탄천교

안 전 성 평 가

1. 검토조건 및 검토단면

1.1 검토조건

1) 교량제원

- 교 량 명 : 탄천교
- 구조형식 : 강합성 상자형교
- 교량등급 : 1 등교
- 지간구성 : L = 249.680 m (= 49.840m + 3@50.000m + 49.840m)
- 계산지간 : Ls = 248.800 m (= 49.400m + 3@50.000m + 49.400m)
- 교량폭원 : 14.150 m (유 효 폭 : 13.425 m)
- 거더높이 : 2.200 m (거 더 폭 : 3.200 m , 배치간격 : 7.950 m)
  (Girder : 2 EA , Stringer : 1 EA)
- 곡선반경 : 607.085 m (도로 중심선 기준)
- 교량사각 : 90.00 ° (시 점) , 90.00 ° (종 점)

2) 설계하중

① 고정하중

- 강재 자중 : γ_{st} = 78.50 kN/m^3
- 철근콘크리트 : γ_{con} = 25.00 kN/m^3
- 아스콘 포장 : γ_{asp} = 23.00 kN/m^3
- 콘크리트 : γ_{con} = 23.50 kN/m^3

② 활하중

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

3) 사용재료

① Steel Box

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

② 바닥판

: fck = 27 MPa Ec = 26,681 MPa

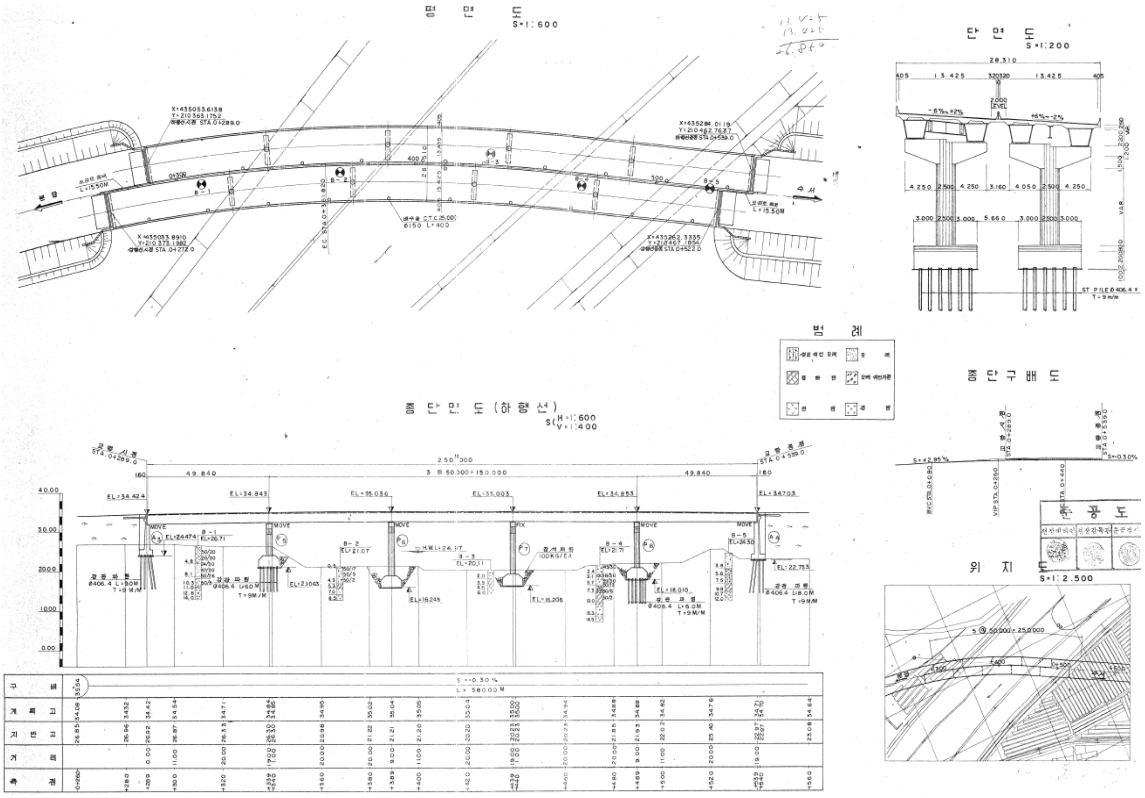
: fy = 400 MPa SD 400 Es' = 2.0E+05 MPa

③ 탄성계수비

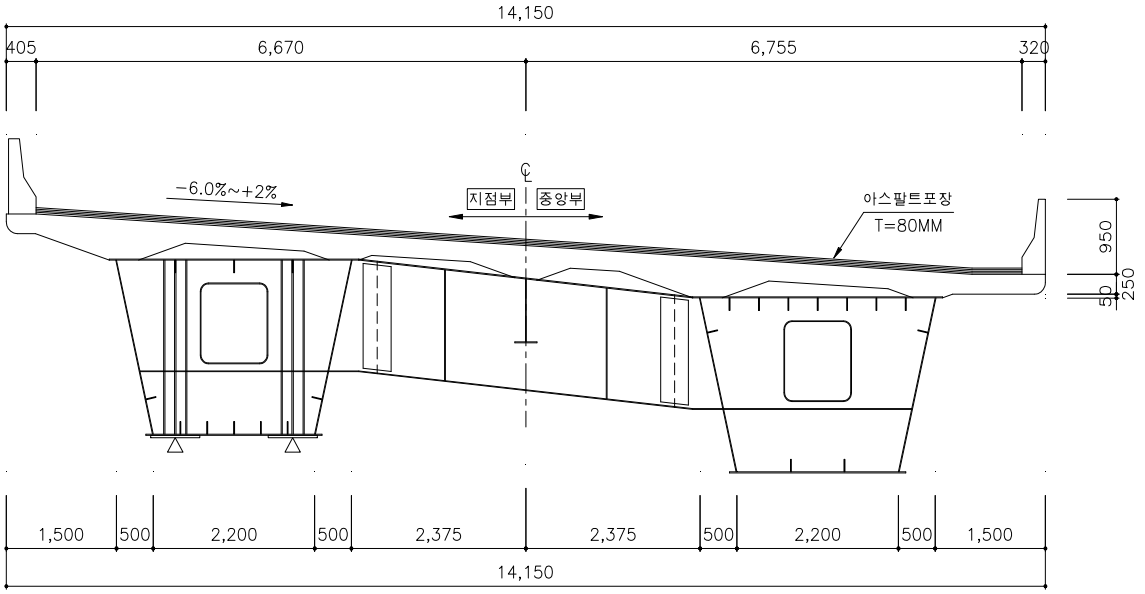
: 주거더의 탄성변형, 부정정력 및 단면응력을 계산하는 경우에 강재와 바닥판 콘크리트의 탄성계수비 n 은 8 을 표준으로 한다.

1.2 검토단면

1) 종평면도



2) 횡단면도



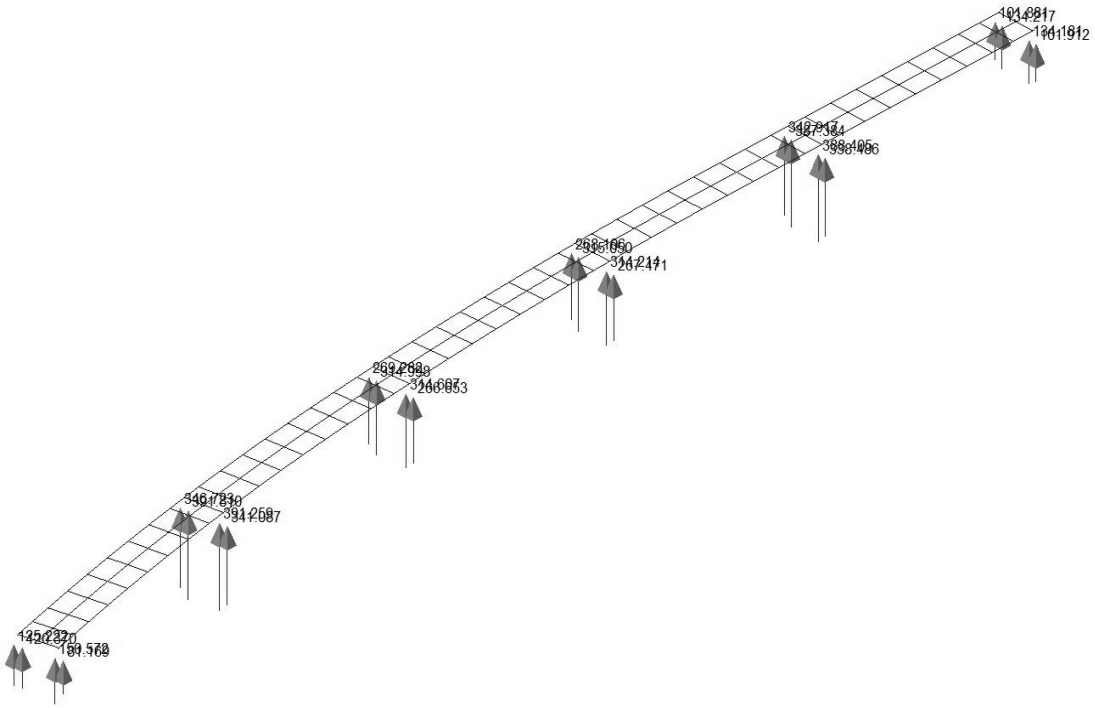
2. 하중산정

2.1 고정하중

1) 강재 자중

① 적용 강재중량

▸ A1	=	125.222	+	120.370	+	150.572	+	81.169	=	477.333	kN
▸ P1	=	346.723	+	391.810	+	391.259	+	341.087	=	1,470.879	kN
▸ P2	=	269.282	+	314.998	+	314.607	+	266.653	=	1,165.540	kN
▸ P3	=	268.106	+	315.050	+	314.214	+	267.471	=	1,164.841	kN
▸ P4	=	342.917	+	387.384	+	388.405	+	338.486	=	1,457.192	kN
▸ A2	=	101.881	+	134.217	+	134.181	+	101.912	=	472.191	kN
									∑ =	6,207.976	kN



