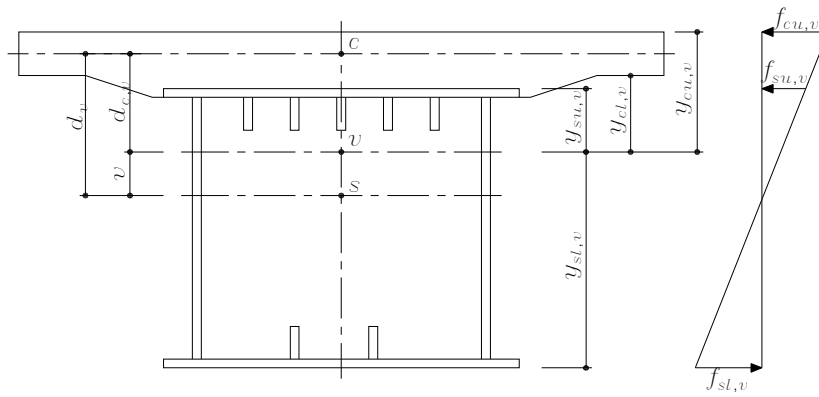
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 989.804 \times -877.0 / 74,239,404,827.7 = -11.693 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.390\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 685.557 / 43,416.0 + 108.728 / (2 \times 4,389,840.0 \times 12.0) = 16.822 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 122,496.0 + 160,114.3 = 282,610.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,114.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,114.0 / 282,610.3 = 631.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,114.0 - 631.1 = 482.8 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 631.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 482.8^2 = 1.611\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 954.0 - 631.1 = 322.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -877.0 - 631.1 = -1,508.2 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 482.8 + 240.0 / 2 = 602.8 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 602.8 - 240.0 = 362.8 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 382.972 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 0.767 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 382.972 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -3.585 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 382.972 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.205 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 382.972 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.123 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.431\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sc} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 322.769 / 43,416.0 + 147.429 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 8.821 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 2,950.930 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 5.913 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,950.930 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -27.621 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,950.930 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 1.577 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,950.930 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.949 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 514.881 / 43,416.0 + 648.807 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 17.960 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 47.903 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 0.096 \text{ MPa}$$

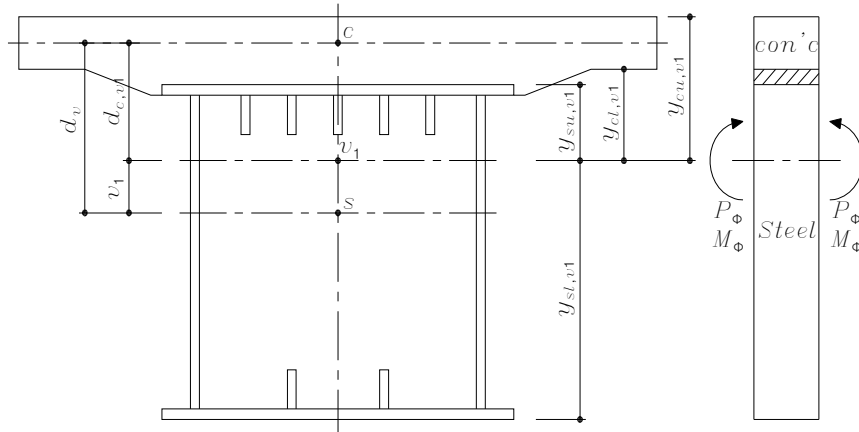
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 47.903 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -0.448 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 47.903 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.026 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 47.903 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 4.813 / 43,416.0 + 199.222 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 1.984 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.007 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 122,496.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 2.026 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,114.0 / 202,553.1 = 440.3 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,114.0 - 440.3 = 673.7 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) = (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 440.3^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 673.7^2) = 1.347 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 954.0 - 440.3 = 513.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -877.0 - 440.3 = -1,317.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 673.7 + 240.0 / 2 = 793.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 793.7 - 240.0 = 553.7 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) = 383.0 \times 482.8 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 161,127,980,857.7) = 1.838 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 183,751.0 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.838 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 183,751.0 \times 673.7 = 1.238 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 382.972 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.205 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 382.972 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.123 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (183,751.0/202,553.1 + 0.007 \times 123,789,186.4 \times 793.7/134,702,740,890.7) - 13,902.0 \times 0.205 \times 2.0/27,804.0 = -0.140 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (183,751.0/202,553.1 + 0.007 \times 123,789,186.4 \times 553.7/134,702,740,890.7) - 13,902.0 \times 0.123 \times 2.0/27,804.0 = -0.058 \text{ MPa}$$

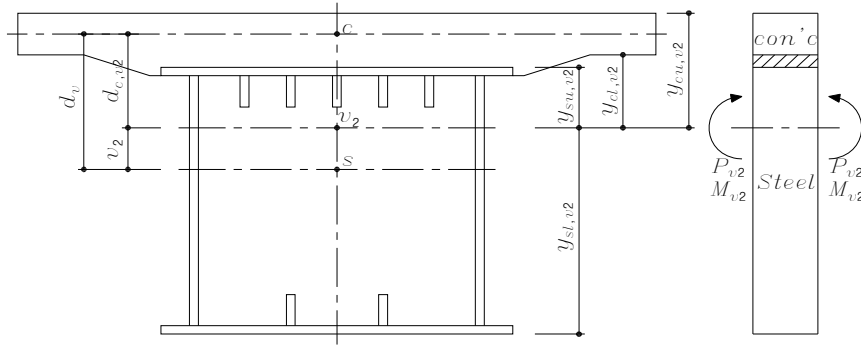
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 183,751.0/202,553.1 + 0.007 \times 123,789,186.4 \times 513.7/134,702,740,890.7 = 0.911 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 183,751.0/202,553.1 + 0.007 \times 123,789,186.4 \times -1,317.3/134,702,740,890.7 = 0.898 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수

Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 122,496.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.759E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,114.0 / 175,867.4 = 338.1 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,114.0 - 338.1 = 775.9 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2)$$

$$= (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 338.1^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 775.9^2) = 1.206E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 954.0 - 338.1 = 615.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -877.0 - 338.1 = -1,215.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 775.9 + 240.0 / 2 = 895.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 895.9 - 240.0 = 655.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 895.9 = 2.292E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.007 \times 2,292,097,110.0 \times 895.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.830 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.007 \times 2,292,097,110.0 \times 895.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.831 \text{ MPa}$$

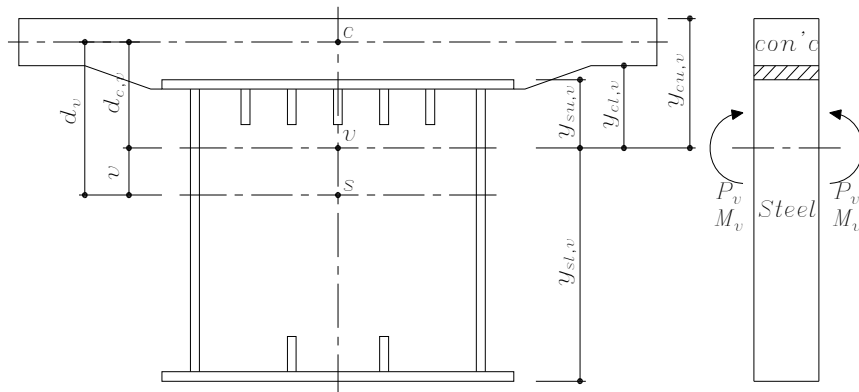
- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,954,108.6/175,867.4 + 0.007 \times 2,292,097,110.0 \times 615.9/120,625,800,204.4 = 16.885 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,954,108.6/175,867.4 + 0.007 \times 2,292,097,110.0 \times -1,215.1/120,625,800,204.4 = 16.625 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 482.8 = 1.902\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.007 \times 1,901,819,078.0 \times 602.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.338 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.007 \times 1,901,819,078.0 \times 362.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.341 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.007 \times 1,901,819,078.0 \times 322.8/161,127,980,857.7 = 13.966 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.007 \times 1,901,819,078.0 \times -1,508.2/161,127,980,857.7 = 13.805 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,523.207 / 43,416.0 + 108.728 / 105,356,160.0 + 796.235 / 106,348,525.7 = 43.603 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 43.6 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,013.139 / 43,416.0 + 108.728 / 105,356,160.0 + 346.650 / 106,348,525.7 = 27.627 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 27.6 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,525.613 / 43,416.0 + 108.728 / 105,356,160.0 + 895.846 / 106,348,525.7 = 44.595 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 44.6 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0\} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{ 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	12.719	-11.693	135.100	215.000
1+2+3	1.782	1.073	10.800	10.800	19.399	-42.899	215.000	215.000
1+2+3+5	1.642	1.014	10.800	10.800	20.309	-42.000	247.250	215.000
1+2+3+5+6	-0.187	-0.817	1.890	1.890	37.194	-25.375	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-1.525	-2.158	2.174	2.174	51.160	-11.571	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.150	0.524	12.420	12.420	23.228	-39.180	279.500	247.250
1+2+4	0.230	0.139	12.960	12.960	13.582	-15.726	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	1.795	1.080	13.500	13.500	19.447	-43.123	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	1.655	1.022	13.500	13.500	20.357	-42.225	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	-0.175	-0.809	2.363	2.363	37.242	-25.599	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-1.512	-2.150	2.552	2.552	51.208	-11.795	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.163	0.532	14.580	14.580	23.276	-39.404	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.009	0.003	0.122	0.122	0.131	0.125	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.008	0.040	0.122	0.122	0.130	0.161	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.007	0.038	0.122	0.122	0.128	0.160	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.023	0.014	0.122	0.122	0.144	0.136	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.034	0.002	0.122	0.122	0.155	0.124	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.007	0.025	0.122	0.122	0.129	0.147	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.003	0.004	0.034	0.034	0.037	0.038	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.005	0.026	0.081	0.081	0.087	0.107	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.006	0.025	0.081	0.081	0.087	0.106	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.019	0.009	0.081	0.081	0.101	0.091	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.031	0.002	0.081	0.081	0.113	0.083	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.006	0.018	0.081	0.081	0.088	0.100	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{51.160}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{43.603}{125.000}\right)^2 = 0.034 + 0.122 = 0.155 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-42.899}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{43.603}{125.000}\right)^2 = 0.040 + 0.122 = 0.161 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,809.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 12.719)} = 4.11 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

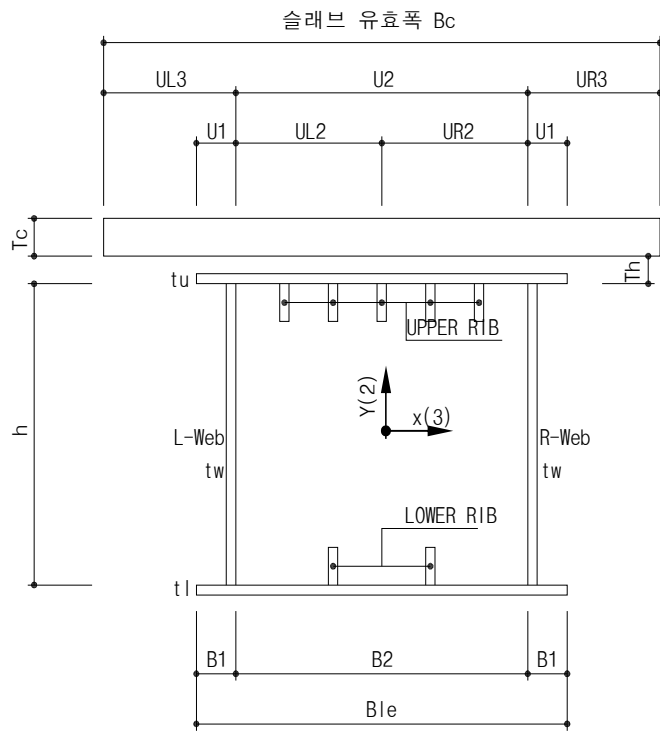
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	16.534	-15.201	355.000	0.K !!
1+2+3	3.657	2.201	16.200	0.K !!	30.244	-79.246	355.000	0.K !!
1+2+3+7	4.995	3.542	16.200	0.K !!	44.210	-93.050	355.000	0.K !!
1+2+3+5	3.518	2.143	16.200	0.K !!	31.155	-78.348	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	1.688	0.312	16.200	0.K !!	48.039	-61.722	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.350	-1.029	16.200	0.K !!	62.005	-47.918	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	3.026	1.653	16.200	0.K !!	34.074	-75.527	355.000	0.K !!
1+2+4	0.292	0.176	16.200	0.K !!	17.628	-20.310	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	3.670	2.209	16.200	0.K !!	30.292	-79.470	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	2.332	0.868	16.200	0.K !!	44.258	-65.665	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	3.530	2.151	16.200	0.K !!	31.203	-78.572	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	1.701	0.319	16.200	0.K !!	48.087	-61.947	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.363	-1.022	16.200	0.K !!	62.053	-48.142	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	3.038	1.660	16.200	0.K !!	34.122	-75.751	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 8] : 절점 50 로 부터 이격거리 4.320 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

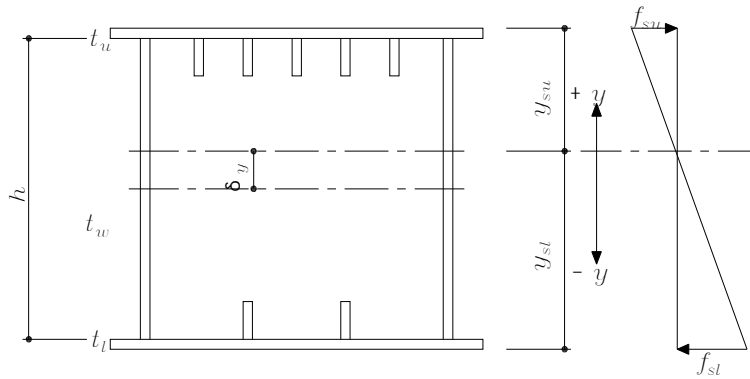
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,348.659
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	997.753
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	47.918
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	3,512.653
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-225.002
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-100.417
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-8.915
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-367.570
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-47.025
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-11.814
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-87.338
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-387.154

X(3)축 방향 단면 제원

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 2,348.659 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 31.590 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 2,348.659 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -31.443 \text{ MPa}$$

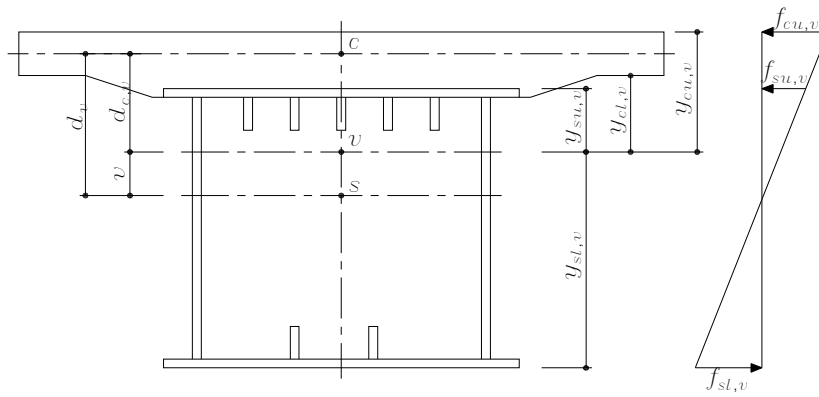
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 225.002 / 43,200.0 + 47.025 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 5.657 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 997.753 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 1.964 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 997.753 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -10.548 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 997.753 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.555 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 997.753 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.320 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 100.417 / 43,200.0 + 11.814 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 2.436 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 3,512.653 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 6.915 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 3,512.653 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -37.134 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 3,512.653 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.955 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 3,512.653 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.126 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 367.570 / 43,200.0 + 387.154 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 12.167 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 47.918 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.094 \text{ MPa}$$

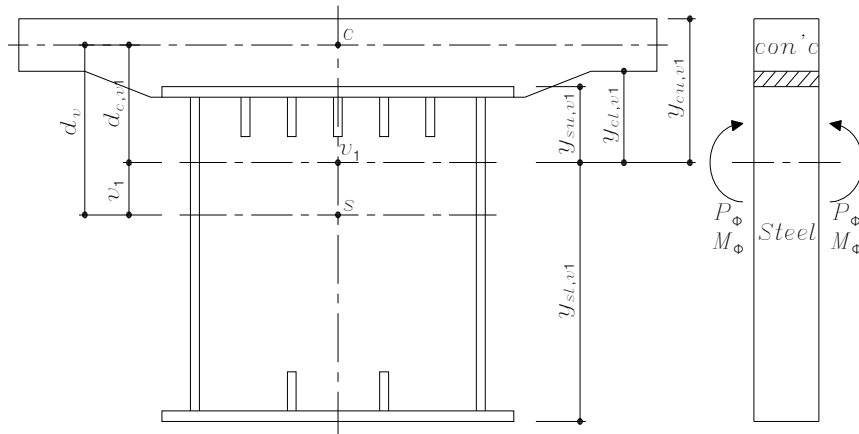
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 47.918 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.507 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 47.918 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.027 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 47.918 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 8.915 / 43,200.0 + 87.338 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 1.032 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.116 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 997.8 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 4.904 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 490,411.2 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.904 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 490,411.2 \times 630.1 = 3.090 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 997.753 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.555 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 997.753 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.320 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (490,411.2/193,937.1 + -0.116 \times 309,025,513.9 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.555 \times 2.0/27,804.0 = -0.390 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (490,411.2/193,937.1 + -0.116 \times 309,025,513.9 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.320 \times 2.0/27,804.0 = -0.150 \text{ MPa}$$

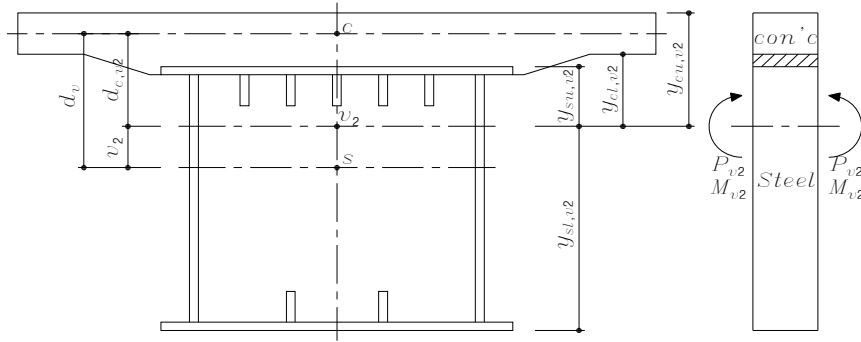
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 490,411.2/193,937.1 + -0.116 \times 309,025,513.9 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 2.391 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 490,411.2/193,937.1 + -0.116 \times 309,025,513.9 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = 2.925 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수

Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

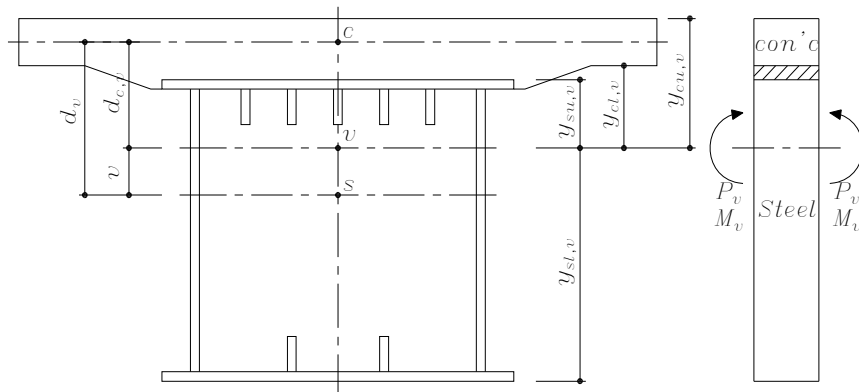
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.887 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.861 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 16.363 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 20.513 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.396 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.348 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 13.974 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 16.531 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 692.989 / 43,200.0 + 47.025 / 104,835,168.0 + 398.968 / 105,827,533.7 = 20.260 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 20.3 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 334.334 / 43,200.0 + 47.025 / 104,835,168.0 + 99.152 / 105,827,533.7 = 9.125 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 9.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 697.446 / 43,200.0 + 47.025 / 104,835,168.0 + 442.637 / 105,827,533.7 = 20.776 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 20.8 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	31.590	-31.443	135.100	215.000
1+2+3	2.510	1.446	10.800	10.800	40.469	-79.125	215.000	215.000
1+2+3+5	2.120	1.296	10.800	10.800	42.860	-76.200	247.250	215.000
1+2+3+5+6	0.233	-0.565	10.800	1.890	59.223	-55.688	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-1.163	-1.913	2.174	2.174	73.197	-39.157	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.629	0.783	12.420	12.420	45.248	-72.219	279.500	247.250
1+2+4	0.582	0.335	12.960	12.960	33.648	-42.498	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	2.523	1.454	13.500	13.500	40.516	-79.378	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.133	1.304	13.500	13.500	42.907	-76.454	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	0.246	-0.557	13.500	2.363	59.270	-55.941	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-1.150	-1.905	2.552	2.552	73.244	-39.410	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.643	0.791	14.580	14.580	45.296	-72.472	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.055	0.021	0.026	0.026	0.081	0.048	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.035	0.135	0.026	0.026	0.062	0.162	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.030	0.126	0.026	0.026	0.056	0.152	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.057	0.067	0.026	0.026	0.084	0.093	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.069	0.025	0.026	0.026	0.095	0.051	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.026	0.085	0.026	0.026	0.052	0.112	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.017	0.027	0.004	0.004	0.021	0.031	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.023	0.087	0.018	0.018	0.040	0.105	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.025	0.081	0.018	0.018	0.043	0.099	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.049	0.043	0.018	0.018	0.066	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.064	0.018	0.018	0.018	0.081	0.036	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.024	0.062	0.018	0.018	0.042	0.080	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{73.197}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{20.260}{125.000}\right)^2 = 0.069 + 0.026 = 0.095 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-79.125}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{20.260}{125.000}\right)^2 = 0.135 + 0.026 = 0.162 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 31.590)} = 2.61 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

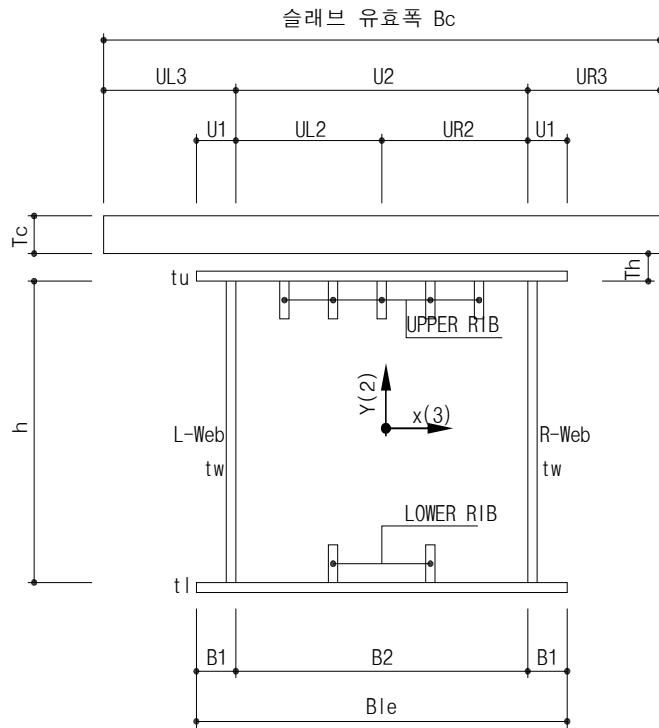
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	41.067	-40.876	355.000	0.K !!
1+2+3	4.925	2.837	16.200	0.K !!	58.487	-134.427	355.000	0.K !!
1+2+3+7	6.321	4.185	16.200	0.K !!	72.461	-150.958	355.000	0.K !!
1+2+3+5	4.535	2.687	16.200	0.K !!	60.878	-131.502	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	2.648	0.826	16.200	0.K !!	77.241	-110.989	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	1.251	-0.522	16.200	0.K !!	91.215	-94.458	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	4.044	2.174	16.200	0.K !!	63.267	-127.520	355.000	0.K !!
1+2+4	0.749	0.431	16.200	0.K !!	43.714	-55.095	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	4.938	2.844	16.200	0.K !!	58.534	-134.680	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	3.542	1.496	16.200	0.K !!	72.508	-118.149	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	4.548	2.694	16.200	0.K !!	60.925	-131.755	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	2.661	0.834	16.200	0.K !!	77.288	-111.243	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1.265	-0.515	16.200	0.K !!	91.262	-94.712	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	4.057	2.182	16.200	0.K !!	63.314	-127.774	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 9] : 절점 52 로 부터 이격거리 0.617 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

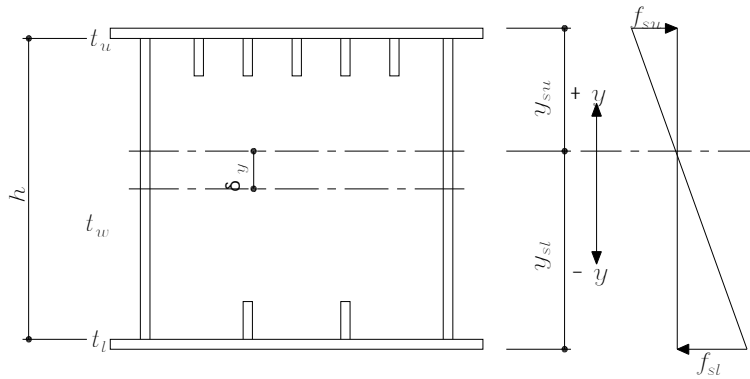
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중
합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	905.0	2.389E+07	2.162E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	825.0	7.425E+06	6.126E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		113,880.0	-	-3.551E+05	5.620E+10	1.169E+10
RC. SLAB	1 - 4,670.0 × 240.0	1,120,800.0	1,070.0	1.199E+09	1.283E+12	5.380E+09
SLAB 단면 합계		1,120,800.0	-	1.199E+09	1.283E+12	5.380E+09
※ $A_s = 113,880.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,120,800.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 2,839.373 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 38.190 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 2,839.373 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -38.013 \text{ MPa}$$

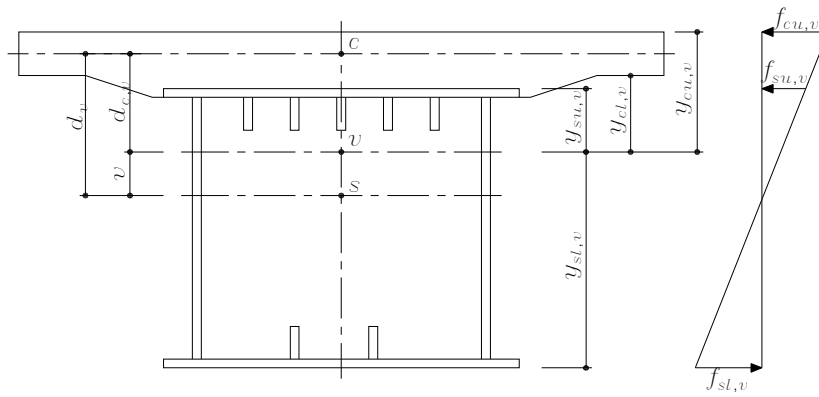
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 65.691 / 43,200.0 + 20.082 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 1.712 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 1,251.578 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 2.464 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 1,251.578 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -13.231 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,251.578 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.697 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 1,251.578 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.401 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 18.059 / 43,200.0 + 1.629 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 0.433 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 3,563.642 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 7.015 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 3,563.642 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -37.673 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 3,563.642 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.983 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 3,563.642 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.142 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 344.685 / 43,200.0 + 385.603 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 11.623 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 47.200 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.093 \text{ MPa}$$

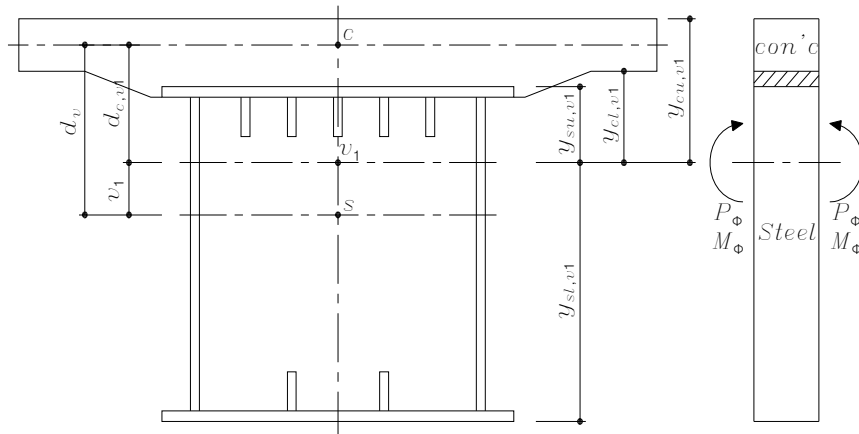
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 47.200 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.499 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 47.200 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.026 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 47.200 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 9.391 / 43,200.0 + 81.368 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 0.986 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.039 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 1,251.6 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 6.152 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 615,169.8 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 6.152 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 615,169.8 \times 630.1 = 3.876 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,251.578 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.697 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 1,251.578 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.401 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

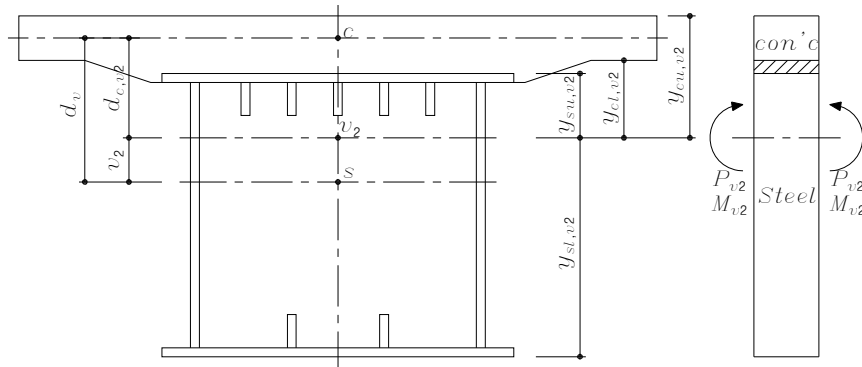
$$\begin{aligned}
 f_{cu,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\
 &= (1/14.0) \times (615,169.8/193,937.1 + -0.039 \times 387,640,336.4 \times 750.1/122,409,033,764.6) \\
 &\quad - 13,902.0 \times 0.697 \times 2.0/27,804.0 = -0.477 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{cl,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\
 &= (1/14.0) \times (615,169.8/193,937.1 + -0.039 \times 387,640,336.4 \times 510.1/122,409,033,764.6) \\
 &\quad - 13,902.0 \times 0.401 \times 2.0/27,804.0 = -0.179 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned}
 f_{su,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\
 &= 615,169.8/193,937.1 + -0.039 \times 387,640,336.4 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 3.114 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{sl,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\
 &= 615,169.8/193,937.1 + -0.039 \times 387,640,336.4 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = 3.339 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_{c1}/n_2 + A_{c1}/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

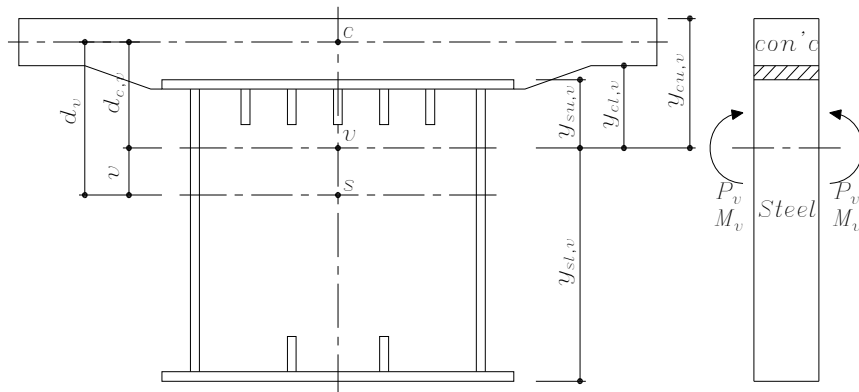
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.826 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.817 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 17.225 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 18.622 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.321 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.305 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 14.240 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 15.101 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sc} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 428.434 / 43,200.0 + 20.082 / 104,835,168.0 + 387.232 / 105,827,533.7 = 13.768 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 13.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sc} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 93.140 / 43,200.0 + 20.082 / 104,835,168.0 + 82.997 / 105,827,533.7 = 3.132 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 3.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sc} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 433.130 / 43,200.0 + 20.082 / 104,835,168.0 + 427.916 / 105,827,533.7 = 14.261 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 14.3 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

▪ 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

▪ 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{b/(t_u \cdot i \cdot n) - 23.0\} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n)/b\}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

▪ 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

▪ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	38.190	-38.013	135.100	215.000
1+2+3	2.680	1.544	10.800	10.800	47.669	-88.917	215.000	215.000
1+2+3+5	2.203	1.364	10.800	10.800	50.783	-85.578	247.250	215.000
1+2+3+5+6	0.378	-0.453	10.800	1.890	68.008	-66.956	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-0.943	-1.757	2.174	2.174	82.249	-51.856	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.699	0.852	12.420	12.420	53.768	-82.057	279.500	247.250
1+2+4	0.723	0.416	12.960	12.960	40.747	-51.743	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	2.693	1.551	13.500	13.500	47.715	-89.167	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.216	1.372	13.500	13.500	50.829	-85.827	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	0.391	-0.445	13.500	2.363	68.055	-67.206	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-0.930	-1.750	2.552	2.552	82.295	-52.105	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.712	0.860	14.580	14.580	53.814	-82.307	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.080	0.031	0.012	0.012	0.092	0.043	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.049	0.171	0.012	0.012	0.061	0.183	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.042	0.158	0.012	0.012	0.054	0.171	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.076	0.097	0.012	0.012	0.088	0.109	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.087	0.044	0.012	0.012	0.099	0.056	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.037	0.110	0.012	0.012	0.049	0.122	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.025	0.040	0.000	0.000	0.025	0.041	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.032	0.110	0.008	0.008	0.040	0.118	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.036	0.102	0.008	0.008	0.044	0.110	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.064	0.063	0.008	0.008	0.072	0.071	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.080	0.032	0.008	0.008	0.089	0.041	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.034	0.080	0.008	0.008	0.043	0.089	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \quad \dots \quad 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{82.249}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{13.768}{125.000}\right)^2 = 0.087 + 0.012 = 0.099 \leq 1.2 \quad \dots \quad 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-88.917}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{13.768}{125.000}\right)^2 = 0.171 + 0.012 = 0.183 \leq 1.2 \quad \dots \quad 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 38.190)} = 2.37 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

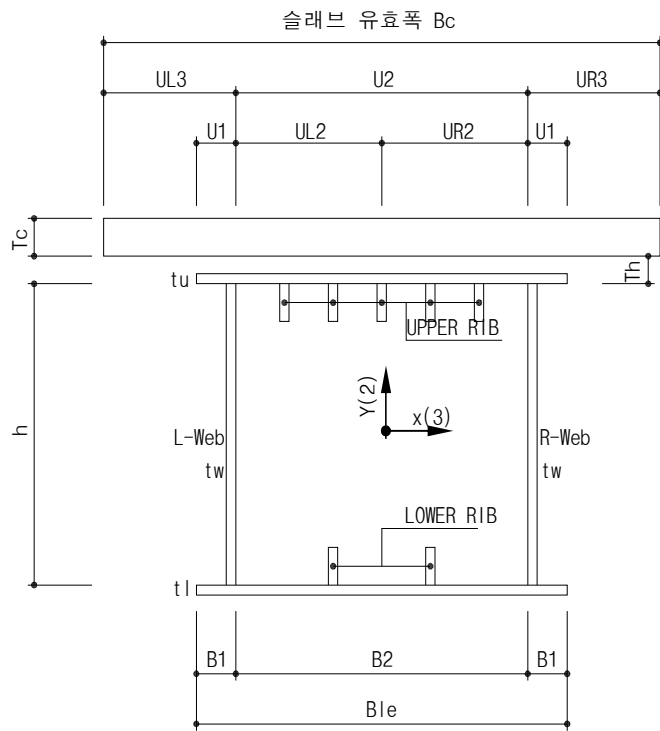
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	49.647	-49.416	355.000	0.K !!
1+2+3	5.170	2.978	16.200	0.K !!	67.933	-147.615	355.000	0.K !!
1+2+3+7	6.491	4.282	16.200	0.K !!	82.173	-162.715	355.000	0.K !!
1+2+3+5	4.693	2.798	16.200	0.K !!	71.046	-144.275	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	2.867	0.982	16.200	0.K !!	88.272	-125.654	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	1.546	-0.323	16.200	0.K !!	102.512	-110.553	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	4.188	2.286	16.200	0.K !!	74.031	-140.755	355.000	0.K !!
1+2+4	0.932	0.537	16.200	0.K !!	52.943	-67.116	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	5.183	2.985	16.200	0.K !!	67.979	-147.864	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	3.862	1.680	16.200	0.K !!	82.219	-132.763	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	4.706	2.806	16.200	0.K !!	71.093	-144.525	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	2.880	0.989	16.200	0.K !!	88.318	-125.903	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1.559	-0.316	16.200	0.K !!	102.559	-110.803	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	4.201	2.294	16.200	0.K !!	74.078	-141.004	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 10] : 절점 53 로 부터 이격거리 3.086 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

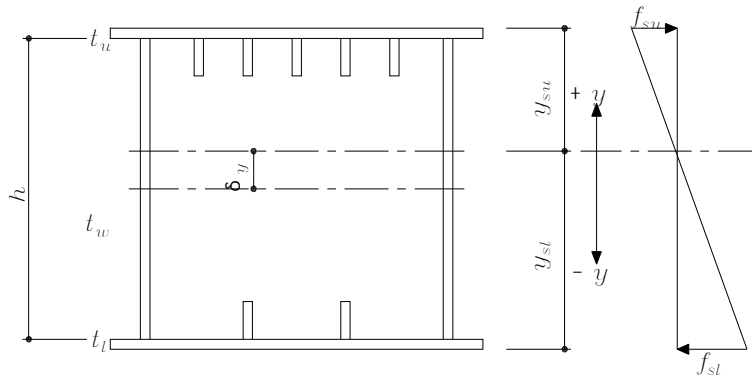
Th = 50.0 mm

h = 1,809.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,833,840.0 / 122,496.0 = -39.461 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,809.0 / 2 + 10.0 - (-39.461) = 953.961 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,809.0 / 2 + 12.0 + (-39.461) \} = -877.039 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,879,811,418.0 + 62,550,342,570.0 - 122,496.0 \times (-39.461)^2 = 7.424\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 1,143.297 \times 954.0 / 74,239,404,827.7 = 14.691 \text{ MPa}$$

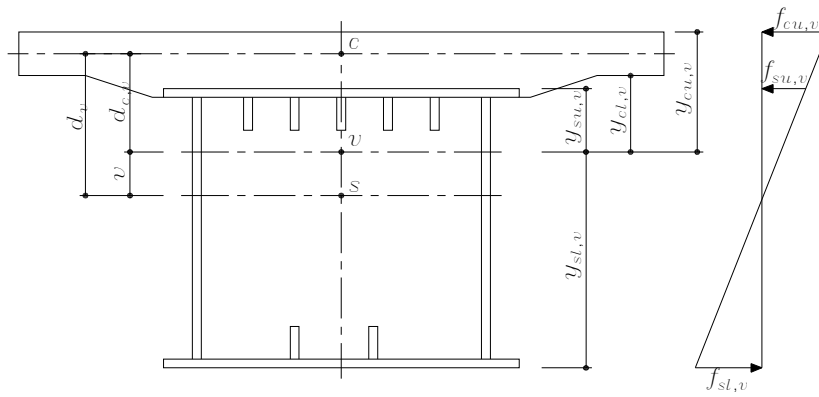
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 1,143.297 \times -877.0 / 74,239,404,827.7 = -13.507 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.390\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 392.619 / 43,416.0 + 32.118 / (2 \times 4,389,840.0 \times 12.0) = 9.348 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 122,496.0 + 160,114.3 = 282,610.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,114.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,114.0 / 282,610.3 = 631.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,114.0 - 631.1 = 482.8 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 631.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 482.8^2 = 1.611\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 954.0 - 631.1 = 322.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -877.0 - 631.1 = -1,508.2 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 482.8 + 240.0 / 2 = 602.8 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 602.8 - 240.0 = 362.8 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 523.963 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 1.050 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 523.963 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -4.904 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 523.963 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.280 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 523.963 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.169 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.431\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 177.816 / 43,416.0 + 154.411 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 5.548 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 2,924.205 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 5.859 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,924.205 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -27.371 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,924.205 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 1.563 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,924.205 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.941 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 490.769 / 43,416.0 + 380.107 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 14.878 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 46.335 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 0.093 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 46.335 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -0.434 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 46.335 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.025 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 46.335 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 5.088 / 43,416.0 + 109.466 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 1.146 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 523.963 \times 362.8 / (161.127.980.857.7 \times 7.0) = 0.169 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (251,399.3/202,553.1 + 0.053 \times 169,362,441.5 \times 793.7/134,702,740,890.7) - 13,902.0 \times 0.280 \times 2.0/27,804.0 = -0.188 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (251,399.3/202,553.1 + 0.053 \times 169,362,441.5 \times 553.7/134,702,740,890.7) - 13,902.0 \times 0.169 \times 2.0/27,804.0 = -0.077 \text{ MPa}$$

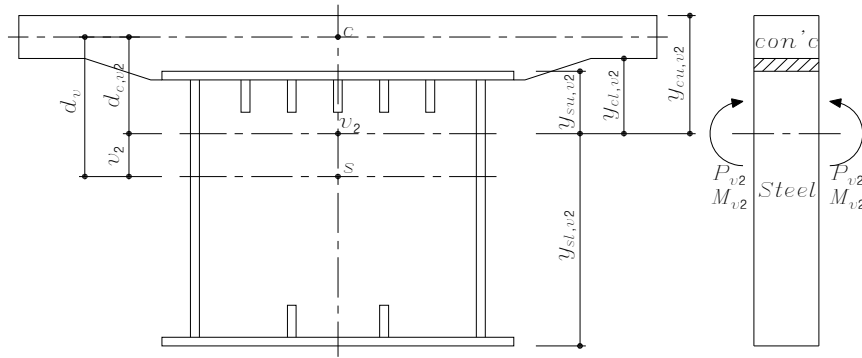
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 251,399.3/202,553.1 + 0.053 \times 169,362,441.5 \times 513.7/134,702,740,890.7 = 1.276 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 251,399.3/202,553.1 + 0.053 \times 169,362,441.5 \times -1,317.3/134,702,740,890.7 = 1.153 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 122,496.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.759E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,114.0 / 175,867.4 = 338.1 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,114.0 - 338.1 = 775.9 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2)$$

$$= (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 338.1^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 775.9^2) = 1.206E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 954.0 - 338.1 = 615.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -877.0 - 338.1 = -1,215.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 775.9 + 240.0 / 2 = 895.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 895.9 - 240.0 = 655.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 895.9 = 2.292E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times 895.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.793 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s$$

$$= (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times 895.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.804 \text{ MPa}$$

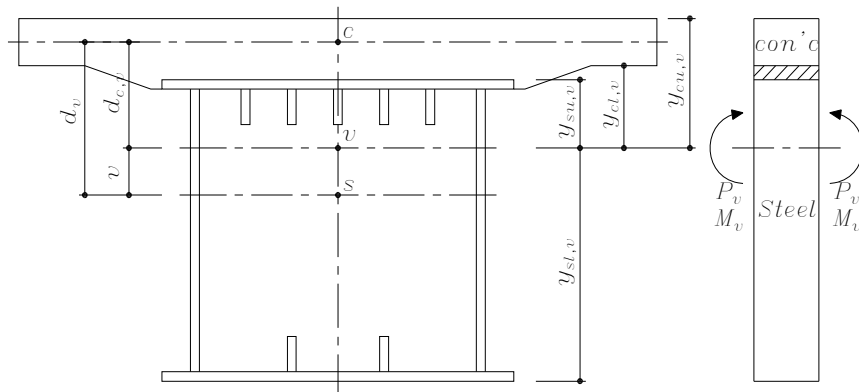
- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times 615.9/120,625,800,204.4 = 17.422 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2}$$

$$= 2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times -1,215.1/120,625,800,204.4 = 15.565 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 482.8 = 1.902\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times 602.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.291 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times 362.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.313 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times 322.8/161,127,980,857.7 = 14.141 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times -1,508.2/161,127,980,857.7 = 12.987 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

▪ 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,061.204 / 43,416.0 + 32.118 / 105,356,160.0 + 534.517 / 106,348,525.7 = 29.774 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 29.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

▪ 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 575.522 / 43,416.0 + 32.118 / 105,356,160.0 + 263.877 / 106,348,525.7 = 16.042 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 16.0 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,063.748 / 43,416.0 + 32.118 / 105,356,160.0 + 589.250 / 106,348,525.7 = 30.347 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 30.3 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

▪ 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

▪ 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{b/(t_u \cdot i \cdot n) - 23.0\} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n)/b\}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

▪ 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

▪ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	14.691	-13.507	135.100	215.000
1+2+3	1.843	1.109	10.800	10.800	21.600	-45.781	215.000	215.000
1+2+3+5	1.655	1.032	10.800	10.800	22.876	-44.629	247.250	215.000
1+2+3+5+6	-0.137	-0.772	1.890	1.890	40.297	-29.063	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-1.428	-2.085	2.174	2.174	54.438	-16.076	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.154	0.541	12.420	12.420	26.157	-42.051	279.500	247.250
1+2+4	0.305	0.183	12.960	12.960	15.834	-18.845	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	1.855	1.117	13.500	13.500	21.646	-45.998	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	1.668	1.039	13.500	13.500	22.922	-44.845	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	-0.125	-0.765	2.363	2.363	40.344	-29.280	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-1.416	-2.078	2.552	2.552	54.484	-16.293	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.166	0.548	14.580	14.580	26.203	-42.268	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.012	0.004	0.057	0.057	0.069	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.010	0.045	0.057	0.057	0.067	0.102	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.009	0.043	0.057	0.057	0.065	0.100	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.027	0.018	0.057	0.057	0.083	0.075	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.038	0.004	0.057	0.057	0.095	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.009	0.029	0.057	0.057	0.065	0.086	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.004	0.005	0.011	0.011	0.015	0.017	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.006	0.029	0.038	0.038	0.044	0.067	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.007	0.028	0.038	0.038	0.045	0.066	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.023	0.012	0.038	0.038	0.060	0.050	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.035	0.003	0.038	0.038	0.073	0.041	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.008	0.021	0.038	0.038	0.046	0.059	0.K !!	0.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \quad \dots \quad 0.K !!$$

[상 연]

$$\left(\frac{54.438}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{29.774}{125.000}\right)^2 = 0.038 + 0.057 = 0.095 \leq 1.2 \quad \dots \quad 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-45.781}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{29.774}{125.000}\right)^2 = 0.045 + 0.057 = 0.102 \leq 1.2 \quad \dots \quad 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,809.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \quad \dots \quad 0.K !!$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(215.0 / 14.691)} = 3.83 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

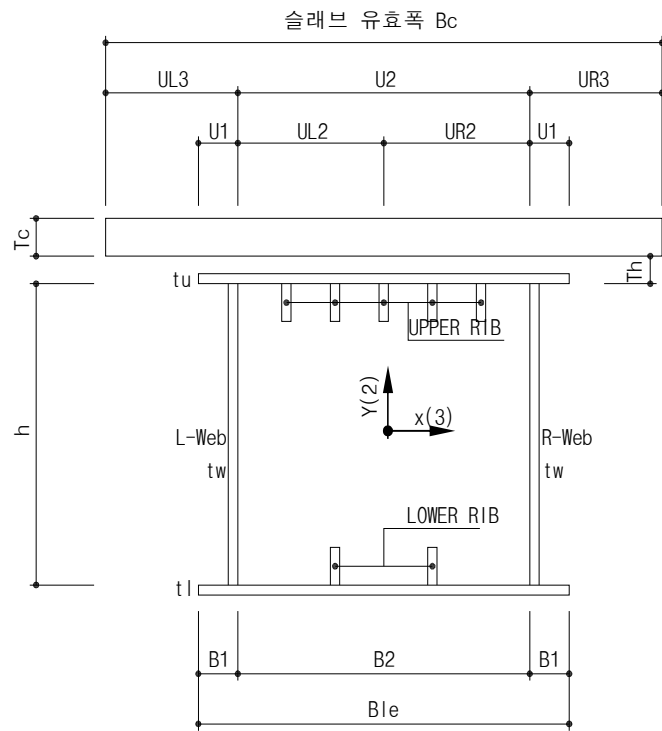
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력 (MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	19.098	-17.558	355.000	0.K !!
1+2+3	3.724	2.242	16.200	0.K !!	33.060	-82.781	355.000	0.K !!
1+2+3+7	5.016	3.554	16.200	0.K !!	47.201	-95.768	355.000	0.K !!
1+2+3+5	3.537	2.164	16.200	0.K !!	34.336	-81.628	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	1.744	0.360	16.200	0.K !!	51.758	-66.063	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.453	-0.953	16.200	0.K !!	65.898	-53.075	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	3.035	1.673	16.200	0.K !!	37.617	-79.050	355.000	0.K !!
1+2+4	0.389	0.234	16.200	0.K !!	20.556	-24.368	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	3.737	2.249	16.200	0.K !!	33.107	-82.998	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	2.446	0.936	16.200	0.K !!	47.247	-70.010	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	3.549	2.172	16.200	0.K !!	34.382	-81.845	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	1.757	0.368	16.200	0.K !!	51.804	-66.280	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.465	-0.945	16.200	0.K !!	65.945	-53.292	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	3.048	1.680	16.200	0.K !!	37.663	-79.267	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 13] : 절점 58 로 부터 이격거리 1.852 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

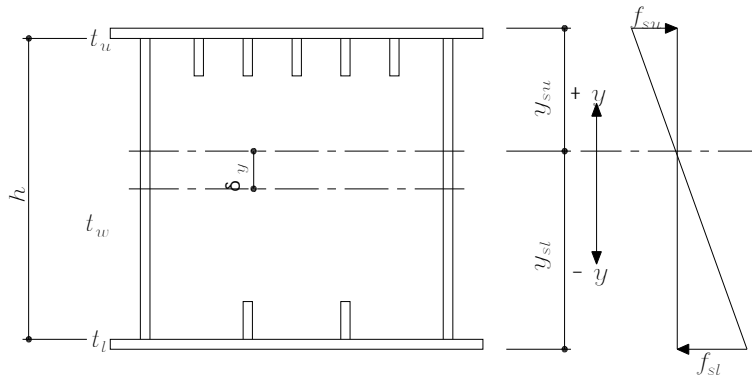
Th = 50.0 mm

h = 1,809.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,833,840.0 / 122,496.0 = -39.461 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,809.0 / 2 + 10.0 - -39.461 = 953.961 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,809.0 / 2 + 12.0 + -39.461 \} = -877.039 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,879,811,418.0 + 62,550,342,570.0 - 122,496.0 \times -39.461^2 = 7.424\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 1,145.619 \times 954.0 / 74,239,404,827.7 = 14.721 \text{ MPa}$$

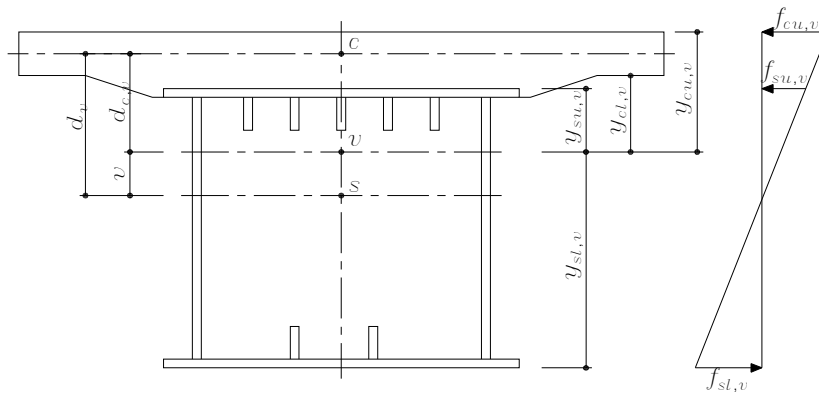
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 1,145.619 \times -877.0 / 74,239,404,827.7 = -13.534 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.390\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 392.764 / 43,416.0 + 32.129 / (2 \times 4,389,840.0 \times 12.0) = 9.351 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 122,496.0 + 160,114.3 = 282,610.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c / 2 = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 240.0 / 2 = 1,114.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,114.0 / 282,610.3 = 631.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,114.0 - 631.1 = 482.8 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 631.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 482.8^2 = 1.611\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 954.0 - 631.1 = 322.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -877.0 - 631.1 = -1,508.2 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 482.8 + 240.0 / 2 = 602.8 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 602.8 - 240.0 = 362.8 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 525.433 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 1.053 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 525.433 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -4.918 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 525.433 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.281 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 525.433 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.169 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.431\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 177.922 / 43,416.0 + 154.571 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 5.552 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 2,925.720 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 5.862 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,925.720 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -27.385 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,925.720 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 1.564 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,925.720 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.941 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 490.833 / 43,416.0 + 380.341 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 14.882 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 45.297 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 0.091 \text{ MPa}$$

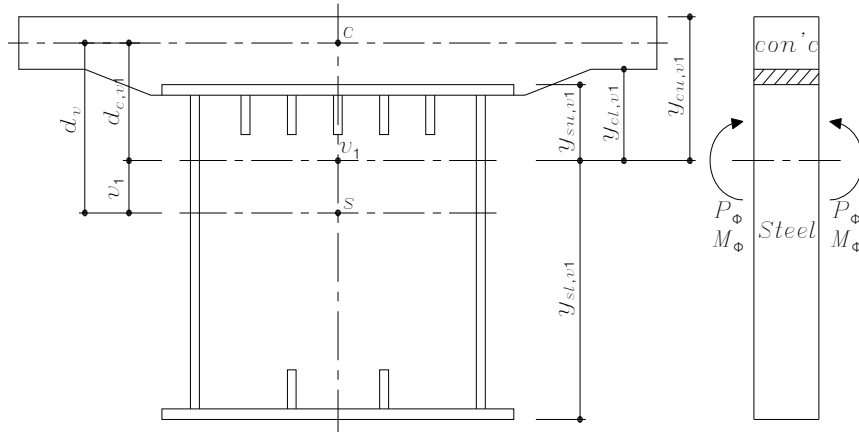
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 45.297 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -0.424 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 45.297 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.024 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 45.297 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 5.249 / 43,416.0 + 109.647 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 1.152 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.053 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 122,496.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 2.026 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,114.0 / 202,553.1 = 440.3 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,114.0 - 440.3 = 673.7 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 440.3^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 673.7^2) = 1.347 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 954.0 - 440.3 = 513.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -877.0 - 440.3 = -1,317.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 673.7 + 240.0 / 2 = 793.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 793.7 - 240.0 = 553.7 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 525.4 \times 482.8 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 161,127,980,857.7) = 2.521 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 252,104.4 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 2.521 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 252,104.4 \times 673.7 = 1.698 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 525.433 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.281 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 525.433 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.169 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (252,104.4/202,553.1 + 0.053 \times 169,837,458.3 \times 793.7/134,702,740,890.7)$$

$$- 13,902.0 \times 0.281 \times 2.0/27,804.0 = -0.188 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (252,104.4/202,553.1 + 0.053 \times 169,837,458.3 \times 553.7/134,702,740,890.7)$$

$$- 13,902.0 \times 0.169 \times 2.0/27,804.0 = -0.077 \text{ MPa}$$

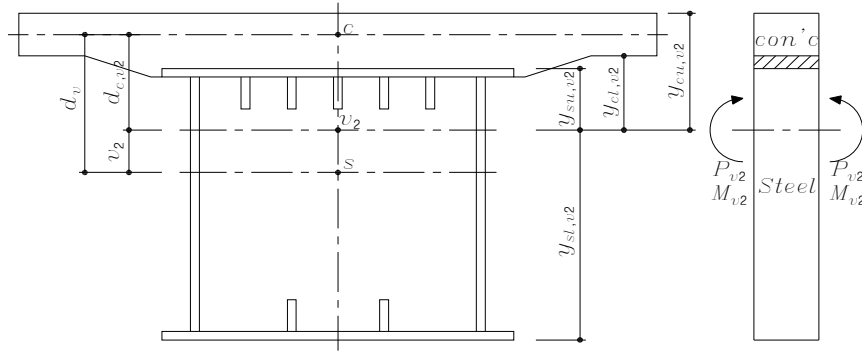
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 252,104.4/202,553.1 + 0.053 \times 169,837,458.3 \times 513.7/134,702,740,890.7 = 1.279 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 252,104.4/202,553.1 + 0.053 \times 169,837,458.3 \times -1,317.3/134,702,740,890.7 = 1.156 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 122,496.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.759E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,114.0 / 175,867.4 = 338.1 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,114.0 - 338.1 = 775.9 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 338.1^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 775.9^2) = 1.206E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 954.0 - 338.1 = 615.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -877.0 - 338.1 = -1,215.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 775.9 + 240.0 / 2 = 895.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 895.9 - 240.0 = 655.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 895.9 = 2.292E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

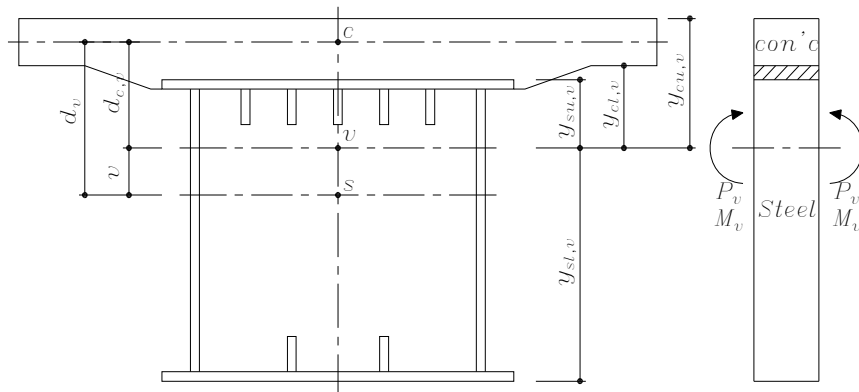
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times 895.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.793 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times 895.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.804 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times 615.9/120,625,800,204.4 = 17.422 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/175,867.4 + 0.053 \times 2,292,097,110.0 \times -1,215.1/120,625,800,204.4 = 15.565 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 482.8 = 1.902\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times 602.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.291 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times 362.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.313 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times 322.8/161,127,980,857.7 = 14.141 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.053 \times 1,901,819,078.0 \times -1,508.2/161,127,980,857.7 = 12.987 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,061.519 / 43,416.0 + 32.129 / 105,356,160.0 + 534.912 / 106,348,525.7 = 29.785 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 29.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 575.935 / 43,416.0 + 32.129 / 105,356,160.0 + 264.218 / 106,348,525.7 = 16.055 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 16.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,064.144 / 43,416.0 + 32.129 / 105,356,160.0 + 589.735 / 106,348,525.7 = 30.361 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 30.4 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{ 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	14.721	-13.534	135.100	215.000
1+2+3	1.845	1.110	10.800	10.800	21.636	-45.837	215.000	215.000
1+2+3+5	1.656	1.033	10.800	10.800	22.915	-44.681	247.250	215.000
1+2+3+5+6	-0.136	-0.771	1.890	1.890	40.337	-29.116	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-1.427	-2.084	2.174	2.174	54.478	-16.129	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.155	0.541	12.420	12.420	26.197	-42.103	279.500	247.250
1+2+4	0.305	0.184	12.960	12.960	15.864	-18.876	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	1.857	1.118	13.500	13.500	21.681	-46.049	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	1.669	1.040	13.500	13.500	22.960	-44.893	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	-0.124	-0.764	2.363	2.363	40.383	-29.328	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-1.415	-2.077	2.552	2.552	54.523	-16.341	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.167	0.549	14.580	14.580	26.242	-42.315	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.012	0.004	0.057	0.057	0.069	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.010	0.045	0.057	0.057	0.067	0.102	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.009	0.043	0.057	0.057	0.065	0.100	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.027	0.018	0.057	0.057	0.083	0.075	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.038	0.004	0.057	0.057	0.095	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.009	0.029	0.057	0.057	0.066	0.086	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.004	0.005	0.011	0.011	0.015	0.017	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.007	0.029	0.038	0.038	0.044	0.067	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.007	0.028	0.038	0.038	0.045	0.066	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.023	0.012	0.038	0.038	0.060	0.050	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.035	0.003	0.038	0.038	0.073	0.041	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.008	0.021	0.038	0.038	0.046	0.059	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{54.478}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{29.785}{125.000}\right)^2 = 0.038 + 0.057 = 0.095 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-45.837}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{29.785}{125.000}\right)^2 = 0.045 + 0.057 = 0.102 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,809.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 14.721)} = 3.82 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

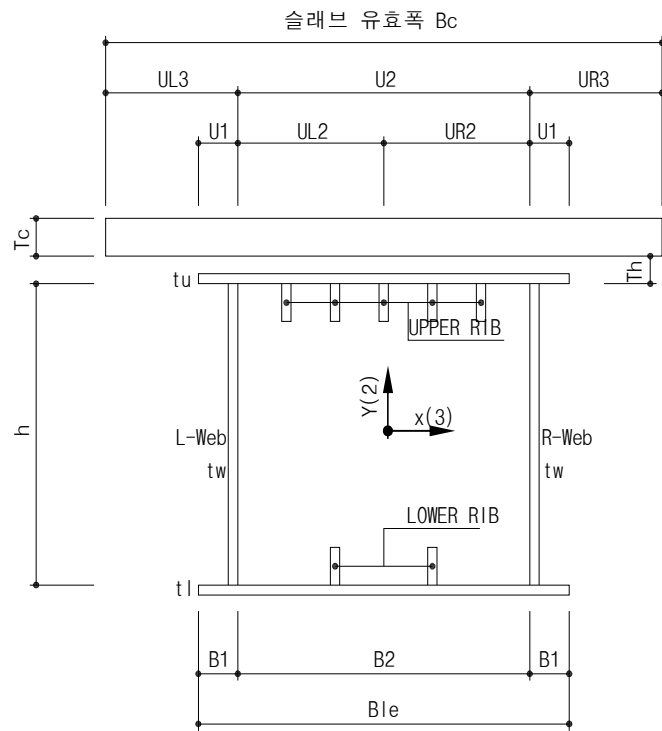
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	19.137	-17.594	355.000	0.K !!
1+2+3	3.727	2.243	16.200	0.K !!	33.109	-82.865	355.000	0.K !!
1+2+3+7	5.018	3.556	16.200	0.K !!	47.250	-95.852	355.000	0.K !!
1+2+3+5	3.539	2.166	16.200	0.K !!	34.389	-81.709	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	1.746	0.362	16.200	0.K !!	51.811	-66.144	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.455	-0.951	16.200	0.K !!	65.951	-53.157	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	3.038	1.674	16.200	0.K !!	37.670	-79.131	355.000	0.K !!
1+2+4	0.389	0.234	16.200	0.K !!	20.597	-24.412	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	3.739	2.251	16.200	0.K !!	33.155	-83.077	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	2.448	0.938	16.200	0.K !!	47.295	-70.090	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	3.551	2.173	16.200	0.K !!	34.434	-81.921	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	1.759	0.369	16.200	0.K !!	51.856	-66.356	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.467	-0.944	16.200	0.K !!	65.997	-53.369	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	3.050	1.682	16.200	0.K !!	37.715	-79.343	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 14] : 절점 59 로 부터 이격거리 4.320 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

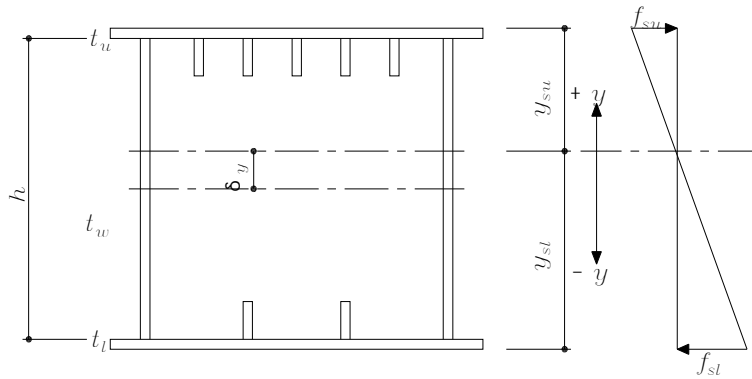
Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 2,842.679 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 38.234 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 2,842.679 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -38.057 \text{ MPa}$$

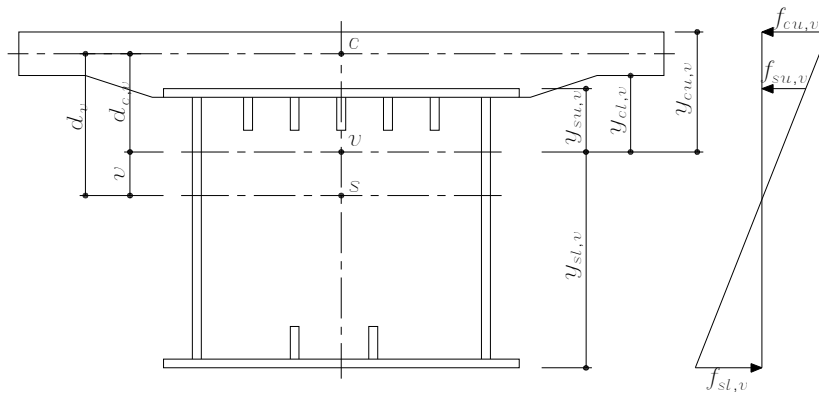
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 65.848 / 43,200.0 + 20.459 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 1.719 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 1,253.847 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 2.468 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 1,253.847 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -13.255 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,253.847 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.698 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 1,253.847 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.402 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 18.177 / 43,200.0 + 1.643 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 0.436 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 3,564.388 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 7.017 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 3,564.388 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -37.681 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 3,564.388 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.984 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 3,564.388 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.143 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 344.449 / 43,200.0 + 386.200 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 11.623 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 47.321 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.093 \text{ MPa}$$

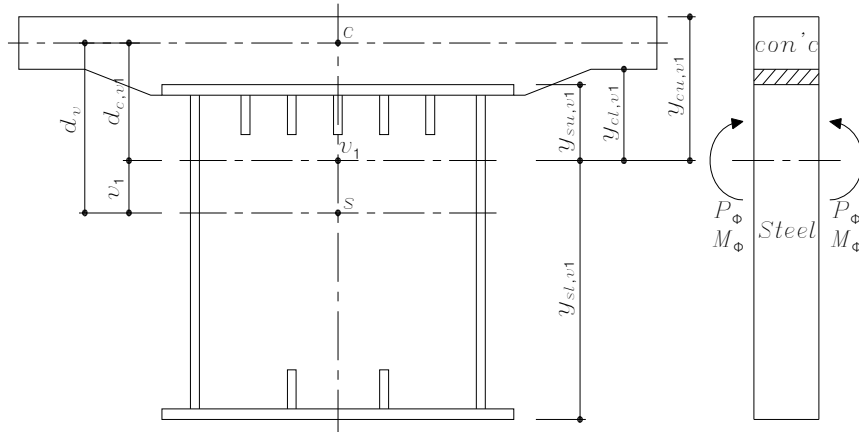
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 47.321 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.500 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 47.321 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.026 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 47.321 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 9.024 / 43,200.0 + 81.557 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 0.980 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.039 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) = 1,253.8 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 6.163 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 616,285.0 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 6.163 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 616,285.0 \times 630.1 = 3.883 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,253.847 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.698 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 1,253.847 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.402 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (616,285.0/193,937.1 + -0.039 \times 388,343,045.3 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.698 \times 2.0/27,804.0 = -0.477 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (616,285.0/193,937.1 + -0.039 \times 388,343,045.3 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.402 \times 2.0/27,804.0 = -0.179 \text{ MPa}$$

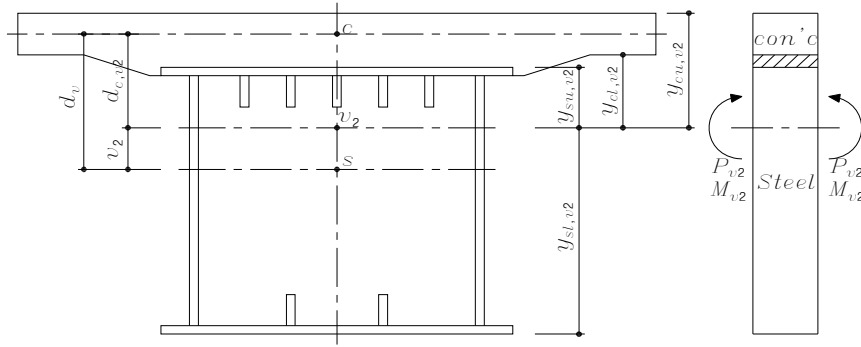
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 616,285.0/193,937.1 + -0.039 \times 388,343,045.3 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 3.120 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 616,285.0/193,937.1 + -0.039 \times 388,343,045.3 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = 3.345 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수

Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

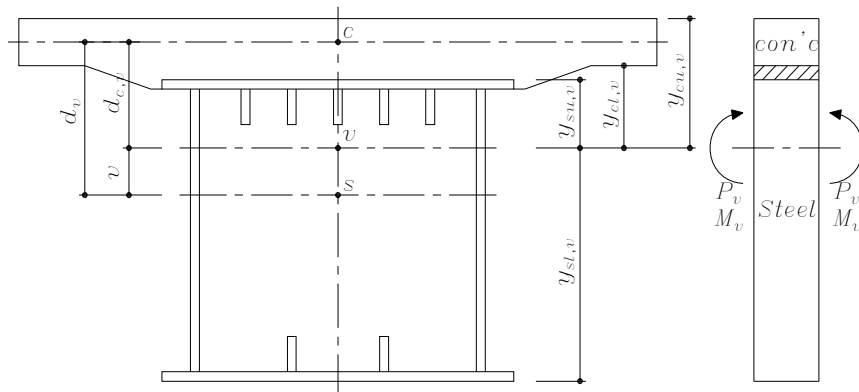
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.826 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.817 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 17.226 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.039 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 18.620 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.321 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.305 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 14.241 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.039 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 15.099 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 428.474 / 43,200.0 + 20.459 / 104,835,168.0 + 387.843 / 105,827,533.7 = 13.778 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 13.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 93.049 / 43,200.0 + 20.459 / 104,835,168.0 + 83.199 / 105,827,533.7 = 3.135 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 3.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 432.986 / 43,200.0 + 20.459 / 104,835,168.0 + 428.621 / 105,827,533.7 = 14.268 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 14.3 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	38.234	-38.057	135.100	215.000
1+2+3	2.681	1.544	10.800	10.800	47.719	-88.993	215.000	215.000
1+2+3+5	2.204	1.365	10.800	10.800	50.839	-85.648	247.250	215.000
1+2+3+5+6	0.378	-0.452	10.800	1.890	68.065	-67.028	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-0.943	-1.757	2.174	2.174	82.306	-51.929	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.699	0.853	12.420	12.420	53.824	-82.128	279.500	247.250
1+2+4	0.724	0.417	12.960	12.960	40.796	-51.812	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	2.695	1.552	13.500	13.500	47.766	-89.243	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.217	1.373	13.500	13.500	50.885	-85.898	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	0.392	-0.444	13.500	2.363	68.112	-67.279	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-0.929	-1.749	2.552	2.552	82.352	-52.179	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.713	0.861	14.580	14.580	53.871	-82.378	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.080	0.031	0.012	0.012	0.092	0.043	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.049	0.171	0.012	0.012	0.061	0.183	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.042	0.159	0.012	0.012	0.054	0.171	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.076	0.097	0.012	0.012	0.088	0.109	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.087	0.044	0.012	0.012	0.099	0.056	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.037	0.110	0.012	0.012	0.049	0.122	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.025	0.040	0.000	0.000	0.025	0.041	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.032	0.110	0.008	0.008	0.040	0.119	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.036	0.102	0.008	0.008	0.044	0.110	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.064	0.063	0.008	0.008	0.073	0.071	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.081	0.032	0.008	0.008	0.089	0.041	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.034	0.081	0.008	0.008	0.043	0.089	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{82.306}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{13.778}{125.000}\right)^2 = 0.087 + 0.012 = 0.099 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-88.993}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{13.778}{125.000}\right)^2 = 0.171 + 0.012 = 0.183 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 38.234)} = 2.37 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

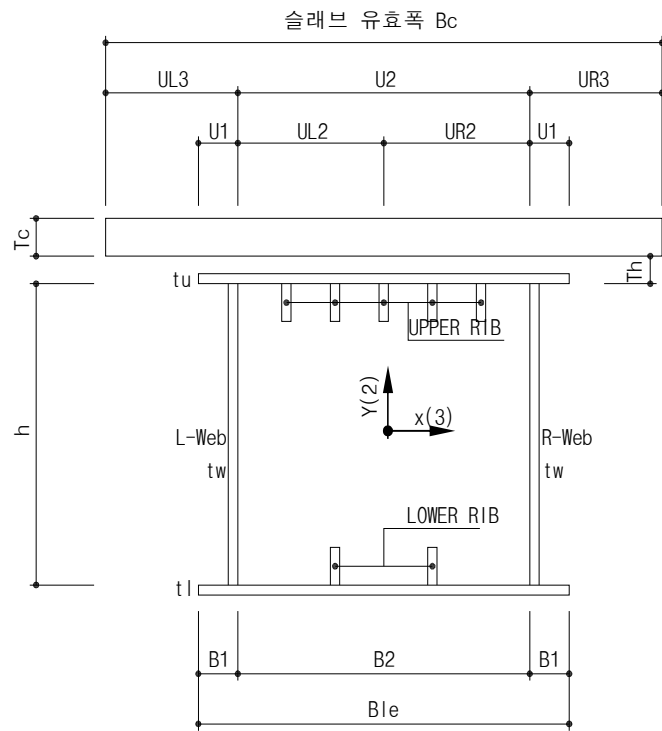
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	49.705	-49.474	355.000	0.K !!
1+2+3	5.172	2.979	16.200	0.K !!	67.999	-147.720	355.000	0.K !!
1+2+3+7	6.493	4.284	16.200	0.K !!	82.240	-162.820	355.000	0.K !!
1+2+3+5	4.695	2.800	16.200	0.K !!	71.119	-144.375	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	2.869	0.983	16.200	0.K !!	88.345	-125.755	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	1.548	-0.322	16.200	0.K !!	102.586	-110.656	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	4.190	2.287	16.200	0.K !!	74.104	-140.855	355.000	0.K !!
1+2+4	0.933	0.538	16.200	0.K !!	53.007	-67.206	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	5.185	2.987	16.200	0.K !!	68.046	-147.970	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	3.864	1.682	16.200	0.K !!	82.287	-132.871	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	4.708	2.807	16.200	0.K !!	71.165	-144.625	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	2.882	0.990	16.200	0.K !!	88.392	-126.005	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1.561	-0.314	16.200	0.K !!	102.632	-110.906	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	4.203	2.295	16.200	0.K !!	74.151	-141.105	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 15] : 절점 61 로 부터 이격거리 0.617 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

$B_c = 4,670.0$ mm

$UL3 = 1,100.0$ mm

$UR3 = 1,170.0$ mm

$U1 = 120.0$ mm

$UL2 = 1,200.0$ mm

$UR2 = 1,200.0$ mm

상부 플랜지 유효폭

$B_{ue} = 2,640.0$ mm

하부 플랜지 유효폭

$B_{le} = 2,640.0$ mm

$B1 = 120.0$ mm

$B2 = 2,400.0$ mm

$T_c = 240.0$ mm

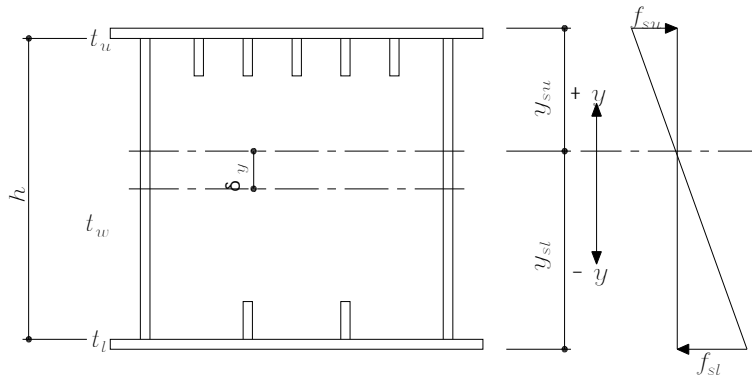
$T_h = 50.0$ mm

$h = 1,800.0$ mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 2,353.040 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 31.649 \text{ MPa}$$

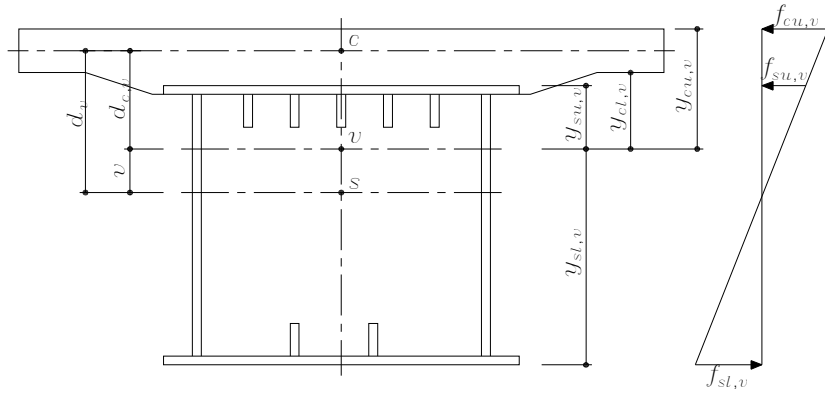
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 2,353.040 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -31.502 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 224.860 / 43,200.0 + 47.368 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 5.657 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 1,000.729 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 1.970 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 1,000.729 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -10.579 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,000.729 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.557 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 1,000.729 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.321 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 100.287 / 43,200.0 + 12.154 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 2.436 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 3,512.776 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 6.915 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 3,512.776 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -37.136 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 3,512.776 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.955 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 3,512.776 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.126 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 367.778 / 43,200.0 + 387.248 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 12.173 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 49.052 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.097 \text{ MPa}$$

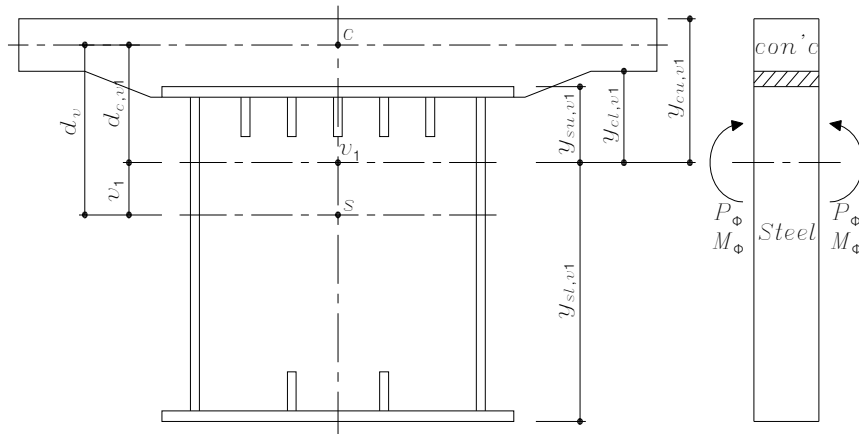
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 49.052 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.519 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 49.052 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.027 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 49.052 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.016 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 9.494 / 43,200.0 + 87.590 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 1.047 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.116 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 1,000.7 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 4.919\text{E}+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 491,873.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.919\text{E}+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 491,873.9 \times 630.1 = 3.099\text{E}+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,000.729 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.557 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 1,000.729 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.321 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (491,873.9/193,937.1 + -0.116 \times 309,947,225.1 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.557 \times 2.0/27,804.0 = -0.392 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (491,873.9/193,937.1 + -0.116 \times 309,947,225.1 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.321 \times 2.0/27,804.0 = -0.150 \text{ MPa}$$

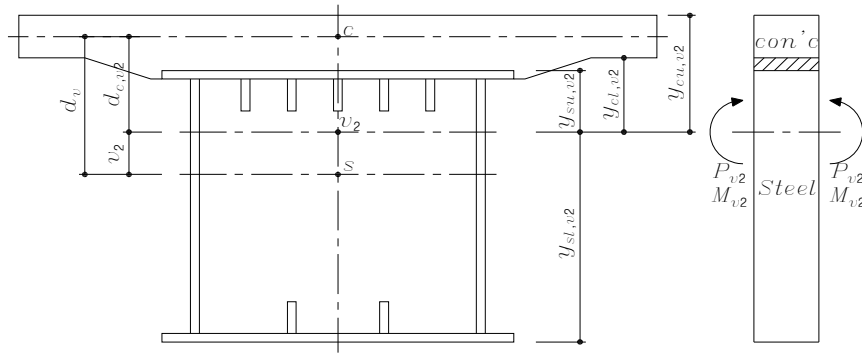
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 491,873.9/193,937.1 + -0.116 \times 309,947,225.1 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 2.398 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 491,873.9/193,937.1 + -0.116 \times 309,947,225.1 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = 2.933 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

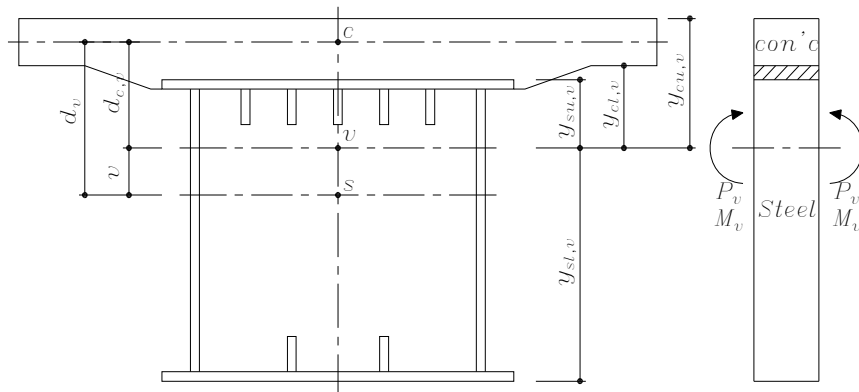
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.887 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.861 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 16.364 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + -0.116 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 20.510 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팅창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.396 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.348 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 13.974 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + -0.116 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 16.529 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 692.926 / 43,200.0 + 47.368 / 104,835,168.0 + 399.402 / 105,827,533.7 = 20.266 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 20.3 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 334.641 / 43,200.0 + 47.368 / 104,835,168.0 + 99.744 / 105,827,533.7 = 9.141 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 9.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 697.673 / 43,200.0 + 47.368 / 104,835,168.0 + 443.197 / 105,827,533.7 = 20.790 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 20.8 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)
 f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)
 i : 응력구배계수
 n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	31.649	-31.502	135.100	215.000
1+2+3	2.512	1.447	10.800	10.800	40.534	-79.217	215.000	215.000
1+2+3+5	2.120	1.296	10.800	10.800	42.932	-76.283	247.250	215.000
1+2+3+5+6	0.234	-0.564	10.800	1.890	59.296	-55.773	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-1.163	-1.912	2.174	2.174	73.270	-39.244	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.630	0.784	12.420	12.420	45.321	-72.302	279.500	247.250
1+2+4	0.584	0.337	12.960	12.960	33.715	-42.600	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	2.526	1.455	13.500	13.500	40.582	-79.476	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.134	1.304	13.500	13.500	42.980	-76.543	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	0.247	-0.556	13.500	2.363	59.344	-56.033	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-1.149	-1.905	2.552	2.552	73.319	-39.503	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.643	0.792	14.580	14.580	45.370	-72.562	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.055	0.021	0.026	0.026	0.081	0.048	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.036	0.136	0.026	0.026	0.062	0.162	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.030	0.126	0.026	0.026	0.056	0.152	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.058	0.067	0.026	0.026	0.084	0.094	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.069	0.025	0.026	0.026	0.095	0.051	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.026	0.086	0.026	0.026	0.053	0.112	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.017	0.027	0.004	0.004	0.021	0.031	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.023	0.087	0.018	0.018	0.041	0.105	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.026	0.081	0.018	0.018	0.043	0.099	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.049	0.043	0.018	0.018	0.066	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.064	0.019	0.018	0.018	0.082	0.036	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.024	0.062	0.018	0.018	0.042	0.080	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{73.270}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{20.266}{125.000}\right)^2 = 0.069 + 0.026 = 0.095 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-79.217}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{20.266}{125.000}\right)^2 = 0.136 + 0.026 = 0.162 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 31.649)} = 2.61 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

