

청도천2교(대구 3@50, S1~S3)-상부구조

1. 설 계 조 건

1) 교 량 제 원

- (1) 교 량 명 : 청도천2교(대구)
 (3) 교 량 형 식 : Steel Box Girder교
 (4) 교 량 연 장 : 3@50 = 150.0m
 (5) 교 량 폭 원 : B = 12.600 m
 (7) 사 각(Skew) : 90.000 °
 (6) Girder 제 원 : B = 2.600 m H = 2.400 m
 (2) 교 량 등 급 : 1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)

(10) 사용재료 및 물리적 특성치

① 강 재

▪ 사 용 재 료

주 부 재	SM490
부 부 재	SM400
강재 탄성계수 (E_{st})	205,000 MPa
강재의 전단탄성계수 (G)	79,000 MPa

▪ 허용 응력 (MPa)

(도.설.해 3.3.2.1)

강 종		SS 400 SM 400 SMA400	SM 490	SM490Y SM 520 SMA490	SM 570 SMA570	HSB500	HSB600	HSB800
응력 종류, 판두께 (mm)	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)			
	축방향 인장응력 및 휨 인장응력							

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

※ TMC 강재일 경우에는 ()안의 값을 적용한다.

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

▪ 항복 응력 (MPa)

(10도.설.해 3.2.5)

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

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

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

※ TMC 강재일 경우에는 일반강재에 40이하 값을 사용함

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

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

※ TMC 강재일 경우에는 ()안의 값을 적용한다.

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

▪ 강재 주거더의 허용응력 증가율

(10 도.설.해 3.9.3.1)

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

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

(10 도.설.해 3.3.2.3)

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

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

콘크리트 설계 기준강도 (f_{ck})	27.0	MPa
콘크리트 탄성계수 (E_c)	26,702	MPa
전단 탄성계수 (G_c)	11,444	MPa
탄성계수비 (n)	7	
바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차	10	℃
바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 (α)	0.000012	
건조수축 계수 (ϵ_s)	0.000270	
CREEP 계수 (ϕ_2)	$\phi_2 = 2\phi_1$: 4	

③ 바닥판 철근

철근 설계 항복강도 (f_y)	400	MPa
철근 탄성계수 (E_s)	200,000	MPa
허용압축응력 (f_{ca})	180	MPa
허용인장응력 (f_{ta})	160	MPa

2) 하 중 조 건

(1) 고 정 하 중

(도.설.해 2.1.2)

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

(2) 활 하 중

(도.설.해 2.1.3)

① 설계 차선수 산정

$$W_c = 11.700 \text{ m}, N = 3 \text{ 차로}$$

$$W = 11.700 / 3 = 3.900 \text{ m} > 3.600 \text{ m}$$

∴ 설계 차로폭 3.600m마다 3차로 연속으로 재하

② 1등급 교량으로서 DB-24 및 DL-24 하중을 적용한다.

▪ DB-24 하중

- 전륜하중 : $P_f = 24.000$ kN

- 후륜하중 : $P_r = 96.000$ kN

▪ DL-24 하중

- 차로당 등분포 하중 : $W_l = 12.700$ kN/m

- 모멘트 계산시 집중하중 : $P_m = 108.000$ kN

③ 충격 계 수

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

(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.

3) 설 계 방 법

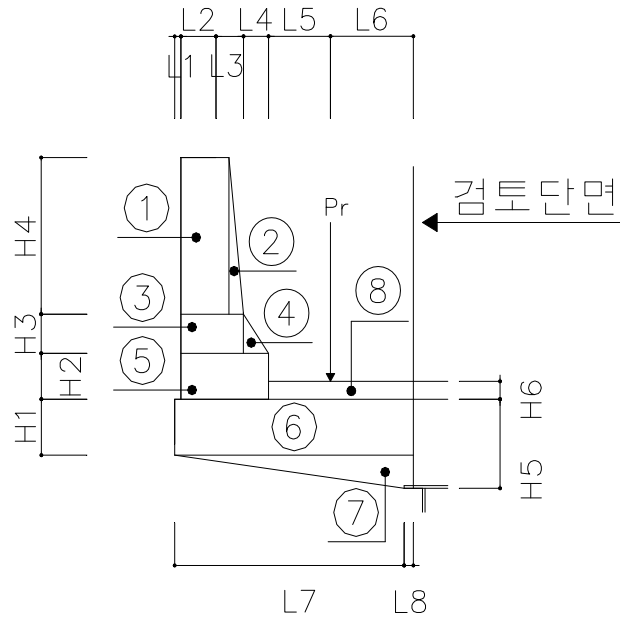
- (1) 바닥판 : 강도설계법
- (2) Steel Box Girder : 허용응력 설계법

4) 참 고 문 헌

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

1. 바닥판설계

1-1. 좌측 캔틸레버부



콘크리트 단위중량	: 25.000 kN/m ³	H1 =	0.250 m	L1 =	0.030 m
포장 단위중량	: 23.000 kN/m ³	H2 =	0.205 m	L2 =	0.230 m
설계 속도	: 120.000 km/h	H3 =	0.175 m	L3 =	0.070 m
트럭의 1후륜하중 (Pr)	: 96.000 kN	H4 =	0.700 m	L4 =	0.120 m
곡선 반경(R)	: ∞ m	H5 =	0.300 m	L5 =	0.300 m
		H6 =	0.080 m	L6 =	0.400 m
				L7 =	1.100 m
				L8 =	0.050 m
				L9 =	0.000 m

가) 고정하중

NO.	작 용 하 중 (kN)	거리 (m)	모멘트(kN · m)
1	$0.23 \times 0.7 \times 25 = 4.025$	1.005	4.045
2	$\frac{1}{2} \times 0.07 \times 0.7 \times 25 = 0.613$	0.867	0.531
3	$0.3 \times 0.175 \times 25 = 1.313$	0.970	1.273
4	$\frac{1}{2} \times 0.12 \times 0.175 \times 25 = 0.263$	0.780	0.205
5	$0.42 \times 0.205 \times 25 = 2.153$	0.910	1.959
6	$1.15 \times 0.25 \times 25 = 7.188$	0.575	4.133
7	$\frac{1}{2} \times 1.15 \times 0.05 \times 25 = 0.719$	0.383	0.276
8	$0.08 \times 0.7 \times 23 = 1.288$	0.350	0.451
TOTAL	17.559		12.872

$$\therefore Md = 12.872 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

나) 활하중 (DB-24 : $Pr = 96 \text{ kN}$)

윤하중 분포폭 (도.설 3.6.1.4)

$$E = 0.8 \cdot X + 1.14 = 0.8 \times 0.4 + 1.14 = 1.46 \text{ m} \quad \text{여기서, } X = 0.400 \text{ m}$$

충격계수 (도.설 2.1.4)

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.4) = 0.371 > 0.3 \quad \therefore i = 0.3$$

$$Ml+i = Pr/E \cdot X \cdot (1 + i) = (96 / 1.46) \times 0.4 \times (1 + 0.3) = 34.192 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

다) 차량 충돌 하중 (도.설.해 2.4.3.5)

수평충돌력 H는 노면상 1.0m 높이에 교축을 따라 1.0m마다 작용시

$$H = (V/60)^2 \times 7.5 + 2.5 = (120/60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 32.500 \text{ kN/m} \quad h = 1.000 \text{ m}$$

$$Mco = 32.500 \times 1.000 = 32.500 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

라) 풍하중

$$Pw = 3.0 \text{ kN/m}^2 \times 1.400 \text{ m} = 4.200 \text{ kN/m}$$

$$Mw = 4.200 \text{ kN/m} \times 0.930 \text{ m} = 3.906 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

마) 하중 조합 (도.설 2.2.3.2)

계수 모멘트

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad Mu1 &= 1.3 \text{ Md} + 2.15 \text{ Ml+i} \\ &= 1.3 \times 12.872 + 2.15 \times 34.192 = 90.246 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad Mu2 &= 1.3 \text{ Md} + 1.3 \text{ Ml+i} + 1.3 \text{ Mco} \\ &= 1.3 \times 12.872 + 1.3 \times 34.192 + 1.3 \times 32.5 = 103.433 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad Mu3 &= 1.3 \text{ Md} + 1.3 \text{ Ml+i} + 0.65 \text{ Mw} \\ &= 1.3 \times 12.872 + 1.3 \times 34.192 + 0.65 \times 3.906 = 63.722 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{4} \quad Mu4 &= 1.2 \text{ Md} + 1.2 \text{ Mw} + 1.2 \text{ Mco} \\ &= 1.2 \times 12.872 + 1.2 \times 3.906 + 1.2 \times 32.5 = 59.133 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{5} \quad Mu5 &= 1.3 \text{ Md} + 1.3 \text{ Mw} \\ &= 1.3 \times 12.872 + 1.3 \times 3.906 = 21.811 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

사용 모멘트

$$\begin{aligned} M &= 1.0 \text{ Md} + 1.0 \text{ Ml+i} + 0.3 \text{ Mw} \\ &= 1.0 \times 12.872 + 1.0 \times 34.192 + 0.3 \times 3.906 = 48.236 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

바) 바닥판의 최소 두께 ($X > 0.25$ 인 경우)

(도.설 3.6.1.5)

$$h_{min} = (80 \cdot L + 230) = \{(80 \times 0.4) + 230\} = 262 \text{ mm}$$

$$h_{use} = 300.0 \text{ mm} > 262.0 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K!!}$$

사) 단면검토

◀ 철근량 산정

① 캔틸레버부

[DESIGN CONDITION]

$$f_{ck} = 27 \text{ MPa} \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$M_u = 103.433 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 300.0 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm} \quad d = 250.0 \text{ mm}$$

$$\phi(\text{Bending}) = 0.85 \quad \beta_1 = 0.85$$

[Req'd d & As]

(콘.설 6.3.2)

$$a = A_s \times f_y / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 0.0174 A_s = 27.692 \text{ mm}$$

$$M_u = \phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = -3.0 A_s^2 + 85000 A_s$$

$$= 103433000$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times (H - a/\beta_1 - D_{c_min}) / (a/\beta_1) = 0.02002 > 0.004$$

O.K.!!

$$0.005 < \epsilon_t \quad \phi_f = 0.850$$

$$\therefore \text{Req'd } A_s = 1273.4 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = \text{Req'd } A_s \times 4/3 = 1697.8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = 0.002 \times b \times d = 500.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = 1.4/f_y \times b \times d = 875.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d = 811.9 \text{ mm}^2$$

$$\text{USE H 16 @ 125} = 1588.8 \text{ mm}^2$$

$$A_{suse} = 1588.8 \text{ mm}^2$$

O.K. !!

[RE-BAR RATIO CHECK]

$$P = A_s / (b \times d) = 0.00636 < P_{max} = 0.75 \times p_b = 0.0219 \quad \mathbf{O.K.!!}$$

[DESIGN MOMENT CHECK]

$$\text{Max. } c = 0.75 \times 600 / (600 + f_y) \times d = 112.500 \text{ mm} > c = a/0.85 = 32.578 \text{ mm}$$

$$\text{Max. } a = 0.85 \times c = 95.625 \text{ mm} > a = f_y \times A_s / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 27.692 \text{ mm}$$

$$j d = d - a/2 = 236.154 \text{ mm}$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 635.520 \text{ kN} \quad T = f_y \times A_s = 635.520 \text{ kN}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \times A_s \times j d = 127.569 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 103.433 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \mathbf{O.K.}$$

아) 사용성(균열) 검토

$$M_{\max} = 48.236 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$\text{탄성계수비}(n) = 7$$

$$\text{철근비}(p) = A_s / b d = 1588.8 / 1000 \times 250 = 0.0064$$

$$\text{중립축}(k) = -np + \sqrt{\{(np)^2 + 2np\}} = -0.0448 + \sqrt{\{(0.0448)^2 + 2 \times 0.0448\}} = 0.258$$

$$\text{중립축 거리}(x) = k \times d = 0.258 \times 250 = 64.500 \text{ mm}$$

$$j = 1 - (k / 3) = 1 - (0.258 / 3) = 0.914$$

$$\begin{aligned} f_{s\max} &= \frac{M_{\max}}{p b j d^2} = \frac{48.236 \times 1000000}{0.0064 \times 1000 \times 0.914 \times 250^2} \\ &= 131.937 \text{ MPa} < 0.6 f_y = 240.000 \text{ MPa} \quad \mathbf{O.K!!} \end{aligned}$$

$$\text{최소두께}(C_c) = d' - \text{철근직경} / 2 = 50 - 16 / 2 = 42.00 \text{ mm}$$

$$\text{인장연단폭}(S_1) = 375 (210 / f_s) - 2.5 C_c = 375 (210 / 131.937) - 2.5 \times 42 = 495.626 \text{ mm}$$

$$\text{인장연단폭}(S_2) = 300 (210 / f_s) = 300 (210 / 131.937) = 477.501 \text{ mm}$$

$$\text{철근 소요중심간격}(S_a) = \text{Min} (S_1, S_2) = 477.501 \text{ mm}$$

$$\text{철근 평균간격 } S = 125.0 \text{ mm} \leq 477.501 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K!!}$$

1-2. 중앙부

가) 고정하중

$$\begin{aligned}
 \text{철근콘크리트 : } & 0.300 \text{ m} \times 25.000 \text{ kN/m}^3 = 7.500 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{포장 : } & 0.080 \text{ m} \times 23.000 \text{ kN/m}^3 = 1.840 \text{ kN/m}^2 \\
 \hline
 & W_d = 9.340 \text{ kN/m}^2 \\
 \text{계산지간 } L = & 2.400 \text{ m} \quad \text{바닥판 지점의 수 } n = 5 \\
 M_d = (1/10) \cdot W_d \cdot L^2 = & (1/10) \times 9.34 \times 2.4^2 = 5.380 \text{ kN} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

나) 활하중 (DB-24 : $P_r = 96.0 \text{ kN}$)

충격계수 (도.설 2.1.4)

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 2.4) = 0.354 > 0.3 \quad \therefore i = 0.3$$

$$\begin{aligned}
 M_{l+i} &= ((L+0.6) / 9.6) \cdot P_r \cdot (1+i) = ((2.4 + 0.6) / 9.6) \times 96 \times (1 + 0.3) \\
 &= 39.000 \text{ kN} \cdot \text{m}
 \end{aligned}$$

연속바닥판이므로, (도.설 3.6.1.4)

$$M_{l+i} = 0.8 \times 39 = 31.200 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

다) 하중 조합 (도.설 2.2.3.2)

① 계수 모멘트

$$\begin{aligned}
 M_{u1} &= 1.3 M_d + 2.15 M_{l+i} \\
 &= 1.3 \times 5.38 + 2.15 \times 31.2 = 74.074 \text{ kN} \cdot \text{m/m}
 \end{aligned}$$

① 사용 모멘트

$$\begin{aligned}
 M &= 1.0 M_d + 1.0 M_{l+i} \\
 &= 1.0 \times 5.38 + 1.0 \times 31.2 = 36.580 \text{ kN} \cdot \text{m/m}
 \end{aligned}$$

라) 바닥판의 최소 두께 (도.설 3.6.1.5)

$$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = \{(30 \times 2.4) + 130\} = 202 \text{ mm}$$

$$h_{use} = 300.0 \text{ mm} > 202.0 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K!!}$$

마) 단면검토

◀ 철근량 산정

① 캔틸레버부

[DESIGN CONDITION]

$$f_{ck} = 27 \text{ MPa} \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$M_u = 74.074 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 300 \text{ mm}$$

$$d' = 50 \text{ mm} \quad d = 250 \text{ mm}$$

$$\emptyset(\text{Bending}) = 0.85 \quad \beta_1 = 0.85$$

[Req'd d & As]

(콘.설 6.3.2)

$$a = A_s \times f_y / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 0.0174 A_s = 27.692 \text{ mm}$$

$$M_u = \Phi \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = -3.0 A_s^2 + 85000 A_s$$

$$= 74074000$$

$$\epsilon_t = 0.003 \times (H - a/\beta_1 - D_{c_min}) / (a/\beta_1) = 0.02002 > 0.004$$

0.K.!!

$$0.005 < \epsilon_t \quad \phi_f = 0.850$$

$$\therefore \text{Req'd } A_s = 899.7 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = \text{Req'd } A_s \times 4/3 = 1199.6 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = 0.002 \times b \times d = 500.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = 1.4/f_y \times \frac{b \times d}{4} = 875.0 \text{ mm}^2$$

$$\text{Min. } A_s = 0.25 \sqrt{f_{ck}} / f_y \times b \times d = 811.9 \text{ mm}^2$$

$$\text{USE } H 16 @ 125 = 1588.8 \text{ mm}^2$$

$$A_{s\text{use}} = 1588.8 \text{ mm}^2$$

0.K. !!

[RE-BAR RATIO CHECK]

$$P = A_s / (b \times d) = 0.0064 < P_{\max} = 0.75 \times p_b = 0.0219 \quad \mathbf{0.K.!!}$$

[DESIGN MOMENT CHECK]

$$\text{Max. } c = 0.75 \times 600 / (600 + f_y) \times d = 112.500 \text{ mm} > c = a/0.85 = 32.578 \text{ mm}$$

$$\text{Max. } a = 0.85 \times c = 95.625 \text{ mm} > a = f_y \times A_s / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 27.692 \text{ mm}$$

$$jd = d - a/2 = 236.154 \text{ mm}$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 635.520 \text{ kN} \quad T = f_y \times A_s = 635.520 \text{ kN}$$

$$\Phi M_n = \Phi f_y \times A_s \times jd = 127.569 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_u = 74.074 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \mathbf{0.K.}$$

아) 사용성(균열) 검토

$$M_{\max} = 36.580 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$\text{탄성계수비}(n) = E_s / E_c = 7$$

$$\text{철근비}(p) = A_s / b d = 1588.8 / 1000 \times 250 = 0.0064$$

$$\text{중립축}(k) = -np + \sqrt{\{(np)^2 + 2np\}} = -0.0448 + \sqrt{\{(0.0448)^2 + 2 \times 0.0448\}} = 0.258$$

$$\text{중립축 거리}(x) = k \times d = 0.258 \times 250 = 64.500 \text{ mm}$$

$$j = 1 - (k / 3) = 1 - (0.258) / 3 = 0.914$$

$$\begin{aligned} f_{s\max} &= \frac{M_{\max}}{p b j d^2} = \frac{36.580 \times 1000000}{0.0064 \times 1000 \times 0.914 \times 250^2} \\ &= 100.055 \text{ MPa} < 0.6 f_y = 240.000 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \end{aligned}$$

$$\text{최소두께}(C_c) = d' - \text{철근직경} / 2 = 50 - 16 / 2 = 42.00 \text{ mm}$$

$$\text{인장연단폭}(S_1) = 375 (210 / f_s) - 2.5 C_c = 375 (210 / 100.055) - 2.5 \times 42 = 685.817 \text{ mm}$$

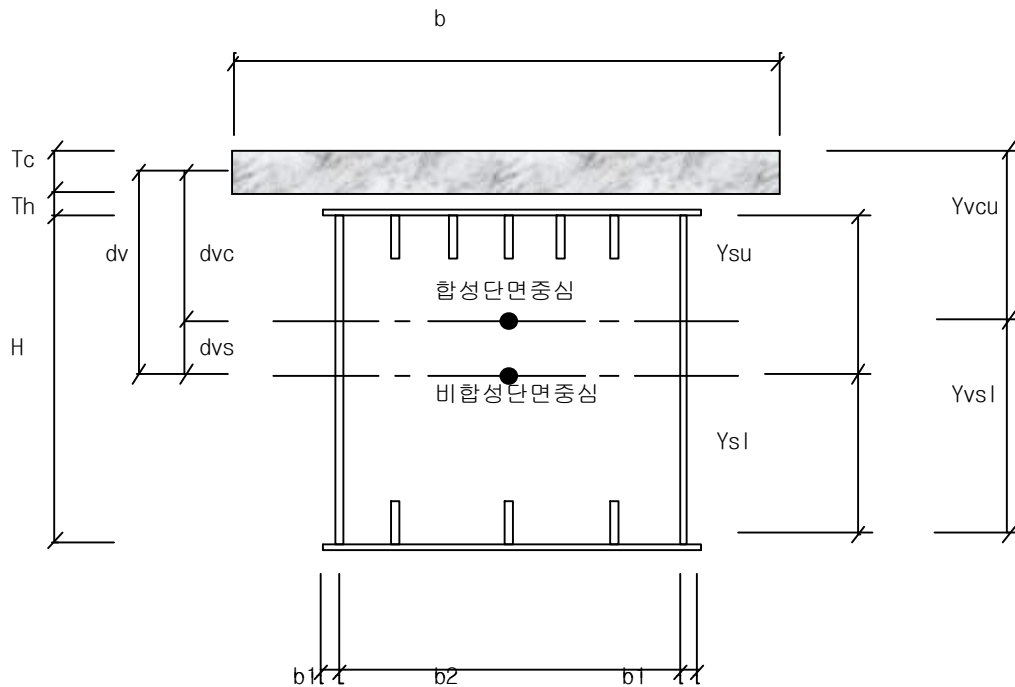
$$\text{인장연단폭}(S_2) = 300 (210 / f_s) = 300 (210 / 100.055) = 629.654 \text{ mm}$$

$$\text{철근 소요중심간격}(S_a) = \text{Min} (S_1, S_2) = 629.654 \text{ mm}$$

$$\text{철근 평균간격 } S = 125.0 \text{ mm} \leq 629.654 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!}$$

2. 단면상수 산정

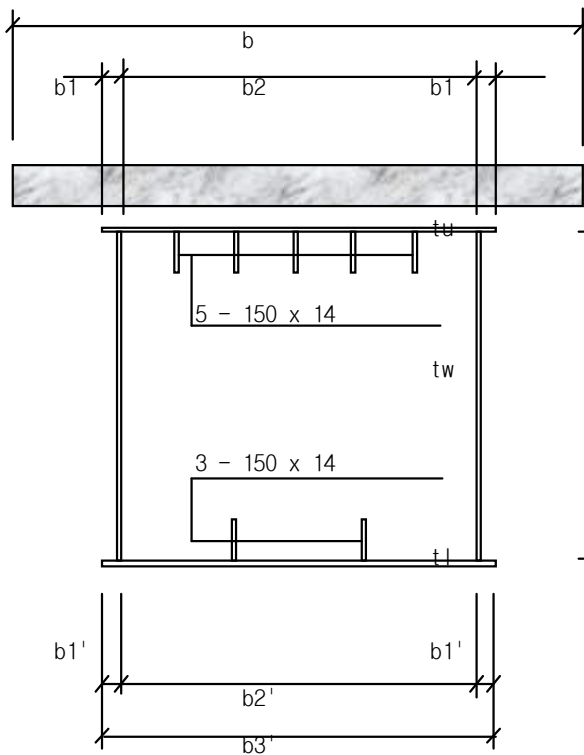
2-1. Steel Box 주형 단면상수 산정



주형의 탄성변형 및 부정정력을 계산하는 경우에는 정부모멘트에 관계없이 바닥판 콘크리트의 합성작용을 고려한다.

- b - 바닥판 콘크리트의 폭
- T_c - 바닥판 콘크리트의 두께
- Th - 바닥판 콘크리트의 현치 높이
- N - 강재와 콘크리트의 탄성계수비 ($N = E_s / E_c$)
- A_c - 바닥판 콘크리트의 단면적
- A_v - 합성후 (강재+바닥판 콘크리트)의 환산단면적
- I_c - 바닥판 콘크리트의 단면2차모멘트
- dv - 강재단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
- dvc - 합성단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
- dvs - 합성단면 도심에서 강재단면 도심까지의 거리 (합성전 및 합성후단면에서의 도심축 이동량)
- I_{33} - 합성전 강재단면의 3축방향(중방향) 단면2차모멘트
- I_{22} - 합성전 강재단면의 2축방향(횡방향) 단면2차모멘트
- I_{v33} - 합성후 강재단면의 3축방향(중방향) 단면2차모멘트
- I_{v22} - 합성후 강재단면의 2축방향(횡방향) 단면2차모멘트

- Section 1



b	=	6300.000	mm
b1	=	100.000	mm
b2	=	2600.000	mm
b3	=	2800.000	mm
b1'	=	100.000	mm
b2'	=	2600.000	mm
b3'	=	2800.000	mm
Tc	=	250.000	mm
Th	=	50.000	mm
H	=	2400.000	mm
n	=	8	

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 10.0	28000	1205.00	33740000	40656700000	233333
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	-1125.00	-7087500	7973437500	11812500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 12.0	33600	-1206.00	-40521600	48869049600	403200
TOTAL		136000		-2056600	110788249600	27680136533

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 110788249600 + 27680136533 = 138468386133 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= -2056600 / 136000 = -15.12 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 138468386133 - 136000 \times (-15.12)^2 = 138437286107 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 10 / 12) + (2800^3 \times 12 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2 = 138490658133 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
 &= 2400.000 + 10.000 / 2 + 12.000 / 2 = 2411.00 \text{ mm} \\
 K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
 &= (4 \times 2612^2 \times 2411^2) / (2 \times 2411/12 + 2612/10 + 2612/12) \\
 &= 180124488661 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

② 합성후 단면

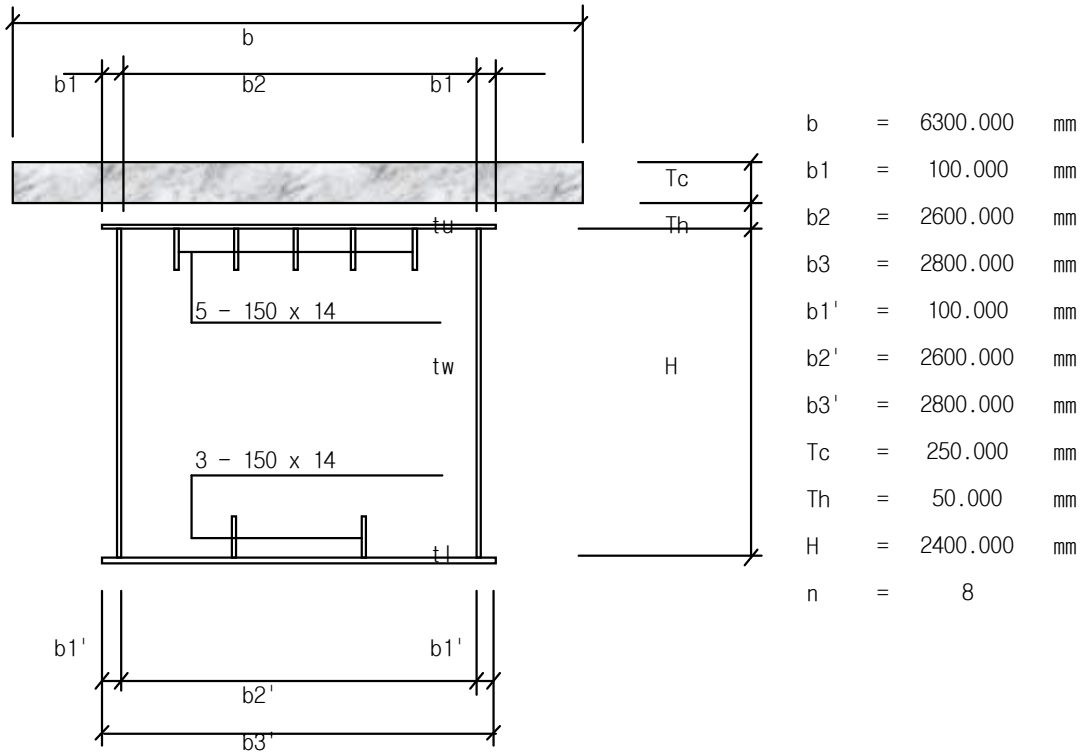
$$\begin{aligned}
 A_c &= b \times T_c \\
 &= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
 A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
 &= 136000 + 1575000 / 8 = 332875 \text{ mm}^2 \\
 I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
 &= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
 d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
 &= 2400.000 / 2 - 15.122 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1390.12 \text{ mm} \\
 d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v \\
 &= 1390.122 \times 136000 / 332875 = 567.95 \text{ mm} \\
 d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 1390.122 - 567.951 = 822.17 \text{ mm} \\
 I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/N \cdot d_{vc}^2 \\
 &= 138437286107 + 8203125000 / 8 + 136000 \times 822.171^2 \\
 &\quad + 1575000 / 8 \times 567.951^2 = 294899592350 \text{ mm}^4 \\
 I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
 &= 138490658133 + 6300.000^3 \\
 &\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 789654720633 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
 t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
 &= 10.000 + 250.000 / 8 = 41.25 \text{ mm} \\
 K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
 &= (4 \times 2612^2 \times 2411^2) / (2 \times 2411/12 + 2612/41.25 + 2612/12) \\
 &= 232323827011 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

- Section 2



① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 14.0	39200	1207.00	47314400	57108480800	640267
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	-1125.00	-7087500	7973437500	11812500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 12.0	33600	-1206.00	-40521600	48869049600	403200
TOTAL		147200		11517800	127240030400	27680543467

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 127240030400 + 27680543467 = 154920573867 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 11517800 / 147200 = 78.25 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 154920573867 - 147200 \times 78.246^2 = 154019352964 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 14 / 12) + (2800^3 \times 12 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 145807991467 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 14.000 / 2 + 12.000 / 2 = 2413.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2413^2) / (2 \times 2413/12 + 2612/14 + 2612/12) \\
&= 197046124091 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

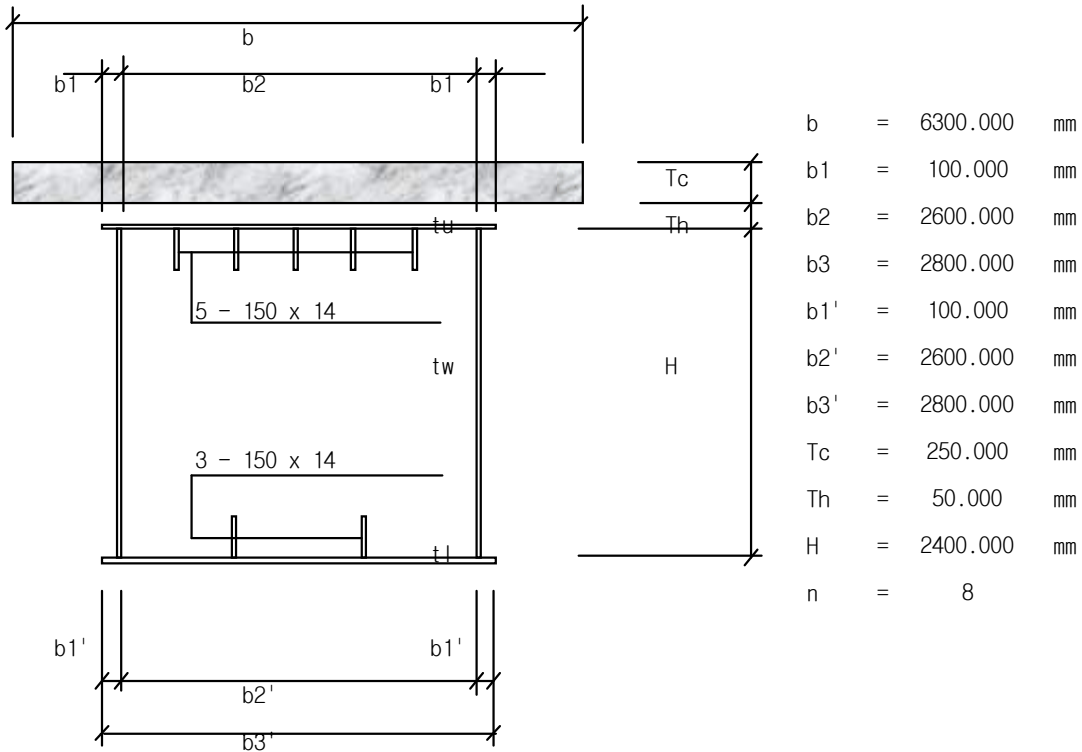
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 147200 + 1575000 / 8 = 344075 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 78.246 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1296.75 \text{ mm} \\
d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1296.754 \times 147200 / 344075 = 554.77 \text{ mm} \\
d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 1296.754 - 554.769 = 741.98 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/N \cdot d_{vc}^2 \\
&= 154019352964 + 8203125000 / 8 + 147200 \times 741.985^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 554.769^2 = 296676456032 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 145807991467 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 796972053967 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 14.000 + 250.000 / 8 = 45.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2413^2) / (2 \times 2413/12 + 2612/45.25 + 2612/12) \\
&= 234517408306 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 3