② 총 강재중량

▸ Total = 881.969 tonf = 8,819.686 kN

③ 강재중량비

▸ 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 8,819.686 / 6,207.976 = 1.4207

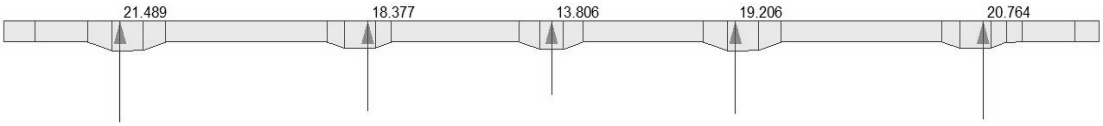
▸ 난종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재자중의 42.07 % 할증 적용.

2) **합성전 고정하중 (바닥판)**

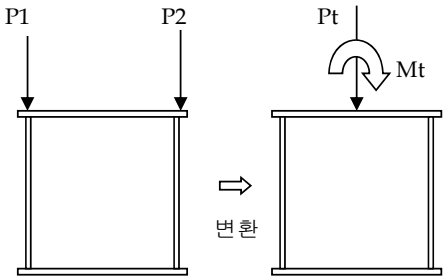
① 바닥판 단면도

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

② 해석 반력



▸ MIDAS/CIVIL의 Self Weight 으로 하중을 재하한다.



Web 중심간격

= 3.200 m

③ 거더별 작용하중 산정

구 분		Girder - 1		ST-1	Girder - 2	
		G-11	G-12		G-21	G-22
바닥판 자중	P1 (kN/m)	-21.489	-18.377	-13.806	-19.206	-20.764
	Pt (kN/m)	-39.866		-13.806	-39.970	
	Mt (kN· m/m)	-4.979		-	2.493	
	편심거리 (m)	0.125		-	-0.062	

3) **합성후 고정하중**

① 적용하중

▸ 방호벽 = (0.150 × 0.485 + 0.058 × 0.485 / 2
+ 0.208 × 0.250 + 0.168 × 0.250 / 2
+ 0.375 × 0.215) × 25.00 × 1 EA + 0.000 = 6.003 kN/m

* 횡분배 해석적용하중

- 하중크기 : (1) = 0.950 × 25.00 = 23.750 kN/m^2 (거리 : 0.030 ~ 0.180)
(2) = 0.465 × 25.00 = 11.625 kN/m^2 (거리 : 0.180 ~ 0.238)
(3) = 0.215 × 25.00 = 5.375 kN/m^2 (거리 : 0.238 ~ 0.405)

▸ 중분대 = (0.070 × 0.450 + 0.050 × 0.450 / 2
+ 0.120 × 0.250 + 0.200 × 0.250 / 2
+ 0.320 × 0.200) × 25.00 × 1 × 1 EA + 0.000 = 4.044 kN/m

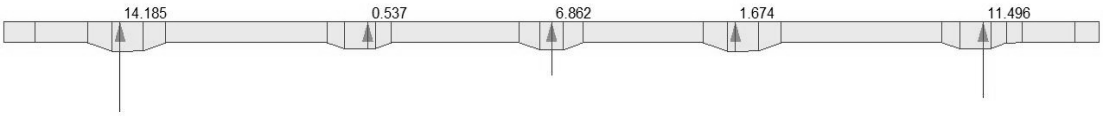
* 횡분배 해석적용하중

- 하중크기 : (1) = 0.900 × 25.00 = 22.500 kN/m^2 (거리 : 0.000 ~ 0.070)
(2) = 0.450 × 25.00 = 11.250 kN/m^2 (거리 : 0.070 ~ 0.120)
(3) = 0.200 × 25.00 = 5.000 kN/m^2 (거리 : 0.120 ~ 0.320)

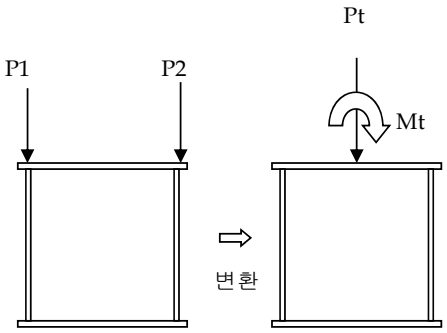
▸ 포 장

차 도 = 0.080 × 23.00 = 1.840 kN/m^2

② 해석 반력



③ 거더별 작용하중 산정



Web 중심간격

= 3.200 m

④ 거더별 작용하중 산정

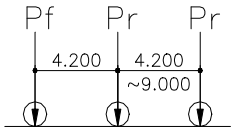
0

구 분		Girder - 1		ST-1	Girder - 2	
		G-11	G-12		G-21	G-22
합 성 후 고정하중	P1 (kN/m)	-14.185	-0.537	-6.862	-1.674	-11.496
	Pt (kN/m)	-14.722		-6.862	-13.170	
	Mt (kN· m/m)	-21.837		-	15.715	
	편심거리 (m)	1.483		-	-1.193	

2.2 활하중

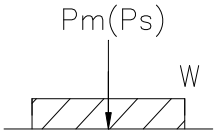
1) 설계활하중

▸ DB-24



- Pf = 24.0 kN
- Pr = 96.0 kN
- 차선 점유폭 = 3.00 m
- 차륜간 거리 = 1.80 m

▸ DL-24



- W = 12.7 kN/m
- Pm = 108.0 kN
- Ps = 156.0 kN
- 차선 점유폭 = 3.00 m

2) 차선수 및 차로폭 결정

▸ 연석간 교폭 : Wc = 13.425 m ∴ N = 4 차선 재하가능

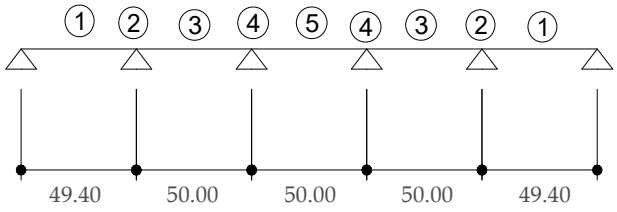
▸ 설계차로폭 : W = Wc / N = 3.356 m < 3.60 m ∴ W = 3.356 m 적용

