

1. 영등포구청~당산역 구간(S13)

(1) 설계조건

① 형식

합성형 STEEL BOX GIRDER 교

바닥판콘크리트 경화 후에 작용하는 고정하중 및 활하중에 대하여 합성작용 고려

② 제원

㉠ 교장 : 40.00 m

㉡ 지간 : 39.90 m

㉢ 교폭 : 10.00 m

③ 설계하중

㉠ 고정하중

- 철근콘크리트 : 24.5 kN/m²
- 강 : 77 kN/m²
- 레 도 : 4.5 kN/m² (유도상)
- 자갈 도상 : 19 kN/m²
- 무근콘크리트 : 23 kN/m²

㉡ 활하중 : EL - 18

④ 충격계수

㉠ 바닥판 설계

L = 2.200 m (지간)

$$i = (1.44/\sqrt{L_c} - 0.2) - 0.18 = 0.942 > 0.670$$

$$i = 0.670$$

㉡ 주형 설계

L = 39.900 m (지간)

$$i = (1.44/\sqrt{L_c} - 0.2) - 0.18 = 0.055$$

⑤ 사용재료 및 물리상수

㉠ 철근콘크리트

- 설계기준강도 : $f_{ck} = 21$ MPa
- 허용 휨 압축응력 : $f_{ca} = 0.3 \times f_{ck} = 0.3 \times 21 = 6.3$ MPa
- 허용 전단응력 : $v_a = 0.08 \times \sqrt{f_{ck}} = 0.08 \times \sqrt{21} = 0.367$ MPa
- 포아송비 : $\nu = 0.18$
- 온도팽창계수 : $\alpha = 0.00001$
- 휨강도 감소계수 : $\phi_f = 0.85$
- 전단강도 감소계수 : $\phi_v = 0.8$

㉠ 철근

- 항복응력 : $f_y = 240 \text{ MPa}$
- 허용 휨 인장응력 : $f_{ta} = 150 \text{ MPa}$
- 허용 휨 압축응력 : $f_{ca} = 150 \text{ MPa}$
- 탄성계수 : $E_s = 200,000 \text{ MPa}$
- 탄성계수비 : $n = 8$

㉡ 강

- 탄성계수 : $E_{st} = 205,000 \text{ MPa}$
- 탄성계수비 : $n = 8$ (합성단면에서의 응력 및 처짐검토)
- 전단탄성계수 : $G = 81,000 \text{ MPa}$
- 포아송비 : $\nu = 0.30$
- 온도팽창계수 : $\alpha = 0.000012$

	부부재 SWS41		주부재 SWS50	
- 허용 축방향 인장응력 :	140	MPa	190	MPa
- 허용 휨 인장응력 :	140	MPa	190	MPa
- 허용 축방향 압축응력 :	140	MPa	190	MPa
- 허용 휨 압축응력 :	140	MPa	190	MPa
- 허용 전단응력 :	80	MPa	105	MPa
- 허용 지압응력 :	210	MPa	285	MPa
- 허용 용접 전단응력 :	80	MPa	105	MPa
- 허용 용접 압축응력 :	140	MPa	190	MPa
- 허용 용접 인장응력 :	140	MPa	190	MPa
- 항복응력 :	235	MPa		MPa

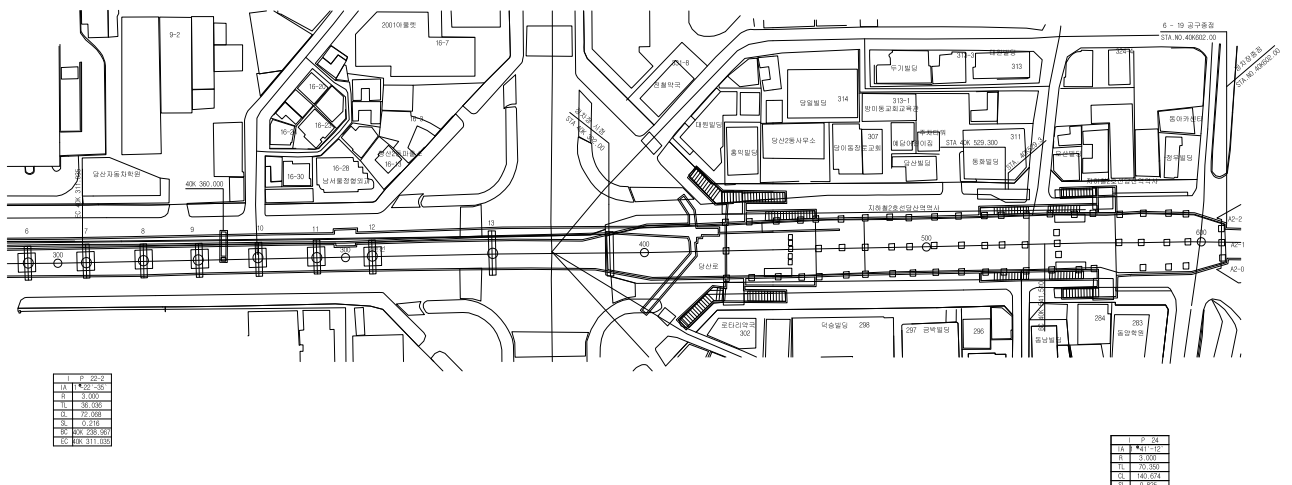
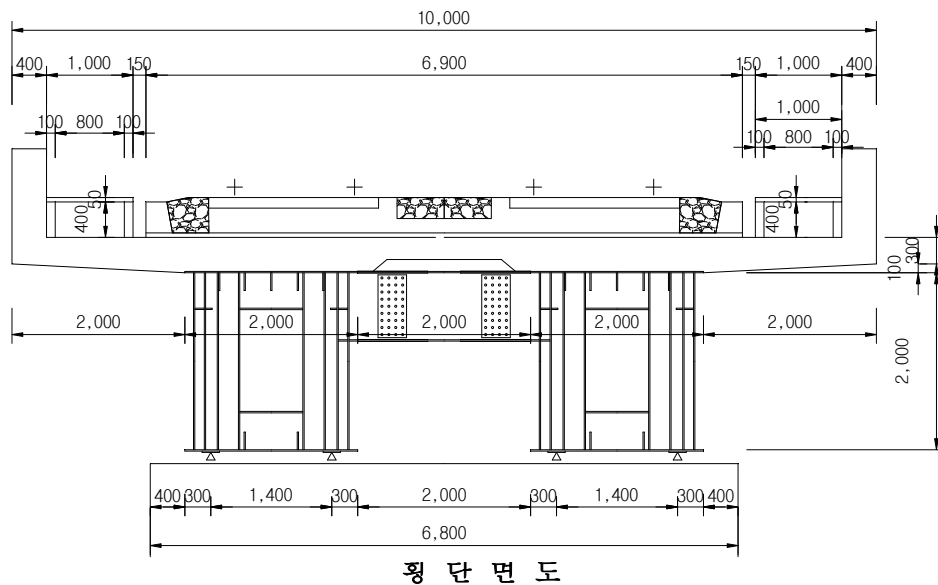
㉢ 합성형

- 크리프에 의한 응력계산시 바닥판 콘크리트의 크리프계수 : $\phi_1 = 2$
- 건조수축에 의한 응력계산시 바닥판 콘크리트의 크리프계수 : $\phi_2 = 1.5 \cdot \phi_1 = 1.5 \times 2 = 3$
- 바닥판 콘크리트의 건조수축계수 (최종수축율) : $\epsilon_s = 0.0002$
- 바닥판 콘크리트와 강재의 선팽창계수 : $\alpha = 1E-05$
- 바닥판 콘크리트와 강재들보와의 온도차 : $10 \text{ }^\circ\text{C}$
- 콘크리트의 허용 휨 압축응력 : $f_{ca} = 0.3 \times f_{ck} = 6.3 \text{ MPa}$

⑥ 참고문헌

- | | |
|-----------------------|------------|
| ① 철도설계기준(노반편) 2016 | - 한국철도시설공단 |
| ② 철도설계편람(토목편) 2011 | - 한국철도시설공단 |
| ③ 철도공사전문시방서(토목편) 2004 | - 철도청 |
| ④ 콘크리트 구조기준 2012 | - 국토해양부 |
| ⑤ 도로교 설계기준 2010 | - 국토해양부 |
| ⑥ 강도로교 상세부 설계지침 | - 국토해양부 |
| ⑦ 강구조편람 | - 한국강구조학회 |
| ⑧ 강교설계자료 | |
| ⑨ 강교설계의 기초 | |

(2) 횡단면도 및 평면도



평 면 도

(3) 바닥판 검토

① 중 앙 부

㉠ 바닥판 최소두께 검토

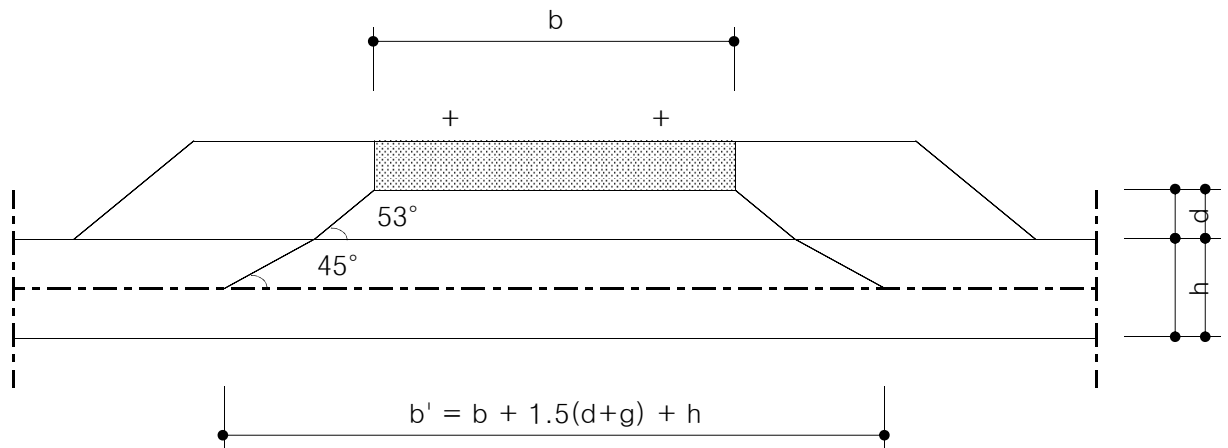
바닥판 지간이 궤도 진행방향에 직각일때의 단순판

$$t_{min} = \text{MAX} [40L + 110 = 40 \times 2.200 + 110 = 198 , 200] = 200 \text{ mm}$$

$$t_{used} = 200 \text{ mm} = t_{min} = 200 \text{ mm} \quad \text{O.K}$$

㉡ 하중 및 단면력 산정

－ 분포폭 산정



$$b' = b + 1.5 (d + g) + h = 2.40 + 1.5 (0.35 + 0) + 0.2 = 3.125 \text{ m}$$

a : 축 거

b' : 교축직각방향 분포폭 (m)

b : 침목길이 (m)

d : 침목하단 도상의 길이 (m)

g : 방수공 지름 (m)

h : 바닥판 두께 (m)