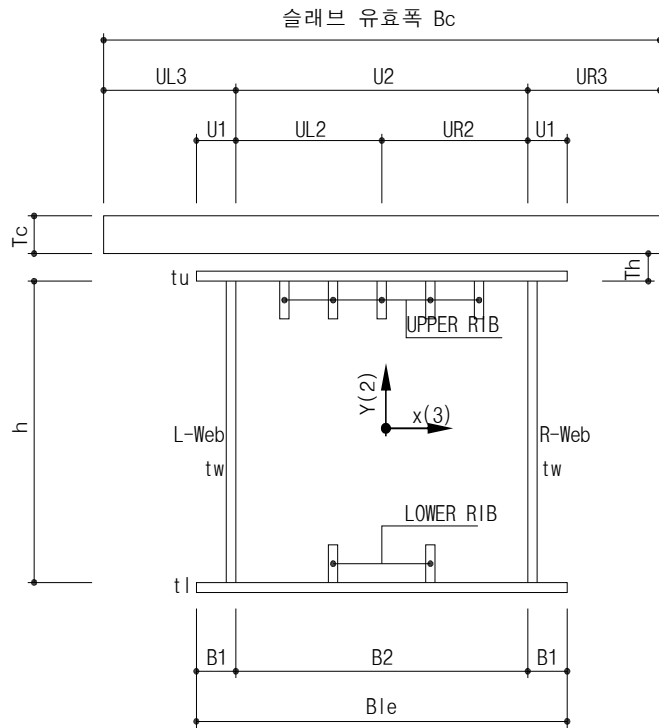
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	41.143	-40.952	355.000	0.K !!
1+2+3	4.927	2.838	16.200	0.K !!	58.572	-134.547	355.000	0.K !!
1+2+3+7	6.323	4.186	16.200	0.K !!	72.546	-151.076	355.000	0.K !!
1+2+3+5	4.536	2.688	16.200	0.K !!	60.970	-131.614	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	2.649	0.827	16.200	0.K !!	77.334	-111.103	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	1.253	-0.521	16.200	0.K !!	91.308	-94.574	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	4.045	2.175	16.200	0.K !!	63.359	-127.633	355.000	0.K !!
1+2+4	0.751	0.433	16.200	0.K !!	43.801	-55.224	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	4.941	2.846	16.200	0.K !!	58.620	-134.806	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	3.545	1.498	16.200	0.K !!	72.594	-118.277	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	4.549	2.696	16.200	0.K !!	61.018	-131.873	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	2.663	0.835	16.200	0.K !!	77.382	-111.363	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	1.266	-0.513	16.200	0.K !!	91.357	-94.834	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	4.059	2.183	16.200	0.K !!	63.408	-127.892	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 19] : 절점 67 로 부터 이격거리 1.852 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,809.0 mm

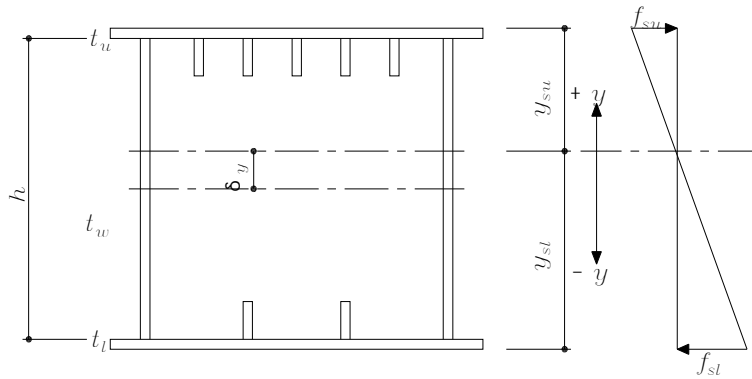
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.000270
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4.0
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	990.660
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	384.631
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	46.489
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	2,952.663
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-684.516
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-322.048
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-4.499
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-514.234
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-140.613
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	134.048
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-196.345
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-663.118

X(3)축 방향 단면 제원

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,833,840.0 / 122,496.0 = -39.461 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,809.0 / 2 + 10.0 - -39.461 = 953.961 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,809.0 / 2 + 12.0 + -39.461 \} = -877.039 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,879,811,418.0 + 62,550,342,570.0 - 122,496.0 \times -39.461^2 = 7.424E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 990.660 \times 954.0 / 74,239,404,827.7 = 12.730 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 990.660 \times -877.0 / 74,239,404,827.7 = -11.703 \text{ MPa}$$

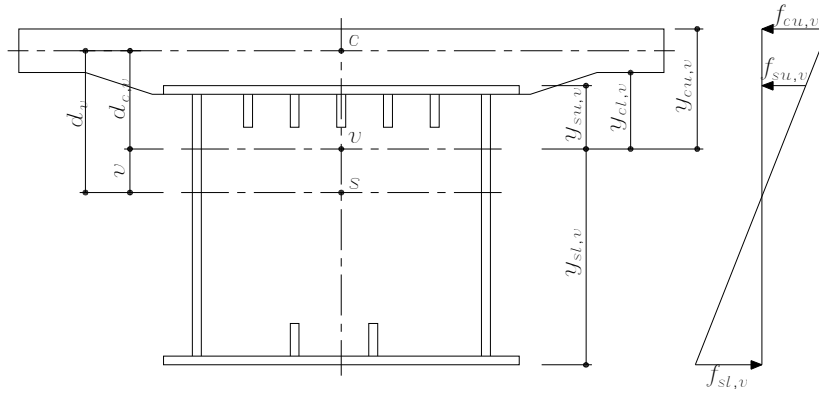
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.390E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 684.516 / 43,416.0 + 140.613 / (2 \times 4,389,840.0 \times 12.0) = 17.101 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 122,496.0 + 160,114.3 = 282,610.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,114.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,114.0 / 282,610.3 = 631.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,114.0 - 631.1 = 482.8 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 631.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 482.8^2 = 1.611\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 954.0 - 631.1 = 322.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -877.0 - 631.1 = -1,508.2 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 482.8 + 240.0 / 2 = 602.8 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 602.8 - 240.0 = 362.8 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 384.631 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 0.771 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 384.631 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -3.600 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 384.631 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.206 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 384.631 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.124 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.431\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 322.048 / 43,416.0 + 134.048 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 8.678 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 2,952.663 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 5.916 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,952.663 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -27.637 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,952.663 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 1.578 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,952.663 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.950 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 514.234 / 43,416.0 + 663.118 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 18.080 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 46.489 \times 322.8 / 161,127,980,857.7 = 0.093 \text{ MPa}$$

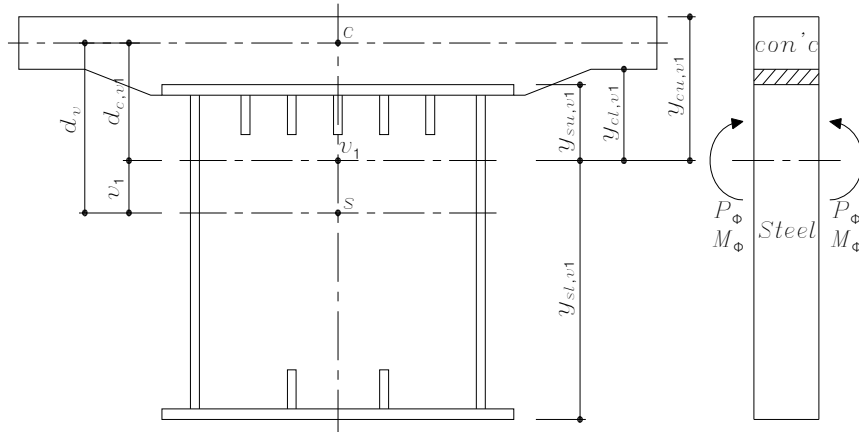
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 46.489 \times -1,508.2 / 161,127,980,857.7 = -0.435 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 46.489 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.025 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 46.489 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.015 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 4.499 / 43,416.0 + 196.345 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 1.950 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.008 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 122,496.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 2.026 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,114.0 / 202,553.1 = 440.3 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,114.0 - 440.3 = 673.7 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 440.3^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 673.7^2) = 1.347 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 954.0 - 440.3 = 513.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -877.0 - 440.3 = -1,317.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 673.7 + 240.0 / 2 = 793.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 793.7 - 240.0 = 553.7 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 384.6 \times 482.8 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 161,127,980,857.7) = 1.845 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 184,547.2 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.845 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 184,547.2 \times 673.7 = 1.243 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하면 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 384.631 \times 602.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.206 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 384.631 \times 362.8 / (161,127,980,857.7 \times 7.0) = 0.124 \text{ MPa}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (184,547.2/202,553.1 + 0.008 \times 124,325,594.0 \times 793.7/134,702,740,890.7) - 13,902.0 \times 0.206 \times 2.0/27,804.0 = -0.140 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (184,547.2/202,553.1 + 0.008 \times 124,325,594.0 \times 553.7/134,702,740,890.7) - 13,902.0 \times 0.124 \times 2.0/27,804.0 = -0.058 \text{ MPa}$$

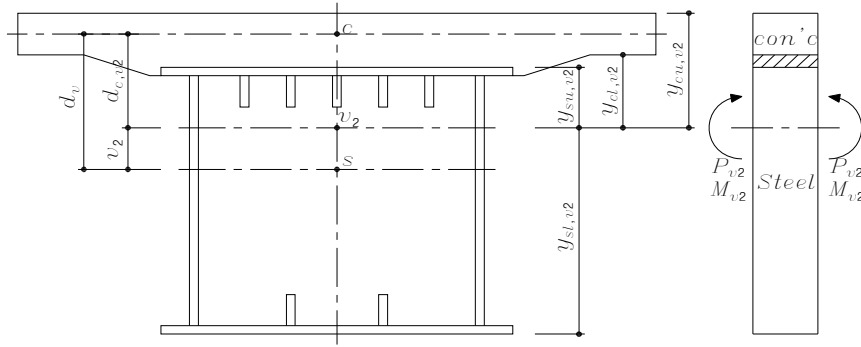
■ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 184,547.2/202,553.1 + 0.008 \times 124,325,594.0 \times 513.7/134,702,740,890.7 = 0.915 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 184,547.2/202,553.1 + 0.008 \times 124,325,594.0 \times -1,317.3/134,702,740,890.7 = 0.901 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 122,496.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.759E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,114.0 / 175,867.4 = 338.1 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,114.0 - 338.1 = 775.9 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 338.1^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 775.9^2) = 1.206E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 954.0 - 338.1 = 615.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -877.0 - 338.1 = -1,215.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 775.9 + 240.0 / 2 = 895.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 895.9 - 240.0 = 655.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 895.9 = 2.292E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

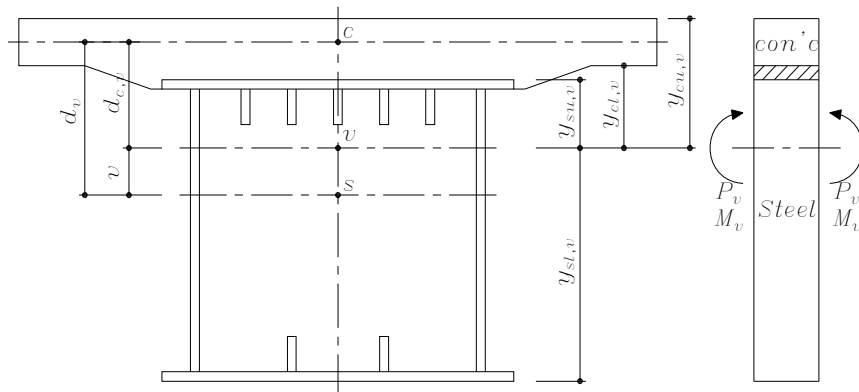
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.008 \times 2,292,097,110.0 \times 895.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.829 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/175,867.4 + 0.008 \times 2,292,097,110.0 \times 655.9/120,625,800,204.4) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.831 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/175,867.4 + 0.008 \times 2,292,097,110.0 \times 615.9/120,625,800,204.4 = 16.893 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/175,867.4 + 0.008 \times 2,292,097,110.0 \times -1,215.1/120,625,800,204.4 = 16.609 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 482.8 = 1.902\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.008 \times 1,901,819,078.0 \times 602.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.337 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/282,610.3 + 0.008 \times 1,901,819,078.0 \times 362.8/161,127,980,857.7) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.340 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.008 \times 1,901,819,078.0 \times 322.8/161,127,980,857.7 = 13.968 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/282,610.3 + 0.008 \times 1,901,819,078.0 \times -1,508.2/161,127,980,857.7 = 13.792 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,520.798 / 43,416.0 + 140.613 / 105,356,160.0 + 797.166 / 106,348,525.7 = 43.859 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 43.9 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,011.063 / 43,416.0 + 140.613 / 105,356,160.0 + 330.393 / 106,348,525.7 = 27.729 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 27.7 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,523.048 / 43,416.0 + 140.613 / 105,356,160.0 + 895.339 / 106,348,525.7 = 44.834 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 44.8 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0\} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	12.730	-11.703	135.100	215.000
1+2+3	1.784	1.074	10.800	10.800	19.416	-42.940	215.000	215.000
1+2+3+5	1.644	1.015	10.800	10.800	20.331	-42.039	247.250	215.000
1+2+3+5+6	-0.186	-0.816	1.890	1.890	37.225	-25.431	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	-1.523	-2.156	2.174	2.174	51.193	-11.639	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.152	0.525	12.420	12.420	23.256	-39.222	279.500	247.250
1+2+4	0.230	0.139	12.960	12.960	13.594	-15.739	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	1.796	1.081	13.500	13.500	19.463	-43.158	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	1.656	1.023	13.500	13.500	20.378	-42.257	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	-0.173	-0.808	2.363	2.363	37.271	-25.648	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-1.510	-2.149	2.552	2.552	51.239	-11.856	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.164	0.532	14.580	14.580	23.303	-39.440	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.009	0.003	0.123	0.123	0.132	0.126	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.008	0.040	0.123	0.123	0.131	0.163	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.007	0.038	0.123	0.123	0.130	0.161	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.023	0.014	0.123	0.123	0.146	0.137	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.034	0.002	0.123	0.123	0.157	0.125	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.007	0.025	0.123	0.123	0.130	0.148	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.003	0.004	0.034	0.034	0.037	0.038	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.005	0.026	0.082	0.082	0.088	0.108	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.006	0.025	0.082	0.082	0.088	0.107	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.019	0.009	0.082	0.082	0.102	0.091	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.031	0.002	0.082	0.082	0.113	0.084	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.006	0.018	0.082	0.082	0.089	0.101	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{51.193}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{43.859}{125.000}\right)^2 = 0.034 + 0.123 = 0.157 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-42.940}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{43.859}{125.000}\right)^2 = 0.040 + 0.123 = 0.163 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,809.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 12.730)} = 4.11 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

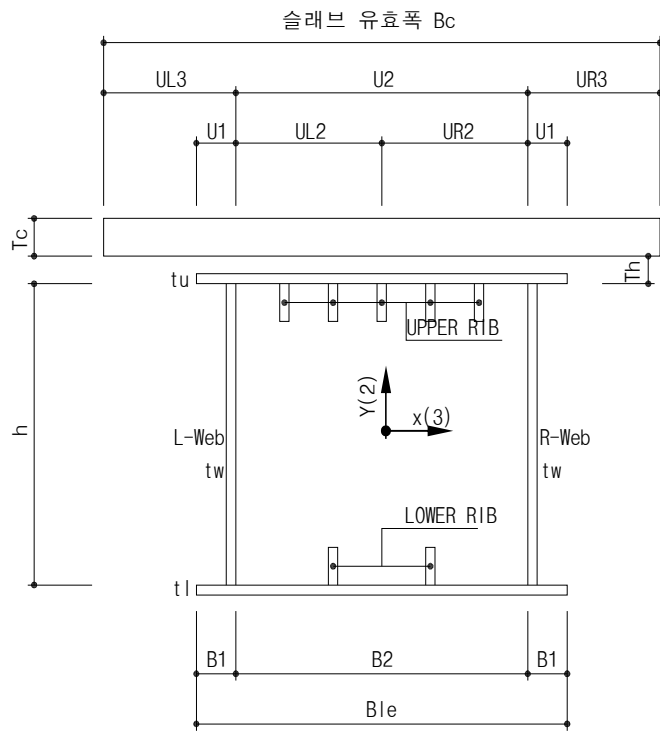
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	16.549	-15.214	355.000	0.K !!
1+2+3	3.660	2.203	16.200	0.K !!	30.270	-79.314	355.000	0.K !!
1+2+3+7	4.997	3.544	16.200	0.K !!	44.238	-93.106	355.000	0.K !!
1+2+3+5	3.520	2.145	16.200	0.K !!	31.185	-78.413	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	1.691	0.314	16.200	0.K !!	48.078	-61.804	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.354	-1.027	16.200	0.K !!	62.046	-48.012	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	3.028	1.654	16.200	0.K !!	34.110	-75.596	355.000	0.K !!
1+2+4	0.292	0.176	16.200	0.K !!	17.644	-20.330	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	3.673	2.211	16.200	0.K !!	30.317	-79.532	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	2.336	0.870	16.200	0.K !!	44.285	-65.740	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	3.533	2.152	16.200	0.K !!	31.232	-78.630	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	1.703	0.321	16.200	0.K !!	48.125	-62.022	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.366	-1.019	16.200	0.K !!	62.093	-48.230	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	3.041	1.662	16.200	0.K !!	34.156	-75.813	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 20] : 절점 68 로 부터 이격거리 4.320 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

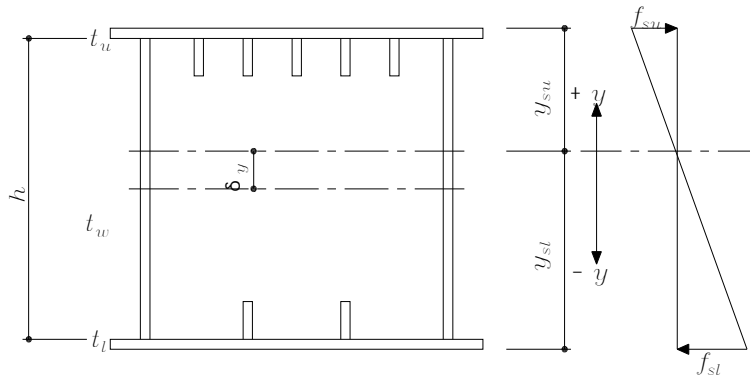
Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 4,851.059 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 65.247 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 4,851.059 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -64.945 \text{ MPa}$$

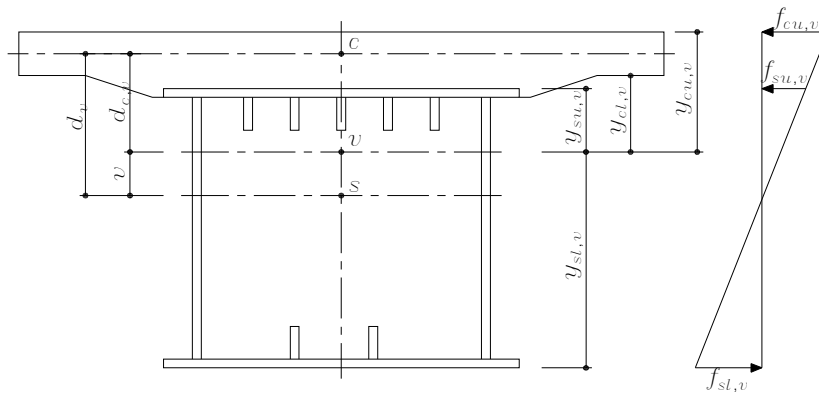
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 358.106 / 43,200.0 + 120.034 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 9.434 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 2,179.494 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 4.290 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,179.494 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -23.041 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,179.494 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.213 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,179.494 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.699 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 162.111 / 43,200.0 + 17.438 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 3.917 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,109.512 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 8.090 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,109.512 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -43.444 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,109.512 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 2.287 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,109.512 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.317 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 380.077 / 43,200.0 + 470.716 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 13.246 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 41.718 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.082 \text{ MPa}$$

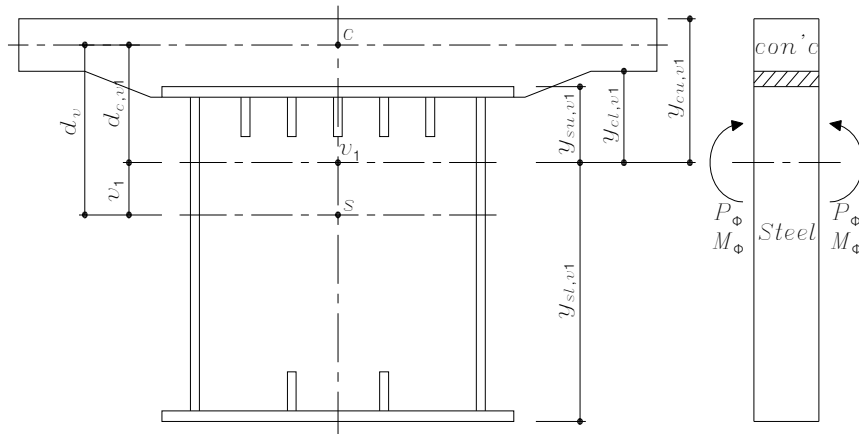
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 41.718 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.441 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 41.718 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.023 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 41.718 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.013 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 10.190 / 43,200.0 + 118.242 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 1.353 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.237 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 2,179.5 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 1.071 \times 10^6 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,071,255.0 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.071 \times 10^6 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,071,255.0 \times 630.1 = 6.750 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,179.494 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.213 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 2,179.494 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.699 \text{ MPa}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,071,255.0 / 193,937.1 + 0.237 \times 675,035,839.2 \times 750.1 / 122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 1.213 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.748 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,071,255.0 / 193,937.1 + 0.237 \times 675,035,839.2 \times 510.1 / 122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.699 \times 2.0 / 27,804.0 = -0.256 \text{ MPa}$$

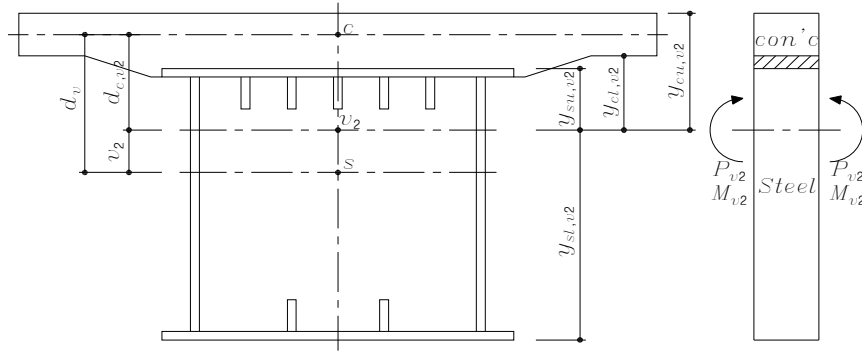
■ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,071,255.0 / 193,937.1 + 0.237 \times 675,035,839.2 \times 470.1 / 122,409,033,764.6 = 6.139 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,071,255.0 / 193,937.1 + 0.237 \times 675,035,839.2 \times -1,351.9 / 122,409,033,764.6 = 3.755 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2 / 2) = 7.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1} / n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1} / n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0 / 21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c / n_2 + A_c / n_2 \cdot d_{c,v2}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0 / 21.0 + 1,120,800.0 / 21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1} / n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

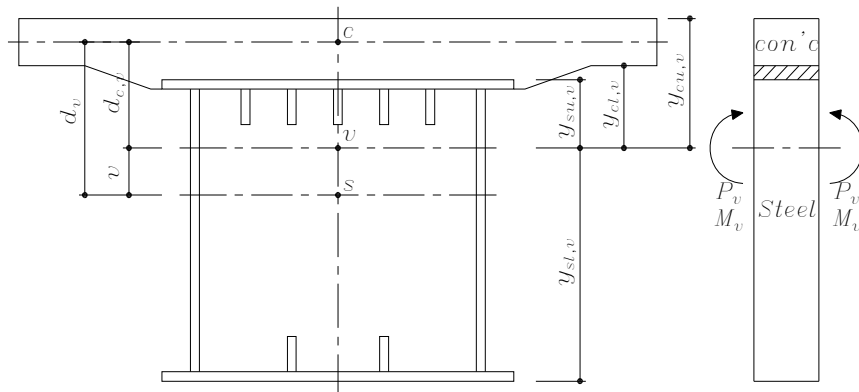
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.237 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.606 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.237 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.659 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.237 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 20.320 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.237 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 11.836 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.237 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.051 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.237 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -1.149 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.237 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 15.196 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.237 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 9.968 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 900.294 / 43,200.0 + 120.034 / 104,835,168.0 + 488.154 / 105,827,533.7 = 26.598 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 26.6 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 530.407 / 43,200.0 + 120.034 / 104,835,168.0 + 135.680 / 105,827,533.7 = 14.705 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 14.7 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 905.389 / 43,200.0 + 120.034 / 104,835,168.0 + 547.275 / 105,827,533.7 = 27.274 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 27.3 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0\} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	65.247	-64.945	135.100	215.000
1+2+3	3.500	2.016	10.800	10.800	77.627	-131.429	215.000	215.000
1+2+3+5	2.752	1.760	10.800	10.800	83.766	-127.675	247.250	215.000
1+2+3+5+6	1.146	0.100	10.800	10.800	104.087	-115.839	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.095	-1.049	12.420	2.174	119.283	-105.871	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	2.197	1.250	12.420	12.420	88.890	-125.807	279.500	247.250
1+2+4	1.236	0.712	12.960	12.960	69.620	-88.426	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	3.512	2.023	13.500	13.500	77.669	-131.650	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.763	1.766	13.500	13.500	83.808	-127.895	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	1.157	0.107	13.500	13.500	104.128	-116.060	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.107	-1.042	14.580	2.552	119.324	-106.091	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	2.208	1.256	14.580	14.580	88.932	-126.028	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.233	0.091	0.045	0.045	0.279	0.137	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.130	0.374	0.045	0.045	0.176	0.419	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.115	0.353	0.045	0.045	0.160	0.398	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.177	0.290	0.045	0.045	0.222	0.336	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.182	0.183	0.045	0.045	0.227	0.229	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.101	0.259	0.045	0.045	0.146	0.304	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.073	0.117	0.010	0.010	0.082	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.084	0.240	0.030	0.030	0.114	0.270	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.097	0.226	0.030	0.030	0.128	0.257	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.150	0.186	0.030	0.030	0.181	0.217	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.169	0.134	0.030	0.030	0.199	0.164	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.094	0.189	0.030	0.030	0.124	0.219	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{65.247}{135.100}\right)^2 + \left(\frac{26.598}{125.000}\right)^2 = 0.233 + 0.045 = 0.279 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-131.429}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{26.598}{125.000}\right)^2 = 0.374 + 0.045 = 0.419 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca} / f_c} = \sqrt{(215.0 / 65.247)} = 1.82 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

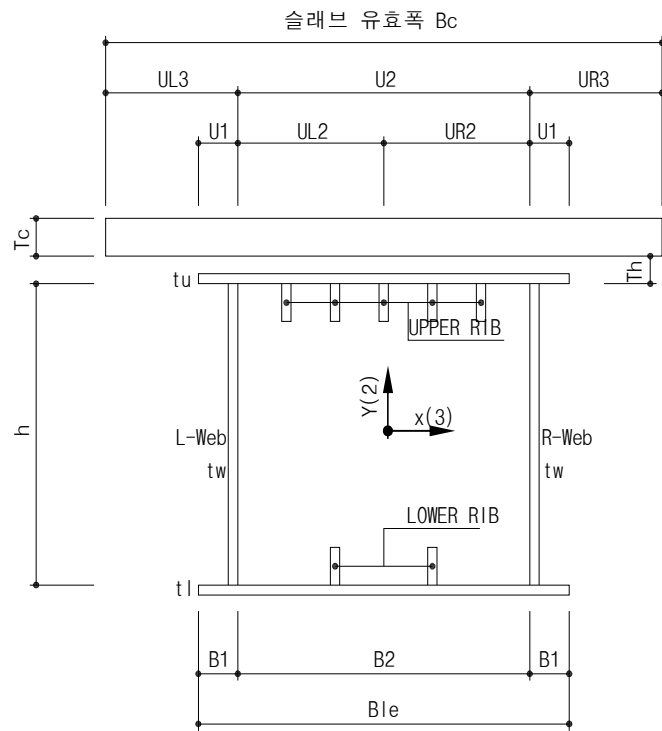
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	84.821	-84.428	355.000	0.K !!
1+2+3	6.494	3.740	16.200	0.K !!	107.792	-207.785	355.000	0.K !!
1+2+3+7	7.545	4.890	16.200	0.K !!	122.988	-217.754	355.000	0.K !!
1+2+3+5	5.746	3.484	16.200	0.K !!	113.931	-204.031	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	4.140	1.825	16.200	0.K !!	134.251	-192.195	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	3.089	0.676	16.200	0.K !!	149.447	-182.227	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	5.191	2.974	16.200	0.K !!	119.055	-202.163	355.000	0.K !!
1+2+4	1.600	0.922	16.200	0.K !!	90.481	-114.822	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	6.506	3.747	16.200	0.K !!	107.833	-208.006	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	5.455	2.598	16.200	0.K !!	123.029	-198.038	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	5.757	3.491	16.200	0.K !!	113.972	-204.251	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	4.151	1.832	16.200	0.K !!	134.292	-192.416	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	3.101	0.682	16.200	0.K !!	149.488	-182.447	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	5.202	2.981	16.200	0.K !!	119.096	-202.384	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 21] : 절점 70 로 부터 이격거리 4.320 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

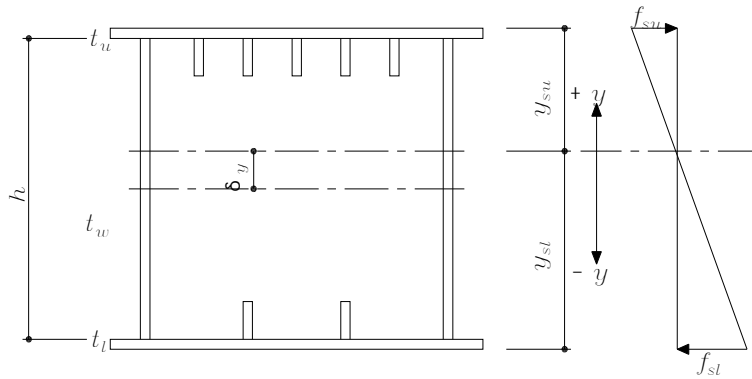
Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 6,174.733 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 83.051 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 6,174.733 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -82.665 \text{ MPa}$$

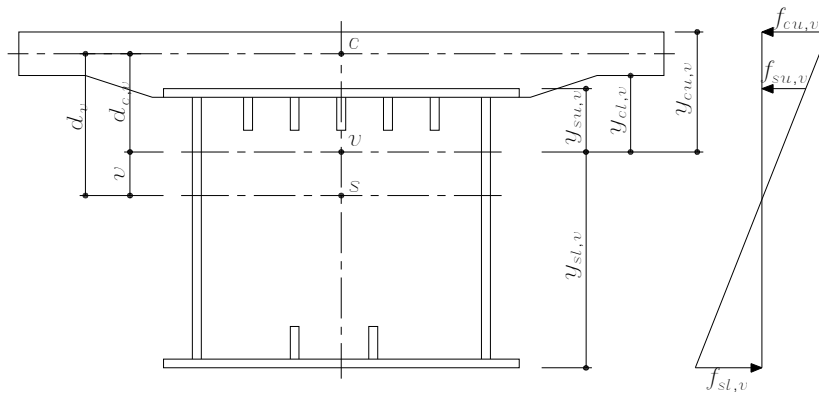
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 83.585 / 43,200.0 + 10.747 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 2.037 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 2,824.493 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 5.560 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,824.493 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -29.859 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,824.493 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.572 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,824.493 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.905 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 38.634 / 43,200.0 + 112.384 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 1.956 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,223.822 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 8.315 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,223.822 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -44.652 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,223.822 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 2.351 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,223.822 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.354 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 392.216 / 43,200.0 + 272.432 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 11.653 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 35.876 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.071 \text{ MPa}$$

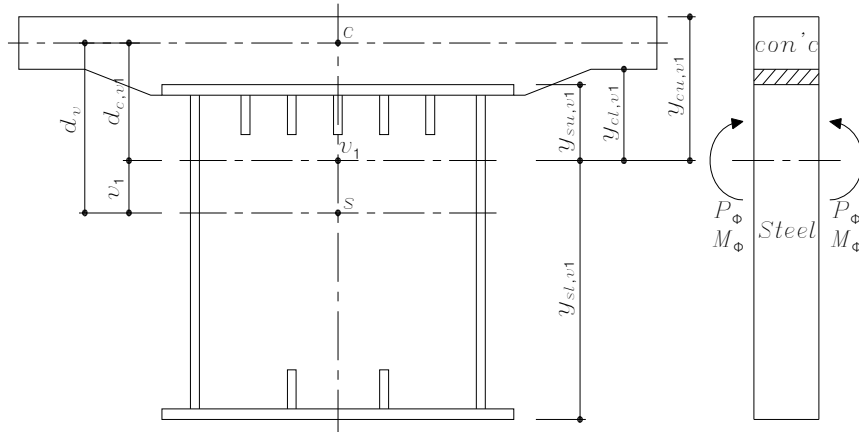
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 35.876 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.379 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 35.876 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.020 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 35.876 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.012 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 7.105 / 43,200.0 + 29.015 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 0.439 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.543 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 2,824.5 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 1.388 \times 10^6 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,388,281.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 1.388 \times 10^6 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 1,388,281.9 \times 630.1 = 8.748 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,824.493 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.572 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 2,824.493 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.905 \text{ MPa}$$

▪ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,388,281.9/193,937.1 + 0.543 \times 874,805,699.3 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 1.572 \times 2.0/27,804.0 = -0.853 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (1,388,281.9/193,937.1 + 0.543 \times 874,805,699.3 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.905 \times 2.0/27,804.0 = -0.253 \text{ MPa}$$

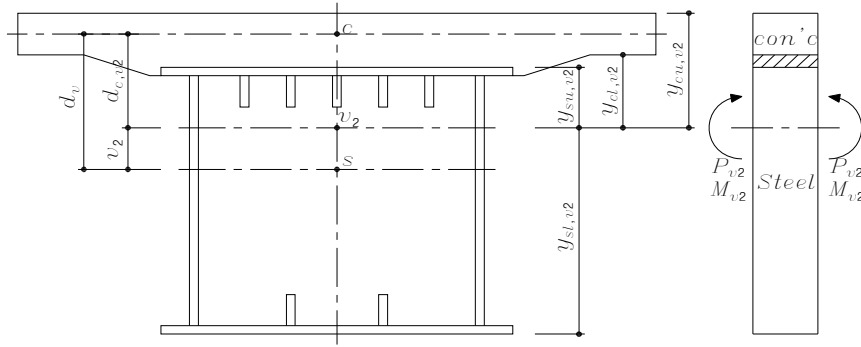
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,388,281.9/193,937.1 + 0.543 \times 874,805,699.3 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 8.982 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 1,388,281.9/193,937.1 + 0.543 \times 874,805,699.3 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = 1.914 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c/n_2 + A_c/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

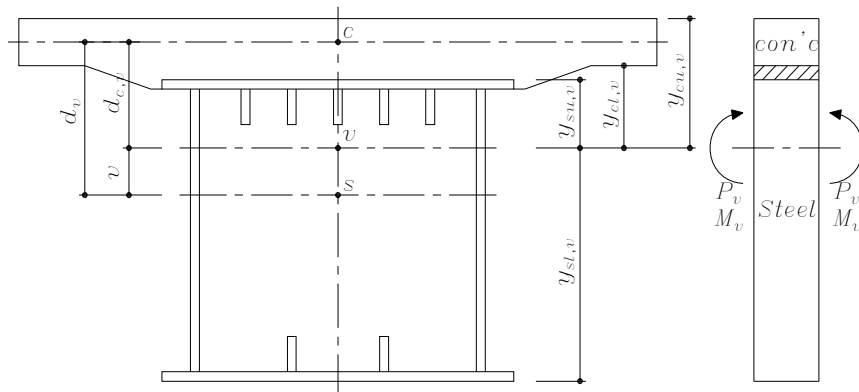
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.543 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.363 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.543 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.485 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.543 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 23.741 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.543 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = 4.334 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.543 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.752 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.543 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.977 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.543 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 16.253 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.543 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 4.295 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 514.434 / 43,200.0 + 10.747 / 104,835,168.0 + 384.816 / 105,827,533.7 = 15.647 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 15.6 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 129.323 / 43,200.0 + 10.747 / 104,835,168.0 + 141.399 / 105,827,533.7 = 4.432 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 4.4 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 517.987 / 43,200.0 + 10.747 / 104,835,168.0 + 399.324 / 105,827,533.7 = 15.866 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 15.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	83.051	-82.665	135.100	215.000
1+2+3	3.923	2.259	10.800	10.800	96.926	-157.177	215.000	215.000
1+2+3+5	3.070	2.007	10.800	10.800	105.908	-155.263	247.250	215.000
1+2+3+5+6	1.707	0.522	10.800	10.800	129.649	-150.928	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.955	-0.455	12.420	2.174	145.902	-146.633	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	2.459	1.499	12.420	12.420	113.396	-155.223	279.500	247.250
1+2+4	1.592	0.917	12.960	12.960	88.682	-112.904	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	3.933	2.265	13.500	13.500	96.961	-157.367	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	3.080	2.012	13.500	13.500	105.943	-155.452	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	1.717	0.527	13.500	13.500	129.684	-151.118	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.964	-0.450	14.580	2.552	145.937	-146.823	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	2.469	1.505	14.580	14.580	113.432	-155.413	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.378	0.148	0.016	0.016	0.394	0.164	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.203	0.534	0.016	0.016	0.219	0.550	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.183	0.522	0.016	0.016	0.199	0.537	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.275	0.493	0.016	0.016	0.291	0.508	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.272	0.352	0.016	0.016	0.288	0.367	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.165	0.394	0.016	0.016	0.180	0.410	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.118	0.192	0.001	0.001	0.119	0.192	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.130	0.343	0.010	0.010	0.140	0.353	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.155	0.335	0.010	0.010	0.166	0.345	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.233	0.316	0.010	0.010	0.243	0.326	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.253	0.256	0.010	0.010	0.263	0.266	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.153	0.287	0.010	0.010	0.163	0.297	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{83.051}{135.100}\right)^2 + \left(\frac{15.647}{125.000}\right)^2 = 0.378 + 0.016 = 0.394 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-157.177}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{15.647}{125.000}\right)^2 = 0.534 + 0.016 = 0.550 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 83.051)} = 1.61 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

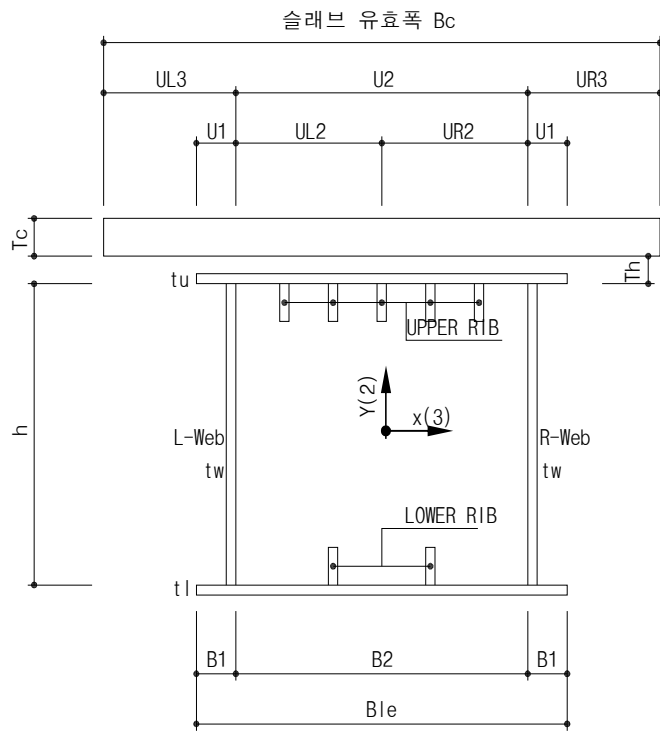
(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	107.966	-107.465	355.000	0.K !!
1+2+3	7.097	4.088	16.200	0.K !!	133.071	-242.285	355.000	0.K !!
1+2+3+7	7.850	5.065	16.200	0.K !!	149.324	-246.580	355.000	0.K !!
1+2+3+5	6.245	3.835	16.200	0.K !!	142.053	-240.370	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	4.882	2.350	16.200	0.K !!	165.794	-236.036	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	4.129	1.373	16.200	0.K !!	182.047	-231.741	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	5.634	3.328	16.200	0.K !!	149.542	-240.331	355.000	0.K !!
1+2+4	2.063	1.189	16.200	0.K !!	115.265	-146.661	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	7.107	4.094	16.200	0.K !!	133.106	-242.475	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	6.355	3.117	16.200	0.K !!	149.359	-238.180	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	6.255	3.841	16.200	0.K !!	142.089	-240.560	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	4.891	2.356	16.200	0.K !!	165.830	-236.226	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	4.139	1.379	16.200	0.K !!	182.082	-231.931	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	5.644	3.333	16.200	0.K !!	149.577	-240.521	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 22] : 절점 72 로 부터 이격거리 1.852 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,670.0 mm

UL3 = 1,100.0 mm

UR3 = 1,170.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,800.0 mm

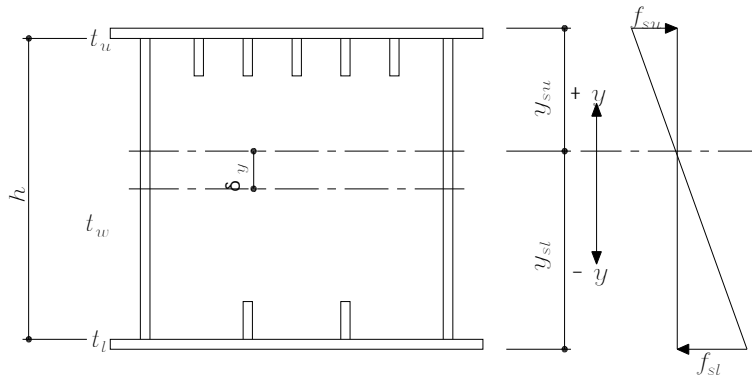
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중
합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	905.0	2.389E+07	2.162E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	825.0	7.425E+06	6.126E+09	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
R - WEB	1 - 1,800.0 × 12.0	21,600.0	-	-	-	5.832E+09
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-825.0	-2.970E+06	2.450E+09	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-906.0	-2.870E+07	2.600E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		113,880.0	-	-3.551E+05	5.620E+10	1.169E+10
RC. SLAB	1 - 4,670.0 × 240.0	1,120,800.0	1,070.0	1.199E+09	1.283E+12	5.380E+09
SLAB 단면 합계		1,120,800.0	-	1.199E+09	1.283E+12	5.380E+09
※ $A_s = 113,880.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,120,800.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -355,080.0 / 113,880.0 = -3.118 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,800.0 / 2 + 10.0 - -3.118 = 913.118 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,800.0 / 2 + 12.0 + -3.118 \} = -908.882 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,688,225,160.0 + 56,202,219,480.0 - 113,880.0 \times -3.118^2 = 6.789\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 4,275.078 \times 913.1 / 67,889,337,493.8 = 57.500 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 4,275.078 \times -908.9 / 67,889,337,493.8 = -57.233 \text{ MPa}$$

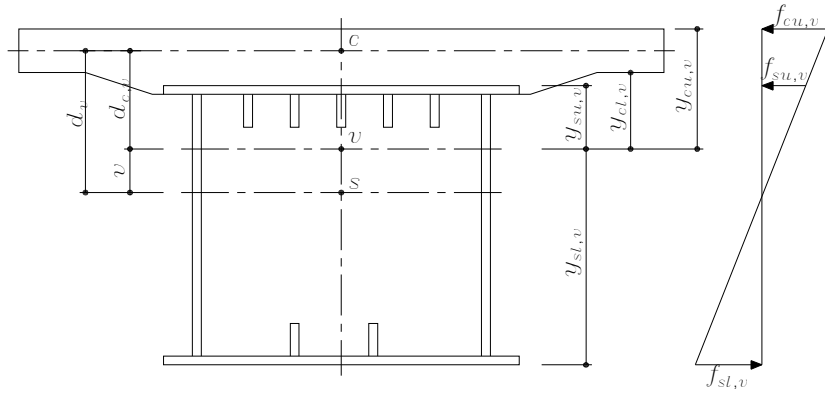
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.368\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 423.360 / 43,200.0 + 166.185 / (2 \times 4,368,132.0 \times 12.0) = 11.385 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,120,800.0 / 7.0 = 160,114.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,379,840,000.0 / 7.0 = 7.685\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 113,880.0 + 160,114.3 = 273,994.3 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 913.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,073.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 160,114.3 \times 1,073.1 / 273,994.3 = 627.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 1,073.1 - 627.1 = 446.0 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 627.1^2 + 768,548,571.4 + 160,114.3 \times 446.0^2 = 1.453\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 913.1 - 627.1 = 286.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -908.9 - 627.1 = -1,536.0 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 446.0 + 240.0 / 2 = 566.0 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 566.0 - 240.0 = 326.0 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 2,017.220 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 3.971 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 2,017.220 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -21.325 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,017.220 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.123 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 2,017.220 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.647 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.409\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 185.030 / 43,200.0 + 113.743 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 5.358 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 3,022.395 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 5.950 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 3,022.395 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -31.951 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 3,022.395 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.682 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 3,022.395 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.969 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 436.238 / 43,200.0 + 693.402 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 16.650 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_v = 61.473 \times 286.0 / 145,293,565,088.8 = 0.121 \text{ MPa}$$

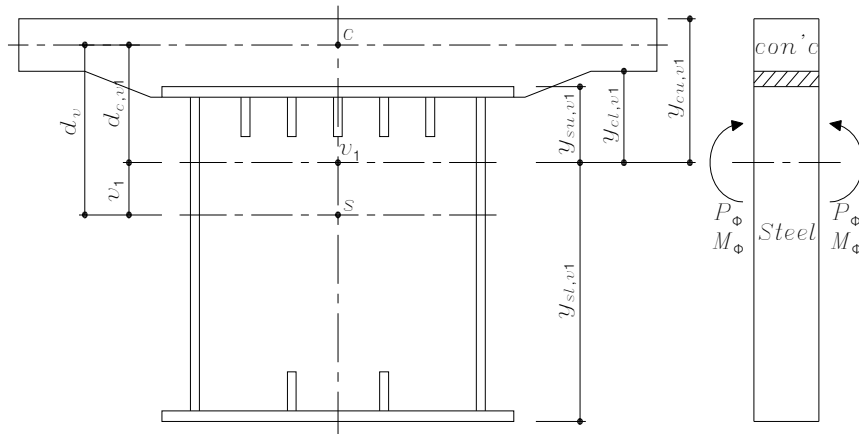
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_v = 61.473 \times -1,536.0 / 145,293,565,088.8 = -0.650 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_w \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 61.473 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.034 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_w \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 61.473 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.020 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 8.343 / 43,200.0 + 204.797 / (2 \times 4,409,480.6 \times 12.0) = 2.128 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.772 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 7.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 14.0 = 1.939 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,120,800.0 / 14.0) \times 1,073.1 / 193,937.1 = 443.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 1,073.1 - 443.0 = 630.1 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 443.0^2) + (5,379,840,000.0 / 14.0 + 1,120,800.0 / 14.0 \times 630.1^2) = 1.224 \times 10^{11} \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 913.1 - 443.0 = 470.1 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -908.9 - 443.0 = -1,351.9 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 630.1 + 240.0 / 2 = 750.1 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 750.1 - 240.0 = 510.1 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ = 2,017.2 \times 446.0 \times 1,120,800.0 / (7.0 \times 145,293,565,088.8) = 9.915 \times 10^5 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 991,494.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 9.915 \times 10^5 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 991,494.9 \times 630.1 = 6.248 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 27,804.0 / (1 + 2.0 / 2) = 13,902.000 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하연 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 2,017.220 \times 566.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 1.123 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 2,017.220 \times 326.0 / (145,293,565,088.8 \times 7.0) = 0.647 \text{ MPa}$$

■ 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

$$f_{cu,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (991,494.9/193,937.1 + 0.772 \times 624,776,124.0 \times 750.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 1.123 \times 2.0/27,804.0 = -0.546 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v1} = 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c$$

$$= (1/14.0) \times (991,494.9/193,937.1 + 0.772 \times 624,776,124.0 \times 510.1/122,409,033,764.6)$$

$$- 13,902.0 \times 0.647 \times 2.0/27,804.0 = -0.138 \text{ MPa}$$

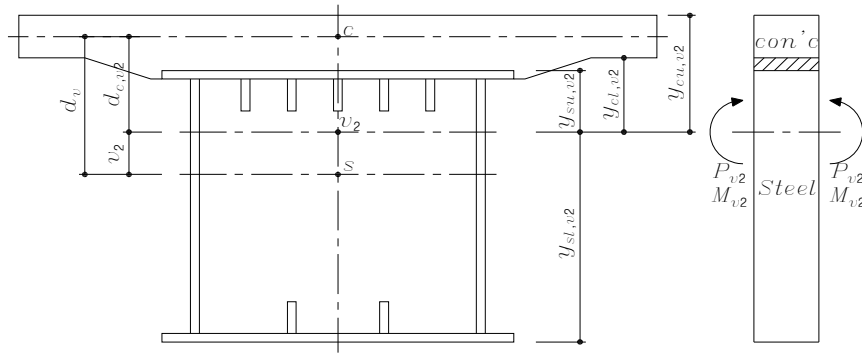
■ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1}$$

$$= 991,494.9/193,937.1 + 0.772 \times 624,776,124.0 \times 470.1/122,409,033,764.6 = 6.965 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1}$$

$$= 991,494.9/193,937.1 + 0.772 \times 624,776,124.0 \times -1,351.9/122,409,033,764.6 = -0.214 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 Φ_2 는 $\Phi_2 = 2 \cdot \Phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \Phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 113,880.0 + 1,120,800.0 / 21.0 = 1.673E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,120,800.0/21.0) \times 1,073.1 / 167,251.4 = 342.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,073.1 - 342.4 = 730.7 \text{ mm}$$

$$I_{v2} = (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_{c1}/n_2 + A_{c1}/n_2 \cdot d_{c,v2}^2) = (67,889,337,493.8 + 113,880.0 \times 342.4^2) + (5,379,840,000.0/21.0 + 1,120,800.0/21.0 \times 730.7^2) = 1.100E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 913.1 - 342.4 = 570.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -908.9 - 342.4 = -1,251.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 730.7 + 240.0 / 2 = 850.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 850.7 - 240.0 = 610.7 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,120,800.0 / 21.0 = 2.954E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,954,108.6 \times 850.7 = 2.158E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 21.0 = 9,761.905 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

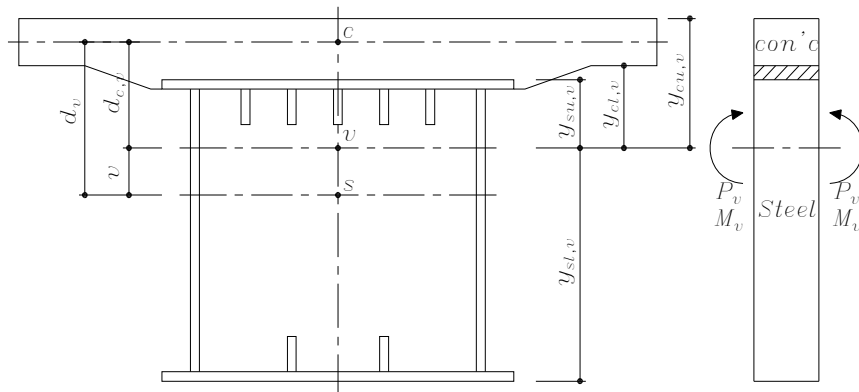
$$f_{cu,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.772 \times 2,158,497,562.4 \times 850.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.181 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v2} = 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s = (1/21.0) \times (2,954,108.6/167,251.4 + 0.772 \times 2,158,497,562.4 \times 610.7/109,994,167,651.3) - 9,761.9 \times 0.000270 = -1.354 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.772 \times 2,158,497,562.4 \times 570.7/109,994,167,651.3 = 26.307 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} = 2,954,108.6/167,251.4 + 0.772 \times 2,158,497,562.4 \times -1,251.3/109,994,167,651.3 = -1.292 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,120,800.0 / 7.0 = 3.939\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,938,811.4 \times 446.0 = 1.757\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.772 \times 1,756,785,060.6 \times 566.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.528 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/7.0) \times (3,938,811.4/273,994.3 + 0.772 \times 1,756,785,060.6 \times 326.0/145,293,565,088.8) \\ &\quad - 27,804.0 \times 0.000120 = -0.848 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.772 \times 1,756,785,060.6 \times 286.0/145,293,565,088.8 = 17.045 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 3,938,811.4/273,994.3 + 0.772 \times 1,756,785,060.6 \times -1,536.0/145,293,565,088.8 = 0.040 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,044.628 / 43,200.0 + 166.185 / 104,835,168.0 + 807.145 / 105,827,533.7 = 33.393 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 33.4 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 616.733 / 43,200.0 + 166.185 / 104,835,168.0 + 318.540 / 105,827,533.7 = 18.871 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 18.9 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$\begin{aligned} u &= (V_s + V_{sc} + V_v / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 1,048.799 / 43,200.0 + 166.185 / 104,835,168.0 + 909.544 / 105,827,533.7 = 34.458 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\ast u = 34.5 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi/n)^2 + 0.13(\phi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm} > t_u = 10 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} < b / 23.0 \cdot i \cdot n = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7 \{ b / (t_u \cdot i \cdot n) - 23.0 \} = 135.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 5.0 \text{ mm} \leq t_u = 10 \text{ mm} \geq b / 46.0 \cdot i \cdot n = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 137.5 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, } \pi \text{형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1)

$$f_{ca} = 0.40 f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

($f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$ 사용)

$$f_{ta} = 0.07 f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	57.500	-57.233	135.100	215.000
1+2+3	2.805	1.615	10.800	10.800	67.421	-110.510	215.000	215.000
1+2+3+5	2.258	1.478	10.800	10.800	74.386	-110.724	247.250	215.000
1+2+3+5+6	1.077	0.123	10.800	10.800	100.693	-112.016	247.250	215.000
1+2+3+5+6+7	0.549	-0.725	12.420	2.174	117.738	-111.976	279.500	247.250
1+2+3+5+6-7	1.605	0.972	12.420	12.420	83.648	-112.055	279.500	247.250
1+2+4	1.157	0.666	12.960	12.960	61.592	-79.209	258.000	258.000
1+2+3+0.5×4	2.822	1.625	13.500	13.500	67.481	-110.835	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5	2.275	1.487	13.500	13.500	74.446	-111.049	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6	1.094	0.133	13.500	13.500	100.753	-112.340	268.750	268.750
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.566	-0.715	14.580	2.552	117.798	-112.301	290.250	290.250
1+2+3+0.5×4+5+6-7	1.623	0.981	14.580	14.580	83.708	-112.380	290.250	290.250

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.181	0.071	0.071	0.071	0.253	0.142	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.098	0.264	0.071	0.071	0.170	0.336	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.091	0.265	0.071	0.071	0.162	0.337	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.166	0.271	0.071	0.071	0.237	0.343	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.177	0.205	0.071	0.071	0.249	0.276	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.090	0.205	0.071	0.071	0.161	0.277	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.057	0.094	0.016	0.016	0.073	0.110	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.063	0.170	0.049	0.049	0.112	0.219	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.077	0.171	0.049	0.049	0.125	0.219	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.141	0.175	0.049	0.049	0.189	0.223	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.165	0.150	0.049	0.049	0.213	0.198	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.083	0.150	0.049	0.049	0.132	0.199	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{57.500}{135.100}\right)^2 + \left(\frac{33.393}{125.000}\right)^2 = 0.181 + 0.071 = 0.253 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{-112.016}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{33.393}{125.000}\right)^2 = 0.271 + 0.071 = 0.343 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 압축(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 119.0 / 16.0 = 7.4 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b/(46 \cdot i \cdot n) = 2,400.0 / (46 \times 1.0 \times 6) = 8.7 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = 10.0 \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 인장(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{min} = b/(206 \times 1.200) = 1,800.0 / (206 \times 1.200) = 7.3 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 57.500)} = 1.93 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

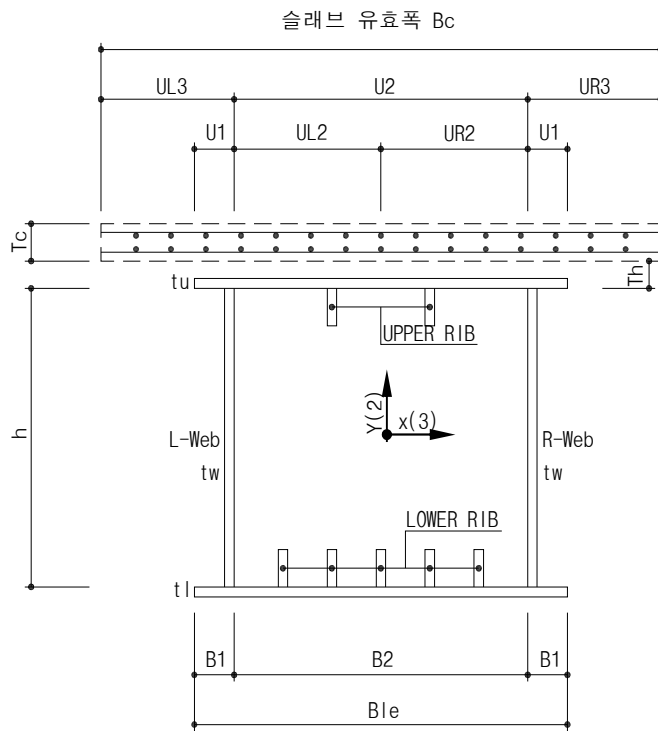
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Concrete				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	74.750	-74.403	355.000	0.K !!
1+2+3	5.076	2.924	16.200	0.K !!	92.705	-170.822	355.000	0.K !!
1+2+3+7	5.604	3.772	16.200	0.K !!	109.750	-170.862	355.000	0.K !!
1+2+3+5	4.529	2.786	16.200	0.K !!	99.669	-171.035	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	3.348	1.432	16.200	0.K !!	125.976	-172.327	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	2.820	0.583	16.200	0.K !!	143.021	-172.288	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	3.877	2.280	16.200	0.K !!	108.931	-172.367	355.000	0.K !!
1+2+4	1.494	0.860	16.200	0.K !!	80.034	-102.776	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	5.093	2.933	16.200	0.K !!	92.765	-171.147	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	4.565	2.085	16.200	0.K !!	109.810	-171.107	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	4.547	2.796	16.200	0.K !!	99.730	-171.360	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	3.366	1.441	16.200	0.K !!	126.037	-172.652	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	2.837	0.593	16.200	0.K !!	143.082	-172.612	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	3.894	2.290	16.200	0.K !!	108.992	-172.692	355.000	0.K !!

4.7.5 부모멘트(Splice)

[G2 : SPLICE - 5] : 절점 46 로 부터 이격거리 0.617 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

$B_c = 4,402.0$ mm

$U_1 = 120.0$ mm

$UL_2 = 1,200.0$ mm

$UR_2 = 1,200.0$ mm

상부 플랜지 유효폭

$B_{ue} = 2,476.3$ mm

하부 플랜지 유효폭

$B_{le} = 2,476.3$ mm

$B_1 = 120.0$ mm

$B_2 = 2,400.0$ mm

$T_c = 240.0$ mm

$T_h = 50.0$ mm

$h = 2,025.0$ mm

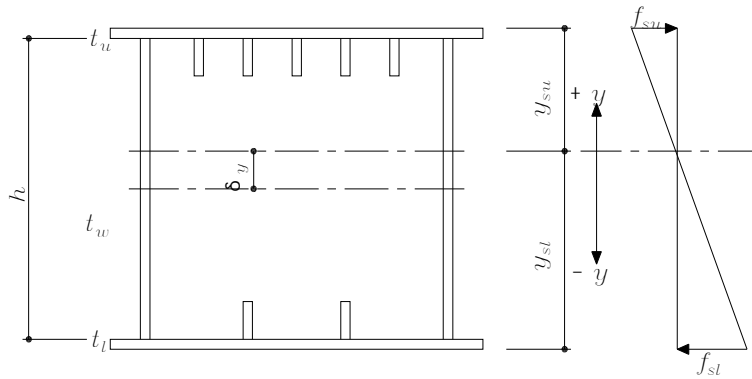
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

구	분	단 위	입력 Data
E_s	: 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c	: 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ϵ_s	: 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α	: 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2	: 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n	: 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt	: 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s	: 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-5,411.745
M_{sc}	: 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-2,705.518
M_w	: 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	-73.392
M_v	: (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-4,026.499
V_s	: 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	1,062.931
V_{sc}	: 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	557.375
V_w	: 풍하중에 의한 전단력	kN	59.055
V_v	: (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	743.668
M_{st}	: 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	78.628
M_{sct}	: 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-27.991
M_{wt}	: 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	203.268
M_{vt}	: (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	695.892
t_{cu}, t_{cl}	: 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

X(3)축 방향 단면 제원

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -16,073,937.8 / 132,636.4 = -121.188 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,025.0 / 2 + 12.0 - -121.188 = 1,145.688 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,025.0 / 2 + 16.0 + -121.188 \} = -907.312 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 16,636,295,580.9 + 85,007,072,680.3 - 132,636.4 \times -121.188^2 = 9.970\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -5,411.745 \times 1,145.7 / 99,695,400,159.0 = -62.191 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -5,411.745 \times -907.3 / 99,695,400,159.0 = 49.251 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.751\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 1,062.931 / 48,600.0 + 78.628 / (2 \times 4,751,175.9 \times 12.0) = 22.561 \text{ MPa}$$

$$= 557.375 / 48,600.0 + 27.991 / (2 \times 4,791,121.3 \times 12.0) = 11.712 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -4,026.499 \times 939.0 / 135,164,672,093.5 = -27.972 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -4,026.499 \times -1,114.0 / 135,164,672,093.5 = 33.186 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -4,026.499 \times 1,157.0 / 135,164,672,093.5 = -34.466 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -4,026.499 \times 1,017.0 / 135,164,672,093.5 = -30.295 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 743.668 / 48,600.0 + 695.892 / (2 \times 4,791,121.3 \times 12.0) = 21.354 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -73.392 \times 939.0 / 135,164,672,093.5 = -0.510 \text{ MPa}$$

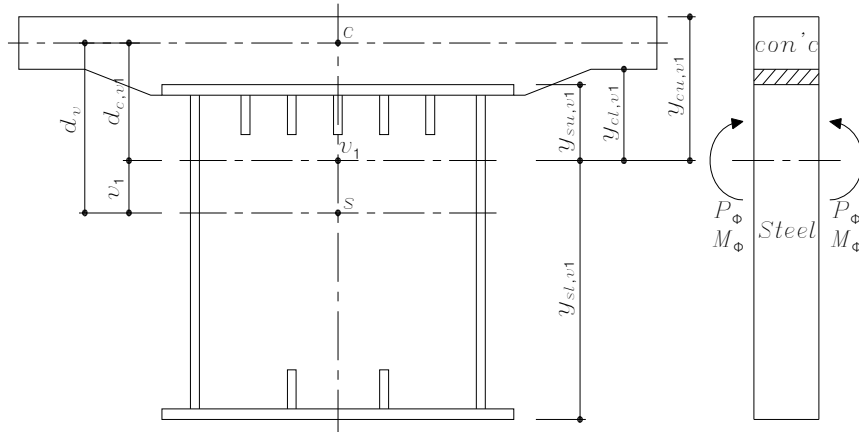
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -73.392 \times -1,114.0 / 135,164,672,093.5 = 0.605 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -73.392 \times 1,157.0 / 135,164,672,093.5 = -0.090 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -73.392 \times 1,017.0 / 135,164,672,093.5 = -0.079 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 59.055 / 48,600.0 + 203.268 / (2 \times 4,791,121.3 \times 12.0) = 2.983 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,056,472.8 / 7.0 = 150,924.7 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,071,069,440.0 / 7.0 = 7.244\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 132,636.4 + 150,924.7 = 283,561.1 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,145.7 - 12.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,303.7 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 150,924.7 \times 1,303.7 / 283,561.1 = 693.9 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,303.7 - 693.9 = 609.8 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.221 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 132,636.4 + 1,056,472.8 / 14.0 = 2.081\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,056,472.8/14.0) \times 1,303.7 / 208,098.7 = 472.8 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,303.7 - 472.8 = 830.9 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (99,695,400,159.0 + 132,636.4 \times 693.9^2) + (5,071,069,440.0/7.0 + 1,056,472.8/7.0 \times 609.8^2) = 1.920\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -2,705.5 \times 609.8 \times 1,056,472.8 / (7.0 \times 191,980,289,879.3) = -1.297\text{E}+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1,297,011.4 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.297\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,297,011.4 \times 830.9 = -1.078\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -1,297,011.4/157,859.7 + -0.221 \times -1,077,731,876.2 \times 1,157.0/135,164,672,093.5 = -6.174 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,297,011.4/157,859.7 + -0.221 \times -1,077,731,876.2 \times 1,017.0/135,164,672,093.5 = -6.421 \text{ MPa}$$

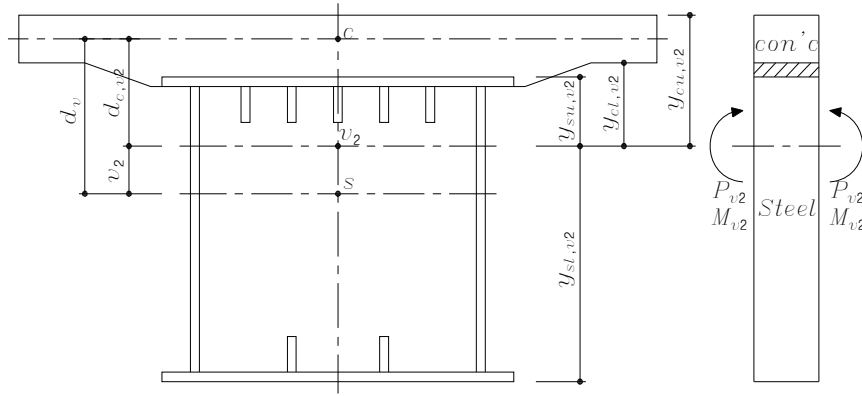
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -1,297,011.4/157,859.7 + -0.221 \times -1,077,731,876.2 \times 939.0/135,164,672,093.5 = -6.559 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,297,011.4/157,859.7 + -0.221 \times -1,077,731,876.2 \times -1,114.0/135,164,672,093.5 = -10.182 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 132,636.4 + 1,056,472.8 / 21.0 = 1.829E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,056,472.8/21.0) \times 1,303.7 / 182,944.6 = 358.5 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,303.7 - 358.5 = 945.2 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,056,472.8 / 21.0 = 2.785E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,784,560.5 \times 945.2 = 2.632E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

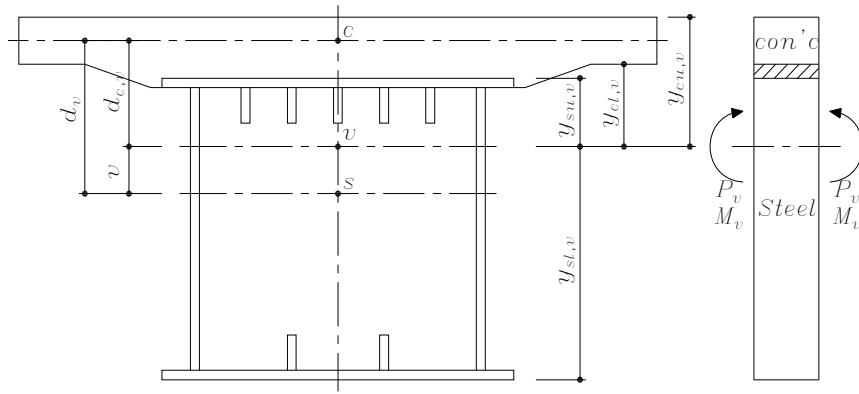
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,784,560.5/157,859.7 + -0.221 \times 2,631,924,192.6 \times 1,157.0/135,164,672,093.5 = 12.653 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,784,560.5/157,859.7 + -0.221 \times 2,631,924,192.6 \times 1,017.0/135,164,672,093.5 = 13.256 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,784,560.5/157,859.7 + -0.221 \times 2,631,924,192.6 \times 939.0/135,164,672,093.5 = 13.592 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,784,560.5/157,859.7 + -0.221 \times 2,631,924,192.6 \times -1,114.0/135,164,672,093.5 = 22.441 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,056,472.8 / 7.0 = 3.713\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,712,747.3 \times 609.8 = 2.264\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,712,747.3/157,859.7 + -0.221 \times 2,264,045,470.7 \times 1,157.0/135,164,672,093.5 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -5.370 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,712,747.3/157,859.7 + -0.221 \times 2,264,045,470.7 \times 1,017.0/135,164,672,093.5 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -4.851 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,712,747.3/157,859.7 + -0.221 \times 2,264,045,470.7 \times 939.0/135,164,672,093.5 = 20.038 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,712,747.3/157,859.7 + -0.221 \times 2,264,045,470.7 \times -1,114.0/135,164,672,093.5 = 27.650 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,363.974 / 48,600.0 + 78.628 / 114,028,220.4 + 723.883 / 114,986,910.7 = 55.626 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 55.6 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,679.361 / 48,600.0 + 78.628 / 114,028,220.4 + 231.259 / 114,986,910.7 = 37.255 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 37.3 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,393.502 / 48,600.0 + 78.628 / 114,028,220.4 + 825.517 / 114,986,910.7 = 57.118 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 57.1 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, \pi 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-62.191	49.251	215.000	205.600
1+2+3	-57.625	-50.652	160.000	160.000	-108.958	104.736	215.000	205.600
1+2+3+5	-63.799	-57.073	160.000	160.000	-115.517	94.554	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-51.146	-43.817	160.000	160.000	-101.925	116.995	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-56.516	-48.668	184.000	184.000	-81.887	144.645	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-45.776	-38.966	184.000	184.000	-121.962	89.345	247.250	236.440
1+2+4	-23.248	-20.435	192.000	192.000	-81.496	72.155	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-57.669	-50.691	200.000	200.000	-109.213	105.039	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-63.844	-57.113	200.000	200.000	-115.772	94.857	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-51.191	-43.856	200.000	200.000	-102.179	117.297	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-56.561	-48.707	216.000	216.000	-82.141	144.947	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-45.821	-39.005	216.000	216.000	-122.217	89.648	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.084	0.057	0.198	0.198	0.282	0.255	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.257	0.260	0.198	0.198	0.455	0.458	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.289	0.212	0.198	0.198	0.487	0.410	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.225	0.324	0.198	0.198	0.423	0.522	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.110	0.374	0.198	0.198	0.308	0.572	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.243	0.143	0.198	0.198	0.441	0.341	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.100	0.086	0.062	0.062	0.161	0.147	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.165	0.167	0.134	0.134	0.299	0.301	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.186	0.136	0.134	0.134	0.319	0.270	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.145	0.208	0.134	0.134	0.278	0.342	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.080	0.273	0.134	0.134	0.214	0.406	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.177	0.104	0.134	0.134	0.311	0.238	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-115.517}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{55.626}{125.000} \right) = 0.289 + 0.198 = 0.487 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{144.645}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{55.626}{125.000} \right) = 0.374 + 0.198 = 0.572 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,025.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.2} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 49.251)} = 2.09 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

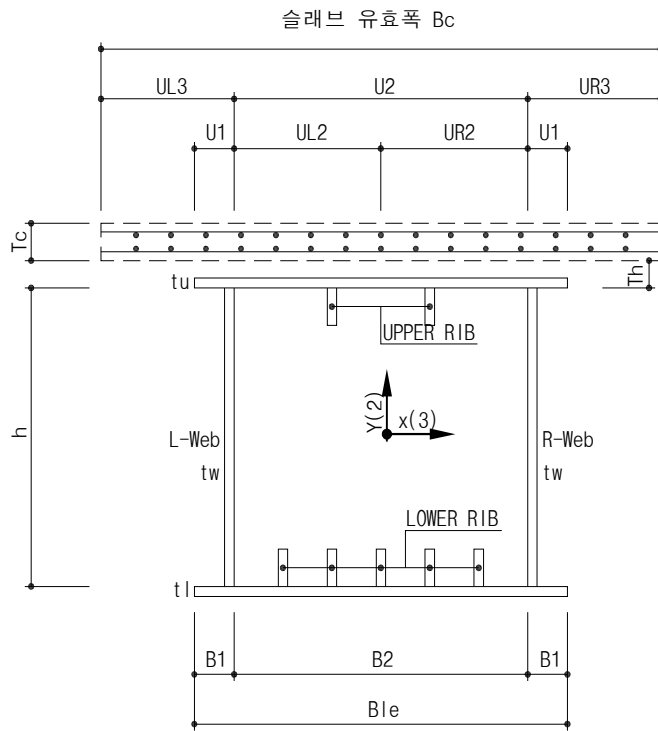
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-80.848	64.027	355.000	0.K !!
1+2+3	-104.208	-91.598	240.000	0.K !!	-165.421	164.366	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-109.578	-96.449	240.000	0.K !!	-185.459	192.015	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-110.382	-98.020	240.000	0.K !!	-171.980	154.183	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-97.729	-84.763	240.000	0.K !!	-158.388	176.624	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-103.100	-89.615	240.000	0.K !!	-138.350	204.274	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-92.359	-79.912	240.000	0.K !!	-178.426	148.975	355.000	0.K !!
1+2+4	-30.196	-26.542	240.000	0.K !!	-105.792	93.620	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-104.253	-91.638	240.000	0.K !!	-165.676	164.668	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-109.623	-96.489	240.000	0.K !!	-145.638	192.318	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-110.427	-98.059	240.000	0.K !!	-172.235	154.486	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-97.774	-84.803	240.000	0.K !!	-158.643	176.927	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-103.144	-89.654	240.000	0.K !!	-138.605	204.576	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-92.404	-79.952	240.000	0.K !!	-178.681	149.277	355.000	0.K !!