3) 충격계수

▸ $I = 15 / (40 + L) \leq 0.3$

여기서, L은 원칙적으로 설계부재에 최대응력이 발생하도록 재하된 등분포활하중이 재하된 지간부분의 길이(m)이다

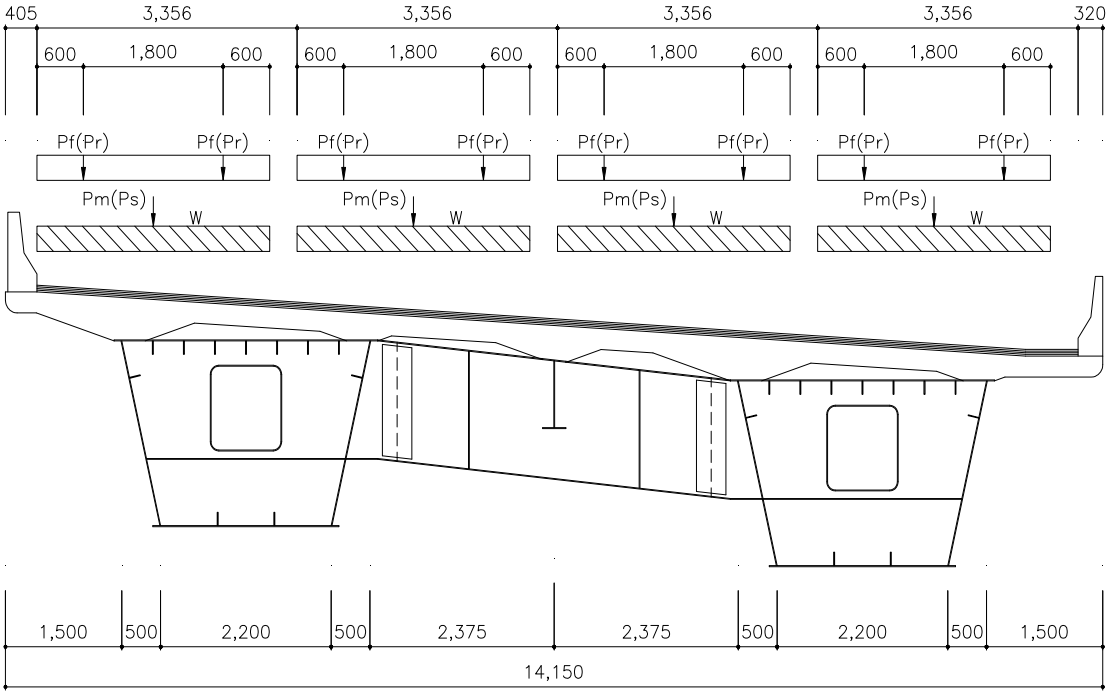
▸ 각 위치별 충격계수



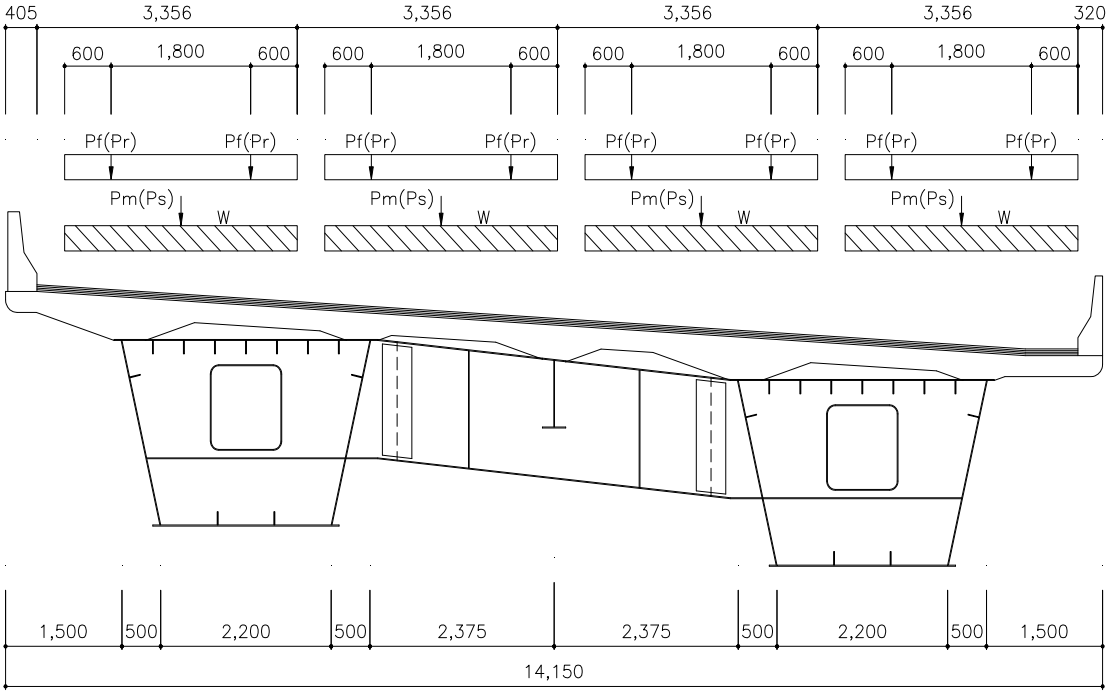
- 외측경간 (하중위치①) : L = 49.40 m
  I = 15 / (40 + L) = 0.168
- 외측지점 (하중위치②) : L = 49.70 m
  I = 15 / (40 + L) = 0.167
- 내측경간 (하중위치③) : L = 50.00 m
  I = 15 / (40 + L) = 0.167
- 내측지점 (하중위치④) : L = 50.00 m
  I = 15 / (40 + L) = 0.167
- 외측경간 (하중위치⑤) : L = 50.00 m
  I = 15 / (40 + L) = 0.167

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

▸ G1측 편측재하



▸ G2측 편측재하



2.3 온도하중

- $\Delta T = \pm 10$ ℃ (온도차)
- $\alpha = 1.2E\text{-}05$ (선팽창 계수)

2.4 크리프

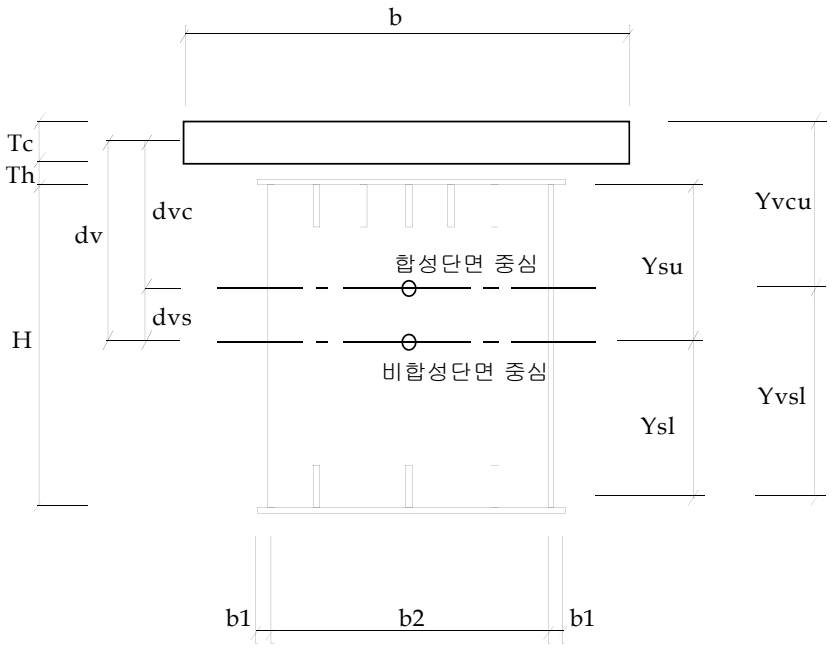
- $\varphi_1 = 2.0$ (크리프 계수)
- $n_1 = n \cdot (1 + \varphi_1 / 2) = 8 \times (1 + 2.0 / 2) = 16$ (크리프 계산시 탄성계수비)

2.5 건조수축

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

3.

단면계수



- b ; 바닥판 콘크리트의 폭
- Tc ; 바닥판 콘크리트의 두께
- Th ; 바닥판 콘크리트의 헌치 높이
- Ac ; 바닥판 콘크리트의 단면적
- Av ; 합성후 (강재+바닥판 콘크리트)의 환산단면적
- Ic ; 바닥판 콘크리트의 단면2차모멘트
- dv ; 강재단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
- dvc ; 합성단면 도심에서 바닥판 도심까지의 거리
- dvs ; 합성단면 도심에서 강재단면 도심까지의 거리 (합성전 및 합성후단면에서의 도심축 이동량)
- I_{33} ; 합성전 강재단면의 3축방향(종방향) 단면2차모멘트
- I_{22} ; 합성전 강재단면의 2축방향(횡방향) 단면2차모멘트
- Iv_{33} ; 합성후 강재단면의 3축방향(종방향) 단면2차모멘트
- Iv_{22} ; 합성후 강재단면의 2축방향(횡방향) 단면2차모멘트

3.1 Girder

1) Section 별 단면 요약

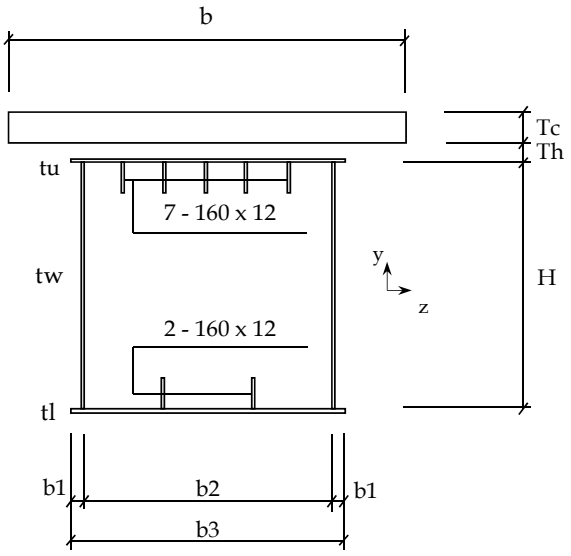
Section	Thickness (cm)					EA		복부판 높이 (cm)
	Flange		Web	Rib		Rib		
	Upp.	Low.		Upp.	Low.	Upp.	Low.	
Section-A	1.0	1.4	1.1	1.2	1.2	7	2	220.0
Section-B	1.0	2.4	1.1	1.2	1.2	7	2	220.0
Section-C	1.2	2.4	1.1	1.2	1.2	7	5	220.0
Section-D	1.2	2.4	1.1	1.2	1.2	3	5	220.0
Section-E	1.2	1.8	1.1	1.2	1.2	3	5	220.0
Section-F	2.2	2.8	1.1	1.2	1.2	3	5	220.0
Section-G	1.2	1.8	1.1	1.2	1.2	7	5	220.0
Section-H	1.2	1.8	1.1	1.2	1.2	7	2	220.0
Section-I	2.0	2.4	1.1	1.2	1.2	3	5	220.0
Section-J	1.0	1.4	1.1	1.2	1.2	3	5	220.0
Section-K	1.0	1.4	1.1	1.2	1.2	7	5	220.0
Section-L	1.2	1.6	1.1	1.2	1.2	7	2	220.0
				Rib 높이		16.0	16.0	