※ P 하중의 축거 a = 2.100 m

㉢ 고정하중

· 바닥판	:	0.200 × 24.5	=	4.900 kN/m ²
· 경사조정	:	0.000 × 23.0	=	0.000 kN/m ²
· 콘크리트 도상	:	0.500 × 24.5 × 1	=	15.925 kN/m ²
· 침목, 레일, 기타	:	3.000 / 3.05 = 3.000 / 3.05	=	0.984 kN/m ²
				Wd = 21.809 kN/m ²

㉔ 활하중

· EL-18 하중

$$W(L+i) = \frac{P(1+i)}{a \cdot b'} = \frac{180 \cdot (1 + 0.670)}{2.100 \times 3.050} = 46.932 \text{ kN/m}^2$$

㉕ 단면력 산정

· 바닥판 최소두께 만족시 전단검토 생략

$$\cdot M_d = W_d \times L^2 / 10 = 21.809 \times 2.200^2 / 10 = 10.556 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\cdot M(L+I) = W(L+i) \times L^2 / 10 = 46.932 \times 2.200^2 / 10 = 22.715 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\cdot M_s = M_d + M(L+I) = 10.556 + 22.715 = 33.271 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\cdot M_u = 1.35 M_d + 1.85 M(L+I) = 1.35 \times 10.556 + 1.85 \times 22.715 = 56.273 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\cdot M_u = 1.6 M_d + 1.6 M(L+I) = 1.6 \times 10.556 + 1.6 \times 22.715 = 53.234 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

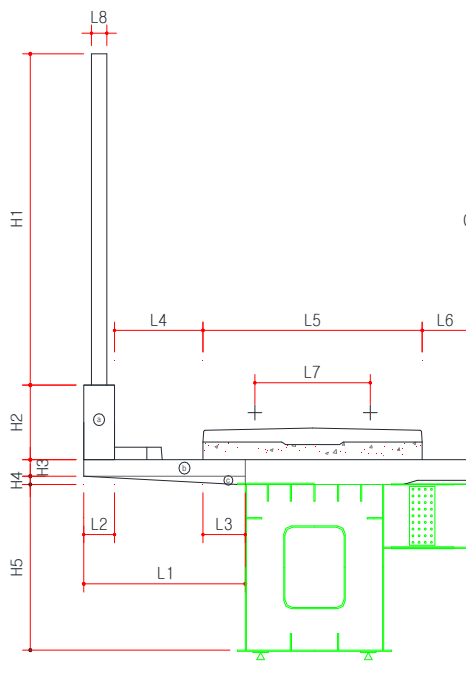
$$\text{사용하중}(M) = 33.271 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m} \quad \text{계수하중}(M_u) = 56.273 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

② 캔틸레버부

㉖ 바닥판 최소두께 검토

$$t_{\text{used}} = 300 \text{ mm} > t_{\text{min}} = 140 \text{ mm} \quad \text{---O.K---}$$

㉗ 단면 치수



$$H1 = 3.0 \text{ m}$$

$$H2 = 1.0 \text{ m}$$

$$H3 = 0.2 \text{ m}$$

$$H4 = 0.1 \text{ m}$$

$$H5 = 2.0 \text{ m}$$

$$L1 = 2.1 \text{ m}$$

$$L2 = 0.4 \text{ m}$$

$$L3 = 0.6 \text{ m}$$

$$L4 = 1.2 \text{ m}$$

$$L5 = 2.9 \text{ m}$$

$$L6 = 0.6 \text{ m}$$

$$L7 = 1.5 \text{ m}$$

$$L8 = 0.2 \text{ m}$$

㉔ 고정하중

구분	Wd (kN / m)				X (m)	Md (kN · m/m)
㉑ 방음벽	2.690	=	2.690		1.900	5.111
㉒ 방음벽	0.400 × 1.000 × 24.5	=	9.800		1.900	18.620
㉓ 슬래브㉑	2.100 × 0.200 × 24.5	=	10.290		1.050	10.805
㉔ 슬래브㉒	2.100 × 0.100 × 24.5 × 0.5	=	2.573		0.700	1.801
㉕ 콘크리트도상	0.550 × 0.150 × 24.5	=	2.021		0.275	0.556
계	27.374					36.893

㉕ 활하중 : (균중하중+방음벽 추력)

구분	Wd (kN / m)				X (m)	Md (kN · m/m)
· 균중하중	0.6 × 5.00	=	3.000		1.125	3.375

$$= 3.375 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

㉖ 풍하중

구분	Wd (kN / m)				X (m)	Md (kN · m/m)
· 방음벽	3.0 × 3.00	=	9.000		2.000	18.000

㉗ 단면력 산정

· 바닥판 최소두께 만족시 전단검토 생략

$$\cdot M_s = M_d + M_L + i$$

$$= 36.893 + 3.375 + 18.000 = 58.268 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

하중조합

$$\text{CASE 1 } 1.35 \times 36.893 + 1.85 \times 3.375 = 56.049 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\text{CASE 2 } 1.6 \times 36.893 + 1.6 \times 3.375 = 64.429 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\text{CASE 3 } 1.35 \times 36.893 + 1.35 \times 18.000 = 74.106 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\text{CASE 4 } 1.35 \times 36.893 + 1.40 \times 3.375 + 0.68 \times 18.000 = 66.771 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

$$\text{사용하중(M)} = 58.268 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m} \quad \text{계수하중(Mu)} = 74.106 \text{ kN} \cdot \text{m} / \text{m}$$

◆ 검토단면 : 캔틸레버부

● 설계조건

$M_u = 74.106 \text{ kN} \cdot \text{m}$			
○ 단면두께(H) :	300 mm	○ 콘크리트 설계기준강도(fck):	21 MPa
○ 피복두께(dc) :	50 mm	○ 철근의 항복강도 (fy) :	240 MPa
○ 단면 폭 (b) :	1000 mm	○ 휨강도감소계수 (ϕ) :	0.85

■ 휨철근량 검토

$$a = A_s \cdot f_y / 0.85 \cdot f_{ck} \cdot b = 0.013 A_s$$

$$M_u = \phi f \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$-1.371 A_s^2 + 51000 A_s - 74105550 = 0$$

$$A_s(\text{req}) = 1514.750 \text{ mm}^2$$

$$\text{단면 철근비 : } P = A_s / (b \times d) = 0.0064$$

$$\text{최대 철근비 : } P = 0.75 \times \alpha \times (f_{ck}/f_y) \times (600/(600 + f_y)) = 0.0339$$

$$\text{최소 철근비 : } P = 1.4 / f_y = 0.0058$$

$$A_s(\text{req}) = 1514.750 \text{ mm}^2$$

$$A_s(\text{min}) = 1458.333 \text{ mm}^2$$

$$4/3 \times A_s = 2019.667 \text{ mm}^2$$

※ $A_s = 1514.750 \text{ mm}^2$ 이상 사용하여야 한다.

● 사용 철근량

1 단 사용 :	D 16 mm	공칭단면적 :	198.6 mm ²	C.T.C :	125
----------	---------	---------	-----------------------	---------	-----

$$A_s = 1588.800 \text{ mm}^2$$

-O.K-

$$P = 0.0064 < P_{\text{max}} = 0.0339$$

$$\phi M_n = 0.85 \times A_s \times f_y \times (d - a/2) = 77566923 \text{ N} \cdot \text{mm} = 77.567 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$a = A_s \times f_y / (0.85 \times f_{ck} \times b) = 21.362 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = 77.567 \text{ kN} \cdot \text{m} > 74.106 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

-O.K-

■ 배력 철근량 (A_s') 검토 [철도설계기준 P.143]

- 등분포 하중을 받는 경우

$$\text{필요 배력 철근량 } A_s' = \frac{1514.7}{6} = 252.46 \text{ mm}^2$$

$$\text{- 필요 온도 철근량 : } 0.002 \times 1000 \times 200 = 400.00 \text{ mm}^2$$

$$\text{- Used } A_s = \text{D 13 @ 200} = 126.7 @ 5 \text{ EA} = 633.50 \text{ mm}^2 > 400.00 \text{ mm}^2 \text{ -O.K-}$$

- 배력철근의 간격은 슬래브 유효높이의 3배 이하로 한다

$$250.0 \times 3 = 750.0 \text{ mm} > 200.0 \text{ mm} \text{ -O.K-}$$

■ 전단 검토는 바닥판 최소 두께를 규정 값 이상을 사용하였으므로 생략함

(4) 주형 검토

① 유효폭 산정

㉠ 유효폭 산정식

$$\text{유효폭 } b_e = \lambda_1 + \lambda_2$$

λ_1 : 주거더 중심간의 한쪽편 유효폭

λ_2 : 내민부의 한쪽편 유효폭

♣ 플랜지 유효폭 철도설계기준 (철도교편 P165)

$$b/\ell \leq 0.05 \text{ 인 경우 } \lambda_1, \lambda_2 = b \text{ (전폭유효폭)}$$

$$b/\ell \geq 0.05 \text{ 인 경우 } \lambda_1, \lambda_2 = \{ 1.1 - 2(b/\ell) \} b$$