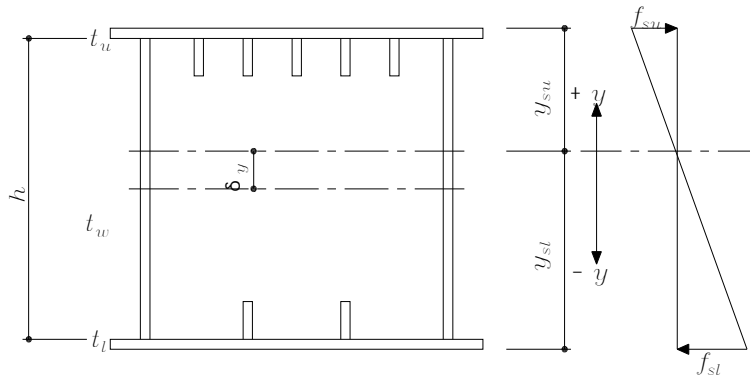
[G2 : SPLICE - 6] : 절점 47 로 부터 이격거리 4.320 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종:	SM520B
Bc =	4,398.2 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,474.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,474.0 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	2,025.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -16,064,535.1 / 132,572.3 = -121.176 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,025.0 / 2 + 12.0 - -121.176 = 1,145.676 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,025.0 / 2 + 16.0 + -121.176 \} = -907.324 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 16,636,294,469.5 + 84,940,408,877.3 - 132,572.3 \times -121.176^2 = 9.963\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -5,979.826 \times 1,145.7 / 99,630,072,522.5 = -68.764 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -5,979.826 \times -907.3 / 99,630,072,522.5 = 54.458 \text{ MPa}$$

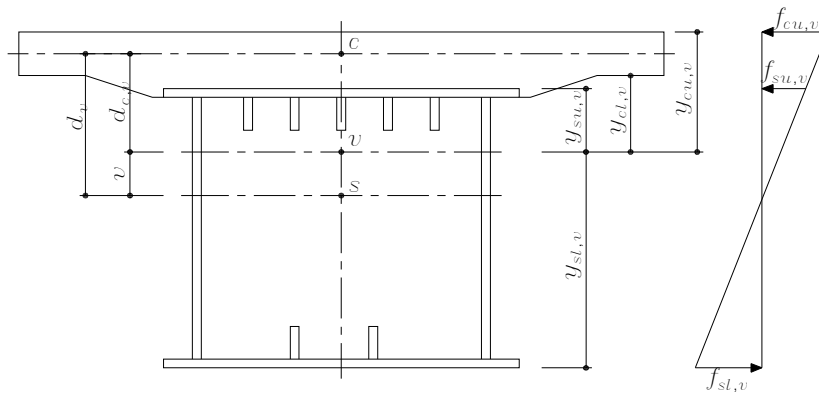
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.749\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 931.271 / 48,600.0 + 16.669 / (2 \times 4,748,841.2 \times 12.0) = 19.308 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 132,572.3 + 25,201.9 = 157,774.1 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,145.7 - 12.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,600.9 / 25,201.9 = 1,293.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,201.9 \times 1,293.7 / 157,774.1 = 206.6 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,293.7 - 206.6 = 1,087.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 99,630,072,522.5 + 132,572.3 \times 206.6^2 + 0.0 + 25,201.9 \times 1,087.0^2 = 1.351 \text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,145.7 - 206.6 = 939.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -907.3 - 206.6 = -1,114.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,087.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,600.9 / 25,201.9 = 1,157.0 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,087.0 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,600.9 / 25,201.9 = 1,017.0 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -2,973.655 \times 939.0 / 135,070,609,227.7 = -20.673 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -2,973.655 \times -1,114.0 / 135,070,609,227.7 = 24.525 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -2,973.655 \times 1,157.0 / 135,070,609,227.7 = -25.473 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -2,973.655 \times 1,017.0 / 135,070,609,227.7 = -22.391 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 4.789 \text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 495.193 / 48,600.0 + 44.117 / (2 \times 4,788,767.0 \times 12.0) = 10.573 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -4,110.007 \times 939.0 / 135,070,609,227.7 = -28.573 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -4,110.007 \times -1,114.0 / 135,070,609,227.7 = 33.896 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -4,110.007 \times 1,157.0 / 135,070,609,227.7 = -35.207 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -4,110.007 \times 1,017.0 / 135,070,609,227.7 = -30.947 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 747.628 / 48,600.0 + 520.868 / (2 \times 4,788,767.0 \times 12.0) = 19.915 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -77.296 \times 939.0 / 135,070,609,227.7 = -0.537 \text{ MPa}$$

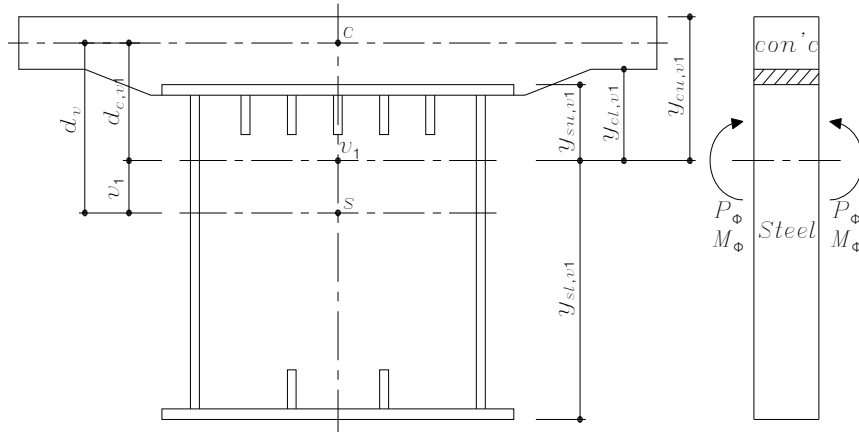
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -77.296 \times -1,114.0 / 135,070,609,227.7 = 0.637 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -77.296 \times 1,157.0 / 135,070,609,227.7 = -0.095 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -77.296 \times 1,017.0 / 135,070,609,227.7 = -0.083 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 58.012 / 48,600.0 + 123.280 / (2 \times 4,788,767.0 \times 12.0) = 2.266 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,055,575.2 / 7.0 = 150,796.5 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,066,760,960.0 / 7.0 = 7.238\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 132,572.3 + 150,796.5 = 283,368.7 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,145.7 - 12.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,303.7 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 150,796.5 \times 1,303.7 / 283,368.7 = 693.8 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,303.7 - 693.8 = 609.9 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.301 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 132,572.3 + 1,055,575.2 / 14.0 = 2.080\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,055,575.2/14.0) \times 1,303.7 / 207,970.5 = 472.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,303.7 - 472.6 = 831.0 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (99,630,072,522.5 + 132,572.3 \times 693.8^2) + (5,066,760,960.0/7.0 + 1,055,575.2/7.0 \times 609.9^2) = 1.918\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -2,973.7 \times 609.9 \times 1,055,575.2 / (7.0 \times 191,847,263,962.2) = -1.426\text{E}+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1,425,596.0 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.426\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,425,596.0 \times 831.0 = -1.185\text{E}+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v} / I_{rv}$$

$$= -1,425,596.0 / 157,774.1 + -0.301 \times -1,184,723,462.4 \times 1,157.0 / 135,070,609,227.7 = -5.982 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v} / I_{rv}$$

$$= -1,425,596.0 / 157,774.1 + -0.301 \times -1,184,723,462.4 \times 1,017.0 / 135,070,609,227.7 = -6.352 \text{ MPa}$$

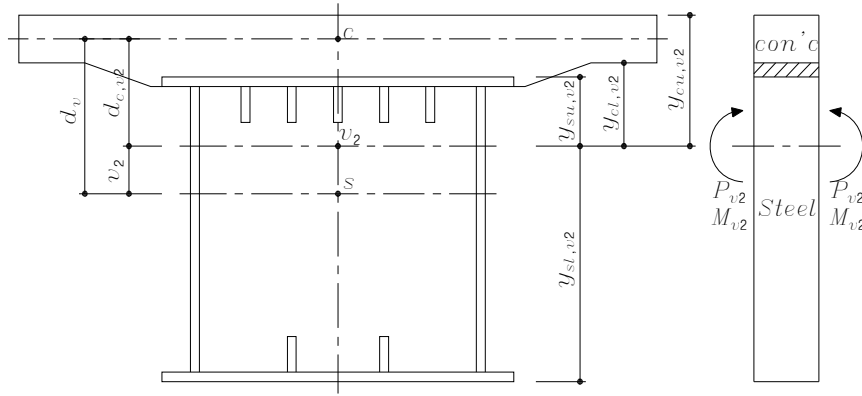
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v} / I_{rv}$$

$$= -1,425,596.0 / 157,774.1 + -0.301 \times -1,184,723,462.4 \times 939.0 / 135,070,609,227.7 = -6.558 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi} / A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v} / I_{rv}$$

$$= -1,425,596.0 / 157,774.1 + -0.301 \times -1,184,723,462.4 \times -1,114.0 / 135,070,609,227.7 = -11.975 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 132,572.3 + 1,055,575.2 / 21.0 = 1.828E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,055,575.2/21.0) \times 1,303.7 / 182,837.8 = 358.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,303.7 - 358.4 = 945.3 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,055,575.2 / 21.0 = 2.782E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,782,194.6 \times 945.3 = 2.630E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

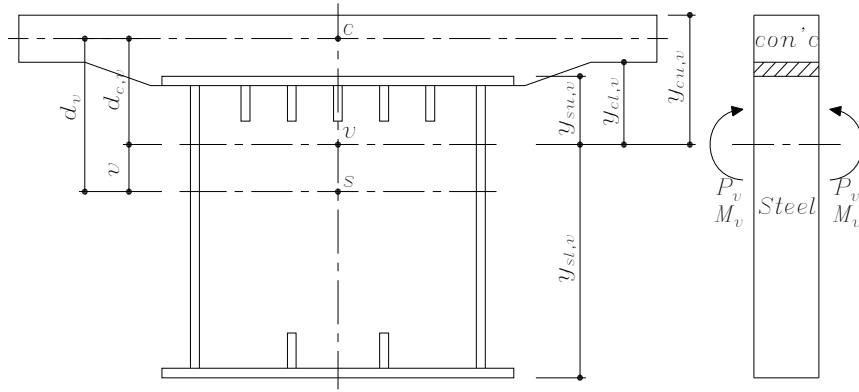
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,782,194.6/157,774.1 + -0.301 \times 2,629,928,186.0 \times 1,157.0/135,070,609,227.7 = 10.856 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,782,194.6/157,774.1 + -0.301 \times 2,629,928,186.0 \times 1,017.0/135,070,609,227.7 = 11.676 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,782,194.6/157,774.1 + -0.301 \times 2,629,928,186.0 \times 939.0/135,070,609,227.7 = 12.133 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,782,194.6/157,774.1 + -0.301 \times 2,629,928,186.0 \times -1,114.0/135,070,609,227.7 = 24.160 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,055,575.2 / 7.0 = 3.710\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,709,592.8 \times 609.9 = 2.263\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,709,592.8/157,774.1 + -0.301 \times 2,262,541,725.1 \times 1,157.0/135,070,609,227.7 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -6.919 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,709,592.8/157,774.1 + -0.301 \times 2,262,541,725.1 \times 1,017.0/135,070,609,227.7 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -6.214 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,709,592.8/157,774.1 + -0.301 \times 2,262,541,725.1 \times 939.0/135,070,609,227.7 = 18.779 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,709,592.8/157,774.1 + -0.301 \times 2,262,541,725.1 \times -1,114.0/135,070,609,227.7 = 29.126 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 2,174.092 / 48,600.0 + 16.669 / 113,972,188.7 + 564.985 / 114,930,407.9 = 49.797 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 49.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,484.476 / 48,600.0 + 16.669 / 113,972,188.7 + 167.397 / 114,930,407.9 = 32.148 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 32.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 2,203.098 / 48,600.0 + 16.669 / 113,972,188.7 + 626.625 / 114,930,407.9 = 50.930 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 50.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, \pi 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-68.764	54.458	215.000	205.600
1+2+3	-60.680	-53.337	160.000	160.000	-118.011	112.879	215.000	205.600
1+2+3+5	-66.662	-59.689	160.000	160.000	-124.568	100.903	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-55.806	-48.013	160.000	160.000	-112.435	125.063	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-62.725	-54.227	184.000	184.000	-93.656	154.190	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-48.887	-41.799	184.000	184.000	-131.215	95.937	247.250	236.440
1+2+4	-25.567	-22.474	192.000	192.000	-89.974	79.620	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-60.727	-53.379	200.000	200.000	-118.279	113.198	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-66.709	-59.731	200.000	200.000	-124.837	101.222	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-55.853	-48.055	200.000	200.000	-112.704	125.382	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-62.773	-54.268	216.000	216.000	-93.924	154.509	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-48.934	-41.841	216.000	216.000	-131.483	96.256	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.102	0.070	0.159	0.159	0.261	0.229	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.301	0.301	0.159	0.159	0.460	0.460	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.336	0.241	0.159	0.159	0.494	0.400	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.273	0.370	0.159	0.159	0.432	0.529	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.143	0.425	0.159	0.159	0.302	0.584	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.282	0.165	0.159	0.159	0.440	0.323	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.122	0.104	0.046	0.046	0.168	0.150	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.194	0.194	0.106	0.106	0.300	0.300	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.216	0.155	0.106	0.106	0.322	0.261	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.176	0.238	0.106	0.106	0.282	0.344	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.105	0.310	0.106	0.106	0.211	0.416	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.205	0.120	0.106	0.106	0.311	0.227	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-124.568}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{49.797}{125.000}\right) = 0.336 + 0.159 = 0.494 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{154.190}{236.440}\right)^2 + \left(\frac{49.797}{125.000}\right) = 0.425 + 0.159 = 0.584 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,025.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.2} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 54.458)} = 1.99 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(☞ 도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

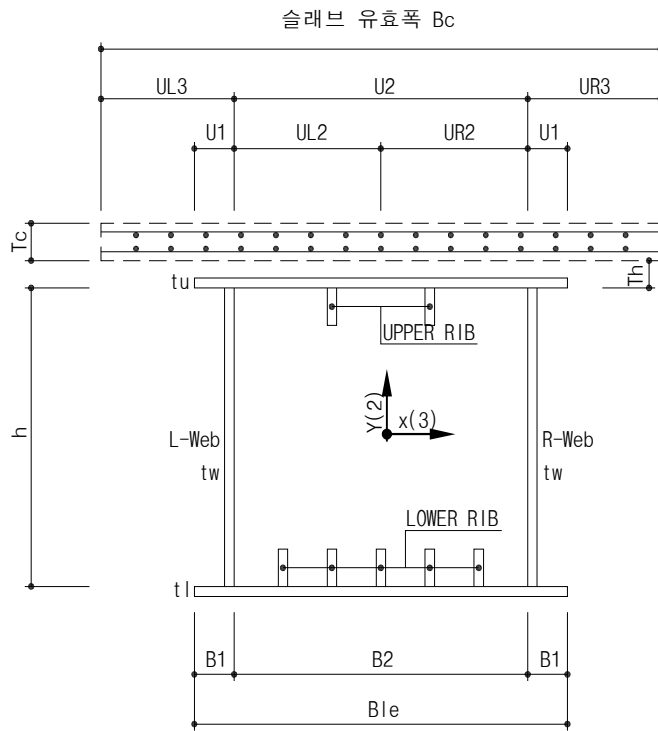
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-89.393	70.795	355.000	0.K !!
1+2+3	-108.809	-95.643	240.000	0.K !!	-177.701	175.555	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-115.729	-101.857	240.000	0.K !!	-196.480	204.681	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-114.791	-101.995	240.000	0.K !!	-184.259	163.579	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-103.936	-90.319	240.000	0.K !!	-172.126	187.739	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-110.855	-96.533	240.000	0.K !!	-153.346	216.866	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-97.016	-84.105	240.000	0.K !!	-190.905	158.613	355.000	0.K !!
1+2+4	-33.209	-29.191	240.000	0.K !!	-116.806	103.315	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-108.857	-95.685	240.000	0.K !!	-177.970	175.873	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-115.776	-101.899	240.000	0.K !!	-159.190	205.000	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-114.839	-102.037	240.000	0.K !!	-184.527	163.898	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-103.983	-90.361	240.000	0.K !!	-172.394	188.058	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-110.902	-96.574	240.000	0.K !!	-153.615	217.184	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-97.064	-84.147	240.000	0.K !!	-191.174	158.932	355.000	0.K !!

[G1 : SPLICE - 7] : 절점 12 로 부터 이격거리 1.874 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc =	4,500.0 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,640.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,640.0 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	1,809.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

구	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-555.867
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-498.751
M_w : 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	-35.137
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-2,486.690
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-551.795
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-247.260
V_w : 풍하중에 의한 전단력	kN	-6.656
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-516.133
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-44.907
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	83.900
M_{wt} : 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	67.482
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	429.235
t_{cu}, t_{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

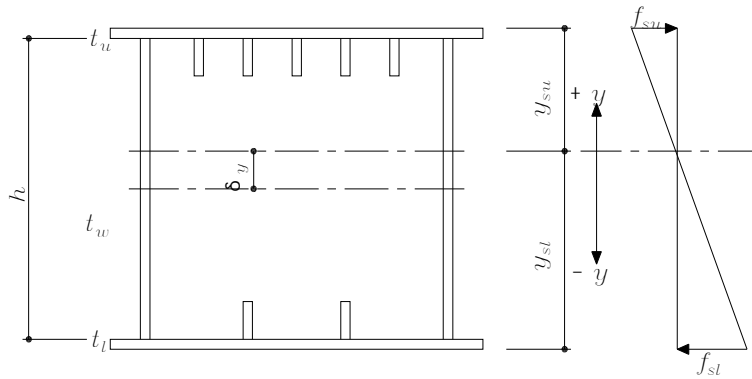
합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	909.5	2.401E+07	2.184E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	829.5	8.710E+06	7.225E+09	1.969E+07
L - WEB	1 - 1,809.0 × 12.0	21,708.0	-	-	-	5.920E+09
R - WEB	1 - 1,809.0 × 12.0	21,708.0	-	-	-	5.920E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-829.5	-8.710E+06	7.225E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-910.5	-2.884E+07	2.626E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		122,496.0	-	-4.834E+06	6.255E+10	1.188E+10
UPPER RE-Bar (A_{rU})		12,892.5	1,134.5	14,626,541.3	16,593,811,048.1	-
LOWER RE-Bar (A_{rL})		12,892.5	994.5	12,821,591.3	12,751,072,498.1	-
RE-Bar 합계		25,785.0		2.745E+07	2.934E+10	-
RC. SLAB	1 - 4,500.0 × 240.0	1,080,000.0	1,074.5	1.160E+09	1.247E+12	5.184E+09
※ $A_s = 122,496.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,080,000.0 \text{ mm}^2$ $A_r = 25,785.0 \text{ mm}^2$						

$$\ast \quad A_s = 122,496.0 \text{ mm}^2 \quad A_{c1} = 1,080,000.0 \text{ mm}^2 \quad A_r = 25,785.0 \text{ mm}^2$$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,833,840.0 / 122,496.0 = -39.461 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,809.0 / 2 + 10.0 - -39.461 = 953.961 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,809.0 / 2 + 12.0 + -39.461 \} = -877.039 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,879,811,418.0 + 62,550,342,570.0 - 122,496.0 \times -39.461^2 = 7.424\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -555.867 \times 954.0 / 74,239,404,827.7 = -7.143 \text{ MPa}$$

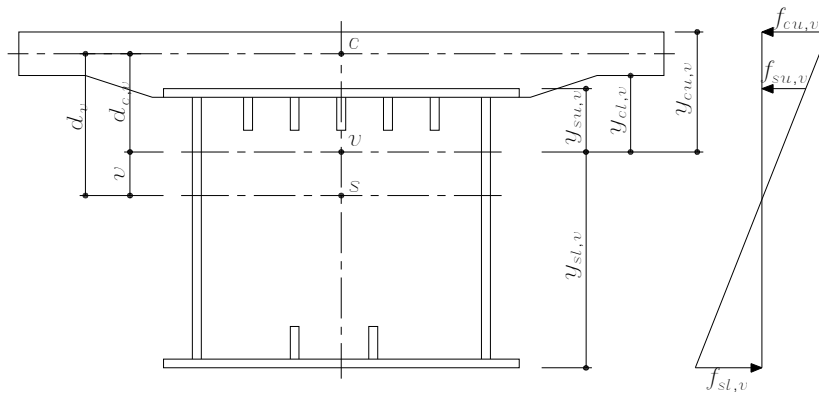
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -555.867 \times -877.0 / 74,239,404,827.7 = 6.567 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.390\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 551.795 / 43,416.0 + 44.907 / (2 \times 4,389,840.0 \times 12.0) = 13.136 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 122,496.0 + 25,785.0 = 148,281.0 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 1,104.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,785.0 \times 1,104.0 / 148,281.0 = 192.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,104.0 - 192.0 = 912.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 192.0^2 + 0.0 + 25,785.0 \times 912.0^2 = 1.002\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 954.0 - 192.0 = 762.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -877.0 - 192.0 = -1,069.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 912.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 982.0 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 912.0 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 842.0 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -498.751 \times 762.0 / 100,199,791,814.0 = -3.793 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -498.751 \times -1,069.0 / 100,199,791,814.0 = 5.321 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -498.751 \times 982.0 / 100,199,791,814.0 = -4.888 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -498.751 \times 842.0 / 100,199,791,814.0 = -4.191 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 4.431\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 247.260 / 43,416.0 + 83.900 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 6.484 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -2,486.690 \times 762.0 / 100,199,791,814.0 = -18.911 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -2,486.690 \times -1,069.0 / 100,199,791,814.0 = 26.530 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -2,486.690 \times 982.0 / 100,199,791,814.0 = -24.370 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -2,486.690 \times 842.0 / 100,199,791,814.0 = -20.896 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 516.133 / 43,416.0 + 429.235 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 15.924 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -35.137 \times 762.0 / 100,199,791,814.0 = -0.267 \text{ MPa}$$

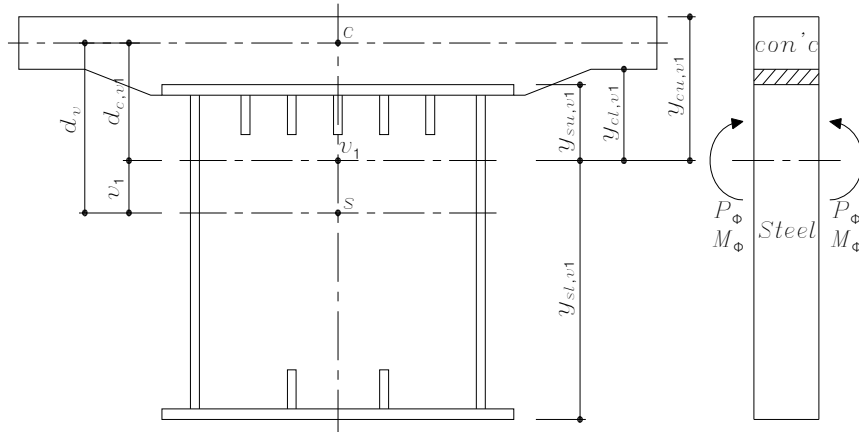
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -35.137 \times -1,069.0 / 100,199,791,814.0 = 0.375 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -35.137 \times 982.0 / 100,199,791,814.0 = -0.049 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -35.137 \times 842.0 / 100,199,791,814.0 = -0.042 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 6.656 / 43,416.0 + 67.482 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 0.788 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,080,000.0 / 7.0 = 154,285.7 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,184,000,000.0 / 7.0 = 7.406\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 122,496.0 + 154,285.7 = 276,781.7 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,114.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 154,285.7 \times 1,114.0 / 276,781.7 = 621.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,114.0 - 621.0 = 493.0 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.208 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 122,496.0 + 1,080,000.0 / 14.0 = 1.996\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,080,000.0/14.0) \times 1,114.0 / 199,638.9 = 430.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,114.0 - 430.4 = 683.5 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_{c1}/n_1 + A_{c1}/n_1 \cdot d_{c,v1}^2)$$

$$= (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 621.0^2) + (5,184,000,000.0/7.0 + 1,080,000.0/7.0 \times 493.0^2) = 1.406\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -498.8 \times 493.0 \times 1,080,000.0 / (7.0 \times 140,592,101,504.7) = -2.698\text{E}+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -269,837.9 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -2.698\text{E}+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -269,837.9 \times 683.5 = -1.844\text{E}+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -269,837.9/148,281.0 + -0.208 \times -184,437,759.5 \times 982.0/100,199,791,814.0 = -1.443 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -269,837.9/148,281.0 + -0.208 \times -184,437,759.5 \times 842.0/100,199,791,814.0 = -1.497 \text{ MPa}$$

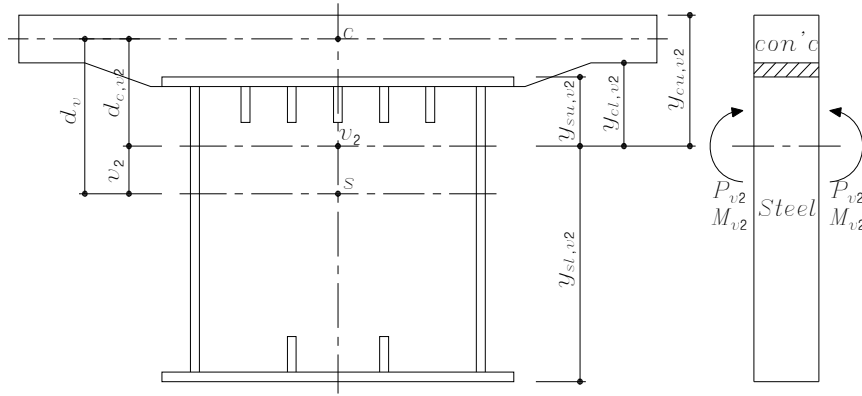
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -269,837.9/148,281.0 + -0.208 \times -184,437,759.5 \times 762.0/100,199,791,814.0 = -1.528 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -269,837.9/148,281.0 + -0.208 \times -184,437,759.5 \times -1,069.0/100,199,791,814.0 = -2.230 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 122,496.0 + 1,080,000.0 / 21.0 = 1.739E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,080,000.0/21.0) \times 1,114.0 / 173,924.6 = 329.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,114.0 - 329.4 = 784.6 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,080,000.0 / 21.0 = 2.847E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,846,571.4 \times 784.6 = 2.233E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

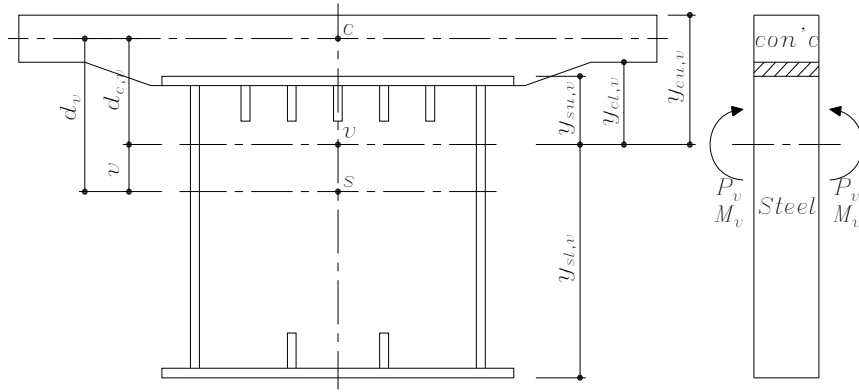
$$\begin{aligned} f_{ru,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times 982.0/100,199,791,814.0 \\ &= 14.638 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times 842.0/100,199,791,814.0 \\ &= 15.288 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times 762.0/100,199,791,814.0 \\ &= 15.660 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times -1,069.0/100,199,791,814.0 \\ &= 24.160 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,080,000.0 / 7.0 = 3.795\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,795,428.6 \times 493.0 = 1.871\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times 982.0/100,199,791,814.0 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -2.823 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times 842.0/100,199,791,814.0 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -2.279 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times 762.0/100,199,791,814.0 = 22.632 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times -1,069.0/100,199,791,814.0 = 29.754 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,315.189 / 43,416.0 + 44.907 / 105,356,160.0 + 513.135 / 106,348,525.7 = 35.544 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 35.5 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 805.712 / 43,416.0 + 44.907 / 105,356,160.0 + 151.382 / 106,348,525.7 = 20.408 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 20.4 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,318.517 / 43,416.0 + 44.907 / 105,356,160.0 + 546.876 / 106,348,525.7 = 35.938 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 35.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (12.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 166.4 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(12.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 198.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 12.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 166.4 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-7.143	6.567	215.000	166.433
1+2+3	-29.258	-25.087	160.000	160.000	-29.846	38.418	215.000	166.433
1+2+3+5	-30.702	-26.584	160.000	160.000	-31.374	36.188	215.000	166.433
1+2+3+5+6	-16.063	-11.296	160.000	160.000	-15.714	60.348	215.000	166.433
1+2+3+5+6+7	-18.886	-13.574	184.000	184.000	6.918	90.102	247.250	191.398
1+2+3+5+6-7	-13.240	-9.017	184.000	184.000	-38.346	30.594	247.250	191.398
1+2+4	-4.937	-4.233	192.000	192.000	-11.203	12.263	258.000	199.720
1+2+3+0.5×4	-29.283	-25.108	200.000	200.000	-29.980	38.605	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5	-30.726	-26.605	200.000	200.000	-31.507	36.376	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5+6	-16.088	-11.317	200.000	200.000	-15.848	60.535	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-18.911	-13.595	216.000	216.000	6.785	90.289	290.250	224.685
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-13.264	-9.038	216.000	216.000	-38.480	30.781	290.250	224.685

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.001	0.002	0.081	0.081	0.082	0.082	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.019	0.053	0.081	0.081	0.100	0.134	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.021	0.047	0.081	0.081	0.102	0.128	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.005	0.131	0.081	0.081	0.086	0.212	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.001	0.222	0.081	0.081	0.082	0.302	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.024	0.026	0.081	0.081	0.105	0.106	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.002	0.004	0.019	0.019	0.020	0.022	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.012	0.034	0.053	0.053	0.065	0.087	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.014	0.031	0.053	0.053	0.067	0.083	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.003	0.085	0.053	0.053	0.056	0.138	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.001	0.161	0.053	0.053	0.053	0.214	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.018	0.019	0.053	0.053	0.070	0.072	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-38.346}{247.250} \right)^2 + \left(\frac{35.544}{125.000} \right) = 0.024 + 0.081 = 0.105 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{90.102}{191.398} \right)^2 + \left(\frac{35.544}{125.000} \right) = 0.222 + 0.081 = 0.302 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{1,809.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{7.3} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 6.567)} = 5.72 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

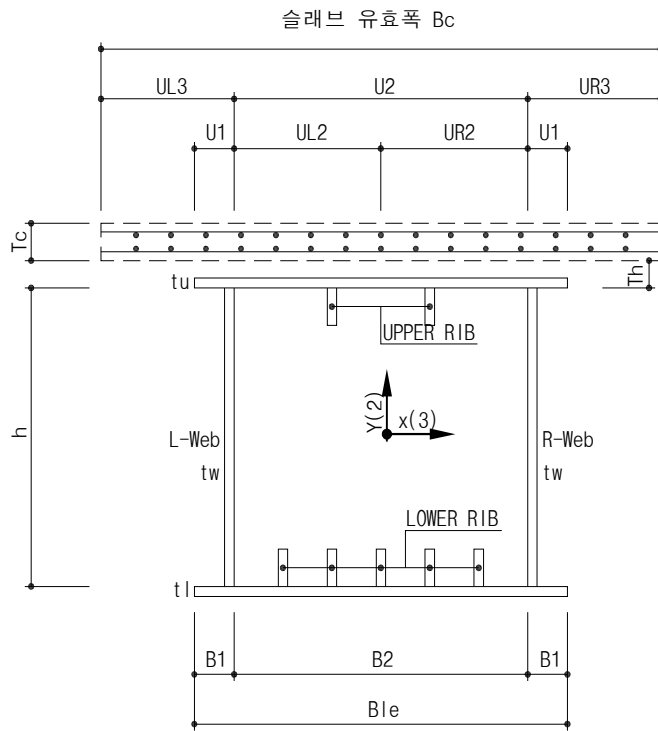
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-9.286	8.537	355.000	0.K !!
1+2+3	-58.751	-50.375	240.000	0.K !!	-54.874	72.494	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-61.574	-52.653	240.000	0.K !!	-77.506	102.248	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-60.194	-51.872	240.000	0.K !!	-56.402	70.264	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-45.555	-36.583	240.000	0.K !!	-40.742	94.424	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-48.379	-38.862	240.000	0.K !!	-18.109	124.178	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-42.732	-34.305	240.000	0.K !!	-63.374	64.670	355.000	0.K !!
1+2+4	-6.403	-5.491	240.000	0.K !!	-14.484	15.829	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-58.775	-50.396	240.000	0.K !!	-55.008	72.681	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-61.598	-52.674	240.000	0.K !!	-32.375	102.435	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-60.218	-51.893	240.000	0.K !!	-56.535	70.451	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-45.580	-36.604	240.000	0.K !!	-40.875	94.611	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-48.403	-38.883	240.000	0.K !!	-18.243	124.365	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-42.757	-34.326	240.000	0.K !!	-63.508	64.857	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 11] : 절점 55 로 부터 이격거리 0.617 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc =	4,400.9 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,475.6 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,475.6 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	2,025.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

구	분	단 위	입력 Data
E_s	: 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c	: 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ϵ_s	: 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α	: 강재 및 콘크리트의 선팽창계수	-	0.000012
ϕ_2	: 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n	: 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt	: 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s	: 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-3,077.346
M_{sc}	: 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-1,477.595
M_w	: 풍하중에 의한 모멘트	kN·m	-72.468
M_v	: (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-3,669.918
V_s	: 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	760.797
V_{sc}	: 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	404.297
V_w	: 풍하중에 의한 전단력	kN	55.338
V_v	: (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	714.259
M_{st}	: 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	22.173
M_{sct}	: 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-33.894
M_{wt}	: 풍하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	175.459
M_{vt}	: (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	633.639
t_{cu}, t_{cl}	: 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

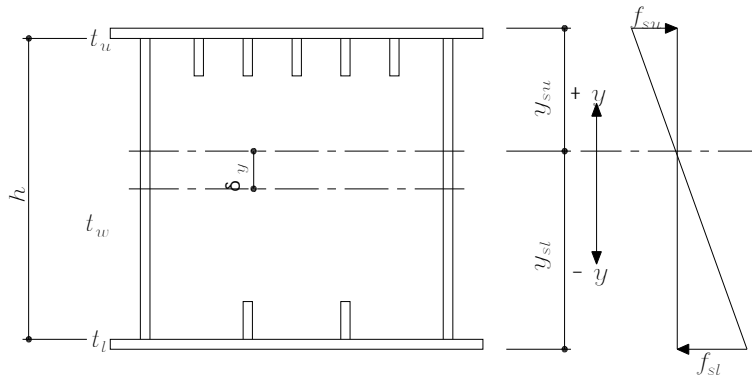
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,475.6 × 10.0	24,755.5	1,017.5	2.519E+07	2.563E+10	2.063E+05
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	937.5	3.938E+06	3.691E+09	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,025.0 × 12.0	24,300.0	-	-	-	8.304E+09
R - WEB	1 - 2,025.0 × 12.0	24,300.0	-	-	-	8.304E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-937.5	-9.844E+06	9.229E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,475.6 × 16.0	39,608.8	-1,020.5	-4.042E+07	4.125E+10	8.450E+05
강재 단면 합계		127,664.3	-	-2.114E+07	7.980E+10	1.664E+10
UPPER RE-Bar (A_{ru})		12,608.5	1,242.5	15,666,016.4	19,465,025,371.7	-
LOWER RE-Bar (A_{rl})		12,608.5	1,102.5	13,900,831.4	15,325,666,673.3	-
RE-Bar 합계		25,216.9		2.957E+07	3.479E+10	-
RC. SLAB	1 - 4,400.9 × 240.0	1,056,206.4	1,182.5	1.249E+09	1.477E+12	5.070E+09
※ $A_s = 127,664.3 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,056,206.4 \text{ mm}^2$ $A_r = 25,216.9 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -21,138,309.2 / 127,664.3 = -165.577 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,025.0 / 2 + 10.0 - -165.577 = 1,188.077 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,025.0 / 2 + 16.0 + -165.577 \} = -862.923 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 16,636,145,033.6 + 79,798,852,145.1 - 127,664.3 \times -165.577^2 = 9.293\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -3,077.346 \times 1,188.1 / 92,934,973,180.4 = -39.341 \text{ MPa}$$

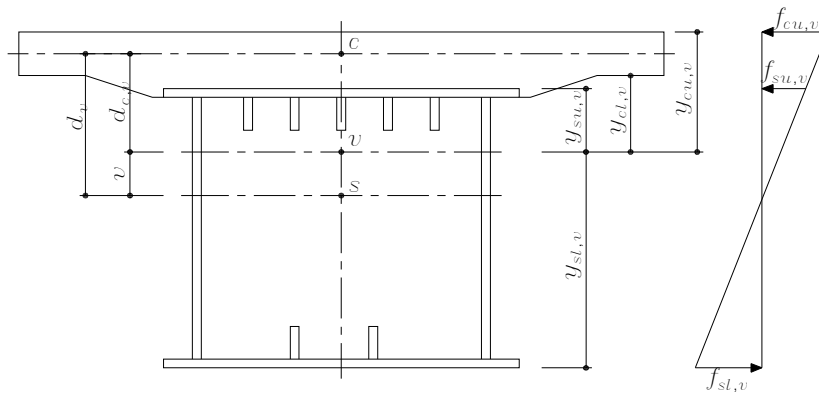
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -3,077.346 \times -862.9 / 92,934,973,180.4 = 28.574 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.748\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 760.797 / 48,600.0 + 22.173 / (2 \times 4,748,081.5 \times 12.0) = 15.849 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 127,664.3 + 25,216.9 = 152,881.2 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,188.1 - 10.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,608.5 / 25,216.9 = 1,338.1 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,216.9 \times 1,338.1 / 152,881.2 = 220.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,338.1 - 220.7 = 1,117.4 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 92,934,973,180.4 + 127,664.3 \times 220.7^2 + 0.0 + 25,216.9 \times 1,117.4^2 = 1.306\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,188.1 - 220.7 = 967.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -862.9 - 220.7 = -1,083.6 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,117.4 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,608.5 / 25,216.9 = 1,187.4 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,117.4 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,608.5 / 25,216.9 = 1,047.4 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -1,477.595 \times 967.4 / 130,637,450,100.0 = -10.942 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -1,477.595 \times -1,083.6 / 130,637,450,100.0 = 12.257 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -1,477.595 \times 1,187.4 / 130,637,450,100.0 = -13.430 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -1,477.595 \times 1,047.4 / 130,637,450,100.0 = -11.846 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 4.788\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 404.297 / 48,600.0 + 33.894 / (2 \times 4,788,020.4 \times 12.0) = 8.614 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -3,669.918 \times 967.4 / 130,637,450,100.0 = -27.176 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -3,669.918 \times -1,083.6 / 130,637,450,100.0 = 30.442 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -3,669.918 \times 1,187.4 / 130,637,450,100.0 = -33.356 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -3,669.918 \times 1,047.4 / 130,637,450,100.0 = -29.423 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 714.259 / 48,600.0 + 633.639 / (2 \times 4,788,020.4 \times 12.0) = 20.211 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -72.468 \times 967.4 / 130,637,450,100.0 = -0.537 \text{ MPa}$$

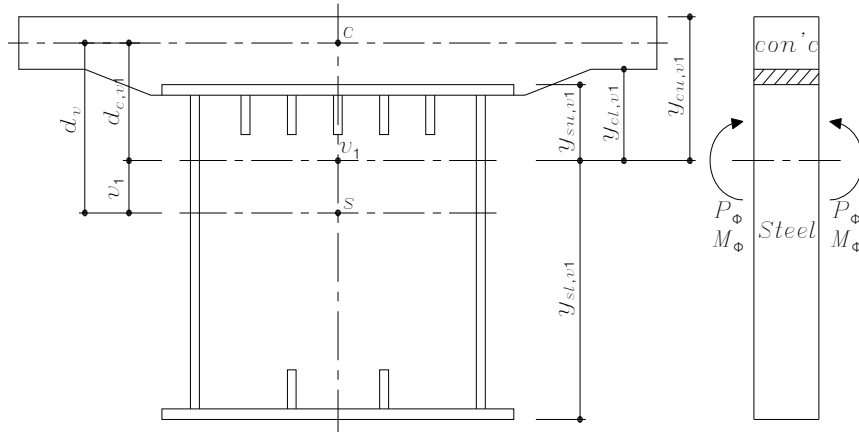
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -72.468 \times -1,083.6 / 130,637,450,100.0 = 0.601 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -72.468 \times 1,187.4 / 130,637,450,100.0 = -0.094 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -72.468 \times 1,047.4 / 130,637,450,100.0 = -0.083 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 55.338 / 48,600.0 + 175.459 / (2 \times 4,788,020.4 \times 12.0) = 2.666 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,056,206.4 / 7.0 = 150,886.6 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,069,790,720.0 / 7.0 = 7.243\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 127,664.3 + 150,886.6 = 278,550.9 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,188.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,348.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 150,886.6 \times 1,348.1 / 278,550.9 = 730.2 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v1} = d_v' - v' = 1,348.1 - 730.2 = 617.8 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.146 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 127,664.3 + 1,056,206.4 / 14.0 = 2.031\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,056,206.4/14.0) \times 1,348.1 / 203,107.6 = 500.7 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,348.1 - 500.7 = 847.3 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_{c1}/n_1 + A_{c1}/n_1 \cdot d_{c,v1}^2)$$

$$= (92,934,973,180.4 + 127,664.3 \times 730.2^2) + (5,069,790,720.0/7.0 + 1,056,206.4/7.0 \times 617.8^2) = 1.902\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v1} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -1,477.6 \times 617.8 \times 1,056,206.4 / (7.0 \times 190,171,855,969.8) = -7.243\text{E}+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -724,335.4 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -7.243\text{E}+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -724,335.4 \times 847.3 = -6.138\text{E}+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -724,335.4/152,881.2 + 0.146 \times -613,758,817.5 \times 1,187.4/130,637,450,100.0 = -5.551 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -724,335.4/152,881.2 + 0.146 \times -613,758,817.5 \times 1,047.4/130,637,450,100.0 = -5.455 \text{ MPa}$$

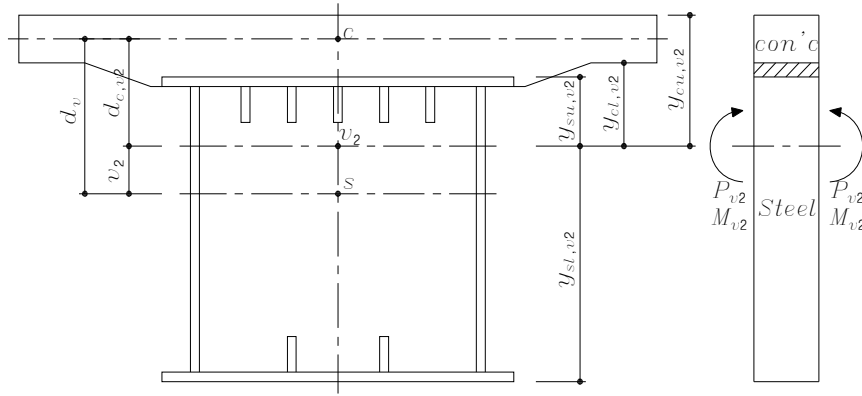
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -724,335.4/152,881.2 + 0.146 \times -613,758,817.5 \times 967.4/130,637,450,100.0 = -5.400 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -724,335.4/152,881.2 + 0.146 \times -613,758,817.5 \times -1,083.6/130,637,450,100.0 = -3.996 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 127,664.3 + 1,056,206.4 / 21.0 = 1.780E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,056,206.4/21.0) \times 1,348.1 / 177,959.8 = 381.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,348.1 - 381.0 = 967.1 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,056,206.4 / 21.0 = 2.784E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,783,858.3 \times 967.1 = 2.692E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

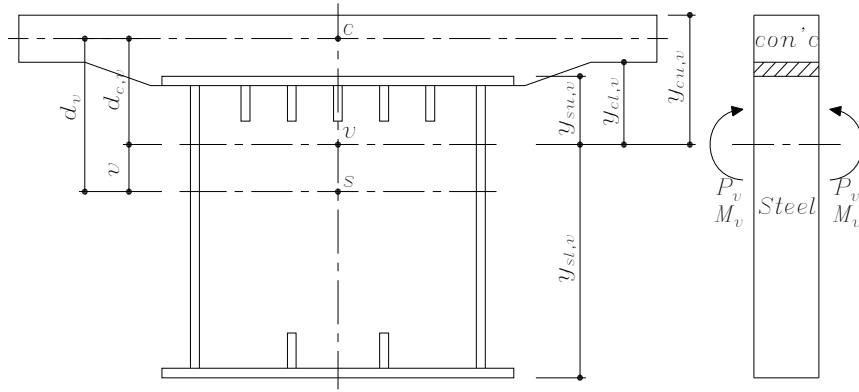
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,783,858.3/152,881.2 + 0.146 \times 2,692,212,728.9 \times 1,187.4/130,637,450,100.0 = 21.776 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,783,858.3/152,881.2 + 0.146 \times 2,692,212,728.9 \times 1,047.4/130,637,450,100.0 = 21.356 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,783,858.3/152,881.2 + 0.146 \times 2,692,212,728.9 \times 967.4/130,637,450,100.0 = 21.115 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,783,858.3/152,881.2 + 0.146 \times 2,692,212,728.9 \times -1,083.6/130,637,450,100.0 = 14.954 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,056,206.4 / 7.0 = 3.712\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,711,811.1 \times 617.8 = 2.293\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,711,811.1/152,881.2 + 0.146 \times 2,293,324,511.6 \times 1,187.4/130,637,450,100.0 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 2.717 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,711,811.1/152,881.2 + 0.146 \times 2,293,324,511.6 \times 1,047.4/130,637,450,100.0 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 2.359 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,711,811.1/152,881.2 + 0.146 \times 2,293,324,511.6 \times 967.4/130,637,450,100.0 = 26.754 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,711,811.1/152,881.2 + 0.146 \times 2,293,324,511.6 \times -1,083.6/130,637,450,100.0 = 21.506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,879.352 / 48,600.0 + 22.173 / 113,953,954.8 + 667.533 / 114,912,490.8 = 44.673 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 44.7 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,220.431 / 48,600.0 + 22.173 / 113,953,954.8 + 209.354 / 114,912,490.8 = 27.128 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 27.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,907.021 / 48,600.0 + 22.173 / 113,953,954.8 + 755.263 / 114,912,490.8 = 46.006 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 46.0 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-39.341	28.574	215.000	205.600
1+2+3	-46.786	-41.270	160.000	160.000	-77.458	71.272	215.000	205.600
1+2+3+5	-52.337	-46.725	160.000	160.000	-82.858	67.276	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-30.561	-25.369	160.000	160.000	-61.743	82.231	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-27.843	-23.010	184.000	184.000	-34.989	103.737	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-33.278	-27.728	184.000	184.000	-88.498	60.724	247.250	236.440
1+2+4	-13.524	-11.929	192.000	192.000	-50.819	41.432	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-46.833	-41.311	200.000	200.000	-77.726	71.573	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-52.384	-46.766	200.000	200.000	-83.127	67.577	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-30.608	-25.411	200.000	200.000	-62.011	82.531	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-27.891	-23.051	216.000	216.000	-35.257	104.037	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-33.325	-27.770	216.000	216.000	-88.766	61.025	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.033	0.019	0.128	0.128	0.161	0.147	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.130	0.120	0.128	0.128	0.258	0.248	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.149	0.107	0.128	0.128	0.276	0.235	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.082	0.160	0.128	0.128	0.210	0.288	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.020	0.192	0.128	0.128	0.148	0.320	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.128	0.066	0.128	0.128	0.256	0.194	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.039	0.028	0.033	0.033	0.072	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.084	0.078	0.087	0.087	0.170	0.164	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.096	0.069	0.087	0.087	0.182	0.156	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.053	0.103	0.087	0.087	0.140	0.190	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.015	0.140	0.087	0.087	0.101	0.227	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.094	0.048	0.087	0.087	0.180	0.135	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-82.858}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{44.673}{125.000} \right) = 0.149 + 0.128 = 0.276 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{103.737}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{44.673}{125.000} \right) = 0.192 + 0.128 = 0.320 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,025.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.2} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 28.574)} = 2.74 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

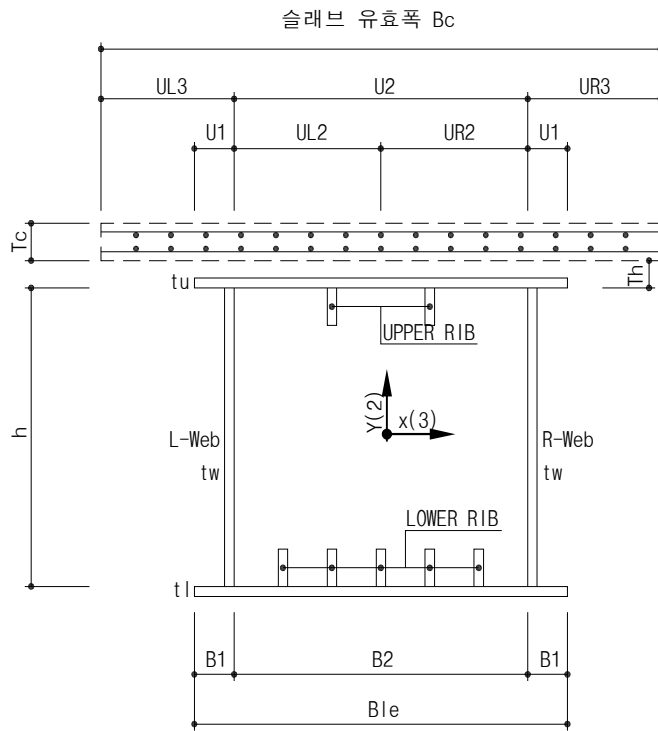
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-51.143	37.146	355.000	0.K !!
1+2+3	-89.174	-78.660	240.000	0.K !!	-123.795	118.529	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-91.892	-81.019	240.000	0.K !!	-150.549	140.036	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-94.725	-84.115	240.000	0.K !!	-129.195	114.534	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-72.949	-62.760	240.000	0.K !!	-108.080	129.488	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-70.232	-60.400	240.000	0.K !!	-81.325	150.994	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-75.667	-65.119	240.000	0.K !!	-134.834	107.982	355.000	0.K !!
1+2+4	-17.553	-15.483	240.000	0.K !!	-65.904	53.681	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-89.221	-78.701	240.000	0.K !!	-124.063	118.830	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-86.504	-76.342	240.000	0.K !!	-97.309	140.336	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-94.772	-84.157	240.000	0.K !!	-129.463	114.834	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-72.996	-62.801	240.000	0.K !!	-108.348	129.788	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-70.279	-60.442	240.000	0.K !!	-81.594	151.294	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-75.714	-65.160	240.000	0.K !!	-135.103	108.282	355.000	0.K !!

[G2 : SPLICE - 12] : 절점 56 로 부터 이격거리 4.320 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종:	SM520B
Bc =	4,400.9 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,475.6 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,475.6 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	2,025.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	27,804.0
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율	-	0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수	-	0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수	-	4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비	-	7
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-3,075.284
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-1,476.336
M_w : 풍하중에의한 모멘트	kN·m	-73.775
M_v : (활하중+지점침하)에 의한 모멘트	kN·m	-3,669.338
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-760.510
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-404.333
V_w : 풍하중에의한 전단력	kN	-54.955
V_v : (활하중+지점침하)에 의한 전단력	kN	-714.015
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-20.239
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	34.591
M_{wt} : 풍하중에의한 비틀림모멘트	kN·m	-178.686
M_{vt} : (활하중+지점침하)에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-635.843
t_{cu}, t_{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	60 , 40

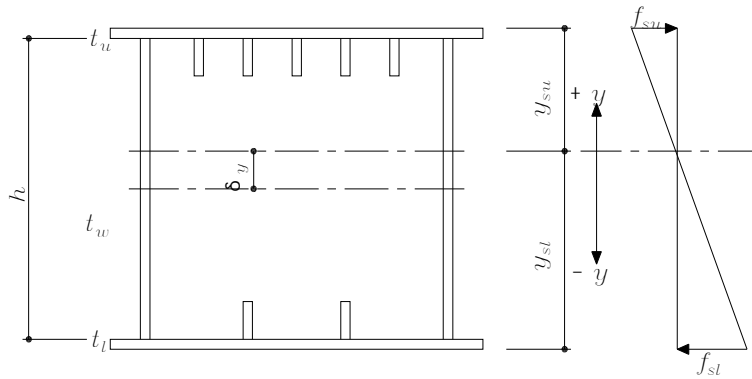
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

[illegible]

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -21,138,370.7 / 127,664.6 = -165.577 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,025.0 / 2 + 10.0 - -165.577 = 1,188.077 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,025.0 / 2 + 16.0 + -165.577 \} = -862.923 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 16,636,145,037.8 + 79,799,122,302.9 - 127,664.6 \times -165.577^2 = 9.294\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -3,075.284 \times 1,188.1 / 92,935,230,094.7 = -39.314 \text{ MPa}$$

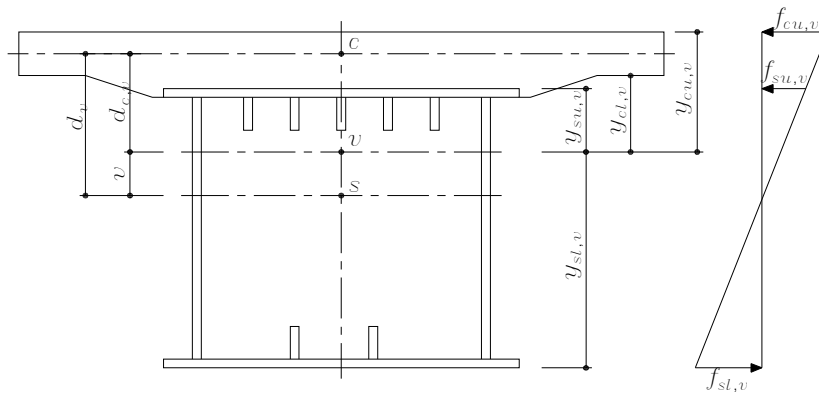
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -3,075.284 \times -862.9 / 92,935,230,094.7 = 28.555 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.748\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 760.510 / 48,600.0 + 20.239 / (2 \times 4,748,091.6 \times 12.0) = 15.826 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 127,664.6 + 25,217.0 = 152,881.6 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,188.1 - 10.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,608.5 / 25,217.0 = 1,338.1 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,217.0 \times 1,338.1 / 152,881.6 = 220.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,338.1 - 220.7 = 1,117.4 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 92,935,230,094.7 + 127,664.6 \times 220.7^2 + 0.0 + 25,217.0 \times 1,117.4^2 = 1.306E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,188.1 - 220.7 = 967.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -862.9 - 220.7 = -1,083.6 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,117.4 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,608.5 / 25,217.0 = 1,187.4 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,117.4 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,608.5 / 25,217.0 = 1,047.4 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -1,476.336 \times 967.4 / 130,637,870,916.4 = -10.932 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -1,476.336 \times -1,083.6 / 130,637,870,916.4 = 12.246 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -1,476.336 \times 1,187.4 / 130,637,870,916.4 = -13.418 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -1,476.336 \times 1,047.4 / 130,637,870,916.4 = -11.836 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 4.788E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 404.333 / 48,600.0 + 34.591 / (2 \times 4,788,030.7 \times 12.0) = 8.621 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -3,669.338 \times 967.4 / 130,637,870,916.4 = -27.171 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -3,669.338 \times -1,083.6 / 130,637,870,916.4 = 30.437 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -3,669.338 \times 1,187.4 / 130,637,870,916.4 = -33.351 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -3,669.338 \times 1,047.4 / 130,637,870,916.4 = -29.418 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 714.015 / 48,600.0 + 635.843 / (2 \times 4,788,030.7 \times 12.0) = 20.225 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -73.775 \times 967.4 / 130,637,870,916.4 = -0.546 \text{ MPa}$$

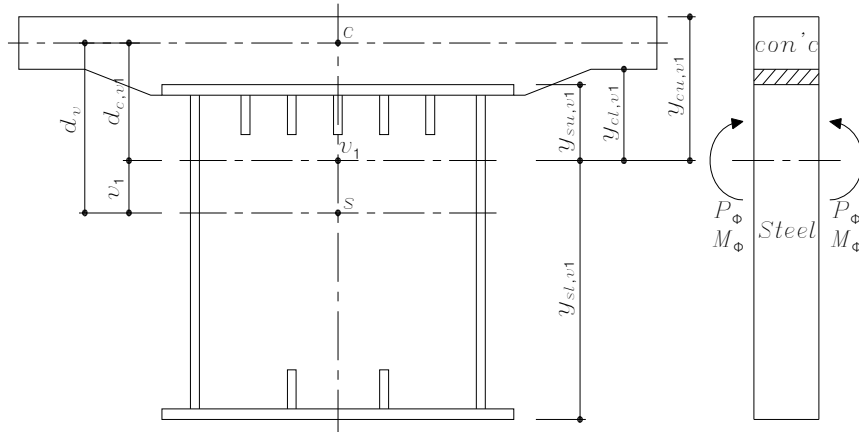
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -73.775 \times -1,083.6 / 130,637,870,916.4 = 0.612 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -73.775 \times 1,187.4 / 130,637,870,916.4 = -0.096 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -73.775 \times 1,047.4 / 130,637,870,916.4 = -0.084 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 54.955 / 48,600.0 + 178.686 / (2 \times 4,788,030.7 \times 12.0) = 2.686 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,056,211.2 / 7.0 = 150,887.3 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,069,813,760.0 / 7.0 = 7.243\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 127,664.6 + 150,887.3 = 278,551.9 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,188.1 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,348.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 150,887.3 \times 1,348.1 / 278,551.9 = 730.2 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,348.1 - 730.2 = 617.8 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 Φ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\Phi_1 = 2.0$$

$$k = 0.146 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \Phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 127,664.6 + 1,056,211.2 / 14.0 = 2.031\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,056,211.2/14.0) \times 1,348.1 / 203,108.2 = 500.7 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,348.1 - 500.7 = 847.3 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (92,935,230,094.7 + 127,664.6 \times 730.2^2) + (5,069,813,760.0/7.0 + 1,056,211.2/7.0 \times 617.8^2) = 1.902\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -1,476.3 \times 617.8 \times 1,056,211.2 / (7.0 \times 190,172,483,105.1) = -7.237\text{E}+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_{\Phi} = N_c \cdot 2 \cdot \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -723,717.8 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -7.237\text{E}+05 \text{ N}$$

- P_{Φ} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{\Phi} = P_{\Phi} \times d_{c,v1} = -723,717.8 \times 847.3 = -6.132\text{E}+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -723,717.8/152,881.6 + 0.146 \times -613,235,023.0 \times 1,187.4/130,637,870,916.4 = -5.546 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -723,717.8/152,881.6 + 0.146 \times -613,235,023.0 \times 1,047.4/130,637,870,916.4 = -5.451 \text{ MPa}$$

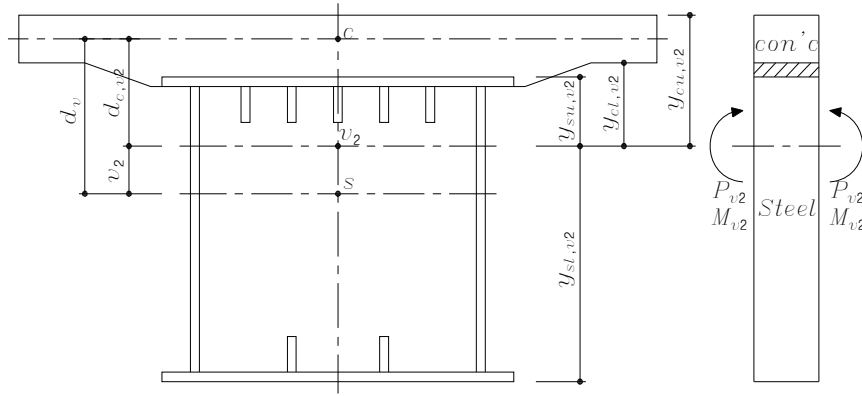
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -723,717.8/152,881.6 + 0.146 \times -613,235,023.0 \times 967.4/130,637,870,916.4 = -5.396 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -723,717.8/152,881.6 + 0.146 \times -613,235,023.0 \times -1,083.6/130,637,870,916.4 = -3.992 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 127,664.6 + 1,056,211.2 / 21.0 = 1.780E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,056,211.2/21.0) \times 1,348.1 / 177,960.3 = 381.0 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,348.1 - 381.0 = 967.1 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,056,211.2 / 21.0 = 2.784E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,783,870.9 \times 967.1 = 2.692E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

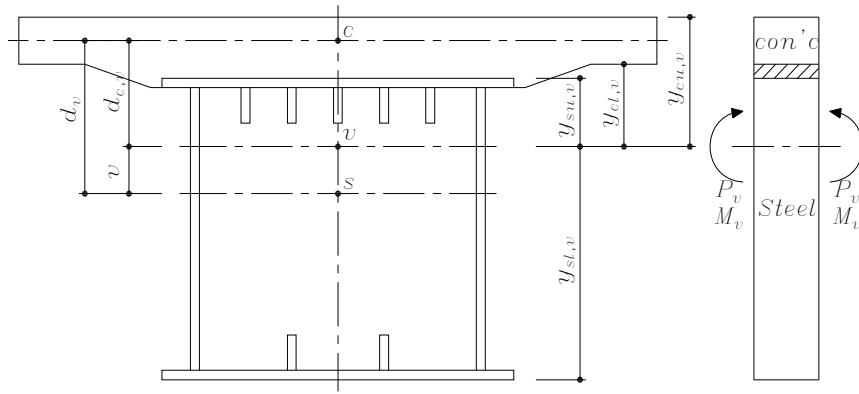
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,783,870.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,692,223,344.6 \times 1,187.4/130,637,870,916.4 = 21.776 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,783,870.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,692,223,344.6 \times 1,047.4/130,637,870,916.4 = 21.356 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,783,870.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,692,223,344.6 \times 967.4/130,637,870,916.4 = 21.115 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,783,870.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,692,223,344.6 \times -1,083.6/130,637,870,916.4 = 14.954 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,056,211.2 / 7.0 = 3.712\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,711,827.9 \times 617.8 = 2.293\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,711,827.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,293,332,064.5 \times 1,187.4/130,637,870,916.4 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 2.717 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,711,827.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,293,332,064.5 \times 1,047.4/130,637,870,916.4 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = 2.359 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,711,827.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,293,332,064.5 \times 967.4/130,637,870,916.4 = 26.755 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,711,827.9/152,881.6 + 0.146 \times 2,293,332,064.5 \times -1,083.6/130,637,870,916.4 = 21.506 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,878.858 / 48,600.0 + 20.239 / 113,954,199.4 + 670.434 / 114,912,737.4 = 44.672 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 44.7 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,219.799 / 48,600.0 + 20.239 / 113,954,199.4 + 213.277 / 114,912,737.4 = 27.132 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 27.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,906.336 / 48,600.0 + 20.239 / 113,954,199.4 + 759.777 / 114,912,737.4 = 46.014 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 46.0 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-39.314	28.555	215.000	205.600
1+2+3	-46.769	-41.255	160.000	160.000	-77.418	71.238	215.000	205.600
1+2+3+5	-52.315	-46.705	160.000	160.000	-82.813	67.245	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-30.539	-25.350	160.000	160.000	-61.698	82.199	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-27.822	-22.990	184.000	184.000	-34.944	103.706	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-33.257	-27.709	184.000	184.000	-88.453	60.693	247.250	236.440
1+2+4	-13.514	-11.921	192.000	192.000	-50.793	41.413	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-46.817	-41.297	200.000	200.000	-77.691	71.544	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-52.363	-46.747	200.000	200.000	-83.087	67.551	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-30.587	-25.392	200.000	200.000	-61.971	82.505	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-27.870	-23.033	216.000	216.000	-35.217	104.012	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-33.305	-27.751	216.000	216.000	-88.726	60.999	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.033	0.019	0.128	0.128	0.161	0.147	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.130	0.120	0.128	0.128	0.257	0.248	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.148	0.107	0.128	0.128	0.276	0.235	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.082	0.160	0.128	0.128	0.210	0.288	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.020	0.192	0.128	0.128	0.148	0.320	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.128	0.066	0.128	0.128	0.256	0.194	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.039	0.028	0.033	0.033	0.071	0.061	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.084	0.077	0.087	0.087	0.170	0.164	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.096	0.069	0.087	0.087	0.182	0.156	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.053	0.103	0.087	0.087	0.140	0.190	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.015	0.140	0.087	0.087	0.101	0.227	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.093	0.048	0.087	0.087	0.180	0.135	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-82.813}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{44.672}{125.000} \right) = 0.148 + 0.128 = 0.276 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{103.706}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{44.672}{125.000} \right) = 0.192 + 0.128 = 0.320 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,025.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.2} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 28.555)} = 2.74 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(☞ 도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

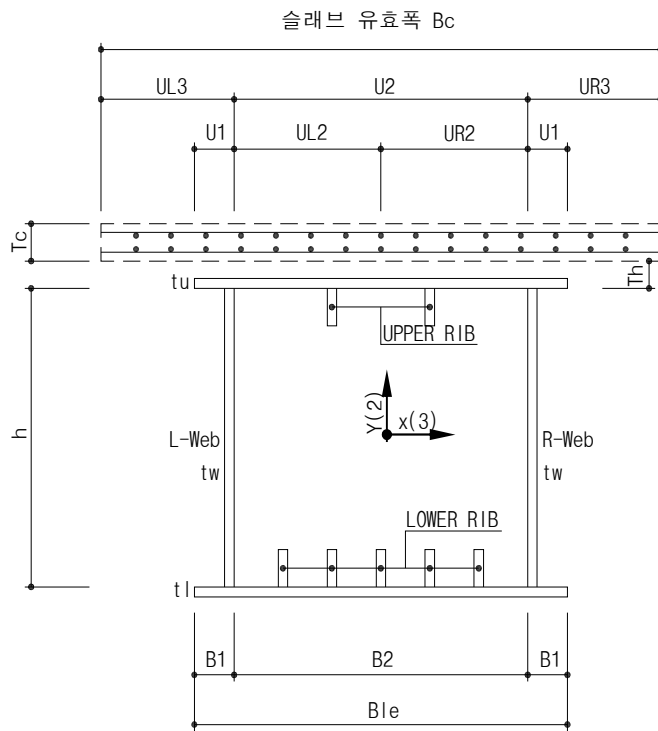
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-51.108	37.121	355.000	0.K !!
1+2+3	-89.148	-78.637	240.000	0.K !!	-123.739	118.480	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-91.865	-80.996	240.000	0.K !!	-150.493	139.986	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-94.694	-84.087	240.000	0.K !!	-129.134	114.488	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-72.918	-62.731	240.000	0.K !!	-108.019	129.442	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-70.200	-60.372	240.000	0.K !!	-81.265	150.948	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-75.635	-65.091	240.000	0.K !!	-134.774	107.936	355.000	0.K !!
1+2+4	-17.540	-15.472	240.000	0.K !!	-65.867	53.653	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-89.196	-78.679	240.000	0.K !!	-124.012	118.786	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-86.478	-76.320	240.000	0.K !!	-97.257	140.292	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-94.742	-84.129	240.000	0.K !!	-129.408	114.794	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-72.966	-62.774	240.000	0.K !!	-108.292	129.748	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-70.248	-60.414	240.000	0.K !!	-81.538	151.254	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-75.683	-65.133	240.000	0.K !!	-135.047	108.242	355.000	0.K !!

[G1 : SPLICE - 16] : 절점 25 로 부터 이격거리 3.124 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B

Bc = 4,500.0 mm

U1 = 120.0 mm

UL2 = 1,200.0 mm

UR2 = 1,200.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,640.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,640.0 mm

B1 = 120.0 mm

B2 = 2,400.0 mm

Tc = 240.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,809.0 mm

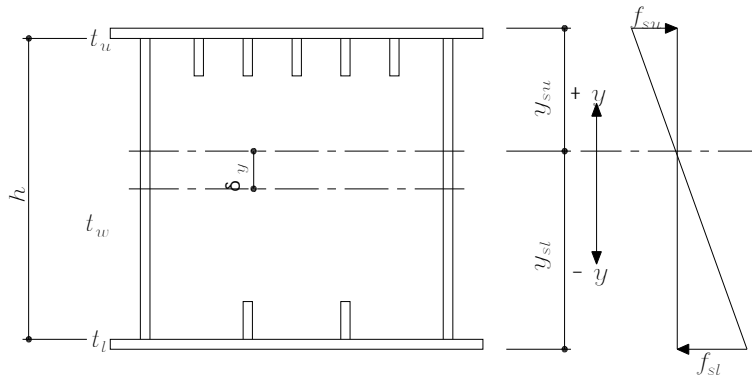
$\Theta_L = 0.000^\circ$

$\Theta_R = 0.000^\circ$

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중
합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	909.5	2.401E+07	2.184E+10	2.200E+05
UPPER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	829.5	8.710E+06	7.225E+09	1.969E+07
L - WEB	1 - 1,809.0 × 12.0	21,708.0	-	-	-	5.920E+09
R - WEB	1 - 1,809.0 × 12.0	21,708.0	-	-	-	5.920E+09
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-829.5	-8.710E+06	7.225E+09	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-910.5	-2.884E+07	2.626E+10	3.802E+05
강재 단면 합계		122,496.0	-	-4.834E+06	6.255E+10	1.188E+10
UPPER RE-Bar (A_{ru})		12,892.5	1,134.5	14,626,541.3	16,593,811,048.1	-
LOWER RE-Bar (A_{rl})		12,892.5	994.5	12,821,591.3	12,751,072,498.1	-
RE-Bar 합계		25,785.0		2.745E+07	2.934E+10	-
RC. SLAB	1 - 4,500.0 × 240.0	1,080,000.0	1,074.5	1.160E+09	1.247E+12	5.184E+09
※ $A_s = 122,496.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,080,000.0 \text{ mm}^2$ $A_r = 25,785.0 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -4,833,840.0 / 122,496.0 = -39.461 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,809.0 / 2 + 10.0 - -39.461 = 953.961 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,809.0 / 2 + 12.0 + -39.461 \} = -877.039 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 11,879,811,418.0 + 62,550,342,570.0 - 122,496.0 \times -39.461^2 = 7.424\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -549.676 \times 954.0 / 74,239,404,827.7 = -7.063 \text{ MPa}$$

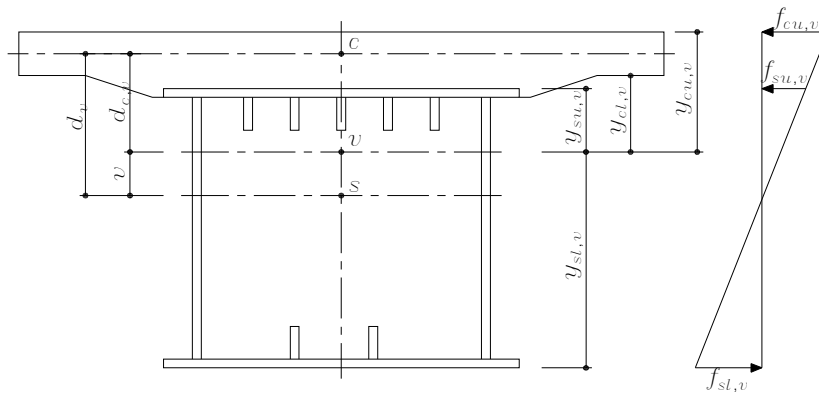
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -549.676 \times -877.0 / 74,239,404,827.7 = 6.494 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.390\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 551.603 / 43,416.0 + 45.133 / (2 \times 4,389,840.0 \times 12.0) = 13.133 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 122,496.0 + 25,785.0 = 148,281.0 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 1,104.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,785.0 \times 1,104.0 / 148,281.0 = 192.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,104.0 - 192.0 = 912.0 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 192.0^2 + 0.0 + 25,785.0 \times 912.0^2 = 1.002\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 954.0 - 192.0 = 762.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -877.0 - 192.0 = -1,069.0 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 912.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 982.0 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 912.0 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,892.5 / 25,785.0 = 842.0 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -495.044 \times 762.0 / 100,199,791,814.0 = -3.765 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -495.044 \times -1,069.0 / 100,199,791,814.0 = 5.282 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -495.044 \times 982.0 / 100,199,791,814.0 = -4.852 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -495.044 \times 842.0 / 100,199,791,814.0 = -4.160 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 4.431\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{scl} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 247.205 / 43,416.0 + 83.708 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 6.481 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -2,447.445 \times 762.0 / 100,199,791,814.0 = -18.612 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -2,447.445 \times -1,069.0 / 100,199,791,814.0 = 26.111 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -2,447.445 \times 982.0 / 100,199,791,814.0 = -23.986 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -2,447.445 \times 842.0 / 100,199,791,814.0 = -20.566 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} \tau &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 516.262 / 43,416.0 + 429.234 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 15.927 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -35.252 \times 762.0 / 100,199,791,814.0 = -0.268 \text{ MPa}$$

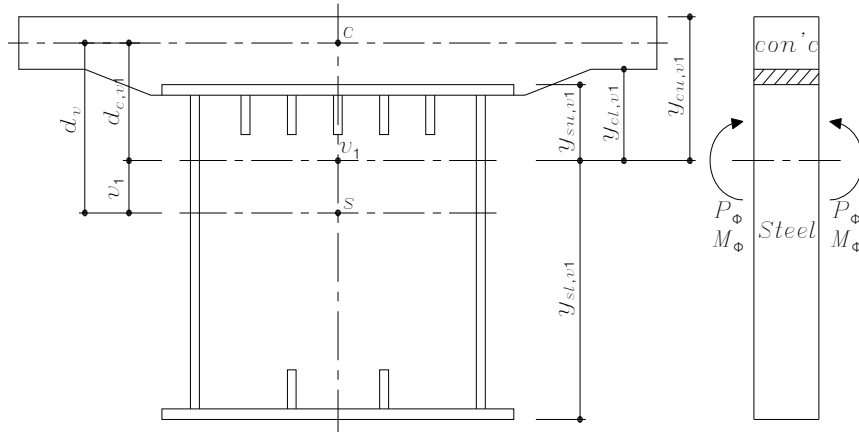
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -35.252 \times -1,069.0 / 100,199,791,814.0 = 0.376 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -35.252 \times 982.0 / 100,199,791,814.0 = -0.049 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -35.252 \times 842.0 / 100,199,791,814.0 = -0.042 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} \tau &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 6.800 / 43,416.0 + 67.687 / (2 \times 4,431,188.6 \times 12.0) = 0.793 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,080,000.0 / 7.0 = 154,285.7 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,184,000,000.0 / 7.0 = 7.406E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 122,496.0 + 154,285.7 = 276,781.7 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 954.0 - 10.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,114.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 154,285.7 \times 1,114.0 / 276,781.7 = 621.0 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,114.0 - 621.0 = 493.0 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.208 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 122,496.0 + 1,080,000.0 / 14.0 = 1.996E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,080,000.0/14.0) \times 1,114.0 / 199,638.9 = 430.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,114.0 - 430.4 = 683.5 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_{c1}/n_1 + A_{c1}/n_1 \cdot d_{c,v1}^2)$$

$$= (74,239,404,827.7 + 122,496.0 \times 621.0^2) + (5,184,000,000.0/7.0 + 1,080,000.0/7.0 \times 493.0^2) = 1.406E+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -495.0 \times 493.0 \times 1,080,000.0 / (7.0 \times 140,592,101,504.7) = -2.678E+05 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -267,832.5 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -2.678E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -267,832.5 \times 683.5 = -1.831E+08 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -267,832.5/148,281.0 + -0.208 \times -183,067,033.0 \times 982.0/100,199,791,814.0 = -1.433 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -267,832.5/148,281.0 + -0.208 \times -183,067,033.0 \times 842.0/100,199,791,814.0 = -1.486 \text{ MPa}$$

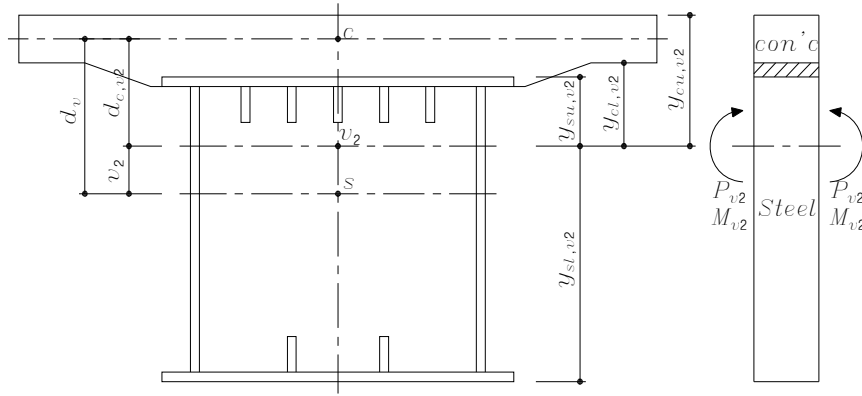
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -267,832.5/148,281.0 + -0.208 \times -183,067,033.0 \times 762.0/100,199,791,814.0 = -1.516 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -267,832.5/148,281.0 + -0.208 \times -183,067,033.0 \times -1,069.0/100,199,791,814.0 = -2.213 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 122,496.0 + 1,080,000.0 / 21.0 = 1.739E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,080,000.0/21.0) \times 1,114.0 / 173,924.6 = 329.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,114.0 - 329.4 = 784.6 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,080,000.0 / 21.0 = 2.847E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,846,571.4 \times 784.6 = 2.233E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

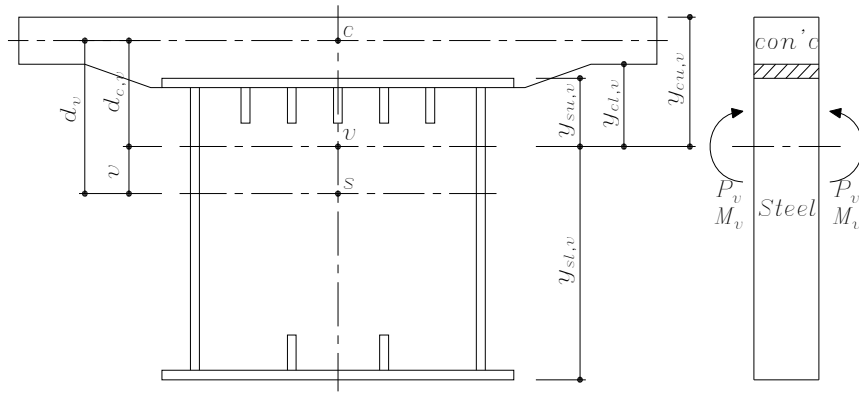
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times 982.0/100,199,791,814.0 = 14.639 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times 842.0/100,199,791,814.0 = 15.289 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times 762.0/100,199,791,814.0 = 15.660 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,846,571.4/148,281.0 + -0.208 \times 2,233,331,125.0 \times -1,069.0/100,199,791,814.0 = 24.159 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팅장계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,080,000.0 / 7.0 = 3.795\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,795,428.6 \times 493.0 = 1.871\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times 982.0/100,199,791,814.0 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -2.823 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times 842.0/100,199,791,814.0 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -2.279 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times 762.0/100,199,791,814.0 = 22.633 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,795,428.6/148,281.0 + -0.208 \times 1,871,179,290.3 \times -1,069.0/100,199,791,814.0 = 29.754 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,315.070 / 43,416.0 + 45.133 / 105,356,160.0 + 512.941 / 106,348,525.7 = 35.542 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 35.5 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 805.608 / 43,416.0 + 45.133 / 105,356,160.0 + 151.395 / 106,348,525.7 = 20.408 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 20.4 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,318.470 / 43,416.0 + 45.133 / 105,356,160.0 + 546.785 / 106,348,525.7 = 35.938 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 35.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (12.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 166.4 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(12.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 198.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 12.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 166.4 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, \pi 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)}$$

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-7.063	6.494	215.000	166.433
1+2+3	-28.837	-24.726	160.000	160.000	-29.440	37.886	215.000	166.433
1+2+3+5	-30.270	-26.212	160.000	160.000	-30.956	35.673	215.000	166.433
1+2+3+5+6	-15.631	-10.923	160.000	160.000	-15.296	59.833	215.000	166.433
1+2+3+5+6+7	-18.454	-13.202	184.000	184.000	7.336	89.587	247.250	191.398
1+2+3+5+6-7	-12.808	-8.645	184.000	184.000	-37.929	30.079	247.250	191.398
1+2+4	-4.901	-4.202	192.000	192.000	-11.096	12.151	258.000	199.720
1+2+3+0.5×4	-28.862	-24.747	200.000	200.000	-29.574	38.075	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5	-30.295	-26.233	200.000	200.000	-31.090	35.861	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5+6	-15.656	-10.944	200.000	200.000	-15.430	60.021	268.750	208.042
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-18.479	-13.223	216.000	216.000	7.202	89.775	290.250	224.685
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-12.833	-8.666	216.000	216.000	-38.063	30.267	290.250	224.685

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.001	0.002	0.081	0.081	0.082	0.082	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.019	0.052	0.081	0.081	0.100	0.133	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.021	0.046	0.081	0.081	0.102	0.127	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.005	0.129	0.081	0.081	0.086	0.210	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.001	0.219	0.081	0.081	0.082	0.300	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.024	0.025	0.081	0.081	0.104	0.106	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.002	0.004	0.019	0.019	0.020	0.022	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.012	0.033	0.053	0.053	0.065	0.086	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.013	0.030	0.053	0.053	0.066	0.083	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.003	0.083	0.053	0.053	0.056	0.136	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.001	0.160	0.053	0.053	0.054	0.213	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.017	0.018	0.053	0.053	0.070	0.071	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-37.929}{247.250} \right)^2 + \left(\frac{35.542}{125.000} \right) = 0.024 + 0.081 = 0.104 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{89.587}{191.398} \right)^2 + \left(\frac{35.542}{125.000} \right) = 0.219 + 0.081 = 0.300 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \geq t_{use} = 10.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{1,809.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{7.3} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 6.494)} = 5.75 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

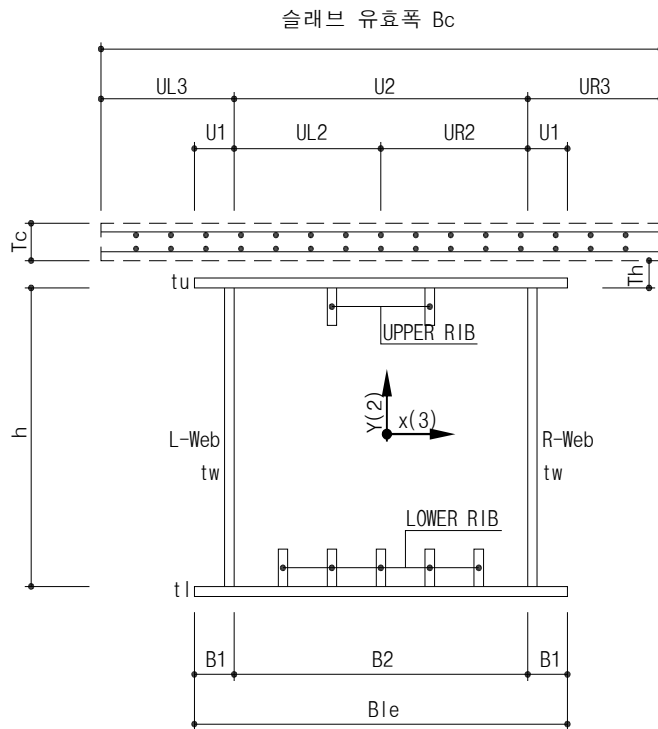
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-9.182	8.442	355.000	0.K !!
1+2+3	-57.876	-49.625	240.000	0.K !!	-54.092	71.447	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-60.699	-51.904	240.000	0.K !!	-76.725	101.201	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-59.309	-51.111	240.000	0.K !!	-55.609	69.234	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-44.670	-35.822	240.000	0.K !!	-39.949	93.393	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-47.493	-38.101	240.000	0.K !!	-17.316	123.147	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-41.847	-33.544	240.000	0.K !!	-62.581	63.640	355.000	0.K !!
1+2+4	-6.356	-5.450	240.000	0.K !!	-14.344	15.684	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-57.901	-49.646	240.000	0.K !!	-54.226	71.635	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-60.724	-51.925	240.000	0.K !!	-31.594	101.389	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-59.334	-51.132	240.000	0.K !!	-55.743	69.422	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-44.695	-35.844	240.000	0.K !!	-40.083	93.581	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-47.518	-38.122	240.000	0.K !!	-17.450	123.335	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-41.872	-33.565	240.000	0.K !!	-62.715	63.828	355.000	0.K !!