- ▸ 바닥판 폭 : b = 707.5 cm
- ▸ 플랜지 돌출폭 : b1 = 10.0 cm (상부플랜지) b1 = 10.0 cm (하부플랜지)
- ▸ 복부판 간격 : b2 = 320.0 cm (상부플랜지) b2 = 220.0 cm (하부플랜지)
- ▸ 플랜지 총폭 : b3 = 340.0 cm (상부플랜지) b3 = 240.0 cm (하부플랜지)
- ▸ 바닥판 두께 : Tc = 25.0 cm
- ▸ 바닥판 헌치높이 : Th = 7.0 cm
- ▸ 탄성계수비 : N = 8
- ▸ 바닥판 철근 피복 : Upp = 4 cm Low = 4 cm

▷ **Section 별 단면특성 : Girder**

Section		단면적	비틀림 강성	단면 2차 모멘트	
		A (cm^2)	Ixx (cm^4)	Iyy (cm^4)	Izz (cm^4)
Section-A	합성전	1,332.8	16,592,350	11,945,154	17,363,913
	합성후	3,543.7	21,743,492	24,410,868	109,588,795
Section-B	합성전	1,572.8	18,356,646	14,850,823	18,515,913
	합성후	3,783.7	24,836,978	33,007,544	110,740,795
Section-C	합성전	1,698.4	19,487,303	16,335,105	19,170,979
	합성후	3,909.3	24,982,086	34,832,272	111,395,861
Section-D	합성전	1,621.6	19,487,303	15,345,298	19,170,979
	합성후	3,832.5	24,982,086	34,747,376	111,395,861
Section-E	합성전	1,477.6	18,509,166	13,827,131	18,479,779
	합성후	3,688.5	23,413,770	29,853,929	110,704,661
Section-F	합성전	2,057.6	23,301,353	21,117,328	22,907,113
	합성후	4,268.5	26,352,484	38,529,972	115,131,995
Section-G	합성전	1,554	18,509,166	14,657,359	18,479,779
	합성후	3,765	23,413,770	29,907,185	110,704,661
Section-H	합성전	1,497	18,509,166	14,024,874	18,479,779
	합성후	3,708	23,413,770	28,045,500	110,704,661
Section-I	합성전	1,894	22,244,419	19,024,941	21,791,246
	합성후	4,105	25,470,771	35,213,798	114,016,128
Section-J	합성전	1,314	16,592,350	11,812,991	17,363,913
	합성후	3,525	21,743,492	26,328,617	109,588,795
Section-K	합성전	1,390	16,592,350	12,609,961	17,363,913
	합성후	3,601	21,743,492	26,365,877	109,588,795
Section-L	합성전	1,449	18,060,343	13,353,185	18,249,379
	합성후	3,660	22,705,428	26,274,947	110,474,261

1) **Section-A**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.0	340.0	110.5	37570.0	4151485.0	28.3
UPP. RIB	7 - 16.0 × 1.2	134.4	102.0	13708.8	1398297.6	2867.2
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	2 - 16.0 × 1.2	38.4	-102.0	-3916.8	399513.6	819.2
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 1.4	336.0	-110.7	-37195.2	4117508.6	54.9
TOTAL		1332.8	-	10166.8	10066804.8	1955902.9

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 10,066,804.84 + 1,955,902.95 = 12,022,708\ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = 10,166.800 / 1,332.800 = 7.628\ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 12,022,707.79 - 1,332.80 \times 7.628^2 = 11,945,154\ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  $= (340^3\times 1/12)+(340^3\times 1.4/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times 2 = 17,363,913\ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100\ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.000 / 2 + 1.400 / 2 = 221.200\ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  $= (4\times 271.1^2\times 221.2^2)/(2\times 221.2/1.1+271.1/1+271.1/1.4) = 16,592,350\ cm^4$

② 합성후 단면

- $Ac = b \cdot Tc = 707.5 \times 25.0 = 17{,}687.50\ cm^2$
- $Av = \sum As + Ac/N = 1{,}332.80 + 17{,}687.50 / 8 = 3{,}543.74\ cm^2$
- $Ic = b \cdot Tc^3/12 = 707.50 \times 25.0^3 / 12 = 921{,}223.96\ cm^4$
- $dv = H/2 - \delta s + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - 7.628 + 7.00 + 25.00 / 2 = 121.87\ cm$
- $dvc = dv \cdot \sum As/Av = 121.87 \times 1332.8 / 3543.7 = 45.84\ cm$
- $dvs = dv - dvc = 121.87 - 45.84 = 76.04\ cm^4$
- $Iv_{zz} = I33 + Ic/N + \sum As \cdot dvs^2 + Ac/N \cdot dvc^2$

  $= 11945153.9 + 921224.0 / 8 + 1332.8 \times 76.036^2$

  $+ 17687.5 / 8 \times 45.836^2 = 24{,}410{,}868\ cm^4$
- $Iv_{yy} = I22 + b^3 \cdot Tc/12 / N$

  $= 17363912.5 + 707.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 109{,}588{,}795\ cm^4$

- 비틀림 강성

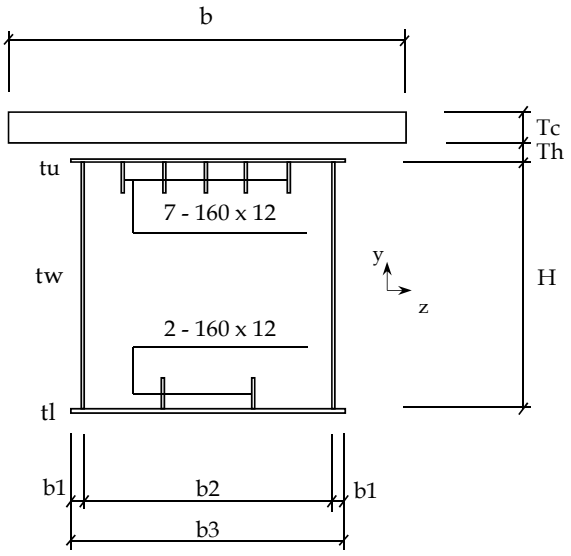
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- $tcu = tu + Hs/N = 1.0 + 25.0 / 8 = 4.125\ cm$
- $Iv_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)$

  $= (4 \times 271.1^2 \times 221.2^2) / (2 \times 221.2 / 1.10 + 271.1 / 4.125$

  $+ 271.1 / 1.40) = 21{,}743{,}492\ cm^4$

2) **Section-B**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.0	340.0	110.5	37570.0	4151485.0	28.3
UPP. RIB	7 - 16.0 × 1.2	134.4	102.0	13708.8	1398297.6	2867.2
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	2 - 16.0 × 1.2	38.4	-102.0	-3916.8	399513.6	819.2
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 2.4	576.0	-111.2	-64051.2	7122493.4	276.5
TOTAL		1572.8	-	-16689.2	13071789.6	1956124.5

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 13,071,789.64 + 1,956,124.55 = 15,027,914 \ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = -16,689.200 / 1,572.800 = -10.611 \ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 15,027,914.19 - 1,572.80 \times -10.611^2 = 14,850,823 \ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  $= (340^3\times 1/12)+(340^3\times 2.4/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times 2 = 18,515,913 \ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100 \ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.000 / 2 + 2.400 / 2 = 221.700 \ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  $= (4\times 271.1^2\times 221.7^2)/(2\times 221.7/1.1+271.1/1+271.1/2.4) = 18,356,646 \ cm^4$

② 합성후 단면

- $Ac = b \cdot Tc = 707.5 \times 25.0 = 17{,}687.50\ cm^2$
- $Av = \sum As + Ac/N = 1{,}572.80 + 17{,}687.50 / 8 = 3{,}783.74\ cm^2$
- $Ic = b \cdot Tc^3/12 = 707.50 \times 25.0^3 / 12 = 921{,}223.96\ cm^4$
- $dv = H/2 - \delta s + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - -10.611 + 7.00 + 25.00 / 2 = 140.11\ cm$
- $dvc = dv \cdot \sum As/Av = 140.11 \times 1572.8 / 3783.7 = 58.24\ cm$
- $dvs = dv - dvc = 140.11 - 58.24 = 81.87\ cm^4$
- $Iv_{zz} = I33 + Ic/N + \sum As \cdot dvs^2 + Ac/N \cdot dvc^2$

  $= 14850822.8 + 921224.0 / 8 + 1572.8 \times 81.871^2$

  $+ 17687.5 / 8 \times 58.241^2 = 33{,}007{,}544\ cm^4$
- $Iv_{yy} = I22 + b^3 \cdot Tc/12 / N$

  $= 18515912.5 + 707.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 110{,}740{,}795\ cm^4$

- 비틀림 강성

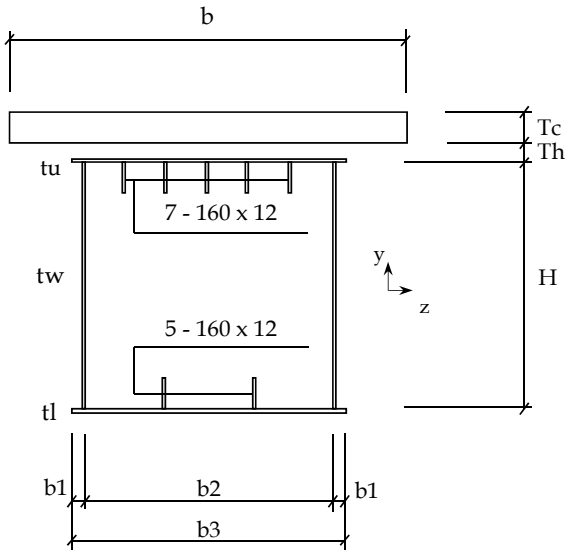
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- $tcu = tu + Hs/N = 1.0 + 25.0 / 8 = 4.125\ cm$
- $Iv_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)$