♣ 바닥판 유효폭 철도설계기준 (철도교편 P181)

$$b/\ell \leq 0.05 \text{ 인 경우 } \lambda_1, \lambda_2 = b \text{ (전폭유효폭)}$$

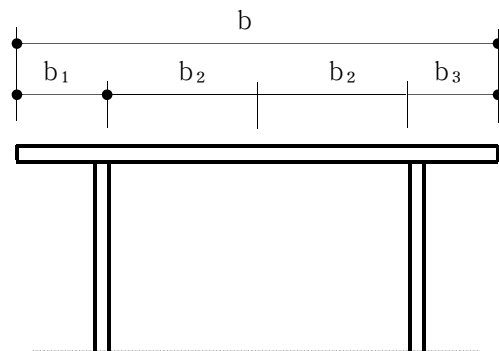
$$0.1 \leq b/\ell < 0.30 \text{ 인 경우 } \lambda_1, \lambda_2 = \{ 1.1 - 2(b/\ell) \} b$$

$$b/\ell \geq 0.30 \text{ 인 경우 } \lambda_1, \lambda_2 = 0.15 \ell$$

㉡ 유효폭 계산

지간장 : 39.900 m

◆ 플랜지 유효폭



$$b1 = 0.100 \text{ m}$$

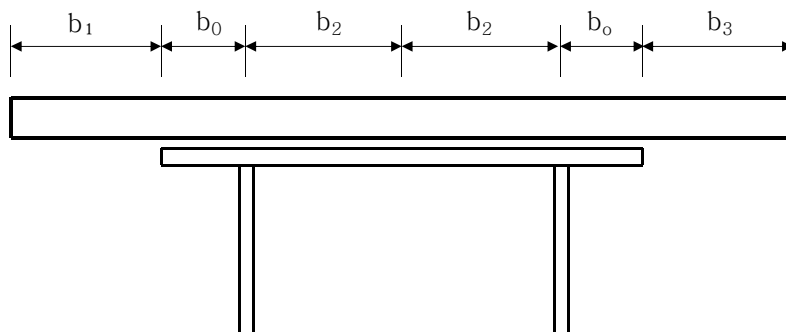
$$b2 = 0.900 \text{ m}$$

$$b3 = 0.100 \text{ m}$$

$$b = 2.000 \text{ m}$$

구 분	ℓ	b1	b_1 / ℓ	λ_1	b2	b_2 / ℓ	λ_2	λL	유효폭비
	39.900	0.100	0.003	0.100	0.900	0.023	0.900	2.000	1.000

◆ 바닥판 유효폭



$$b1 = 2.000 \text{ m}$$

$$b0 = 0.100 \text{ m}$$

$$b2 = 0.900 \text{ m}$$

$$b3 = 1.000 \text{ m}$$

$$B = 5.000 \text{ m}$$

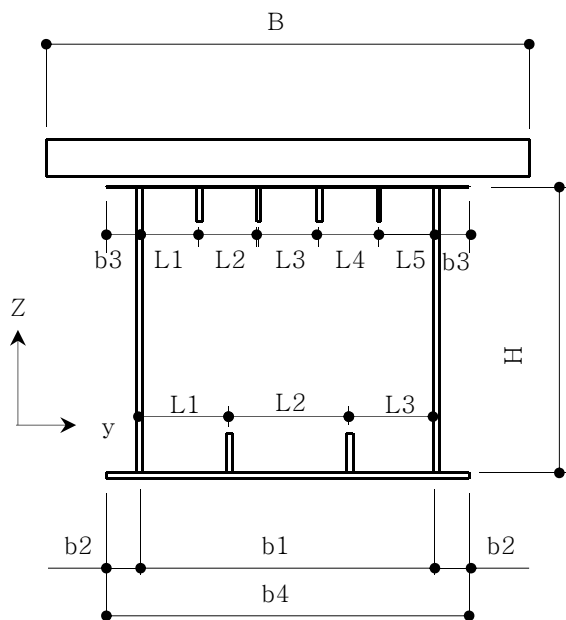
ℓ	b1	b_1 / ℓ	λ_1	b2	b_2 / ℓ	λ_2	b3	b_3 / ℓ	λ_3	λL	유효폭비
39.9	2.000	0.050	1.999	0.900	0.023	0.900	1.000	0.025	1.000	4.999	1.000

② 설계단면

=====

▶ 단 면 내선, 외선

=====



사용강재 : SWS50

b1 : 1800 mm

b2 : 100 mm

b3 : 100 mm

b4 : 2000 mm

현 치 : 100 mm

탄성계수비 : 8

◆ 단면치수

단면	상부슬래브		상부FLANGE		하부FLANGE		WEB		상부RIB				하부RIB			
	B	h	b	t	b	t	H	t	b	t	개	b	t	개	b	t
1	5000	300	2000	15	2000	15	2000	13	180	15	5	180	15	2		
2	5000	300	2000	22	2000	22	2000	13	180	15	5	180	15	2		
3	5000	300	2000	30	2000	30	2000	13	180	15	5	180	15	2		
4	5000	300	2000	30	2000	36	2000	13	180	15	5	180	15	2		
5	5000	300	2000	36	2000	34	2000	13	180	15	5	180	15	2		

◆ 단면제정수

$$I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2)$$

$$I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2)$$

$$\text{비틀림 강성 } k = (4 \times b k^2 \times h k^2) / (2 \times h k / t_w + b k / t_u + b k / t_l)$$

(mm⁴)

단면	합성전 단면			합성후 단면		
	I ₃	I ₂	k	I ₃	I ₂	k
1	93524891141	68684643708	96755681788	204768695431	459309643708	114704200327
2	122643727186	78017977042	112955313276	248650695366	468642977042	126793356627
3	156386845471	88684643708	125079153662	296603724697	479309643708	135588197145
4	169352108713	92684643708	128295566520	329114307077	483309643708	139340488849
5	177368485363	95351310375	130646195676	320614920151	485976310375	139230096628

단면1

상부슬래브	상부FLANGE	하부FLANGE	WEB	상부RIB	하부RIB
B × T	b × t	b × t	h × t	h × t × EA	h × t × EA
5000 × 300	2000 × 15	2000 × 15	2000 × 13	180 × 15 × 5	180 × 15 × 2

합성전

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 FLANGE	30000	2023	60675000	562500	27142863327	10000000000	
상부 RIB	13500	1925	25987500	36450000	9838615620	253125	5400000000
WEB	52000	1015	52780000	17333333333	164883377	732333	42730597000
하부 RIB	5400	105	567000	14580000	5042278761	101250	552960000
하부 FLANGE	30000	8	225000	562500	33950761723	10000000000	
계	130900		140234500	17385488333	76139402807	20001086708	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{140234500}{130900} = 1071 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 17385488333 + 76139402807 = 93524891141 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 20001086708 + 48683557000 = 68684643708 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_l + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 15 / 2 + 15 / 2 = 2015 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore I_k &= \frac{4 \times b^3 \times h^3}{12} \\ &= \frac{4 \times 1813^3 \times 2015^3}{12} \\ &= \frac{2015}{13} + \frac{1813}{15} + \frac{1813}{15} = 96755681788 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

합성후

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 SLAB	1500000	2265		11250000000		3125000000000	
환산상부 SLAB	187500	2265	424687500	1406250000	45156205580	390625000000	
합성전	130900		140234500	17385488333	140820751518	20001086708	
계	318400		564922000	18791738333	185976957098	410626086708	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{564922000}{318400} = 1774 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 18791738333 + 185976957098 = 204768695431 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 410626086708 + 48683557000 = 459309643708 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_1 + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 15 / 2 + 15 / 2 = 2015 \text{ mm}$$

$$t_{cu} = t_u + t_s / n = 15 + 300 / 8 = 53 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore k &= \frac{4 \times b_k^2 \times h_k^2}{2 \times \frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_{cu}} + \frac{b_k}{t_l}} \\ &= \frac{4 \times 1813^2 \times 2015^2}{2 \times \frac{2015}{13} + \frac{1813}{53} + \frac{1813}{15}} = 114704200327 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

단면2

상부슬래브	상부FLANGE	하부FLANGE	WEB	상부RIB	하부RIB
B × T	b × t	b × t	h × t	h × t × EA	h × t × EA
5000 × 300	2000 × 22	2000 × 22	2000 × 13	180 × 15 × 5	180 × 15 × 2

합성전

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 FLANGE	44000	2033	89452000	1774667	40940986084	14666666667	
상부 RIB	13500	1932	26082000	36450000	10068654575	253125	5400000000
WEB	52000	1022	53144000	17333333333	111894405	732333	42730597000
하부 RIB	5400	112	604800	14580000	4939257777	101250	552960000
하부 FLANGE	44000	11	484000	1774667	49195021679	14666666667	
계	158900		169766800	17387912667	105255814520	29334420042	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{169766800}{158900} = 1068 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 17387912667 + 105255814520 = 122643727186 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 29334420042 + 48683557000 = 78017977042 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_l + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 22 / 2 + 22 / 2 = 2022 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore I_k &= \frac{4 \times b^3 \times h^3}{12} \\ &= \frac{4 \times 1813^3 \times 2022^3}{12} \\ &= \frac{2022}{13} + \frac{1813}{22} + \frac{1813}{22} = 112955313276 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

합성후

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 SLAB	1500000	2272		11250000000		3125000000000	
환산상부 SLAB	187500	2272	426000000	1406250000	57156622745	390625000000	
합성전	158900		169766800	17387912667	172699909955	29334420042	
계	346400		595766800	18794162667	229856532700	419959420042	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{595766800}{346400} = 1720 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 18794162667 + 229856532700 = 248650695366 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 419959420042 + 48683557000 = 468642977042 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_l + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 22 / 2 + 22 / 2 = 2022 \text{ mm}$$

$$t_{cu} = t_u + t_s / n = 22 + 300 / 8 = 60 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore k &= \frac{4 \times b_k^2 \times h_k^2}{2 \times \frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_{cu}} + \frac{b_k}{t_l}} \\ &= \frac{4 \times 1813^2 \times 2022^2}{2 \times \frac{2022}{13} + \frac{1813}{60} + \frac{1813}{22}} = 126793356627 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