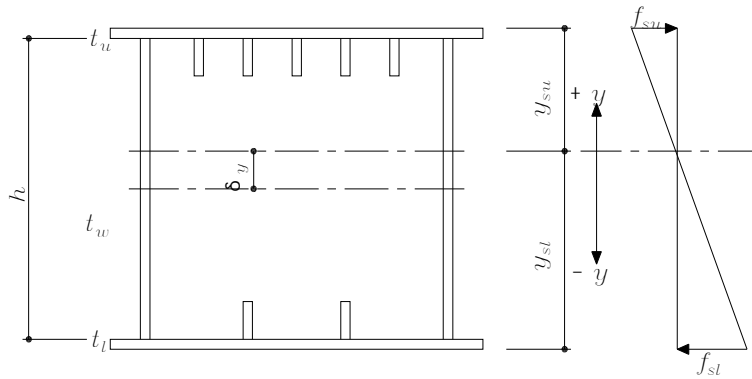
[G2 : SPLICE - 17] : 절점 64 로 부터 이격거리 0.617 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc =	4,398.2 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,474.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,474.0 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	2,025.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -16,064,494.0 / 132,572.0 = -121.176 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,025.0 / 2 + 12.0 - -121.176 = 1,145.676 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,025.0 / 2 + 16.0 + -121.176 \} = -907.324 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 16,636,294,464.7 + 84,940,117,769.0 - 132,572.0 \times -121.176^2 = 9.963\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -5,968.607 \times 1,145.7 / 99,629,787,248.9 = -68.635 \text{ MPa}$$

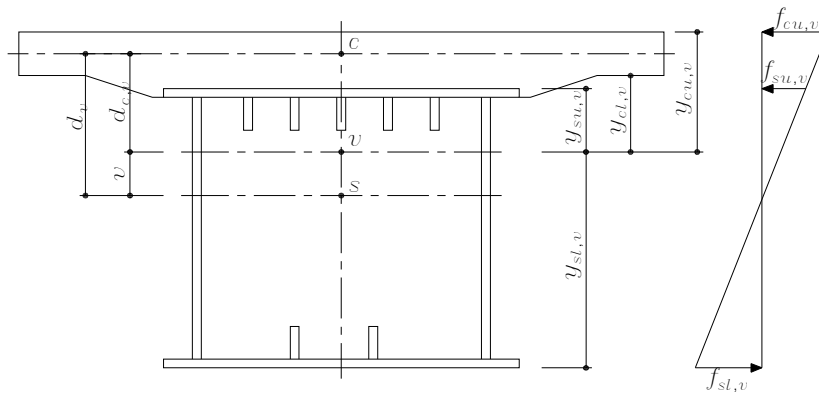
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -5,968.607 \times -907.3 / 99,629,787,248.9 = 54.356 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.749\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 927.237 / 48,600.0 + 25.084 / (2 \times 4,748,831.0 \times 12.0) = 19.299 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 132,572.0 + 25,201.7 = 157,773.7 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,145.7 - 12.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,600.8 / 25,201.7 = 1,293.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,201.7 \times 1,293.7 / 157,773.7 = 206.6 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,293.7 - 206.6 = 1,087.0 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 99,629,787,248.9 + 132,572.0 \times 206.6^2 + 0.0 + 25,201.7 \times 1,087.0^2 = 1.351\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,145.7 - 206.6 = 939.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -907.3 - 206.6 = -1,114.0 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,087.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,600.8 / 25,201.7 = 1,157.0 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,087.0 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,600.8 / 25,201.7 = 1,017.0 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -2,965.320 \times 939.0 / 135,070,105,926.8 = -20.615 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -2,965.320 \times -1,114.0 / 135,070,105,926.8 = 24.456 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -2,965.320 \times 1,157.0 / 135,070,105,926.8 = -25.401 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -2,965.320 \times 1,017.0 / 135,070,105,926.8 = -22.328 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + TI/2) = 4.789\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 493.143 / 48,600.0 + 48.234 / (2 \times 4,788,756.7 \times 12.0) = 10.567 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -4,102.226 \times 939.0 / 135,070,105,926.8 = -28.519 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -4,102.226 \times -1,114.0 / 135,070,105,926.8 = 33.832 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -4,102.226 \times 1,157.0 / 135,070,105,926.8 = -35.140 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -4,102.226 \times 1,017.0 / 135,070,105,926.8 = -30.888 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 746.609 / 48,600.0 + 521.013 / (2 \times 4,788,756.7 \times 12.0) = 19.896 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -71.688 \times 939.0 / 135,070,105,926.8 = -0.498 \text{ MPa}$$

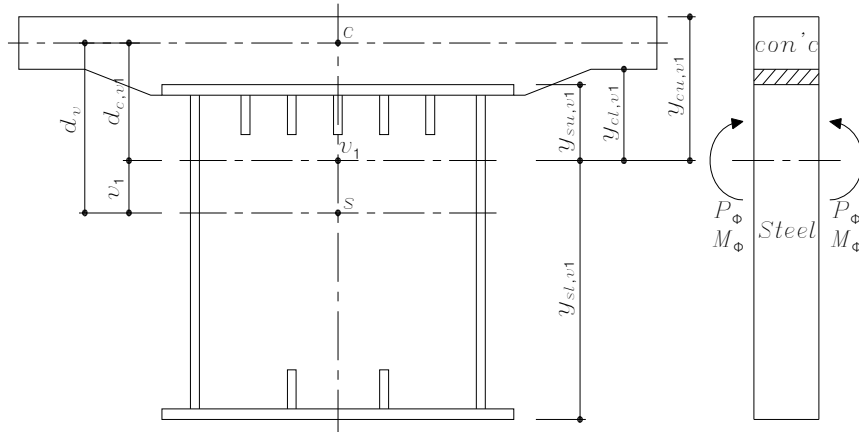
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -71.688 \times -1,114.0 / 135,070,105,926.8 = 0.591 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -71.688 \times 1,157.0 / 135,070,105,926.8 = -0.088 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -71.688 \times 1,017.0 / 135,070,105,926.8 = -0.077 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 57.964 / 48,600.0 + 122.401 / (2 \times 4,788,756.7 \times 12.0) = 2.258 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,055,568.0 / 7.0 = 150,795.4 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,066,726,400.0 / 7.0 = 7.238\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 132,572.0 + 150,795.4 = 283,367.4 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,145.7 - 12.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,303.7 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 150,795.4 \times 1,303.7 / 283,367.4 = 693.8 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,303.7 - 693.8 = 609.9 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.301 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 132,572.0 + 1,055,568.0 / 14.0 = 2.080\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,055,568.0/14.0) \times 1,303.7 / 207,969.7 = 472.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,303.7 - 472.6 = 831.0 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (99,629,787,248.9 + 132,572.0 \times 693.8^2) + (5,066,726,400.0/7.0 + 1,055,568.0/7.0 \times 609.9^2) = 1.918\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -2,965.3 \times 609.9 \times 1,055,568.0 / (7.0 \times 191,846,501,993.6) = -1.422\text{E}+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1,421,599.3 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.422\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,421,599.3 \times 831.0 = -1.181\text{E}+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -1,421,599.3/157,773.7 + -0.301 \times -1,181,404,071.9 \times 1,157.0/135,070,105,926.8 = -5.967 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,421,599.3/157,773.7 + -0.301 \times -1,181,404,071.9 \times 1,017.0/135,070,105,926.8 = -6.335 \text{ MPa}$$

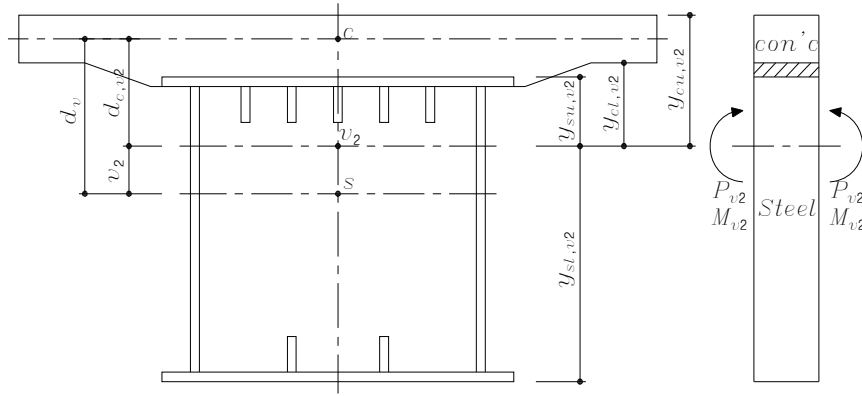
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -1,421,599.3/157,773.7 + -0.301 \times -1,181,404,071.9 \times 939.0/135,070,105,926.8 = -6.540 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,421,599.3/157,773.7 + -0.301 \times -1,181,404,071.9 \times -1,114.0/135,070,105,926.8 = -11.940 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 132,572.0 + 1,055,568.0 / 21.0 = 1.828E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,055,568.0/21.0) \times 1,303.7 / 182,837.1 = 358.4 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,303.7 - 358.4 = 945.3 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,055,568.0 / 21.0 = 2.782E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,782,175.7 \times 945.3 = 2.630E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

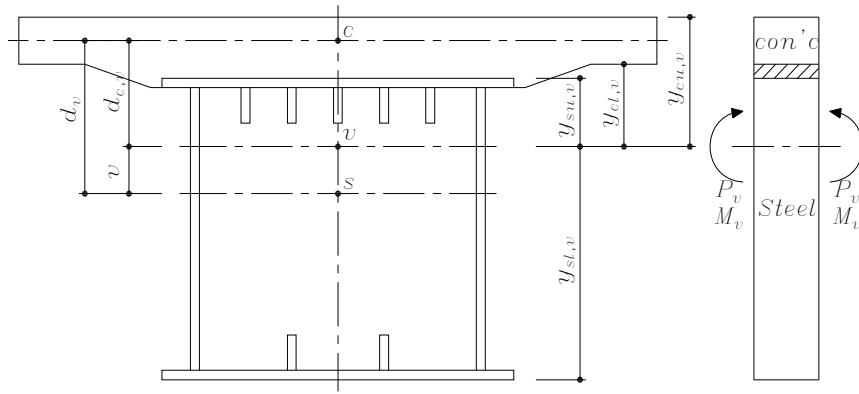
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,782,175.7/157,773.7 + -0.301 \times 2,629,913,543.6 \times 1,157.0/135,070,105,926.8 = 10.859 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,782,175.7/157,773.7 + -0.301 \times 2,629,913,543.6 \times 1,017.0/135,070,105,926.8 = 11.679 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,782,175.7/157,773.7 + -0.301 \times 2,629,913,543.6 \times 939.0/135,070,105,926.8 = 12.136 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,782,175.7/157,773.7 + -0.301 \times 2,629,913,543.6 \times -1,114.0/135,070,105,926.8 = 24.156 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,055,568.0 / 7.0 = 3.710\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,709,567.5 \times 609.9 = 2.263\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,709,567.5/157,773.7 + -0.301 \times 2,262,531,868.7 \times 1,157.0/135,070,105,926.8 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -6.916 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,709,567.5/157,773.7 + -0.301 \times 2,262,531,868.7 \times 1,017.0/135,070,105,926.8 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -6.211 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,709,567.5/157,773.7 + -0.301 \times 2,262,531,868.7 \times 939.0/135,070,105,926.8 = 18.782 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,709,567.5/157,773.7 + -0.301 \times 2,262,531,868.7 \times -1,114.0/135,070,105,926.8 = 29.123 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 2,166.989 / 48,600.0 + 25.084 / 113,971,944.0 + 569.247 / 114,930,161.1 = 49.761 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 49.8 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 1,478.343 / 48,600.0 + 25.084 / 113,971,944.0 + 170.636 / 114,930,161.1 = 32.123 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 32.1 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 2,195.971 / 48,600.0 + 25.084 / 113,971,944.0 + 630.448 / 114,930,161.1 = 50.890 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 50.9 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)^2\} = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-68.635	54.356	215.000	205.600
1+2+3	-60.542	-53.216	160.000	160.000	-117.770	112.644	215.000	205.600
1+2+3+5	-66.509	-59.552	160.000	160.000	-124.310	100.704	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-55.650	-47.873	160.000	160.000	-112.175	124.860	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-62.566	-54.084	184.000	184.000	-93.393	153.984	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-48.733	-41.661	184.000	184.000	-130.956	95.737	247.250	236.440
1+2+4	-25.489	-22.405	192.000	192.000	-89.749	79.403	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-60.586	-53.255	200.000	200.000	-118.019	112.940	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-66.553	-59.590	200.000	200.000	-124.560	100.999	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-55.693	-47.911	200.000	200.000	-112.424	125.156	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-62.610	-54.122	216.000	216.000	-93.642	154.279	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-48.777	-41.700	216.000	216.000	-131.206	96.033	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.102	0.070	0.158	0.158	0.260	0.228	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.300	0.300	0.158	0.158	0.459	0.459	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.334	0.240	0.158	0.158	0.493	0.398	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.272	0.369	0.158	0.158	0.431	0.527	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.143	0.424	0.158	0.158	0.301	0.583	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.281	0.164	0.158	0.158	0.439	0.322	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.121	0.104	0.046	0.046	0.167	0.149	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.193	0.193	0.106	0.106	0.299	0.299	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.215	0.154	0.106	0.106	0.321	0.261	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.175	0.237	0.106	0.106	0.281	0.343	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.104	0.309	0.106	0.106	0.210	0.415	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.204	0.120	0.106	0.106	0.310	0.226	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-124.310}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{49.761}{125.000} \right) = 0.334 + 0.158 = 0.493 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{153.984}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{49.761}{125.000} \right) = 0.424 + 0.158 = 0.583 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$(\text{합성형 스테드 설치시}) \quad t_{min} = \mathbf{10.0} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,025.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.2} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 54.356)} = 1.99 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

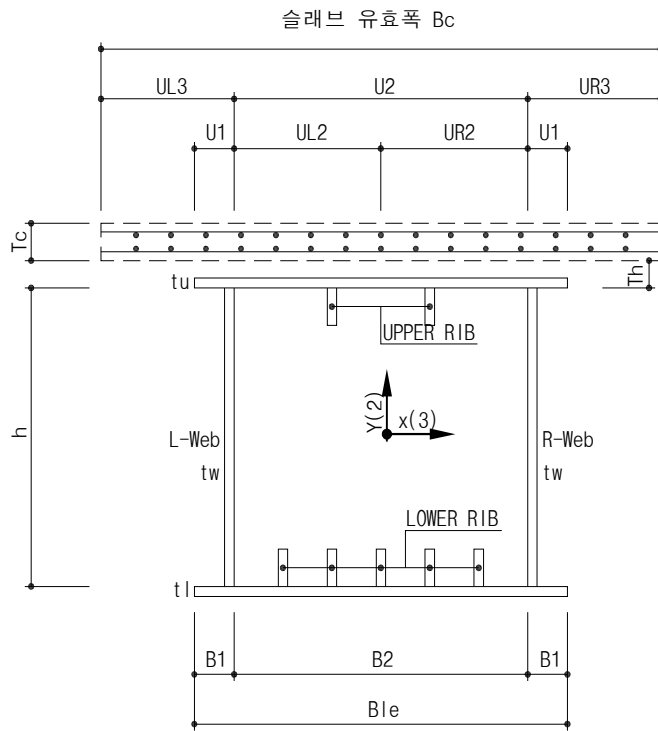
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-89.225	70.663	355.000	0.K !!
1+2+3	-108.574	-95.436	240.000	0.K !!	-177.342	175.195	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-115.490	-101.647	240.000	0.K !!	-196.124	204.318	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-114.541	-101.772	240.000	0.K !!	-183.883	163.255	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-103.681	-90.093	240.000	0.K !!	-171.747	187.411	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-110.598	-96.304	240.000	0.K !!	-152.965	216.534	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-96.765	-83.881	240.000	0.K !!	-190.529	158.288	355.000	0.K !!
1+2+4	-33.110	-29.103	240.000	0.K !!	-116.524	103.047	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-108.617	-95.475	240.000	0.K !!	-177.592	175.491	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-115.534	-101.686	240.000	0.K !!	-158.810	204.614	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-114.585	-101.810	240.000	0.K !!	-184.132	163.550	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-103.725	-90.131	240.000	0.K !!	-171.996	187.707	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-110.642	-96.342	240.000	0.K !!	-153.215	216.830	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-96.809	-83.920	240.000	0.K !!	-190.778	158.583	355.000	0.K !!

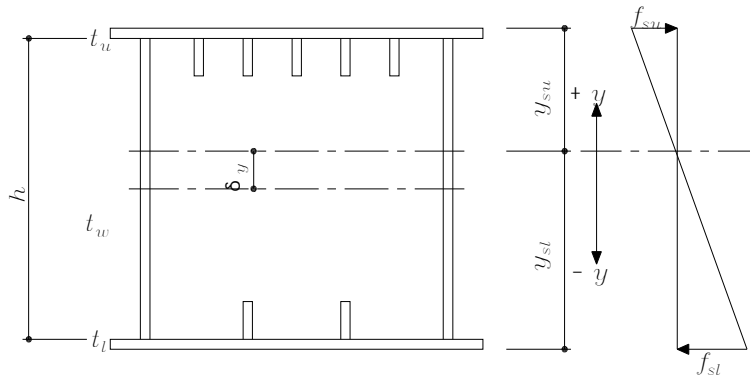
[G2 : SPLICE - 18] : 절점 65 로 부터 이격거리 4.320 m

1) 단면가정 및 설계조건



주부재 강종: SM520B	
Bc =	4,402.0 mm
U1 =	120.0 mm
UL2 =	1,200.0 mm
UR2 =	1,200.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,476.3 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,476.3 mm
B1 =	120.0 mm
B2 =	2,400.0 mm
Tc =	240.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	2,025.0 mm
Θ_L =	0.000 °
Θ_R =	0.000 °

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -16,073,978.9 / 132,636.7 = -121.188 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 2,025.0 / 2 + 12.0 - -121.188 = 1,145.688 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 2,025.0 / 2 + 16.0 + -121.188 \} = -907.312 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 16,636,295,585.8 + 85,007,363,788.6 - 132,636.7 \times -121.188^2 = 9.970\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -5,398.846 \times 1,145.7 / 99,695,685,432.4 = -62.043 \text{ MPa}$$

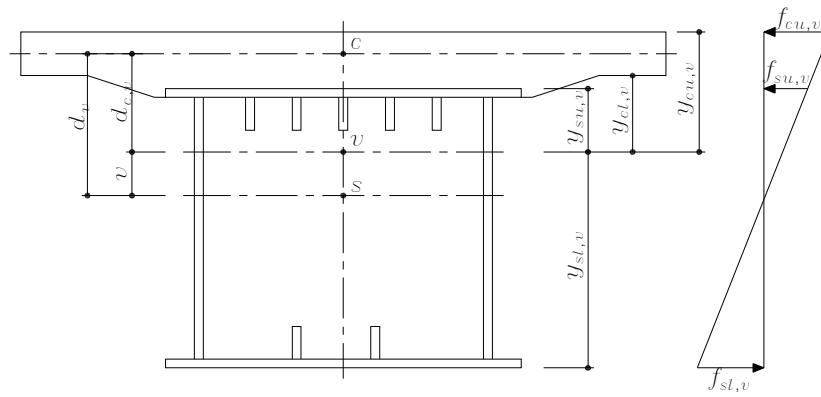
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -5,398.846 \times -907.3 / 99,695,685,432.4 = 49.134 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 4.751\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 1,058.975 / 48,600.0 + 103.806 / (2 \times 4,751,186.0 \times 12.0) = 22.700 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 132,636.7 + 25,223.5 = 157,860.1 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,145.7 - 12.0 + 50.0 + 40.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,611.7 / 25,223.5 = 1,293.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 25,223.5 \times 1,293.7 / 157,860.1 = 206.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,293.7 - 206.7 = 1,087.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 99,695,685,432.4 + 132,636.7 \times 206.7^2 + 0.0 + 25,223.5 \times 1,087.0^2 = 1.352\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,145.7 - 206.7 = 939.0 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -907.3 - 206.7 = -1,114.0 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,087.0 + (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,611.7 / 25,223.5 = 1,157.0 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,087.0 - (240.0 - 60.0 - 40.0) \times 12,611.7 / 25,223.5 = 1,017.0 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -2,696.485 \times 939.0 / 135,165,175,381.2 = -18.732 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -2,696.485 \times -1,114.0 / 135,165,175,381.2 = 22.224 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -2,696.485 \times 1,157.0 / 135,165,175,381.2 = -23.081 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -2,696.485 \times 1,017.0 / 135,165,175,381.2 = -20.288 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 4.791\text{E}+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 555.346 / 48,600.0 + 17.705 / (2 \times 4,791,131.6 \times 12.0) = 11.581 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -4,019.689 \times 939.0 / 135,165,175,381.2 = -27.924 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -4,019.689 \times -1,114.0 / 135,165,175,381.2 = 33.130 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -4,019.689 \times 1,157.0 / 135,165,175,381.2 = -34.407 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -4,019.689 \times 1,017.0 / 135,165,175,381.2 = -30.244 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 741.677 / 48,600.0 + 706.829 / (2 \times 4,791,131.6 \times 12.0) = 21.408 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 풍 하 중 [활하중 비재하시의 풍하중에 의한 응력값으로 활하중 재하시에는 계산된 값의 1/2을 적용]

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_w \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -71.542 \times 939.0 / 135,165,175,381.2 = -0.497 \text{ MPa}$$

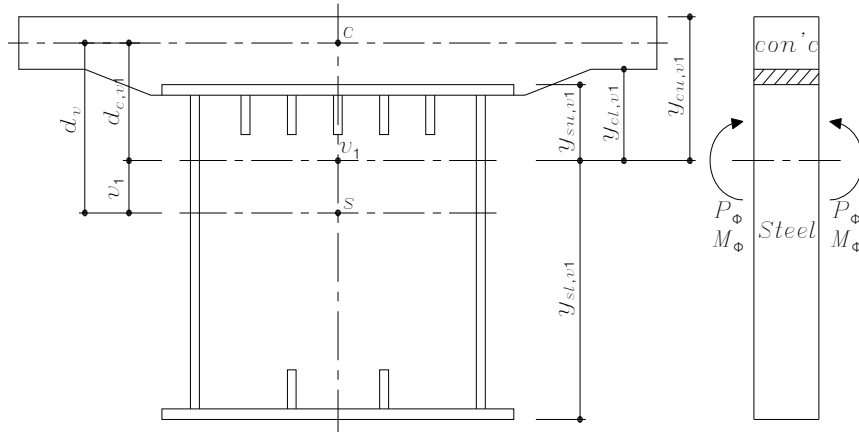
$$f_{sl,v} = M_w \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -71.542 \times -1,114.0 / 135,165,175,381.2 = 0.590 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_w \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -71.542 \times 1,157.0 / 135,165,175,381.2 = -0.087 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_w \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -71.542 \times 1,017.0 / 135,165,175,381.2 = -0.077 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} u &= V_w / A_w + M_{wt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 58.067 / 48,600.0 + 203.907 / (2 \times 4,791,131.6 \times 12.0) = 2.968 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,056,480.0 / 7.0 = 150,925.7 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 5,071,104,000.0 / 7.0 = 7.244\text{E}+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 132,636.7 + 150,925.7 = 283,562.4 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,145.7 - 12.0 + 50.0 + 240.0/2 = 1,303.7 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 150,925.7 \times 1,303.7 / 283,562.4 = 693.9 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,303.7 - 693.9 = 609.8 \text{ mm}$$

- 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 ϕ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.221 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 2.0/2) = 14.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 132,636.7 + 1,056,480.0 / 14.0 = 2.081\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,056,480.0/14.0) \times 1,303.7 / 208,099.5 = 472.8 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,303.7 - 472.8 = 830.9 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2)$$

$$= (99,695,685,432.4 + 132,636.7 \times 693.9^2) + (5,071,104,000.0/7.0 + 1,056,480.0/7.0 \times 609.8^2) = 1.920\text{E}+11 \text{ mm}^4$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1})$$

$$= -2,696.5 \times 609.8 \times 1,056,480.0 / (7.0 \times 191,981,051,771.5) = -1.293\text{E}+06 \text{ N}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1,292,681.7 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.293\text{E}+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,292,681.7 \times 830.9 = -1.074\text{E}+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{ru,v}/I_{rv}$$

$$= -1,292,681.7/157,860.1 + -0.221 \times -1,074,132,374.8 \times 1,157.0/135,165,175,381.2 = -6.157 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{rl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,292,681.7/157,860.1 + -0.221 \times -1,074,132,374.8 \times 1,017.0/135,165,175,381.2 = -6.403 \text{ MPa}$$

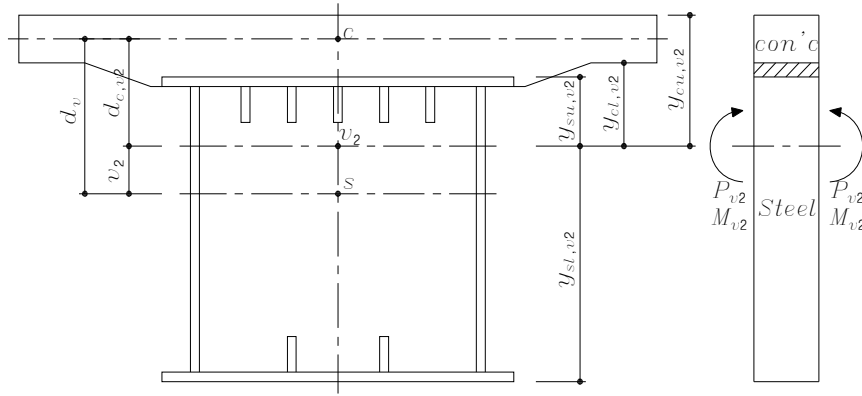
▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{su,v}/I_{rv}$$

$$= -1,292,681.7/157,860.1 + -0.221 \times -1,074,132,374.8 \times 939.0/135,165,175,381.2 = -6.540 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_{\phi}/A_v + k \cdot M_{\phi} \cdot y_{sl,v}/I_{rv}$$

$$= -1,292,681.7/157,860.1 + -0.221 \times -1,074,132,374.8 \times -1,114.0/135,165,175,381.2 = -10.145 \text{ MPa}$$



(6) 바닥판 콘크리트의 건조수축 영향

(도.설.해 3.9.2.8)

- 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 응력의 계산에 사용하는 최종수축률 ϵ_s 는 27×10^{-5} , 크리프계수 ϕ_2 는 $\phi_2 = 2 \cdot \phi_1 = 4.0$ 을 표준으로 한다.

$$\phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 7.0 \times (1 + 4.0/2) = 21.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 132,636.7 + 1,056,480.0 / 21.0 = 1.829E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,056,480.0/21.0) \times 1,303.7 / 182,945.3 = 358.5 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,303.7 - 358.5 = 945.2 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,056,480.0 / 21.0 = 2.785E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,784,579.4 \times 945.2 = 2.632E+09 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

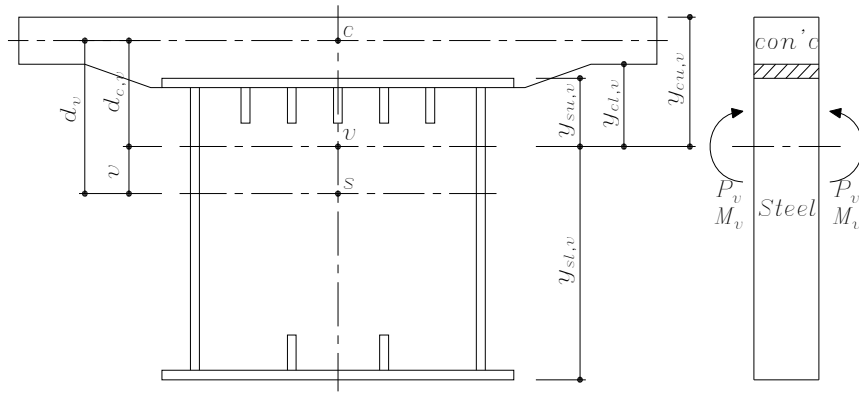
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,784,579.4/157,860.1 + -0.221 \times 2,631,938,833.3 \times 1,157.0/135,165,175,381.2 = 12.662 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,784,579.4/157,860.1 + -0.221 \times 2,631,938,833.3 \times 1,017.0/135,165,175,381.2 = 13.264 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} = 2,784,579.4/157,860.1 + -0.221 \times 2,631,938,833.3 \times 939.0/135,165,175,381.2 = 13.600 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = 2,784,579.4/157,860.1 + -0.221 \times 2,631,938,833.3 \times -1,114.0/135,165,175,381.2 = 22.432 \text{ MPa}$$



(7) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C 를 표준으로 하고 현저한 온도차가 생기는 경우에는 별도로 고려하여야 한다. 온도분포는 강재 주거더 및 바닥판 콘크리트에 있어서 각각 균일한 것으로 본다. 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 α 는 12×10^{-6} 으로 한다.

온도 변형률

$$\epsilon_t = \alpha \cdot \Delta t = 0.000012 \times 10.0 = 0.000120$$

바닥판 콘크리트에 작용하는 축력

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,056,480.0 / 7.0 = 3.713\text{E}+06 \text{ N}$$

P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 3,712,772.6 \times 609.8 = 2.264\text{E}+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

바닥판 철근 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{ru,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,712,772.6/157,860.1 + -0.221 \times 2,264,055,325.2 \times 1,157.0/135,165,175,381.2 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -5.362 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{rl,t} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ &= 3,712,772.6/157,860.1 + -0.221 \times 2,264,055,325.2 \times 1,017.0/135,165,175,381.2 \\ &\quad - 205,000.0 \times 0.000120 = -4.844 \text{ MPa} \end{aligned}$$

강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ &= 3,712,772.6/157,860.1 + -0.221 \times 2,264,055,325.2 \times 939.0/135,165,175,381.2 = 20.044 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ &= 3,712,772.6/157,860.1 + -0.221 \times 2,264,055,325.2 \times -1,114.0/135,165,175,381.2 = 27.642 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(8) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,355.999 / 48,600.0 + 103.806 / 114,028,465.1 + 724.534 / 114,987,157.4 = 55.689 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 55.7 \text{ MPa} \leq u_a = 125.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 풍하중 재하시의 전단응력

- 활하중 비재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 1,672.389 / 48,600.0 + 103.806 / 114,028,465.1 + 221.612 / 114,987,157.4 = 37.249 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 37.2 \text{ MPa} \leq 1.2 u_a = 150.0 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 활하중 재하시

$$u = (V_s + V_{sc} + V_w / 2 + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{wt} / 2 + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ = 2,385.032 / 48,600.0 + 103.806 / 114,028,465.1 + 826.488 / 114,987,157.4 = 57.173 \text{ MPa}$$

$$\ast u = 57.2 \text{ MPa} \leq 1.25 u_a = 156.3 \text{ MPa} \dots\dots \text{O.K !!}$$

(9) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\phi / n)^2 + 0.13(\phi / n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, ϕ : 응력 구배 ($\phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0.0$)

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력 (단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다)

i : 응력구배계수

n : 종리브에 의해서 구분되는 Panel의 수

- 인장 (상부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 215.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SM520B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (23 \times 1.000 \times 6) = 17.4 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$$

$$b / 23 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 46 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (46 \times 1.000 \times 6) = 8.7 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 - 4.7[b / (t_l \cdot i \cdot n) - 23] = 215.0 - 4.7\{2,400.0 / (16.0 \times 1.0 \times 6) - 23.000000\} = 205.6 \text{ MPa}$$

$$b / 46 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,400.0 / (80 \times 1.000 \times 6) = 5.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000\{(t_l \cdot i \cdot n) / b\}^2 = 220,000.0 \times \{(16.0 \times 1.0 \times 6.0 / 2,400.0)\}^2 = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 16.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 205.6 \text{ MPa}$$

$\therefore f_{ca} = 215.0 \text{ MPa}$ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

- 철근 콘크리트의 허용응력

(도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$$

(SD 400 사용)

$$f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$$

■ 슬래브와 주거더에 작용응력 및 허용응력

(도.설.해 3.9.3.1, 2.2.2.2)

하 중 조 합	RE-BAR				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	-	-	-	-	-62.043	49.134	215.000	205.600
1+2+3	-57.489	-50.532	160.000	160.000	-108.699	104.488	215.000	205.600
1+2+3+5	-63.646	-56.935	160.000	160.000	-115.239	94.343	215.000	205.600
1+2+3+5+6	-50.984	-43.671	160.000	160.000	-101.640	116.776	215.000	205.600
1+2+3+5+6+7	-56.347	-48.515	184.000	184.000	-81.595	144.418	247.250	236.440
1+2+3+5+6-7	-45.622	-38.827	184.000	184.000	-121.684	89.133	247.250	236.440
1+2+4	-23.169	-20.365	192.000	192.000	-81.272	71.948	258.000	246.720
1+2+3+0.5×4	-57.532	-50.571	200.000	200.000	-108.948	104.783	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5	-63.690	-56.974	200.000	200.000	-115.488	94.638	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6	-51.028	-43.710	200.000	200.000	-101.888	117.070	268.750	257.000
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-56.390	-48.554	216.000	216.000	-81.844	144.713	290.250	277.560
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-45.665	-38.865	216.000	216.000	-121.932	89.428	290.250	277.560

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(10) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/v_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.083	0.057	0.198	0.198	0.282	0.256	0.K !!	0.K !!
1+2+3	0.256	0.258	0.198	0.198	0.454	0.457	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5	0.287	0.211	0.198	0.198	0.486	0.409	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6	0.223	0.323	0.198	0.198	0.422	0.521	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6+7	0.109	0.373	0.198	0.198	0.307	0.572	0.K !!	0.K !!
1+2+3+5+6-7	0.242	0.142	0.198	0.198	0.441	0.341	0.K !!	0.K !!
1+2+4	0.099	0.085	0.062	0.062	0.161	0.147	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4	0.164	0.166	0.134	0.134	0.298	0.300	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	0.185	0.136	0.134	0.134	0.319	0.269	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	0.144	0.208	0.134	0.134	0.278	0.341	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	0.080	0.272	0.134	0.134	0.213	0.406	0.K !!	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	0.176	0.104	0.134	0.134	0.310	0.238	0.K !!	0.K !!
$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$								

[상 연]

$$\left(\frac{-115.239}{215.000} \right)^2 + \left(\frac{55.689}{125.000} \right) = 0.287 + 0.198 = 0.486 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

[하 연]

$$\left(\frac{144.418}{236.440} \right)^2 + \left(\frac{55.689}{125.000} \right) = 0.373 + 0.198 = 0.572 \leq 1.2 \dots\dots 0.K !!$$

(11) 판의 최소두께 검토

- 인장(상부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3, 3.8.3.1, 3.8.3.2, 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 108.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

(합성형 스테드 설치시) $t_{min} = \mathbf{10.0} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$

- 압축(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭}/16 = 120.0 / 16.0 = 7.5 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

$$t_{min} = b / (46 \cdot i \cdot n) = \mathbf{2,400.0} / (46 \times 1.0 \times 6.0) = 8.7 \leq t_{use} = 16.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{min} = b / (206 \times 1.200) = \mathbf{2,025.0} / (206 \times 1.200) = \mathbf{8.2} \leq t_{use} = 12.0 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

여기서, $\sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(215.0 / 49.134)} = 2.09 \geq \mathbf{1.20} \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$

(12) 항복에 대한 안전도 검사

(☞ 도.설.기 3.9.3.2)

- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향,

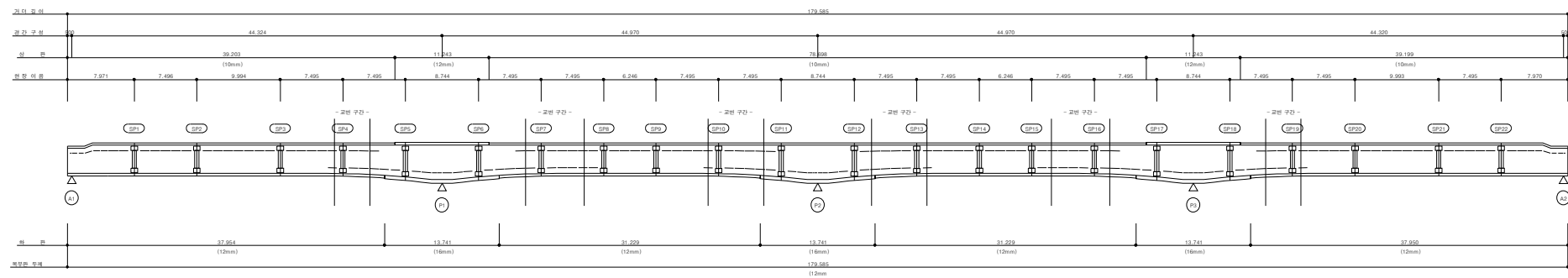
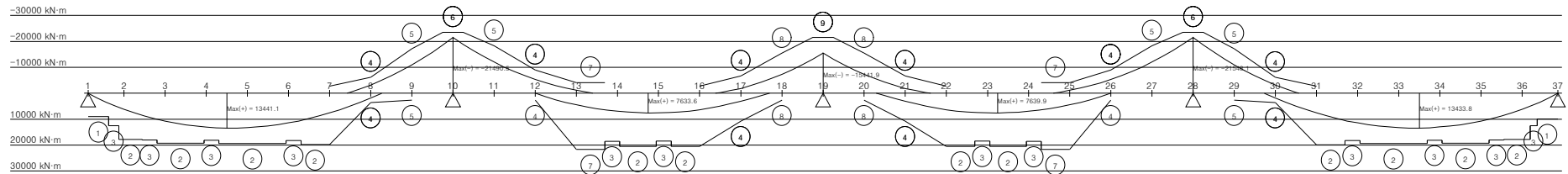
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.

- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

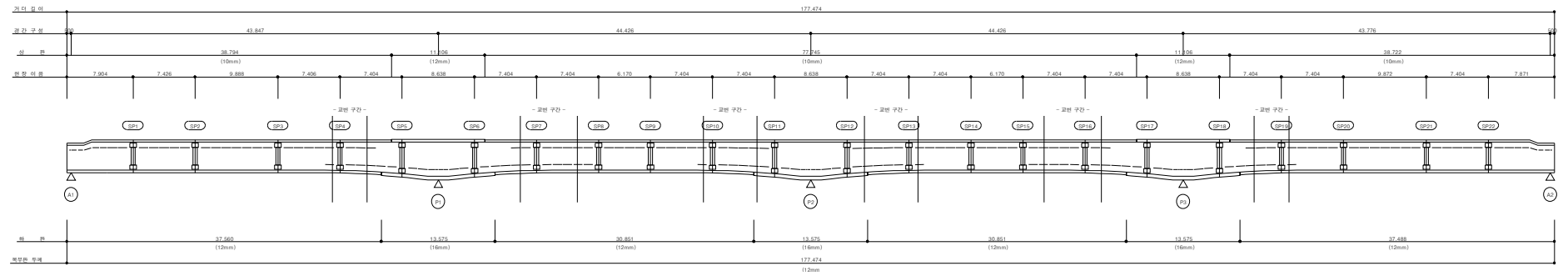
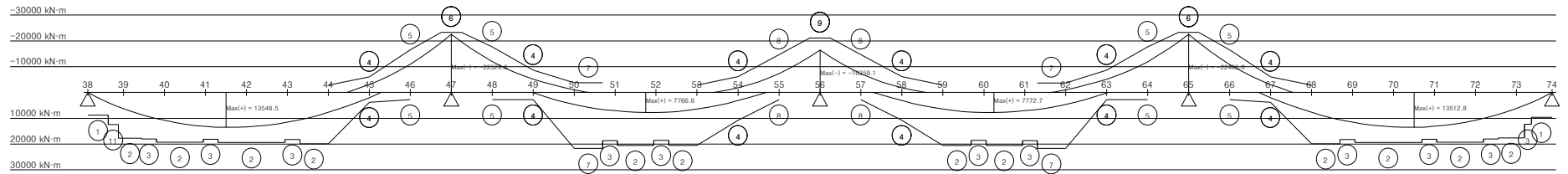
하 중 조 합	Rebar				Steel			
	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별	작용응력(MPa)		허용응력(MPa)	판 별
	상 연	하 연			상 연	하 연		
1	-	-	-	-	-80.656	63.874	355.000	0.K !!
1+2+3	-103.982	-91.399	240.000	0.K !!	-165.045	163.995	355.000	0.K !!
1+2+3+7	-109.344	-96.244	240.000	0.K !!	-185.089	191.637	355.000	0.K !!
1+2+3+5	-110.139	-97.802	240.000	0.K !!	-171.585	153.850	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6	-97.477	-84.538	240.000	0.K !!	-157.985	176.283	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6+7	-102.839	-89.383	240.000	0.K !!	-137.941	203.925	355.000	0.K !!
1+2+3+5+6-7	-92.115	-79.694	240.000	0.K !!	-178.029	148.640	355.000	0.K !!
1+2+4	-30.093	-26.452	240.000	0.K !!	-105.504	93.355	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4	-104.025	-91.438	240.000	0.K !!	-165.293	164.290	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+7	-109.388	-96.282	240.000	0.K !!	-145.249	191.932	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5	-110.183	-97.841	240.000	0.K !!	-171.833	154.145	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6	-97.521	-84.577	240.000	0.K !!	-158.234	176.577	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6+7	-102.883	-89.421	240.000	0.K !!	-138.189	204.220	355.000	0.K !!
1+2+3+0.5×4+5+6-7	-92.158	-79.732	240.000	0.K !!	-178.278	148.935	355.000	0.K !!

4.8 단면 요약도

< 거더 1 >



< 거더 2 >



5. 이음부의 설계

5.1 현장이음의 설계

1) SPLICE - 1 [G1]

(강종 : SM520B)

(도.설.해 3.3.2.1)

휨 모멘트(kN·m)		전 단 력(kN)		총비틀림 모멘트 M_t (kN·m)	상부FL. 응력 f_u (MPa)	하부FL. 응력 f_l (MPa)	허용휨 인장응력 f_{sa} (MPa)
합성전 M_s	합성후 M_v	합성전 V_s	합성후 V_v				
4,326.89	4,971.52	408.474	616.372	660.653	117.49	-111.58	215.00

사용BOLT : H.T.B (M22 F 13T) $\rho_{sa} = 63,000 \times 2 \text{면} = 126,000 \text{ N}$ (도.설.해3.3.2.3)

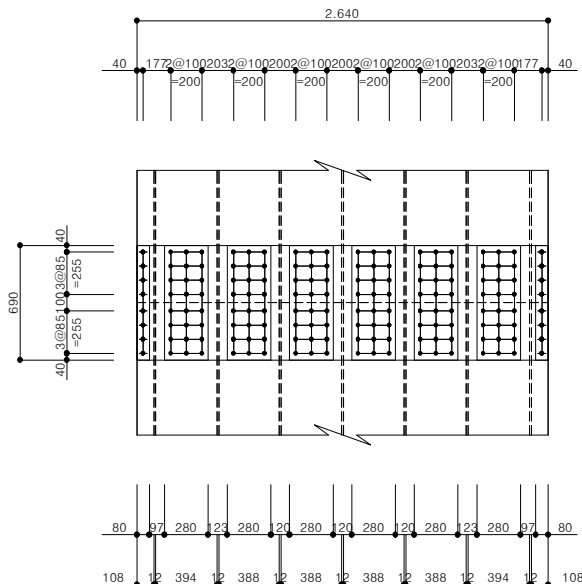
(1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

(도.설.해 3.5.3.6)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 117.5 \text{ MPa}$$

$$f_{s(min)} = 0.75 \times 215.0 = 161.3 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 (} f_u \text{) } f_s' = 161.3 \text{ MPa 적용}$$



모재두께 = 10 mm

모재길이 = 2,640 mm

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 26,400.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 34ea \Rightarrow n_t = 80ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 26,400.0 \times 161.3 / 215.0 = 19,800.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 (A_{use})

$$2 \text{ PL} - 80.0 \times 10.0 \times 690.0 = 1,600.0$$

$$6 \text{ PL} - 280.0 \times 10.0 \times 690.0 = 16,800.0$$

$$1 \text{ PL} - 2,640.0 \times 10.0 \times 690.0 = 26,400.0$$

$$\Sigma = 44,800.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_{use} = 26,400.0 \times 161.3 / 44,800.0 = 95.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

(도.설.해 3.5.3.5)

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 26,400.0 \times 161.3 / 80.0 = 53,212.5 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

- 휨에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q_s, Q_v : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q_s = 2,640.0 \times 10.0 \times (913.1 - 5.0) = 2.397E+07 \text{ mm}^3$$

$$Q_v = 2,640.0 \times 10.0 \times (295.7 - 5.0) = 7.675E+06 \text{ mm}^3$$

$$I_s = 6.789E+10 \text{ mm}^4 \text{ (합성전 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$I_v = 1.441E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성후 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$p = \text{플랜지 전폭} / \text{횡방향 BOLT수} = 2,640.0 / 20ea = 132.0 \text{ mm (볼트의 피치)}$$

$$n = 4ea \text{ (접합선에 직각방향의 볼트의 수)}$$

$$\rho_h = (V_s \cdot Q_s / I_s + V_v \cdot Q_v / I_v) \times p / n$$

$$= (408.5 \times 23,974,315.2 / 67,889,300,000.0 + 616.4$$

$$\times 7,674,823.2 / 144,081,000,000.0) \times (132.0 / 4.0) = 5,843.7 \text{ N/ea}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{2.832E+09 + 3.415E+07} = 53,532.4 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

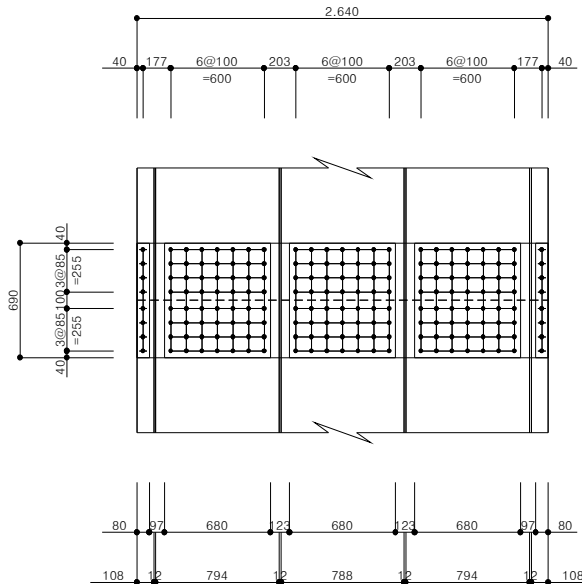
(2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

(18 도.설.해 3.5.3.6)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (18 도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 111.6 \text{ MPa}$$

$$f_s' = 0.75 \times 215.0 = 161.3 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 (} f_l \text{)} = 161.3 \text{ MPa 적용}$$



모재두께 = 12 mm

모재길이 = 2,640 mm

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 31,680.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 41ea \Rightarrow n_t = 92ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 31,680.0 \times 161.3 / 215.0 = 23,760.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 A_{use}

$$2 \text{ PL} - 80.0 \times 10.0 \times 690.0 = 1,600.0$$

$$3 \text{ PL} - 680.0 \times 10.0 \times 690.0 = 20,400.0$$

$$1 \text{ PL} - 2,640.0 \times 10.0 \times 690.0 = 26,400.0$$

$$\Sigma = 48,400.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

(18 도.설.해 3.5.3.7)

$$A_n = 48,400.0 - 25.0 \times 10.0 \times 23.0 \text{열} \times 2ea = 36,900.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_n = 31,680.0 \times 161.3 / 36,900.0 = 138.4 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

(도.설.해 3.5.3.5)

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 31,680.0 \times 161.3 / 92.0 = 55,526.1 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

- 휨에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q_s, Q_v : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q_s = 2,640.0 \times 12.0 \times (908.9 - 6.0) = 2.860E+07 \text{ mm}^3$$

$$Q_v = 2,640.0 \times 12.0 \times (1,526.3 - 6.0) = 4.816E+07 \text{ mm}^3$$

$$I_s = 6.789E+10 \text{ mm}^4 \text{ (합성전 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$I_v = 1.441E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성후 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$p = \text{플랜지전폭/횡방향1열BOLT수} = 2,640.0 / 23ea = 114.8 \text{ mm (볼트의 피치)}$$

$$n = 4ea \text{ (접합선에 직각방향의 볼트의 수)}$$

$$\rho_h = (V_s \cdot Q_s / I_s + V_v \cdot Q_v / I_v) \times p / n$$

$$= (408.5 \times 28,603,301.8 / 67,889,300,000.0 + 616.4$$

$$\times 48,162,692.2 / 144,081,000,000.0) \times (114.8 / 4.0) = 10,850.9 \text{ N/ea}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

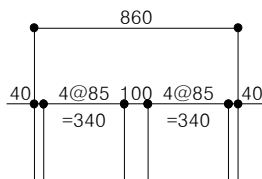
$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{3.083E+09 + 1.177E+08} = 56,576.4 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

④ 모재의 응력검토

$$A_{sn} = 12.0 \times (2,640.0 - 25.0 \times 23.0) = 24,780.0 \text{ mm}^2$$

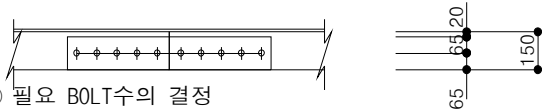
$$f_l = A_s \times f_s' / A_{sn} = 31,680.0 \times 161.3 / 24,780.0 = 206.2 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

(3) 압축부 RIB 이음 : (상부 플랜지)



RIB 폭 = 150 mm

RIB 두께 = 12 mm



① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 1,800.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 3ea \Rightarrow n = 5ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 1,800.0 \times 161.3 / 215.0 = 1,350.0 \text{ mm}^2$$

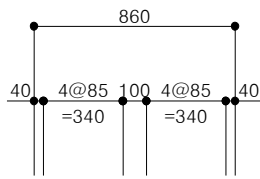
- 사용 이음판 전단면적 A_{use} ,

$$2 \text{ PL} - 130.0 \times 12.0 \times 860.0 = 3,120.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_{use} = 1,800.0 \times 161.3 / 3,120.0 = 93.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

(4) 인장부 RIB 이음 : (하부 플랜지)



RIB 폭 = 150 mm
RIB 두께 = 12 mm



① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 1,800.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 3ea \Rightarrow n = 5ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_a = 1,800.0 \times 161.3 / 215.0 = 1,350.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 (A_{use})

$$2 \text{ PL} - 130.0 \times 12.0 \times 860.0 = 3,120.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제) (도.설.해 3.5.3.7)

$$A_n = 3,120.0 - 25.0 \times 12.0 \times 2ea = 2,520.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

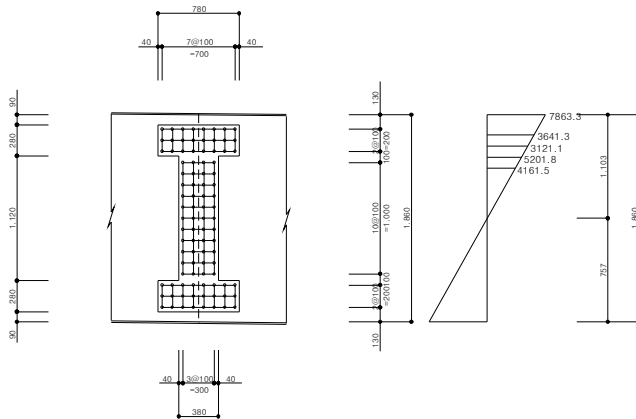
- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_n = 1,800.0 \times 161.3 / 2,520.0 = 115.2 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

(5) WEB 연결부의 계산 : (좌측 WEB)

① BOLT의 응력계산

- 휨에 의한 BOLT의 응력



Box 평균 높이 = 1,800 mm

Box 계산 높이 = 1,860 mm

WEB 두께 = 12 mm

중립축에서 연단까지 거리 h_o = 930 mm

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_u = 161.25 \text{ MPa} \\
 f_2 &= f_1 \cdot (h_o - 180) / h_o = 130.05 \text{ MPa} \\
 f_3 &= f_1 \cdot (h_o - 280) / h_o = 112.71 \text{ MPa} \\
 f_4 &= f_1 \cdot (h_o - 380) / h_o = 95.37 \text{ MPa} \\
 f_5 &= f_1 \cdot (h_o - 480) / h_o = 78.03 \text{ MPa} \\
 f_6 &= f_1 \cdot (h_o - 580) / h_o = 60.69 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

제1열 $\rho_p = (161.250 + 130.046) / 2 \times 180.0 \times 12.0 / 4ea = 78,633.6 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제2열 $\rho_p = (130.046 + 112.706) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 36,412.8 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제3열 $\rho_p = (112.706 + 95.367) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 31,211.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제4열 $\rho_p = (95.367 + 78.027) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 52,018.3 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제5열 $\rho_p = (78.027 + 60.688) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 41,614.7 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

- 전단력에 의한 BOLT의 응력 (도.설.해 3.8.2.3)

$\therefore$ 전단응력 $u = V / A_w + M_t / (2 \cdot F \cdot t_w)$ [비틀림 모멘트 고려시]

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력 : $(V_s + V_v) / 2 = (408.5 + 616.4) / 2 = 512,423.0 \text{ N}$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력 : $M_t / (2 \cdot b) = 660.7 / (2 \times 2412) = 136,951.3 \text{ N}$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$\rho_s = (512,423.0 + 136,951.3) / 46ea = 14,116.8 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

- 합성 응력의 검토

$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{(78,633.6^2 + 14,116.8^2)} = 79,890.8 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

② 이음판의 응력계산

• 복부판의 단면2차 모멘트

- 합성전 단면2차 모멘트

$$I_{sw}' = (12.0 \times 1,859.9^3) / 12 + 12.0 \times 1,859.9 \times (900.0 - 908.9)^2 = 6.436E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면2차 모멘트

$$I_{vw}' = (12.0 \times 1,859.9^3) / 12 + 12.0 \times 1,859.9 \times (1,526.3 - 900.0)^2 = 1.519E+10 \text{ mm}^4$$

• 복부판에 작용하는 모멘트

- 복부에 작용하는 합성전 고정하중에 의한 모멘트

$$M_{sw} = M_s \times I_{sw}' / I_s = 4,326.9 \times 6,435,890,268.2 / 67,889,300,000.0 = 410.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 복부에 작용하는 합성후 하중에 의한 모멘트

$$M_{vw} = M_v \times I_{vw}' / I_v = 4,971.5 \times 15,188,494,303.8 / 144,081,000,000.0 = 524.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

• 복부 이음판의 단면2차모멘트

규격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
4 - 280.0 × 10.0	11,200.0	700.0	7.840E+06	5.488E+09	7.317E+07
2 - 1,120.0 × 10.0	22,400.0	-	-	-	2.342E+09
합계	33,600.0	700.0	7.840E+06	5.488E+09	2.415E+09

$$I = I_o + AY^2 = 2,414,720,000.0 + 5,488,000,000.0 = 7.903E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성전 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 7,902,720,000.0 + 33,600.0 \times (900.0 - 908.9)^2 = 7.905E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{vw} = 7,902,720,000.0 + 33,600.0 \times (1,526.3 - 900.0)^2 = 2.108E+10 \text{ mm}^4$$

• 이음판의 응력 검토

- 합성전 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su} = 913.1 \text{ mm} \quad y_{sl} = 908.9 \text{ mm}$$

- 합성후 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su,v} = 295.7 \text{ mm} \quad y_{sl,v} = 1,526.3 \text{ mm}$$

- 이음판의 상연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_u &= (M_{sw} \cdot y_{su}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{su,v}) / I_{vw} \\ &= (410.2 \times 913.1) / 7,905,370,701.4 + (524.1 \times 295.7) / 21,081,829,654.0 \\ &= 47.379 + 7.351 = 54.730 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

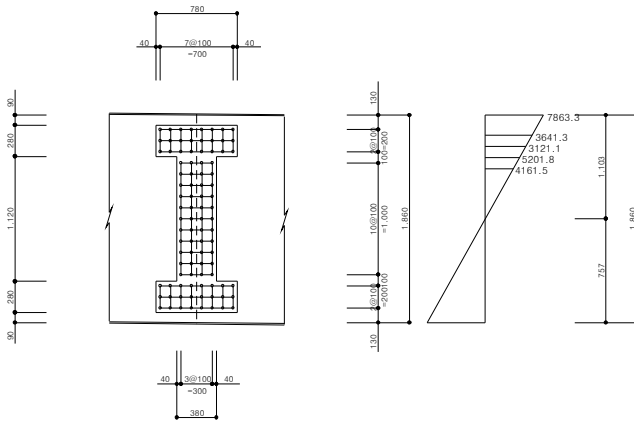
- 이음판의 하연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_l &= (M_{sw} \cdot y_{sl}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{sl,v}) / I_{vw} \\ &= (410.2 \times 908.9) / 7,905,370,701.4 + (524.1 \times 1,526.3) / 21,081,829,654.0 \\ &= 47.159 + 37.942 = 85.102 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

(6) WEB 연결부의 계산 : (우측 WEB)

① BOLT의 응력계산

- 휨에 의한 BOLT의 응력



Box 평균 높이 = 1,800 mm

Box 계산 높이 = 1,740 mm

WEB 두께 = 12 mm

중립축에서 연단까지 거리 h_o = 870 mm

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_u = 161.25 \text{ MPa} \\
 f_2 &= f_1 \cdot (h_o - 180) / h_o = 127.90 \text{ MPa} \\
 f_3 &= f_1 \cdot (h_o - 280) / h_o = 109.36 \text{ MPa} \\
 f_4 &= f_1 \cdot (h_o - 380) / h_o = 90.83 \text{ MPa} \\
 f_5 &= f_1 \cdot (h_o - 480) / h_o = 72.29 \text{ MPa} \\
 f_6 &= f_1 \cdot (h_o - 580) / h_o = 53.76 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

제1열 $\rho_p = (161.250 + 127.896) / 2 \times 180.0 \times 12.0 / 4ea = 78,053.4 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

제2열 $\rho_p = (127.896 + 109.362) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 35,588.8 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

제3열 $\rho_p = (109.362 + 90.829) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 30,028.7 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

제4열 $\rho_p = (90.829 + 72.295) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 48,937.1 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

제5열 $\rho_p = (72.295 + 53.761) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 37,816.8 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

- 전단력에 의한 BOLT의 응력 (도.설.해 3.8.2.3)

$\therefore$ 전단응력 $u = V / A_w + M_t / (2 \cdot F \cdot t_w)$ [비틀림 모멘트 고려시]

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력 : $(V_s + V_v) / 2 = (408.5 + 616.4) / 2 = 512,423.0 \text{ N}$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력 : $M_t / (2 \cdot b) = 660.7 / (2 \times 2412) = 136,951.3 \text{ N}$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$\rho_s = (512,423.0 + 136,951.3) / 44ea = 14,758.5 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

- 합성 응력의 검토

$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{(78,053.4^2 + 14,758.5^2)} = 79,436.4 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

② 이음판의 응력계산

• 복부판의 단면2차 모멘트

- 합성전 단면2차 모멘트

$$I_{sw}' = (12.0 \times 1,740.1^3) / 12 + 12.0 \times 1,740.1 \times (900.0 - 908.9)^2 = 5.270E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면2차 모멘트

$$I_{vw}' = (12.0 \times 1,740.1^3) / 12 + 12.0 \times 1,740.1 \times (1,526.3 - 900.0)^2 = 1.346E+10 \text{ mm}^4$$

• 복부판에 작용하는 모멘트

- 복부에 작용하는 합성전 고정하중에 의한 모멘트

$$M_{sw} = M_s \times I_{sw}' / I_s = 4,326.9 \times 5,270,307,109.5 / 67,889,300,000.0 = 335.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 복부에 작용하는 합성후 하중에 의한 모멘트

$$M_{vw} = M_v \times I_{vw}' / I_v = 4,971.5 \times 13,458,864,584.3 / 144,081,000,000.0 = 464.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

• 복부 이음판의 단면2차모멘트

규격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
4 - 280.0 × 10.0	11,200.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	7.317E+07
2 - 1,020.0 × 10.0	20,400.0	-	-	-	1.769E+09
합계	31,600.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	1.842E+09

$$I = I_o + AY^2 = 1,841,853,333.3 + 4,732,000,000.0 = 6.574E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성전 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 6,573,853,333.3 + 31,600.0 \times (900.0 - 908.9)^2 = 6.576E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{vw} = 6,573,853,333.3 + 31,600.0 \times (1,526.3 - 900.0)^2 = 1.897E+10 \text{ mm}^4$$

• 이음판의 응력 검토

- 합성전 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su} = 913.1 \text{ mm} \quad y_{sl} = 908.9 \text{ mm}$$

- 합성후 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su,v} = 295.7 \text{ mm} \quad y_{sl,v} = 1,526.3 \text{ mm}$$

- 이음판의 상연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_u &= (M_{sw} \cdot y_{su}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{su,v}) / I_{vw} \\ &= (335.9 \times 913.1) / 6,576,346,254.9 + (464.4 \times 295.7) / 18,968,492,174.6 \\ &= 46.639 + 7.240 = 53.879 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

- 이음판의 하연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_l &= (M_{sw} \cdot y_{sl}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{sl,v}) / I_{vw} \\ &= (335.9 \times 908.9) / 6,576,346,254.9 + (464.4 \times 1,526.3) / 18,968,492,174.6 \\ &= 46.423 + 37.368 = 83.791 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

1) SPLICE - 1 [G2]

(강종 : SM520B)

(도.설.해 3.3.2.1)

휨 모멘트(kN·m)		전 단 력(kN)		총비틀림 모멘트 M_t (kN·m)	상부FL. 응력 f_u (MPa)	하부FL. 응력 f_l (MPa)	허용휨 인장응력 f_{sa} (MPa)
합성전 M_s	합성후 M_v	합성전 V_s	합성후 V_v				
4,294.80	5,096.49	421.807	619.624	701.884	118.07	-112.52	215.00

사용BOLT : H.T.B (M22 F 13T) $\rho_{sa} = 63,000 \times 2 \text{면} = 126,000 \text{ N}$ (도.설.해3.3.2.3)

(1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

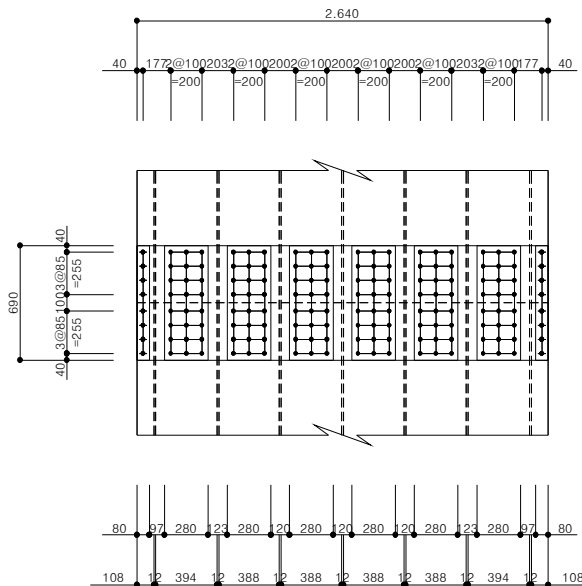
(도.설.해 3.5.3.6)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다.

(도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 118.1 \text{ MPa}$$

$$f_{s(min)} = 0.75 \times 215.0 = 161.3 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 (} f_u \text{) } f_s' = 161.3 \text{ MPa 적용}$$



모재두께 = 10 mm

모재길이 = 2,640 mm

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 26,400.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 34ea \Rightarrow n_t = 80ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 26,400.0 \times 161.3 / 215.0 = 19,800.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 (A_{use})

$$2 \text{ PL} - 80.0 \times 10.0 \times 690.0 = 1,600.0$$

$$6 \text{ PL} - 280.0 \times 10.0 \times 690.0 = 16,800.0$$

$$1 \text{ PL} - 2,640.0 \times 10.0 \times 690.0 = 26,400.0$$

$$\Sigma = 44,800.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_{use} = 26,400.0 \times 161.3 / 44,800.0 = 95.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

(도.설.해 3.5.3.5)

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 26,400.0 \times 161.3 / 80.0 = 53,212.5 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

- 휨에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q_s, Q_v : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q_s = 2,640.0 \times 10.0 \times (913.1 - 5.0) = 2.397E+07 \text{ mm}^3$$

$$Q_v = 2,640.0 \times 10.0 \times (286.0 - 5.0) = 7.419E+06 \text{ mm}^3$$

$$I_s = 6.789E+10 \text{ mm}^4 \text{ (합성전 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$I_v = 1.453E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성후 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$p = \text{플랜지 전폭} / \text{횡방향 BOLT수} = 2,640.0 / 20\text{ea} = 132.0 \text{ mm (볼트의 피치)}$$

$$n = 4\text{ea} \text{ (접합선에 직각방향의 볼트의 수)}$$

$$\begin{aligned} \rho_h &= (V_s \cdot Q_s / I_s + V_v \cdot Q_v / I_v) \times p / n \\ &= (421.8 \times 23,974,315.2 / 67,889,300,000.0 + 619.6 \\ &\quad \times 7,418,901.6 / 145,294,000,000.0) \times (132.0 / 4.0) = 5,959.6 \text{ N/ea} \end{aligned}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{2.832E+09 + 3.552E+07} = 53,545.2 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

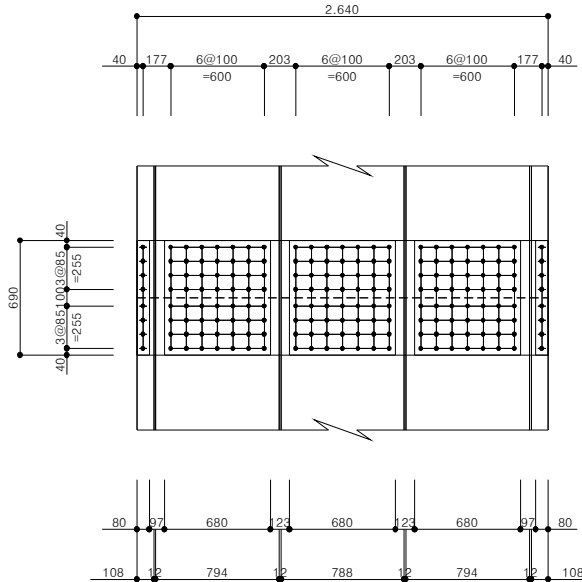
(2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

(ㄷ 도.설.해 3.5.3.6)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (ㄷ 도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 112.5 \text{ MPa}$$

$$f_s' = 0.75 \times 215.0 = 161.3 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 (} f_l \text{)} = 161.3 \text{ MPa 적용}$$



모재두께 = 12 mm

모재길이 = 2,640 mm

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 31,680.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 41ea \Rightarrow n_t = 92ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 31,680.0 \times 161.3 / 215.0 = 23,760.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 A_{use}

$$2 \text{ PL} - 80.0 \times 10.0 \times 690.0 = 1,600.0$$

$$3 \text{ PL} - 680.0 \times 10.0 \times 690.0 = 20,400.0$$

$$1 \text{ PL} - 2,640.0 \times 10.0 \times 690.0 = 26,400.0$$

$$\Sigma = 48,400.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제) (ㄷ 도.설.해 3.5.3.7)

$$A_n = 48,400.0 - 25.0 \times 10.0 \times 23.0 \text{열} \times 2ea = 36,900.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_n = 31,680.0 \times 161.3 / 36,900.0 = 138.4 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

(도.설.해 3.5.3.5)

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 31,680.0 \times 161.3 / 92.0 = 55,526.1 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

- 휨에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q_s, Q_v : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q_s = 2,640.0 \times 12.0 \times (908.9 - 6.0) = 2.860E+07 \text{ mm}^3$$

$$Q_v = 2,640.0 \times 12.0 \times (1,536.0 - 6.0) = 4.847E+07 \text{ mm}^3$$

$$I_s = 6.789E+10 \text{ mm}^4 \text{ (합성전 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$I_v = 1.453E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성후 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$p = \text{플랜지전폭/횡방향1열BOLT수} = 2,640.0 / 23ea = 114.8 \text{ mm (볼트의 피치)}$$

$$n = 4ea \text{ (접합선에 직각방향의 볼트의 수)}$$

$$\begin{aligned} \rho_h &= (V_s \cdot Q_s / I_s + V_v \cdot Q_v / I_v) \times p / n \\ &= (421.8 \times 28,603,301.8 / 67,889,300,000.0 + 619.6 \\ &\quad \times 48,469,798.1 / 145,294,000,000.0) \times (114.8 / 4.0) = 11,031.2 \text{ N/ea} \end{aligned}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

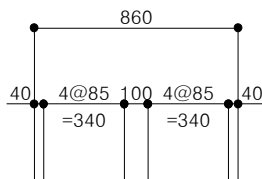
$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{3.083E+09 + 1.217E+08} = 56,611.3 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

④ 모재의 응력검토

$$A_{sn} = 12.0 \times (2,640.0 - 25.0 \times 23.0) = 24,780.0 \text{ mm}^2$$

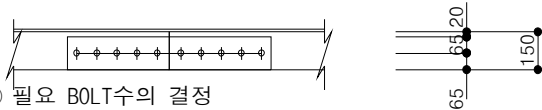
$$f_l = A_s \times f_s' / A_{sn} = 31,680.0 \times 161.3 / 24,780.0 = 206.2 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

(3) 압축부 RIB 이음 : (상부 플랜지)



RIB 폭 = 150 mm

RIB 두께 = 12 mm



① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 1,800.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 3ea \Rightarrow n = 5ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 1,800.0 \times 161.3 / 215.0 = 1,350.0 \text{ mm}^2$$

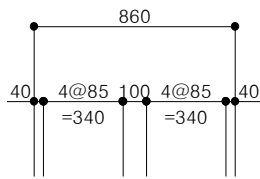
- 사용 이음판 전단면적 A_{use}

$$2 \text{ PL} - 130.0 \times 12.0 \times 860.0 = 3,120.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

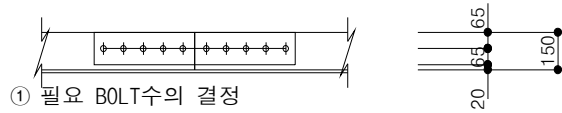
- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_{use} = 1,800.0 \times 161.3 / 3,120.0 = 93.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

(4) 인장부 RIB 이음 : (하부 플랜지)



RIB 폭 = 150 mm
RIB 두께 = 12 mm



① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 1,800.0 \times 161.3 / 126,000.0 = 3ea \Rightarrow n = 5ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_a = 1,800.0 \times 161.3 / 215.0 = 1,350.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 (A_{use})

$$2 \text{ PL} - 130.0 \times 12.0 \times 860.0 = 3,120.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제) (도.설.해 3.5.3.7)

$$A_n = 3,120.0 - 25.0 \times 12.0 \times 2ea = 2,520.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

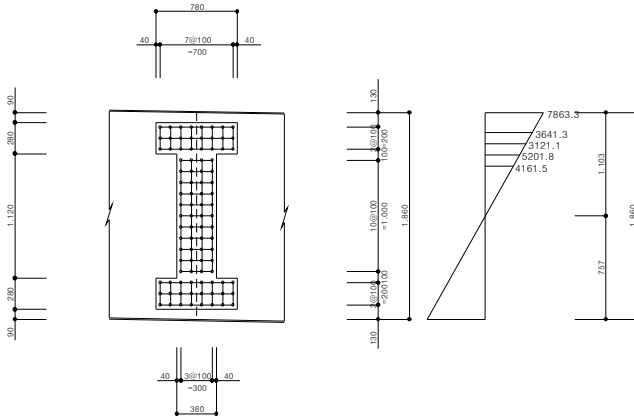
- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_n = 1,800.0 \times 161.3 / 2,520.0 = 115.2 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

(5) WEB 연결부의 계산 : (좌측 WEB)

① BOLT의 응력계산

- 휨에 의한 BOLT의 응력



Box 평균 높이 = 1,800 mm

Box 계산 높이 = 1,860 mm

WEB 두께 = 12 mm

중립축에서 연단까지 거리 h_o = 930 mm

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_u = 161.25 \text{ MPa} \\
 f_2 &= f_1 \cdot (h_o - 180) / h_o = 130.05 \text{ MPa} \\
 f_3 &= f_1 \cdot (h_o - 280) / h_o = 112.71 \text{ MPa} \\
 f_4 &= f_1 \cdot (h_o - 380) / h_o = 95.37 \text{ MPa} \\
 f_5 &= f_1 \cdot (h_o - 480) / h_o = 78.03 \text{ MPa} \\
 f_6 &= f_1 \cdot (h_o - 580) / h_o = 60.69 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

제1열 $\rho_p = (161.250 + 130.046) / 2 \times 180.0 \times 12.0 / 4ea = 78,633.6 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제2열 $\rho_p = (130.046 + 112.706) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 36,412.8 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제3열 $\rho_p = (112.706 + 95.367) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 31,211.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제4열 $\rho_p = (95.367 + 78.027) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 52,018.3 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

제5열 $\rho_p = (78.027 + 60.688) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 41,614.7 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

- 전단력에 의한 BOLT의 응력 (도.설.해 3.8.2.3)

$\therefore$ 전단응력 $u = V / A_w + M_t / (2 \cdot F \cdot t_w)$ [비틀림 모멘트 고려시]

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력 : $(V_s + V_v) / 2 = (421.8 + 619.6) / 2 = 520,715.5 \text{ N}$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력 : $M_t / (2 \cdot b) = 701.9 / (2 \times 2412) = 145,498.3 \text{ N}$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$\rho_s = (520,715.5 + 145,498.3) / 46ea = 14,482.9 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

- 합성 응력의 검토

$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{(78,633.6^2 + 14,482.9^2)} = 79,956.3 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$

② 이음판의 응력계산

• 복부판의 단면2차 모멘트

- 합성전 단면2차 모멘트

$$I_{sw}' = (12.0 \times 1,859.9^3) / 12 + 12.0 \times 1,859.9 \times (900.0 - 908.9)^2 = 6.436E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면2차 모멘트

$$I_{vw}' = (12.0 \times 1,859.9^3) / 12 + 12.0 \times 1,859.9 \times (1,536.0 - 900.0)^2 = 1.546E+10 \text{ mm}^4$$

• 복부판에 작용하는 모멘트

- 복부에 작용하는 합성전 고정하중에 의한 모멘트

$$M_{sw} = M_s \times I_{sw}' / I_s = 4,294.8 \times 6,435,890,268.2 / 67,889,300,000.0 = 407.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 복부에 작용하는 합성후 하중에 의한 모멘트

$$M_{vw} = M_v \times I_{vw}' / I_v = 5,096.5 \times 15,461,601,053.3 / 145,294,000,000.0 = 542.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

• 복부 이음판의 단면2차모멘트

규격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
4 - 280.0 × 10.0	11,200.0	700.0	7.840E+06	5.488E+09	7.317E+07
2 - 1,120.0 × 10.0	22,400.0	-	-	-	2.342E+09
합계	33,600.0	700.0	7.840E+06	5.488E+09	2.415E+09

$$I = I_o + AY^2 = 2,414,720,000.0 + 5,488,000,000.0 = 7.903E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성전 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 7,902,720,000.0 + 33,600.0 \times (900.0 - 908.9)^2 = 7.905E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{vw} = 7,902,720,000.0 + 33,600.0 \times (1,536.0 - 900.0)^2 = 2.149E+10 \text{ mm}^4$$

• 이음판의 응력 검토

- 합성전 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su} = 913.1 \text{ mm} \quad y_{sl} = 908.9 \text{ mm}$$

- 합성후 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su,v} = 286.0 \text{ mm} \quad y_{sl,v} = 1,536.0 \text{ mm}$$

- 이음판의 상연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_u &= (M_{sw} \cdot y_{su}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{su,v}) / I_{vw} \\ &= (407.1 \times 913.1) / 7,905,370,701.4 + (542.3 \times 286.0) / 21,492,973,567.3 \\ &= 47.028 + 7.217 = 54.245 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

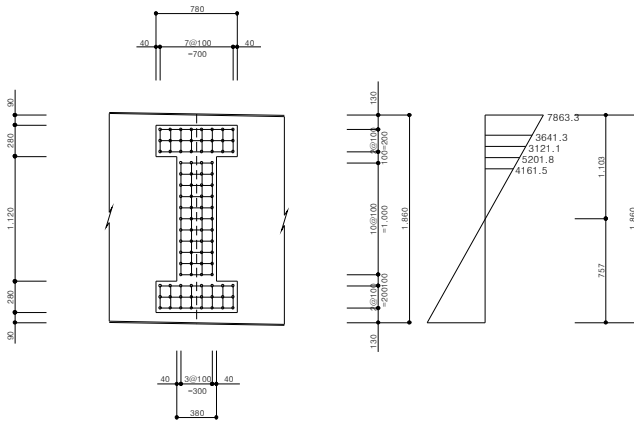
- 이음판의 하연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_l &= (M_{sw} \cdot y_{sl}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{sl,v}) / I_{vw} \\ &= (407.1 \times 908.9) / 7,905,370,701.4 + (542.3 \times 1,536.0) / 21,492,973,567.3 \\ &= 46.810 + 38.759 = 85.568 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

(6) WEB 연결부의 계산 : (우측 WEB)

① BOLT의 응력계산

- 휨에 의한 BOLT의 응력



Box 평균 높이 = 1,800 mm

Box 계산 높이 = 1,740 mm

WEB 두께 = 12 mm

중립축에서 연단까지 거리 h_o = 870 mm

$$\begin{aligned}
 f_1 &= f_u = 161.25 \text{ MPa} \\
 f_2 &= f_1 \cdot (h_o - 180) / h_o = 127.90 \text{ MPa} \\
 f_3 &= f_1 \cdot (h_o - 280) / h_o = 109.36 \text{ MPa} \\
 f_4 &= f_1 \cdot (h_o - 380) / h_o = 90.83 \text{ MPa} \\
 f_5 &= f_1 \cdot (h_o - 480) / h_o = 72.29 \text{ MPa} \\
 f_6 &= f_1 \cdot (h_o - 580) / h_o = 53.76 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\text{제1열 } \rho_p = (161.250 + 127.896) / 2 \times 180.0 \times 12.0 / 4ea = 78,053.4 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제2열 } \rho_p = (127.896 + 109.362) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 35,588.8 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제3열 } \rho_p = (109.362 + 90.829) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 4ea = 30,028.7 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제4열 } \rho_p = (90.829 + 72.295) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 48,937.1 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제5열 } \rho_p = (72.295 + 53.761) / 2 \times 100.0 \times 12.0 / 2ea = 37,816.8 \text{ N/ea} \geq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

- 전단력에 의한 BOLT의 응력 (18 도.설.해 3.8.2.3)

$$\therefore \text{전단응력 } u = V / A_w + M_t / (2 \cdot F \cdot t_w) \quad [\text{비틀림 모멘트 고려시}]$$

$$- \text{한쪽 복부판이 부담하는 전단력} : (V_s + V_v) / 2 = (421.8 + 619.6) / 2 = 520,715.5 \text{ N}$$

$$- \text{비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력} : M_t / (2 \cdot b) = 701.9 / (2 \times 2412) = 145,498.3 \text{ N}$$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = (520,715.5 + 145,498.3) / 44ea = 15,141.2 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

- 합성 응력의 검토

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{(78,053.4^2 + 15,141.2^2)} = 79,508.4 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

② 이음판의 응력계산

• 복부판의 단면2차 모멘트

- 합성전 단면2차 모멘트

$$I_{sw}' = (12.0 \times 1,740.1^3) / 12 + 12.0 \times 1,740.1 \times (900.0 - 908.9)^2 = 5.270E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면2차 모멘트

$$I_{vw}' = (12.0 \times 1,740.1^3) / 12 + 12.0 \times 1,740.1 \times (1,536.0 - 900.0)^2 = 1.371E+10 \text{ mm}^4$$

• 복부판에 작용하는 모멘트

- 복부에 작용하는 합성전 고정하중에 의한 모멘트

$$M_{sw} = M_s \times I_{sw}' / I_s = 4,294.8 \times 5,270,307,109.5 / 67,889,300,000.0 = 333.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 복부에 작용하는 합성후 하중에 의한 모멘트

$$M_{vw} = M_v \times I_{vw}' / I_v = 5,096.5 \times 13,714,371,437.6 / 145,294,000,000.0 = 481.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

• 복부 이음판의 단면2차모멘트

규격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
4 - 280.0 × 10.0	11,200.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	7.317E+07
2 - 1,020.0 × 10.0	20,400.0	-	-	-	1.769E+09
합계	31,600.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	1.842E+09

$$I = I_o + AY^2 = 1,841,853,333.3 + 4,732,000,000.0 = 6.574E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성전 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 6,573,853,333.3 + 31,600.0 \times (900.0 - 908.9)^2 = 6.576E+09 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{vw} = 6,573,853,333.3 + 31,600.0 \times (1,536.0 - 900.0)^2 = 1.936E+10 \text{ mm}^4$$

• 이음판의 응력 검토

- 합성전 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su} = 913.1 \text{ mm} \quad y_{sl} = 908.9 \text{ mm}$$

- 합성후 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su,v} = 286.0 \text{ mm} \quad y_{sl,v} = 1,536.0 \text{ mm}$$

- 이음판의 상연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_u &= (M_{sw} \cdot y_{su}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{su,v}) / I_{vw} \\ &= (333.4 \times 913.1) / 6,576,346,254.9 + (481.1 \times 286.0) / 19,355,163,235.9 \\ &= 46.293 + 7.109 = 53.402 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

- 이음판의 하연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_l &= (M_{sw} \cdot y_{sl}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{sl,v}) / I_{vw} \\ &= (333.4 \times 908.9) / 6,576,346,254.9 + (481.1 \times 1,536.0) / 19,355,163,235.9 \\ &= 46.079 + 38.176 = 84.255 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots 0.K !! \end{aligned}$$

5.1 현장이음 표

[G - 1]

구 분	휨 모멘트(kN·m)		전 단 력(kN)		M_t (kN·m)	f_u (MPa)	f_l (MPa)	f_{sa} (MPa)	ρ_{sa} (N)
	M_s	M_v	V_s	V_v					
SP1	4,326.89	4,971.52	408.47	616.37	660.65	117.49	-111.58	215.0	126,000
SP2	6,199.96	6,976.16	83.90	423.36	368.54	129.55	-156.59	215.0	126,000
SP3	4,866.37	6,204.30	356.03	548.33	432.25	118.77	-130.63	215.0	126,000
SP4	977.38	3,218.34	681.86	826.77	538.40	50.00	-41.58	215.0	126,000
SP5	-5,425.26	-6,646.22	1,017.91	1,113.78	625.16	-114.64	142.93	215.0	126,000
SP6	-5,983.54	-7,068.17	890.12	1,054.90	651.13	-124.25	153.08	215.0	126,000
SP7	-555.87	-3,003.01	551.80	763.39	468.23	-38.31	90.06	215.0	126,000
SP8	2,345.40	4,398.64	222.93	475.70	340.56	72.18	-77.72	215.0	126,000
SP9	2,840.55	4,717.55	64.76	369.18	369.05	81.35	-87.73	215.0	126,000
SP10	1,136.85	3,345.64	390.15	658.29	486.77	53.37	-44.60	215.0	126,000
SP11	-3,080.67	-5,110.54	731.55	949.94	575.53	-82.05	102.48	215.0	126,000
SP12	-3,081.34	-5,112.55	732.21	949.71	574.69	-82.07	102.49	215.0	126,000
SP13	1,138.76	3,345.89	390.36	658.57	487.47	53.40	-44.64	215.0	126,000
SP14	2,844.04	4,719.68	64.95	369.25	369.83	81.41	-87.80	215.0	126,000
SP15	2,350.13	4,402.37	222.69	475.58	340.83	72.25	-77.82	215.0	126,000
SP16	-549.68	-2,960.11	551.60	763.47	467.81	-37.90	89.54	215.0	126,000
SP17	-5,981.30	-7,071.99	893.85	1,058.36	665.78	-124.24	153.08	215.0	126,000
SP18	-5,427.28	-6,655.11	1,020.14	1,115.66	664.16	-114.70	142.97	215.0	126,000
SP19	975.40	3,214.47	681.22	827.31	595.38	49.97	-41.53	215.0	126,000
SP20	4,859.75	6,202.91	355.35	548.01	487.70	118.66	-130.50	215.0	126,000
SP21	6,189.81	6,978.76	84.21	423.25	345.93	129.39	-156.43	215.0	126,000
SP22	4,322.43	4,977.88	406.77	615.27	701.89	117.42	-111.53	215.0	126,000

• 상부 플랜지 연결부 관련 검토

구 분	상부플랜지이음부설계응력(MPa)				모재 두께 (mm)	모재 길이 (mm)	상부이음판단면적검토(mm ²)			상부이음판응력검토(MPa)		
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	구분			A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	117.49	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP2	129.55	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP3	118.77	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP4	50.00	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP5	114.64	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP6	124.25	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP7	38.31	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	34,800.0	0.K	215.0	122.3	0.K
SP8	72.18	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP9	81.35	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP10	53.37	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP11	82.05	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	36,900.0	0.K	215.0	115.4	0.K
SP12	82.07	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	36,900.0	0.K	215.0	115.4	0.K
SP13	53.40	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP14	81.41	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP15	72.25	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP16	37.90	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	34,800.0	0.K	215.0	122.3	0.K
SP17	124.24	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP18	114.70	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP19	49.97	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP20	118.66	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP21	129.39	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP22	117.42	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K

구 분	BOLT 규격		BOLT수 결정				Q_s (mm ³)	Q_v (mm ³)	I_s (mm ⁴)	I_v (mm ⁴)	p (mm)
			n_{lreq}	n_{luse}	판정	n					
SP1	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP2	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP3	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP4	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.66E+06	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP5	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.97E+07	9.97E+10	1.34E+11	114.78
SP6	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.97E+07	9.96E+10	1.34E+11	114.78
SP7	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	2.00E+07	7.42E+10	1.00E+11	132.00
SP8	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP9	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP10	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.66E+06	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP11	M22	F13T	34	92	0.K	4	3.12E+07	2.56E+07	9.29E+10	1.30E+11	114.78
SP12	M22	F13T	34	92	0.K	4	3.12E+07	2.56E+07	9.29E+10	1.30E+11	114.78
SP13	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.66E+06	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP14	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP15	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP16	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	2.00E+07	7.42E+10	1.00E+11	132.00
SP17	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.97E+07	9.96E+10	1.34E+11	114.78
SP18	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.97E+07	9.97E+10	1.34E+11	114.78
SP19	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.66E+06	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP20	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP21	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00
SP22	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.67E+06	6.79E+10	1.44E+11	132.00

구 분	BOLT 응력 검토(N/ea)					A_n (mm ²)	모재 응력 검토(MPa)		
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정		f_{sa}	f	판정
SP1	1.26E+05	5.32E+04	5.84E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP2	1.26E+05	5.32E+04	1.72E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP3	1.26E+05	5.32E+04	5.11E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP4	1.26E+05	5.32E+04	9.07E+03	5.40E+04	0.K	-	-	-	-
SP5	1.26E+05	5.55E+04	1.77E+04	5.83E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP6	1.26E+05	5.55E+04	1.60E+04	5.78E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP7	1.26E+05	5.32E+04	1.12E+04	5.44E+04	0.K	2.14E+04	215.0	198.9	0.K
SP8	1.26E+05	5.32E+04	3.43E+03	5.33E+04	0.K	-	-	-	-
SP9	1.26E+05	5.32E+04	1.40E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP10	1.26E+05	5.32E+04	5.52E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP11	1.26E+05	4.63E+04	1.24E+04	4.79E+04	0.K	2.07E+04	215.0	206.2	0.K
SP12	1.26E+05	4.63E+04	1.24E+04	4.79E+04	0.K	2.07E+04	215.0	206.2	0.K
SP13	1.26E+05	5.32E+04	5.53E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP14	1.26E+05	5.32E+04	1.41E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP15	1.26E+05	5.32E+04	3.43E+03	5.33E+04	0.K	-	-	-	-
SP16	1.26E+05	5.32E+04	1.12E+04	5.44E+04	0.K	2.14E+04	215.0	198.9	0.K
SP17	1.26E+05	5.55E+04	1.60E+04	5.78E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP18	1.26E+05	5.55E+04	1.77E+04	5.83E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP19	1.26E+05	5.32E+04	9.07E+03	5.40E+04	0.K	-	-	-	-
SP20	1.26E+05	5.32E+04	5.10E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP21	1.26E+05	5.32E+04	1.73E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP22	1.26E+05	5.32E+04	5.82E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-

구 분	RIB 두께 (mm)	RIB 폭 (mm)	BOLT수 결정			RIB이음판단면적검토(mm ²)			상부이음판응력검토(MPa)		
			n_{req}	n_{use}	판정	A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP2	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP3	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP4	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP5	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP6	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP7	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP8	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP9	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP10	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP11	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP12	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP13	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP14	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP15	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP16	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP17	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP18	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP19	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP20	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP21	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP22	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K

• 하부 플랜지 연결부 관련 검토

구 분	하부플랜지이음부설계응력(MPa)				모재 두께 (mm)	모재 길이 (mm)	하부이음판단면적검토(mm ²)			하부이음판 응력검토(MPa)		
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	구분			A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	111.58	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP2	156.59	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP3	130.63	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP4	41.58	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP5	142.93	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP6	153.08	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP7	90.06	161.25	161.25	압축	12	2,640	23,760.0	44,800.0	0.K	215.0	114.0	0.K
SP8	77.72	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP9	87.73	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP10	44.60	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP11	102.48	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP12	102.49	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP13	44.64	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP14	87.80	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP15	77.82	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP16	89.54	161.25	161.25	압축	12	2,640	23,760.0	44,800.0	0.K	215.0	114.0	0.K
SP17	153.08	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP18	142.97	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP19	41.53	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP20	130.50	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP21	156.43	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP22	111.53	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K

