

교량 안전성 평가

장암교

상부 안전성평가 계산서

◆ 목 차 ◆

1. 설계조건
2. 단면가정
3. 유효폭계산
4. 단면검토
5. 바닥판 검토
6. 내하력 평가

1. 설 계 조 건

1.1 교 량 제 원

- (1) 교 량 명 : 장암교
- (2) 교 량 등 급 : 1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)
- (3) 교 량 형 식 : STEEL BOX GIRDER
- (4) 교 량 연 장 : $40.0+4@50.0+40.0 = 280.0 \text{ m}$
- (5) 교 량 폭 원 : B = 19.500 m
- (6) Girder 제원 : B = 2.500 m H = 1.500~3.000 m
- (7) 사 각(Skew) : 0.000 °
- (8) 사용재료 및 물리적 특성치

① 강 재

▪ 사 용 재 료

주 부 재	SWS50B(상판, 하판, 복부판, 상부종리브, 하부종리브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트)	
부 부 재	SWS41B(지점부의 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 일반부 가로보, 지점부 가로보)	
강재 탄성계수 (E _{st})	205,000.000	MPa
강재의 전단탄성계수 (G)	79,000.000	MPa

▪ 허용 응력 (MPa)

강		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490	SM490Y SM 520 SMA490	SM 570 SMA570	HSB500	HSB600	HSB800
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
힘 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 사 이)	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 힘 압축응력 적용

▪ 항복 응력 (MPa)

강 종		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490	SM490Y SM 520 SMA490	SM 570 SMA570	HSB500	HSB600	HSB800
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.

▪ 국부좌굴을 고려하지 않는 허용 축방향 압축응력 (MPa)

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)			

▪ a) 이외의 허용 휨 압축 응력 (MPa)

강종		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490 [SM490C-TMC]	SM490Y SM 520 SMA490 [SM520C-TMC]	SM 570 SMA570 SM570C-TMC]
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2$	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	$130 : \frac{l}{b} \leq 4.9$	$175 : \frac{l}{b} \leq 4.1$	$200 : \frac{l}{b} \leq 3.9$ $200 - 4.24(\frac{l}{b} - 3.9) :$ $3.9 < \frac{l}{b} \leq 27$	$260 : \frac{l}{b} \leq 3.4$ $260 - 6.25(\frac{l}{b} - 3.4) :$ $3.4 < \frac{l}{b} \leq 25$
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	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	$130 : \frac{l}{b} \leq \frac{9.7}{K}$	$175 : \frac{l}{b} \leq \frac{8.3}{K}$	$200 : \frac{l}{b} \leq \frac{7.8}{K}$ $200 - 2.12(K\frac{l}{b} - 7.8) :$ $\frac{7.8}{K} < \frac{l}{b} \leq 27$	$260 : \frac{l}{b} \leq \frac{6.9}{K}$ $260 - 3.12(K\frac{l}{b} - 6.9) :$ $\frac{6.9}{K} < \frac{l}{b} \leq 25$
비 고	75 초과 100 이하	$130 - 1.10(K\frac{l}{b} - 9.7) :$ $\frac{9.7}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$175 - 1.74(K\frac{l}{b} - 8.3) :$ $\frac{8.3}{K} < \frac{l}{b} \leq 30$	$195 : \frac{l}{b} \leq \frac{7.9}{K}$ $195 - 2.04(K\frac{l}{b} - 7.9) :$ $\frac{7.9}{K} < \frac{l}{b} \leq 27$	$250 : \frac{l}{b} \leq \frac{6.9}{K}$ $250 - 2.97(K\frac{l}{b} - 6.9) :$ $\frac{6.9}{K} < \frac{l}{b} \leq 25$

A_w : 복부판의 총 단면적 (mm²)
 A_c : 압축플랜지의 총단면적 (mm²)
 l : 압축플랜지의 고정점간의 거리 (mm)
 b : 압축플랜지의 폭 (mm)
 $K : \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$

※ TMC 강재일 경우에는 ()안의 값을 적용한다.

종		HSB500	HSB600	HSB800	비 고
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2$	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

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)

급	볼트의 등	F 8 T	F 10 T	S 10 T	F 13 T	S 13 T
	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

콘크리트 설계 기준강도 (f_{ck})	27.0 MPa
콘크리트 탄성계수 (E_c)	26,701.7 MPa
전단 탄성계수 (G_c)	15,576.0 MPa
탄성계수비 (n)	8.0
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 철근

철근 설계 항복강도 (f_y)	400.0 MPa
철근 탄성계수 (E_s)	200,000.0 MPa

1.2 하 중 조 건

(1) 고 정 하 중

- ① 철근 콘크리트 : 25.000 kN/m³
- ② 무근 콘크리트 : 23.500 kN/m³
- ③ 강 재 : 78.500 kN/m³
- ④ 포장 콘크리트 : 23.000 kN/m³

(2) 활 하 중

① 설계 차선수 산정

$$W_c = 9.000 \text{ m}, N = 2 \text{ 차로 (상하행 왕복 4차로)}$$

$$W = W_c / N = 4.500 \text{ m} > 3.6 \text{ m} \therefore W = 3.600 \text{ m 적용}$$

② 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

▪ DB-24 하중

- 전륜하중 : $P_f = 24.000 \text{ kN}$
- 후륜하중 : $P_r = 96.000 \text{ kN}$

▪ DL-24 하중

- 차로당 등분포 하중 : $W_l = 12.700 \text{ kN/m}$
- 모멘트 계산시 집중하중 : $P_m = 108.000 \text{ kN}$
- 전단력 계산시 집중하중 : $P_s = 156.000 \text{ kN}$

③ 충 격 계 수

▪ 1 지간

$$i = 15 / (40 + L) = 0.188 < 0.300$$

$$\therefore i = 0.188$$

▪ 2 지간

$$i = 15 / (40 + L) = 0.167 < 0.300$$

$$\therefore i = 0.167$$

(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) 충 돌 하 중

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

① 수평 충돌력 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 수평충돌력은 계산된 값의 2배로 한다)

(7) 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 백분율
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.

1.3 설 계 방 법

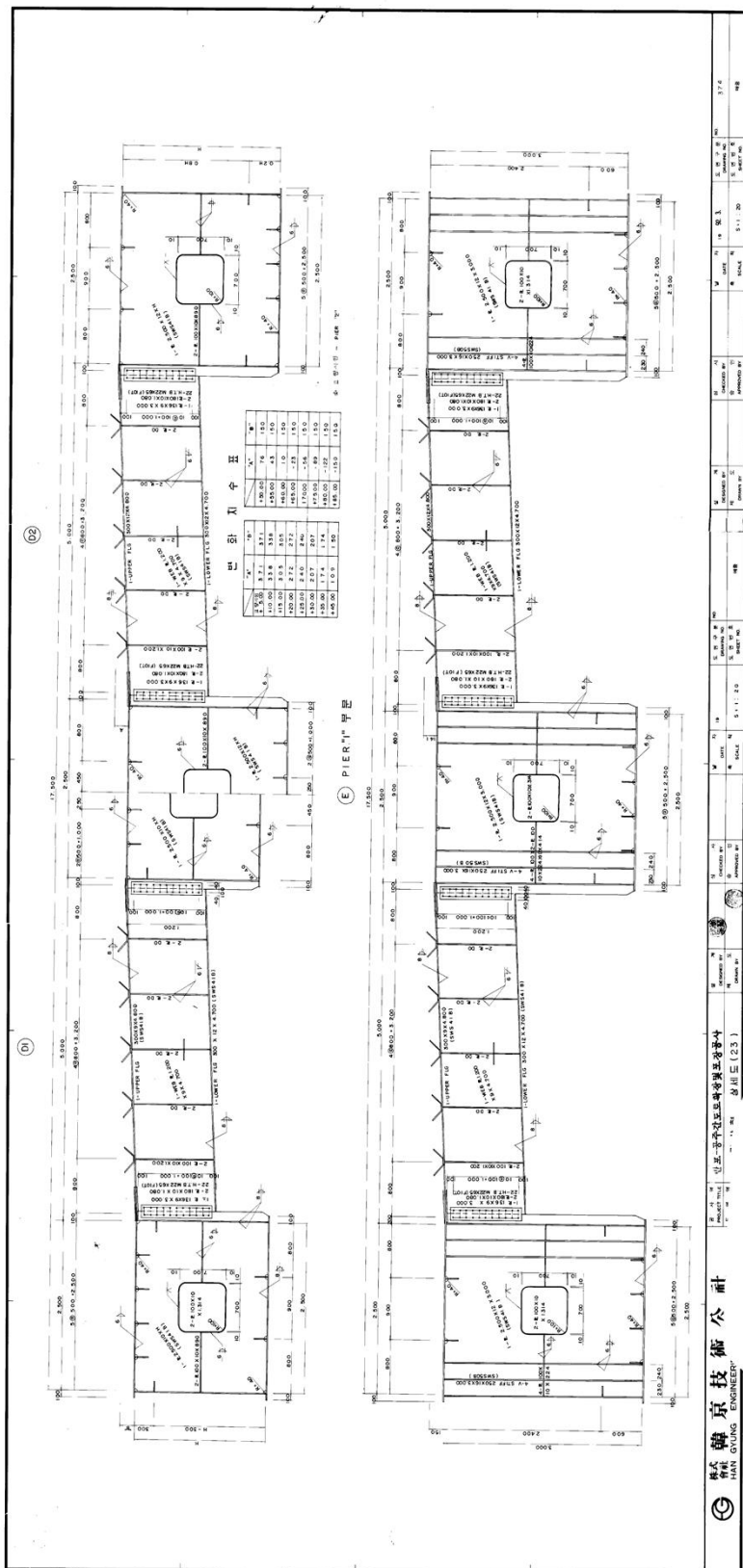
- (1) 바 닥 판 : 강도 설계법
- (2) Steel Box Girder : 허용응력 설계법

1.4 참 고 문 헌

- (1) 도로교 설계기준 (2010)
- (2) 도로교 설계기준 해설 (2008)
- (3) 콘크리트 구조 설계기준 (2012)
- (4) 도로설계 요령 (2020)
- (5) 도로교 설계편람 (2008)

2. 단면가정

2.1 설 계 도 면

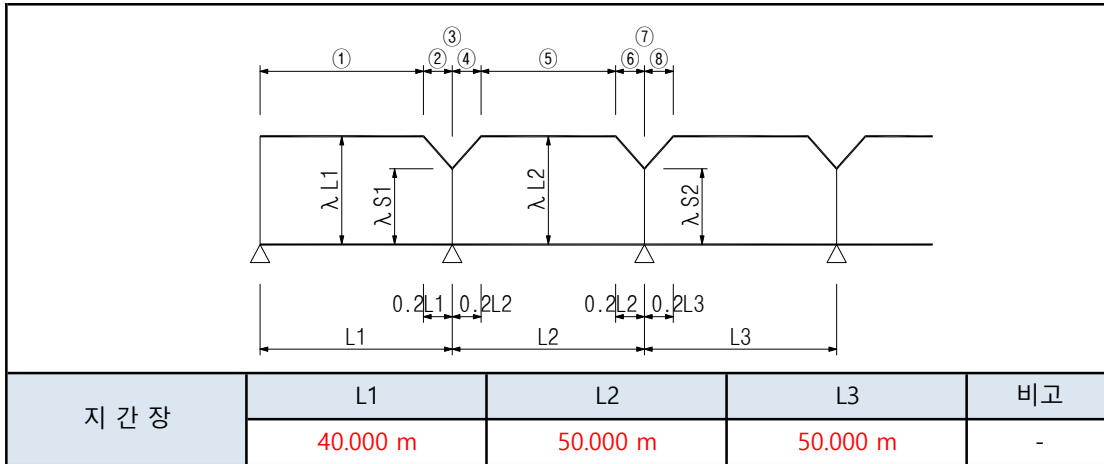


3. 주 형 의 설 계

3.1 플 랜 지 및 바 닥 판 의 유 효 폭 계 산

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

3.2 플 랜 지 유 효 폭



(1) 등가시간장 과 적용식

연속거더	구간	등가시간장	적용식
	①	$\lambda L1$ (지간 중앙부) : $l = 0.8 \cdot L1$	$- b/l \leq 0.05$, $\lambda = b$ $- 0.05 < b/l < 0.30$, $\lambda = \{1.1 - 2(b/l)\} \times b$ $- b/l \geq 0.30$, $\lambda = 0.15 \times l$
	⑤	$\lambda L2$ (지간 중앙부) : $l = 0.6 \cdot L2$	
	③	$\lambda S1$ (중간지점) : $l = 0.1 \cdot (L1 + L2)$	$- b/l \leq 0.02$, $\lambda = b$ $- 0.02 < b/l < 0.30$, $\lambda = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \times b$ $- b/l \geq 0.30$, $\lambda = 0.15 \times l$
	⑦	$\lambda S2$ (중간지점) : $l = 0.2 \cdot (L2 + L3)$	
	②④ ⑥⑧	양단의 유효폭을 사용하여 직선적으로 변화한다.	

- 플랜지 돌출폭

b = 각 위치별 상부플랜지 폭 / 2 를 적용

- 플랜지 유효폭

$B = 2 \times ((\lambda L \text{ or } \lambda S) + b_e)$

※ 검토시 지간지점부 부근은 선형보간한 값과 실제 플랜지폭중 작은 값을 적용

$$\begin{aligned}
&\text{상부} \quad \text{복부간격 } 2b = 2.500 \text{ m, 플랜지돌출폭 } be = 0.100 \text{ m} \\
&\text{하부} \quad \text{복부간격 } 2b = 2.500 \text{ m, 플랜지돌출폭 } be = 0.100 \text{ m} \\
&L1 = 40.000 \text{ m} \\
&L2 = 50.000 \text{ m} \\
&L3 = 50.000 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\textcircled{1} L1 : \quad l = 0.8 \times L1 = 0.8 \times 40 = 32.000 \text{ m}$$

· 상 부

$$b/l = 1.25 / 32 = 0.039$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L1 = b = 1.25 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda L1 + be) = 2.700 \text{ m}$$

· 하 부

$$b/l = 1.25 / 32 = 0.039$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L1 = b = 1.25 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda L1 + be) = 2.700 \text{ m}$$

$$- L1 \sim L2 : \quad l = 0.2 \times (L1 + L2) = 0.2 \times (40 + 50) = 18.000 \text{ m}$$

· 상 부

$$b/l = 1.25 / 18 = 0.069$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda S1 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.074 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda S1 + be) = 2.349 \text{ m}$$

· 하 부

$$b/l = 1.25 / 18 = 0.069$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda S1 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.074 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda S1 + be) = 2.349 \text{ m}$$

$$- L2 \quad I = 0.6 \times L2 = 0.6 \times 50 = 30.000 \quad m$$

· 상 부

$$b/l = 1.25 / 30 = 0.042$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L2 = b = 1.25 \quad m$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭} \quad B = 2 \times (\lambda L2 + b_e) = 2.700 \quad m$$

· 하 부

$$b/l = 1.25 / 30 = 0.042$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L2 = b = 1.25 \quad m$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭} \quad B = 2 \times (\lambda L2 + b_e) = 2.700 \quad m$$

$$- L2 \sim L3 \quad I = 0.2 \times (L2 + L3) = 0.2 \times (50 + 50) = 20.000 \quad m$$

· 상 부

$$b/l = 1.25 / 20 = 0.063$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda S2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.097 \quad m$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭} \quad B = 2 \times (\lambda S2 + b_e) = 2.394 \quad m$$

· 하 부

$$b/l = 1.25 / 20 = 0.063$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda S2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.097 \quad m$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭} \quad B = 2 \times (\lambda S2 + b_e) = 2.394 \quad m$$

$$- L3 \quad I = 0.8 \times L3 = 0.8 \times 50 = 40.000 \quad m$$

· 상 부

$$b/l = 1.25 / 40 = 0.031$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L3 = b = 1.25 \quad m$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭} \quad B = 2 \times (\lambda L3 + b_e) = 2.700 \quad m$$

· 하 부

$$b/l = 1.25 / 40 = 0.031$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

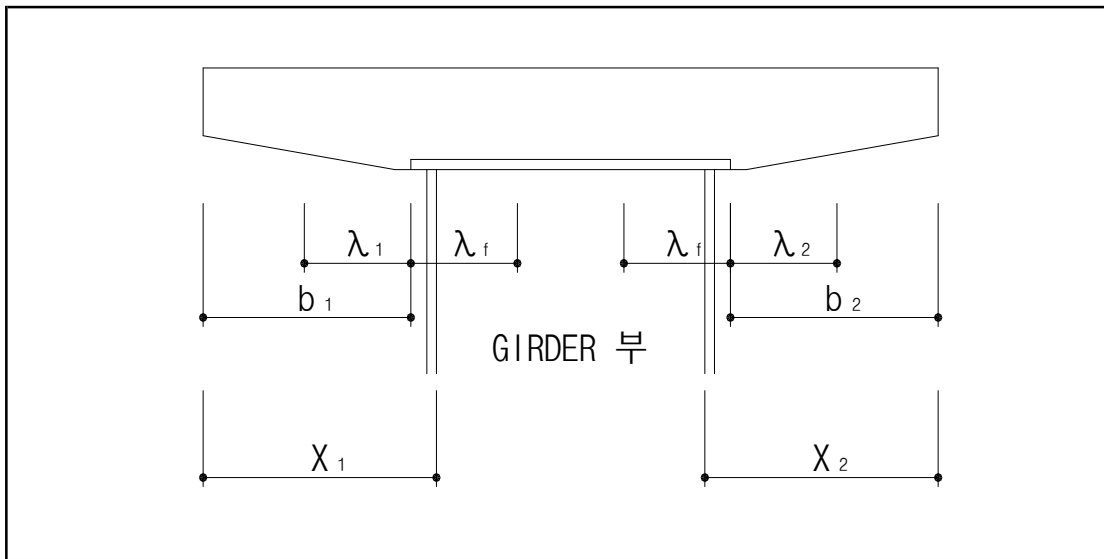
$$\lambda L3 = b = 1.25 \quad m$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭} \quad B = 2 \times (\lambda L3 + b_e) = 2.700 \quad m$$

