

상적교(분당방향)

안 전 성 평 가

1.

1.1

1)

검토조건 및 검토단면

검토조건

교량제원

- ▶ 교 량 명 : 상적교(분당방향)
- ▶ 구조형식 : 강합성 상자형교
- ▶ 교량등급 : 1 등교
- ▶ 지간구성 : $L = 180.000 \text{ m}$ ($= 55.000\text{m} + 70.000\text{m} + 55.000\text{m}$)
- ▶ 계산지간 : $L_s = 179.000 \text{ m}$ ($= 54.500\text{m} + 70.000\text{m} + 54.500\text{m}$)
- ▶ 교량폭원 : 14.310 m (유 효 폭 : 13.500 m)
- ▶ 거더높이 : 2.200 m (거 더 폭 : 3.200 m , 배치간격 : 8.110 m)
(Girder : 2 EA , Stringer : 1 EA)
- ▶ 곡선반경 : $1,507.000 \text{ m}$ (도로 중심선 기준)
- ▶ 교량사각 : 90.00° (시 점) , 90.00° (종 점)

2)

설계하중

① 고정하중

- ▶ 강재 자중 : $\gamma_{st} = 78.50 \text{ kN/m}^3$
- ▶ 철근콘크리트 : $\gamma_{con} = 25.00 \text{ kN/m}^3$
- ▶ 아스콘 포장 : $\gamma_{asp} = 23.00 \text{ kN/m}^3$
- ▶ 콘크리트 : $\gamma_{con} = 23.50 \text{ kN/m}^3$

② 활하중

- ▶ DB-24 , (DL-24)
- ▶ 충격계수 : $I = 15 / (40 + L) \leq 0.3$

3)

사용재료

① Steel Box

- ▶ SM 490 (주부재 - Box Girder, L-Rib, Splice)
- ▶ SM 400 (부부재 - Cross Beam, Stringer, Stiffener, Diaphragm)
- ▶ 탄성계수 : $E_s = 2.05\text{E}+05 \text{ MPa}$
- ▶ 전단탄성계수 : $G_s = E_s / 2(1+\nu) = 78,846 \text{ MPa}$

② 바닥판

- : $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$ $E_c = 26,681 \text{ MPa}$
- : $f_y = 400 \text{ MPa}$ SD 400 $E_{s'} = 2.0\text{E}+05 \text{ MPa}$

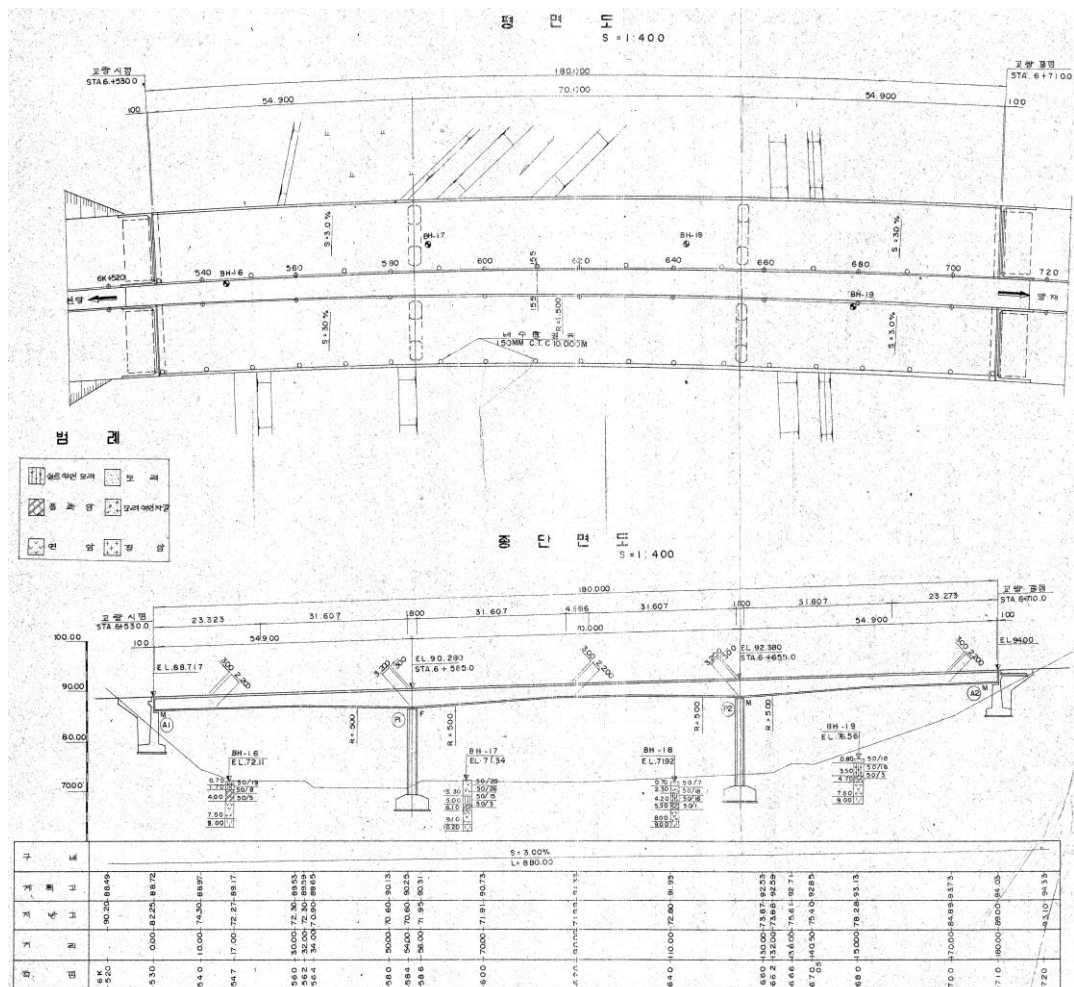
③ 탄성계수비

- : 주거더의 탄성변형, 부정정력 및 단면응력을 계산하는 경우에 강재와 바닥판 콘크리트의 탄성계수비 n 은 8 을 표준으로 한다.

검토단면

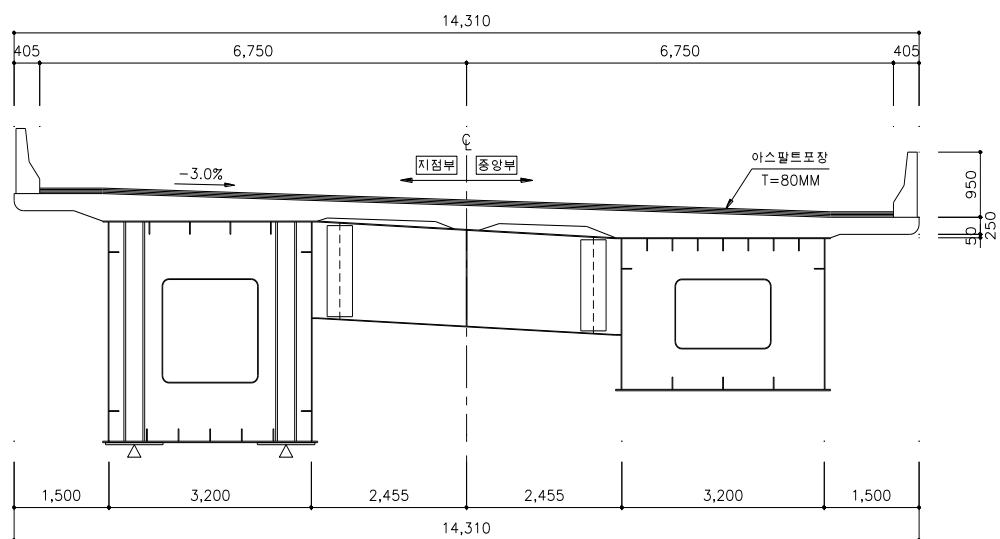
1)

종평면도



2)

형단면도



2.

2.1

1)

①

하중산정

고정하중

강재 자중

적용 강재중량

$$\triangleright A1 = 120.460 + 157.570 + 178.140 + 99.580 = 555.750 \text{ kN}$$

$$\triangleright P1 = 565.780 + 741.150 + 713.400 + 596.000 = 2,616.330 \text{ kN}$$

$$\triangleright P2 = 565.750 + 741.180 + 713.400 + 596.000 = 2,616.330 \text{ kN}$$

$$\triangleright A2 = 120.450 + 157.580 + 178.140 + 99.580 = 555.750 \text{ kN}$$

$$\Sigma = 6,344.160 \text{ kN}$$

②

총 강재중량

$$\triangleright \text{Total} = 874.281 \text{ tonf} = 8,742.810 \text{ kN}$$

③

강재중량비

$$\triangleright \text{총 강재중량} / \text{모델링 강재중량} = 8,742.810 / 6,344.160 = 1.3781$$

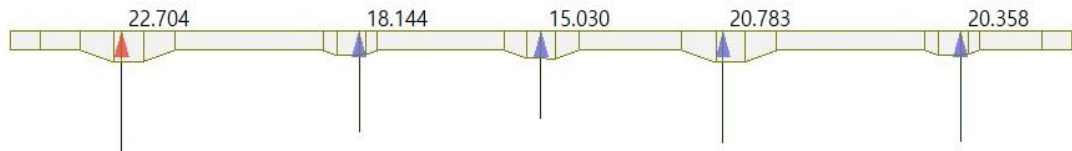
▶ 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재자중을 37.81 % 할증 적용.

2) 합성전 고정하중 (바닥판)

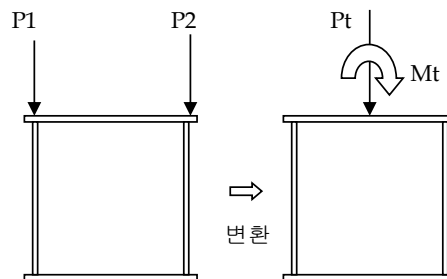
① 바닥판 단면도

- ▶ 바닥판 단면도와 동일하게 모델링한 후 복부판 위치를 지점으로 해석하여 반력을 산정한다.

② 해석 반력



- ▶ MIDAS/CIVIL의 Self Weight 으로 하중을 재하한다.



Web 중심간격
= 3.200 m

③ 거더별 작용하중 산정

구 분		Girder - 1		ST-1	Girder - 2	
		G-11	G-12		G-21	G-22
바닥판	P1 (kN/m)	-22.704	-18.144	-15.030	-20.783	-20.358
	Pt (kN/m)	-40.848		-15.030	-41.141	
자 중	Mt (kN·m/m)	-7.296		-	-0.680	
	편심거리 (m)	0.179		-	0.017	

3)

①

합성후 고정하중

적용하중

$$\begin{aligned} \text{▶ 방호벽} &= (0.150 \times 0.485 + 0.058 \times 0.485 / 2 \\ &+ 0.208 \times 0.250 + 0.168 \times 0.250 / 2 \\ &+ 0.375 \times 0.215) \times 25.00 \times 1 \text{ EA} + 0.000 \\ &= 6.003 \text{ kN/m} \\ &\text{(난간)} \end{aligned}$$

* 횡분배 해석적용하중

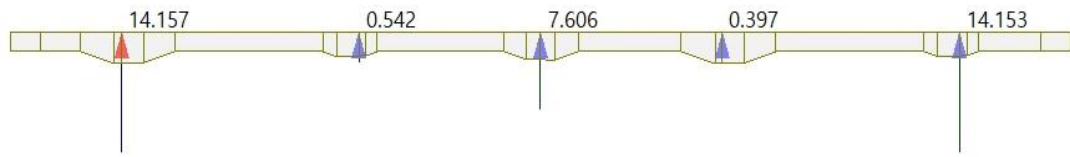
$$\begin{aligned} \text{- 하중크기 : } (1) &= 0.950 \times 25.00 = 23.750 \text{ kN/m}^2 \text{ (거리 : 0.030 ~ 0.180)} \\ (2) &= 0.465 \times 25.00 = 11.625 \text{ kN/m}^2 \text{ (거리 : 0.180 ~ 0.238)} \\ (3) &= 0.215 \times 25.00 = 5.375 \text{ kN/m}^2 \text{ (거리 : 0.238 ~ 0.405)} \end{aligned}$$

▶ 포 장

$$\text{차 도} = 0.080 \times 23.00 = 1.840 \text{ kN/m}^2$$

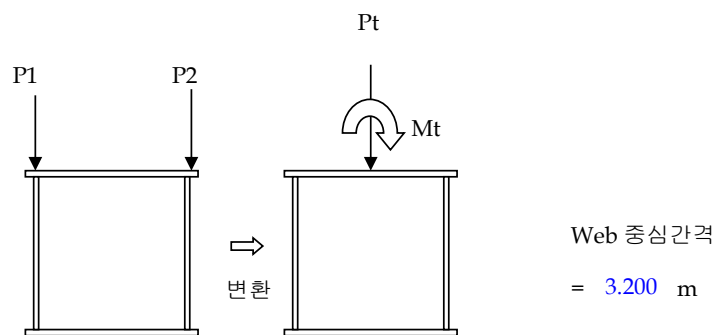
②

해석 반력



③

거더별 작용하중 산정



④

거더별 작용하중 산정

구 분		Girder - 1		ST-1	Girder - 2	
		G-11	G-12		G-21	G-22
합 성 후	P1 (kN/m)	-14.157	-0.542	-7.606	-0.397	-14.153
	Pt (kN/m)	-14.699		-7.606	-14.550	
고정하중	Mt (kN·m/m)	-21.784		-	22.010	
	편심거리 (m)	1.482		-	-1.513	

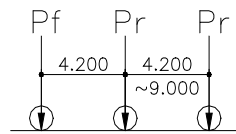
2.2

활하중

1)

설계활하중

▶ DB-24



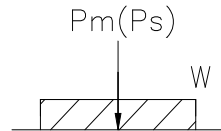
$$- Pf = 24.0 \text{ kN}$$

$$- \text{차선 점유폭} = 3.00 \text{ m}$$

$$- Pr = 96.0 \text{ kN}$$

$$- \text{차륜간 거리} = 1.80 \text{ m}$$

▶ DL-24



$$- W = 12.7 \text{ kN/m}$$

$$- \text{차선 점유폭} = 3.00 \text{ m}$$

$$- P_m = 108.0 \text{ kN}$$

$$- P_s = 156.0 \text{ kN}$$

2)

차선수 및 차로폭 결정

▶ 연석간 교폭 : $W_c = 13.500 \text{ m}$

$\therefore N = 4$ 차선 재하가능

▶ 설계차로폭 : $W = W_c / N = 3.375 \text{ m} < 3.60 \text{ m} \therefore W = 3.000 \text{ m}$ 적용

(곡선교이므로 표준점유폭인 3m 마다 연속시켜서 설계차선수 이내로 최대 편심효과가 일어날 수 있도록)

3)

충격계수

▶ $I = 15 / (40 + L) \leq 0.3$

여기서, L은 원칙적으로 설계부재에 최대응력이 발생하도록 재하된 등분포활하중이 재하된

지간부분의 길이(m)이다

▶ 각 위치별 충격계수

- 외측경간 (하중위치①) : $L = 54.50 \text{ m}$

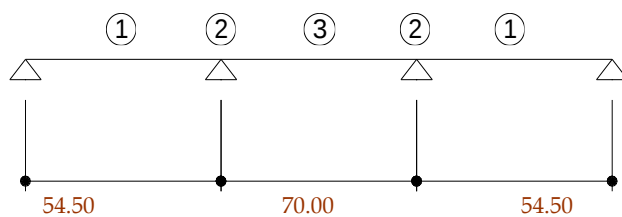
$$I = 15 / (40 + L) = 0.159$$

- 외측지점 (하중위치②) : $L = 62.25 \text{ m}$

$$I = 15 / (40 + L) = 0.147$$

- 내측경간 (하중위치③) : $L = 70.00 \text{ m}$

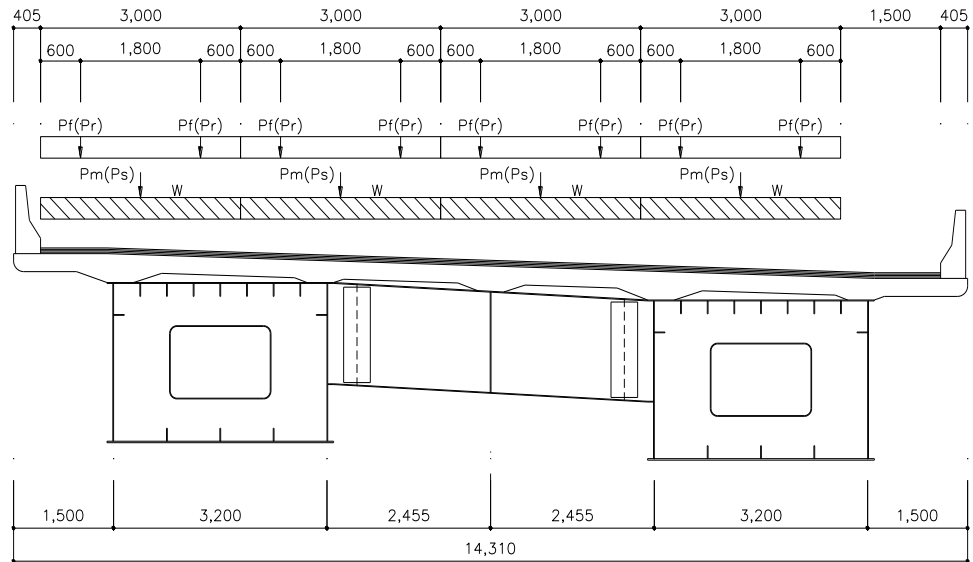
$$I = 15 / (40 + L) = 0.136$$



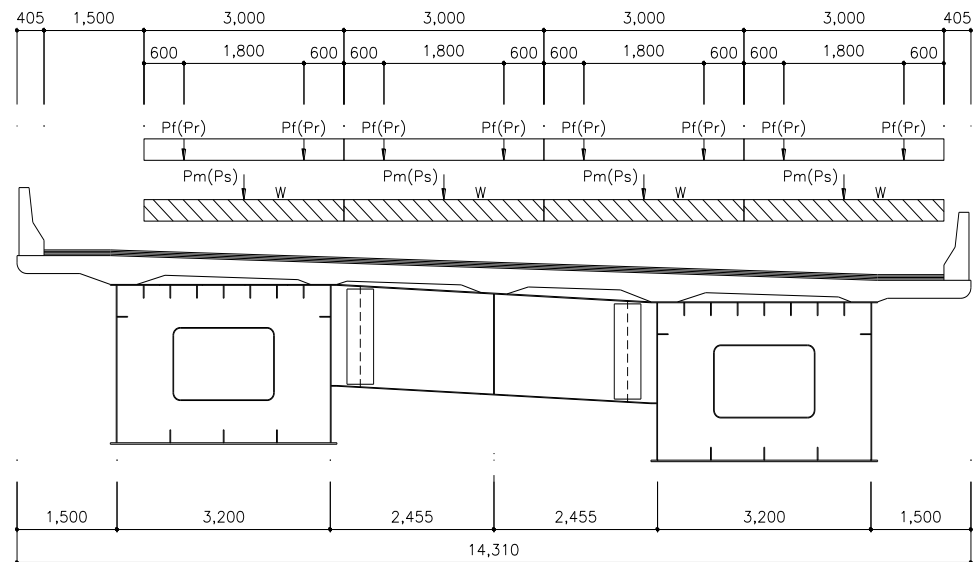
4)