단면3

상부슬래브	상부FLANGE	하부FLANGE	WEB	상부RIB	하부RIB
B × T	b × t	b × t	h × t	h × t × EA	h × t × EA
5000 × 300	2000 × 30	2000 × 30	2000 × 13	180 × 15 × 5	180 × 15 × 2

합성전

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 FLANGE	60000	2045	122700000	4500000	57200030496	20000000000	
상부 RIB	13500	1940	26190000	36450000	10250783924	253125	5400000000
WEB	52000	1030	53560000	17333333333	77525452	732333	42730597000
하부 RIB	5400	120	648000	14580000	4859267870	101250	552960000
하부 FLANGE	60000	15	900000	4500000	66605874394	20000000000	
계	190900		203998000	17393363333	138993482137	40001086708	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{203998000}{190900} = 1069 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 17393363333 + 138993482137 = 156386845471 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 40001086708 + 48683557000 = 88684643708 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_l + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 30 / 2 + 30 / 2 = 2030 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore k &= \frac{4 \times b^2 \times h^2}{2 \times \frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_u} + \frac{b_k}{t_l}} \\ &= \frac{4 \times 1813^2 \times 2030^2}{2 \times \frac{2030}{13} + \frac{1813}{30} + \frac{1813}{30}} = 125079153662 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

합성후

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 SLAB	1500000	2280		11250000000		3125000000000	
환산상부 SLAB	187500	2280	427500000	1406250000	70028935305	390625000000	
합성전	190900		203998000	17393363333	207775176059	40001086708	
계	378400		631498000	18799613333	277804111364	430626086708	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{631498000}{378400} = 1669 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 18799613333 + 277804111364 = 296603724697 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 430626086708 + 48683557000 = 479309643708 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_1 + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 30 / 2 + 30 / 2 = 2030 \text{ mm}$$

$$t_{cu} = t_u + t_s / n = 30 + 300 / 8 = 68 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore k &= \frac{4 \times b_k^2 \times h_k^2}{2 \times \frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_{cu}} + \frac{b_k}{t_l}} \\ &= \frac{4 \times 1813^2 \times 2030^2}{2 \times \frac{2030}{13} + \frac{1813}{68} + \frac{1813}{30}} = 135588197145 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

단면4

상부슬래브	상부FLANGE	하부FLANGE	WEB	상부RIB	하부RIB
B × T	b × t	b × t	h × t	h × t × EA	h × t × EA
5000 × 300	2000 × 30	2000 × 36	2000 × 13	180 × 15 × 5	180 × 15 × 2

합성전

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 FLANGE	60000	2051	123060000	4500000	64866786926	20000000000	
상부 RIB	13500	1946	26271000	36450000	11796128247	253125	5400000000
WEB	52000	1036	53872000	17333333333	31894176	732333	42730597000
하부 RIB	5400	126	680400	14580000	4231652876	101250	552960000
하부 FLANGE	72000	18	1296000	7776000	71029007155	24000000000	
계	202900		205179400	17396639333	151955469380	44001086708	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{205179400}{202900} = 1011 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 17396639333 + 151955469380 = 169352108713 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 44001086708 + 48683557000 = 92684643708 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_l + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 30 / 2 + 36 / 2 = 2033 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore k &= \frac{4 \times b^2 \times h^2}{2 \times \frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_u} + \frac{b_k}{t_l}} \\ &= \frac{4 \times 1813^2 \times 2033^2}{2 \times \frac{2033}{13} + \frac{1813}{30} + \frac{1813}{36}} = 128295566520 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

합성후

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 SLAB	1500000	2286		11250000000		3125000000000	
환산상부 SLAB	187500	2286	428625000	1406250000	82301285663	390625000000	
합성전	202900		205179400	17396639333	228010132080	44001086708	
계	390400		633804400	18802889333	310311417744	434626086708	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{633804400}{390400} = 1623 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 18802889333 + 310311417744 = 329114307077 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 434626086708 + 48683557000 = 483309643708 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_1 + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 30 / 2 + 36 / 2 = 2033 \text{ mm}$$

$$t_{cu} = t_u + t_s / n = 30 + 300 / 8 = 68 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore k &= \frac{4 \times b_k^2 \times h_k^2}{2 \times \frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_{cu}} + \frac{b_k}{t_l}} \\ &= \frac{4 \times 1813^2 \times 2033^2}{2 \times \frac{2033}{13} + \frac{1813}{68} + \frac{1813}{36}} = 139340488849 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

단면5

상부슬래브	상부FLANGE	하부FLANGE	WEB	상부RIB	하부RIB
B × T	b × t	b × t	h × t	h × t × EA	h × t × EA
5000 × 300	2000 × 36	2000 × 34	2000 × 13	180 × 15 × 5	180 × 15 × 2

합성전

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 FLANGE	72000	2052	147744000	7776000	66828771632	24000000000	
상부 RIB	13500	1944	26244000	36450000	9878527039	253125	5400000000
WEB	52000	1034	53768000	17333333333	154908872	732333	42730597000
하부 RIB	5400	124	669600	14580000	5024242565	101250	552960000
하부 FLANGE	68000	17	1156000	6550667	78083345254	22666666667	
계	210900		229581600	17398690000	159969795363	46667753375	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{229581600}{210900} = 1089 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 17398690000 + 159969795363 = 177368485363 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 46667753375 + 48683557000 = 95351310375 \text{ mm}^4$$

$$b_k = b_l + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 36 / 2 + 34 / 2 = 2035 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore k &= \frac{4 \times b^2 \times h^2}{2 \times \frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_u} + \frac{b_k}{t_l}} \\ &= \frac{4 \times 1813^2 \times 2035^2}{2 \times \frac{2035}{13} + \frac{1813}{36} + \frac{1813}{34}} = 130646195676 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

합성후

구 분	A mm ²	y mm	A × y mm ³	I _{ox} mm ⁴	A × (y - Y) ² mm ⁴	I _{oy} mm ⁴	A × (x - X _s) ² mm ⁴
상부 SLAB	1500000	2284		11250000000		3125000000000	
환산상부 SLAB	187500	2284	428250000	1406250000	75085579748	390625000000	
합성전	210900		229581600	17398690000	226724400402	46667753375	
계	398400		657831600	18804940000	301809980151	437292753375	48683557000

$$Y_s \text{ (하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리)} = \frac{\sum (A \times y)}{\sum A} = \frac{657831600}{398400} = 1651 \text{ mm}$$

$$\therefore I_3 = I_{ox} + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 18804940000 + 301809980151 = 320614920151 \text{ mm}^4$$

$$\therefore I_2 = I_{oy} + \sum (A_s \times (x - X_s)^2) = 437292753375 + 48683557000 = 485976310375 \text{ mm}^4$$

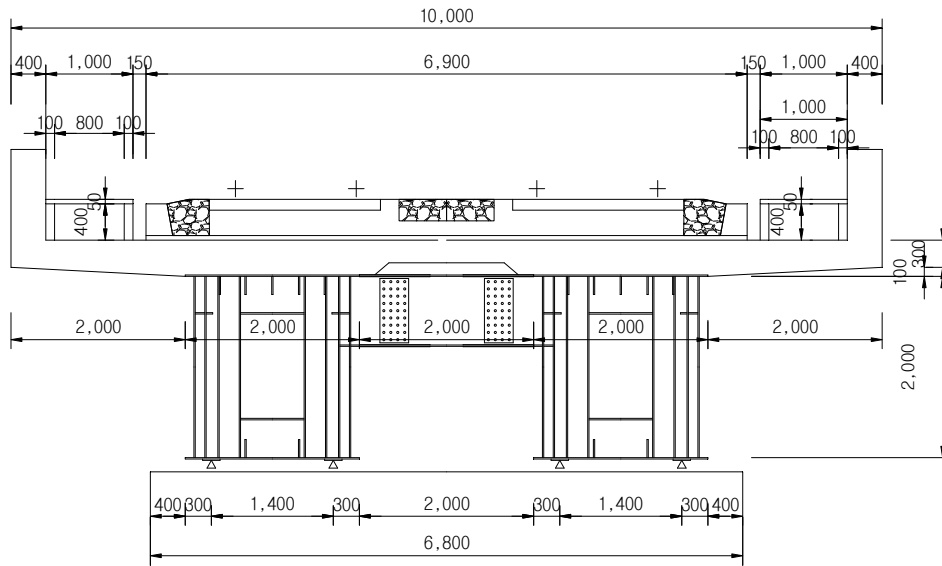
$$b_k = b_1 + t_w / 2 \times 2 = 1800 + 13 / 2 \times 2 = 1813 \text{ mm}$$

$$h_k = h_w + t_u / 2 + t_l / 2 = 2000 + 36 / 2 + 34 / 2 = 2035 \text{ mm}$$

$$t_{cu} = t_u + t_s / n = 36 + 300 / 8 = 74 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \therefore I_k &= \frac{4 \times b_k^3 \times h_k^3}{12 \times \left(\frac{h_k}{t_w} + \frac{b_k}{t_{cu}} + \frac{b_k}{t_l} \right)} \\ &= \frac{4 \times 1813^3 \times 2035^3}{12 \times \left(\frac{2035}{13} + \frac{1813}{74} + \frac{1813}{34} \right)} = 139230096628 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

③ 하중계산



㉠ 합성전 고정하중

- 횡방향 하중 분배에 의한 분배하중 재하

(가) 강재중량

- 주부재 : Program내 자동계산 (상하연 플랜지 및 복부판, 종리브, 가로보)
- 부부재 : 주부재의 14% 가정

사용강재 총중량 / 주부재강재 총중량

$$= 5029.438 / 4419.896 = 1.14 \rightarrow 14 \%$$

㉡ 합성후 고정하중

(가) 콘크리트 도상

$$W_b = 0.500 \times 24.5 \times = 12.250 \text{ kN/m}^2$$

(나) 궤도(레일 및 침목)

$$W_r = 4.500 \text{ kN/m}$$

→ 주형의 중심에 직접 재하, 직결궤도의 최소중량 적용(도시철도기술자료집 참조)

(다) 방음벽 : 2.690 kN/m

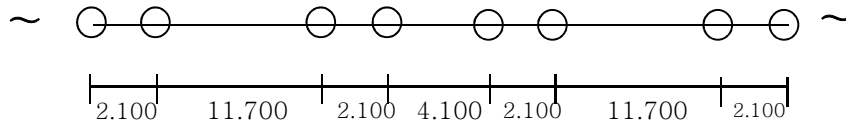
$$\text{방음벽 기초} : 1.000 \times 24.5 \times = 24.500 \text{ kN/m}^2$$

$$(라) \text{ 자갈막이} : 0.200 \times 24.5 \times = 4.900 \text{ kN/m}^2$$

$$(마) \text{ 점검박스} : 4.170 \text{ kN/m}$$

㉔ 활 하 중

(가) 주형의 중심에 EL-18(10량 편성) MOVING LOAD 재하.