구 분	BOLT 규격		BOLT수 결정				Q_s (mm ³)	Q_v (mm ³)	I_s (mm ⁴)	I_v (mm ⁴)	p (mm)
			n_{req}	n_{use}	판정	n					
SP1	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP2	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP3	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP4	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.73E+07	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP5	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.65E+07	9.97E+10	1.34E+11	132.00
SP6	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.65E+07	9.96E+10	1.34E+11	132.00
SP7	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	3.37E+07	7.42E+10	1.00E+11	132.00
SP8	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP9	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP10	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.73E+07	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP11	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.61E+07	4.52E+07	9.29E+10	1.30E+11	132.00
SP12	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.61E+07	4.52E+07	9.29E+10	1.30E+11	132.00
SP13	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.73E+07	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP14	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP15	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP16	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	3.37E+07	7.42E+10	1.00E+11	132.00
SP17	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.65E+07	9.96E+10	1.34E+11	132.00
SP18	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.65E+07	9.97E+10	1.34E+11	132.00
SP19	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.73E+07	7.42E+10	1.60E+11	132.00
SP20	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP21	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78
SP22	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.82E+07	6.79E+10	1.44E+11	114.78

구 분	BOLT 합성 응력 검토(N/ea)					A_n (mm ²)	모재 응력 검토(MPa)		
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정		f_{sa}	f	판정
SP1	1.26E+05	5.55E+04	1.09E+04	5.66E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP2	1.26E+05	5.55E+04	5.08E+03	5.58E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP3	1.26E+05	5.55E+04	9.56E+03	5.63E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP4	1.26E+05	6.39E+04	1.64E+04	6.59E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP5	1.26E+05	8.51E+04	2.55E+04	8.89E+04	0.K	-	-	-	-
SP6	1.26E+05	8.51E+04	2.33E+04	8.83E+04	0.K	-	-	-	-
SP7	1.26E+05	6.39E+04	1.52E+04	6.56E+04	0.K	-	-	-	-
SP8	1.26E+05	5.55E+04	7.26E+03	5.60E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP9	1.26E+05	5.55E+04	4.32E+03	5.57E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP10	1.26E+05	6.39E+04	1.12E+04	6.48E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP11	1.26E+05	8.51E+04	2.03E+04	8.75E+04	0.K	-	-	-	-
SP12	1.26E+05	8.51E+04	2.03E+04	8.75E+04	0.K	-	-	-	-
SP13	1.26E+05	6.39E+04	1.12E+04	6.48E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP14	1.26E+05	5.55E+04	4.33E+03	5.57E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP15	1.26E+05	5.55E+04	7.25E+03	5.60E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP16	1.26E+05	6.39E+04	1.52E+04	6.56E+04	0.K	-	-	-	-
SP17	1.26E+05	8.51E+04	2.34E+04	8.83E+04	0.K	-	-	-	-
SP18	1.26E+05	8.51E+04	2.56E+04	8.89E+04	0.K	-	-	-	-
SP19	1.26E+05	6.39E+04	1.64E+04	6.59E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP20	1.26E+05	5.55E+04	9.55E+03	5.63E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP21	1.26E+05	5.55E+04	5.08E+03	5.58E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP22	1.26E+05	5.55E+04	1.08E+04	5.66E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K

구 분	RIB 두께 (mm)	RIB 폭 (mm)	BOLT수 결정			RIB이음판단면적검토(mm ²)			하부이음판응력검토(MPa)		
			n_{req}	n_{use}	판정	A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP2	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP3	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP4	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP5	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP6	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP7	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP8	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP9	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP10	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP11	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP12	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP13	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP14	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP15	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP16	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP17	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP18	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP19	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP20	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP21	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP22	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K

• WEB 연결부 관련 검토 (좌측 WEB)

구 분	BOX 높이(mm)		WEB 두께 (mm)	h_o (mm)	WEB 이음부설계응력(MPa)					
	평균높이	계산높이			f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
SP1	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP2	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP3	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP4	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP5	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP6	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP7	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP8	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP9	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP10	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP11	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP12	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP13	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP14	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP15	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP16	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP17	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP18	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP19	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP20	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP21	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP22	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69

구 분	BOLT 개수(ea)						접합선 직각 방향 BOLT 응력 검토(N/ea)							
	n_t	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	ρ_{sa}	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	판정	
SP1	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP2	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP3	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP4	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP5	52	4	4	4	2	2	126,000	64,189	39,445	34,805	60,328	51,047	0.K	
SP6	52	4	4	4	2	2	126,000	64,185	39,446	34,805	60,329	51,047	0.K	
SP7	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP8	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP9	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP10	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP11	52	4	4	4	2	2	126,000	64,187	39,446	34,805	60,329	51,047	0.K	
SP12	52	4	4	4	2	2	126,000	64,185	39,446	34,805	60,329	51,047	0.K	
SP13	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP14	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP15	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP16	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP17	52	4	4	4	2	2	126,000	64,187	39,446	34,805	60,329	51,047	0.K	
SP18	52	4	4	4	2	2	126,000	64,185	39,446	34,805	60,329	51,047	0.K	
SP19	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP20	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP21	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP22	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	

구 분	BOLT 합성 응력 검토(N/ea)					WEB 강성(mm ⁴)		WEB 작용력(N·mm)	
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_s	ρ	판정	I_{sw}'	I_{vw}'	M_{sw}	M_{vw}
SP1	126,000.00	78,633.64	14,116.83	79,890.76	0.K	6.44E+09	1.52E+10	4.10E+08	5.24E+08
SP2	126,000.00	78,633.64	7,174.43	78,960.25	0.K	6.44E+09	1.52E+10	5.88E+08	7.35E+08
SP3	126,000.00	78,633.64	11,777.90	79,510.80	0.K	6.44E+09	1.52E+10	4.61E+08	6.54E+08
SP4	126,000.00	80,425.39	18,824.40	82,599.04	0.K	6.54E+09	1.44E+10	8.62E+07	2.91E+08
SP5	126,000.00	64,189.26	22,989.19	68,181.84	0.K	9.34E+09	9.29E+09	5.08E+08	4.60E+08
SP6	126,000.00	64,185.46	21,297.84	67,626.70	0.K	9.34E+09	9.29E+09	5.61E+08	4.90E+08
SP7	126,000.00	80,424.61	16,405.58	82,080.82	0.K	6.54E+09	7.13E+09	4.90E+07	2.14E+08
SP8	126,000.00	78,633.64	9,128.52	79,161.72	0.K	6.44E+09	1.52E+10	2.22E+08	4.64E+08
SP9	126,000.00	78,633.64	6,379.78	78,892.02	0.K	6.44E+09	1.52E+10	2.69E+08	4.97E+08
SP10	126,000.00	80,424.61	13,589.67	81,564.68	0.K	6.54E+09	1.44E+10	1.00E+08	3.02E+08
SP11	126,000.00	64,186.73	18,462.52	66,789.23	0.K	9.62E+09	9.17E+09	3.19E+08	3.62E+08
SP12	126,000.00	64,185.46	18,463.32	66,788.23	0.K	9.62E+09	9.17E+09	3.19E+08	3.62E+08
SP13	126,000.00	80,424.61	13,598.12	81,566.09	0.K	6.54E+09	1.44E+10	1.00E+08	3.02E+08
SP14	126,000.00	78,633.64	6,386.19	78,892.53	0.K	6.44E+09	1.52E+10	2.70E+08	4.98E+08
SP15	126,000.00	78,633.64	9,125.79	79,161.41	0.K	6.44E+09	1.52E+10	2.23E+08	4.64E+08
SP16	126,000.00	80,424.61	16,402.40	82,080.19	0.K	6.54E+09	7.13E+09	4.85E+07	2.11E+08
SP17	126,000.00	64,186.73	21,425.37	67,668.18	0.K	9.34E+09	9.29E+09	5.61E+08	4.90E+08
SP18	126,000.00	64,185.46	23,184.18	68,244.26	0.K	9.34E+09	9.29E+09	5.08E+08	4.61E+08
SP19	126,000.00	80,424.61	19,080.06	82,656.92	0.K	6.54E+09	1.44E+10	8.60E+07	2.90E+08
SP20	126,000.00	78,633.64	12,016.98	79,546.57	0.K	6.44E+09	1.52E+10	4.61E+08	6.54E+08
SP21	126,000.00	78,633.64	7,074.79	78,951.26	0.K	6.44E+09	1.52E+10	5.87E+08	7.36E+08
SP22	126,000.00	78,633.64	14,272.17	79,918.36	0.K	6.44E+09	1.52E+10	4.10E+08	5.25E+08

구 분	WEB 이음판 강성(mm ⁴)		합성전 이음판까지 거리(mm)		합성후 이음판까지 거리(mm)		이음판 상하연 응력검토(MPa)			
	I_{sw}	I_{vw}	y_{su}	y_{sl}	$y_{su,v}$	$y_{sl,v}$	f_{sa}	f_u	f_l	판정
SP1	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	5.47E+01	8.51E+01	0.K
SP2	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	7.82E+01	1.21E+02	0.K
SP3	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	6.25E+01	1.00E+02	0.K
SP4	7.93E+09	1.97E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.53E+01	3.16E+01	0.K
SP5	1.34E+10	1.33E+10	1,145.69	907.31	944.88	1,108.12	2.15E+02	7.62E+01	7.28E+01	0.K
SP6	1.34E+10	1.33E+10	1,145.68	907.32	944.93	1,108.07	2.15E+02	8.28E+01	7.89E+01	0.K
SP7	7.93E+09	8.81E+09	953.96	877.04	761.99	1,069.01	2.15E+02	2.44E+01	3.14E+01	0.K
SP8	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.22E+01	5.91E+01	0.K
SP9	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.81E+01	6.70E+01	0.K
SP10	7.93E+09	1.97E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.72E+01	3.40E+01	0.K
SP11	1.38E+10	1.31E+10	1,188.08	862.92	973.63	1,077.37	2.15E+02	5.43E+01	4.96E+01	0.K
SP12	1.38E+10	1.31E+10	1,188.08	862.92	973.63	1,077.37	2.15E+02	5.43E+01	4.97E+01	0.K
SP13	7.93E+09	1.97E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.72E+01	3.40E+01	0.K
SP14	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.81E+01	6.70E+01	0.K
SP15	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.22E+01	5.92E+01	0.K
SP16	7.93E+09	8.81E+09	953.96	877.04	761.99	1,069.01	2.15E+02	2.41E+01	3.09E+01	0.K
SP17	1.34E+10	1.33E+10	1,145.68	907.32	944.93	1,108.07	2.15E+02	8.28E+01	7.89E+01	0.K
SP18	1.34E+10	1.33E+10	1,145.69	907.31	944.88	1,108.12	2.15E+02	7.63E+01	7.29E+01	0.K
SP19	7.93E+09	1.97E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.52E+01	3.16E+01	0.K
SP20	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	6.24E+01	1.00E+02	0.K
SP21	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	7.81E+01	1.21E+02	0.K
SP22	7.91E+09	2.11E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	5.47E+01	8.51E+01	0.K

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09

• WEB 연결부 관련 검토 (우측 WEB)

구 분	BOX 높이(mm)		WEB 두께 (mm)	h_o (mm)	WEB 이음부설계응력(MPa)					
	평균높이	계산높이			f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
SP1	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP2	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP3	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP4	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP5	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP6	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP7	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP8	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP9	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP10	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP11	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP12	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP13	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP14	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP15	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP16	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP17	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP18	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP19	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP20	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP21	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP22	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76

구 분	BOLT 개수(ea)						접합선 직각 방향 BOLT 응력 검토(N/ea)							
	n_t	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	ρ_{sa}	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	판정	
SP1	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP2	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP3	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP4	44	4	4	4	2	2	126,000	79,822	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP5	48	4	4	4	2	2	126,000	63,902	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP6	48	4	4	4	2	2	126,000	63,898	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP7	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP8	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP9	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP10	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP11	48	4	4	4	2	2	126,000	63,900	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP12	48	4	4	4	2	2	126,000	63,898	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP13	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP14	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP15	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP16	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP17	48	4	4	4	2	2	126,000	63,900	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP18	48	4	4	4	2	2	126,000	63,898	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP19	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP20	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP21	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP22	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	

구 분	BOLT 합성 응력 검토(N/ea)					WEB 강성(mm ⁴)		WEB 작용력(N·mm)	
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_s	ρ	판정	I_{sw}'	I_{vw}'	M_{sw}	M_{vw}
SP1	126,000.00	78,053.41	14,758.51	79,436.44	0.K	5.27E+09	1.35E+10	3.36E+08	4.64E+08
SP2	126,000.00	78,053.41	7,500.54	78,412.96	0.K	5.27E+09	1.35E+10	4.81E+08	6.52E+08
SP3	126,000.00	78,053.41	12,313.25	79,018.67	0.K	5.27E+09	1.35E+10	3.78E+08	5.80E+08
SP4	126,000.00	79,821.91	19,680.06	82,212.17	0.K	5.37E+09	1.27E+10	7.07E+07	2.57E+08
SP5	126,000.00	63,902.20	24,904.96	68,583.88	0.K	7.85E+09	7.80E+09	4.27E+08	3.87E+08
SP6	126,000.00	63,898.43	23,072.66	67,936.42	0.K	7.85E+09	7.80E+09	4.71E+08	4.11E+08
SP7	126,000.00	79,821.14	17,151.29	81,643.01	0.K	5.37E+09	5.92E+09	4.02E+07	1.77E+08
SP8	126,000.00	78,053.41	9,543.45	78,634.67	0.K	5.27E+09	1.35E+10	1.82E+08	4.11E+08
SP9	126,000.00	78,053.41	6,669.77	78,337.86	0.K	5.27E+09	1.35E+10	2.21E+08	4.41E+08
SP10	126,000.00	79,821.14	14,207.38	81,075.67	0.K	5.37E+09	1.27E+10	8.22E+07	2.67E+08
SP11	126,000.00	63,899.70	20,001.06	66,956.80	0.K	8.11E+09	7.69E+09	2.69E+08	3.03E+08
SP12	126,000.00	63,898.43	20,001.93	66,955.86	0.K	8.11E+09	7.69E+09	2.69E+08	3.03E+08
SP13	126,000.00	79,821.14	14,216.22	81,077.22	0.K	5.37E+09	1.27E+10	8.23E+07	2.67E+08
SP14	126,000.00	78,053.41	6,676.48	78,338.43	0.K	5.27E+09	1.35E+10	2.21E+08	4.41E+08
SP15	126,000.00	78,053.41	9,540.60	78,634.33	0.K	5.27E+09	1.35E+10	1.82E+08	4.11E+08
SP16	126,000.00	79,821.14	17,147.96	81,642.31	0.K	5.37E+09	5.92E+09	3.97E+07	1.75E+08
SP17	126,000.00	63,899.70	23,210.82	67,984.65	0.K	7.85E+09	7.80E+09	4.71E+08	4.12E+08
SP18	126,000.00	63,898.43	25,116.19	68,657.36	0.K	7.85E+09	7.80E+09	4.27E+08	3.87E+08
SP19	126,000.00	79,821.14	19,947.33	82,275.82	0.K	5.37E+09	1.27E+10	7.05E+07	2.56E+08
SP20	126,000.00	78,053.41	12,563.20	79,058.01	0.K	5.27E+09	1.35E+10	3.77E+08	5.79E+08
SP21	126,000.00	78,053.41	7,396.37	78,403.07	0.K	5.27E+09	1.35E+10	4.81E+08	6.52E+08
SP22	126,000.00	78,053.41	14,920.91	79,466.77	0.K	5.27E+09	1.35E+10	3.36E+08	4.65E+08

구 분	WEB 이음판 강성(mm ⁴)		합성전 이음판까지 거리(mm)		합성후 이음판까지 거리(mm)		이음판 상하연 응력검토(MPa)			
	I_{sw}	I_{vw}	y_{su}	y_{sl}	$y_{su,v}$	$y_{sl,v}$	f_{sa}	f_u	f_l	판정
SP1	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	5.39E+01	8.38E+01	0.K
SP2	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	7.70E+01	1.19E+02	0.K
SP3	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	6.15E+01	9.88E+01	0.K
SP4	6.60E+09	1.77E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.50E+01	3.11E+01	0.K
SP5	9.79E+09	9.73E+09	1,145.69	907.31	944.88	1,108.12	2.15E+02	8.75E+01	8.36E+01	0.K
SP6	9.79E+09	9.73E+09	1,145.68	907.32	944.93	1,108.07	2.15E+02	9.51E+01	9.05E+01	0.K
SP7	6.60E+09	7.43E+09	953.96	877.04	761.99	1,069.01	2.15E+02	2.40E+01	3.09E+01	0.K
SP8	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.17E+01	5.82E+01	0.K
SP9	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.75E+01	6.59E+01	0.K
SP10	6.60E+09	1.77E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.69E+01	3.35E+01	0.K
SP11	1.02E+10	9.55E+09	1,188.08	862.92	973.63	1,077.37	2.15E+02	6.23E+01	5.70E+01	0.K
SP12	1.02E+10	9.55E+09	1,188.08	862.92	973.63	1,077.37	2.15E+02	6.23E+01	5.70E+01	0.K
SP13	6.60E+09	1.77E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.69E+01	3.35E+01	0.K
SP14	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.75E+01	6.60E+01	0.K
SP15	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	3.17E+01	5.83E+01	0.K
SP16	6.60E+09	7.43E+09	953.96	877.04	761.99	1,069.01	2.15E+02	2.37E+01	3.04E+01	0.K
SP17	9.79E+09	9.73E+09	1,145.68	907.32	944.93	1,108.07	2.15E+02	9.51E+01	9.05E+01	0.K
SP18	9.79E+09	9.73E+09	1,145.69	907.31	944.88	1,108.12	2.15E+02	8.76E+01	8.37E+01	0.K
SP19	6.60E+09	1.77E+10	953.96	877.04	333.01	1,497.99	2.15E+02	1.50E+01	3.11E+01	0.K
SP20	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	6.14E+01	9.88E+01	0.K
SP21	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	7.69E+01	1.19E+02	0.K
SP22	6.58E+09	1.90E+10	913.12	908.88	295.71	1,526.29	2.15E+02	5.38E+01	8.38E+01	0.K

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09

[G - 2]

구 분	휨 모멘트(kN·m)		전 단 력(kN)		M_t (kN·m)	f_u (MPa)	f_l (MPa)	f_{sa} (MPa)	ρ_{sa} (N)
	M_s	M_v	V_s	V_v					
SP1	4,294.80	5,096.49	421.81	619.62	701.88	118.07	-112.52	215.0	126,000
SP2	6,190.90	7,089.27	83.00	429.93	354.45	129.92	-157.61	215.0	126,000
SP3	4,858.02	6,319.83	359.01	543.22	549.62	119.39	-131.61	215.0	126,000
SP4	989.80	3,357.85	685.56	837.65	610.11	51.16	-42.90	215.0	126,000
SP5	-5,411.74	-6,768.71	1,062.93	1,301.04	746.53	-115.52	144.61	215.0	126,000
SP6	-5,979.83	-7,122.31	931.27	1,242.82	581.65	-124.57	154.14	215.0	126,000
SP7	-539.25	-2,893.88	555.59	774.77	485.86	-36.61	90.78	215.0	126,000
SP8	2,348.66	4,534.37	225.00	467.99	445.99	73.20	-79.13	215.0	126,000
SP9	2,839.37	4,838.82	65.69	362.74	407.31	82.25	-88.92	215.0	126,000
SP10	1,143.30	3,471.34	392.62	668.59	502.40	54.44	-45.78	215.0	126,000
SP11	-3,077.35	-5,183.75	760.80	1,118.56	621.92	-82.86	103.76	215.0	126,000
SP12	-3,075.28	-5,182.56	760.51	1,118.35	621.49	-82.81	103.73	215.0	126,000
SP13	1,145.62	3,473.80	392.76	668.76	502.78	54.48	-45.84	215.0	126,000
SP14	2,842.68	4,841.89	65.85	362.63	408.30	82.31	-88.99	215.0	126,000
SP15	2,353.04	4,538.03	224.86	468.07	446.77	73.27	-79.22	215.0	126,000
SP16	-534.05	-2,892.52	555.45	774.33	485.18	-36.49	90.69	215.0	126,000
SP17	-5,968.61	-7,103.39	927.24	1,239.75	594.33	-124.31	153.93	215.0	126,000
SP18	-5,398.85	-6,751.95	1,058.98	1,297.02	792.93	-115.24	144.38	215.0	126,000
SP19	990.66	3,360.54	684.52	836.28	669.68	51.19	-42.94	215.0	126,000
SP20	4,851.06	6,309.86	358.11	542.19	608.19	119.28	-131.43	215.0	126,000
SP21	6,174.73	7,066.25	83.58	430.85	374.07	129.65	-157.18	215.0	126,000
SP22	4,275.08	5,070.35	423.36	621.27	745.84	117.74	-112.02	215.0	126,000

• 상부 플랜지 연결부 관련 검토

구 분	상부플랜지이음부설계응력(MPa)				모재 두께 (mm)	모재 길이 (mm)	상부이음판단면적검토(mm ²)			상부이음판응력검토(MPa)		
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	구분			A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	118.07	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP2	129.92	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP3	119.39	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP4	51.16	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP5	115.52	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP6	124.57	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP7	36.61	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	34,800.0	0.K	215.0	122.3	0.K
SP8	73.20	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP9	82.25	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP10	54.44	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP11	82.86	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	36,900.0	0.K	215.0	115.4	0.K
SP12	82.81	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	36,900.0	0.K	215.0	115.4	0.K
SP13	54.48	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP14	82.31	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP15	73.27	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP16	36.49	161.25	161.25	인장	10	2,640	19,800.0	34,800.0	0.K	215.0	122.3	0.K
SP17	124.31	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP18	115.24	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP19	51.19	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP20	119.28	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP21	129.65	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K
SP22	117.74	161.25	161.25	압축	10	2,640	19,800.0	44,800.0	0.K	215.0	95.0	0.K

구 분	BOLT 규격		BOLT수 결정				Q_s (mm ³)	Q_v (mm ³)	I_s (mm ⁴)	I_v (mm ⁴)	p (mm)
			n_{lreq}	n_{luse}	판정	n					
SP1	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP2	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP3	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP4	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.39E+06	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP5	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.96E+07	9.97E+10	1.35E+11	114.78
SP6	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.96E+07	9.96E+10	1.35E+11	114.78
SP7	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	1.98E+07	7.42E+10	1.01E+11	132.00
SP8	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP9	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP10	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.39E+06	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP11	M22	F13T	34	92	0.K	4	3.12E+07	2.54E+07	9.29E+10	1.31E+11	114.78
SP12	M22	F13T	34	92	0.K	4	3.12E+07	2.54E+07	9.29E+10	1.31E+11	114.78
SP13	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.39E+06	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP14	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP15	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP16	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	1.98E+07	7.42E+10	1.01E+11	132.00
SP17	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.96E+07	9.96E+10	1.35E+11	114.78
SP18	M22	F13T	41	92	0.K	4	3.61E+07	2.96E+07	9.97E+10	1.35E+11	114.78
SP19	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.51E+07	8.39E+06	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP20	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP21	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00
SP22	M22	F13T	34	80	0.K	4	2.40E+07	7.42E+06	6.79E+10	1.45E+11	132.00

구 분	BOLT 응력 검토(N/ea)					A_n (mm ²)	모재 응력 검토(MPa)		
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정		f_{sa}	f	판정
SP1	1.26E+05	5.32E+04	5.96E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP2	1.26E+05	5.32E+04	1.69E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP3	1.26E+05	5.32E+04	5.10E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP4	1.26E+05	5.32E+04	9.07E+03	5.40E+04	0.K	-	-	-	-
SP5	1.26E+05	5.55E+04	1.92E+04	5.88E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP6	1.26E+05	5.55E+04	1.75E+04	5.82E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP7	1.26E+05	5.32E+04	1.12E+04	5.44E+04	0.K	2.14E+04	215.0	198.9	0.K
SP8	1.26E+05	5.32E+04	3.41E+03	5.33E+04	0.K	-	-	-	-
SP9	1.26E+05	5.32E+04	1.38E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP10	1.26E+05	5.32E+04	5.52E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP11	1.26E+05	4.63E+04	1.36E+04	4.82E+04	0.K	2.07E+04	215.0	206.2	0.K
SP12	1.26E+05	4.63E+04	1.36E+04	4.82E+04	0.K	2.07E+04	215.0	206.2	0.K
SP13	1.26E+05	5.32E+04	5.52E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP14	1.26E+05	5.32E+04	1.38E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP15	1.26E+05	5.32E+04	3.41E+03	5.33E+04	0.K	-	-	-	-
SP16	1.26E+05	5.32E+04	1.12E+04	5.44E+04	0.K	2.14E+04	215.0	198.9	0.K
SP17	1.26E+05	5.55E+04	1.74E+04	5.82E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP18	1.26E+05	5.55E+04	1.91E+04	5.87E+04	0.K	2.48E+04	215.0	206.2	0.K
SP19	1.26E+05	5.32E+04	9.06E+03	5.40E+04	0.K	-	-	-	-
SP20	1.26E+05	5.32E+04	5.09E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-
SP21	1.26E+05	5.32E+04	1.70E+03	5.32E+04	0.K	-	-	-	-
SP22	1.26E+05	5.32E+04	5.98E+03	5.35E+04	0.K	-	-	-	-

구 분	RIB 두께 (mm)	RIB 폭 (mm)	BOLT수 결정			RIB이음판단면적검토(mm ²)			상부이음판응력검토(MPa)		
			n_{req}	n_{use}	판정	A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP2	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP3	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP4	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP5	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP6	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP7	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP8	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP9	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP10	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP11	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP12	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP13	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP14	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP15	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP16	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP17	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP18	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP19	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP20	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP21	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K
SP22	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	3120.0	0.K	215.0	93.0	0.K

• 하부 플랜지 연결부 관련 검토

구 분	하부플랜지이음부설계응력(MPa)				모재 두께 (mm)	모재 길이 (mm)	하부이음판단면적검토(mm ²)			하부이음판 응력검토(MPa)		
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	구분			A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	112.52	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP2	157.61	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP3	131.61	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP4	42.90	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP5	144.61	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP6	154.14	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP7	90.78	161.25	161.25	압축	12	2,640	23,760.0	44,800.0	0.K	215.0	114.0	0.K
SP8	79.13	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP9	88.92	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP10	45.78	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP11	103.76	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP12	103.73	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP13	45.84	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP14	88.99	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP15	79.22	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP16	90.69	161.25	161.25	압축	12	2,640	23,760.0	44,800.0	0.K	215.0	114.0	0.K
SP17	153.93	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP18	144.38	161.25	161.25	압축	16	2,640	31,680.0	44,800.0	0.K	215.0	152.0	0.K
SP19	42.94	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	34,800.0	0.K	215.0	146.8	0.K
SP20	131.43	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP21	157.18	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K
SP22	112.02	161.25	161.25	인장	12	2,640	23,760.0	36,900.0	0.K	215.0	138.4	0.K

구 분	BOLT 규격		BOLT수 결정				Q_s (mm ³)	Q_v (mm ³)	I_s (mm ⁴)	I_v (mm ⁴)	p (mm)
			n_{req}	n_{use}	판정	n					
SP1	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP2	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP3	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP4	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.76E+07	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP5	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.67E+07	9.97E+10	1.35E+11	132.00
SP6	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.67E+07	9.96E+10	1.35E+11	132.00
SP7	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	3.39E+07	7.42E+10	1.01E+11	132.00
SP8	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP9	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP10	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.76E+07	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP11	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.61E+07	4.54E+07	9.29E+10	1.31E+11	132.00
SP12	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.61E+07	4.54E+07	9.29E+10	1.31E+11	132.00
SP13	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.76E+07	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP14	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP15	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP16	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	3.39E+07	7.42E+10	1.01E+11	132.00
SP17	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.67E+07	9.96E+10	1.35E+11	132.00
SP18	M22	F13T	55	80	0.K	4	3.80E+07	4.67E+07	9.97E+10	1.35E+11	132.00
SP19	M22	F13T	41	80	0.K	4	2.76E+07	4.76E+07	7.42E+10	1.61E+11	132.00
SP20	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP21	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78
SP22	M22	F13T	41	92	0.K	4	2.86E+07	4.85E+07	6.79E+10	1.45E+11	114.78

구 분	BOLT 합성 응력 검토(N/ea)					A_n (mm ²)	모재 응력 검토(MPa)		
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정		f_{sa}	f	판정
SP1	1.26E+05	5.55E+04	1.10E+04	5.66E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP2	1.26E+05	5.55E+04	5.12E+03	5.58E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP3	1.26E+05	5.55E+04	9.54E+03	5.63E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP4	1.26E+05	6.39E+04	1.66E+04	6.60E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP5	1.26E+05	8.51E+04	2.82E+04	8.97E+04	0.K	-	-	-	-
SP6	1.26E+05	8.51E+04	2.59E+04	8.90E+04	0.K	-	-	-	-
SP7	1.26E+05	6.39E+04	1.54E+04	6.57E+04	0.K	-	-	-	-
SP8	1.26E+05	5.55E+04	7.20E+03	5.60E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP9	1.26E+05	5.55E+04	4.27E+03	5.57E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP10	1.26E+05	6.39E+04	1.13E+04	6.49E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP11	1.26E+05	8.51E+04	2.26E+04	8.81E+04	0.K	-	-	-	-
SP12	1.26E+05	8.51E+04	2.26E+04	8.81E+04	0.K	-	-	-	-
SP13	1.26E+05	6.39E+04	1.13E+04	6.49E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP14	1.26E+05	5.55E+04	4.27E+03	5.57E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP15	1.26E+05	5.55E+04	7.20E+03	5.60E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP16	1.26E+05	6.39E+04	1.54E+04	6.57E+04	0.K	-	-	-	-
SP17	1.26E+05	8.51E+04	2.58E+04	8.90E+04	0.K	-	-	-	-
SP18	1.26E+05	8.51E+04	2.81E+04	8.97E+04	0.K	-	-	-	-
SP19	1.26E+05	6.39E+04	1.65E+04	6.60E+04	0.K	25,680.00	215.0	198.9	0.K
SP20	1.26E+05	5.55E+04	9.52E+03	5.63E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP21	1.26E+05	5.55E+04	5.13E+03	5.58E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K
SP22	1.26E+05	5.55E+04	1.11E+04	5.66E+04	0.K	24,780.00	215.0	206.2	0.K

구 분	RIB 두께 (mm)	RIB 폭 (mm)	BOLT수 결정			RIB이음판단면적검토(mm ²)			하부이음판응력검토(MPa)		
			n_{req}	n_{use}	판정	A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	판정
SP1	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP2	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP3	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP4	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP5	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP6	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP7	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP8	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP9	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP10	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP11	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP12	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP13	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP14	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP15	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP16	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP17	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP18	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	3120.0	0.K	215.0	108.5	0.K
SP19	14.0	150.0	3	5	0.K	1,575.0	2520.0	0.K	215.0	134.4	0.K
SP20	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP21	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K
SP22	12.0	150.0	3	5	0.K	1,350.0	2520.0	0.K	215.0	115.2	0.K

• WEB 연결부 관련 검토 (좌측 WEB)

구 분	BOX 높이(mm)		WEB 두께 (mm)	h_o (mm)	WEB 이음부설계응력(MPa)					
	평균높이	계산높이			f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
SP1	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP2	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP3	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP4	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP5	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP6	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP7	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP8	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP9	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP10	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP11	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP12	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP13	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP14	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP15	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP16	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP17	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP18	2,025	2,085	12	1,042	161.25	139.22	123.75	108.28	92.81	77.34
SP19	1,809	1,869	12	934	161.25	129.42	112.16	94.91	77.65	60.40
SP20	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP21	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69
SP22	1,800	1,860	12	930	161.25	130.05	112.71	95.37	78.03	60.69

구 분	BOLT 개수(ea)						접합선 직각 방향 BOLT 응력 검토(N/ea)							
	n_t	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	ρ_{sa}	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	판정	
SP1	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP2	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP3	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP4	46	4	4	4	2	2	126,000	80,426	36,237	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP5	52	4	4	4	2	2	126,000	64,192	39,445	34,805	60,328	51,047	0.K	
SP6	52	4	4	4	2	2	126,000	64,184	39,446	34,805	60,329	51,048	0.K	
SP7	46	4	4	4	2	2	126,000	80,424	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP8	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP9	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP10	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP11	52	4	4	4	2	2	126,000	64,188	39,446	34,805	60,329	51,047	0.K	
SP12	52	4	4	4	2	2	126,000	64,184	39,446	34,805	60,329	51,048	0.K	
SP13	46	4	4	4	2	2	126,000	80,424	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP14	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP15	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP16	46	4	4	4	2	2	126,000	80,425	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP17	52	4	4	4	2	2	126,000	64,188	39,446	34,805	60,329	51,047	0.K	
SP18	52	4	4	4	2	2	126,000	64,184	39,446	34,805	60,329	51,048	0.K	
SP19	46	4	4	4	2	2	126,000	80,424	36,238	31,061	51,768	41,414	0.K	
SP20	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP21	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	
SP22	46	4	4	4	2	2	126,000	78,634	36,413	31,211	52,018	41,615	0.K	

구 분	BOLT 합성 응력 검토(N/ea)					WEB 강성(mm ⁴)		WEB 작용력(N·mm)	
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_s	ρ	판정	I_{sw}'	I_{vw}'	M_{sw}	M_{vw}
SP1	126,000.00	78,633.64	14,482.91	79,956.26	0.K	6.44E+09	1.55E+10	4.07E+08	5.42E+08
SP2	126,000.00	78,633.64	7,172.60	78,960.08	0.K	6.44E+09	1.55E+10	5.87E+08	7.54E+08
SP3	126,000.00	78,633.64	12,283.60	79,587.28	0.K	6.44E+09	1.55E+10	4.61E+08	6.73E+08
SP4	126,000.00	80,425.78	19,306.01	82,710.51	0.K	6.54E+09	1.47E+10	8.73E+07	3.06E+08
SP5	126,000.00	64,192.21	25,706.50	69,148.13	0.K	9.34E+09	9.32E+09	5.07E+08	4.67E+08
SP6	126,000.00	64,183.76	23,223.47	68,256.02	0.K	9.34E+09	9.32E+09	5.60E+08	4.91E+08
SP7	126,000.00	80,424.18	16,649.93	82,129.58	0.K	6.54E+09	7.18E+09	4.75E+07	2.06E+08
SP8	126,000.00	78,633.64	9,542.34	79,210.51	0.K	6.44E+09	1.55E+10	2.23E+08	4.83E+08
SP9	126,000.00	78,633.64	6,492.44	78,901.21	0.K	6.44E+09	1.55E+10	2.69E+08	5.15E+08
SP10	126,000.00	80,425.00	13,798.87	81,600.18	0.K	6.54E+09	1.47E+10	1.01E+08	3.17E+08
SP11	126,000.00	64,188.42	20,550.00	67,397.75	0.K	9.62E+09	9.19E+09	3.19E+08	3.65E+08
SP12	126,000.00	64,183.76	20,543.52	67,391.33	0.K	9.62E+09	9.19E+09	3.18E+08	3.65E+08
SP13	126,000.00	80,424.18	13,804.02	81,600.24	0.K	6.54E+09	1.47E+10	1.01E+08	3.17E+08
SP14	126,000.00	78,633.64	6,497.31	78,901.61	0.K	6.44E+09	1.55E+10	2.69E+08	5.15E+08
SP15	126,000.00	78,633.64	9,545.15	79,210.85	0.K	6.44E+09	1.55E+10	2.23E+08	4.83E+08
SP16	126,000.00	80,425.00	16,640.55	82,128.49	0.K	6.54E+09	7.18E+09	4.71E+07	2.06E+08
SP17	126,000.00	64,188.42	23,205.70	68,254.37	0.K	9.34E+09	9.32E+09	5.59E+08	4.90E+08
SP18	126,000.00	64,183.76	25,814.84	69,180.64	0.K	9.34E+09	9.32E+09	5.06E+08	4.66E+08
SP19	126,000.00	80,424.18	19,548.31	82,765.84	0.K	6.54E+09	1.47E+10	8.73E+07	3.07E+08
SP20	126,000.00	78,633.64	12,526.58	79,625.14	0.K	6.44E+09	1.55E+10	4.60E+08	6.71E+08
SP21	126,000.00	78,633.64	7,277.41	78,969.67	0.K	6.44E+09	1.55E+10	5.85E+08	7.52E+08
SP22	126,000.00	78,633.64	14,715.76	79,998.76	0.K	6.44E+09	1.55E+10	4.05E+08	5.40E+08

구 분	WEB 이음판 강성(mm ⁴)		합성전 이음판까지 거리(mm)		합성후 이음판까지 거리(mm)		이음판 상하연 응력검토(MPa)			판정
	I_{sw}	I_{vw}	y_{su}	y_{sl}	$y_{su,v}$	$y_{sl,v}$	f_{sa}	f_u	f_l	
SP1	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	5.42E+01	8.56E+01	0.K
SP2	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	7.78E+01	1.21E+02	0.K
SP3	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	6.21E+01	1.01E+02	0.K
SP4	7.93E+09	2.01E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.54E+01	3.26E+01	0.K
SP5	1.34E+10	1.33E+10	1,145.69	907.31	938.98	1,114.02	2.15E+02	7.63E+01	7.33E+01	0.K
SP6	1.34E+10	1.33E+10	1,145.68	907.32	939.03	1,113.97	2.15E+02	8.26E+01	7.90E+01	0.K
SP7	7.93E+09	8.88E+09	953.96	877.04	756.04	1,074.96	2.15E+02	2.32E+01	3.02E+01	0.K
SP8	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.21E+01	6.01E+01	0.K
SP9	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.79E+01	6.77E+01	0.K
SP10	7.93E+09	2.01E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.72E+01	3.49E+01	0.K
SP11	1.38E+10	1.31E+10	1,188.08	862.92	967.37	1,083.63	2.15E+02	5.42E+01	5.00E+01	0.K
SP12	1.38E+10	1.31E+10	1,188.08	862.92	967.37	1,083.63	2.15E+02	5.42E+01	4.99E+01	0.K
SP13	7.93E+09	2.01E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.72E+01	3.49E+01	0.K
SP14	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.80E+01	6.78E+01	0.K
SP15	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.22E+01	6.02E+01	0.K
SP16	7.93E+09	8.88E+09	953.96	877.04	756.04	1,074.96	2.15E+02	2.32E+01	3.01E+01	0.K
SP17	1.34E+10	1.33E+10	1,145.68	907.32	939.03	1,113.97	2.15E+02	8.24E+01	7.89E+01	0.K
SP18	1.34E+10	1.33E+10	1,145.69	907.31	938.98	1,114.02	2.15E+02	7.61E+01	7.32E+01	0.K
SP19	7.93E+09	2.01E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.54E+01	3.26E+01	0.K
SP20	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	6.21E+01	1.01E+02	0.K
SP21	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	7.76E+01	1.21E+02	0.K
SP22	7.91E+09	2.15E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	5.40E+01	8.52E+01	0.K

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,420.0 × 10	28,400.0	-	-	-	4.77E+09	-
	합 계	39,600.0	850.0	9.52E+06	8.09E+09	4.85E+09	1.29E+10
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,120.0 × 10	22,400.0	-	-	-	2.34E+09	-
	합 계	33,600.0	700.0	7.84E+06	5.49E+09	2.41E+09	7.90E+09

• WEB 연결부 관련 검토 (우측 WEB)

구 분	BOX 높이(mm)		WEB 두께 (mm)	h_o (mm)	WEB 이음부설계응력(MPa)					
	평균높이	계산높이			f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
SP1	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP2	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP3	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP4	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.48
SP5	2,025	1,965	12	983	161.25	137.87	121.46	105.05	88.64	72.23
SP6	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP7	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP8	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP9	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP10	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP11	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP12	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP13	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP14	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP15	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP16	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP17	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP18	2,025	1,965	12	982	161.25	137.88	121.46	105.05	88.64	72.23
SP19	1,809	1,749	12	875	161.25	127.24	108.80	90.36	71.92	53.49
SP20	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP21	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76
SP22	1,800	1,740	12	870	161.25	127.90	109.36	90.83	72.29	53.76

구 분	BOLT 개수(ea)						접합선 직각 방향 BOLT 응력 검토(N/ea)							
	n_t	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5	ρ_{sa}	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	판정	
SP1	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP2	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP3	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP4	44	4	4	4	2	2	126,000	79,822	35,406	29,874	48,685	37,622	0.K	
SP5	48	4	4	4	2	2	126,000	63,905	38,901	33,977	58,106	48,259	0.K	
SP6	48	4	4	4	2	2	126,000	63,897	38,901	33,978	58,108	48,260	0.K	
SP7	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP8	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP9	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP10	44	4	4	4	2	2	126,000	79,822	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP11	48	4	4	4	2	2	126,000	63,901	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP12	48	4	4	4	2	2	126,000	63,897	38,901	33,978	58,108	48,260	0.K	
SP13	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP14	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP15	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP16	44	4	4	4	2	2	126,000	79,822	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP17	48	4	4	4	2	2	126,000	63,901	38,901	33,977	58,107	48,260	0.K	
SP18	48	4	4	4	2	2	126,000	63,897	38,901	33,978	58,108	48,260	0.K	
SP19	44	4	4	4	2	2	126,000	79,821	35,406	29,874	48,686	37,623	0.K	
SP20	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP21	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	
SP22	44	4	4	4	2	2	126,000	78,053	35,589	30,029	48,937	37,817	0.K	

구 분	BOLT 합성 응력 검토(N/ea)					WEB 강성(mm ⁴)		WEB 작용력(N·mm)	
	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_s	ρ	판정	$I_{sw}^{'}$	$I_{vw}^{'}$	M_{sw}	M_{vw}
SP1	126,000.00	78,053.41	15,141.22	79,508.43	0.K	5.27E+09	1.37E+10	3.33E+08	4.81E+08
SP2	126,000.00	78,053.41	7,498.63	78,412.78	0.K	5.27E+09	1.37E+10	4.81E+08	6.69E+08
SP3	126,000.00	78,053.41	12,841.94	79,102.78	0.K	5.27E+09	1.37E+10	3.77E+08	5.97E+08
SP4	126,000.00	79,822.29	20,183.56	82,334.52	0.K	5.37E+09	1.30E+10	7.16E+07	2.71E+08
SP5	126,000.00	63,905.12	27,848.71	69,709.51	0.K	7.85E+09	7.83E+09	4.26E+08	3.92E+08
SP6	126,000.00	63,896.75	25,158.76	68,671.37	0.K	7.85E+09	7.83E+09	4.71E+08	4.13E+08
SP7	126,000.00	79,820.71	17,406.74	81,696.63	0.K	5.37E+09	5.96E+09	3.90E+07	1.71E+08
SP8	126,000.00	78,053.41	9,976.08	78,688.35	0.K	5.27E+09	1.37E+10	1.82E+08	4.28E+08
SP9	126,000.00	78,053.41	6,787.55	78,347.98	0.K	5.27E+09	1.37E+10	2.20E+08	4.57E+08
SP10	126,000.00	79,821.52	14,426.09	81,114.66	0.K	5.37E+09	1.30E+10	8.26E+07	2.80E+08
SP11	126,000.00	63,901.38	22,262.50	67,668.34	0.K	8.11E+09	7.71E+09	2.69E+08	3.06E+08
SP12	126,000.00	63,896.75	22,255.48	67,661.67	0.K	8.11E+09	7.71E+09	2.68E+08	3.06E+08
SP13	126,000.00	79,820.71	14,431.47	81,114.81	0.K	5.37E+09	1.30E+10	8.28E+07	2.80E+08
SP14	126,000.00	78,053.41	6,792.64	78,348.42	0.K	5.27E+09	1.37E+10	2.21E+08	4.57E+08
SP15	126,000.00	78,053.41	9,979.02	78,688.72	0.K	5.27E+09	1.37E+10	1.83E+08	4.28E+08
SP16	126,000.00	79,821.52	17,396.94	81,695.34	0.K	5.37E+09	5.96E+09	3.86E+07	1.71E+08
SP17	126,000.00	63,901.38	25,139.51	68,668.63	0.K	7.85E+09	7.83E+09	4.70E+08	4.12E+08
SP18	126,000.00	63,896.75	27,966.08	69,748.81	0.K	7.85E+09	7.83E+09	4.25E+08	3.91E+08
SP19	126,000.00	79,820.71	20,436.87	82,395.46	0.K	5.37E+09	1.30E+10	7.16E+07	2.71E+08
SP20	126,000.00	78,053.41	13,095.96	79,144.42	0.K	5.27E+09	1.37E+10	3.77E+08	5.96E+08
SP21	126,000.00	78,053.41	7,608.20	78,423.33	0.K	5.27E+09	1.37E+10	4.79E+08	6.67E+08
SP22	126,000.00	78,053.41	15,384.66	79,555.15	0.K	5.27E+09	1.37E+10	3.32E+08	4.79E+08

구 분	WEB 이음판 강성(mm ⁴)		합성전 이음판까지 거리(mm)		합성후 이음판까지 거리(mm)		이음판 상하연 응력검토(MPa)			
	I_{sw}	I_{vw}	y_{su}	y_{sl}	$y_{su,v}$	$y_{sl,v}$	f_{sa}	f_u	f_l	판정
SP1	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	5.34E+01	8.43E+01	0.K
SP2	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	7.66E+01	1.20E+02	0.K
SP3	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	6.12E+01	9.95E+01	0.K
SP4	6.60E+09	1.81E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.52E+01	3.21E+01	0.K
SP5	9.79E+09	9.77E+09	1,145.69	907.31	938.98	1,114.02	2.15E+02	8.75E+01	8.42E+01	0.K
SP6	9.79E+09	9.77E+09	1,145.68	907.32	939.03	1,113.97	2.15E+02	9.48E+01	9.07E+01	0.K
SP7	6.60E+09	7.49E+09	953.96	877.04	756.04	1,074.96	2.15E+02	2.29E+01	2.97E+01	0.K
SP8	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.16E+01	5.92E+01	0.K
SP9	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.74E+01	6.67E+01	0.K
SP10	6.60E+09	1.81E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.69E+01	3.43E+01	0.K
SP11	1.02E+10	9.58E+09	1,188.08	862.92	967.37	1,083.63	2.15E+02	6.22E+01	5.73E+01	0.K
SP12	1.02E+10	9.58E+09	1,188.08	862.92	967.37	1,083.63	2.15E+02	6.22E+01	5.73E+01	0.K
SP13	6.60E+09	1.81E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.70E+01	3.44E+01	0.K
SP14	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.74E+01	6.68E+01	0.K
SP15	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	3.17E+01	5.92E+01	0.K
SP16	6.60E+09	7.49E+09	953.96	877.04	756.04	1,074.96	2.15E+02	2.28E+01	2.96E+01	0.K
SP17	9.79E+09	9.77E+09	1,145.68	907.32	939.03	1,113.97	2.15E+02	9.46E+01	9.05E+01	0.K
SP18	9.79E+09	9.77E+09	1,145.69	907.31	938.98	1,114.02	2.15E+02	8.73E+01	8.40E+01	0.K
SP19	6.60E+09	1.81E+10	953.96	877.04	322.84	1,508.16	2.15E+02	1.52E+01	3.21E+01	0.K
SP20	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	6.11E+01	9.93E+01	0.K
SP21	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	7.64E+01	1.19E+02	0.K
SP22	6.58E+09	1.94E+10	913.12	908.88	286.02	1,535.98	2.15E+02	5.32E+01	8.38E+01	0.K

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$	$I(\text{mm}^4)$
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,220.0 × 10	24,400.0	-	-	-	3.03E+09	-
	합 계	35,600.0	750.0	8.40E+06	6.30E+09	3.10E+09	9.40E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09
SP1	4 - 280.0 × 10	11,200.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	7.32E+07	-
	2 - 1,020.0 × 10	20,400.0	-	-	-	1.77E+09	-
	합 계	31,600.0	650.0	7.28E+06	4.73E+09	1.84E+09	6.57E+09

5.2 용접부의 검토

주요부재의 응력을 전단하는 필릿용접의 치수는 최소치수 이상, 용접부의 얇은 쪽 모재 두께 미만으로 한다.

(199 도.설 2010, 3.5.2.4)

$$t_1 > S \geq 6\text{mm} \quad (t_2 \leq 20\text{mm})$$

$$t_1 > S \geq 8\text{mm} \quad (t_2 > 20\text{mm})$$

t_1 : 얇은 쪽의 모재의 두께(mm)

t_2 : 두꺼운 쪽의 모재의 두께(mm)

S : 치수(mm)

1) 플랜지와 복부판의 용접부 검토

(1) 필릿용접 치수 검토

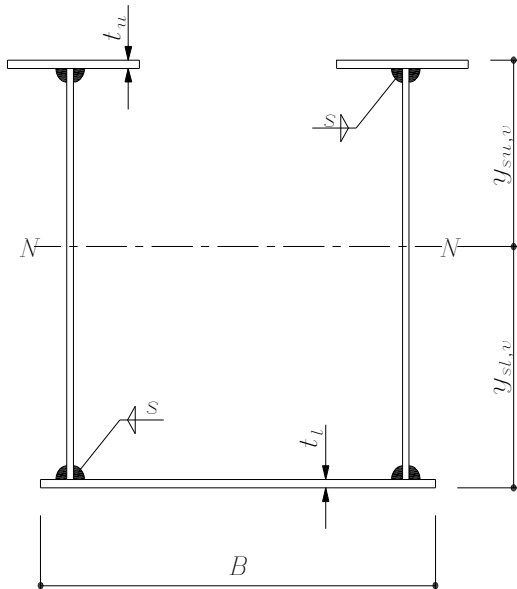
t_u : 상부 플랜지 두께 t_l : 하부 플랜지 두께 t_w : 복부판 두께 (단위 : mm)

구 분	모재의 사용두께			상부 플랜지와 복부판				하부 플랜지와 복부판				비 고
	t_u	t_l	t_w	S_{min}	S_{max}	S_{use}	판정	S_{min}	S_{max}	S_{use}	판정	
단면 - 1	10.0	12.0	12.0	6.0	10.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 2	10.0	12.0	12.0	6.0	10.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 3	10.0	12.0	12.0	6.0	10.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 4	10.0	12.0	12.0	6.0	10.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 5	12.0	16.0	12.0	6.0	12.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 6	12.0	16.0	12.0	6.0	12.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 7	10.0	12.0	12.0	6.0	10.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 8	10.0	16.0	12.0	6.0	10.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	
단면 - 9	10.0	16.0	12.0	6.0	10.0	6.0	0.K	6.0	12.0	6.0	0.K	

(2) 용접부의 응력 검토

용접부에 작용하는 전단응력 (용접강도로표 표준시방서 P26)

$$u = (V \cdot Q) / (I_v \cdot \sum a) < u_a$$



여기서,

u : 전단 응력 (MPa)

u_a : 허용전단 응력 (MPa) (199 도.설.해 3.3.2.1)

V : 총 작용 전단력 (N)

Q : 용접선 외측 플랜지의 총단면의 중립축에 관한 단면1차모멘트(mm^3)

$$Q = A(\text{mm}^2) \cdot y(\text{mm})$$

$$(y = y_{su,v(0)} - t_{u(0)}/2)$$

I_v : 총단면의 중립축에 관한 단면2차모멘트(mm^4)

$\sum a$: 필릿 용접의 목두께의 합(mm)

$$\sum a = 4EA \times s / \sqrt{2}$$

s : 필릿 용접 치수 (mm)

▪ 응력 검토 결과

① 상부 플랜지와 복부판

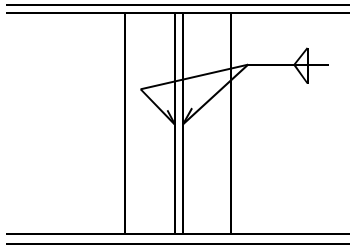
구 분	V_{max} kN	t_u mm	B mm	A mm ²	$y_{su,v}$ mm	Q mm ³	I_v mm ⁴	s mm	$\sum a$ mm	σ MPa	σ_a MPa	비고
단면-1	1,820.2	10	2,640.0	26,400.0	39	8.90E+05	1.48E+11	6	17	0.6	125.0	0.K
단면-2	1,394.8	10	800.0	8,000.0	300	2.36E+06	1.44E+11	6	17	1.3	125.0	0.K
단면-3	1,487.4	10	2,640.0	26,400.0	296	7.67E+06	1.44E+11	6	17	4.7	125.0	0.K
단면-4	1,713.8	10	2,640.0	26,400.0	774	2.03E+07	1.03E+11	6	17	19.8	125.0	0.K
단면-5	2,301.1	12	2,640.0	31,680.0	930	2.93E+07	1.31E+11	6	17	30.3	125.0	0.K
단면-6	2,813.9	12	2,640.0	31,680.0	1,034	3.26E+07	1.52E+11	6	17	35.5	125.0	0.K
단면-7	1,097.8	10	800.0	8,000.0	337	2.66E+06	1.58E+11	6	17	1.1	125.0	0.K
단면-8	1,816.6	10	2,640.0	26,400.0	959	2.52E+07	1.27E+11	6	17	21.3	125.0	0.K
단면-9	2,328.5	10	2,640.0	26,400.0	1,063	2.79E+07	1.47E+11	6	17	26.1	125.0	0.K

② 하부 플랜지와 복부판

구 분	V_{max} kN	t_l mm	B mm	A mm ²	$y_{sl,v}$ mm	Q mm ³	I_v mm ⁴	s mm	$\sum a$ mm	σ MPa	σ_a MPa	비고
단면-1	1,820.2	12	2,640.0	31,680.0	1,583	5.00E+07	1.48E+11	6	17	36.3	125.0	0.K
단면-2	1,394.8	12	2,640.0	31,680.0	1,522	4.80E+07	1.44E+11	6	17	27.4	125.0	0.K
단면-3	1,487.4	12	2,640.0	31,680.0	1,526	4.82E+07	1.44E+11	6	17	29.3	125.0	0.K
단면-4	1,713.8	12	2,640.0	31,680.0	1,084	3.41E+07	1.03E+11	6	17	33.4	125.0	0.K
단면-5	2,301.1	16	2,640.0	42,240.0	1,094	4.59E+07	1.31E+11	6	17	47.4	125.0	0.K
단면-6	2,813.9	16	2,640.0	42,240.0	1,194	5.01E+07	1.52E+11	6	17	54.7	125.0	0.K
단면-7	1,097.8	12	2,640.0	31,680.0	1,485	4.69E+07	1.58E+11	6	17	19.2	125.0	0.K
단면-8	1,816.6	16	2,640.0	42,240.0	1,063	4.46E+07	1.27E+11	6	17	37.7	125.0	0.K
단면-9	2,328.5	16	2,640.0	42,240.0	1,163	4.88E+07	1.47E+11	6	17	45.6	125.0	0.K

2) 지점부 보강재 용접부 검토

(1) 교 대 부



$$R_{max} = 1,929.050 \text{ kN}$$

$$\text{필릿용접 치수 } s = 6.0 \text{ mm}$$

$$\text{사용 보강재 } 4 \text{ PL} - 240 \times 20 \times 1,600$$

$$\text{용접 목 두께 } a = s / \sqrt{2} = 4.24 \text{ mm}$$

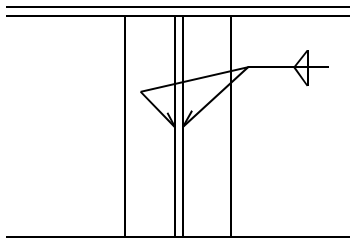
전단 응력

$$v = P / (\sum a \cdot l)$$

$$= 1,929.1 / 8 \text{ ea} \times 4.24 \times 1,600$$

$$= 35.522 \text{ MPa} \leq v_a = 125 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

(2) 교 각 부



$$R_{max} = 5,484.130 \text{ kN}$$

$$\text{필릿용접 치수 } s = 8.0 \text{ mm}$$

$$\text{사용 보강재 } 4 \text{ PL} - 240 \times 22 \times 2,200$$

$$\text{용접 목 두께 } a = s / \sqrt{2} = 5.66 \text{ mm}$$

전단 응력

$$v = P / (\sum a \cdot l)$$

$$= 5,484.1 / 8 \text{ ea} \times 5.66 \times 2,200$$

$$= 55.083 \text{ MPa} \leq v_a = 125 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

6. 보강재의 설계

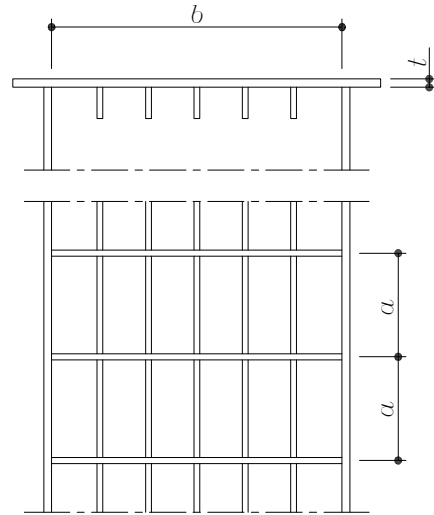
6.1 보강재의 설계

6.1.1 플랜지 보강재

(1) 종방향 리브의 설계 (SM520 사용)

(도.설.해 3.4.2.4)

[단 면 - 1] : 절점 39 로 부터 이격거리 1.834 m



종방향 보강재에 의해 구분되는 Pannel 의 수	:	$n = 6$	
횡방향 보강재의 간격	:	$a = 925 \text{ mm}$	
플랜지의 고정연 사이의 거리	:	$b = 2,400 \text{ mm}$	
플랜지의 두께	:	$t = 10 \text{ mm}$	
사용 리브의 폭	:	$b_{vr} = 150 \text{ mm}$	
리브의 최소두께	:	$b_{vr}/16 = 150 / 16 = 9.38 \text{ mm} \leq t_{vr} = 12 \text{ mm}$	사용 O.K !!
리브1개의 사용단면적	:	$A_{l(USE)} = b_{vr} \times t_{vr} = 12.0 \times 150.0$	$= 1,800.0 \text{ mm}^2$
리브1개의 단면2차모멘트	:	$I_{l(USE)} = t_{vr} \cdot b_{vr}^3 / 3 = 12 \times 150^3 / 3$	$= 1.350\text{E}+07 \text{ mm}^4$
종방향 리브1개의 강비	:	$r_l = (I_l / b \cdot t^3) / 10.92 = 13,500,000 / (2,400 \times 10^3 / 10.92)$	$= 61.425$
보강판의 형상비	:	$\alpha = a / b = 925 / 2,400$	$= 0.385$
한계 형상비	:	$\alpha_o = \sqrt[4]{1 + n r_l} = \sqrt[4]{1 + 6 \times 61.425}$	$= 4.384$
종방향 리브1개의 단면적비	:	$\delta_l = A_l / b \cdot t = 1,800 / (2,400 \times 10)$	$= 0.075$
응력 구배 계수	:	$i = 0.65 (\phi / n)^2 + 0.13 (\phi / n) + 1.0$ (도.설.해 3.4.2.3) $= 0.65 \cdot (0.0/6)^2 + 0.13 \cdot (0.0/6) + 1.0$	$= 1.000$
$\therefore \phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0$			
여기서, f_1, f_2 : 각각 보강된 판의 양면응력으로서 $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.			
보강되는 판의 두께	:	$t_o = b / 23 \cdot i \cdot n = 2,400 / (23 \times 1.000 \times 6)$	$= 17.391$

▪ 종방향 보강재의 소요강비

(도.설.해 3.4.2.4)

$\alpha \leq \alpha_o$ 이며 $t < t_o$ 이므로

$$r_l^* = 4\alpha^2 n (1+n\delta l) - (\alpha^2 + 1)^2 / n$$

$$= 4.950$$

$$I_{l(req)} = b \cdot t^3 \cdot r_l^* / 10.92 = 1.088E+06 \text{ mm}^4 \leq I_{l(use)} = 1.350E+07 \text{ mm}^4 \quad \dots\dots 0.K !!$$

$$A_{l(req)} = b \cdot t / 10 \cdot n = 400.0 \text{ mm}^2 \leq A_{l(use)} = 1,800.0 \text{ mm}^2 \quad \dots\dots 0.K !!$$

▪ 종방향 보강재의 압축응력 검토

(도.설.해 3.4.2.2)

$$b_{vr} / 10.5 = 14.3 \geq t_{vr} = 12.0$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 215.0 \text{ MPa} \geq f_c = 81.3 \text{ MPa} \quad \dots\dots 0.K !!$$

$$b_{vr} / 16.0 = 9.4 < t_{vr} = 12.0 \leq b_{vr} / 10.5 = 14.3$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 24,000 (t_{vr}/b_{vr})^2 = 153.6 \text{ MPa} \geq f_c = 81.3 \text{ MPa} \quad \dots\dots 0.K !!$$

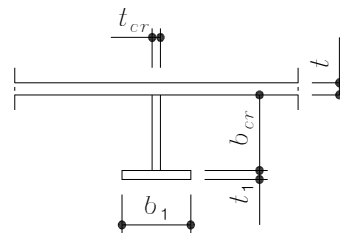
(2) 횡방향 리브의 설계 (SM400 사용)

횡방향 리브의 폭 : $b_{cr} = 300 \text{ mm}$

횡방향 리브의 두께 : $t_{cr} = 10 \text{ mm}$

횡방향 리브 보강재 폭 : $b_1 = 100 \text{ mm}$

횡방향 리브 보강재 두께 : $t_1 = 10 \text{ mm}$



리브의 필요단면2차 모멘트

$$I_{t(req)} = b \cdot t^3 / 10.92 \cdot \{(1 + n \cdot r_l^*) / 4\alpha^3\} = 2.946E+07 \text{ mm}^4$$

사용 리브의 단면2차 모멘트

$$I_{t(use)} = t_{cr} \cdot b_{cr}^3 / 3 + b_1 \cdot t_1^3 / 12 + A_1 \cdot y^2$$

$$= 10 \times 300^3 / 3 + 100 \times 10^3 / 12 + 1,000 \times 305^2 = 1.830E+08 \text{ mm}^4 \geq I_{t(req)} \quad \dots\dots 0.K !!$$

6.1.2 WEB 보강재

(1) 수직 보강재의 설계 (SM400 사용)

수평 보강재 사용 단수	:	$n = 1$
복부판의 연섬유 압축응력	:	$f = 81.3 \text{ MPa}$
복부판의 전단응력	:	$u = 48.9 \text{ MPa}$
사용 수직 보강재의 폭	:	$b_{vs} = 150.0 \text{ mm}$ $b_{vs2} = 0.0 \text{ mm}$
사용 수직 보강재의 두께	:	$t_{vs} = 12.0 \text{ mm}$ $t_{vs2} = 0.0 \text{ mm}$
사용 수직 보강재의 간격	:	$a = 925.0 \text{ mm}$
상·하 양 플랜지의 순간격	:	$b = 1,600.0 \text{ mm}$
복부판의 두께	:	$t = 12.0 \text{ mm}$

▪ 수직 보강재 간격 검토 (도.설.해 3.8.5.1)

$$a / b = 925.0 / 1,600.0 = 0.578 \leq 1.500 \quad \dots\dots 0.K !!$$

- 수평 보강재 1단을 사용할 경우

$$a / b > 0.80 \quad [b/100 \cdot t]^4 [\{f/950\}^2 + \{u/(127+61(b/a)^2)\}^2] \leq 1$$

$$a / b \leq 0.80 \quad [b/100 \cdot t]^4 [\{f/950\}^2 + \{u/(95+81(b/a)^2)\}^2] \leq 1$$

$$a / b \leq 0.80 \quad \text{이므로} \Rightarrow 0.089 \leq 1 \quad \dots\dots 0.K !!$$

▪ 수직 보강재의 강도검토 (도.설.해 3.8.5.2)

- 필요 강도

$$I_{(req)} = b \cdot t^3 \cdot r / 10.92 = 1,600.0 \times 12.0^3 \times 23.936 / 10.92 = 6.060E+06 \text{ mm}^4$$

- 수직 보강재의 소요강비

$$r = 8.0[b/a]^2 = 8.0 \times (1,600.0 / 925.0)^2 = 23.936$$

- 사용 강도

$$I_{(use)} = \frac{1}{3} \times 12.0 \times 150.0^3 + 0.0 \times 0.0^3 / 12 + 0.0 \times 150.0^2 = 1.350E+07 \text{ mm}^4$$

$$I_{(use)} = 1.350E+07 \text{ mm}^4 \geq I_{(req)} = 6.060E+06 \text{ mm}^4 \quad \dots\dots 0.K !!$$

▪ 수직보강재 최소 폭 및 두께 검토 (도.설.해 3.8.5.2)

$$b_{vs(req)} = 1,600.0 / 30 + 50 \text{ mm} = 103.333 \text{ mm} \leq b_{vs(use)} = 150.000 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{vs(req)} = 150.0 / 13 = 11.538 \text{ mm} \leq t_{vs(use)} = 12.000 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

(2) 수평보강재의 설계 (SM520 사용)

(도.설.해 3.8.6.2)

사용 수직 보강재의 간격 : $a = 925.0 \text{ mm}$

상·하 양 플랜지의 순간격 : $b = 1,600.0 \text{ mm}$

복부판의 두께 : $t = 12.0 \text{ mm}$

사용 수평 보강재의 폭 : $b_{hs} = 150.0 \text{ mm}$

사용 수평 보강재의 두께 : $t_{hs} = 12.0 \text{ mm} \geq t_{min} = b / 16 = 9.375 \text{ mm} \dots\dots \mathbf{0.K !!}$

▪ 수평 보강재의 강도검토

- 필요 강도

$$I_{(req)} = b \cdot t^3 \cdot r / 10.92 = 1,600.0 \times 12.0^3 \times 17.344 / 10.92 = 4.391\text{E}+06 \text{ mm}^4$$

- 수평 보강재의 소요강비

$$r = 30.0[a/b] = 30.0 \times (925.0 / 1,600.0) = 17.344$$

- 사용 강도

$$I_{(use)} = \frac{1}{3} \times 12.0 \times 150.0^3 \times 1\text{ea} = 1.350\text{E}+07 \text{ mm}^4$$

$$I_{(use)} = 1.350\text{E}+07 \text{ mm}^4 \geq I_{(req)} = 4.391\text{E}+06 \text{ mm}^4 \dots\dots \mathbf{0.K !!}$$

▪ 수평보강재의 설치위치

(도.설.해 3.8.6.1)

수평보강재 1단을 사용할 경우에는 $0.2b$ 부근에 배치한다.

압축측 플랜지로 부터 $0.2b = 0.2 \times 1,600 = 320.0\text{mm}$

종방향 리브의 설계

[G - 1]

구분	n	a	b	t	b_{vr}	최소두께(t_{vr})			단 면 적(A_l)			i	t_o	절점
						필요	사용	판정	필요	사용	판정			
단면-1	6	1,000	2,400	10	150	9	12	0.K	400	1,800	0.K	1.000	17.391	2
단면-3	6	1,250	2,400	10	150	9	12	0.K	400	1,800	0.K	1.000	17.391	4
단면-4	6	1,250	2,400	12	150	9	14	0.K	480	2,100	0.K	1.000	17.391	12
단면-5	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	11
단면-6	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	28
단면-8	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	20
단면-9	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	19

구분	r_l	α	α_o	δ_l	r_l^*	강 성(I_l)			응 력(f)			절점
						필요	사용	판정	작용	허용	판정	
단면-1	61.425	0.417	4.384	0.075	5.812	1.28E+06	1.35E+07	0.K	67.4	153.6	0.K	2
단면-3	61.425	0.521	4.384	0.075	9.171	2.02E+06	1.35E+07	0.K	130.2	153.6	0.K	4
단면-4	41.471	0.521	3.976	0.073	9.089	3.45E+06	1.58E+07	0.K	96.0	209.1	0.K	12
단면-5	17.496	0.521	3.208	0.055	8.377	7.54E+06	1.58E+07	0.K	134.5	209.1	0.K	11
단면-6	17.496	0.521	3.208	0.055	8.374	7.54E+06	1.58E+07	0.K	188.9	209.1	0.K	28
단면-8	17.496	0.521	3.208	0.055	8.377	7.54E+06	1.58E+07	0.K	83.6	209.1	0.K	20
단면-9	17.496	0.521	3.208	0.055	8.374	7.54E+06	1.58E+07	0.K	133.2	209.1	0.K	19

[G - 2]

구분	n	a	b	t	b_{vr}	최소두께(t_{vr})			단 면 적(A_l)			i	t_o	절점
						필요	사용	판정	필요	사용	판정			
단면-1	6	1,000	2,400	10	150	9	12	0.K	400	1,800	0.K	1.000	17.391	39
단면-3	6	1,250	2,400	10	150	9	12	0.K	400	1,800	0.K	1.000	17.391	41
단면-4	6	1,250	2,400	12	150	9	14	0.K	480	2,100	0.K	1.000	17.391	49
단면-5	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	48
단면-6	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	47
단면-8	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	55
단면-9	6	1,250	2,400	16	150	9	14	0.K	640	2,100	0.K	1.000	17.391	56

구분	r_l	α	α_o	δ_l	r_l^*	강 성(I_l)			응 력(f)			절점
						필요	사용	판정	작용	허용	판정	
단면-1	61.425	0.417	4.384	0.075	5.812	1.28E+06	1.35E+07	0.K	67.8	153.6	0.K	39
단면-3	61.425	0.521	4.384	0.075	9.171	2.02E+06	1.35E+07	0.K	130.6	153.6	0.K	41
단면-4	41.471	0.521	3.976	0.073	9.089	3.45E+06	1.58E+07	0.K	96.2	209.1	0.K	49
단면-5	17.496	0.521	3.208	0.055	8.377	7.54E+06	1.58E+07	0.K	134.5	209.1	0.K	48
단면-6	17.496	0.521	3.208	0.055	8.372	7.54E+06	1.58E+07	0.K	190.7	209.1	0.K	47
단면-8	17.496	0.521	3.208	0.055	8.377	7.54E+06	1.58E+07	0.K	110.4	209.1	0.K	55
단면-9	17.496	0.521	3.208	0.055	8.372	7.54E+06	1.58E+07	0.K	138.4	209.1	0.K	56

횡방향 리브의 설계

[G - 1]

구분	n	b	t	α	r_l^*	b_{cr}	t_{cr}	b_1	t_1	강 성(I_t)			절점
										필요	사용	판정	
단면-1	6	2,400	10	0.417	5.812	300	10	100	10	2.72E+07	1.83E+08	0.K	2
단면-3	6	2,400	10	0.521	9.171	300	10	100	10	2.18E+07	1.83E+08	0.K	4
단면-4	6	2,400	12	0.521	9.089	300	10	100	10	3.73E+07	1.83E+08	0.K	12
단면-5	6	2,400	16	0.521	8.377	300	10	100	10	8.17E+07	1.83E+08	0.K	11
단면-6	6	2,400	16	0.521	8.374	350	12	200	16	8.17E+07	5.82E+08	0.K	28
단면-8	6	2,400	16	0.521	8.377	300	10	100	10	8.17E+07	1.83E+08	0.K	20
단면-9	6	2,400	16	0.521	8.374	350	12	200	16	8.17E+07	5.82E+08	0.K	19

[G - 2]

구분	n	b	t	α	r_l^*	b_{cr}	t_{cr}	b_1	t_1	강 성(I_t)			절점
										필요	사용	판정	
단면-1	6	2,400	10	0.417	5.812	300	10	100	10	2.72E+07	1.83E+08	0.K	39
단면-3	6	2,400	10	0.521	9.171	300	10	100	10	2.18E+07	1.83E+08	0.K	41
단면-4	6	2,400	12	0.521	9.089	300	10	100	10	3.73E+07	1.83E+08	0.K	49
단면-5	6	2,400	16	0.521	8.377	300	10	100	10	8.17E+07	1.83E+08	0.K	48
단면-6	6	2,400	16	0.521	8.372	350	12	200	16	8.17E+07	5.82E+08	0.K	47
단면-8	6	2,400	16	0.521	8.377	350	12	200	16	8.17E+07	5.82E+08	0.K	55
단면-9	6	2,400	16	0.521	8.372	350	12	200	16	8.17E+07	5.82E+08	0.K	56

수직보강재의 설계

[G - 1]

구분	n	f	u	a	b	t	최소폭검토(b_{vs})			최소두께검토(t_{vs})			b_{vs2}	t_{vs2}	절점
							필요	사용	판정	필요	사용	판정			
단면-1	1	67.4	49.7	1,000	1,600	12	103.3	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	2
단면-2	1	131.8	11.2	1,250	1,800	12	110.0	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	4
단면-3	1	130.2	13.7	1,250	1,800	12	110.0	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	4
단면-4	1	96.0	36.8	1,250	1,816	12	110.5	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	12
단면-5	1	134.5	44.3	1,250	1,944	12	114.8	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	11
단면-6	1	188.9	48.4	1,250	2,200	12	123.3	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	28
단면-7	1	59.8	23.8	1,250	1,800	12	110.0	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	24
단면-8	1	83.6	38.6	1,250	1,944	12	114.8	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	20
단면-9	1	133.2	42.8	1,250	2,200	12	123.3	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	19

구분	간격비 검토(a/b)			간격 검토			r	강 성(I)			절점
	필요	사용	판정	필요	사용	판정		필요	사용	판정	
단면-1	1.500	0.625	0.K	1.000	0.101	0.K	20.481	5.186E+06	1.350E+07	0.K	2
단면-2	1.500	0.694	0.K	1.000	0.107	0.K	16.589	4.725E+06	1.350E+07	0.K	4
단면-3	1.500	0.694	0.K	1.000	0.109	0.K	16.589	4.725E+06	1.350E+07	0.K	4
단면-4	1.500	0.688	0.K	1.000	0.154	0.K	16.885	4.852E+06	4.267E+07	0.K	12
단면-5	1.500	0.643	0.K	1.000	0.297	0.K	19.347	5.951E+06	4.267E+07	0.K	11
단면-6	1.500	0.568	0.K	1.000	0.668	0.K	24.792	8.631E+06	4.267E+07	0.K	28
단면-7	1.500	0.694	0.K	1.000	0.062	0.K	16.589	4.725E+06	1.350E+07	0.K	24
단면-8	1.500	0.643	0.K	1.000	0.175	0.K	19.347	5.951E+06	1.350E+07	0.K	20
단면-9	1.500	0.568	0.K	1.000	0.395	0.K	24.792	8.631E+06	4.267E+07	0.K	19

[G - 2]

구분	n	f	u	a	b	t	최소폭검토(b_{vs})			최소두께검토(t_{vs})			b_{vs2}	t_{vs2}	절점
							필요	사용	판정	필요	사용	판정			
단면-1	1	67.8	52.8	1,000	1,600	12	103.3	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	39
단면-2	1	131.8	11.8	1,250	1,800	12	110.0	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	41
단면-3	1	130.6	15.3	1,250	1,800	12	110.0	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	41
단면-4	1	96.2	37.5	1,250	1,816	12	110.5	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	49
단면-5	1	134.5	46.3	1,250	1,944	12	114.8	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	48
단면-6	1	190.7	58.9	1,250	2,200	12	123.3	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	47
단면-7	1	60.7	24.9	1,250	1,800	12	110.0	150	0.K	11.5	12	0.K	0	0	61
단면-8	1	110.4	45.6	1,250	2,056	12	118.5	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	55
단면-9	1	138.4	47.0	1,250	2,200	12	123.3	200	0.K	15.4	16	0.K	0	0	56

구분	간격비 검토(a/b)			간격 검토			r	강 성(I)			절점
	필요	사용	판정	필요	사용	판정		필요	사용	판정	
단면-1	1.500	0.625	0.K	1.000	0.112	0.K	20.482	5.186E+06	1.350E+07	0.K	39
단면-2	1.500	0.694	0.K	1.000	0.108	0.K	16.589	4.725E+06	1.350E+07	0.K	41
단면-3	1.500	0.694	0.K	1.000	0.113	0.K	16.589	4.725E+06	1.350E+07	0.K	41
단면-4	1.500	0.688	0.K	1.000	0.158	0.K	16.885	4.852E+06	4.267E+07	0.K	49
단면-5	1.500	0.643	0.K	1.000	0.313	0.K	19.347	5.951E+06	4.267E+07	0.K	48
단면-6	1.500	0.568	0.K	1.000	0.782	0.K	24.795	8.632E+06	4.267E+07	0.K	47
단면-7	1.500	0.694	0.K	1.000	0.066	0.K	16.589	4.725E+06	1.350E+07	0.K	61
단면-8	1.500	0.608	0.K	1.000	0.298	0.K	21.641	7.041E+06	4.267E+07	0.K	55
단면-9	1.500	0.568	0.K	1.000	0.448	0.K	24.795	8.632E+06	4.267E+07	0.K	56

수평보강재의 설계

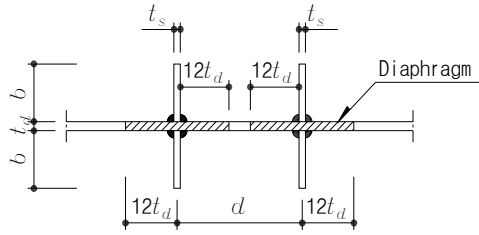
[G - 1]

구분	a	b	t	n	b_{hs}	최소두께검토(t_{hs})			r	강 성(I)			절점
						필요	사용	판정		필요	사 용	판정	
단면-1	1,000	1,600	12	1	150	9.4	12	0.K	18.750	4.747E+06	1.350E+07	0.K	2
단면-2	1,250	1,800	12	1	150	9.4	12	0.K	20.833	5.934E+06	1.350E+07	0.K	4
단면-3	1,250	1,800	12	1	150	9.4	12	0.K	20.833	5.934E+06	1.350E+07	0.K	4
단면-4	1,250	1,836	12	1	150	9.4	12	0.K	20.425	5.934E+06	1.350E+07	0.K	12
단면-5	1,250	1,996	12	1	150	9.4	12	0.K	18.788	5.934E+06	1.350E+07	0.K	11
단면-6	1,250	2,200	12	1	150	9.4	12	0.K	17.042	5.933E+06	1.350E+07	0.K	28
단면-7	1,250	1,800	12	1	150	9.4	12	0.K	20.833	5.934E+06	1.350E+07	0.K	24
단면-8	1,250	1,996	12	1	150	9.4	12	0.K	18.789	5.934E+06	1.350E+07	0.K	20
단면-9	1,250	2,200	12	1	150	9.4	12	0.K	17.042	5.933E+06	1.350E+07	0.K	19

[G - 2]

구분	a	b	t	n	b_{hs}	최소두께검토(t_{hs})			r	강 성(I)			절점
						필요	사용	판정		필요	사 용	판정	
단면-1	1,000	1,600	12	1	150	9.4	12	0.K	18.750	4.747E+06	1.350E+07	0.K	39
단면-2	1,250	1,800	12	1	150	9.4	12	0.K	20.833	5.934E+06	1.350E+07	0.K	41
단면-3	1,250	1,800	12	1	150	9.4	12	0.K	20.833	5.934E+06	1.350E+07	0.K	41
단면-4	1,250	1,836	12	1	150	9.4	12	0.K	20.425	5.934E+06	1.350E+07	0.K	49
단면-5	1,250	1,996	12	1	150	9.4	12	0.K	18.788	5.934E+06	1.350E+07	0.K	48
단면-6	1,250	2,200	12	1	150	9.4	12	0.K	17.040	5.932E+06	1.350E+07	0.K	47
단면-7	1,250	1,800	12	1	150	9.4	12	0.K	20.833	5.934E+06	1.350E+07	0.K	61
단면-8	1,250	1,996	12	1	150	9.4	12	0.K	18.789	5.934E+06	1.350E+07	0.K	55
단면-9	1,250	2,200	12	1	150	9.4	12	0.K	17.040	5.932E+06	1.350E+07	0.K	56

6.2 지점부 보강재 (교각부)



사용 강종 : (SM520B 사용)

최대 지점반력 : $R_{max} = 4,668.0$ kN (절점 76 사용)

▪ 지점부 보강재 제원 (단위 : mm)

폭 (b)	길이 (l)	두께 (t_s)			Diaphragm 두께 (t_d)	설치 간격 (d)	사용 열수 (n)	각도 (α)	계산 각도 (Θ)	단면 유효폭 (B_e)
		필요	사용	판정						
240.0	2,200.0	$b / 16 = 15.0$	20.0	0.K	26.0	200.0	2ea	90.0°	0.0°	824.0

(도.설 3.4.2.2, 3.8.7.2)

보강재 단면적 : $A_s = 240.0 \times 20 \times 4 = 19,200.0 \text{ mm}^2$

유효 단면적 : $A_e = 19,200.0 + 824.0 \times 26.0 = 40,624.0 \text{ mm}^2 > 1.7 \cdot A_s = 32,640.0 \text{ mm}^2$

$\therefore A_e = 32,640.0 \text{ mm}^2$ (도.설 3.8.7.1)

Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차 모멘트

$$\begin{aligned}
 I &= B_e \cdot t_d^3 / 12 + [t_s \cdot b / 12 \times \{(b \cdot \cos \Theta)^2 + (t_s \cdot \sin \Theta)^2\} + t_s \cdot b \times (b / 2 \cdot \cos \Theta + t_d / 2)^2] \times 2 \cdot n \\
 &= 824.0 \times 26.0^3 / 12 + [20.0 \times 240.0 / 12 \times \{(240.0 \times \cos 0.0)^2 + (20.0 \times \sin 0.0)^2\} \\
 &\quad + 20.0 \times 240.0 \times (240.0 / 2 \times \cos 0.0 + 26.0 / 2)^2] \times 2 \times 2.0 = 4.330\text{E}+08 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

단면2차 반경

$$r = \sqrt{I / A_e} = \sqrt{432,995,685.3 / 32,640.0} = 115.177 \text{ mm}$$

유효 좌굴 길이

$$l_e = l / 2 = 2,200.0 / 2 = 1,100.0 \text{ mm}$$

허용 축방향 압축응력

$$l_e / r = 9.550 \leq 15.1 \quad (\text{도.설 3.3.2.1})$$

$\Rightarrow f_{cag} = 215.0 \text{ MPa}$: 국부좌굴 미 고려시

$$15.1 \geq l_e / r = 9.550 \leq 75.5$$

$\Rightarrow f_{cag} = 215.0 - 1.6 (l_e / r - 15.1) = 223.6 \text{ MPa}$: 국부좌굴 미 고려시

$$75.5 \geq l_e / r = 9.550$$

$\Rightarrow f_{cag} = 1.20\text{E}+06 / \{ 4,400.0 + (l_e / r)^2 \} = 267.188$: 국부좌굴 미 고려시

$$b / 10.5 = 22.9 \geq t_s = 20.0 \quad (\text{도.설 3.4.2.2})$$

$\Rightarrow f_{cal} = 215.0 \text{ MPa}$: 자유 돌출판 국부좌굴 고려시

$$b / 16.0 = 15.0 < t_s = 20.0 \leq b / 10.5 = 22.9$$

$\Rightarrow f_{cal} = 24,000 (t_s / b)^2 = 166.7 \text{ MPa}$: 자유 돌출판 국부좌굴 고려시

$\Rightarrow f_{cao} = 215.0 \text{ MPa}$: 허용축방향 압축응력의 상한값

$$\therefore f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao} = 215.0 \times 166.7 / 215.0 = 166.7 \text{ MPa} \quad (\text{허용 축방향 압축응력})$$

$$f_c = R_{max} / A_e = 4,668.0 / 32,640.0 = 143.0 \text{ MPa} \leq f_{ca} \quad \dots\dots 0.K !!$$

[G - 1] (SM520B 사용)

지점	b (mm)	l (mm)	t_s (mm)			t_d (mm)	d (mm)	n (ea)	α	Θ	B_e (mm)
			필요	사용	판정						
A1	240.0	1,600.0	15.0	20.0	0.K	16.0	200.0	2	90.1 °	0.1 °	584.0
P1	240.0	2,200.0	15.0	20.0	0.K	26.0	200.0	2	90.0 °	0.0 °	824.0
P2	240.0	2,200.0	15.0	20.0	0.K	26.0	200.0	2	90.0 °	0.0 °	824.0
P3	240.0	2,200.0	15.0	20.0	0.K	26.0	200.0	2	90.0 °	0.0 °	824.0
A2	240.0	1,600.0	15.0	20.0	0.K	16.0	200.0	2	89.9 °	0.1 °	584.0