3.3 바닥 판 유효 폭

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

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



X_1 : 거더 복부에서 캔틸레버 끝단거리

b_e : 복부판내측에서 상부플랜지 끝단거리

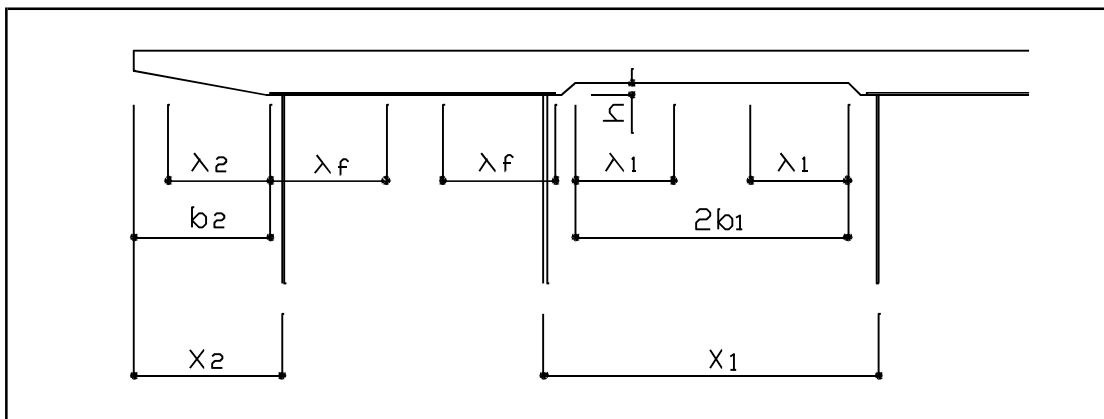
X_2 : 거더 복부에서 캔틸레버 끝단거리

$b_1 = X_1 - b_e$

h : 헌치 높이

$b_2 = X_2 - b_e$

(1) GIRDER - 1



$X_1 = 5.000$: 인접한 GIRDER의 복부사이의 간격

$X_2 = 1.000$: 외측 GIRDER 복부에서 캔틸레버 끝단까지의 거리

$h = 0.050$: 헌치 높이

$b_e = 0.100$: 플랜지의 돌출폭

$2b_1 = X_1 - 2(b_e + h) = 5 - 2 \times (0.1 + 0.05) = 4.700 \text{ m}$

$b_2 = X_2 - b_e = 1 - 0.1 = 0.900 \text{ m}$

① 제 1 지간 중앙부

$$l = 0.8 \times L1 = 0.8 \times 40 = 32.000 \text{ m}$$

$$b1 / l = 2.35 / 32 = 0.073$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda1 = \{1.1 - 2(b/l)\} \cdot b = 2.24 \text{ m}$$

$$b2 / l = 0.9 / 32 = 0.028$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda2 = b = 0.9 \text{ m}$$

슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭} + \lambda1 + \lambda2 + h = 5.890 \text{ m}$$

② 제 1 중간 지점부

$$l = 0.2 \times (L1 + L2) = 0.2 \times (40 + 50) = 18.000 \text{ m}$$

$$b1 / l = 2.35 / 18 = 0.131$$

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda1 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.689 \text{ m}$$

$$b2 / l = 0.9 / 18 = 0.050$$

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 0.82 \text{ m}$$

슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭} + \lambda1 + \lambda2 + h = 4.908 \text{ m}$$

③ 제 2 지간 중앙부

$$l = 0.6 \times L2 = 0.6 \times 50 = 30.000 \text{ m}$$

$$b1 / l = 2.35 / 30 = 0.078$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda1 = \{1.1 - 2(b/l)\} \cdot b = 2.217 \text{ m}$$

$$b2 / l = 0.9 / 30 = 0.030$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda2 = b = 0.9 \text{ m}$$

슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭} + \lambda1 + \lambda2 + h = 5.867 \text{ m}$$

④ 제 2 중간 지점부

$$l = 0.2 \times (L_2 + L_3) = 0.2 \times (50 + 50) = 20.000 \text{ m}$$

$$b_1 / l = 2.35 / 20 = 0.118$$

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda_1 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.753 \text{ m}$$

$$b_2 / l = 0.9 / 20 = 0.045$$

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda_2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 0.833 \text{ m}$$

슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭} + \lambda_1 + \lambda_2 + h = 5.030 \text{ m}$$

⑤ 제 3 지간 중앙부

$$l = 0.8 \times L_3 = 0.8 \times 50 = 40.000 \text{ m}$$

$$b_1 / l = 2.35 / 40 = 0.059$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda_1 = \{1.1 - 2(b/l)\} \cdot b = 2.309 \text{ m}$$

$$b_2 / l = 0.9 / 40 = 0.023$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda_2 = b = 0.9 \text{ m}$$

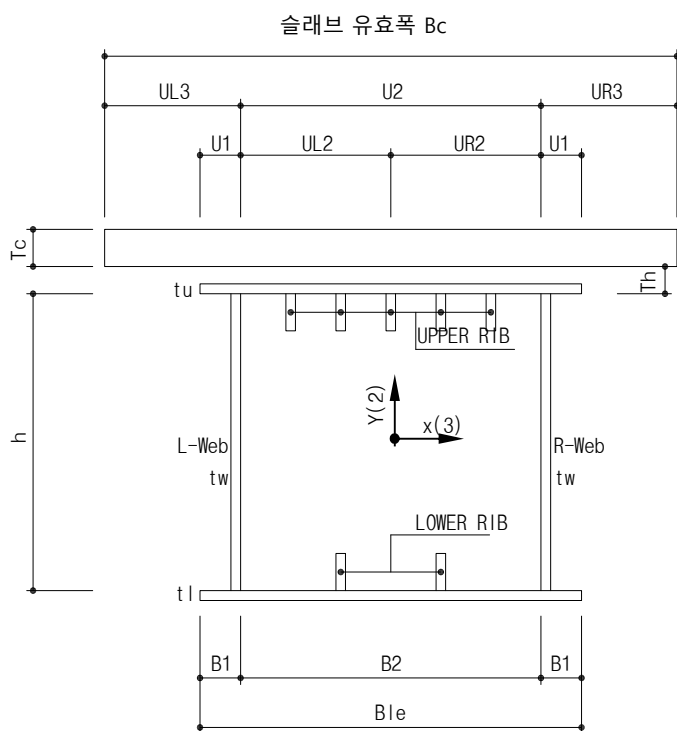
슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭} + \lambda_1 + \lambda_2 + h = 5.959 \text{ m}$$

4. 단 면 검 토(정모멘트)

4.1 단면가정 및 설계조건

1,6지간 외측거더



주부재 강종: SWS50B

Bc = 5,890.0 mm

UL3 = 1,695.0 mm

UR3 = 1,695.0 mm

U1 = 100.0 mm

UL2 = 1,250.0 mm

UR2 = 1,250.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,700.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,700.0 mm

B1 = 100.0 mm

B2 = 2,500.0 mm

Tc = 250.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,500.0 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	26,701.7
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	-	8.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	°C	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	5,449.851
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,201.676
M_v : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	4,478.995
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-359.941
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	78.422
V_v : 활하중에 의한 전단력	kN	-405.180
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-164.956
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-30.798
M_{vt} : 활하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-329.279

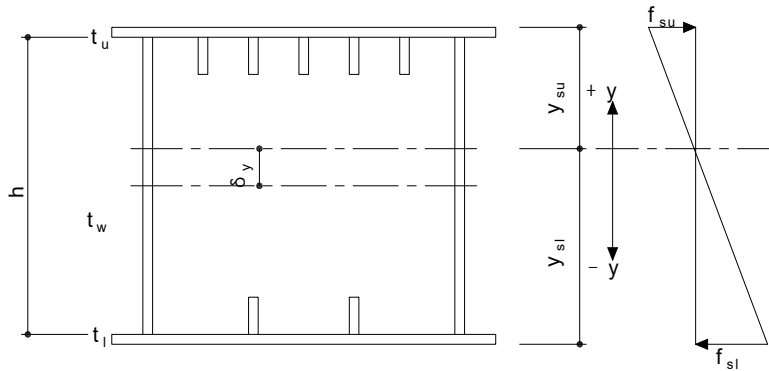
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

합성후 고정하중 : 난간및 방호벽자중 + PAVEMENT자중

X(3)축 방향 단면 제원

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 - 2,700.0 × 20.0	54,000.0	760.0	4.104E+07	3.119E+10	1.800E+06
UPPER RIB	4 - 200.0 × 14.0	11,200.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	3.733E+07
L - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
R - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
LOWER RIB	2 - 200.0 × 14.0	5,600.0	-650.0	-3.640E+06	2.366E+09	1.867E+07
LOWER FL.	1 - 2,700.0 × 22.0	59,400.0	-761.0	-4.520E+07	3.440E+10	2.396E+06
강재 단면 합계		166,200.0	-	-5.234E+05	7.269E+10	6.810E+09
RC. SLAB	1 - 5,890.0 × 250.0	1,472,500.0	925.0	1.362E+09	1.260E+12	7.669E+09
SLAB 단면 합계		1,472,500.0	-	1.362E+09	1.260E+12	7.669E+09
※ $A_s = 166,200.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,472,500.0 \text{ mm}^2$						

4.2 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -523,400.0 / 166,200.0 = -3.149 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,500.0 / 2 + 20.0 - (-3.149) = 773.149 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -(h/2 + t_l + \delta_y) = -(1,500.0 / 2 + 22.0 + (-3.149)) = -768.851 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 6,810,195,800.0 + 72,688,187,400.0 - 166,200.0 \times (-3.149)^2 = 7.950E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 5,449.851 \times 773.1 / 79,496,734,899.4 = 53.003 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 5,449.851 \times -768.9 / 79,496,734,899.4 = -52.708 \text{ MPa}$$

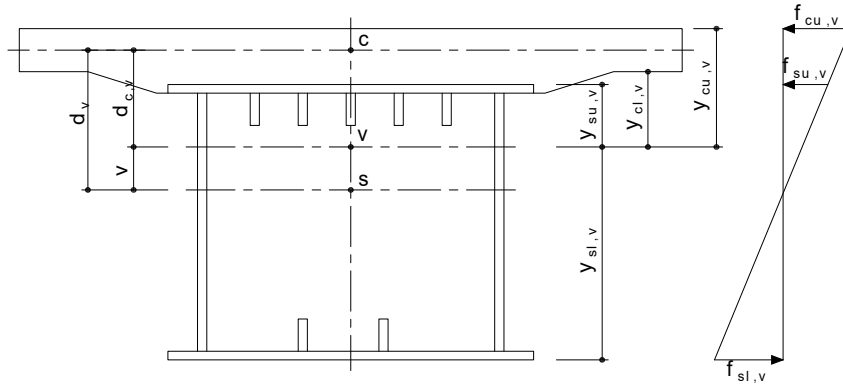
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.650E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 359.941 / 36,000.0 + 164.956 / (2 \times 4,649,697.0 \times 12.0) = 11.477 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

- 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,472,500.0 / 8.0 = 184,062.5 \text{ mm}^2$$

- 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 7,669,270,833.3 / 8.0 = 9.587E+08 \text{ mm}^4$$

- 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 166,200.0 + 184,062.5 = 350,262.5 \text{ mm}^2$$

- 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 773.1 - 20.0 + 50.0 + 250.0/2 = 928.1 \text{ mm}$$

- 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 184,062.5 \times 928.1 / 350,262.5 = 487.7 \text{ mm}$$

- 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 928.1 - 487.7 = 440.4 \text{ mm}$$

- 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 79,496,734,899.4 + 166,200.0 \times 487.7^2 + 958,658,854.2 + 184,062.5 \times 440.4^2 = 1.557E+11 \text{ mm}^4$$

- 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 773.1 - 487.7 = 285.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -768.9 - 487.7 = -1,256.6 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 440.4 + 250.0 / 2 = 565.4 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 565.4 - 250.0 = 315.4 \text{ mm}$$

- 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 1,201.676 \times 285.4 / 155,693,576,753.9 = 2.203 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 1,201.676 \times -1,256.6 / 155,693,576,753.9 = -9.699 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,201.676 \times 565.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = 0.545 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 1,201.676 \times 315.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = 0.304 \text{ MPa}$$

- 전단응력 검토

$$F_v = 4.745E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sc} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 78.422 / 36,000.0 + 30.798 / (2 \times 4,745,228.3 \times 12.0) = 2.449 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,478.995 \times 285.4 / 155,693,576,753.9 = \mathbf{8.211 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,478.995 \times -1,256.6 / 155,693,576,753.9 = \mathbf{-36.150 \text{ MPa}}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,478.995 \times 565.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = \mathbf{2.033 \text{ MPa}}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,478.995 \times 315.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = \mathbf{1.134 \text{ MPa}}$$

▪ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} v &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 405.180 / 36,000.0 + 329.279 / (2 \times 4,745,228.3 \times 12.0) = \mathbf{14.146 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

(4) 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 **2.0**을 표준으로 한다.

$$\Phi_1 = 2.0$$

$$k = \mathbf{0.663} \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 16.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 166,200.0 + 1,472,500.0 / 16.0 = 2.582\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,472,500.0 / 16.0) \times 928.1 / 258,231.3 = 330.8 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 928.1 - 330.8 = 597.4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v1} &= (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ &= (79,496,734,899.4 + 166,200.0 \times 330.8^2) + (7,669,270,833.3 / 16.0 \\ &\quad + 1,472,500.0 / 16.0 \times 597.4^2) = 1.310\text{E}+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 773.1 - 330.8 = 442.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -768.9 - 330.8 = -1,099.6 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 597.4 + 250.0 / 2 = 722.4 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 722.4 - 250.0 = 472.4 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$\begin{aligned} N_c &= M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ &= 1,201.7 \times 440.4 \times 1,472,500.0 / (8.0 \times 155,693,576,753.9) = 6.257\text{E}+05 \text{ N} \end{aligned}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 625,658.3 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 6.257\text{E}+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 625,658.3 \times 597.4 = 3.737\text{E}+08 \text{ N}\cdot\text{mn}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 26,701.7 / (1 + 2.0 / 2) = 13,350.868 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하면 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,201.676 \times 565.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = 0.545 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 1,201.676 \times 315.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = 0.304 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

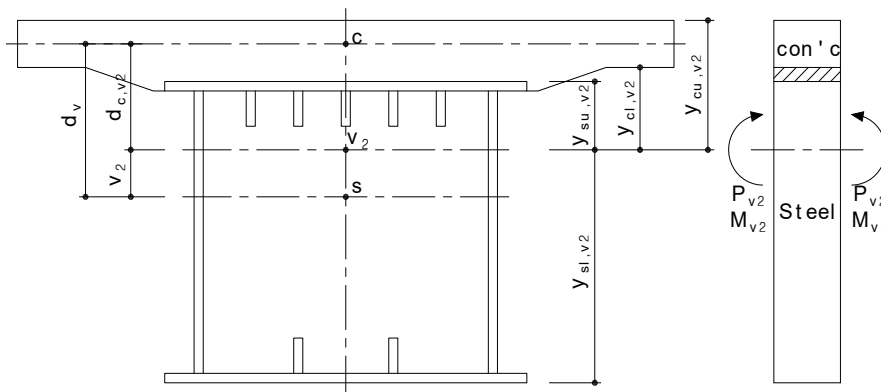
$$\begin{aligned} f_{cu,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (625,658.3 / 258,231.3 + 0.663 \times 373,746,567.2 \times 722.4 / 131,002,255,140.2) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.545 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.309 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (625,658.3 / 258,231.3 + 0.663 \times 373,746,567.2 \times 472.4 / 131,002,255,140.2) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.304 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.097 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ &= 625,658.3 / 258,231.3 + 0.663 \times 373,746,567.2 \times 442.4 / 131,002,255,140.2 = 3.260 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ &= 625,658.3 / 258,231.3 + 0.663 \times 373,746,567.2 \times -1,099.6 / 131,002,255,140.2 = 0.343 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 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.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2 / 2) = 8.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 24.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1} / n_2 = 166,200.0 + 1,472,500.0 / 24.0 = 2.276E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1} / n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,472,500.0 / 24.0) \times 928.1 / 227,554.2 = 250.3 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 928.1 - 250.3 = 677.9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v2} &= (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c / n_2 + A_c / n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ &= (79,496,734,899.4 + 166,200.0 \times 250.3^2) + (7,669,270,833.3 / 24.0 \\ &\quad + 1,472,500.0 / 24.0 \times 677.9^2) = 1.184E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 773.1 - 250.3 = 522.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -768.9 - 250.3 = -1,019.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 677.9 + 250.0 / 2 = 802.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 802.9 - 250.0 = 552.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1} / n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,472,500.0 / 24.0 = 3.396E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 3,395,953.1 \times 802.9 = 2.302E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 24.0 = 8,541.667 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

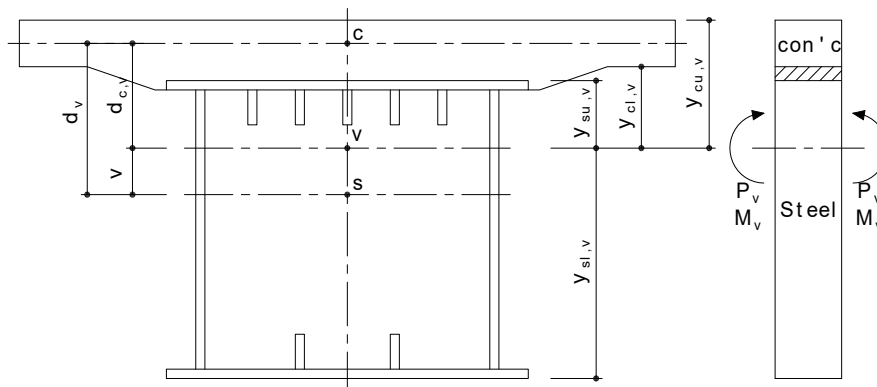
$$\begin{aligned} f_{cu,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,395,953.1/227,554.2 + 0.663 \times 2,302,108,123.1 \times 802.9/118,419,717,910.5) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = -1.253 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,395,953.1/227,554.2 + 0.663 \times 2,302,108,123.1 \times 802.9/118,419,717,910.5) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = -1.388 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ &= 3,395,953.1/227,554.2 + 0.663 \times 2,302,108,123.1 \times 522.9/118,419,717,910.5 = 21.663 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ &= 3,395,953.1/227,554.2 + 0.663 \times 2,302,108,123.1 \times -1,019.1/118,419,717,910.5 = 1.789 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(6) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C를 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