(나) 균중하중 : 5.000 kN/m

㉕ 풍 하 중

활하중 재하시 (S.T BOX단면검토시 활하중재하시 단면력이필요하므로 활하중비재하시

풍하중단면력산출은 생략함)

- 교량의 연직투사면에 작용하는 하중

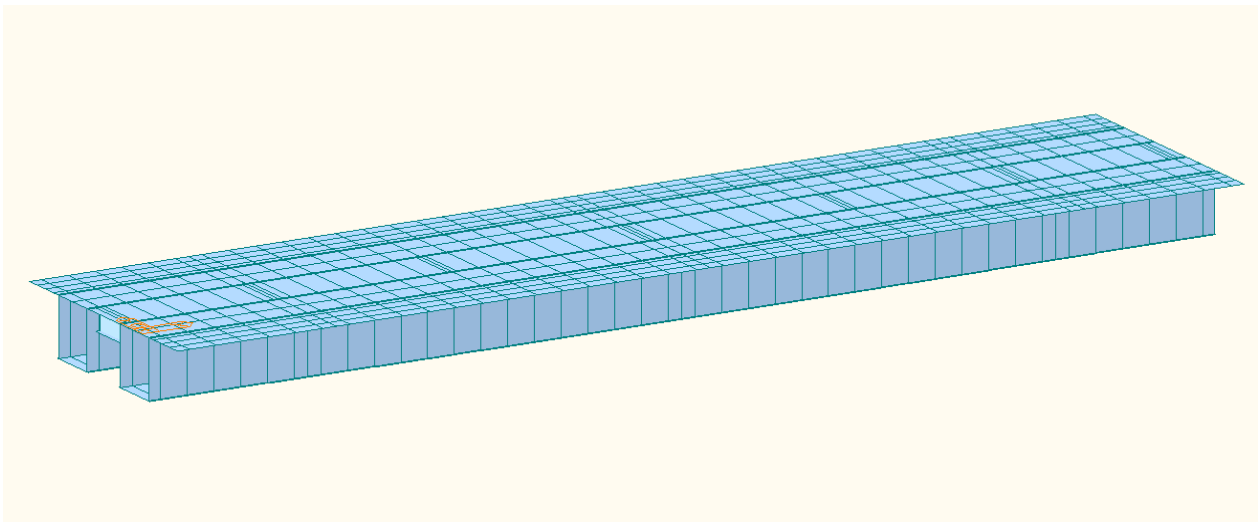
$$Ww1 = 1.500 \text{ kN/m}^2$$

$$Pw1 = 1.500 \times 6.300 = 9.450 \text{ kN/m}$$

$$Hw1 = 6.300 / 2 - 2.000 / 2 = 2.150 \text{ m}$$

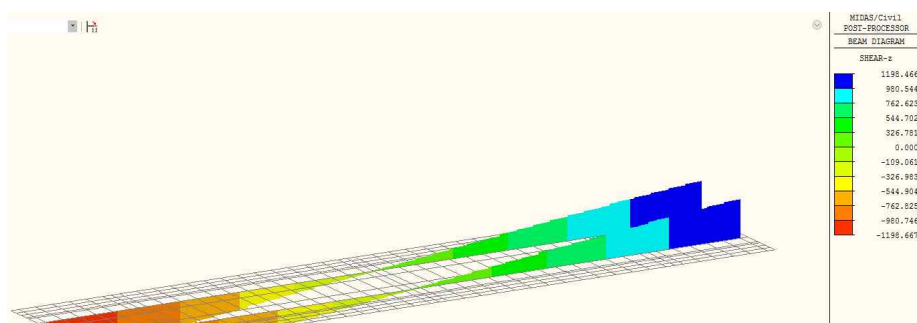
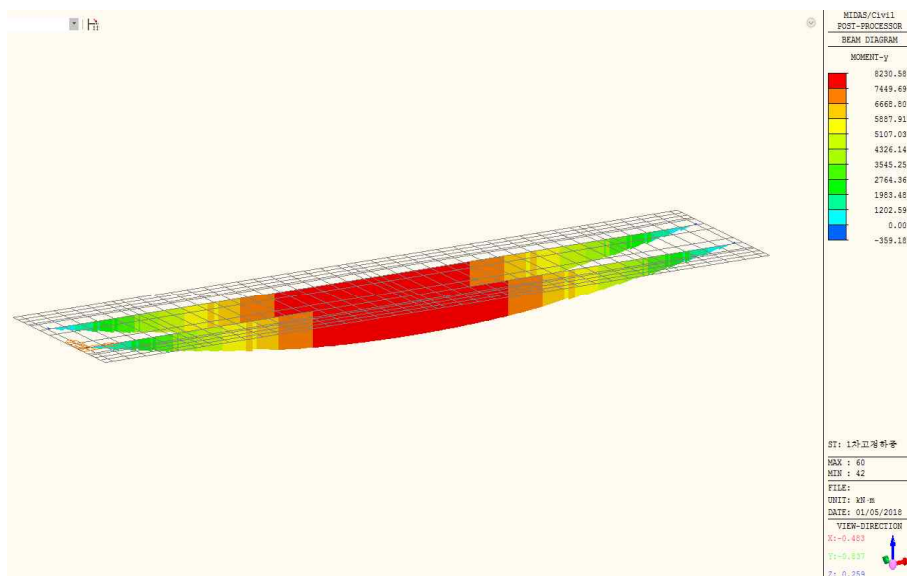
$$Mw1 = 9.450 \times 2.15 = 20.318 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

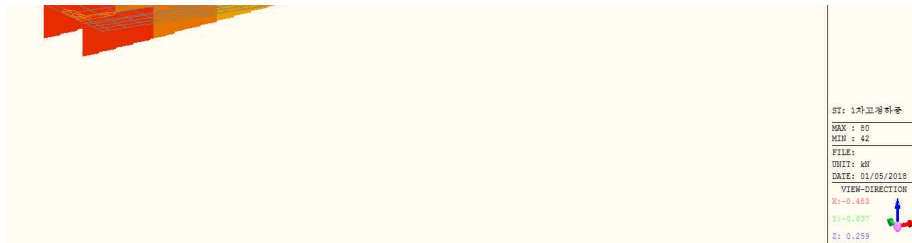
④ 모델링



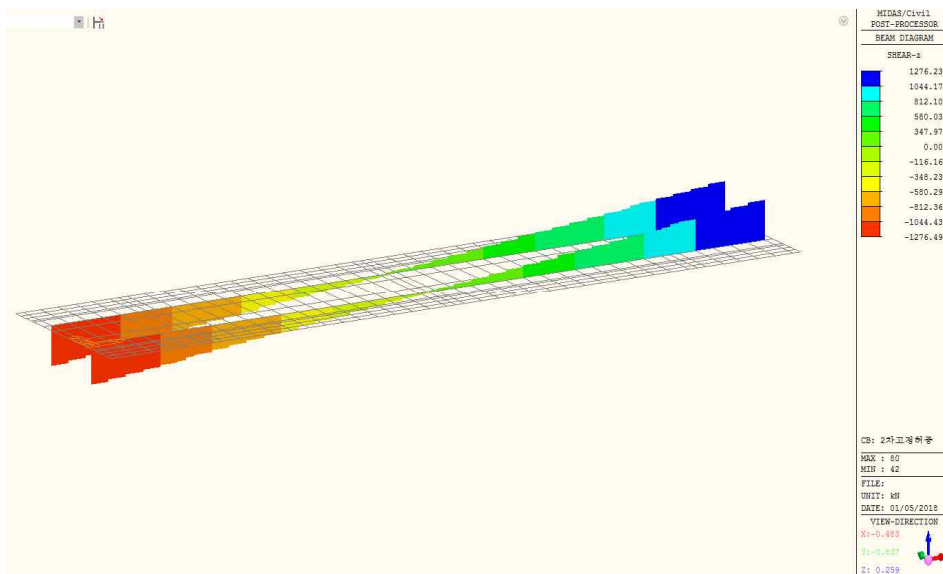
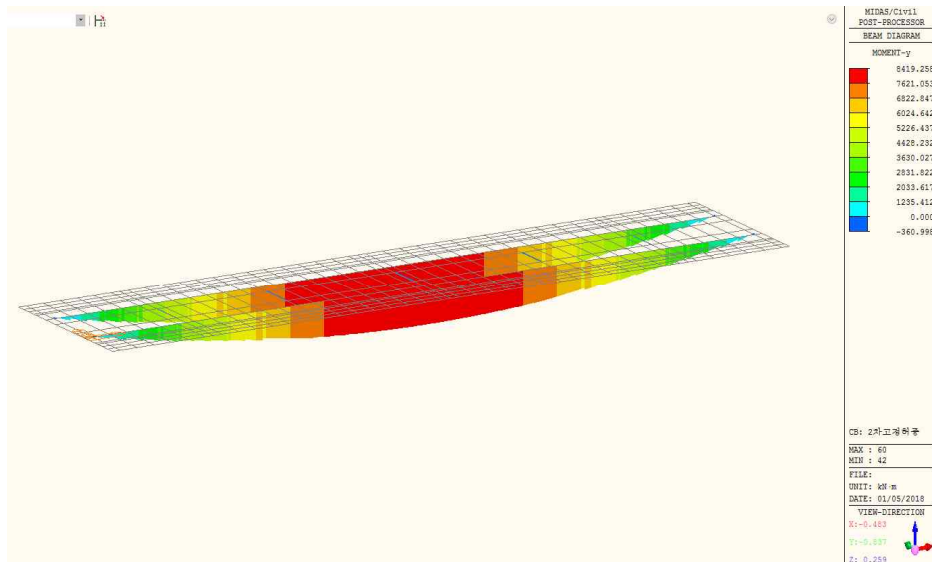
⑤ 단면력도