지점	A_s (mm ²)	A_e (mm ²)			I (mm ⁴)	r (mm)	l_e (mm)	f_{cag} (MPa)	f_{cal} (MPa)	f_{cao} (MPa)
		계산값	상한값	적용값						
A1	19,200.0	28,544.0	32,640.0	28,544.0	4.069E+08	119.4	800.0	215.0	166.7	215.0
P1	19,200.0	40,624.0	32,640.0	32,640.0	4.330E+08	115.2	1,100.0	215.0	166.7	215.0
P2	19,200.0	40,624.0	32,640.0	32,640.0	4.330E+08	115.2	1,100.0	215.0	166.7	215.0
P3	19,200.0	40,624.0	32,640.0	32,640.0	4.330E+08	115.2	1,100.0	215.0	166.7	215.0
A2	19,200.0	28,544.0	32,640.0	28,544.0	4.069E+08	119.4	800.0	215.0	166.7	215.0

지점	절점	R_{max} (kN)	허용 축방향 압축응력(MPa)		
			작용	허용	판정
A1	1	1,906.7	66.8	166.7	0.K
P1	10	4,668.0	143.0	166.7	0.K
P2	19	3,947.5	120.9	166.7	0.K
P3	28	4,690.2	143.7	166.7	0.K
A2	37	1,929.1	67.6	166.7	0.K

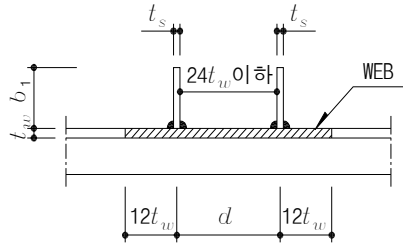
[G - 2] (SM520B 사용)

지점	b (mm)	l (mm)	t_s (mm)			t_d (mm)	d (m)	n (ea)	α	Θ	B_e (mm)
			필요	사용	판정						
A1	240.0	1,600.0	15.0	20.0	0.K	16.0	200.0	2	90.1 °	0.1 °	584.0
P1	240.0	2,200.0	15.0	22.0	0.K	26.0	200.0	2	90.0 °	0.0 °	824.0
P2	240.0	2,200.0	15.0	20.0	0.K	26.0	200.0	2	90.0 °	0.0 °	824.0
P3	240.0	2,200.0	15.0	22.0	0.K	26.0	200.0	2	90.0 °	0.0 °	824.0
A2	240.0	1,600.0	15.0	20.0	0.K	16.0	200.0	2	89.9 °	0.1 °	584.0

지점	A_s (mm ²)	A_e (mm ²)			I (mm ⁴)	r (mm)	l_e (mm)	f_{cag} (MPa)	f_{cal} (MPa)	f_{cao} (MPa)
		계산값	상한값	적용값						
A1	19,200.0	28,544.0	32,640.0	28,544.0	4.069E+08	119.4	800.0	215.0	166.7	215.0
P1	21,120.0	42,544.0	35,904.0	35,904.0	4.762E+08	115.2	1,100.0	215.0	201.7	215.0
P2	19,200.0	40,624.0	32,640.0	32,640.0	4.330E+08	115.2	1,100.0	215.0	166.7	215.0
P3	21,120.0	42,544.0	35,904.0	35,904.0	4.762E+08	115.2	1,100.0	215.0	201.7	215.0
A2	19,200.0	28,544.0	32,640.0	28,544.0	4.069E+08	119.4	800.0	215.0	166.7	215.0

지점	절점	R_{max} (kN)	허용 축방향 압축응력(MPa)		
			작용	허용	판정
A1	38	1,889.0	66.2	166.7	0.K
P1	47	5,484.1	152.7	201.7	0.K
P2	56	4,649.5	142.4	166.7	0.K
P3	65	5,456.9	152.0	201.7	0.K
A2	74	1,866.6	65.4	166.7	0.K

6.3 JACK UP용 보강재 (교각부)



사용 강종 : (SM520B 사용) (절점 76 사용)

최대 지점반력 : $R_d = 3,006.5$ kN $R_l = 1,635.9$ kN

▪ JACK UP용 보강재 제원 (단위 : mm)

폭		길이 (<i>l</i>)	두 개 (<i>t_s</i>)				WEB 두께 (<i>t_w</i>)	설치 간격 (<i>d</i>)	사용 열수 (<i>n</i>)	단면 유효폭 (<i>B_e</i>)	
<i>b₁</i>	<i>b₂</i>		필요		<i>t_{s1}</i>	<i>t_{s2}</i>					판정
150.0	0.0	900.0	<i>b₁</i> / 16 = 9.4	<i>b₂</i> / 16 = 0.0	20	0	O.K	12	200.0	2ea	488.0

(도.설 3.4.2.2, 3.8.7.2)

교각받침 1개소당 Jack UP 장치 설치 개소 : $J_n = 4$ 개소

※ 교각받침 교체를 위한 보강부재의 설계시 설계반력은 평상시 지점반력을 할증할 값($R_d + 1.5R_l$)으로 검토한다. : 차량통행 시에도 교체가 가능하도록 배려한 것임 (강.상.세 3.4.3)

작 용 하 중 : $P = (3,006.5 + 1.5 \times 1,635.9) / 4 = 1,365.1$ kN

보강재 단면적 : $A_s = 150.0 \times 20 \times 2 + 0.0 \times 0.0 \times 2.0 = 6,000.0$ mm²

유효 단면적 : $A_e = 6,000.0 + 488.0 \times 12.0 = 11,856.0$ mm² > $1.7 \cdot A_s = 10,200.0$ mm²

$\therefore A_e = 10,200.0$ mm² (도.설 3.8.7.1)

중립축의 위치

$$Y_o = \sum(A \cdot y) / \sum A_e$$

$$= [2.0 \times \{ 0.0 \times 0.0 + 3,000.0 \times 87.0 \} + 5,856.0 \times 6.0] / 10,200.0 = 54.621 \text{ mm}$$

Diaphragm 중심선 둘레의 단면2차 모멘트

$$I = 488.0 \times 12.0^3 / 12 + 5,856.0 \times 48.621^2 + (0.0 \times 0.0^3 / 12 + 0.0 \times 54.621^2$$

$$+ 20.0 \times 150.0^3 / 12 + 3,000.0 \times 32.379^2) \times 2.0 = 3.145E+07 \text{ mm}^4$$

단면2차 반경

$$r = \sqrt{I / A_e} = \sqrt{(31,454,295.4 / 10,200.0)} = 55.532 \text{ mm}$$

유효 좌굴 길이

$$l_e = l / 2 = 900.0 / 2 = 450.0 \text{ mm}$$

허용 축방향 압축응력(25% 할증 적용)

$$l_e / r = 8.103 \leq 15.1 \quad (\text{도.설 3.3.2.1})$$

$\Rightarrow f_{cag} = 268.8$ MPa : 국부좌굴 미 고려시

$$15.1 \geq l_e / r = 8.103 \leq 75.5 \quad (\text{도.설 3.3.2.1})$$

$\Rightarrow f_{cag} = 215.0 - 1.6 (l_e / r - 15.1) = 282.3$ MPa : 국부좌굴 미 고려시

$$75.5 \geq l_e / r = 8.103$$

$\Rightarrow f_{cag} = 1.20E+06 / \{ 4,400.0 + (l_e / r)^2 \} = 335.896$: 국부좌굴 미 고려시

$$b / 10.5 = 14.3 \leq t_s = 20.0$$

$\Rightarrow f_{cal} = 268.8$ MPa : 자유 돌출판 국부좌굴 고려시

$$b / 16.0 = 9.4 < t_s = 20.0 > b / 10.5 = 14.3$$

$\Rightarrow f_{cal} = 24,000 (t_s / b)^2 = 533.3$ MPa : 자유 돌출판 국부좌굴 고려시

$\Rightarrow f_{cao} = 268.8$ MPa : 허용축방향 압축응력의 상한값

$$\therefore f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao} = 268.8 \times 268.8 / 268.8 = 268.8 \text{ MPa (허용 축방향 압축응력)}$$

$$f_c = R_{max} / A_e = 1,365.1 / 10,200.0 = 133.8 \text{ MPa} \leq f_{ca} \dots\dots 0.K !!$$

[G - 1] (SM520B 사용)

지점	폭(mm)		l (mm)	t_s (mm)					t_w (mm)	d (m)	n (ea)	J_n (ea)	B_e (mm)
	b_1	b_2		필요		t_{s1}	t_{s2}	판정					
A1	150.0	0.0	900.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	2	488.0
P1	150.0	0.0	900.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	4	488.0
P2	150.0	0.0	1,100.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	4	488.0
P3	150.0	0.0	1,100.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	4	488.0
A2	150.0	0.0	900.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	2	488.0

지점	A_s (mm ²)	A_e (mm ²)			Y_o (mm)	I (mm ⁴)	r (mm)	l_e (mm)	f_{cag} (MPa)	f_{cal} (MPa)	f_{cao} (MPa)
		계산값	상한값	적용값							
A1	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	450.0	268.8	268.8	268.8
P1	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	450.0	268.8	268.8	268.8
P2	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	550.0	268.8	268.8	268.8
P3	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	550.0	268.8	268.8	268.8
A2	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	450.0	268.8	268.8	268.8

지점	절점	R_d (kN)	R_l (kN)	P (kN)	허용 축방향 압축응력(MPa)		
					작용	허용	판정
A1	1	1,090.5	799.2	1,144.7	112.2	268.8	0.K
P1	10	3,006.5	1,635.9	1,365.1	133.8	268.8	0.K
P2	19	2,370.3	1,551.6	1,174.4	115.1	268.8	0.K
P3	28	3,025.5	1,639.6	1,371.2	134.4	268.8	0.K
A2	37	1,107.7	804.5	1,157.2	113.5	268.8	0.K

[G - 2] (SM520B 사용)

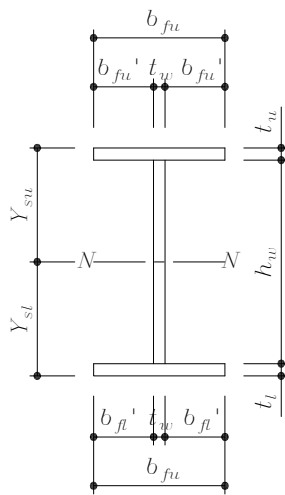
지점	폭(mm)		l (mm)	t_s (mm)					t_w (mm)	d (m)	n (ea)	J_n (ea)	B_e (mm)
	b_1	b_2		필요		t_{s1}	t_{s2}	판정					
A1	150.0	0.0	900.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	2	488.0
P1	150.0	0.0	900.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	4	488.0
P2	150.0	0.0	1,100.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	4	488.0
P3	150.0	0.0	1,100.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	4	488.0
A2	150.0	0.0	900.0	9.4	0.0	20.0	0.0	0.K	12	200.0	2	2	488.0

지점	A_s (mm ²)	A_e (mm ²)			Y_o (mm)	I (mm ⁴)	r (mm)	l_e (mm)	f_{cag} (MPa)	f_{cal} (MPa)	f_{cao} (MPa)
		계산값	상한값	적용값							
A1	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	450.0	268.8	268.8	268.8
P1	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	450.0	268.8	268.8	268.8
P2	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	550.0	268.8	268.8	268.8
P3	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	550.0	268.8	268.8	268.8
A2	6,000.0	11,856	10,200	10,200	54.6	3.145E+07	55.5	450.0	268.8	268.8	268.8

지점	절점	R_d (kN)	R_l (kN)	P (kN)	허용 축방향 압축응력(MPa)		
					작용	허용	판정
A1	38	1,158.7	714.9	1,115.5	109.4	268.8	0.K
P1	47	3,831.4	1,593.1	1,555.3	152.5	268.8	0.K
P2	56	3,086.2	1,503.6	1,335.4	130.9	268.8	0.K
P3	65	3,809.1	1,587.6	1,547.6	151.7	268.8	0.K
A2	74	1,138.9	712.0	1,103.5	108.2	268.8	0.K

7.1 가로보의 설계

[1CR01]



단면제원

(단위:mm)

사용강재	b_{fu}	b_{fu}'	b_{fl}	b_{fl}'	h_w	t_{fu}	t_w	t_{fl}
SM400B	300.0	144.0	300.0	144.0	1,000.0	12.0	12.0	12.0

가로보간격(전) : $B_f = 0.0$ mm 가로보지간 : $L = 2,200.0$ mm

가로보간격(후) : $B_r = 4,347.2$ mm

부재 검토 (도.설.해 3.8.4.1)

(단위:mm)

복부판 두께 검토			상판 두께 검토			하판 두께 검토		
필요	사용	판정	필요	사용	판정	필요	사용	판정
$h_w / 150 = 6.7$	12	0.K	$b_{fu}' / 16 = 9.0$	12	0.K	$b_{fl}' / 16 = 9.0$	12	0.K

하중 관련

강재 (kN/m ³)	강재 할증	차륜하중(kN)			탱크하중		트레일러		
		P_r (kN/m)	P_f (kN/m)	L_1 (mm)	P_{tk} (kN/m)	L_2 (mm)	P_1 (kN/m)	P_2 (kN/m)	P_3 (kN/m)
78.50	1.4732	96.00	24.00	4,200.0	0.000	0.0	0.000	0.000	0.000

도심 산정

구분	규격	A_s (mm ²)	Y (mm)	$A_s \cdot Y$ (mm ³)	$A_s \cdot Y^2$ (mm ⁴)	I_{xo} (mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	506.0	1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
WEB	1 - 1,000.0 × 12.0	12,000.0	-	-	-	1.000E+09
LOWER FL.	1 - 300.0 × 12.0	3,600.0	-506.0	-1.822E+06	9.217E+08	4.320E+04
합계		19,200.0	-	0.000E+00	1.843E+09	1.000E+09

$$I_x' = \sum A_s \cdot Y^2 + \sum I_{xo} = 1,843,459,200.0 + 1,000,086,400.0 = 2.844E+09 \text{ mm}^4$$

$$\delta_y = \sum A_s \cdot Y / \sum A_s = 0.0 / 19,200.0 = 0.000 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_x' - \sum A_s \times \delta_y^2 = 2,843,545,600.0 - 19,200.0 \times 0.0^2 = 2.844E+09 \text{ mm}^4$$

$$y_{su} = h_w / 2 + t_{fu} - \delta_y = 1,000.0/2 + 12.00 - 0.0 = 512.000 \text{ mm}$$

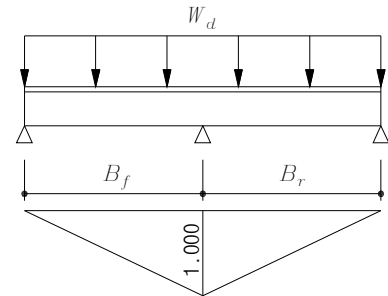
$$y_{sl} = h_w / 2 + t_{fl} + \delta_y = 1,000.0/2 + 12.00 - 0.0 = 512.000 \text{ mm}$$

1) 관 용 해 석

(1) 작용 하중 산정

① 고정 하중

$$\begin{aligned}
 \text{슬래브} &: W_c = 0.240 \times 25.000 = 6.000 \text{ kN/m} \\
 \text{포장} &: W_a = 0.050 \times 23.500 = 1.175 \text{ kN/m} \\
 \Sigma &= 7.175 \text{ kN/m} \\
 \text{강재 자중} &: W_s = 0.019 \times 78.500 = 1.507 \text{ kN/m} \\
 \text{강재 활중} &: W_{ds} = 1.507 \times 1.4732 = 2.220 \text{ kN/m} \\
 \text{영향선 면적} &: (0.000 + 4.347) \times 1.00/2 = 2.174 \text{ m}^2 \\
 \text{고정 하중} &: W_d = 7.175 \times 2.174 \\
 &\quad + 2.220 \times 1.000 = 17.816 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$



② 활 하중

⇒ 차륜하중 (DB-24) 재하시

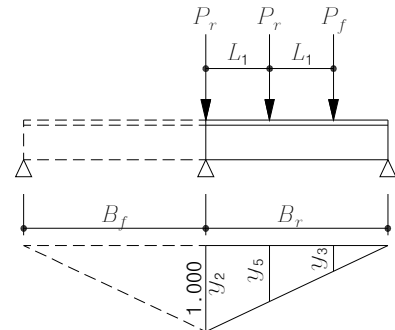
활하중 작용 거리 및 영향선 증거

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0.0 \text{ mm} \Rightarrow y_1 = 0.000 \\
 x_4 &= 0.0 \text{ mm} \Rightarrow y_4 = 0.000 \\
 x_2 &= 0.0 \text{ mm} \Rightarrow y_2 = 1.000 \\
 x_5 &= 0.0 \text{ mm} \Rightarrow y_5 = 0.000 \\
 x_3 &= 147.2 \text{ mm} \Rightarrow y_3 = 0.034 \\
 \Sigma y &= 1.034
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \therefore P_{sl} &= 24.000 \times 0.034 + 96.000 \times (1.000 + 0.000) \\
 &= 96.812 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

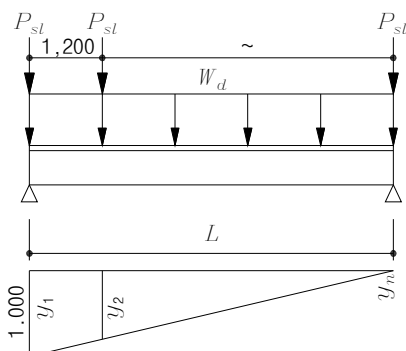
충격 계수

$$i = 15 / (40 + 4.347) = 0.338 > 0.300 \therefore i = 0.300$$



(2) 전단력 산정

⇒ 차륜하중 (DB-24) 재하시



▪ 최대 재하가능한 윤하중 수 $n = 2$

▪ 가로보 지간장 : $A = 2.200 \times 1.000 / 2 = 1.100 \text{ m}^2$

▪ 고정하중에 의한 전단력

$$V_d = W_d \times A = 17.816 \times 1.100 = 19.597 \text{ kN}$$

▪ 가로보 끝단에서 윤하중까지의 거리 및 증거

$$\begin{aligned}
 x_1 &= 0.0 \text{ mm} \Rightarrow y_1 = 1.000 \\
 x_2 &= 1,200.0 \text{ mm} \Rightarrow y_2 = 0.455 \\
 x_3 &= - \text{ mm} \Rightarrow y_3 = - \\
 x_4 &= - \text{ mm} \Rightarrow y_4 = - \\
 x_5 &= - \text{ mm} \Rightarrow y_5 = - \\
 \Sigma y &= 1.455
 \end{aligned}$$

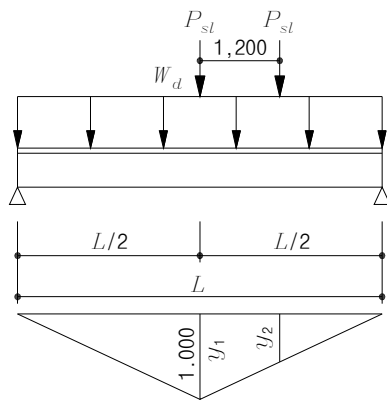
▪ 활하중에 의한 전단력(충격계수 포함)

$$V_{l+i} = P_{sl} \times (1+i) \times \Sigma y = 96.812 \times (1 + 0.300) \times 1.455 = 183.064 \text{ kN}$$

$$\therefore V_t = V_d + V_{l+i} = 19.597 + 183.064 = 202.661 \text{ kN}$$

(3) 모멘트 산정

⇒ 차륜하중 (DB-24) 재하시



▪ 최대 재하가능한 윤하중 수 $n = 1$

▪ 영향선 면적 : $A = 2.200 \times 1.000 / 2 = 1.100 \text{ m}^2$

▪ 고정하중에 의한 모멘트

$$M_d = W_d \times A \times L / 4$$

$$= 17.816 \times 1.100 \times 2.200 / 4 = 10.779 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

▪ 가로보 중앙에서 윤하중까지의 거리 및 중거

$$x_1 = 0.0 \text{ mm} \Rightarrow y_1 = 1.000$$

$$x_2 = - \text{mm} \Rightarrow y_2 = -$$

$$x_3 = - \text{mm} \Rightarrow y_3 = -$$

$$\Sigma y = 1.000$$

▪ 활하중에 의한 모멘트(충격계수 포함)

$$M_{l+i} = P_{sl} \times (1+i) \times \Sigma y \times L / 4 = 96.812 \times (1+0.300) \times 1.000 \times 2.200 / 4 = 69.221 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore M_t = M_d + M_{l+i} = 10.779 + 69.221 = 80.000 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2) 격자 해석

[3D Frame 해석결과]

구 분	단위	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	지점침하	합 계
		강재자중	슬래브 자중				
모 멘 트	kN·m	-31.443	-29.026	-22.279	-319.772	-1.589	-404.109
전 단 력	kN	-34.818	-22.984	65.402	-307.063	-1.381	-300.843

Frame 해석결과 : $V_{max} = 300.843 \text{ kN}$, $M_{max} = 404.109 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (OutPut 참조)- 부재번호 73

3) 결 과 비 교

관용해석에서 나온 부재력과 Frame 해석에서 나온 부재력 중 불리한 값을 설계에 적용함.

계산적용부재력 : $V_{max} = 300.843 \text{ kN}$, $M_{max} = 404.109 \text{ kN} \cdot \text{m}$

4) 단 면 검 토

- 자유돌출판의 압축부 국부좌굴에 대한 허용응력 (도.설 해 3.4.2.2 표3.4.4)

- 상부 플랜지

$$b_{fu}' / 12.9 = 11.2 \text{ mm} \leq t_{fu} = 12.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \textcircled{1} f_{ca} = 140.0 \text{ MPa}$$

$$b_{fu}' / 16.0 = 9.0 \text{ mm} \leq t_{fu} = 12.0 \text{ mm} \geq b_{fu}' / 12.9 = 11.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \textcircled{1} f_{ca} = 24,000 (t_{fu}/b_{fu}')^2 = 166.7 \text{ MPa}$$

- 하부 플랜지

$$b_{fl}' / 12.9 = 11.2 \text{ mm} \leq t_{fl} = 12.0 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \textcircled{1} f_{ca} = 140.0 \text{ MPa}$$

$$b_{fl}' / 16.0 = 9.0 \text{ mm} \leq t_{fl} = 12.0 \text{ mm} \geq b_{fl}' / 12.9 = 11.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \textcircled{1} f_{ca} = 24,000 (t_{fl}/b_{fl}')^2 = 166.7 \text{ MPa}$$

- 허용 휨 압축응력 (도.설 해 3.3.2.1 표3.3.4)

- 상부 플랜지

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	12,000.0 mm^2	$A_w/A_c = 3.333 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	3,600.0 mm^2	
L : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,200.0 mm	
b_{fu} : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	300.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.160	

$$9.3/K = 4.3 < L / b_{fu} = 2,200.0 / 300.0 = 7.3$$

$$\Rightarrow \textcircled{2} f_{ca} = 140.0 \text{ MPa}$$

$$9.3/K = 4.3 < L / b_{fu} = 2,200.0 / 300.0 = 7.3 \leq 30.0$$

$$\Rightarrow \textcircled{2} f_{ca} = 140.0 - 1.24 (K \cdot L / b_{fu} - 9.3) = 140.0 - 1.24 \times (2.160 \times 2,200.0 / 300.0 - 9.3) = 131.9 \text{ MPa}$$

- 하부 플랜지

A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	12,000.0 mm^2	$A_w/A_c = 3.333 > 2.0$
A_c : 압축플랜지 총단면적 (mm^2)	$\Rightarrow$	3,600.0 mm^2	
L : 압축플랜지의 고정점간 거리 (mm)	$\Rightarrow$	2,200.0 mm	
b_{fl} : 압축플랜지 폭 (mm)	$\Rightarrow$	300.0 mm	
$K = \sqrt{3 + (A_w/2A_c)}$	$\Rightarrow$	2.160	

$$9.3/K = 4.3 < L / b_{fl} = 2,200.0 / 300.0 = 7.3$$

$$\Rightarrow \textcircled{2} f_{ca} = 140.0 \text{ MPa}$$

$$9.3/K = 4.3 < L / b_{fl} = 2,200.0 / 300.0 = 7.3 \leq 30.0$$

$$\Rightarrow \textcircled{2} f_{ca} = 140.0 - 1.24 (K \cdot L / b_{fl} - 9.3) = 140.0 - 1.24 \times (2.160 \times 2,200.0 / 300.0 - 9.3) = 131.9 \text{ MPa}$$

∴ ②에 허용응력 값이 ①에 허용응력 값보다 작은 경우에는 허용 휨 압축응력에 대한 허용응력을 사용한다

$$f_{ca} = 131.9 \text{ MPa} , f_{ta} = 140.0 \text{ MPa} \quad (\text{상부 플랜지}) \quad (\text{도.설 해 3.3.2.1 표3.3.1})$$

$$u_a = 80.0 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 해 3.3.2.1 표3.3.5})$$

∴ ②에 허용응력 값이 ①에 허용응력 값보다 작은 경우에는 허용 휨 압축응력에 대한 허용응력을 사용한다

$$f_{ca} = 131.9 \text{ MPa} , f_{ta} = 140.0 \text{ MPa} \quad (\text{하부 플랜지}) \quad (\text{도.설 해 3.3.2.1 표3.3.1})$$

$$u_a = 80.0 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 해 3.3.2.1 표3.3.5})$$

▪ 응 력 검 토

$$u = V_u / A_w = 300,842.8 / (1,000.0 \times 12.0)$$

$$u = 25.070 \text{ MPa} \leq u_a = 80.0 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$f_u = M_u \cdot y_{su} / I_{33} = 404,109,232.0 \times 512.0 / 2,843,545,600.0$$

$$f_u = 72.763 \text{ MPa} \leq f_{ca} = 131.9 \text{ MPa} \quad (\text{상부 플랜지 압축인 경우}) \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$f_u = 72.763 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 140.0 \text{ MPa} \quad (\text{상부 플랜지 인장인 경우}) \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$f_l = M_u \cdot y_{sl} / I_{33} = 404,109,232.0 \times 512.0 / 2,843,545,600.0$$

$$f_l = 72.763 \text{ MPa} \leq f_{ta} = 140.0 \text{ MPa} \quad (\text{하부 플랜지 인장인 경우}) \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$f_l = 72.763 \text{ MPa} \leq f_{ca} = 131.9 \text{ MPa} \quad (\text{하부 플랜지 압축인 경우}) \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

▪ 합성응력 검토

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{v}{v_a} \right)^2 \leq 1.2 \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

[상부 플랜지 인장, 하부 플랜지 압축]

$$\left(\frac{72.763}{131.888} \right)^2 + \left(\frac{25.070}{80.000} \right)^2 = 0.304 + 0.098 = 0.403 \leq 1.2 \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

[상부 플랜지 압축, 하부 플랜지 인장]

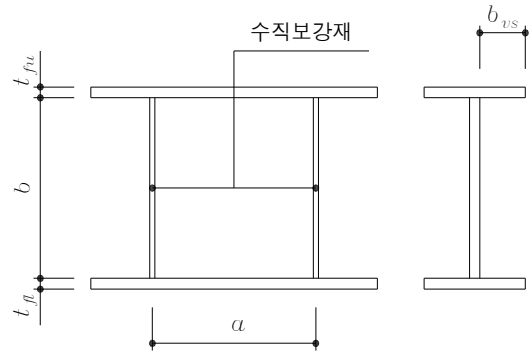
$$\left(\frac{72.763}{131.888} \right)^2 + \left(\frac{25.070}{80.000} \right)^2 = 0.304 + 0.098 = 0.403 \leq 1.2 \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

[수직보강재를 생략할 수 있는 플랜지 순간격의 최대치] (도.설 해 3.8.5.1 표3.8.5)

$$71 \quad t_w = 852.0 \text{ mm} < h_w = 1,000.0 \text{ mm} \quad \text{수직보강재 필요}$$

5) 수직 보강재의 설계 (SM400B 사용)

수평 보강재 사용 단수 : $n = 0$
 복부판의 연섬유 압축응력 : $f = 72.763$ MPa
 복부판의 전단응력 : $v = 25.070$ MPa
 사용 수직 보강재의 폭 : $b_{vs} = 120.0$ mm
 사용 수직 보강재의 두께 : $t_{vs} = 10.0$ mm
 사용 수직 보강재의 간격 : $a = 680.0$ mm
 상·하 양 플랜지의 순간격 : $b = 1,000.0$ mm
 복부판의 두께 : $t = 12.0$ mm



- 수직보강재 간격 검토

$$a / b = 680.0 / 1,000.0 = 0.680 \leq 1.500 \quad \dots\dots 0.K !!$$

- 수평 보강재를 사용하지 않을 경우

$$a / b > 1.00 \quad [b/100 \cdot t]^4 [\{f/365\}^2 + \{v/(81+61(b/a)^2)\}^2] \leq 1$$

$$a / b \leq 1.00 \quad [b/100 \cdot t]^4 [\{f/365\}^2 + \{v/(61+81(b/a)^2)\}^2] \leq 1$$

$$a / b \leq 1.00 \quad \text{이므로} \Rightarrow 0.025 \leq 1 \quad \dots\dots 0.K !!$$

- 수직 보강재의 강도검토

(도.설.해 3.8.5.2)

· 필요 강도

$$I_{(req)} = b \cdot t^3 \cdot r / 10.92 = 1,000.0 \times 12.0^3 \times 17.301 / 10.92 = 2.738E+06 \text{ mm}^4$$

· 수직 보강재의 소요강비

$$r = 8.0[b/a]^2 = 8.0 \times (1,000.0 / 680.0)^2 = 17.301$$

· 사용 강도

$$I_{(use)} = \frac{1}{3} \times 10.0 \times 120.0^3 \times 2ea = 1.152E+07 \text{ mm}^4$$

$$I_{(use)} = 1.152E+07 \text{ mm}^4 \geq I_{(req)} = 2.738E+06 \text{ mm}^4 \quad \dots\dots 0.K !!$$

- 수직보강재 최소 폭 및 두께 검토

(도.설.해 3.8.5.2)

$$b_{vs(req)} = 1,000.0 / 30 + 50\text{mm} = 83.333 \text{ mm} \leq b_{vs(use)} = 120.000 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

$$t_{vs(req)} = 120.0 / 13 = 9.231 \text{ mm} \leq t_{vs(use)} = 10.000 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$$

■ 공통 입력 사항

사용강재	단 위 중 량 (kN/m³)			강재 활용	차륜하중 (kN)		차륜하중제원 (mm)	
	콘크리트	포장	강재		P_r	P_f	L_1	B_1
SM400B	25.00	23.50	78.50	1.47322	96.00	24.00	4,200	1,800

■ 단면 제원

(단위:mm)

구 분	b_{fu}	b_{fu}'	b_{fl}	b_{fl}'	h_w	t_{fu}	t_w	t_{fl}	I_{33}	y_{su}	y_{sl}
1CR01	300.0	144.0	300.0	144.0	1,000.0	12.0	12.0	12.0	2.844E+09	512.0	512.0
1CR02	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR03	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR04	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR05	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR06	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR07	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR08	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR09	300.0	144.0	300.0	144.0	1,200.0	12.0	12.0	12.0	4.372E+09	612.0	612.0
1CR10	300.0	144.0	300.0	144.0	1,300.0	12.0	12.0	12.0	5.296E+09	662.0	662.0
1CR11	300.0	144.0	300.0	144.0	1,200.0	12.0	12.0	12.0	4.372E+09	612.0	612.0
1CR12	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR13	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR14	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR15	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR16	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR17	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR18	300.0	144.0	300.0	144.0	1,200.0	12.0	12.0	12.0	4.372E+09	612.0	612.0
1CR19	300.0	144.0	300.0	144.0	1,300.0	12.0	12.0	12.0	5.296E+09	662.0	662.0
1CR20	300.0	144.0	300.0	144.0	1,200.0	12.0	12.0	12.0	4.372E+09	612.0	612.0
1CR21	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR22	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR23	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR24	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR25	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR26	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR27	300.0	144.0	300.0	144.0	1,200.0	12.0	12.0	12.0	4.372E+09	612.0	612.0
1CR28	300.0	144.0	300.0	144.0	1,300.0	12.0	12.0	12.0	5.296E+09	662.0	662.0
1CR29	300.0	144.0	300.0	144.0	1,200.0	12.0	12.0	12.0	4.372E+09	612.0	612.0
1CR30	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR31	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR32	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR33	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR34	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR35	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR36	300.0	144.0	300.0	144.0	1,100.0	12.0	12.0	12.0	3.557E+09	562.0	562.0
1CR37	300.0	144.0	300.0	144.0	1,000.0	12.0	12.0	12.0	2.844E+09	512.0	512.0

▪ 기타 제원

(단위:mm)

구 분	바닥판두께 t_s	포장두께 t_p	가로보 간격		가로보지간 L	비 고
			B_f	B_r		
1CR01	240.0	50.0	0.0	4,347.2	2,200.0	
1CR02	240.0	50.0	4,347.2	5,000.0	2,200.0	
1CR03	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR04	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR05	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR06	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR07	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR08	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR09	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR10	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR11	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR12	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR13	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR14	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR15	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR16	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR17	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR18	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR19	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR20	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR21	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR22	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR23	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR24	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR25	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR26	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR27	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR28	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR29	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR30	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR31	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR32	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR33	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR34	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR35	240.0	50.0	5,000.0	5,000.0	2,200.0	
1CR36	240.0	50.0	5,000.0	4,345.6	2,200.0	
1CR37	240.0	50.0	4,345.6	0.0	2,200.0	

- 부재 검토

(단위 : mm)

[illegible]

1) 관 용 해 석

▪ 작용 하중 산정

구 분	활하중 작용거리					활하중 작용점 영향선 종거					비 고
	x_1	x_4	x_2	x_5	x_3	y_1	y_4	y_2	y_5	y_3	
1CR01	0.0	0.0	0.0	0.0	147.2	0.000	0.000	1.000	0.000	0.034	
1CR02	147.2	0.0	0.0	0.0	800.0	0.034	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR03	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR04	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR05	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR06	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR07	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR08	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR09	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR10	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR11	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR12	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR13	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR14	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR15	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR16	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR17	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR18	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR19	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR20	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR21	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR22	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR23	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR24	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR25	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR26	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR27	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR28	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR29	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR30	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR31	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR32	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR33	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR34	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR35	800.0	0.0	0.0	0.0	800.0	0.160	0.000	1.000	0.000	0.160	
1CR36	800.0	0.0	0.0	0.0	145.6	0.160	0.000	1.000	0.000	0.034	
1CR37	145.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.034	0.000	1.000	0.000	0.000	

구 분	고 정 하 중 (kN/m)					활 하 중 (kN)			
	슬래브	포 장	강재자중	영향선면적	W_d	P_f'	P_r'	충격계수	P_{sl}
1CR01	6.000	1.175	2.220	2.174	17.816	24.000	96.000	0.300	96.812
1CR02	6.000	1.175	2.359	4.674	35.892	24.000	96.000	0.300	112.172
1CR03	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR04	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR05	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR06	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR07	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR08	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR09	6.000	1.175	2.498	5.000	38.373	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR10	6.000	1.175	2.637	5.000	38.512	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR11	6.000	1.175	2.498	5.000	38.373	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR12	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR13	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR14	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR15	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR16	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR17	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR18	6.000	1.175	2.498	5.000	38.373	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR19	6.000	1.175	2.637	5.000	38.512	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR20	6.000	1.175	2.498	5.000	38.373	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR21	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR22	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR23	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR24	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR25	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR26	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR27	6.000	1.175	2.498	5.000	38.373	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR28	6.000	1.175	2.637	5.000	38.512	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR29	6.000	1.175	2.498	5.000	38.373	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR30	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR31	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR32	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR33	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR34	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR35	6.000	1.175	2.359	5.000	38.234	24.000	96.000	0.300	115.200
1CR36	6.000	1.175	2.359	4.673	35.887	24.000	96.000	0.300	103.057
1CR37	6.000	1.175	2.220	2.173	17.810	24.000	96.000	0.300	96.804

■ 관용해석에 의한 전단력 산정

(단위:kN)

구 분	가로보 끝단에서 윤하중까지의 거리					활하중 작용점 영향선 증거					비 고
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	
1CR01	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR02	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR03	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR04	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR05	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR06	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR07	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR08	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR09	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR10	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR11	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR12	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR13	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR14	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR15	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR16	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR17	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR18	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR19	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR20	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR21	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR22	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR23	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR24	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR25	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR26	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR27	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR28	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR29	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR30	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR31	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR32	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR33	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR34	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR35	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR36	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	
1CR37	0.0	1,200.0	-	-	-	1.000	0.455	-	-	-	

구 분	윤하중 하중수 n	영향선면적 A	총거합 Σy	고정하중 V_d	활하중 V_{l+i}	V_l	비 고
1CR01	2.0	1.100	1.455	19.597	183.064	202.661	
1CR02	2.0	1.100	1.455	39.481	212.108	251.589	
1CR03	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR04	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR05	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR06	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR07	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR08	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR09	2.0	1.100	1.455	42.210	217.834	260.044	
1CR10	2.0	1.100	1.455	42.363	217.832	260.195	
1CR11	2.0	1.100	1.455	42.210	217.833	260.043	
1CR12	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR13	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR14	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR15	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR16	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR17	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR18	2.0	1.100	1.455	42.210	217.834	260.044	
1CR19	2.0	1.100	1.455	42.363	217.832	260.195	
1CR20	2.0	1.100	1.455	42.210	217.833	260.043	
1CR21	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR22	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR23	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR24	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR25	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR26	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR27	2.0	1.100	1.455	42.210	217.834	260.044	
1CR28	2.0	1.100	1.455	42.363	217.832	260.195	
1CR29	2.0	1.100	1.455	42.210	217.833	260.043	
1CR30	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR31	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR32	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR33	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR34	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR35	2.0	1.100	1.455	42.058	217.833	259.890	
1CR36	2.0	1.100	1.455	39.475	194.872	234.347	
1CR37	2.0	1.100	1.455	19.591	183.048	202.640	

■ 관용해석에 의한 모멘트 산정

(단위: kN·m)

구 분	가로보 끝단에서 윤하중까지의 거리					활하중 작용점 영향선 종거					비 고
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	
1CR01	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR02	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR03	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR04	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR05	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR06	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR07	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR08	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR09	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR10	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR11	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR12	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR13	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR14	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR15	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR16	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR17	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR18	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR19	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR20	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR21	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR22	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR23	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR24	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR25	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR26	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR27	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR28	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR29	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR30	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR31	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR32	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR33	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR34	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR35	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR36	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	
1CR37	0.0	-	-	-	-	1.000	-	-	-	-	

구 분	n	영향선면적 A	총거합 Σy	고정하중 M_d	활하중 M_{l+i}	M_t	비 고
1CR01	1.0	1.100	1.000	10.779	69.221	80.000	
1CR02	1.0	1.100	1.000	21.715	80.203	101.918	
1CR03	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR04	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR05	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR06	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR07	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR08	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR09	1.0	1.100	1.000	23.216	82.368	105.584	
1CR10	1.0	1.100	1.000	23.300	82.368	105.667	
1CR11	1.0	1.100	1.000	23.216	82.368	105.584	
1CR12	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR13	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR14	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR15	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR16	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR17	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR18	1.0	1.100	1.000	23.216	82.368	105.584	
1CR19	1.0	1.100	1.000	23.300	82.368	105.667	
1CR20	1.0	1.100	1.000	23.216	82.368	105.584	
1CR21	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR22	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR23	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR24	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR25	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR26	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR27	1.0	1.100	1.000	23.216	82.368	105.584	
1CR28	1.0	1.100	1.000	23.300	82.368	105.667	
1CR29	1.0	1.100	1.000	23.216	82.368	105.584	
1CR30	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR31	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR32	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR33	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR34	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR35	1.0	1.100	1.000	23.132	82.368	105.500	
1CR36	1.0	1.100	1.000	21.711	73.686	95.397	
1CR37	1.0	1.100	1.000	10.775	69.215	79.991	

2) 격 자 해 석

■ 격자해석에 의한 전단력 해석결과

(단위 : kN)

구 분	단위	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	지점침하	V_t	부재 번호
		강재자중	슬래브 자중					
1CR01	kN	-34.818	-22.984	65.402	-307.063	-1.381	300.843	73
1CR02	kN	-9.550	-5.650	13.016	-88.873	-0.274	91.331	74
1CR03	kN	0.363	0.539	-8.982	-146.683	-0.104	154.868	75
1CR04	kN	-0.876	-0.682	-11.238	-145.257	-0.082	158.135	76
1CR05	kN	-2.270	-1.836	-10.639	-140.810	-0.030	155.586	77
1CR06	kN	-1.415	-1.018	-9.726	-138.383	-0.086	150.628	78
1CR07	kN	-2.207	-1.336	-5.568	-132.984	-0.496	142.591	79
1CR08	kN	3.266	1.789	9.377	118.086	0.989	133.507	80
1CR09	kN	6.898	14.369	59.466	141.352	3.514	225.598	81
1CR10	kN	10.133	33.654	128.002	280.204	7.214	459.206	82
1CR11	kN	5.722	13.005	58.990	141.875	3.590	223.183	83
1CR12	kN	3.359	1.869	9.243	119.072	0.976	134.519	84
1CR13	kN	-2.081	-1.100	-5.001	-131.566	-0.451	140.199	85
1CR14	kN	-1.428	-1.068	-9.706	-138.154	-0.037	150.393	86
1CR15	kN	-1.577	-1.257	-9.877	-138.352	-0.079	151.141	87
1CR16	kN	-2.048	-1.165	-5.939	-133.574	-0.497	143.224	88
1CR17	kN	3.046	1.446	7.614	118.387	1.017	131.510	89
1CR18	kN	4.047	10.378	53.091	134.783	3.621	205.919	90
1CR19	kN	5.701	26.995	116.249	263.128	7.260	419.333	91
1CR20	kN	3.840	10.120	53.055	134.423	3.559	204.997	92
1CR21	kN	2.956	1.324	7.539	118.599	0.984	131.403	93
1CR22	kN	-2.094	-1.225	-5.961	-133.588	-0.462	143.328	94
1CR23	kN	-1.597	-1.280	-9.857	-138.438	-0.053	151.226	95
1CR24	kN	-1.378	-1.006	-9.711	-138.156	-0.064	150.315	96
1CR25	kN	-2.041	-1.046	-5.030	-131.524	-0.495	140.136	97
1CR26	kN	3.165	1.620	8.852	119.001	1.036	133.674	98
1CR27	kN	4.281	11.151	57.519	141.332	3.744	218.026	99
1CR28	kN	6.824	29.393	125.210	278.305	7.505	447.238	100
1CR29	kN	5.799	12.955	58.379	140.266	3.633	221.032	101
1CR30	kN	2.850	1.254	9.020	118.361	1.009	132.493	102
1CR31	kN	-2.338	-1.510	-5.775	-133.111	-0.498	143.231	103
1CR32	kN	-1.407	-1.012	-9.740	-138.438	-0.077	150.673	104
1CR33	kN	-2.203	-1.731	-10.486	-140.712	-0.036	155.169	105
1CR34	kN	-0.430	-0.054	-10.870	-145.075	-0.091	156.520	106
1CR35	kN	0.925	1.374	-8.353	-146.331	-0.117	152.503	107
1CR36	kN	-10.267	-6.457	12.540	-89.688	-0.364	94.235	108
1CR37	kN	-39.428	-29.125	59.514	-311.644	-1.719	322.402	109

■ 격자해석에 의한 모멘트 해석결과

(단위: kN·m)

구 분	단위	합성전 고정하중		합성후 고정하중	활하중	지점침하	M_t	부재 번호
		강재자중	슬래브 자중					
1CR01	kN·m	-31.443	-29.026	-22.279	-319.772	-1.589	404.109	73
1CR02	kN·m	-2.580	-11.329	-110.597	-79.018	-0.354	203.878	74
1CR03	kN·m	1.577	-7.223	-120.540	-157.996	-0.091	284.273	75
1CR04	kN·m	2.753	-6.210	-121.046	-156.213	-0.060	280.776	76
1CR05	kN·m	4.904	-8.209	-146.485	-129.853	-0.018	279.662	77
1CR06	kN·m	3.151	-6.061	-123.816	-148.701	-0.071	275.498	78
1CR07	kN·m	3.982	-5.655	-126.856	-145.028	-0.295	273.853	79
1CR08	kN·m	3.599	-7.913	-140.111	-129.208	-1.085	274.718	80
1CR09	kN·m	0.683	-22.960	-219.387	-107.482	-3.889	353.036	81
1CR10	kN·m	-1.714	-45.806	-323.895	-226.723	-7.966	606.104	82
1CR11	kN·m	2.033	-21.380	-218.724	-112.284	-3.984	354.338	83
1CR12	kN·m	3.574	-7.884	-139.749	-131.173	-1.090	276.322	84
1CR13	kN·m	3.931	-5.763	-127.150	-144.652	-0.260	273.893	85
1CR14	kN·m	3.229	-5.850	-123.337	-150.848	-0.027	276.832	86
1CR15	kN·m	3.405	-5.623	-123.108	-150.896	-0.070	276.292	87
1CR16	kN·m	3.949	-5.615	-126.017	-146.203	-0.308	274.194	88
1CR17	kN·m	4.062	-7.224	-137.748	-128.294	-1.129	270.333	89
1CR18	kN·m	4.262	-17.952	-211.690	-102.726	-4.007	332.114	90
1CR19	kN·m	4.018	-37.321	-309.996	-211.903	-8.006	563.207	91
1CR20	kN·m	4.471	-17.703	-211.748	-103.312	-3.950	332.242	92
1CR21	kN·m	4.144	-7.116	-137.663	-128.583	-1.082	270.300	93
1CR22	kN·m	3.995	-5.557	-125.975	-146.362	-0.270	274.170	94
1CR23	kN·m	3.436	-5.592	-123.143	-150.939	-0.037	276.276	95
1CR24	kN·m	3.183	-5.911	-123.339	-150.906	-0.054	277.026	96
1CR25	kN·m	3.884	-5.823	-127.070	-144.646	-0.290	273.945	97
1CR26	kN·m	3.780	-7.617	-139.274	-131.058	-1.141	275.311	98
1CR27	kN·m	3.611	-19.350	-217.056	-110.984	-4.125	347.904	99
1CR28	kN·m	1.914	-41.138	-320.785	-224.628	-8.236	592.873	100
1CR29	kN·m	1.935	-21.348	-218.043	-107.555	-3.990	349.001	101
1CR30	kN·m	4.100	-7.267	-139.612	-129.477	-1.093	273.349	102
1CR31	kN·m	4.149	-5.424	-126.472	-145.290	-0.297	273.333	103
1CR32	kN·m	3.139	-6.052	-123.596	-148.982	-0.061	275.552	104
1CR33	kN·m	4.924	-8.118	-146.003	-129.372	-0.020	278.589	105
1CR34	kN·m	2.202	-6.929	-121.058	-156.842	-0.047	282.674	106
1CR35	kN·m	0.900	-8.157	-120.731	-158.626	-0.078	286.692	107
1CR36	kN·m	-3.377	-12.169	-110.573	-79.326	-0.450	205.895	108
1CR37	kN·m	-36.424	-35.648	-28.373	-324.601	-1.959	427.005	109

3) 단 면 검 토

- 자유돌출판의 압축부 국부좌굴에 대한 허용응력

[illegible]

▪ 허용 휨 압축응력

구 분	상 부 플 랜 지					비 고
	A_w	A_c	A_w/A_c	K	f_{ca}	
1CR01	12,000.0	3,600.0	3.333	2.160	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.888 MPa	
1CR02	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR03	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR04	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR05	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR06	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR07	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR08	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR09	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.199 MPa	
1CR10	15,600.0	3,600.0	4.333	2.273	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 130.863 MPa	
1CR11	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.199 MPa	
1CR12	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR13	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR14	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR15	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR16	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR17	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR18	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.199 MPa	
1CR19	15,600.0	3,600.0	4.333	2.273	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 130.863 MPa	
1CR20	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.199 MPa	
1CR21	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR22	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR23	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR24	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR25	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR26	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR27	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.199 MPa	
1CR28	15,600.0	3,600.0	4.333	2.273	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 130.863 MPa	
1CR29	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.199 MPa	
1CR30	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR31	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR32	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR33	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR34	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR35	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR36	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.540 MPa	
1CR37	12,000.0	3,600.0	3.333	2.160	9.3/K < L/bfu ≤ 30.0 = 131.888 MPa	

구 분	하 부 플 랜 지					비 고
	A_w	A_c	A_w/A_c	K	f_{ca}	
1CR01	12,000.0	3,600.0	3.333	2.160	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.888$ MPa	
1CR02	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR03	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR04	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR05	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR06	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR07	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR08	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR09	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.199$ MPa	
1CR10	15,600.0	3,600.0	4.333	2.273	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 130.863$ MPa	
1CR11	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.199$ MPa	
1CR12	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR13	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR14	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR15	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR16	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR17	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR18	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.199$ MPa	
1CR19	15,600.0	3,600.0	4.333	2.273	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 130.863$ MPa	
1CR20	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.199$ MPa	
1CR21	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR22	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR23	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR24	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR25	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR26	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR27	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.199$ MPa	
1CR28	15,600.0	3,600.0	4.333	2.273	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 130.863$ MPa	
1CR29	14,400.0	3,600.0	4.000	2.236	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.199$ MPa	
1CR30	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR31	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR32	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR33	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR34	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR35	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR36	13,200.0	3,600.0	3.667	2.198	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.540$ MPa	
1CR37	12,000.0	3,600.0	3.333	2.160	$9.3/K < L/bfI \leq 30.0 = 131.888$ MPa	

■ 계산 적용 부재력 및 허용응력

구 분	V_{umax} (kN)	M_{umax} (kN·m)	상부 플랜지 (MPa)			하부 플랜지 (MPa)			비 고
			f_{ca}	f_{ta}	σ_a	f_{ca}	f_{ta}	σ_a	
1CR01	300.84	404.11	131.89	140.00	80.00	131.89	140.00	80.00	
1CR02	251.59	203.88	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR03	259.89	284.27	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR04	259.89	280.78	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR05	259.89	279.66	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR06	259.89	275.50	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR07	259.89	273.85	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR08	259.89	274.72	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR09	260.04	353.04	131.20	140.00	80.00	131.20	140.00	80.00	
1CR10	459.21	606.10	130.86	140.00	80.00	130.86	140.00	80.00	
1CR11	260.04	354.34	131.20	140.00	80.00	131.20	140.00	80.00	
1CR12	259.89	276.32	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR13	259.89	273.89	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR14	259.89	276.83	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR15	259.89	276.29	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR16	259.89	274.19	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR17	259.89	270.33	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR18	260.04	332.11	131.20	140.00	80.00	131.20	140.00	80.00	
1CR19	419.33	563.21	130.86	140.00	80.00	130.86	140.00	80.00	
1CR20	260.04	332.24	131.20	140.00	80.00	131.20	140.00	80.00	
1CR21	259.89	270.30	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR22	259.89	274.17	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR23	259.89	276.28	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR24	259.89	277.03	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR25	259.89	273.95	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR26	259.89	275.31	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR27	260.04	347.90	131.20	140.00	80.00	131.20	140.00	80.00	
1CR28	447.24	592.87	130.86	140.00	80.00	130.86	140.00	80.00	
1CR29	260.04	349.00	131.20	140.00	80.00	131.20	140.00	80.00	
1CR30	259.89	273.35	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR31	259.89	273.33	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR32	259.89	275.55	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR33	259.89	278.59	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR34	259.89	282.67	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR35	259.89	286.69	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR36	234.35	205.89	131.54	140.00	80.00	131.54	140.00	80.00	
1CR37	322.40	427.01	131.89	140.00	80.00	131.89	140.00	80.00	

■ 응 력 검 토

구 분	전단응력 (MPa)			상부 플랜지 (MPa)				하부 플랜지 (MPa)			
	u	u_a	판정	f_u	f_{ca}	f_{ta}	판정	f_l	f_{ca}	f_{ta}	판정
1CR01	25.07	80.00	O.K	72.76	131.89	140.00	O.K	72.76	131.89	140.00	O.K
1CR02	19.06	80.00	O.K	32.21	131.54	140.00	O.K	32.21	131.54	140.00	O.K
1CR03	19.69	80.00	O.K	44.92	131.54	140.00	O.K	44.92	131.54	140.00	O.K
1CR04	19.69	80.00	O.K	44.36	131.54	140.00	O.K	44.36	131.54	140.00	O.K
1CR05	19.69	80.00	O.K	44.19	131.54	140.00	O.K	44.19	131.54	140.00	O.K
1CR06	19.69	80.00	O.K	43.53	131.54	140.00	O.K	43.53	131.54	140.00	O.K
1CR07	19.69	80.00	O.K	43.27	131.54	140.00	O.K	43.27	131.54	140.00	O.K
1CR08	19.69	80.00	O.K	43.41	131.54	140.00	O.K	43.41	131.54	140.00	O.K
1CR09	18.06	80.00	O.K	49.42	131.20	140.00	O.K	49.42	131.20	140.00	O.K
1CR10	29.44	80.00	O.K	75.77	130.86	140.00	O.K	75.77	130.86	140.00	O.K
1CR11	18.06	80.00	O.K	49.60	131.20	140.00	O.K	49.60	131.20	140.00	O.K
1CR12	19.69	80.00	O.K	43.66	131.54	140.00	O.K	43.66	131.54	140.00	O.K
1CR13	19.69	80.00	O.K	43.28	131.54	140.00	O.K	43.28	131.54	140.00	O.K
1CR14	19.69	80.00	O.K	43.74	131.54	140.00	O.K	43.74	131.54	140.00	O.K
1CR15	19.69	80.00	O.K	43.66	131.54	140.00	O.K	43.66	131.54	140.00	O.K
1CR16	19.69	80.00	O.K	43.32	131.54	140.00	O.K	43.32	131.54	140.00	O.K
1CR17	19.69	80.00	O.K	42.71	131.54	140.00	O.K	42.71	131.54	140.00	O.K
1CR18	18.06	80.00	O.K	46.49	131.20	140.00	O.K	46.49	131.20	140.00	O.K
1CR19	26.88	80.00	O.K	70.41	130.86	140.00	O.K	70.41	130.86	140.00	O.K
1CR20	18.06	80.00	O.K	46.51	131.20	140.00	O.K	46.51	131.20	140.00	O.K
1CR21	19.69	80.00	O.K	42.71	131.54	140.00	O.K	42.71	131.54	140.00	O.K
1CR22	19.69	80.00	O.K	43.32	131.54	140.00	O.K	43.32	131.54	140.00	O.K
1CR23	19.69	80.00	O.K	43.65	131.54	140.00	O.K	43.65	131.54	140.00	O.K
1CR24	19.69	80.00	O.K	43.77	131.54	140.00	O.K	43.77	131.54	140.00	O.K
1CR25	19.69	80.00	O.K	43.28	131.54	140.00	O.K	43.28	131.54	140.00	O.K
1CR26	19.69	80.00	O.K	43.50	131.54	140.00	O.K	43.50	131.54	140.00	O.K
1CR27	18.06	80.00	O.K	48.70	131.20	140.00	O.K	48.70	131.20	140.00	O.K
1CR28	28.67	80.00	O.K	74.12	130.86	140.00	O.K	74.12	130.86	140.00	O.K
1CR29	18.06	80.00	O.K	48.85	131.20	140.00	O.K	48.85	131.20	140.00	O.K
1CR30	19.69	80.00	O.K	43.19	131.54	140.00	O.K	43.19	131.54	140.00	O.K
1CR31	19.69	80.00	O.K	43.19	131.54	140.00	O.K	43.19	131.54	140.00	O.K
1CR32	19.69	80.00	O.K	43.54	131.54	140.00	O.K	43.54	131.54	140.00	O.K
1CR33	19.69	80.00	O.K	44.02	131.54	140.00	O.K	44.02	131.54	140.00	O.K
1CR34	19.69	80.00	O.K	44.66	131.54	140.00	O.K	44.66	131.54	140.00	O.K
1CR35	19.69	80.00	O.K	45.30	131.54	140.00	O.K	45.30	131.54	140.00	O.K
1CR36	17.75	80.00	O.K	32.53	131.54	140.00	O.K	32.53	131.54	140.00	O.K
1CR37	26.87	80.00	O.K	76.89	131.89	140.00	O.K	76.89	131.89	140.00	O.K

▪ 합성 응력 검토

구 분	상부 플랜지 인장 하부 플랜지 압축인 경우					상부 플랜지 압축 하부 플랜지 인장인 경우				
	인장	전단	합성응력	허용	판별	인장	전단	합성응력	허용	판별
1CR01	0.304	0.098	0.403	1.2	0.K	0.304	0.098	0.403	1.2	0.K
1CR02	0.060	0.057	0.117	1.2	0.K	0.060	0.057	0.117	1.2	0.K
1CR03	0.117	0.061	0.177	1.2	0.K	0.117	0.061	0.177	1.2	0.K
1CR04	0.114	0.061	0.174	1.2	0.K	0.114	0.061	0.174	1.2	0.K
1CR05	0.113	0.061	0.173	1.2	0.K	0.113	0.061	0.173	1.2	0.K
1CR06	0.110	0.061	0.170	1.2	0.K	0.110	0.061	0.170	1.2	0.K
1CR07	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K
1CR08	0.109	0.061	0.169	1.2	0.K	0.109	0.061	0.169	1.2	0.K
1CR09	0.142	0.051	0.193	1.2	0.K	0.142	0.051	0.193	1.2	0.K
1CR10	0.335	0.135	0.471	1.2	0.K	0.335	0.135	0.471	1.2	0.K
1CR11	0.143	0.051	0.194	1.2	0.K	0.143	0.051	0.194	1.2	0.K
1CR12	0.110	0.061	0.171	1.2	0.K	0.110	0.061	0.171	1.2	0.K
1CR13	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K
1CR14	0.111	0.061	0.171	1.2	0.K	0.111	0.061	0.171	1.2	0.K
1CR15	0.110	0.061	0.171	1.2	0.K	0.110	0.061	0.171	1.2	0.K
1CR16	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K
1CR17	0.105	0.061	0.166	1.2	0.K	0.105	0.061	0.166	1.2	0.K
1CR18	0.126	0.051	0.177	1.2	0.K	0.126	0.051	0.177	1.2	0.K
1CR19	0.289	0.113	0.402	1.2	0.K	0.289	0.113	0.402	1.2	0.K
1CR20	0.126	0.051	0.177	1.2	0.K	0.126	0.051	0.177	1.2	0.K
1CR21	0.105	0.061	0.166	1.2	0.K	0.105	0.061	0.166	1.2	0.K
1CR22	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K
1CR23	0.110	0.061	0.171	1.2	0.K	0.110	0.061	0.171	1.2	0.K
1CR24	0.111	0.061	0.171	1.2	0.K	0.111	0.061	0.171	1.2	0.K
1CR25	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K	0.108	0.061	0.169	1.2	0.K
1CR26	0.109	0.061	0.170	1.2	0.K	0.109	0.061	0.170	1.2	0.K
1CR27	0.138	0.051	0.189	1.2	0.K	0.138	0.051	0.189	1.2	0.K
1CR28	0.321	0.128	0.449	1.2	0.K	0.321	0.128	0.449	1.2	0.K
1CR29	0.139	0.051	0.190	1.2	0.K	0.139	0.051	0.190	1.2	0.K
1CR30	0.108	0.061	0.168	1.2	0.K	0.108	0.061	0.168	1.2	0.K
1CR31	0.108	0.061	0.168	1.2	0.K	0.108	0.061	0.168	1.2	0.K
1CR32	0.110	0.061	0.170	1.2	0.K	0.110	0.061	0.170	1.2	0.K
1CR33	0.112	0.061	0.173	1.2	0.K	0.112	0.061	0.173	1.2	0.K
1CR34	0.115	0.061	0.176	1.2	0.K	0.115	0.061	0.176	1.2	0.K
1CR35	0.119	0.061	0.179	1.2	0.K	0.119	0.061	0.179	1.2	0.K
1CR36	0.061	0.049	0.110	1.2	0.K	0.061	0.049	0.110	1.2	0.K
1CR37	0.340	0.113	0.453	1.2	0.K	0.340	0.113	0.453	1.2	0.K

4) 수직 보강재의 설계 (SM400B 사용)

▪ 수직 보강재 설치 검토 및 단면 제원

구 분	설치 검토 (mm)			n	f (MPa)	σ (MPa)	b_{vs} (mm)	t_{vs} (mm)	a (mm)	b (mm)	t (mm)
	순간격	허용값	판 정								
1CR01	1,000.0	852.0	필 요	0	72.763	25.070	120.0	10.0	680.0	1,000.0	12.0
1CR02	1,100.0	852.0	필 요	0	32.214	19.060	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR03	1,100.0	852.0	필 요	0	44.916	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR04	1,100.0	852.0	필 요	0	44.364	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR05	1,100.0	852.0	필 요	0	44.188	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR06	1,100.0	852.0	필 요	0	43.530	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR07	1,100.0	852.0	필 요	0	43.270	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR08	1,100.0	852.0	필 요	0	43.407	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR09	1,200.0	852.0	필 요	0	49.416	18.059	120.0	10.0	680.0	1,200.0	12.0
1CR10	1,300.0	852.0	필 요	0	75.770	29.436	120.0	10.0	680.0	1,300.0	12.0
1CR11	1,200.0	852.0	필 요	0	49.599	18.059	120.0	10.0	680.0	1,200.0	12.0
1CR12	1,100.0	852.0	필 요	0	43.660	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR13	1,100.0	852.0	필 요	0	43.276	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR14	1,100.0	852.0	필 요	0	43.741	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR15	1,100.0	852.0	필 요	0	43.655	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR16	1,100.0	852.0	필 요	0	43.324	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR17	1,100.0	852.0	필 요	0	42.714	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR18	1,200.0	852.0	필 요	0	46.488	18.059	120.0	10.0	680.0	1,200.0	12.0
1CR19	1,300.0	852.0	필 요	0	70.407	26.880	120.0	10.0	680.0	1,300.0	12.0
1CR20	1,200.0	852.0	필 요	0	46.506	18.059	120.0	10.0	680.0	1,200.0	12.0
1CR21	1,100.0	852.0	필 요	0	42.709	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR22	1,100.0	852.0	필 요	0	43.320	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR23	1,100.0	852.0	필 요	0	43.653	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR24	1,100.0	852.0	필 요	0	43.771	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR25	1,100.0	852.0	필 요	0	43.284	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR26	1,100.0	852.0	필 요	0	43.500	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR27	1,200.0	852.0	필 요	0	48.698	18.059	120.0	10.0	680.0	1,200.0	12.0
1CR28	1,300.0	852.0	필 요	0	74.116	28.669	120.0	10.0	680.0	1,300.0	12.0
1CR29	1,200.0	852.0	필 요	0	48.852	18.059	120.0	10.0	680.0	1,200.0	12.0
1CR30	1,100.0	852.0	필 요	0	43.190	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR31	1,100.0	852.0	필 요	0	43.188	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR32	1,100.0	852.0	필 요	0	43.538	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR33	1,100.0	852.0	필 요	0	44.018	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR34	1,100.0	852.0	필 요	0	44.664	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR35	1,100.0	852.0	필 요	0	45.299	19.689	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR36	1,100.0	852.0	필 요	0	32.532	17.754	120.0	10.0	680.0	1,100.0	12.0
1CR37	1,000.0	852.0	필 요	0	76.885	26.867	120.0	10.0	680.0	1,000.0	12.0

▪ 수직보강재 간격 검토

구 분	간격 검토						수직보강재 강도검토 (mm^4)			비 고
	a/b	허용값	판정	$n = 0$	허용값	판정	$I_{(req)}$	$I_{(use)}$	판정	
1CR01	0.680	1.500	0.K	0.025	1.000	0.K	2.738E+06	1.152E+07	0.K	
1CR02	0.618	3.000	0.K	0.009	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR03	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR04	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR05	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR06	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR07	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR08	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR09	0.567	3.000	0.K	0.022	1.000	0.K	4.731E+06	1.152E+07	0.K	
1CR10	0.523	1.500	0.K	0.069	1.000	0.K	6.015E+06	1.152E+07	0.K	
1CR11	0.567	3.000	0.K	0.022	1.000	0.K	4.731E+06	1.152E+07	0.K	
1CR12	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR13	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR14	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR15	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR16	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR17	0.618	3.000	0.K	0.013	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR18	0.567	3.000	0.K	0.020	1.000	0.K	4.731E+06	1.152E+07	0.K	
1CR19	0.523	1.500	0.K	0.059	1.000	0.K	6.015E+06	1.152E+07	0.K	
1CR20	0.567	3.000	0.K	0.020	1.000	0.K	4.731E+06	1.152E+07	0.K	
1CR21	0.618	3.000	0.K	0.013	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR22	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR23	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR24	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR25	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR26	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR27	0.567	3.000	0.K	0.021	1.000	0.K	4.731E+06	1.152E+07	0.K	
1CR28	0.523	1.500	0.K	0.066	1.000	0.K	6.015E+06	1.152E+07	0.K	
1CR29	0.567	3.000	0.K	0.021	1.000	0.K	4.731E+06	1.152E+07	0.K	
1CR30	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR31	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR32	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR33	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR34	0.618	3.000	0.K	0.014	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR35	0.618	3.000	0.K	0.015	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR36	0.618	3.000	0.K	0.009	1.000	0.K	3.644E+06	1.152E+07	0.K	
1CR37	0.680	1.500	0.K	0.028	1.000	0.K	2.738E+06	1.152E+07	0.K	

▪ 수직보강재 최소 폭 및 두께 검토

(단위:mm)

구 분	최소 폭 검토			최소 폭 검토			비 고
	$b_{vs(req)}$	$b_{vs(use)}$	판정	$t_{vs(req)}$	$t_{vs(use)}$	판정	
1CR01	83.333	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR02	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR03	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR04	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR05	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR06	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR07	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR08	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR09	90.000	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR10	93.333	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR11	90.000	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR12	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR13	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR14	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR15	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR16	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR17	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR18	90.000	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR19	93.333	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR20	90.000	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR21	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR22	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR23	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR24	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR25	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR26	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR27	90.000	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR28	93.333	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR29	90.000	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR30	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR31	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR32	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR33	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR34	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR35	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR36	86.667	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	
1CR37	83.333	120.000	0.K	9.231	10.000	0.K	

7.2 가로보의 연결

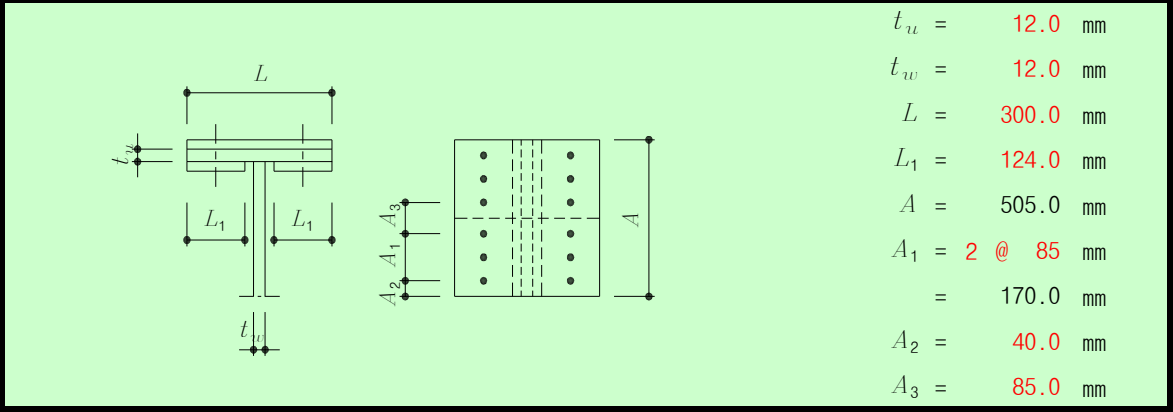
[1CR01]

(강종 : SM400B)

(가로보 계산 참조)

모멘트 $M(\text{kN})$	전단력 $V(\text{kN})$	상부FL.응력 $f_u(\text{MPa})$		하부FL.응력 $f_l(\text{MPa})$		허용휨인장응력 $f_{sa}(\text{MPa})$	단면2차모멘트 $I(\text{mm}^4)$
		인장	압축	압축	인장		
404.11	300.84	72.763	72.763	72.763	72.763	140.00	2.844E+09

사용BOLT : H.T.B (M22 F 10T) $p_{sa} = 48,000 \times 2 \text{면} = 96,000 \text{ N}$ (도.설.해3.3.2.3)



1) 상부 플랜지 이음 (압축부) (도.설 해 3.4.2.2 표3.4.4)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 72.8 \text{ MPa}$$

$$f_{s(min)} = 0.75 \times 140.0 = 105.0 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 } (f_u) \quad f_s' = 105.0 \text{ MPa 적용}$$

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 3,600.0 \times 105.0 / 96,000.0 = 3.9ea \Rightarrow n_t = 6.0ea \dots\dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 3,600.0 = 3,600.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적

$$\begin{aligned} A_{use} &= 1 \text{ PL} - 300.0 \times 10.0 \times 505.0 = 3,000.0 \\ &2 \text{ PL} - 124.0 \times 10.0 \times 505.0 = 2,480.0 \\ \Sigma &= 5,480.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots\dots 0.K !! \end{aligned}$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_{use} = 3,600.0 \times 105.0 / 5,480.0 = 69.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 3,600.0 \times 105.0 / 6.0 = 63,000.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

- 힘에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q = 300.0 \times 12.0 \times (512.0 - 6.0) = 1.822E+06 \text{ mm}^3$$

$$I = 2.844E+09 \text{ mm}^4 \quad [\text{총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트}]$$

$$p = \text{플랜지 전폭} / \text{횡방향 BOLT수} = 300.0 / 2.0ea = 150.0 \text{ mm} \quad [\text{볼트의 피치}]$$

$$n = 3.0ea \quad [\text{접합선의 직각방향의 볼트의 수}]$$

$$\rho_h = V \cdot Q / I \times p / n$$

$$= 300.843^3 \times 1,821,600.0 / 2,843,545,600.0 \times 150.0 / 3.0 = 9,636.1 \text{ N/ea}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{3.969E+09 + 9.285E+07} = 63,732.7 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

2) 상부 플랜지 이음 (인장부)

(도.설 해 3.4.2.2 표3.4.4)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 72.8 \text{ MPa}$$

$$f_{s(min)} = 0.75 \times 140.0 = 105.0 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 } (f_u) \quad f_s' = 105.0 \text{ MPa 적용}$$

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 3,600.0 \times 105.0 / 96,000.0 = 3.9ea \Rightarrow n_t = 6.0ea \dots\dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 3,600.0 = 3,600.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적

$$A_{use} = 1 \text{ PL} - 300.0 \times 10.0 \times 505.0 = 3,000.0$$

$$2 \text{ PL} - 124.0 \times 10.0 \times 505.0 = 2,480.0$$

$$\Sigma = 5,480.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 5,480.0 - 25.0 \times 10.0 \times 2.0 \text{열} \times 2.0ea = 4,480.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots\dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_n = 3,600.0 \times 105.0 / 4,480.0 = 84.4 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 3,600.0 \times 105.0 / 6.0 = 63,000.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

- 힘에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q = 300.0 \times 12.0 \times (512.0 - 6.0) = 1.822E+06 \text{ mm}^3$$

$$I = 2.844E+09 \text{ mm}^4 \quad [\text{총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트}]$$

$$p = \text{플랜지 전폭} / \text{횡방향 BOLT수} = 300.0 / 2.0ea = 150.0 \text{ mm} \quad [\text{볼트의 피치}]$$

$$n = 3.0ea \quad [\text{접합선의 직각방향의 볼트의 수}]$$

$$\rho_h = V \cdot Q / I \times p / n$$

$$= 300.843^3 \times 1,821,600.0 / 2,843,545,600.0 \times 150.0 / 3.0 = 9,636.1 \text{ N/ea}$$

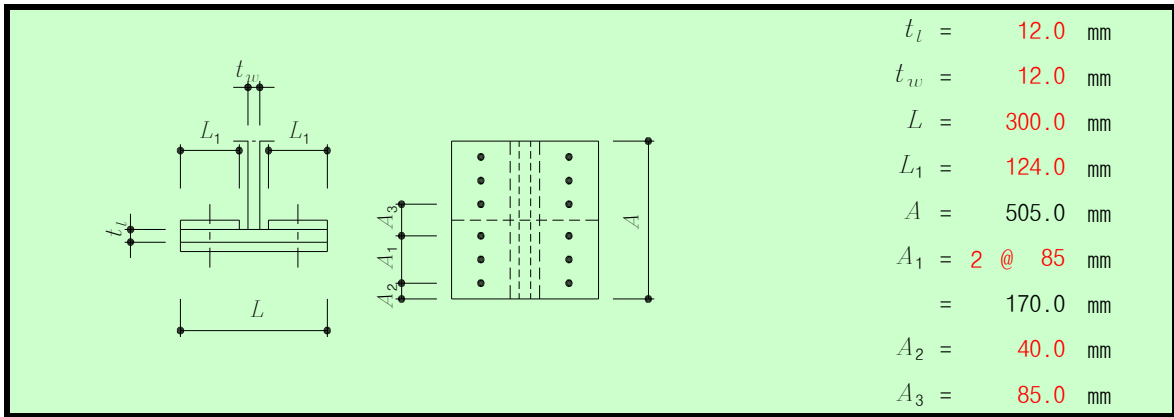
- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{3.969E+09 + 9.285E+07} = 63,732.7 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

④ 모재의 응력검토

$$A_{sn} = 12.0 \times (300.0 - 25.0 \times 2.0) = 3,000.0 \text{ mm}^2$$

$$f_u = A_s \times f_s' / A_{sn} = 3,600.0 \times 105.0 / 3,000.0 = 126.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots\dots 0.K !!$$



3) 하부 플랜지 이음 (압축부) (도.설 해 3.4.2.2 표3.4.4)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 72.8 \text{ MPa}$$

$$f_{s(min)} = 0.75 \times 140.0 = 105.0 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 } (f_i) \quad f_s' = 105.0 \text{ MPa 적용}$$

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 3,600.0 \times 105.0 / 96,000.0 = 3.9ea \Rightarrow n_t = 6.0ea \dots\dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 3,600.0 = 3,600.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적

$$A_{use} = 1 \text{ PL} - 300.0 \times 10.0 \times 505.0 = 3,000.0$$

$$2 \text{ PL} - 124.0 \times 10.0 \times 505.0 = 2,480.0$$

$$\Sigma = 5,480.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots\dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_{use} = 3,600.0 \times 105.0 / 5,480.0 = 69.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 3,600.0 \times 105.0 / 6.0 = 63,000.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

- 힘에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q = 300.0 \times 12.0 \times (512.0 - 6.0) = 1.822E+06 \text{ mm}^3$$

$$I = 2.844E+09 \text{ mm}^4 \quad [\text{총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트}]$$

$$p = \text{플랜지 전폭} / \text{횡방향 BOLT수} = 300.0 / 2.0ea = 150.0 \text{ mm} \quad [\text{볼트의 피치}]$$

$$n = 3.0ea \quad [\text{접합선의 직각방향의 볼트의 수}]$$

$$\rho_h = V \cdot Q / I \times p / n$$

$$= 300.843^3 \times 1,821,600.0 / 2,843,545,600.0 \times 150.0 / 3.0 = 9,636.1 \text{ N/ea}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{3.969E+09 + 9.285E+07} = 63,732.7 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

4) 하부 플랜지 이음 (인장부)

(도.설 해 3.4.2.2 표3.4.4)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 72.8 \text{ MPa}$$

$$f_{s(min)} = 0.75 \times 140.0 = 105.0 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 } (f_t) \quad f_s' = 105.0 \text{ MPa 적용}$$

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 3,600.0 \times 105.0 / 96,000.0 = 3.9ea \Rightarrow n_t = 6.0ea \dots\dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 3,600.0 \times 105.0 / 140.0 = 2,700.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적

$$A_{use} = 2 \text{ PL} - 124.0 \times 10.0 \times 505.0 = 2,480.0$$

$$2 \text{ PL} - 124.0 \times 10.0 \times 505.0 = 2,480.0$$

$$\Sigma = 4,960.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 4,960.0 - 25.0 \times 10.0 \times 2.0 \text{열} \times 2.0ea = 3,960.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots\dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_n = 3,600.0 \times 105.0 / 3,960.0 = 95.5 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 3,600.0 \times 105.0 / 6.0 = 63,000.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

- 힘에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q = 300.0 \times 12.0 \times (512.0 - 6.0) = 1.822E+06 \text{ mm}^3$$

$$I = 2.844E+09 \text{ mm}^4 \quad [\text{총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트}]$$

$$p = \text{플랜지 전폭} / \text{횡방향 BOLT수} = 300.0 / 2.0ea = 150.0 \text{ mm} \quad [\text{볼트의 피치}]$$

$$n = 3.0ea \quad [\text{접합선의 직각방향의 볼트의 수}]$$

$$\rho_h = V \cdot Q / I \times p / n$$

$$= 300.843^3 \times 1,821,600.0 / 2,843,545,600.0 \times 150.0 / 3.0 = 9,636.1 \text{ N/ea}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{3.969E+09 + 9.285E+07} = 63,732.7 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

④ 모재의 응력검토

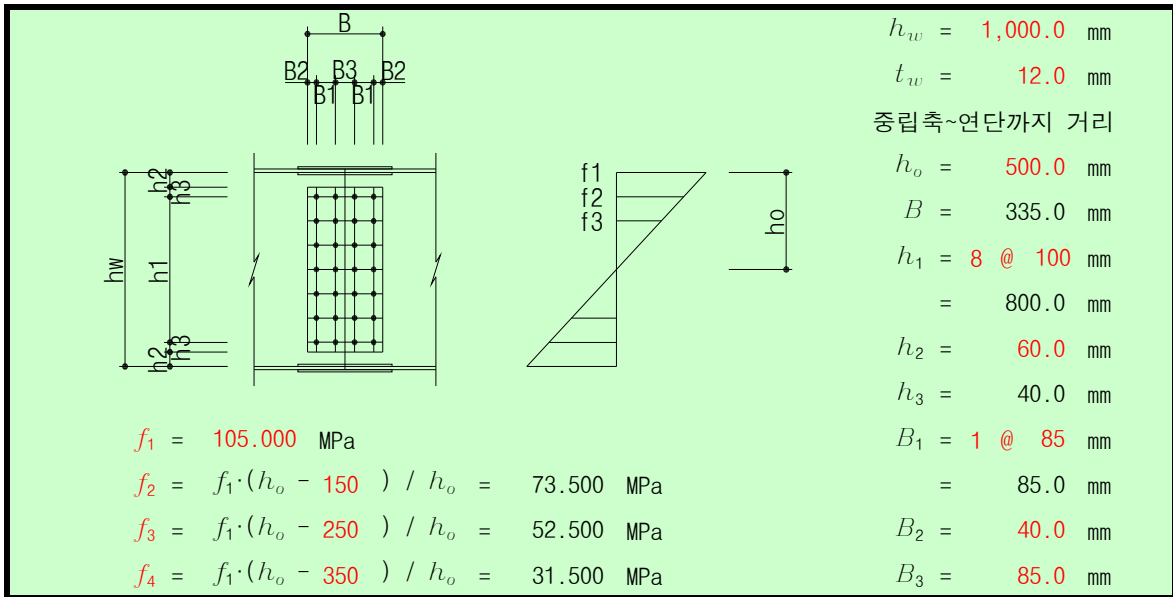
$$A_{sn} = 12.0 \times (300.0 - 25.0 \times 2.0) = 3,000.0 \text{ mm}^2$$

$$f_u = A_s \times f_s' / A_{sn} = 3,600.0 \times 105.0 / 3,000.0 = 126.0 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

5) WEB 연결부의 계산

① BOLT의 응력계산

- 힘에 의한 BOLT의 응력



제1열 $p_p = (105.00 + 73.500) / 2 \times 150.0 \times 12.0 / 2 = 8.03E+04$ N/ea $\leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

- 전단력에 의한 볼트의 응력

$\rho_s = 300.843 / 18.0ea = 1.67E+04$ N/ea $\leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

- 합성 응력의 검토

$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{6.452E+09 + 2.793E+08} = 8.20E+04$ N/ea $\leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$

② 이음판의 응력계산

- 복부판의 단면2차 모멘트

$I_w = 12.0 \times 1,000.0^3 / 12 = 1.00E+09$ mm⁴

- 가로보 중립축에서 이음판 상연까지의 거리

$y_{su} = 1,000.0 / 2 - 60.0 = 440.0$ mm

- 가로보 이음판의 단면2차모멘트

규격	A_s (mm ²)	Y (mm)	$A_s \cdot Y$ (mm ³)	$A_s \cdot Y^2$ (mm ⁴)	I_{xo} (mm ⁴)
2 - 880.0 × 12.0	21,120.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.363E+09
합계	21,120.0	0.0	0.000E+00	0.000E+00	1.363E+09

$I_s = I_{xo} + AY^2 = 1,362,944,000.0 + 0.0 = 1.36E+09$ mm⁴

- 가로보 복부판이 담당하는 휨모멘트

$M_w = M \cdot I_w / I = 404.109 \times 0.001000 / 0.002844 = 142.115$ kN·m

- 가로보 이음판의 응력검토

$f_w = M_w \cdot y_{su} / I_s = 142.115 \times 440.0 / 1,362,944,000.0 = 45.879$ MPa $\leq f_{sa} \dots\dots 0.K !!$

▪ 공통 입력 사항 (강종 및 사용 BOLT 제원)

