

목 차

1. 설계기준
2. 단면가정
3. 바닥판 설계
 - 3.1 외측 캔틸레버부
 - 3.2 중간 지간부
 - 3.3 내측 캔틸레버부
4. 단면제원
 - 4.1 강재 단면
 - 4.2 강선포함 단면
 - 4.3 슬래브 환산단면
 - 4.4 가로보
 - 4.5 단면제원 집계표
5. 하중 및 구조해석
 - 5.1 Beam자중
 - 5.2 합성전 고정하중
 - 5.3 합성후 고정하중
 - 5.4 활하중
 - 5.5 구조해석결과
6. 단면력 집계
 - 6.1 단면력
 - 6.2 반력
 - 6.3 휨응력
7. 프리스트레스 계산
 - 7.1 즉시 손실
 - 7.2 시간적 손실
 - 7.3 응력검토
8. P.C 강선의 검토
 - 8.1 P.C 강선의 배치
 - 8.2 P.C 강선의 위치
 - 8.3 P.C 강선의 검토
9. 판형조립 설계
 - 9.1 강재조립 설계
 - 9.2 전단연결재의 설계

10. 이음부 설계

10.1 이음부 설계조건

10.2 이음부 휨응력

10.3 상부플랜지 이음부 설계

10.4 하부플랜지 이음부 설계

10.5 복부판 이음부 설계

11. 지점부 설계

11.1 지점보강재 설계

11.2 정착부 설계

12. 가로보 설계

12.1 중간가로보 설계

12.2 단부가로보 설계

13. 처짐 및 신축량 검토

13.1 처짐 검토

13.2 신축량 설계

14. 솟음

14.1 부재의 치수

14.2 상하플랜지 연결판의 가공

1. 설계기준

- (1) 교량명 : **토욕교**
- (2) 교량등급 : 1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)
- (3) 교량형식 : PSSC 합성형교
- (4) 교량연장 : **1 @ 26 m** (라멘교)
- (5) 교량폭원 : **6 m**
- (6) 충격계수 : **0.23** [$15/(40+L) \leq 0.3$] [도.설 2.1.4]
- (7) 설계속도 : **80 km/h**
- (8) 곡률반경 : **∞ m**
- (9) 교량사각 : **11.833 도**

사용재료

① 강재

- ⓐ 주형(조립판) : **SM490** ($f_{sah} = 190$ MPa)
- ⓑ 주형이음판 : **SM490** ($f_{sap} = 190$ MPa)
- ⓒ 가로보(이음판) : **SM400** ($f_{sac} = 140$ MPa)

탄성계수(E_s) : 210000 MPa

② 충전 콘크리트 (프리스트레스트 콘크리트)

- 압축강도(f_{ck}') : **40** MPa
- 탄성계수(E_c') : 30891 MPa

③ 바닥판 콘크리트 (철근 콘크리트)

- 압축강도(f_{ck}) : **27** Mpa
- 탄성계수(E_c) : 27804 Mpa

④ 긴장재

- 재질 : **SWPC7B (7연선) / 12.7mm / 4가닥 / 저릴렉세이션 강연선사용**
- 단면적(A_p) : **98.710 x 4 = 394.84** mm²
- 극한강도(f_{pu}) : **1854** MPa
- 항복강도(f_{py}) : **1580** MPa
- 탄성계수(E_p) : 200000 Mpa

⑤ 철근

- 항복강도(f_y) : **400** MPa (**SD40**)
- 탄성계수(E_y) : 200000 MPa

⑥ 탄성계수비

- $N_c = E_c / E_s = 0.1324$
- $N_{c'} = E_{c'} / E_s = 0.1471$
- $N_p = E_p / E_s = 0.9524$

(11) 마찰계수

- 곡률마찰계수 (μ) : **0.25 / rad**
- 파상마찰계수 (κ) : **0.005 / m**

(12) 허용응력

구 분		내 용	허용응력	비 고
			MPa	
바닥판 콘크리트	압축	프리스트레스 도입직후 $f_{cai} = 1.25 \times (0.4 f_{ck})$	13.5	[도.설 3.9.3.1]
		사용하중 상태 $f_{ca} = 0.4 f_{ck}$	10.8	
	인장	사용하중 상태 $f_{ta} = 0.07 f_{ck}$ 또는 2.5이하	1.89	
내부충전 콘크리트	압축	프리스트레스 도입시 $f_{ci}' = 0.8 f_{ck}'$	32.0	[도.설 4.6.3.3]
		프리스트레스 도입 직후 $f_{cai}' = 0.55 f_{ci}'$	17.6	
		사용하중 상태 $f_{ca}' = 0.4 f_{ck}'$	16.0	
	인장	프리스트레스 도입 직후 $f_{tai}' = 0.25 \times \sqrt{f_{ci}'}$ 또는 1.4이하	1.4	
		사용하중 상태 $f_{ta}' = 0.5 \times \sqrt{f_{ck}'}$	3.2	
강재	형강	국부좌굴을 고려하지 않을 때 허용인장, 압축, 휨 응력 f_{sah}	190.0	[도.설 3.3.2.1]
	강판	국부좌굴을 고려하지 않을 때 허용인장, 압축, 휨 응력 f_{sap}	190.0	
	가로보	국부좌굴을 고려하지 않을 때 허용인장, 압축, 휨 응력 f_{sac}	140.0	
PS 강재	인장	Jack에 의한 최대 긴장응력 $f_{pi} = 0.9 \times f_{py}$	1422.3	[도.설 4.6.3.3]
		프리스트레스 도입 직후 $f_{pai} = 0.7 \times f_{pu}$	1297.7	
		사용하중 상태 $f_{pa} = 0.8 \times f_{py}$	1264.3	
철근	인장 압축	일반적 부재 SD40	180.0	[도.설 4.5.2.2]

(13) 하중의 조합 [도.설 2.2.3.2]

Case 1 $1.3M_d + 2.15M_L$

Case 2 $1.3M_d + 1.3M_L + 1.3M_c$

Case 3 $1.3M_d + 1.3M_L + 0.65M_w$ M_d : 고정하중 M_w : 풍하중

Case 4 $1.2M_d + 1.2M_w + 1.2M_c$ M_L : 활하중(충격계수포함) M_c : 충돌하중

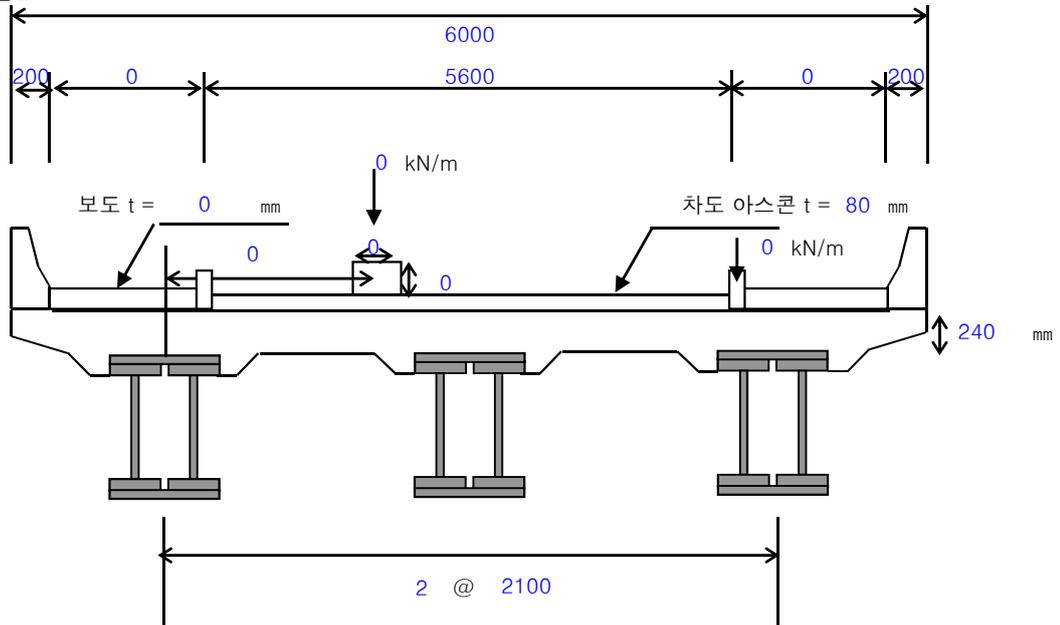
(14) 참고 문헌

1) 도로교설계기준 해설 ----- 건설교통부 (2005년)

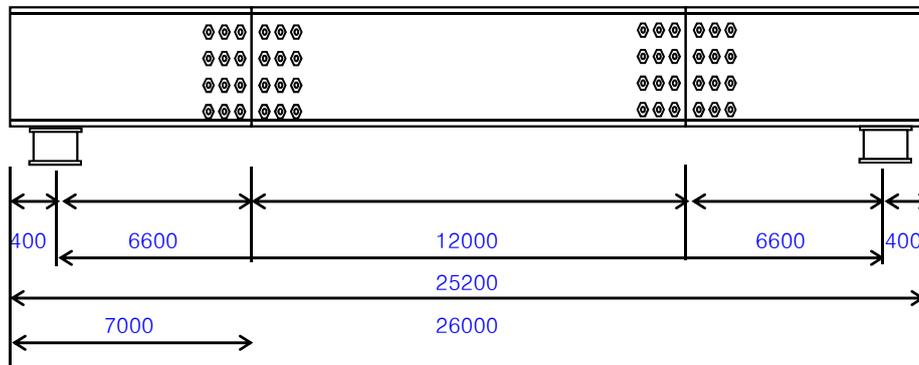
2) 콘크리트 설계기준 해설 ----- 건설교통부 (2007년)

2. 단면가정

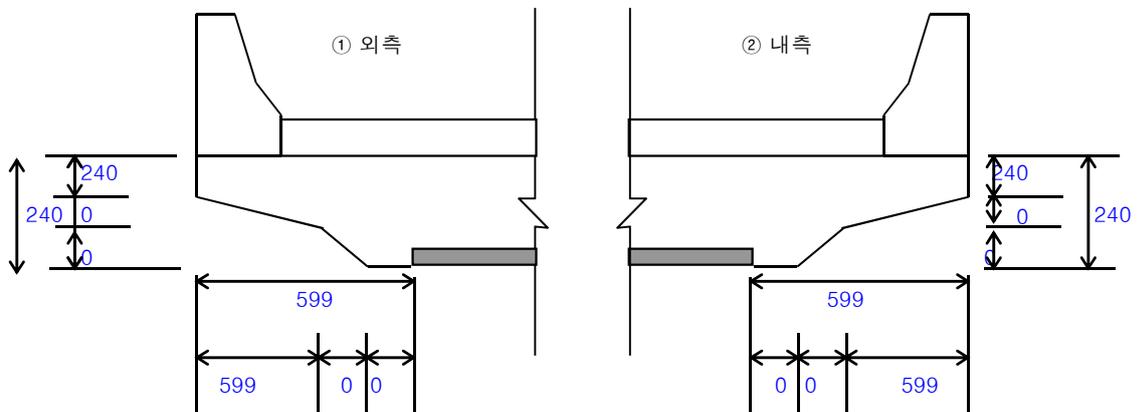
(1) 단면도



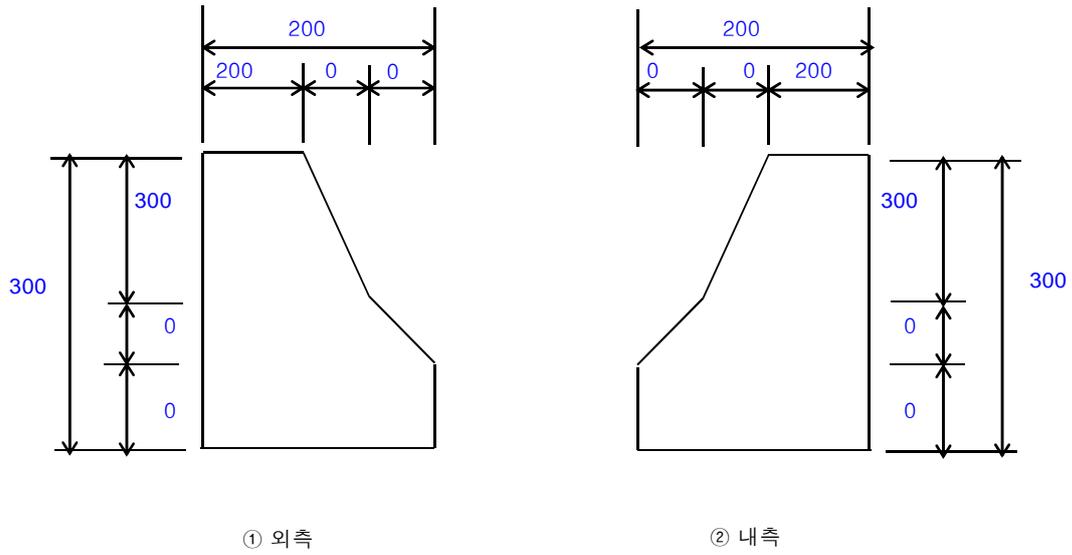
(2) 측면도



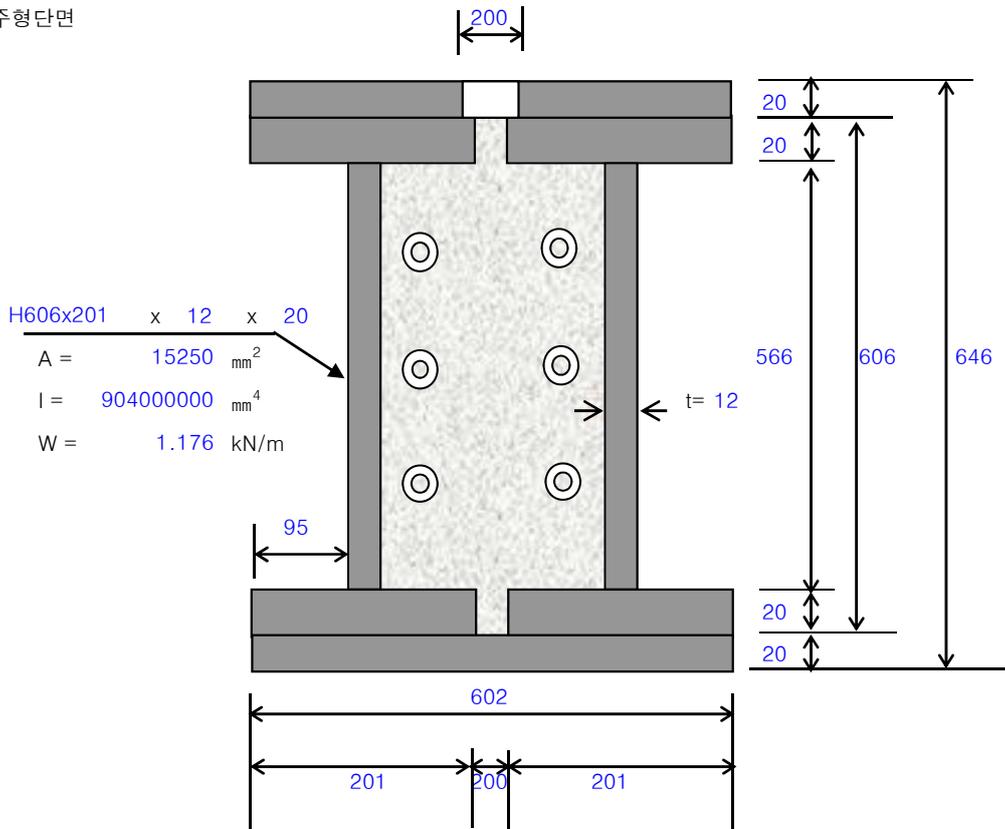
(3) 캔틸레버부



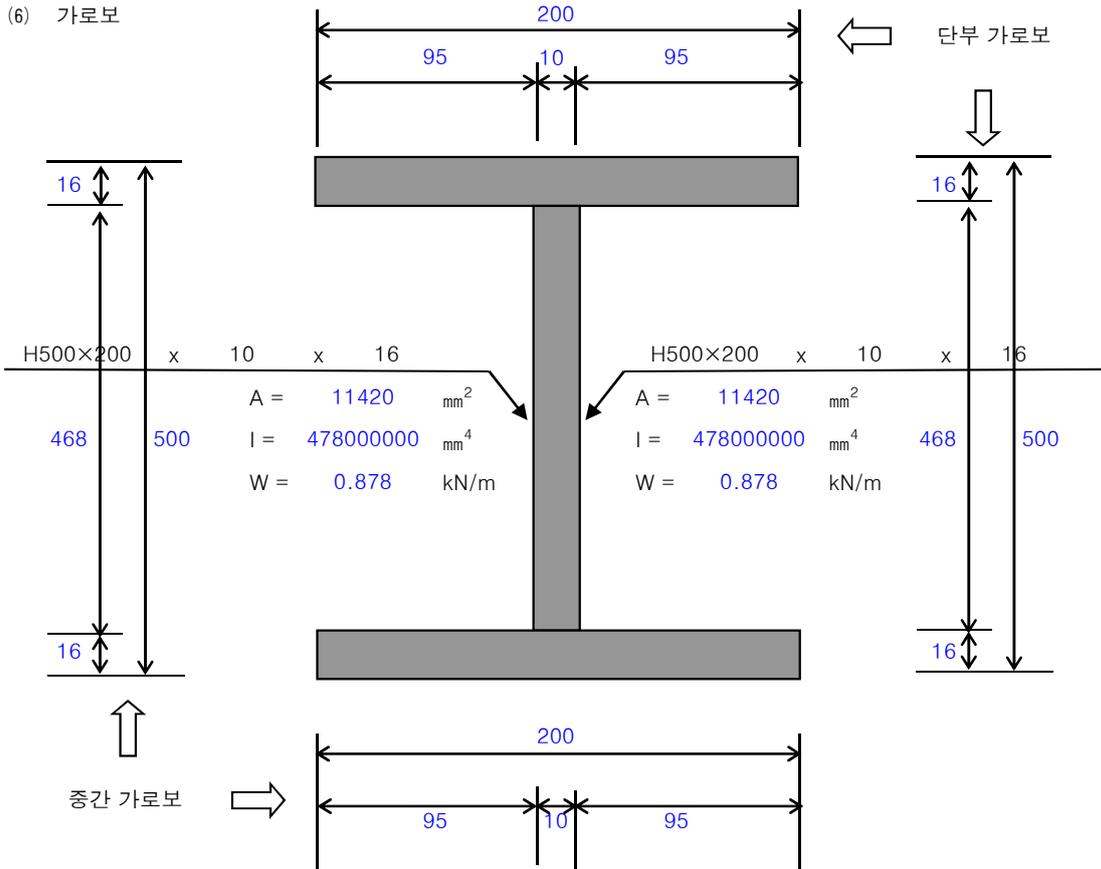
(4) 방화벽



(5) 주형단면

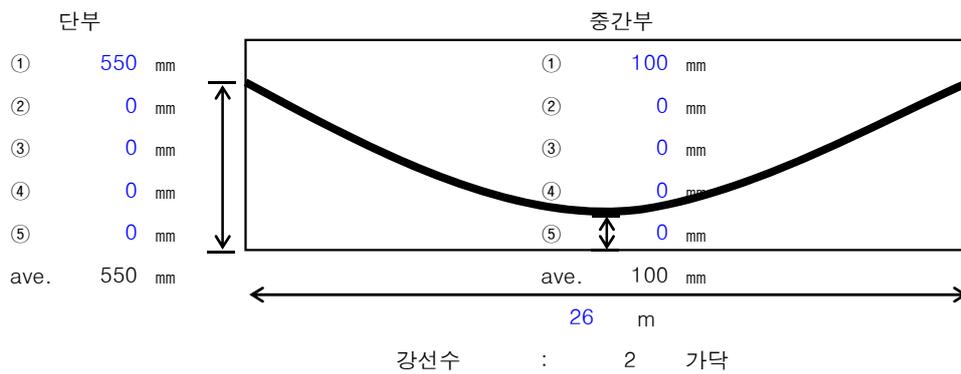


(6) 가로보



가로보의 길이 : 1687 mm
 가로보의 개수 : 중간 가로보 : 2 개/Girder
 단부 가로보 : 2 개/Girder

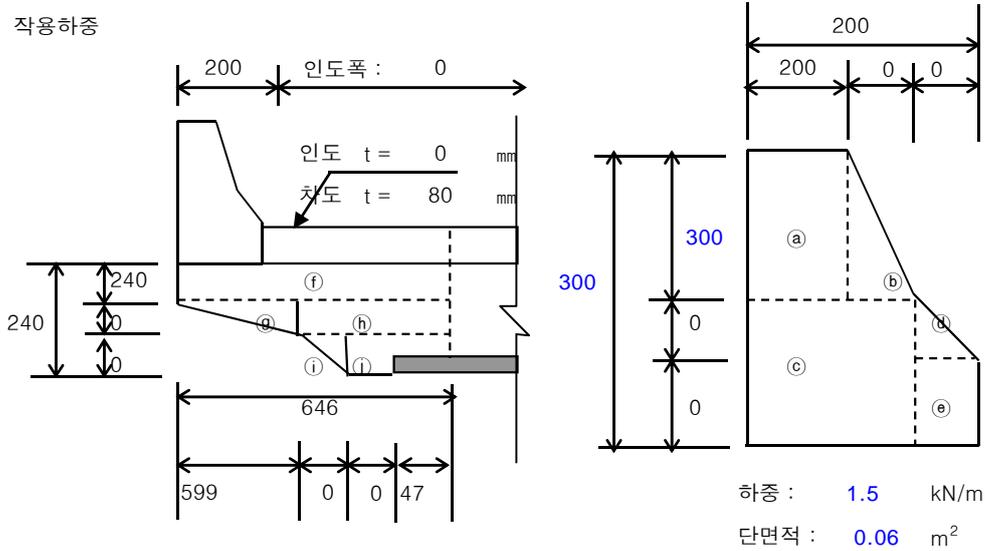
(7) 케이블 배치



3. 바닥판 설계

3.1 외측 캔틸레버부

(1) 작용하중



콘크리트 단위중량 : 25.0 kN/m³
아스팔트포장 단위중량 : 23.0 kN/m³
설계 속도 : 80 km/h
곡률 반경(R) : ∞ m

① 고정하중 [도.설 2.1.2]