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 14.0	39200	1207.00	47314400	57108480800	640267
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	-1125.00	-7087500	7973437500	11812500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 18.0	50400	-1209.00	-60933600	73668722400	1360800
TOTAL		164000		-8894200	152039703200	27681501067

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 152039703200 + 27681501067 = 179721204267 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= -8894200 / 164000 = -54.23 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 179721204267 - 164000 \times (-54.233)^2 = 179238845769 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 14 / 12) + (2800^3 \times 18 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 156783991467 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 14.000 / 2 + 18.000 / 2 = 2416.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2416^2) / (2 \times 2416/12 + 2612/14 + 2612/18) \\
&= 216918986478 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

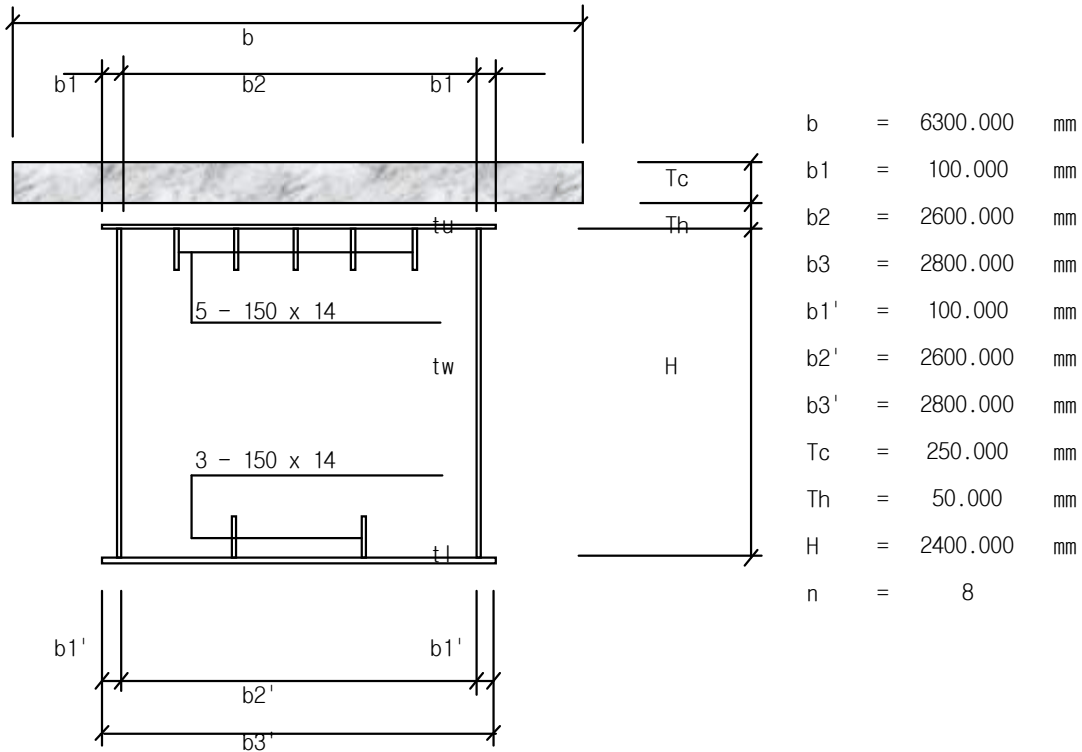
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 164000 + 1575000 / 8 = 360875 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
dv &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 54.233 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1429.23 \text{ mm} \\
dvc &= dv \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1429.233 \times 164000 / 360875 = 649.52 \text{ mm} \\
dvs &= dv - dvc = 1429.233 - 649.516 = 779.72 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot dvs^2 + A_c/N \cdot dvc^2 \\
&= 179238845769 + 8203125000 / 8 + 164000 \times 779.717^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 649.516^2 = 363025287964 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 156783991467 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 807948053967 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 14.000 + 250.000 / 8 = 45.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2416^2) / (2 \times 2416/12 + 2612/45.25 + 2612/18) \\
&= 263078252386 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 4



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 20.0	56000	1210.00	67760000	81989600000	1866667
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	-1125.00	-7087500	7973437500	11812500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 18.0	50400	-1209.00	-60933600	73668722400	1360800
TOTAL		180800		11551400	176920822400	27682727467

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io$$

$$= 176920822400 + 27682727467 = 204603549867 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 11551400 / 180800 = 63.89 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 204603549867 - 180800 \times 63.89^2 = 203865525298 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 20 / 12) + (2800^3 \times 18 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 167759991467 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 20.000 / 2 + 18.000 / 2 = 2419.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2419^2) / (2 \times 2419/12 + 2612/20 + 2612/18) \\
&= 235226626636 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

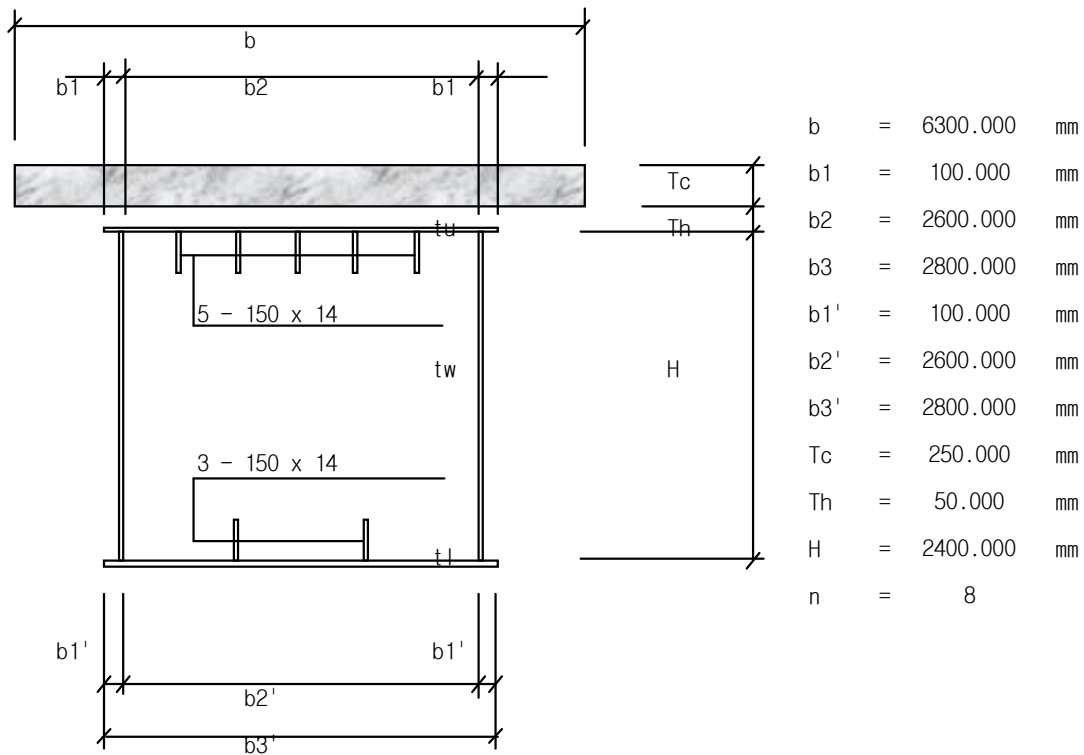
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 180800 + 1575000 / 8 = 377675 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
dv &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 63.890 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1311.11 \text{ mm} \\
dvc &= dv \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1311.110 \times 180800 / 377675 = 627.65 \text{ mm} \\
dvs &= dv - dvc = 1311.110 - 627.652 = 683.46 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot dvs^2 + A_c/N \cdot dvc^2 \\
&= 203865525298 + 8203125000 / 8 + 180800 \times 683.457^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 627.652^2 = 366903480445 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 167759991467 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 818924053967 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 20.000 + 250.000 / 8 = 51.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2419^2) / (2 \times 2419/12 + 2612/51.25 + 2612/18) \\
&= 266486152188 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 5



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 20.0	56000	1210.00	67760000	81989600000	1866667
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	-1125.00	-7087500	7973437500	11812500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 20.0	56000	-1210.00	-67760000	81989600000	1866667
TOTAL		186400		4725000	185241700000	27683233333

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io$$

$$= 185241700000 + 27683233333 = 212924933333 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 4725000 / 186400 = 25.35 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 212924933333 - 186400 \times 25.349^2 = 212805160667 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 20 / 12) + (2800^3 \times 20 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2 = 171418658133 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$bk = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 20.000 / 2 + 20.000 / 2 = 2420.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2420^2) / (2 \times 2420/12 + 2612/20 + 2612/20) \\
&= 240502889335 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

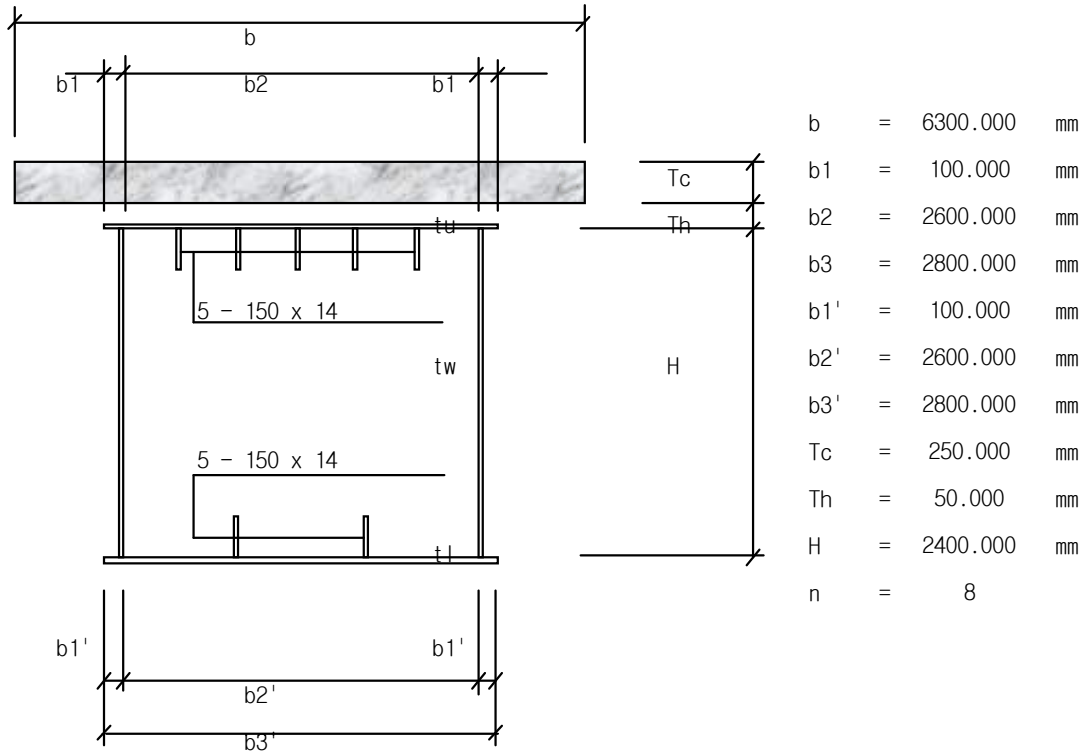
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 186400 + 1575000 / 8 = 383275 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 25.349 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1349.65 \text{ mm} \\
d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1349.651 \times 186400 / 383275 = 656.38 \text{ mm} \\
d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 1349.651 - 656.382 = 693.27 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/N \cdot d_{vc}^2 \\
&= 212805160667 + 8203125000 / 8 + 186400 \times 693.269^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 656.382^2 = 388239648285 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 171418658133 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 822582720633 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 20.000 + 250.000 / 8 = 51.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2420^2) / (2 \times 2420/12 + 2612/51.25 + 2612/20) \\
&= 273247407897 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 6



① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 20.0	56000	1210.00	67760000	81989600000	1866667
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 20.0	56000	-1210.00	-67760000	81989600000	1866667
TOTAL		190600		0	190557325000	27691108333

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io$$

$$= 190557325000 + 27691108333 = 218248433333 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 0 / 190600 = 0.00 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 218248433333 - 190600 \times 0.00^2 = 218248433333 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b3^3 \times tu / 12) + (b3'^3 \times tl / 12) + ((H \times tw^3 / 12) + (H \times tw \times (b2 / 2 + tw / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 20 / 12) + (2800^3 \times 20 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 171418658133 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$bk = b2 + tw / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 20.000 / 2 + 20.000 / 2 = 2420.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2420^2) / (2 \times 2420/12 + 2612/20 + 2612/20) \\
&= 240502889335 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

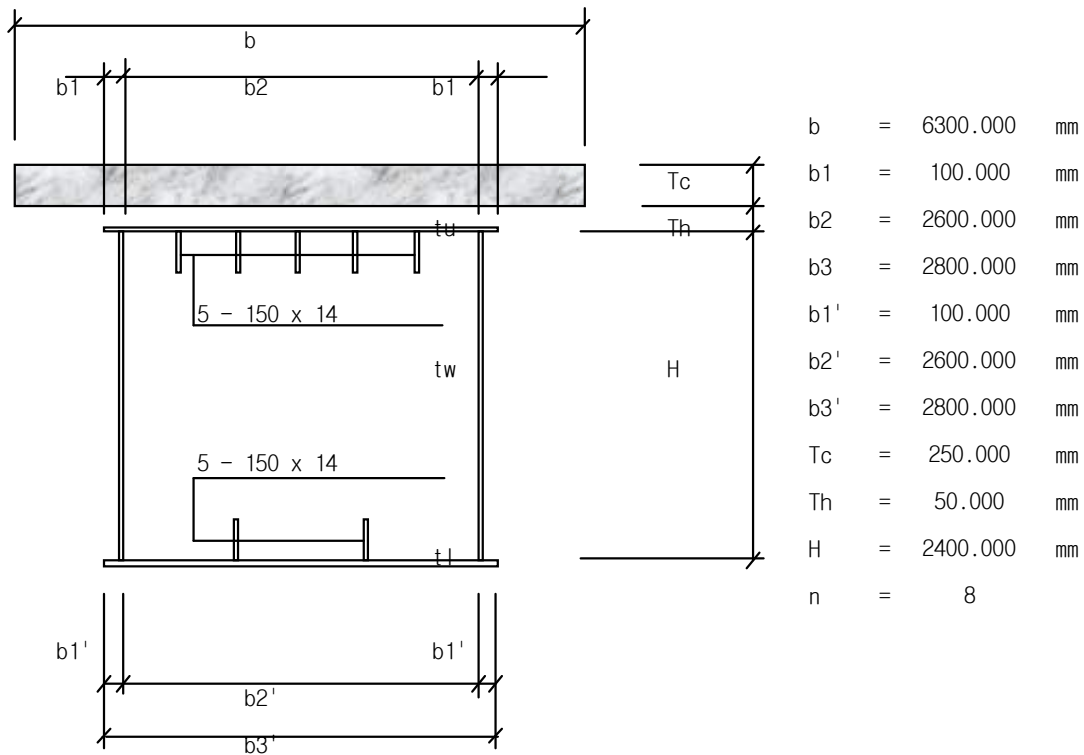
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 190600 + 1575000 / 8 = 387475 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
dv &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 0.000 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1375.00 \text{ mm} \\
dvc &= dv \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1375.000 \times 190600 / 387475 = 676.37 \text{ mm} \\
dvs &= dv - dvc = 1375.000 - 676.366 = 698.63 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot dvs^2 + A_c/N \cdot dvc^2 \\
&= 218248433333 + 8203125000 / 8 + 190600 \times 698.634^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 676.366^2 = 402368272592 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 171418658133 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 822582720633 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 20.000 + 250.000 / 8 = 51.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2420^2) / (2 \times 2420/12 + 2612/51.25 + 2612/20) \\
&= 273247407897 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 7



① 합성전 단면

구 분	규 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 20.0	56000	1210.00	67760000	81989600000	1866667
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 24.0	67200	-1212.00	-81446400	98713036800	3225600
TOTAL		201800		-13686400	207280761800	27692467267

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 207280761800 + 27692467267 = 234973229067 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= -13686400 / 201800 = -67.82 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 234973229067 - 201800 \times (-67.82)^2 = 234044995444 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 20 / 12) + (2800^3 \times 24 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 178735991467 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 20.000 / 2 + 24.000 / 2 = 2422.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2422^2) / (2 \times 2422/12 + 2612/20 + 2612/24) \\
&= 248929349698 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

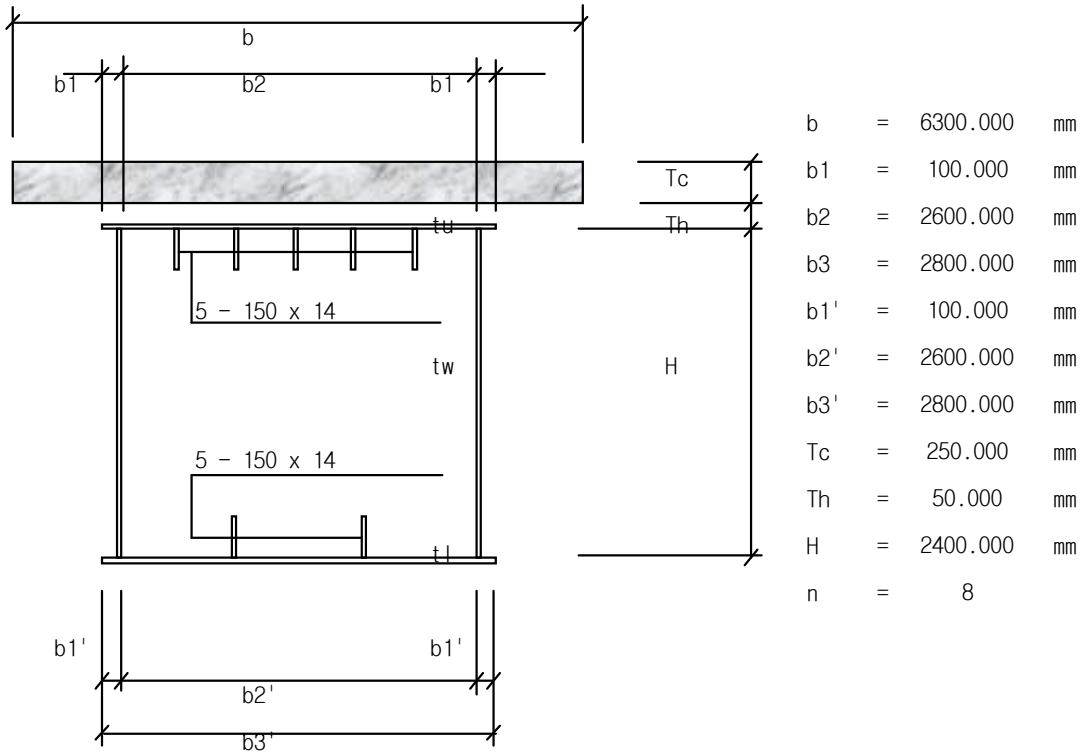
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 201800 + 1575000 / 8 = 398675 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
dv &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 67.822 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1442.82 \text{ mm} \\
dvc &= dv \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1442.822 \times 201800 / 398675 = 730.32 \text{ mm} \\
dvs &= dv - dvc = 1442.822 - 730.323 = 712.50 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot dvs^2 + A_c/N \cdot dvc^2 \\
&= 234044995444 + 8203125000 / 8 + 201800 \times 712.499^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 730.323^2 = 442522566677 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 178735991467 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 829900053967 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 20.000 + 250.000 / 8 = 51.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2422^2) / (2 \times 2422/12 + 2612/51.25 + 2612/24) \\
&= 284110321418 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 8



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 24.0	67200	1212.00	81446400	98713036800	3225600
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 24.0	67200	-1212.00	-81446400	98713036800	3225600
TOTAL		213000		0	224004198600	27693826200

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 224004198600 + 27693826200 = 251698024800 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 0 / 213000 = 0.00 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 251698024800 - 213000 \times 0.00^2 = 251698024800 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 24 / 12) + (2800^3 \times 24 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 186053324800 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 24.000 / 2 + 24.000 / 2 = 2424.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2424^2) / (2 \times 2424/12 + 2612/24 + 2612/24) \\
&= 257937202965 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

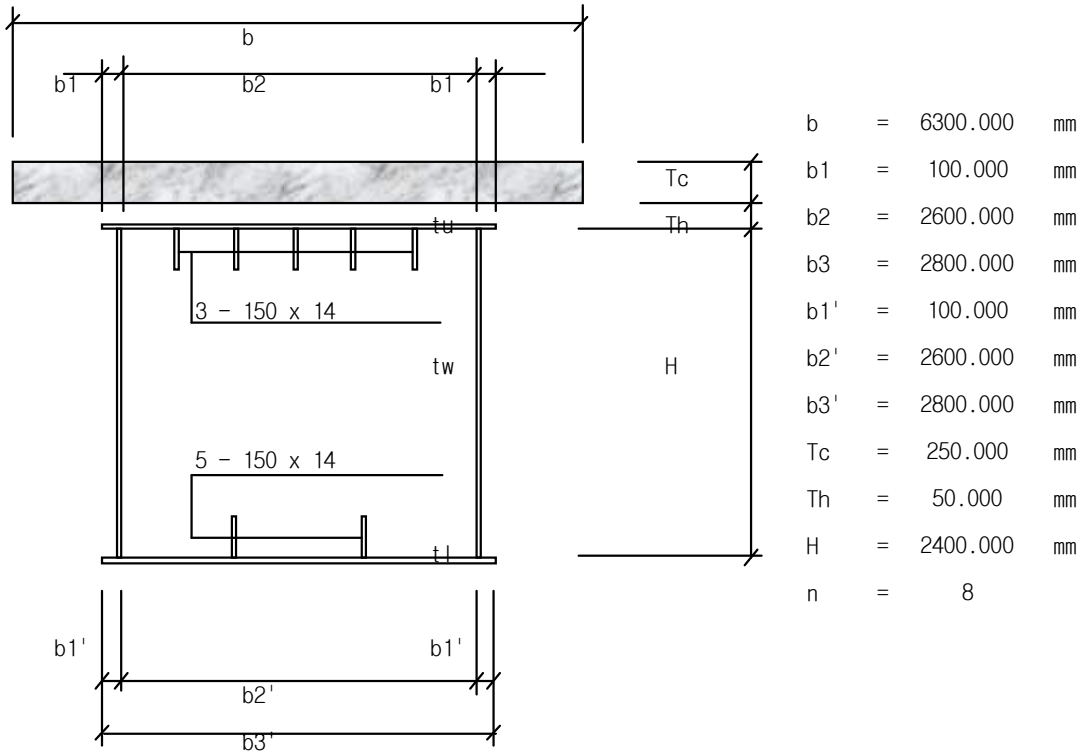
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 213000 + 1575000 / 8 = 409875 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 0.000 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1375.00 \text{ mm} \\
d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1375.000 \times 213000 / 409875 = 714.55 \text{ mm} \\
d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 1375.000 - 714.547 = 660.45 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/N \cdot d_{vc}^2 \\
&= 251698024800 + 8203125000 / 8 + 213000 \times 660.453^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 714.547^2 = 446153553234 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 186053324800 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 837217387300 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 24.000 + 250.000 / 8 = 55.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2424^2) / (2 \times 2424/12 + 2612/55.25 + 2612/24) \\
&= 286285099091 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 9



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 24.0	67200	1212.00	81446400	98713036800	3225600
UPPER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	1125.00	7087500	7973437500	11812500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 24.0	67200	-1212.00	-81446400	98713036800	3225600
TOTAL		208800		-4725000	218688573600	27685951200

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io$$

$$= 218688573600 + 27685951200 = 246374524800 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= -4725000 / 208800 = -22.63 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 246374524800 - 208800 \times (-22.629)^2 = 246267601309 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b3^3 \times tu / 12) + (b3'^3 \times tl / 12) + ((H \times tw^3 / 12) + (H \times tw \times (b2 / 2 + tw / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 24 / 12) + (2800^3 \times 24 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 186053324800 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$bk = b2 + tw / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 24.000 / 2 + 24.000 / 2 = 2424.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2424^2) / (2 \times 2424/12 + 2612/24 + 2612/24) \\
&= 257937202965 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

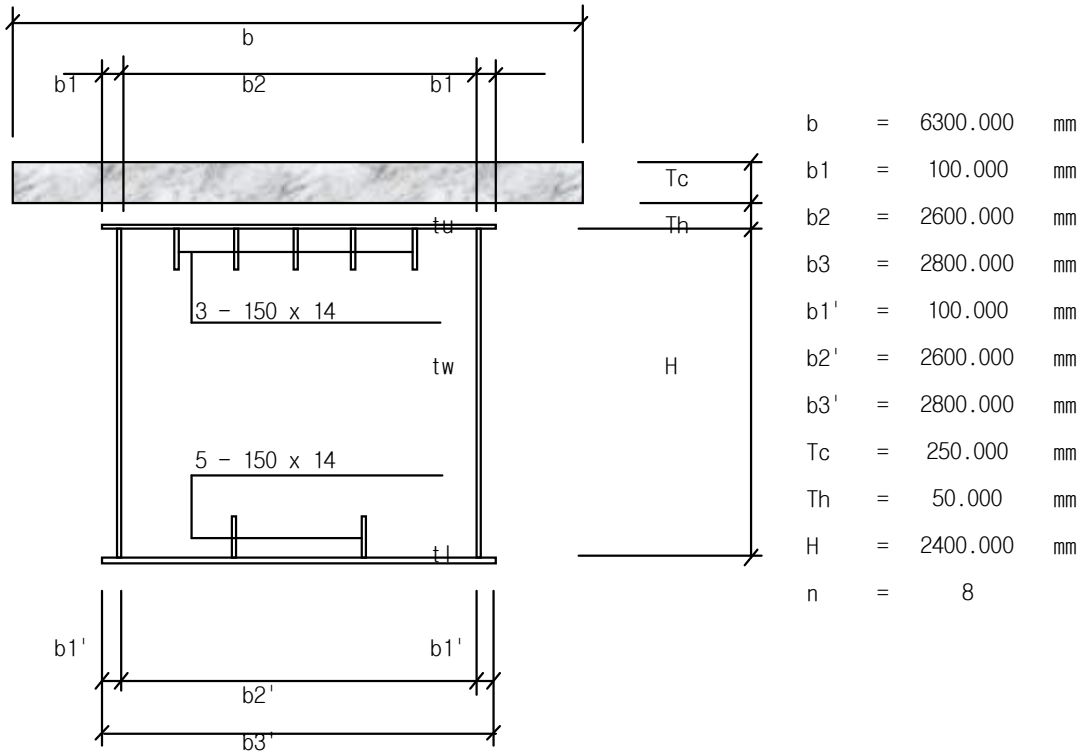
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 208800 + 1575000 / 8 = 405675 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
dv &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - -22.629 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1397.63 \text{ mm} \\
dvc &= dv \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1397.629 \times 208800 / 405675 = 719.36 \text{ mm} \\
dvs &= dv - dvc = 1397.629 - 719.357 = 678.27 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot dvs^2 + A_c/N \cdot dvc^2 \\
&= 246267601309 + 8203125000 / 8 + 208800 \times 678.273^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 719.357^2 = 445229917505 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 186053324800 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 837217387300 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 24.000 + 250.000 / 8 = 55.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2424^2) / (2 \times 2424/12 + 2612/55.25 + 2612/24) \\
&= 286285099091 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 10



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 24.0	67200	1212.00	81446400	98713036800	3225600
UPPER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	1125.00	7087500	7973437500	11812500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 30.0	84000	-1215.00	-102060000	124002900000	6300000
TOTAL		225600		-25338600	243978436800	27689025600

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io$$

$$= 243978436800 + 27689025600 = 271667462400 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= -25338600 / 225600 = -112.32 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 271667462400 - 225600 \times (-112.316)^2 = 268821519803 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 24 / 12) + (2800^3 \times 30 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 197029324800 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 24.000 / 2 + 30.000 / 2 = 2427.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2427^2) / (2 \times 2427/12 + 2612/24 + 2612/30) \\
&= 267735035156 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