㉠ 합성전 고정하중

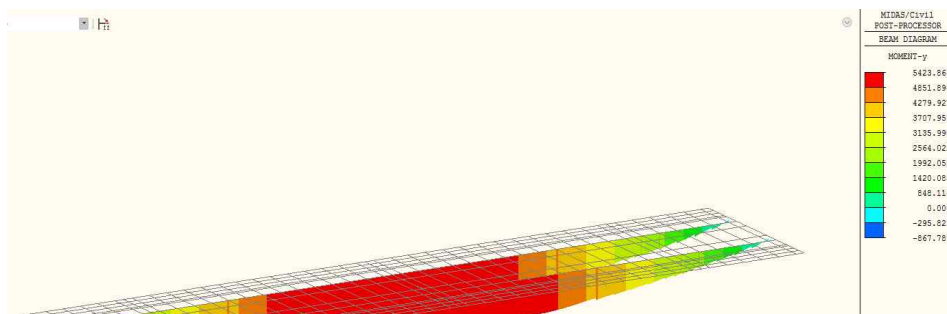


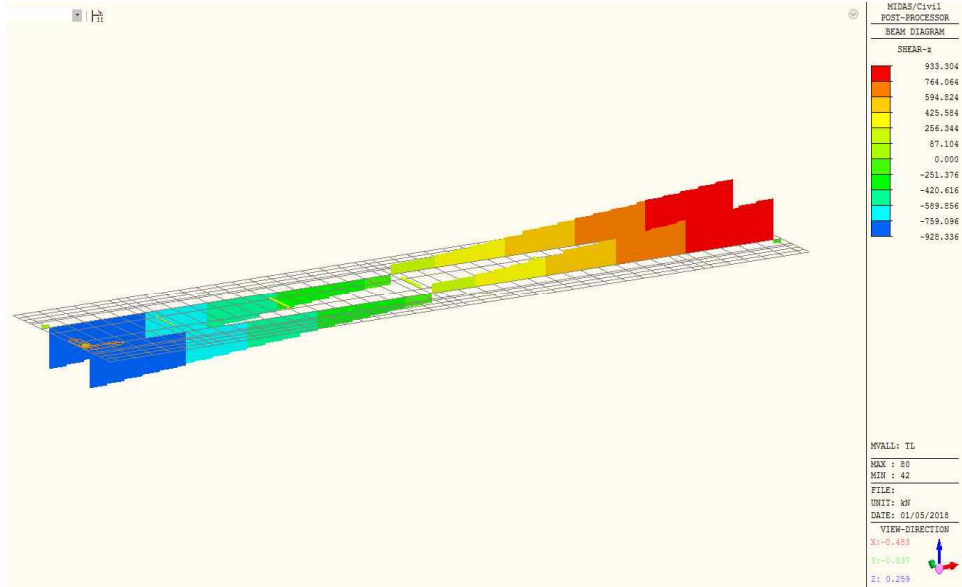
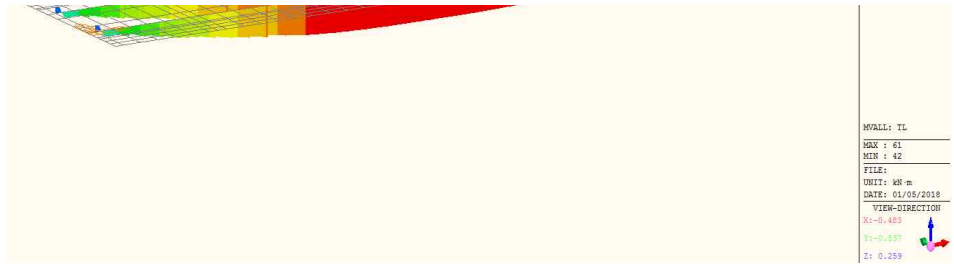


㉠ 합성후 고정 하중



㉡ 활 하 중



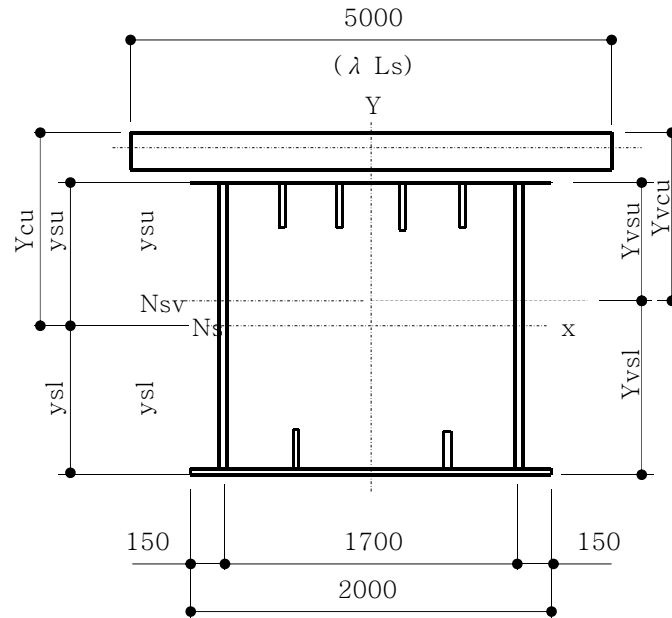


⑥ 응력 검토

=====

▶ 단면 최대 정모멘트부

=====



· 사 용 강 재	SWS50
· 슬래브 유효폭 (λL_s)	5000 mm
· 슬래브 두께 (ts)	250 mm
· 현 치 (th)	50 mm
· 상연플랜지 폭 (bfu)	2000 mm
· 상연플랜지 두께 (tu)	36 mm
· 상연종리브 두께	15 mm
· 상연종리브 높이	180 mm
· 상연종리브 개수	5 EA
· 웨브 두께 (tw)	13 mm
· 웨브 높이 (hw)	2000 mm
· 웨브 개수	2 EA
· 하연종리브 두께	15 mm
· 하연종리브 높이	180 mm
· 하연종리브 개수	2 EA

· 하연플랜지 폭 (bfs)	2000 mm
· 하연플랜지 두께 (tl)	34 mm
· 2차 모멘트 계수 (k)	1.000
· 설계기준강도 fck	21 MPa
· 강의 탄성계수 Est	205000 MPa
· 콘크리트 탄성계수 Ec	26115 MPa
· $n = E_{st} / E_c$	8
· 크리프계수 (φ_1)	2
· 건조수축계수 (φ_2)	$1.5 \times \varphi_1 = 3$
· 온도차 (ΔT)	10 °C
· 온도팽창율 (α)	0.000012
· 건조수축율 (ϵ_s)	0.0002
· 강재 허용응력 (f _{sa})	190 MPa
· 강재 항복응력 (f _{sa})	315 MPa
· 강재 전단응력 (V _{sa})	105 MPa

■ 설계 단면력 (전산 OUTPUT 참조)

(My)

구 분	휨모멘트 (kN.m)	전단력 (kN)	TORSION(kN.m)
합성전고정하중(Md1)	8230.580	59.760	23.690
합성후고정하중(Md2)	8419.260	83.370	20.630
활하중(MI1)	5423.660	235.980	159.920
충격(Mi)	0.000	0.000	0.000
활하중+충격	5423.660	235.980	159.920
장대레일중하중(Mlr)	0.000	0.000	0.000
풍 하 중(Mw)	5.360	2.220	10.830

(Mz)

구 분	휨모멘트 (kN.m)
풍 하 중(Mw)	39.920

■ 단면 제원

단 면	b (mm)	h (mm)	A (mm ²)	y (mm)	A × y (mm ³)	I ₀ (mm ⁴)	A × (y - Y _s) ² (mm ⁴)
UPPER FLANGE 1 - 2000 × 36	2000	36	72000	2052	147744000	7776000	66828771632
UPPER RIB 5 - 180 × 15	15	180	13500	1944	26244000	36450000	9878527039
WEB PLATE 2 - 2000 × 13	13	2000	52000	1034	53768000	17333333333	154908872
LOW RIB 2 - 180 × 15	15	180	5400	124	669600	14580000	5024242565
LOW FLANGE 1 - 2000 × 34	2000	34	68000	17	1156000	6550667	78083345254
TOTAL			As = 210900		229581600	17398690000	159969795363
R.C SLAB (n = 8)	5000	300	Ac/n = 187500			Ic/n = 1406250000	

㉠ 합성전

$$Y_s \quad (\text{하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리}) = \frac{A \times y}{A} = \frac{229581600}{210900} = 1088.58 \text{ mm}$$

$$\therefore I_s = I_o + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 17398690000 + 159969795363 = 177368485363 \text{ mm}^4$$

하부플랜지하면	상부플랜지상면	상부슬래브상면	상부슬래브중심	상부슬래브하면	슬래브상면철근	슬래브하면철근
Ysl	Ysu	Ycu	Ycc	Ycl	Ycru	Ycrl
1088.58	-981.42					

$$f_{su} = \frac{M_{d1}}{I_s} \times Y_{su} = \frac{8230.58 \times 1.00E+06}{177368485363} \times -981.42 = -45.542 \text{ MPa}$$

$$f_{sl} = \frac{M_{d1}}{I_s} \times Y_{sl} = \frac{8230.58 \times 1.00E+06}{177368485363} \times 1088.58 = 50.514 \text{ MPa}$$