항목	단위중량		단면적		하중(kN/m)	작용점(m)	모멘트(kN·m/m)	
방 호 벽	㉑	25.000	x	0.060	=	1.500	0.546	1.093
	㉒	25.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
	㉓	25.000	x	0.000	=	0.000	0.546	0.000
	㉔	25.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
	㉕	25.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
슬 래 브	㉖	25.000	x	0.155	=	3.878	0.323	1.253
	㉗	25.000	x	0.000	=	0.000	0.247	0.000
	㉘	25.000	x	0.000	=	0.000	0.024	0.000
	㉙	25.000	x	0.000	=	0.000	0.047	0.000
	㉚	25.000	x	0.000	=	0.000	0.024	0.000
포 장	인도	23.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
	차도	23.000	x	0.036	=	0.821	0.223	0.183
TOTAL					6.699	0.377	2.529	

$$M_d = 2.529 \text{ kN·m/m}$$

② 활하중 [도.설 2.1.3]

㉑ 차량활하중 (1 등교)

$$P = 96 \text{ kN}$$

$$X = 0.14625 \text{ m}$$

$$E = 0.8X + 1.14 = 1.257$$

$$M_{L1} = (P/E)X = 11.169 \text{ kN·m/m}$$

② 보도활하중

$$P_{L2} = 0.005 \text{ Mpa} \times 0.000 \text{ m} = 0 \text{ kN/m}$$

$$X_{L2} = 0.446 \text{ m}$$

$$M_{L2} = P_{L2} \times X_{L2} = 0.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$i(\text{충격계수}) : 0.23$$

$$M_L = (1+i)(M_{L1} + M_{L2}) = 13.708 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

③ 난간하중 [도.설 2.4.3.3]

① 수직력

$$H = 1.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$h(\text{작용높이}) = 1.0 \text{ m}$$

$$M_{c1} = 1.000 \times 1.0 = 1.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

② 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 2.5 kN/m 의 수평하중 재하시

$$H = 2.5 \text{ kN/m}$$

$$h(\text{작용높이}) = 1.100 \text{ m}$$

$$M_{c2} = 2.5 \times 1.100 = 2.750 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_c = \text{Max}(M_{c1}, M_{c2}) = 2.750 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

④ 풍하중 [도.설 2.1.11]

$$P_w = 0.003 \text{ MPa} \times 0.640 \text{ m} = 1.920 \text{ kN/m}$$

$$M_w = 1.920 \text{ kN/m} \times 0.320 \text{ m} = 0.614 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

⑤ 작용하중 표

하중종류	고정하중(Md)	활하중(M _L)	충돌하중(Mc)	풍하중(Mw)
하중크기(kN·m/m)	2.529	13.708	2.750	0.614

⑥ 하중조합 [도.설 2.2.3.2]

	Md	M _L	Mc	Mw	M _{ui}
Case 1	1.3	2.15	0	0	32.76
Case 2	1.3	1.3	1.3	0	24.68
Case 3	1.3	1.3	0	0.65	21.51
Case 4	1.2	1.2	1.2	0	22.78
$M_u = \text{Max}(M_{ui}) =$					32.76

(2) 설계

① 바닥판의 최소 두께 [도.설 3.6.1.5]

L ≤ 0.25 이므로

$$h_{\min} = 280L + 180 = \{(280 \times 0.14625) + 180\} = 221.0 \text{ mm}$$

$$h = 240 \text{ mm} \geq 221 \text{ mm}$$

▶ O.K

(3) 단면검토

① 캔틸레버부

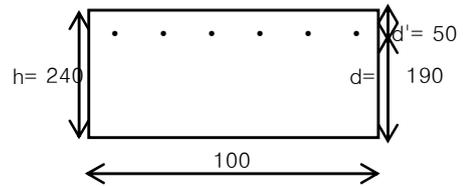
[설계조건]

$M_u = 32.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 240 \text{ mm}$

$d = 190 \text{ mm} \quad d' = 50 \text{ mm}$



[주철근량 산정] [콘.설 6.2]

최소 철근비(ρ_{min}) = $\text{Max}(1.4/f_y, 0.25\sqrt{f_{ck}/f_y}) = 0.0035$

평형 철근비(ρ_b) = $0.85 \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{612}{612 + f_y} = 0.0295$

최대 철근비(ρ_{max}) = $0.75 \rho_b = 0.0221$

등가 구형블록의 깊이(a) :

$M_u = 0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} \times b \times a \times (d - a/2)$

$a = d - \sqrt{d^2 - 2M_u / (0.85 \beta_1 f_{ck} b)} = 9.1 \text{ mm}$

소요 철근량($A_{s,req}$) :

$A_{s,cal} = M_u / (\phi_f f_y (d - a/2)) = 519 \text{ mm}^2$

$A_{s,min} = 1.4/f_y \times b \times d = 665 \text{ mm}^2$ 최소철근비 규정: $\rho=14/\sigma_y$ 적용

* $A_{s,req} = \text{Max}(A_{s,cal}, A_{s,min}) = 665 \text{ mm}^2$ $\rho < \rho_{max}$ ▶ O.K

사용 철근량($A_{s,use}$) 결정 및 배근 :

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
주철근	H16	198.6	200	993	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	665 ▶ O.K
압축철근	H16	198.6	200	993	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	333 ▶ O.K

[휨모멘트 검토]

$\phi_f M_n = \phi_f \rho_{use} f_y b d^2 (1 - 0.59 \rho_{use} f_y / f_{ck}) = 61.22 \geq 32.76 (M_u)$ ▶ O.K

[배력철근량 산정]

배력철근 : [도.설 3.6.1.4(4)]

$A_{s',min} = A_{s,req} \times \text{Min}(120 / \sqrt{L}, 67) \%$

$= 665.00 \times 67.0 \% = 446 \text{ mm}^2$

수축·온도철근량 : [콘.설 5.7.2]

$A_{s''} = 0.002 b \cdot h = 480 \text{ mm}^2$

소요 철근량($A_{s,req}$) :

* $A_{s',req} = \text{Max}(A_{s',min}, A_{s''}) = 480 \text{ mm}^2$

사용 철근량($A_{s',use}$) 결정 및 배근 :

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
배력철근	H16	198.6	200	993	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	480 ▶ O.K

② 캔틸레버판 단부 [도.설 4.7.6.4]

* 소요 철근량 : 캔틸레버 바닥판의 2배 이상

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
주철근	H19	286.5	200	1433	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	1330 ▶ O.K
압축철근	H19	286.5	200	1433	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	665 ▶ O.K
배력철근	H19	286.5	200	1433	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	960 ▶ O.K

[배치범위]

캔틸레버판의 고정하중에 대한 지간 이상 :

$$* L_{d,min} = 0.646 \text{ m}$$

$$L_d = 2.000 \geq 0.646 (L_{d,min}) \quad \text{▶ O.K}$$

(4) 사용성 검토

① 처짐 검토 [콘.설 4.3]

처짐계산이 필요하지 않은 최소두께 :

$$h_{min} = L/10 = 64.6 \text{ mm}$$

$$h = 240.0 \geq 64.6 (h_{min}) \quad \text{▶ O.K}$$

② 균열 검토 [콘.설 4.2]

$$M_{max} = M_d + M_L + M_c$$

$$= 2.529 + 13.708 + 2.750 = 18.987 \text{ tonf}\cdot\text{m}$$

$$n = E_s / E_c = 7.6$$

$$\rho = A_s / bd = 0.0052$$

$$k = -np + \sqrt{\{(np)^2 + 2np\}} = 0.244$$

$$j = 1 - k/3 = 0.919$$

$$f_s = M_{max} / \rho b j d^2 = 109.6 \leq 180 (f_{sa}) \quad \text{▶ O.K}$$

$$A = 2d'b / 5 EA = 20000 \text{ mm}^2$$

A : 주인장철근 주위의 콘크리트단면적을 철근의 수량으로 나눈 유효인장 단면적

d_c : 인장연단에서 가장 가까이 위치한 철근 중심까지의 피복두께

t_c : 철근 콘크리트 최소피복 두께 (mm)

β_c : 단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리 / 단면의 중립축에서 철근도심까지의 거리

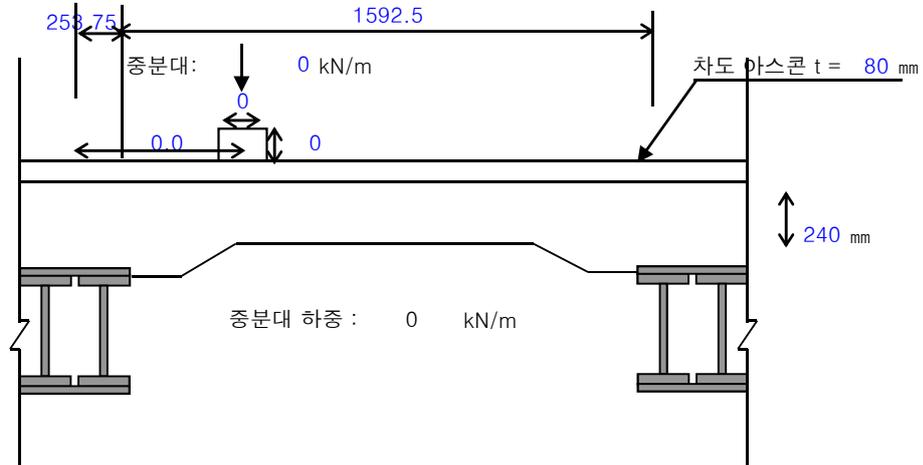
$$\omega_a = 0.005t_c (\text{습윤 환경}) = 0.210 \text{ mm}$$

$$\omega = 1.08 \beta_c f_s \sqrt[3]{dc A} \times 10^{-5}$$

$$= 0.160 \leq 0.210 (\omega_a) \quad \text{▶ O.K}$$

3.2 중간 지간부

(1) 작용하중



콘크리트 단위중량 : 25.0 kN/m³
 아스팔트포장 단위중량 : 23.0 kN/m³
 설계 속도 : 80 km/h
 곡률 반경(R) : ∞ m

① 고정하중

항목	단위중량	두께(단면적)	적용식	모멘트(kN·m/m)
슬래브	25.000	0.240	$(1/10)WL^2$	1.522
포장	23.000	0.080	$(1/10)WL^2$	0.467
중분대	25.000	0.000	$(Pab)/L$	0.000
난간	0.000	1.000	$(Pab)/L$	0.000
TOTAL				1.988

$M_d = 1.988 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

② 활하중 [도.설 2.1.3]

㉠ 차량활하중 (1 등교)

$P = 96 \text{ kN}$

$M_{L1} = (L + 0.6)P/9.6 = 21.925 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

i (충격계수) : 0.23

$M_{L2} = (1+i) M_{L1} = 26.91 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

바닥판이 3개이상의 지점을 가지므로 정부힘모멘트는 위의 값의 0.8배를 취함

$M_L = 0.8 \times M_{L2} = 21.53 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$

③ 풍하중 [도.설 2.1.11]

$$P_w = 0.003 \text{ MPa} \times 0.000 \text{ m} = 0.000 \text{ kN/m}$$

$$M_w = 0.000 \text{ kN/m} \times 0.120 \text{ m} = 0.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

④ 작용하중 표

하중종류	고정하중(Md)	활하중(M _L)	풍하중(M _w)
하중크기(kN·m/m)	1.988	21.526	0.000

⑤ 하중조합 [도.설 2.2.3.2]

	Md	M _L	M _w	M _{ui}
Case 1	1.3	2.15	0	48.87
Case 2	1.3	1.3	0	30.57
Case 3	1.3	1.3	0.65	30.57
Case 4	1.2	1.2	0	28.22
$M_u = \text{Max}(M_{ui}) =$				48.87

(2) 설계

① 바닥판의 최소 두께 [도.설 3.6.1.5]

$L \leq 0.25$ 이므로

$$h_{\min} = 280L + 180 = \{(280 \times) + 180\} = 180.0 \text{ mm}$$

$$h = 240 \text{ mm} \geq 220 \text{ mm}$$

▶ O.K

(3) 단면검토

① 중간부

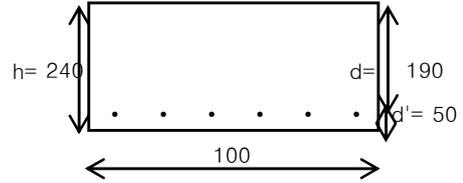
[설계조건]

$M_u = 48.87 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 240 \text{ mm}$

$d = 190 \text{ mm} \quad d' = 50 \text{ mm}$



[주철근량 산정] [콘.설 6.2]

최소 철근비(ρ_{min}) = $\text{Max}(1.4/f_y, 0.25\sqrt{f_{ck}/f_y}) = 0.0035$

평형 철근비(ρ_b) = $0.85 \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{612}{612 + f_y} = 0.0295$

최대 철근비(ρ_{max}) = $0.75 \rho_b = 0.0221$

등가 구형블록의 깊이(a) :

$M_u = 0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} \times b \times a \times (d - a/2)$

$a = d - \sqrt{d^2 - 2M_u / (0.85 \beta_1 f_{ck} b)} = 13.7 \text{ mm}$

소요 철근량($A_{s,req}$) :

$A_{s,cal} = M_u / (\phi_f f_y (d - a/2)) = 785 \text{ mm}^2$

$A_{s,min} = 1.4 / f_y \times b \times d = 665 \text{ mm}^2$ 최소철근비 규정: $\rho=14/\sigma_y$ 적용

* $A_{s,req} = \text{Max}(A_{s,cal}, A_{s,min}) = 785 \text{ mm}^2$ $\rho < \rho_{max}$ ▶ O.K

사용 철근량($A_{s,use}$) 결정 및 배근 :

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
주철근	H16 198.6	200	993	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	785	▶ O.K
압축철근	H16 198.6	200	993	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	392	▶ O.K

[휨모멘트 검토]

$\phi_f M_n = \phi_f \rho_{use} f_y b d^2 (1 - 0.59 \rho_{use} f_y / f_{ck}) = 61.22 \geq 48.87 (M_u)$ ▶ O.K

[배력철근량 산정]

배력철근 : [도.설 3.6.1.4(4)]

$A_{s',min} = A_{s,req} \times \text{Min}(120 / \sqrt{L}, 67) \%$

$= 784.69 \times 67.0 \% = 525.7 \text{ mm}^2$

수축·온도철근량 : [콘.설 5.7.2]

$A_{s''} = 0.002 b \cdot h = 480.0 \text{ mm}^2$

소요 철근량($A_{s',req}$) :

* $A_{s',req} = \text{Max}(A_{s',min}, A_{s''}) = 525.7 \text{ mm}^2$

사용 철근량($A_{s',use}$) 결정 및 배근 :

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
배력철근	H16 198.6	200	993	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	526	▶ O.K

(4) 사용성 검토

① 처짐 검토 [콘.설 4.3]

처짐계산이 필요하지 않은 최소두께 :

$h_{min} = L/28 = 56.9 \text{ mm}$

$$h = 240.0 \geq 56.9 \quad (h_{,min}) \quad \blacktriangleright \quad \text{O.K}$$

② 균열 검토 [콘.설 4.2]

$$\begin{aligned} M_{max} &= M_d + M_L + M_w \\ &= 1.988 + 21.526 + 0.000 = 23.515 \text{ tonf}\cdot\text{m} \end{aligned}$$

$$n = E_s / E_c = 7.6$$

$$p = A_s / b d = 0.0052$$

$$k = -np + \sqrt{\{(np)^2 + 2np\}} = 0.244$$

$$j = 1 - k/3 = 0.919$$

$$f_s = M_{max} / p b j d^2 = 135.7 \leq 180 \quad (f_{sa}) \quad \blacktriangleright \quad \text{O.K}$$

$$A = 2d'b / 5 EA = 20000 \text{ mm}^2$$

A : 주인장철근 주위의 콘크리트단면적을 철근의 수량으로 나눈 유효인장 단면적

d_c : 인장연단에서 가장 가까이 위치한 철근 중심까지의 피복두께

t_c : 철근 콘크리트 최소피복 두께 (mm)

β_c : 단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리 / 단면의 중립축에서 철근도심까지의 거리

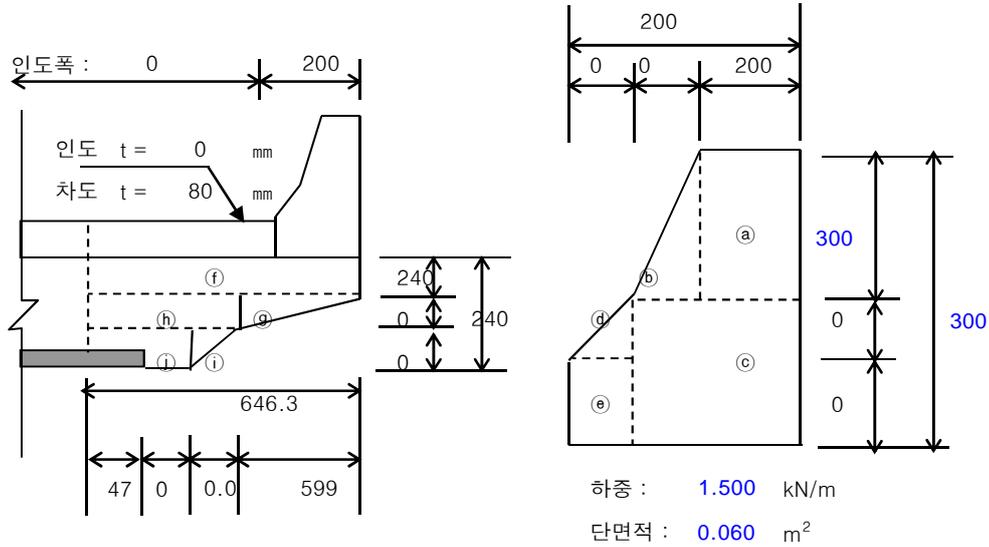
$$\omega_a = 0.005t_c \text{ (습윤 환경)} = 0.210 \text{ mm}$$

$$\omega = 1.08 \beta_c f_s \sqrt[3]{dc A} \times 10^{-5}$$

$$= 0.198 \leq 0.210 \quad (\omega_a) \quad \blacktriangleright \quad \text{O.K}$$

3.3 내측 캔틸레버부

(1) 작용하중



콘크리트 단위중량 : 25.0 kN/m³
 아스팔트포장 단위중량 : 23.0 kN/m³
 설계 속도 : 80 km/h
 곡률 반경(R) : ∞ m

① 고정하중 [도.설 2.1.2]

항목	단위중량		단면적		하중(kN/m)	작용점(m)	모멘트(kN·m/m)	
방 호 벽	㉠	25.000	x	0.060	=	1.500	0.546	1.093
	㉡	25.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
	㉢	25.000	x	0.000	=	0.000	0.546	0.000
	㉣	25.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
	㉤	25.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
슬 래 브	㉦	25.000	x	0.155	=	3.878	0.323	1.253
	㉧	25.000	x	0.000	=	0.000	0.247	0.000
	㉨	25.000	x	0.000	=	0.000	0.024	0.000
	㉩	25.000	x	0.000	=	0.000	0.047	0.000
	㉪	25.000	x	0.000	=	0.000	0.024	0.000
포 장	인도	23.000	x	0.000	=	0.000	0.446	0.000
	차도	23.000	x	0.036	=	0.821	0.223	0.183
TOTAL						6.699	0.377	2.529

$$M_d = 2.529 \text{ kN·m/m}$$

② 활하중 [도.설 2.1.3]