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1} / n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,472,500.0 / 8.0 = 4.528E+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 4,527,937.5 \times 440.4 = 1.994E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,527,937.5/350,262.5 + 0.663 \times 1,994,139,806.7 \times 565.4/155,693,576,753.9) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -0.988 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,527,937.5/350,262.5 + 0.663 \times 1,994,139,806.7 \times 315.4/155,693,576,753.9) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -1.254 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 4,527,937.5/350,262.5 + 0.663 \times 1,994,139,806.7 \times 285.4/155,693,576,753.9 = 15.351 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 4,527,937.5/350,262.5 + 0.663 \times 1,994,139,806.7 \times -1,256.6/155,693,576,753.9 = 2.257 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(7) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} v &= (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 843.543/36,000.0 + 164.956/111,592,728.0 + 360.077/113,885,478.0 = 28.072 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{※ } v = 28.1 \text{ MPa} \leq v_a = 110.0 \text{ MPa} \quad \dots \text{O.K !!}$$

(8) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\varphi/n)^2 + 0.13(\varphi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, φ : 응력 구배 ($\varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

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

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 190.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm} > t_u = 20 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} < b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 - 3.9 \{b/(t_u \cdot i \cdot n) - 24.0\} = 186.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 6.3 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} \geq b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n)/b\}^2 = 352.0 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 190.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형$$

단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

$$\therefore f_{ca} = 186.1 \text{ MPa}$$

▪ 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	-	-	-	-	53.003	-52.708	186.100	190.000
1+2+3	2.579	1.439	10.800	10.800	63.416	-98.556	190.000	190.000
1+2+3+4	2.270	1.341	10.800	10.800	66.676	-98.214	218.500	190.000
1+2+3+4+5	1.017	-0.046	10.800	1.890	88.339	-96.425	218.500	190.000
1+2+3+4+5+6	0.029	-1.300	12.420	2.174	103.690	-94.168	247.000	218.500
1+2+3+4+5-6	2.005	1.207	12.420	12.420	72.988	-98.681	247.000	218.500

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(9) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/u_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.081	0.077	0.065	0.065	0.146	0.142	O.K !!	O.K !!
1+2+3	0.111	0.269	0.065	0.065	0.177	0.334	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4	0.093	0.267	0.065	0.065	0.158	0.332	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5	0.163	0.258	0.065	0.065	0.229	0.323	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5+6	0.176	0.186	0.065	0.065	0.241	0.251	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5-6	0.087	0.204	0.065	0.065	0.152	0.269	O.K !!	O.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/u_a)^2 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[상 연]

$$\left(\frac{103.690}{247.000} \right)^2 + \left(\frac{28.072}{110.000} \right)^2 = 0.176 + 0.065 = 0.241 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[하 연]

$$\left(\frac{-98.556}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{28.072}{110.000} \right)^2 = 0.269 + 0.065 = 0.334 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

(10) 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)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

$$t_{\min} = b/(49 \cdot i \cdot n) = 2,500.0 / (49 \times 1.0 \times 5) = 10.2 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

(합성형 스티드 설치시) $t_{\min} = 10.0 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$

- 인장(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 22.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{\min} = b/(219 \times 1.200) = 1,500.0 / (219 \times 1.200) = 5.7 \leq t_{\text{use}} = 12.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 53.003)} = 1.89 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$

(11) 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.

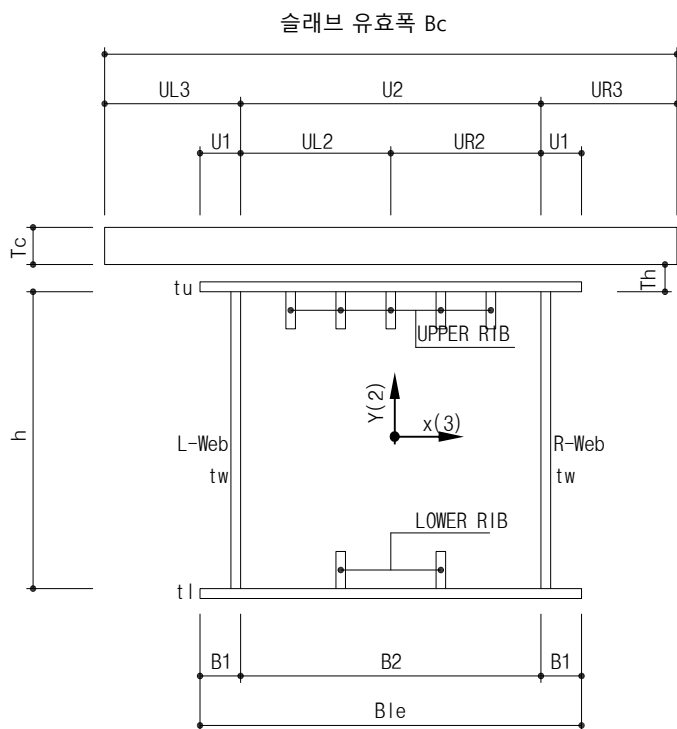
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

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	-	-	-	-	68.904	-68.521	315.000	O.K !!
1+2+3	5.081	2.834	16.200	O.K !!	89.420	-158.851	315.000	O.K !!
1+2+3+6	6.069	4.088	16.200	O.K !!	104.771	-161.107	315.000	O.K !!
1+2+3+4	4.772	2.737	16.200	O.K !!	92.680	-158.508	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5	3.519	1.350	16.200	O.K !!	114.343	-156.719	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5+6	2.530	0.096	16.200	O.K !!	129.694	-154.462	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5-6	4.507	2.603	16.200	O.K !!	98.992	-158.976	315.000	O.K !!

4. 단 면 검 토(정모멘트)

4.1 단면가정 및 설계조건

1,6지간 내측거더



주부재 강종: SWS50B

Bc = 5,890.0 mm

UL3 = 1,695.0 mm

UR3 = 1,695.0 mm

U1 = 100.0 mm

UL2 = 1,250.0 mm

UR2 = 1,250.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,700.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,700.0 mm

B1 = 100.0 mm

B2 = 2,500.0 mm

Tc = 250.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,500.0 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	26,701.7
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	-	8.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	°C	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	5,757.516
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,270.028
M_v : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	4,127.705
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-377.771
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-89.604
V_v : 활하중에 의한 전단력	kN	-275.949
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-65.355
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-14.652
M_{vt} : 활하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-492.615

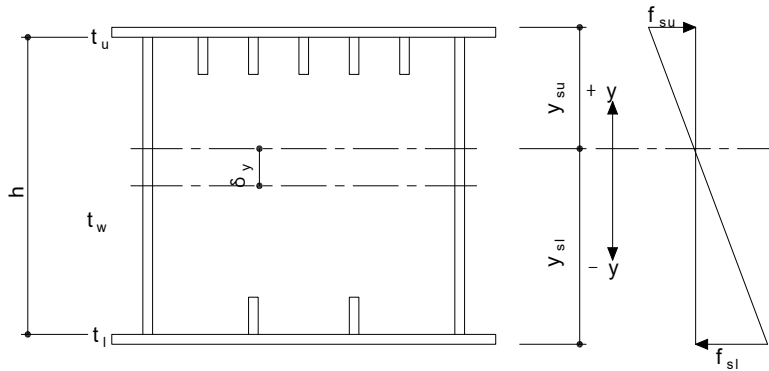
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

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 - 2,700.0 × 20.0	54,000.0	760.0	4.104E+07	3.119E+10	1.800E+06
UPPER RIB	4 - 200.0 × 14.0	11,200.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	3.733E+07
L - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
R - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
LOWER RIB	2 - 200.0 × 14.0	5,600.0	-650.0	-3.640E+06	2.366E+09	1.867E+07
LOWER FL.	1 - 2,700.0 × 22.0	59,400.0	-761.0	-4.520E+07	3.440E+10	2.396E+06
강재 단면 합계		166,200.0	-	-5.234E+05	7.269E+10	6.810E+09
RC. SLAB	1 - 5,890.0 × 250.0	1,472,500.0	925.0	1.362E+09	1.260E+12	7.669E+09
SLAB 단면 합계		1,472,500.0	-	1.362E+09	1.260E+12	7.669E+09
※ $A_s = 166,200.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,472,500.0 \text{ mm}^2$						

4.2 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -523,400.0 / 166,200.0 = -3.149 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,500.0 / 2 + 20.0 - (-3.149) = 773.149 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -(h/2 + t_l + \delta_y) = -(1,500.0 / 2 + 22.0 + (-3.149)) = -768.851 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 6,810,195,800.0 + 72,688,187,400.0 - 166,200.0 \times (-3.149)^2 = 7.950E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 5,757.516 \times 773.1 / 79,496,734,899.4 = 55.995 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 5,757.516 \times -768.9 / 79,496,734,899.4 = -55.684 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.650E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 377.771 / 36,000.0 + 65.355 / (2 \times 4,649,697.0 \times 12.0) = 11.079 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,127.705 \times 285.4 / 155,693,576,753.9 = \mathbf{7.567 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,127.705 \times -1,256.6 / 155,693,576,753.9 = \mathbf{-33.314 \text{ MPa}}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,127.705 \times 565.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = \mathbf{1.874 \text{ MPa}}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,127.705 \times 315.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = \mathbf{1.045 \text{ MPa}}$$

▪ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} v &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 275.949 / 36,000.0 + 492.615 / (2 \times 4,745,228.3 \times 12.0) = \mathbf{11.991 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

(4) 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 **2.0**을 표준으로 한다.

$$\Phi_1 = 2.0$$

$$k = \mathbf{0.658} \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 16.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 166,200.0 + 1,472,500.0 / 16.0 = 2.582\text{E}+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,472,500.0 / 16.0) \times 928.1 / 258,231.3 = 330.8 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 928.1 - 330.8 = 597.4 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v1} &= (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ &= (79,496,734,899.4 + 166,200.0 \times 330.8^2) + (7,669,270,833.3 / 16.0 \\ &\quad + 1,472,500.0 / 16.0 \times 597.4^2) = \mathbf{1.310\text{E}+11 \text{ mm}^4} \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 773.1 - 330.8 = 442.4 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -768.9 - 330.8 = -1,099.6 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 597.4 + 250.0 / 2 = 722.4 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 722.4 - 250.0 = 472.4 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$\begin{aligned} N_c &= M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ &= 1,270.0 \times 440.4 \times 1,472,500.0 / (8.0 \times 155,693,576,753.9) = \mathbf{6.612\text{E}+05 \text{ N}} \end{aligned}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 661,246.1 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = \mathbf{6.612\text{E}+05 \text{ N}}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 661,246.1 \times 597.4 = \mathbf{3.950\text{E}+08 \text{ N}\cdot\text{mn}}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 26,701.7 / (1 + 2.0 / 2) = \mathbf{13,350.868 \text{ MPa}}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하면 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 1,270.028 \times 565.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = 0.577 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 1,270.028 \times 315.4 / (155,693,576,753.9 \times 8.0) = 0.322 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

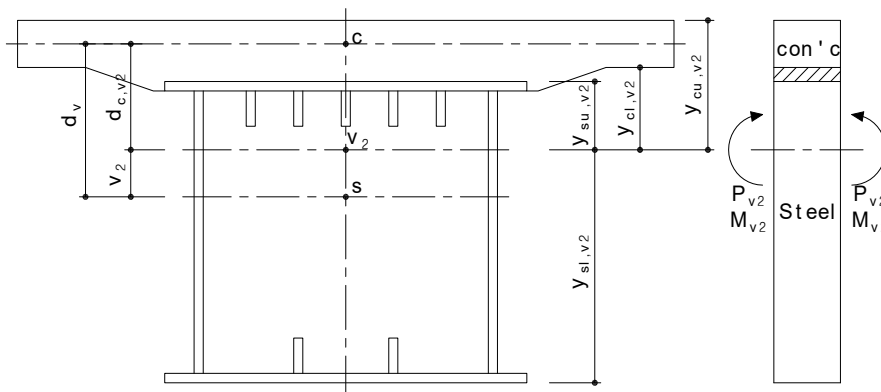
$$\begin{aligned} f_{cu,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (661,246.1 / 258,231.3 + 0.658 \times 395,005,480.0 \times 722.4 / 131,002,255,140.2) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.577 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.327 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (661,246.1 / 258,231.3 + 0.658 \times 395,005,480.0 \times 472.4 / 131,002,255,140.2) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.322 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.103 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ &= 661,246.1 / 258,231.3 + 0.658 \times 395,005,480.0 \times 442.4 / 131,002,255,140.2 = 3.438 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ &= 661,246.1 / 258,231.3 + 0.658 \times 395,005,480.0 \times -1,099.6 / 131,002,255,140.2 = 0.379 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 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.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2 / 2) = 8.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 24.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1} / n_2 = 166,200.0 + 1,472,500.0 / 24.0 = 2.276E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1} / n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,472,500.0 / 24.0) \times 928.1 / 227,554.2 = 250.3 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 928.1 - 250.3 = 677.9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v2} &= (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c / n_2 + A_c / n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ &= (79,496,734,899.4 + 166,200.0 \times 250.3^2) + (7,669,270,833.3 / 24.0 \\ &\quad + 1,472,500.0 / 24.0 \times 677.9^2) = 1.184E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 773.1 - 250.3 = 522.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -768.9 - 250.3 = -1,019.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 677.9 + 250.0 / 2 = 802.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 802.9 - 250.0 = 552.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1} / n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,472,500.0 / 24.0 = 3.396E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 3,395,953.1 \times 802.9 = 2.302E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 24.0 = 8,541.667 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

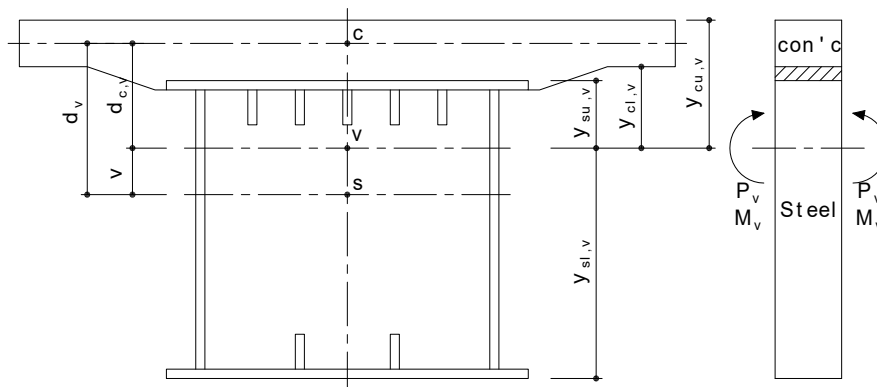
$$\begin{aligned} f_{cu,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,395,953.1/227,554.2 + 0.658 \times 2,302,108,123.1 \times 802.9/118,419,717,910.5) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = -1.256 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,395,953.1/227,554.2 + 0.658 \times 2,302,108,123.1 \times 802.9/118,419,717,910.5) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = -1.390 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ &= 3,395,953.1/227,554.2 + 0.658 \times 2,302,108,123.1 \times 522.9/118,419,717,910.5 = 21.612 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ &= 3,395,953.1/227,554.2 + 0.658 \times 2,302,108,123.1 \times -1,019.1/118,419,717,910.5 = 1.888 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(6) 바닥판 콘크리트와 강재보와의 온도차 영향

(도.설.해 3.9.2.7)

- 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차는 10°C를 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

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1} / n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,472,500.0 / 8.0 = 4.528E+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 4,527,937.5 \times 440.4 = 1.994E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,527,937.5/350,262.5 + 0.658 \times 1,994,139,806.7 \times 565.4/155,693,576,753.9) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -0.993 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,v}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,527,937.5/350,262.5 + 0.658 \times 1,994,139,806.7 \times 315.4/155,693,576,753.9) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -1.256 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_v \\ &= 4,527,937.5/350,262.5 + 0.658 \times 1,994,139,806.7 \times 285.4/155,693,576,753.9 = 15.333 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_v \\ &= 4,527,937.5/350,262.5 + 0.658 \times 1,994,139,806.7 \times -1,256.6/155,693,576,753.9 = 2.337 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(7) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} v &= (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 743.324/36,000.0 + 65.355/111,592,728.0 + 507.267/113,885,478.0 = 25.688 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{※ } v = 25.7 \text{ MPa} \leq v_a = 110.0 \text{ MPa} \quad \dots \text{O.K !!}$$

(8) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\varphi/n)^2 + 0.13(\varphi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, φ : 응력 구배 ($\varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

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

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 190.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm} > t_u = 20 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} < b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 - 3.9 \{b/(t_u \cdot i \cdot n) - 24.0\} = 186.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 6.3 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} \geq b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n)/b\}^2 = 352.0 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 190.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형$$

단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

$$\therefore f_{ca} = 186.1 \text{ MPa}$$

▪ 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	-	-	-	-	55.995	-55.684	186.100	190.000
1+2+3	2.450	1.367	10.800	10.800	65.890	-99.248	190.000	190.000
1+2+3+4	2.123	1.264	10.800	10.800	69.328	-98.869	218.500	190.000
1+2+3+4+5	0.867	-0.126	10.800	1.890	90.941	-96.982	218.500	190.000
1+2+3+4+5+6	-0.126	-1.382	2.174	2.174	106.273	-94.645	247.000	218.500
1+2+3+4+5-6	1.860	1.130	12.420	12.420	75.608	-99.319	247.000	218.500

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(9) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/u_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.091	0.086	0.055	0.055	0.145	0.140	O.K !!	O.K !!
1+2+3	0.120	0.273	0.055	0.055	0.175	0.327	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4	0.101	0.271	0.055	0.055	0.155	0.325	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5	0.173	0.261	0.055	0.055	0.228	0.315	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5+6	0.185	0.188	0.055	0.055	0.240	0.242	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5-6	0.094	0.207	0.055	0.055	0.148	0.261	O.K !!	O.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/u_a)^2 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[상 연]

$$\left(\frac{106.273}{247.000} \right)^2 + \left(\frac{25.688}{110.000} \right)^2 = 0.185 + 0.055 = 0.240 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[하 연]

$$\left(\frac{-99.248}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{25.688}{110.000} \right)^2 = 0.273 + 0.055 = 0.327 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

(10) 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)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

$$t_{\min} = b/(49 \cdot i \cdot n) = 2,500.0 / (49 \times 1.0 \times 5) = 10.2 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

(합성형 스티드 설치시) $t_{\min} = 10.0 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$

- 인장(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 22.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{\min} = b/(219 \times 1.200) = 1,500.0 / (219 \times 1.200) = 5.7 \leq t_{\text{use}} = 12.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

여기서, $\sqrt{f_{ca}/f_c} = \sqrt{(190.0 / 55.995)} = 1.84 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$

(11) 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.