활하중 재하위치 (MIDAS/CIVIL의 Moving Load Analysis 모듈로 하중 재하)

G1측 편측재하의 경우



G2측 편측재하의 경우



2.3

온도하중

- ▶ $\Delta T = \pm 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (온도차)
- ▶ $\alpha = 1.2\text{E-}05$ (선팅창 계수)

2.4

크리프

- ▶ $\varphi_1 = 2.0$ (크리프 계수)
- ▶ $n_1 = n \cdot (1 + \varphi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16$ (크리프 계산시 탄성계수비)

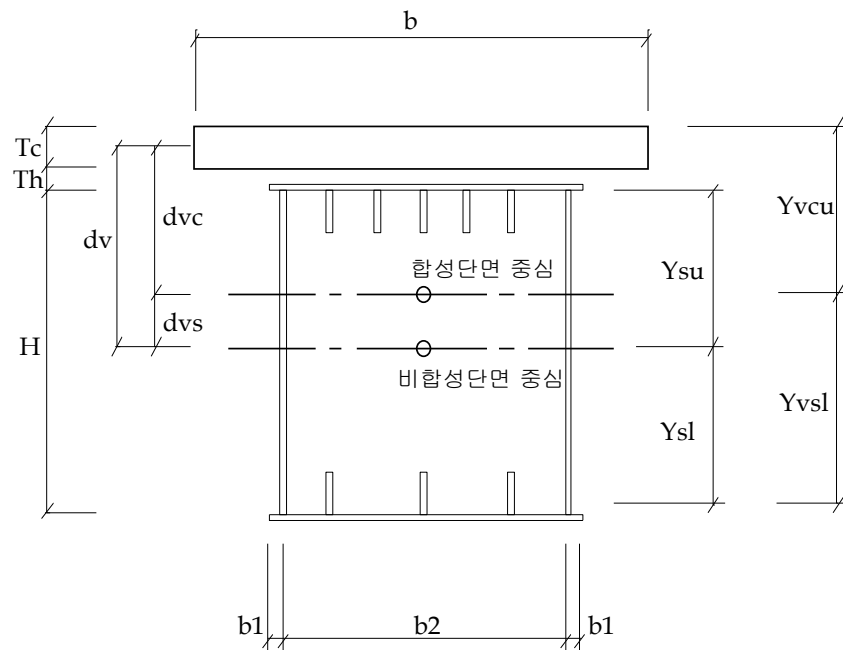
2.5

건조수축

- ▶ $\varepsilon_s = 0.00027$ (최종 건조수축율)
- ▶ $\varphi_2 = 2 \varphi_1 = 4.0$ (건조수축 계수)
- ▶ $n_2 = n \cdot (1 + \varphi_2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24$ (건조수축 계산시 탄성계수비)

3.

단면계수



- ▶ b ; 바닥판 콘크리트의 폭
- ▶ T_c ; 바닥판 콘크리트의 두께
- ▶ T_h ; 바닥판 콘크리트의 현치 높이
- ▶ A_c ; 바닥판 콘크리트의 단면적
- ▶ A_v ; 합성후 (강재+바닥판 콘크리트)의 환산단면적
- ▶ I_c ; 바닥판 콘크리트의 단면2차모멘트
- ▶ d_v ; 강재단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
- ▶ d_{vc} ; 합성단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
- ▶ d_{vs} ; 합성단면 도심에서 강재단면 도심까지의 거리 (합성전 및 합성후단면에서의 도심축 이동량)
- ▶ I_{33} ; 합성전 강재단면의 3축방향(종방향) 단면2차모멘트
- ▶ I_{22} ; 합성전 강재단면의 2축방향(횡방향) 단면2차모멘트
- ▶ I_{v33} ; 합성후 강재단면의 3축방향(종방향) 단면2차모멘트
- ▶ I_{v22} ; 합성후 강재단면의 2축방향(횡방향) 단면2차모멘트

3.1

1)

Girder

Section 별 단면 요약

Section	Thickness (cm)					EA		복부판 높이 (cm)
	Flange		Web	Rib		Rib		
	Upp.	Low.		Upp.	Low.	Upp.	Low.	
Section-A	1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	7	3	220.0
Section-B	1.2	2.1	1.2	1.2	1.2	7	3	220.0
Section-C	1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	7	3	226.6
Section-D	1.2	2.2	1.2	1.2	1.2	7	5	247.9
Section-E	2.2	2.2	1.2	1.2	1.2	7	5	263.7
Section-F	2.2	2.2	1.2	1.2	1.2	4	5	295.7
Section-G	3.4	3.4	1.2	1.2	1.2	4	5	320.0
Section-H	1.2	1.6	1.2	1.2	1.2	7	5	247.9
				Rib 높이		18.0	18.0	

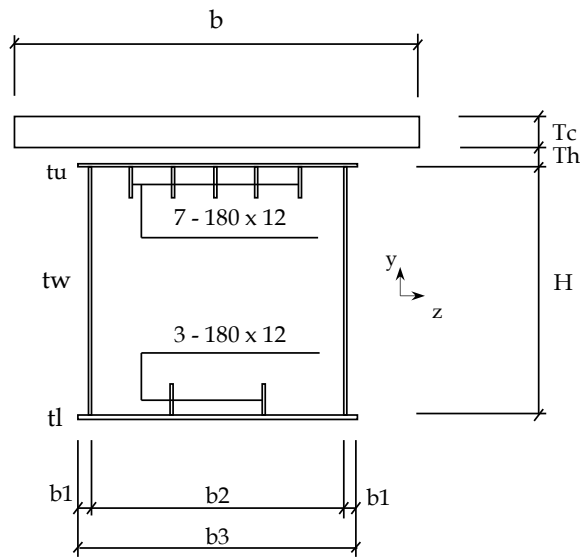
- ▶ 바닥판 폭 : $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ 플랜지 돌출폭 : $b1 = 10.0 \text{ cm}$ (상부플랜지) $b1 = 10.0 \text{ cm}$ (하부플랜지)
- ▶ 복부판 간격 : $b2 = 320.0 \text{ cm}$ (상부플랜지) $b2 = 320.0 \text{ cm}$ (하부플랜지)
- ▶ 플랜지 총폭 : $b3 = 340.0 \text{ cm}$ (상부플랜지) $b3 = 340.0 \text{ cm}$ (하부플랜지)
- ▶ 바닥판 두께 : $Tc = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ 바닥판 현치높이 : $Th = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ 탄성계수비 : $N = 8$
- ▶ 바닥판 철근 피복 : $Upp = 4 \text{ cm}$ $Low = 4 \text{ cm}$

**Section 별 단면특성 : Girder**

Section		단면적	비틀림 강성	단면 2차 모멘트	
		A (cm ²)	Ixx (cm ⁴)	Iyy (cm ⁴)	Izz (cm ⁴)
Section-A	합성전	1,696.0	24,155,982	15,983,976	22,789,363
	합성후	3,931.9	31,410,128	32,724,113	118,178,230
Section-B	합성전	1,866.0	25,662,550	17,788,290	24,427,029
	합성후	4,101.9	33,981,133	38,164,639	119,815,896
Section-C	합성전	1,711.8	25,285,501	17,032,773	23,197,916
	합성후	3,947.8	32,751,328	34,727,328	118,586,783
Section-D	합성전	2,010.2	30,988,217	23,796,109	26,481,627
	합성후	4,246.1	40,407,463	51,089,453	121,870,494
Section-E	합성전	2,388.1	39,688,248	34,017,954	30,735,011
	합성후	4,624.0	44,923,957	59,130,825	126,123,878
Section-F	합성전	2,400.1	46,446,220	42,111,526	32,715,874
	합성후	4,636.0	52,108,482	74,356,320	128,104,741
Section-G	합성전	3,274	59,291,824	71,441,951	42,080,891
	합성후	5,510	63,221,286	113,890,584	137,469,758
Section-H	합성전	1,806	29,016,451	21,193,412	24,516,427
	합성후	4,042	37,143,424	43,235,345	119,905,294

1)

Section-A



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 220.0 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	7 - 18.0 × 1.2	151.2	101.0	15271.2	1542391.2	4082.4
WEB	2 - 220.0 × 1.2	528.0	-	-	-	2129600.0
LOW. RIB	3 - 18.0 × 1.2	64.8	-101.0	-6544.8	661024.8	1749.6
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 1.6	544.0	-110.8	-60275.2	6678492.2	116.1
TOTAL		1696.0	-	-6424.0	13872711.0	2135597.0

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 13,872,711.04 + 2,135,597.01 = 16,008,308 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = -6,424.000 / 1,696.000 = -3.788 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 16,008,308.05 - 1,696.00 \times (-3.788)^2 = 15,983,976 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 1.2/12) + (340^3 \times 1.6/12) + ((220 \times 1.2^3/12) + (220 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 22,789,363 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.200 / 2 + 1.600 / 2 = 221.400 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 221.4^2) / (2 \times 221.4/1.2 + 321.2/1.2 + 321.2/1.6) = 24,155,982 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\triangleright A_c = b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright A_v = \sum A_s + A_c / N = 1,696.00 + 17,887.50 / 8 = 3,931.94 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright I_c = b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4$$

$$\triangleright d_v = H/2 - \delta_s + T_h + T_c/2 = 220.00 / 2 - 3.788 + 5.00 + 25.00 / 2 = 131.29 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 131.29 \times 1696.0 / 3931.9 = 56.63 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 131.29 - 56.63 = 74.66 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\ &= 15983975.6 + 931640.6 / 8 + 1696.0 \times 74.658^2 \\ &\quad + 17887.5 / 8 \times 56.630^2 = 32,724,113 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\ &= 22789362.8 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 118,178,230 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

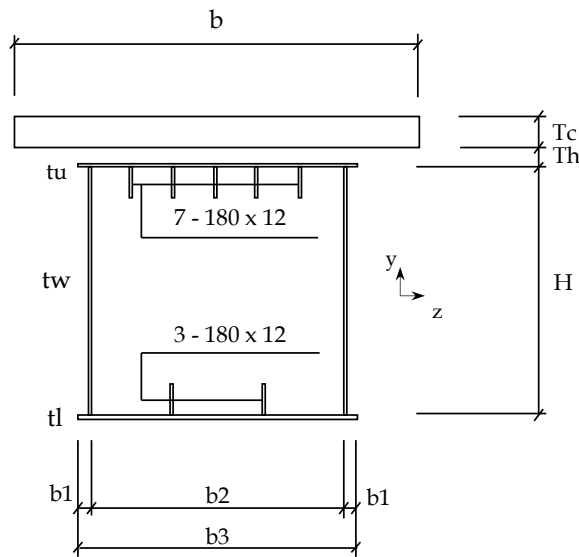
* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\triangleright t_{cu} = t_u + H_s / N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\ &= (4 \times 321.2^2 \times 221.4^2) / (2 \times 221.4 / 1.20 + 321.2 / 4.325 \\ &\quad + 321.2 / 1.60) = 31,410,128 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

2)

Section-B



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 220.0 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	7 - 18.0 × 1.2	151.2	101.0	15271.2	1542391.2	4082.4
WEB	2 - 220.0 × 1.2	528.0	-	-	-	2129600.0
LOW. RIB	3 - 18.0 × 1.2	64.8	-101.0	-6544.8	661024.8	1749.6
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 2.1	714.0	-111.1	-79289.7	8805121.2	262.4
TOTAL		1866.0	-	-25438.5	15999340.1	2135743.4

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 15,999,340.07 + 2,135,743.36 = 18,135,083 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = -25,438.500 / 1,866.000 = -13.633 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 18,135,083.42 - 1,866.00 \times (-13.633)^2 = 17,788,290 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 1.2/12) + (340^3 \times 2.1/12) + ((220 \times 1.2^3/12) + (220 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 24,427,029 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.200 / 2 + 2.100 / 2 = 221.650 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 221.65^2) / (2 \times 221.65/1.2 + 321.2/1.2 + 321.2/2.1) = 25,662,550 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright A_c &= b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2 \\
 \blacktriangleright A_v &= \sum A_s + A_c / N = 1,866.00 + 17,887.50 / 8 = 4,101.94 \text{ cm}^2 \\
 \blacktriangleright I_c &= b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4 \\
 \blacktriangleright d_v &= H / 2 - \delta_s + T_h + T_c / 2 = 220.00 / 2 - 5.00 + 25.00 / 2 = 141.13 \text{ cm} \\
 \blacktriangleright d_{vc} &= d_v \cdot \sum A_s / A_v = 141.13 \times 1,866.0 / 4,101.9 = 64.20 \text{ cm} \\
 \blacktriangleright d_{vs} &= d_v - d_{vc} = 141.13 - 64.20 = 76.93 \text{ cm}^4 \\
 \blacktriangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\
 &= 17788289.6 + 931640.6 / 8 + 1,866.0 \times 76.930^2 \\
 &\quad + 17887.5 / 8 \times 64.202^2 = 38,164,639 \text{ cm}^4 \\
 \blacktriangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\
 &= 24427029.4 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 119,815,896 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

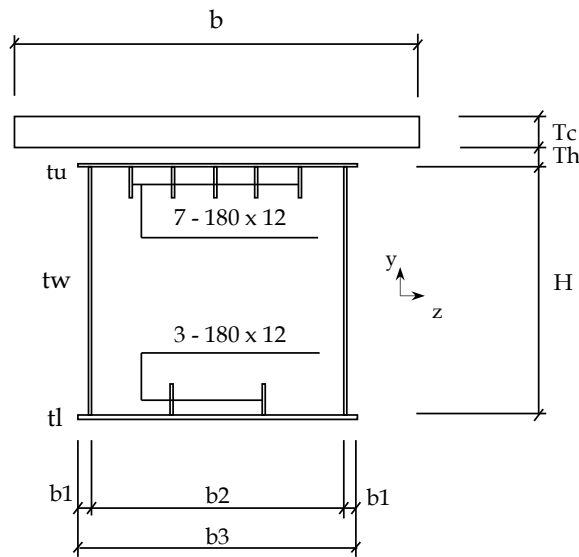
- 비틀림 강성

* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\begin{aligned}
 \blacktriangleright t_{cu} &= t_u + H_s / N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 \text{ cm} \\
 \blacktriangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\
 &= (4 \times 321.2^2 \times 221.7^2) / (2 \times 221.7 / 1.20 + 321.2 / 4.325 \\
 &\quad + 321.2 / 2.10) = 33,981,133 \text{ cm}^4
 \end{aligned}$$

3)

Section-C



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 226.6 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	113.9	46471.2	5293069.7	49.0
UPP. RIB	7 - 18.0 × 1.2	151.2	104.3	15770.2	1644827.7	4082.4
WEB	2 - 226.6 × 1.2	543.8	-	-	-	2327071.4
LOW. RIB	3 - 18.0 × 1.2	64.8	-104.3	-6758.6	704926.2	1749.6
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 1.6	544.0	-114.1	-62070.4	7082232.6	116.1
TOTAL		1711.8	-	-6587.7	14725056.2	2333068.4

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 14,725,056.16 + 2,333,068.43 = 17,058,125 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = -6,587.680 / 1,711.840 = -3.848 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 17,058,124.59 - 1,711.84 \times (-3.848)^2 = 17,032,773 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 1.2/12) + (340^3 \times 1.6/12) + ((226.6 \times 1.2^3/12) + (226.6 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 23,197,916 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 226.600 + 1.200 / 2 + 1.600 / 2 = 228.000 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 228^2) / (2 \times 228/1.2 + 321.2/1.2 + 321.2/1.6) = 25,285,501 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\triangleright A_c = b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright A_v = \sum A_s + A_c / N = 1,711.84 + 17,887.50 / 8 = 3,947.78 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright I_c = b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4$$

$$\triangleright d_v = H/2 - \delta_s + T_h + T_c/2 = 226.60 / 2 - 3.848 + 5.00 + 25.00 / 2 = 134.65 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 134.65 \times 1711.8 / 3947.8 = 58.39 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 134.65 - 58.39 = 76.26 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\ &= 17032773.2 + 931640.6 / 8 + 1711.8 \times 76.26^2 \\ &\quad + 17887.5 / 8 \times 58.386^2 = 34,727,328 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\ &= 23197915.7 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 118,586,783 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