사용강재	볼 트 제 원	볼트 허용 응력 (N)
SM400B	H.T.B M22 F 10T	96,000.0

▪ 작용 단면력 및 응력

구 분	모멘트 $M(kN)$	전단력 $V(kN)$	상부FL.응력 $f_u(MPa)$		하부FL.응력 $f_l(MPa)$		f_{sa} (MPa)	I (mm ⁴)
			인장	압축	압축	인장		
1CR01	404.11	300.84	72.763	72.763	72.763	72.763	140.00	2.844E+09
1CR02	203.88	251.59	32.214	32.214	32.214	32.214	140.00	3.557E+09
1CR03	284.27	259.89	44.916	44.916	44.916	44.916	140.00	3.557E+09
1CR04	280.78	259.89	44.364	44.364	44.364	44.364	140.00	3.557E+09
1CR05	279.66	259.89	44.188	44.188	44.188	44.188	140.00	3.557E+09
1CR06	275.50	259.89	43.530	43.530	43.530	43.530	140.00	3.557E+09
1CR07	273.85	259.89	43.270	43.270	43.270	43.270	140.00	3.557E+09
1CR08	274.72	259.89	43.407	43.407	43.407	43.407	140.00	3.557E+09
1CR09	353.04	260.04	49.416	49.416	49.416	49.416	140.00	4.372E+09
1CR10	606.10	459.21	75.770	75.770	75.770	75.770	140.00	5.296E+09
1CR11	354.34	260.04	49.599	49.599	49.599	49.599	140.00	4.372E+09
1CR12	276.32	259.89	43.660	43.660	43.660	43.660	140.00	3.557E+09
1CR13	273.89	259.89	43.276	43.276	43.276	43.276	140.00	3.557E+09
1CR14	276.83	259.89	43.741	43.741	43.741	43.741	140.00	3.557E+09
1CR15	276.29	259.89	43.655	43.655	43.655	43.655	140.00	3.557E+09
1CR16	274.19	259.89	43.324	43.324	43.324	43.324	140.00	3.557E+09
1CR17	270.33	259.89	42.714	42.714	42.714	42.714	140.00	3.557E+09
1CR18	332.11	260.04	46.488	46.488	46.488	46.488	140.00	4.372E+09
1CR19	563.21	419.33	70.407	70.407	70.407	70.407	140.00	5.296E+09
1CR20	332.24	260.04	46.506	46.506	46.506	46.506	140.00	4.372E+09
1CR21	270.30	259.89	42.709	42.709	42.709	42.709	140.00	3.557E+09
1CR22	274.17	259.89	43.320	43.320	43.320	43.320	140.00	3.557E+09
1CR23	276.28	259.89	43.653	43.653	43.653	43.653	140.00	3.557E+09
1CR24	277.03	259.89	43.771	43.771	43.771	43.771	140.00	3.557E+09
1CR25	273.95	259.89	43.284	43.284	43.284	43.284	140.00	3.557E+09
1CR26	275.31	259.89	43.500	43.500	43.500	43.500	140.00	3.557E+09
1CR27	347.90	260.04	48.698	48.698	48.698	48.698	140.00	4.372E+09
1CR28	592.87	447.24	74.116	74.116	74.116	74.116	140.00	5.296E+09
1CR29	349.00	260.04	48.852	48.852	48.852	48.852	140.00	4.372E+09
1CR30	273.35	259.89	43.190	43.190	43.190	43.190	140.00	3.557E+09
1CR31	273.33	259.89	43.188	43.188	43.188	43.188	140.00	3.557E+09
1CR32	275.55	259.89	43.538	43.538	43.538	43.538	140.00	3.557E+09
1CR33	278.59	259.89	44.018	44.018	44.018	44.018	140.00	3.557E+09
1CR34	282.67	259.89	44.664	44.664	44.664	44.664	140.00	3.557E+09
1CR35	286.69	259.89	45.299	45.299	45.299	45.299	140.00	3.557E+09
1CR36	205.89	234.35	32.532	32.532	32.532	32.532	140.00	3.557E+09
1CR37	427.01	322.40	76.885	76.885	76.885	76.885	140.00	2.844E+09

1) 상부 플랜지 이음 검토

▪ 상부 플랜지 이음 제원

(단위:mm)

구 분	t_u	t_w	L	L_1	A	A_1	A_2	A_3
1CR01	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR02	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR03	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR04	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR05	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR06	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR07	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR08	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR09	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR10	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR11	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR12	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR13	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR14	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR15	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR16	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR17	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR18	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR19	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR20	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR21	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR22	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR23	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR24	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR25	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR26	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR27	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR28	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR29	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR30	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR31	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR32	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR33	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR34	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR35	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR36	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR37	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0

(1) 상부 플랜지 (압축부)

구 분	이음부의 설계응력 (MPa)			이음판 응력검토 (MPa)					비 고
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	A_{req}	A_{use}	f_{sa}	f_s	판정	
1CR01	72.8	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR02	32.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR03	44.9	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR04	44.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR05	44.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR06	43.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR07	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR08	43.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR09	49.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR10	75.8	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR11	49.6	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR12	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR13	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR14	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR15	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR16	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR17	42.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR18	46.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR19	70.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR20	46.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR21	42.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR22	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR23	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR24	43.8	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR25	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR26	43.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR27	48.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR28	74.1	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR29	48.9	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR30	43.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR31	43.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR32	43.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR33	44.0	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR34	44.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR35	45.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR36	32.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR37	76.9	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	

구 분	BOLT 응력검토 (N/ea)										
	Q	p	n	n_{req}	n_t	판정	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정
1CR01	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,636.1	63,732.7	0.K
1CR02	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,079.0	63,396.5	0.K
1CR03	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR04	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR05	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR06	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR07	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR08	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR09	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR10	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,239.5	63,826.7	0.K
1CR11	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR12	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR13	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR14	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR15	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR16	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR17	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR18	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR19	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,350.4	63,690.1	0.K
1CR20	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR21	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR22	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR23	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR24	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR25	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR26	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR27	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR28	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,972.6	63,784.4	0.K
1CR29	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR30	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR31	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR32	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR33	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR34	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR35	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR36	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,593.9	63,344.1	0.K
1CR37	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,326.7	63,840.7	0.K

(2) 상부 플랜지 (인장부)

구 분	이음부 설계응력 (MPa)			이음판 응력검토 (MPa)							
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	A_{sn}	A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	f_u	판정
1CR01	72.8	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR02	32.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR03	44.9	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR04	44.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR05	44.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR06	43.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR07	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR08	43.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR09	49.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR10	75.8	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR11	49.6	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR12	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR13	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR14	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR15	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR16	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR17	42.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR18	46.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR19	70.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR20	46.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR21	42.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR22	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR23	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR24	43.8	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR25	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR26	43.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR27	48.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR28	74.1	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR29	48.9	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR30	43.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR31	43.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR32	43.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR33	44.0	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR34	44.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR35	45.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR36	32.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR37	76.9	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K

구 분	BOLT 응력검토 (N/ea)										
	Q	p	n	n_{req}	n_t	판정	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정
1CR01	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,636.1	63,732.7	0.K
1CR02	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,079.0	63,396.5	0.K
1CR03	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR04	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR05	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR06	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR07	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR08	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR09	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR10	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,239.5	63,826.7	0.K
1CR11	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR12	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR13	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR14	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR15	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR16	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR17	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR18	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR19	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,350.4	63,690.1	0.K
1CR20	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR21	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR22	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR23	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR24	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR25	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR26	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR27	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR28	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,972.6	63,784.4	0.K
1CR29	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR30	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR31	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR32	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR33	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR34	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR35	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR36	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,593.9	63,344.1	0.K
1CR37	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,326.7	63,840.7	0.K

2) 하부 플랜지 이음 검토

▪ 하부 플랜지 이음 제원

(단위:mm)

구 분	t_l	t_w	L	L_1	A	A_1	A_2	A_3
1CR01	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR02	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR03	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR04	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR05	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR06	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR07	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR08	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR09	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR10	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR11	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR12	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR13	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR14	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR15	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR16	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR17	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR18	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR19	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR20	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR21	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR22	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR23	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR24	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR25	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR26	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR27	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR28	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR29	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR30	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR31	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR32	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR33	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR34	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR35	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR36	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0
1CR37	12.0	12.0	300.0	124.0	505.0	2 @ 85 = 170.0	40.0	85.0

(1) 하부 플랜지 (압축부)

구 분	이음부의 설계응력 (MPa)			이음판 응력검토 (MPa)					비 고
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	A_{req}	A_{use}	f_{sa}	f_s	판정	
1CR01	72.8	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR02	32.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR03	44.9	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR04	44.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR05	44.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR06	43.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR07	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR08	43.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR09	49.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR10	75.8	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR11	49.6	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR12	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR13	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR14	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR15	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR16	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR17	42.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR18	46.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR19	70.4	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR20	46.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR21	42.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR22	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR23	43.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR24	43.8	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR25	43.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR26	43.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR27	48.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR28	74.1	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR29	48.9	105.0	105.0	2,700.0	4,960.0	140.0	76.2	0.K	
1CR30	43.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR31	43.2	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR32	43.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR33	44.0	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR34	44.7	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR35	45.3	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR36	32.5	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	
1CR37	76.9	105.0	105.0	3,600.0	5,480.0	140.0	69.0	0.K	

구 분	BOLT 응력검토 (N/ea)										
	Q	p	n	n_{req}	n_t	판정	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정
1CR01	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,636.1	63,732.7	0.K
1CR02	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,079.0	63,396.5	0.K
1CR03	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR04	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR05	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR06	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR07	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR08	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR09	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR10	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,239.5	63,826.7	0.K
1CR11	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR12	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR13	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR14	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR15	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR16	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR17	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR18	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR19	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,350.4	63,690.1	0.K
1CR20	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR21	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR22	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR23	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR24	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR25	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR26	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR27	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR28	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,972.6	63,784.4	0.K
1CR29	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR30	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR31	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR32	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR33	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR34	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR35	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR36	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,593.9	63,344.1	0.K
1CR37	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,326.7	63,840.7	0.K

(2) 하부 플랜지 (인장부)

구 분	이음부 설계응력 (MPa)			이음판 응력검토 (MPa)							
	f_s	$f_{s(min)}$	f_s'	A_{sn}	A_{req}	A_{use}	판정	f_{sa}	f_s	f_l	판정
1CR01	72.8	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR02	32.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR03	44.9	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR04	44.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR05	44.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR06	43.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR07	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR08	43.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR09	49.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR10	75.8	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR11	49.6	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR12	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR13	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR14	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR15	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR16	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR17	42.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR18	46.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR19	70.4	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR20	46.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR21	42.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR22	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR23	43.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR24	43.8	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR25	43.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR26	43.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR27	48.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR28	74.1	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR29	48.9	105.0	105.0	3,000.0	2,700.0	3,960.0	0.K	140.0	95.5	126.0	0.K
1CR30	43.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR31	43.2	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR32	43.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR33	44.0	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR34	44.7	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR35	45.3	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR36	32.5	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K
1CR37	76.9	105.0	105.0	3,000.0	3,600.0	4,480.0	0.K	140.0	84.4	126.0	0.K

구 분	BOLT 응력검토 (N/ea)										
	Q	p	n	n_{req}	n_t	판정	ρ_{sa}	ρ_p	ρ_h	ρ	판정
1CR01	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,636.1	63,732.7	0.K
1CR02	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,079.0	63,396.5	0.K
1CR03	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR04	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR05	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR06	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR07	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR08	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR09	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR10	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,239.5	63,826.7	0.K
1CR11	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR12	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR13	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR14	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR15	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR16	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR17	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR18	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR19	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,350.4	63,690.1	0.K
1CR20	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR21	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR22	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR23	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR24	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR25	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR26	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR27	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR28	2.362E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	9,972.6	63,784.4	0.K
1CR29	2.182E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,487.7	63,333.2	0.K
1CR30	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR31	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR32	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR33	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR34	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR35	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	7,312.6	63,423.0	0.K
1CR36	2.002E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	6,593.9	63,344.1	0.K
1CR37	1.822E+06	150.0	3.0	3.9	6.0	0.K	96,000.0	63,000.0	10,326.7	63,840.7	0.K

3) WEB 연결부 검토

▪ WEB 이음 제원

구 분	h_w (mm)	t_w (mm)	t_{ws} (mm)	h_o (mm)	I_w (mm ⁴)	y_s (mm)	I_s (mm ⁴)	f_{sa} (MPa)	f_w (MPa)	판정
1CR01	1,000.0	12.0	12.0	500.0	1.00E+09	440.0	1.36E+09	140.0	45.9	0.K
1CR02	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	19.9	0.K
1CR03	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.7	0.K
1CR04	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.4	0.K
1CR05	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.2	0.K
1CR06	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.8	0.K
1CR07	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.7	0.K
1CR08	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.8	0.K
1CR09	1,200.0	12.0	12.0	600.0	1.73E+09	540.0	2.52E+09	140.0	29.9	0.K
1CR10	1,300.0	12.0	12.0	650.0	2.20E+09	590.0	3.29E+09	140.0	45.1	0.K
1CR11	1,200.0	12.0	12.0	600.0	1.73E+09	540.0	2.52E+09	140.0	30.0	0.K
1CR12	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.9	0.K
1CR13	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.7	0.K
1CR14	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.0	0.K
1CR15	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.9	0.K
1CR16	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.7	0.K
1CR17	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.3	0.K
1CR18	1,200.0	12.0	12.0	600.0	1.73E+09	540.0	2.52E+09	140.0	28.1	0.K
1CR19	1,300.0	12.0	12.0	650.0	2.20E+09	590.0	3.29E+09	140.0	42.0	0.K
1CR20	1,200.0	12.0	12.0	600.0	1.73E+09	540.0	2.52E+09	140.0	28.1	0.K
1CR21	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.3	0.K
1CR22	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.7	0.K
1CR23	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.9	0.K
1CR24	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.0	0.K
1CR25	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.7	0.K
1CR26	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.8	0.K
1CR27	1,200.0	12.0	12.0	600.0	1.73E+09	540.0	2.52E+09	140.0	29.5	0.K
1CR28	1,300.0	12.0	12.0	650.0	2.20E+09	590.0	3.29E+09	140.0	44.2	0.K
1CR29	1,200.0	12.0	12.0	600.0	1.73E+09	540.0	2.52E+09	140.0	29.6	0.K
1CR30	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.6	0.K
1CR31	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.6	0.K
1CR32	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	26.8	0.K
1CR33	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.1	0.K
1CR34	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.5	0.K
1CR35	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	27.9	0.K
1CR36	1,100.0	12.0	12.0	550.0	1.33E+09	490.0	1.88E+09	140.0	20.1	0.K
1CR37	1,000.0	12.0	12.0	500.0	1.00E+09	440.0	1.36E+09	140.0	48.5	0.K

구 분	h_1 (mm)	h_2 (mm)	h_3 (mm)	B_1 (mm)	B_2 (mm)	B_3 (mm)	비 고
1CR01	8 @ 100 = 800.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR02	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR03	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR04	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR05	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR06	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR07	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR08	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR09	10 @ 100 = 1,000.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR10	11 @ 100 = 1,100.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR11	10 @ 100 = 1,000.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR12	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR13	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR14	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR15	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR16	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR17	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR18	10 @ 100 = 1,000.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR19	11 @ 100 = 1,100.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR20	10 @ 100 = 1,000.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR21	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR22	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR23	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR24	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR25	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR26	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR27	10 @ 100 = 1,000.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR28	11 @ 100 = 1,100.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR29	10 @ 100 = 1,000.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR30	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR31	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR32	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR33	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR34	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR35	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR36	9 @ 100 = 900.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	
1CR37	8 @ 100 = 800.0	60.0	40.0	1 @ 85 = 85.0	40.0	85.0	

구 분	f_1 (MPa)	f_2 (MPa)	f_3 (MPa)	f_4 (MPa)	ρ_{sa} (N/ea)	제1열 ρ_p (N/ea)	ρ_s (N/ea)	ρ (N/ea)	판정
1CR01	105.0	73.5	52.5	31.5	9.60E+04	8.03E+04	1.67E+04	8.20E+04	0.K
1CR02	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.26E+04	8.26E+04	0.K
1CR03	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR04	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR05	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR06	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR07	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR08	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR09	105.0	78.8	61.3	43.8	9.60E+04	8.27E+04	1.18E+04	8.35E+04	0.K
1CR10	105.0	80.8	64.6	48.5	9.60E+04	8.36E+04	1.91E+04	8.58E+04	0.K
1CR11	105.0	78.8	61.3	43.8	9.60E+04	8.27E+04	1.18E+04	8.35E+04	0.K
1CR12	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR13	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR14	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR15	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR16	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR17	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR18	105.0	78.8	61.3	43.8	9.60E+04	8.27E+04	1.18E+04	8.35E+04	0.K
1CR19	105.0	80.8	64.6	48.5	9.60E+04	8.36E+04	1.75E+04	8.54E+04	0.K
1CR20	105.0	78.8	61.3	43.8	9.60E+04	8.27E+04	1.18E+04	8.35E+04	0.K
1CR21	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR22	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR23	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR24	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR25	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR26	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR27	105.0	78.8	61.3	43.8	9.60E+04	8.27E+04	1.18E+04	8.35E+04	0.K
1CR28	105.0	80.8	64.6	48.5	9.60E+04	8.36E+04	1.86E+04	8.56E+04	0.K
1CR29	105.0	78.8	61.3	43.8	9.60E+04	8.27E+04	1.18E+04	8.35E+04	0.K
1CR30	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR31	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR32	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR33	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR34	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR35	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.30E+04	8.26E+04	0.K
1CR36	105.0	76.4	57.3	38.2	9.60E+04	8.16E+04	1.17E+04	8.25E+04	0.K
1CR37	105.0	73.5	52.5	31.5	9.60E+04	8.03E+04	1.79E+04	8.23E+04	0.K

8. DIAPHRAGM의 설계

8.1 중간 DIAPHRAGM (일반부)

(절점 46)

(도.설.해 3.8.9.2)

- Diaphragm의 한계간격

$L \leq 50.0\text{m}$ 의 경우 : $L_D < 6.0\text{m}$

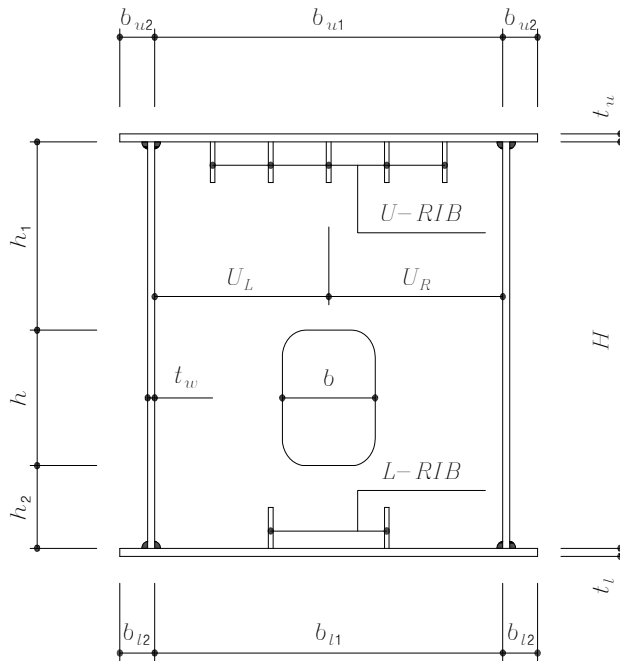
$L > 50.0\text{m}$ 의 경우 : $L_D \leq (0.14L - 1.0)\text{m}$

단, $L_D \leq 20.0\text{m}$

여기서, L_D : 중간 DIAPHRAGM의 간격(m) [5.000 m]

L : 교량의 지간길이(m) [44.350 m]

$L = 44.350 \text{ m} \leq 50.000 \text{ m} \Rightarrow L_D = 5.000 \text{ m} < L_{Dreq} = 6.000 \text{ m} \cdots \cdots \text{O.K !!}$



b_{u1}	=	2,400.0	mm
b_{u2}	=	120.0	mm
b_{uL}	=	0.0	mm
b_{uR}	=	0.0	mm
U_L	=	1,200.0	mm
U_R	=	1,200.0	mm
b_{l1}	=	2,400.0	mm
b_{l2}	=	120.0	mm
b	=	500.0	mm
H	=	1,995.9	mm
h	=	700.0	mm
h_1	=	895.9	mm
h_2	=	400.0	mm
Θ_L	=	0.000	°
Θ_L	=	0.000	°

Diaphragm 두께 : $t_D = 10.0$ mm 강재 탄성계수 : $2.05\text{E}+05$ MPa 강재전단탄성계수 : $7.90\text{E}+04$ MPa

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$X(\text{mm})$	$A_s \cdot X(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot X^2(\text{mm}^4)$	$I_{yo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-	-	-	1.840E+10
보강판	0 - 0.0 × 0.0	0.0	-	-	-	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	-	-	-	7.875E+06
L - WEB	1 - 1,995.9 × 12.0	23,951.0	-	-	-	2.874E+05
R - WEB	1 - 1,995.9 × 12.0	23,951.0	-	-	-	2.874E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-	-	-	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-	-	-	2.453E+10
합 계		136,521.9	-	-	-	4.296E+10

- Diaphragm의 개구율

$$\rho = \sqrt{(A' / A)} = \sqrt{[(500.0 \times 700.0) / \{(2,400.0 + 2,400.0) / 2 \times 1,995.9\}]} = 0.270$$

$$0.4 \geq \rho = 0.270$$

$\Rightarrow$ **충복판 형식 적용**

- 상부플랜지의 총단면적

$$F_u = 31,680.0 + 0.0 + 4,200.0 = 3.588\text{E}+04 \text{ mm}^2$$

- 하부플랜지의 총단면적 (리브 포함)

$$F_l = 10,500.0 + 42,240.0 = 5.274\text{E}+04 \text{ mm}^2$$

- 복부 1개의 단면적

$$F_h = 23,951.0 = 2.395E+04 \text{ mm}^2$$

- 상부플랜지의 복부판 중심간격

$$B_u = 2,400.0 + 12.0/2 + 12.0/2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

- 하부플랜지의 복부판 중심간격

$$B_l = 2,400.0 + 12.0/2 + 12.0/2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

- 상부플랜지의 돌출폭

$$b_1 = 120.0 - 12.0 = 108.0 \text{ mm}$$

- 하부플랜지의 돌출폭

$$b_2 = 120.0 - 12.0 = 108.0 \text{ mm}$$

- 리브를 포함하는 상부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$$I_u = 18,399,744,000.0 + 7,875,000 + 672,000,000 = 1.907962E+10 \text{ mm}^2$$

- 리브를 포함하는 하부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$$I_l = 24,532,992,000.0 + 19,687,500.00(+ ##### = 2.791E+10 \text{ mm}^2$$

- 변형함수

$$\alpha_1 = \{e / (e+f)\} \cdot \{(B_u+B_l)/4\} \cdot H$$

$$= \{26,014,848.6 / (26,014,848.6 + 22,352,717.4)\} \times \{(2,412.0 + 2,412.0) / 4\} \times 1,995.9 = 1.295E+06 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_2 = \{f / (e+f)\} \cdot \{(B_u+B_l)/4\} \cdot H$$

$$= \{22,352,717.4 / (26,014,848.6 + 22,352,717.4)\} \times \{(2,412.0 + 2,412.0) / 4\} \times 1,995.9 = 1.112E+06 \text{ mm}^2$$

여기서, $e = (I_l / B_l) + \{(B_u + 2B_l) \cdot F_h / 12\}$

$$= (27,912,679,500.0 / 2,412.0) + \{(2,412.0 + 2 \times 2,412.0) \times 23,951.0 / 12\} = 2.601E+07 \text{ mm}^3$$

$$f = (I_u / B_u) + \{(2B_u + B_l) \cdot F_h / 12\}$$

$$= (19,079,619,000.0 / 2,412.0) + \{(2 \times 2,412.0 + 2,412.0) \times 23,951.0 / 12\} = 2.235E+07 \text{ mm}^3$$

- 박스거더의 단면형상에 대한 상수

$$I_{DW} = 1/3 \cdot \{\alpha_1^2 \cdot F_u \cdot (1 + 2 \cdot b_1 / B_u)^2 + \alpha_2^2 \cdot F_l \cdot (1 + 2 \cdot b_2 / B_l)^2 + 2 \cdot (\alpha_1^2 - \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \alpha_2^2) \cdot F_h\}$$

$$(1/3) \cdot \{1,294,660.9^2 \times 35,880.0 \times (1 + 2 \times 108.0 / 2,412.0)^2 +$$

$$1,112,410.4^2 \times 52,740.0 \times (1 + 2 \times 108.0 / 2,412.0)^2 + 2 \times (1,294,660.9^2$$

$$- 1,294,660.9 \times 1,112,410.4 + 1,112,410.4^2) \times 23,951.0\} = 7.315E+16 \text{ mm}^6$$

- Diaphragm의 필요강도

$$K_{req} = 20 \cdot E \cdot I_{DW} / L_{Dreq}^3 = 20 \times 205,000.0 \times 73,149,597,989,416,000.0 / 6,000.0^3 = 1.388E+12 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

- Diaphragm의 강도 검토

$$K_{use} = 4 \cdot G \cdot A \cdot t_D = 4 \times 79,000.0 \times \{(2,400.0 + 2,400.0) / 2 \times 1,995.9\} \times 10.0 = 1.514E+13 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore K_{use} = 1.514E+13 \text{ N} \cdot \text{mm} \geq K_{req} = 1.388E+12 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

8.1 중간 DIAPHRAGM (교대부)

(절점 1)

(도.설.해 3.8.9.2)

Diaphragm의 한계간격

$L \leq 50.0\text{m}$ 의 경우 : $L_D < 6.0\text{m}$

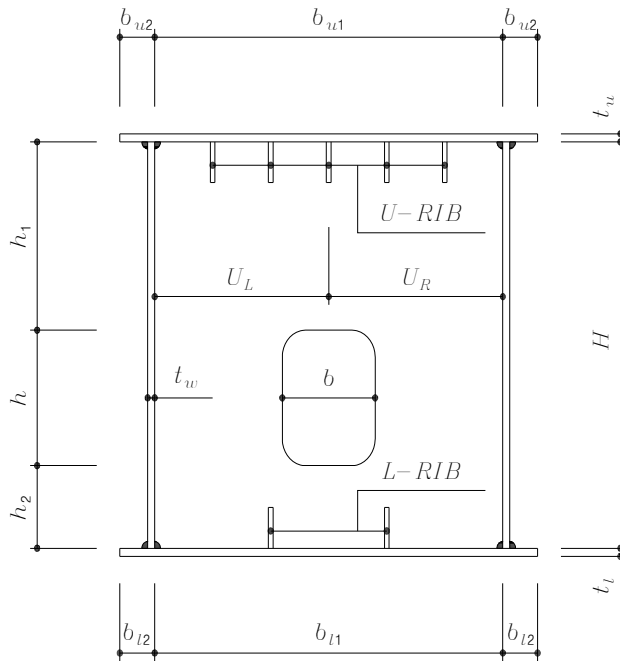
$L > 50.0\text{m}$ 의 경우 : $L_D \leq (0.14L - 1.0)\text{m}$

단, $L_D \leq 20.0\text{m}$

여기서, L_D : 중간 DIAPHRAGM의 간격(m) [4.350 m]

L : 교량의 지간길이(m) [44.350 m]

$L = 44.350\text{ m} \leq 50.000\text{ m} \Rightarrow L_D = 4.350\text{ m} < L_{Dreq} = 6.000\text{ m} \cdots \cdots \text{O.K !!}$



b_{u1}	=	2,400.0	mm
b_{u2}	=	120.0	mm
b_{uL}	=	0.0	mm
b_{uR}	=	0.0	mm
U_L	=	1,200.0	mm
U_R	=	1,200.0	mm
b_{l1}	=	2,400.0	mm
b_{l2}	=	120.0	mm
b	=	500.0	mm
H	=	1,600.0	mm
h	=	700.0	mm
h_1	=	500.0	mm
h_2	=	400.0	mm
Θ_L	=	0.000	°
Θ_L	=	0.000	°

Diaphragm 두께 : $t_D = 16.0\text{ mm}$ 강재 탄성계수 : $2.05\text{E}+05\text{ MPa}$ 강재전단탄성계수 : $7.90\text{E}+04\text{ MPa}$

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$X(\text{mm})$	$A_s \cdot X(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot X^2(\text{mm}^4)$	$I_{yo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 10.0	26,400.0	-	-	-	1.533E+10
보강판	0 - 0.0 × 0.0	0.0	-	-	-	0.000E+00
UPPER RIB	5 - 150.0 × 12.0	9,000.0	-	-	-	1.688E+07
L - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	2.304E+05
R - WEB	1 - 1,600.0 × 12.0	19,200.0	-	-	-	2.304E+05
LOWER RIB	2 - 150.0 × 12.0	3,600.0	-	-	-	6.750E+06
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-	-	-	1.840E+10
합 계		109,080.0	-	-	-	3.376E+10

Diaphragm의 개구율

$$\rho = \sqrt{A' / A} = \sqrt{[(500.0 \times 700.0) / \{(2,400.0 + 2,400.0) / 2 \times 1,600.0\}]} = 0.302$$

$$0.4 \geq \rho = 0.302$$

⇒ **충복판 형식 적용**

상부플랜지의 총단면적

$$F_u = 26,400.0 + 0.0 + 9,000.0 = 3.540\text{E}+04\text{ mm}^2$$

하부플랜지의 총단면적 (리브 포함)

$$F_l = 3,600.0 + 31,680.0 = 3.528\text{E}+04\text{ mm}^2$$

▪ 복부 1개의 단면적

$$F_h = 19,200.0 = 1.920E+04 \text{ mm}^2$$

▪ 상부플랜지의 복부판 중심간격

$$B_u = 2,400.0 + 12.0/2 + 12.0/2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

▪ 하부플랜지의 복부판 중심간격

$$B_l = 2,400.0 + 12.0/2 + 12.0/2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

▪ 상부플랜지의 돌출폭

$$b_1 = 120.0 - 12.0 = 108.0 \text{ mm}$$

▪ 하부플랜지의 돌출폭

$$b_2 = 120.0 - 12.0 = 108.0 \text{ mm}$$

▪ 리브를 포함하는 상부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$$I_u = 15,333,120,000.0 + ##### + ##### = 1.823000E+10 \text{ mm}^2$$

▪ 리브를 포함하는 하부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$$I_l = 18,399,744,000.0 + 6,750,000.000 + 576,000,000 = 1.898E+10 \text{ mm}^2$$

▪ 변형함수

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \{e / (e+f)\} \cdot \{(B_u+B_l)/4\} \cdot H \\ &= \{19,447,622.4 / (19,447,622.4 + 19,135,641.0)\} \times \{(2,412.0 + 2,412.0) / 4\} \times 1,600.0 = 9.726E+05 \text{ mm}^2 \\ \alpha_2 &= \{f / (e+f)\} \cdot \{(B_u+B_l)/4\} \cdot H \\ &= \{19,135,641.0 / (19,447,622.4 + 19,135,641.0)\} \times \{(2,412.0 + 2,412.0) / 4\} \times 1,600.0 = 9.570E+05 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

여기서, $e = (I_l / B_l) + \{(B_u + 2B_l) \cdot F_h / 12\}$

$$= (18,982,494,000.0 / 2,412.0) + \{(2,412.0 + 2 \times 2,412.0) \times 19,200.0 / 12\} = 1.945E+07 \text{ mm}^3$$

$$f = (I_u / B_u) + \{(2B_u + B_l) \cdot F_h / 12\}$$

$$= (18,229,995,000.0 / 2,412.0) + \{(2 \times 2,412.0 + 2,412.0) \times 19,200.0 / 12\} = 1.914E+07 \text{ mm}^3$$

▪ 박스거더의 단면형상에 대한 상수

$$\begin{aligned} I_{DW} &= 1/3 \cdot \{\alpha_1^2 \cdot F_u \cdot (1 + 2 \cdot b_1 / B_u)^2 + \alpha_2^2 \cdot F_l \cdot (1 + 2 \cdot b_2 / B_l)^2 + 2 \cdot (\alpha_1^2 - \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \alpha_2^2) \cdot F_h\} \\ &= (1/3) \cdot \{972,601.3^2 \times 35,400.0 \times (1 + 2 \times 108.0 / 2,412.0)^2 + \\ &\quad 956,998.7^2 \times 35,280.0 \times (1 + 2 \times 108.0 / 2,412.0)^2 + 2 \times (972,601.3^2 \\ &\quad - 972,601.3 \times 956,998.7 + 956,998.7^2) \times 19,200.0\} = 3.795E+16 \text{ mm}^6 \end{aligned}$$

▪ Diaphragm의 필요강도

$$K_{req} = 20 \cdot E \cdot I_{DW} / L_{Dreq}^3 = 20 \times 205,000.0 \times 37,953,798,861,948,000.0 / 6,000.0^3 = 7.204E+11 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

▪ Diaphragm의 강도 검토

$$K_{use} = 4 \cdot G \cdot A \cdot t_D = 4 \times 79,000.0 \times \{(2,400.0 + 2,400.0) / 2 \times 1,600.0\} \times 16.0 = 1.942E+13 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore K_{use} = 1.942E+13 \text{ N} \cdot \text{mm} \geq K_{req} = 7.204E+11 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

8.1 중간 DIAPHRAGM (교각부)

(절점 10)

(도.설.해 3.8.9.2)

- Diaphragm의 한계간격

$L \leq 50.0\text{m}$ 의 경우 : $L_D < 6.0\text{m}$

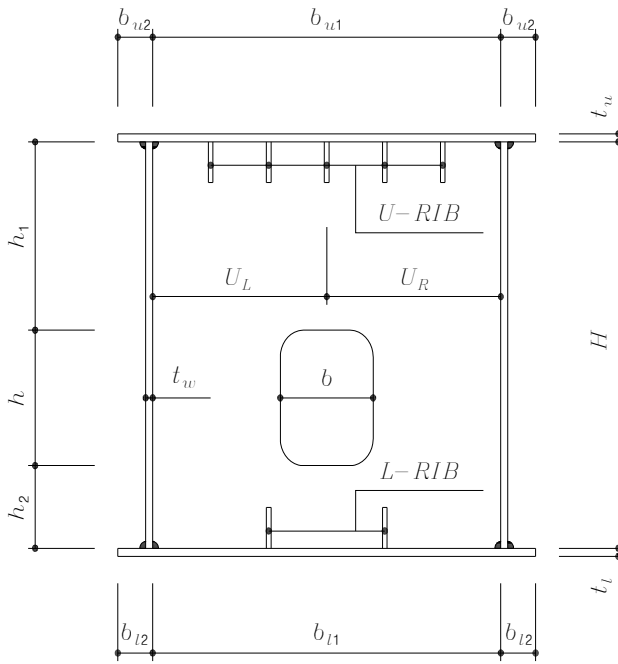
$L > 50.0\text{m}$ 의 경우 : $L_D \leq (0.14L - 1.0)\text{m}$

단, $L_D \leq 20.0\text{m}$

여기서, L_D : 중간 DIAPHRAGM의 간격(m) [5.000 m]

L : 교량의 지간길이(m) [44.350 m]

$L = 44.350 \text{ m} \leq 50.000 \text{ m} \Rightarrow L_D = 5.000 \text{ m} < L_{Dreq} = 6.000 \text{ m} \cdots \cdots \text{O.K !!}$



b_{u1}	=	2,400.0	mm
b_{u2}	=	120.0	mm
b_{uL}	=	0.0	mm
b_{uR}	=	0.0	mm
U_L	=	1,200.0	mm
U_R	=	1,200.0	mm
b_{l1}	=	2,400.0	mm
b_{l2}	=	120.0	mm
b	=	500.0	mm
H	=	2,200.0	mm
h	=	700.0	mm
h_1	=	1,100.0	mm
h_2	=	400.0	mm
Θ_L	=	0.000	°
Θ_L	=	0.000	°

Diaphragm 두께 : $t_D = 26.0 \text{ mm}$ 강재 탄성계수 : $2.05\text{E}+05 \text{ MPa}$ 강재전단탄성계수 : $7.90\text{E}+04 \text{ MPa}$

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$X(\text{mm})$	$A_s \cdot X(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot X^2(\text{mm}^4)$	$I_{yo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 2,640.0 × 12.0	31,680.0	-	-	-	1.840E+10
보강판	0 - 0.0 × 0.0	0.0	-	-	-	0.000E+00
UPPER RIB	2 - 150.0 × 14.0	4,200.0	-	-	-	7.875E+06
L - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	3.168E+05
R - WEB	1 - 2,200.0 × 12.0	26,400.0	-	-	-	3.168E+05
LOWER RIB	5 - 150.0 × 14.0	10,500.0	-	-	-	1.969E+07
LOWER FL.	1 - 2,640.0 × 16.0	42,240.0	-	-	-	2.453E+10
합 계		141,420.0	-	-	-	4.296E+10

- Diaphragm의 개구율

$$\rho = \sqrt{A' / A} = \sqrt{[(500.0 \times 700.0) / \{(2,400.0 + 2,400.0) / 2 \times 2,200.0\}]} = 0.257$$

$$0.4 \geq \rho = 0.257$$

$\Rightarrow$ **충복판 형식 적용**

- 상부플랜지의 총단면적

$$F_u = 31,680.0 + 0.0 + 4,200.0 = 3.588\text{E}+04 \text{ mm}^2$$

- 하부플랜지의 총단면적 (리브 포함)

$$F_l = 10,500.0 + 42,240.0 = 5.274\text{E}+04 \text{ mm}^2$$

- 복부 1개의 단면적

$$F_h = 26,400.0 = 2.640E+04 \text{ mm}^2$$

- 상부플랜지의 복부판 중심간격

$$B_u = 2,400.0 + 12.0/2 + 12.0/2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

- 하부플랜지의 복부판 중심간격

$$B_l = 2,400.0 + 12.0/2 + 12.0/2 = 2,412.0 \text{ mm}$$

- 상부플랜지의 돌출폭

$$b_1 = 120.0 - 12.0 = 108.0 \text{ mm}$$

- 하부플랜지의 돌출폭

$$b_2 = 120.0 - 12.0 = 108.0 \text{ mm}$$

- 리브를 포함하는 상부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$$I_u = 18,399,744,000.0 + 7,875,000 + 672,000,000 = 1.907962E+10 \text{ mm}^2$$

- 리브를 포함하는 하부플랜지의 수직축 단면2차모멘트

$$I_l = 24,532,992,000.0 + 19,687,500.00(+ ##### = 2.791E+10 \text{ mm}^2$$

- 변형함수

$$\alpha_1 = \{e / (e+f)\} \cdot \{(B_u+B_l)/4\} \cdot H$$

$$= \{27,491,621.0 / (27,491,621.0 + 23,829,489.8)\} \times \{(2,412.0 + 2,412.0) / 4\} \times 2,200.0 = 1.421E+06 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_2 = \{f / (e+f)\} \cdot \{(B_u+B_l)/4\} \cdot H$$

$$= \{23,829,489.8 / (27,491,621.0 + 23,829,489.8)\} \times \{(2,412.0 + 2,412.0) / 4\} \times 2,200.0 = 1.232E+06 \text{ mm}^2$$

여기서, $e = (I_l / B_l) + \{(B_u + 2B_l) \cdot F_h / 12\}$

$$= (27,912,679,500.0 / 2,412.0) + \{(2,412.0 + 2 \times 2,412.0) \times 26,400.0 / 12\} = 2.749E+07 \text{ mm}^3$$

$$f = (I_u / B_u) + \{(2B_u + B_l) \cdot F_h / 12\}$$

$$= (19,079,619,000.0 / 2,412.0) + \{(2 \times 2,412.0 + 2,412.0) \times 26,400.0 / 12\} = 2.383E+07 \text{ mm}^3$$

- 박스거더의 단면형상에 대한 상수

$$I_{DW} = 1/3 \cdot \{ \alpha_1^2 \cdot F_u \cdot (1 + 2 \cdot b_1 / B_u)^2 + \alpha_2^2 \cdot F_l \cdot (1 + 2 \cdot b_2 / B_l)^2 + 2 \cdot (\alpha_1^2 - \alpha_1 \cdot \alpha_2 + \alpha_2^2) \cdot F_h \}$$

$$(1/3) \cdot \{ 1,421,262.5^2 \times 35,880.0 \times (1 + 2 \times 108.0 / 2,412.0)^2 +$$

$$1,231,937.5^2 \times 52,740.0 \times (1 + 2 \times 108.0 / 2,412.0)^2 + 2 \times (1,421,262.5^2$$

$$- 1,421,262.5 \times 1,231,937.5 + 1,231,937.5^2) \times 26,400.0 \} = 9.180E+16 \text{ mm}^6$$

- Diaphragm의 필요강도

$$K_{req} = 20 \cdot E \cdot I_{DW} / L_{Dreq}^3 = 20 \times 205,000.0 \times 91,799,822,820,257,700.0 / 6,000.0^3 = 1.742E+12 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

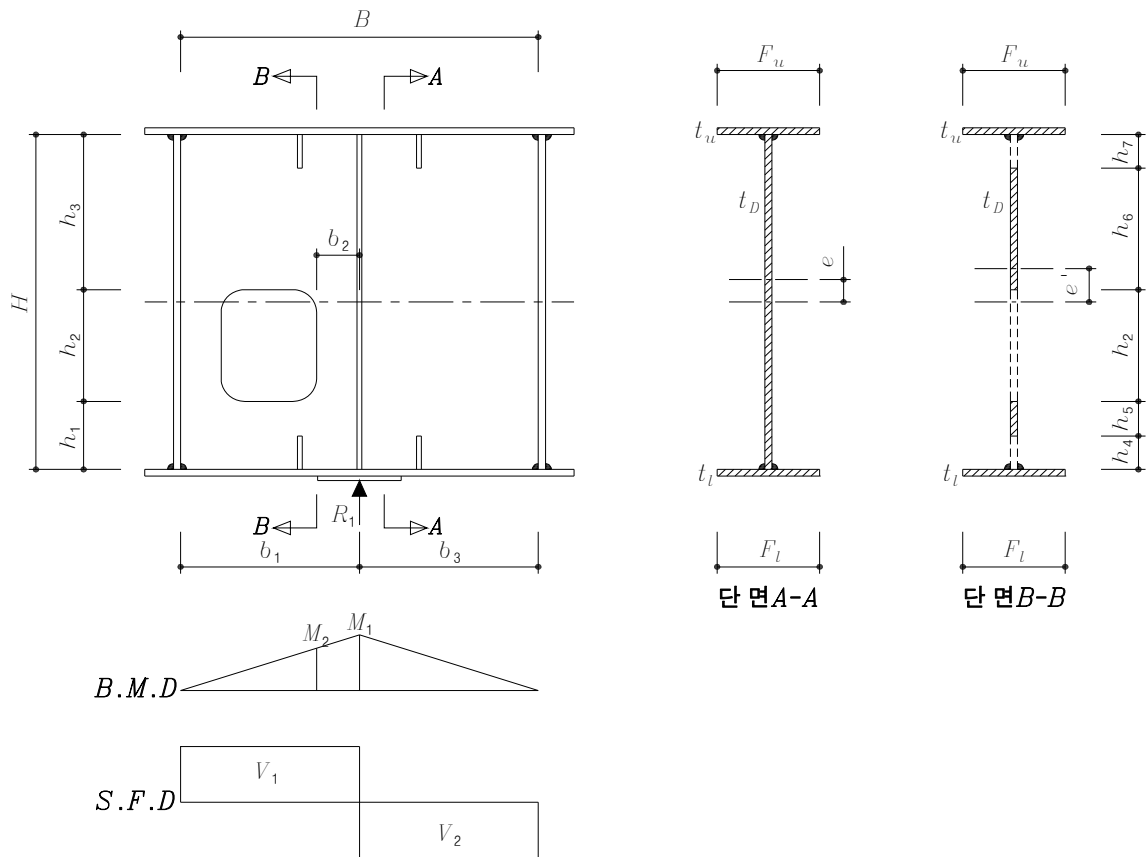
- Diaphragm의 강도 검토

$$K_{use} = 4 \cdot G \cdot A \cdot t_D = 4 \times 79,000.0 \times \{(2,400.0 + 2,400.0) / 2 \times 2,200.0\} \times 26.0 = 4.338E+13 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\therefore K_{use} = 4.338E+13 \text{ N} \cdot \text{mm} \geq K_{req} = 1.742E+12 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad \dots\dots \mathbf{O.K !!}$$

8.2 지점부 DIAPHRAGM 응력검토

(1) 교대부-1슈 (절점 37)



(단위 : mm)

B	H	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	b_1	b_2	b_3
2,400	1,600	400	700	500	150	250	350	150	1,200	405	1,200

t_u	t_D	t_l	F_u	F_l	$R_1(\text{kN})$	$R_2(\text{kN})$	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_2(\text{kN}\cdot\text{m})$	$V_1(\text{kN})$	$V_2(\text{kN})$
10	16	12	240	288	1,929.055	0.000	1,157.4	766.8	964.5	-964.5

▪ 단면 A-A 응력검토

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 240.0 × 10.0	2,400.0	805.0	1.932E+06	1.555E+09	2.000E+04
Diaphragm	1 - 1,600.0 × 16.0	25,600.0	-	-	-	5.461E+09
LOWER FL.	1 - 288.0 × 12.0	3,456.0	-806.0	-2.786E+06	2.245E+09	4.147E+04
합 계		31,456.0	-1.0	-8.535E+05	3.800E+09	5.461E+09

$$e = \sum A_s \cdot Y / \sum A_s = -853,536.0 / 31,456.0 = -27.134 \text{ mm}$$

$$I_{33} = \sum I_{xo} + \sum A \cdot Y^2 - \sum A \cdot e^2 = 5,461,394,805.3 + 3,800,402,016.0 - 31,456.0 \times (-27.1)^2 = 9.239\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 응력 계산

$$f_l = (1,157.433 / 9,238,636,734.1) \times (1,600.0/2 + 10.0 + -27.1) = 98.079 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_l = 98.079 \text{ MPa} \leq f_a = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$u = 964.5 / 25,600.0 = 37.677 \text{ MPa}$$

$$\therefore u = 37.677 \text{ MPa} \leq u_a = 125.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 2축 응력상태의 검토 (☞ 도.설.해 3.8.2.5)

$$f_v = 67.582 \text{ MPa} \text{ 수직응력 [지점부 보강재 검토 참조]}$$

$$\left(\frac{f_v}{f_a}\right)^2 - \left(\frac{f_v}{f_a}\right) \cdot \left(\frac{f_l}{f_a}\right) + \left(\frac{f_l}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{v}{v_a}\right)^2$$

$$(67.58/215.0)^2 - (67.58/215.0) \times (98.08/215.0) + (98.08/215.0)^2 + (37.68/125.0)^2 = 0.254$$

$$\therefore \text{2축 응력} = 0.254 \leq 1.200 \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

▪ 단면 B-B 응력검토

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 240.0 × 10.0	2,400.0	805.0	1.932E+06	1.555E+09	2.000E+04
Diaphragm	1 - 350.0 × 16.0	5,600.0	475.0	2.660E+06	1.264E+09	5.717E+07
Diaphragm	1 - 250.0 × 16.0	4,000.0	-525.0	-2.100E+06	1.103E+09	2.083E+07
LOWER FL.	1 - 288.0 × 12.0	3,456.0	-806.0	-2.786E+06	2.245E+09	4.147E+04
합 계		15,456.0	-51.0	-2.935E+05	6.166E+09	7.806E+07

$$e = \sum A_s \cdot Y / \sum A_s = -293,536.0 / 15,456.0 = -18.992 \text{ mm}$$

$$I_{33} = \sum I_{xo} + \sum A \cdot Y^2 - \sum A \cdot e^2 = 78,061,472.0 + 6,166,402,016.0 - 15,456.0 \times (-19.0)^2 = 6.239\text{E}+09 \text{ mm}^4$$

- 응력 계산

$$f_l = (766.799 / 6,238,888,734.9) \times (1,600.0/2 + 10.0 + -19.0) = 97.220 \text{ MPa}$$

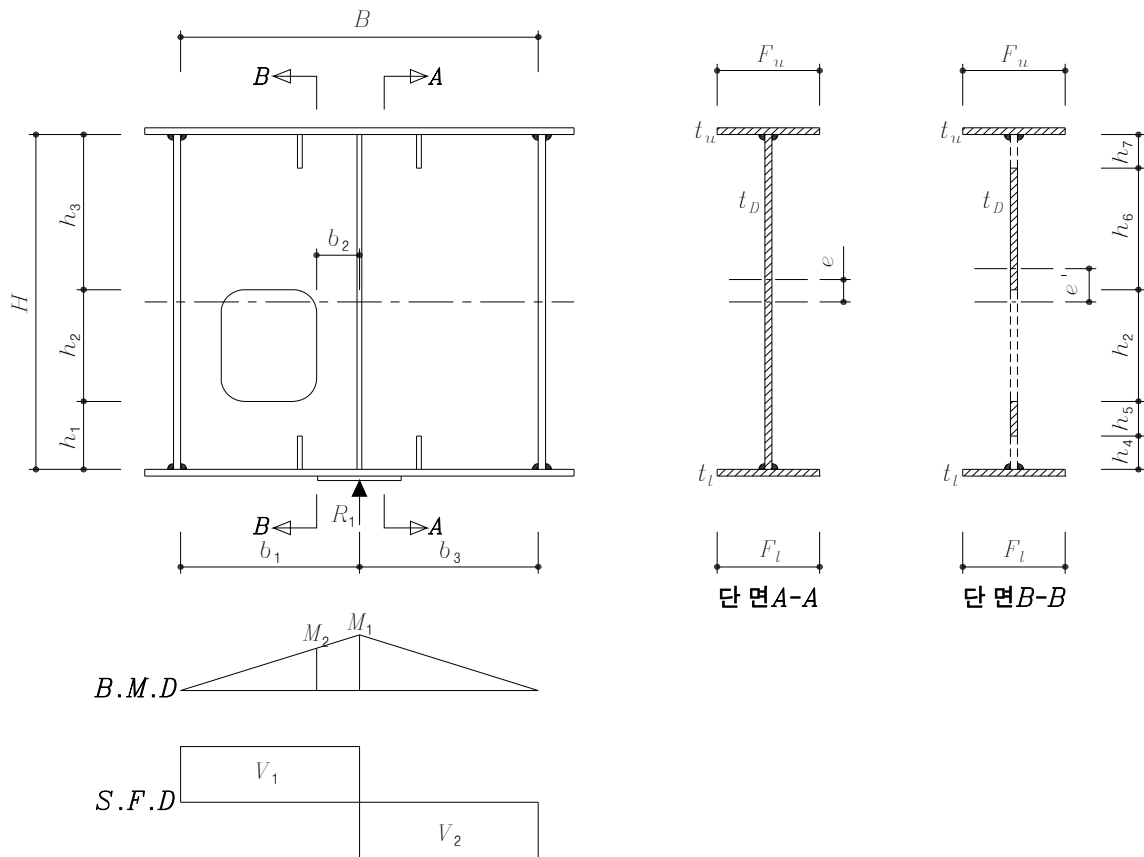
$$\therefore f_l = 97.220 \text{ MPa} \leq f_a = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$u = 964.527 / (5,600.0 + 4,000.0) = 100.472 \text{ MPa}$$

$$\therefore u = 100.472 \text{ MPa} \leq u_a = 125.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

8.2 지점부 DIAPHRAGM 응력검토

(2) 교각부-1슈 (절점 47)



(단위 : mm)

B	H	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	h_7	b_1	b_2	b_3
2,400	2,200	400	700	1,100	0	400	950	150	1,200	395	1,200

t_u	t_D	t_l	F_u	F_l	$R_1(\text{kN})$	$R_2(\text{kN})$	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	$M_2(\text{kN}\cdot\text{m})$	$V_1(\text{kN})$	$V_2(\text{kN})$
12	26	16	288	384	5,484.130	0.000	3,290.5	2,207.4	2,742.1	-2,742.1

▪ 단면 A-A 응력검토

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 288.0 × 12.0	3,456.0	1,106.0	3.822E+06	4.228E+09	4.147E+04
Diaphragm	1 - 2,200.0 × 26.0	57,200.0	-	-	-	2.307E+10
LOWER FL.	1 - 384.0 × 16.0	6,144.0	-1,108.0	-6.808E+06	7.543E+09	1.311E+05
합 계		66,800.0	-2.0	-2.985E+06	1.177E+10	2.307E+10

$$e = \sum A_s \cdot Y / \sum A_s = -2,985,216.0 / 66,800.0 = -44.689 \text{ mm}$$

$$I_{33} = \sum I_{xo} + \sum A \cdot Y^2 - \sum A \cdot e^2 = 23,070,839,210.7 + 11,770,271,232.0 - 66,800.0 \times (-44.7)^2 = 3.471\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 응력 계산

$$f_l = (3,290.478 / 34,707,704,536.0) \times (2,200.0/2 + 12.0 + -44.7) = 101.187 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_l = 101.187 \text{ MPa} \leq f_a = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$u = 2,742.1 / 57,200.0 = 47.938 \text{ MPa}$$

$$\therefore u = 47.938 \text{ MPa} \leq u_a = 125.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

- 2축 응력상태의 검토

(도.설.해 3.8.2.5)

$$f_v = 152.744 \text{ MPa} \text{ 수직응력 [지점부 보강재 검토 참조]}$$

$$\left(\frac{f_v}{f_a} \right)^2 - \left(\frac{f_v}{f_a} \right) \cdot \left(\frac{f_l}{f_a} \right) + \left(\frac{f_l}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{v}{v_a} \right)^2$$

$$(152.74/215.0)^2 - (152.74/215.0) \times (101.19/215.0) + (101.19/215.0)^2 + (47.94/125.0)^2 = 0.539$$

$$\therefore \text{2축 응력} = 0.539 \leq 1.200 \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

▪ 단면 B-B 응력검토

구 분	규 격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
UPPER FL.	1 - 288.0 × 12.0	3,456.0	1,106.0	3.822E+06	4.228E+09	4.147E+04
Diaphragm	1 - 950.0 × 26.0	24,700.0	475.0	1.173E+07	5.573E+09	1.858E+09
Diaphragm	1 - 400.0 × 26.0	10,400.0	-900.0	-9.360E+06	8.424E+09	1.387E+08
LOWER FL.	1 - 384.0 × 16.0	6,144.0	-1,108.0	-6.808E+06	7.543E+09	1.311E+05
합 계		44,700.0	-427.0	-6.127E+05	2.577E+10	1.996E+09

$$e = \sum A_s \cdot Y / \sum A_s = -612,716.0 / 44,700.0 = -13.707 \text{ mm}$$

$$I_{33} = \sum I_{xo} + \sum A \cdot Y^2 - \sum A \cdot e^2 = 1,996,485,044.0 + 25,767,208,732.0 - 44,700.0 \times (-13.7)^2 = 2.776\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

- 응력 계산

$$f_l = (2,207.362 / 27,755,295,098.2) \times (2,200.0/2 + 12.0 + -13.7) = 87.347 \text{ MPa}$$

$$\therefore f_l = 87.347 \text{ MPa} \leq f_a = 215.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

$$u = 2,742.065 / (24,700.0 + 10,400.0) = 78.122 \text{ MPa}$$

$$\therefore u = 78.122 \text{ MPa} \leq u_a = 125.000 \text{ MPa} \quad \dots\dots \text{O.K !!}$$

8.3 DIAPHRAGM 간격 및 응력검토

1) 다이아프램의 간격 및 강도 검토

개구율 $\rho = \sqrt{A'/A}$ A' : 개구부 면적, A : 총면적

구분		다이아프램의 간격 (m)			다이아프램 형식				강도 K (N · mm)		
		한계간격	적용간격	판정	A' (mm ²)	A (mm ²)	개구율	판정	필요강도	사용강도	판정
일반부	G1	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	4790181.2	0.27	충복판식	1.388E+14	1.514E+15	0.K
	G2	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	4790191.6	0.27	충복판식	1.388E+14	1.514E+15	0.K
A1	G1	6000.0	4349.7	0.K	350000.0	3840000.0	0.30	충복판식	7.204E+13	1.942E+15	0.K
	G2	6000.0	4344.6	0.K	350000.0	3840000.0	0.30	충복판식	7.204E+13	1.942E+15	0.K
P1	G1	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	5280000.0	0.26	충복판식	1.743E+14	4.338E+15	0.K
	G2	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	5280000.0	0.26	충복판식	1.743E+14	4.338E+15	0.K
P2	G1	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	5280000.0	0.26	충복판식	1.660E+14	4.338E+15	0.K
	G2	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	5280000.0	0.26	충복판식	1.660E+14	4.338E+15	0.K
P3	G1	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	5280000.0	0.26	충복판식	1.743E+14	4.338E+15	0.K
	G2	6000.0	5000.0	0.K	350000.0	5280000.0	0.26	충복판식	1.743E+14	4.338E+15	0.K
A2	G1	6000.0	4349.6	0.K	350000.0	3840000.0	0.30	충복판식	7.204E+13	1.942E+15	0.K
	G2	6000.0	4341.6	0.K	350000.0	3840000.0	0.30	충복판식	7.204E+13	1.942E+15	0.K

2) 다이아프램의 응력검토

구분		휨 응 력 (MPa)				전 단 응 력 (MPa)				2축 합성응력도		
		단면A-A	단면B-B	허용응력	판정	단면A-A	단면B-B	허용응력	판정	작용	허용	판정
A1	G1	96.9	96.1	215.0	0.K	37.2	99.3	125.0	0.K	0.25	1.2	0.K
	G2	96.0	96.4	215.0	0.K	36.9	98.4	125.0	0.K	0.24	1.2	0.K
P1	G1	86.1	73.4	215.0	0.K	40.8	66.5	125.0	0.K	0.44	1.2	0.K
	G2	101.2	87.3	215.0	0.K	47.9	78.1	125.0	0.K	0.54	1.2	0.K
P2	G1	74.5	63.6	215.0	0.K	34.5	56.2	125.0	0.K	0.32	1.2	0.K
	G2	87.7	75.8	215.0	0.K	40.6	66.2	125.0	0.K	0.44	1.2	0.K
P3	G1	86.5	73.8	215.0	0.K	41.0	66.8	125.0	0.K	0.45	1.2	0.K
	G2	100.7	86.9	215.0	0.K	47.7	77.7	125.0	0.K	0.53	1.2	0.K
A2	G1	98.1	97.2	215.0	0.K	37.7	100.5	125.0	0.K	0.25	1.2	0.K
	G2	94.9	95.3	215.0	0.K	36.5	97.2	125.0	0.K	0.24	1.2	0.K

9. 전단연결재의 설계

9.1 강재와 Half-Deck 콘크리트 (STUD)

1) 합성전 하중에 의한 수평 전단력

(도.설.해 3.9.5.2)

※ 고려하는 단면의 휨모멘트의 부호에 관계없이 바닥판 콘크리트의 단면을 유효로 하여 전단연결재의 계산을 하는 것으로 한다. (도.설.해 3.9.5.7)

여기서, S_{vh} = 설계 대상 단면의 Half-Deck과 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)

$$S_{vh} = \frac{V_h \cdot Q_{vch}}{I_{vh}}$$

V_h = 합성전 하중에 의한 수직전단력 (kN)
 Q_{vch} = Half-Deck 콘크리트의 환산단면의 합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm³)

$$Q_{vch} = \frac{A_{ch}}{n_h} \cdot d_{vh}$$

A_{ch} = Half-Deck 콘크리트의 단면적 (mm²)
 I_{vh} = 강재와 Half-Deck의 단면2차모멘트 (mm⁴)
 d_{vh} = 합성전 단면의 도심에서 Half-Deck 콘크리트 도심까지의 거리 (mm)

※ V_h : 합성전 고정하중(강재+Half-Deck)에 의한 수직전단력, V_d : 잔여 바닥판 하중에 의한 수직 전단력

절점	단면 TYPE	A_{ch}/n_h (mm ²)	d_{vh} (mm)	Q_{vch} (mm ³)	I_{vh} (mm ⁴)	V_h (kN)	V_d (kN)	V_h+V_d (kN)	S_{v1} (N/mm)
2	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	238.1	299.1	537.2	239.4
3	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	152.5	177.0	329.5	146.8
5	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	43.9	58.6	102.5	45.7
7	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	246.0	296.4	542.4	241.7
13	7	51,130.0	838.3	4.286E+07	9.735E+10	186.7	224.4	411.2	181.0
16	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	115.6	135.5	251.1	111.9
22	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	115.7	135.6	251.3	112.0
25	7	51,130.0	838.3	4.286E+07	9.735E+10	186.6	224.3	410.9	180.9
31	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	245.7	296.0	541.7	241.4
33	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	43.8	58.3	102.1	45.5
35	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	152.2	176.7	328.9	146.6
36	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	237.4	298.1	535.4	238.6
39	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	245.0	306.9	551.8	245.9
40	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	153.9	179.9	333.8	148.8
42	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	44.2	60.7	104.8	46.7
44	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	247.2	299.4	546.5	243.6
50	7	51,130.0	838.3	4.286E+07	9.735E+10	187.6	226.8	414.4	182.4
53	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	116.0	137.2	253.2	112.8
59	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	116.0	137.3	253.3	112.9
62	7	51,130.0	838.3	4.286E+07	9.735E+10	187.5	226.7	414.2	182.4
68	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	246.8	298.8	545.6	243.2
70	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	43.8	60.1	103.9	46.3
72	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	154.3	180.3	334.6	149.1
73	2	51,130.0	790.1	4.040E+07	9.064E+10	245.5	307.4	552.9	246.4

2) 합성후 하중에 의한 수평 전단력

(도.설.해 3.9.5.2)

※ 고려하는 단면의 휨모멘트의 부호에 관계없이 바닥판 콘크리트의 단면을 유효로 하여 전단연결재의 계산을 하는 것으로 한다.

(도.설.해 3.9.5.7)

여기서, S_v = 설계 대상 단면의 Half-Deck과 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)

$$S_v = \frac{V \cdot Q_{vc}}{I_v}$$

V = 합성후 하중에 의한 수직전단력[활하중 포함] (kN)
 Q_{vc} = 콘크리트의 환산단면의 합성단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm³)
 A_c = 바닥판 콘크리트의 단면적 (mm²)
 A_{ch} = Half-Deck 콘크리트의 단면적 (mm²)
 I_v = 합성단면의 단면2차모멘트 (mm⁴)
 d_{v2c} = 합성단면의 도심에서 바닥판콘크리트 도심까지의 거리 (mm)
 d_{v2h} = 합성단면의 도심에서 Half-Deck 콘크리트 도심까지의 거리 (mm)

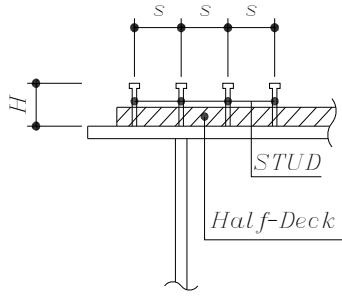
$$Q_{vc} = \frac{A_{vh}}{n_h} \cdot d_{vh} + \frac{A_c}{n} \cdot d_{vc}$$

※ V_d : 합성후 고정하중에 의한 수직전단력, V_a : 합성후 고정하중에 의한 수직전단력을 제외한 전단력

(충격계수를 포함한 활하중 포함)

절점	단면 TYPE	A_{ch}/n_h (mm ²)	d_{v2h} (mm)	A_c/n (mm ²)	d_{v2c} (mm)	Q_{vc} (mm ³)	I_{v2} (mm ⁴)	V_{d2} (kN)	V_a (kN)	$V_{d2}+V_a$ (kN)	S_{v2} (N/mm)
2	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	242.9	544.3	787.3	421.7
3	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	144.0	476.6	620.6	332.4
5	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	47.2	397.2	444.4	238.0
7	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	247.4	524.8	772.3	413.6
13	7	51,130.0	401.6	122,140.0	516.7	8.364E+07	1.580E+11	186.0	489.6	675.6	357.6
16	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	103.4	494.1	597.5	320.0
22	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	103.5	494.3	597.8	320.2
25	7	51,130.0	401.6	122,140.0	516.7	8.364E+07	1.580E+11	185.9	489.6	675.5	357.6
31	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	247.1	525.6	772.7	413.8
33	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	46.9	397.8	444.8	238.2
35	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	143.8	476.4	620.2	332.2
36	2	51,130.0	364.5	122,140.0	479.5	7.720E+07	1.441E+11	242.2	544.3	786.5	421.2
39	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	253.6	549.2	802.8	431.1
40	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	151.7	479.0	630.7	338.7
42	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	58.6	393.6	452.2	242.9
44	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	259.4	521.7	781.0	419.5
50	7	51,130.0	391.0	127,970.0	505.1	8.463E+07	1.594E+11	197.1	486.3	683.4	362.8
53	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	114.7	491.3	606.0	325.5
59	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	114.9	491.3	606.2	325.6
62	7	51,130.0	391.0	127,970.0	505.1	8.463E+07	1.594E+11	197.0	486.1	683.1	362.6
68	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	258.8	520.9	779.7	418.8
70	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	58.1	392.7	450.8	242.1
72	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	152.0	479.3	631.3	339.0
73	2	51,130.0	354.4	127,970.0	468.5	7.808E+07	1.454E+11	254.1	549.3	803.3	431.4

3) STUD의 설계



$$s_{min} = 75.0 \text{ mm} \quad (s : \text{STUD의 횡방향 최소간격})$$

$$d = 25.0 \text{ mm} \quad (d : \text{STUD의 직경})$$

$$n = 8.0 \text{ 본} \quad (n : \text{STUD의 횡방향 개수})$$

구 분	H(mm)	D(mm)	h(mm)	비 고
단 부	190.0	130.0	60.0	H : STUD 전체높이 D : Half-Deck의 높이 h : STUD 유효높이
일반부	190.0	130.0	60.0	

STUD의 허용전단력

(도.설.해 3.9.5.6)

※ 전단연결재의 허용전단력은 다음 식으로 계산하고 바닥판 콘크리트와 강재 주거더의 플랜지 사이의 부착력은 무시한다.

- Half-Deck만 적용시

· 단부

$$D/d = 130.0 / 25.0 = 5.200 < 5.50$$

$$Q_a = 1.74 \times dD \times \sqrt{f_{ck}} = 0.0 \text{ N/본} \quad \because f_{ck} = 50.0 \text{ MPa}$$

$$\Sigma Q_a = 0.0 \times 8.0 = 0.0 \text{ N}$$

여기서, Q_a : 전단연결재의 허용전단력(N)

D : 스터드의 전 높이로서 Half-Deck 콘크리트 타설 높이로 한다. (mm)

d : 스터드의 줄기의 지름으로서 19mm, 22mm, 25mm로 한다. (mm)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도 (MPa)

· 일반부

$$D/d = 130.0 / 25.0 = 5.200 < 5.50$$

$$Q_a = 1.74 \times dD \times \sqrt{f_{ck}} = 39,986.9 \text{ N/본}$$

$$\Sigma Q_a = 39,986.9 \times 8.0 = 319,895.1 \text{ N}$$

- Half-Deck과 바닥판의 합성작용시

· 단부

$$H/d = 190.0 / 25.0 = 7.600 \geq 5.50$$

$$Q_a = 9.50 \times d^2 \times \sqrt{f_{ck}} = 0.0 \text{ N/본} \quad \because f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\Sigma Q_a = 0.0 \times 8.0 = 0.0 \text{ N}$$

· 일반부

$$H/d = 190.0 / 25.0 = 7.600 \geq 5.50$$

$$Q_a = 9.50 \times d^2 \times \sqrt{f_{ck}} = 30,852.2 \text{ N/본}$$

$$\Sigma Q_a = 30,852.2 \times 8.0 = 246,817.2 \text{ N}$$

4) 하중조합 및 STUD의 배치

- STUD의 배치간격

$$d_o = \sum Q_a / S \quad (S : \text{수평전단력})$$

- Half-Deck 작용시

절점	하 중 조 합 (N/mm)					소요 간격 d _o	배치 간격	비 고
	$S_v(S_{v1})$	S_{sh}	S_{th}	S_v+S_{th}	$S_{sh}+S_{th}$			
2	239.4	0.0	0.0	239.4	0.0	1336.2mm	300.0mm	0.K !!
3	146.8	0.0	0.0	146.8	0.0	2178.4mm	300.0mm	0.K !!
5	45.7	0.0	0.0	45.7	0.0	7004.5mm	300.0mm	0.K !!
7	241.7	0.0	0.0	241.7	0.0	1323.4mm	300.0mm	0.K !!
13	181.0	0.0	0.0	181.0	0.0	1767.0mm	300.0mm	0.K !!
16	111.9	0.0	0.0	111.9	0.0	2858.8mm	300.0mm	0.K !!
22	112.0	0.0	0.0	112.0	0.0	2856.2mm	300.0mm	0.K !!
25	180.9	0.0	0.0	180.9	0.0	1768.0mm	300.0mm	0.K !!
31	241.4	0.0	0.0	241.4	0.0	1325.1mm	300.0mm	0.K !!
33	45.5	0.0	0.0	45.5	0.0	7028.3mm	300.0mm	0.K !!
35	146.6	0.0	0.0	146.6	0.0	2182.5mm	300.0mm	0.K !!
36	238.6	0.0	0.0	238.6	0.0	1340.5mm	300.0mm	0.K !!
39	245.9	0.0	0.0	245.9	0.0	1300.7mm	300.0mm	0.K !!
40	148.8	0.0	0.0	148.8	0.0	2150.0mm	300.0mm	0.K !!
42	46.7	0.0	0.0	46.7	0.0	6846.7mm	300.0mm	0.K !!
44	243.6	0.0	0.0	243.6	0.0	1313.3mm	300.0mm	0.K !!
50	182.4	0.0	0.0	182.4	0.0	1753.3mm	300.0mm	0.K !!
53	112.8	0.0	0.0	112.8	0.0	2835.2mm	300.0mm	0.K !!
59	112.9	0.0	0.0	112.9	0.0	2833.4mm	300.0mm	0.K !!
62	182.4	0.0	0.0	182.4	0.0	1754.0mm	300.0mm	0.K !!
68	243.2	0.0	0.0	243.2	0.0	1315.6mm	300.0mm	0.K !!
70	46.3	0.0	0.0	46.3	0.0	6906.9mm	300.0mm	0.K !!
72	149.1	0.0	0.0	149.1	0.0	2145.2mm	300.0mm	0.K !!
73	246.4	0.0	0.0	246.4	0.0	1298.2mm	300.0mm	0.K !!

▪ Half-Deck과 바닥판의 합성작용시

절점	하 중 조 합 (N/mm)					소요 간격 d_o	배치 간격	비 고
	$S_v(S_{v1}+S_{v2})$	S_s	S_t	S_v+S_t	S_s+S_t			
2	661.1	0.0	0.0	661.1	0.0	373.4mm	300.0mm	0.K !!
3	479.3	0.0	0.0	479.3	0.0	515.0mm	300.0mm	0.K !!
5	283.7	0.0	0.0	283.7	0.0	870.0mm	300.0mm	0.K !!
7	655.3	0.0	0.0	655.3	0.0	376.6mm	300.0mm	0.K !!
13	538.7	0.0	0.0	538.7	0.0	458.2mm	300.0mm	0.K !!
16	431.9	0.0	0.0	431.9	0.0	571.4mm	300.0mm	0.K !!
22	432.2	0.0	0.0	432.2	0.0	571.1mm	300.0mm	0.K !!
25	538.5	0.0	0.0	538.5	0.0	458.3mm	300.0mm	0.K !!
31	655.3	0.0	0.0	655.3	0.0	376.7mm	300.0mm	0.K !!
33	283.7	0.0	0.0	283.7	0.0	869.9mm	300.0mm	0.K !!
35	478.8	0.0	0.0	478.8	0.0	515.5mm	300.0mm	0.K !!
36	659.9	0.0	0.0	659.9	0.0	374.0mm	300.0mm	0.K !!
39	677.1	0.0	0.0	677.1	0.0	364.5mm	300.0mm	0.K !!
40	487.5	0.0	0.0	487.5	0.0	506.3mm	300.0mm	0.K !!
42	289.6	0.0	0.0	289.6	0.0	852.3mm	300.0mm	0.K !!
44	663.1	0.0	0.0	663.1	0.0	372.2mm	300.0mm	0.K !!
50	545.2	0.0	0.0	545.2	0.0	452.7mm	300.0mm	0.K !!
53	438.3	0.0	0.0	438.3	0.0	563.1mm	300.0mm	0.K !!
59	438.5	0.0	0.0	438.5	0.0	562.9mm	300.0mm	0.K !!
62	545.0	0.0	0.0	545.0	0.0	452.9mm	300.0mm	0.K !!
68	661.9	0.0	0.0	661.9	0.0	372.9mm	300.0mm	0.K !!
70	288.4	0.0	0.0	288.4	0.0	855.8mm	300.0mm	0.K !!
72	488.2	0.0	0.0	488.2	0.0	505.6mm	300.0mm	0.K !!
73	677.9	0.0	0.0	677.9	0.0	364.1mm	300.0mm	0.K !!

5) STUD 배치 간격 검토

(도.설.해 3.9.5.4, 3.9.5.5)

▪ STUD의 최대간격

※ 전단연결재의 최대 간격은 바닥판 콘크리트의 두께의 3배로 하고 600mm를 넘지 않도록한다.

다만, 연속교의 내부지점부의 경우 높은 인장응력이 발생하는 곳의 전단연결재 설치를 피하기 위해 이 간격을 넓힐 수도 있다.

최대 간격 $\Rightarrow$ 바닥판 두께의 3배 = $240.0 \times 3 = 720.0 \text{ mm}$ 또는 $600.0 \text{ mm} \Rightarrow 600.0 \text{ mm}$ 적용
 적용 최대 간격 = $300.0 \text{ mm} \leq 600.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

▪ STUD의 최소간격

- 교축방향 : $5 \cdot d = 125.0 \text{ mm}$ 또는 $100.0 \text{ mm} \leq 300.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

- 교축직각방향 : $d+30 = 55.0 \text{ mm} \leq 75.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

- 최소연단순간격 : $25.0 \text{ mm} \leq 40.0 - 12.5 = 27.5 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

6) 전단연결재의 피로설계

(도.설.해 3.9.5.9)

▪ 수평전단력 범위

$$S_r = \frac{V_r \cdot Q}{I_v}$$

여기서, S_r = 설계 대상 단면의 Half-Deck과 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)

V_r = 충격을 포함하는 활하중에 대한 전단력의 범위 (N)

Q = 정모멘트부 콘크리트의 환산단면 또는 부모멘트부 철근면적의 합성 단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm³)

A_c = 바닥판 콘크리트의 단면적 (mm²)

I_v = 합성단면의 단면2차모멘트 (mm⁴)

d_{vc} = 합성단면의 도심에서 바닥판 콘크리트 도심까지의 거리 (mm)

▪ 허용수평전단력 범위

$$Z_r = \beta \cdot d^2 \Rightarrow 39.0 \times 25.0^2 = 24,375.0 \text{ N (DB 하중의 경우)}$$
$$\Rightarrow 74.0 \times 25.0^2 = 46,250.0 \text{ N (DL 하중의 경우)}$$

여기서, Z_r : 전단연결재의 허용수평 전단력 범위 (N)

β : 39.0 (하중 반복회수 : DB 하중 = 2,000,000이상)

74.0 (하중 반복회수 : DL 하중 = 500,000.0)

- 피로를 고려한 전단연결재의 필요간격

$$d_o = \sum Z_r / S_r$$

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DB하중에 대한 검토)

절점	I_v (mm ⁴)	Q_{vc} (mm ³)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	$\sum Z_r$ (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비 고	
2	1.441E+11	7.720E+07	6.590E+05	353.0	8.0	1.950E+05	552.5mm	300.0mm	0.K !!	
3	1.441E+11	7.720E+07	7.217E+05	386.5	8.0	1.950E+05	504.5mm	300.0mm	0.K !!	
5	1.441E+11	7.720E+07	7.139E+05	382.4	8.0	1.950E+05	510.0mm	300.0mm	0.K !!	
7	1.441E+11	7.720E+07	7.373E+05	394.9	8.0	1.950E+05	493.8mm	300.0mm	0.K !!	
13	1.580E+11	8.364E+07	7.210E+05	381.7	8.0	1.950E+05	510.9mm	300.0mm	0.K !!	
16	1.441E+11	7.720E+07	7.321E+05	392.1	8.0	1.950E+05	497.3mm	300.0mm	0.K !!	
22	1.441E+11	7.720E+07	7.320E+05	392.1	8.0	1.950E+05	497.4mm	300.0mm	0.K !!	
25	1.580E+11	8.364E+07	7.210E+05	381.7	8.0	1.950E+05	510.9mm	300.0mm	0.K !!	
31	1.441E+11	7.720E+07	7.373E+05	394.9	8.0	1.950E+05	493.8mm	300.0mm	0.K !!	
33	1.441E+11	7.720E+07	7.140E+05	382.4	8.0	1.950E+05	509.9mm	300.0mm	0.K !!	
35	1.441E+11	7.720E+07	7.215E+05	386.4	8.0	1.950E+05	504.6mm	300.0mm	0.K !!	
36	1.441E+11	7.720E+07	6.582E+05	352.5	8.0	1.950E+05	553.1mm	300.0mm	0.K !!	
39	1.454E+11	7.808E+07	6.624E+05	355.7	8.0	1.950E+05	548.1mm	300.0mm	0.K !!	
40	1.454E+11	7.808E+07	7.203E+05	386.9	8.0	1.950E+05	504.1mm	300.0mm	0.K !!	
42	1.454E+11	7.808E+07	7.110E+05	381.8	8.0	1.950E+05	510.7mm	300.0mm	0.K !!	
44	1.454E+11	7.808E+07	7.358E+05	395.2	8.0	1.950E+05	493.4mm	300.0mm	0.K !!	
50	1.594E+11	8.463E+07	7.193E+05	381.8	8.0	1.950E+05	510.7mm	300.0mm	0.K !!	
53	1.454E+11	7.808E+07	7.302E+05	392.1	8.0	1.950E+05	497.3mm	300.0mm	0.K !!	
59	1.454E+11	7.808E+07	7.301E+05	392.1	8.0	1.950E+05	497.3mm	300.0mm	0.K !!	
62	1.594E+11	8.463E+07	7.194E+05	381.8	8.0	1.950E+05	510.7mm	300.0mm	0.K !!	
68	1.454E+11	7.808E+07	7.355E+05	395.0	8.0	1.950E+05	493.7mm	300.0mm	0.K !!	
70	1.454E+11	7.808E+07	7.105E+05	381.6	8.0	1.950E+05	511.1mm	300.0mm	0.K !!	
72	1.454E+11	7.808E+07	7.198E+05	386.6	8.0	1.950E+05	504.4mm	300.0mm	0.K !!	
73	1.454E+11	7.808E+07	6.620E+05	355.6	8.0	1.950E+05	548.4mm	300.0mm	0.K !!	

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DL하중에 대한 검토)

절점	I_v (mm ⁴)	Q_{vc} (mm ³)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	ΣZ_r (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비 고	
2	1.441E+11	7.720E+07	6.334E+05	339.3	8.0	3.700E+05	1090.6mm	300.0mm	0.K !!	
3	1.441E+11	7.720E+07	6.220E+05	333.1	8.0	3.700E+05	1110.6mm	300.0mm	0.K !!	
5	1.441E+11	7.720E+07	5.934E+05	317.8	8.0	3.700E+05	1164.1mm	300.0mm	0.K !!	
7	1.441E+11	7.720E+07	6.483E+05	347.2	8.0	3.700E+05	1065.6mm	300.0mm	0.K !!	
13	1.580E+11	8.364E+07	6.999E+05	370.5	8.0	3.700E+05	998.7mm	300.0mm	0.K !!	
16	1.441E+11	7.720E+07	7.091E+05	379.8	8.0	3.700E+05	974.3mm	300.0mm	0.K !!	
22	1.441E+11	7.720E+07	7.090E+05	379.8	8.0	3.700E+05	974.3mm	300.0mm	0.K !!	
25	1.580E+11	8.364E+07	6.998E+05	370.4	8.0	3.700E+05	998.8mm	300.0mm	0.K !!	
31	1.441E+11	7.720E+07	6.483E+05	347.2	8.0	3.700E+05	1065.6mm	300.0mm	0.K !!	
33	1.441E+11	7.720E+07	5.934E+05	317.8	8.0	3.700E+05	1164.1mm	300.0mm	0.K !!	
35	1.441E+11	7.720E+07	6.217E+05	333.0	8.0	3.700E+05	1111.1mm	300.0mm	0.K !!	
36	1.441E+11	7.720E+07	6.328E+05	338.9	8.0	3.700E+05	1091.7mm	300.0mm	0.K !!	
39	1.454E+11	7.808E+07	6.365E+05	341.8	8.0	3.700E+05	1082.4mm	300.0mm	0.K !!	
40	1.454E+11	7.808E+07	6.232E+05	334.7	8.0	3.700E+05	1105.5mm	300.0mm	0.K !!	
42	1.454E+11	7.808E+07	5.906E+05	317.2	8.0	3.700E+05	1166.6mm	300.0mm	0.K !!	
44	1.454E+11	7.808E+07	6.462E+05	347.0	8.0	3.700E+05	1066.2mm	300.0mm	0.K !!	
50	1.594E+11	8.463E+07	6.961E+05	369.5	8.0	3.700E+05	1001.3mm	300.0mm	0.K !!	
53	1.454E+11	7.808E+07	7.054E+05	378.8	8.0	3.700E+05	976.7mm	300.0mm	0.K !!	
59	1.454E+11	7.808E+07	7.052E+05	378.8	8.0	3.700E+05	976.9mm	300.0mm	0.K !!	
62	1.594E+11	8.463E+07	6.961E+05	369.5	8.0	3.700E+05	1001.4mm	300.0mm	0.K !!	
68	1.454E+11	7.808E+07	6.458E+05	346.8	8.0	3.700E+05	1066.8mm	300.0mm	0.K !!	
70	1.454E+11	7.808E+07	5.903E+05	317.0	8.0	3.700E+05	1167.1mm	300.0mm	0.K !!	
72	1.454E+11	7.808E+07	6.232E+05	334.7	8.0	3.700E+05	1105.5mm	300.0mm	0.K !!	
73	1.454E+11	7.808E+07	6.367E+05	341.9	8.0	3.700E+05	1082.0mm	300.0mm	0.K !!	

7) 전단연결재의 극한강도검토

(도.설.해 3.9.5.10)

▪ 전단연결재의 극한강도

$$\begin{aligned}
 V_u &= 0.4 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c} \\
 &= 0.4 \times 25.0^2 \times \sqrt{27.0 \times 27,804.0} \\
 &= 216,608.5 \text{ N} > A_{sc} f_u = \pi/4 \cdot d^2 \cdot f_u = 490.9 \times 410.0 = 201,258.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

여기서, V_u : 전단연결재의 극한강도 (N) 단, $V_u \leq A_{sc} f_u$

d : 전단연결재의 지름 (mm)

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도 (MPa)

A_{sc} : 전단연결재의 단면적 (mm²)

f_u : 전단연결재의 인장강도 (MPa)

▪ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

※ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘은 다음 두 식의 값 중 작은 값을 취한다.