㉠ 차량활하중 (1 등교)

$$P = 96 \text{ kN}$$

$$X = 0.14625 \text{ m}$$

$$E = 0.8X + 1.14 = 1.257$$

$$M_{L1} = (P/E)X = 11.169 \text{ kN·m/m}$$

② 보도활하중

$$P_{L2} = 0.005 \text{ Mpa} \times 0.000 \text{ m} = 0 \text{ kN/m}$$

$$X_{L2} = 0.446 \text{ m}$$

$$M_{L2} = P_{L2} \times X_{L2} = 0.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$i(\text{충격계수}) : 0.23$$

$$M_L = (1+i)(M_{L1} + M_{L2}) = 13.708 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

③ 난간하중 [도.설 2.4.3.3]

① 수직력

$$H = 1.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$h(\text{작용높이}) = 1.0 \text{ m}$$

$$M_{c1} = 1.000 \times 1.0 = 1.000 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

② 방호벽 상단에 횡방향으로 $H = 2.5 \text{ kN/m}$ 의 수평하중 재하시

$$H = 2.5 \text{ kN/m}$$

$$h(\text{작용높이}) = 1.100 \text{ m}$$

$$M_{c2} = 2.5 \times 1.100 = 2.750 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

$$M_c = \text{Max}(M_{c1}, M_{c2}) = 2.750 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

④ 풍하중 [도.설 2.1.11]

$$P_w = 0.003 \text{ MPa} \times 0.640 \text{ m} = 1.920 \text{ kN/m}$$

$$M_w = 1.920 \text{ kN/m} \times 0.320 \text{ m} = 0.614 \text{ kN}\cdot\text{m/m}$$

⑤ 작용하중 표

하중종류	고정하중(Md)	활하중(M_L)	충돌하중(Mc)	풍하중(M_w)
하중크기(kN·m/m)	2.529	13.708	2.750	0.614

⑥ 하중조합 [도.설 2.2.3.2]

	Md	M_L	Mc	M_w	M_{ui}
Case 1	1.3	2.15	0	0	32.76
Case 2	1.3	1.3	1.3	0	24.68
Case 3	1.3	1.3	0	0.65	21.51
Case 4	1.2	1.2	1.2	0	22.78
$M_u = \text{Max}(M_{ui}) =$					32.76

(2) 설계

① 바닥판의 최소 두께 [도.설 3.6.1.5]

$L \leq 0.25$ 이므로

$$h_{\min} = 280L + 180 = \{(280 \times 0.14625) + 180\} = 221.0 \text{ mm}$$

$$h = 240 \text{ mm} \geq 221 \text{ mm}$$

▶ O.K

(3) 단면검토

① 캔틸레버부

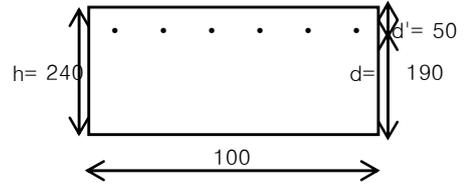
[설계조건]

$M_u = 32.76 \text{ kN}\cdot\text{m}$

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

$b = 1000 \text{ mm} \quad h = 240 \text{ mm}$

$d = 190 \text{ mm} \quad d' = 50 \text{ mm}$



[주철근량 산정] [콘.설 6.2]

최소 철근비(ρ_{min}) = $\text{Max}(1.4/f_y, 0.25\sqrt{f_{ck}/f_y}) = 0.0035$

평형 철근비(ρ_b) = $0.85 \beta_1 \frac{f_{ck}}{f_y} \cdot \frac{612}{612 + f_y} = 0.0295$

최대 철근비(ρ_{max}) = $0.75 \rho_b = 0.0221$

등가 구형블록의 깊이(a) :

$M_u = 0.85 \times \beta_1 \times f_{ck} \times b \times a \times (d - a/2)$

$a = d - \sqrt{d^2 - 2M_u / (0.85 \beta_1 f_{ck} b)} = 9.1 \text{ mm}$

소요 철근량($A_{s,req}$) :

$A_{s,cal} = M_u / (\phi_f f_y (d - a/2)) = 519 \text{ mm}^2$

$A_{s,min} = 1.4/f_y \times b \times d = 665 \text{ mm}^2$ 최소철근비 규정: $\rho=14/\sigma_y$ 적용

* $A_{s,req} = \text{Max}(A_{s,cal}, A_{s,min}) = 665 \text{ mm}^2$ $\rho < \rho_{max}$ ▶ O.K

사용 철근량($A_{s,use}$) 결정 및 배근 :

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
주철근	H16	198.6	200	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	665	▶ O.K
압축철근	H16	198.6	200	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	333	▶ O.K

[휨모멘트 검토]

$\phi_f M_n = \phi_f \rho_{use} f_y b d^2 (1 - 0.59 \rho_{use} f_y / f_{ck}) = 61.22 \geq 32.76 (M_u)$ ▶ O.K

[배력철근량 산정]

배력철근 : [도.설 3.6.1.4(4)]

$A_{s',min} = A_{s,req} \times \text{Min}(120 / \sqrt{L}, 67) \%$

$= 665.00 \times 67.0 \% = 445.6 \text{ mm}^2$

수축·온도철근량 : [콘.설 5.7.2]

$A_{s''} = 0.002 b \cdot h = 480.0 \text{ mm}^2$

소요 철근량($A_{s',req}$) :

* $A_{s',req} = \text{Max}(A_{s',min}, A_{s''}) = 480.0 \text{ mm}^2$

사용 철근량($A_{s',use}$) 결정 및 배근 :

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
배력철근	H16	198.6	200	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	480	▶ O.K

② 캔틸레버판 단부 [도.설 4.7.6.4]

* 소요 철근량 : 캔틸레버 바닥판의 2배 이상

철근구분	직경(단면적)	간격	사용철근량	철근비범위	소요철근량	비고
주철근	H19	286.5	200	1433	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	1330 ▶ O.K
압축철근	H19	286.5	200	1433	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	665 ▶ O.K
배력철근	H19	286.5	200	1433	$\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$	960 ▶ O.K

[배치범위]

캔틸레버판의 고정하중에 대한 지간 이상 :

$$* L_{d,min} = 0.646 \text{ m}$$

$$L_d = 2.000 \geq 0.646 (L_{d,min}) \quad \text{▶ O.K}$$

(4) 사용성 검토

① 처짐 검토 [콘.설 4.3]

처짐계산이 필요하지 않은 최소두께 :

$$h_{min} = L/10 = 64.6 \text{ mm}$$

$$h = 240.0 \geq 64.6 (h_{min}) \quad \text{▶ O.K}$$

② 균열 검토 [콘.설 4.2]

$$M_{max} = M_d + M_L + M_c$$

$$= 2.529 + 13.708 + 2.750 = 18.987 \text{ tonf}\cdot\text{m}$$

$$n = E_s / E_c = 7.6$$

$$\rho = A_s / bd = 0.0052$$

$$k = -np + \sqrt{\{(np)^2 + 2np\}} = 0.244$$

$$j = 1 - k/3 = 0.919$$

$$f_s = M_{max} / \rho b j d^2 = 109.6 \leq 180 (f_{sa}) \quad \text{▶ O.K}$$

$$A = 2d'b / 5 EA = 20000 \text{ mm}^2$$

A : 주인장철근 주위의 콘크리트단면적을 철근의 수량으로 나눈 유효인장 단면적

d_c : 인장연단에서 가장 가까이 위치한 철근 중심까지의 피복두께

t_c : 철근 콘크리트 최소피복 두께 (mm)

β_c : 단면의 중립축에서 인장연단까지의 거리 / 단면의 중립축에서 철근도심까지의 거리

$$\omega_a = 0.005t_c (\text{습윤 환경}) = 0.210 \text{ mm}$$

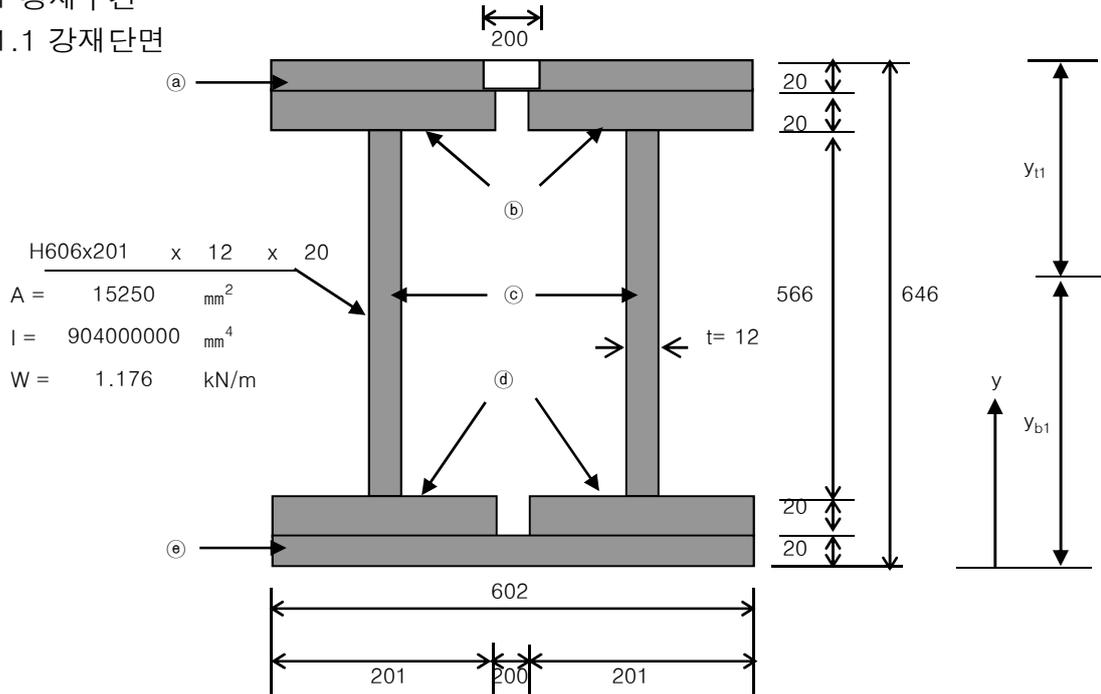
$$\omega = 1.08 \beta_c f_s \sqrt[3]{dc A} \times 10^{-5}$$

$$= 0.160 \leq 0.210 (\omega_a) \quad \text{▶ O.K}$$

4. 단면제원

4.1 강재구간

4.1.1 강재 단면



번호	A	y	A y	A y ²	I _o
(a)	8040.00	636.00	5113440.0	3252147840	401333
(b)	8040.00	616.00	4952640.0	3050826240	268000
(c)	13584.00	323.00	4387632.0	1417205136	362642992
(d)	8040.00	30.00	241200.0	7236000	268000
(e)	12040.00	10.00	120400.0	1204000	401333
계	49744.00	297.83	14815312.0	7728619216	363981659

$$y_{b1} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 297.83 \text{ mm}$$

$$y_{t1} = 348.17 \text{ mm}$$

$$I_{c1} = \sum I_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b1}^2 = 3680139680 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b1} = \frac{I_{c1}}{y_{b1}} = 12356464 \text{ mm}^3$$

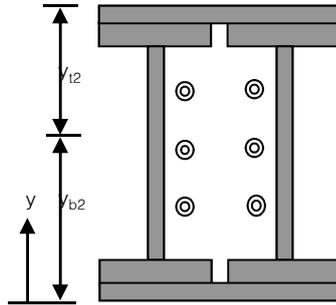
$$Z_{t1} = \frac{I_{c1}}{y_{t1}} = 10569985 \text{ mm}^3$$

$$r_1 = \sqrt{\frac{I_{c1}}{\sum A}} = 272.00 \text{ mm}$$

$$e_{p1} = y_{b2} - y_{cable} = 197.83 \text{ mm}$$

$$Z_{p1} = \frac{I_{c2}}{e_{p2}} = 18602429 \text{ mm}^3$$

4.1.2 강선포함 단면



케이블명	A	y	A y	A y ²	I _o
A1-1	2 x 394.84	100	78968.0	7896800	0
A2-1	2 x 0	0	0.0	0	0
A3-1	2 x 0	0	0.0	0	0
A4-1	2 x 0	0	0.0	0	0
A5-1	2 x 0	0	0.0	0	0
합계	789.68		78968.0	7896800	0
N _p x 합계	752.08	100.00	75207.6	7520762	0

구분	A	y	A y	A y ²	I _o
강재단면	49744.00	297.83	14815312.0	7728619216	363981659
강선	752.08	100.00	75207.62	7520761.90	0.00
계	50496.08	294.88	14890519.6	7736139978	363981659

$$y_{b2} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 294.88 \text{ mm}$$

$$y_{l2} = 351.12 \text{ mm}$$

$$I_{c2} = \sum I_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b2}^2 = 3709135420 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b2} = \frac{I_{c2}}{y_{b2}} = 12578257 \text{ mm}^3$$

$$Z_{l2} = \frac{I_{c2}}{y_{l2}} = 10563867 \text{ mm}^3$$

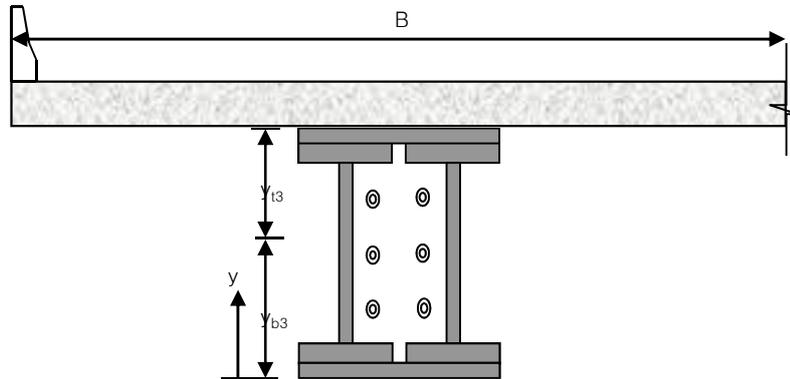
$$r_2 = \sqrt{\frac{I_{c2}}{\sum A}} = 271.02 \text{ mm}$$

$$e_{p2} = y_{b2} - y_{\text{cable}} = 194.88 \text{ mm}$$

$$Z_{p2} = \frac{I_{c2}}{e_{p2}} = 19032462 \text{ mm}^3$$

4.1.3 슬래브 환산단면

(1) 외측 캔틸레버부



유효폭 산정

$$\begin{aligned}
 6t + b_1 &= 2546.5 \text{ mm} \\
 L/12 + b_1 &= 3273.2 \text{ mm} & B_{\text{eff}} &= \text{Min}(B_i) = 1950.0 \text{ mm} \\
 l_o/2 + b_1 &= 1950.0 \text{ mm} \\
 B &= N_c \times B_{\text{eff}} = 258.2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

구분	A	y	A y	A y ²	l _o
강선포함단면	50496.08	294.88	14890519.6	7736139978	363981659
슬래브	61963.34	766.00	47463919.8	36357362592	297424041
계	112459.42	554.46	62354439.5	44093502570	661405699

$$y_{b3} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 554.46 \text{ mm}$$

$$y_{t3} = 91.54 \text{ mm}$$

$$I_{c3} = \sum l_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b3}^2 = 10181760122 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b3} = \frac{I_{c3}}{y_{b3}} = 18363325 \text{ mm}^3$$

$$Z_{t3} = \frac{I_{c3}}{y_{t3}} = 111229502 \text{ mm}^3$$

$$r_3 = \sqrt{\frac{I_{c3}}{\sum A}} = 300.89 \text{ mm}$$

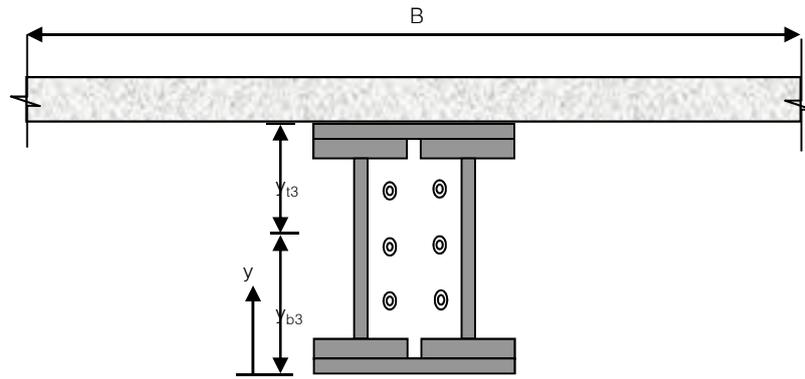
$$e_{p3} = y_{b3} - y_{\text{cable}} = 454.46 \text{ mm}$$

$$Z_{p3} = \frac{I_{c3}}{e_{p3}} = 22404001 \text{ mm}^3$$

$$y_{s3} = t_s + y_{t3} = 331.54 \text{ mm}$$

$$Z_{s3} = \frac{I_{c3}}{y_{s3}} = 30710660 \text{ mm}^3$$

(2) 중간 지간부



유효폭 산정

$$16 t + b_1 = 4253.0 \text{ mm}$$

$$\text{거더중심간 거리} = 2100.0 \text{ mm} \quad B_{\text{eff}} = \text{Min}(B_1) = 2100.0 \text{ mm}$$

$$L/4 = 6500.0 \text{ mm}$$

$$B = N_c \times B_{\text{eff}} = 278.0 \text{ mm}$$

구분	A	y	A y	A y ²	I _o
강선포함단면	50496.08	294.88	14890519.6	7736139978	363981659
슬래브	66729.75	766.00	51114990.6	39154082792	320302813
계	117225.83	563.06	66005510.2	46890222769	684284472

$$y_{b3} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 563.06 \text{ mm}$$

$$y_{t3} = 82.94 \text{ mm}$$

$$I_{c3} = \sum I_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b3}^2 = 10409256050 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b3} = \frac{I_{c3}}{y_{b3}} = 18486845 \text{ mm}^3$$

$$Z_{t3} = \frac{I_{c3}}{y_{t3}} = 125507773 \text{ mm}^3$$

$$r_3 = \sqrt{\frac{I_{c3}}{\sum A}} = 297.99 \text{ mm}$$

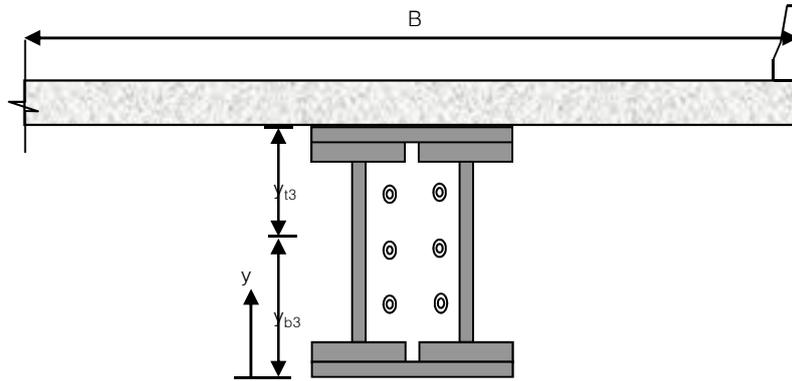
$$e_{p3} = y_{b3} - y_{\text{cable}} = 463.06 \text{ mm}$$

$$Z_{p3} = \frac{I_{c3}}{e_{p3}} = 22479143 \text{ mm}^3$$

$$y_{s3} = t_s + y_{t3} = 322.94 \text{ mm}$$

$$Z_{s3} = \frac{I_{c3}}{y_s} = 32233072 \text{ mm}^3$$

(3) 내측 캔틸레버부



유효폭 산정

$$\begin{aligned}
 6 t + b_1 &= 2546.5 \text{ mm} \\
 L/12 + b_1 &= 3273.2 \text{ mm} & B_{\text{eff}} = \text{Min}(B_1) &= 1950.0 \text{ mm} \\
 l_o/2 + b_1 &= 1950.0 \text{ mm} \\
 B &= N_c \times B_{\text{eff}} = 258.2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