  $= (4 \times 271.1^2 \times 221.7^2) / (2 \times 221.7 / 1.10 + 271.1 / 4.125$

  $+ 271.1 / 2.40) = 24{,}836{,}978\ cm^4$

3) **Section-C**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	7 - 16.0 × 1.2	134.4	102.0	13708.8	1398297.6	2867.2
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 2.4	576.0	-111.2	-64051.2	7122493.4	276.5
TOTAL		1698.4	-	-15009.6	14510377.9	1957374.0

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io$ = 14,510,377.92 + 1,957,373.97 = 16,467,752 cm^4
- $\delta s = \sum AsY / \sum As$ = -15,009.600 / 1,698.400 = -8.837 cm
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2$ = 16,467,751.89 - 1,698.40 × -8.837 ² = 16,335,105 cm^4
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  = (340³×1.2/12)+(340³×2.4/12)+((220×1.1³/12)+(220×1.1×(320/2+1.1/2)²))×2 = 19,170,979 cm^4

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2$ = 270.000 + 1.100 / 2 × 2 = 271.100 cm
- $H_k = H + tu/2 + tl/2$ = 220.000 + 1.200 / 2 + 2.400 / 2 = 221.800 cm
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  = (4×271.1²×221.8²)/(2×221.8/1.1+271.1/1.2+271.1/2.4) = 19,487,303 cm^4

② 합성후 단면

- $Ac = b \cdot Tc = 707.5 \times 25.0 = 17{,}687.50\ cm^2$
- $Av = \sum As + Ac/N = 1{,}698.40 + 17{,}687.50 / 8 = 3{,}909.34\ cm^2$
- $Ic = b \cdot Tc^3/12 = 707.50 \times 25.0^3 / 12 = 921{,}223.96\ cm^4$
- $dv = H/2 - \delta s + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - -8.837 + 7.00 + 25.00 / 2 = 138.34\ cm$
- $dvc = dv \cdot \sum As/Av = 138.34 \times 1698.4 / 3909.3 = 60.10\ cm$
- $dvs = dv - dvc = 138.34 - 60.10 = 78.24\ cm^4$
- $Iv_{zz} = I33 + Ic/N + \sum As \cdot dvs^2 + Ac/N \cdot dvc^2$

  $= 16335104.6 + 921224.0 / 8 + 1698.4 \times 78.237^2$

  $+ 17687.5 / 8 \times 60.100^2 = 34{,}832{,}272\ cm^4$
- $Iv_{yy} = I22 + b^3 \cdot Tc/12 / N$

  $= 19170979.2 + 707.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 111{,}395{,}861\ cm^4$

- 비틀림 강성

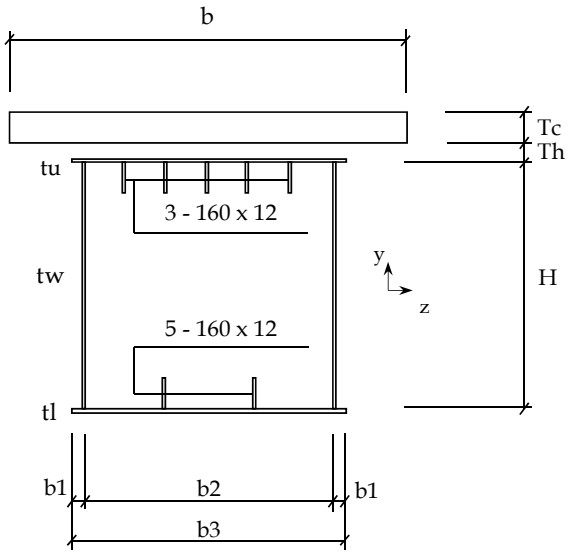
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- $tcu = tu + Hs/N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325\ cm$
- $Iv_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)$

  $= (4 \times 271.1^2 \times 221.8^2) / (2 \times 221.8 / 1.10 + 271.1 / 4.325$

  $+ 271.1 / 2.40) = 24{,}982{,}086\ cm^4$

4) **Section-D**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	3 - 16.0 × 1.2	57.6	102.0	5875.2	599270.4	1228.8
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 2.4	576.0	-111.2	-64051.2	7122493.4	276.5
TOTAL		1621.6	-	-22843.2	13711350.7	1955735.6

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 13,711,350.72 + 1,955,735.57 = 15,667,086\ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = -22,843.200 / 1,621.600 = -14.087\ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 15,667,086.29 - 1,621.60 \times -14.087^2 = 15,345,298\ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  $= (340^3\times 1.2/12)+(340^3\times 2.4/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times = 19,170,979\ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100\ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.200 / 2 + 2.400 / 2 = 221.800\ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  $= (4\times 271.1^2\times 221.8^2)/(2\times 221.8/1.1+271.1/1.2+271.1/2.4) = 19,487,303\ cm^4$

② 합성후 단면

- Ac = b·Tc = 707.5 × 25.0 = 17,687.50 cm^2
- Av = ∑As + Ac/N = 1,621.60 + 17,687.50 / 8 = 3,832.54 cm^2
- Ic = b·Tc³/12 = 707.50 × 25.0³ / 12 = 921,223.96 cm^4
- dv = H/2 - δs + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - -14.087 + 7.00 + 25.00 / 2 = 143.59 cm
- dvc = dv·∑As/Av = 143.59 × 1621.6 / 3832.5 = 60.75 cm
- dvs = dv - dvc = 143.59 - 60.75 = 82.83 cm^4
- Iv_{zz} = I33 + Ic/N + ∑As·dvs² + Ac/N·dvc²

  = 15345298.1 + 921224.0 / 8 + 1621.6 × 82.833² + 17687.5 / 8 × 60.754² = 34,747,376 cm^4
- Iv_{yy} = I22 + b³·Tc/12 / N

  = 19170979.2 + 707.5³ × 25.0 / 12 / 8 = 111,395,861 cm^4

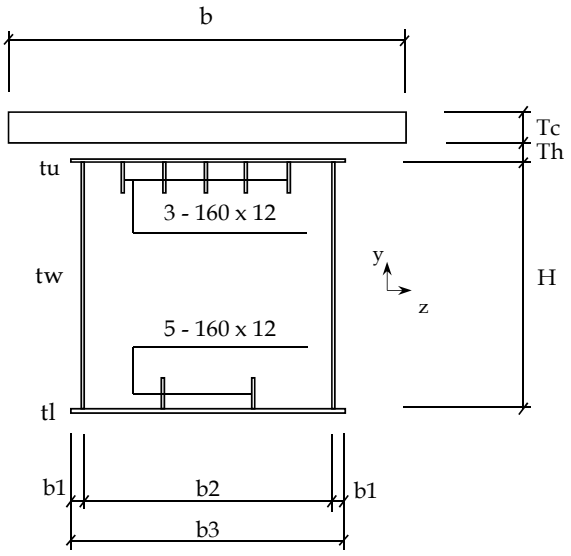
- 비틀림 강성

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

- tcu = tu + Hs/N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 cm
- Iv_{xx} = (4 x b_k^2x H_k^2) / (2 x H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)

  = (4 x 271.1² x 221.8²) / (2 x 221.8 / 1.10 + 271.1 / 4.325 + 271.1 / 2.40) = 24,982,086 cm^4

5) **Section-E**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	3 - 16.0 × 1.2	57.6	102.0	5875.2	599270.4	1228.8
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 1.8	432.0	-110.9	-47908.8	5313085.9	116.6
TOTAL		1477.6	-	-6700.8	11901943.2	1955575.7

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 11,901,943.20 + 1,955,575.73 = 13,857,519\ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = -6,700.800 / 1,477.600 = -4.535\ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 13,857,518.93 - 1,477.60 \times -4.535^2 = 13,827,131\ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  $= (340^3\times 1.2/12)+(340^3\times 1.8/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times 2 = 18,479,779\ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100\ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.200 / 2 + 1.800 / 2 = 221.500\ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  $= (4\times 271.1^2\times 221.5^2)/(2\times 221.5/1.1+271.1/1.2+271.1/1.8) = 18,509,166\ cm^4$

② 합성후 단면

- Ac = b·Tc = 707.5 × 25.0 = 17,687.50 cm^2
- Av = ∑As + Ac/N = 1,477.60 + 17,687.50 / 8 = 3,688.54 cm^2
- Ic = b·Tc³/12 = 707.50 × 25.0 ³ / 12 = 921,223.96 cm^4
- dv = H/2 - δs + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - -4.535 + 7.00 + 25.00 / 2 = 134.03 cm
- dvc = dv·∑As/Av = 134.03 × 1477.6 / 3688.5 = 53.69 cm
- dvs = dv - dvc = 134.03 - 53.69 = 80.34 cm^4
- Iv_{zz} = I33 + Ic/N + ∑As·dvs² + Ac/N·dvc²