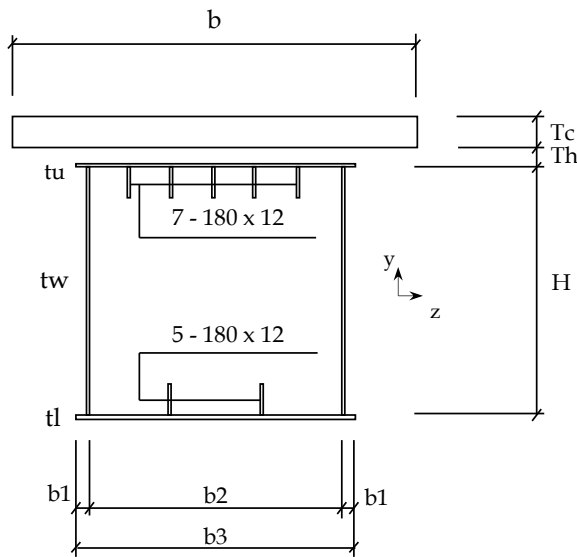
* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\triangleright t_{cu} = t_u + H_s / N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\ &= (4 \times 321.2^2 \times 228.0^2) / (2 \times 228.0 / 1.20 + 321.2 / 4.325 \\ &\quad + 321.2 / 1.60) = 32,751,328 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4)

Section-D



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 247.9 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	124.6	50816.4	6329182.6	49.0
UPP. RIB	7 - 18.0 × 1.2	151.2	115.0	17380.4	1997881.6	4082.4
WEB	2 - 247.9 × 1.2	595.0	-	-	-	3046909.6
LOW. RIB	5 - 18.0 × 1.2	108.0	-115.0	-12414.6	1427058.3	2916.0
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 2.2	748.0	-125.1	-93537.4	11696851.9	301.7
TOTAL		2010.2	-	-37755.2	21450974.3	3054258.7

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 21,450,974.34 + 3,054,258.70 = 24,505,233 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = -37,755.160 / 2,010.160 = -18.782 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 24,505,233.04 - 2,010.16 \times (-18.782)^2 = 23,796,109 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 1.2/12) + (340^3 \times 2.2/12) + ((247.9 \times 1.2^3/12) + (247.9 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 26,481,627 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 247.900 + 1.200 / 2 + 2.200 / 2 = 249.600 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 249.6^2) / (2 \times 249.6/1.2 + 321.2/1.2 + 321.2/2.2) = 30,988,217 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\triangleright A_c = b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright A_v = \sum A_s + A_c / N = 2,010.16 + 17,887.50 / 8 = 4,246.10 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright I_c = b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4$$

$$\triangleright d_v = H/2 - \delta_s + T_h + T_c/2 = 247.90 / 2 - 5.00 + 25.00 / 2 = 160.23 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 160.23 \times 2010.2 / 4246.1 = 75.86 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 160.23 - 75.86 = 84.38 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\ &= 23796109.3 + 931640.6 / 8 + 2010.2 \times 84.376^2 \\ &\quad + 17887.5 / 8 \times 75.856^2 = 51,089,453 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\ &= 26481627.2 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 121,870,494 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

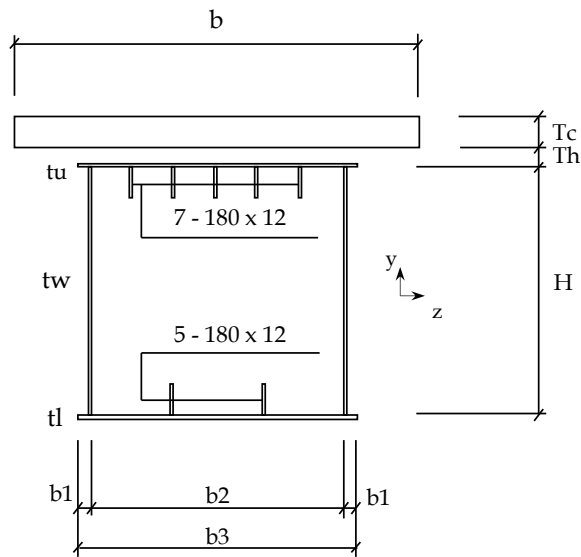
* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\triangleright t_{cu} = t_u + H_s / N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\ &= (4 \times 321.2^2 \times 249.6^2) / (2 \times 249.6 / 1.20 + 321.2 / 4.325 \\ &\quad + 321.2 / 2.20) = 40,407,463 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

5)

Section-E



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 263.7 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 2.2	748.0	133.0	99446.6	13221425.5	301.7
UPP. RIB	7 - 18.0 × 1.2	151.2	122.9	18574.9	2281928.9	4082.4
WEB	2 - 263.7 × 1.2	632.9	-	-	-	3667417.8
LOW. RIB	5 - 18.0 × 1.2	108.0	-122.9	-13267.8	1629949.2	2916.0
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 2.2	748.0	-133.0	-99446.6	13221425.5	301.7
TOTAL		2388.1	-	5307.1	30354729.1	3675019.6

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 30,354,729.09 + 3,675,019.56 = 34,029,749 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = 5,307.120 / 2,388.080 = 2.222 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 34,029,748.65 - 2,388.08 \times 2.222^2 = 34,017,954 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 2.2/12) + (340^3 \times 2.2/12) + ((263.7 \times 1.2^3/12) + (263.7 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 30,735,011 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 263.700 + 2.200 / 2 + 2.200 / 2 = 265.900 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 265.9^2) / (2 \times 265.9/1.2 + 321.2/2.2 + 321.2/2.2) = 39,688,248 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\triangleright A_c = b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright A_v = \sum A_s + A_c / N = 2,388.08 + 17,887.50 / 8 = 4,624.02 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright I_c = b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4$$

$$\triangleright d_v = H/2 - \delta_s + T_h + T_c/2 = 263.70 / 2 - 2.222 + 5.00 + 25.00 / 2 = 147.13 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 147.13 \times 2388.1 / 4624.0 = 75.98 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 147.13 - 75.98 = 71.14 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\ &= 34017954.4 + 931640.6 / 8 + 2388.1 \times 71.14^2 \\ &\quad + 17887.5 / 8 \times 75.98^2 = 59,130,825 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\ &= 30735011.4 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 126,123,878 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

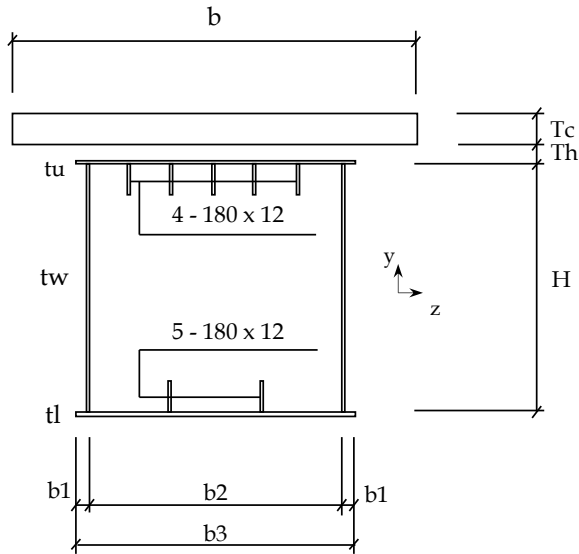
* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\triangleright t_{cu} = t_u + H_s / N = 2.2 + 25.0 / 8 = 5.325 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\ &= (4 \times 321.2^2 \times 265.9^2) / (2 \times 265.9 / 1.20 + 321.2 / 5.325 \\ &\quad + 321.2 / 2.20) = 44,923,957 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

6)

Section-F



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 295.7 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 2.2	748.0	149.0	111414.6	16595204.7	301.7
UPP. RIB	4 - 18.0 × 1.2	86.4	138.9	11996.6	1665733.5	2332.8
WEB	2 - 295.7 × 1.2	709.7	-	-	-	5171112.3
LOW. RIB	5 - 18.0 × 1.2	108.0	-138.9	-14995.8	2082166.8	2916.0
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 2.2	748.0	-149.0	-111414.6	16595204.7	301.7
TOTAL		2400.1	-	-2999.2	36938309.6	5176964.5

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 36,938,309.63 + 5,176,964.49 = 42,115,274 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = -2,999.160 / 2,400.080 = -1.250 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 42,115,274.12 - 2,400.08 \times (-1.250)^2 = 42,111,526 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 2.2/12) + (340^3 \times 2.2/12) + ((295.7 \times 1.2^3/12) + (295.7 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 32,715,874 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 295.700 + 2.200 / 2 + 2.200 / 2 = 297.900 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 297.9^2) / (2 \times 297.9/1.2 + 321.2/2.2 + 321.2/2.2) = 46,446,220 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\triangleright A_c = b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright A_v = \sum A_s + A_c / N = 2,400.08 + 17,887.50 / 8 = 4,636.02 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright I_c = b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4$$

$$\triangleright d_v = H/2 - \delta_s + T_h + T_c/2 = 295.70 / 2 - 1.250 + 5.00 + 25.00 / 2 = 166.60 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 166.60 \times 2400.1 / 4636.0 = 86.25 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 166.60 - 86.25 = 80.35 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\ &= 42111526.3 + 931640.6 / 8 + 2400.1 \times 80.350^2 \\ &\quad + 17887.5 / 8 \times 86.249^2 = 74,356,320 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\ &= 32715873.9 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 128,104,741 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

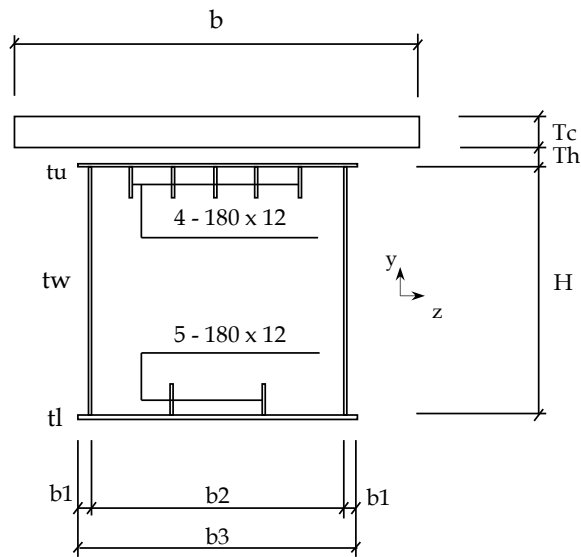
* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\triangleright t_{cu} = t_u + H_s / N = 2.2 + 25.0 / 8 = 5.325 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\ &= (4 \times 321.2^2 \times 297.9^2) / (2 \times 297.9 / 1.20 + 321.2 / 5.325 \\ &\quad + 321.2 / 2.20) = 52,108,482 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

7)

Section-G



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 3.4	1156.0	161.7	186925.2	30225804.8	1113.6
UPP. RIB	4 - 18.0 × 1.2	86.4	151.0	13046.4	1970006.4	2332.8
WEB	2 - 320.0 × 1.2	768.0	-	-	-	6553600.0
LOW. RIB	5 - 18.0 × 1.2	108.0	-151.0	-16308.0	2462508.0	2916.0
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 3.4	1156.0	-161.7	-186925.2	30225804.8	1113.6
TOTAL		3274.4	-	-3261.6	64884124.1	6561076.0

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 64,884,124.08 + 6,561,076.03 = 71,445,200 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = -3,261.600 / 3,274.400 = -0.996 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 71,445,200.11 - 3,274.40 \times (-0.996)^2 = 71,441,951 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 3.4/12) + (340^3 \times 3.4/12) + ((320 \times 1.2^3/12) + (320 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 42,080,891 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 320.000 + 3.400 / 2 + 3.400 / 2 = 323.400 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 323.4^2) / (2 \times 323.4/1.2 + 321.2/3.4 + 321.2/3.4) = 59,291,824 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\triangleright A_c = b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright A_v = \sum A_s + A_c / N = 3,274.40 + 17,887.50 / 8 = 5,510.34 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright I_c = b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4$$

$$\triangleright d_v = H/2 - \delta_s + T_h + T_c/2 = 320.00 / 2 - 0.996 + 5.00 + 25.00 / 2 = 178.50 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 178.50 \times 3274.4 / 5510.3 = 106.07 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 178.50 - 106.07 = 72.43 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\ &= 71441951.3 + 931640.6 / 8 + 3274.4 \times 72.429^2 \\ &\quad + 17887.5 / 8 \times 106.067^2 = 113,890,584 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\ &= 42080891.3 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 137,469,758 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

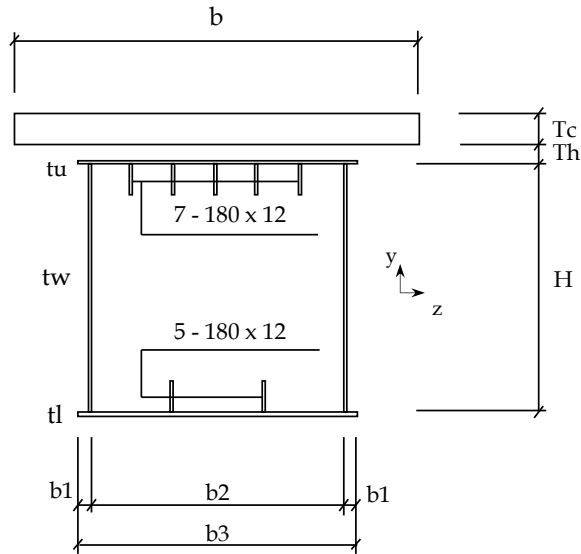
* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\triangleright t_{cu} = t_u + H_s / N = 3.4 + 25.0 / 8 = 6.525 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\ &= (4 \times 321.2^2 \times 323.4^2) / (2 \times 323.4 / 1.20 + 321.2 / 6.525 \\ &\quad + 321.2 / 3.40) = 63,221,286 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

8)

Section-H



- ▶ $b = 715.5 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1u} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2u} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3u} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{1l} = 10.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{2l} = 320.0 \text{ cm}$
- ▶ $b_{3l} = 340.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_c = 25.0 \text{ cm}$
- ▶ $T_h = 5.0 \text{ cm}$
- ▶ $H = 247.9 \text{ cm}$
- ▶ $N = 8$

①

합성전 단면

구 분	규 격	As(cm ²)	Y(cm)	AsY(cm ³)	AsY ² (cm ⁴)	Io(cm ⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	124.6	50816.4	6329182.6	49.0
UPP. RIB	7 - 18.0 × 1.2	151.2	115.0	17380.4	1997881.6	4082.4
WEB	2 - 247.9 × 1.2	595.0	-	-	-	3046909.6
LOW. RIB	5 - 18.0 × 1.2	108.0	-115.0	-12414.6	1427058.3	2916.0
LOW. FLG.	1 - 340.0 × 1.6	544.0	-124.8	-67864.0	8466034.0	116.1
TOTAL		1806.2	-	-12081.8	18220156.5	3054073.1

- ▶ $I_s' = \sum AsY^2 + \sum Io = 18,220,156.47 + 3,054,073.06 = 21,274,230 \text{ cm}^4$
- ▶ $\delta_s = \sum AsY / \sum As = -12,081.760 / 1,806.160 = -6.689 \text{ cm}$
- ▶ $I_{zz} = I_s' - \sum As \times \delta_s^2 = 21,274,229.53 - 1,806.16 \times (-6.689)^2 = 21,193,412 \text{ cm}^4$
- ▶ $I_{yy} = (b_3^3 \cdot tu/12) + (b_3^3 \cdot tl/12) + ((H \cdot tw^3/12) + (H \cdot tw \cdot (b_2/2 + tw/2)^2)) \times 2$
 $= (340^3 \times 1.2/12) + (340^3 \times 1.6/12) + ((247.9 \times 1.2^3/12) + (247.9 \times 1.2 \times (320/2 + 1.2/2)^2)) \times 2 = 24,516,427 \text{ cm}^4$

- 비틀림 강성

- ▶ $b_k = b_2 + tw/2 \times 2 = 320.000 + 1.200 / 2 \times 2 = 321.200 \text{ cm}$
- ▶ $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 247.900 + 1.200 / 2 + 1.600 / 2 = 249.300 \text{ cm}$
- ▶ $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
 $= (4 \times 321.2^2 \times 249.3^2) / (2 \times 249.3/1.2 + 321.2/1.2 + 321.2/1.6) = 29,016,451 \text{ cm}^4$

②

합성후 단면

$$\triangleright A_c = b \cdot T_c = 715.5 \times 25.0 = 17,887.50 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright A_v = \sum A_s + A_c / N = 1,806.16 + 17,887.50 / 8 = 4,042.10 \text{ cm}^2$$

$$\triangleright I_c = b \cdot T_c^3 / 12 = 715.50 \times 25.0^3 / 12 = 931,640.63 \text{ cm}^4$$

$$\triangleright d_v = H/2 - \delta_s + T_h + T_c/2 = 247.90 / 2 - 6.689 + 5.00 + 25.00 / 2 = 148.14 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vc} = d_v \cdot \sum A_s / A_v = 148.14 \times 1806.2 / 4042.1 = 66.19 \text{ cm}$$

$$\triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 148.14 - 66.19 = 81.95 \text{ cm}^4$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{zz}} &= I_{33} + I_c / N + \sum A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c / N \cdot d_{vc}^2 \\ &= 21193412.3 + 931640.6 / 8 + 1806.2 \times 81.945^2 \\ &\quad + 17887.5 / 8 \times 66.194^2 = 43,235,345 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{yy}} &= I_{22} + b^3 \cdot T_c / 12 / N \\ &= 24516427.2 + 715.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 119,905,294 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

- 비틀림 강성

* 합성단면의 $I_{v_{xx}}$ 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

$$\triangleright t_{cu} = t_u + H_s / N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \triangleright I_{v_{xx}} &= (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / t_w + b_k / t_{cu} + b_k / t_l) \\ &= (4 \times 321.2^2 \times 249.3^2) / (2 \times 249.3 / 1.20 + 321.2 / 4.325 \\ &\quad + 321.2 / 1.60) = 37,143,424 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

4.