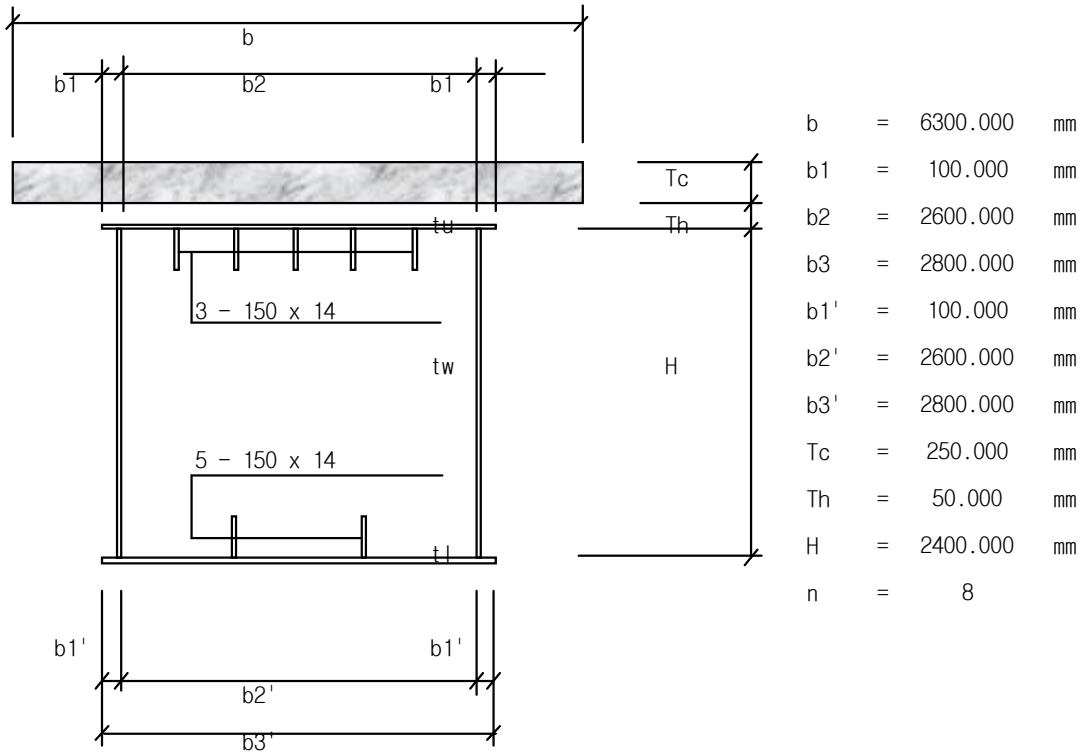
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 225600 + 1575000 / 8 = 422475 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
dv &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 112.316 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1487.32 \text{ mm} \\
dvc &= dv \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1487.316 \times 225600 / 422475 = 794.22 \text{ mm} \\
dvs &= dv - dvc = 1487.316 - 794.221 = 693.10 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot dvs^2 + A_c/N \cdot dvc^2 \\
&= 268821519803 + 8203125000 / 8 + 225600 \times 693.095^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 794.221^2 = 502407134654 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 197029324800 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 848193387300 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 24.000 + 250.000 / 8 = 55.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2427^2) / (2 \times 2427/12 + 2612/55.25 + 2612/30) \\
&= 298321049264 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 11



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 28.0	78400	1214.00	95177600	115545606400	5122133
UPPER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	1125.00	7087500	7973437500	11812500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 30.0	84000	-1215.00	-102060000	124002900000	6300000
TOTAL		236800		-11607400	260811006400	27690922133

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io$$

$$= 260811006400 + 27690922133 = 288501928533 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= -11607400 / 236800 = -49.02 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 288501928533 - 236800 \times (-49.018)^2 = 287932960059 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 28 / 12) + (2800^3 \times 30 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 204346658133 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 28.000 / 2 + 30.000 / 2 = 2429.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2429^2) / (2 \times 2429/12 + 2612/28 + 2612/30) \\
&= 275148817489 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

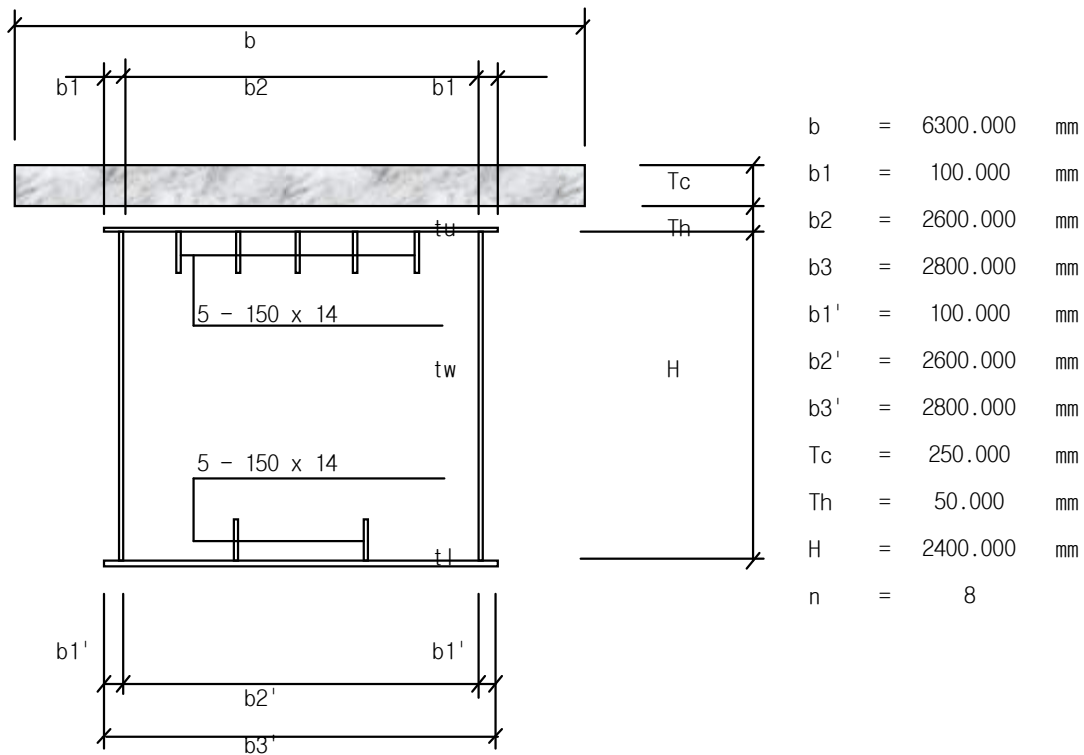
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 236800 + 1575000 / 8 = 433675 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
dv &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 49.018 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1424.02 \text{ mm} \\
dvc &= dv \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1424.018 \times 236800 / 433675 = 777.56 \text{ mm} \\
dvs &= dv - dvc = 1424.018 - 777.558 = 646.46 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot dvs^2 + A_c/N \cdot dvc^2 \\
&= 287932960059 + 8203125000 / 8 + 236800 \times 646.460^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 777.558^2 = 506949408676 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 204346658133 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 855510720633 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 28.000 + 250.000 / 8 = 59.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2429^2) / (2 \times 2429/12 + 2612/59.25 + 2612/30) \\
&= 300406431318 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 12



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 20.0	56000	1210.00	67760000	81989600000	1866667
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 12.0	33600	-1206.00	-40521600	48869049600	403200
TOTAL		168200		27238400	157436774600	27689644867

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io$$

$$= 157436774600 + 27689644867 = 185126419467 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 27238400 / 168200 = 161.94 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 185126419467 - 168200 \times 161.94^2 = 180715418072 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 20 / 12) + (2800^3 \times 12 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 156783991467 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 20.000 / 2 + 12.000 / 2 = 2416.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2416^2) / (2 \times 2416/12 + 2612/20 + 2612/12) \\
&= 212128398742 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

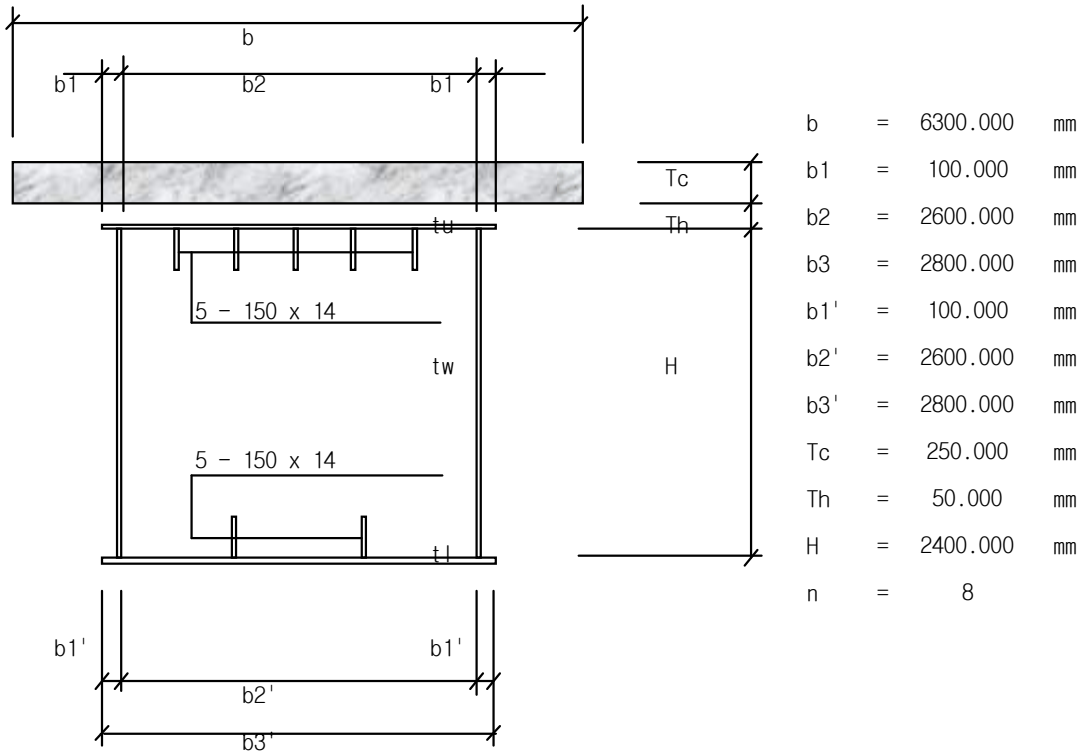
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c / N \\
&= 168200 + 1575000 / 8 = 365075 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 161.941 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1213.06 \text{ mm} \\
d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1213.059 \times 168200 / 365075 = 558.89 \text{ mm} \\
d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 1213.059 - 558.890 = 654.17 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\
&= 180715418072 + 8203125000 / 8 + 168200 \times 654.170^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 558.890^2 = 315215412912 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 156783991467 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 807948053967 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 20.000 + 250.000 / 8 = 51.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2416^2) / (2 \times 2416/12 + 2612/51.25 + 2612/12) \\
&= 237292534608 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 13



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 12.0	33600	1206.00	40521600	48869049600	403200
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 12.0	33600	-1206.00	-40521600	48869049600	403200
TOTAL		145800		0	124316224200	27688181400

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 124316224200 + 27688181400 = 152004405600 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 0 / 145800 = 0.00 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 152004405600 - 145800 \times 0.00^2 = 152004405600 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 12 / 12) + (2800^3 \times 12 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 142149324800 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 12.000 / 2 + 12.000 / 2 = 2412.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2412^2) / (2 \times 2412/12 + 2612/12 + 2612/12) \\
&= 189610578443 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

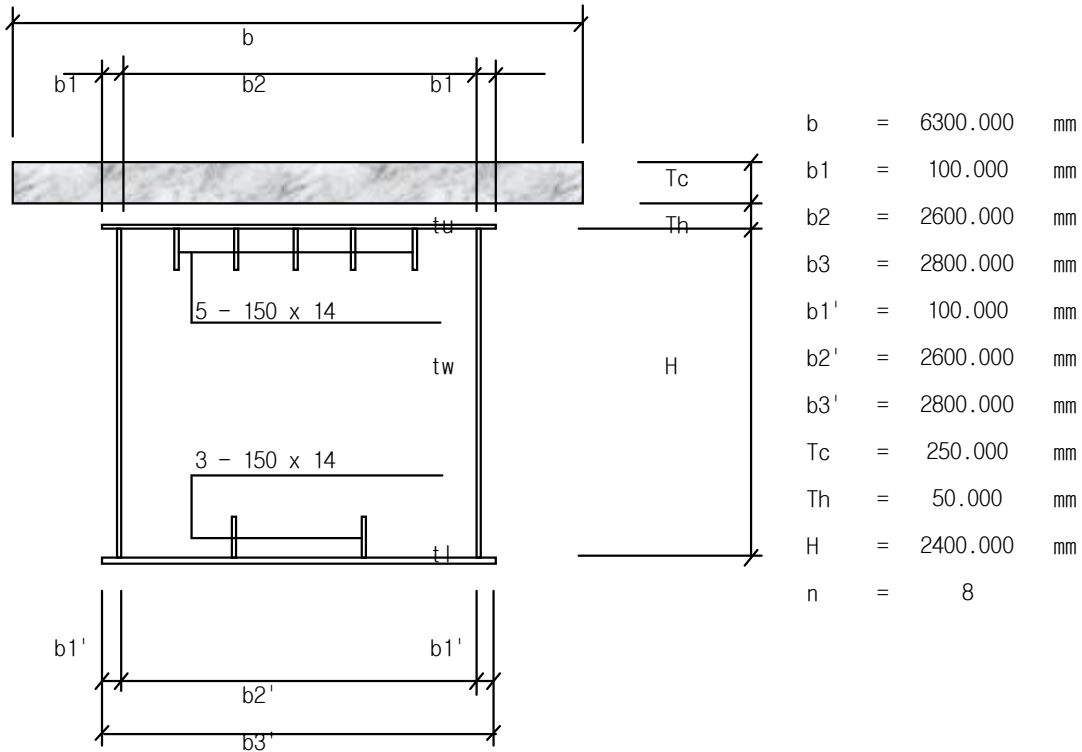
$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 145800 + 1575000 / 8 = 342675 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 0.000 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1375.00 \text{ mm} \\
d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1375.000 \times 145800 / 342675 = 585.03 \text{ mm} \\
d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 1375.000 - 585.030 = 789.97 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/N \cdot d_{vc}^2 \\
&= 152004405600 + 8203125000 / 8 + 145800 \times 789.970^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 585.030^2 = 311399122801 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 142149324800 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 793313387300 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 12.000 + 250.000 / 8 = 43.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2412^2) / (2 \times 2412/12 + 2612/43.25 + 2612/12) \\
&= 233460754432 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

- Section 14



① 합성전 단면

구 분	구 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	1 - 2800.0 X 12.0	33600	1206.00	40521600	48869049600	403200
UPPER RIB	5 - 150.0 X 14.0	10500	1125.00	11812500	13289062500	19687500
W E B	2 - 2400.0 X 12.0	57600				27648000000
LOWER RIB	3 - 150.0 X 14.0	6300	-1125.00	-7087500	7973437500	11812500
LOWER FL.	1 - 2800.0 X 12.0	33600	-1206.00	-40521600	48869049600	403200
TOTAL		141600		4725000	119000599200	27680306400

$$I_s' = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 119000599200 + 27680306400 = 146680905600 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum AsY / \sum As$$

$$= 4725000 / 141600 = 33.37 \text{ mm}$$

$$I_{33} = I_s' - \sum As \times \delta s^2$$

$$= 146680905600 - 141600 \times 33.369^2 = 146523238757 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_3^3 \times t_u / 12) + (b_3'^3 \times t_l / 12) + ((H \times t_w^3 / 12) + (H \times t_w \times (b_2 / 2 + t_w / 2)^2)) \times 2$$

$$= (2800^3 \times 12 / 12) + (2800^3 \times 12 / 12) + ((2400 \times 12^3 / 12) + (2400 \times 12 \times (2600 / 2 + 12 / 2)^2)) \times 2$$

$$= 142149324800 \text{ mm}^4$$

- 비틀림 강성

$$b_k = b_2 + t_w / 2 \times 2$$

$$= 2600.000 + 12.000 / 2 \times 2 = 2612.00 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
H_k &= H + t_u / 2 + t_l / 2 \\
&= 2400.000 + 12.000 / 2 + 12.000 / 2 = 2412.00 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_u + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2412^2) / (2 \times 2412/12 + 2612/12 + 2612/12) \\
&= 189610578443 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

② 합성후 단면

$$\begin{aligned}
A_c &= b \times T_c \\
&= 6300.000 \times 250.000 = 1575000 \text{ mm}^2 \\
A_v &= \sum A_s + A_c/N \\
&= 141600 + 1575000 / 8 = 338475 \text{ mm}^2 \\
I_c &= b \times T_c^3 / 12 \\
&= 6300.000 \times 250.000^3 / 12 = 8203125000 \text{ mm}^4 \\
d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 \\
&= 2400.000 / 2 - 33.369 + 50.000 + 250.000 / 2 = 1341.63 \text{ mm} \\
d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v \\
&= 1341.631 \times 141600 / 338475 = 561.27 \text{ mm} \\
d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 1341.631 - 561.267 = 780.36 \text{ mm} \\
I_{v33} &= I_{33} + I_c/N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/N \cdot d_{vc}^2 \\
&= 146523238757 + 8203125000 / 8 + 141600 \times 780.364^2 \\
&\quad + 1575000 / 8 \times 561.267^2 = 295798262489 \text{ mm}^4 \\
I_{v22} &= I_{22} + b^3 \times T_c / 12 / N \\
&= 142149324800 + 6300.000^3 \\
&\quad \times 250.000 / 12 / 8 = 793313387300 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

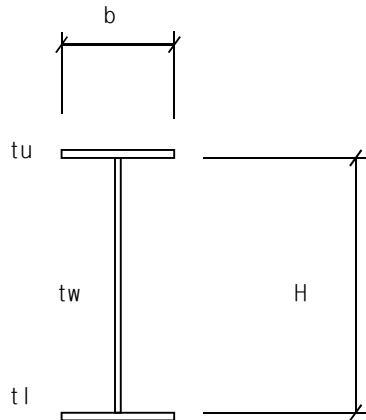
- 비틀림 강성

* 합성단면의 K값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
t_{cu} &= t_u + T_c / N \\
&= 12.000 + 250.000 / 8 = 43.25 \text{ mm} \\
K &= (4 \times b k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b k / t_{cu} + b k / t_l) \\
&= (4 \times 2612^2 \times 2412^2) / (2 \times 2412/12 + 2612/43.25 + 2612/12) \\
&= 233460754432 \text{ mm}^4
\end{aligned}$$

2-2. 가로보 및 세로보 단면상수 산정

- 가로보 Section 1



$$b_u = 300.00 \text{ mm}$$

$$b_l = 300.00 \text{ mm}$$

$$H = 1500.00 \text{ mm}$$

$$t_u = 10.00 \text{ mm}$$

$$t_w = 10.00 \text{ mm}$$

$$t_l = 10.00 \text{ mm}$$

구 분	규	격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	300.00	X 10.00	3000.0	755.00	2265000	1710075000	25000
W E B	1500.00	X 10.00	15000.0				2812500000
LOWER FL.	300.00	X 10.00	3000.0	-755.00	-2265000	1710075000	25000
TOTAL			21000.0		0	3420150000	2812550000

$$I_{33} = \sum AsY^2 + \sum I_o$$

$$= 3420150000 + 2812550000 = 6232700000 \text{ mm}^4$$

$$I_{22} = (b_u^3 \times t_u / 12) + (b_l^3 \times t_l / 12) + (H \times t_w^3 / 12)$$

$$= (300^3 \times 10 / 12) + (300^3 \times 10 / 12) + (1500 \times 10^3 / 12)$$

$$= 45125000 \text{ mm}^4$$

모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

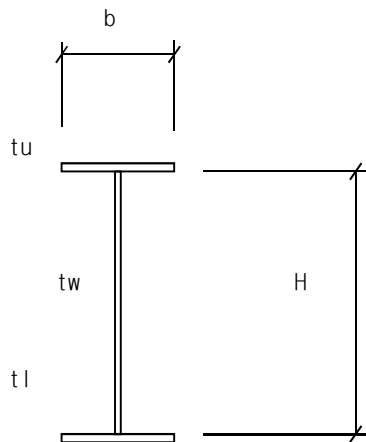
여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정강성

- 비틀림 강성

$$K = \sum (b \times t^3) / 3$$

$$= (300 \times 10^3 + 300 \times 10^3 + 1500 \times 10^3) / 3 = 700000 \text{ mm}^4$$

- 세로보 Section 1



$$\begin{aligned} b_u &= 300.00 \text{ mm} \\ b_l &= 300.00 \text{ mm} \\ H &= 800.00 \text{ mm} \\ t_u &= 12.00 \text{ mm} \\ t_w &= 10.00 \text{ mm} \\ t_l &= 12.00 \text{ mm} \end{aligned}$$

구 분	규 격	As(mm ²)	Y(mm)	AsY(mm ³)	AsY ² (mm ⁴)	Io(mm ⁴)
UPPER FL.	300.00 X 12.00	3600.0	406.00	1461600	593409600	43200
W E B	800.00 X 10.00	8000.0				426666667
LOWER FL.	300.00 X 12.00	3600.0	-406.00	-1461600	593409600	43200
TOTAL		15200.0		0	1186819200	426753067

$$\begin{aligned} I_{33} &= \sum AsY^2 + \sum I_o \\ &= 1186819200 + 426753067 = 1613572267 \text{ mm}^4 \\ I_{22} &= (b_u^3 \times t_u / 12) + (b_l^3 \times t_l / 12) + (H \times t_w^3 / 12) \\ &= (300^3 \times 12 / 12) + (300^3 \times 12 / 12) + (800 \times 10^3 / 12) \\ &= 54066667 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

모델링시의 가로보 강성보정은 $I' = I \times (L' / L)^3$ 에 의한다.

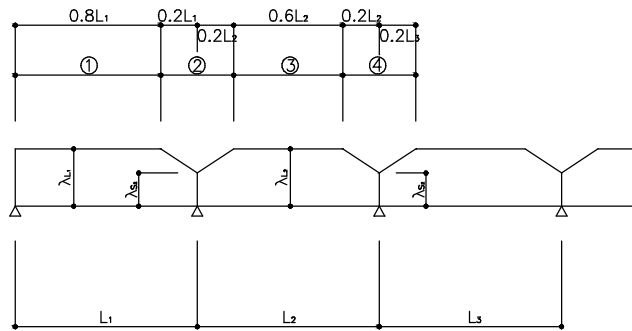
여기서, L, I : 실제 가로보의 길이 및 강성 L', I' : 모델링시 가로보의 길이 및 보정강성

- 비틀림 강성

$$\begin{aligned} K &= \sum (b \times t^3) / 3 \\ &= (300 \times 12^3 + 300 \times 12^3 + 800 \times 10^3) / 3 = 612267 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

3. 플랜지 및 슬래브 유효폭

3-1. 플랜지 유효폭 (도.설 3.8.3.4)



상부 : 복부간격 $2b = 2.600$ m, 플랜지돌출폭 $b_e = 0.100$ m

하부 : 복부간격 $2b = 2.600$ m, 플랜지돌출폭 $b_e = 0.100$ m

$L_1 = 50.000$ m

$L_2 = 50.000$ m

$L_3 = 50.000$ m

1. 제 1, 3 구간 정모멘트부

$$l = 0.8 \times L_1 = 0.8 \times 50 = 40.000 \text{ m}$$

· 상 부

$$b/l = 1.3 / 40 = 0.033$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L_1 = b = 1.3 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda L_1 + b_e) = 2.800 \text{ m}$$

· 하 부

$$b/l = 1.3 / 40 = 0.033$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L_1 = b = 1.3 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda L_1 + b_e) = 2.800 \text{ m}$$

2. 제 1, 2 구간 부모멘트부

$$l = 0.2 \times (L_1 + L_2) = 0.2 \times (50 + 50) = 20.000 \text{ m}$$

· 상 부

$$b/l = 1.3 / 20 = 0.065$$

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda S_1 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.132 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda S_1 + b_e) = 2.465 \text{ m}$$

· 하 부

$$b/l = 1.3 / 20 = 0.065$$

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda S_1 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 1.132 \text{ m}$$

$$2.465$$

3. 제 2 경간 정모멘트부

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

· 상 부

$$b/l = 1.3 / 30 = 0.043$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L2 = b = 1.3 \text{ m}$$

$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda L2 + b_e) = 2.800 \text{ m}$$

· 하 부

$$b/l = 1.3 / 30 = 0.043$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda L2 = b = 1.3 \text{ m}$$

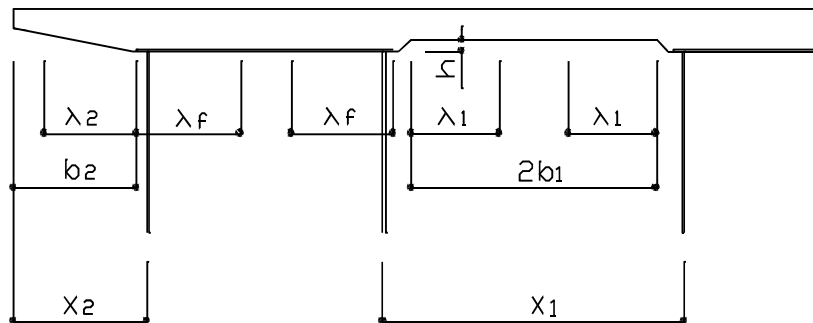
$$\therefore \text{플랜지 유효폭 } B = 2 \times (\lambda L2 + b_e) = 2.800 \text{ m}$$

3-2. 슬래브 유효폭 (도.설 3.8.3.4)

플랜지 상단 부분에서의 바닥판에 대한 전단 지연도 상판내의 전단지연과

같은 정도가 되는 것으로 간주 한다

1) GIRDER - 1, 2



$X1 = 5.000$: 인접한 GIRDER의 복부사이의 간격

$X2 = 1.200$: 외측 GIRDER 복부에서 캔틸레버 끝단까지의 거리

$h = 0.050$: 현차 높이

$b_e = 0.100$: 플랜지의 돌출폭

$$2b1 = X1 - 2(b_e + h) = 5 - 2 \times (0.1 + 0.05) = 4.700 \text{ m}$$

$$b2 = X2 - b_e = 1.2 - 0.1 = 1.100 \text{ m}$$

1. 제 1, 2 경간 정모멘트부

$$l = 0.8 \times L1 = 0.8 \times 50 = 40.000 \text{ m}$$

$$b1 / l = 2.35 / 40 = 0.059$$

여기서, $0.05 < b1/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda 1 = \{1.1 - 2(b1/l)\} \cdot b = 2.309 \text{ m}$$

$$b2 / l = 1.1 / 40 = 0.028$$

여기서, $b2/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda 2 = b = 1.1 \text{ m}$$

슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭 } + \lambda 1 + \lambda 2 + b_e =$$

$$6.250 \text{ m}$$

2. 제 1, 2 경간 부모멘트부

$$l = 0.2 \times (L_1 + L_2) = 0.2 \times (50 + 50) = 20.000 \text{ m}$$

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

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

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

$$b_2 / l = 1.1 / 20 = 0.055$$

여기서, $0.02 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda_2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\} \cdot b = 0.987 \text{ m}$$

슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭} + \lambda_1 + \lambda_2 + h = 5.255 \text{ m}$$

3. 제 2 경간 정모멘트부

$$l = 0.6 \times L_2 = 0.6 \times 50 = 30.000 \text{ m}$$

$$b_1 / l = 2.35 / 30 = 0.078$$

여기서, $0.05 < b/l < 0.30$ 이므로

$$\lambda_1 = \{1.1 - 2(b/l)\} \cdot b = 2.217 \text{ m}$$

$$b_2 / l = 1.1 / 30 = 0.037$$

여기서, $b/l \leq 0.05$ 이므로

$$\lambda_2 = b = 1.1 \text{ m}$$

슬래브 유효폭

$$B = \text{플랜지 유효폭} + \lambda_1 + \lambda_2 + h = 6.167 \text{ m}$$

4. 부재력 요약

[1경간 정모멘트부]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	11,185.906	3,256.546	6,864.963	530.238	0.643
G2	11,185.906	3,256.546	6,016.093	530.238	0.643

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	287.799	83.839	380.825	27.120	
G2	287.799	83.839	348.550	27.120	

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	-0.137	-0.150	286.791	0.035	
G2	0.137	0.150	400.298	0.035	

[2경간 정모멘트부]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	2,628.263	776.876	5,008.057	385.605	-0.21
G2	2,628.263	776.876	4,400.307	385.605	-0.21

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	287.978	86.883	416.592	53.719	
G2	287.978	86.883	374.431	53.719	

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	1.553	0.093	353.942	0.092	
G2	1.553	0.093	357.334	0.092	

[3경간 정모멘트부]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	11,185.906	3,256.546	6,864.963	530.238	0.643
G2	11,185.906	3,256.546	6,016.093	530.238	0.643

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	287.799	83.839	380.825	27.120	
G2	287.799	83.839	348.550	27.120	

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	0.137	0.150	363.068	0.035	
G2	-0.137	-0.150	399.199	0.035	

[1경간 부모멘트부]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	-16,136.708	-4,649.853	-8,072.782	-1,344.590	-0.21
G2	-16,136.708	-4,649.853	-6,311.953	-1,344.590	-0.21

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	-1,846.527	-523.929	-992.278	-53.751	
G2	-1,846.527	-523.929	-796.784	-53.751	

[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	-5.083	-1.359	-751.347	-0.128	
G2	-4.558	-1.343	-726.264	-0.128	

[2경간 부모멘트부]

[BENDING MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	-16,136.708	-4,649.853	-8,072.782	-1,344.590	-0.21
G2	-16,136.708	-4,649.853	-6,311.953	-1,344.590	-0.21

[SHEAR FORCE]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	-1,846.527	-523.929	-992.278	-53.751	
G2	-1,846.527	-523.929	-796.784	-53.751	

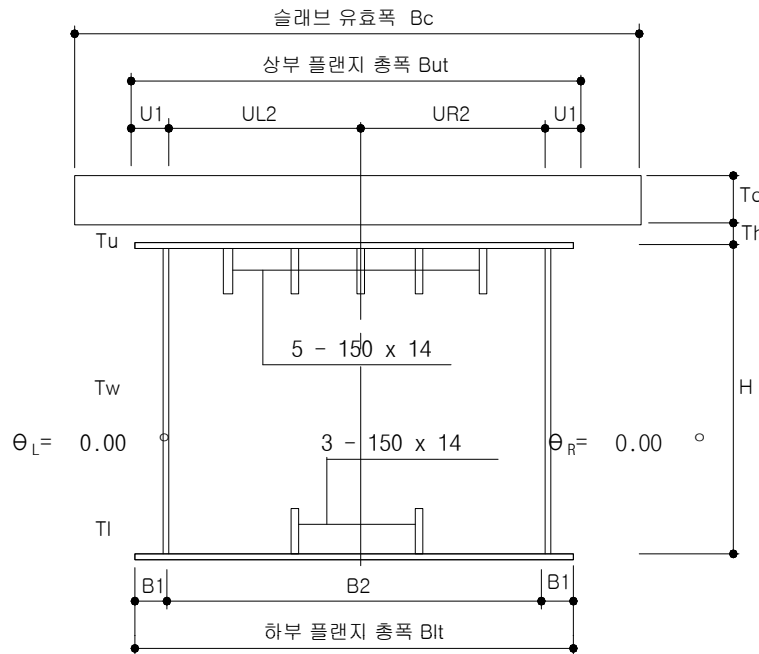
[TORSION MOMENT]

거더 번호	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	비 고
G1	-4.558	-1.343	-802.036	-0.128	
G2	-5.083	-1.359	-794.549	-0.128	

5. 단면검토

5-1. 1경간 최대 정모멘트 단면검토(G1)

1) 단면가정 및 설계조건



주부재사용강종 = SM490

H = 2.400 m

Bc = 6.259 m

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

B2 = 2.600 m

But= 2.800 , Blt= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.800 , Ble= 2.800 m

Tc = 0.250 m

Th = 0.050 m

Tu = 0.014 m

TI = 0.016 m

Tw = 0.012 m

U1 = 0.100 m

B1 = 0.100 m

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	11185.906
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	3256.546
Mv : 활하중+지점침하에 의한 모멘트	kN · m	7395.201
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	287.799
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	83.839
Sv : 활하중+지점침하에 의한 전단력	kN	407.945
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-0.137
Msct : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-0.150
Mvt : 활하중+지점침하에 의한 비틀림모멘트	kN · m	286.826