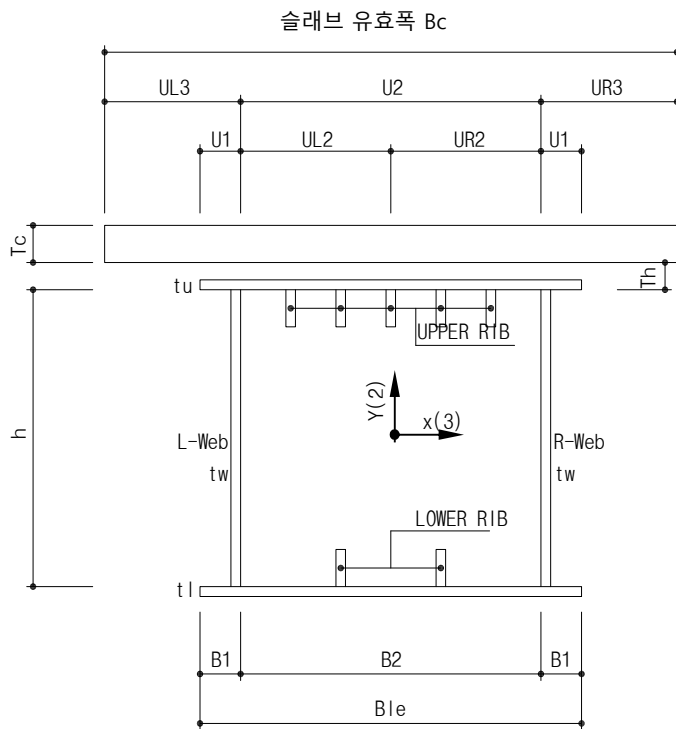
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

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	-	-	-	-	72.793	-72.389	315.000	O.K !!
1+2+3	4.778	2.665	16.200	O.K !!	92.088	-157.340	315.000	O.K !!
1+2+3+6	5.771	3.921	16.200	O.K !!	107.421	-159.677	315.000	O.K !!
1+2+3+4	4.451	2.562	16.200	O.K !!	95.527	-156.961	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5	3.195	1.173	16.200	O.K !!	117.139	-155.074	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5+6	2.202	-0.083	16.200	O.K !!	132.472	-152.737	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5-6	4.187	2.429	16.200	O.K !!	101.807	-157.411	315.000	O.K !!

4. 단 면 검 토(정모멘트)

4.1 단면가정 및 설계조건

2~5지간 외측거더



주부재 강종: SWS50B	
Bc =	5,867.0 mm
UL3 =	1,683.5 mm
UR3 =	1,683.5 mm
U1 =	100.0 mm
UL2 =	1,250.0 mm
UR2 =	1,250.0 mm
상부 플랜지 유효폭	
Bue =	2,700.0 mm
하부 플랜지 유효폭	
Ble =	2,700.0 mm
B1 =	100.0 mm
B2 =	2,500.0 mm
Tc =	250.0 mm
Th =	50.0 mm
h =	1,500.0 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	26,701.7
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	-	8.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	°C	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	4,005.824
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	887.707
M_v : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	4,355.788
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-280.596
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-61.450
V_v : 활하중에 의한 전단력	kN	-442.045
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	66.240
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	19.965
M_{vt} : 활하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	263.807

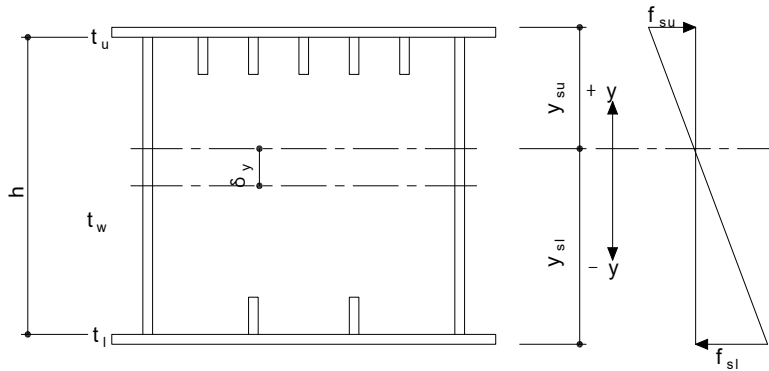
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

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 - 2,700.0 × 20.0	54,000.0	760.0	4.104E+07	3.119E+10	1.800E+06
UPPER RIB	4 - 200.0 × 14.0	11,200.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	3.733E+07
L - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
R - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
LOWER RIB	2 - 200.0 × 14.0	5,600.0	-650.0	-3.640E+06	2.366E+09	1.867E+07
LOWER FL.	1 - 2,700.0 × 20.0	54,000.0	-760.0	-4.104E+07	3.119E+10	1.800E+06
강재 단면 합계		160,800.0	-	3.640E+06	6.948E+10	6.810E+09
RC. SLAB	1 - 5,867.0 × 250.0	1,466,750.0	925.0	1.357E+09	1.255E+12	7.639E+09
SLAB 단면 합계		1,466,750.0	-	1.357E+09	1.255E+12	7.639E+09
※ $A_s = 160,800.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,466,750.0 \text{ mm}^2$						

4.2 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = 3,640,000.0 / 160,800.0 = 22.637 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,500.0 / 2 + 20.0 - 22.637 = 747.363 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,500.0 / 2 + 20.0 + 22.637 \} = -792.637 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 6,809,600,000.0 + 69,478,800,000.0 - 160,800.0 \times 22.637^2 = 7.621E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 4,005.824 \times 747.4 / 76,206,001,990.0 = 39.286 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 4,005.824 \times -792.6 / 76,206,001,990.0 = -41.666 \text{ MPa}$$

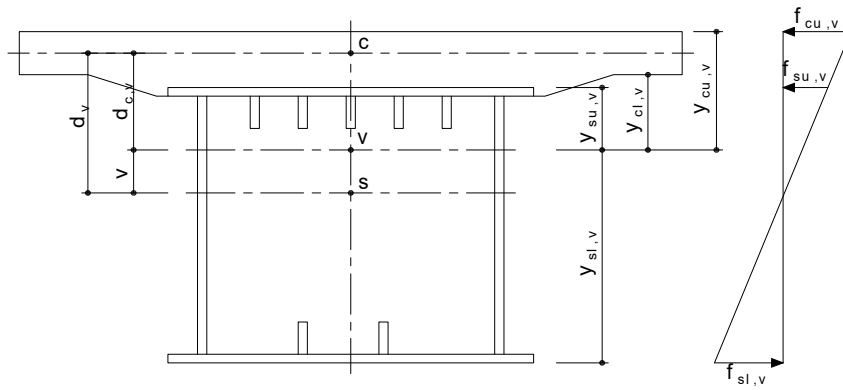
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.629E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 280.596 / 36,000.0 + 66.240 / (2 \times 4,629,160.0 \times 12.0) = 8.391 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,466,750.0 / 8.0 = 183,343.8 \text{ mm}^2$$

▪ 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 7,639,322,916.7 / 8.0 = 9.549E+08 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 160,800.0 + 183,343.8 = 344,143.8 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 747.4 - 20.0 + 50.0 + 250.0/2 = 902.4 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 183,343.8 \times 902.4 / 344,143.8 = 480.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 902.4 - 480.7 = 421.6 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 76,206,001,990.0 + 160,800.0 \times 480.7^2 + 954,915,364.6 + 183,343.8 \times 421.6^2 = 1.469E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 747.4 - 480.7 = 266.6 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -792.6 - 480.7 = -1,273.4 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 421.6 + 250.0 / 2 = 546.6 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 546.6 - 250.0 = 296.6 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 887.707 \times 266.6 / 146,915,862,837.5 = 1.611 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 887.707 \times -1,273.4 / 146,915,862,837.5 = -7.694 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 887.707 \times 546.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.413 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 887.707 \times 296.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.224 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = 4.724E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sc} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 61.450 / 36,000.0 + 19.965 / (2 \times 4,724,331.9 \times 12.0) = 1.883 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,355.788 \times 266.6 / 146,915,862,837.5 = \mathbf{7.905} \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,355.788 \times -1,273.4 / 146,915,862,837.5 = \mathbf{-37.753} \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,355.788 \times 546.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = \mathbf{2.026} \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,355.788 \times 296.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = \mathbf{1.099} \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} v &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 442.045 / 36,000.0 + 263.807 / (2 \times 4,724,331.9 \times 12.0) = \mathbf{14.606} \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 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 **2.0**을 표준으로 한다.

$$\Phi_1 = 2.0$$

$$k = \mathbf{0.046} \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 16.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_c / n_1 = 160,800.0 + 1,466,750.0 / 16.0 = 2.525E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_c / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,466,750.0 / 16.0) \times 902.4 / 252,471.9 = 327.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 902.4 - 327.6 = 574.7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v1} &= (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ &= (76,206,001,990.0 + 160,800.0 \times 327.6^2) + (7,639,322,916.7 / 16.0 \\ &\quad + 1,466,750.0 / 16.0 \times 574.7^2) = 1.242E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 747.4 - 327.6 = 419.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -792.6 - 327.6 = -1,120.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 574.7 + 250.0 / 2 = 699.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 699.7 - 250.0 = 449.7 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$\begin{aligned} N_c &= M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ &= 887.7 \times 421.6 \times 1,466,750.0 / (8.0 \times 146,915,862,837.5) = 4.671E+05 \text{ N} \end{aligned}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 467,083.6 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.671E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 467,083.6 \times 574.7 = 2.684E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 26,701.7 / (1 + 2.0 / 2) = 13,350.868 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하면 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 887.707 \times 546.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.413 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 887.707 \times 296.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.224 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

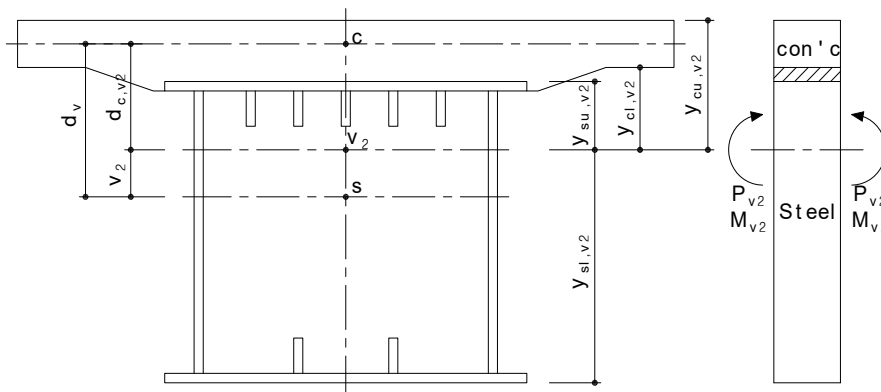
$$\begin{aligned} f_{cu,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (467,083.6 / 252,471.9 + 0.046 \times 268,441,092.2 \times 699.7 / 124,224,851,202.6) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.413 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.293 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (467,083.6 / 252,471.9 + 0.046 \times 268,441,092.2 \times 449.7 / 124,224,851,202.6) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.224 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.106 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ &= 467,083.6 / 252,471.9 + 0.046 \times 268,441,092.2 \times 419.7 / 124,224,851,202.6 = 1.892 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ &= 467,083.6 / 252,471.9 + 0.046 \times 268,441,092.2 \times -1,120.3 / 124,224,851,202.6 = 1.739 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 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.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2 / 2) = 8.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 24.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1} / n_2 = 160,800.0 + 1,466,750.0 / 24.0 = 2.219E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1} / n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,466,750.0 / 24.0) \times 902.4 / 221,914.6 = 248.5 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 902.4 - 248.5 = 653.9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v2} &= (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c / n_2 + A_c / n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ &= (76,206,001,990.0 + 160,800.0 \times 248.5^2) + (7,639,322,916.7 / 24.0 \\ &\quad + 1,466,750.0 / 24.0 \times 653.9^2) = 1.126E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 747.4 - 248.5 = 498.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -792.6 - 248.5 = -1,041.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 653.9 + 250.0 / 2 = 778.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 778.9 - 250.0 = 528.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1} / n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,466,750.0 / 24.0 = 3.383E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 3,382,692.2 \times 778.9 = 2.212E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 24.0 = 8,541.667 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

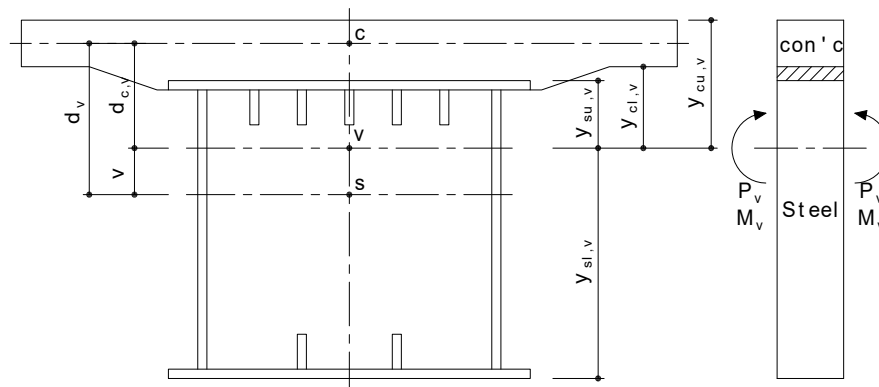
$$\begin{aligned} f_{cu,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times 778.9/112,582,818,392.4) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = -1.642 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times 528.9/112,582,818,392.4) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = -1.651 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ &= 3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times 498.9/112,582,818,392.4 = 15.694 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ &= 3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times -1,041.1/112,582,818,392.4 = 14.302 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(6) 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

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1} / n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,466,750.0 / 8.0 = 4.510E+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 4,510,256.3 \times 421.6 = 1.902E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,w}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times 546.6/146,915,862,837.5) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -1.525 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,w}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times 296.6/146,915,862,837.5) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -1.544 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,w}/I_v \\ &= 4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times 266.6/146,915,862,837.5 = 13.264 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,w}/I_v \\ &= 4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times -1,273.4/146,915,862,837.5 = 12.348 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(7) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} v &= (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 784.091/36,000.0 + 66.240/111,099,840.0 + 283.772/113,383,965.0 = 24.879 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{※ } v = 24.9 \text{ MPa} \leq v_a = 110.0 \text{ MPa} \quad \dots \text{O.K !!}$$

(8) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\varphi/n)^2 + 0.13(\varphi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, φ : 응력 구배 ($\varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

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

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 190.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm} > t_u = 20 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} < b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 - 3.9 \{b/(t_u \cdot i \cdot n) - 24.0\} = 186.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 6.3 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} \geq b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n)/b\}^2 = 352.0 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 190.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형$$

단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

$$\therefore f_{ca} = 186.1 \text{ MPa}$$

▪ 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	-	-	-	-	39.286	-41.666	186.100	190.000
1+2+3	2.439	1.323	10.800	10.800	48.802	-87.113	190.000	190.000
1+2+3+4	2.146	1.218	10.800	10.800	50.693	-85.374	218.500	190.000
1+2+3+4+5	0.504	-0.433	10.800	1.890	66.388	-71.072	218.500	190.000
1+2+3+4+5+6	-1.021	-1.977	2.174	2.174	79.652	-58.724	247.000	218.500
1+2+3+4+5-6	2.029	1.110	12.420	12.420	53.123	-83.419	247.000	218.500

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(9) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/u_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.045	0.048	0.051	0.051	0.096	0.099	O.K !!	O.K !!
1+2+3	0.066	0.210	0.051	0.051	0.117	0.261	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4	0.054	0.202	0.051	0.051	0.105	0.253	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5	0.092	0.140	0.051	0.051	0.143	0.191	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5+6	0.104	0.072	0.051	0.051	0.155	0.123	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5-6	0.046	0.146	0.051	0.051	0.097	0.197	O.K !!	O.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/u_a)^2 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[상 연]

$$\left(\frac{79.652}{247.000} \right)^2 + \left(\frac{24.879}{110.000} \right)^2 = 0.104 + 0.051 = 0.155 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[하 연]

$$\left(\frac{-87.113}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{24.879}{110.000} \right)^2 = 0.210 + 0.051 = 0.261 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

(10) 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)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

$$t_{\min} = b/(49 \cdot i \cdot n) = 2,500.0 / (49 \times 1.0 \times 5) = 10.2 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

(합성형 스티드 설치시) $t_{\min} = 10.0 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$

- 인장(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{\min} = b/(219 \times 1.200) = 1,500.0 / (219 \times 1.200) = 5.7 \leq t_{\text{use}} = 12.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 39.286)} = 2.20 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.기 3.9.3.2)

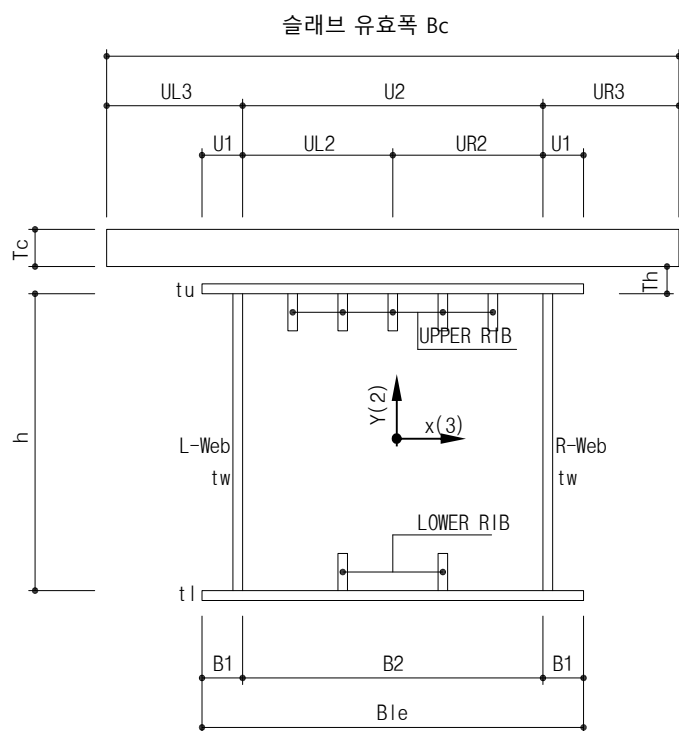
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

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	-	-	-	-	51.071	-54.165	315.000	O.K !!
1+2+3	4.892	2.655	16.200	O.K !!	70.161	-145.337	315.000	O.K !!
1+2+3+6	6.418	4.199	16.200	O.K !!	83.426	-157.684	315.000	O.K !!
1+2+3+4	4.599	2.549	16.200	O.K !!	72.053	-143.598	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5	2.958	0.898	16.200	O.K !!	87.747	-129.296	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5+6	1.432	-0.646	16.200	O.K !!	101.012	-116.948	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5-6	4.483	2.442	16.200	O.K !!	74.483	-141.643	315.000	O.K !!