4.1

1)

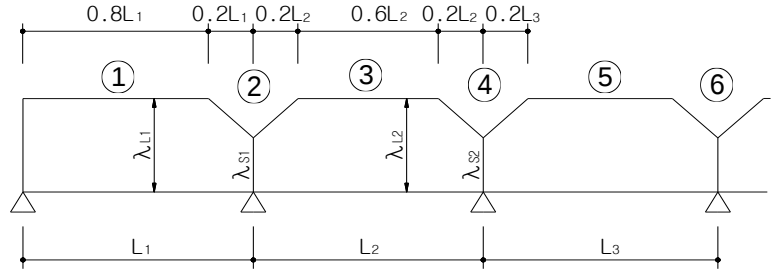
유효폭산정

플랜지 유효폭

등가 지간장

▶ $L_1 = 54.500 \text{ m}$

▶ $L_2 = 70.000 \text{ m}$



▶ $b_1 = 0.100 \text{ m}$ (상부플랜지 돌출폭)

▶ $b_2 = 0.100 \text{ m}$ (하부플랜지 돌출폭)

▶ $b_3 = 1.600 \text{ m}$ (복부판 간격/2)

▶ $\lambda L_1 = 0.8 L_1 = 43.600 \text{ m}$

▶ $\lambda S_1 = 0.2 (L_1 + L_2) = 24.900 \text{ m}$

▶ $\lambda L_2 = 0.8 L_2 = 56.000 \text{ m}$

2)

외측경간 중앙부 - ①

▶ $b_1 = 0.100 \text{ m}$ $b_1 / \lambda L_1 = 0.100 / 43.600 = 0.002 \leq 0.050$

∴ $\lambda_1 = b_1 = 0.100 \text{ m}$

▶ $b_2 = 0.100 \text{ m}$ $b_2 / \lambda L_1 = 0.100 / 43.600 = 0.002 \leq 0.050$

∴ $\lambda_2 = b_2 = 0.100 \text{ m}$

▶ $b_3 = 1.600 \text{ m}$ $b_3 / \lambda L_1 = 1.600 / 43.600 = 0.037 \leq 0.050$

∴ $\lambda_3 = b_3 = 1.600 \text{ m}$

▶ 상부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3) = 3.400 \text{ m}$ (플랜지 유효폭의 100%)

▶ 하부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3) = 3.400 \text{ m}$ (플랜지 유효폭의 100%)

3)

중앙 지점부 - ②

▶ $b_1 = 0.100 \text{ m}$ $b_1 / \lambda S_1 = 0.100 / 24.900 = 0.004 \leq 0.020$

∴ $\lambda_1 = b_1 = 0.100 \text{ m}$

▶ $b_2 = 0.100 \text{ m}$ $b_2 / \lambda S_1 = 0.100 / 24.900 = 0.004 \leq 0.020$

∴ $\lambda_2 = b_2 = 0.100 \text{ m}$

▶ $b_3 = 1.600 \text{ m}$ $b_3 / \lambda S_1 = 1.600 / 24.900 = 0.064 \leq 0.300$

∴ $\lambda_3 = \{ 1.06 - 3.2 (b_3 / \lambda S_1) + 4.5 (b_3 / \lambda S_1)^2 \} \times b = 1.398 \text{ m}$

▶ 상부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3) = 2.996 \text{ m}$ (플랜지 유효폭의 88.1%)

▶ 하부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3) = 2.996 \text{ m}$ (플랜지 유효폭의 88.1%)

4)

내측경간 중앙부 - ③

$$\blacktriangleright b_1 = 0.100 \text{ m} \quad b_1 / \lambda L_2 = 0.100 / 56.000 = 0.002 \leq 0.050$$

$$\therefore \lambda_1 = b_1 = 0.100 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright b_2 = 0.100 \text{ m} \quad b_2 / \lambda L_2 = 0.100 / 56.000 = 0.002 \leq 0.050$$

$$\therefore \lambda_2 = b_2 = 0.100 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright b_3 = 1.600 \text{ m} \quad b_3 / \lambda L_2 = 1.600 / 56.000 = 0.029 \leq 0.050$$

$$\therefore \lambda_3 = b_3 = 1.600 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright \text{상부 플랜지 유효폭 : } b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3) = 3.400 \text{ m} \quad (\text{플랜지 유효폭의 } 100\%)$$

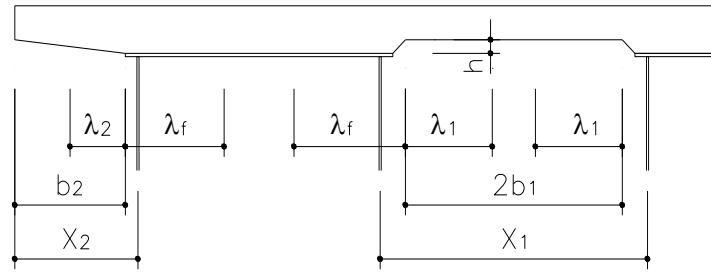
$$\blacktriangleright \text{하부 플랜지 유효폭 : } b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3) = 3.400 \text{ m} \quad (\text{플랜지 유효폭의 } 100\%)$$

4.2

1)

바닥판 유효폭

Girder



- ▶ $X_1 = 4.910 \text{ m}$
- ▶ $X_2 = 1.500 \text{ m}$
- ▶ $h = 0.050 \text{ m}$ (헌치 높이)
- ▶ $b_e = 0.100 \text{ m}$ (플랜지의 돌출폭)
- ▶ $b_1 = [X_1 - 2(b_e + h)] / 2 = 2.305 \text{ m}$
- ▶ $b_2 = X_2 - b_e = 1.400 \text{ m}$

① 외측경간 중앙부 - ①

- ▶ $b_1 = 2.305 \text{ m}$ $b_1 / \lambda L_1 = 2.305 / 43.600 = 0.053 \leq 0.300$
- ∴ $\lambda_1 = \{ 1.1 - 2(b_1 / \lambda L_1) \} \times b_1 = 2.291 \text{ m}$
- ▶ $b_2 = 1.400 \text{ m}$ $b_2 / \lambda L_1 = 1.400 / 43.600 = 0.032 \leq 0.050$
- ∴ $\lambda_2 = b_2 = 1.400 \text{ m}$
- ▶ $2\lambda_f = 3.400 \text{ m}$
- ▶ 바닥판 유효폭 : $b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f) = 7.141 \text{ m}$ (바닥판 유효폭의 99.8%)

② 중앙 지점부 - ②

- ▶ $b_1 = 2.305 \text{ m}$ $b_1 / \lambda S_1 = 2.305 / 24.900 = 0.093 \leq 0.300$
- ∴ $\lambda_1 = \{ 1.06 - 3.2(b_1 / \lambda S_1) + 4.5(b_1 / \lambda S_1)^2 \} \times b_1 = 1.847 \text{ m}$
- ▶ $b_2 = 1.400 \text{ m}$ $b_2 / \lambda S_1 = 1.400 / 24.900 = 0.056 \leq 0.300$
- ∴ $\lambda_2 = \{ 1.06 - 3.2(b_2 / \lambda S_1) + 4.5(b_2 / \lambda S_1)^2 \} \times b_2 = 1.253 \text{ m}$
- ▶ 플랜지 유효폭 : 2.996 m
- ▶ 바닥판 유효폭 : $b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f) = 6.146 \text{ m}$ (바닥판 유효폭의 85.9%)

③

내측경간 중앙부 - ③

$$\blacktriangleright b_1 = 2.305 \text{ m} \quad b_1 / \lambda L_2 = 2.305 / 56.000 = 0.041 \leq 0.050$$

$$\therefore \lambda_1 = b_1 = 2.305 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright b_2 = 1.400 \text{ m} \quad b_2 / \lambda L_2 = 1.400 / 56.000 = 0.025 \leq 0.050$$

$$\therefore \lambda_2 = b_2 = 1.400 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright 2\lambda_f = 3.400 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright \text{바닥판 유효폭 : } b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f) = 7.155 \text{ m} \quad (\text{바닥판 유효폭의 } 100\%)$$

4.3

유효폭 산정 결과

Unit : m

구 분		상부 플랜지	하부플랜지	바닥판
Girder	외측경간 중앙부	3.400	3.400	7.141
	중앙 지점부	2.996	2.996	6.146
	내측경간 중앙부	3.400	3.400	7.155

5.

구조해석 단면력 집계

5.1

Composite Steel Box Girder 교량의 해석 절차

1)

해석 개요

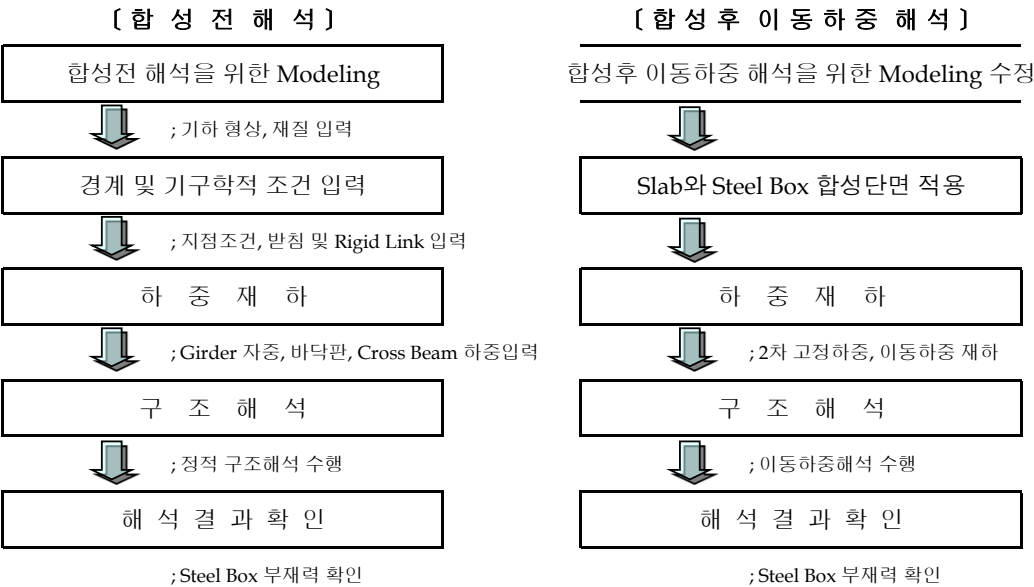
▶ 연속 합성형 강상자 거더 교량의 해석은 시공단계를 고려할 때 합성전/후의 구조적 특성을 반영하여 일괄적으로 구조해석을 수행한다. 하나의 모델로 두개의 다른 해석을 수행하기 위하여 동일한 요소에 합성전 단면의 성질과 합성후 단면의 성질을 부여한다. 또한, 구조해석시 합성전 단면에는 Steel Box와 콘크리트 바닥판의 고정하중을 재하하여 해석하며, 합성후 단면에는 추가되는 고정하중과 활하중을 재하하여 해석한 후 이들의 결과를 조합하여 응력검토를 수행한다. 시공단계를 고려할 때 합성전(Step1)과 합성후(Step2) 단계로 분리해서 수행하게 되며 단계별 세부내용은 다음과 같다.

▶ 해석 Program : MIDAS/CIVIL

해석단계	시 공 단 계	Modeling 내 용
STEP 1. (합성전 해석)	▶ 하부공사 완료 후 ▶ 상부 Girder 거치 ▶ 바닥판 및 Cross Beam 타설	▶ Beam 요소를 사용한 Girder 연속보 Modeling ▶ Girder 자중 및 Slab 자중 재하 ▶ 지점 조건 입력
STEP 2. (합성후 이동 하중 해석)	▶ 바닥판 양생 완료 ▶ 방호벽(연석) 및 포장시공 ▶ 차량 운행	▶ 바닥판 단면 Modeling 적용 ▶ 2차 고정하중 재하 및 이동하중 해석

2)

구조해석 절차



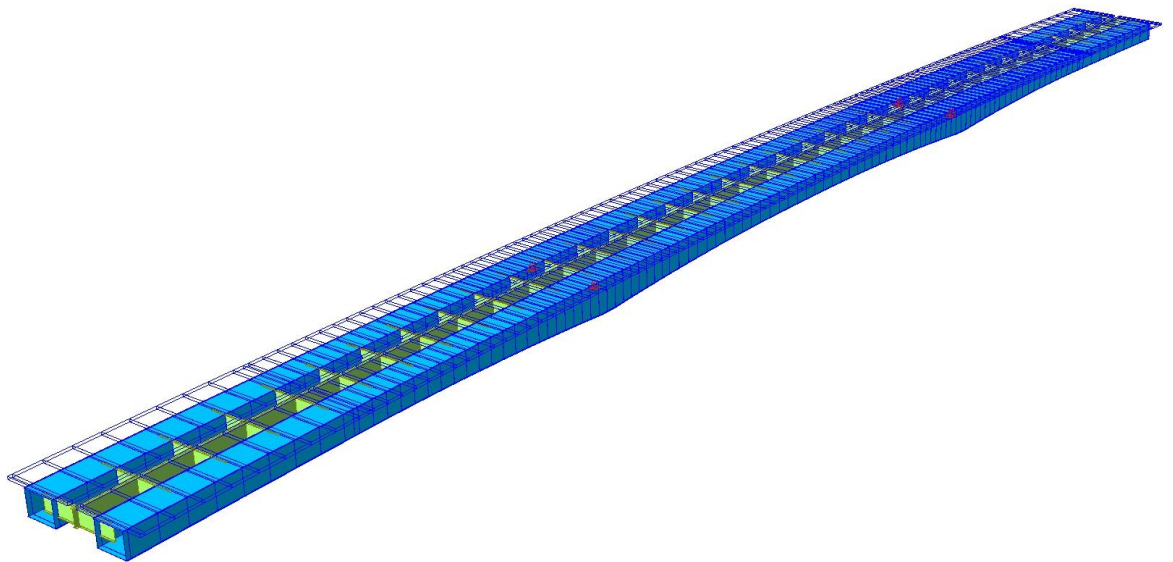
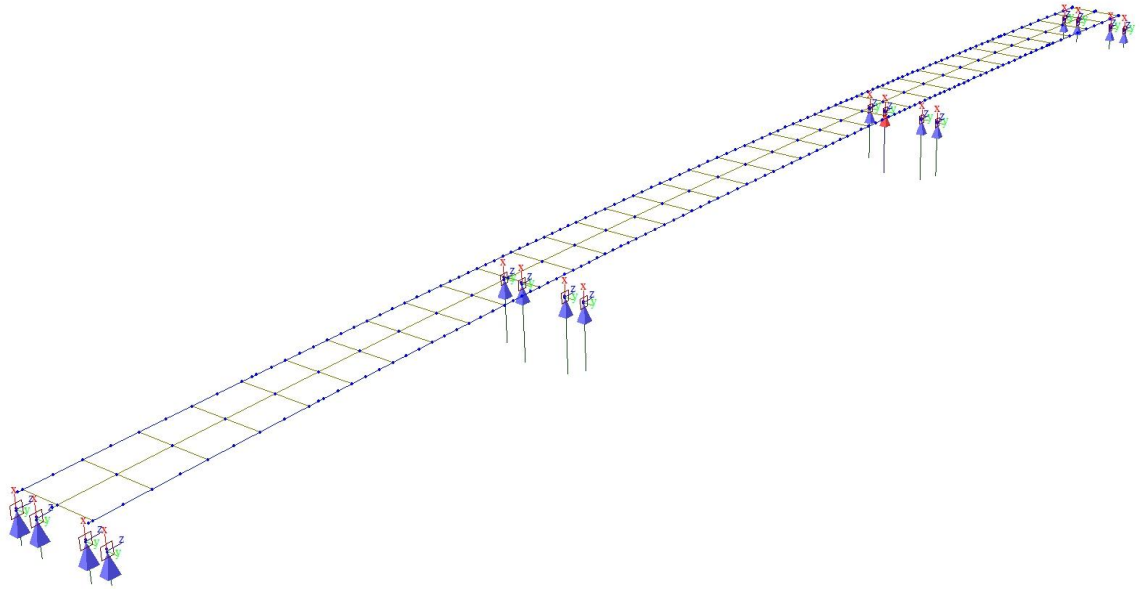
5.2

구조해석

1)

해석 Modeling

- ▶ 해석은 보요소를 사용하여 Girder, Stringer, Cross Beam, Bearing의 배치형상과 위치를 고려하여 3차원으로 모델링하였고, 콘크리트 자중을 하중으로 고려한 합성전 모델과 콘크리트와 강재가 일체로 거동하는 합성후 모델에 대하여 해석을 수행하였다.



2)

부재력 집계

①

외측경간 중앙부

작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	-	-	-	-
					-	-	-	-
합성전고정	휨모멘트 (kN · m)	M _{D1}	9j	11,322.900		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{D1}		46.260		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{D1}		136.150		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN · m)	M _{D2}		3,220.250		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{D2}		-8.930		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{D2}		26.410		-	-	-
활하중에	휨모멘트 (kN · m)	M _{L+I}		9,371.570		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{L+I}		-828.850		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{L+I}		518.450		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		0.540				-

②

중앙 지점부

작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	-	-	-	-
					-	-	-	-
합성전고정	휨모멘트 (kN · m)	M _{D1}	34i	-34,983.930		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{D1}		275.880		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{D1}		-2,542.040		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN · m)	M _{D2}		-8,610.920		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{D2}		-357.880		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{D2}		-634.010		-	-	-
활하중에	휨모멘트 (kN · m)	M _{L+I}		-17,122.880		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{L+I}		-1,824.220		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{L+I}		-1,482.530		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		-0.205				-

③

내측경간 중앙부

작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	-	-	-	-
					-	-	-	-
합성전고정	휨모멘트 (kN · m)	M _{D1}	57i	8,550.550		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{D1}		-18.490		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{D1}		24.570		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN · m)	M _{D2}		2,753.480		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{D2}		-35.230		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{D2}		9.540		-		-
활하중에	휨모멘트 (kN · m)	M _{L+I}		9,179.820		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN · m)	T _{L+I}		683.290		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S _{L+I}		-527.820		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		-0.204				-

6.