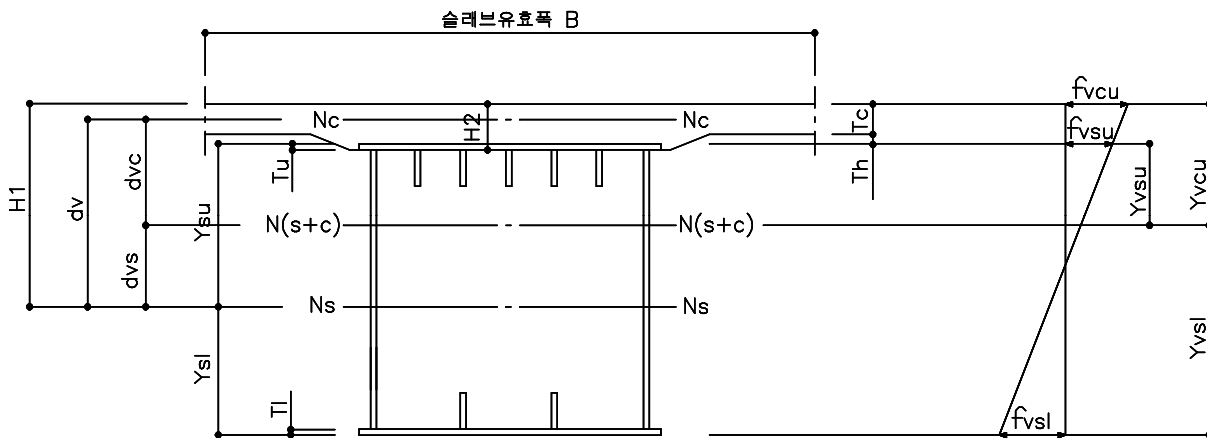
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 콘크리트바닥판자중
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	I _x (mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2800.0	14.0	39200	1207.0	47314400	57108480800	640266.6667
5 - UPPER RIB	14.0	150.0	10500	1125.0	11812500	13289062500	19687500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
3 - LOWER RIB	14.0	150.0	6300	-1125.0	-7087500	7973437500	11812500
1 - LOWER FLANGE	2800.0	16.0	44800	-1208.0	-54118400	65375027200	955733.3333
강단면 합계			158400		-2079000	1.43746E+11	27681096000
1 - RC SLAB	6259.0	250.0	1564750	1375.0	2151531250	2958355468750	8149739583

* As = 158400 mm² , Ac = 1564750 mm²

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_{s'} = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = ##### + 27681096000.0 = 171427104000 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -2079000 / 158400 = -13.125 \text{ mm}$$

$$I_s = I_{s'} - A_s \cdot \delta s^2 = ##### - 158400 \times (-13.125)^2 = 171399817125 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 14.0 - (-13.125) = 1227.125 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1227.125 - 2430.000 = -1202.875 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 6307980.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 80.085 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -78.502 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 4.997 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$A_v = A_s + A_c/n = 353993.8 \text{ mm}^2$$

$$I_c/n = 1018717448 \text{ mm}^4$$

$$I_{cn} = I_c/n + A_v \cdot Y_{cn}^2 = 10200000000 \text{ mm}^4$$

$$621.1$$

$$\begin{aligned}
dvs &= dv - dvc = 767.0 \text{ mm} \\
Yvcu &= dvc + Tc/2 = 746.1 \text{ mm} \\
Yvcl &= Yvcu - Tc = 496.1 \text{ mm} \\
Yvsu &= Yvcu - H2 + Tu = 460.1 \text{ mm} \\
Yvsl &= Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1969.9 \text{ mm} \\
Iv &= Is + Ic/n + As \cdot dvs^2 + Ac/n \cdot dvc^2 = 341062850442 \text{ mm}^4 \\
Fv &= b \cdot hv = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 6348792.5 \text{ mm}^2 \\
fvcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fvcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvsu &= Msc \cdot Yvsu / Iv = 4.394 \text{ MPa} \\
fvsl &= Msc \cdot Yvsl / Iv = -18.809 \text{ MPa} \\
u &= Ssc / A(Web) + Msct / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 1.457 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}
fvcu &= Mv \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 2.022 \text{ MPa} \\
fvcl &= Mv \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 1.345 \text{ MPa} \\
fvsu &= Mv \cdot Yvsu / Iv = 9.977 \text{ MPa} \\
fvsl &= Mv \cdot Yvsl / Iv = -42.712 \text{ MPa} \\
u &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 8.965 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}
n1 &= n \cdot (1 + \phi 1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
Av1 &= As + Ac/n1 = 256196.9 \text{ mm}^2 & \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\
dc1 &= dv \cdot As / (Ac/n1 + As) = 858.2 \text{ mm} & K = 0.643 \\
ds1 &= dv - dc1 = 529.9 \text{ mm} \\
Yv1cu &= dc1 + Tc/2 = 983.2 \text{ mm} \\
Yv1cl &= Yv1cu - Tc = 733.2 \text{ mm} \\
Yv1su &= Yv1cu - H2 + Tu = 697.2 \text{ mm} \\
Yv1sl &= Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1732.8 \text{ mm} \\
Iv1 &= Is + Ic/n1 + As \cdot ds1^2 + Ac/n1 \cdot dc1^2 = 288419249968 \text{ mm}^4 \\
Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac / (n \cdot Iv) = 1160021 \text{ N} \\
P\phi &= Nc \cdot 2 \cdot \phi 1 / (2 + \phi 1) = 1160021 \text{ N} \\
M\phi &= P\phi \cdot dc1 = 995579297 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
Ec1 &= Ec / (1 + \phi 1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\
fcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvcu1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cu / Iv1) - Ec1 \cdot fcu \cdot \phi 1 / Ec = -0.471 \text{ MPa} \\
fvcl1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cl / Iv1) - Ec1 \cdot fcl \cdot \phi 1 / Ec = -0.207 \text{ MPa} \\
fvsu1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1su / Iv1 = 6.075 \text{ MPa} \\
fvsl1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1sl / Iv1 = 6.075 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(5) 건 조 수 축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 223597.917 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 983.4 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 404.8 \text{ mm}$$

$$Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1108.4 \text{ mm}$$

$$Yv2cl = Yv2cu - Tc = 858.4 \text{ mm}$$

$$Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 822.4 \text{ mm}$$

$$Yv2sl = Yv2su - (H + Tu + Tl) = -1607.6 \text{ mm}$$

$$Iv2 = Is + Ic/n2 + As \cdot ds2^2 + Ac/n2 \cdot dc2^2 = 260736989526.6 \text{ mm}^4$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon s \cdot Ac/n2 = 2464481 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2423491600 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ec2 = Es \cdot /n2 = 8750 \text{ MPa}$$

$$fvcu2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cu/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon s = -0.840 \text{ MPa}$$

$$fvcl2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cl/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon s = -0.902 \text{ MPa}$$

$$fvsu2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2su/Iv2 = 15.937 \text{ MPa}$$

$$fvs12 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2sl/Iv2 = 1.414 \text{ MPa}$$

(6) 온 도 차

$$\epsilon t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon t \cdot Ac/n = 4928963 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3061566329 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fcut1 = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcu/Iv) - Ec \cdot \epsilon t = -0.925 \text{ MPa}$$

$$fclt1 = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcl/Iv) - Ec \cdot \epsilon t = -1.106 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsu/Iv = 16.580 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsl/Iv = 2.554 \text{ MPa}$$

(7) 전 단 및 비틀림

$$u = (Ss + Ssc + Sv)/Aw + Mst/(2 F Tw) + (Msct + Mvt)/(2 FvTw) = 15.415 \text{ MPa} < ua = 110 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

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

* 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_u \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.1 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.8 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190 - 3.9 \left(\frac{b}{(t_u \cdot i \cdot n) - 24} \right) = 162.9$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.4 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 220000 \times \left\{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \right\} = 229.633 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_u = 14.0 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } f_{ca} = 162.886 \text{ MPa}$$

* 철근콘크리트의 허용응력 (도.설 3.9.3)

$$f_{ca} = 0.4 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

$$(f_{ck} = 27 \text{ MPa 사용})$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

하중조합	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			10.800	10.800	80.085	-78.502	162.886	190.000
1+2+3	2.913	1.937	10.800	10.800	94.455	-140.023	162.886	190.000
1+2+3+4	2.442	1.729	10.800	10.800	100.531	-139.341	187.319	190.000
1+2+3+4+5	1.602	0.827	10.800	10.800	116.468	-137.927	187.319	190.000
1+2+3+4+5+6	0.677	-0.278	12.420	2.174	133.047	-135.373	211.752	218.500
1+2+3+4+5-6	2.527	1.933	12.420	12.420	99.888	-140.481	211.752	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 활증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{133.047}{211.752} \right)^2 + \left(\frac{15.415}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.395 + 0.020 = 0.414 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(하 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{-140.023}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{15.415}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.542 + 0.020 = 0.562 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(10) 판의 최소두께 검토

압축(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K. (합성형 스퍼드 설치)}$$

인장(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1 및 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (80 \cdot n) = 2600 / (80 \times 4) = 8.1 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/80.085)} = 1.540 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = bc / (219 \times 1.195) = 3.5 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/133.047)} = 1.195 < 1.2 \Rightarrow 1.195$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
 $+ (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도차응력변화량})$ 의 조합 중에서
 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 사하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = 0.891 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 2.913 - 0.891 = 2.022 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 2.022 + (-0.471) + (-0.84) + (0.925) = 5.120 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 2.022 + (0.925) = 6.431 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 80.085 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsu} = 4.394 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 94.455 - 80.085 - 4.394 = 9.977 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 9.977 + (6.075) + (15.937) + (16.58) = 169.864 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 9.977 + (16.58) = 147.852 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -78.502 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsl} = -18.809 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -140.023 - -78.502 - -18.809 = -42.712 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -42.712 + (0.682) + (1.414) + (-2.554) = -218.793 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

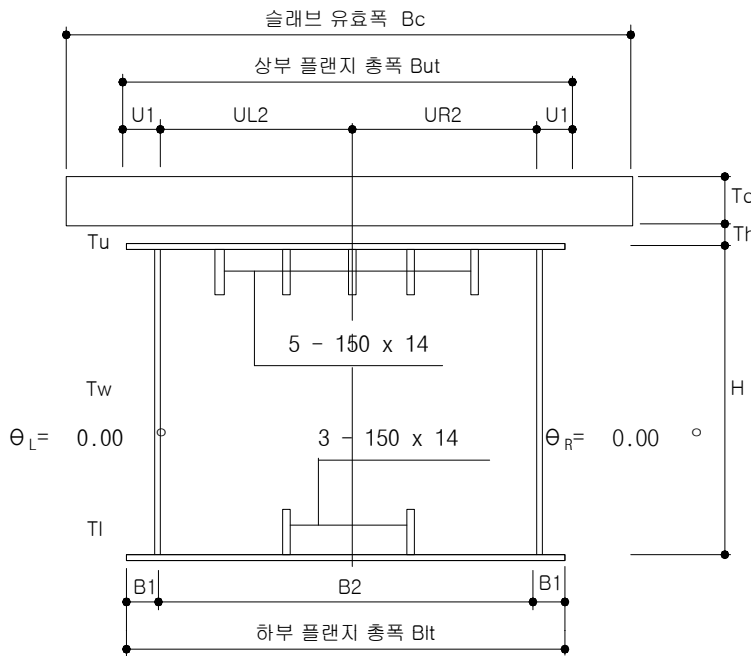
$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -42.712 + (-2.554) = -220.889 \text{ MPa} < 315.0$$

- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	5.120	16.200	0.K!!!	3.16
	크리프, 건조수축제외시	6.431	16.200	0.K!!!	2.51
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	169.864	315.000	0.K!!!	1.85
	크리프, 건조수축제외시	147.852	315.000	0.K!!!	2.13
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-218.793	315.000	0.K!!!	1.43
	크리프, 건조수축제외시	-220.889	315.000	0.K!!!	1.42

5-2. 2경간 최대 정모멘트 단면검토(G1)

1) 단면가정 및 설계조건



주부재사용강종 = SM490

H = 2.400 m

Bc = 6.167 m

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

B2 = 2.600 m

But= 2.800 , Bit= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.800 , Ble= 2.800 m

Tc = 0.250 m

Th = 0.050 m

Tu = 0.012 m

TI = 0.012 m

Tw = 0.012 m

U1 = 0.100 m

B1 = 0.100 m

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	2628.263
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	776.876
Mv : 활하중+지점침하에 의한 모멘트	kN · m	5393.662
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	287.978
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	86.883
Sv : 활하중+지점침하에 의한 전단력	kN	470.311
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	1.553
Msct : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	0.093
Mvt : 활하중+지점침하에 의한 비틀림모멘트	kN · m	354.034

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

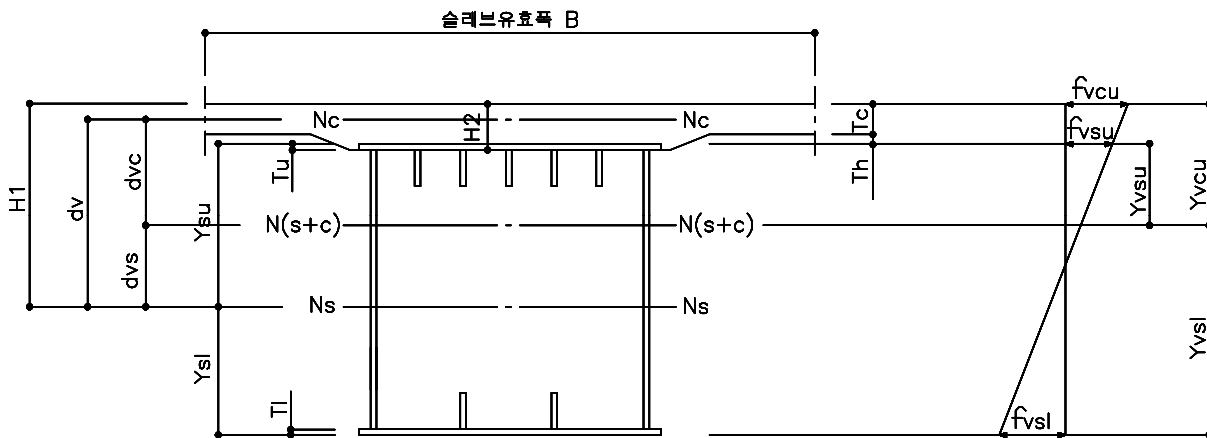
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	I _x (mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2800.0	12.0	33600	1206.0	40521600	48869049600	403200
5 - UPPER RIB	14.0	150.0	10500	1125.0	11812500	13289062500	19687500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
3 - LOWER RIB	14.0	150.0	6300	-1125.0	-7087500	7973437500	11812500
1 - LOWER FLANGE	2800.0	12.0	33600	-1206.0	-40521600	48869049600	403200
강단면 합계			141600		4725000	1.19001E+11	27680306400
1 - RC SLAB	6167.0	250.0	1541750	1375.0	2119906250	2914871093750	8029947917

* As = 141600 mm² , Ac = 1541750 mm²

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = \text{#####} + 27680306400.0 = 146680905600 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = 4725000 / 141600 = 33.369 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = \text{#####} - 141600 \times 33.369^2 = 146523238757 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 12.0 - 33.369 = 1178.631 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1178.631 - 2424.000 = -1245.369 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 6300144.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 21.142 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -22.339 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 5.010 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$A_v = A_s + A_c/n = 334318.8 \text{ mm}^2$$

$$I_c/n = 1003743490 \text{ mm}^4$$

$$I_{cv} = I_c/n + A_v \cdot Y_{cv}^2 = 1003743490 + 334318.8 \cdot 124.0^2 = 568.2$$

$$\begin{aligned}
dvs &= dv - dvc = 773.4 \text{ mm} \\
Yvcu &= dvc + Tc/2 = 693.2 \text{ mm} \\
Yvcl &= Yvcu - Tc = 443.2 \text{ mm} \\
Yvsu &= Yvcu - H2 + Tu = 405.2 \text{ mm} \\
Yvsl &= Yvsu - (H + Tu + Tl) = -2018.8 \text{ mm} \\
Iv &= Is + Ic/n + As \cdot dvs^2 + Ac/n \cdot dvc^2 = 294451031402 \text{ mm}^4 \\
Fv &= b \cdot hv = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 6340956.5 \text{ mm}^2 \\
fvcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.229 \text{ MPa} \\
fvcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.146 \text{ MPa} \\
fvsu &= Msc \cdot Yvsu / Iv = 1.069 \text{ MPa} \\
fvsl &= Msc \cdot Yvsl / Iv = -5.326 \text{ MPa} \\
u &= Ssc / A(Web) + Msct / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 1.509 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}
fvcu &= Mv \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 1.587 \text{ MPa} \\
fvcl &= Mv \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 1.015 \text{ MPa} \\
fvsu &= Mv \cdot Yvsu / Iv = 7.423 \text{ MPa} \\
fvsl &= Mv \cdot Yvsl / Iv = -36.979 \text{ MPa} \\
u &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 10.491 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}
n1 &= n \cdot (1 + \phi 1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
Av1 &= As + Ac/n1 = 237959.4 \text{ mm}^2 & \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\
dc1 &= dv \cdot As / (Ac/n1 + As) = 798.4 \text{ mm} & K = -0.210 \\
ds1 &= dv - dc1 = 543.3 \text{ mm} \\
Yv1cu &= dc1 + Tc/2 = 923.4 \text{ mm} \\
Yv1cl &= Yv1cu - Tc = 673.4 \text{ mm} \\
Yv1su &= Yv1cu - H2 + Tu = 635.4 \text{ mm} \\
Yv1sl &= Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1788.6 \text{ mm} \\
Iv1 &= Is + Ic/n1 + As \cdot ds1^2 + Ac/n1 \cdot dc1^2 = 250234879939 \text{ mm}^4 \\
Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac / (n \cdot Iv) = 288934 \text{ N} \\
P\phi &= Nc \cdot 2 \cdot \phi 1 / (2 + \phi 1) = 288934 \text{ N} \\
M\phi &= P\phi \cdot dc1 = 230670442 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
Ec1 &= Ec / (1 + \phi 1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\
fcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.229 \text{ MPa} \\
fcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.146 \text{ MPa} \\
fvcu1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cu / Iv1) - Ec1 \cdot fcu \cdot \phi 1 / Ec = -0.164 \text{ MPa} \\
fvcl1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cl / Iv1) - Ec1 \cdot fcl \cdot \phi 1 / Ec = -0.078 \text{ MPa} \\
fvsu1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1su / Iv1 = 1.091 \text{ MPa} \\
fvsl1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1sl / Iv1 = 4.500 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(5) 건 조 수 축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 205839.583 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 922.9 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 418.7 \text{ mm}$$

$$Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1047.9 \text{ mm}$$

$$Yv2cl = Yv2cu - Tc = 797.9 \text{ mm}$$

$$Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 759.9 \text{ mm}$$

$$Yv2sl = Yv2su - (H + Tu + Tl) = -1664.1 \text{ mm}$$

$$Iv2 = Is + Ic/n2 + As \cdot ds2^2 + Ac/n2 \cdot dc2^2 = 226401096069.1 \text{ mm}^4$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2428256 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2241104328 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ec2 = Es \cdot /n2 = 8750 \text{ MPa}$$

$$fvcu2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cu/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -1.174 \text{ MPa}$$

$$fvcl2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cl/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -1.153 \text{ MPa}$$

$$fvsu2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2su/Iv2 = 10.217 \text{ MPa}$$

$$fvs12 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2sl/Iv2 = 15.256 \text{ MPa}$$

(6) 온 도 차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4856513 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 2759689554 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fcut1 = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcu/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -1.559 \text{ MPa}$$

$$fclt1 = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcl/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -1.497 \text{ MPa}$$

$$fsut1 = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsu/Iv = 13.729 \text{ MPa}$$

$$fslt1 = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsl/Iv = 18.500 \text{ MPa}$$

(7) 전 단 및 비틀림

$$u = (Ss + Ssc + Sv)/Aw + Mst/(2 F Tw) + (Msct + Mvt)/(2 FvTw) = 17.010 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

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

* 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_u \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.1 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.8 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190 - 3.9 \left(\frac{b}{(t_u \cdot i \cdot n) - 24} \right) = 142.8$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.4 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 220000 \times \left\{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \right\} = 168.710 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_u = 12.0 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } f_{ca} = 142.767 \text{ MPa}$$

* 철근콘크리트의 허용응력 (도.설 3.9.3)

$$f_{ca} = 0.4 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

$$(f_{ck} = 27 \text{ MPa 사용})$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

하중조합	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			10.800	10.800	21.142	-22.339	142.767	190.000
1+2+3	1.816	1.161	10.800	10.800	29.634	-64.644	142.767	190.000
1+2+3+4	1.652	1.083	10.800	10.800	30.725	-63.084	164.182	190.000
1+2+3+4+5	0.478	-0.070	10.800	1.890	40.942	-47.828	164.182	190.000
1+2+3+4+5+6	-1.081	-1.567	2.174	2.174	54.671	-29.328	185.597	218.500
1+2+3+4+5-6	2.037	1.428	12.420	12.420	27.213	-66.327	185.597	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 활증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{54.671}{185.597} \right)^2 + \left(\frac{17.010}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.087 + 0.024 = 0.111 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(하 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{-64.644}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{17.010}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.112 + 0.024 = 0.136 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(10) 판의 최소두께 검토

압축(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K. (합성형 스퍼드 설치)}$$

인장(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1 및 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (80 \cdot n) = 2600 / (80 \times 4) = 8.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(fca/fc)} = \sqrt{(190/21.142)} = 2.998 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = bc / (219 \times 1.200) = 3.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(fca/fc)} = \sqrt{(190/54.671)} = 1.864 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
 $+ (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도차응력변화량})$ 의 조합 중에서
 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 사하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = 0.229 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 1.816 - 0.229 = 1.587 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.229 + 2.15 \times 1.587 + (-0.164) + (-1.174) + (1.559) \\ = 3.931 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.229 + 2.15 \times 1.587 + (1.559) \\ = 5.269 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 21.142 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsu} = 1.069 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 29.634 - 21.142 - 1.069 = 7.423 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (21.142 + 1.069) + 2.15 \times 7.423 + (1.091) + (10.217) + (13.729) \\ = 69.871 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (21.142 + 1.069) + 2.15 \times 7.423 + (13.729) \\ = 58.563 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -22.339 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsl} = -5.326 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -64.644 - -22.339 - -5.326 = -36.979 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-22.339 + -5.326) + 2.15 \times -36.979 + (1.56) + (15.256) + (-18.5) \\ = -117.153 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-22.339 + -5.326) + 2.15 \times -36.979 + (-18.5) \\ = -133.969 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa}$$

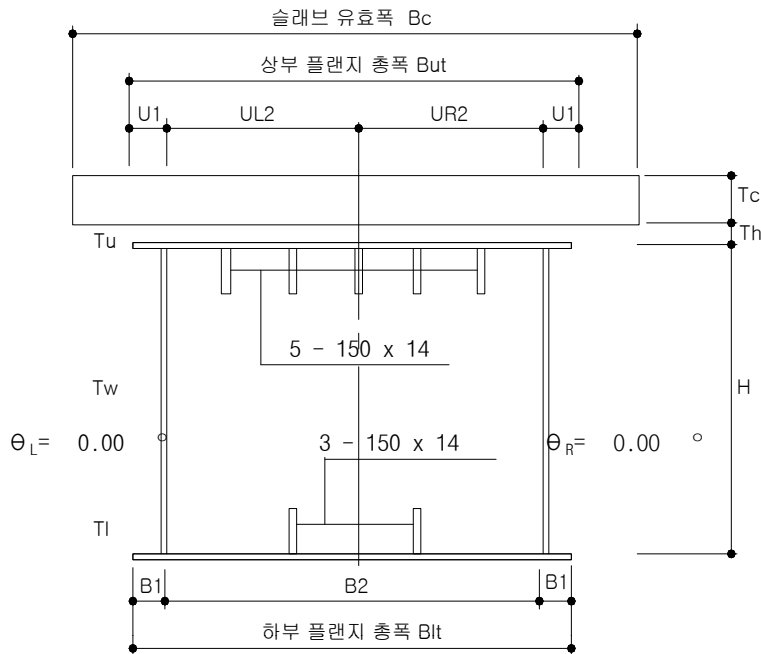
- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	3.931	16.200	0.K!!!	4.12
	크리프, 건조수축제외시	5.269	16.200	0.K!!!	3.07
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	69.871	315.000	0.K!!!	4.50
	크리프, 건조수축제외시	58.563	315.000	0.K!!!	5.37
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-117.153	315.000	0.K!!!	2.68
	크리프, 건조수축제외시	-133.969	315.000	0.K!!!	2.35

5-3. 3경간 최대 정모멘트 단면검토(G1)

1) 단면가정 및 설계조건

주부재사용강종 = SM490


$$H = 2.400 \text{ m}$$
$$B_C = 6.259 \text{ m}$$

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

$$B2 = 2.600 \text{ m}$$

But= 2.800 , Blt= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.800 , Ble= 2.800 m

$$T_C = 0.250 \text{ m}$$
$$T_h = 0.050 \text{ m}$$
$$T_u = 0.014 \text{ m}$$
$$Tl = 0.016 \text{ m}$$
$$T_W = 0.012 \text{ m}$$
$$U1 = 0.100 \text{ m}$$
$$B1 = 0.100 \text{ m}$$

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
E_s : 강의 탄성계수	MPa	210000
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
ε_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수		0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	11185.906
M_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	3256.546
M_v : 활하중+지점침하에 의한 모멘트	kN · m	7395.201
S_s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	287.799
S_{sc} : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	83.839
S_v : 활하중+지점침하에 의한 전단력	kN	407.945
M_{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	0.137
M_{sct} : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	0.150
M_{vt} : 활하중+지점침하에 의한 비틀림모멘트	kN · m	363.103

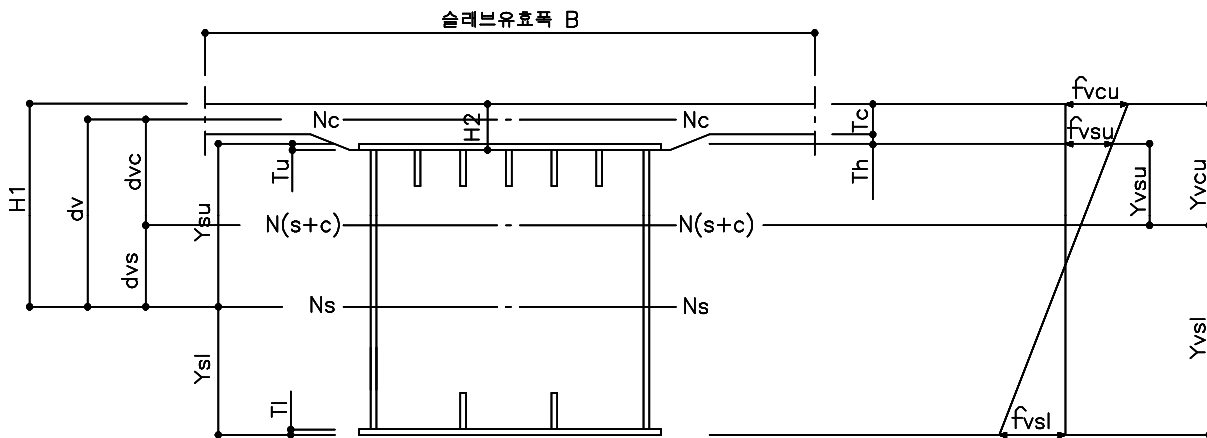
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 콘크리트바닥판자중
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y ² (mm ⁴)	I _x (mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2800.0	14.0	39200	1207.0	47314400	57108480800	640266.6667
5 - UPPER RIB	14.0	150.0	10500	1125.0	11812500	13289062500	19687500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
3 - LOWER RIB	14.0	150.0	6300	-1125.0	-7087500	7973437500	11812500
1 - LOWER FLANGE	2800.0	16.0	44800	-1208.0	-54118400	65375027200	955733.3333
강단면 합계			158400		-2079000	1.43746E+11	27681096000
1 - RC SLAB	6259.0	250.0	1564750	1375.0	2151531250	2958355468750	8149739583

* As = 158400 mm² , Ac = 1564750 mm²

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = \text{#####} + 27681096000.0 = 171427104000 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -2079000 / 158400 = -13.125 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = \text{#####} - 158400 \times -13.125^2 = 171399817125 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 14.0 - -13.125 = 1227.125 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1227.125 - 2430.000 = -1202.875 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 6307980.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 80.085 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -78.502 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 4.997 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$A_v = A_s + A_c/n = 353993.8 \text{ mm}^2$$

$$I_c/n = 1018717448 \text{ mm}^4$$

$$I_{cn} = I_c/n + A_v \cdot Y_{cn}^2 = 10200000000 \text{ mm}^4$$

$$621.1$$

$$\begin{aligned}
dvs &= dv - dvc = 767.0 \text{ mm} \\
Yvcu &= dvc + Tc/2 = 746.1 \text{ mm} \\
Yvcl &= Yvcu - Tc = 496.1 \text{ mm} \\
Yvsu &= Yvcu - H2 + Tu = 460.1 \text{ mm} \\
Yvsl &= Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1969.9 \text{ mm} \\
Iv &= Is + Ic/n + As \cdot dvs^2 + Ac/n \cdot dvc^2 = 341062850442 \text{ mm}^4 \\
Fv &= b \cdot hv = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 6348792.5 \text{ mm}^2 \\
fvcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fvcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvsu &= Msc \cdot Yvsu / Iv = 4.394 \text{ MPa} \\
fvsl &= Msc \cdot Yvsl / Iv = -18.809 \text{ MPa} \\
u &= Ssc / A(Web) + Msct / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 1.457 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}
fvcu &= Mv \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 2.022 \text{ MPa} \\
fvcl &= Mv \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 1.345 \text{ MPa} \\
fvsu &= Mv \cdot Yvsu / Iv = 9.977 \text{ MPa} \\
fvsl &= Mv \cdot Yvsl / Iv = -42.712 \text{ MPa} \\
u &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 9.465 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}
n1 &= n \cdot (1 + \phi 1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
Av1 &= As + Ac/n1 = 256196.9 \text{ mm}^2 & \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\
dc1 &= dv \cdot As / (Ac/n1 + As) = 858.2 \text{ mm} & K = 0.643 \\
ds1 &= dv - dc1 = 529.9 \text{ mm} \\
Yv1cu &= dc1 + Tc/2 = 983.2 \text{ mm} \\
Yv1cl &= Yv1cu - Tc = 733.2 \text{ mm} \\
Yv1su &= Yv1cu - H2 + Tu = 697.2 \text{ mm} \\
Yv1sl &= Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1732.8 \text{ mm} \\
Iv1 &= Is + Ic/n1 + As \cdot ds1^2 + Ac/n1 \cdot dc1^2 = 288419249968 \text{ mm}^4 \\
Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac / (n \cdot Iv) = 1160021 \text{ N} \\
P\phi &= Nc \cdot 2 \cdot \phi 1 / (2 + \phi 1) = 1160021 \text{ N} \\
M\phi &= P\phi \cdot dc1 = 995579297 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
Ec1 &= Ec / (1 + \phi 1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\
fcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvcu1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cu / Iv1) - Ec1 \cdot fcu \cdot \phi 1 / Ec = -0.471 \text{ MPa} \\
fvcl1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cl / Iv1) - Ec1 \cdot fcl \cdot \phi 1 / Ec = -0.207 \text{ MPa} \\
fvsu1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1su / Iv1 = 6.075 \text{ MPa} \\
fvsl1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1sl / Iv1 = 6.075 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(5) 건 조 수 축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 223597.917 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 983.4 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 404.8 \text{ mm}$$

$$Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1108.4 \text{ mm}$$

$$Yv2cl = Yv2cu - Tc = 858.4 \text{ mm}$$

$$Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 822.4 \text{ mm}$$

$$Yv2sl = Yv2su - (H + Tu + Tl) = -1607.6 \text{ mm}$$

$$Iv2 = Is + Ic/n2 + As \cdot ds2^2 + Ac/n2 \cdot dc2^2 = 260736989526.6 \text{ mm}^4$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2464481 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2423491600 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ec2 = Es \cdot /n2 = 8750 \text{ MPa}$$

$$fvcu2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cu/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -0.840 \text{ MPa}$$

$$fvcl2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cl/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -0.902 \text{ MPa}$$

$$fvsu2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2su/Iv2 = 15.937 \text{ MPa}$$

$$fvsl2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2sl/Iv2 = 1.414 \text{ MPa}$$