  = 13827131.3 + 921224.0 / 8 + 1477.6 × 80.342 ²

  + 17687.5 / 8 × 53.693 ² = 29,853,929 cm^4
- Iv_{yy} = I22 + b³·Tc/12 / N

  = 18479779.2 + 707.5 ³ × 25.0 / 12 / 8 = 110,704,661 cm^4

- 비틀림 강성

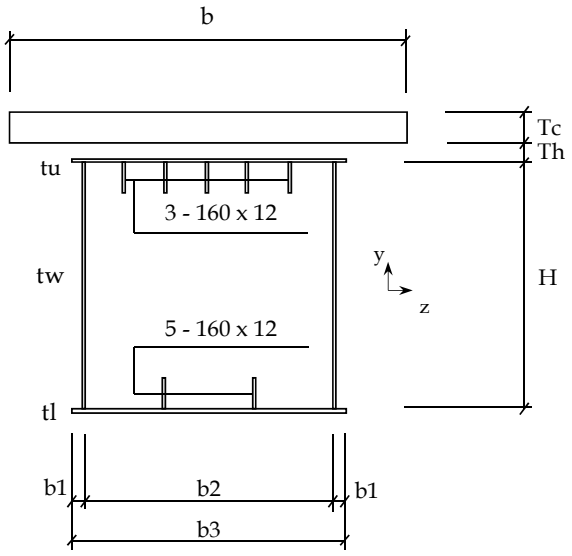
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- tcu = tu + Hs/N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 cm
- Iv_{xx} = (4 x b_k^2x H_k^2) / (2 x H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)

  = (4 x 271.1² x 221.5²) / (2 x 221.5 / 1.10 + 271.1 / 4.325

  + 271.1 / 1.80) = 23,413,770 cm^4

6) **Section-F**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 2.2	748.0	111.1	83102.8	9232721.1	301.7
UPP. RIB	3 - 16.0 × 1.2	57.6	102.0	5875.2	599270.4	1228.8
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 2.8	672.0	-111.4	-74860.8	8339493.1	439.0
TOTAL		2057.6	-	4325.2	19170268.6	1956150.9

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 19,170,268.60 + 1,956,150.87 = 21,126,419\ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = 4,325.200 / 2,057.600 = 2.102\ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 21,126,419.47 - 2,057.60 \times 2.102^2 = 21,117,328\ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  $= (340^3\times 2.2/12)+(340^3\times 2.8/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times = 22,907,113\ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100\ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 2.200 / 2 + 2.800 / 2 = 222.500\ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  $= (4\times 271.1^2\times 222.5^2)/(2\times 222.5/1.1+271.1/2.2+271.1/2.8) = 23,301,353\ cm^4$

② 합성후 단면

- $Ac = b \cdot Tc = 707.5 \times 25.0 = 17{,}687.50\ cm^2$
- $Av = \sum As + Ac/N = 2{,}057.60 + 17{,}687.50 / 8 = 4{,}268.54\ cm^2$
- $Ic = b \cdot Tc^3/12 = 707.50 \times 25.0^3 / 12 = 921{,}223.96\ cm^4$
- $dv = H/2 - \delta s + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - 2.102 + 7.00 + 25.00 / 2 = 127.40\ cm$
- $dvc = dv \cdot \sum As/Av = 127.40 \times 2057.6 / 4268.5 = 61.41\ cm$
- $dvs = dv - dvc = 127.40 - 61.41 = 65.99\ cm^4$
- $Iv_{zz} = I33 + Ic/N + \sum As \cdot dvs^2 + Ac/N \cdot dvc^2$

  $= 21117327.6 + 921224.0 / 8 + 2057.6 \times 65.987^2$

  $+ 17687.5 / 8 \times 61.411^2 = 38{,}529{,}972\ cm^4$
- $Iv_{yy} = I22 + b^3 \cdot Tc/12 / N$

  $= 22907112.5 + 707.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 115{,}131{,}995\ cm^4$

- 비틀림 강성

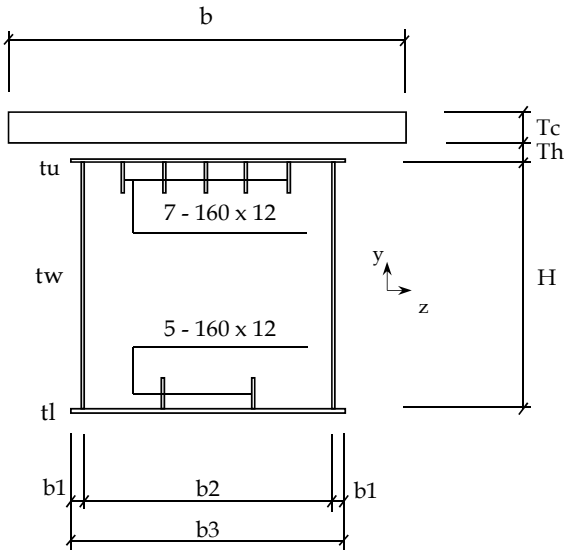
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- $tcu = tu + Hs/N = 2.2 + 25.0 / 8 = 5.325\ cm$
- $Iv_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)$

  $= (4 \times 271.1^2 \times 222.5^2) / (2 \times 222.5 / 1.10 + 271.1 / 5.325$

  $+ 271.1 / 2.80) = 26{,}352{,}484\ cm^4$

7) **Section-G**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	7 - 16.0 × 1.2	134.4	102.0	13708.8	1398297.6	2867.2
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 1.8	432.0	-110.9	-47908.8	5313085.9	116.6
TOTAL		1554.4	-	1132.8	12700970.4	1957214.1

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io$ = 12,700,970.40 + 1,957,214.13 = 14,658,185 cm^4
- $\delta s = \sum AsY / \sum As$ = 1,132.800 / 1,554.400 = 0.729 cm
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2$ = 14,658,184.53 - 1,554.40 × 0.729 ² = 14,657,359 cm^4
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  = $(340^3\times 1.2/12)+(340^3\times 1.8/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times$ = 18,479,779 cm^4

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2$ = 270.000 + 1.100 / 2 × 2 = 271.100 cm
- $H_k = H + tu/2 + tl/$ = 220.000 + 1.200 / 2 + 1.800 / 2 = 221.500 cm
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  = $(4\times 271.1^2\times 221.5^2)/(2\times 221.5/1.1+271.1/1.2+271.1/1.8)$ = 18,509,166 cm^4

② 합성후 단면

- $Ac = b \cdot Tc = 707.5 \times 25.0 = 17{,}687.50\ cm^2$
- $Av = \sum As + Ac/N = 1{,}554.40 + 17{,}687.50 / 8 = 3{,}765.34\ cm^2$
- $Ic = b \cdot Tc^3/12 = 707.50 \times 25.0^3 / 12 = 921{,}223.96\ cm^4$
- $dv = H/2 - \delta s + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - 0.729 + 7.00 + 25.00 / 2 = 128.77\ cm$
- $dvc = dv \cdot \sum As/Av = 128.77 \times 1554.4 / 3765.3 = 53.16\ cm$
- $dvs = dv - dvc = 128.77 - 53.16 = 75.61\ cm^4$
- $Iv_{zz} = I33 + Ic/N + \sum As \cdot dvs^2 + Ac/N \cdot dvc^2$

  $= 14657359.0 + 921224.0 / 8 + 1554.4 \times 75.612^2$

  $+ 17687.5 / 8 \times 53.159^2 = 29{,}907{,}185\ cm^4$
- $Iv_{yy} = I22 + b^3 \cdot Tc/12 / N$

  $= 18479779.2 + 707.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 110{,}704{,}661\ cm^4$

- 비틀림 강성

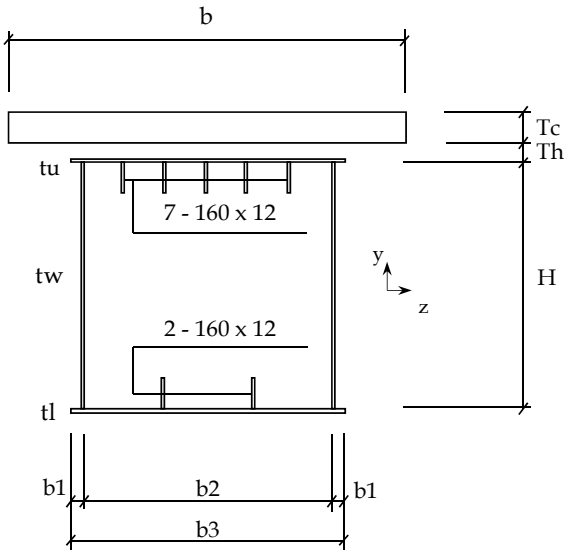
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- $tcu = tu + Hs/N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325\ cm$
- $Iv_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)$

  $= (4 \times 271.1^2 \times 221.5^2) / (2 \times 221.5 / 1.10 + 271.1 / 4.325$

  $+ 271.1 / 1.80) = 23{,}413{,}770\ cm^4$

8) **Section-H**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	7 - 16.0 × 1.2	134.4	102.0	13708.8	1398297.6	2867.2
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	2 - 16.0 × 1.2	38.4	-102.0	-3916.8	399513.6	819.2
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 1.8	432.0	-110.9	-47908.8	5313085.9	116.6
TOTAL		1496.8	-	7008.0	12101700.0	1955985.3