6.1

1)

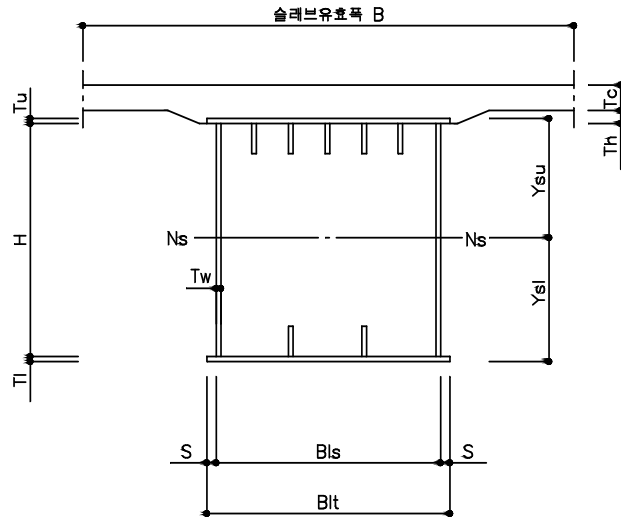
①

단면검토

Girder (정모멘트구간)

외측경간 중앙부 (Section-B)

검토단면 및 검토조건



▶ RIB 180 × 12 mm 상연 7 EA 하연 3 EA

▶ 주부재 사용강종 : SM 490

▶ H = 2.200 m

▶ B = 7.141 m

▶ Bls = 3.200 m 3.200 m

(전체폭) ▶ Blt = 3.400 m 3.400 m

(유효폭) ▶ Ble = 3.400 m 3.400 m

▶ Tc = 0.250 m

▶ Th = 0.050 m

▶ Tu = 0.012 m

▶ Tl = 0.021 m

▶ Tw = 0.012 m

▶ S = 0.100 m 0.100 m

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	205,000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ ₂ : 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	11,322.900
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	3,220.250
Mv1 : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	12,591.820
Mv2 : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	9,371.570
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	136.150
Sv : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	544.860
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	46.260
Mvt : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-837.780
K : 2차 부정정력 영향계수		0.540

※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

②

a.

► $\sigma_{st} = M_{st} / (2 \cdot F \cdot T_w) = 0.271 \text{ MPa}$

b.

합성 후

$$\begin{aligned}
 & \triangleright A_v = A_s + A_c/n = 409,756.25 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright I_c/n = 1,162,272,135.42 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright d_v = Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1,411.33 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{vc} = d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 642.71 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 768.62 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vcu} = d_{vc} + T_c/2 = 767.71 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vcl} = Y_{vcu} - T_c = 517.71 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vsu} = Y_{vcu} - H_2 + T_u = 479.71 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vsl} = Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1,753.29 \text{ mm} \\
 & \triangleright I_v = I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 381,464,439,521.37 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright f_{vcu} = M_v \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = -3.168 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vcl} = M_v \cdot Y_{vcl} / (n \cdot I_v) = -2.136 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsu} = M_v \cdot Y_{vsu} / I_v = -15.835 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsl} = M_v \cdot Y_{vsl} / I_v = 57.875 \text{ MPa} \\
 & \triangleright \sigma_s = S_v / A(\text{Web}) = 10.319 \text{ MPa} \\
 & \triangleright \sigma_{st} = M_{vt} / (2 \cdot F \cdot T_w) = -4.903 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c.

크리프

$$\begin{aligned}
 & \triangleright n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
 & \triangleright A_{v1} = A_s + A_c/n_1 = 298,178.13 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright d_{c1} = d_v \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 883.21 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{s1} = d_v - d_{c1} = 528.12 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1cu} = d_{c1} + T_c/2 = 1008.21 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1cl} = Y_{v1cu} - T_c = 758.21 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1su} = Y_{v1cu} - H_2 + T_u = 720.21 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1sl} = Y_{v1su} - (H + T_u + T_l) = -1,512.79 \text{ mm} \\
 & \triangleright I_{v1} = I_s + I_c/n_1 + A_s \cdot d_{s1}^2 + A_c/n_1 \cdot d_{c1}^2 = 317,546,211,656.91 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright N_c = M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c / (n \cdot I_v) = 1,210,763 \text{ N} \\
 & \triangleright P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,210,763 \text{ N} \\
 & \triangleright M_\phi = P_\phi \cdot d_{c1} = 1,069,359,283 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 & \triangleright E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 13,341 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{cu} = M_{sc} \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = 0.810 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{cl} = M_{sc} \cdot Y_{vcl} / (n \cdot I_v) = 0.546 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▶ $f_{vcu1} = 1/n_1 \{ P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1cu} / I_{v1} \} - E_{c1} f_{cu} \phi_1 / E_c =$	0.442	MPa
▶ $f_{vcl1} = 1/n_1 \{ P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1cl} / I_{v1} \} - E_{c1} f_{cl} \phi_1 / E_c =$	0.206	MPa
▶ $f_{vsu1} = P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1su} / I_{v1}$	=	-5.370 MPa
▶ $f_{vsl1} = P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1sl} / I_{v1}$	=	-1.310 MPa

d. 건조수축

▶ $n_2 = n \cdot (1 + \phi_2 / 2) =$	$8 \times (1 + 4.0 / 2) =$	24
▶ $A_{v2} = A_s + A_c / n_2 =$	260,985.42	mm ²
▶ $d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_c / n_2 + A_s) =$	1,009.08	mm
▶ $d_{s2} = d_v - d_{c2} =$	402.25	mm
▶ $Y_{v2cu} = d_{c2} + T_c / 2 =$	1,134.08	mm
▶ $Y_{v2cl} = Y_{v2cu} - T_c =$	884.08	mm
▶ $Y_{v2su} = Y_{v2cu} - H_2 + T_u =$	846.08	mm
▶ $Y_{v2sl} = Y_{v2su} - (H + T_u + T_l) =$	-1,386.92	mm
▶ $I_{v2} = I_s + I_c / n_2 + A_s \cdot d_{s2}^2 + A_c / n_2 \cdot d_{c2}^2 =$	284,205,348,410.32	mm ⁴
▶ $P_2 = E_s \epsilon_s \cdot A_c / n_2 =$	4,117,233	kgf
▶ $M_{v2} = P_2 \cdot d_{c2} =$	4,154,601,728	kgf·cm
▶ $E_{c2} = E_s / n_2 =$	8,542	MPa
▶ $f_{vcu2} = 1/n_2 \{ P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2cu} / I_{v2} \} - E_{c2} \epsilon_s =$	1.276	MPa
▶ $f_{vcl2} = 1/n_2 \{ P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2cl} / I_{v2} \} - E_{c2} \epsilon_s =$	1.358	MPa
▶ $f_{vsu2} = P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2su} / I_{v2}$	=	-22.455 MPa
▶ $f_{vsl2} = P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2sl} / I_{v2}$	=	-4.828 MPa

e. 온도차

▶ $\epsilon_t = \alpha \cdot t =$	$0.000012 \times 10 =$	0.00012
▶ $P_1 = E_s \epsilon_t \cdot A_c / n =$	5,489,644	N
▶ $M_{vt} = P_1 \cdot d_{vc} =$	3,528,245,432	N·mm
▶ $f_{cut} = 1/n \{ P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vcu} / I_v \} - E_c \epsilon_t =$	1.048	MPa
▶ $f_{clt} = 1/n \{ P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vcl} / I_v \} - E_c \epsilon_t =$	1.204	MPa
▶ $f_{sut} = P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vsu} / I_v$	=	-15.793 MPa
▶ $f_{slt} = P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vsl} / I_v$	=	-4.640 MPa

f.

전단및 비틀림

$$\triangleright F = b \cdot h = (Bls + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 7,119,398.00 \text{ mm}^2$$

$$\triangleright v = (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2 \cdot F \cdot Tw) = 17.530 \text{ MPa} < va = 110.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

g.

조합응력의 검토

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

$$= 0.65 \times (0.0 / 8)^2 + 0.13 \times (0.0 / 8) \times 1.0 = 1.000$$

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

여기서, n : 종방향보강재에 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.)

$\triangleright$ 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

$$fta = 190.0 \text{ MPa}$$

$\triangleright$ 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

$$tu \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{3,200}{24 \times 1.000 \times 8} = 16.67 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = -190.00 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > tu \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{3,200}{49 \times 1.000 \times 8} = 8.16 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = -190 - 3.9 \left(\frac{b}{(tu \cdot i \cdot n)} - 24 \right) = -153.60 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > tu \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{3,200}{80 \times 1.000 \times 8} = 5.00 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = 220,000 \times \left\{ \frac{(tu \cdot i \cdot n)}{b} \right\}^2 = 198.00 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } tu = 12 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } fca = -153.60 \text{ MPa}$$

$\triangleright$ 철근콘크리트의 허용응력 (도로교 설계기준 P151)

$$fca = 0.4 \quad fck = -10.80 \text{ MPa} \quad (fck = 27 \text{ MPa})$$

$$fta = 0.07 \quad fck = 1.89 \text{ MPa}$$

- ①
②
③
④
⑤

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	-79.461	62.678	-153.600	190.000
1+2	-3.168	-2.136	-10.800	-10.800	-95.296	120.553	-153.600	190.000
1+2+3	-2.726	-1.930	-10.800	-10.800	-100.666	119.243	-176.640	190.000
1+2+3+4	-1.450	-0.572	-10.800	-10.800	-123.121	114.416	-176.640	190.000
1+2+3+4+5	-0.402	0.632	-12.420	2.174	-138.914	109.775	-199.680	218.500
1+2+3+4-5	-2.498	-1.775	-12.420	-12.420	-107.327	119.056	-199.680	218.500

주) 인장응력을 정(+), 압축응력을 부(-)로 하였음.

허용응력 활증 (도로교 설계기준 P3-115 참조)

h. 합성응력의 검토

▶ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{-123.121}{-176.640} \right]^2 + \left[\frac{17.530}{110.000} \right]^2$$

$$= 0.486 + 0.025 = 0.511 < 1.2$$

O.K.

▶ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{120.553}{190.000} \right]^2 + \left[\frac{17.530}{110.000} \right]^2$$

$$= 0.403 + 0.025 = 0.428 < 1.2$$

O.K.

i.

항복에 대한 안전도 검사

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

▶ 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 고정하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = -0.810 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = \{ M_{v2} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = -2.358 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -0.81 + 2.15 \times -2.358 + (0.442) + (1.276) + (-1.048)$$

$$= -5.452 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = -16.20 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -0.81 + 2.15 \times -2.358 + (-1.048)$$

$$= -7.170 \text{ MPa} < (3/5) f_{ck} = -16.20 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

▶ 강재 거더 상부플랜지

$$\text{합성전 고정하중 응력} = -79.461 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_v) \times Y_{vsu} = -4.050 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = \{ M_{v2} / I_v \} \times Y_{vsu} = -11.785 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.461 + -4.05) + 2.15 \times -11.785 + (-5.37) + (-22.455) + (-15.793)$$

$$= -177.520 \text{ MPa} < f_y = -315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-79.461 + -4.05) + 2.15 \times -11.785 + (-15.793)$$

$$= -149.695 \text{ MPa} < f_y = -315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

▶ 강재 거더 하부플랜지

$$\text{합성전 고정하중 응력} = 62.678 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_v) \times Y_{vsl} = 14.801 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = \{ M_{v2} / I_v \} \times Y_{vsl} = 43.074 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (62.678 + 14.801) + 2.15 \times 43.074 + (-1.31) + (-4.828) + (4.64)$$

$$= 191.834 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (62.678 + 14.801) + 2.15 \times 43.074 + (4.64)$$

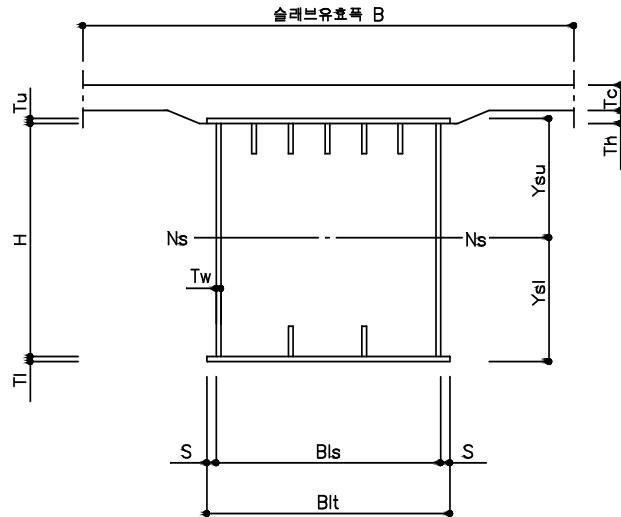
$$= 197.971 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

2)

내측경간 중앙부 (Section-B)

①

검토단면 및 검토조건



▶ RIB 180 × 12 mm 상연 7 EA 하연 3 EA

▶ 주부재 사용강종 : SM 490

▶ H = 2.200 m

▶ B = 7.155 m

▶ B_{ls} = 3.200 m 3.200 m

(전체폭) ▶ B_{lt} = 3.400 m 3.400 m

(유효폭) ▶ B_{le} = 3.400 m 3.400 m

▶ T_c = 0.250 m

▶ T_h = 0.050 m

▶ T_u = 0.012 m

▶ T_l = 0.021 m

▶ T_w = 0.012 m

▶ S = 0.100 m 0.100 m

구 분	단 위	입력 DATA
E _s : 강재의 탄성계수	MPa	205,000
E _c : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
ε _s : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ ₂ : 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
M _s : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	8,550.550
M _{sc} : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	2,753.480
M _{v1} : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	11,933.300
M _{v2} : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	9,179.820
S _s : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	24.570
S _v : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	-518.280
M _{st} : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-18.490
M _{vt} : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘트	kN·m	648.060
K : 2차 부정정력 영향계수		-0.204

※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

▶ 단면제원

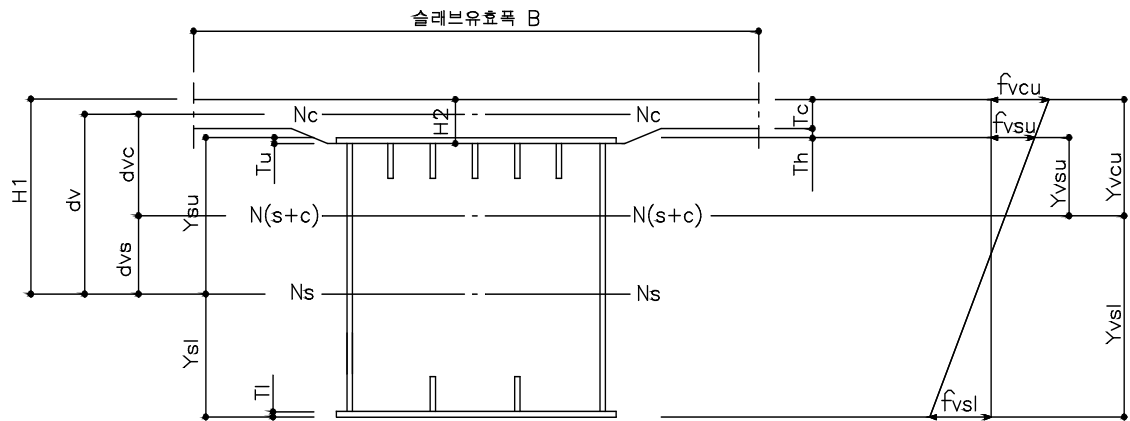
단 면	B (mm)	H (mm)	Area (mm ²)	Y (mm)	A · Y (mm ³)	A · Y ² (mm ⁴)	I _x (mm ⁴)
1 - UPP. FLG.	3,400	12	40,800	1,106	45,124,800	49,908,028,800	489,600
7 - UPP. RIB	12	180	15,120	1,010	15,271,200	15,423,912,000	40,824,000
2 - WEB	12	2,200	52,800	0	0	0	21,296,000,000
3 - LOW. RIB	12	180	6,480	-1,010	-6,544,800	6,610,248,000	17,496,000
1 - LOW. FLG.	3,400	21	71,400	-1,111	-79,289,700	88,051,211,850	2,623,950
강단면 합계			186,600		-25,438,500	1.599934E+11	21,357,433,550
1 - RC SLAB	7,155	250	1,788,750	1,275	2,280,656,250	2.907837E+12	9,316,406,250

▶ $A_s = 186,600 \text{ mm}^2$

▶ $A_c = 1,788,750 \text{ mm}^2$

②

응력 검토



a. 합성전

▶ $I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 159,993,400,650.00 + 21,357,433,550.00 = 181,350,834,200.00 \text{ mm}^4$

▶ $\delta_s = \sum (A \cdot Y) / A_s = -25,438,500.00 / 186,600.00 = -136.33 \text{ mm}$

▶ $I_s = I_s' - A_s \delta_s^2 = 181,350,834,200.00 - 186,600.00 \times (-136.33)^2 = 177,882,711,063.26 \text{ mm}^4$

▶ $Y_{su} = H/2 + T_u - \delta_s = 2,200.0 / 2 + 12.0 - (-136.33) = 1,248.33 \text{ mm}$

▶ $Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1,248.33 - 2,233.00 = -984.67 \text{ mm}$

▶ $F = b \cdot h = (B l_s + T_w) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 7,119,398.00 \text{ mm}^2$

▶ $f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = -60.005 \text{ MPa}$

▶ $f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s = 47.332 \text{ MPa}$

▶ $v_s = S_s / A(\text{Web}) = 0.465 \text{ MPa}$

▶ $v_{st} = M_{st} / (2 \cdot F \cdot T_w) = -0.108 \text{ MPa}$

b.

합성후

$$\begin{aligned}
 & \triangleright A_v = A_s + A_c/n = 410,193.75 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright I_c/n = 1,164,550,781.25 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright d_v = Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1,411.33 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{vc} = d_v \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 642.02 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{vs} = d_v - d_{vc} = 769.31 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vcu} = d_{vc} + T_c/2 = 767.02 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vcl} = Y_{vcu} - T_c = 517.02 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vsu} = Y_{vcu} - H_2 + T_u = 479.02 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vsl} = Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1,753.98 \text{ mm} \\
 & \triangleright I_v = I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 381,647,245,870.57 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright f_{vcu} = M_v \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = -2.998 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vcl} = M_v \cdot Y_{vcl} / (n \cdot I_v) = -2.021 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsu} = M_v \cdot Y_{vsu} / I_v = -14.978 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsl} = M_v \cdot Y_{vsl} / I_v = 54.843 \text{ MPa} \\
 & \triangleright v_s = S_v / A(\text{Web}) = -9.816 \text{ MPa} \\
 & \triangleright v_{st} = M_{vt} / (2 \cdot F \cdot T_w) = 3.793 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c.