(6) 온 도 차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4928963 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3061566329 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fcut = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcu/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -0.925 \text{ MPa}$$

$$fclt = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcl/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -1.106 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsu/Iv = 16.580 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsl/Iv = 2.554 \text{ MPa}$$

(7) 전 단 및 비틀림

$$u = (Ss + Ssc + Sv)/Aw + Mst/(2 F Tw) + (Msct + Mvt)/(2 FvTw) = 15.919 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

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

* 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_u \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.1 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.8 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190 - 3.9 \left(\frac{b}{(t_u \cdot i \cdot n) - 24} \right) = 162.9$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.4 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 220000 \times \left\{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \right\} = 229.633 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_u = 14.0 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } f_{ca} = 162.886 \text{ MPa}$$

* 철근콘크리트의 허용응력 (도.설 3.9.3)

$$f_{ca} = 0.4 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

$$(f_{ck} = 27 \text{ MPa 사용})$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

하중조합	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			10.800	10.800	80.085	-78.502	162.886	190.000
1+2+3	2.913	1.937	10.800	10.800	94.455	-140.023	162.886	190.000
1+2+3+4	2.442	1.729	10.800	10.800	100.531	-139.341	187.319	190.000
1+2+3+4+5	1.602	0.827	10.800	10.800	116.468	-137.927	187.319	190.000
1+2+3+4+5+6	0.677	-0.278	12.420	2.174	133.047	-135.373	211.752	218.500
1+2+3+4+5-6	2.527	1.933	12.420	12.420	99.888	-140.481	211.752	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 활중 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{133.047}{211.752} \right)^2 + \left(\frac{15.919}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.395 + 0.021 = 0.416 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(하 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{-140.023}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{15.919}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.540 + 0.021 = 0.561 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(10) 판의 최소두께 검토

압축(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K.}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K.} \quad (\text{합성형 스테드 설치})$$

인장(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1 및 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (80 \cdot n) = 2600 / (80 \times 4) = 8.1 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K.}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/80.085)} = 1.540 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = bc / (219 \times 1.195) = 3.5 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/133.047)} = 1.195 < 1.2 \Rightarrow 1.195$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
 $+ (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도차응력변화량})$ 의 조합 중에서
 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 사하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = 0.891 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 2.913 - 0.891 = 2.022 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 2.022 + (-0.471) + (-0.84) + (0.925) = 5.120 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \mathbf{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 2.022 + (0.925) = 6.431 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \mathbf{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 80.085 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsu} = 4.394 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 94.455 - 80.085 - 4.394 = 9.977 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 9.977 + (6.075) + (15.937) + (16.58) = 169.864 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 9.977 + (16.58) = 147.852 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -78.502 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsl} = -18.809 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -140.023 - -78.502 - -18.809 = -42.712 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -42.712 + (0.682) + (1.414) + (-2.554) = -218.793 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -42.712 + (-2.554) = -220.889 \text{ MPa} < 315.0$$

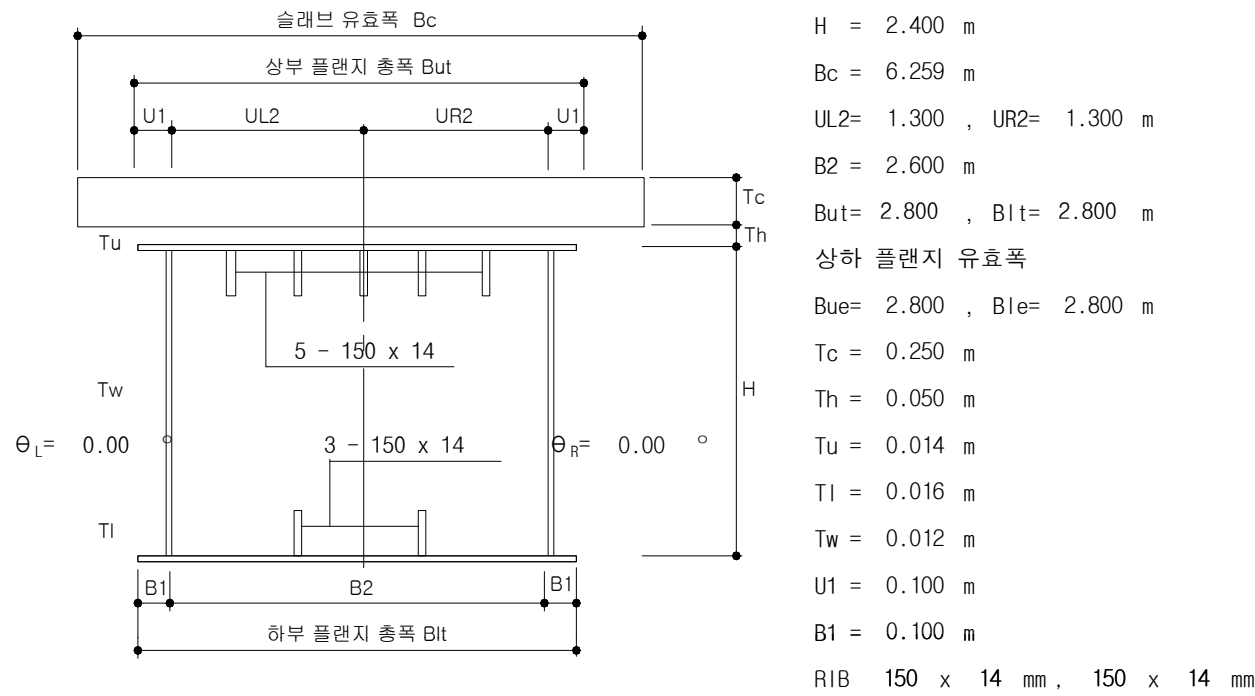
- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	5.120	16.200	0.K!!!	3.16
	크리프, 건조수축제외시	6.431	16.200	0.K!!!	2.51
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	169.864	315.000	0.K!!!	1.85
	크리프, 건조수축제외시	147.852	315.000	0.K!!!	2.13
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-218.793	315.000	0.K!!!	1.43
	크리프, 건조수축제외시	-220.889	315.000	0.K!!!	1.42

5-4. 1경간 최대 정모멘트 단면검토(G2)

1) 단면가정 및 설계조건

주부재사용강종 = SM490



구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ2 : 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	11185.906
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	3256.546
Mv : 활하중+지점침하에 의한 모멘트	kN · m	6546.331
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	287.799
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	83.839
Sv : 활하중+지점침하에 의한 전단력	kN	375.670
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	0.137
Msct : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	0.150
Mvt : 활하중+지점침하에 의한 비틀림모멘트	kN · m	400.333

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

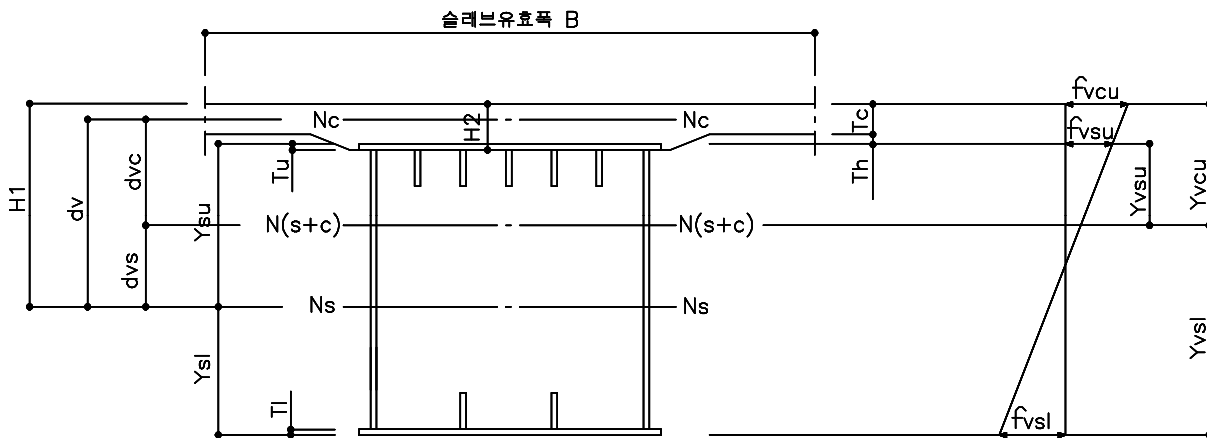
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y ² (mm ⁴)	I _x (mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2800.0	14.0	39200	1207.0	47314400	57108480800	640266.6667
5 - UPPER RIB	14.0	150.0	10500	1125.0	11812500	13289062500	19687500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
3 - LOWER RIB	14.0	150.0	6300	-1125.0	-7087500	7973437500	11812500
1 - LOWER FLANGE	2800.0	16.0	44800	-1208.0	-54118400	65375027200	955733.3333
강단면 합계			158400		-2079000	1.43746E+11	27681096000
1 - RC SLAB	6259.0	250.0	1564750	1375.0	2151531250	2958355468750	8149739583

* As = 158400 mm² , Ac = 1564750 mm²

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 143746008000 + 27681096000.0 = 171427104000 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -2079000 / 158400 = -13.125 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = ##### - 158400 \times -13.125^2 = 171399817125 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 14.0 - -13.125 = 1227.125 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1227.125 - 2430.000 = -1202.875 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 6307980.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 80.085 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -78.502 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 4.997 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$A_v = A_s + A_c/n = 353993.8 \text{ mm}^2$$

$$I_c/n = 1018717448 \text{ mm}^4$$

$$I_{cn} = I_c/n + A_v \cdot Y_{cn}^2 = 10200000000 \text{ mm}^4$$

$$621.1$$

$$\begin{aligned}
dvs &= dv - dvc = 767.0 \text{ mm} \\
Yvcu &= dvc + Tc/2 = 746.1 \text{ mm} \\
Yvcl &= Yvcu - Tc = 496.1 \text{ mm} \\
Yvsu &= Yvcu - H2 + Tu = 460.1 \text{ mm} \\
Yvsl &= Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1969.9 \text{ mm} \\
Iv &= Is + Ic/n + As \cdot dvs^2 + Ac/n \cdot dvc^2 = 341062850442 \text{ mm}^4 \\
Fv &= b \cdot hv = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 6348792.5 \text{ mm}^2 \\
fvcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fvcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvsu &= Msc \cdot Yvsu / Iv = 4.394 \text{ MPa} \\
fvsl &= Msc \cdot Yvsl / Iv = -18.809 \text{ MPa} \\
u &= Ssc / A(Web) + Msct / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 1.457 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}
fvcu &= Mv \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 1.790 \text{ MPa} \\
fvcl &= Mv \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 1.190 \text{ MPa} \\
fvsu &= Mv \cdot Yvsu / Iv = 8.832 \text{ MPa} \\
fvsl &= Mv \cdot Yvsl / Iv = -37.809 \text{ MPa} \\
u &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 9.149 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}
n1 &= n \cdot (1 + \phi 1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
Av1 &= As + Ac/n1 = 256196.9 \text{ mm}^2 & \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\
dc1 &= dv \cdot As / (Ac/n1 + As) = 858.2 \text{ mm} & K = 0.643 \\
ds1 &= dv - dc1 = 529.9 \text{ mm} \\
Yv1cu &= dc1 + Tc/2 = 983.2 \text{ mm} \\
Yv1cl &= Yv1cu - Tc = 733.2 \text{ mm} \\
Yv1su &= Yv1cu - H2 + Tu = 697.2 \text{ mm} \\
Yv1sl &= Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1732.8 \text{ mm} \\
Iv1 &= Is + Ic/n1 + As \cdot ds1^2 + Ac/n1 \cdot dc1^2 = 288419249968 \text{ mm}^4 \\
Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac / (n \cdot Iv) = 1160021 \text{ N} \\
P\phi &= Nc \cdot 2 \cdot \phi 1 / (2 + \phi 1) = 1160021 \text{ N} \\
M\phi &= P\phi \cdot dc1 = 995579297 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
Ec1 &= Ec / (1 + \phi 1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\
fcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvcu1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cu / Iv1) - Ec1 \cdot fcu \cdot \phi 1 / Ec = -0.471 \text{ MPa} \\
fvcl1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cl / Iv1) - Ec1 \cdot fcl \cdot \phi 1 / Ec = -0.207 \text{ MPa} \\
fvsu1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1su / Iv1 = 6.075 \text{ MPa} \\
fvsl1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1sl / Iv1 = 6.075 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(5) 건 조 수 축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 223597.917 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 983.4 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 404.8 \text{ mm}$$

$$Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1108.4 \text{ mm}$$

$$Yv2cl = Yv2cu - Tc = 858.4 \text{ mm}$$

$$Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 822.4 \text{ mm}$$

$$Yv2sl = Yv2su - (H + Tu + Tl) = -1607.6 \text{ mm}$$

$$lv2 = ls + lc/n2 + As \cdot ds2^2 + Ac/n2 \cdot dc2^2 = 260736989526.6 \text{ mm}^4$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon s \cdot Ac/n2 = 2464481 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2423491600 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ec2 = Es \cdot /n2 = 8750 \text{ MPa}$$

$$fvcu2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cu/lv2) - Ec2 \cdot \epsilon s = -0.840 \text{ MPa}$$

$$fvcl2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cl/lv2) - Ec2 \cdot \epsilon s = -0.902 \text{ MPa}$$

$$fvsu2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2su/lv2 = 15.937 \text{ MPa}$$

$$fvsl2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2sl/lv2 = 1.414 \text{ MPa}$$

(6) 온 도 차

$$\epsilon t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon t \cdot Ac/n = 4928963 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3061566329 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fcut = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcu/lv) - Ec \cdot \epsilon t = -0.925 \text{ MPa}$$

$$fclt = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcl/lv) - Ec \cdot \epsilon t = -1.106 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsu/lv = 16.580 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsl/lv = 2.554 \text{ MPa}$$

(7) 전 단 및 비틀림

$$u = (Ss + Ssc + Sv)/Aw + Mst/(2 F Tw) + (Msct + Mvt)/(2 FvTw) = 15.603 \text{ MPa} < ua = 110 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

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

* 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_u \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.1 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.8 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190 - 3.9 \left(\frac{b}{(t_u \cdot i \cdot n) - 24} \right) = 162.9$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.4 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 220000 \times \left\{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \right\} = 229.633 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_u = 14.0 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } f_{ca} = 162.886 \text{ MPa}$$

* 철근콘크리트의 허용응력 (도.설 3.9.3)

$$f_{ca} = 0.4 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

$$(f_{ck} = 27 \text{ MPa 사용})$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

하중조합	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			10.800	10.800	80.085	-78.502	162.886	190.000
1+2+3	2.681	1.783	10.800	10.800	93.310	-135.120	162.886	190.000
1+2+3+4	2.210	1.575	10.800	10.800	99.385	-134.438	187.319	190.000
1+2+3+4+5	1.370	0.673	10.800	10.800	115.322	-133.024	187.319	190.000
1+2+3+4+5+6	0.444	-0.433	12.420	2.174	131.902	-130.470	211.752	218.500
1+2+3+4+5-6	2.295	1.779	12.420	12.420	98.743	-135.578	211.752	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 활증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{131.902}{211.752} \right)^2 + \left(\frac{15.603}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.388 + 0.020 = 0.408 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(하 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{-135.120}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{15.603}{110.000} \right)^2$$

$$0.500 + 0.020 = 0.520 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(10) 판의 최소두께 검토

압축(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K. (합성형 스테드 설치)}$$

인장(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1 및 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (80 \cdot n) = 2600 / (80 \times 4) = 8.1 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/80.085)} = 1.540 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = bc / (219 \times 1.200) = 3.5 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/131.902)} = 1.200 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
 $+ (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도차응력변화량})$ 의 조합 중에서
 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 사하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = 0.891 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 2.681 - 0.891 = 1.790 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 1.79 + (-0.471) + (-0.84) + (0.925) \\ = 4.621 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 1.79 + (0.925) \\ = 5.932 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 80.085 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsu} = 4.394 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 93.31 - 80.085 - 4.394 = 8.832 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 8.832 + (6.075) + (15.937) + (16.58) \\ = 167.402 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 8.832 + (16.58) \\ = 145.390 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -78.502 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsl} = -18.809 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -135.12 - -78.502 - -18.809 = -37.809 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -37.809 + (0.682) + (1.414) + (-2.554) \\ = -208.252 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

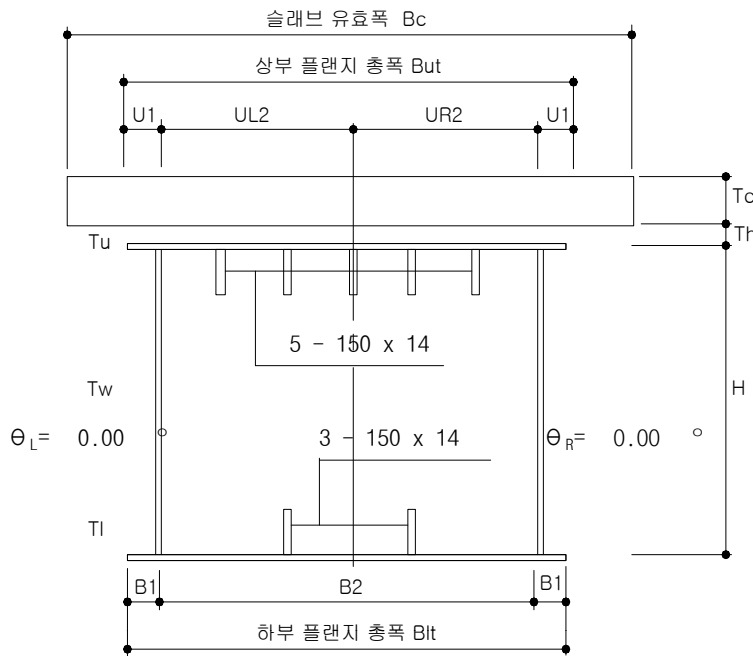
$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -37.809 + (-2.554) \\ = -210.348 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa}$$

- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	4.621	16.200	0.K!!!	3.50
	크리프, 건조수축제외시	5.932	16.200	0.K!!!	2.73
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	167.402	315.000	0.K!!!	1.88
	크리프, 건조수축제외시	145.390	315.000	0.K!!!	2.16
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-208.252	315.000	0.K!!!	1.51
	크리프, 건조수축제외시	-210.348	315.000	0.K!!!	1.49

5-5. 2경간 최대 정모멘트 단면검토(G2)

1) 단면가정 및 설계조건



주부재사용강종 = SM490

H = 2.400 m

Bc = 6.167 m

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

B2 = 2.600 m

But= 2.800 , Blt= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.800 , Ble= 2.800 m

Tc = 0.250 m

Th = 0.050 m

Tu = 0.012 m

TI = 0.012 m

Tw = 0.012 m

U1 = 0.100 m

B1 = 0.100 m

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강 의 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
ϕ_2 : 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	2628.263
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	776.876
Mv : 활하중+지점침하에 의한 모멘트	kN · m	4785.912
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	287.978
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	86.883
Sv : 활하중+지점침하에 의한 전단력	kN	428.150
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	1.553
Msct : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	0.093
Mvt : 활하중+지점침하에 의한 비틀림모멘트	kN · m	357.426

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

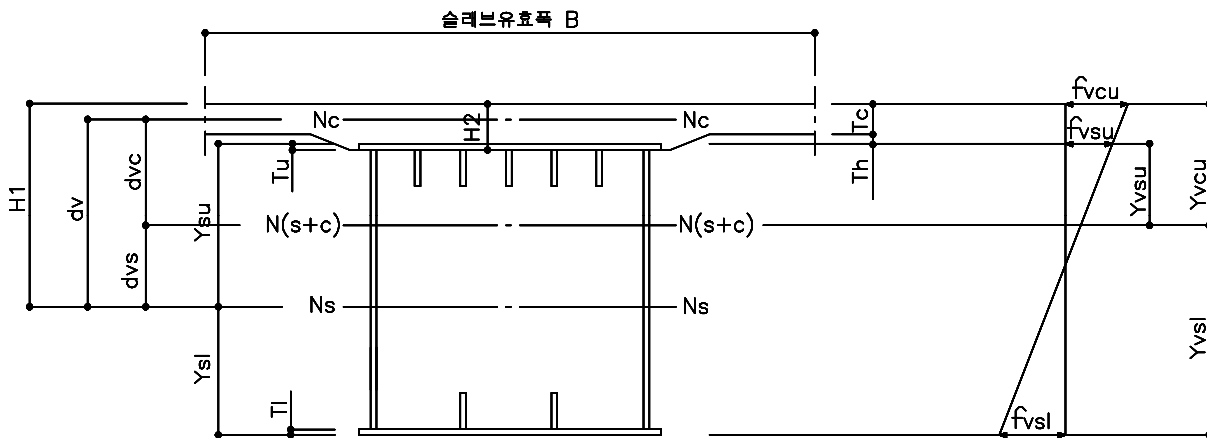
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	I _x (mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2800.0	12.0	33600	1206.0	40521600	48869049600	403200
5 - UPPER RIB	14.0	150.0	10500	1125.0	11812500	13289062500	19687500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
3 - LOWER RIB	14.0	150.0	6300	-1125.0	-7087500	7973437500	11812500
1 - LOWER FLANGE	2800.0	12.0	33600	-1206.0	-40521600	48869049600	403200
강단면 합계			141600		4725000	1.19001E+11	27680306400
1 - RC SLAB	6167.0	250.0	1541750	1375.0	2119906250	2914871093750	8029947917

* As = 141600 mm² , Ac = 1541750 mm²

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_{s'} = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = \text{#####} + 27680306400.0 = 146680905600 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = 4725000 / 141600 = 33.369 \text{ mm}$$

$$I_s = I_{s'} - A_s \cdot \delta s^2 = \text{#####} - 141600 \times 33.369^2 = 146523238757 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 12.0 - 33.369 = 1178.631 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1178.631 - 2424.000 = -1245.369 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 6300144.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 21.142 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -22.339 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 5.010 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$A_v = A_s + A_c/n = 334318.8 \text{ mm}^2$$

$$I_{c/n} = 1003743490 \text{ mm}^4$$

$$I_{c/n} = 1003743490 \text{ mm}^4$$

$$\begin{aligned}
dvs &= dv - dvc = 773.4 \text{ mm} \\
Yvcu &= dvc + Tc/2 = 693.2 \text{ mm} \\
Yvcl &= Yvcu - Tc = 443.2 \text{ mm} \\
Yvsu &= Yvcu - H2 + Tu = 405.2 \text{ mm} \\
Yvsl &= Yvsu - (H + Tu + Tl) = -2018.8 \text{ mm} \\
Iv &= Is + Ic/n + As \cdot dvs^2 + Ac/n \cdot dvc^2 = 294451031402 \text{ mm}^4 \\
Fv &= b \cdot hv = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 6340956.5 \text{ mm}^2 \\
fvcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.229 \text{ MPa} \\
fvcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.146 \text{ MPa} \\
fvsu &= Msc \cdot Yvsu / Iv = 1.069 \text{ MPa} \\
fvsl &= Msc \cdot Yvsl / Iv = -5.326 \text{ MPa} \\
u &= Ssc / A(Web) + Msct / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 1.509 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}
fvcu &= Mv \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 1.408 \text{ MPa} \\
fvcl &= Mv \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.901 \text{ MPa} \\
fvsu &= Mv \cdot Yvsu / Iv = 6.587 \text{ MPa} \\
fvsl &= Mv \cdot Yvsl / Iv = -32.812 \text{ MPa} \\
u &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 9.782 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}
n1 &= n \cdot (1 + \phi 1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
Av1 &= As + Ac/n1 = 237959.4 \text{ mm}^2 & \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\
dc1 &= dv \cdot As / (Ac/n1 + As) = 798.4 \text{ mm} & K = -0.210 \\
ds1 &= dv - dc1 = 543.3 \text{ mm} \\
Yv1cu &= dc1 + Tc/2 = 923.4 \text{ mm} \\
Yv1cl &= Yv1cu - Tc = 673.4 \text{ mm} \\
Yv1su &= Yv1cu - H2 + Tu = 635.4 \text{ mm} \\
Yv1sl &= Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1788.6 \text{ mm} \\
Iv1 &= Is + Ic/n1 + As \cdot ds1^2 + Ac/n1 \cdot dc1^2 = 250234879939 \text{ mm}^4 \\
Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac / (n \cdot Iv) = 288934 \text{ N} \\
P\phi &= Nc \cdot 2 \cdot \phi 1 / (2 + \phi 1) = 288934 \text{ N} \\
M\phi &= P\phi \cdot dc1 = 230670442 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
Ec1 &= Ec / (1 + \phi 1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\
fcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.229 \text{ MPa} \\
fcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.146 \text{ MPa} \\
fvcu1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cu / Iv1) - Ec1 \cdot fcu \cdot \phi 1 / Ec = -0.164 \text{ MPa} \\
fvcl1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cl / Iv1) - Ec1 \cdot fcl \cdot \phi 1 / Ec = -0.078 \text{ MPa} \\
fvsu1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1su / Iv1 = 1.091 \text{ MPa} \\
fvsl1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1sl / Iv1 = 1.509 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(5) 건 조 수 축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 205839.583 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 922.9 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 418.7 \text{ mm}$$

$$Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1047.9 \text{ mm}$$

$$Yv2cl = Yv2cu - Tc = 797.9 \text{ mm}$$

$$Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 759.9 \text{ mm}$$

$$Yv2sl = Yv2su - (H + Tu + Tl) = -1664.1 \text{ mm}$$

$$Iv2 = Is + Ic/n2 + As \cdot ds2^2 + Ac/n2 \cdot dc2^2 = 226401096069.1 \text{ mm}^4$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2428256 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2241104328 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ec2 = Es \cdot /n2 = 8750 \text{ MPa}$$

$$fvcu2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cu/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -1.174 \text{ MPa}$$

$$fvcl2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cl/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -1.153 \text{ MPa}$$

$$fvsu2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2su/Iv2 = 10.217 \text{ MPa}$$

$$fvs12 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2sl/Iv2 = 15.256 \text{ MPa}$$

(6) 온 도 차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4856513 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 2759689554 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fcut1 = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcu/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -1.559 \text{ MPa}$$

$$fclt1 = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcl/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -1.497 \text{ MPa}$$

$$fsut1 = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsu/Iv = 13.729 \text{ MPa}$$

$$fslt1 = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsl/Iv = 18.500 \text{ MPa}$$

(7) 전 단 및 비틀림

$$u = (Ss + Ssc + Sv)/Aw + Mst/(2 F Tw) + (Msct + Mvt)/(2 FvTw) = 16.301 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

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

* 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_u \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.1 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.8 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190 - 3.9 \left(\frac{b}{(t_u \cdot i \cdot n) - 24} \right) = 142.8$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.4 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 220000 \times \left\{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \right\} = 168.710 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_u = 12.0 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } f_{ca} = 142.767 \text{ MPa}$$

* 철근콘크리트의 허용응력 (도.설 3.9.3)

$$f_{ca} = 0.4 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

$$(f_{ck} = 27 \text{ MPa 사용})$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

하중조합	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			10.800	10.800	21.142	-22.339	142.767	190.000
1+2+3	1.637	1.047	10.800	10.800	28.798	-60.477	142.767	190.000
1+2+3+4	1.473	0.968	10.800	10.800	29.889	-58.917	164.182	190.000
1+2+3+4+5	0.299	-0.184	10.800	1.890	40.106	-43.661	164.182	190.000
1+2+3+4+5+6	-1.260	-1.682	2.174	2.174	53.835	-25.161	185.597	218.500
1+2+3+4+5-6	1.858	1.313	12.420	12.420	26.377	-62.161	185.597	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 활증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{53.835}{185.597} \right)^2 + \left(\frac{16.301}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.084 + 0.022 = 0.106 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(하 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{-60.477}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{16.301}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.101 + 0.022 = 0.123 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(10) 판의 최소두께 검토

압축(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K. (합성형 스퍼드 설치)}$$

인장(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1 및 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (80 \cdot n) = 2600 / (80 \times 4) = 8.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(fca/fc)} = \sqrt{(190/21.142)} = 2.998 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = bc / (219 \times 1.200) = 3.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(fca/fc)} = \sqrt{(190/53.835)} = 1.879 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
 $+ (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도차응력변화량})$ 의 조합 중에서
 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 사하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = 0.229 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 1.637 - 0.229 = 1.408 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.229 + 2.15 \times 1.408 + (-0.164) + (-1.174) + (1.559) \\ = 3.546 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.229 + 2.15 \times 1.408 + (1.559) \\ = 4.884 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 21.142 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsu} = 1.069 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 28.798 - 21.142 - 1.069 = 6.586 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (21.142 + 1.069) + 2.15 \times 6.586 + (1.091) + (10.217) + (13.729) \\ = 68.073 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (21.142 + 1.069) + 2.15 \times 6.586 + (13.729) \\ = 56.764 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -22.339 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsl} = -5.326 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -60.477 - -22.339 - -5.326 = -32.812 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-22.339 + -5.326) + 2.15 \times -32.812 + (1.56) + (15.256) + (-18.5) \\ = -108.194 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-22.339 + -5.326) + 2.15 \times -32.812 + (-18.5) \\ = -125.011 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa}$$