구분	A	y	A y	A y ²	l _o
강선포함단면	50496.08	294.88	14890519.6	7736139978	363981659
슬래브	61963.34	766.00	47463919.8	36357362592	297424041
계	112459.42	554.46	62354439.5	44093502570	661405699

$$y_{b3} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 554.46 \text{ mm}$$

$$y_{t3} = 91.54 \text{ mm}$$

$$I_{c3} = \sum l_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b3}^2 = 10181760122 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b3} = \frac{I_{c3}}{y_{b3}} = 18363325 \text{ mm}^3$$

$$Z_{t3} = \frac{I_{c3}}{y_{t3}} = 111229502 \text{ mm}^3$$

$$r_3 = \sqrt{\frac{I_{c3}}{\sum A}} = 300.89 \text{ mm}$$

$$e_{p3} = y_{b3} - y_{\text{cable}} = 454.46 \text{ mm}$$

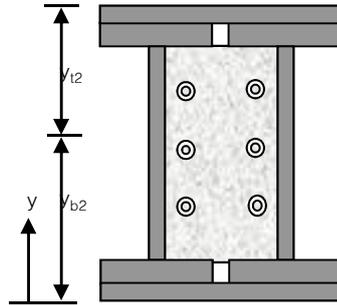
$$Z_{p3} = \frac{I_{c3}}{e_{p3}} = 22404001 \text{ mm}^3$$

$$y_{s3} = t_s + y_{t3} = 331.54 \text{ mm}$$

$$Z_{s3} = \frac{I_{c3}}{y_s} = 30710660 \text{ mm}^3$$

4.2 채움구간

4.2.1 채움콘크리트 포함 단면



구분	A	y	A y	A y ²	I _o
강선포함	50496.08	294.88	14890519.6	7736139978	363981659
채움conc	29151.10	323.00	9415806.7	3041305563	778227598
계	79647.18	305.17	24306326.3	10777445540	1142209257

$$y_{b2} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 305.17 \text{ mm}$$

$$y_{t2} = 340.83 \text{ mm}$$

$$I_{c2} = \sum I_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b2}^2 = 4501972274 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b2} = \frac{I_{c2}}{y_{b2}} = 14752102 \text{ mm}^3$$

$$Z_{t2} = \frac{I_{c2}}{y_{t2}} = 13209043 \text{ mm}^3$$

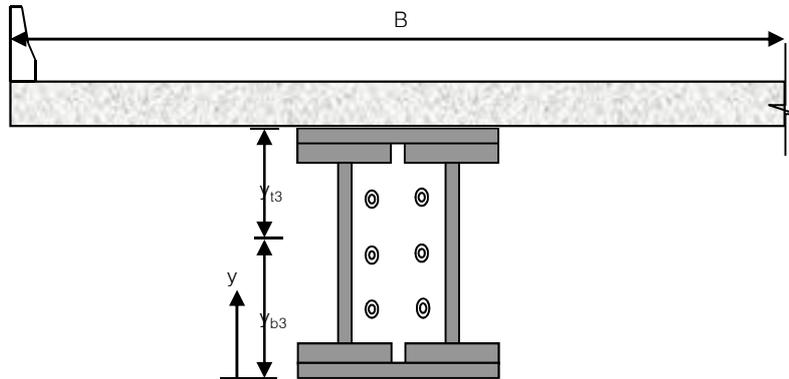
$$r_2 = \sqrt{\frac{I_{c2}}{\sum A}} = 237.75 \text{ mm}$$

$$e_{p2} = y_{b2} - y_{cable} = 205.17 \text{ mm}$$

$$Z_{p2} = \frac{I_{c2}}{e_{p2}} = 21942112 \text{ mm}^3$$

4.2.3 슬래브 환산단면

(1) 외측 캔틸레버부



유효폭 산정

$$\begin{aligned}
 6t + b_1 &= 1947.5 \text{ mm} \\
 L/12 + b_1 &= 2674.2 \text{ mm} & B_{\text{eff}} &= \text{Min}(B_i) = 1351.0 \text{ mm} \\
 l_o/2 + b_1 &= 1351.0 \text{ mm} \\
 B &= N_c \times B_{\text{eff}} = 178.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

구분	A	y	A y	A y ²	l _o
채움단면	79647.18	305.17	24306326.3	10777445540	1142209257
슬래브	61963	766.00	47463919.8	36357362592	297424041
계	141610.52	506.81	71770246.1	47134808133	1439633297

$$y_{b3} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 506.81 \text{ mm}$$

$$y_{t3} = 139.19 \text{ mm}$$

$$I_{c3} = \sum l_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b3}^2 = 12200250110 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b3} = \frac{I_{c3}}{y_{b3}} = 24072424 \text{ mm}^3$$

$$Z_{t3} = \frac{I_{c3}}{y_{t3}} = 87654517 \text{ mm}^3$$

$$r_3 = \sqrt{\frac{I_{c3}}{\sum A}} = 293.52 \text{ mm}$$

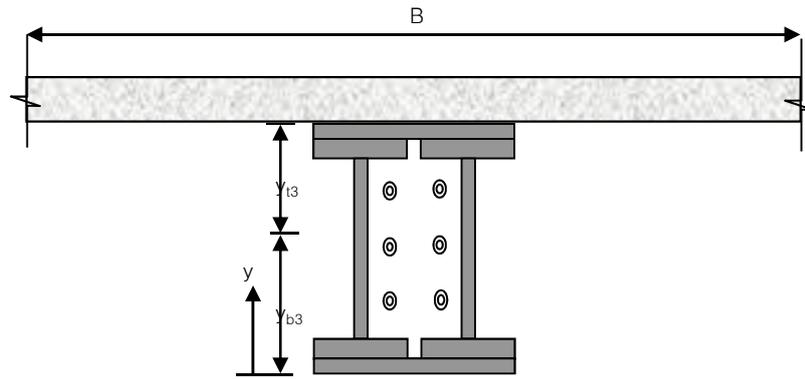
$$e_{p3} = y_{b3} - y_{\text{cable}} = 406.81 \text{ mm}$$

$$Z_{p3} = \frac{I_{c3}}{e_{p3}} = 29989723 \text{ mm}^3$$

$$y_{s3} = t_s + y_{t3} = 379.19 \text{ mm}$$

$$Z_{s3} = \frac{I_{c3}}{y_{s3}} = 32174874 \text{ mm}^3$$

(2) 중간 지간부



유효폭 산정

$$16 t + b_1 = 4253.0 \text{ mm}$$

$$\text{거더중심간 거리} = 2100.0 \text{ mm} \quad B_{\text{eff}} = \text{Min}(B_1) = 2100.0 \text{ mm}$$

$$L/4 = 6500.0 \text{ mm}$$

$$B = N_c \times B_{\text{eff}} = 278.0 \text{ mm}$$

구분	A	y	A y	A y ²	I _o
채움단면	79647.18	305.17	24306326.3	10777445540	1142209257
슬래브	66729.75	766.00	51114990.6	39154082792	320302813
계	146376.93	515.25	75421316.9	49931528332	1462512070

$$y_{b3} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 515.25 \text{ mm}$$

$$y_{t3} = 130.75 \text{ mm}$$

$$I_{c3} = \sum I_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b3}^2 = 12532896657 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b3} = \frac{I_{c3}}{y_{b3}} = 24323720 \text{ mm}^3$$

$$Z_{t3} = \frac{I_{c3}}{y_{t3}} = 95856910 \text{ mm}^3$$

$$r_3 = \sqrt{\frac{I_{c3}}{\sum A}} = 292.61 \text{ mm}$$

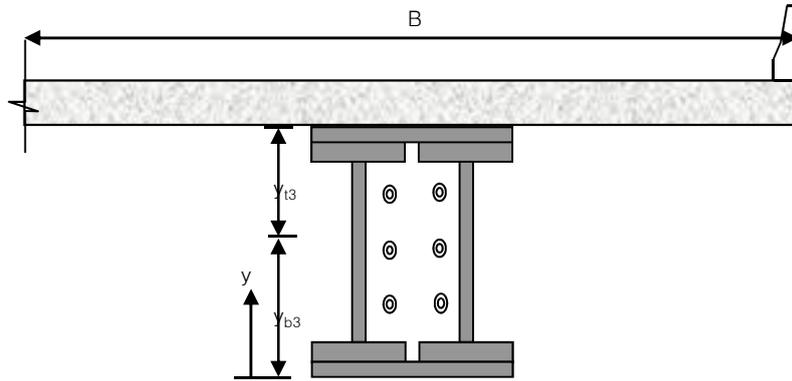
$$e_{p3} = y_{b3} - y_{\text{cable}} = 415.25 \text{ mm}$$

$$Z_{p3} = \frac{I_{c3}}{e_{p3}} = 30181270 \text{ mm}^3$$

$$y_{s3} = t_s + y_{t3} = 370.75 \text{ mm}$$

$$Z_{s3} = \frac{I_{c3}}{y_s} = 33804547 \text{ mm}^3$$

(3) 내측 캔틸레버부



유효폭 산정

$$\begin{aligned}
 6 t + b_1 &= 1947.5 \text{ mm} \\
 L/12 + b_1 &= 2674.2 \text{ mm} & B_{\text{eff}} &= \text{Min}(B_i) = 1351.0 \text{ mm} \\
 l_o/2 + b_1 &= 1351.0 \text{ mm} \\
 B &= N_c \times B_{\text{eff}} = 178.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

구분	A	y	A y	A y ²	l _o
채움단면	79647.18	305.17	24306326.3	10777445540	1142209257
슬래브	61963.34	766.00	47463919.8	36357362592	297424041
계	141610.52	506.81	71770246.1	47134808133	1439633297

$$y_{b3} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 506.81 \text{ mm}$$

$$y_{t3} = 139.19 \text{ mm}$$

$$I_{c3} = \sum l_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{b3}^2 = 12200250110 \text{ mm}^4$$

$$Z_{b3} = \frac{I_{c3}}{y_{b3}} = 24072424 \text{ mm}^3$$

$$Z_{t3} = \frac{I_{c3}}{y_{t3}} = 87654517 \text{ mm}^3$$

$$r_3 = \sqrt{\frac{I_{c3}}{\sum A}} = 293.52 \text{ mm}$$

$$e_{p3} = y_{b3} - y_{\text{cable}} = 406.81 \text{ mm}$$

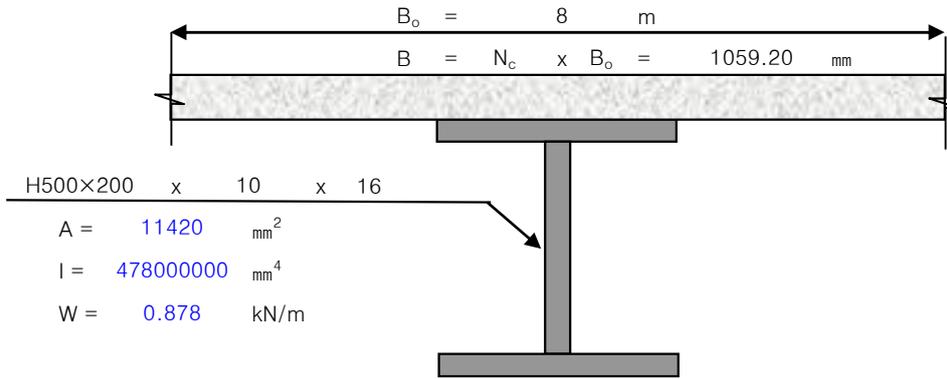
$$Z_{p3} = \frac{I_{c3}}{e_{p3}} = 29989723 \text{ mm}^3$$

$$y_{s3} = t_s + y_{t3} = 379.19 \text{ mm}$$

$$Z_{s3} = \frac{I_{c3}}{y_s} = 32174874 \text{ mm}^3$$

4.3 가로보

(1) 중간 가로보



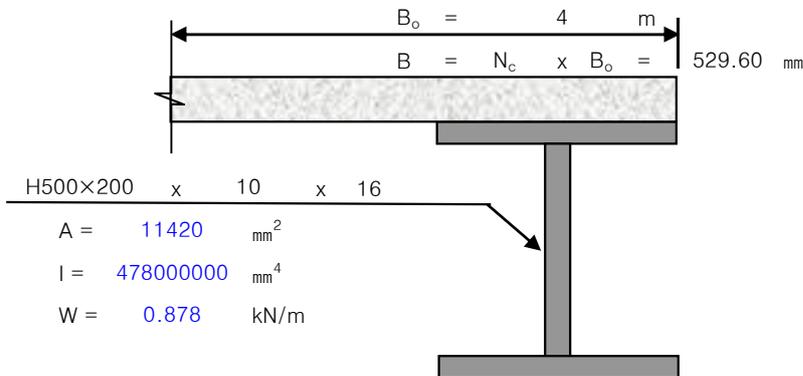
구분	A	y	A y	A y ²	I _o
가로보	11420.00	250.00	2855000.0	713750000	478000000
슬래브	254208.58	620.00	157609320.7	97717778852	1220201193
계	265628.58	604.09	160464320.7	98431528852	1698201193

$$y_{bc} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 604.09 \text{ mm}$$

$$I_{cc} = \sum I_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{bc}^2 = 3194385021 \text{ mm}^4$$

$$Z_{bc} = \frac{I_{cc}}{y_{bc}} = 5287904 \text{ mm}^3$$

(2) 단부 가로보



구분	A	y	A y	A y ²	I _o
가로보	11420.00	250.00	2855000.0	713750000	478000000
슬래브	127104.29	620.00	78804660.4	48858889426	610100596
계	138524.29	589.50	81659660.4	49572639426	1088100596

$$y_{bc} = \frac{\sum A y}{\sum A} = 589.50 \text{ mm}$$

$$I_{cc} = \sum I_o + \sum A y^2 - \sum A \times y_{bc}^2 = 2522611417 \text{ mm}^4$$

$$Z_{bc} = \frac{I_{cc}}{y_{bc}} = 4279260 \text{ mm}^3$$

4.4 단면제원 집계표

4.4.1 주 거더

(1) 강재구간

제원	강재 단면	강선포함단면	슬래브 환산단면		
			외측 캔틸레버부	중간 지간부	내측 캔틸레버부
A	49,744	50,496	112,459	117,226	112,459
y_t	348.17	351.12	91.54	82.94	91.54
y_b	297.83	294.88	554.46	563.06	554.46
I_c	3,680,139,680	3,709,135,420	10,181,760,122	10,409,256,050	10,181,760,122
Z_t	10569985	10563867	111229502	125507773	111229502
Z_b	12356464	12578257	18363325	18486845	18363325
e_p	197.83	194.88	454.46	463.06	454.46
Z_p	18602429	19032462	22404001	22479143	22404001
y_s	-	-	331.54	322.94	331.54
Z_s	-	-	30710660	32233072	30710660

(2) 채움구간

제원	강선포함단면	채움단면	슬래브 환산단면		
			외측 캔틸레버부	중간 지간부	내측 캔틸레버부
A	50,496	79,647	141,611	146,377	141,611
y_t	351.12	340.83	139.19	130.75	139.19
y_b	294.88	305.17	506.81	515.25	506.81
I_c	3,709,135,420	4,501,972,274	12,200,250,110	12,532,896,657	12,200,250,110
Z_t	10563867	13209043	87654517	95856910	87654517
Z_b	12578257	14752102	24072424	24323720	24072424
e_p	194.88	205.17	406.81	415.25	406.81
Z_p	19032462	21942112	29989723	30181270	29989723
y_s	-	-	379.19	370.75	379.19
Z_s	-	-	32174874	33804547	32174874

4.4.2 가로보

제원	강재 단면		합성 단면	
	중간 가로보	단부 가로보	중간 가로보	단부 가로보
A	11,420	11,420	265,629	138,524
y_t	250.00	250.00	-104.09	-89.50
y_b	250.00	250.00	604.09	589.50
I_c	478,000,000	478,000,000	3,194,385,021	2,522,611,417
Z_t	1912000	1912000	-30687850	-28186533
Z_b	1912000	1912000	5287904	4279260

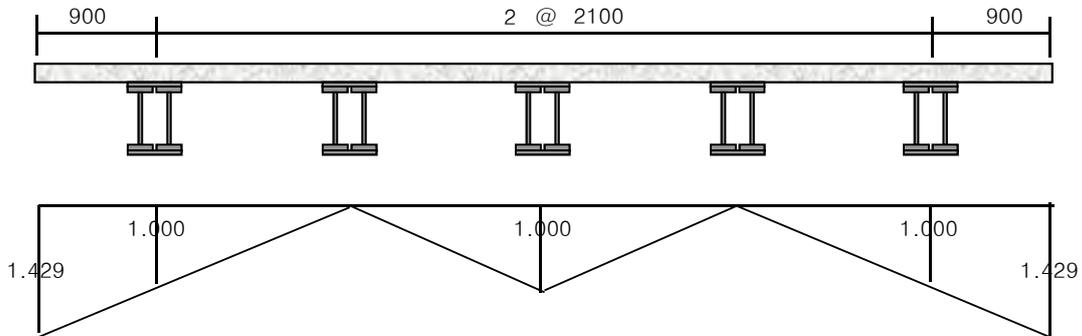
5. 하중

5.1 Beam자중

재료	단면적(mm ²)	단위중량(kN/m ³)	할증계수	하중(kN/m)
강재	50496.1	78.5	1.1	4.360
채움콘크리트	220174.0	25.0	1.0	5.504

구간	하중(kN/m)
강재구간	4.360
채움구간	9.865

5.2 합성전 고정하중



(1) 외측 Beam

구분	단면적(mm ²)	단위중량(kN/m ³)	할증계수	하중(kN/m)
가로보	1481.96	78.5	1.3	0.151
바닥판	514285.7	25.0	1.0	12.857
합계				13.008

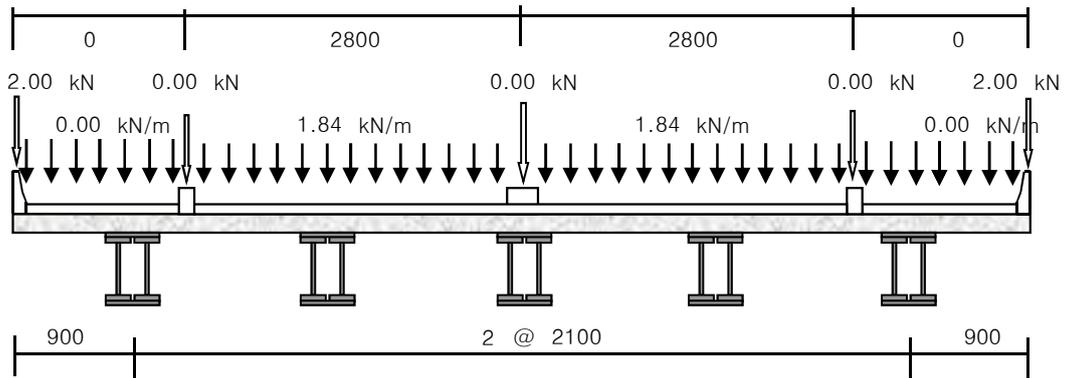
(2) 중간 Beam

구분	단면적(mm ²)	단위중량(kN/m ³)	할증계수	하중(kN/m)
가로보	2963.9	78.5	1.3	0.302
바닥판	504000.0	25.0	1.0	12.600
합계	-	-	-	12.902

(3) 내측 Beam

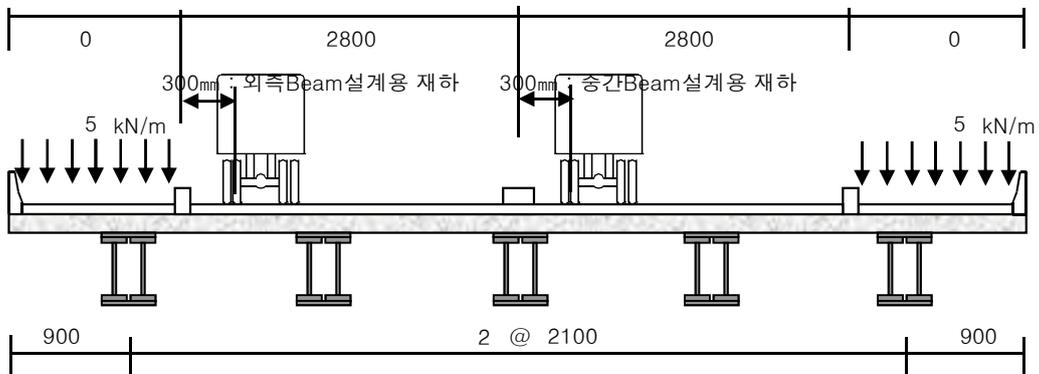
구분	단면적(mm ²)	단위중량(kN/m ³)	할증계수	하중(kN/m)
가로보	1482.0	78.5	1.3	0.151
바닥판	514285.7	25.0	1.0	12.857
합계	-	-	-	13.008

5.3 합성후 고정하중



구분	하중종류	하중
보도	등분포하중	0.00
차도	등분포하중	1.84
외측 방호벽	집중하중	2.00
내측방호벽	집중하중	2.00
중분대	집중하중	0.00
연석	집중하중	0.00

5.4 활하중



(1) 보도 활하중

보도구간 : 5 kN/m

(2) 차량 활하중 (프로그램에서 자동계산)

구조계산용 차선수 : 1 차선

활하중 크기 : 1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)

6. 단면력 집계

6.1 단면력

(1) 주 Beam (단위 : kN·m)