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io$ = 12,101,700.00 + 1,955,985.33 = 14,057,685 cm^4
- $\delta s = \sum AsY / \sum As$ = 7,008.000 / 1,496.800 = 4.682 cm
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2$ = 14,057,685.33 - 1,496.80 × 4.682 ² = 14,024,874 cm^4
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  = (340³×1.2/12)+(340³×1.8/12)+((220×1.1³/12)+(220×1.1×(320/2+1.1/2)²))×2 = 18,479,779 cm^4

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2$ = 270.000 + 1.100 / 2 × 2 = 271.100 cm
- $H_k = H + tu/2 + tl/2$ = 220.000 + 1.200 / 2 + 1.800 / 2 = 221.500 cm
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  = (4×271.1²×221.5²)/(2×221.5/1.1+271.1/1.2+271.1/1.8) = 18,509,166 cm^4

② 합성후 단면

- Ac = b·Tc = 707.5 × 25.0 = 17,687.50 cm^2
- Av = ∑As + Ac/N = 1,496.80 + 17,687.50 / 8 = 3,707.74 cm^2
- Ic = b·Tc³/12 = 707.50 × 25.0³ / 12 = 921,223.96 cm^4
- dv = H/2 - δs + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - 4.682 + 7.00 + 25.00 / 2 = 124.82 cm
- dvc = dv·∑As/Av = 124.82 × 1496.8 / 3707.7 = 50.39 cm
- dvs = dv - dvc = 124.82 - 50.39 = 74.43 cm^4
- Iv_{zz} = I33 + Ic/N + ∑As·dvs² + Ac/N·dvc²

  = 14024874.0 + 921224.0 / 8 + 1496.8 × 74.429²

  + 17687.5 / 8 × 50.389² = 28,045,500 cm^4
- Iv_{yy} = I22 + b³·Tc/12 / N

  = 18479779.2 + 707.5³ × 25.0 / 12 / 8 = 110,704,661 cm^4

- 비틀림 강성

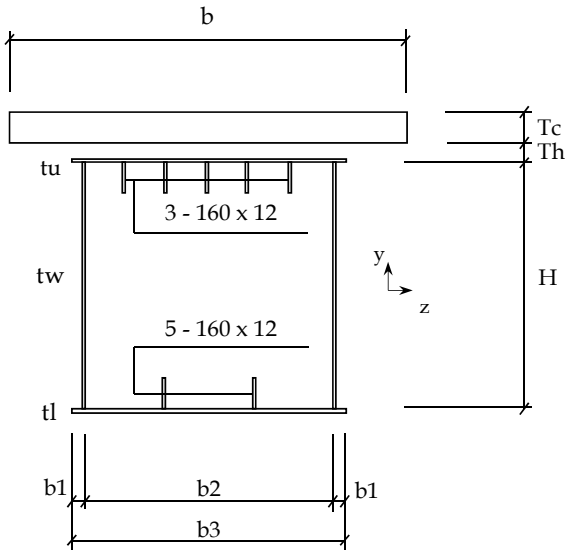
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- tcu = tu + Hs/N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325 cm
- Iv_{xx} = (4 x b_k^2x H_k^2) / (2 x H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)

  = (4 x 271.1² x 221.5²) / (2 x 221.5 / 1.10 + 271.1 / 4.325

  + 271.1 / 1.80) = 23,413,770 cm^4

9) **Section-I**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 2.0	680.0	111.0	75480.0	8378280.0	226.7
UPP. RIB	3 - 16.0 × 1.2	57.6	102.0	5875.2	599270.4	1228.8
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 2.4	576.0	-111.2	-64051.2	7122493.4	276.5
TOTAL		1893.6	-	7512.0	17098827.8	1955913.3

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io$ = 17,098,827.84 + 1,955,913.28 = 19,054,741 cm^4
- $\delta s = \sum AsY / \sum As$ = 7,512.000 / 1,893.600 = 3.967 cm
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2$ = 19,054,741.12 - 1,893.60 × 3.967 ² = 19,024,941 cm^4
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$

  $= (340^3\times 2/12)+(340^3\times 2.4/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times 2$ = 21,791,246 cm^4

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2$ = 270.000 + 1.100 / 2 × 2 = 271.100 cm
- $H_k = H + tu/2 + tl/2$ = 220.000 + 2.000 / 2 + 2.400 / 2 = 222.200 cm
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$

  $= (4\times 271.1^2\times 222.2^2)/(2\times 222.2/1.1+271.1/2+271.1/2.4)$ = 22,244,419 cm^4

② 합성후 단면

- Ac = b·Tc = 707.5 × 25.0 = 17,687.50 cm^2
- Av = ∑As + Ac/N = 1,893.60 + 17,687.50 / 8 = 4,104.54 cm^2
- Ic = b·Tc³/12 = 707.50 × 25.0³ / 12 = 921,223.96 cm^4
- dv = H/2 - δs + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - 3.967 + 7.00 + 25.00 / 2 = 125.53 cm
- dvc = dv·∑As/Av = 125.53 × 1893.6 / 4104.5 = 57.91 cm
- dvs = dv - dvc = 125.53 - 57.91 = 67.62 cm^4
- Iv_{zz} = I33 + Ic/N + ∑As·dvs² + Ac/N·dvc²

  = 19024940.7 + 921224.0 / 8 + 1893.6 × 67.619²

  + 17687.5 / 8 × 57.914² = 35,213,798 cm^4
- Iv_{yy} = I22 + b³·Tc/12 / N

  = 21791245.9 + 707.5³ × 25.0 / 12 / 8 = 114,016,128 cm^4

- 비틀림 강성

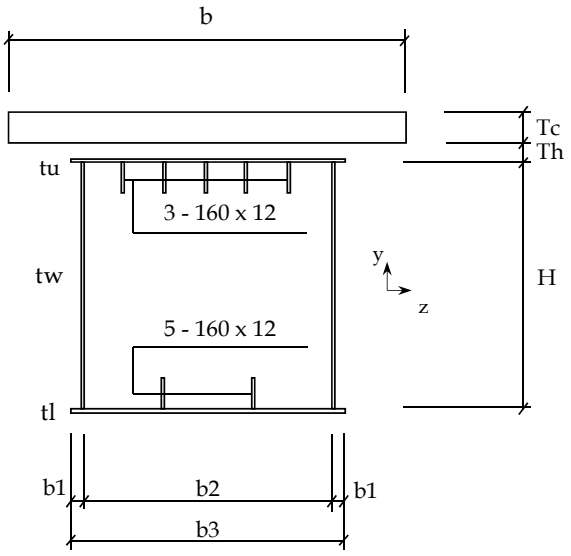
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- tcu = tu + Hs/N = 2.0 + 25.0 / 8 = 5.125 cm
- Iv_{xx} = (4 x b_k^2x H_k^2) / (2 x H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)

  = (4 x 271.1² x 222.2²) / (2 x 222.2 / 1.10 + 271.1 / 5.125

  + 271.1 / 2.40) = 25,470,771 cm^4

10) **Section-J**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.0	340.0	110.5	37570.0	4151485.0	28.3
UPP. RIB	3 - 16.0 × 1.2	57.6	102.0	5875.2	599270.4	1228.8
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 1.4	336.0	-110.7	-37195.2	4117508.6	54.9
TOTAL		1313.6	-	-3542.0	9867048.0	1955493.3

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 9,867,048.04 + 1,955,493.35 = 11,822,541 \ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = -3,542.000 / 1,313.600 = -2.696 \ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 11,822,541.39 - 1,313.60 \times -2.696^2 = 11,812,991 \ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$

  $= (340^3\times 1/12)+(340^3\times 1.4/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times (320/2+1.1/2)^2))\times 2 = 17,363,913 \ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100 \ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.000 / 2 + 1.400 / 2 = 221.200 \ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$

  $= (4\times 271.1^2\times 221.2^2)/(2\times 221.2/1.1+271.1/1+271.1/1.4) = 16,592,350 \ cm^4$

② 합성후 단면

- Ac = b·Tc = 707.5 × 25.0 = 17,687.50 cm^2
- Av = ∑As + Ac/N = 1,313.60 + 17,687.50 / 8 = 3,524.54 cm^2
- Ic = b·Tc³/12 = 707.50 × 25.0 ³ / 12 = 921,223.96 cm^4
- dv = H/2 - δs + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - -2.696 + 7.00 + 25.00 / 2 = 132.20 cm
- dvc = dv·∑As/Av = 132.20 × 1313.6 / 3524.5 = 49.27 cm
- dvs = dv - dvc = 132.20 - 49.27 = 82.93 cm^4
- Iv_{zz} = I33 + Ic/N + ∑As·dvs² + Ac/N·dvc²