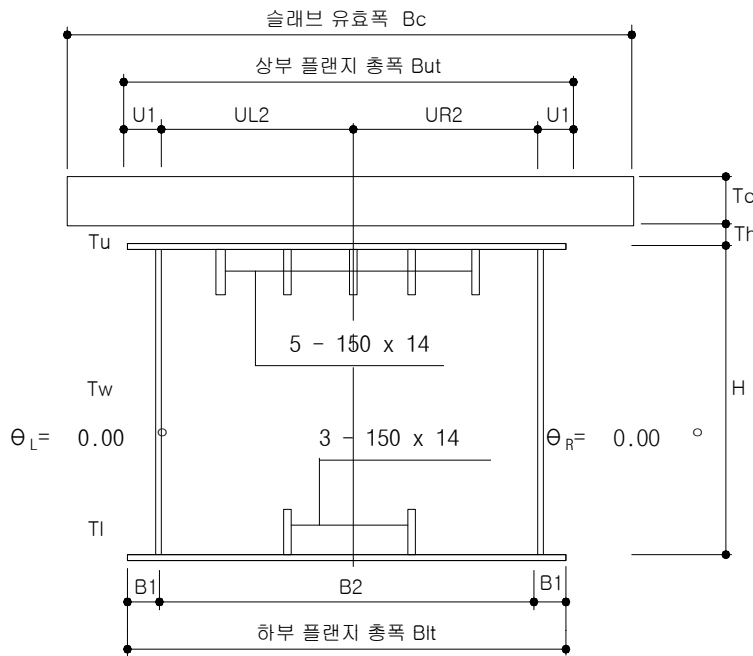
- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	3.546	16.200	0.K!!!	4.56
	크리프, 건조수축제외시	4.884	16.200	0.K!!!	3.31
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	68.073	315.000	0.K!!!	4.62
	크리프, 건조수축제외시	56.764	315.000	0.K!!!	5.54
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-108.194	315.000	0.K!!!	2.91
	크리프, 건조수축제외시	-125.011	315.000	0.K!!!	2.51

5-3. 3경간 최대 정모멘트 단면검토(G2)

1) 단면가정 및 설계조건

주부재사용강종 = SM490


$$H = 2.400 \text{ m}$$
$$B_C = 6.259 \text{ m}$$

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

$$B2 = 2.600 \text{ m}$$

But= 2.800 , Blt= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.800 , Ble= 2.800 m

$$T_C = 0.250 \text{ m}$$
$$T_h = 0.050 \text{ m}$$
$$T_u = 0.014 \text{ m}$$
$$T_I = 0.016 \text{ m}$$
$$T_W = 0.012 \text{ m}$$
$$U1 = 0.100 \text{ m}$$
$$B1 = 0.100 \text{ m}$$

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
E_s : 강의 탄성계수	MPa	210000
E_c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
ϵ_s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수		0.000012
ϕ_2 : 건조수축에의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M_s : 합성전 고정하중에의한 모멘트	kN · m	11185.906
M_{sc} : 합성후 고정하중에의한 모멘트	kN · m	3256.546
M_v : 활하중+지점침하에의한 모멘트	kN · m	6546.331
S_s : 합성전 고정하중에의한 전단력	kN	287.799
S_{sc} : 합성후 고정하중에의한 전단력	kN	83.839
S_v : 활하중+지점침하에의한 전단력	kN	375.670
M_{st} : 합성전 고정하중에의한 비틀림모멘트	kN · m	-0.137
M_{sct} : 합성후 고정하중에의한 비틀림모멘트	kN · m	-0.150
M_{vt} : 활하중+지점침하에의한 비틀림모멘트	kN · m	399.234

< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중

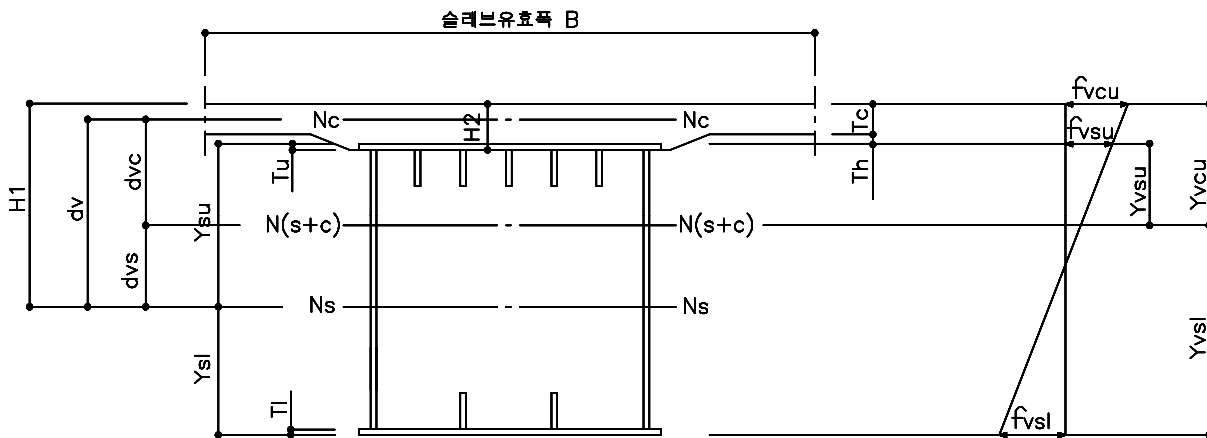
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y ² (mm ⁴)	I _x (mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2800.0	14.0	39200	1207.0	47314400	57108480800	640266.6667
5 - UPPER RIB	14.0	150.0	10500	1125.0	11812500	13289062500	19687500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.0	0	0	13824000000
3 - LOWER RIB	14.0	150.0	6300	-1125.0	-7087500	7973437500	11812500
1 - LOWER FLANGE	2800.0	16.0	44800	-1208.0	-54118400	65375027200	955733.3333
강단면 합계			158400		-2079000	1.43746E+11	27681096000
1 - RC SLAB	6259.0	250.0	1564750	1375.0	2151531250	2958355468750	8149739583

* As = 158400 mm² , Ac = 1564750 mm²

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = ##### + 27681096000.0 = 171427104000 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -2079000 / 158400 = -13.125 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = ##### - 158400 \times (-13.125)^2 = 171399817125 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 14.0 - (-13.125) = 1227.125 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1227.125 - 2430.000 = -1202.875 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 6307980.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 80.085 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = -78.502 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 4.997 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$A_v = A_s + A_c/n = 353993.8 \text{ mm}^2$$

$$I_c/n = 1018717448 \text{ mm}^4$$

$$I_{cv} = I_c/n + A_v \cdot Y_{cv}^2 = 10200000000 \text{ mm}^4$$

$$621.1$$

$$\begin{aligned}
dvs &= dv - dvc = 767.0 \text{ mm} \\
Yvcu &= dvc + Tc/2 = 746.1 \text{ mm} \\
Yvcl &= Yvcu - Tc = 496.1 \text{ mm} \\
Yvsu &= Yvcu - H2 + Tu = 460.1 \text{ mm} \\
Yvsl &= Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1969.9 \text{ mm} \\
Iv &= Is + Ic/n + As \cdot dvs^2 + Ac/n \cdot dvc^2 = 341062850442 \text{ mm}^4 \\
Fv &= b \cdot hv = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + (Tu + Tc/n)/2 + Tl/2) = 6348792.5 \text{ mm}^2 \\
fvcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fvcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvsu &= Msc \cdot Yvsu / Iv = 4.394 \text{ MPa} \\
fvsl &= Msc \cdot Yvsl / Iv = -18.809 \text{ MPa} \\
u &= Ssc / A(Web) + Msct / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 1.457 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}
fvcu &= Mv \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 1.790 \text{ MPa} \\
fvcl &= Mv \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 1.190 \text{ MPa} \\
fvsu &= Mv \cdot Yvsu / Iv = 8.832 \text{ MPa} \\
fvsl &= Mv \cdot Yvsl / Iv = -37.809 \text{ MPa} \\
u &= Sv / A(Web) + Mvt / (2 \cdot Fv \cdot Tw) = 9.142 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}
n1 &= n \cdot (1 + \phi 1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
Av1 &= As + Ac/n1 = 256196.9 \text{ mm}^2 & \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\
dc1 &= dv \cdot As / (Ac/n1 + As) = 858.2 \text{ mm} & K = 0.643 \\
ds1 &= dv - dc1 = 529.9 \text{ mm} \\
Yv1cu &= dc1 + Tc/2 = 983.2 \text{ mm} \\
Yv1cl &= Yv1cu - Tc = 733.2 \text{ mm} \\
Yv1su &= Yv1cu - H2 + Tu = 697.2 \text{ mm} \\
Yv1sl &= Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1732.8 \text{ mm} \\
Iv1 &= Is + Ic/n1 + As \cdot ds1^2 + Ac/n1 \cdot dc1^2 = 288419249968 \text{ mm}^4 \\
Nc &= Msc \cdot dvc \cdot Ac / (n \cdot Iv) = 1160021 \text{ N} \\
P\phi &= Nc \cdot 2 \cdot \phi 1 / (2 + \phi 1) = 1160021 \text{ N} \\
M\phi &= P\phi \cdot dc1 = 995579297 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
Ec1 &= Ec / (1 + \phi 1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\
fcu &= Msc \cdot Yvcu / (n \cdot Iv) = 0.891 \text{ MPa} \\
fcl &= Msc \cdot Yvcl / (n \cdot Iv) = 0.592 \text{ MPa} \\
fvcu1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cu / Iv1) - Ec1 \cdot fcu \cdot \phi 1 / Ec = -0.471 \text{ MPa} \\
fvcl1 &= 1/n1 \cdot (P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1cl / Iv1) - Ec1 \cdot fcl \cdot \phi 1 / Ec = -0.207 \text{ MPa} \\
fvsu1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1su / Iv1 = 6.075 \text{ MPa} \\
fvsl1 &= P\phi / Av1 + k \cdot M\phi \cdot Yv1sl / Iv1 = 6.075 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

(5) 건 조 수 축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 223597.917 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 983.4 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 404.8 \text{ mm}$$

$$Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1108.4 \text{ mm}$$

$$Yv2cl = Yv2cu - Tc = 858.4 \text{ mm}$$

$$Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 822.4 \text{ mm}$$

$$Yv2sl = Yv2su - (H + Tu + Tl) = -1607.6 \text{ mm}$$

$$Iv2 = Is + Ic/n2 + As \cdot ds2^2 + Ac/n2 \cdot dc2^2 = 260736989526.6 \text{ mm}^4$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2464481 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2423491600 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ec2 = Es \cdot /n2 = 8750 \text{ MPa}$$

$$fvcu2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cu/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -0.840 \text{ MPa}$$

$$fvcl2 = 1/n2 \cdot (P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2cl/Iv2) - Ec2 \cdot \epsilon_s = -0.902 \text{ MPa}$$

$$fvsu2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2su/Iv2 = 15.937 \text{ MPa}$$

$$fvsl2 = P2/Av2 + k \cdot Mv2 \cdot Yv2sl/Iv2 = 1.414 \text{ MPa}$$

(6) 온 도 차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4928963 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3061566329 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fcut = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcu/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -0.925 \text{ MPa}$$

$$fclt = 1/n \cdot (P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvcl/Iv) - Ec \cdot \epsilon_t = -1.106 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsu/Iv = 16.580 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + k \cdot Mvt \cdot Yvsl/Iv = 2.554 \text{ MPa}$$

(7) 전 단 및 비틀림

$$u = (Ss + Ssc + Sv)/Aw + Mst/(2 F Tw) + (Msct + Mvt)/(2 FvTw) = 15.592 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

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

* 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_u \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.1 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.8 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190 - 3.9 \left(\frac{b}{(t_u \cdot i \cdot n) - 24} \right) = 162.9$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_u \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.4 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 220000 \times \left\{ (t_u \cdot i \cdot n) / b \right\} = 229.633 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_u = 14.0 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } f_{ca} = 162.886 \text{ MPa}$$

* 철근콘크리트의 허용응력 (도.설 3.9.3)

$$f_{ca} = 0.4 \quad f_{ck} = 10.800 \text{ MPa}$$

$$(f_{ck} = 27 \text{ MPa 사용})$$

$$f_{ta} = 0.07 \quad f_{ck} = 1.890 \text{ MPa}$$

하중조합	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			10.800	10.800	80.085	-78.502	162.886	190.000
1+2+3	2.681	1.783	10.800	10.800	93.310	-135.120	162.886	190.000
1+2+3+4	2.210	1.575	10.800	10.800	99.385	-134.438	187.319	190.000
1+2+3+4+5	1.370	0.673	10.800	10.800	115.322	-133.024	187.319	190.000
1+2+3+4+5+6	0.444	-0.433	12.420	2.174	131.902	-130.470	211.752	218.500
1+2+3+4+5-6	2.295	1.779	12.420	12.420	98.743	-135.578	211.752	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 활증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{131.902}{211.752} \right)^2 + \left(\frac{15.592}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.388 + 0.020 = 0.408 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(하 연)

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 = \left(\frac{-135.120}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{15.592}{110.000} \right)^2$$

$$= 0.500 + 0.020 = 0.520 < 1.2 \quad \mathbf{O.K.}$$

(10) 판의 최소두께 검토

압축(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 14 \text{ mm} \quad \text{O.K. (합성형 스퍼드 설치)}$$

인장(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1 및 3.8.3.2)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$t_{min} = b / (80 \cdot n) = 2600 / (80 \times 4) = 8.1 \text{ mm} \leq t = 16 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/80.085)} = 1.540 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = bc / (219 \times 1.200) = 3.5 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \text{O.K.}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190/131.902)} = 1.200 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
 $+ (\text{크리프응력 변화량}) + (\text{건조수축응력변화량}) + (\text{온도차응력변화량})$ 의 조합 중에서
 가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 사하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = 0.891 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 2.681 - 0.891 = 1.790 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 1.79 + (-0.471) + (-0.84) + (0.925) \\ = 4.621 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times 0.891 + 2.15 \times 1.79 + (0.925) \\ = 5.932 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = 16.2 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 80.085 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsu} = 4.394 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 93.31 - 80.085 - 4.394 = 8.832 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 8.832 + (6.075) + (15.937) + (16.58) \\ = 167.402 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (80.085 + 4.394) + 2.15 \times 8.832 + (16.58) \\ = 145.390 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 제외시)}$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -78.502 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_v \times Y_{vsl} = -18.809 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -135.12 - -78.502 - -18.809 = -37.809 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -37.809 + (0.682) + (1.414) + (-2.554) \\ = -208.252 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K. (크리프, 건조수축 포함시)}$$

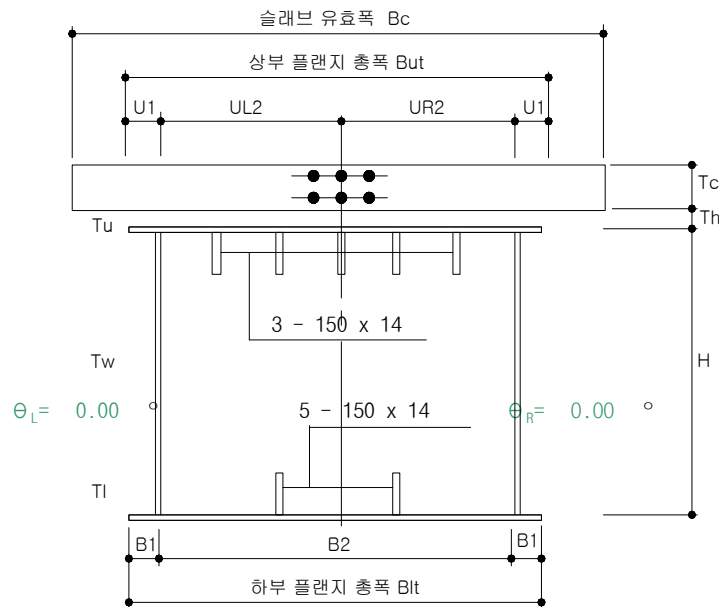
$$\Sigma f = 1.3 \times (-78.502 + -18.809) + 2.15 \times -37.809 + (-2.554) \\ = -210.348 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa}$$

- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	4.621	16.200	0.K!!!	3.50
	크리프, 건조수축제외시	5.932	16.200	0.K!!!	2.73
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	167.402	315.000	0.K!!!	1.88
	크리프, 건조수축제외시	145.390	315.000	0.K!!!	2.16
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-208.252	315.000	0.K!!!	1.51
	크리프, 건조수축제외시	-210.348	315.000	0.K!!!	1.49

5-7. 1경간 최대 부모멘트 단면검토(G1)

1) 단면가정 및 설계조건



주부재사용강종 = SM490

H = 2.400 m

Bc = 5.255 m

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

B2 = 2.600 m

But= 2.800 , Blt= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.465 , Ble= 2.465 m

Tc = 0.250 m

Th = 0.050 m

Tu = 0.028 m

Tl = 0.030 m

Tw = 0.012 m

U1 = 0.100 m

B1 = 0.100 m

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수		0.000012
φ2: 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-16136.708
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-4649.853
Mv : (활하중 + 지점침하)에 의한 모멘트	kN · m	-9417.372
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1846.527
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-523.929
Sv : (활하중 + 지점침하)에 의한 전단력	kN	-850.535
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-5.083
Mscst : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-1.359
Mvt : (활하중 + 지점침하)에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-751.475
t _{cu} , t _{cl} : 교축방향 철근의 피복두께	mm	50 , 50

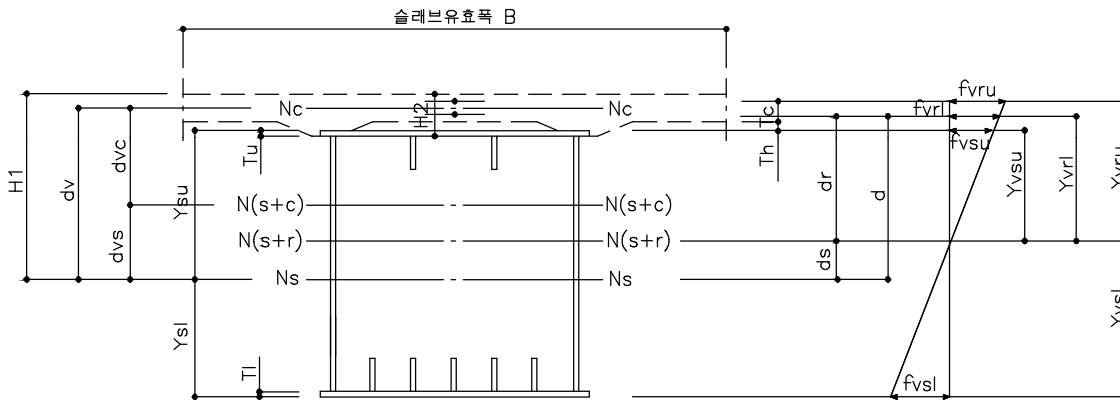
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 콘크리트바닥판자중
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	Ix(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2465.0	28.0	69020	1214.00	83790280	101721399920	4509307
3 - UPPER RIB	14.0	150.0	6300	1125.00	7087500	7973437500	11812500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
5 - LOWER RIB	14.0	150.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
1 - LOWER FLANGE	2465.0	30.0	73950	-1215.00	-89849250	109166838750	5546250
강단면 합계			217370		-10783970	232150738670	27689555557
UPPER RE-BAR	-	-	4269.90	1450.00	6191355	8977464750	-
LOWER RE-BAR	-	-	6255.90	1300.00	8132670	10572471000	-
RE-BAR 합계			10526		14324025	19549935750	-
1 - RC SLAB	5255.0	250.0	1313750	1375.00	1806406250	2483808593750	6842447917

* $A_s = 217370 \text{ mm}^2$, $A_c = 1313750 \text{ mm}^2$, $A_r = 10526 \text{ mm}^2$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 232150738670 + 27689555557 = 259840294227 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -10783970 / 217370 = -49.611 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 259840294227 - 217370 \times (-49.611)^2 = 259305289355 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 28.0 - (-49.611) = 1277.611 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1277.611 - 2458.000 = -1180.389 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 6344548.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -79.506 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 73.456 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 32.091 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$\begin{aligned}A_v &= A_s + A_r = 227896 \text{ mm}^2 \\d &= Y_{su} - T_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1410.460 \text{ mm} \\d_r &= d \cdot A_s / (A_s + A_r) = 1345.315 \text{ mm} \\d_s &= d - d_r = 65.145 \text{ mm} \\Y_{vru} &= d_r + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{rl}/A_r = 1434.466 \text{ mm} \\Y_{vrl} &= d_r - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1284.466 \text{ mm} \\Y_{vsu} &= Y_{vrl} - t_{cl} - T_h + T_u = 1212.466 \text{ mm} \\Y_{vsl} &= Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1245.534 \text{ mm} \\I_{rv} &= I_s + A_s \cdot d_s^2 + A_r \cdot d_r^2 = 279278140137 \text{ mm}^4 \\F_v &= b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + T_w) \cdot (H + (T_u + T_c/n)/2 + T_l/2) = 6385360.5 \text{ mm}^2 \\f_{vru} &= M_{sc} \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -23.883 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_{sc} \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -21.386 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_{sc} \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -20.187 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_{sc} \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 20.738 \text{ MPa} \\u &= S_{sc} / A(\text{Web}) + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 9.105 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}f_{vru} &= M_v \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -48.371 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_v \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -43.313 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_v \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -40.885 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_v \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 42.000 \text{ MPa} \\u &= S_v / A(\text{Web}) + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 19.670 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}A_{vc} &= A_s + A_c/n = 381588.750 \text{ mm}^2 \\d_v &= Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1424.611 \text{ mm} \\d_{vc} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 811.522 \text{ mm} \\d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 613.089 \text{ mm} \\n_1 &= n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\A_{v1} &= A_s + A_c/n_1 = 299479.375 \text{ mm}^2 \quad \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\d_{c1} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 1034.020 \text{ mm} \quad K = -0.210 \\d_{s1} &= d_v - d_{c1} = 390.591 \text{ mm} \\I_{cv} &= I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 450014462331.3 \text{ mm}^4 \\N_c &= M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c/(n \cdot I_{cv}) = -1377006 \text{ N} \\P\phi &= N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1377006 \text{ N} \\M\phi &= P\phi \cdot d_{c1} = -1423852122 \text{ N} \cdot \text{mm} \\E_{c1} &= E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\f_{vru1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -4.506 \text{ MPa} \\f_{vrl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -4.667 \text{ MPa} \\f_{vsu1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -4.744 \text{ MPa} \\f_{vsl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = -7.376 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(5) 건조수축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 272109.583 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 1138.026 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 286.585 \text{ mm}$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2069156 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2354753149 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fvru2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvru/lrv = 6.539 \text{ MPa}$$

$$fvrl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvrl/lrv = 6.805 \text{ MPa}$$

$$fvsu2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsu/lrv = 6.933 \text{ MPa}$$

$$fvsl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsl/lrv = 11.285 \text{ MPa}$$

(6) 온도차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4138313 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3358332227 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ert = Es \cdot \epsilon_t = 25.200 \text{ MPa}$$

$$frut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvru/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.664 \text{ MPa}$$

$$frlt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvrl/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.285 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsu/lrv = 15.097 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsl/lrv = 21.304 \text{ MPa}$$

(7) 전단 및 비틀림

$$u = (Ss+Ssc+Sv)/Aw + (Mst/(2 F Tw)+(Msct+Mvt)/(2 Fv Tw)) = 60.866 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad 0.K!!!$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$fta = 190.0 \text{ MPa}$$

* 압축 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_l \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.056 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.844 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 190 - 3.9 (b / (t_l \cdot i \cdot n) - 24) = 227.267$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.417 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 220000 \times \{ (t_l \cdot i \cdot n) / b \} = 1054.438 \text{ MPa}$

사용 $t_l = 30.0 \text{ mm}$

따라서, $f_{ca} = 190.000 \text{ MPa}$

* RE-BAR의 허용응력 (도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$ $f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$ (SD400 사용)

하중조합	RE-BAR			STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연	(MPa)	상 연	하 연	상 연	하 연
1			160.000	-79.506	73.456	190.000	190.000
1+2+3	-72.254	-64.699	160.000	-140.578	136.194	190.000	190.000
1+2+3+4	-76.760	-69.366	160.000	-145.322	128.818	190.000	190.000
1+2+3+4+5	-70.221	-62.560	160.000	-138.390	140.103	190.000	190.000
1+2+3+4+5+6	-80.885	-72.845	184.000	-123.293	161.407	218.500	218.500
1+2+3+4+5-6	-59.557	-52.276	184.000	-153.487	118.799	218.500	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 할증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{-145.322}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{60.866}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.585 + 0.306 = 0.891 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(하 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{161.407}{218.500} \right)^2 + \left(\frac{60.866}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.546 + 0.306 = 0.852 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(10) 판의 최소두께 검토

인장(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 28 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{\min} = 10 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K.} \quad (\text{합성형 스테드 설치})$$

압축(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{\min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{\min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{\min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 73.456)} = 1.608 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{\min} = b / (219 \times 1.085) = 10.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 161.407)} = 1.085 < 1.2 \Rightarrow 1.085$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 상부바닥판 REBAR

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vru} = -23.883 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -72.254 - -23.883 = -48.371 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.883 + 2.15 \times -48.371 + (-4.506) + (6.539) + (-10.664) \\ = -143.676 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.883 + 2.15 \times -48.371 + (-10.664) \\ = -145.709 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -79.506 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsu} = -20.187 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -140.578 - -79.506 - -20.187 = -40.885 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.187) + 2.15 \times -40.885 + (-4.744) + (6.933) + (-15.097) \\ = -230.413 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.187) + 2.15 \times -40.885 + (-15.097) \\ = -232.601 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 73.456 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsl} = 20.738 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 136.194 - 73.456 - 20.738 = 42.000 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.738) + 2.15 \times 42 + (-7.376) + (11.285) + (21.304) \\ = 237.965 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

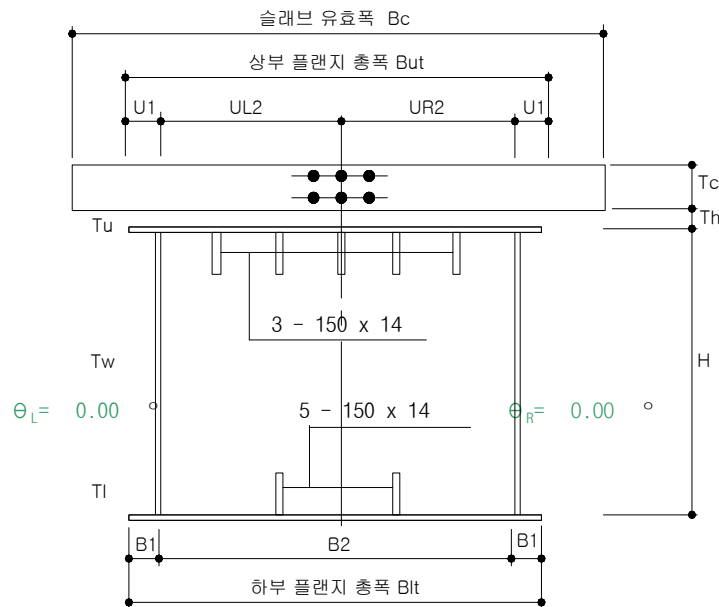
$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.738) + 2.15 \times 42 + (21.304) \\ = 234.056 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	-143.676	400.000	0.K!!!	2.78
	크리프, 건조수축제외시	-145.709	400.000	0.K!!!	2.74
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-230.413	315.000	0.K!!!	1.36
	크리프, 건조수축제외시	-232.601	315.000	0.K!!!	1.35
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	237.965	315.000	0.K!!!	1.32
	크리프, 건조수축제외시	234.056	315.000	0.K!!!	1.34

5-8. 2경간 최대 부모멘트 단면검토(G1)

1) 단면가정 및 설계조건



주부재사용강종 = SM490

H = 2.400 m

Bc = 5.255 m

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

B2 = 2.600 m

But= 2.800 , Bit= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.465 , Ble= 2.465 m

Tc = 0.250 m

Th = 0.050 m

Tu = 0.028 m

Tl = 0.030 m

Tw = 0.012 m

U1 = 0.100 m

B1 = 0.100 m

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강역 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ2: 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-16136.708
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-4649.853
Mv : (활하중 + 지점침하)에 의한 모멘트	kN · m	-9417.372
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1846.527
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-523.929
Sv : (활하중 + 지점침하)에 의한 전단력	kN	-1046.029
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-4.558
Mscst : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-1.343
Mvt : (활하중 + 지점침하)에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-802.164
tcu,tcl : 교축방향 철근의 피복두께	mm	50 , 50

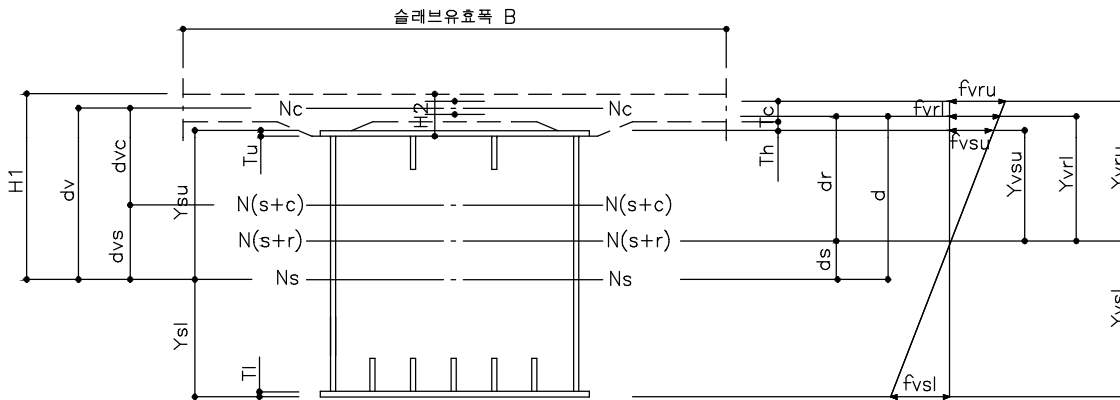
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 콘크리트바닥판자중
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	Ix(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2465.0	28.0	69020	1214.00	83790280	101721399920	4509307
3 - UPPER RIB	14.0	150.0	6300	1125.00	7087500	7973437500	11812500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
5 - LOWER RIB	14.0	150.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
1 - LOWER FLANGE	2465.0	30.0	73950	-1215.00	-89849250	109166838750	5546250
강단면 합계			217370		-10783970	232150738670	27689555557
UPPER RE-BAR	-	-	4269.90	1450.00	6191355	8977464750	-
LOWER RE-BAR	-	-	6255.90	1300.00	8132670	10572471000	-
RE-BAR 합계			10526		14324025	19549935750	-
1 - RC SLAB	5255.0	250.0	1313750	1375.00	1806406250	2483808593750	6842447917