구분	단면력	BEAM 자중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	보도 활하중	차량 활하중	계		
외측	중앙	전단력	0.0	0.0	0.0	0.0	126.1	126.1	
		모멘트	389.3	295.8	130.1	0.0	811.5	1626.7	
	단부	전단력	70.4	233.4	181.5	0.0	230.3	715.6	
		모멘트	0.0	-702.9	-508.1	0.0	-1100.6	-2311.6	
	이음	전단력	29.3	80.2	30.4	0.0	264.2	404.1	
		모멘트	301.4	58.6	37.6	0.0	457.0	854.6	
	지점	전단력	52.7	204.9	54.5	0.0	238.1	550.2	
		모멘트	104.6	-461.5	-162.7	0.0	-782.5	-1302.1	
	중간	중앙	전단력	0.0	0.0	0.0	0.0	126.1	126.1
			모멘트	389.3	295.8	130.1	0.0	811.5	1626.7
		단부	전단력	70.4	233.4	181.5	0.0	230.3	715.6
			모멘트	0.0	-702.9	-508.1	0.0	-1100.6	-2311.6
이음		전단력	29.3	80.2	30.4	0.0	264.2	404.1	
		모멘트	301.4	58.6	37.6	0.0	457.0	854.6	
지점		전단력	52.7	204.9	54.5	0.0	238.1	550.2	
		모멘트	104.6	-461.5	-162.7	0.0	-782.5	-1302.1	
내측		중앙	전단력	0.0	0.0	0.0	0.0	126.1	126.1
			모멘트	389.3	295.8	130.1	0.0	811.5	1626.7
		단부	전단력	70.4	233.4	181.5	0.0	230.3	715.6
			모멘트	0.0	-702.9	-508.1	0.0	-1100.6	-2311.6
	이음	전단력	29.3	80.2	30.4	0.0	264.2	404.1	
		모멘트	301.4	58.6	37.6	0.0	457.0	854.6	
	지점	전단력	52.7	204.9	54.5	0.0	238.1	550.2	
		모멘트	104.6	-461.5	-162.7	0.0	-782.5	-1302.1	

* 보도활하중은 합성후 고정하중에 포함

6.2 반력 (단위 : kN)

거더		BEAM 자중	합성전 고정하중	합성후 고정하중	보도 활하중	차량 활하중	합계
외측 ↓	G1	61.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.0
	G2	61.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.0
	G3	61.0	0.0	0.0	0.0	0.0	61.0
	G4						
	G5						
	G6						
	G7						
	G8						
	G9						
	G10						
	G11						
	G12						
	G13						
	G14						
	G15						

* 보도활하중은 합성후 고정하중에 포함

** 차량활하중은 충격계수가 고려된 값임

6.2 휨응력

(1) 외측 Beam 중앙

구 분	휨모멘트(kN·m)	위 치	휨 응 력(MPa)
BEAM 자중	389.30	① Beam(상단)	-36.83
		② Beam(하단)	31.51
		③ Beam(강선도심)	20.93
		④ 강선응력(강선도심)	19.93
		⑤ 슬래브(상단)	-
합성전 고정하중	295.80	① Beam(상단)	-28.00
		② Beam(하단)	23.52
		③ Beam(강선도심)	15.54
		④ 강선응력(강선도심)	14.80
		⑤ 슬래브(상단)	-
합성후 고정하중	130.06	① Beam(상단)	-1.17
		② Beam(하단)	7.08
		③ Beam(강선도심)	5.81
		④ 강선응력(강선도심)	5.53
		⑤ 슬래브(상단)	-0.56
보도 활하중	0.00	① Beam(상단)	0.00
		② Beam(하단)	0.00
		③ Beam(강선도심)	0.00
		④ 강선응력(강선도심)	0.00
		⑤ 슬래브(상단)	0.00
차량 활하중	811.50	① Beam(상단)	-7.30
		② Beam(하단)	44.19
		③ Beam(강선도심)	36.22
		④ 강선응력(강선도심)	34.50
		⑤ 슬래브(상단)	-3.50
합계	1626.66	① Beam(상단)	-73.30
		② Beam(하단)	106.30
		③ Beam(강선도심)	78.50
		④ 강선응력(강선도심)	74.76
		⑤ 슬래브(상단)	-4.06

* 보도활하중은 합성후 고정하중에 포함

(2) 중간 Beam 중앙

구 분	휨모멘트	위 치	휨 응 력
BEAM 자중	389.30	① Beam(상단)	-36.83
		② Beam(하단)	31.51
		③ Beam(강선도심)	20.93
		④ 강선응력(강선도심)	19.93
		⑤ 슬래브(상단)	-
합성전 고정하중	295.80	① Beam(상단)	-28.00
		② Beam(하단)	23.52
		③ Beam(강선도심)	15.54
		④ 강선응력(강선도심)	14.80
		⑤ 슬래브(상단)	-
합성후 고정하중	130.06	① Beam(상단)	-1.04
		② Beam(하단)	7.04
		③ Beam(강선도심)	5.79
		④ 강선응력(강선도심)	5.51
		⑤ 슬래브(상단)	-0.53
보도 활하중	0.00	① Beam(상단)	0.00
		② Beam(하단)	0.00
		③ Beam(강선도심)	0.00
		④ 강선응력(강선도심)	0.00
		⑤ 슬래브(상단)	0.00
차량 활하중	811.50	① Beam(상단)	-6.47
		② Beam(하단)	43.90
		③ Beam(강선도심)	36.10
		④ 강선응력(강선도심)	34.38
		⑤ 슬래브(상단)	-3.33
합계	1626.66	① Beam(상단)	-72.33
		② Beam(하단)	105.95
		③ Beam(강선도심)	78.36
		④ 강선응력(강선도심)	74.62
		⑤ 슬래브(상단)	-3.87

* 보도활하중은 합성후 고정하중에 포함

(3) 내측 Beam 중앙

구 분	휨모멘트	위 치	휨 응 력
BEAM 자중	389.30	① Beam(상단)	-36.83
		② Beam(하단)	31.51
		③ Beam(강선도심)	20.93
		④ 강선응력(강선도심)	19.93
		⑤ 슬래브(상단)	-
합성전 고정하중	295.80	① Beam(상단)	-28.00
		② Beam(하단)	23.52
		③ Beam(강선도심)	15.54
		④ 강선응력(강선도심)	14.80
		⑤ 슬래브(상단)	-
합성후 고정하중	130.06	① Beam(상단)	-1.04
		② Beam(하단)	7.04
		③ Beam(강선도심)	5.79
		④ 강선응력(강선도심)	5.51
		⑤ 슬래브(상단)	-0.53
보도 활하중	0.00	① Beam(상단)	0.00
		② Beam(하단)	0.00
		③ Beam(강선도심)	0.00
		④ 강선응력(강선도심)	0.00
		⑤ 슬래브(상단)	0.00
차량 활하중	811.50	① Beam(상단)	-6.47
		② Beam(하단)	43.90
		③ Beam(강선도심)	36.10
		④ 강선응력(강선도심)	34.38
		⑤ 슬래브(상단)	-3.33
합계	1626.66	① Beam(상단)	-72.33
		② Beam(하단)	105.95
		③ Beam(강선도심)	78.36
		④ 강선응력(강선도심)	74.62
		⑤ 슬래브(상단)	-3.87

* 보도활하중은 합성후 고정하중에 포함

7. 프리스트레스 계산

- 단면적(Ap) : 394.84 mm²
- 극한강도(fpu) : 1853.92 MPa
- 항복강도(fpy) : 1580.39 MPa
- 탄성계수(Ep) : 200000 MPa

하중단계	적용식	허용응력(MPa)	허용하중(kN)
Jack에 의한 최대 긴장력(fpi)	0.9 fpy	1422.3	561.6
프리스트레스 도입 직후(fpai)	0.7 fpu	1297.7	512.4
사용하중 상태(fpa)	0.8 fpy	1264.3	499.2

- 최대 Jack 긴장력의 85 % 를 사용
초기 긴장력 (F_{pt}) : 477.4 kN
- * 초기 긴장응력(f_{pt}) : 1209 MPa

7.1 즉시 손실 (도.설 4.6.3.4)

(1) 마찰손실

P.C 강선의 길이 및 접선 변화각 산출

$$L_c = 26.0 \text{ m}$$

$$L_a = L_c + \frac{8}{3} \frac{H^2}{L_c} - \frac{32}{5} \frac{H^4}{L_c^3}$$

$$H = H_{END} - H_{MID}$$

$$a = H / \left(\frac{L_c}{2} \right)^2$$

$$\alpha = \text{Tan}^{-1} \left(2 a \frac{L_c}{2} \right) \text{ Radian}$$

강선번호	H _{END}	H _{MID}	H	a	α	L _a
A1-1	0.55	0.10	0.45	0.002662722	0.069120481	26.02
A1-2	0.55	0.10	0.45	0.002662722	0.069120481	26.02
A2-1	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
A2-2	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
A3-1	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
A3-2	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
A4-1	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
A4-2	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
A5-1	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
A5-2	0.00	0.00	0.00	0	0	0.00
합 계					0.138240962	52.04
평균					0.069120481	26.02

$$\begin{aligned} \chi &= L_{a,ave} / 2 = 13.010 \text{ m} \\ \text{곡률마찰계수 } (\mu) &: 0.25 / \text{rad} \\ \text{파상마찰계수 } (\kappa) &: 0.005 / \text{m} \\ k\chi + \mu\alpha &= 0.08233 \end{aligned}$$

$$* \Delta f_{pf} = f_{pt} (1 - e^{-(k\chi + \mu\alpha)}) = 95.6 \text{ MPa}$$

(2) 정착장치 활동량에 의한 손실

$$* \Delta f_{ps} = E_p \frac{\Delta l}{\chi} = 92.23 \text{ MPa}$$

Δl : P.C 강선의 슬립량(3~6mm, 6 mm 적용함)
 A_p : P.C 강선의 단면적
 E_p : P.C 강선의 탄성계수

(3) 탄성변형에 의한 손실

$$\begin{aligned} * \Delta f_{pel} &= 0.5 N_p f_{sir} \\ &= 0.5 N_p (f_{stg'} (N-1/N) + f_{dog}) \\ &= -3.97 \text{ MPa} \end{aligned}$$

N_p : P.C 강선의 개수

f_{sir} : 최대모멘트가 발생하는 단면에서 정착직후 주BEAM의 고정하중과 프리스트레스에 의해 발생하는 긴장재 중심에서의 강제응력

$f_{stg'}$: 프리스트레스에 의한 P.C 강선 도심에서의 응력
 $= P_t' / A_{s2} + P_t' e_{p2} / Z_{p2} = 24.2 \text{ MPa}$

$$P_t' = f_{pt}' A_p N = (f_{pt} - \Delta f_{pf} - \Delta f_{ps}) A_p N = 806429.4 \text{ N}$$

f_{dog} : 주BEAM 자중에 의한 P.C 강선 도심에서의 응력
 $= -M_D / Z_{p2} = -20.45 \text{ MPa}$

(4) 즉시손실 후의 응력

① 프리스트레스에 의한 응력(즉시손실 후)

$$f_{pt}'' = f_{pt} - \Delta f_{pf} - \Delta f_{ps} - \Delta f_{pel} = 1025.2 \text{ MPa}$$

$$P_{tN}'' = f_{pt}'' A_p N = 809565.8 \text{ N}$$

$$f_{st1}'' = \frac{-P_{tN}''}{A_{c2}} + \frac{P_{tN}'' e_{p2}}{Z_{t2}} = -1.1 \text{ MPa}$$

$$f_{sb1}'' = \frac{-P_{tN}''}{A_{c2}} + \frac{P_{tN}'' (-e_{p2})}{Z_{b2}} = -28.6 \text{ MPa}$$

② 주 Beam 자중에 의한 응력 (6. 단면력 집계표 참조)

③ 즉시손실 후의 응력집계표

위치	주 Beam자중	프리스트레스	합계(즉시손실 후)
Beam 상단	-36.83	-1.10	-37.93
Beam 하단	31.51	-28.58	2.93

7.2 시간적 손실 (도.설 4.6.3.4)

(1) 강연선의 릴랙세이션에 의한 손실

$$\begin{aligned} * \Delta f_{pr} &= 35 - 0.07 \Delta f_{pf} - 0.1 \Delta f_{pel} - 0.05 (\Delta f_{psh} + \Delta f_{pcr}) \quad (\text{저릴랙세이션 강선 사용}) \\ &= 28.71 \quad \text{MPa} \end{aligned}$$

(2) 시간적 손실 후의 응력

① 유효프리스트레스에 의한 응력(시간적 손실 후)

$$f_{pe} = f_{pt}^* - \Delta f_{psh} - \Delta f_{pcr} - \Delta f_{pr} = 996.5 \quad \text{MPa}$$

$$\eta = f_{pe} / f_{pt}^* = 0.972 \quad (\text{유효계수})$$

$$f_{sta} = \eta f_{st1}^* = -1.07 \quad \text{MPa}$$

$$f_{sba} = \eta f_{sb1}^* = -27.78 \quad \text{MPa}$$

② 총하중에 의한 응력 (6. 단면력 집계표 참조)

③ 시간적 손실 후의 응력집계표

위치		총하중(사+활하중)	유효프리스트레스	합계(시간적손실 후)
외측 Beam	Beam 상단	-73.3	-1.066	-74.4
	Beam 하단	106.3	-27.775	78.5
	슬래브	-4.1	-	-4.1
중간 Beam	Beam 상단	-72.3	-1.066	-73.4
	Beam 하단	106.0	-27.775	78.2
	슬래브	-3.9	-	-3.9

7.3 응력검토

(1) 외측 Beam

단계	위치	작용응력	허용응력	비고
즉시 손실 후	Beam 상단	-37.93	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
	Beam 하단	2.93	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
시간적 손실 후	Beam 상단	-74.36	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
	Beam 하단	78.52	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
	슬래브	-4.06	$-10.8 \leq f_s \leq 1.89$	▶ O.K

(2) 중간 Beam

단계	위치	작용응력	허용응력	비고
즉시 손실 후	Beam 상단	-37.93	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
	Beam 하단	2.93	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
시간적 손실 후	Beam 상단	-73.40	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
	Beam 하단	78.18	$-190 \leq f_s \leq 190$	▶ O.K
	슬래브	-3.87	$-10.8 \leq f_s \leq 1.89$	▶ O.K

8.3 P.C 강선의 인장력

(1) 마찰에 의한 영향

$$P_{t^0} = f_{pt^0} A_p = 404782.9 \text{ N}$$

$$P_{t1} = P_{t^0} + f_{pt} A_p (1 - e^{-(k \cdot x + \mu \alpha)})$$

f_{pt^0} : 프리스트레스 도입 직후 P.C 강선의 응력 : 1025.2 MPa

f_{pt} : 초기 프리스트레스 응력 : 1209.0 MPa

χ : P.C 강선의 길이/2

곡률마찰계수 (μ) : 0.25 / rad

파상마찰계수 (κ) : 0.005 / m

강선번호	긴장순서	P_{t^0} (N)	α	χ ($L_a/2$)(m)	P_{t1} (N)
A1-1	1	404783	0.069120481	13.010	442511
A1-2	2	404783	0.069120481	13.010	442511
A2-1	3	0	0	0.000	0
A2-2	4	0	0	0.000	0
A3-1	5	0	0	0.000	0
A3-2	6	0	0	0.000	0
A4-1	7	0	0	0.000	0
A4-2	8	0	0	0.000	0
A5-1	9	0	0	0.000	0
A5-2	10	0	0	0.000	0

(2) 정착장치 활동량에 의한 영향

$$P_{l2} = A_p E_p \frac{\Delta l}{\chi}$$

Δl : P.C 강선의 슬립량(3~6mm, 6 mm 적용함)

강선번호	긴장순서	χ (mm)	강선의 단면적(mm^2)	Δl (mm)	P_{l2} (N)
A1-1	1	13010	394.84	6	36418
A1-2	2	13010	394.84	6	36418
A2-1	3	0	0	0	0
A2-2	4	0	0	0	0
A3-1	5	0	0	0	0
A3-2	6	0	0	0	0
A4-1	7	0	0	0	0
A4-2	8	0	0	0	0
A5-1	9	0	0	0	0
A5-2	10	0	0	0	0

(3) 탄성변형에 의한 영향

$$\Delta f_{pt} = \frac{2 \Delta f_{pel}}{N - 1} N - i$$

$$P_{t3} = \Delta f_{pt} A_p$$

Δf_{pel} : 탄성변형에 의한 손실량

i : 긴장순서

강선번호	긴장순서	Δf_{pel} (MPa)	Δf_{pt} (MPa)	A_p (mm ²)	P_{t3} (N)
A1-1	1	-3.97	-7.94	394.84	-3136
A1-2	2	-3.97	0.00	394.84	0
A2-1	3	0.00	0.00	0.00	0
A2-2	4	0.00	0.00	0.00	0
A3-1	5	0.00	0.00	0.00	0
A3-2	6	0.00	0.00	0.00	0
A4-1	7	0.00	0.00	0.00	0
A4-2	8	0.00	0.00	0.00	0
A5-1	9	0.00	0.00	0.00	0
A5-2	10	0.00	0.00	0.00	0

(4) P.C 강선의 인장력

$$P_t = P_{t1} + P_{t2} + P_{t3}$$

강선번호	긴장순서	P_{t1} (N)	P_{t2} (N)	P_{t3} (N)	P_t (N)
A1-1	1	442511	36418	-3136	475792
A1-2	2	442511	36418	0	478928
A2-1	3	0	0	0	0
A2-2	4	0	0	0	0
A3-1	5	0	0	0	0
A3-2	6	0	0	0	0
A4-1	7	0	0	0	0
A4-2	8	0	0	0	0
A5-1	9	0	0	0	0
A5-2	10	0	0	0	0

(5) P.C 강선의 신장율

$$\Delta L = (P_t + P_{t'}) \chi / (A_p E_p)$$

$$P_t = \text{P.C 강선의 인장력}$$

$$P_{t'} = f_{pt'} A_p = 404782.9 \text{ N}$$

강선번호	긴장순서	$P_t(N)$	$P_{t'}(N)$	$\chi(mm)$	$\Delta L(mm)$
A1-1	1	475792	404783	13010	145
A1-2	2	478928	404783	13010	146
A2-1	3	0	0	0	0
A2-2	4	0	0	0	0
A3-1	5	0	0	0	0
A3-2	6	0	0	0	0
A4-1	7	0	0	0	0
A4-2	8	0	0	0	0
A5-1	9	0	0	0	0
A5-2	10	0	0	0	0

9. 판형조립 설계

9.1 강재 조립 설계

(1) 사용볼트 [도.설 3.3.2.3]

볼트등급	볼트호칭	1개당 허용력
F10T	M20	39 kN

(2) 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

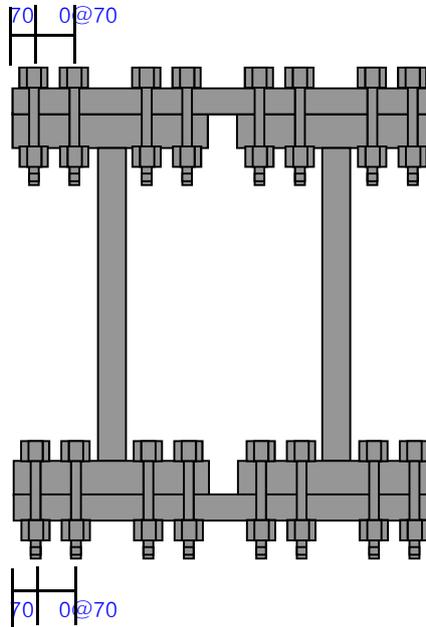
최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	260	300	28	150

(3) 볼트의 배치

① 교축직각방향 배치 : 1 Flange 당 1 개씩 배치함

g(게이지) : 61 mm ≤ 300

▶ O.K



② 단부 최대전단력 (kN)

BEAM 자중	합성전 고정하중	합성전 하중	합성후 고정하중	보도 활하중	차량 활하중	합성후 하중
70.4	233.4	303.8	181.47	0	230.3	411.77

③ 조립볼트 설계조건

하중단계	전단력(kN)	상단		하단		$I_v(\text{mm}^4)$
		$A_s(\text{mm}^2)$	$d_v(\text{mm})$	$A_s(\text{mm}^2)$	$d_v(\text{mm})$	
합성전	303.8	8040	338	12040	288	3680139680
합성후	411.77	74770	189	12040	553	10409256050

$$H_o = \frac{V (A_s d_v)}{l_v}$$

V : 전단력

A_s : 조립판의 단면적

d_v : 전체도심축에서 조립판도심까지 거리

l_v : 조립단면의 단면2차 모멘트

④ 교축방향 구간별 배치(상단)

위치명	P0	P1	P2	P3	P4	P5
위치(m)	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	13.00
합 전단력	303.80	257.06	210.32	163.58	116.85	0.00
성 A _s d _v /l _v	0.000738797					
전 H _o (kN/mm)	0.224	0.190	0.155	0.121	0.086	0.000
합 전단력	411.77	348.42	285.07	221.72	158.37	0.00
성 A _s d _v /l _v	0.001357288					
후 H _o (kN/mm)	0.559	0.473	0.387	0.301	0.215	0.000
Max(H _o)	0.559	0.473	0.387	0.301	0.215	0.000
한계간격(mm)	260	260	260	260	260	260
적용간격(mm)	┌ 250	└ 250	┌ 250	└ 250	┌ 250	└ 250
볼트수(개/줄)	┌ 8	└ 8	┌ 8	└ 8	┌ 8	└ 20

총 볼트수 : 104 개/줄

⑤ 교축방향 구간별 배치(하단)