㉡ 합성후

구 분	A (mm ²)	y (mm)	A × y (mm ³)	I _o (mm ⁴)	A × (y - Y _s) ² (mm ⁴)
상부슬래브	1500000				
환산상부슬래브	187500	2234	418875000	1406250000	68935831051
합 성 전	210900		229581600	17398690000	221256985131
계	398400		648456600	18804940000	290192816182

$$Y_v \quad (\text{하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리}) = \frac{A \times y}{A} = \frac{648456600}{398400} = 1627.65 \text{ mm}$$

$$\therefore I_v = I_o + \sum (A_s \times (y - Y_s)^2) = 18804940000 + 290192816182 = 308997756182 \text{ mm}^4$$

하부플랜지하면	상부플랜지상면	상부슬래브상면	상부슬래브중심	상부슬래브하면	슬래브상면철근	슬래브하면철근
Yvsl	Yvsu	Yvcu	Yvcc	Yvcl	Yvcru	Yvcrl
1627.65	-442.35	-756.35	-606.35	-456.35	-666.35	-496.35

- 상면철근피복두께 (td) : 90 mm (슬래브에서 상면철근까지 거리)
- 하면철근피복두께 (td) : 40 mm

- 고정하중

$$f_{vcru} = \frac{M_{d2}}{I_v \times n} \times Y_{vcru} = \frac{8419.26 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -756.35 = -2.576 \text{ MPa}$$

$$f_{vcrl} = \frac{M_{d2}}{I_v \times n} \times Y_{vcrl} = \frac{8419.26 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -456.35 = -1.554 \text{ MPa}$$

$$f_{vsu} = \frac{M_{d2}}{I_v} \times Y_{vsu} = \frac{8419.26 \times 1.00E+06}{308997756182} \times -442.35 = -12.053 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = \frac{M_{d2}}{I_v} \times Y_{vsl} = \frac{8419.26 \times 1.00E+06}{308997756182} \times 1627.65 = 44.349 \text{ MPa}$$

- 활하중 + 충격하중

$$\begin{aligned}
 f_{vcru} &= \frac{M_{i+1}}{I_v \times n} \times Y_{vcru} = \frac{5423.66 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -756.35 = -1.659 \text{ MPa} \\
 f_{vcrl} &= \frac{M_{i+1}}{I_v \times n} \times Y_{vcrl} = \frac{5423.66 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -456.35 = -1.001 \text{ MPa} \\
 f_{vsu} &= \frac{M_{i+1}}{I_v} \times Y_{vsu} = \frac{5423.66 \times 1.00E+06}{308997756182} \times -442.35 = -7.764 \text{ MPa} \\
 f_{vsl} &= \frac{M_{i+1}}{I_v} \times Y_{vsl} = \frac{5423.66 \times 1.00E+06}{308997756182} \times 1627.65 = 28.569 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 장대레일중하중

$$\begin{aligned}
 f_{vcru} &= \frac{M_{i+1}}{I_v \times n} \times Y_{vcru} = \frac{0.00 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -756.35 = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{vcrl} &= \frac{M_{i+1}}{I_v \times n} \times Y_{vcrl} = \frac{0.00 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -456.35 = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{vsu} &= \frac{M_{i+1}}{I_v} \times Y_{vsu} = \frac{0.00 \times 1.00E+06}{308997756182} \times -442.35 = 0.000 \text{ MPa} \\
 f_{vsl} &= \frac{M_{i+1}}{I_v} \times Y_{vsl} = \frac{0.00 \times 1.00E+06}{308997756182} \times 1627.65 = 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 풍하중

$$\begin{aligned}
 f_{vcru} &= \frac{M_w}{I_v \times n} \times Y_{vcru} = \frac{5.36 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -756.35 = -0.002 \text{ MPa} \\
 f_{vcrl} &= \frac{M_w}{I_v \times n} \times Y_{vcrl} = \frac{5.36 \times 1.00E+06}{308997756182 \times 8} \times -456.35 = -0.001 \text{ MPa} \\
 f_{vsu} &= \frac{M_w}{I_v} \times Y_{vsu} = \frac{5.36 \times 1.00E+06}{308997756182} \times -442.35 = -0.008 \text{ MPa} \\
 f_{vsl} &= \frac{M_w}{I_v} \times Y_{vsl} = \frac{5.36 \times 1.00E+06}{308997756182} \times 1627.65 = 0.028 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

㉔ 크리프에 의한 응력

제원 산정

· 합성단면으로서 바닥판콘크리트에 지속하중이 작용하는 경우 크리이프계수: $\phi 1 = 2.0$

· 환산 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \phi 1 / 1) = 8 \times (1 + 2.0 / 1) = 24$

구 분	A (mm ²)	y (mm)	A × y (mm ³)	Io (mm ⁴)	A × (y-Ys) ² (mm ⁴)
합 성 전	210900		229581600	17398690000	174429813493
상부슬래브	1500000			11250000000	
환산상부슬래브	62500	2234	139625000	468750000	48793885179
계	273400		369206600	17867440000	223223698672

$$Y_{v1} \quad (\text{하부플랜지하면에서 중립축까지의 거리}) = \frac{A \times y}{A} = \frac{369206600}{273400} = 1350.43 \text{ mm}$$

$$\therefore I_v = I_o + \Sigma (A_s \times (y - Y_s)^2) = 17867440000 + 223223698672 = 241091138672 \text{ mm}^4$$

하부플랜지하면	상부플랜지상면	상부슬래브상면	상부슬래브중심	상부슬래브하면	슬래브상면철근	슬래브하면철근
Y_{lvsl}	$Y_{lv su}$	$Y_{lv cu}$	$Y_{lv cc}$	$Y_{lv cl}$	$Y_{lv cru}$	$Y_{lv crl}$
1350.43	-719.57	-1033.57	-883.57	-733.57	-943.57	-773.57

$$N_{\phi 1} = \frac{M_{d2}}{n \times I_v} \times Y_{vcc} \times A_c = \frac{8419.26 \times 1.00E+06}{8 \times 308997756182} - 606.35 \times 1250000$$

$$= -2581431 \text{ N}$$

$$P_{\phi 1} = N_{\phi 1} \times \frac{2 \times \phi 1}{2 + \phi 1} = -2581430.835 \times \frac{2 \times 2.0}{2 + 2.0} = -2581431 \text{ N}$$

$$M_{\phi 1} = P_{\phi 1} \times \left(Y_{lvcc} + \frac{\gamma^2}{Y_{vcc}} \right) = -2581431 \times \left(-883.57 + \frac{1}{-606.35} \times \frac{11250000000}{1250000} \right)$$

$$= 2319200011.6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\Delta f_{cu} = \frac{1}{n_1} \times \left(\frac{P_{\phi 1}}{A_{v1}} + \frac{k \times M_{\phi 1}}{I_{v1}} \times Y_{lv cu} \right) - f_{vcu}$$

$$= \frac{1}{24} \times \left(\frac{-2581431}{273400} + \frac{1.000 \times 2319200011.6}{241091138672} \times -1033.57 \right) - (-2.576)$$

$$= 1.768 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{cl} = \frac{1}{n_1} \times \left(\frac{P_{\phi 1}}{A_{v1}} + \frac{k \times M_{\phi 1}}{I_{v1}} \times Y_{lv cl} \right) - f_{vcl}$$

$$= \frac{1}{24} \times \left(\frac{-2581431}{273400} + \frac{1.000 \times 2319200011.6}{241091138672} \times -733.57 \right) - (-1.554)$$

$$= 0.867 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{su} = \frac{P_{\phi 1}}{A_{v1}} + \frac{k \times M_{\phi 1}}{I_{v1}} \times Y_{lv su} = \frac{-2581431}{273400} + \frac{1.000 \times 2319200011.6}{241091138672} \times -719.57$$

$$= -16.364 \text{ MPa}$$

$$\Delta f_{sl} = \frac{P_{\phi 1}}{A_{v1}} + \frac{k \times M_{\phi 1}}{I_{v1}} \times Y_{lv sl} = \frac{-2581431}{273400} + \frac{1.000 \times 2319200011.6}{241091138672} \times 1350.43$$

$$= 3.549 \text{ MPa}$$

㉔ 건조수축에 의한 응력

· 바닥판콘크리트의 건조수축계수 (최종수축률) : $\epsilon_s = 0.00020$

· 재령에 의한 보정 크리이프계수 : $\phi 2 = 1.5 \cdot \phi 1 = 1.5 \times 2.0 = 3.0$

$$\cdot \text{ 환산 탄성계수비 : } n_2 = n \times (1 + \varphi^2/2) = 8 \times (1 + 3.0/2) = 20.0$$

$$\begin{aligned} \cdot Nc\phi_2 &= \frac{\frac{\epsilon_s}{n_2} + \frac{1}{A_s} + \frac{\epsilon_s}{I_c + n_2 \times I_s} \times d^2}{0.00020 \times 205000} \\ &= \frac{20}{1250000} + \frac{1}{210900} + \frac{20 \times 1145.42^2}{11250000000 + 20 \times 177368485363} = 1458288 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\cdot Nc\phi_2 = -Nc\phi_2 = -1458288 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \cdot Mc\phi_2 &= \frac{I_c}{I_c + n_2 \times I_s} \times Nc\phi_2 \times d \\ &= \frac{11250000000}{11250000000 + 20 \times 177368485363} \times 1458288 \times 1145.42 = 5280548.0 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot Ms\phi_2 &= \frac{n_2 \times I_s}{I_c + n_2 \times I_s} \times Nc\phi_2 \times d \\ &= \frac{20.000 \times 177368485363}{11250000000 + 20 \times 177368485363} \times 1458288.442 \times 1145.420 = 1665071659.5 \text{ N} \cdot \text{mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{cu} &= \frac{Nc\phi_2}{A_c} - \frac{k \times Mc\phi_2}{I_c} \times Y_{cu} = \frac{1458288}{1250000} - \frac{1.000 \times 5280548.0}{11250000000} \times 150 \\ &= 1.096 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{cl} &= \frac{Nc\phi_2}{A_c} + \frac{k \times Mc\phi_2}{I_c} \times Y_{cl} = \frac{1458288}{1250000} + \frac{1.000 \times 5280548.0}{11250000000} \times 200 \\ &= 1.261 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{su} &= \frac{Ns\phi_2}{A_s} - \frac{k \times Ms\phi_2}{I_s} \times Y_{su} = \frac{-1458288}{210900} + \frac{1.000 \times 1665071659.5}{177368485363} \times -981.42 \\ &= -16.128 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sl} &= \frac{Ns\phi_2}{A_s} + \frac{k \times Ms\phi_2}{I_s} \times Y_{sl} = \frac{-1458288}{210900} + \frac{1.000 \times 1665071659.5}{177368485363} \times 1088.58 \\ &= 3.305 \text{ MPa} \end{aligned}$$