* $A_s = 217370 \text{ mm}^2$, $A_c = 1313750 \text{ mm}^2$, $A_r = 10526 \text{ mm}^2$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 232150738670 + 27689555557 = 259840294227 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -10783970 / 217370 = -49.611 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 259840294227 - 217370 \times (-49.611)^2 = 259305289355 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 28.0 - (-49.611) = 1277.611 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1277.611 - 2458.000 = -1180.389 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 6344548.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -79.506 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 73.456 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 32.088 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$\begin{aligned}A_v &= A_s + A_r = 227896 \text{ mm}^2 \\d &= Y_{su} - T_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1410.460 \text{ mm} \\d_r &= d \cdot A_s / (A_s + A_r) = 1345.315 \text{ mm} \\d_s &= d - d_r = 65.145 \text{ mm} \\Y_{vru} &= d_r + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{rl}/A_r = 1434.466 \text{ mm} \\Y_{vrl} &= d_r - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1284.466 \text{ mm} \\Y_{vsu} &= Y_{vrl} - t_{cl} - T_h + T_u = 1212.466 \text{ mm} \\Y_{vsl} &= Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1245.534 \text{ mm} \\I_{rv} &= I_s + A_s \cdot d_s^2 + A_r \cdot d_r^2 = 279278140137 \text{ mm}^4 \\F_v &= b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + T_w) \cdot (H + (T_u + T_c/n)/2 + T_l/2) = 6385360.5 \text{ mm}^2 \\f_{vru} &= M_{sc} \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -23.883 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_{sc} \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -21.386 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_{sc} \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -20.187 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_{sc} \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 20.738 \text{ MPa} \\u &= S_{sc} / A(\text{Web}) + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 9.105 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}f_{vru} &= M_v \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -48.371 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_v \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -43.313 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_v \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -40.885 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_v \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 42.000 \text{ MPa} \\u &= S_v / A(\text{Web}) + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 23.395 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}A_{vc} &= A_s + A_c/n = 381588.750 \text{ mm}^2 \\d_v &= Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1424.611 \text{ mm} \\d_{vc} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 811.522 \text{ mm} \\d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 613.089 \text{ mm} \\n_1 &= n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\A_{v1} &= A_s + A_c/n_1 = 299479.375 \text{ mm}^2 \quad \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\d_{c1} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 1034.020 \text{ mm} \quad K = -0.210 \\d_{s1} &= d_v - d_{c1} = 390.591 \text{ mm} \\I_{cv} &= I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 450014462331.3 \text{ mm}^4 \\N_c &= M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c/(n \cdot I_{cv}) = -1377006 \text{ N} \\P\phi &= N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1377006 \text{ N} \\M\phi &= P\phi \cdot d_{c1} = -1423852122 \text{ N} \cdot \text{mm} \\E_{c1} &= E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\f_{vru1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -4.506 \text{ MPa} \\f_{vrl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -4.667 \text{ MPa} \\f_{vsu1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -4.744 \text{ MPa} \\f_{vsl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = -7.376 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(5) 건조수축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 272109.583 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 1138.026 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 286.585 \text{ mm}$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2069156 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2354753149 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fvru2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvru/lrv = 6.539 \text{ MPa}$$

$$fvrl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvrl/lrv = 6.805 \text{ MPa}$$

$$fvru2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsu/lrv = 6.933 \text{ MPa}$$

$$fvsl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsl/lrv = 11.285 \text{ MPa}$$

(6) 온도차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4138313 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3358332227 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ert = Es \cdot \epsilon_t = 25.200 \text{ MPa}$$

$$frut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvru/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.664 \text{ MPa}$$

$$frlt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvrl/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.285 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsu/lrv = 15.097 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsl/lrv = 21.304 \text{ MPa}$$

(7) 전단 및 비틀림

$$u = (Ss+Ssc+Sv)/Aw + (Mst/(2 F Tw)+(Msct+Mvt)/(2 Fv Tw)) = 64.587 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad 0.K!!!$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$fta = 190.0 \text{ MPa}$$

* 압축 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_l \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.056 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.844 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 190 - 3.9 (b / (t_l \cdot i \cdot n) - 24) = 227.267$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.417 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 220000 \times \{ (t_l \cdot i \cdot n) / b \} = 1054.438 \text{ MPa}$

사용 $t_l = 30.0 \text{ mm}$

따라서, $f_{ca} = 190.000 \text{ MPa}$

* RE-BAR의 허용응력 (도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$ $f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$ (SD400 사용)

하중조합	RE-BAR			STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연	(MPa)	상 연	하 연	상 연	하 연
1			160.000	-79.506	73.456	190.000	190.000
1+2+3	-72.254	-64.699	160.000	-140.578	136.194	190.000	190.000
1+2+3+4	-76.760	-69.366	160.000	-145.322	128.818	190.000	190.000
1+2+3+4+5	-70.221	-62.560	160.000	-138.390	140.103	190.000	190.000
1+2+3+4+5+6	-80.885	-72.845	184.000	-123.293	161.407	218.500	218.500
1+2+3+4+5-6	-59.557	-52.276	184.000	-153.487	118.799	218.500	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 할증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{-145.322}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{64.587}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.585 + 0.345 = 0.930 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(하 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{161.407}{218.500} \right)^2 + \left(\frac{64.587}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.546 + 0.345 = 0.890 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(10) 판의 최소두께 검토

인장(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 28 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K.} \quad (\text{합성형 스테드 설치})$$

압축(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 73.456)} = 1.608 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = b / (219 \times 1.085) = 10.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 161.407)} = 1.085 < 1.2 \Rightarrow 1.085$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 상부바닥판 REBAR

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vru} = -23.883 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -72.254 - -23.883 = -48.371 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.883 + 2.15 \times -48.371 + (-4.506) + (6.539) + (-10.664) \\ = -143.676 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.883 + 2.15 \times -48.371 + (-10.664) \\ = -145.709 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -79.506 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsu} = -20.187 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -140.578 - -79.506 - -20.187 = -40.885 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.187) + 2.15 \times -40.885 + (-4.744) + (6.933) + (-15.097) \\ = -230.413 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.187) + 2.15 \times -40.885 + (-15.097) \\ = -232.601 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 73.456 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsl} = 20.738 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 136.194 - 73.456 - 20.738 = 42.000 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.738) + 2.15 \times 42 + (-7.376) + (11.285) + (21.304) \\ = 237.965 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

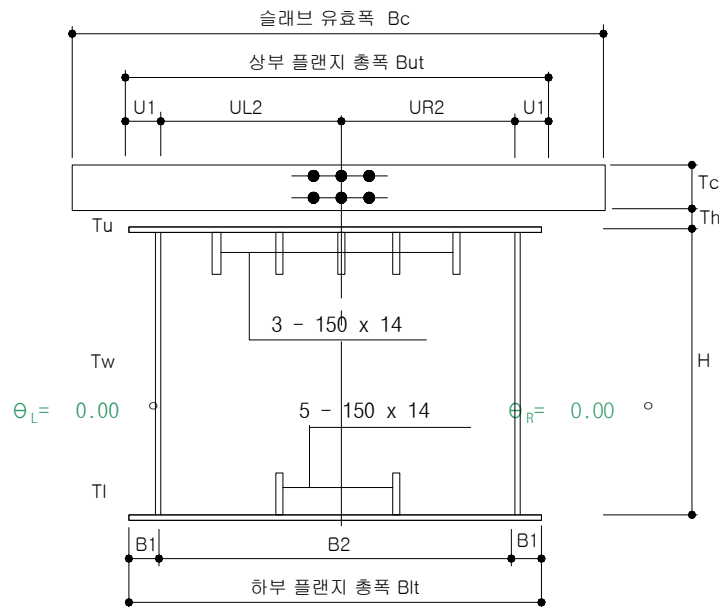
$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.738) + 2.15 \times 42 + (21.304) \\ = 234.056 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	-143.676	400.000	0.K!!!	2.78
	크리프, 건조수축제외시	-145.709	400.000	0.K!!!	2.74
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-230.413	315.000	0.K!!!	1.36
	크리프, 건조수축제외시	-232.601	315.000	0.K!!!	1.35
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	237.965	315.000	0.K!!!	1.32
	크리프, 건조수축제외시	234.056	315.000	0.K!!!	1.34

5-9. 1경간 최대 부모멘트 단면검토(G2)

1) 단면가정 및 설계조건



주부재사용강종 = SM490

H = 2.400 m

Bc = 5.255 m

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

B2 = 2.600 m

But= 2.800 , Bit= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.465 , B1e= 2.465 m

Tc = 0.250 m

Th = 0.050 m

Tu = 0.028 m

TI = 0.030 m

Tw = 0.012 m

U1 = 0.100 m

B1 = 0.100 m

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강역 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수		0.000012
φ2: 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-16136.708
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-4649.853
Mv : (활하중 + 지점침하)에 의한 모멘트	kN · m	-7656.543
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1846.527
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-523.929
Sv : (활하중 + 지점침하)에 의한 전단력	kN	-850.535
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-4.558
Mscst : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-1.343
Mvt : (활하중 + 지점침하)에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-726.392
tcu,tcl : 교축방향 철근의 피복두께	mm	50 , 50

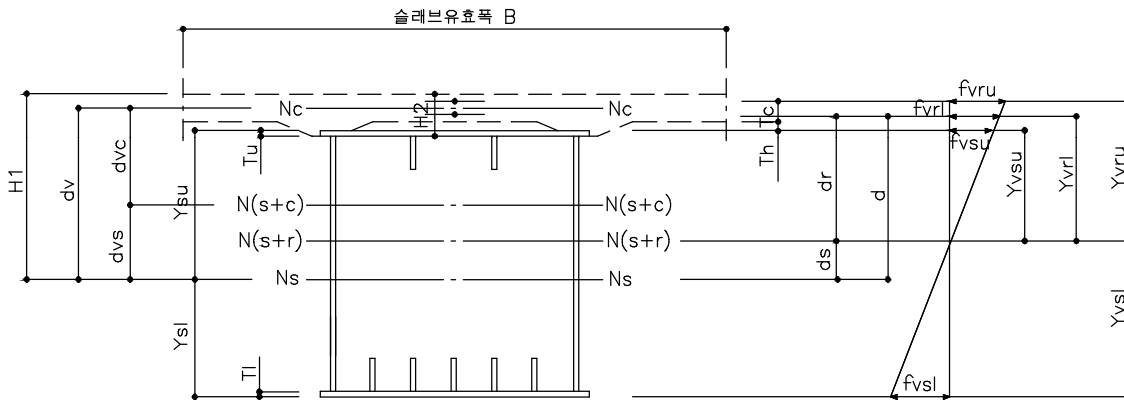
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 콘크리트바닥판자중
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	Ix(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2465.0	28.0	69020	1214.00	83790280	101721399920	4509307
3 - UPPER RIB	14.0	150.0	6300	1125.00	7087500	7973437500	11812500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
5 - LOWER RIB	14.0	150.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
1 - LOWER FLANGE	2465.0	30.0	73950	-1215.00	-89849250	109166838750	5546250
강단면 합계			217370		-10783970	232150738670	27689555557
UPPER RE-BAR	-	-	3773.40	1450.00	5471430	7933573500	-
LOWER RE-BAR	-	-	6752.40	1300.00	8778120	11411556000	-
RE-BAR 합계			10526		14249550	19345129500	-
1 - RC SLAB	5255.0	250.0	1313750	1375.00	1806406250	2483808593750	6842447917

* $A_s = 217370 \text{ mm}^2$, $A_c = 1313750 \text{ mm}^2$, $A_r = 10526 \text{ mm}^2$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 232150738670 + 27689555557 = 259840294227 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -10783970 / 217370 = -49.611 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 259840294227 - 217370 \times (-49.611)^2 = 259305289355 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 28.0 - (-49.611) = 1277.611 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1277.611 - 2458.000 = -1180.389 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 6344548.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -79.506 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 73.456 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 32.088 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$\begin{aligned}A_v &= A_s + A_r = 227896 \text{ mm}^2 \\d &= Y_{su} - T_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1403.385 \text{ mm} \\d_r &= d \cdot A_s / (A_s + A_r) = 1338.567 \text{ mm} \\d_s &= d - d_r = 64.818 \text{ mm} \\Y_{vru} &= d_r + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{rl}/A_r = 1434.793 \text{ mm} \\Y_{vrl} &= d_r - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1284.793 \text{ mm} \\Y_{vsu} &= Y_{vrl} - t_{cl} - T_h + T_u = 1212.793 \text{ mm} \\Y_{vsl} &= Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1245.207 \text{ mm} \\I_{rv} &= I_s + A_s \cdot d_s^2 + A_r \cdot d_r^2 = 279078258016 \text{ mm}^4 \\F_v &= b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + T_w) \cdot (H + (T_u + T_c/n)/2 + T_l/2) = 6385360.5 \text{ mm}^2 \\f_{vru} &= M_{sc} \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -23.906 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_{sc} \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -21.407 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_{sc} \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -20.207 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_{sc} \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 20.747 \text{ MPa} \\u &= S_{sc} / A(\text{Web}) + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 9.105 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}f_{vru} &= M_v \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -39.364 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_v \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -35.248 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_v \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -33.273 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_v \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 34.162 \text{ MPa} \\u &= S_v / A(\text{Web}) + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 19.506 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}A_{vc} &= A_s + A_c/n = 381588.750 \text{ mm}^2 \\d_v &= Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1424.611 \text{ mm} \\d_{vc} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 811.522 \text{ mm} \\d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 613.089 \text{ mm} \\n_1 &= n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\A_{v1} &= A_s + A_c/n_1 = 299479.375 \text{ mm}^2 \quad \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\d_{c1} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 1034.020 \text{ mm} \quad K = -0.210 \\d_{s1} &= d_v - d_{c1} = 390.591 \text{ mm} \\I_{cv} &= I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 450014462331.3 \text{ mm}^4 \\N_c &= M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c/(n \cdot I_{cv}) = -1377006 \text{ N} \\P\phi &= N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1377006 \text{ N} \\M\phi &= P\phi \cdot d_{c1} = -1423852122 \text{ N} \cdot \text{mm} \\E_{c1} &= E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\f_{vru1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -4.505 \text{ MPa} \\f_{vrl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -4.666 \text{ MPa} \\f_{vsu1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -4.743 \text{ MPa} \\f_{vsl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = -7.376 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(5) 건조수축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 272109.583 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 1138.026 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 286.585 \text{ mm}$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2069156 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2354753149 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fvru2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvru/lrv = 6.537 \text{ MPa}$$

$$fvrl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvrl/lrv = 6.803 \text{ MPa}$$

$$fvru2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsu/lrv = 6.930 \text{ MPa}$$

$$fvsl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsl/lrv = 11.286 \text{ MPa}$$

(6) 온도차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4138313 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3358332227 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ert = Es \cdot \epsilon_t = 25.200 \text{ MPa}$$

$$frut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvru/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.667 \text{ MPa}$$

$$frlt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvrl/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.288 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsu/lrv = 15.094 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsl/lrv = 21.306 \text{ MPa}$$

(7) 전단 및 비틀림

$$u = (Ss+Ssc+Sv)/Aw + (Mst/(2 F Tw)+(Mscst+Mvt)/(2 Fv Tw)) = 60.699 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad 0.K!!!$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$fta = 190.0 \text{ MPa}$$

* 압축 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_l \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.056 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.844 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 190 - 3.9 (b / (t_l \cdot i \cdot n) - 24) = 227.267$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.417 \text{ mm}$$

인 경우 : $f_{ca} = 220000 \times \{ (t_l \cdot i \cdot n) / b \} = 1054.438 \text{ MPa}$

사용 $t_l = 30.0 \text{ mm}$

따라서, $f_{ca} = 190.000 \text{ MPa}$

* RE-BAR의 허용응력 (도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa}$ $f_{ca} = 180.000 \text{ MPa}$ (SD400 사용)

하중조합	RE-BAR			STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연	(MPa)	상 연	하 연	상 연	하 연
1			160.000	-79.506	73.456	190.000	190.000
1+2+3	-63.269	-56.655	160.000	-132.986	128.366	190.000	190.000
1+2+3+4	-67.774	-61.321	160.000	-137.729	120.989	190.000	190.000
1+2+3+4+5	-61.237	-54.518	160.000	-130.799	132.275	190.000	190.000
1+2+3+4+5+6	-71.904	-64.806	184.000	-115.705	153.580	218.500	218.500
1+2+3+4+5-6	-50.570	-44.230	184.000	-145.893	110.969	218.500	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 할증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{-137.729}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{60.699}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.525 + 0.304 = 0.830 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(하 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{153.580}{218.500} \right)^2 + \left(\frac{60.699}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.494 + 0.304 = 0.799 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(10) 판의 최소두께 검토

인장(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 28 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K.} \quad (\text{합성형 스테드 설치})$$

압축(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 73.456)} = 1.608 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = b / (219 \times 1.112) = 9.9 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 153.580)} = 1.112 < 1.2 \Rightarrow 1.112$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 상부바닥판 REBAR

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vru} = -23.906 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -63.269 - -23.906 = -39.364 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.906 + 2.15 \times -39.364 + (-4.505) + (6.537) + (-10.667) \\ = -124.344 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.906 + 2.15 \times -39.364 + (-10.667) \\ = -126.376 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -79.506 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsu} = -20.207 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -132.986 - -79.506 - -20.207 = -33.274 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.207) + 2.15 \times -33.274 + (-4.743) + (6.93) + (-15.094) \\ = -214.071 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.207) + 2.15 \times -33.274 + (-15.094) \\ = -216.259 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 73.456 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsl} = 20.747 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 128.366 - 73.456 - 20.747 = 34.163 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.747) + 2.15 \times 34.163 + (-7.376) + (11.286) + (21.306) \\ = 221.128 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

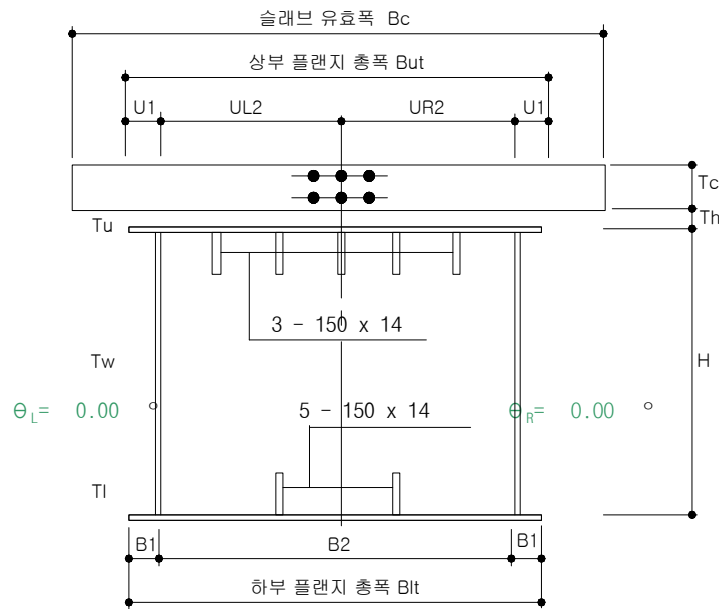
$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.747) + 2.15 \times 34.163 + (21.306) \\ = 217.219 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	-124.344	400.000	0.K!!!	3.21
	크리프, 건조수축제외시	-126.376	400.000	0.K!!!	3.16
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-214.071	315.000	0.K!!!	1.47
	크리프, 건조수축제외시	-216.259	315.000	0.K!!!	1.45
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	221.128	315.000	0.K!!!	1.42
	크리프, 건조수축제외시	217.219	315.000	0.K!!!	1.45

5-10. 2경간 최대 부모멘트 단면검토(G2)

1) 단면가정 및 설계조건



주부재사용강종 = SM490

H = 2.400 m

Bc = 5.255 m

UL2= 1.300 , UR2= 1.300 m

B2 = 2.600 m

But= 2.800 , Bit= 2.800 m

상하 플랜지 유효폭

Bue= 2.465 , Ble= 2.465 m

Tc = 0.250 m

Th = 0.050 m

Tu = 0.028 m

Tl = 0.030 m

Tw = 0.012 m

U1 = 0.100 m

B1 = 0.100 m

RIB 150 x 14 mm , 150 x 14 mm

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	210000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26702
εs: 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00018
α : 강재 및 콘크리트의 선팅창계수		0.000012
φ2: 건조수축에 의한 크리이프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-16136.708
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN · m	-4649.853
Mv : (활하중 + 지점침하)에 의한 모멘트	kN · m	-7656.543
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1846.527
Ssc : 합성후 고정하중에 의한 전단력	kN	-523.939
Sv : (활하중 + 지점침하)에 의한 전단력	kN	-850.565
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-5.083
Mscst : 합성후 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-1.359
Mvt : (활하중 + 지점침하)에 의한 비틀림모멘트	kN · m	-794.677
tcu,tcl : 교축방향 철근의 피복두께	mm	50 , 50

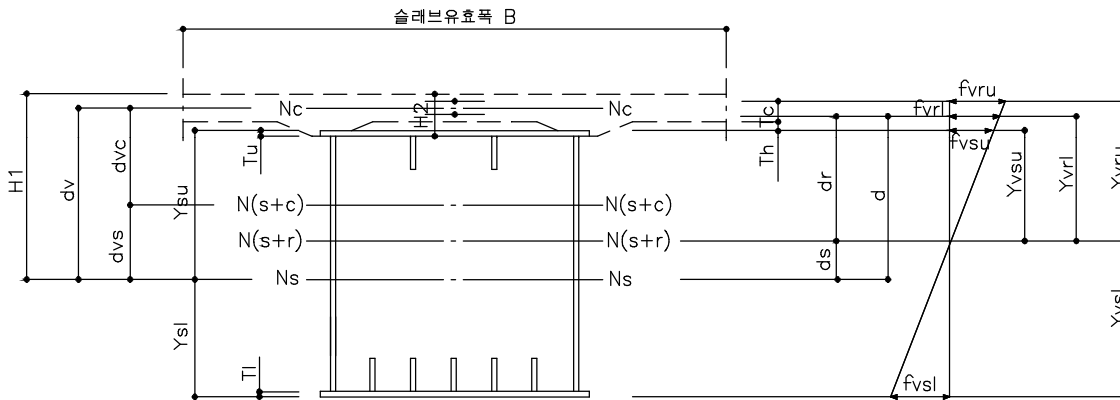
< 참고 > 합성전 고정하중 : 강재자중 + 콘크리트바닥판자중
합성후 고정하중 : 방호벽 + PAVEMENT자중

단 면 제 원

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A*Y(mm ³)	A*Y2(mm ⁴)	Ix(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	2465.0	28.0	69020	1214.00	83790280	101721399920	4509307
3 - UPPER RIB	14.0	150.0	6300	1125.00	7087500	7973437500	11812500
1 - L_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
1 - R_WEB	12.0	2400.0	28800	0.00	0	0	13824000000
5 - LOWER RIB	14.0	150.0	10500	-1125.00	-11812500	13289062500	19687500
1 - LOWER FLANGE	2465.0	30.0	73950	-1215.00	-89849250	109166838750	5546250
강단면 합계			217370		-10783970	232150738670	27689555557
UPPER RE-BAR	-	-	3773.40	1450.00	5471430	7933573500	-
LOWER RE-BAR	-	-	6752.40	1300.00	8778120	11411556000	-
RE-BAR 합계			10526		14249550	19345129500	-
1 - RC SLAB	5255.0	250.0	1313750	1375.00	1806406250	2483808593750	6842447917

* $A_s = 217370 \text{ mm}^2$, $A_c = 1313750 \text{ mm}^2$, $A_r = 10526 \text{ mm}^2$

2) 응 력 검 토



(1) 합 성 전

$$I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 232150738670 + 27689555557 = 259840294227 \text{ mm}^4$$

$$\delta s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -10783970 / 217370 = -49.611 \text{ mm}$$

$$I_s = I_s' - A_s \cdot \delta s^2 = 259840294227 - 217370 \times (-49.611)^2 = 259305289355 \text{ mm}^4$$

$$Y_{su} = H/2 + T_u - \delta s = 2400.0 / 2 + 28.0 - (-49.611) = 1277.611 \text{ mm}$$

$$Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1277.611 - 2458.000 = -1180.389 \text{ mm}$$

$$F = b \cdot h = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 6344548.0 \text{ mm}^2$$

$$f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -79.506 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 73.456 \text{ MPa}$$

$$u = S_s / A(\text{Web}) + M_{st} / (2 \cdot F \cdot Tw) = 32.091 \text{ MPa}$$

(2) 합 성 후

$$\begin{aligned}A_v &= A_s + A_r = 227896 \text{ mm}^2 \\d &= Y_{su} - T_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1403.385 \text{ mm} \\d_r &= d \cdot A_s / (A_s + A_r) = 1338.567 \text{ mm} \\d_s &= d - d_r = 64.818 \text{ mm} \\Y_{vru} &= d_r + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{rl}/A_r = 1434.793 \text{ mm} \\Y_{vrl} &= d_r - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1284.793 \text{ mm} \\Y_{vsu} &= Y_{vrl} - t_{cl} - T_h + T_u = 1212.793 \text{ mm} \\Y_{vsl} &= Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1245.207 \text{ mm} \\I_{rv} &= I_s + A_s \cdot d_s^2 + A_r \cdot d_r^2 = 279078258016 \text{ mm}^4 \\F_v &= b \cdot h_v = ((UL2 + UR2 + B2) / 2 + T_w) \cdot (H + (T_u + T_c/n)/2 + T_l/2) = 6385360.5 \text{ mm}^2 \\f_{vru} &= M_{sc} \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -23.906 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_{sc} \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -21.407 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_{sc} \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -20.207 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_{sc} \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 20.747 \text{ MPa} \\u &= S_{sc} / A(\text{Web}) + M_{sct} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 9.105 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(3) 활 하 중

$$\begin{aligned}f_{vru} &= M_v \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -39.364 \text{ MPa} \\f_{vrl} &= M_v \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -35.248 \text{ MPa} \\f_{vsu} &= M_v \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = -33.273 \text{ MPa} \\f_{vsl} &= M_v \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 34.162 \text{ MPa} \\u &= S_v / A(\text{Web}) + M_{vt} / (2 \cdot F_v \cdot T_w) = 19.952 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(4) 크 리 이 프

$$\begin{aligned}A_{vc} &= A_s + A_c/n = 381588.750 \text{ mm}^2 \\d_v &= Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1424.611 \text{ mm} \\d_{vc} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 811.522 \text{ mm} \\d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 613.089 \text{ mm} \\n_1 &= n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\A_{v1} &= A_s + A_c/n_1 = 299479.375 \text{ mm}^2 \quad \# \text{ 2차 부정정력으로 인한 영향 고려} \\d_{c1} &= d_v \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 1034.020 \text{ mm} \quad K = -0.210 \\d_{s1} &= d_v - d_{c1} = 390.591 \text{ mm} \\I_{cv} &= I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 450014462331.3 \text{ mm}^4 \\N_c &= M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c/(n \cdot I_{cv}) = -1377006 \text{ N} \\P\phi &= N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1377006 \text{ N} \\M\phi &= P\phi \cdot d_{c1} = -1423852122 \text{ N} \cdot \text{mm} \\E_{c1} &= E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 13351 \text{ MPa} \\f_{vru1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vru}/I_{rv} = -4.505 \text{ MPa} \\f_{vrl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = -4.666 \text{ MPa} \\f_{vsu1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsu} / I_{rv} = -4.743 \text{ MPa} \\f_{vsl1} &= P\phi / A_v + k \cdot M\phi \cdot Y_{vsl} / I_{rv} = -7.376 \text{ MPa}\end{aligned}$$

(5) 건조수축

$$n2 = n \cdot (1 + \phi^2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$$

$$Av2 = As + Ac/n2 = 272109.583 \text{ mm}^2$$

$$dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 1138.026 \text{ mm}$$

$$ds2 = dv - dc2 = 286.585 \text{ mm}$$

$$P2 = Es \cdot \epsilon_s \cdot Ac/n2 = 2069156 \text{ N}$$

$$Mv2 = P2 \cdot dc2 = 2354753149 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$fvru2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvru/lrv = 6.537 \text{ MPa}$$

$$fvrl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvrl/lrv = 6.803 \text{ MPa}$$

$$fv su2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsu/lrv = 6.930 \text{ MPa}$$

$$fv sl2 = P2/Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsl/lrv = 11.286 \text{ MPa}$$

(6) 온도차

$$\epsilon_t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$P1 = Es \cdot \epsilon_t \cdot Ac/n = 4138313 \text{ N}$$

$$Mvt = P1 \cdot dvc = 3358332227 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$Ert = Es \cdot \epsilon_t = 25.200 \text{ MPa}$$

$$frut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvru/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.667 \text{ MPa}$$

$$frlt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvrl/lrv - Es \cdot \epsilon_t = -10.288 \text{ MPa}$$

$$fsut = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsu/lrv = 15.094 \text{ MPa}$$

$$fslt = P1/Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsl/lrv = 21.306 \text{ MPa}$$

(7) 전단 및 비틀림

$$u = (Ss+Ssc+Sv)/Aw + (Mst/(2 F Tw)+(Msct+Mvt)/(2 Fv Tw)) = 61.148 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \quad 0.K!!!$$

(8) 조합응력의 검토 (도.설 3.4.2.1)

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

$$= 0.650 \times (0.0 / 6)^2 + 0.130 \times (0.0 / 6) + 1.0 = 1.000$$

$$\therefore \phi = (f_1 - f_2) / f_1 \approx 0$$

여기서, n : 종리브에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 ϕ : 응력구배

f_1, f_2 : 보강된 판의 양면의 응력

(단, $f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

* 인장 (상부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$fta = 190.0 \text{ MPa}$$

* 압축 (하부)플랜지의 허용응력 (SM490 사용)

$$t_l \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{24 \times 1.000 \times 6} = 18.056 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190.0 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{49 \times 1.000 \times 6} = 8.844 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 190 - 3.9 (b / (t_l \cdot i \cdot n) - 24) = 227.267$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > t_l \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{2600}{80 \times 1.000 \times 6} = 5.417 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } f_{ca} = 220000 \times \{ (t_l \cdot i \cdot n) / b \} = 1054.438 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } t_l = 30.0 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } f_{ca} = 190.000 \text{ MPa}$$

* RE-BAR의 허용응력 (도.설 2.2.2.4, 3.6.1.7)

$$f_{ta} = 160.000 \text{ MPa} \quad f_{ca} = 180.000 \text{ MPa} \quad (\text{SD400 사용})$$

하중조합	RE-BAR			STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연	(MPa)	상 연	하 연	상 연	하 연
1			160.000	-79.506	73.456	190.000	190.000
1+2+3	-63.269	-56.655	160.000	-132.986	128.366	190.000	190.000
1+2+3+4	-67.774	-61.321	160.000	-137.729	120.989	190.000	190.000
1+2+3+4+5	-61.237	-54.518	160.000	-130.799	132.275	190.000	190.000
1+2+3+4+5+6	-71.904	-64.806	184.000	-115.705	153.580	218.500	218.500
1+2+3+4+5-6	-50.570	-44.230	184.000	-145.893	110.969	218.500	218.500

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

허용응력의 할증 (도.설 3.9.3.1 참조)

(9) 합성응력의 검토 (도.설 3.8.2.4)