위치명	P0	P1	P2	P3	P4	P5
위치(m)	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	13.00
합 전단력	303.80	257.06	210.32	163.58	116.85	0.00
성 A _s d _v /l _v	0.000941673					
전 H _o (kN/mm)	0.286	0.242	0.198	0.154	0.110	0.000
합 전단력	411.77	348.42	285.07	221.72	158.37	0.00
성 A _s d _v /l _v	0.000639707					
후 H _o (kN/mm)	0.263	0.223	0.182	0.142	0.101	0.000
Max(H _o)	0.286	0.242	0.198	0.154	0.110	0.000
한계간격(mm)	260	260	260	260	260	260
적용간격(mm)	┌ 250	└ 250	┌ 250	└ 250	┌ 250	└ 250
볼트수(개/줄)	┌ 8	└ 8	┌ 8	└ 8	┌ 8	└ 20

총 볼트수 : 104 개/줄

9.2 전단연결재의 설계 [도.설 3.9.5]

(1) 사용스터드

스터드 높이(H)	스터드직경(d)	1개당 허용력(Q _a)
150 mm	19 mm	17.8 kN

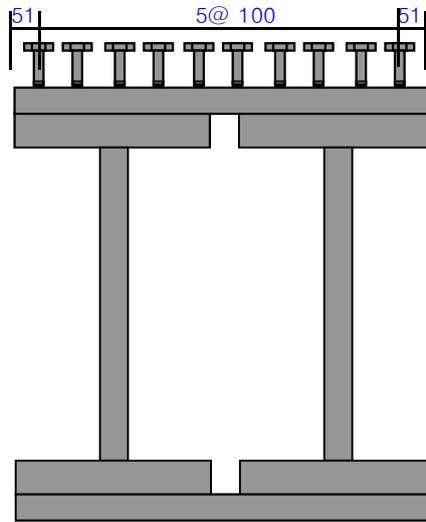
$$Q_a = 9.5 d^2 \sqrt{f_{ck}} = 17820.2 \text{ N}$$

(2) 스테드의 간격 한계

최소중심간격(p)	최소중심간격(g)	최대중심간격	최소연단거리	최대연단거리
100	49	600	25	300

(3) 스테드의 배치

① 교축직각방향 배치 : 교축직각방향으로 6 개씩 배치함



② 스테드 설계조건

합성후 고정하중	보도 활하중	차량 활하중	합성후 전단력	A _c /n	d _v	l _v
181.47	0	230.3	411.77	66730	203	10409256050

$$H_o = \frac{V (A_c/n d_v)}{l_v}$$

V : 전단력(합성후 고정하중 + 활하중)

l_v : 합성단면의 단면2차 모멘트

A_c/n : 상부 바닥판의 환산단면적

d_v : 도심속에서 상부 바닥판 도심까지 거리

③ 수직전단력에 의한 수평력

위치명	P0	P1	P2	P3	P4	P5
위치(m)	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	13.00
전단력	411.77	348.42	285.07	221.72	158.37	0.00
(A _c /n d _v)/l _v	0.001300952					
H _o (kN/mm)	0.536	0.453	0.371	0.288	0.206	0.000

④ 건조수축 및 크리이프에 의한 수평력

$$P_{cs} = E_s \times \varepsilon_s \times A_c / n_s = 840794.9 \text{ N}$$

$$F_{cs} = \frac{1}{1 + \frac{A_c}{n_s \times A_s} + \frac{A_c d_c^2}{I_c + n_s I_s}} = 0.36130$$

$$N_{cs} = P_{cs} \times F_{cs} = 303782.7 \text{ N}$$

$$H_{cs} = \frac{2 \times N_{cs}}{a} = 289.3 \text{ N/mm}$$

ε_s : 변형률(0.00018)

Φ_s : 크리이프계수보정계수 ($2\Phi = 4$)

n_s : 탄성계수비보정계수 ($n(1+\Phi_s/2) = 22.66$)

d_c : 합성전단면중립축으로부터 슬래브 중립축까지의 거리 (471.12)

I_c : 슬래브의 순단면2차모멘트 (237442118)

A_c : 슬래브의 순단면적 (504000.0)

I_s : 강재주형의 순단면2차 모멘트 (3709135420)

A_s : 강재주형의 순단면적 (50496.1)

a : 주형간격 또는 L/10 중에 작은 값 (2100)

⑤ 온도변화에 의한 수평력

$$P_t = E_s \times \alpha_t \times \Delta t \times A_c / n = 1681589.8 \text{ N}$$

$$F_t = \frac{1}{1 + \frac{A_c}{n \times A_s} + \frac{A_c d_c^2}{I_c + n I_s}} = 0.15921$$

$$N_t = P_t \times F_t = 267728.9 \text{ N}$$

$$H_t = \frac{2 \times N_t}{a} = 255.0 \text{ N/mm}$$

α_t : 바닥판 콘크리트와 강재의 선팅창계수 (0.000012)

Δt : 바닥판 콘크리트와 강재의 온도차 (10 °c)

⑥ 교축방향 구간별 배치

위치명	P0	P1	P2	P3	P4	P5
위치(m)	0.00	2.00	4.00	6.00	8.00	13.00
H_o (kN/mm)	0.536	0.453	0.371	0.288	0.206	0.000
H_{cs}	0.289	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000
H_t	0.255	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000
H_o+H_t	0.791	0.465	0.371	0.288	0.206	0.000
$H_{cs}+H_t$	0.544	0.026	0.000	0.000	0.000	0.000
Max(H)	0.791	0.465	0.371	0.288	0.206	0.000
한계간격(mm)	135	230	288	371	519	600
적용간격(mm)	┌ 100	+ 200	+ 250	+ 250	+ 400	└
스터트(개/줄)	┌ 20	+ 10	+ 8	+ 8	+ 13	└

총 볼트수 : 117 개/줄

9.3 수직보강재의 설계 [도.설 3.8.5]

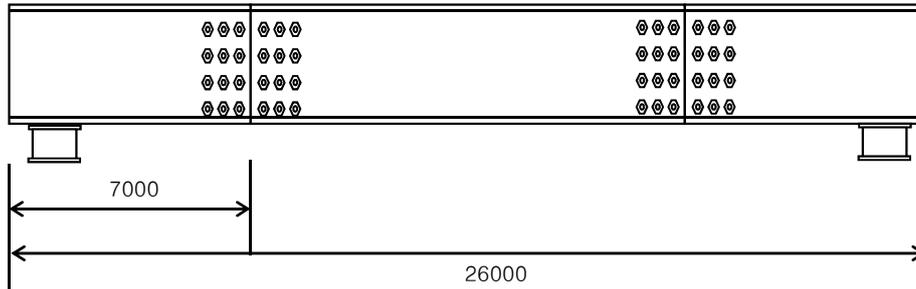
수직보강재를 생략할 수 있는 플랜지 순간격의 최대치

$$60 t_w = 720 \text{ mm} > b_w = 566 \text{ mm} \text{ 이므로}$$

▶ 수직보강재 필요없음

10. 이음부 설계

10.1 이음부의 설계조건



(1) 이음부 단면력

단면력	BEAM 자중	합성전 고정하중	합성전 하중	합성후 고정하중	보도 활하중	차량 활하중	합성후 하중
모멘트	301.40	58.60	360.00	37.62	0.00	457.00	494.62
전단력	29.30	80.20	109.50	30.42	0.00	264.20	294.62

(2) 이음부 설계조건

하중단계	모멘트	전단력	A	y_t	y_b	I_c	e_p
합성전	360.00	109.50	50496.1	351.1	294.9	3709135420	194.88
합성후	494.62	294.62	117225.8	82.9	563.1	10409256050	463.06

10.2 이음부의 휨응력

(단위:MPa)

하중단계		강재 상단	강재 하단
작용 하중	① 합성전 하중	-34.08	28.62
	② 합성후 하중	-3.94	26.76
	③ 즉시손실 후	-1.10	-28.58
	④ 시간적 손실 후	-1.07	-27.78
하중 경우	1 : ① + ③	-35.18	0.05
	2 : ① + ② + ④	-39.09	27.60
	3 : 허용응력의 75%	-142.50	142.50
최대값		-39.09	27.60

10.3 상부플랜지 이음부 설계

(1) 이음조건 [도.설 3.3.2.3]

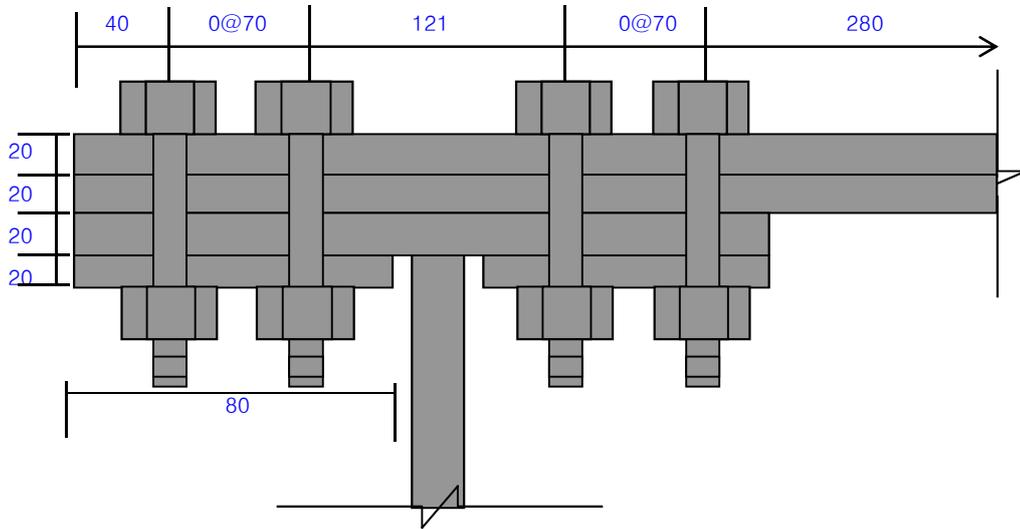
작용최대응력	모재 단면적	볼트등급	볼트호칭	개당허용력(2면)	필요개수
-39.1 MPa	20080 mm ²	F10T	M20	78 kN	11

(2) 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

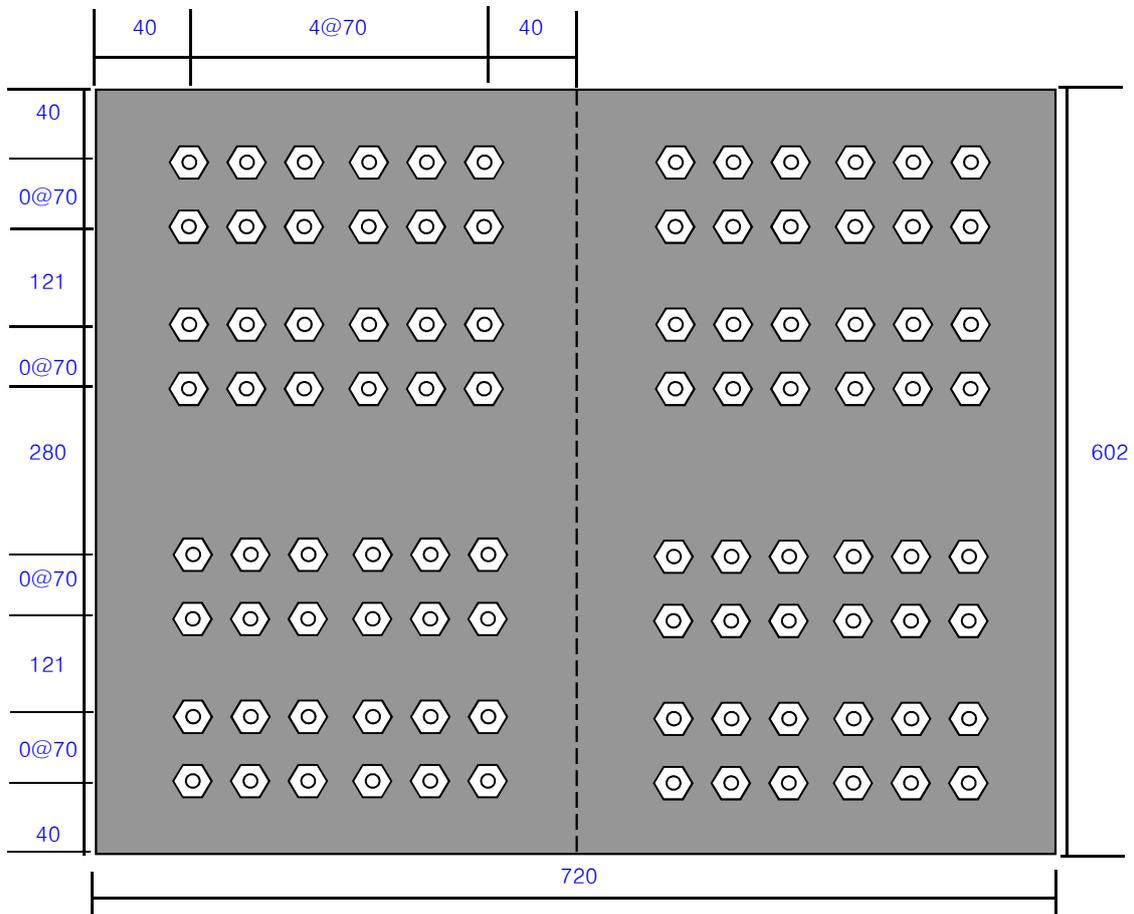
최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	130	300	28	150

(3) 볼트의 배치

- ① 교축직각방향 배치 : 교축직각방향 1열당 4 개씩 배치함
 (1 Flange 당 1 개씩 배치함)



- ② 교축방향 배치 : 총 볼트 개수 20 개 ≥ 11 개(필요볼트수)
 (교축직각방향x교축방향 : 4 x 5) ▶ O.K



(4) 볼트의 응력검토 [도.설 3.5.3.5]

$$\rho_m = P / n = 39242 \quad N = 39.242 \quad \text{kN}$$

$$\rho_s = \frac{V (A_c/n d_v)}{l_v} \times \frac{p}{n_t} = 6708 \quad N = 6.708 \quad \text{kN}$$

- V : 이음부의 합성후 전단력
- l_v : 합성단면의 단면2차 모멘트
- A_c/n : 상부 바닥판의 환산단면적
- d_v : 도심축에서 상부 바닥판 도심까지 거리
- p : 볼트의 교축방향 피치
- n_t : 교축직각방향 1열 볼트수

$$\rho_{tu} = \rho_m + \rho_s = 45.9 \leq 78 \quad (\rho_a) \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

(5) 이음판의 단면검토 [도.설 3.5.3.6]

$$A_{req} = A_t \times f_{tu} / f_{sap} = 4130.8 \leq 18440.0 \quad (A_{use}=A_g) \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

10.4 하부플랜지 이음부 설계

(1) 이음조건 [도.설 3.3.2.3]

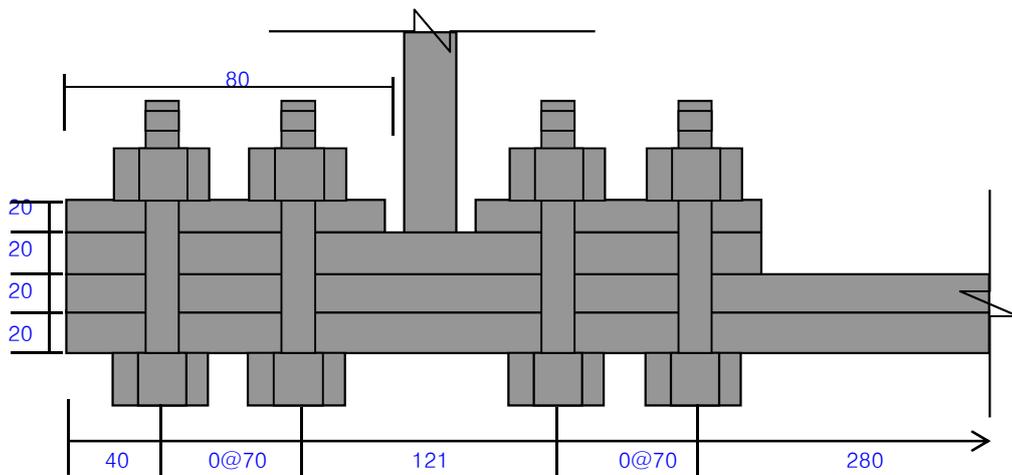
작용최대응력	모재 단면적	볼트등급	볼트호칭	개당허용력(2면)	필요개수
27.6 MPa	20080 mm ²	F10T	M20	78 kN	8

(2) 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

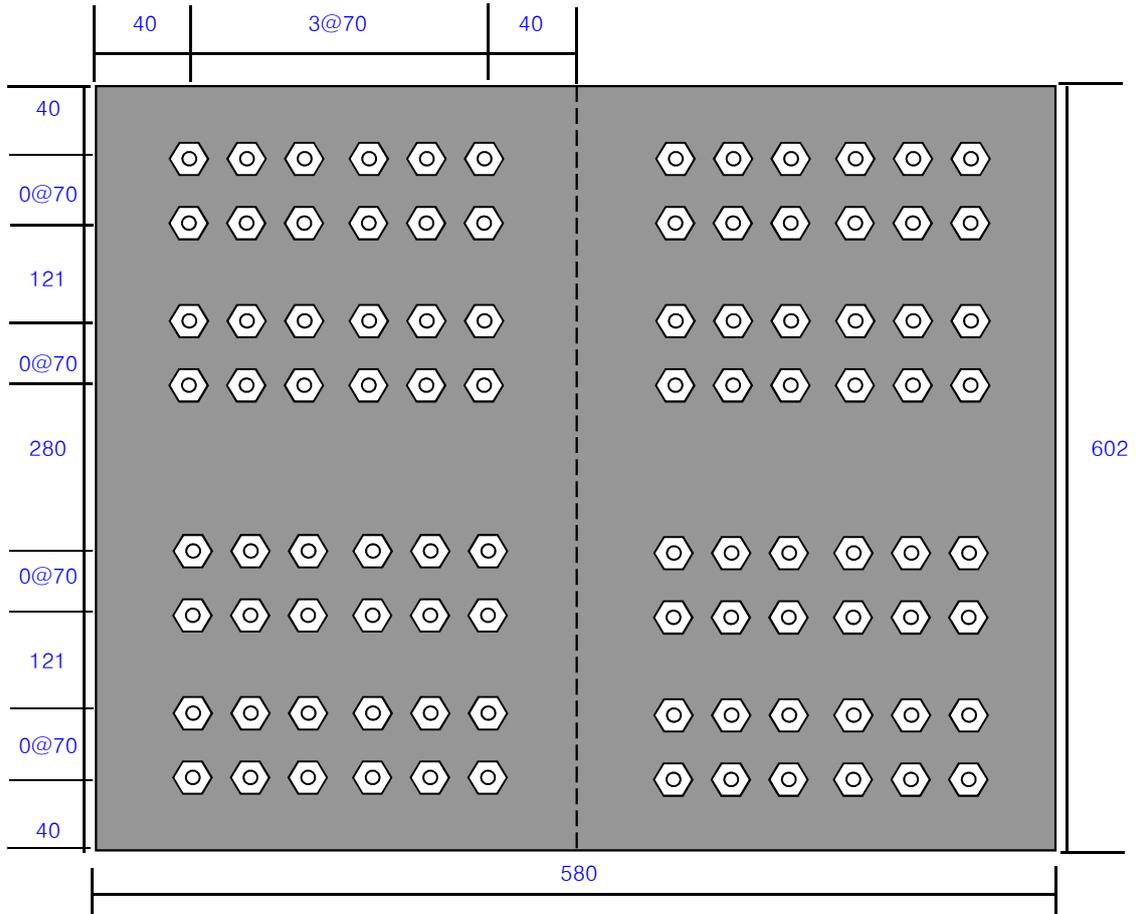
최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	130	300	28	150

(3) 볼트의 배치

- ① 교축직각방향 배치 : 교축직각방향 1열당 4 개씩 배치함
(1 Flange 당 1 개씩 배치함)



② 교축방향 배치 : 총 볼트 개수 16 개 ≥ 8 개(필요볼트수)
 (교축직각방향x교축방향 : 4 x 4) ▶ O.K



(4) 볼트의 응력검토 [도.설 3.5.3.5]

$$\rho_m = P / n = 34639 \text{ N} = 34.639 \text{ kN}$$

$$\rho_s = \frac{V A_{con} d_v}{I_v} \times \frac{p}{n_t} = 7054 \text{ N} = 7.054 \text{ kN}$$

V : 이음부의 전단력
 I_v : 합성 단면의 단면2차 모멘트
 d_v : 도심축에서 이음판 도심까지 거리
 p : 볼트의 교축방향 피치
 n_t : 교축직각방향 1열 볼트수

$$\rho_{ru} = \rho_m + \rho_s = 41.7 \leq 78 \quad (\rho_a) \quad \text{▶ O.K}$$

(5) 이음판 및 모재의 단면검토 [도.설 3.5.3.6]