4. 단 면 검 토(정모멘트)

4.1 단면가정 및 설계조건

2~5지간 내측거더



주부재 강종: SWS50B

Bc = 5,867.0 mm

UL3 = 1,683.5 mm

UR3 = 1,683.5 mm

U1 = 100.0 mm

UL2 = 1,250.0 mm

UR2 = 1,250.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,700.0 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,700.0 mm

B1 = 100.0 mm

B2 = 2,500.0 mm

Tc = 250.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 1,500.0 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	26,701.7
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	-	8.0
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	°C	10.0
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	4,333.907
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	943.707
M_v : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	4,071.966
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-292.762
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-70.443
V_v : 활하중에 의한 전단력	kN	-342.978
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	8.008
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	1.866
M_{vt} : 활하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	408.368

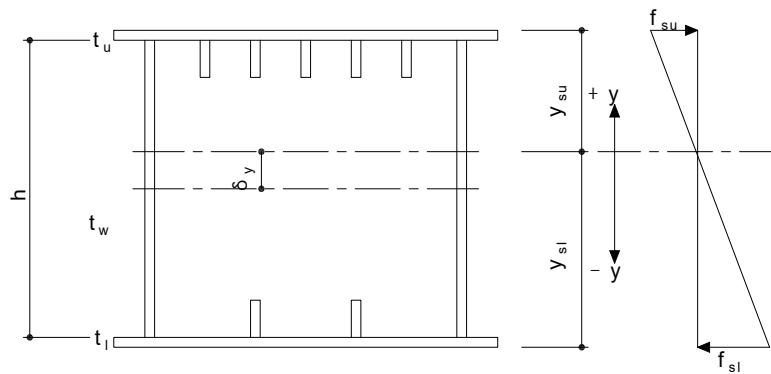
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

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 - 2,700.0 × 20.0	54,000.0	760.0	4.104E+07	3.119E+10	1.800E+06
UPPER RIB	4 - 200.0 × 14.0	11,200.0	650.0	7.280E+06	4.732E+09	3.733E+07
L - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
R - WEB	1 - 1,500.0 × 12.0	18,000.0	-	-	-	3.375E+09
LOWER RIB	2 - 200.0 × 14.0	5,600.0	-650.0	-3.640E+06	2.366E+09	1.867E+07
LOWER FL.	1 - 2,700.0 × 20.0	54,000.0	-760.0	-4.104E+07	3.119E+10	1.800E+06
강재 단면 합계		160,800.0	-	3.640E+06	6.948E+10	6.810E+09
RC. SLAB	1 - 5,867.0 × 250.0	1,466,750.0	925.0	1.357E+09	1.255E+12	7.639E+09
SLAB 단면 합계		1,466,750.0	-	1.357E+09	1.255E+12	7.639E+09
※ $A_s = 160,800.0 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,466,750.0 \text{ mm}^2$						

4.2 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = 3,640,000.0 / 160,800.0 = 22.637 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 1,500.0 / 2 + 20.0 - 22.637 = 747.363 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 1,500.0 / 2 + 20.0 + 22.637 \} = -792.637 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 6,809,600,000.0 + 69,478,800,000.0 - 160,800.0 \times 22.637^2 = 7.621E+10 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = 4,333.907 \times 747.4 / 76,206,001,990.0 = 42.503 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = 4,333.907 \times -792.6 / 76,206,001,990.0 = -45.078 \text{ MPa}$$

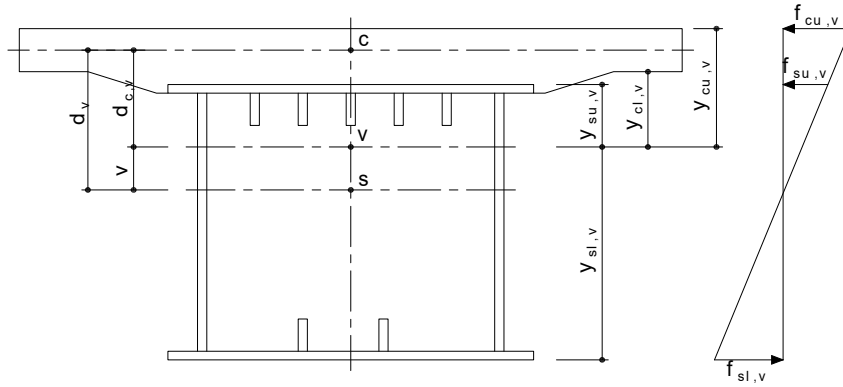
▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = 4.629E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w)$$

$$= 292.762 / 36,000.0 + 8.008 / (2 \times 4,629,160.0 \times 12.0) = 8.204 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,466,750.0 / 8.0 = 183,343.8 \text{ mm}^2$$

▪ 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 7,639,322,916.7 / 8.0 = 9.549E+08 \text{ mm}^4$$

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_{cn1} = 160,800.0 + 183,343.8 = 344,143.8 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 747.4 - 20.0 + 50.0 + 250.0/2 = 902.4 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_{cn1} \times d_v / A_v = 183,343.8 \times 902.4 / 344,143.8 = 480.7 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v} = d_v - v = 902.4 - 480.7 = 421.6 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_v = I_s + A_s \cdot v^2 + I_{cn1} + A_{cn1} \cdot d_{c,v}^2 = 76,206,001,990.0 + 160,800.0 \times 480.7^2 + 954,915,364.6 + 183,343.8 \times 421.6^2 = 1.469E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 747.4 - 480.7 = 266.6 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -792.6 - 480.7 = -1,273.4 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 콘크리트 바닥판 상·하연까지의 거리

$$y_{cu,v} = d_{c,v} + T_c / 2 = 421.6 + 250.0 / 2 = 546.6 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v} = y_{cu,v} - T_c = 546.6 - 250.0 = 296.6 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_v = 943.707 \times 266.6 / 146,915,862,837.5 = 1.713 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_v = 943.707 \times -1,273.4 / 146,915,862,837.5 = -8.179 \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 943.707 \times 546.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.439 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 943.707 \times 296.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.238 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = 4.724E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sc} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 70.443 / 36,000.0 + 1.866 / (2 \times 4,724,331.9 \times 12.0) = 1.973 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_v = 4,071.966 \times 266.6 / 146,915,862,837.5 = \mathbf{7.390} \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_v = 4,071.966 \times -1,273.4 / 146,915,862,837.5 = \mathbf{-35.293} \text{ MPa}$$

$$f_{cu,v} = M_v \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 4,071.966 \times 546.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = \mathbf{1.894} \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_v \cdot y_{cl,v} / (I_v \cdot n) = 4,071.966 \times 296.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = \mathbf{1.028} \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} v &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 342.978 / 36,000.0 + 408.368 / (2 \times 4,724,331.9 \times 12.0) = \mathbf{13.129} \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 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 **2.0**을 표준으로 한다.

$$\Phi_1 = 2.0$$

$$k = \mathbf{0.046} \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 16.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_c / n_1 = 160,800.0 + 1,466,750.0 / 16.0 = 2.525E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_c / n_1) \times d_v / A_{v1} = (1,466,750.0 / 16.0) \times 902.4 / 252,471.9 = 327.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v - v_1 = 902.4 - 327.6 = 574.7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v1} &= (I_s + A_s \cdot v_1^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v1}^2) \\ &= (76,206,001,990.0 + 160,800.0 \times 327.6^2) + (7,639,322,916.7 / 16.0 \\ &\quad + 1,466,750.0 / 16.0 \times 574.7^2) = 1.242E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v1} = y_{su} - v_1 = 747.4 - 327.6 = 419.7 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v1} = y_{sl} - v_1 = -792.6 - 327.6 = -1,120.3 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v1} = d_{c,v1} + T_c / 2 = 574.7 + 250.0 / 2 = 699.7 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v1} = y_{cu,v1} - T_c = 699.7 - 250.0 = 449.7 \text{ mm}$$

- 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$\begin{aligned} N_c &= M_{sc} \cdot d_{c,v} \cdot A_{c1} / (n \cdot I_v) \\ &= 943.7 \times 421.6 \times 1,466,750.0 / (8.0 \times 146,915,862,837.5) = 4.965E+05 \text{ N} \end{aligned}$$

- 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 496,549.0 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = 4.965E+05 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = 496,549.0 \times 574.7 = 2.854E+08 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 콘크리트의 응력을 계산하기 위해

$$E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 26,701.7 / (1 + 2.0 / 2) = 13,350.868 \text{ MPa}$$

- 2차 고정하중에 의한 합성단면에서 콘크리트 바닥판 상·하면 응력

$$f_{cu,v} = M_{sc} \cdot y_{cu,v} / (I_v \cdot n) = 943.707 \times 546.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.439 \text{ MPa}$$

$$f_{cl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / (I_v \cdot n) = 943.707 \times 296.6 / (146,915,862,837.5 \times 8.0) = 0.238 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력 변화량

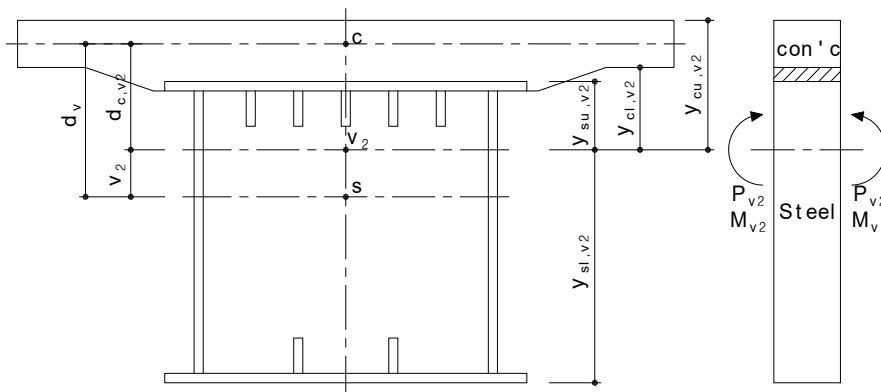
$$\begin{aligned} f_{cu,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cu,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cu,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (496,549.0 / 252,471.9 + 0.046 \times 285,375,397.3 \times 699.7 / 124,224,851,202.6) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.439 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.311 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v1} &= 1/n_1 \cdot (P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{cl,v1} / I_{v1}) - E_{c1} \cdot f_{cl,v} \cdot \phi_1 / E_c \\ &= (1/16.0) \times (496,549.0 / 252,471.9 + 0.046 \times 285,375,397.3 \times 449.7 / 124,224,851,202.6) \\ &\quad - 13,350.9 \times 0.238 \times 2.0 / 26,701.7 = -0.112 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v1} / I_{v1} \\ &= 496,549.0 / 252,471.9 + 0.046 \times 285,375,397.3 \times 419.7 / 124,224,851,202.6 = 2.011 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v1} &= P_\phi / A_{v1} + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v1} / I_{v1} \\ &= 496,549.0 / 252,471.9 + 0.046 \times 285,375,397.3 \times -1,120.3 / 124,224,851,202.6 = 1.848 \text{ MPa} \end{aligned}$$



(5) 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.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2 / 2) = 8.0 \times (1 + 4.0 / 2) = 24.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1} / n_2 = 160,800.0 + 1,466,750.0 / 24.0 = 2.219E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1} / n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,466,750.0 / 24.0) \times 902.4 / 221,914.6 = 248.5 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 902.4 - 248.5 = 653.9 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v2} &= (I_s + A_s \cdot v_2^2) + (I_c / n_2 + A_c / n_2 \cdot d_{c,v2}^2) \\ &= (76,206,001,990.0 + 160,800.0 \times 248.5^2) + (7,639,322,916.7 / 24.0 \\ &\quad + 1,466,750.0 / 24.0 \times 653.9^2) = 1.126E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

- 합성단면도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v2} = y_{su} - v_2 = 747.4 - 248.5 = 498.9 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v2} = y_{sl} - v_2 = -792.6 - 248.5 = -1,041.1 \text{ mm}$$

- 합성단면 도심에서 바닥판 콘크리트 연단거리

$$y_{cu,v2} = d_{c,v2} + T_c / 2 = 653.9 + 250.0 / 2 = 778.9 \text{ mm}$$

$$y_{cl,v2} = y_{cu,v2} - T_c = 778.9 - 250.0 = 528.9 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1} / n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,466,750.0 / 24.0 = 3.383E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 3,382,692.2 \times 778.9 = 2.212E+09 \text{ N}\cdot\text{mn}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량을 계산하기 위해

$$E_{c2} = E_s / n_2 = 205,000.0 / 24.0 = 8,541.667 \text{ MPa}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

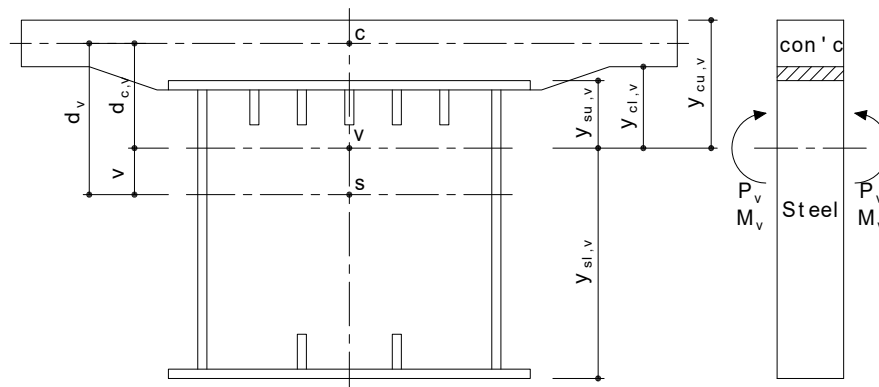
$$\begin{aligned} f_{cu,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cu,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times 778.9/112,582,818,392.4) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = \mathbf{-1.642 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,v2} &= 1/n_2 \cdot (P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{cl,v2}/I_{v2}) - E_{c2} \cdot \epsilon_s \\ &= (1/24.0) \times (3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times 528.9/112,582,818,392.4) \\ &\quad - 8,541.7 \times 0.000270 = \mathbf{-1.651 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v2}/I_{v2} \\ &= 3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times 498.9/112,582,818,392.4 = \mathbf{15.694 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v2}/A_{v2} + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v2}/I_{v2} \\ &= 3,382,692.2/221,914.6 + 0.046 \times 2,211,790,811.7 \times -1,041.1/112,582,818,392.4 = \mathbf{14.302 \text{ MPa}} \end{aligned}$$



(6) 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

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1} / n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,466,750.0 / 8.0 = 4.510E+06 \text{ N}$$

- P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v} = 4,510,256.3 \times 421.6 = 1.902E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 바닥판 콘크리트의 응력변화량

$$\begin{aligned} f_{cu,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cu,w}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times 546.6/146,915,862,837.5) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -1.525 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{cl,t} &= 1/n \cdot (P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{cl,w}/I_v) - E_c \cdot \epsilon_t \\ &= (1/8.0) \times (4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times 296.6/146,915,862,837.5) \\ &\quad - 26,701.7 \times 0.000120 = -1.544 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$\begin{aligned} f_{su,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,w}/I_v \\ &= 4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times 266.6/146,915,862,837.5 = 13.264 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{sl,v2} &= P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,w}/I_v \\ &= 4,510,256.3/344,143.8 + 0.046 \times 1,901,641,921.1 \times -1,273.4/146,915,862,837.5 = 12.348 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(7) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$\begin{aligned} v &= (V_s + V_{sc} + V_v)/A_w + M_{st}/(2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt})/(2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 706.183/36,000.0 + 8.008/111,099,840.0 + 410.234/113,383,965.0 = 23.306 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\text{※ } v = 23.3 \text{ MPa} \leq v_a = 110.0 \text{ MPa} \quad \dots \text{O.K !!}$$

(8) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\varphi/n)^2 + 0.13(\varphi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, φ : 응력 구배 ($\varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

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

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 190.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (상부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm} > t_u = 20 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} < b / 24.0 \cdot i \cdot n = 20.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 - 3.9 \{b/(t_u \cdot i \cdot n) - 24.0\} = 186.1 \text{ MPa}$$

$$b / 80.0 \cdot i \cdot n = 6.3 \text{ mm} \leq t_u = 20 \text{ mm} \geq b / 49.0 \cdot i \cdot n = 10.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{(t_u \cdot i \cdot n)/b\}^2 = 352.0 \text{ MPa}$$

$$f_{ca} = 190.0 \text{ MPa} \text{ (합성후 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 고정되어 있는 경우 및 박스형$$

단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우)

$$\therefore f_{ca} = 186.1 \text{ MPa}$$

▪ 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	-	-	-	-	42.503	-45.078	186.100	190.000
1+2+3	2.333	1.266	10.800	10.800	51.606	-88.551	190.000	190.000
1+2+3+4	2.021	1.154	10.800	10.800	53.617	-86.702	218.500	190.000
1+2+3+4+5	0.380	-0.498	10.800	1.890	69.311	-72.400	218.500	190.000
1+2+3+4+5+6	-1.146	-2.042	2.174	2.174	82.575	-60.052	247.000	218.500
1+2+3+4+5-6	1.905	1.046	12.420	12.420	56.046	-84.748	247.000	218.500

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(9) 합성응력의 검토

(도.설 3.8.2.4)

하 중 조 합	$(f/f_a)^2$		$(v/u_a)^2$		합성응력		판 별	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.052	0.056	0.045	0.045	0.097	0.101	O.K !!	O.K !!
1+2+3	0.074	0.217	0.045	0.045	0.119	0.262	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4	0.060	0.208	0.045	0.045	0.105	0.253	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5	0.101	0.145	0.045	0.045	0.146	0.190	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5+6	0.112	0.076	0.045	0.045	0.157	0.120	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5-6	0.051	0.150	0.045	0.045	0.096	0.195	O.K !!	O.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/u_a)^2 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[상 연]

$$\left(\frac{82.575}{247.000} \right)^2 + \left(\frac{23.306}{110.000} \right)^2 = 0.112 + 0.045 = 0.157 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[하 연]

$$\left(\frac{-88.551}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{23.306}{110.000} \right)^2 = 0.217 + 0.045 = 0.262 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

(10) 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)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

$$t_{\min} = b/(49 \cdot i \cdot n) = 2,500.0 / (49 \times 1.0 \times 5) = 10.2 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

(합성형 스티드 설치시) $t_{\min} = 10.0 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$

- 인장(하부) 플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 88.0 / 16.0 = 5.5 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (☞ 도.설.기 3.8.4.1)

$$t_{\min} = b/(219 \times 1.200) = 1,500.0 / (219 \times 1.200) = 5.7 \leq t_{\text{use}} = 12.0 \text{ mm} \dots \mathbf{O.K !!}$$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 42.503)} = 2.11 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.기 3.9.3.2)

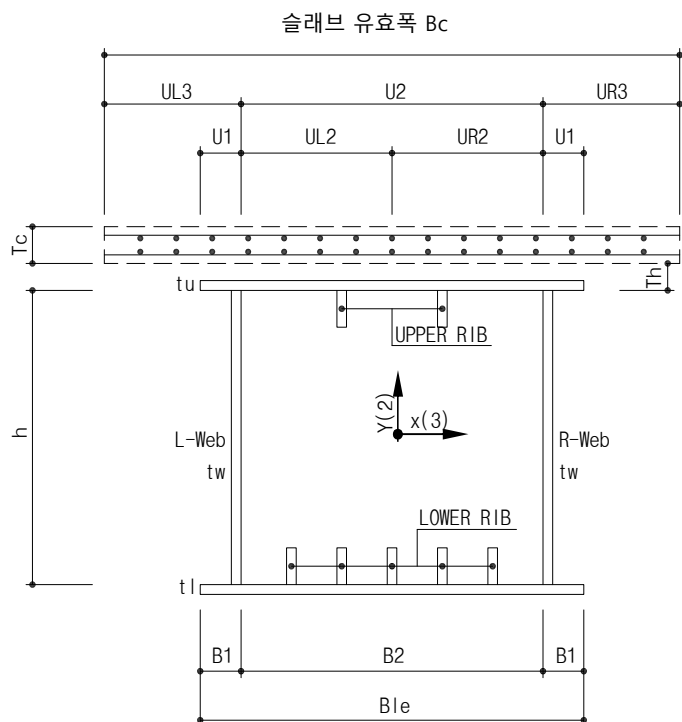
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

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	-	-	-	-	55.254	-58.601	315.000	O.K !!
1+2+3	4.642	2.519	16.200	O.K !!	73.369	-145.115	315.000	O.K !!
1+2+3+6	6.168	4.063	16.200	O.K !!	86.633	-157.463	315.000	O.K !!
1+2+3+4	4.331	2.407	16.200	O.K !!	75.380	-143.267	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5	2.689	0.756	16.200	O.K !!	91.074	-128.964	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5+6	1.164	-0.788	16.200	O.K !!	104.339	-116.617	315.000	O.K !!
1+2+3+4+5-6	4.214	2.300	16.200	O.K !!	77.810	-141.312	315.000	O.K !!