크리프

$$\begin{aligned}
 & \triangleright n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
 & \triangleright A_{v1} = A_s + A_c/n_1 = 298,396.88 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright d_{c1} = d_v \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 882.56 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{s1} = d_v - d_{c1} = 528.77 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1cu} = d_{c1} + T_c/2 = 1007.56 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1cl} = Y_{v1cu} - T_c = 757.56 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1su} = Y_{v1cu} - H_2 + T_u = 719.56 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{v1sl} = Y_{v1su} - (H + T_u + T_l) = -1,513.44 \text{ mm} \\
 & \triangleright I_{v1} = I_s + I_c/n_1 + A_s \cdot d_{s1}^2 + A_c/n_1 \cdot d_{c1}^2 = 317,717,864,349.46 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright N_c = M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c / (n \cdot I_v) = 1,035,692 \text{ N} \\
 & \triangleright P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = 1,035,692 \text{ N} \\
 & \triangleright M_\phi = P_\phi \cdot d_{c1} = 914,063,925 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 & \triangleright E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 13,341 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{cu} = M_{sc} \cdot Y_{vcu} / (n \cdot I_v) = 0.692 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{cl} = M_{sc} \cdot Y_{vcl} / (n \cdot I_v) = 0.466 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

▶ $f_{vcu1} = 1/n_1 \{ P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1cu} / I_{v1} \} - E_{c1} f_{cu} \phi_1 / E_c =$	0.512	MPa
▶ $f_{vcl1} = 1/n_1 \{ P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1cl} / I_{v1} \} - E_{c1} f_{cl} \phi_1 / E_c =$	0.277	MPa
▶ $f_{vsu1} = P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1su} / I_{v1}$	=	-3.049 MPa
▶ $f_{vsl1} = P\phi / A_{v1} + k \cdot M\phi \cdot Y_{v1sl} / I_{v1}$	=	-4.359 MPa

d. 건조수축

▶ $n_2 = n \cdot (1 + \phi_2 / 2) =$	$8 \times (1 + 4.0 / 2) =$	24
▶ $A_{v2} = A_s + A_c / n_2 =$	261,131.25	mm ²
▶ $d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_c / n_2 + A_s) =$	1,008.51	mm
▶ $d_{s2} = d_v - d_{c2} =$	402.82	mm
▶ $Y_{v2cu} = d_{c2} + T_c / 2 =$	1,133.51	mm
▶ $Y_{v2cl} = Y_{v2cu} - T_c =$	883.51	mm
▶ $Y_{v2su} = Y_{v2cu} - H_2 + T_u =$	845.51	mm
▶ $Y_{v2sl} = Y_{v2su} - (H + T_u + T_l) =$	-1,387.49	mm
▶ $I_{v2} = I_s + I_c / n_2 + A_s \cdot d_{s2}^2 + A_c / n_2 \cdot d_{c2}^2 =$	284,354,517,608.55	mm ⁴
▶ $P_2 = E_s \cdot \epsilon_s \cdot A_c / n_2 =$	4,125,305	kgf
▶ $M_{v2} = P_2 \cdot d_{c2} =$	4,160,422,106	kgf·cm
▶ $E_{c2} = E_s / n_2 =$	7,346	MPa
▶ $f_{vcu2} = 1/n_2 \{ P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2cu} / I_{v2} \} - E_{c2} \epsilon_s =$	1.466	MPa
▶ $f_{vcl2} = 1/n_2 \{ P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2cl} / I_{v2} \} - E_{c2} \epsilon_s =$	1.435	MPa
▶ $f_{vsu2} = P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2su} / I_{v2}$	=	-13.274 MPa
▶ $f_{vsl2} = P_2 / A_{v2} + K \cdot M_{v2} \cdot Y_{v2sl} / I_{v2}$	=	-19.939 MPa

e. 온도차

▶ $\epsilon_t = \alpha \cdot t =$	$0.000012 \times 10 =$	0.00012
▶ $P_1 = E_s \cdot \epsilon_t \cdot A_c / n =$	5,500,406	N
▶ $M_{vt} = P_1 \cdot d_{vc} =$	3,531,392,096	N·mm
▶ $f_{cut} = 1/n \{ P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vcu} / I_v \} - E_c \epsilon_t =$	1.707	MPa
▶ $f_{clt} = 1/n \{ P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vcl} / I_v \} - E_c \epsilon_t =$	1.648	MPa
▶ $f_{sut} = P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vsu} / I_v$	=	-12.505 MPa
▶ $f_{slt} = P_1 / A_v + k \cdot M_{vt} \cdot Y_{vsl} / I_v$	=	-16.720 MPa

f.

전단및 비틀림

$$\triangleright F = b \cdot h = (Bls + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 7,119,398.00 \text{ mm}^2$$

$$\triangleright v = (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2 \cdot F \cdot Tw) = 13.035 \text{ MPa} < va = 110.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

g.

조합응력의 검토

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

$$= 0.65 \times (0.0 / 8)^2 + 0.13 \times (0.0 / 8) \times 1.0 = 1.000$$

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

여기서, n : 종방향보강재에 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.)

$\triangleright$ 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

$$fta = 190.0 \text{ MPa}$$

$\triangleright$ 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

$$tu \geq \frac{b}{24 \cdot i \cdot n} = \frac{3,200}{24 \times 1.000 \times 8} = 16.67 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = -190.00 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \cdot i \cdot n} > tu \geq \frac{b}{49 \cdot i \cdot n} = \frac{3,200}{49 \times 1.000 \times 8} = 8.16 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = -190 - 3.9 \left(\frac{b}{(tu \cdot i \cdot n)} - 24 \right) = -153.60 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{49 \cdot i \cdot n} > tu \geq \frac{b}{80 \cdot i \cdot n} = \frac{3,200}{80 \times 1.000 \times 8} = 5.00 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = 220,000 \times \left\{ (tu \cdot i \cdot n) / b \right\}^2 = 198.00 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } tu = 12 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } fca = -153.60 \text{ MPa}$$

$\triangleright$ 철근콘크리트의 허용응력 (도로교 설계기준 P151)

$$fca = 0.4 \quad fck = -10.80 \text{ MPa} \quad (fck = 27 \text{ MPa 사용})$$

$$fta = 0.07 \quad fck = 1.89 \text{ MPa}$$

- ①
②
③
④
⑤

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	-60.005	47.332	-153.600	190.000
1+2	-2.998	-2.021	-10.800	-10.800	-74.983	102.175	-153.600	190.000
1+2+3	-2.486	-1.744	-10.800	-10.800	-78.032	97.816	-176.640	190.000
1+2+3+4	-1.020	-0.309	-10.800	-10.800	-91.306	77.877	-176.640	190.000
1+2+3+4+5	0.687	1.339	2.174	2.174	-103.811	61.157	-199.680	218.500
1+2+3+4-5	-2.727	-1.956	-12.420	-12.420	-78.801	94.597	-199.680	218.500

주) 인장응력을 정(+), 압축응력을 부(-)로 하였음.

허용응력 활증 (도로교 설계기준 P3-115 참조)

h. 합성응력의 검토

▶ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{-103.811}{-199.680} \right]^2 + \left[\frac{13.035}{110.000} \right]^2$$

$$= 0.270 + 0.014 = 0.284 < 1.2$$

O.K.

▶ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{102.175}{190.000} \right]^2 + \left[\frac{13.035}{110.000} \right]^2$$

$$= 0.289 + 0.014 = 0.303 < 1.2$$

O.K.

i.

항복에 대한 안전도 검사

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

▶ 바닥판 콘크리트

$$\text{합성후 고정하중 응력} = \{ M_{sc} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = -0.692 \quad \text{MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = \{ M_{v2} / (n \cdot I_v) \} \times Y_{vcu} = -2.306 \quad \text{MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -0.692 + 2.15 \times -2.306 + (0.512) + (1.466) + (-1.707)$$

$$= -5.586 \quad \text{MPa} < (3/5) f_{ck} = -16.20 \quad \text{MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times -0.692 + 2.15 \times -2.306 + (-1.707)$$

$$= -7.564 \quad \text{MPa} < (3/5) f_{ck} = -16.20 \quad \text{MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

▶ 강재 거더 상부플랜지

$$\text{합성전 고정하중 응력} = -60.005 \quad \text{MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_v) \times Y_{vsu} = -3.456 \quad \text{MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = \{ M_{v2} / I_v \} \times Y_{vsu} = -11.522 \quad \text{MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-60.005 + -3.456) + 2.15 \times -11.522 + (-3.049) + (-13.274) + (-12.505)$$

$$= -136.100 \quad \text{MPa} < f_y = -315.0 \quad \text{MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-60.005 + -3.456) + 2.15 \times -11.522 + (-12.505)$$

$$= -119.777 \quad \text{MPa} < f_y = -315.0 \quad \text{MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

▶ 강재 거더 하부플랜지

$$\text{합성전 고정하중 응력} = 47.332 \quad \text{MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_v) \times Y_{vsl} = 12.654 \quad \text{MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = \{ M_{v2} / I_v \} \times Y_{vsl} = 42.189 \quad \text{MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (47.332 + 12.654) + 2.15 \times 42.189 + (-4.359) + (-19.939) + (16.72)$$

$$= 161.110 \quad \text{MPa} < f_y = 315.0 \quad \text{MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (47.332 + 12.654) + 2.15 \times 42.189 + (16.72)$$

$$= 185.408 \quad \text{MPa} < f_y = 315.0 \quad \text{MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

6.2

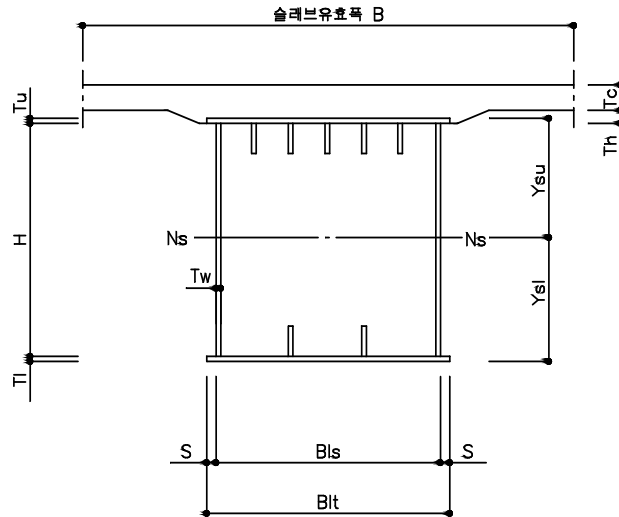
Girder (부모멘트 구간)

1)

중양 지점부 (Section-G)

①

검토단면 및 검토조건



▶ RIB 180 × 12 mm 상연 4 EA 하연 5 EA

▶ 주부재 사용강종 : SM 490

▶ H = 3.200 m

▶ B = 6.146 m

▶ Bls = 3.200 m 3.200 m

(전체 폭) ▶ Blt = 3.400 m 3.400 m

(유효 폭) ▶ Ble = 2.996 m 2.996 m

▶ Tc = 0.250 m

▶ Th = 0.050 m

▶ Tu = 0.034 m

▶ Tl = 0.034 m

▶ Tw = 0.012 m

▶ S = 0.100 m 0.100 m

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	205,000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ ₂ : 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-34,983.93
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-8,610.92
Mv1 : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	-25,733.80
Mv2 : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	-17,122.88
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-2,542.04
Sv : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	-2,116.54
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	275.88
Mvt : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-2,182.10
K : 2차 부정정력 영향계수		-0.205

※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

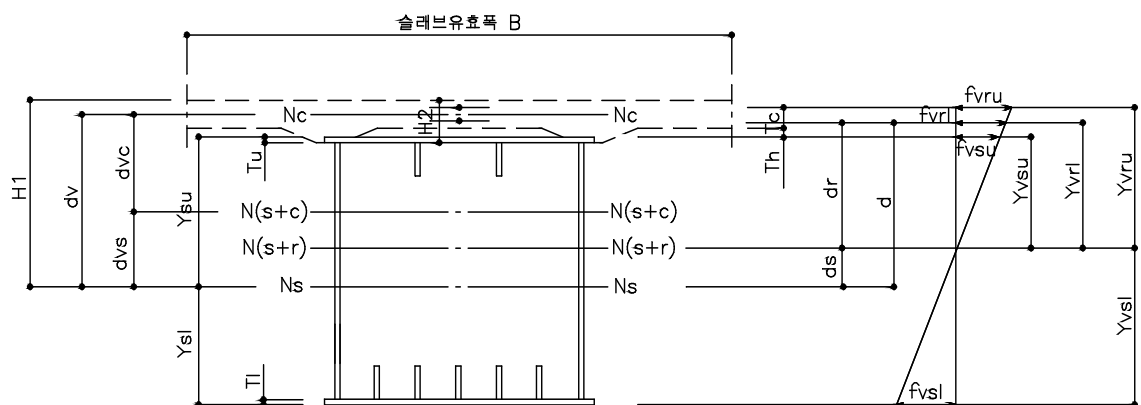
▶ 단면제원

단 면	B (mm)	H (mm)	Area (mm ²)	Y (mm)	A · Y (mm ³)	A · Y ² (mm ⁴)	Ix (mm ⁴)
1 - UPP. FLG.	2996	34	101,864	1,617	164,714,088	266,342,680,296	9,812,899
4 - UPP. RIB	12	180	8,640	1,510	13,046,400	19,700,064,000	23,328,000
2 - WEB	12	3200	76,800	0	0	0	65,536,000,000
5 - LOW. RIB	12	180	10,800	-1,510	-16,308,000	24,625,080,000	29,160,000
1 - LOW. FLG.	2996	34	101,864	-1,617	-164,714,088	266,342,680,296	9,812,899
강단면 합계			299,968		-3,261,600	5.770105E+11	65,608,113,797
UPPER RE-BAR	피복	40	18,310	1,815	33,232,832	6.031759E+10	-
LOWER RE-BAR	두께	40	18,310	1,645	30,120,115	4.954759E+10	-
RE-BAR 합계			36,620		63,352,946	1.098652E+11	-
1 - RC SLAB	6,146	250	1,536,500	1,775	2.7273E+09	4.840935E+12	8.002604E+09

► $A_s = 299,968 \text{ mm}^2$ ► $A_c = 1,536,500 \text{ mm}^2$ ► $A_r = 36,620 \text{ mm}^2$

②

이력 검토



a.

합성전

$$\blacktriangleright I_s' = A_s \cdot Y^2 + \sum I_s = 577,010,504,592.00 + 65,608,113,797.33 = 642,618,618,389 \text{ mm}^4$$

► $\delta_s = \sum(A \cdot Y) / A_s = -3,261,600.00 / 299,968.00 = -10.87 \text{ mm}$

$$\blacktriangleright I_s = I_{s'} - A_s \cdot \delta_s^2 = 642,618,618,389.33 - 299,968.00 \times -10.87^2 = 642,583,175,100.35 \text{ mm}^4$$

$$\blacktriangleright Y_{su} = H/2 + T_u - \delta_s = 3,200.00 / 2 + 34.0 - 10.87 = 1,644.87 \text{ mm}$$

$$\blacktriangleright Y_{sl} = Y_{su} - (H + T_u + T_l) = 1,644.87 - 3,268.00 = -1,623.13 \text{ mm}$$

► $F = b \cdot h = (B_{ls} + T_w) \cdot (H + T_u/2 + T_l/2) = 10,387,608.00 \text{ mm}^2$

► $f_{su} = M_s \cdot Y_{su} / I_s = 89.551 \text{ MPa}$

► $f_{sl} = M_s \cdot Y_{sl} / I_s =$ -88.367 MPa

► $\sigma_s = S_s / A(\text{Web}) =$ -33.099 MPa

► $\sigma_{st} = M_{st} / (2 \cdot F \cdot T_w) =$ 1.107 MPa

b.

합성후

$$\begin{aligned}
 & \triangleright A_v = A_s + A_r = 336,588.20 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright d = Y_{su} - T_u + T_h + t_{cl} + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1,785.87 \text{ mm} \\
 & \triangleright dr = d \cdot A_s / (A_s + A_r) = 1,591.57 \text{ mm} \quad \triangleright ds = d - dr = 194.30 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vru} = dr + (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{rl}/A_r = 1,676.57 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vrl} = dr - (T_c - t_{cu} - t_{cl}) \cdot A_{ru}/A_r = 1,506.57 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vsu} = Y_{vrl} - t_{cl} - T_h + T_u = 1,450.57 \text{ mm} \\
 & \triangleright Y_{vsl} = Y_{vsu} - (H + T_u + T_l) = -1,817.43 \text{ mm} \\
 & \triangleright I_{rv} = I_s + A_s \cdot ds^2 + A_r \cdot dr^2 = 746,670,161,916.24 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright f_{vru} = M_v \cdot Y_{vru}/I_{rv} = 57.783 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vrl} = M_v \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = 51.924 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsu} = M_v \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = 49.994 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsl} = M_v \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = -62.637 \text{ MPa} \\
 & \triangleright \sigma_s = S_v / A(\text{Web}) = -27.559 \text{ MPa} \\
 & \triangleright \sigma_{st} = M_{vt} / (2 \cdot F \cdot T_w) = -8.753 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

c.

크리프

$$\begin{aligned}
 & \triangleright A_{vc} = A_s + A_c/n = 492,030.50 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright dv = Y_{su} - T_u + T_h + T_c/2 = 1,740.87 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{vc} = dv \cdot A_s / (A_c/n + A_s) = 1,061.33 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{vs} = dv - d_{vc} = 679.54 \text{ mm} \\
 & \triangleright n_1 = n \cdot (1 + \phi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16 \\
 & \triangleright A_{v1} = A_s + A_c/n_1 = 395,999.25 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright d_{c1} = dv \cdot A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 1,318.70 \text{ mm} \\
 & \triangleright d_{s1} = dv - d_{c1} = 422.17 \text{ mm} \\
 & \triangleright I_{cv} = I_s + I_c/n + A_s \cdot d_{vs}^2 + A_c/n \cdot d_{vc}^2 = 998,444,411,473.77 \text{ mm}^4 \\
 & \triangleright N_c = M_{sc} \cdot d_{vc} \cdot A_c / (n \cdot I_{cv}) = -1,757,994 \text{ N} \\
 & \triangleright P_\phi = N_c \cdot 2 \cdot \phi_1 / (2 + \phi_1) = -1,757,994 \text{ N} \\
 & \triangleright M_\phi = P_\phi \cdot d_{c1} = -2,318,272,006 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
 & \triangleright E_{c1} = E_c / (1 + \phi_1 / 2) = 13,341 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vru1} = P_\phi / A_v + K \cdot M_\phi \cdot Y_{vru}/I_{rv} = 4.156 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vrl1} = P_\phi / A_v + K \cdot M_\phi \cdot Y_{vrl}/I_{rv} = 4.264 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsu1} = P_\phi / A_v + K \cdot M_\phi \cdot Y_{vsu}/I_{rv} = 4.300 \text{ MPa} \\
 & \triangleright f_{vsl1} = P_\phi / A_v + K \cdot M_\phi \cdot Y_{vsl}/I_{rv} = 6.380 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

d.