이음판 : $A_{req} = A_t \times f_{td} / f_{sap} = 2917.0 \leq 15240.0 \quad (A_{net}) \quad \text{▶ O.K}$
 모재 : $A_{req} = A_t \times f_{td} / f_{sah} = 2917.0 \leq 16880.0 \quad (A_{net}) \quad \text{▶ O.K}$

$$A_{net} = A_g - n_t \times d_{bolt} \times t_p$$

A_g : 전단면적
 d_{bolt} : 볼트의 공칭직경
 t_p : 판의 두께

10.5 복부판 이음부 설계

(1) 이음조건 [도.설 3.3.2.3]

작용최대휨응력	최대전단력	복부단면적	복부높이	복부두께
142.5 MPa	404.1 kN	2 x 6792 mm ²	5660 mm	120 mm

볼트등급	볼트호칭	개당허용력(2면)
F10T	M20	78 kN

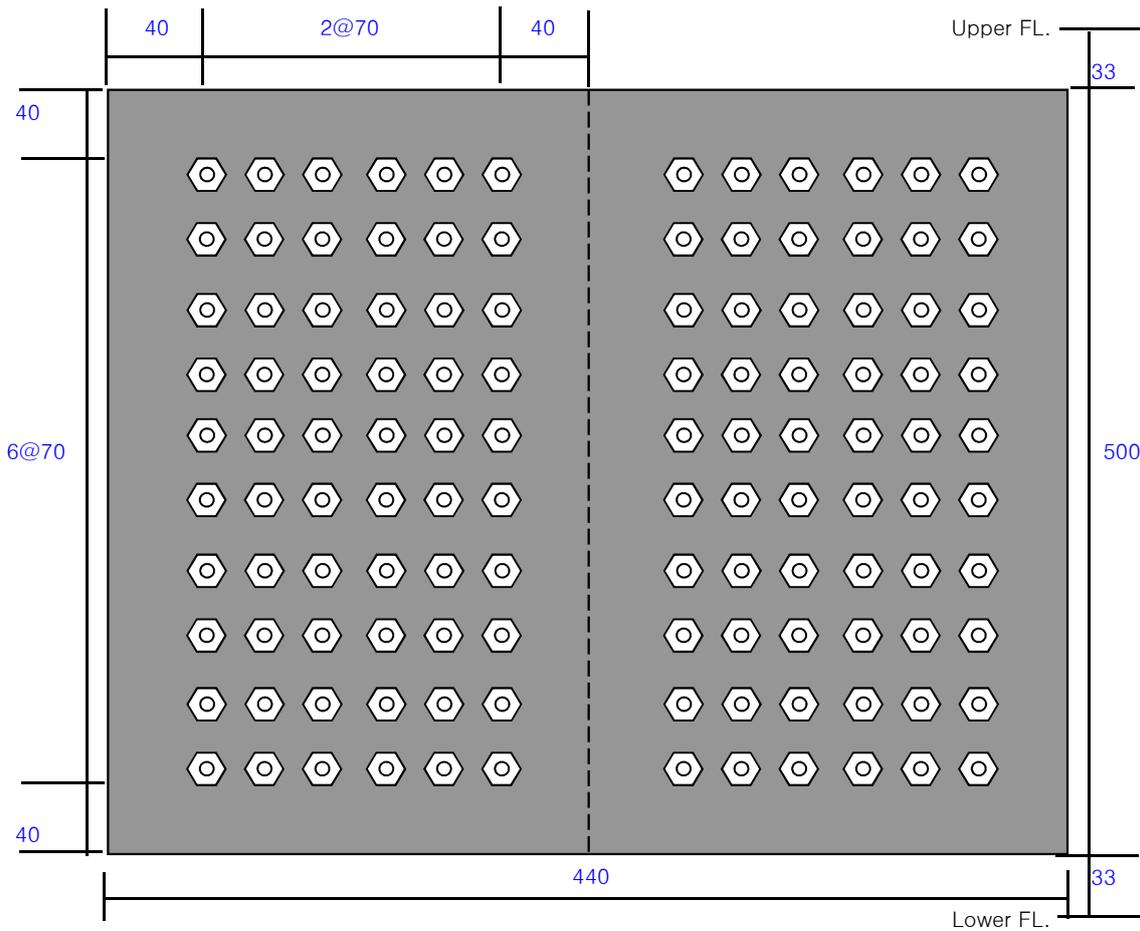
(2) 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	130	300	28	150

(3) 볼트의 배치

① 교축직각방향 배치 : 교축직각방향 1열당 7 개씩 배치함

② 교축방향 배치 : 총 볼트 개수 21 개
(교축직각방향x교축방향 : 7 x 3)



(4) 볼트의 응력검토 [도.설 3.5.3.5]

$$M = f_{max} \times \frac{t_w \times h_w^2}{6} = 91301460 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\sum y_i^2 = 411600 \text{ mm}^2$$

$$\rho_m = \frac{M y_n}{\sum y_i^2} = 46582 \text{ N} = 46.582 \text{ kN}$$

$$\rho_s = \frac{V}{n_{tot}} = 19244 \text{ N} = 19.244 \text{ kN}$$

$\sum y_i^2$: 접합선 한쪽편에 있는 볼트군의 거리제곱 합

y_n : 가장자리 볼트의 중심축으로부터의 거리 (210 mm)

n_{tot} : 접합선 한쪽편에 있는 볼트 개수

$$\rho = \sqrt{\rho_m^2 + \rho_s^2} = 50.401 \leq 78 \text{ (}\rho_a\text{)}$$

▶ O.K

(5) 이음판의 단면검토 [도.설 3.5.3.6]

구분	A	y	I
합성전	① 강재 단면	50496.08	3709135420
	② 복부	13584.00	373380748
	③ 이음판	40000.00	864952166
	①-②+③	76912.08	4200706839
합성후	① 합성 단면	117225.83	10409256050
	② 복부	13584.00	1145491297
	③ 이음판	40000.00	3138540356
	①-②+③	143641.83	12402305109

구분	작용휨모멘트	복부분담비(I_w/I_i)	복부휨모멘트	상단응력(f_u)	하단응력(f_l)
① 합성전	360.00	0.205906339	74.13	-23.83	19.02
② 합성후	494.62	0.25306105	125.17	-0.40	19.54
③ 즉시손실	-	-	-	1.61	-22.66
④ 시간손실	-	-	-	1.56	-22.02
①+③	-	-	-	-22.23	-3.64
①+②+④	-	-	-	-22.67	16.54
최대값				-22.67	16.54

$$f_{u,max} = 22.7 \leq 190 \text{ (}f_{sa}\text{)}$$

▶ O.K

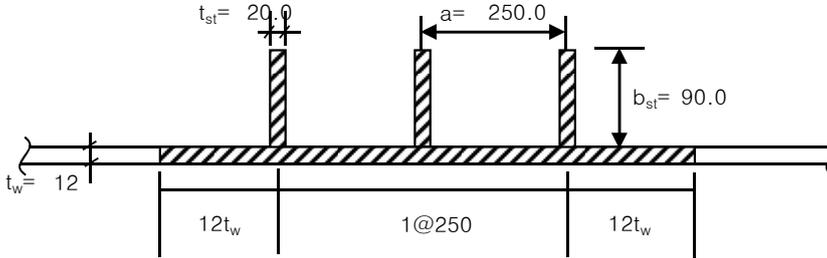
$$f_{l,max} = 16.5 \leq 190 \text{ (}f_{sa}\text{)}$$

▶ O.K

11. 지점부 설계

11.1 지점보강재의 설계 [도.설 3.8.7.1]

* 지점보강재는 완전용입흡용점으로 양쪽플랜지에 접합시킬 것 [도.설 3.8.5.3]



(1) 지점보강재 제원

보강재높이(h)	보강재개수(n _{st})	보강재간격(a)	보강재폭(b _{st})	보강재두께(t _{st})
566.0 mm	2 /web	250.0 mm	90.0 mm	20.0 mm

보강재 단면유효폭 : 538 mm
 보강재 유효단면적(A_e) : Min(A_{stiffner}+A_{web}, 1.7A_{stiffner}) = 6120 mm²
 단면2차모멘트(I_{st}) : $538 \times 12^3 / 3 + 2 \times 20 \times 90^3 / 3 = 10029888.0 \text{ mm}^4$
 회전반경(r) : $\sqrt{I_{st} / A_e} = 40.48 \text{ mm}$
 유효좌굴길이(Lo) : h_w / 2 = 283 mm
 세장비(λ) : Lo / r = 6.99

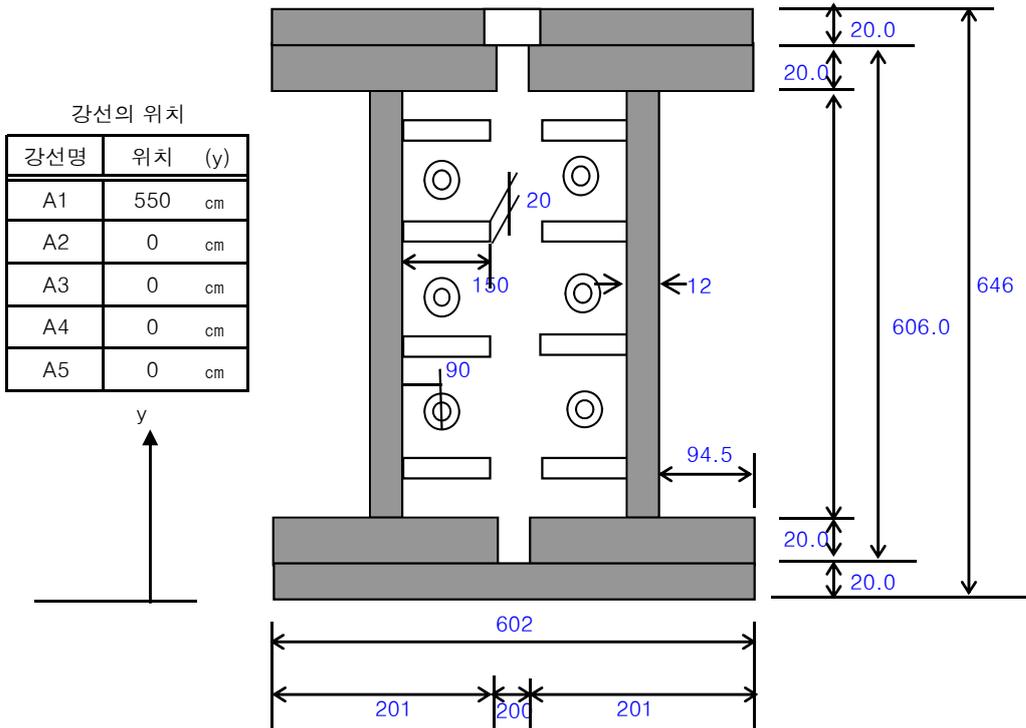
(2) 단면검토

최대반력/web	유효단면적	단면2차모멘트	회전반경	유효좌굴길이
30.51 kN	6120 mm ²	10029888 mm ⁴	40.5 mm	283 mm

$f_{ca} = f_{cag} \cdot f_{cal} / f_{cao} = 190.0 \text{ MPa}$
 f_{cag} : 국부좌굴을 고려하지 않은 허용축방향 압축응력
 $0 \leq \lambda \leq 20$
 $= 190$
 f_{cal} : 국부좌굴에 대한 허용응력 (190)
 f_{cao} : 국부좌굴을 고려하지 않은 최대 허용축방향 압축응력 (190)

$f_c = R_{max} / A_e = 5.0 \text{ MPa} \leq 190.0 \text{ (} f_{ca} \text{)} \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$

11.2 정착부의 설계



(1) 정착부 보강재의 위치

보강재명	위치(하단기준)	위치(복부기준)	간격(mm)
B1	570	530	-
B2	290	250	280
B3	0	0	0
B4	0	0	0
B5	0	0	0
B6	0	0	0

최소간격 = 280

(2) PS 긴장력 도입 직후 지압응력 검토

$$P_T = f_{pl} \cdot A_p = 404782.9 \text{ N}$$

f_{pl} : 즉시손실 후 강선의 응력

A_p : 강선의 단면적

$$\xi = \frac{E A}{\sum E_i A_i}$$

ξ : 하중분담률

$$f_{ba} = 0.7 f_{ci}' \frac{\sqrt{A_b'}}{A_b} - 0.2 \leq 1.10 f_{ci}' \quad (20.0)$$

f_{ba} : 긴장재 정착 직후 정착부의 콘크리트 지압응력

f_{ci}' : $0.8 f_{ck}'$ (32)

구분	단면적	분담률	작용하중	작용응력	허용응력	비고
강재	6360	0.325	131354.5	20.7	210	▶ O.K
콘크리트	90000	0.675	273428.4	3.0	20.0	▶ O.K

(3) 설계하중 작용시 검토

$$P_{pe} = f_{pe} A_p = \frac{\eta}{\sqrt{A_b'}} f_{pt} A_p = 393447.6 \text{ N}$$

$$f_{ba} = 0.5 f_{ck} \frac{\sqrt{A_b'}}{A_b} \leq 0.9 f_{ck} \quad (20.0)$$

구분	단면적	분담률	작용하중	작용응력	허용응력	비고
강재	6360	0.325	127676.1	20.1	210	▶ O.K
콘크리트	90000	0.675	265771.5	3.0	20	▶ O.K

(4) 정착부 보강재의 용접연결 검토

$$P_{anb} = \text{Max}(P_t, P_{pe}) \times A_{anb}/A_{an} = 190935.334 \text{ N}$$

P_{anb} : 정착부 보강재에 작용하는 최대하중
 A_{anb} : 정착부 보강재의 단면적 (3000)
 A_{an} : 긴장력이 작용하는 강재 단면적 (6360)

$$f_{an,weld} = P_{anb} / A_{weld} = 31.8 \text{ MPa} \leq 140.0 \quad (f_{a,weld}) \quad \text{▶ O.K}$$

(5) 내부 전단연결재의 설계 [도.설 3.9.5]

① 사용스터드

스터드 높이(H)	스터드직경(d)	1개당 허용력(Q _a)	콘크리트분담력	필요개수
150 mm	19 mm	17820.2 N	546856.9 N	31 개

$$Q_a = 9.5 d^2 \sqrt{f_{ck}} = 17820.2 \text{ N}$$

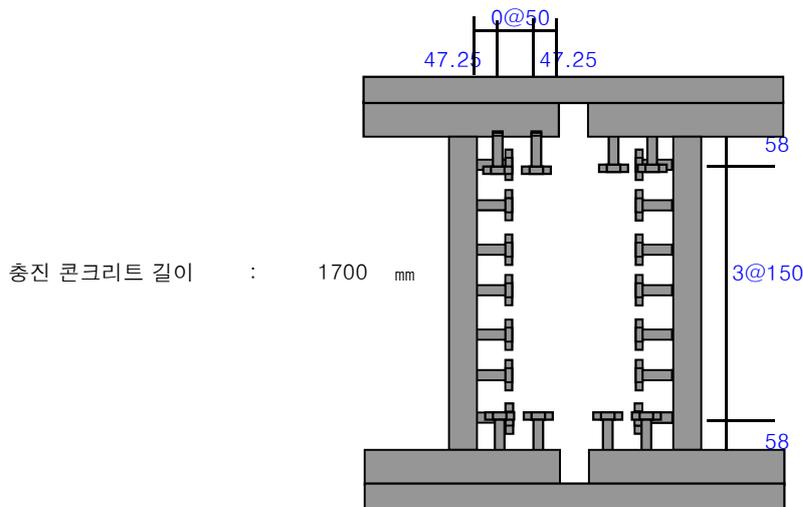
$$P_c = \xi_{conc} \times \text{Max}(P_t, P_{pe}) \times N_p = 546856.9 \text{ N}$$

② 스테드의 간격 한계

최소중심간격(p)	최소중심간격(q)	최대중심간격	최소연단거리	최대연단거리
100	49	600	25	300

③ 스테드의 배치

교축직각방향	교축방향	총 스테드수	필요 스테드수	비고
12 개	6 열	72 개	31 개	▶ O.K



12. 가로보 설계

12.1 중간 가로보의 설계

(1) 설계조건

간격(mm)	길이(mm)	단면적(mm ²)	A _{web} (mm ²)	I _c	Z _t	Z _b
8000	1687	11420	4680	478000000	1912000	1912000

(2) 하중

① 고정하중

구분	단면적(mm ²)	단위중량(kN/mm ³)	할증계수	하중(kN/mm)
Beam자중	54580	7.85 × 10 ⁻⁸	1.3	0.005570
바닥판	1920000	2.50 × 10 ⁻⁸	1.0	0.048000
포장	640000	2.30 × 10 ⁻⁸	1.0	0.014720
합계				0.068290

② 활하중

$$P_L = P_f \times 0.475 + P_r (1.00 + 0.475) = 153.0 \text{ kN}$$

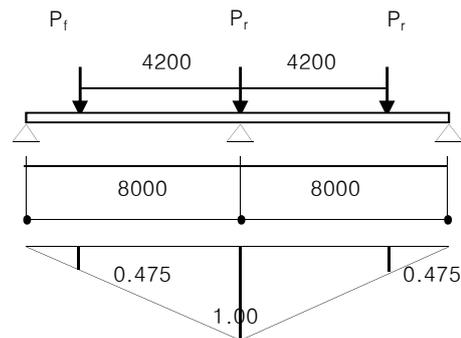
$$P_f : \text{전륜하중 (1 등급 = 24 kN)}$$

$$P_r : \text{후륜하중 (1 등급 = 96 kN)}$$

$$i = 15 / (40 + L) = 0.35982 > 0.3$$

$$= 0.3$$

$$P_{Li} = P_L (1 + i) = 198.9 \text{ kN}$$



③ 위치별 단면력

구분	전단력(kN)	휨모멘트(kN·m)	위치
단부	157.05	-58.139	0 mm
중앙부	99.45	50.041	844 mm
이음부	129.05	0.513	410 mm

(3) 단면검토

구분	단면력종류	단면력	작용응력	허용응력	비고
강재상단	휨모멘트	-58.14	-30.4	140	▶ O.K
강재하단	휨모멘트	58.14	30.4	140	▶ O.K
복부	전단력	157.05	33.6	80	▶ O.K

(4) 상·하부 플랜지 이음부 설계

① 이음조건 [도.설 3.3.2.3]

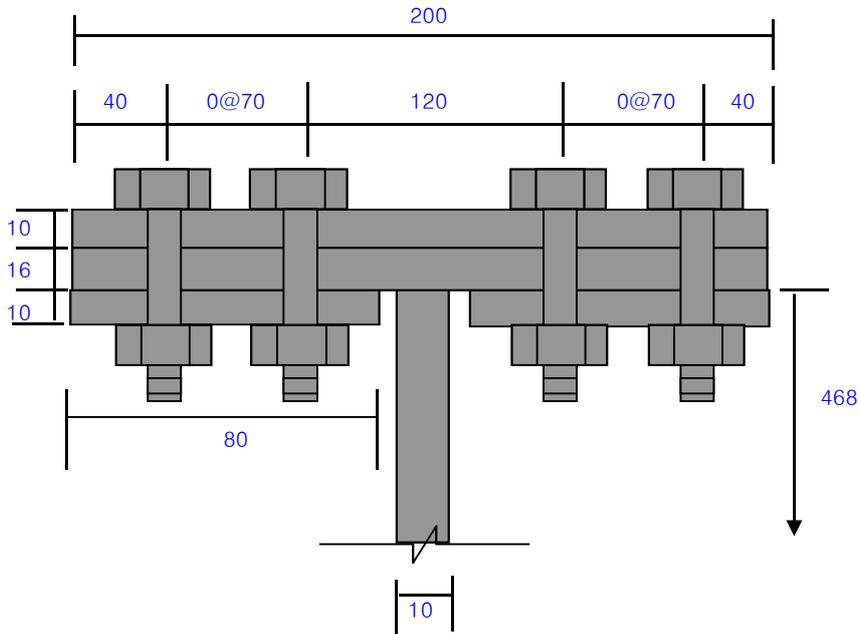
작용최대응력	모재단면적	볼트등급	볼트호칭	개당허용력(2면)	필요개수
105.0	3200 mm ²	F10T	M20	78 kN	5