4. 단 면 검 토(부모멘트)

4.2 단면가정 및 설계조건

지점부 외측거더



주부재 강종: SWS50B

Bc = 4,908.0 mm

U1 = 100.0 mm

UL2 = 1,250.0 mm

UR2 = 1,250.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,348.7 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,348.7 mm

B1 = 100.0 mm

B2 = 2,500.0 mm

Tc = 250.0 mm

Th = 50.0 mm

h = 3,000.0 mm

$\Theta_L = 0.000^\circ$

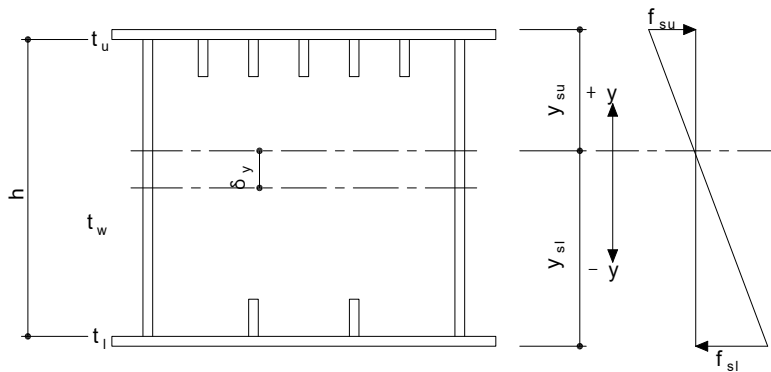
$\Theta_R = 0.000^\circ$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,701.7
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	-	8
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	°C	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-15,214.215
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-3,346.850
M_v : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	-7,886.951
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1,545.606
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-334.670
V_v : 활하중에 의한 전단력	kN	845.637
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-488.447
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-39.465
M_{vt} : 활하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-840.208
t _{cu} , t _{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	40 , 40

X(3)축 방향 단면 제원

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 - 2,348.7 × 20.0	46,974.0	1,510.0	7.093E+07	1.071E+11	1.566E+06
UPPER RIB	2 - 200.0 × 14.0	5,600.0	1,400.0	7.840E+06	1.098E+10	1.867E+07
L - WEB	1 - 3,000.0 × 14.0	42,000.0	-	-	-	3.150E+10
R - WEB	1 - 3,000.0 × 14.0	42,000.0	-	-	-	3.150E+10
LOWER RIB	4 - 200.0 × 14.0	11,200.0	-1,400.0	-1.568E+07	2.195E+10	3.733E+07
LOWER FL.	1 - 2,348.7 × 20.0	46,974.0	-1,510.0	-7.093E+07	1.071E+11	1.566E+06
강재 단면 합계		194,747.9	-	-7.840E+06	2.471E+11	6.306E+10
UPPER RE-Bar (A_{ru})		3,376.2	1,760.0	5,942,112.0	10,458,117,120.0	-
LOWER RE-Bar (A_{rl})		3,376.2	1,590.0	5,368,158.0	8,535,371,220.0	-
RE-Bar 합계		6,752.4	-	1.131E+07	1.899E+10	-
RC. SLAB	1 - 4,908.0 × 250.0	1,227,000.0	1,675.0	2.055E+09	3.443E+12	6.391E+09
※ $A_s = 194,747.9 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,227,000.0 \text{ mm}^2$ $A_r = 6,752.4 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -7,840,000.0 / 194,747.9 = -40.257 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 3,000.0 / 2 + 20.0 - -40.257 = 1,560.257 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 3,000.0 / 2 + 20.0 + -40.257 \} = -1,479.743 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 63,059,131,597.2 + 247,138,644,791.7 - 194,747.9 \times -40.257^2 = 3.099E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -15,214.215 \times 1,560.3 / 309,882,160,175.6 = -76.604 \text{ MPa}$$

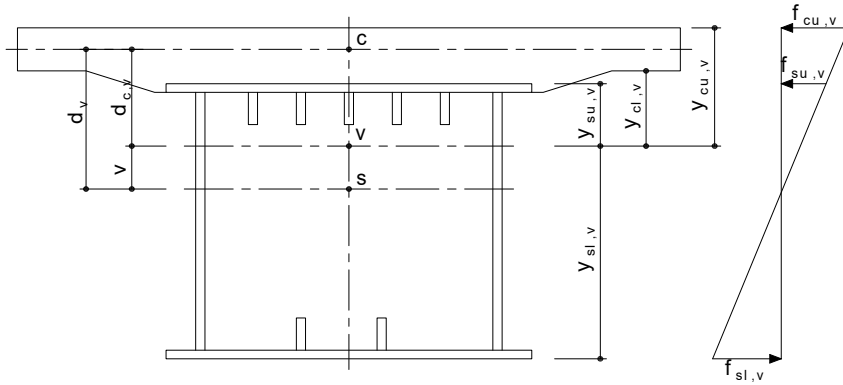
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -15,214.215 \times -1,479.7 / 309,882,160,175.6 = 72.651 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 7.592E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 1,545.606 / 84,000.0 + 488.447 / (2 \times 7,592,280.0 \times 14.0) = 20.698 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 194,747.9 + 6,752.4 = 201,500.3 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,560.3 - 20.0 + 50.0 + 40.0 + (250.0 - 40.0 - 40.0) \times 3,376.2 / 6,752.4 = 1,715.3 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 6,752.4 \times 1,715.3 / 201,500.3 = 57.5 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,715.3 - 57.5 = 1,657.8 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 309,882,160,175.6 + 194,747.9 \times 57.5^2 + 0.0 + 6,752.4 \times 1,657.8^2 = 3.291E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,560.3 - 57.5 = 1,502.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -1,479.7 - 57.5 = -1,537.2 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,657.8 + (250.0 - 40.0 - 40.0) \times 3,376.2 / 6,752.4 = 1,742.8 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,657.8 - (250.0 - 40.0 - 40.0) \times 3,376.2 / 6,752.4 = 1,572.8 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -3,346.850 \times 1,502.8 / 329,082,713,105.7 = -15.284 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -3,346.850 \times -1,537.2 / 329,082,713,105.7 = 15.634 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -3,346.850 \times 1,742.8 / 329,082,713,105.7 = -17.724 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -3,346.850 \times 1,572.8 / 329,082,713,105.7 = -15.996 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h \cdot v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 7.671E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_{sc} / A_w + M_{sc} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 334.670 / 84,000.0 + 39.465 / (2 \times 7,670,842.5 \times 14.0) = 4.168 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -7,886.951 \times 1,502.8 / 329,082,713,105.7 = -36.016 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -7,886.951 \times -1,537.2 / 329,082,713,105.7 = 36.842 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -7,886.951 \times 1,742.8 / 329,082,713,105.7 = -41.768 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -7,886.951 \times 1,572.8 / 329,082,713,105.7 = -37.694 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$v = V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 845.637 / 84,000.0 + 840.208 / (2 \times 7,670,842.5 \times 14.0) = 13.979 \text{ MPa}$$

(4) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

■ 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,227,000.0 / 8.0 = 153,375.0 \text{ mm}^2$$

■ 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 6,390,625,000.0 / 8.0 = 7.988E+08 \text{ mm}^4$$

■ 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 194,747.9 + 153,375.0 = 348,122.9 \text{ mm}^2$$

■ 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c / 2 = 1,560.3 - 20.0 + 50.0 + 250.0 / 2 = 1,715.3 \text{ mm}$$

■ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 153,375.0 \times 1,715.3 / 348,122.9 = 755.7 \text{ mm}$$

■ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,715.3 - 755.7 = 959.6 \text{ mm}$$

■ 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 Φ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\Phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.008 \quad \text{※ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \Phi_1 / 2) = 8.0 \times (1 + 2.0 / 2) = 16.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1} / n_1 = 194,747.9 + 1,227,000.0 / 16.0 = 2.714E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1} / n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,227,000.0 / 16.0) \times 1,715.3 / 271,435.4 = 484.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,715.3 - 484.6 = 1,230.7 \text{ mm}$$

$$I_{v1} = (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c / n_1 + A_c / n_1 \cdot d_{c,v}'^2) = (309,882,160,175.6 + 194,747.9 \times 755.7^2) + (6,390,625,000.0 / 8.0 + 1,227,000.0 / 8.0 \times 959.6^2) = 4.921E+11 \text{ mm}^4$$

■ 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$N_c = M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1}) = -3,346.9 \times 959.6 \times 1,227,000.0 / (8.0 \times 492,109,168,884.6) = -1.001E+06 \text{ N}$$

■ 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\Phi = N_c \cdot 2 \cdot \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1,000,918.7 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.001E+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,000,918.7 \times 1,230.7 = -1.232E+09 \text{ N}\cdot\text{mn}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

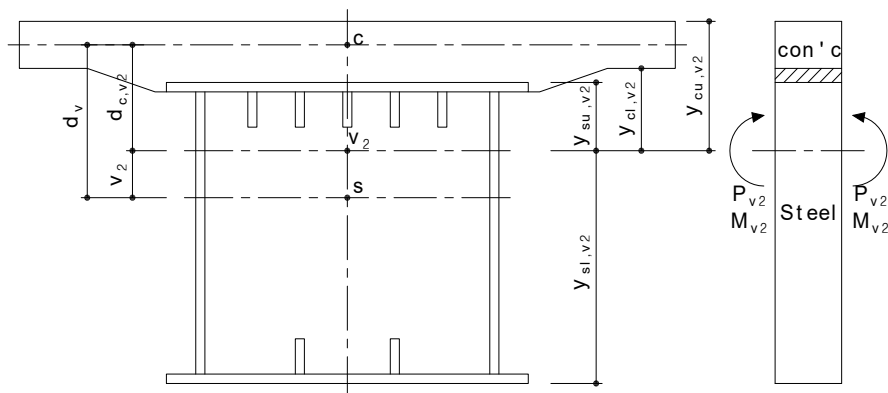
$$f_{ru,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = -1,000,918.7/201,500.3 + -0.008 \times -1,231,783,460.2 \times 1,742.8/329,082,713,105.7 = -4.915 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = -1,000,918.7/201,500.3 + -0.008 \times -1,231,783,460.2 \times 1,572.8/329,082,713,105.7 = -4.920 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v}/I_{rv} = -1,000,918.7/201,500.3 + -0.008 \times -1,231,783,460.2 \times 1,502.8/329,082,713,105.7 = -4.922 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = -1,000,918.7/201,500.3 + -0.008 \times -1,231,783,460.2 \times -1,537.2/329,082,713,105.7 = -5.013 \text{ MPa}$$



(5) 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.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 8.0 \times (1 + 4.0/2) = 24.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 194,747.9 + 1,227,000.0 / 24.0 = 2.459E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,227,000.0/24.0) \times 1,715.3 / 245,872.9 = 356.7 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,715.3 - 356.7 = 1,358.6 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,227,000.0 / 24.0 = 2.830E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,829,768.8 \times 1,358.6 = 3.845E+09 \text{ N}\cdot\text{mn}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

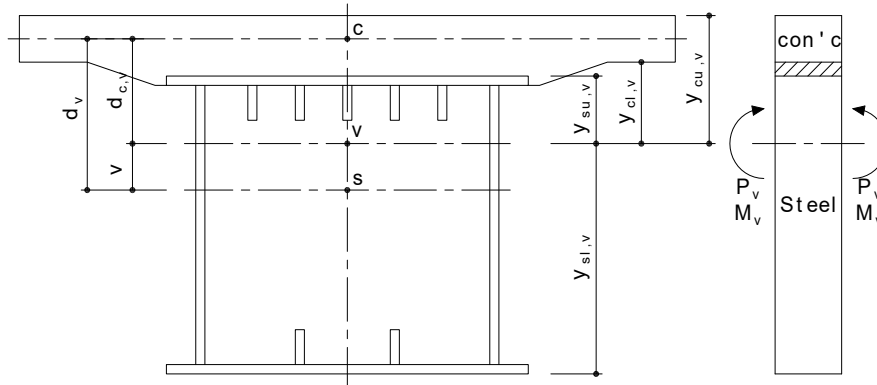
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.008 \times 3,844,521,704.2 \times 1,742.8/329,082,713,105.7 = 13.881 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.008 \times 3,844,521,704.2 \times 1,572.8/329,082,713,105.7 = 13.897 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.008 \times 3,844,521,704.2 \times 1,502.8/329,082,713,105.7 = \mathbf{13.903 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.008 \times 3,844,521,704.2 \times -1,537.2/329,082,713,105.7 = \mathbf{14.187 \text{ MPa}}$$



(6) 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

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,227,000.0 / 8.0 = 3.773E+06 \text{ N}$$

▪ P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v}' = 3,773,025.0 \times 959.6 = 3.620E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,t} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.008 \times 3,620,421,482.7 \times 1,742.8/329,082,713,105.7 \\ - 205,000.0 \times 0.000120 = \mathbf{-6.029 \text{ MPa}}$$

$$f_{rl,t} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.008 \times 3,620,421,482.7 \times 1,572.8/329,082,713,105.7 \\ - 205,000.0 \times 0.000120 = \mathbf{-6.014 \text{ MPa}}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.008 \times 3,620,421,482.7 \times 1,502.8/329,082,713,105.7 = \mathbf{18.592 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.008 \times 3,620,421,482.7 \times -1,537.2/329,082,713,105.7 = \mathbf{18.860 \text{ MPa}}$$

(7) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$v = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 2,725.913 / 84,000.0 + 488.447 / 212,583,840.0 + 879.673 / 214,783,590.0 = 38.845 \text{ MPa}$$

$$\ast v = 38.8 \text{ MPa} \leq v_a = 110.0 \text{ MPa} \quad \dots \text{O.K !!}$$

(8) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\varphi/n)^2 + 0.13(\varphi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, φ : 응력 구배 ($\varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

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 (상부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 190.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 24 \cdot i \cdot n = 2,500.0 / (24 \times 1.000 \times 5) = 20.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$b / 24 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 49 \cdot i \cdot n = 2,500.0 / (49 \times 1.000 \times 5) = 10.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 - 3.9 \{b / (t_l \cdot i \cdot n) - 24\} = 190.0 - 3.9 \{2,500.0 / (20.0 \times 1.0 \times 5) - 24\} = 186.1 \text{ MPa}$$

$$b / 49 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,500.0 / (80 \times 1.000 \times 5) = 6.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_l \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 220,000.0 \times \{ (20.0 \times 1.0 \times 5.0 / 2,500.0) \}^2 = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 20.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 186.1 \text{ MPa}$$

- 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	-	-	-	-	-76.604	72.651	190.000	186.100
1+2+3	-59.493	-53.689	160.000	160.000	-127.903	125.126	190.000	186.100
1+2+3+4	-64.408	-58.610	160.000	160.000	-132.826	120.113	190.000	186.100
1+2+3+4+5	-50.527	-44.713	160.000	160.000	-118.923	134.300	190.000	186.100
1+2+3+4+5+6	-56.556	-50.727	184.000	184.000	-100.330	153.160	218.500	214.015
1+2+3+4+5+6	-44.499	-38.699	184.000	184.000	-137.515	115.440	218.500	214.015

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(9) 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	0.163	0.152	0.125	0.125	0.287	0.277	O.K !!	O.K !!
1+2+3	0.453	0.452	0.125	0.125	0.578	0.577	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4	0.489	0.417	0.125	0.125	0.613	0.541	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5	0.392	0.521	0.125	0.125	0.516	0.645	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5+6	0.211	0.512	0.125	0.125	0.336	0.637	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5-6	0.396	0.291	0.125	0.125	0.521	0.416	O.K !!	O.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[상 연]

$$\left(\frac{-132.826}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{38.845}{110.000} \right) = 0.489 + 0.125 = 0.613 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[하 연]

$$\left(\frac{134.300}{186.100} \right)^2 + \left(\frac{38.845}{110.000} \right) = 0.521 + 0.125 = 0.645 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

(10) 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)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 86.0 / 16.0 = 5.4 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

$$(\text{합성형 스티드 설치시}) \quad t_{\min} = 10.0 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 86.0 / 16.0 = 5.4 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

$$t_{\min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2,500.0 / (49 \times 1.0 \times 5.0) = 10.2 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{\min} = b / (219 \times 1.200) = 3,000.0 / (219 \times 1.200) = 11.4 \leq t_{\text{use}} = 14.0 \text{ mm O.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 72.651)} = 1.62 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

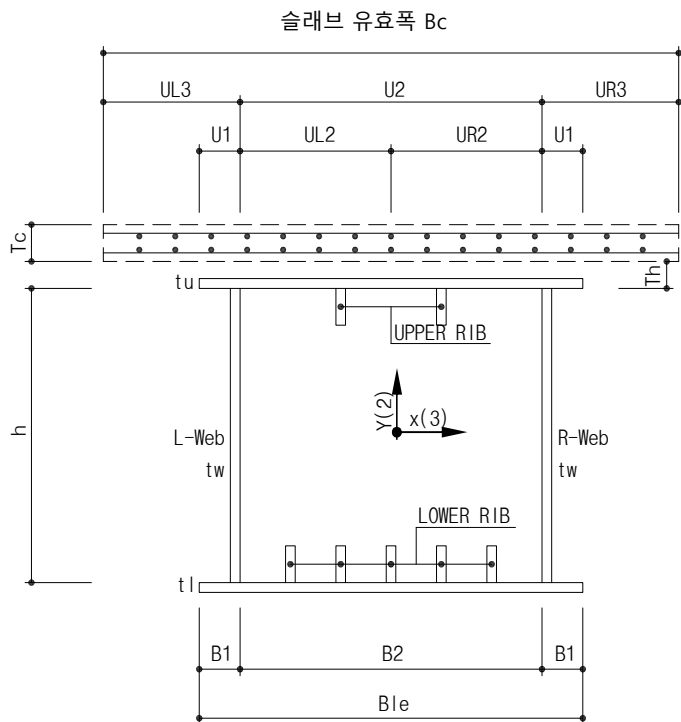
- 활하중(충격을 포함)의 2.15배와 고정하중의 1.3배, 바닥판 콘크리트의 건조수축 및 크리프의 영향, 바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차에 의한 응력 중 가장 불리한 조합에 대하여 검사하는 것으로 한다.
- 콘크리트의 압축연응력은 f_{ck} 의 3/5를 넘어서는 안된다.