건조수축

$$\begin{aligned}
 & \triangleright n2 = n \cdot (1 + \phi2 / 2) = 8 \times (1 + 4.0 / 2) = 24 \\
 & \triangleright Av2 = As + Ac/n2 = 363,988.83 \text{ mm}^2 \\
 & \triangleright dc2 = dv \cdot As / (Ac/n2 + As) = 1,434.67 \text{ mm} \\
 & \triangleright ds2 = dv - dc2 = 306.20 \text{ mm} \\
 & \triangleright P2 = Es \cdot \epsilon s \cdot Ac/n2 = 3,543,553 \text{ N} \\
 & \triangleright Mv2 = P2 \cdot dc2 = 5,083,843,309 \text{ N} \cdot \text{cm} \\
 & \triangleright fvr2 = P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvr / Irv = -8.188 \text{ MPa} \\
 & \triangleright fvr1 = P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvr1 / Irv = -8.425 \text{ MPa} \\
 & \triangleright fvs2 = P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsu / Irv = -8.503 \text{ MPa} \\
 & \triangleright fvs1 = P2 / Av + K \cdot Mv2 \cdot Yvsl / Irv = -13.065 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

e.

온도차

$$\begin{aligned}
 & \triangleright \epsilon t = \alpha \cdot t = 0.000012 \times 10 = 0.00012 \\
 & \triangleright P1 = Es \cdot \epsilon t \cdot Ac/n = 4,724,738 \text{ N} \\
 & \triangleright Mvt = P1 \cdot dvc = 5,014,491,839 \text{ N} \cdot \text{m} \\
 & \triangleright Ert = Es \cdot \epsilon t = 24.600 \text{ N/mm}^2 \\
 & \triangleright frt = P1 / Av + K \cdot Mvt \cdot Yvr / Irv - Es \cdot \epsilon t = 12.871 \text{ MPa} \\
 & \triangleright fr1 = P1 / Av + K \cdot Mvt \cdot Yvr1 / Irv - Es \cdot \epsilon t = 12.637 \text{ MPa} \\
 & \triangleright fsu = P1 / Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsu / Irv = -12.040 \text{ MPa} \\
 & \triangleright fsl = P1 / Av + K \cdot Mvt \cdot Yvsl / Irv = -16.539 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

f.

전단및 비틀림

$$\triangleright F = b \cdot h = (Bls + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) = 10,387,608.00 \text{ mm}^2$$

$$\triangleright v = (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2 \cdot F \cdot Tw) = 68.305 \text{ MPa} < va = 110.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.}$$

g.

조합응력의 검토

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

$$= 0.65 \times (0.0 / 6)^2 + 0.13 \times (0.0 / 6) \times 1.0 = 1.000$$

$$(\because \varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \approx 0.0)$$

여기서, n: 종방향보강재에 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.)

$\triangleright$ 인장 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

$$fta = 190.0 \text{ MPa}$$

$\triangleright$ 압축 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

$$tl \geq \frac{b}{24 \text{ in}} = \frac{3,200}{24 \times 1.000 \times 6} = 22.22 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = -190.00 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{24 \text{ in}} > tl \geq \frac{b}{49 \text{ in}} = \frac{3,200}{49 \times 1.000 \times 6} = 10.88 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = -190 - 3.9 (b / (tl \text{ in}) - 24) = -222.42 \text{ MPa}$$

$$\frac{b}{49 \text{ in}} > tl \geq \frac{b}{80 \text{ in}} = \frac{3,200}{80 \times 1.000 \times 6} = 6.67 \text{ mm}$$

$$\text{인 경우 : } fca = 220,000 \times \{ (tu \text{ in}) / b \}^2 = 894.09 \text{ MPa}$$

$$\text{사용 } tl = 34 \text{ mm}$$

$$\text{따라서, } fca = -190.00 \text{ MPa}$$

$\triangleright$ RE-BAR의 허용응력 (도로교 설계기준 p3-75)

$$fta = 160.00 \text{ MPa} \quad fca = 180.00 \text{ MPa} \quad (\text{SD 400 사용})$$

- ①
②
③
④
⑤

하중조합	RE-BAR			STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연		상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	160.000	89.551	-88.367	190.000	-190.000
1+2	57.783	51.924	160.000	139.545	-151.005	190.000	-190.000
1+2+3	61.938	56.188	160.000	143.844	-144.625	190.000	-190.000
1+2+3+4	53.751	47.763	160.000	135.341	-157.690	190.000	-190.000
1+2+3+4+5	66.622	60.400	160.000	123.301	-174.229	218.500	-218.500
1+2+3+4-5	40.880	35.126	160.000	147.381	-141.150	218.500	-218.500

주) 인장응력을 정(+), 압축응력을 부(-)로 하였음. 허용응력 할증 (도로교 설계기준 P3-115 참조)

h.

합성응력의 검토

▶ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{143.844}{190.000} \right]^2 + \left[\frac{68.305}{110.000} \right]^2$$

$$= 0.573 + 0.386 = 0.959 < 1.2$$

O.K.

▶ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{-157.690}{-190.000} \right]^2 + \left[\frac{68.305}{110.000} \right]^2$$

$$= 0.689 + 0.386 = 1.074 < 1.2$$

O.K.

i.

항복에 대한 안전도 검사

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

▶ 상부 바닥판 RE - BAR

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_{rv}) \times Y_{vru} = 19.335 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = (M_{v2} / I_{rv}) \times Y_{vru} = 38.448 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (19.335) + 2.15 \times (38.448) + (4.156) + (-8.188) + (12.871)$$

$$= 116.637 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (19.335) + 2.15 \times (38.448) + (12.871)$$

$$= 120.669 \text{ MPa} < f_y = 400.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

▶ 강재 거더 상부플랜지

$$\text{합성전 고정하중 응력} = 89.551 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_{rv}) \times Y_{vsu} = 16.729 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = (M_{v2} / I_{rv}) \times Y_{vsu} = 33.265 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (89.551 + 16.729) + 2.15 \times (33.265) + (4.3) + -8.503 + (12.04)$$

$$= 217.520 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (89.551 + 16.729) + 2.15 \times (33.265) + (12.04)$$

$$= 221.723 \text{ MPa} < f_y = 315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

▶ 강재 거더 하부플랜지

$$\text{합성전 고정하중 응력} = -88.367 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 고정하중 응력} = (M_{sc} / I_{rv}) \times Y_{vsl} = -20.959 \text{ MPa}$$

$$\text{합성후 활하중 응력} = (-151.005 - 88.367 - 20.959) = -41.678 \text{ MPa}$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-88.367 + -20.959) + 2.15 \times -41.678 + (6.38) + (-13.065) + -16.539$$

$$= -254.956 \text{ MPa} < f_y = -315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 포함시})$$

$$\Sigma f = 1.3 \times (-88.367 + -20.959) + 2.15 \times -41.678 + -16.539 =$$

$$= -248.272 \text{ MPa} < f_y = -315.0 \text{ MPa} \quad \text{O.K.} \quad (\text{크리프, 건조수축 제외시})$$

7.

7.1

1)

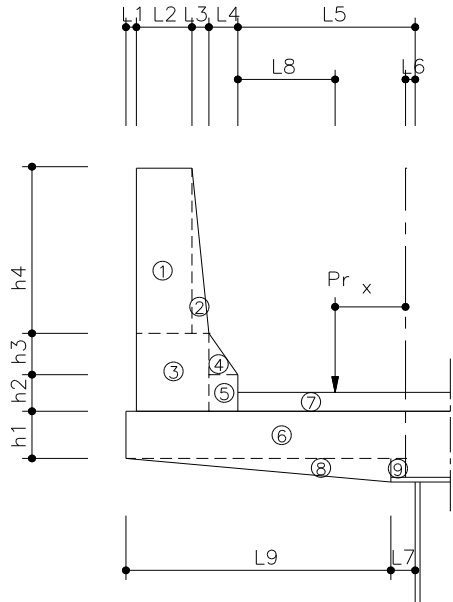
①

바닥판 검토

캔틸레버부

G1측 (방호벽)

고정하중



- ▶ h1 = 0.250 m
- ▶ h2 = 0.215 m
- ▶ h3 = 0.250 m
- ▶ h4 = 0.485 m
- ▶ h5 = 0.402 m
- ▶ h6 = 0.080 m
- ▶ L1 = 0.030 m
- ▶ L2 = 0.150 m
- ▶ L3 = 0.0575 m
- ▶ L4 = 0.1675 m
- ▶ L5 = 1.095 m
- ▶ L6 = 0.050 m
- ▶ L7 = 0.100 m
- ▶ L8 = 0.300 m
- ▶ L9 = 1.400 m

- ▶ 철근콘크리트 단위중량 : 25.00 kN/m³
- ▶ 아스콘 포장 단위중량 : 23.00 kN/m³
- ▶ 콘그리트 단위중량 : 23.50 kN/m³
- ▶ 트럭의 1후륜하중 (Pr) : 96.00 kN

- ▶ 설계속도(R) : 80 km/hr
- ▶ 곡선 반경(R) : 1507 m
- ▶ 방음벽 높이 : - m

구 분	작용하중	거 리 (m)	모 멘 트 (kN · m)
①	$0.485 \times 0.150 \times 25.0 = 1.819$	1.345	2.447
②	$0.485 \times 0.058 / 2 \times 25.0 = 0.349$	1.251	0.437
③	$0.465 \times 0.208 \times 25.0 = 2.412$	1.316	3.174
④	$0.250 \times 0.168 / 2 \times 25.0 = 0.523$	1.157	0.605
⑤	$0.215 \times 0.168 \times 25.0 = 0.900$	1.129	1.016
⑥	$0.250 \times 1.450 \times 25.0 = 9.063$	0.725	6.571
⑦	$0.080 \times 1.045 \times 23.0 = 1.923$	0.523	1.006
⑧	$0.152 \times 1.400 / 2 \times 25.0 = 2.660$	0.517	1.375
⑨	$0.152 \times 0.050 \times 25.0 = 0.190$	0.025	0.005
난간하중	$= 0.000$	1.345	0.000
			16.636

② 활 하중 : DB-24

► $P_r = 96.0 \text{ kN}$ ► $X = 0.745 \text{ m}$

► $I = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.745) = 0.368 > 0.30 \quad \therefore I = 0.30$

► $E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.745 + 1.14 = 1.736 \text{ m}$

$$\blacktriangleright M_{L+I} = Pr / E \cdot X \cdot (1+I) = 96.0 / 1.736 \times 0.745 \times (1 + 0.3) = 53.558 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 차량 충돌하중

$$\blacktriangleright H = (V / 60)^2 \times 7.5 + 2.5 = (80 / 60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 15.833 \text{ kN/m}$$

▶ $h = 1.080 \text{ m}$ (수평충돌력 H가 교면 위 1m 높이에 작용)

▶ $H = 20.000 \text{ kN/m}$ (직선구간 : 10 kN/m , 곡선구간 : 20 kN/m)

▶ $h = 0.950 \text{ m}$ (수평충돌력 H 가 상단부에 작용)

► $M_{CO} = \text{Max} (15.833 \times 1.080 , 20.000 \times 0.950) = 19.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

④ 풍하중

► $P_W = 3.000 \times 0.950 = 2.850 \text{ kN/m}$

► $M_W = 2.850 \times 0.950 / 2 = 1.354 \text{ kN}\cdot\text{m}$

⑤ 원심하중 : 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

► $CF = 0.79 \cdot V^2 / R = 0.79 \times 80^2 / 1507.000 = 3.355 \text{ (%)}$

► $P_{CF} = (Pr/E) \times 3.355 / 100 = 1.855 \text{ kN/m}$

► $M_{CF} = 1.855 \times 1.880 = 3.488 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$

⑥ 극한 모멘트

$$\blacktriangleright M_{U1} = 1.3 M_D + 2.15 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} = 141.311 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{U2} = 1.3 M_D + 1.3 M_{I+I} + 1.3 M_{CF} + 1.3 M_{CO} = 120.487 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{U3} = 1.3 M_D + 1.3 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} + 0.65 M_W = 96.667 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{U4} = 1.2 M_D + 1.2 M_W + 1.2 M_{CO} = 44.388 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{U5} = 1.3 M_D + 1.3 M_W = 23.387 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore M_U = 141.311 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

⑦ | 사용 모멘트

$$\blacktriangleright M_{O1} = 1.0 M_D + 1.0 M_{L+I} + 1.0 M_{CF} + 0.3 M_v = 74.088 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore M_O = 74.088 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

⑧ 바닥판의 최소 두께 ($X > 0.25$ 인 경우)

► $H_{\min} = (80 \times + 230) = (80 \times 0.745) + 230 = 290 \text{ mm} \leq H = 402 \text{ mm} \rightarrow \text{O.K.}$

⑨

단면검토

▷ 검토 조건

$$f_{ck} = 27.0 \text{ Mpa} \quad f_y = 400.0 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.850 \quad \phi_f = 0.850 \quad \phi_v = 0.800$$

$$p_{min} = \max(0.25\sqrt{f_{ck}}/f_y, 1.4/f_y) = 0.00350$$

$$\text{계수 모멘트 } M_u = 141.311 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{단면의 두께 } H = 402.0 \text{ mm} \quad \text{단면의 폭 } B = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$\text{유효 깊이 } D = 362.0 \text{ mm} \quad \text{피복 두께 } D_c = 40.0 \text{ mm}$$

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

$$\begin{aligned} \text{사용철근량} &= H \text{ } 16 @ 250 \text{ mm} + H \text{ } 16 @ 250 \text{ mm} \quad (d_c = 40 \text{ mm}) \\ &= 1,588.8 \text{ mm}^2 \quad \therefore P = A_s / (B \cdot D) = 0.00439 \end{aligned}$$

$$\text{공칭강도시 등가응력깊이 } a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 27.692 \text{ mm}$$

$$\text{최외단 인장철근 변형률 } \epsilon_t = 0.030335 \geq 0.005 \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\dots \text{여기서 } \epsilon_t = 0.003 \cdot (H - a/\beta_1 - D_{c_min}) / (a/\beta_1)$$

0.005 ≤ ϵ_t 이므로 인장지배단면, $\phi_f = 0.85$ 를 적용한다.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi_f \cdot f_y \cdot A_s \cdot (D - a/2) = 188,070,139.7 \text{ N}\cdot\text{mm} \\ &= 188.070 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq M_u = 141.311 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K} \quad [S.F = 1.331] \end{aligned}$$

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a : 20.596 mm 로 가정

$$A_s = M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\} = 1,181.7 \text{ mm}^2$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 20.596 \text{ mm} \quad \therefore \text{가정과 비슷함 O.K}$$

$$P_{req} = [M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\}] / (B \cdot D) = 0.00326 \Rightarrow 4/3 P_{req} = 0.00435$$

$$\therefore \text{필요철근량 } req.A_s = P_{req} \times (B \cdot D) = 1,181.7 \text{ mm}^2 \leq \text{사용철근량} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\text{철근비검토 : } P_{min} \leq P \quad \therefore \text{O.K}$$

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

$$M_o = 74.088 \text{ kN m}$$

$$n = E_s / E_c = 200,000 / (0.077 m_c^{1.5} \sqrt{f_{cu}}) \quad 7 \quad \text{여기서, } f_{cm} = f_{ck} + 4$$

$$p = A_s / (B \cdot D) = 0.004389$$

$$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.219$$

$$j = 1 - k/3 = 0.927$$

$$x = k \cdot D = 79.298 \text{ mm}$$

$$f_c = 2 \cdot M_o / (B \cdot x \cdot (D - x/3)) = 5.568 \text{ MPa}$$

$$f_s = M_o / (A_s \cdot (D - x/3)) = 138.963 \text{ MPa}$$

$$f_s = 138.963 \text{ MPa} \leq 0.6 f_y = 240.00 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{st} = f_s (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 138.963 \text{ MPa}$$

최외단철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 (210 / f_{st}) - 2.5 C_c, 300 (210 / f_{st})] = 453.36 \text{ mm}$$

$$\text{여기서, } C_c = D_{c_min} - \text{주철근 직경} / 2 = 32.00 \text{ mm}$$

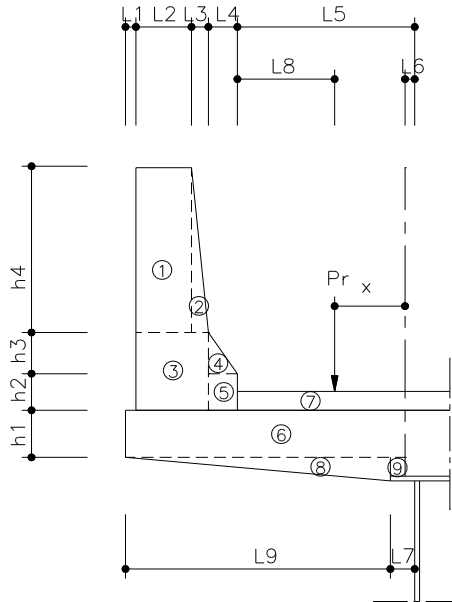
$$\text{최외단철근 평균배근간격 } 125.00 \text{ mm} \leq 453.36 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

2)

G2축 (방호벽)