(상 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{-137.729}{190.000} \right)^2 + \left(\frac{61.148}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.525 + 0.309 = 0.834 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(하 연)

$$\begin{aligned} \left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{u}{u_a} \right)^2 &= \left(\frac{153.580}{218.500} \right)^2 + \left(\frac{61.148}{110.000} \right)^2 \\ &= 0.494 + 0.309 = 0.803 < 1.2 \quad \mathbf{O.K!!!} \end{aligned}$$

(10) 판의 최소두께 검토

인장(상부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.8.3.1)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 28 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{min} = 10 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K.} \quad (\text{합성형 스테드 설치})$$

압축(하부)플랜지 (☞ 도.설.기 3.4.2.2, 3.4.2.3 및 3.9.6)

$$t_{min} = \text{자유돌출폭} / 16 = 100 / 16 = 6.3 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$t_{min} = b / (49 \cdot i \cdot n) = 2600 / (49 \times 1.00 \times 6) = 8.8 \text{ mm} \leq t = 30 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

복부판 수평보강재 사용단수 1 단 (☞ 도.설.기 3.8.4)

$$\text{합성전 } t_{min} = b / (219 \times 1.200) = 9.1 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 73.456)} = 1.608 > 1.2 \Rightarrow 1.200$$

$$\text{합성후 } t_{min} = b / (219 \times 1.112) = 9.9 \text{ mm} \leq t = 12 \text{ mm} \quad \mathbf{0.K!!!}$$

$$\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(190.0 / 153.580)} = 1.112 < 1.2 \Rightarrow 1.112$$

(11) 항복에 대한 안전도 검사 (☞ 도.설.해(2003) 3.9.3.2)

$\Sigma f = 1.3 \times (\text{합성전 사하중 응력} + \text{합성후 사하중}) + 2.15 \times \text{활하중에 의한 응력(충격포함)}$
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

① 상부바닥판 REBAR

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vru} = -23.906 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -63.269 - -23.906 = -39.364 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.906 + 2.15 \times -39.364 + (-4.505) + (6.537) + (-10.667) \\ = -124.344 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -23.906 + 2.15 \times -39.364 + (-10.667) \\ = -126.376 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

② 강재주형 상판

$$\text{합성전 사하중 응력} = -79.506 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsu} = -20.207 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = -132.986 - -79.506 - -20.207 = -33.274 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.207) + 2.15 \times -33.274 + (-4.743) + (6.93) + (-15.094) \\ = -214.071 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.506 + -20.207) + 2.15 \times -33.274 + (-15.094) \\ = -216.259 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

③ 강재주형 하판

$$\text{합성전 사하중 응력} = 73.456 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 사하중 응력} = M_{sc} / I_{rv} \times Y_{vsl} = 20.747 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = 128.366 - 73.456 - 20.747 = 34.163 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.747) + 2.15 \times 34.163 + (-7.376) + (11.286) + (21.306) \\ = 221.128 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (73.456 + 20.747) + 2.15 \times 34.163 + (21.306) \\ = 217.219 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \mathbf{0.K!!!} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

- 항복에 대한 안전도 검사 결과 집계

구분		작용응력	항복응력	검토결과	
바닥판 콘크리트	크리프, 건조수축 포함시	-124.344	400.000	0.K!!!	3.21
	크리프, 건조수축제외시	-126.376	400.000	0.K!!!	3.16
상부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	-214.071	315.000	0.K!!!	1.47
	크리프, 건조수축제외시	-216.259	315.000	0.K!!!	1.45
하부플랜지	크리프, 건조수축 포함시	221.128	315.000	0.K!!!	1.42
	크리프, 건조수축제외시	217.219	315.000	0.K!!!	1.45

6. 받침용량 검토

구분		고정 하중	활하중		지점침하		거더 평균		받침용량
			MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	
A1	SH1	1516.633	766.680	-63.930	27.182	-27.182	2226.580	1424.118	2000
	SH2								2000
	SH3	1516.633	598.849	-66.736	27.182	-27.182			2000
	SH4								2000
P1	SH1	4356.411	819.823	-118.761	81.056	-81.056	5166.037	4159.448	5000
	SH2								5000
	SH3	4356.411	637.317	-113.054	81.056	-81.056			5000
	SH4								5000
P2	SH1	4356.411	819.823	-118.761	81.056	-81.055	5171.037	4159.447	5000
	SH2								5000
	SH3	4356.411	637.317	-113.054	91.056	-81.058			5000
	SH4								5000
P3	SH1	1516.633	766.680	-63.930	27.182	-27.181	2226.580	1424.119	2000
	SH2								2000
	SH3	1516.633	598.850	-66.736	27.182	-27.181			2000
	SH4								2000

7. 현장이음부 검토

7.1 현장이음의 설계

1) SPLICE - 2 [G2]

(강종 : SM490)

(도.설.해 3.3.2.1)

휨 모멘트(kN·m)		전 단 력(kN)		총비틀림 모멘트 $M_t(kN·m)$	상부FL. 응력 $f_u(MPa)$	하부FL. 응력 $f_l(MPa)$	허용휨 인장응력 $f_{sa}(MPa)$
합성전 M_s	합성후 M_v	합성전 V_s	합성후 V_v				
11,185.91	3,256.55	287.799	83.839	286.826	80.09	-78.50	190.00

사용BOLT : H.T.B (M22 F 10T) $\rho_{sa} = 48,000 \times 2 \text{면} = 96,000 \text{ N}$ (도.설.해3.3.2.3)

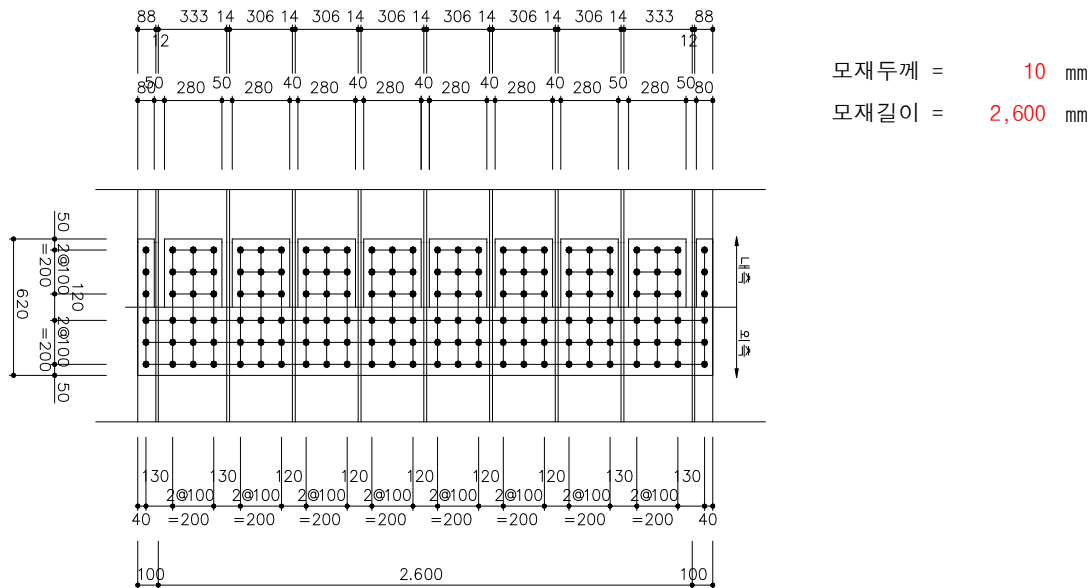
(1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

(도.설.해 3.5.3.6)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 80.085 \text{ MPa}$$

$$f_{s(min)} = 0.75 \times 190.0 = 142.5 \text{ MPa} \quad \therefore \text{이음부의 설계응력 (} f_u \text{) } f_s' = 142.5 \text{ MPa 적용}$$



① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 26,000.0 \times 142.5 / 96,000.0 = 39ea \Rightarrow n_t = 156ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 26,000.0 \times 142.5 / 190.0 = 19,500.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 (A_{use})

$$2 \text{ PL} - 2,800 \times 10.0 \times 620 = 56,000.0$$

$$16 \text{ PL} - 280 \times 10.0 \times 620 = 44,800.0$$

$$4 \text{ PL} - 80 \times 10.0 \times 620 = 3,200.0$$

$$\Sigma = 104,000.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_{use} = 26,000.0 \times 142.5 / 104,000.0 = 35.6 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토

(도.설.해 3.5.3.5)

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_n = P / n_t = 26,000.0 \times 142.5 / 156.0 = 23,750.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \quad 0 \text{ K} !!$$

- 휨에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q_s, Q_v : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q_s = 2,600.0 \times 10.0 \times (1,237.1 - 5.0) = 3.204E+07 \text{ mm}^3$$

$$Q_v = 2,600.0 \times 10.0 \times (470.1 - 5.0) = 1.209E+07 \text{ mm}^3$$

$$I_s = 1.714E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성전 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$I_v = 3.411E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성후 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$p = \text{플랜지 전폭} / \text{횡방향 BOLT수} = 2,600.0 / 52ea = 50.0 \text{ mm (볼트의 피치)}$$

$$n = 3ea \text{ (접합선에 직각방향의 볼트의 수)}$$

$$\rho_h = (V_s \cdot Q_s / I_s + V_v \cdot Q_v / I_v) \times p / n$$

$$= (287.8 \times 32,035,250.0 / 171,399,817,125.0 + 83.8$$

$$\times 12,092,600.0 / 341,062,850,442.0) \times (50.0 / 3.0) = 946.1 \text{ N/ea}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{5.641E+08 + 8.950E+05} = 23,768.8 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

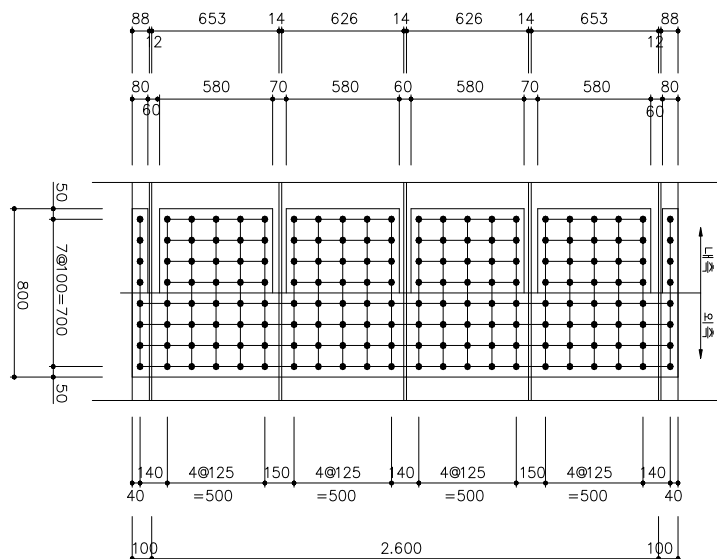
(2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

(도.설.해 3.5.3.6)

- 주요 부재의 연결은 적어도 모재의 전 강도의 75% 이상의 강도를 갖도록 설계하여야 한다. 다만, 전단력에 대해서는 작용응력을 사용하여 설계해도 좋다. (도.설.해 3.5.1.1, 3.5.3.2)

$$f_s = 78.502 \text{ MPa}$$

$$f_s' = 0.75 \times 190.0 = 142.5 \text{ MPa} \therefore \text{이음부의 설계응력} (f_t) = 142.5 \text{ MPa 적용}$$



모재두께 = 14 mm

모재길이 = 2,600 mm

① 필요 BOLT수의 결정

$$n_{req} = A_s \times f_s' / \rho_{sa} = 36,400.0 \times 142.5 / 96,000.0 = 55ea \Rightarrow n_t = 176ea \dots 0.K !!$$

② 이음판의 결정

- 필요 단면적 산정

$$A_{req} = A_s \times f_s' / f_{sa} = 36,400.0 \times 142.5 / 190.0 = 27,300.0 \text{ mm}^2$$

- 사용 이음판 전단면적 A_{use}

$$2 \text{ PL} - 2,800 \times 14.0 \times 800 = 78,400.0$$

$$8 \text{ PL} - 580 \times 14.0 \times 800 = 64,960.0$$

$$4 \text{ PL} - 80 \times 14.0 \times 800 = 4,480.0$$

$$\Sigma = 147,840.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제) (도.설.해 3.5.3.7)

$$A_n = 147,840.0 - 25.0 \times 14.0 \times 44.0 \text{열} \times 4ea = 86,240.0 \text{ mm}^2 \geq A_{req} \dots 0.K !!$$

- 이음판의 응력

$$f_s = A_s \times f_s' / A_n = 36,400.0 \times 142.5 / 86,240.0 = 60.1 \text{ MPa} \leq f_{sa} \dots 0.K !!$$

③ BOLT의 응력검토 (도.설.해 3.5.3.5)

- 축방향력 또는 전단력을 받는 판을 연결하는 경우의 BOLT 응력검토

$$\rho_p = P / n_t = 36,400.0 \times 142.5 / 176.0 = 29,471.6 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

- 휨에 의한 전단력을 받는 판을 수평방향으로 연결하는 BOLT의 응력검토

Q_s, Q_v : 합성전 및 합성후의 부재 총단면의 중립축에 대한 전단력을 계산하는 접합선

외측의 단면1차 모멘트

$$Q_s = 2,600.0 \times 14.0 \times (1,186.9 - 7.0) = 4.295E+07 \text{ mm}^3$$

$$Q_v = 2,600.0 \times 14.0 \times (1,953.9 - 7.0) = 7.087E+07 \text{ mm}^3$$

$$I_s = 1.714E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성전 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$I_v = 3.411E+11 \text{ mm}^4 \text{ (합성후 부재 총단면의 중립축에 대한 단면2차 모멘트)}$$

$$p = \text{플랜지전폭/횡방향1열BOLT수} = 2,600.0 / 44ea = 59.1 \text{ mm (볼트의 피치)}$$

$$n = 4ea \text{ (접합선에 직각방향의 볼트의 수)}$$

$$\rho_h = (V_s \cdot Q_s / I_s + V_v \cdot Q_v / I_v) \times p / n$$

$$= (287.8 \times 42,947,450.0 / 171,399,817,125.0 + 83.8$$

$$\times 70,867,160.0 / 341,062,850,442.0) \times (59.1 / 4.0) = 1,322.7 \text{ N/ea}$$

- 축방향력, 휨모멘트 및 전단력이 함께 작용하는 판을 연결할 경우의 BOLT 식

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{8.686E+08 + 1.749E+06} = 29,501.3 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

④ 모재의 응력검토

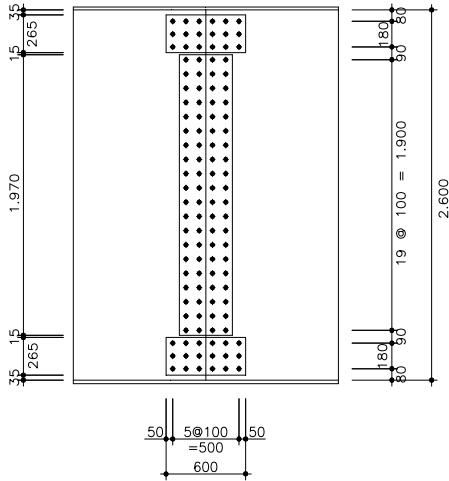
$$A_{sn} = 14.0 \times (2,600.0 - 25.0 \times 44.0) = 21,000.0 \text{ mm}^2$$

$$f_l = A_s \times f_s' / A_{sn} = 36,400.0 \times 142.5 / 21,000.0 = 247.0 \text{ MPa} \geq f_{sa} \dots N.G !!$$

(3) WEB 연결부의 계산 : (좌측 WEB)

① BOLT의 응력계산

- 휨에 의한 BOLT의 응력



Box 평균 높이 = 2,400 mm

Box 계산 높이 = 2,400 mm

WEB 두께 = 10 mm

중립축에서 연단까지 거리 h_o = 1,200 mm

$$f_1 = f_u = 142.50 \text{ MPa}$$

$$f_2 = f_1 \cdot (h_o - 150) / h_o = 124.69 \text{ MPa}$$

$$f_3 = f_1 \cdot (h_o - 250) / h_o = 112.81 \text{ MPa}$$

$$f_4 = f_1 \cdot (h_o - 345) / h_o = 101.53 \text{ MPa}$$

$$f_5 = f_1 \cdot (h_o - 435) / h_o = 90.84 \text{ MPa}$$

$$f_6 = f_1 \cdot (h_o - 525) / h_o = 80.16 \text{ MPa}$$

$$\text{제1열 } \rho_p = (142.500 + 124.688) / 2 \times 150.0 \times 10.0 / 4ea = 50,097.7 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제2열 } \rho_p = (124.688 + 112.813) / 2 \times 100.0 \times 10.0 / 4ea = 29,687.5 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제3열 } \rho_p = (112.813 + 101.531) / 2 \times 95.0 \times 10.0 / 2ea = 50,906.6 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제4열 } \rho_p = (101.531 + 90.844) / 2 \times 90.0 \times 10.0 / 2ea = 43,284.4 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\text{제5열 } \rho_p = (90.844 + 80.156) / 2 \times 90.0 \times 10.0 / 2ea = 38,475.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots\dots 0.K !!$$

$$\sum y_i^2 = 4\text{열} \times 2210000 \times 2 + 2\text{열} \times 3218500 \times 2 = 30,554,000 \text{ mm}^2$$

$$M_w = (f_s \times t_w \times h_w^2) / 6 = (142.5 \times 10 \times 2400^2) / 6 = 1,368,000,000 \text{ Nmm} = 1,368,000 \text{ kNmm}$$

$$\rho_p = (M_w / \sum y_i^2) \times y_n = (1368000 / 30554000) \times 1200 = 53.728 \text{ kN} < 96.000 \text{ kN } 0.K!!!$$

- 전단력에 의한 BOLT의 응력 (도.설.해 3.8.2.3)

∴ 전단응력 $\sigma = V / A_w + M_t / (2 \cdot F \cdot t_w)$ [비틀림 모멘트 고려시]

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력 : $(V_s + V_v) / 2 = (287.8 + 83.8) / 2 = 185,819.0 \text{ N}$
- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력 : $M_t / (2 \cdot b) = 286.8 / (2 \times 800) = 179,266.3 \text{ N}$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = (185,819.0 + 179,266.3) / 232ea = 1,573.6 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

- 합성 응력의 검토

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{(50,906.6^2 + 1,573.6^2)} = 50,931.0 \text{ N/ea} \leq \rho_{sa} \dots 0.K !!$$

② 이음판의 응력계산

- 복부판의 단면2차 모멘트

- 합성전 단면2차 모멘트

$$I_{sw}^1 = (10.0 \times 2,400.0^3) / 12 + 10.0 \times 2,400.0 \times (1,200.0 - 1,186.9)^2 = 1.152E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면2차 모멘트

$$I_{vw}^1 = (10.0 \times 2,400.0^3) / 12 + 10.0 \times 2,400.0 \times (1,953.9 - 1,200.0)^2 = 2.516E+10 \text{ mm}^4$$

- 복부판에 작용하는 모멘트

- 복부에 작용하는 합성전 고정하중에 의한 모멘트

$$M_{sw} = M_s \times I_{sw}^1 / I_s = 11,185.9 \times 11,524,134,375.0 \times 171,399,817,125.0 = 752.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 복부에 작용하는 합성후 하중에 의한 모멘트

$$M_{vw} = M_v \times I_{vw}^1 / I_v = 3,256.5 \times 25,160,765,040.0 \times 341,062,850,442.0 = 240.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 복부 이음판의 단면2차모멘트

규격	$A_s(\text{mm}^2)$	$Y(\text{mm})$	$A_s \cdot Y(\text{mm}^3)$	$A_s \cdot Y^2(\text{mm}^4)$	$I_{xo}(\text{mm}^4)$
16 - 180.0 × 10.0	28,800.0	1,140.0	3.283E+07	3.743E+10	7.776E+07
8 - 1,880.0 × 10.0	150,400.0	-	-	-	4.430E+10
합계	179,200.0	1,140.0	3.283E+07	3.743E+10	4.438E+10

$$I = I_o + AY^2 = 44,375,573,333.3 + 37,428,480,000.0 = 8.180E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성전 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 81,804,053,333.3 + 179,200.0 \times (1,200.0 - 1,186.9)^2 = 8.183E+10 \text{ mm}^4$$

- 합성후 단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{vw} = 81,804,053,333.3 + 179,200.0 \times (1,953.9 - 1,200.0)^2 = 1.837E+11 \text{ mm}^4$$

- 이음판의 응력 검토

- 합성전 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su} = 1,237.1 \text{ mm} \quad y_{sl} = 1,186.9 \text{ mm}$$

- 합성후 단면의 중립축에서 이음판 상·하연까지의 거리

$$y_{su,v} = 470.1 \text{ mm} \quad y_{sl,v} = 1,953.9 \text{ mm}$$

- 이음판의 상연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_u &= (M_{sw} \cdot y_{su}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{su,v}) / I_{vw} \\ &= (752.1 \times 1,237.1) / 81,834,923,333.3 + (240.2 \times 470.1) / 183,655,098,965.3 \\ &= 11.370 + 0.615 = 11.985 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 190.000 \text{ MPa} \dots 0.K !! \end{aligned}$$

- 이음판의 하연 응력 검토

$$\begin{aligned} f_l &= (M_{sw} \cdot y_{sl}) / I_{sw} + (M_{vw} \cdot y_{sl,v}) / I_{vw} \\ &= (752.1 \times 1,186.9) / 81,834,923,333.3 + (240.2 \times 1,953.9) / 183,655,098,965.3 \\ &= 10.908 + 2.556 = 13.464 \text{ MPa} \leq f_{sa} = 190.000 \text{ MPa} \dots 0.K !! \end{aligned}$$

8. 피로검토 (도.설 3.3.4.1)

가) 응력반복횟수

부재 및 하중구분 도로의 종류	종방향 주부재		횡방향 부재	비 고
	트럭하중	차선하중	트럭하중	
고속도로, 국도 주간선 도로	2 백만	50 만	2 백만 이상	
기 타 도 로	10 만	10 만	50 만	

나) 허용응력 범위 fsr (MPa)

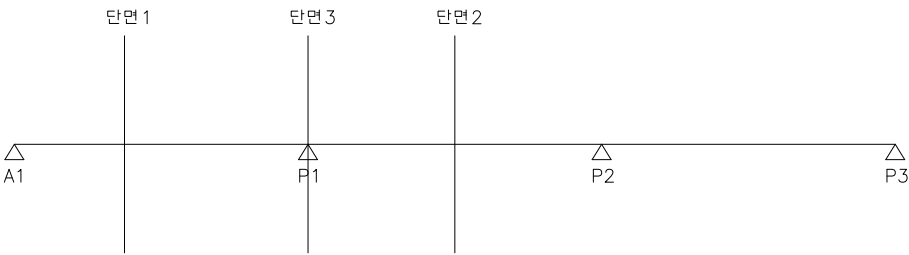
응 력 범 주	다재하 경로구조				단재하 경로구조			
	10 만회	50 만회	200 만회	200 만회이상	10 만회	50 만회	200 만회	200 만회이상
A	442	260	168	168	351	203	168	168
B	344	203	126	112	274	161	112	112
B'	274	161	101	84	218	126	77	77
C	250	147	91	70	196	112	70	63
				84*			84*	77*
D	196	112	70	49	154	91	56	35
E	154	91	56	31	119	70	42	16
E'	112	64	40	18	84	49	28	9
F	105	84	63	56	84	63	49	42

주 : * 는 거더 복부판과 플랜지의 수직보강재 용접의 경우

다) 피로조사위치 및 응력범주의 설정

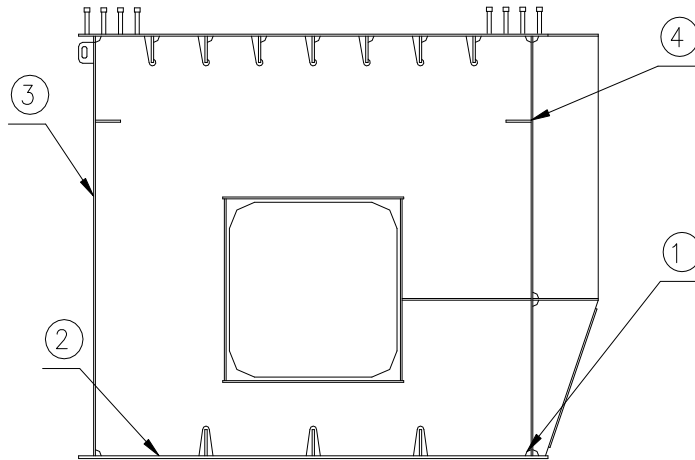
활하중에 의한 모멘트의 변동범위가 큰 단면에서 인장응력 및 교번응력이 발생하는 상세부에 대하여 피로검토를 수행 한다.

- 피로조사 단면위치



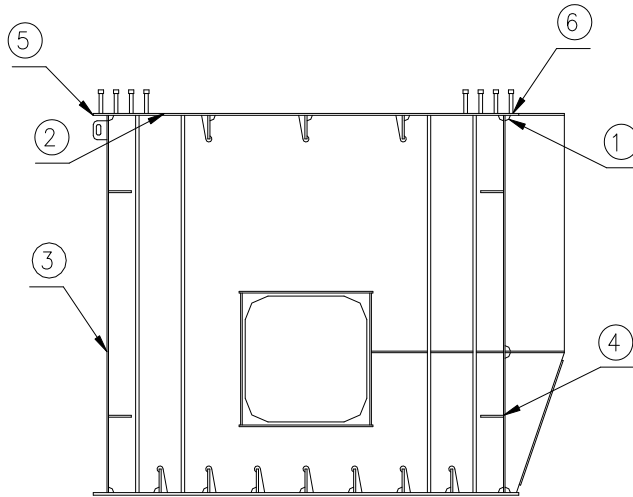
본 교량은 **고속도로** 에 속하는 **다재하경로** 구조로서 트럭하중 2백만회 와 차선하중 50만회 에 대하여 검토 하는 것으로 한다.

단면 I, II



구분	상 세	응 력 범 주	fsr (MPa)		비 고
			DB 하중	DL 하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	126	203	
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	91	147	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	56	91	

단면 III



구분	상 세	응 력 범 주	fsr (MPa)		비 고
			DB 하중	DL 하중	
①	플랜지와 복부판의 연속 필릿 용접부	B	126	203	
		F	63	84	전단피로검토
②	인장측 플랜지와 다이어프램의 필릿 용접부	C	91	147	
③	복부판에 부착된 가로보 연결용 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
④	수평보강재 용접 끝부분	E	56	91	
⑤	인장측 플랜지에 부착된 가로보 거셋판 용접 끝부분	E	56	91	
⑥	스터드에 인접한 인장측 플랜지부	C	91	147	

라) 설계피로응력

· 휨모멘트에 대한 피로검토

여기서, Δf : 설계피로응력범위 (최대응력과 최소응력의 차)

$$\Delta f = \frac{\Delta M}{I_v} y$$

$\Delta M = M_{\max} - M_{\min}$ (4.4 라.피로하중 작용범위 참조)

I_v : 합성후 단면의 단면2차 모멘트

y : 합성후 단면 도심으로부터의 거리

단면 I

구분	ΔM (KN · m)		I_v (mm ⁴)	y (mm)	Δf (MPa)		응 력 범 주	f_{sr} (MPa)		비 고
	DB 하중	DL 하중			DB 하중	DL 하중		DB 하중	DL 하중	
①	7538.649	8264.386	3.411E+11	1970	43.541	47.733	B	126	203	O.K.
②				1970	43.541	47.733	C	91	147	O.K.
③				1080	23.869	26.167	E	56	91	O.K.
④				50	1.103	1.209	E	56	91	O.K.

단면 II

구분	ΔM (KN · m)		I_v (mm ⁴)	y (mm)	Δf (MPa)		응 력 범 주	f_{sr} (MPa)		비 고
	DB 하중	DL 하중			DB 하중	DL 하중		DB 하중	DL 하중	
①	6769.545	7858.727	2.945E+11	2019	46.413	53.881	B	126	203	O.K.
②				2019	46.413	53.881	C	91	147	O.K.
③				1129	25.952	30.127	E	56	91	O.K.
④				99	2.271	2.637	E	56	91	O.K.

단면 III

구분	ΔM (KN · m)		I_v (mm ⁴)	y (mm)	Δf (MPa)		응 력 범 주	f_{sr} (MPa)		비 고
	DB 하중	DL 하중			DB 하중	DL 하중		DB 하중	DL 하중	
①	5311.861	9748.868	2.793E+11	1246	23.690	43.478	B	126	203	O.K.
②				1246	23.690	43.478	C	91	147	O.K.
③				356	6.762	12.411	E	56	91	O.K.
④				754	14.332	26.304	E	56	91	O.K.
⑤				1167	22.205	40.753	E	56	91	O.K.
⑥				1180	22.452	41.207	C	91	147	O.K.

· 전단에 대한 피로검토 - 플랜지와 복부판의 필릿용접부에 대한 전단피로검토

이 부위의 피로상세범주는 "F" 이며, 검토 단면은 전단력이 가장 큰 절점 14 을 설정 하였음

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta S \cdot Q}{I_v \cdot \sum a}$$

여기서, $\Delta \sigma$: 설계전단피로응력범위 (최대응력과 최소응력의 차)

$\Delta S = S_{max} - S_{min}$ (4.4 라.피로하중 작용범위 참조)

Q : 용접선 외측 플랜지의 총단면의 중립축에 관한

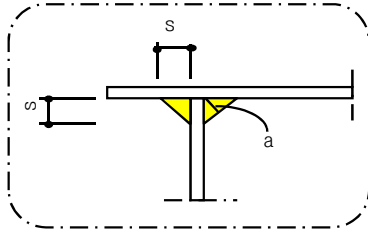
단면 1차 모멘트 ($\text{mm}^3 = A(\text{mm}^2) \cdot y(\text{mm})$)

$y = Y_{vsu}(l) - t_u(l)/2$

I_v : 합성후 단면의 단면2차 모멘트

$\sum a$: 필릿 용접의 목두께의 합 ($\text{mm} = 4EA \times s / \sqrt{2}$)

s : 필릿 용접 치수 (mm)



- 상부 플랜지와 복부판

구분	ΔS (kN)	t_u (mm)	B (mm)	A (mm^2)	Y_{vsu} (mm)	Q (mm^3)	I_v (mm^4)	s (mm)	$\sum a$ (mm)	$\Delta \sigma$ (MPa)	σ_{sr} (MPa)	비고
DB하중	1486.160	28	2500	70000	1212	8.477E+07	#####	8	22.6	19.9	63	OK
DL하중	1944.576									26.1	84	OK

- 하부 플랜지와 복부판

구분	ΔS (kN)	t_l (mm)	B (mm)	A (mm^2)	Y_{vsu} (mm)	Q (mm^3)	I_v (mm^4)	s (mm)	$\sum a$ (mm)	$\Delta \sigma$ (MPa)	σ_{sr} (MPa)	비고
DB하중	1486.160	30	2500	75000	1246	9.330E+07	#####	8	22.6	21.9	63	OK
DL하중	1944.576									28.7	84	OK