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	-	-	-	-	-99.585	94.446	315.000	O.K !!
1+2+3	-112.844	-101.836	400.000	O.K !!	-196.888	193.980	315.000	O.K !!
1+2+3+7	-118.872	-107.850	400.000	O.K !!	-215.481	212.840	315.000	O.K !!
1+2+3+5	-117.759	-106.756	400.000	O.K !!	-201.811	188.966	315.000	O.K !!
1+2+3+5+6	-103.878	-92.860	400.000	O.K !!	-187.908	203.154	315.000	O.K !!
1+2+3+5+6+7	-109.907	-98.874	400.000	O.K !!	-169.315	222.013	315.000	O.K !!
1+2+3+5+6-7	-97.849	-86.846	400.000	O.K !!	-206.500	184.294	315.000	O.K !!

4. 단 면 검 토(부모멘트)

4.2 단면가정 및 설계조건

지점부 내측거더



주부재 강종: SWS50B

$$B_c = 4,908.0 \text{ mm}$$

U1 = 100.0 mm

UL2 = 1,250.0 mm

UR2 = 1,250.0 mm

상부 플랜지 유효폭

Bue = 2,348.7 mm

하부 플랜지 유효폭

Ble = 2,348.7 mm

B1 = 100.0 mm

B2 = 2,500.0 mm

$T_c = 250.0 \text{ mm}$

Th = 50.0 mm

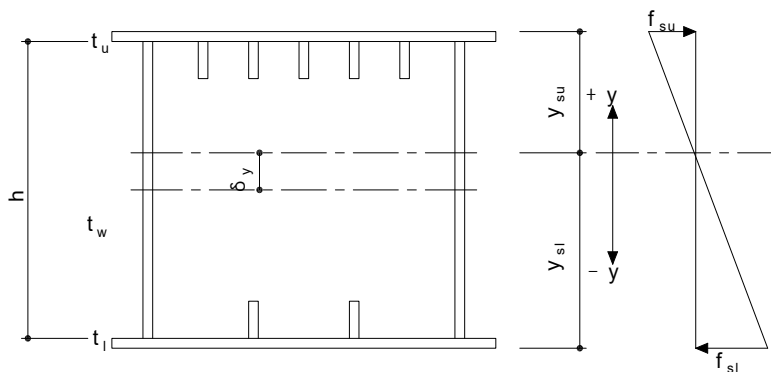
$$h = 3,000.0 \text{ mm}$$
$$\Theta_1 = 0.000^\circ$$
$$\Theta_R = 0.000^\circ$$

구 분	단 위	입력 Data
E_s : 강재 탄성계수	MPa	205,000.0
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,701.7
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	-	8
Δt : 강과 콘크리트의 온도차	°C	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-16,568.814
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-3,683.798
M_v : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	-7,040.102
V_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1,707.044
V_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-384.628
V_v : 활하중에 의한 전단력	kN	702.489
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-103.589
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	-23.406
M_{vt} : 활하중에 의한 비틀림 모멘트	kN·m	1,251.794
t_{cu}, t_{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	40 , 40

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 - 2,348.7 × 20.0	46,974.0	1,510.0	7.093E+07	1.071E+11	1.566E+06
UPPER RIB	2 - 200.0 × 14.0	5,600.0	1,400.0	7.840E+06	1.098E+10	1.867E+07
L - WEB	1 - 3,000.0 × 14.0	42,000.0	-	-	-	3.150E+10
R - WEB	1 - 3,000.0 × 14.0	42,000.0	-	-	-	3.150E+10
LOWER RIB	4 - 200.0 × 14.0	11,200.0	-1,400.0	-1.568E+07	2.195E+10	3.733E+07
LOWER FL.	1 - 2,348.7 × 20.0	46,974.0	-1,510.0	-7.093E+07	1.071E+11	1.566E+06
강재 단면 합계		194,747.9	-	-7.840E+06	2.471E+11	6.306E+10
UPPER RE-Bar (A_{ru})		3,376.2	1,760.0	5,942,112.0	10,458,117,120.0	-
LOWER RE-Bar (A_{rl})		3,376.2	1,590.0	5,368,158.0	8,535,371,220.0	-
RE-Bar 합계		6,752.4	-	1.131E+07	1.899E+10	-
RC. SLAB	1 - 4,908.0 × 250.0	1,227,000.0	1,675.0	2.055E+09	3.443E+12	6.391E+09
※ $A_s = 194,747.9 \text{ mm}^2$ $A_{c1} = 1,227,000.0 \text{ mm}^2$ $A_r = 6,752.4 \text{ mm}^2$						

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

▪ 도심축 이동량

$$\delta_y = \sum A_s Y / \sum A_s = -7,840,000.0 / 194,747.9 = -40.257 \text{ mm}$$

▪ 도심축에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su} = h/2 + t_u - \delta_y = 3,000.0 / 2 + 20.0 - -40.257 = 1,560.257 \text{ mm}$$

$$y_{sl} = -\{ h/2 + t_l + \delta_y \} = -\{ 3,000.0 / 2 + 20.0 + -40.257 \} = -1,479.743 \text{ mm}$$

▪ 강재의 단면2차 모멘트

$$I_s = \sum I_{xo} + \sum A_s Y^2 - A_s \cdot \delta_y^2 = 63,059,131,597.2 + 247,138,644,791.7 - 194,747.9 \times -40.257^2 = 3.099E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 플랜지 응력 검토

(도.설.해 3.8.2.1)

$$f_{su} = M_s \cdot y_{su} / I_s = -16,568.814 \times 1,560.3 / 309,882,160,175.6 = -83.424 \text{ MPa}$$

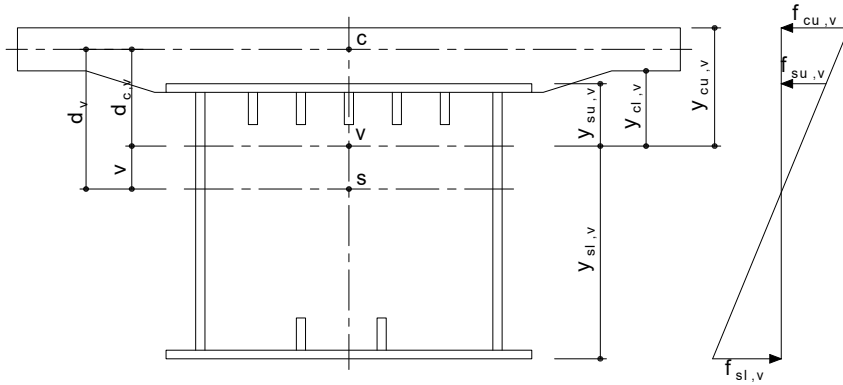
$$f_{sl} = M_s \cdot y_{sl} / I_s = -16,568.814 \times -1,479.7 / 309,882,160,175.6 = 79.119 \text{ MPa}$$

▪ 부재의 전단응력 검토

(도.설.해 3.8.2.2, 도.설.해 3.8.2.3)

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 7.592E+06 \text{ mm}^2$$

$$v = V_s / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) = 1,707.044 / 84,000.0 + 103.589 / (2 \times 7,592,280.0 \times 14.0) = 20.809 \text{ MPa}$$



(2) 합 성 후

▪ 합성 단면적

$$A_v = A_s + A_r = 194,747.9 + 6,752.4 = 201,500.3 \text{ mm}^2$$

▪ 강재도심선에서 철근 도심까지의 거리

$$d_v = y_{su} - t_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,560.3 - 20.0 + 50.0 + 40.0 + (250.0 - 40.0 - 40.0) \times 3,376.2 / 6,752.4 = 1,715.3 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v = A_r \times d_v / A_v = 6,752.4 \times 1,715.3 / 201,500.3 = 57.5 \text{ mm}$$

▪ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{r,v} = d_v - v = 1,715.3 - 57.5 = 1,657.8 \text{ mm}$$

▪ 합성단면의 단면2차 모멘트

$$I_{rv} = I_s + A_s \cdot v^2 + I_r + A_r \cdot d_{r,v}^2 = 309,882,160,175.6 + 194,747.9 \times 57.5^2 + 0.0 + 6,752.4 \times 1,657.8^2 = 3.291E+11 \text{ mm}^4$$

▪ 합성단면 도심에서 상·하부 플랜지 연단거리

$$y_{su,v} = y_{su} - v = 1,560.3 - 57.5 = 1,502.8 \text{ mm}$$

$$y_{sl,v} = y_{sl} - v = -1,479.7 - 57.5 = -1,537.2 \text{ mm}$$

▪ 합성단면 도심에서 바닥판 주철근 상·하연까지의 거리

$$y_{ru,v} = d_{r,v} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{rl} / A_r = 1,657.8 + (250.0 - 40.0 - 40.0) \times 3,376.2 / 6,752.4 = 1,742.8 \text{ mm}$$

$$y_{rl,v} = d_{r,v} - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \times A_{ru} / A_r = 1,657.8 - (250.0 - 40.0 - 40.0) \times 3,376.2 / 6,752.4 = 1,572.8 \text{ mm}$$

▪ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_{sc} \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -3,683.798 \times 1,502.8 / 329,082,713,105.7 = -16.822 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_{sc} \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -3,683.798 \times -1,537.2 / 329,082,713,105.7 = 17.208 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_{sc} \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -3,683.798 \times 1,742.8 / 329,082,713,105.7 = -19.509 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_{sc} \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -3,683.798 \times 1,572.8 / 329,082,713,105.7 = -17.606 \text{ MPa}$$

▪ 전단응력 검토

$$F_v = b \cdot h \cdot v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 7.671E+06 \text{ mm}^2$$

$$u = V_{sc} / A_w + M_{sc} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) = 384.628 / 84,000.0 + 23.406 / (2 \times 7,670,842.5 \times 14.0) = 4.688 \text{ MPa}$$

(3) 활 하 중

■ 응 력 검 토

$$f_{su,v} = M_v \cdot y_{su,v} / I_{rv} = -7,040.102 \times 1,502.8 / 329,082,713,105.7 = -32.149 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v} = M_v \cdot y_{sl,v} / I_{rv} = -7,040.102 \times -1,537.2 / 329,082,713,105.7 = 32.886 \text{ MPa}$$

$$f_{ru,v} = M_v \cdot y_{ru,v} / I_{rv} = -7,040.102 \times 1,742.8 / 329,082,713,105.7 = -37.283 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v} = M_v \cdot y_{rl,v} / I_{rv} = -7,040.102 \times 1,572.8 / 329,082,713,105.7 = -33.647 \text{ MPa}$$

■ 전단응력 검토

$$\begin{aligned} v &= V_v / A_w + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot t_w) \\ &= 702.489 / 84,000.0 + 1,251.794 / (2 \times 7,670,842.5 \times 14.0) = 14.191 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(4) 바닥판 콘크리트의 크리프 영향

(도.설.해 3.9.2.6)

■ 바닥판 콘크리트 환산단면적

$$A_{cn1} = A_{c1} / n = 1,227,000.0 / 8.0 = 153,375.0 \text{ mm}^2$$

■ 바닥판 콘크리트 환산단면 2차모멘트

$$I_{cn1} = I_{c1} / n = 6,390,625,000.0 / 8.0 = 7.988E+08 \text{ mm}^4$$

■ 합성 단면적

$$A_v' = A_s + A_{cn1} = 194,747.9 + 153,375.0 = 348,122.9 \text{ mm}^2$$

■ 강재도심선에서 콘크리트 바닥판 도심까지의 거리

$$d_v' = y_{su} - t_u + T_h + T_c/2 = 1,560.3 - 20.0 + 50.0 + 250.0/2 = 1,715.3 \text{ mm}$$

■ 합성 단면의 도심축 이동량

$$v' = A_{cn1} \times d_v' / A_v' = 153,375.0 \times 1,715.3 / 348,122.9 = 755.7 \text{ mm}$$

■ 합성 단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리

$$d_{c,v}' = d_v' - v' = 1,715.3 - 755.7 = 959.6 \text{ mm}$$

■ 합성단면으로서의 바닥판 콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 바닥판 콘크리트의 크리프에 의한 응력의 계산에 쓰이는 크리프계수 Φ_1 은 2.0을 표준으로 한다.

$$\Phi_1 = 2.0$$

$$k = -0.007 \quad \times \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려}$$

$$n_1 = n \cdot (1 + \Phi_1/2) = 8.0 \times (1 + 2.0/2) = 16.000$$

$$A_{v1} = A_s + A_{c1}/n_1 = 194,747.9 + 1,227,000.0 / 16.0 = 2.714E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_1 = (A_{c1}/n_1) \times d_v' / A_{v1} = (1,227,000.0/16.0) \times 1,715.3 / 271,435.4 = 484.6 \text{ mm}$$

$$d_{c,v1} = d_v' - v_1 = 1,715.3 - 484.6 = 1,230.7 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} I_{v1} &= (I_s + A_s \cdot v'^2) + (I_c/n_1 + A_c/n_1 \cdot d_{c,v}'^2) \\ &= (309,882,160,175.6 + 194,747.9 \times 755.7^2) + (6,390,625,000.0/8.0 \\ &\quad + 1,227,000.0/8.0 \times 959.6^2) = 4.921E+11 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

■ 크리프를 일으키기 전, 2차 고정하중에 의해 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$\begin{aligned} N_c &= M_{sc} \cdot d_{c,v}' \cdot A_{c1} / (n \cdot I_{v1}) \\ &= -3,683.8 \times 959.6 \times 1,227,000.0 / (8.0 \times 492,109,168,884.6) = -1.102E+06 \text{ N} \end{aligned}$$

■ 강재보와 결합으로 인해 바닥판에 생기는 압축력

$$P_\Phi = N_c \cdot 2 \cdot \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1,101,687.4 \times 2 \times 2.0 / (2 + 2.0) = -1.102E+06 \text{ N}$$

- P_ϕ 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_\phi = P_\phi \times d_{c,v1} = -1,101,687.4 \times 1,230.7 = -1.356E+09 \text{ N}\cdot\text{mn}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

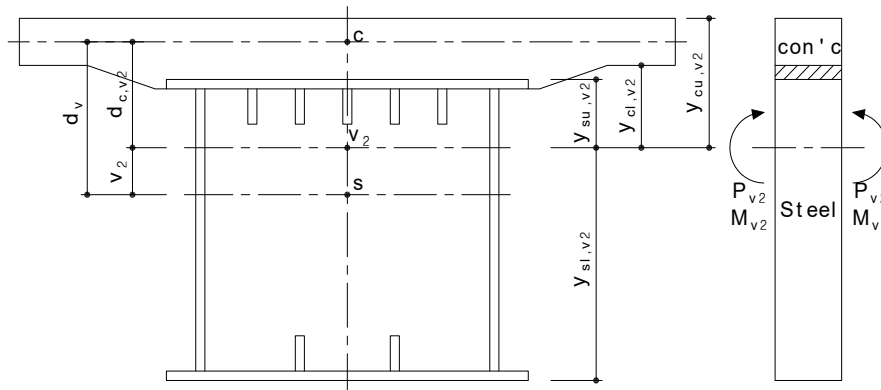
$$f_{ru,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = -1,101,687.4/201,500.3 + -0.007 \times -1,355,794,686.6 \times 1,742.8/329,082,713,105.7 = -5.417 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = -1,101,687.4/201,500.3 + -0.007 \times -1,355,794,686.6 \times 1,572.8/329,082,713,105.7 = -5.422 \text{ MPa}$$

- 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{su,v}/I_{rv} = -1,101,687.4/201,500.3 + -0.007 \times -1,355,794,686.6 \times 1,502.8/329,082,713,105.7 = -5.424 \text{ MPa}$$

$$f_{sl,v1} = P_\phi/A_v + k \cdot M_\phi \cdot y_{sl,v}/I_{rv} = -1,101,687.4/201,500.3 + -0.007 \times -1,355,794,686.6 \times -1,537.2/329,082,713,105.7 = -5.512 \text{ MPa}$$



(5) 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.