여기서, A_s : 덮개판을 포함하는 강재 단면의 총면적(mm²)

$$P_1 = A_s \cdot f_y \quad f_y : \text{사용된 강재의 최소 공칭항복응력(MPa)} \quad [325.0 \text{ MPa}]$$

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도(MPa)

$$P_2 = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_s \quad b : \text{슬래브의 유효폭(mm)}$$

t_s : 콘크리트 슬래브의 두께(mm) [240.0 mm]

▪ 최대 부모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

여기서, A_r = 내부지점부 유효 슬래브 폭 내에 설치된 종방향 철근의

$$P_3 = A_r \cdot f_y \quad \text{총단면적(mm}^2\text{)}$$

f_y = 철근의 최소 항복응력(MPa) [400.0 MPa]

▪ 전단연결재 필요개수

여기서, N_1 : 최대 정모멘트부와 인접한 교대 지점부 사이의

$$N_1 = P / (\Phi V_u) \quad \text{전단연결재 개수}$$

P : 슬래브에 작용하는 힘 P_1 또는 P_2 중 작은값(N)

Φ : 감소계수 [0.85]

$$N_2 = (P + P_3) / (\Phi V_u) \quad N_2 : \text{최대 정모멘트부와 인접한 최대부모멘트부 사이의}$$

전단연결재 개수

※ 구간별 전단연결재 필요개수 및 설치개수 검토

위 치 (절점번호)	b (mm)	A_s (mm ²)	A_r (mm ²)	P_1 (N)	P_2 (N)	P_3 (N)	필 요 개 수		설치 개수	비고
							N_1	N_2		
1 ~ 5	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	770	0.K
5 ~ 10	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	880	0.K
10 ~ 15	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
15 ~ 19	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	693	0.K
19 ~ 23	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	704	0.K
23 ~ 28	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
28 ~ 33	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	880	0.K
33 ~ 37	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	748	0.K
38 ~ 42	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	781	0.K
42 ~ 47	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
47 ~ 52	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	935	0.K
52 ~ 56	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	715	0.K
56 ~ 60	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	693	0.K
60 ~ 65	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
65 ~ 70	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	880	0.K
70 ~ 74	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	748	0.K

9.2 Half-DECK과 바닥판 콘크리트 (STUD+LATTICE BAR)

※ Lattice bar에 의한 Half-Deck과 바닥판의 연결은 무시하고, STUD에 의한 영향만 고려함. (안전측 설계)

1) 합성후 하중에 의한 수평 전단력

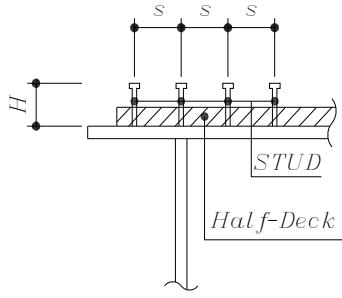
※ 고려하는 단면의 휨모멘트의 부호에 관계없이 바닥판 콘크리트의 단면을 유효로 하여 전단연결재의 계산을 하는 것으로 한다. (도.설.해 3.9.5.7)

여기서, S_v = 설계 대상 단면의 Half-DECK과 바닥판 사이의 수평전단력(N/mm)	
$S_v = \frac{V \cdot Q_c}{I_v}$	V = 합성후 하중에 의한 수직전단력 (kN)
	Q_c = 바닥판 콘크리트의 환산단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm^3)
$Q_c = \frac{A_c}{n_c} \cdot d_v$	A_c = Half-Deck 상면에서 바닥판 상면까지의 콘크리트의 단면적 (mm^2)
	I_v = 합성 단면의 단면2차모멘트 (mm^4)
	d_v = 2차합성단면의 도심에서 A_c 도심까지의 거리 (mm)

※ V : 합성후 고정하중에 의한 수직전단력, V_d : 잔여 바닥판 하중에 의한 수직 전단력(충격활하중 포함)

절점	단면 TYPE	A_c/n_c (mm^2)	d_{vc} (mm)	Q_c (mm^3)	I_v (mm^4)	V (kN)	V_d (kN)	$V+V_d$ (kN)	S_{v1} (N/mm)
2	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	242.9	544.3	787.3	319.9
3	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	144.0	476.6	620.6	252.2
5	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	47.2	397.2	444.4	180.6
7	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	247.4	524.8	772.3	313.8
13	7	122,140.0	516.7	6.310E+07	1.580E+11	186.0	489.6	675.6	269.8
16	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	103.4	494.1	597.5	242.8
22	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	103.5	494.3	597.8	242.9
25	7	122,140.0	516.7	6.310E+07	1.580E+11	185.9	489.6	675.5	269.8
31	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	247.1	525.6	772.7	314.0
33	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	46.9	397.8	444.8	180.7
35	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	143.8	476.4	620.2	252.0
36	2	122,140.0	479.5	5.857E+07	1.441E+11	242.2	544.3	786.5	319.6
39	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	253.6	549.2	802.8	331.1
40	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	151.7	479.0	630.7	260.1
42	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	58.6	393.6	452.2	186.5
44	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	259.4	521.7	781.0	322.1
50	7	127,970.0	505.1	6.464E+07	1.594E+11	197.1	486.3	683.4	277.1
53	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	114.7	491.3	606.0	250.0
59	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	114.9	491.3	606.2	250.0
62	7	127,970.0	505.1	6.464E+07	1.594E+11	197.0	486.1	683.1	276.9
68	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	258.8	520.9	779.7	321.6
70	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	58.1	392.7	450.8	185.9
72	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	152.0	479.3	631.3	260.4
73	2	127,970.0	468.5	5.996E+07	1.454E+11	254.1	549.3	803.3	331.3

2) STUD의 설계



$$s_{min} = 75.0 \text{ mm} \quad (s : \text{STUD의 횡방향 최소간격})$$

$$d = 25.0 \text{ mm} \quad (d : \text{STUD의 직경})$$

$$n = 8.0 \text{ 본} \quad (n : \text{STUD의 횡방향 개수})$$

구 분	H(mm)	D(mm)	h(mm)	비 고
단 부	190.0	130.0	60.0	H : STUD 전체 높이 D : Half-Deck의 높이 h : STUD 유효높이
일반부	190.0	130.0	60.0	

STUD의 허용전단력

(도.설.해 3.9.5.6)

※ 전단연결재의 허용전단력은 다음 식으로 계산하고 바닥판 콘크리트와 강재 주거더의 플랜지 사이의 부착력은 무시한다.

- Half-Deck만 적용시

· 단부

$$h/d = 60.0 / 25.0 = 2.400 < 5.50$$

$$Q_a = 1.74 \times dh \times \sqrt{f_{ck}} = 0.0 \text{ N/본} \quad \because f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\Sigma Q_a = 0.0 \times 8.0 = 0.0 \text{ N}$$

여기서, Q_a : 전단연결재의 허용전단력(N)

H : 스테드의 전 높이로서 150mm 정도를 표준으로 한다. (mm)

d : 스테드의 줄기의 지름으로서 19mm, 22mm, 25mm로 한다. (mm)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도 (MPa)

· 일반부

$$h/d = 60.0 / 25.0 = 2.400 < 5.50$$

$$Q_a = 1.74 \times dh \times \sqrt{f_{ck}} = 13,562.0 \text{ N/본}$$

$$\Sigma Q_a = 13,562.0 \times 8.0 = 108,495.7 \text{ N}$$

3) 하중조합 및 STUD의 배치

▪ STUD의 배치간격

$$d_o = \sum Q_a / S \quad (S : \text{수평전단력})$$

절점	하 중 조 합 (N/mm)					소요 간격 d _o	배치 간격	비 고
	S _v (S _{v1})	S _s	S _t	S _v +S _{th}	S _{sh} +S _{th}			
2	319.9	0.0	0.0	319.9	0.0	339.2mm	300.0mm	0.K !!
3	252.2	0.0	0.0	252.2	0.0	430.2mm	300.0mm	0.K !!
5	180.6	0.0	0.0	180.6	0.0	600.9mm	300.0mm	0.K !!
7	313.8	0.0	0.0	313.8	0.0	345.8mm	300.0mm	0.K !!
13	269.8	0.0	0.0	269.8	0.0	402.1mm	300.0mm	0.K !!
16	242.8	0.0	0.0	242.8	0.0	446.9mm	300.0mm	0.K !!
22	242.9	0.0	0.0	242.9	0.0	446.7mm	300.0mm	0.K !!
25	269.8	0.0	0.0	269.8	0.0	402.2mm	300.0mm	0.K !!
31	314.0	0.0	0.0	314.0	0.0	345.6mm	300.0mm	0.K !!
33	180.7	0.0	0.0	180.7	0.0	600.4mm	300.0mm	0.K !!
35	252.0	0.0	0.0	252.0	0.0	430.5mm	300.0mm	0.K !!
36	319.6	0.0	0.0	319.6	0.0	339.5mm	300.0mm	0.K !!
39	331.1	0.0	0.0	331.1	0.0	327.7mm	300.0mm	0.K !!
40	260.1	0.0	0.0	260.1	0.0	417.1mm	300.0mm	0.K !!
42	186.5	0.0	0.0	186.5	0.0	581.7mm	300.0mm	0.K !!
44	322.1	0.0	0.0	322.1	0.0	336.8mm	300.0mm	0.K !!
50	277.1	0.0	0.0	277.1	0.0	391.6mm	300.0mm	0.K !!
53	250.0	0.0	0.0	250.0	0.0	434.1mm	300.0mm	0.K !!
59	250.0	0.0	0.0	250.0	0.0	434.0mm	300.0mm	0.K !!
62	276.9	0.0	0.0	276.9	0.0	391.8mm	300.0mm	0.K !!
68	321.6	0.0	0.0	321.6	0.0	337.4mm	300.0mm	0.K !!
70	185.9	0.0	0.0	185.9	0.0	583.6mm	300.0mm	0.K !!
72	260.4	0.0	0.0	260.4	0.0	416.7mm	300.0mm	0.K !!
73	331.3	0.0	0.0	331.3	0.0	327.5mm	300.0mm	0.K !!

4) STUD 배치 간격 검토

(도.설.해 3.9.5.4, 3.9.5.5)

▪ STUD의 최대간격

※ 전단연결재의 최대 간격은 바닥판 콘크리트의 두께의 3배로 하고 600mm를 넘지 않도록 한다.

다만, 연속교의 내부지점부의 경우 높은 인장응력이 발생하는 곳의 전단연결재 설치를 피하기 위해 이 간격을 넓힐 수도 있다.

$$\begin{aligned} \text{최대 간격} &\Rightarrow \text{바닥판 두께의 3배} = 240.0 \times 3 = 720.0 \text{ mm 또는 } 600.0 \text{ mm} \Rightarrow 600.0 \text{ mm 적용} \\ \text{적용 최대 간격} &= 300.0 \text{ mm} \leq 600.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !! \end{aligned}$$

▪ STUD의 최소간격

- 교축방향 : $5 \cdot d = 125.0 \text{ mm}$ 또는 $100.0 \text{ mm} \leq 300.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$
- 교축직각방향 : $d+30 = 55.0 \text{ mm} \leq 75.0 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$
- 최소연단순간격 : $25.0 \text{ mm} \leq 40.0 - 12.5 = 27.5 \text{ mm} \quad \dots\dots 0.K !!$

5) 전단연결재의 피로설계

(도.설.해 3.9.5.9)

▪ 수평전단력 범위

여기서, S_r = 설계 대상 단면의 Half-Deck과 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)
 V_r = 충격을 포함하는 활하중에 대한 전단력의 범위 (N)
 Q = 정모멘트부 콘크리트의 환산단면 또는 부모멘트부 철근면적의 합성
단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm^3)
 A_c = 바닥판 콘크리트의 단면적 (mm^2)
 I_v = 합성단면의 단면2차모멘트 (mm^4)
 d_{vc} = 합성단면의 도심에서 바닥판 콘크리트 도심까지의 거리 (mm)

$$S_r = \frac{V_r \cdot Q}{I_v}$$

▪ 허용수평전단력 범위

$$Z_r = \beta \cdot d^2 \Rightarrow 39.0 \times 25.0^2 = 24,375.0 \text{ N (DB 하중의 경우)}$$

$$\Rightarrow 74.0 \times 25.0^2 = 46,250.0 \text{ N (DL 하중의 경우)}$$

여기서, Z_r : 전단연결재의 허용수평 전단력 범위 (N)
 β : 39.0 (하중 반복회수 : DB 하중 = 2,000,000이상)
74.0 (하중 반복회수 : DL 하중 = 500,000.0)

▪ 피로를 고려한 전단연결재의 필요간격

$$d_o = \sum Z_r / S_r$$

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DB하중에 대한 검토)

절점	I_v (mm^4)	Q_c (mm^3)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	$\sum Z_r$ (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비 고
2	1.441E+11	5.857E+07	6.590E+05	267.8	8.0	1.950E+05	728.2mm	300.0mm	0.K !!
3	1.441E+11	5.857E+07	7.217E+05	293.2	8.0	1.950E+05	665.0mm	300.0mm	0.K !!
5	1.441E+11	5.857E+07	7.139E+05	290.1	8.0	1.950E+05	672.2mm	300.0mm	0.K !!
7	1.441E+11	5.857E+07	7.373E+05	299.6	8.0	1.950E+05	650.9mm	300.0mm	0.K !!
13	1.580E+11	6.310E+07	7.210E+05	288.0	8.0	1.950E+05	677.2mm	300.0mm	0.K !!
16	1.441E+11	5.857E+07	7.321E+05	297.5	8.0	1.950E+05	655.6mm	300.0mm	0.K !!
22	1.441E+11	5.857E+07	7.320E+05	297.4	8.0	1.950E+05	655.6mm	300.0mm	0.K !!
25	1.580E+11	6.310E+07	7.210E+05	288.0	8.0	1.950E+05	677.2mm	300.0mm	0.K !!
31	1.441E+11	5.857E+07	7.373E+05	299.6	8.0	1.950E+05	650.9mm	300.0mm	0.K !!
33	1.441E+11	5.857E+07	7.140E+05	290.1	8.0	1.950E+05	672.2mm	300.0mm	0.K !!
35	1.441E+11	5.857E+07	7.215E+05	293.2	8.0	1.950E+05	665.2mm	300.0mm	0.K !!
36	1.441E+11	5.857E+07	6.582E+05	267.5	8.0	1.950E+05	729.1mm	300.0mm	0.K !!
39	1.454E+11	5.996E+07	6.624E+05	273.2	8.0	1.950E+05	713.8mm	300.0mm	0.K !!
40	1.454E+11	5.996E+07	7.203E+05	297.1	8.0	1.950E+05	656.4mm	300.0mm	0.K !!
42	1.454E+11	5.996E+07	7.110E+05	293.2	8.0	1.950E+05	665.0mm	300.0mm	0.K !!
44	1.454E+11	5.996E+07	7.358E+05	303.5	8.0	1.950E+05	642.6mm	300.0mm	0.K !!
50	1.594E+11	6.464E+07	7.193E+05	291.6	8.0	1.950E+05	668.6mm	300.0mm	0.K !!
53	1.454E+11	5.996E+07	7.302E+05	301.1	8.0	1.950E+05	647.5mm	300.0mm	0.K !!
59	1.454E+11	5.996E+07	7.301E+05	301.1	8.0	1.950E+05	647.6mm	300.0mm	0.K !!
62	1.594E+11	6.464E+07	7.194E+05	291.6	8.0	1.950E+05	668.6mm	300.0mm	0.K !!
68	1.454E+11	5.996E+07	7.355E+05	303.3	8.0	1.950E+05	642.9mm	300.0mm	0.K !!
70	1.454E+11	5.996E+07	7.105E+05	293.0	8.0	1.950E+05	665.5mm	300.0mm	0.K !!
72	1.454E+11	5.996E+07	7.198E+05	296.9	8.0	1.950E+05	656.9mm	300.0mm	0.K !!
73	1.454E+11	5.996E+07	6.620E+05	273.0	8.0	1.950E+05	714.2mm	300.0mm	0.K !!

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DL하중에 대한 검토)

절점	I_v (mm ⁴)	Q_c (mm ³)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	ΣZ_r (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비 고
2	1.441E+11	5.857E+07	6.334E+05	257.4	8.0	3.700E+05	1437.6mm	300.0mm	0.K !!
3	1.441E+11	5.857E+07	6.220E+05	252.7	8.0	3.700E+05	1464.0mm	300.0mm	0.K !!
5	1.441E+11	5.857E+07	5.934E+05	241.1	8.0	3.700E+05	1534.5mm	300.0mm	0.K !!
7	1.441E+11	5.857E+07	6.483E+05	263.4	8.0	3.700E+05	1404.6mm	300.0mm	0.K !!
13	1.580E+11	6.310E+07	6.999E+05	279.5	8.0	3.700E+05	1323.7mm	300.0mm	0.K !!
16	1.441E+11	5.857E+07	7.091E+05	288.1	8.0	3.700E+05	1284.2mm	300.0mm	0.K !!
22	1.441E+11	5.857E+07	7.090E+05	288.1	8.0	3.700E+05	1284.3mm	300.0mm	0.K !!
25	1.580E+11	6.310E+07	6.998E+05	279.5	8.0	3.700E+05	1323.8mm	300.0mm	0.K !!
31	1.441E+11	5.857E+07	6.483E+05	263.4	8.0	3.700E+05	1404.7mm	300.0mm	0.K !!
33	1.441E+11	5.857E+07	5.934E+05	241.1	8.0	3.700E+05	1534.5mm	300.0mm	0.K !!
35	1.441E+11	5.857E+07	6.217E+05	252.6	8.0	3.700E+05	1464.7mm	300.0mm	0.K !!
36	1.441E+11	5.857E+07	6.328E+05	257.1	8.0	3.700E+05	1439.1mm	300.0mm	0.K !!
39	1.454E+11	5.996E+07	6.365E+05	262.5	8.0	3.700E+05	1409.5mm	300.0mm	0.K !!
40	1.454E+11	5.996E+07	6.232E+05	257.0	8.0	3.700E+05	1439.6mm	300.0mm	0.K !!
42	1.454E+11	5.996E+07	5.906E+05	243.6	8.0	3.700E+05	1519.1mm	300.0mm	0.K !!
44	1.454E+11	5.996E+07	6.462E+05	266.5	8.0	3.700E+05	1388.3mm	300.0mm	0.K !!
50	1.594E+11	6.464E+07	6.961E+05	282.2	8.0	3.700E+05	1310.9mm	300.0mm	0.K !!
53	1.454E+11	5.996E+07	7.054E+05	290.9	8.0	3.700E+05	1271.8mm	300.0mm	0.K !!
59	1.454E+11	5.996E+07	7.052E+05	290.9	8.0	3.700E+05	1272.1mm	300.0mm	0.K !!
62	1.594E+11	6.464E+07	6.961E+05	282.2	8.0	3.700E+05	1311.1mm	300.0mm	0.K !!
68	1.454E+11	5.996E+07	6.458E+05	266.3	8.0	3.700E+05	1389.2mm	300.0mm	0.K !!
70	1.454E+11	5.996E+07	5.903E+05	243.5	8.0	3.700E+05	1519.8mm	300.0mm	0.K !!
72	1.454E+11	5.996E+07	6.232E+05	257.0	8.0	3.700E+05	1439.5mm	300.0mm	0.K !!
73	1.454E+11	5.996E+07	6.367E+05	262.6	8.0	3.700E+05	1409.0mm	300.0mm	0.K !!

6) 전단연결재의 극한강도검토

(도.설.해 3.9.5.10)

▪ 전단연결재의 극한강도

$$\begin{aligned}
 V_u &= 0.4 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c} \\
 &= 0.4 \times 25.0^2 \times \sqrt{27.0 \times 27,804.0} \\
 &= 216,608.5 \text{ N} > A_{sc} f_u = \pi/4 \cdot d^2 \cdot f_u = 490.9 \times 410.0 = 201,258.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

여기서, V_u : 전단연결재의 극한강도 (N) 단, $V_u \leq A_{sc} f_u$

d : 전단연결재의 지름 (mm)

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도 (MPa)

A_{sc} : 전단연결재의 단면적 (mm²)

f_u : 전단연결재의 인장강도 (MPa)

▪ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

※ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘은 다음 두 식의 값 중 작은 값을 취한다.

여기서, A_s : 덮개판을 포함하는 강재 단면의 총면적(mm²)

$$P_1 = A_s \cdot f_y \quad f_y : \text{사용된 강재의 최소 공칭항복응력(MPa)} \quad [355.0 \text{ MPa}]$$

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도(MPa)

$$P_2 = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_s \quad b : \text{슬래브의 유효폭(mm)}$$

t_s : 콘크리트 슬래브의 두께(mm) [240.0 mm]

▪ 최대 부모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

여기서, A_r = 내부지점부 유효 슬래브 폭 내에 설치된 종방향 철근의

$$P_3 = A_r \cdot f_y \quad \text{총단면적(mm}^2\text{)}$$

f_y = 철근의 최소 항복응력(MPa) [400.0 MPa]

▪ 전단연결재 필요개수

여기서, N_1 : 최대 정모멘트부와 인접한 교대 지점부 사이의

$$N_1 = P / (\Phi V_u) \quad \text{전단연결재 개수}$$

P : 슬래브에 작용하는 힘 P_1 또는 P_2 중 작은값(N)

Φ : 감소계수 [0.85]

$$N_2 = (P + P_3) / (\Phi V_u) \quad N_2 : \text{최대 정모멘트부와 인접한 최대부모멘트부 사이의}$$

전단연결재 개수

※ 구간별 전단연결재 필요개수 및 설치개수 검토

위 치 (절점번호)	b (mm)	A_s (mm ²)	A_r (mm ²)	P_1 (N)	P_2 (N)	P_3 (N)	필 요 개 수		설치 개수	비고
							N_1	N_2		
1 ~ 5	4,500.0	86,480.0	0.0	3.070E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	770	0.K
5 ~ 10	4,500.0	86,480.0	25,785.0	3.070E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	880	0.K
10 ~ 15	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
15 ~ 19	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	693	0.K
19 ~ 23	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	704	0.K
23 ~ 28	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
28 ~ 33	4,500.0	86,480.0	25,785.0	3.070E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	880	0.K
33 ~ 37	4,500.0	86,480.0	0.0	3.070E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	748	0.K
38 ~ 42	4,500.0	86,480.0	0.0	3.070E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	781	0.K
42 ~ 47	4,500.0	86,480.0	25,785.0	3.070E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
47 ~ 52	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	935	0.K
52 ~ 56	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	715	0.K
56 ~ 60	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	693	0.K
60 ~ 65	4,500.0	113,880.0	25,785.0	4.043E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	891	0.K
65 ~ 70	4,500.0	86,480.0	25,785.0	3.070E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	60	880	0.K
70 ~ 74	4,500.0	86,480.0	0.0	3.070E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	748	0.K

9.3 강재와 바닥판 콘크리트(STUD)

1) 합성후 하중에 의한 수평 전단력

(도.설.해 3.9.5.2)

※ 고려하는 단면의 휨모멘트의 부호에 관계없이 바닥판 콘크리트의 단면을 유효로 하여 전단연결재의 계산을 하는 것으로 한다. (도.설.해 3.9.5.7)

$$S_v = \frac{V \cdot Q_{vc}}{I_v}$$
$$Q_{vc} = \frac{A_c}{n} \cdot d_{vc}$$

여기서, S_v = 설계 대상 단면의 슬래브와 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)

V = 합성후 하중에 의한 수직전단력[활하중 포함] (N)

Q_{vc} = 정모멘트부 콘크리트의 환산단면 또는 부모멘트부 철근면적의 합성 단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm³)

A_c = 바닥판 콘크리트 또는 철근의 단면적 (mm²)

I_v = 합성단면의 단면2차모멘트 (mm⁴)

d_{vc} = 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 또는 철근 도심까지 거리(mm)

※ V_d : 합성후 고정하중에 의한 수직전단력, V_A : 합성후 고정하중에 의한 수직전단력을 제외한 전단력

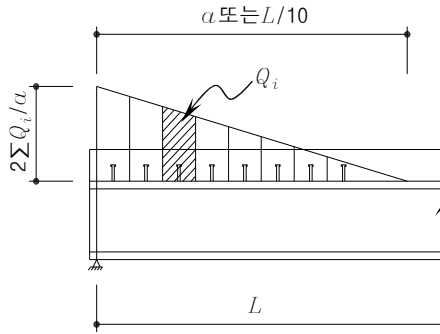
(충격계수를 포함한 활하중 포함)

절점	단면 TYPE	A_c/n (mm ²)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm ³)	I_v (mm ⁴)	V_d (kN)	V_a (kN)	V_d+V_a (kN)	S_v (N/mm)
1	1	282,860.0	298.7	8.450E+07	1.478E+11	308.1	684.6	992.7	567.6
4	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	42.8	416.3	459.1	224.0
6	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	147.7	462.6	610.3	297.8
8	4	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	343.0	583.6	926.7	435.0
9	5	147,000.0	610.9	8.980E+07	2.136E+11	423.6	684.1	1,107.7	465.6
10	6	137,590.0	684.9	9.424E+07	2.464E+11	454.0	887.3	1,341.3	512.9
11	5	146,860.0	611.0	8.973E+07	2.135E+11	361.7	688.3	1,050.0	441.4
12	4	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	281.0	575.2	856.2	402.0
14	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	86.4	419.9	506.3	247.1
15	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	3.6	426.4	430.0	209.8
17	4	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	199.4	562.3	761.6	357.5
18	8	146,940.0	619.1	9.097E+07	2.125E+11	281.7	660.1	941.8	403.2
19	9	137,750.0	693.9	9.558E+07	2.454E+11	318.7	860.4	1,179.1	459.3
20	8	146,940.0	619.1	9.097E+07	2.125E+11	281.9	660.2	942.1	403.3
21	4	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	199.5	562.5	761.9	357.7
23	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	3.7	426.5	430.2	210.0
24	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	86.2	419.9	506.1	247.0
26	4	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	280.9	575.4	856.4	402.0
27	5	146,860.0	611.0	8.973E+07	2.135E+11	362.1	688.9	1,051.0	441.8
28	6	137,590.0	684.9	9.424E+07	2.464E+11	455.1	888.2	1,343.3	513.7
29	5	147,000.0	610.9	8.980E+07	2.136E+11	423.7	684.9	1,108.6	466.0
30	4	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	342.8	584.5	927.3	435.3
32	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	147.4	463.2	610.6	298.0
34	3	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	43.0	416.0	459.0	224.0
37	1	282,860.0	298.7	8.450E+07	1.478E+11	308.0	686.0	994.0	568.3
38	1	293,540.0	290.8	8.536E+07	1.489E+11	363.1	676.9	1,040.0	596.3
41	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	52.1	415.8	467.9	230.0
43	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	158.6	459.8	618.3	303.9
45	4	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	364.2	580.1	944.3	446.6
46	5	152,200.0	599.7	9.127E+07	2.155E+11	543.6	724.2	1,267.7	536.8
47	6	141,980.0	673.9	9.569E+07	2.485E+11	654.0	889.2	1,543.2	594.2
48	5	152,060.0	599.8	9.121E+07	2.154E+11	481.4	727.8	1,209.1	512.0
49	4	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	302.5	571.6	874.2	413.4
51	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	96.3	416.9	513.3	252.3
52	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	14.1	423.8	437.9	215.2
54	4	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	219.3	559.4	778.6	368.2
55	8	152,130.0	607.6	9.244E+07	2.145E+11	390.5	694.4	1,084.9	467.6
56	9	142,160.0	682.6	9.704E+07	2.475E+11	501.0	861.7	1,362.7	534.3
57	8	152,130.0	607.6	9.244E+07	2.145E+11	390.5	694.2	1,084.7	467.5

절점	단면 TYPE	A_c/n (mm ²)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm ³)	I_v (mm ⁴)	V_d (kN)	V_a (kN)	V_d+V_a (kN)	S_v (N/mm)
58	4	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	219.4	559.4	778.8	368.3
60	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	14.3	423.9	438.1	215.3
61	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	96.2	416.7	512.9	252.1
63	4	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	302.4	571.4	873.7	413.2
64	5	152,060.0	599.8	9.121E+07	2.154E+11	479.3	726.7	1,206.1	510.7
65	6	141,980.0	673.9	9.569E+07	2.485E+11	652.0	887.3	1,539.3	592.7
66	5	152,200.0	599.7	9.127E+07	2.155E+11	541.5	722.2	1,263.7	535.1
67	4	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	363.5	579.5	943.0	446.0
69	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	158.1	458.9	617.0	303.2
71	3	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	52.4	416.3	468.8	230.4
74	1	293,540.0	290.8	8.536E+07	1.489E+11	362.5	675.7	1,038.2	595.3

2) 건조수축 및 온도차에 의한 수평전단력

(도.설.해 3.9.5.3)



$$\begin{aligned} \text{주거더 간격 } a &= 2.200 \text{ m (시점부)} \\ L / 10 &= 180.000 / 10 = 18.000 \text{ m} \\ \therefore \text{전단 분포폭} &= 2.200 \text{ m (시점부)} \\ \text{주거더 간격 } a &= 2.200 \text{ m (종점부)} \\ L / 10 &= 180.000 / 10 = 18.000 \text{ m} \\ \therefore \text{전단 분포폭} &= 2.200 \text{ m (종점부)} \end{aligned}$$

※ L을 취하는 방법 : (1) 단순합성거더의 경우 L : 지간

(2) 연속합성거더의 경우 L : 지간의 합계

▪ 건조수축에 의한 전단력(GIRDER 계산 단면 TYPE -1 참조) (시점부)

$$\begin{aligned} n_2 &= n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 21.0 \\ A_s &= 109,080.0 \text{ mm}^2 \quad I_s = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4 \\ A_c &= 1,980,000.0 \text{ mm}^2 \quad I_c = 3.194\text{E}+10 \text{ mm}^4 \\ d &= 1,073.4 \text{ mm} \quad (\text{강재도심과 Con'c중심간 거리}) \\ p_2 &= E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_c / n_2 = 205,000 \times 0.00027 \times 1,980,000 / 21.0 = 5.219\text{E}+06 \text{ N} \\ E_s &= 205,000.0 \text{ MPa} \quad (\text{강재의 탄성계수}) \\ \epsilon_s &= 0.000270 \quad (\text{콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율}) \end{aligned}$$

$$F_2 = \frac{1}{1 + \frac{A_c}{n_2 \cdot A_s} + \frac{A_c \cdot d^2}{I_c + n_2 \cdot I_s}}$$

$$F_2 = 1 + [1 + \{1,980,000 / (21 \times 109,080)\} + \{(1,980,000 \times 1,073^2) / (31,944,000,000 + 21.0 \times 52,526,193,329)\}] = 0.258$$

$$N_{cs} = p_2 \cdot F_2 = 5,218,714.3 \times 0.258 = 1.347\text{E}+06 \text{ N}$$

$$S_s = 2 \cdot N_{cs} / a = 2 \times 1,347,030.5 / 2.200 = 1,224.6 \text{ N/mm}$$

▪ 건조수축에 의한 전단력(GIRDER 계산 단면 TYPE -1 참조) (종점부)

$$\begin{aligned} n_2 &= n \cdot (1 + \phi_1/2) = 7.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 21.0 \\ A_s &= 109,080.0 \text{ mm}^2 \quad I_s = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4 \\ A_c &= 2,054,800.0 \text{ mm}^2 \quad I_c = 3.315\text{E}+10 \text{ mm}^4 \\ d &= 1,073.4 \text{ mm} \quad (\text{강재도심과 Con'c중심간 거리}) \\ p_2 &= E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_c / n_2 = 205,000 \times 0.00027 \times 2,054,800 / 21.0 = 5.416\text{E}+06 \text{ N} \\ E_s &= 205,000.0 \text{ MPa} \quad (\text{강재의 탄성계수}) \\ \epsilon_s &= 0.000270 \quad (\text{콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율}) \end{aligned}$$

$$F_2 = \frac{1}{1 + \frac{A_c}{n_2 \cdot A_s} + \frac{A_c \cdot d^2}{I_c + n_2 \cdot I_s}}$$

$$F_2 = 1 + [1 + \{2,054,800 / (21 \times 109,080)\} + \{(2,054,800 \times 1,073^2) / (33,150,773,333 + 21.0 \times 52,526,193,329)\}] = 0.251$$

$$N_{cs} = p_2 \cdot F_2 = 5,415,865.7 \times 0.251 = 1.361\text{E}+06 \text{ N}$$

$$S_s = 2 \cdot N_{cs} / a = 2 \times 1,360,564.2 / 2.200 = 1,236.9 \text{ N/mm}$$

▪ 온도차에 의한 전단력 (시점부)

$$n = 7.0$$

$$A_s = 109,080.0 \text{ mm}^2 \quad I_s = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$A_c = 1,980,000.0 \text{ mm}^2 \quad I_c = 3.194\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$d = 1,073.4 \text{ mm} \quad (\text{강재도심과 Con'c중심간 거리})$$

$$p_1 = E_s \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot A_c / n = 205,000 \times 0.000012 \times 10.0 \times 1,980,000 / 7.0 = 6.958\text{E}+06 \text{ N}$$

$$E_s = 205,000.0 \text{ MPa} \quad (\text{강재의 탄성계수})$$

$$\alpha = 0.000012 \quad (\text{강재 및 콘크리트의 선팅창계수})$$

$$\Delta t = 10.0 \text{ } ^\circ \text{C} \quad (\text{바닥판 콘크리트와 강재와의 온도차})$$

$$F_1 = \frac{1}{1 + \frac{A_c}{n \cdot A_s} + \frac{A_c \cdot d^2}{I_c + n \cdot I_s}}$$

$$F_1 = 1 + [1 + \{1,980,000 / (7 \times 109,080)\} + \{(1,980,000 \times 1,073^2) / (31,944,000,000 + 7.0 \times 52,526,193,329)\}] = 0.108$$

$$N_{cs} = p_1 \cdot F_2 = 6,958,285.7 \times 0.108 = 7.481\text{E}+05 \text{ N}$$

$$S_t = 2 \cdot N_{cs} / a = 2 \times 748,090.7 / 2.200 = 680.1 \text{ N/mm}$$

▪ 온도차에 의한 전단력 (중점부)

$$n = 7.0$$

$$A_s = 109,080.0 \text{ mm}^2 \quad I_s = 5.253\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$A_c = 2,054,800.0 \text{ mm}^2 \quad I_c = 3.315\text{E}+10 \text{ mm}^4$$

$$d = 1,073.4 \text{ mm} \quad (\text{강재도심과 Con'c중심간 거리})$$

$$p_1 = E_s \cdot \alpha \cdot \Delta t \cdot A_c / n = 205,000 \times 0.000012 \times 10.0 \times 2,054,800 / 7.0 = 7.221\text{E}+06 \text{ N}$$

$$E_s = 205,000.0 \text{ MPa} \quad (\text{강재의 탄성계수})$$

$$\alpha = 0.000012 \quad (\text{강재 및 콘크리트의 선팅창계수})$$

$$\Delta t = 10.0 \text{ } ^\circ \text{C} \quad (\text{바닥판 콘크리트와 강재와의 온도차})$$

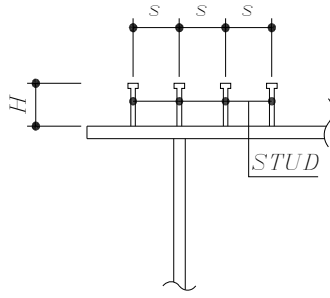
$$F_1 = \frac{1}{1 + \frac{A_c}{n \cdot A_s} + \frac{A_c \cdot d^2}{I_c + n \cdot I_s}}$$

$$F_1 = 1 + [1 + \{2,054,800 / (7 \times 109,080)\} + \{(2,054,800 \times 1,073^2) / (33,150,773,333 + 7.0 \times 52,526,193,329)\}] = 0.104$$

$$N_{cs} = p_1 \cdot F_2 = 7,221,154.3 \times 0.104 = 7.524\text{E}+05 \text{ N}$$

$$S_t = 2 \cdot N_{cs} / a = 2 \times 752,425.6 / 2.200 = 684.0 \text{ N/mm}$$

3) STUD의 설계



$$s_{min} = 75.0 \text{ mm } (s : \text{STUD의 횡방향 최소간격})$$

$$d = 25.0 \text{ mm } (d : \text{STUD의 직경})$$

$$H = 190.0 \text{ mm } (H : \text{STUD의 전높이})$$

$$n = 11 \text{ 본 } (n : \text{STUD의 횡방향 개수})$$

▪ STUD의 허용전단력 (도.설.해 3.9.5.6)

※ 전단연결재의 허용전단력은 다음 식으로 계산하고 바닥판 콘크리트와 강재 주거더의 플랜지 사이의 부착력은 무시한다.

$$H/d = 190.0 / 25.0 = 7.600 \geq 5.50$$

$$Q_a = 9.50 \times d^2 \times \sqrt{f_{ck}} = 30,852.2 \text{ N/본} \quad \therefore f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$$

$$\Sigma Q_a = 30,852.2 \times 11.0 = 339,373.7 \text{ N}$$

여기서, Q_a : 전단연결재의 허용전단력(N)

H : 스테드의 전 높이로서 150mm 정도를 표준으로 한다. (mm)

d : 스테드의 줄기의 지름으로서 19mm, 22mm, 25mm로 한다. (mm)

f_{ck} : 콘크리트의 설계기준강도 (MPa)

4) 하중조합 및 STUD의 배치

▪ STUD의 배치간격

$$d_o = \sum Q_a / S \quad (S : \text{수평전단력})$$

절점	하 중 조 합 (N/mm)					소요 간격 d _o	배치 간격	비 고	
	S _v	S _s	S _t	S _v +S _t	S _s +S _t				
1	567.6	1,224.6	680.1	1,247.7	1,904.7	178.2mm	150.0mm	0.K !!	A1
4	224.0	0.0	0.0	224.0	0.0	1514.9mm	300.0mm	0.K !!	
6	297.8	0.0	0.0	297.8	0.0	1139.5mm	300.0mm	0.K !!	
8	435.0	0.0	0.0	435.0	0.0	780.1mm	300.0mm	0.K !!	
9	465.6	0.0	0.0	465.6	0.0	728.8mm	300.0mm	0.K !!	
10	512.9	0.0	0.0	512.9	0.0	661.7mm	300.0mm	0.K !!	P1
11	441.4	0.0	0.0	441.4	0.0	768.9mm	300.0mm	0.K !!	
12	402.0	0.0	0.0	402.0	0.0	844.3mm	300.0mm	0.K !!	
14	247.1	0.0	0.0	247.1	0.0	1373.6mm	300.0mm	0.K !!	
15	209.8	0.0	0.0	209.8	0.0	1617.3mm	300.0mm	0.K !!	
17	357.5	0.0	0.0	357.5	0.0	949.2mm	300.0mm	0.K !!	
18	403.2	0.0	0.0	403.2	0.0	841.7mm	300.0mm	0.K !!	
19	459.3	0.0	0.0	459.3	0.0	738.9mm	300.0mm	0.K !!	P2
20	403.3	0.0	0.0	403.3	0.0	841.5mm	300.0mm	0.K !!	
21	357.7	0.0	0.0	357.7	0.0	948.8mm	300.0mm	0.K !!	
23	210.0	0.0	0.0	210.0	0.0	1616.4mm	300.0mm	0.K !!	
24	247.0	0.0	0.0	247.0	0.0	1374.1mm	300.0mm	0.K !!	
26	402.0	0.0	0.0	402.0	0.0	844.2mm	300.0mm	0.K !!	
27	441.8	0.0	0.0	441.8	0.0	768.2mm	300.0mm	0.K !!	
28	513.7	0.0	0.0	513.7	0.0	660.7mm	300.0mm	0.K !!	P3
29	466.0	0.0	0.0	466.0	0.0	728.2mm	300.0mm	0.K !!	
30	435.3	0.0	0.0	435.3	0.0	779.6mm	300.0mm	0.K !!	
32	298.0	0.0	0.0	298.0	0.0	1138.9mm	300.0mm	0.K !!	
34	224.0	0.0	0.0	224.0	0.0	1515.2mm	300.0mm	0.K !!	
37	568.3	0.0	0.0	568.3	0.0	597.2mm	150.0mm	0.K !!	A2
38	596.3	0.0	0.0	596.3	0.0	569.2mm	150.0mm	0.K !!	A1
41	230.0	0.0	0.0	230.0	0.0	1475.6mm	300.0mm	0.K !!	
43	303.9	0.0	0.0	303.9	0.0	1116.7mm	300.0mm	0.K !!	
45	446.6	0.0	0.0	446.6	0.0	759.9mm	300.0mm	0.K !!	
46	536.8	0.0	0.0	536.8	0.0	632.2mm	300.0mm	0.K !!	
47	594.2	0.0	0.0	594.2	0.0	571.1mm	300.0mm	0.K !!	P1
48	512.0	0.0	0.0	512.0	0.0	662.8mm	300.0mm	0.K !!	
49	413.4	0.0	0.0	413.4	0.0	820.9mm	300.0mm	0.K !!	
51	252.3	0.0	0.0	252.3	0.0	1345.3mm	300.0mm	0.K !!	
52	215.2	0.0	0.0	215.2	0.0	1576.8mm	300.0mm	0.K !!	
54	368.2	0.0	0.0	368.2	0.0	921.6mm	300.0mm	0.K !!	
55	467.6	0.0	0.0	467.6	0.0	725.8mm	300.0mm	0.K !!	
56	534.3	0.0	0.0	534.3	0.0	635.2mm	300.0mm	0.K !!	P2

절점	하 중 조 합 (N/mm)					소요 간격 d _o	배치 간격	비 고	
	S_v	S_s	S_t	S_v+S_t	S_s+S_t				
57	467.5	0.0	0.0	467.5	0.0	725.9mm	300.0mm	0.K !!	
58	368.3	0.0	0.0	368.3	0.0	921.4mm	300.0mm	0.K !!	
60	215.3	0.0	0.0	215.3	0.0	1576.0mm	300.0mm	0.K !!	
61	252.1	0.0	0.0	252.1	0.0	1346.1mm	300.0mm	0.K !!	
63	413.2	0.0	0.0	413.2	0.0	821.3mm	300.0mm	0.K !!	
64	510.7	0.0	0.0	510.7	0.0	664.5mm	300.0mm	0.K !!	
65	592.7	0.0	0.0	592.7	0.0	572.6mm	300.0mm	0.K !!	P3
66	535.1	0.0	0.0	535.1	0.0	634.2mm	300.0mm	0.K !!	
67	446.0	0.0	0.0	446.0	0.0	760.9mm	300.0mm	0.K !!	
69	303.2	0.0	0.0	303.2	0.0	1119.2mm	300.0mm	0.K !!	
71	230.4	0.0	0.0	230.4	0.0	1473.0mm	300.0mm	0.K !!	
74	595.3	1,236.9	684.0	1,279.3	1,920.9	176.7mm	150.0mm	0.K !!	A2

5) STUD 배치 간격 검토

(도.설.해 3.9.5.4, 3.9.5.5)

▪ STUD의 최대간격

※ 전단연결재의 최대 간격은 바닥판 콘크리트의 두께의 3배로 하고 600mm를 넘지 않도록 한다.

다만, 연속교의 내부지점부의 경우 높은 인장응력이 발생하는 곳의 전단연결재 설치를 피하기 위해 이 간격을 넓힐 수도 있다.

최대 간격 ⇒ 바닥판 두께의 3배 = $440.0 \times 3 = 1,320.0 \text{ mm}$ 또는 $600.0 \text{ mm} \Rightarrow 600.0 \text{ mm}$ 적용
 적용 최대 간격 = $300.0 \text{ mm} \leq 600.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

▪ STUD의 최소간격

- 교축방향 : $5 \cdot d = 125.0 \text{ mm}$ 또는 $100.0 \text{ mm} \leq 150.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

- 교축직각방향 : $d+30 = 55.0 \text{ mm} \leq 75.0 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

- 최소연단순간격 : $25.0 \text{ mm} \leq 135.0 - 12.5 = 122.5 \text{ mm} \dots\dots 0.K !!$

6) 전단연결재의 피로설계

(도.설.해 3.9.5.9)

▪ 수평전단력 범위

$S_r = \frac{V_r \cdot Q}{I_v}$	여기서, S_r = 설계 대상 단면의 슬래브와 주거더 사이의 수평전단력 범위 (N/mm)
	V_r = 합성후 하중에 의한 수직전단력[활하중 포함] (N)
	Q = 정모멘트부 콘크리트의 환산단면 또는 부모멘트부 철근면적의 합성 단면 중립축에 대한 단면1차모멘트 (mm ³)
	A_c = 바닥판 콘크리트의 단면적 (mm ²)
	I_v = 합성단면의 단면2차모멘트 (mm ⁴)
	d_{vc} = 합성단면의 도심에서 바닥판 콘크리트 도심까지의 거리 (mm)

▪ 허용수평전단력 범위

$$Z_r = \beta \cdot d^2 \Rightarrow 39.0 \times 25.0^2 = 24,375.0 \text{ N (DB 하중의 경우)}$$

$$\Rightarrow 74.0 \times 25.0^2 = 46,250.0 \text{ N (DL 하중의 경우)}$$

여기서, Z_r : 전단연결재의 허용수평 전단력 범위 (N)
β : 39.0 (하중 반복회수 : DB 하중 = 2,000,000이상)
74.0 (하중 반복회수 : DL 하중 = 500,000.0)

▪ 피로를 고려한 전단연결재의 필요간격

$$d_o = \sum Z_r / S_r$$

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DB하중에 대한 검토)

절점	A_c/n (mm ²)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm ³)	I_v (mm ⁴)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	$\sum Z_r$ (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고
1	282,860.0	298.7	8.450E+07	1.478E+11	7.002E+05	400.4	11	2.681E+05	669.7mm	150.0mm	0.K
4	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.089E+05	345.9	11	2.681E+05	775.1mm	300.0mm	0.K
6	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.238E+05	353.2	11	2.681E+05	759.1mm	300.0mm	0.K
8	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.473E+05	350.8	11	2.681E+05	764.3mm	300.0mm	0.K
9	147,000.0	610.9	8.980E+07	2.136E+11	7.354E+05	309.1	11	2.681E+05	867.4mm	300.0mm	0.K
10	137,590.0	684.9	9.424E+07	2.464E+11	1.407E+06	538.0	11	2.681E+05	498.4mm	300.0mm	0.K
11	146,860.0	611.0	8.973E+07	2.135E+11	7.151E+05	300.6	11	2.681E+05	892.0mm	300.0mm	0.K
12	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.327E+05	344.0	11	2.681E+05	779.5mm	300.0mm	0.K
14	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.079E+05	345.5	11	2.681E+05	776.1mm	300.0mm	0.K
15	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.119E+05	347.4	11	2.681E+05	771.8mm	300.0mm	0.K
17	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.418E+05	348.2	11	2.681E+05	770.0mm	300.0mm	0.K
18	146,940.0	619.1	9.097E+07	2.125E+11	7.243E+05	310.1	11	2.681E+05	864.7mm	300.0mm	0.K
19	137,750.0	693.9	9.558E+07	2.454E+11	1.399E+06	545.1	11	2.681E+05	491.9mm	300.0mm	0.K
20	146,940.0	619.1	9.097E+07	2.125E+11	7.242E+05	310.1	11	2.681E+05	864.8mm	300.0mm	0.K
21	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.417E+05	348.2	11	2.681E+05	770.1mm	300.0mm	0.K
23	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.118E+05	347.4	11	2.681E+05	771.9mm	300.0mm	0.K
24	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.080E+05	345.5	11	2.681E+05	776.0mm	300.0mm	0.K
26	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.328E+05	344.0	11	2.681E+05	779.4mm	300.0mm	0.K
27	146,860.0	611.0	8.973E+07	2.135E+11	7.151E+05	300.6	11	2.681E+05	892.0mm	300.0mm	0.K
28	137,590.0	684.9	9.424E+07	2.464E+11	1.407E+06	538.1	11	2.681E+05	498.3mm	300.0mm	0.K
29	147,000.0	610.9	8.980E+07	2.136E+11	7.357E+05	309.3	11	2.681E+05	867.0mm	300.0mm	0.K
30	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.474E+05	350.8	11	2.681E+05	764.2mm	300.0mm	0.K
32	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.239E+05	353.2	11	2.681E+05	759.0mm	300.0mm	0.K

절점	A_c/n (mm ²)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm ³)	I_v (mm ⁴)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	$\sum Z_r$ (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고
34	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	7.089E+05	346.0	11	2.681E+05	775.0mm	300.0mm	0.K
37	282,860.0	298.7	8.450E+07	1.478E+11	7.011E+05	400.9	11	2.681E+05	668.9mm	150.0mm	0.K
38	293,540.0	290.8	8.536E+07	1.489E+11	6.917E+05	396.6	11	2.681E+05	676.1mm	150.0mm	0.K
41	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.059E+05	346.9	11	2.681E+05	772.8mm	300.0mm	0.K
43	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.218E+05	354.8	11	2.681E+05	755.7mm	300.0mm	0.K
45	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.442E+05	352.0	11	2.681E+05	761.8mm	300.0mm	0.K
46	152,200.0	599.7	9.127E+07	2.155E+11	7.342E+05	310.9	11	2.681E+05	862.4mm	300.0mm	0.K
47	141,980.0	673.9	9.569E+07	2.485E+11	1.412E+06	543.5	11	2.681E+05	493.3mm	300.0mm	0.K
48	152,060.0	599.8	9.121E+07	2.154E+11	7.144E+05	302.5	11	2.681E+05	886.3mm	300.0mm	0.K
49	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.296E+05	345.1	11	2.681E+05	777.0mm	300.0mm	0.K
51	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.055E+05	346.8	11	2.681E+05	773.2mm	300.0mm	0.K
52	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.100E+05	349.0	11	2.681E+05	768.4mm	300.0mm	0.K
54	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.391E+05	349.5	11	2.681E+05	767.1mm	300.0mm	0.K
55	152,130.0	607.6	9.244E+07	2.145E+11	7.241E+05	312.1	11	2.681E+05	859.2mm	300.0mm	0.K
56	142,160.0	682.6	9.704E+07	2.475E+11	1.403E+06	550.1	11	2.681E+05	487.4mm	300.0mm	0.K
57	152,130.0	607.6	9.244E+07	2.145E+11	7.241E+05	312.1	11	2.681E+05	859.1mm	300.0mm	0.K
58	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.390E+05	349.5	11	2.681E+05	767.2mm	300.0mm	0.K
60	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.100E+05	349.0	11	2.681E+05	768.3mm	300.0mm	0.K
61	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.055E+05	346.7	11	2.681E+05	773.3mm	300.0mm	0.K
63	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.296E+05	345.1	11	2.681E+05	777.0mm	300.0mm	0.K
64	152,060.0	599.8	9.121E+07	2.154E+11	7.145E+05	302.6	11	2.681E+05	886.2mm	300.0mm	0.K
65	141,980.0	673.9	9.569E+07	2.485E+11	1.411E+06	543.5	11	2.681E+05	493.3mm	300.0mm	0.K
66	152,200.0	599.7	9.127E+07	2.155E+11	7.336E+05	310.6	11	2.681E+05	863.1mm	300.0mm	0.K
67	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.440E+05	351.9	11	2.681E+05	762.0mm	300.0mm	0.K
69	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.215E+05	354.6	11	2.681E+05	756.1mm	300.0mm	0.K
71	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	7.056E+05	346.8	11	2.681E+05	773.2mm	300.0mm	0.K
74	293,540.0	290.8	8.536E+07	1.489E+11	6.906E+05	395.9	11	2.681E+05	677.2mm	150.0mm	0.K

※ 피로설계에 의한 위치별 전단연결재 간격 검토 (DL하중에 대한 검토)

절점	A_c/n (mm ²)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm ³)	I_v (mm ⁴)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	ΣZ_r (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고
1	282,860.0	298.7	8.450E+07	1.478E+11	6.843E+05	391.3	11	5.088E+05	1300.3mm	150.0mm	0.K
4	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	5.956E+05	290.6	11	5.088E+05	1750.5mm	300.0mm	0.K
6	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	6.118E+05	298.6	11	5.088E+05	1703.9mm	300.0mm	0.K
8	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	6.990E+05	328.1	11	5.088E+05	1550.4mm	300.0mm	0.K
9	147,000.0	610.9	8.980E+07	2.136E+11	7.791E+05	327.5	11	5.088E+05	1553.4mm	300.0mm	0.K
10	137,590.0	684.9	9.424E+07	2.464E+11	1.641E+06	627.4	11	5.088E+05	810.9mm	300.0mm	0.K
11	146,860.0	611.0	8.973E+07	2.135E+11	8.036E+05	337.8	11	5.088E+05	1506.0mm	300.0mm	0.K
12	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.407E+05	347.7	11	5.088E+05	1463.2mm	300.0mm	0.K
14	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	6.795E+05	331.6	11	5.088E+05	1534.2mm	300.0mm	0.K
15	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	6.815E+05	332.6	11	5.088E+05	1529.7mm	300.0mm	0.K
17	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.504E+05	352.2	11	5.088E+05	1444.3mm	300.0mm	0.K
18	146,940.0	619.1	9.097E+07	2.125E+11	8.127E+05	347.9	11	5.088E+05	1462.3mm	300.0mm	0.K
19	137,750.0	693.9	9.558E+07	2.454E+11	1.574E+06	613.2	11	5.088E+05	829.7mm	300.0mm	0.K
20	146,940.0	619.1	9.097E+07	2.125E+11	8.126E+05	347.9	11	5.088E+05	1462.5mm	300.0mm	0.K
21	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.503E+05	352.2	11	5.088E+05	1444.5mm	300.0mm	0.K
23	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	6.815E+05	332.6	11	5.088E+05	1529.8mm	300.0mm	0.K
24	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	6.795E+05	331.6	11	5.088E+05	1534.1mm	300.0mm	0.K
26	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	7.407E+05	347.7	11	5.088E+05	1463.0mm	300.0mm	0.K
27	146,860.0	611.0	8.973E+07	2.135E+11	8.044E+05	338.2	11	5.088E+05	1504.5mm	300.0mm	0.K
28	137,590.0	684.9	9.424E+07	2.464E+11	1.643E+06	628.1	11	5.088E+05	810.0mm	300.0mm	0.K
29	147,000.0	610.9	8.980E+07	2.136E+11	7.802E+05	328.0	11	5.088E+05	1551.2mm	300.0mm	0.K
30	154,290.0	500.6	7.724E+07	1.645E+11	6.990E+05	328.1	11	5.088E+05	1550.5mm	300.0mm	0.K
32	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	6.118E+05	298.6	11	5.088E+05	1703.9mm	300.0mm	0.K
34	154,290.0	455.7	7.031E+07	1.441E+11	5.956E+05	290.7	11	5.088E+05	1750.3mm	300.0mm	0.K
37	282,860.0	298.7	8.450E+07	1.478E+11	6.853E+05	391.8	11	5.088E+05	1298.4mm	150.0mm	0.K
38	293,540.0	290.8	8.536E+07	1.489E+11	6.693E+05	383.7	11	5.088E+05	1325.9mm	150.0mm	0.K
41	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	5.929E+05	291.4	11	5.088E+05	1745.7mm	300.0mm	0.K
43	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	6.096E+05	299.6	11	5.088E+05	1698.1mm	300.0mm	0.K
45	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	6.963E+05	329.3	11	5.088E+05	1544.9mm	300.0mm	0.K
46	152,200.0	599.7	9.127E+07	2.155E+11	7.884E+05	333.9	11	5.088E+05	1523.8mm	300.0mm	0.K
47	141,980.0	673.9	9.569E+07	2.485E+11	1.657E+06	638.1	11	5.088E+05	797.2mm	300.0mm	0.K
48	152,060.0	599.8	9.121E+07	2.154E+11	8.138E+05	344.6	11	5.088E+05	1476.3mm	300.0mm	0.K
49	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.369E+05	348.5	11	5.088E+05	1459.7mm	300.0mm	0.K
51	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	6.756E+05	332.1	11	5.088E+05	1532.1mm	300.0mm	0.K
52	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	6.778E+05	333.1	11	5.088E+05	1527.2mm	300.0mm	0.K
54	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.473E+05	353.4	11	5.088E+05	1439.4mm	300.0mm	0.K
55	152,130.0	607.6	9.244E+07	2.145E+11	8.223E+05	354.4	11	5.088E+05	1435.6mm	300.0mm	0.K
56	142,160.0	682.6	9.704E+07	2.475E+11	1.585E+06	621.6	11	5.088E+05	818.4mm	300.0mm	0.K
57	152,130.0	607.6	9.244E+07	2.145E+11	8.223E+05	354.4	11	5.088E+05	1435.6mm	300.0mm	0.K
58	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.472E+05	353.4	11	5.088E+05	1439.7mm	300.0mm	0.K

절점	A_c/n (mm ²)	d_{vc} (mm)	Q_{vc} (mm ³)	I_v (mm ⁴)	V_r (N)	S_r (N/mm)	n	$\sum Z_r$ (N)	소요 간격 d_o	배치 간격	비고
60	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	6.777E+05	333.1	11	5.088E+05	1527.4mm	300.0mm	0.K
61	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	6.755E+05	332.0	11	5.088E+05	1532.3mm	300.0mm	0.K
63	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	7.368E+05	348.5	11	5.088E+05	1460.0mm	300.0mm	0.K
64	152,060.0	599.8	9.121E+07	2.154E+11	8.128E+05	344.2	11	5.088E+05	1478.1mm	300.0mm	0.K
65	141,980.0	673.9	9.569E+07	2.485E+11	1.654E+06	637.1	11	5.088E+05	798.6mm	300.0mm	0.K
66	152,200.0	599.7	9.127E+07	2.155E+11	7.865E+05	333.1	11	5.088E+05	1527.5mm	300.0mm	0.K
67	160,110.0	490.3	7.851E+07	1.660E+11	6.958E+05	329.1	11	5.088E+05	1546.1mm	300.0mm	0.K
69	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	6.093E+05	299.5	11	5.088E+05	1698.8mm	300.0mm	0.K
71	160,110.0	446.0	7.141E+07	1.453E+11	5.928E+05	291.4	11	5.088E+05	1746.1mm	300.0mm	0.K
74	293,540.0	290.8	8.536E+07	1.489E+11	6.679E+05	382.9	11	5.088E+05	1328.5mm	150.0mm	0.K

7) 전단연결재의 극한강도검토

(도.설.해 3.9.5.10)

▪ 전단연결재의 극한강도

$$\begin{aligned}
 V_u &= 0.4 \cdot d^2 \cdot \sqrt{f_{ck} \cdot E_c} \\
 &= 0.4 \times 25.0^2 \times \sqrt{27.0 \times 27,804.0} \\
 &= 216,608.5 \text{ N} > A_{sc} f_u = \pi/4 \cdot d^2 \cdot f_u = 490.9 \times 410.0 = 201,258.3 \text{ N}
 \end{aligned}$$

여기서, V_u : 전단연결재의 극한강도 (N) 단, $V_u \leq A_{sc} f_u$

d : 전단연결재의 지름 (mm)

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도 (MPa)

A_{sc} : 전단연결재의 단면적 (mm²)

f_u : 전단연결재의 인장강도 (MPa)

▪ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

※ 최대 정모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘은 다음 두 식의 값 중 작은 값을 취한다.

여기서, A_s : 덮개판을 포함하는 강재 단면의 총면적(mm²)

$$P_1 = A_s \cdot f_y \quad f_y : \text{사용된 강재의 최소 공칭항복응력(MPa)} \quad [325.0 \text{ MPa}]$$

f_{ck} : 콘크리트의 28일 압축강도(MPa)

$$P_2 = 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b \cdot t_s \quad b : \text{슬래브의 유효폭(mm)}$$

$$t_s : \text{콘크리트 슬래브의 두께(mm)} \quad [240.0 \text{ mm}]$$

▪ 최대 부모멘트부의 슬래브에 작용하는 힘

여기서, A_r = 내부지점부 유효 슬래브 폭 내에 설치된 종방향 철근의

$$P_3 = A_r \cdot f_y \quad \text{총단면적(mm}^2\text{)}$$

$$f_y = \text{철근의 최소 항복응력(MPa)} \quad [400.0 \text{ MPa}]$$

▪ 전단연결재 필요개수

여기서, N_1 : 최대 정모멘트부와 인접한 교대 지점부 사이의

$$N_1 = P / (\Phi V_u) \quad \text{전단연결재 개수}$$

P : 슬래브에 작용하는 힘 P_1 또는 P_2 중 작은값(N)

Φ : 감소계수 [0.85]

$$N_2 = (P + P_3) / (\Phi V_u) \quad N_2 : \text{최대 정모멘트부와 인접한 최대부모멘트부 사이의}$$

전단연결재 개수

※ 구간별 전단연결재 필요개수 및 설치개수 검토

위 치 (절점번호)	b (mm)	A_s (mm ²)	A_r (mm ²)	P_1 (N)	P_2 (N)	P_3 (N)	필 요 개 수		설치 개수	비고
							N_1	N_2		
1 ~ 5	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	770	0.K
5 ~ 10	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	880	0.K
10 ~ 15	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	891	0.K
15 ~ 19	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	693	0.K
19 ~ 23	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	704	0.K
23 ~ 28	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	891	0.K
28 ~ 33	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	880	0.K
33 ~ 37	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	748	0.K
38 ~ 42	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	781	0.K
42 ~ 47	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	891	0.K
47 ~ 52	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	935	0.K
52 ~ 56	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	715	0.K
56 ~ 60	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	693	0.K
60 ~ 65	4,500.0	113,880.0	25,785.0	3.701E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	891	0.K
65 ~ 70	4,500.0	86,480.0	25,785.0	2.811E+07	2.479E+07	1.031E+07	-	205	880	0.K
70 ~ 74	4,500.0	86,480.0	0.0	2.811E+07	2.479E+07	0.000E+00	145	-	748	0.K

※ b , A_s , A_r 값은 구간내에서 가장 큰 값을 사용합니다.

10. 사용성검토

10.1 피로 검토 (도.설 3.3.4.1)

가) 응력반복횟수

부재 및 하중구분 도로의 종류	종방향 주부재		횡방향 부재	비 고
	트럭하중	차선하중	트럭하중	
고속도로, 국도 주간선 도로	2 백만	50 만	2 백만 이상	
기 타 도 로	10 만	10 만	50 만	

나) 허용응력 범위 fsr (MPa)

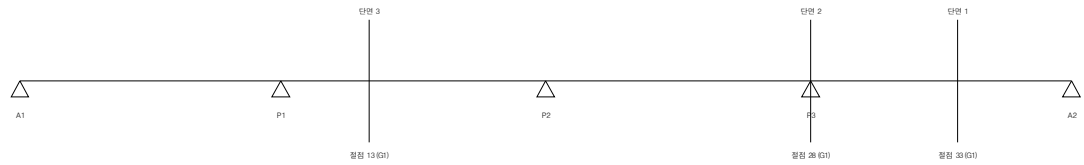
응 력 범 주	다재하 경로구조				단재하 경로구조			
	10 만회	50 만회	200 만회	200 만회이상	10 만회	50 만회	200 만회	200 만회이상
A	442	260	168	168	351	203	168	168
B	344	203	126	112	274	161	112	112
B'	274	161	101	84	218	126	77	77
C	250	147	91	70	196	112	70	63
				84*			84*	77*
D	196	112	70	49	154	91	56	35
E	154	91	56	31	119	70	42	16
E'	112	64	40	18	84	49	28	9
F	105	84	63	56	84	63	49	42

주 : * 는 거더 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접의 경우

다) 피로조사위치 및 응력범주의 설정

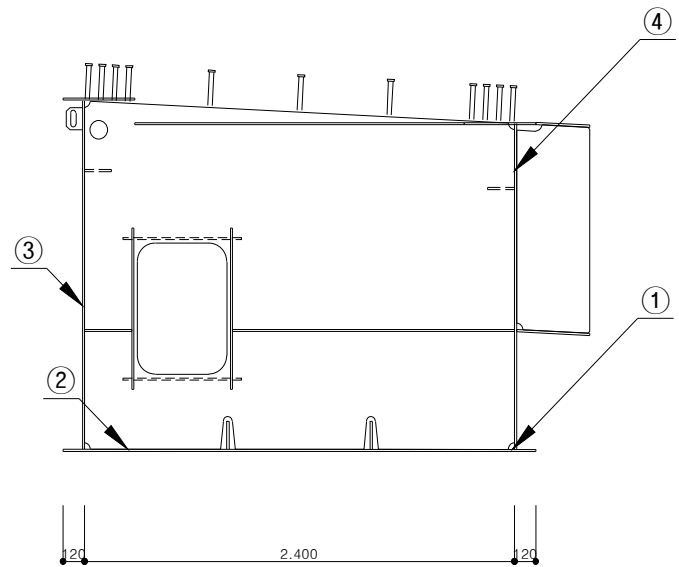
활하중에 의한 모멘트의 변동범위가 큰 단면에서 인장응력 및 교번응력이 발생하는 상세부에 대하여 피로검토를 수행 한다.

- 피로조사 단면위치



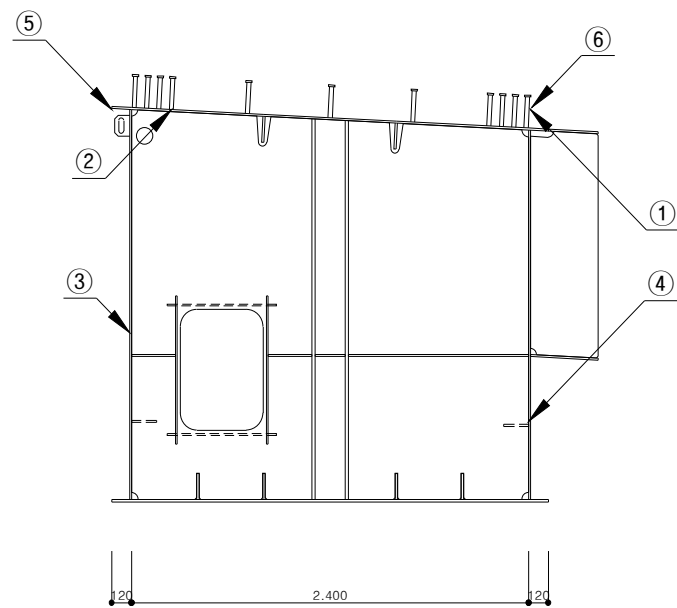
본 교량은 **주간선도로**에 속하는 **단재하경로** 구조로서 트럭하중 2백만회 와 차선하중 50만회 에 대하여 검토 하는 것으로 한다.

단면 I



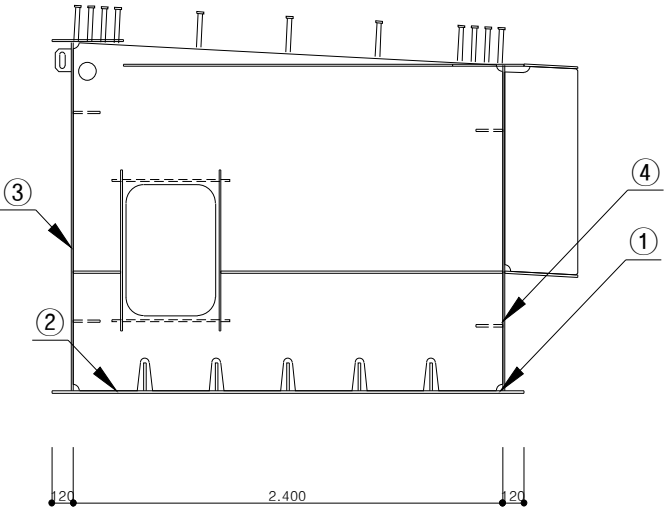
구분	상세	응력범주	fsr (MPa)		비고
			DB 하중	DL 하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	112	161	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	70	112	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	42	70	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	42	70	

단면 II



구분	상세	응력 범주	fsr (MPa)		비고
			DB 하중	DL 하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	112	161	전단피로검토
		F	49	63	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	70	112	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	42	70	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	42	70	
⑤	인장측 플랜지에 부착된 가로보 거셋판 용접 끝부분	E	42	70	
⑥	스터드에 인접한 인장측 플랜지부	C	70	112	

단면 III



구분	상 세	응 력 범 주	fsr (MPa)		비 고
			DB 하중	DL 하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	112	161	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	70	112	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	42	70	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	42	70	

라) 설계피로응력

· 휨모멘트에 대한 피로검토

여기서, Δf: 설계피로응력범위 (최대응력과 최소응력의 차)

$$\Delta f = \frac{\Delta M}{I_v} y$$

ΔM = Mmax - Mmin (4.4 라.피로하중 작용범위 참조)

Iv : 합성후 단면의 단면2차 모멘트

y : 합성후 단면 도심으로부터의 거리

단면 I

구분	ΔM (kN · m)		Iv (mm ⁴)	y (mm)	Δf (MPa)		응 력 범 주	fsr (MPa)		비 고
	DB 하중	DL 하중			DB 하중	DL 하중		DB 하중	DL 하중	
①	4948.782	5158.266	1.441E+11	1500.2	51.505	53.685	B	112	161	O.K.
②				1500.2	51.505	53.685	C	70	112	O.K.
③				806.2	27.679	28.850	E	42	70	O.K.
④				60.2	2.067	2.154	E	42	70	O.K.

단면 II

구분	ΔM (kN · m)		Iv (mm ⁴)	y (mm)	Δf (MPa)		응 력 범 주	fsr (MPa)		비 고
	DB 하중	DL 하중			DB 하중	DL 하중		DB 하중	DL 하중	
①	3666	6801.804	1.518E+11	1033.5	24.953	46.296	B	112	161	O.K.
②				1033.5	24.953	46.296	C	70	112	O.K.
③				272.5	6.579	12.207	E	42	70	O.K.
④				726.5	17.540	32.544	E	42	70	O.K.
⑤				1039.5	25.097	46.565	E	42	70	O.K.
⑥				1033.5	24.953	46.296	C	70	112	O.K.

단면 III

구분	ΔM (kN · m)		I_v (mm ⁴)	y (mm)	Δf (MPa)		응 력 범 주	fsr (MPa)		비 고
	DB 하중	DL 하중			DB 하중	DL 하중		DB 하중	DL 하중	
①	4532.38	4852.502	1.580E+11	1463.1	41.970	44.934	B	112	161	O.K.
②				1463.1	41.970	44.934	C	70	112	O.K.
③				769.1	22.062	23.620	E	42	70	O.K.
④				23.1	0.663	0.709	E	42	70	O.K.

· 전단에 대한 피로검토 - 플랜지와 복부판의 필릿용접부에 대한 전단피로검토

이 부위의 피로상세범주는 "F" 이며, 검토 단면은 전단력이 가장 큰 절점 47 을 설정 하였음

$$\Delta u = \frac{\Delta S \cdot Q}{I_v \cdot \Sigma a}$$

여기서, Δu : 설계전단피로응력범위 (최대응력과 최소응력의 차)

$\Delta S = S_{max} - S_{min}$ (4.4 라.피로하중 작용범위 참조)

Q : 용접선 외측 플랜지의 총단면의 중립축에 관한

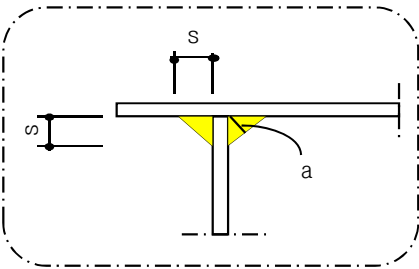
단면 1차 모멘트 (mm³ = A(mm²) · y(mm)

y = Yvsu(l) - tu(l)/2

I_v : 합성후 단면의 단면2차 모멘트

Σa : 필릿 용접의 목두께의 합 (mm) = 4EA × s / $\sqrt{2}$

s : 필릿 용접 치수 (mm)



- 상부 플랜지와 복부판

구 분	ΔS (kN)	tu (mm)	B (mm)	A (mm ²)	Yvsu (mm)	Q (mm ³)	I_v (mm ⁴)	s (mm)	Σa (mm)	Δu (MPa)	usr (MPa)	비 고
DB하중	1411.57	12	2640	31680	1028	3.238E+07	#####	6	17.0	17.6	49	OK
DL하중	1657.265									20.7	63	OK

- 하부 플랜지와 복부판

구 분	ΔS (kN)	tl (mm)	B (mm)	A (mm ²)	Yvsl (mm)	Q (mm ³)	I_v (mm ⁴)	s (mm)	Σa (mm)	Δu (MPa)	usr (MPa)	비 고
DB하중	1411.57	16	2640	42240	1200	5.035E+07	#####	6	17.0	27.4	49	OK
DL하중	1657.265									32.2	63	OK

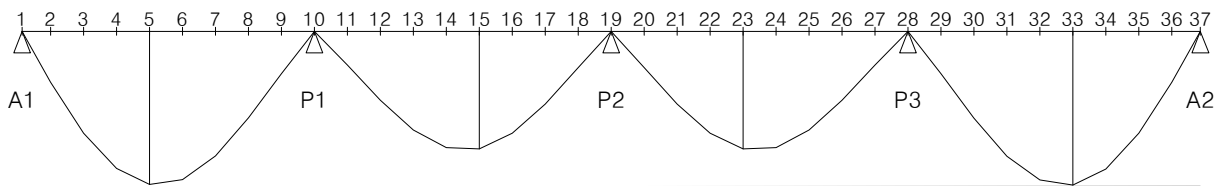
10.2 처짐 검토

충격하중을 포함한 활하중에 의한 각 위치별 최대 처짐량 (전산 OUTPUT 참조) (도.설 3.2.3)

< Girder 1 >

(단위 : mm)

절점NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
처 짐 량	0.000	-8.802	-17.519	-23.641	-26.424	-25.596	-21.461	-14.904	-7.285	0.000
절점NO.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
처 짐 량	-5.807	-11.889	-16.994	-20.037	-20.263	-17.581	-12.542	-6.265	0.000	-6.262
절점NO.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
처 짐 량	-12.539	-17.577	-20.260	-20.036	-16.993	-11.888	-5.806	0.000	-7.295	-14.926
절점NO.	31	32	33	34	35	36	37			
처 짐 량	-21.501	-25.655	-26.495	-23.716	-17.580	-8.836	0.000			



◆ 허용 처짐량

지간 길이 $L = 44.350 \text{ m}$

$$\delta_1 = 26.424 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 44.4 \text{ m} / 500 = 88.70 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

지간 길이 $L = 45.000 \text{ m}$

$$\delta_2 = 20.263 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 45.0 \text{ m} / 500 = 90.00 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

지간 길이 $L = 45.000 \text{ m}$

$$\delta_3 = 20.260 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 45.0 \text{ m} / 500 = 90.00 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

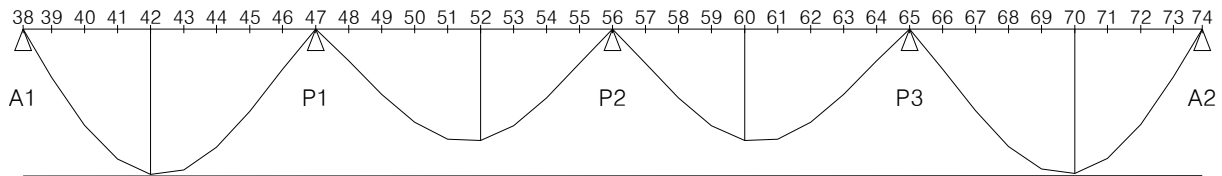
지간 길이 $L = 44.350 \text{ m}$

$$\delta_4 = 26.495 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 44.4 \text{ m} / 500 = 88.70 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

< Girder 2 >

(단위 : mm)

절점NO.	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
처 짐 량	0.000	-8.305	-16.559	-22.365	-25.002	-24.224	-20.316	-14.119	-6.910	0.000
절점NO.	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57
처 짐 량	-5.493	-11.235	-16.047	-18.919	-19.134	-16.607	-11.856	-5.928	0.000	-5.930
절점NO.	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67
처 짐 량	-11.859	-16.611	-19.138	-18.923	-16.052	-11.239	-5.495	0.000	-6.885	-14.061
절점NO.	68	69	70	71	72	73	74			
처 짐 량	-20.222	-24.094	-24.841	-22.197	-16.418	-8.222	0.000			



◆ 허용 처짐량

지간 길이 L = 44.350 m

$$\delta_1 = 25.002 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 44.4 \text{ m} / 500 = 88.70 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

지간 길이 L = 45.000 m

$$\delta_2 = 19.134 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 45.0 \text{ m} / 500 = 90.00 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

지간 길이 L = 45.000 m

$$\delta_3 = 19.138 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 45.0 \text{ m} / 500 = 90.00 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

지간 길이 L = 44.350 m

$$\delta_4 = 24.841 \text{ mm} < \delta_a = L / 500 = 44.4 \text{ m} / 500 = 88.70 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

< Girder 1 >

절점 번호	합성전 고정하중			합성후 고정 하중	종곡선 보정량	편경사 보정량	숫음량				비고
	Steel	Half Deck	Concrete				공장 제작시	현장 거치시	1차 고정하중 재하시	2차 고정하중 재하시	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(1)~(4) 합계	(5)-(1) -(2)	(6)-(3)	(7)-(4)			
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	A1	
2	9.570	3.480	12.190	5.150	14.442	0.000	30.390	17.340	5.150	0.000	
3	18.940	6.890	24.040	10.110	24.129	0.000	59.980	34.150	10.110	0.000	
4	25.220	9.170	31.940	13.290	26.420	0.000	79.620	45.230	13.290	0.000	
5	27.120	9.840	34.340	14.250	22.561	0.000	85.550	48.590	14.250	0.000	
6	25.020	9.060	31.750	13.020	18.048	0.000	78.850	44.770	13.020	0.000	
7	19.320	6.970	24.620	10.030	13.536	0.000	60.940	34.650	10.030	0.000	
8	11.820	4.270	15.160	6.120	9.024	0.000	37.370	21.280	6.120	0.000	
9	4.670	1.720	5.970	2.460	4.512	0.000	14.820	8.430	2.460	0.000	
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	P1
11	-0.900	-0.580	-0.930	-0.730	0.000	0.000	-3.140	-1.660	-0.730	0.000	
12	1.040	-0.190	1.800	-0.080	0.000	0.000	2.570	1.720	-0.080	0.000	
13	4.180	0.730	5.890	1.270	0.000	0.000	12.070	7.160	1.270	0.000	
14	6.810	1.580	9.250	2.480	0.000	0.000	20.120	11.730	2.480	0.000	
15	7.650	1.930	10.310	2.980	0.000	0.000	22.870	13.290	2.980	0.000	
16	6.390	1.640	8.680	2.590	0.000	0.000	19.300	11.270	2.590	0.000	
17	3.850	0.960	5.330	1.550	0.000	0.000	11.690	6.880	1.550	0.000	
18	1.210	0.290	1.710	0.480	0.000	0.000	3.690	2.190	0.480	0.000	
19	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	P2
20	1.210	0.290	1.720	0.480	0.000	0.000	3.700	2.200	0.480	0.000	
21	3.860	0.970	5.350	1.560	0.000	0.000	11.740	6.910	1.560	0.000	
22	6.410	1.640	8.710	2.600	0.000	0.000	19.360	11.310	2.600	0.000	
23	7.670	1.930	10.340	3.000	0.000	0.000	22.940	13.340	3.000	0.000	
24	6.830	1.590	9.290	2.500	0.000	0.000	20.210	11.790	2.500	0.000	
25	4.200	0.740	5.920	1.280	0.000	0.000	12.140	7.200	1.280	0.000	
26	1.060	-0.190	1.830	-0.060	0.000	0.000	2.640	1.770	-0.060	0.000	
27	-0.900	-0.580	-0.920	-0.720	0.000	0.000	-3.120	-1.640	-0.720	0.000	
28	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	P3
29	4.660	1.720	5.960	2.460	0.000	0.000	14.800	8.420	2.460	0.000	
30	11.810	4.270	15.140	6.120	0.000	0.000	37.340	21.260	6.120	0.000	
31	19.300	6.970	24.590	10.010	0.000	0.000	60.870	34.600	10.010	0.000	
32	25.010	9.050	31.710	13.010	0.000	0.000	78.780	44.720	13.010	0.000	
33	27.100	9.840	34.300	14.240	0.000	0.000	85.480	48.540			

< Girder 2 >

(단 위 : mm)

점 점 번 호	합성 전 고정하중			합성 후 고정 하중	종곡선 보정량	편경사 보정량	숫음량				비고
	Steel	Half Deck	Concrete				공장 제작시	현장 거치시	1차 고정하중 재하시	2차 고정하중 재하시	
	(1)	(2)	(3)	(4)			(1)~(4) 합계	(5)-(1) -(2)	(6)-(3)	(7)-(4)	
	0.000	0.000	0.000	0.000			0.000	0.000	0.000	0.000	
39	9.310	3.380	11.940	5.370	14.424	0.000	30.000	17.310	5.370	0.000	A1
40	18.440	6.710	23.560	10.520	24.113	0.000	59.230	34.080	10.520	0.000	
41	24.560	8.930	31.310	13.780	26.407	0.000	78.580	45.090	13.780	0.000	
42	26.410	9.590	33.650	14.780	22.549	0.000	84.430	48.430	14.780	0.000	
43	24.360	8.820	31.120	13.540	18.039	0.000	77.840	44.660	13.540	0.000	
44	18.810	6.790	24.140	10.480	13.530	0.000	60.220	34.620	10.480	0.000	
45	11.520	4.160	14.880	6.440	9.020	0.000	37.000	21.320	6.440	0.000	
46	4.550	1.680	5.870	2.580	4.510	0.000	14.680	8.450	2.580	0.000	
47	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	P1
48	-0.880	-0.570	-0.870	-0.560	0.000	0.000	-2.880	-1.430	-0.560	0.000	
49	1.000	-0.190	1.850	0.350	0.000	0.000	3.010	2.200	0.350	0.000	
50	4.040	0.710	5.860	1.860	0.000	0.000	12.470	7.720	1.860	0.000	
51	6.600	1.530	9.150	3.150	0.000	0.000	20.430	12.300	3.150	0.000	
52	7.410	1.870	10.180	3.640	0.000	0.000	23.100	13.820	3.640	0.000	
53	6.190	1.590	8.570	3.150	0.000	0.000	19.500	11.720	3.150	0.000	
54	3.730	0.930	5.280	1.930	0.000	0.000	11.870	7.210	1.930	0.000	
55	1.170	0.280	1.700	0.620	0.000	0.000	3.770	2.320	0.620	0.000	
56	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	P2
57	1.180	0.280	1.710	0.620	0.000	0.000	3.790	2.330	0.620	0.000	
58	3.740	0.940	5.300	1.940	0.000	0.000	11.920	7.240	1.940	0.000	
59	6.210	1.590	8.600	3.160	0.000	0.000	19.560	11.760	3.160	0.000	
60	7.430	1.870	10.210	3.660	0.000	0.000	23.170	13.870	3.660	0.000	
61	6.620	1.540	9.190	3.170	0.000	0.000	20.520	12.360	3.170	0.000	
62	4.070	0.710	5.890	1.880	0.000	0.000	12.550	7.770	1.880	0.000	
63	1.020	-0.180	1.880	0.360	0.000	0.000	3.080	2.240	0.360	0.000	
64	-0.870	-0.560	-0.850	-0.550	0.000	0.000	-2.830	-1.400	-0.550	0.000	
65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	P3
66	4.530	1.680	5.840	2.560	0.000	0.000	14.610	8.400	2.560	0.000	
67	11.460	4.140	14.810	6.400	0.000	0.000	36.810	21.210	6.400	0.000	
68	18.720	6.760	24.030	10.410	0.000	0.000	59.920	34.440	10.410	0.000	
69	24.250	8.780	30.960	13.450	0.000	0.000	77.440	44.410	13.450	0.000	
70	26.270	9.540	33.460	14.670	0.000	0.000	83.940	48.130	14.670	0.000	
71	24.420	8.880	31.100	13.670	0.000	0.000	78.070	44.770	13.670	0.000	
72	18.320	6.660	23.390	10.420	0.000	0.000	58.790	33.810	10.420	0.000	
73	9.230	3.360	11.840	5.310	0.000	0.000	29.740	17.150	5.310	0.000	
74	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	A2

12. 신축이음의 설계

가) 신축량 계산 (강박스 거더교)

① 온도변화에 의한 이동량

$$\Delta L_t = \Delta T \times \alpha \times L \quad \text{--신축거더의 길이는 고정단으로부터의 거리(도로교 설계기준 2005 2.4.2.2)}$$

여기서, ΔT : 온도변화 (50 °C) --콘크리트교의 경우 온도변화 40°C(도로설계요령 6.2.2)

α : 선팽창계수(0.000012) 강교:1.2*10⁻⁵ 콘크리트교:1.0*10⁻⁵

L : 신축 GIRDER 의 길이 (m)

$$\Delta L_t = 50 \times 0.000012 \times 90 = 0.0540 \text{ m}$$

② 건조 수축 신축량

$$\Delta L_{sh} = 0.1 \times L$$

여기서, L : 신축 GIRDER 의 길이 (m)

$$\Delta L_{sh} = 0.1 \times 90 = 0.000 \text{ m}$$

③ creep 신축량

$$\Delta L_{sh} = 0.2 \times L$$

여기서, L : 신축 GIRDER 의 길이 (m)

$$\Delta L_{sh} = 0.2 \times 90 = 0.000 \text{ m}$$

④ 신축 여유량

$$(54 \text{ mm} + 0.000 \text{ mm} + 0.000 \text{ mm}) \times 20 \% + 10.0 \text{ mm} = 20.8 \text{ mm}$$

* 포장 및 활하중에 의한 거더 단부의 회전 및 시공오차로 인한 신축변화량은 여유량을 예상하여 기본신축량의 20%에 일률적으로 10mm를 더하는 것으로 한다.

$$\therefore 54 \text{ mm} + 0.000 \text{ mm} + 0.000 \text{ mm} + 20.8 = 74.8 \text{ mm}$$

구분	온도변화	건조수축	크리프	여유량	총신축량	설계
	54.0	0.0	0.0	20.8	74.8	