② 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

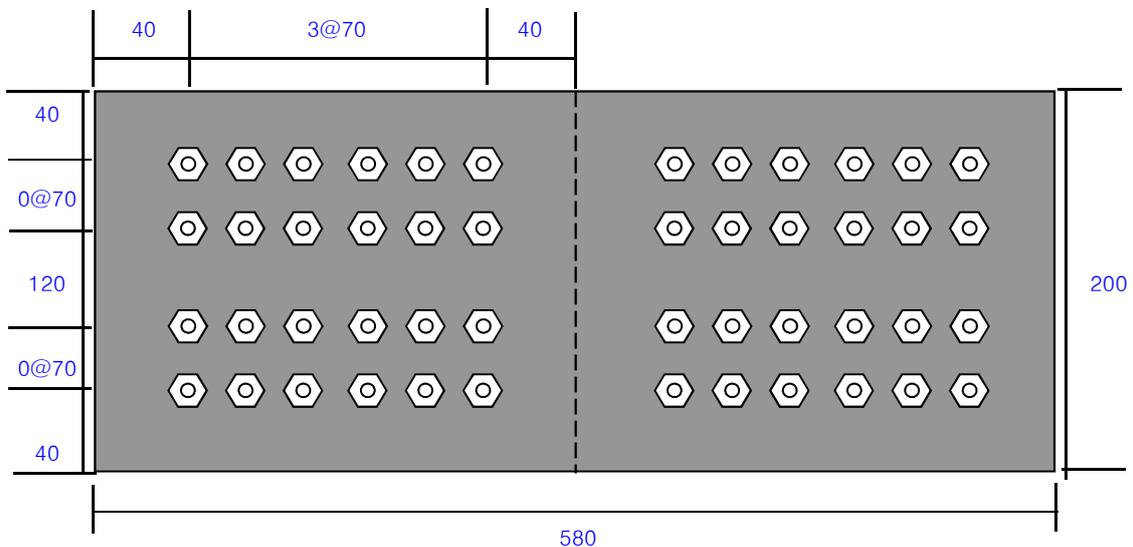
최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	130	240	28	80

③ 볼트의 배치

- a) 교축직각방향 배치 : 교축직각방향 1열당 2 개씩 배치함
 (1 Flange 당 1 개씩 배치함)



- b) 교축방향 배치 : 총 볼트 개수 8 개 ≥ 5 개(필요볼트수)
 (교축직각방향x교축방향 : 2 x 4) ▶ O.K



④ 볼트의 응력검토 [도.설 3.5.3.5]

$$\rho_m = P / n = 42000.0 \text{ N} = 42 \text{ kN}$$

$$\rho_s = \frac{V (A_{con} d_v)}{l_v} \times \frac{p}{n_t} = 5322.9 \text{ N} = 5.323 \text{ kN}$$

- V : 이음부의 전단력
- l_v : 총단면2차 모멘트 (899660800)
- A_{con} : 상부 이음판의 단면적 (3600.0)
- d_v : 도심축에서 상부 이음판 도심까지 거리
- p : 볼트의 교축방향 피치
- n_t : 교축직각방향 1열 볼트수

$$\rho_{tu} = \rho_m + \rho_s = 47.3 \leq 78 \quad (\rho_a) \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

⑤ 이음판의 단면검토 [도.설 3.5.3.6]

$$A_{req} = A_t \times f_{tu} / f_{sac} = 2400.0 \leq 2800.0 \quad (A_{net}) \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

(5) 복부판 이음부 설계

① 이음조건 [도.설 3.3.2.3]

작용최대휨응력	최대전단력	복부단면적	복부높이	복부두께
98.3 MPa	157.05 kN	4680 mm ²	468 mm	10 mm

볼트등급	볼트호칭	개당허용력(2면)
F10T	M20	78 kN

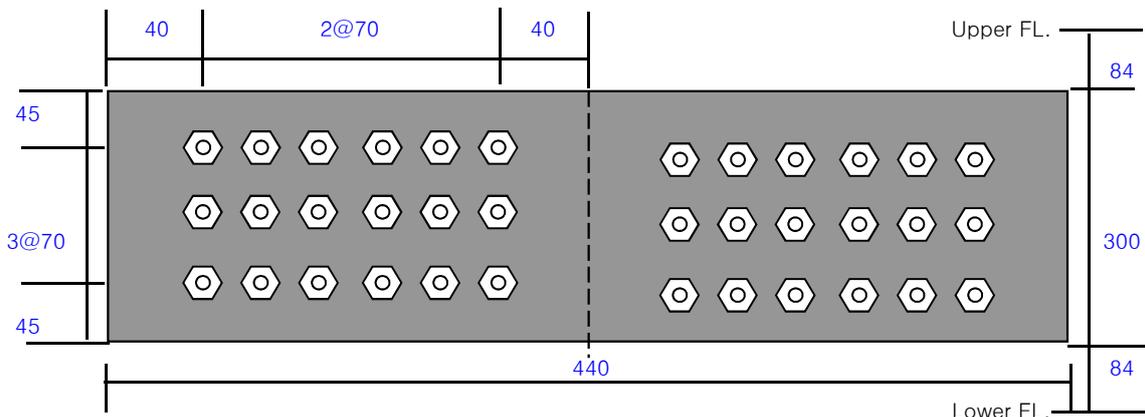
② 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	130	240	28	80

③ 볼트의 배치

① 교축직각방향 배치 : 교축직각방향 1열당 4 개씩 배치함

② 교축방향 배치 : 총 볼트 개수 12 개
(교축직각방향x교축방향 : 4 x 3)



④ 볼트의 응력검토 [도.설 3.5.3.5]

$$M = f_{\max} \times \frac{t_w \times h_w^2}{6} = 35876131.2 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\sum y_i^2 = 73500 \text{ mm}^2$$

$$\rho_m = \frac{M y_n}{\sum y_i^2} = 51251.6 \text{ N} = 51.252 \text{ kN}$$

$$\rho_s = \frac{V}{n_{\text{tot}}} = 13087.7 \text{ N} = 13.088 \text{ kN}$$

$\sum y_i^2$: 접합선 한쪽편에 있는 볼트군의 거리제곱 합

y_n : 가장자리 볼트의 중심축으로부터의 거리 (105 mm)

n_{tot} : 접합선 한쪽편에 있는 볼트 개수

$$\rho = \sqrt{\rho_m^2 + \rho_s^2} = 52.9 \leq 78 \text{ (}\rho_a\text{)} \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

⑤ 이음판의 단면검토 [도.설 3.5.3.6]

구분	A	y	A y	A y ²	I _o
상단	3600.00	252.00	907200.0	228614400	30000
복부	4680.00	0.00	0.0	0	85419360
하단	3600.00	252.00	907200.0	228614400	30000
계	11880.00	0.00	1814400.00	457228800.00	85479360.00

$$I_c = \sum I_o + \sum A y^2 = 542708160 \text{ mm}^4$$

$$Z = \frac{I_c}{y_{b(t)}} = 2010030 \text{ mm}^3$$

구분	단면력종류	단면력	작용응력	허용응력	비고
상단이음부	휨모멘트	-58.14	-28.9	140	▶ O.K
하단이음부	휨모멘트	58.14	28.9	140	▶ O.K
복부이음부	전단력	157.05	33.6	80	▶ O.K

12.2 단부 가로보의 설계

(1) 설계조건

간격(mm)	길이(mm)	단면적(mm ²)	A _{web} (mm ²)	I _c	Z _t	Z _b
8000	1687	11420	4680	478000000	1912000	1912000

(2) 하중

① 고정하중

구분	단면적(mm ²)	단위중량(kN/mm ³)	활중계수	하중(kN/mm)
Beam자중	54580	7.85 × 10 ⁻⁸	1.3	0.005570
바닥판	960000.00	2.50 × 10 ⁻⁸	1.0	0.024000
포장	320000.0	2.30 × 10 ⁻⁸	1.0	0.007360
합계				0.036930

② 활하중

$$P_L = P_r (1.00 + 0.475) = 141.6 \text{ kgf}$$

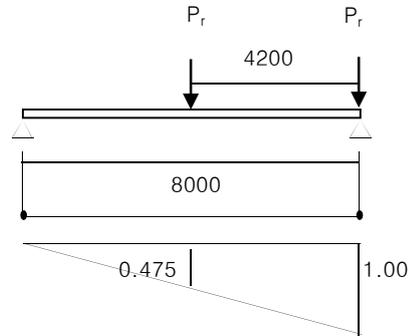
$$P_r : \text{전륜하중 (1 등급 = 24 kN)}$$

$$P_r : \text{후륜하중 (1 등급 = 96 kN)}$$

$$i = 15 / (40 + L) = 0.35982 > 0.3$$

$$= 0.3$$

$$P_{Li} = P_L (1 + i) = 184.1 \text{ kgf}$$



③ 위치별 단면력

구분	전단력(kN)	휨모멘트(kN·m)	위치
단부	123.19	-47.58	0 mm
중앙부	92.04	43.20	844 mm
이음부	108.05	0.51	410 mm

(3) 단면검토

구분	단면력종류	단면력	작용응력	허용응력	비고
강재상단	휨모멘트	-47.58	-24.88	140	▶ O.K
강재하단	휨모멘트	47.58	24.88	140	▶ O.K
복부	전단력	123.19	26.32	80	▶ O.K

(4) 상·하부 플랜지 이음부 설계

① 이음조건 [도.설 3.3.2.3]

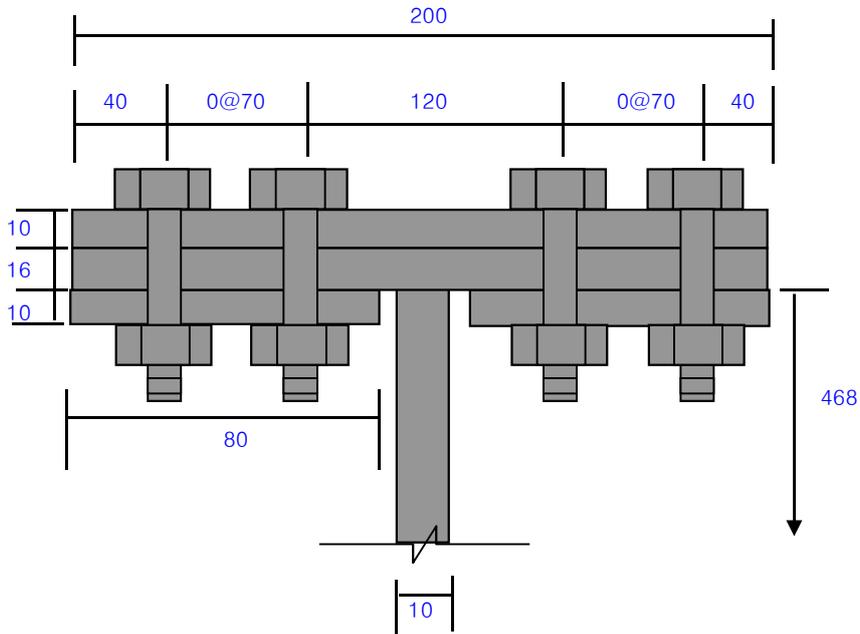
작용최대응력	모재단면적	볼트등급	볼트호칭	개당허용력(2면)	필요개수
105.0	3200 mm ²	F10T	M20	78 kgf	5

② 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

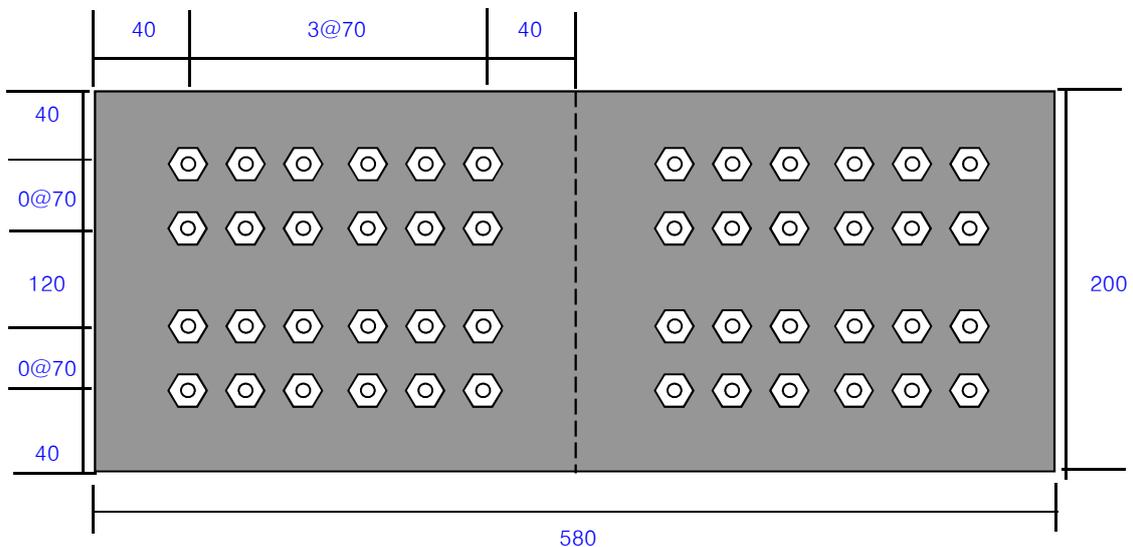
최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	130	240	28	80

③ 볼트의 배치

- a) 교축직각방향 배치 : 교축직각방향 1열당 2 개씩 배치함
 (1 Flange 당 1 개씩 배치함)



- b) 교축방향 배치 : 총 볼트 개수 8 개 ≥ 5 개(필요볼트수)
 (교축직각방향x교축방향 : 2 x 4) ▶ O.K



④ 볼트의 응력검토 [도.설 3.5.3.5]

$$\rho_m = P / n = 42000.0 \text{ N} = 42 \text{ kN}$$

$$\rho_s = \frac{V (A_{con} d_v)}{I_v} \times \frac{p}{n_t} = 4175.3 \text{ N} = 4.175 \text{ kN}$$

- V : 이음부의 전단력
- I_v : 총단면2차 모멘트 (899660800)
- A_{con} : 상부 이음판의 단면적 (3600.0)
- d_v : 도심축에서 상부 이음판 도심까지 거리
- p : 볼트의 교축방향 피치
- n_t : 교축직각방향 1열 볼트수

$$\rho_{tu} = \rho_m + \rho_s = 46.2 \leq 78 \quad (\rho_a) \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

⑤ 이음판의 단면검토 [도.설 3.5.3.6]

$$A_{req} = A_t \times f_{tu} / f_{sac} = 2400.0 \leq 2800.0 \quad (A_{net}) \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

(5) 복부판 이음부 설계

① 이음조건 [도.설 3.3.2.3]

작용최대휨응력	최대전단력	복부단면적	복부높이	복부두께
98.3 MPa	123.19 kN	4680 mm ²	468 mm	10 mm

볼트등급	볼트호칭	개당허용력(2면)
F10T	M20	78 kgf

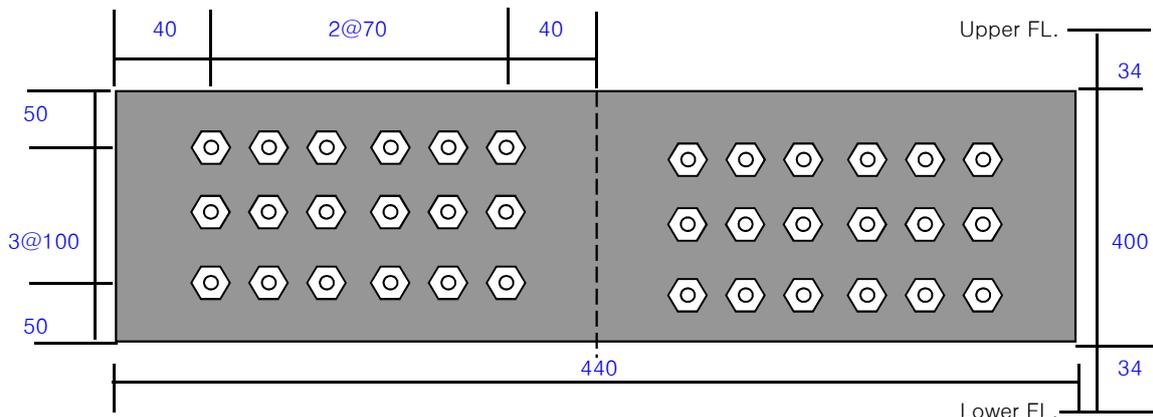
② 볼트의 간격 한계(mm) [도.설 3.5.3.8~3.5.3.10]

최소중심간격	최대중심간격(p)	최대중심간격(g)	최소연단거리	최대연단거리
65	130	240	28	80

③ 볼트의 배치

① 교축직각방향 배치 : 교축직각방향 1열당 4 개씩 배치함

② 교축방향 배치 : 총 볼트 개수 12 개
(교축직각방향x교축방향 : 4 x 3)



④ 볼트의 응력검토 [도.설 3.5.3.5]

$$M = f_{\max} \times \frac{t_w \times h_w^2}{6} = 35876131.2 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\sum y_i^2 = 150000 \text{ mm}^2$$

$$\rho_m = \frac{M y_n}{\sum y_i^2} = 35876.1 = 35.876 \text{ kN}$$

$$\rho_s = \frac{V}{n_{\text{tot}}} = 10265.9 = 10.266 \text{ kN}$$

$\sum y_i^2$: 접합선 한쪽편에 있는 볼트군의 거리제곱 합

y_n : 가장자리 볼트의 중심축으로부터의 거리 (150 mm)

n_{tot} : 접합선 한쪽편에 있는 볼트 개수

$$\rho = \sqrt{\rho_m^2 + \rho_s^2} = 37.3 \leq 78 (\rho_a) \quad \blacktriangleright \text{ O.K}$$

⑤ 이음판의 단면검토 [도.설 3.5.3.6]

구분	A	y	A y	A y ²	I _o
상단	3600.00	252.00	907200.0	228614400	30000
복부	4680.00	0.00	0.0	0	85419360
하단	3600.00	252.00	907200.0	228614400	30000
계	11880.00	0.00	1814400.00	457228800.00	85479360.00

$$I_c = \sum I_o + \sum A y^2 = 542708160 \text{ cm}^4$$

$$Z = \frac{I_c}{y_{b(t)}} = 2010030 \text{ cm}^3$$

구분	단면력종류	단면력	작용응력	허용응력	비고
상단이음부	휨모멘트	-47.58	-23.7	140	▶ O.K
하단이음부	휨모멘트	47.58	23.7	140	▶ O.K
복부이음부	전단력	123.19	26.3	80	▶ O.K

13. 처짐 및 신축량 검토

13.1 처짐의 검토

(1) 프리스트레스에 의한 모멘트

$$M_p = P_{11} \cdot e_{p2} = 157771981 \quad \text{N}\cdot\text{mm}$$

(2) 고정하중 및 프리스트레스에 의한 처짐

$$\delta = \frac{5 M L^2}{48 E_s I}$$

구분	외측 Beam			중간 Beam		
	M(N·mm)	I(mm ⁴)	δ(mm)	M(N·mm)	I(mm ⁴)	δ(mm)
Prestress	157771981	3680139680	-14	157771981	3680139680	-14
주BEAM	389300000	3680139680	35	389300000	3680139680	35
합성전	295800000	3709135420	27	295800000	3709135420	27
합성후	130060000	10181760122	4	130060000	10409256050	4
계			52			52

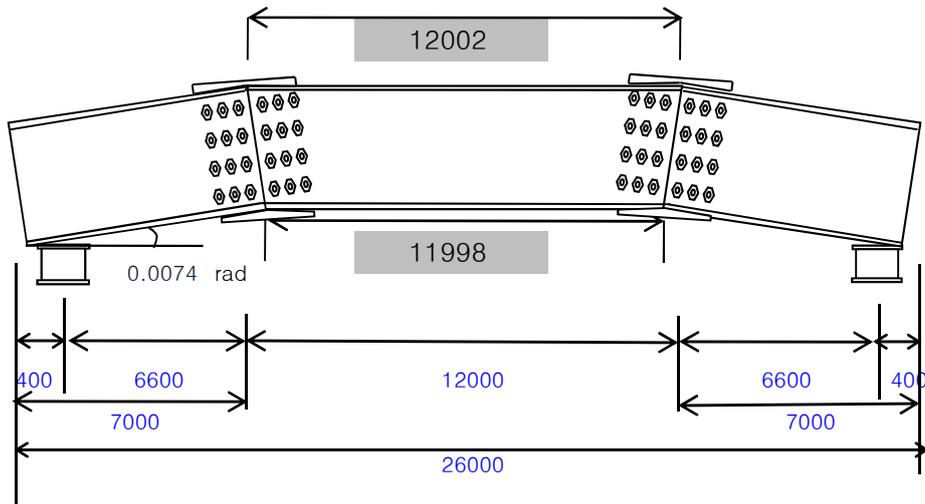
(3) 활하중에 의한 처짐 : 프로그램에서 자동계산 [도.설 3.2.3]

구분	M(N·mm)	I(mm ⁴)	δ(mm)	δ _a (mm)	비고
외측 Beam	811500000	10181760122	10.8	< L/(20000/L) =	▶ O.K
중간 Beam	811500000	10409256050	10.7	33.80	▶ O.K

14. 솟음

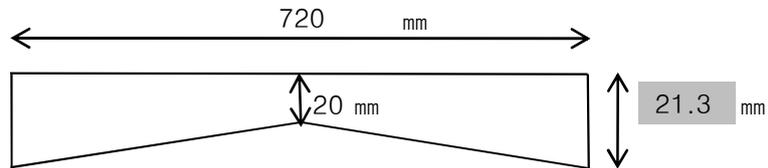
14.1 부재의 치수 (중간부재의 상하단 플랜지 치수)

정적처짐 : 52 mm (camber 량)



14.2 상하플랜지 연결판의 가공

(1) 상부 플랜지 연결판 가공



(2) 하부 플랜지 연결판 가공