$$\Phi_2 = 4.0$$

$$n_2 = n \cdot (1 + \phi_2/2) = 8.0 \times (1 + 4.0/2) = 24.000$$

$$A_{v2} = A_s + A_{c1}/n_2 = 194,747.9 + 1,227,000.0 / 24.0 = 2.459E+05 \text{ mm}^2$$

$$v_2 = (A_{c1}/n_2) \times d_v / A_{v2} = (1,227,000.0/24.0) \times 1,715.3 / 245,872.9 = 356.7 \text{ mm}$$

$$d_{c,v2} = d_v - v_2 = 1,715.3 - 356.7 = 1,358.6 \text{ mm}$$

- 바닥판 콘크리트에 작용하는 압축력

$$P_{v2} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_{c1}/n_2 = 205,000.0 \times 0.000270 \times 1,227,000.0 / 24.0 = 2.830E+06 \text{ N}$$

- P_{v2} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v2} = P_{v2} \times d_{c,v2} = 2,829,768.8 \times 1,358.6 = 3.845E+09 \text{ N}\cdot\text{mn}$$

- 바닥판 철근 응력 변화량

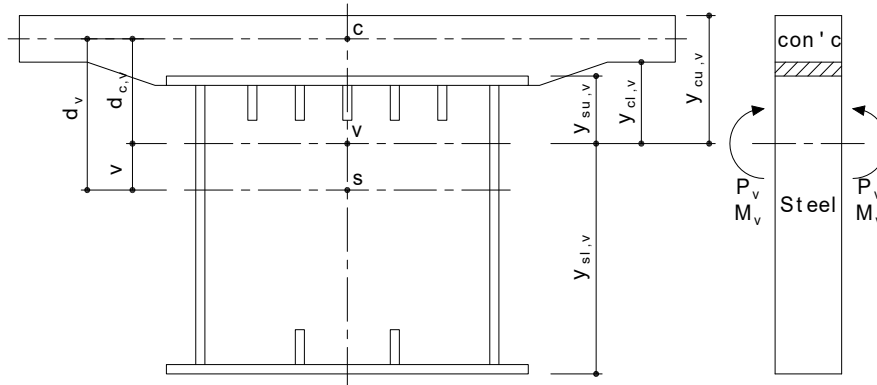
$$f_{ru,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.007 \times 3,844,521,704.2 \times 1,742.8/329,082,713,105.7 = 13.901 \text{ MPa}$$

$$f_{rl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.007 \times 3,844,521,704.2 \times 1,572.8/329,082,713,105.7 = 13.915 \text{ MPa}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.007 \times 3,844,521,704.2 \times 1,502.8/329,082,713,105.7 = \mathbf{13.921 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v2}/A_v + k \cdot M_{v2} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ = 2,829,768.8/201,500.3 + -0.007 \times 3,844,521,704.2 \times -1,537.2/329,082,713,105.7 = \mathbf{14.169 \text{ MPa}}$$



(6) 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

$$P_{v1} = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_{c1}/n = 205,000.0 \times 0.000120 \times 1,227,000.0 / 8.0 = 3.773E+06 \text{ N}$$

▪ P_{v1} 에 의해 합성단면에 발생하는 휨모멘트

$$M_{v1} = P_{v1} \times d_{c,v}' = 3,773,025.0 \times 959.6 = 3.620E+09 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

▪ 바닥판 철근 응력 변화량

$$f_{ru,t} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{ru,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.007 \times 3,620,421,482.7 \times 1,742.8/329,082,713,105.7 \\ - 205,000.0 \times 0.000120 = \mathbf{-6.010 \text{ MPa}}$$

$$f_{rl,t} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{rl,v}/I_{rv} - E_s \cdot \epsilon_t \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.007 \times 3,620,421,482.7 \times 1,572.8/329,082,713,105.7 \\ - 205,000.0 \times 0.000120 = \mathbf{-5.996 \text{ MPa}}$$

▪ 강재보 상·하부 플랜지 응력 변화량

$$f_{su,v2} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{su,v}/I_{rv} \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.007 \times 3,620,421,482.7 \times 1,502.8/329,082,713,105.7 = \mathbf{18.609 \text{ MPa}}$$

$$f_{sl,v2} = P_{v1}/A_v + k \cdot M_{v1} \cdot y_{sl,v}/I_{rv} \\ = 3,773,025.0/201,500.3 + -0.007 \times 3,620,421,482.7 \times -1,537.2/329,082,713,105.7 = \mathbf{18.843 \text{ MPa}}$$

(7) 전단 및 비틀림

- 풍하중 비재하시의 전단응력

$$v = (V_s + V_{sc} + V_v) / A_w + M_{st} / (2 \cdot F \cdot t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot t_w)$$

$$= 2,794.161 / 84,000.0 + 103.589 / 212,583,840.0 + 1,275.200 / 214,783,590.0 = 39.688 \text{ MPa}$$

$$\ast v = 39.7 \text{ MPa} \leq v_a = 110.0 \text{ MPa} \quad \dots \text{O.K !!}$$

(8) 조합 응력의 검토

(도.설.해 3.4.2.3)

$$i = 0.65(\varphi/n)^2 + 0.13(\varphi/n) + 1.0 = 1.000$$

여기서, φ : 응력 구배 ($\varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0$)

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 (상부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.3.2)

$$f_{ta} = 190.0 \text{ MPa}$$

- 압축 (하부)플랜지의 허용응력

(SWS50B 사용)

(도.설.해 3.4.2.3)

$$t_l \geq b / 24 \cdot i \cdot n = 2,500.0 / (24 \times 1.000 \times 5) = 20.8 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$b / 24 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 49 \cdot i \cdot n = 2,500.0 / (49 \times 1.000 \times 5) = 10.2 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 190.0 - 3.9 \{b / (t_l \cdot i \cdot n) - 24\} = 190.0 - 3.9 \{2,500.0 / (20.0 \times 1.0 \times 5) - 24\} = 186.1 \text{ MPa}$$

$$b / 49 \cdot i \cdot n > t_l \geq b / 80 \cdot i \cdot n = 2,500.0 / (80 \times 1.000 \times 5) = 6.3 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow f_{ca} = 220,000 \{ (t_l \cdot i \cdot n) / b \}^2 = 220,000.0 \times \{ (20.0 \times 1.0 \times 5.0 / 2,500.0) \}^2 = 352.0 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 20.0 \text{ mm} : \therefore f_{ca} = 186.1 \text{ MPa}$$

- 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	-	-	-	-	-83.424	79.119	190.000	186.100
1+2+3	-56.792	-51.253	160.000	160.000	-132.395	129.213	190.000	186.100
1+2+3+4	-62.209	-56.675	160.000	160.000	-137.819	123.701	190.000	186.100
1+2+3+4+5	-48.309	-42.760	160.000	160.000	-123.899	137.870	190.000	186.100
1+2+3+4+5+6	-54.318	-48.756	184.000	184.000	-105.290	156.713	218.500	214.015
1+2+3+4+5+6	-42.299	-36.763	184.000	184.000	-142.508	119.027	218.500	214.015

주) 압축응력은 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음

(9) 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	0.193	0.181	0.130	0.130	0.323	0.311	O.K !!	O.K !!
1+2+3	0.486	0.482	0.130	0.130	0.616	0.612	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4	0.526	0.442	0.130	0.130	0.656	0.572	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5	0.425	0.549	0.130	0.130	0.555	0.679	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5+6	0.232	0.536	0.130	0.130	0.362	0.666	O.K !!	O.K !!
1+2+3+4+5-6	0.425	0.309	0.130	0.130	0.556	0.439	O.K !!	O.K !!

$$(f/f_a)^2 + (v/v_a)^2 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[상 연]

$$\left(\frac{-137.819}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{39.688}{110.000} \right) = 0.526 + 0.130 = 0.656 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

[하 연]

$$\left(\frac{137.870}{186.100} \right)^2 + \left(\frac{39.688}{110.000} \right) = 0.549 + 0.130 = 0.679 \leq 1.2 \text{ O.K !!}$$

(10) 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)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 86.0 / 16.0 = 5.4 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

$$(\text{합성형 스티드 설치시}) \quad t_{\min} = 10.0 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

- 압축(하부) 플랜지 (도.설.기 3.8.3.1, 3.8.3.2)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭}/16 = 86.0 / 16.0 = 5.4 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

$$t_{\min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2,500.0 / (49 \times 1.0 \times 5.0) = 10.2 \leq t_{\text{use}} = 20.0 \text{ mm O.K !!}$$

- 복 부 판 [수평보강재 사용단수 1 단] (도.설.기 3.8.4.1, 3.8.4.2)

$$t_{\min} = b / (219 \times 1.200) = 3,000.0 / (219 \times 1.200) = 11.4 \leq t_{\text{use}} = 14.0 \text{ mm O.K !!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 79.119)} = 1.55 \geq 1.20 \Rightarrow 1.200 \text{ 적용}$$

(11) 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	-	-	-	-	-108.451	102.855	315.000	O.K !!
1+2+3	-105.521	-95.228	400.000	O.K !!	-199.441	195.930	315.000	O.K !!
1+2+3+7	-111.531	-101.224	400.000	O.K !!	-218.050	214.773	315.000	O.K !!
1+2+3+5	-110.938	-100.650	400.000	O.K !!	-204.865	190.418	315.000	O.K !!
1+2+3+5+6	-97.037	-86.735	400.000	O.K !!	-190.944	204.587	315.000	O.K !!
1+2+3+5+6+7	-103.047	-92.732	400.000	O.K !!	-172.335	223.430	315.000	O.K !!
1+2+3+5+6-7	-91.028	-80.739	400.000	O.K !!	-209.553	185.744	315.000	O.K !!

5. 바닥 판 검토

5.1 캔틸레버부

(1) 설계조건

치수		단위중량	
H1	0.200	1. 철근콘크리트	
H2	0.000	25.00	kN/m ³
H3	0.400	2. 아스팔트	
H4	0.000	23.00	kN/m ³
H5	0.300	3. 콘크리트	
H6	0.050	23.50	kN/m ³
L1	0.000	4. 설계속도	
L2	0.450	80.00	km/h
L3	0.000	5. 트럭의 1후륜하중	
L4	0.050	96.00	kN
L5	0.300		
L6	0.150		
L7	0.900		
L8	0.050		

(2) 바닥판 최소 두께 검토

내민 바닥판의 윤하중에 대한 길이

$$L_c = 0.150 < 0.25 \text{ m}$$

$$t_{c,min} = 280L + 180 = 280 \times 0.150 + 180 = 222 > 220 \text{ mm}$$

$$t_{c,use} = 250 > 222 \therefore \text{OK}$$

(3) 고정하중 산정

구분	계산	고정하중	팔길이	모멘트
3	0.4×0.45×25	4.500	0.725	3.263
4	0.05×0.4×½×25	0.250	0.483	0.121
6	0.2×0.95×25	4.750	0.475	2.256
7	0.1×0.9×½×25	1.125	0.350	0.394
8	0.05×0.1×25	0.125	0.025	0.003
9	0.45×0.05×23	0.518	0.225	0.116
10	방호울타리	1.000	0.725	0.725
합계		12.268		6.878

(4) 활하중 산정

윤하중 분포폭

$$E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.150 + 1.14 = 1.260 \text{ m}$$

활하중 (DB-24 : Pr = 96 kN)

$$I (\text{충격계수}) = 15 / (40 + 0.150) = 0.374 \geq 0.300 \therefore i=0.3 \text{ 적용}$$

$$M_{l+i} = P \times X \times (1+i) / E$$

$$= 96 \times 0.150 \times (1 + 0.3) / 1.260 = 14.857 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(5) 원심하중 산정

- 곡선반경(R) = ∞ m, V(설계속도) = 80 km/hr

$$CF = 0.79 \times V^2 / R = 0.790 \times 80^2 / \infty = 0.000 \%$$

$$E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.150 + 1.14 = 1.260 \text{ m}$$

$$P = (Pr / E) \times (CF / 100) = 96.000 / 1.260 \times (0.000 / 100) = 0.000 \text{ kN}$$

$$\text{하중작용점} = 1.800 + 0.350 = 2.150 \text{ m}$$

$$M_{CF} = 0.000 \times 2.150 = 0.000 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(6) 충돌하중

① 수평충돌력 H가 노면상 1m 높이에 교축을 따라 1m 마다 작용시

$$P_H = (80.00 / 60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 15.833$$

$$M_{co} = P_H \times h(\text{작용길이}) = 15.833 \times 1.050 = 16.625 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

② 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10 kN/m 의 수평하중 재하시

$$M_{co} = P_H \times h(\text{작용길이}) = 10.000 \times 0.400 = 4.000 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

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

$$M_{co} = 16.625 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(7) 풍하중

$$P_w = 3.000 \times 0.700 = 2.100 \text{ kN/m}$$

$$M_w = 2.100 \times 0.350 = 0.735 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(8) 극한하중 산정

구분	고정하중	활하중	원심하중	충돌하중	풍하중	부재력
U ₁	1.3	2.15	1.3			40.884
U ₂	1.3	1.3	1.3	1.3		49.868
U ₃	1.3	1.3	1.3		0.65	28.733
U ₄	1.2			1.2	1.2	29.085
U ₅	1.3				1.3	9.897
Mu	MAX					49.868

(9) 단면검토

$$\text{사용철근량 : } A_s = 1588.8 \text{ mm}^2 \quad (H \text{ 16 - 125 mm 간격})$$

$$\text{철근 항복강도 : } f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$\text{유효깊이 : } d = 300 - 40 = 260 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{등가깊이 : } a &= (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_{ck} \times b) \\ &= (1588.8 \times 400) / (0.85 \times 27 \times 1000) \\ &= 27.692 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{저항모멘트 : } \Phi M_n &= \Phi A_s \times f_y \times (d - a/2) \\ &= 0.85 \times 1588.8 \times 400 \times (260 - 27.7 / 2) \\ &= 132970556 \text{ N}\cdot\text{mm} \times 10^{-6} = 132.971 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$\therefore \text{단면검토 결과 } \Phi M_n = 132.971 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq M_u = 49.868 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots \text{ O.K!!}$$

5.2 중앙부

(1) 고정하중 산정

$$W_d = 0.250 \times 25.000 + 0.050 \times 23.000 = 7.400 \text{ kN/m}$$

$$M_d = W_d \times L^2 / 10 = 7.400 \times 2.450^2 / 10 = 4.442 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(2) 활하중 산정

$$\text{- 활하중 (DB-24 : } P_r = 96 \text{ kN)}$$

$$i(\text{충격계수}) = 15 / (40 + 2.450) = 0.353 \geq 0.300 \quad \therefore i=0.3\text{적용}$$

$$\begin{aligned} M_{l+i} &= (L+0.6) \times P \times (1+i) / 9.6 \times 0.8 \\ &= (2.450 + 0.600) \times 96 \times (1 + 0.300) / 9.600 \times 0.8 \\ &= 31.720 \text{ kN}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

(3) 원심하중 산정

$$\text{- 곡선반경(R) = } \infty \text{ m, } V(\text{설계속도}) = 80 \text{ km/hr}$$

$$CF = 0.79 \times V^2 / R = 0.790 \times 80^2 / \infty = 0.000 \%$$

$$(P/E) L / 4 = (L + 0.6) P / 9.6$$

$$E = 2.4 L / (L + 0.6) = 2.400 \times 2.450 / (2.450 + 0.600) = 1.928 \text{ m}$$

$$P = (P_r / E) \times (CF / 100) = 96 / 1.928 \times (0.000 / 100) = 0.000 \text{ kN}$$

$$\text{하중작용점} = 1.800 + 0.350 = 2.150 \text{ m}$$

$$M_{CF} = 0.000 \times 2.150 = 0.000 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(4) 극한하중 산정

구분	고정하중	활하중	원심하중	부재력
U_1	1.3	2.15	1.3	73.972
Mu	MAX			73.972

(5) 단면검토

사용철근량 : $A_s = 1588.8 \text{ mm}^2$ (H 16 - 125 mm 간격)

철근 항복강도 : $f_y = 400 \text{ Mpa}$

유효깊이 : $d = 250 - 40 = 210 \text{ mm}$

등가깊이 : $a = (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_{ck} \times b)$
 $= (1588.8 \times 400) / (0.85 \times 27 \times 1000)$
 $= 27.692 \text{ mm}$

저항모멘트 : $\Phi M_n = \Phi A_s \times f_y \times (d - a/2)$
 $= 0.85 \times 1588.8 \times 400 \times (210 - 27.69 / 2)$
 $= 105960956 \text{ N}\cdot\text{mm} \times 10^{-6} = 105.961 \text{ kN}\cdot\text{m}$

∴ 단면검토 결과 $\Phi M_n = 105.961 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq M_u = 73.972 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots \text{ O.K!!}$

5.3 단면검토 결과요약

구분	발생하중				단면검토 결과	
	고정하중	활하중	극한모멘트	설계모멘트	안전률	결과
켄틸레버부	6.878	14.857	49.868	132.971	2.666	O.K
중앙부	4.442	31.720	73.972	105.961	1.432	O.K

6. 내 하 력 평 가

6.1 바닥판 기본 내하율 산정

구분	설계모멘트	고정하중	활하중	기본내하율	평가
캔틸레버부	132.971	6.878	14.857	3.883	DB-24 이상
중앙부	105.961	4.442	31.720	1.469	DB-24 이상

6.2 주거더 내하력 평가

(1) 응답보정계수 산정

구분	K _δ	i이론	i실측	K _s
A-A	1.053	0.188	0.125	1.112
B-B	6.229	0.177	0.109	6.611
C-C	1.068	0.167	0.093	1.140

(2) 주거더 공용 내하율 산정

구분		고정하중 fd (Mpa)	활하중 f _{L(1+i)} (Mpa)	설계하중 fa (Mpa)	기본 내하율 (RF)
A-A	상연	55.206	8.211	190.000	16.417
	하연	-62.407	-36.150	-190.000	3.530
B-B	상연	-91.887	-36.016	-190.000	2.724
	하연	88.285	36.842	186.100	2.655
C-C	상연	40.897	7.905	190.000	18.862
	하연	-49.360	-37.753	-190.000	3.725

(3) 내하력 평가결과

구분		기본 내하율 (RF)	응답 보정계수 (K _s)	공용 내하율 (RF×K _s)	공용 내하력 (P)
A-A	상연	16.417	1.112	18.248	DB-24 이상
	하연	3.530	1.112	3.923	DB-24 이상
B-B	상연	2.724	6.611	18.010	DB-24 이상
	하연	2.655	6.611	17.553	DB-24 이상
C-C	상연	18.862	1.140	21.502	DB-24 이상
	하연	3.725	1.140	4.247	DB-24 이상