①

고정하중



- ▶ $h1 = 0.200$ m
- ▶ $h2 = 0.215$ m
- ▶ $h3 = 0.250$ m
- ▶ $h4 = 0.485$ m
- ▶ $h5 = 0.315$ m
- ▶ $h6 = 0.080$ m
- ▶ $L1 = 0.085$ m
- ▶ $L2 = 0.100$ m
- ▶ $L3 = 0.060$ m
- ▶ $L4 = 0.160$ m
- ▶ $L5 = 1.095$ m
- ▶ $L6 = 0.050$ m
- ▶ $L7 = 0.100$ m
- ▶ $L8 = 0.300$ m
- ▶ $L9 = 1.400$ m

- ▶ 철근콘크리트 단위중량 : 25.00 kN/m^3
- ▶ 아스콘 포장 단위중량 : 23.00 kN/m^3
- ▶ 콘크리트 단위중량 : 23.50 kN/m^3
- ▶ 트럭의 1후륜하중 (Pr) : 96.00 kN

- ▶ 설계속도(R) : 80 km/hr
- ▶ 곡선 반경(R) : 1507 m
- ▶ 방음벽 높이 : $- \text{ m}$

구 분	작용하중	거 리 (m)	모 멘 트 (kN · m)
①	$0.485 \times 0.100 \times 25.0 = 1.213$	1.315	1.595
②	$0.485 \times 0.060 / 2 \times 25.0 = 0.364$	1.245	0.453
③	$0.465 \times 0.160 \times 25.0 = 1.860$	1.285	2.390
④	$0.250 \times 0.160 / 2 \times 25.0 = 0.500$	1.152	0.576
⑤	$0.215 \times 0.160 \times 25.0 = 0.860$	1.125	0.968
⑥	$0.200 \times 1.450 \times 25.0 = 7.250$	0.725	5.256
⑦	$0.080 \times 1.045 \times 23.0 = 1.923$	0.523	1.006
⑧	$0.115 \times 1.400 / 2 \times 25.0 = 2.013$	0.517	1.041
⑨	$0.115 \times 0.050 \times 25.0 = 0.144$	0.025	0.004
난간하중	$= 0.000$	1.315	0.000
			13.289

② 활 하중 : DB-24

► $P_r = 96.00 \text{ kN}$ ► $X = 0.745 \text{ m}$

► $I = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.745) = 0.368 > 0.30 \quad \therefore I = 0.30$

► $E = 0.8X + 1.14 = 0.8 \times 0.745 + 1.14 = 1.736 \text{ m}$

$$\blacktriangleright M_{L+I} = Pr / E \cdot X \cdot (1+I) = 96.0 / 1.736 \times 0.745 \times (1 + 0.3) = 53.558 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 차량 충돌하중

► $H = (V / 60)^2 \times 7.5 + 2.5 = (80 / 60)^2 \times 7.5 + 2.5 = 15.833 \text{ kN/m}$

▶ $h = 1.080 \text{ m}$ (수평충돌력 H가 교면 위 1m 높이에 작용)

▶ $H = 20.000 \text{ kN/m}$ (직선구간 : 10 kN/m , 곡선구간 : 20 kN/m)

▶ $h = 0.950 \text{ m}$ (수평충돌력 H가 상단부에 작용)

► $M_{CO} = \text{Max} (15.833 \times 1.080 , 20.000 \times 0.950) = 19.000 \text{ kN} \cdot \text{m}$

④ 풍하중

► $P_W = 3.000 \times 0.950 = 2.850 \text{ kN/m}$

► $M_W = 2.850 \times 0.950 / 2 = 1.354 \text{ kN} \cdot \text{m}$

⑤ 원심하중 : 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

► CF = $0.79 \cdot V^2 / R = 0.79 \times 80^2 / 1507.000 = 3.355$ (%)

$$\blacktriangleright P_{CF} = (Pr/E) \times 3.355 / 100 = 1.855 \text{ kN/m}$$

► $M_{CF} = 1.855 \times 1.880 = 3.488 \text{ kN} \cdot \text{m}$

⑥ 극한 모멘트

$$\blacktriangleright M_{U1} = 1.3 M_D + 2.15 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} = 136.960 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{U2} = 1.3 M_D + 1.3 M_{I+I} + 1.3 M_{CF} + 1.3 M_{CO} = 116.136 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{U3} = 1.3 M_D + 1.3 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} + 0.65 M_W = 92.316 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{U4} = 1.2 M_D + 1.2 M_W + 1.2 M_{CO} = 40.372 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\blacktriangleright M_{I/5} = 1.3 M_D + 1.3 M_W = 19.036 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore M_U = 136.960 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

⑦ | 사용 모멘트

$$\blacktriangleright M_{O1} = 1.0 M_D + 1.0 M_{L+I} + 1.0 M_{CF} + 0.3 M_v = 70.741 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\therefore M_O = 70.741 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

⑧ 바닥판의 최소 두께 ($X > 0.25$ 인 경우)

► $H_{\min} = (80 X + 230) = (80 \times 0.745) + 230 = 290 \text{ mm} \leq H = 315 \text{ mm} \rightarrow \text{O.K.}$

⑨

단면검토

▷ 검토 조건

$$f_{ck} = 27.0 \text{ Mpa} \quad f_y = 400.0 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.850 \quad \phi_f = 0.850 \quad \phi_v = 0.800$$

$$p_{min} = \max(0.25\sqrt{f_{ck}}/f_y, 1.4/f_y) = 0.00350$$

$$\text{계수 모멘트 } M_u = 136.960 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{단면의 두께 } H = 315.0 \text{ mm} \quad \text{단면의 폭 } B = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$\text{유효 깊이 } D = 275.0 \text{ mm} \quad \text{피복 두께 } D_c = 40.0 \text{ mm}$$

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

$$\text{사용철근량} = H \text{ } 16 @ 250 \text{ mm} + H \text{ } 16 @ 250 \text{ mm} \quad (d_c = 40 \text{ mm})$$

$$= 1,588.8 \text{ mm}^2 \quad \therefore P = A_s / (B \cdot D) = 0.00578$$

$$\text{공칭강도시 등가응력깊이 } a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 27.692 \text{ mm}$$

$$\text{최외단 인장철근 변형률 } \epsilon_t = 0.022324 \geq 0.005 \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\dots \text{여기서 } \epsilon_t = 0.003 \cdot (H - a/\beta_1 - D_{c_min}) / (a/\beta_1)$$

0.005 ≤ ϵ_t 이므로 인장지배단면, $\phi_f = 0.85$ 를 적용한다.

$$\phi M_n = \phi_f \cdot f_y \cdot A_s \cdot (D - a/2) = 141,073,435.7 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$= 141.073 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq M_u = 136.960 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K} \quad [S.F = 1.030]$$

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 $a = 26.841 \text{ mm}$ 로 가정

$$A_s = M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\} = 1,540.0 \text{ mm}^2$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 26.841 \text{ mm} \quad \therefore \text{가정과 비슷함 O.K}$$

$$P_{req} = [M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\}] / (B \cdot D) = 0.00560 \Rightarrow 4/3 P_{req} = 0.00747$$

$$\therefore \text{필요철근량 } req.A_s = P_{req} \times (B \cdot D) = 1,540.0 \text{ mm}^2 \leq \text{사용철근량} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\text{철근비검토 : } P_{min} \leq P \quad \therefore \text{O.K}$$

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

$$M_o = 70.741 \text{ kN m}$$

$$n = E_s / E_c = 200,000 / (0.077 m_c^{1.5} \sqrt{f_{cu}}) = 7 \quad \text{여기서, } f_{cm} = f_{ck} + 4$$

$$p = A_s / (B \cdot D) = 0.005777$$

$$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.247$$

$$j = 1 - k/3 = 0.918$$

$$x = k \cdot D = 67.876 \text{ mm}$$

$$f_c = 2 \cdot M_o / (B \cdot x \cdot (D - x/3)) = 8.259 \text{ MPa}$$

$$f_s = M_o / (A_s \cdot (D - x/3)) = 176.423 \text{ MPa}$$

$$f_s = 176.423 \text{ MPa} \leq 0.6 f_y = 240.00 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{st} = f_s (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 176.423 \text{ MPa}$$

최외단철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 (210 / f_{st}) - 2.5 C_c, 300 (210 / f_{st})] = 357.10 \text{ mm}$$

$$\text{여기서, } C_c = D_{c_min} - \text{주철근 직경} / 2 = 32.00 \text{ mm}$$

$$\text{최외단철근 평균배근간격 } 125.00 \text{ mm} \leq 357.10 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

7.2

연속부

①

고정하중

구 분	두께 (m)	단위중량 (kN/m ³)	하중 (kN/m)
바닥판	0.250	25.000	6.250
아스콘 포장	0.080	23.000	1.840
Σ Wd			8.090

▶ 연속판의 지간 : $L = 3.100 \text{ m}$

▶ $M_d = \Sigma Wd \cdot L^2 / 10 = 7.774 \text{ kN} \cdot \text{m}$

②

활하중 : DB-24

▶ $Pr = 96.00 \text{ kN}$

▶ $I = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 3.1) = 0.348 > 0.30 \therefore I = 0.30$

▶ $M_{L+I} = (L+0.6) / 9.6 \cdot Pr \cdot (1+I) = (3.100+0.6) / 9.6 \times 96 \times (1+0.3) = 48.100 \text{ kN} \cdot \text{m}$

→ 바닥판이 3개이상의 지점을 가지므로 위의 값의 80%를 취한다.

$\therefore M_{L+I} = 38.480 \text{ kN} \cdot \text{m}$

③

원심하중 : 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

▶ $E = 2.4L / (L+0.6) = 2.4 \times 3.1 / (3.1+0.6) = 2.011 \text{ m}$

▶ $CF = 0.79 \cdot V^2 / R = 0.79 \times 80^2 / 1507.000 = 3.355 \text{ (\%)}$

▶ $P_{CF} = (Pr/E) \times 3.355 / 100 = 1.602 \text{ kN/m}$

▶ $M_{CF} = 1.602 \times 1.880 = 3.011 \text{ kN} \cdot \text{m}$

④

극한 모멘트

▶ $M_U = 1.3 M_D + 2.15 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} = 96.753 \text{ kN} \cdot \text{m}$

⑤

사용 모멘트

▶ $M_O = 1.0 M_D + 1.0 M_{L+I} + 1.0 M_{CF} = 49.265 \text{ kN} \cdot \text{m}$

⑥

바닥판의 최소 두께

▶ $H_{\min} = 30L+130 = 30 \times 3.1 + 130 = 223 \text{ mm} \leq H = 250 \text{ mm} \rightarrow \text{O.K.}$

⑥

단면검토

▷ 검토 조건

$$f_{ck} = 27.0 \text{ Mpa} \quad f_y = 400.0 \text{ Mpa}$$

$$\beta_1 = 0.850 \quad \phi_f = 0.850 \quad \phi_v = 0.800$$

$$p_{min} = \max(0.25\sqrt{f_{ck}}/f_y, 1.4/f_y) = 0.00350$$

$$\text{계수 모멘트 } M_u = 96.753 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$$\text{단면의 두께 } H = 250.0 \text{ mm} \quad \text{단면의 폭 } B = 1,000.0 \text{ mm}$$

$$\text{유효 깊이 } D = 210.0 \text{ mm} \quad \text{피복 두께 } D_c = 40.0 \text{ mm}$$

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

$$\begin{aligned} \text{사용철근량} &= H \text{ } 16 @ 250 \text{ mm} + H \text{ } 16 @ 250 \text{ mm} \quad (d_c = 40 \text{ mm}) \\ &= 1,588.8 \text{ mm}^2 \quad \therefore P = A_s / (B \cdot D) = 0.00757 \end{aligned}$$

$$\text{공칭강도시 등가응력깊이 } a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 27.692 \text{ mm}$$

$$\text{최외단 인장철근 변형률 } \epsilon_t = 0.016338 \geq 0.005 \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\dots \text{여기서 } \epsilon_t = 0.003 \cdot (H - a/\beta_1 - D_{c_min}) / (a/\beta_1)$$

0.005 ≤ ϵ_t 이므로 인장지배단면, $\phi_f = 0.85$ 를 적용한다.

$$\begin{aligned} \phi M_n &= \phi_f \cdot f_y \cdot A_s \cdot (D - a/2) = 105,960,955.7 \text{ N}\cdot\text{mm} \\ &= 105.961 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq M_u = 96.753 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K} \quad [S.F = 1.095] \end{aligned}$$

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 $a = 25.121 \text{ mm}$ 로 가정

$$A_s = M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\} = 1,441.3 \text{ mm}^2$$

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot B) = 25.121 \text{ mm} \quad \therefore \text{가정과 비슷함 O.K}$$

$$P_{req} = [M_u / \{\phi_f \cdot f_y \cdot (D - a/2)\}] / (B \cdot D) = 0.00686 \Rightarrow 4/3 P_{req} = 0.00915$$

$$\therefore \text{필요철근량 } req.A_s = P_{req} \times (B \cdot D) = 1,441.3 \text{ mm}^2 \leq \text{사용철근량} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\text{철근비검토 : } P_{min} \leq P \quad \therefore \text{O.K}$$

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

$$M_o = 49.265 \text{ kN m}$$

$$n = E_s / E_c = 200,000 / (0.077 m_c^{1.5} \sqrt{f_{cu}}) \quad 7 \quad \text{여기서, } f_{cm} = f_{ck} + 4$$

$$p = A_s / (B \cdot D) = 0.007566$$

$$k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.277$$

$$j = 1 - k/3 = 0.908$$

$$x = k \cdot D = 58.123 \text{ mm}$$

$$f_c = 2 \cdot M_o / (B \cdot x \cdot (D - x/3)) = 8.893 \text{ MPa}$$

$$f_s = M_o / (A_s \cdot (D - x/3)) = 162.663 \text{ MPa}$$

$$f_s = 162.663 \text{ MPa} \leq 0.6 f_y = 240.00 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{st} = f_s (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 162.663 \text{ MPa}$$

최외단철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 (210 / f_{st}) - 2.5 C_c, 300 (210 / f_{st})] = 387.30 \text{ mm}$$

$$\text{여기서, } C_c = D_{c_min} - \text{주철근 직경} / 2 = 32.00 \text{ mm}$$

$$\text{최외단철근 평균배근간격 } 125.00 \text{ mm} \leq 387.30 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

8.

내하력 평가

8.1

내하력 산정식

1)

내하율 산정식

①

허용응력법

▶
$$RF = \frac{(f_a - f_D)}{f_{L+I}}$$

여기서, f_a : 허용응력
 f_D : 고정하중에 의한 응력
 f_{L+I} : 활하중(충격포함)에 의한 응력

②

강도설계법

▶
$$RF = \frac{\Phi M_n - \gamma_d \cdot M_d}{\gamma_L \cdot M_{L+I}}$$

여기서, Φ : 강도 감소계수
 M_n : 공칭 모멘트
 ΦM_n : 설계 모멘트
 $\gamma_d (\gamma_L)$: 고정하중(활하중) 계수
 M_d : 고정하중에 의한 모멘트
 M_{L+I} : 활하중(충격포함)에 의한 모멘트

2)

내하력 산정식

①

기본 내하력

▶ $P_o = RF \cdot Pr$

여기서, Pr : 설계활하중

②

공용 내하력

▶ $P_n = K_s \cdot RF \cdot Pr$

여기서, K_s : 응답보정계수

8.2

1)

내하력 평가

강거더 (허용응력법)

구 분		Girder			
		외측경간 중앙부		내측경간 중앙부	
		상 연	하 연	상 연	하 연
응력 (MPa)	허용응력 ; f_a	-153.600	190.000	-153.600	190.000
	고정하중 응력 ; f_D	-83.511	77.479	-63.461	59.986
	크리프, 건조수축 ¹⁾	-27.825	-6.137	-16.323	-24.298
	활하중 응력 ; f_{L+I}	-11.785	43.074	-11.522	42.189
응답보정계수 ; K_s		1.144	1.144	1.114	1.114
기 본 내 하 율		3.586	2.612	6.407	3.082
공 용 내 하 율		4.102	2.988	7.137	3.433
기본 내하력 ; P_o		DB - 86.1	DB - 62.7	DB - 153.8	DB - 74.0
공용 내하력 ; P_n		DB - 98.5	DB - 71.7	DB - 171.3	DB - 82.4
공용 총중량 ; (kN)		1,772	1,291	3,083	1,483
설계활하중 ; P_r (총중량)		DB 24 - 432kN			

1)의 응력은 내하력 산정에 불리한 경우에 적용함

구 분		Girder	
		중앙 지점부	
		상 연	하 연
응력 (MPa)	허용응력 ; f_a	190.000	-190.000
	고정하중 응력 ; f_D	106.280	-109.327
	크리프, 건조수축 ¹⁾	-4.203	-6.685
	활하중 응력 ; f_{L+I}	33.265	-41.678
응답보정계수 ; K_s		1.048	1.048
기 본 내 하 율		2.643	1.775
공 용 내 하 율		2.770	1.860
기본 내하력 ; P_o		DB - 63.4	DB - 42.6
공용 내하력 ; P_n		DB - 66.5	DB - 44.6
공용 총중량 ; (kN)		1,197	804
설계활하중 ; P_r (총중량)		DB 24 - 432kN	

1)의 응력은 내하력 산정에 불리한 경우에 적용함

2)

바닥판 (교축직각)

구 분		캔틸레버부		연속부
		G1측 (방호벽)	G2측 (방호벽)	
모멘트 (kN·m)	설계모멘트 ; ΦM_n	188.070	141.073	105.961
	고정하중 모멘트 ; M_D	16.636	13.289	7.774
	활하중 모멘트 ; M_{L+I}	53.558	53.558	38.480
강도 감소계수 ; Φ		0.85	0.85	0.85
하 중 계 수	고정하중 계수 ; γ_d	1.30	1.30	1.30
	활하중 계수 ; γ_L	2.15	2.15	2.15
내 하 율 ; RF		1.445	1.075	1.159
기본 내하력 ; P_o		DB - 34.7	DB - 25.8	DB - 27.8
기본 총중량 ; (kN)		624	464	501
설계하중 ; P_r (총중량)		DB 24 - 432kN		