㊤ 온도차에 의한 응력

$$\cdot \text{ 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차 : } \Delta T = 10 \text{ } ^\circ \text{C}$$

$$\cdot \text{ 선팽창계수 : } \alpha = 0.000012$$

$$\cdot \text{ 변 형 량 : } \epsilon_t = \alpha \cdot \Delta T = 0.000012 \times 10 = 0.00012$$

$$\begin{aligned} \cdot N_{ct} &= \frac{\frac{\alpha}{n} \times (\pm t) \times E_s}{\frac{n}{A_c} + \frac{1}{A_s} + \frac{n \times d^2}{I_c + n \times I_s}} \\ &= \frac{1.20E-05 \times (\pm 10) \times 205000}{\frac{8}{1250000} + \frac{1}{210900} + \frac{8 \times 1145.42^2}{11250000000 + 8 \times 177368485363}} = \pm 1331144 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\cdot N_{st} &= -N_{ct} = -1331144 \text{ N} \\
\cdot M_{ct} &= \frac{I_c}{I_c + n \times I_s} \times N_{ct} \times d \\
&= \frac{11250000000}{11250000000 + 8 \times 177368485363} \times 1331144 \times 1145.42 = \pm 11993499.2 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
\cdot M_{st} &= \frac{n \times I_s}{I_c + n \times I_s} \times N_{ct} \times d \\
&= \frac{8 \times 177368485363}{11250000000 + 8 \times 177368485363} \times 1331144 \times 1145.42 = \pm 1512724476.6 \text{ N} \cdot \text{mm} \\
\cdot f_{cu} &= \frac{N_c}{A_c} - \frac{k \times M_c}{I_c} \times Y_{cu} = \frac{1331144}{1250000} - \frac{1.000 \times 11993499.2}{11250000000} \times 150 \\
&= \pm 0.905 \text{ MPa} \\
\cdot f_{cl} &= \frac{N_c}{A_c} + \frac{k \times M_c}{I_c} \times Y_{cl} = \frac{1331144}{1250000} + \frac{1.000 \times 11993499.2}{11250000000} \times 200 \\
&= \pm 1.278 \text{ MPa} \\
\cdot f_{su} &= \frac{N_{st}}{A_s} + \frac{k \times M_{st}}{I_s} \times Y_{su} = \frac{-1331144}{210900} + \frac{1.000 \times 1512724476.6}{177368485363} \times -981.42 \\
&= \pm -14.682 \text{ MPa} \\
\cdot f_{sl} &= \frac{N_{st}}{A_s} + \frac{k \times M_{st}}{I_s} \times Y_{sl} = \frac{-1331144}{210900} + \frac{1.000 \times 1512724476.6}{177368485363} \times 1088.58 \\
&= \pm 2.972 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

㊤ 전단응력 검토

(가) 휨전단응력

$$u_m = V / A_w$$

- u_m : 복부판에 작용하는 평균 전단응력 (MPa)
- V : 계산 단면에 작용하는 전단응력 (MPa)
- A_w : 복부판의 총단면적 (mm^2)

(나) 비틀림에 의한 전단응력

$$u_t = M_t / (2 \cdot A \cdot t)$$

- u_t : 순수비틀림에 의한 전단응력 (MPa)
- M_t : 전단 중심에서의 비틀림 모멘트 (MPa)
- A : 복부판 및 플랜지의 중심선으로 둘러싸인 면적 (mm^2)
- t : 복부판 또는 플랜지의 두께 (mm)

$$u = u_s + u_t \quad u_m = \frac{V}{A_w} \quad u_t = \frac{M_t}{2 \times A \times t}$$

$$A_w = 2 \times t \times H = 2 \times 13 \times 2000 = 52000 \text{ mm}^2$$

$$A = (B + t_w) \times \left(h_w + \frac{t_1}{2} + \frac{t_u}{2} \right)$$

$$= (1700 + 13) \times \left(2000 + \frac{34}{2} + \frac{36}{2} \right) = 3485955 \text{ mm}^2$$

(단위 N, mm)

구분	합성전 고정하중	합성후 고정하중	활하중 + 충격하중	장대레일 중하중	풍하중
V	59760.000	83370.000	235980.000	0.000	2220.000
Mt	23690000.000	20630000.000	159920000.000	0.000	10830000.000
um	1.149	1.603	4.538	0.000	0.043
ut	0.261	0.228	1.764	0.000	0.119
u	1.411	1.831	6.303	0.000	0.162

㉔ 하중조합 및 응력집계표

하중 조합	고정하중		활하중 or충격	장대레일 중하중	크리프	건 조 수 축	온 도		풍하중	바닥판 Fs	강재 Fs
	합성전	합성후					+	-			
1	⊙	⊙	⊙	⊙						1.000	1.000
2	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙				1.000	1.000
3	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙			1.150	1.150
4	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙		1.150	1.150
5	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙			⊙	1.250	1.250

LOAD	바닥판				STEEL			
	TOP	BOTTOM	허용인장 응력	판 정	TOP	BOTTOM	허용응력	판 정
1. 합 성 전 고 정 하 중					-45.542	50.514		
2. 합 성 후 고 정 하 중	-2.576	-1.554			-12.053	44.349		
3. 활 하 중 + 충 격	-1.659	-1.001			-7.764	28.569		
4. 장대레일중하중	0.000	0.000			0.000	0.000		
5. 크 리 프	1.768	0.867			-16.364	3.549		
6. 건 조 수 축	1.096	1.261			-16.128	3.305		
7. 온 도 변 화	0.905	1.278			-14.682	2.972		
8. 풍 하 중	-0.002	-0.001			-0.008	0.028		
1 + 2 + 3 + 4	-4.235	-2.556	6.300	-O.K-	-65.359	123.432	190.000	-O.K-
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6	-1.371	-0.428	6.300	-O.K-	-97.850	130.285	190.000	-O.K-
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7	-0.466	0.850	7.245	-O.K-	-112.532	133.258	218.500	-O.K-
1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 - 7	-2.276	-1.706	7.245	-O.K-	-83.168	127.313	218.500	-O.K-
1 ~ 6 , 8	-1.373	-0.429	7.875	-O.K-	-97.858	130.314	237.500	-O.K-

전 단 응 력	$v = 9.544 \text{ MPa} < v_a = 105 \text{ Mpa} \quad -\text{O.K}-$
합 성 응 력	$\begin{aligned} & (130.285 / 190.000)^2 + (9.544 / 105)^2 \\ & \quad = 0.478 < 1.10 \quad -\text{O.K}- \\ & (133.258 / 218.500)^2 + (9.544 / 120.750)^2 \\ & \quad = 0.378 < 1.10 \quad -\text{O.K}- \\ & (130.314 / 237.500)^2 + (9.706 / 131.250)^2 \\ & \quad = 0.307 < 1.10 \quad -\text{O.K}- \end{aligned}$

◎ 횡방향하중 검토

(가) 연직축에대한 단면2차 모멘트

$$\begin{aligned} I_y &= 300 \times 5000^3 / 12 / 8 + 36 \times 2000^3 / 12 + 34 \times 2000^3 / 12 + \\ & \quad (2000 \times 13^3 / 12 + 2000 \times 13 \times (1700 / 2 + 13 / 2)^2) \times 2 \\ &= 475439196000 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

(나) 연단거리 계산

$$\text{강형의 연단 거리 } y1 = 2000 / 2 = 1000.00 \text{ mm}$$

(다) 강형의 응력 계산

$$\cdot f_{su}, f_{sl} = \frac{M_w}{I} \times y1 = \frac{39.92}{475439196000} \times 1000.00 = 0.084 \text{ MPa}$$

(라) 강형의 응력 검토

$$\text{주부재의 허용응력} = 219 \text{ MPa}$$

주하중에 의한 응력 값과 비교 하면 (MPa)

최대 발생 응력	133.258
강형의 응력	0.084
계	133.342

−O.K−

㉔ 항복에 의한 안전도 검사

(MPa)

LOAD	바 닥 판			STEEL		
	TOP	BOTTOM	항복응력	TOP (fsu)	BOTTOM (fsl)	항복응력
1. 고 정 하 중(Md1+Md2)	-2.576	-1.554		-57.594	94.863	
2. 활 하 중(MI+i)	-1.659	-1.001		-7.764	28.569	
3. 크 리 프	1.768	0.867		-16.364	3.549	
4. 건 조 수 축	1.096	1.261		-16.128	3.305	
5. 온 도 차	0.905	1.278		-14.682	2.972	
1.4 D + 2.0 L	-6.925	-4.178	3/5fck	-96.161	189.947	315
	-O.K-	-O.K-	= 12.6	-O.K-	-O.K-	
1.4 D + 2.0 L + 3 + 4	-4.061	-2.051	3/5fck	-128.652	196.800	315
	-O.K-	-O.K-	= 12.6	-O.K-	-O.K-	
1.4 D + 2.0 L ± 5	-6.020	-2.900		-110.843	192.919	315
	-O.K-	-O.K-	3/5fck	-O.K-	-O.K-	
	-O.K-	-O.K-	= 12.6	-O.K-	-O.K-	
	-7.830	-5.457		-81.479	186.974	
1.4 D + 2.0 L + 3 + 4 ± 5	-3.156	-0.773		-143.334	199.772	315
	-O.K-	-O.K-	3/5fck	-O.K-	-O.K-	
	-O.K-	-O.K-	= 12.6	-O.K-	-O.K-	
	-4.966	-3.329		-113.970	193.827	