  = 11812990.7 + 921224.0 / 8 + 1313.6 × 82.927 ²

  + 17687.5 / 8 × 49.270 ² = 26,328,617 cm^4
- Iv_{yy} = I22 + b³·Tc/12 / N

  = 17363912.5 + 707.5 ³ × 25.0 / 12 / 8 = 109,588,795 cm^4

- 비틀림 강성

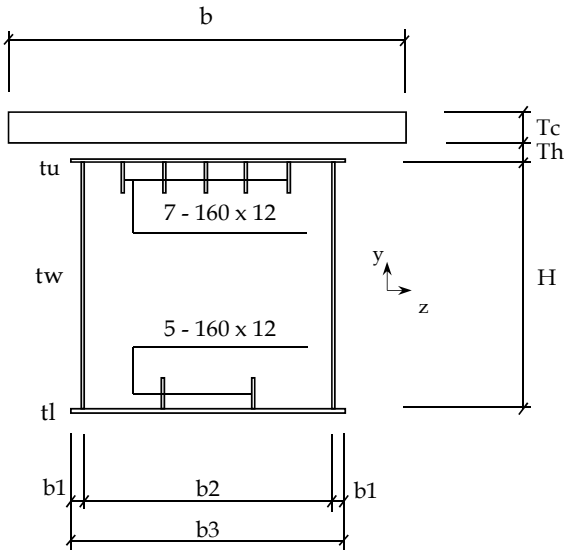
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- tcu = tu + Hs/N = 1.0 + 25.0 / 8 = 4.125 cm
- Iv_{xx} = (4 x b_k^2x H_k^2) / (2 x H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)

  = (4 x 271.1² x 221.2²) / (2 x 221.2 / 1.10 + 271.1 / 4.125

  + 271.1 / 1.40) = 21,743,492 cm^4

11) **Section-K**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.0	340.0	110.5	37570.0	4151485.0	28.3
UPP. RIB	7 - 16.0 × 1.2	134.4	102.0	13708.8	1398297.6	2867.2
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	5 - 16.0 × 1.2	96.0	-102.0	-9792.0	998784.0	2048.0
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 1.4	336.0	-110.7	-37195.2	4117508.6	54.9
TOTAL		1390.4	-	4291.6	10666075.2	1957131.7

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 10,666,075.24 + 1,957,131.75 = 12,623,207\ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = 4,291.600 / 1,390.400 = 3.087\ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 12,623,206.99 - 1,390.40 \times 3.087^2 = 12,609,961\ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$

  $= (340^3\times 1/12)+(340^3\times 1.4/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times 2 = 17,363,913\ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100\ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.000 / 2 + 1.400 / 2 = 221.200\ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$

  $= (4\times 271.1^2\times 221.2^2)/(2\times 221.2/1.1+271.1/1+271.1/1.4) = 16,592,350\ cm^4$

② 합성후 단면

- Ac = b·Tc = 707.5 × 25.0 = 17,687.50 cm^2
- Av = ∑As + Ac/N = 1,390.40 + 17,687.50 / 8 = 3,601.34 cm^2
- Ic = b·Tc³/12 = 707.50 × 25.0 ³ / 12 = 921,223.96 cm^4
- dv = H/2 - δs + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - 3.087 + 7.00 + 25.00 / 2 = 126.41 cm
- dvc = dv·∑As/Av = 126.41 × 1390.4 / 3601.3 = 48.81 cm
- dvs = dv - dvc = 126.41 - 48.81 = 77.61 cm^4
- Iv_{zz} = I33 + Ic/N + ∑As·dvs² + Ac/N·dvc²

  = 12609960.6 + 921224.0 / 8 + 1390.4 × 77.608 ²

  + 17687.5 / 8 × 48.806 ² = 26,365,877 cm^4
- Iv_{yy} = I22 + b³·Tc/12 / N

  = 17363912.5 + 707.5 ³ × 25.0 / 12 / 8 = 109,588,795 cm^4

- 비틀림 강성

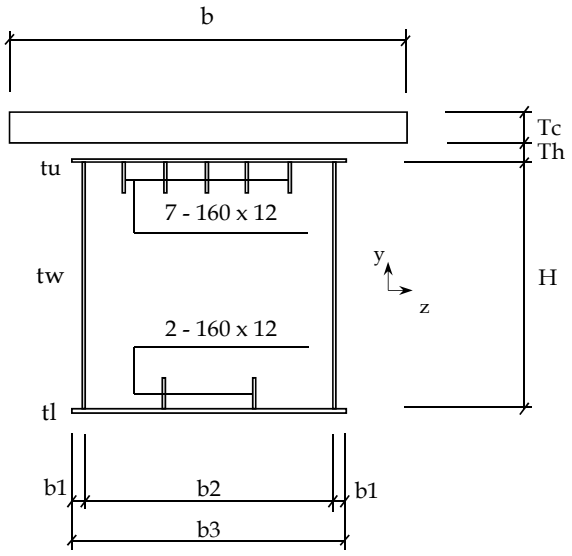
  * 합성단면의 Iv_{xx} 값 산정시 CON'C SLAB의 두께를 강재로 환산하여 적용한다.

- tcu = tu + Hs/N = 1.0 + 25.0 / 8 = 4.125 cm
- Iv_{xx} = (4 x b_k^2x H_k^2) / (2 x H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)

  = (4 x 271.1² x 221.2²) / (2 x 221.2 / 1.10 + 271.1 / 4.125

  + 271.1 / 1.40) = 21,743,492 cm^4

12) **Section-L**



- b = 707.5 cm
- b1u = 10.0 cm
- b2u = 320.0 cm
- b3u = 340.0 cm
- b1l = 10.0 cm
- b2l = 220.0 cm
- b3l = 240.0 cm
- Tc = 25.0 cm
- Th = 7.0 cm
- H = 220.0 cm
- N = 8

① 합성전 단면

구 분	규 격	As(cm²)	Y(cm)	AsY(cm³)	AsY²(cm⁴)	Io(cm⁴)
UPP. FLG.	1 - 340.0 × 1.2	408.0	110.6	45124.8	4990802.9	49.0
UPP. RIB	7 - 16.0 × 1.2	134.4	102.0	13708.8	1398297.6	2867.2
WEB	2 - 220.0 × 1.1	484.0	-	-	-	1952133.3
LOW. RIB	2 - 16.0 × 1.2	38.4	-102.0	-3916.8	399513.6	819.2
LOW. FLG.	1 - 240.0 × 1.6	384.0	-110.8	-42547.2	4714229.8	81.9
TOTAL		1448.8	-	12369.6	11502843.8	1955950.6

- $Is' = \sum AsY^2 + \sum Io = 11,502,843.84 + 1,955,950.61 = 13,458,794 \ cm^4$
- $\delta s = \sum AsY / \sum As = 12,369.600 / 1,448.800 = 8.538 \ cm$
- $I_{zz} = Is' - \sum As \times \delta s^2 = 13,458,794.45 - 1,448.80 \times 8.538^2 = 13,353,185 \ cm^4$
- $I_{yy} = (b3^3 \cdot tu/12)+(b3^3 \cdot tl/12)+((H \cdot tw^3/12)+(H \cdot tw \cdot (b2/2+tw/2)^2))\times 2$
  $= (340^3\times 1.2/12)+(340^3\times 1.6/12)+((220\times 1.1^3/12)+(220\times 1.1\times(320/2+1.1/2)^2))\times$ $= 18,249,379 \ cm^4$

- 비틀림 강성

- $b_k = b2 + tw/2 \times 2 = 270.000 + 1.100 / 2 \times 2 = 271.100 \ cm$
- $H_k = H + tu/2 + tl/2 = 220.000 + 1.200 / 2 + 1.600 / 2 = 221.400 \ cm$
- $I_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2\times H_k/tw + b_k/tu + b_k/tl)$
  $= (4\times 271.1^2\times 221.4^2)/(2\times 221.4/1.1+271.1/1.2+271.1/1.6) = 18,060,343 \ cm^4$

② 합성후 단면

- $Ac = b \cdot Tc = 707.5 \times 25.0 = 17{,}687.50\ cm^2$
- $Av = \sum As + Ac/N = 1{,}448.80 + 17{,}687.50 / 8 = 3{,}659.74\ cm^2$
- $Ic = b \cdot Tc^3/12 = 707.50 \times 25.0^3 / 12 = 921{,}223.96\ cm^4$
- $dv = H/2 - \delta s + Th + Tc/2 = 220.00 / 2 - 8.54 + 7.00 + 25.00 / 2 = 120.96\ cm$
- $dvc = dv \cdot \sum As/Av = 120.96 \times 1448.8 / 3659.7 = 47.89\ cm$
- $dvs = dv - dvc = 120.96 - 47.89 = 73.08\ cm^4$
- $Iv_{zz} = I33 + Ic/N + \sum As \cdot dvs^2 + Ac/N \cdot dvc^2$

  $= 13353185.0 + 921224.0 / 8 + 1448.8 \times 73.076^2$

  $+ 17687.5 / 8 \times 47.886^2 = 26{,}274{,}947\ cm^4$
- $Iv_{yy} = I22 + b^3 \cdot Tc/12 / N$

  $= 18249379.2 + 707.5^3 \times 25.0 / 12 / 8 = 110{,}474{,}261\ cm^4$

- 비틀림 강성

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

- $tcu = tu + Hs/N = 1.2 + 25.0 / 8 = 4.325\ cm$
- $Iv_{xx} = (4 \times b_k^2 \times H_k^2) / (2 \times H_k / tw + b_k / tcu + b_k / tl)$

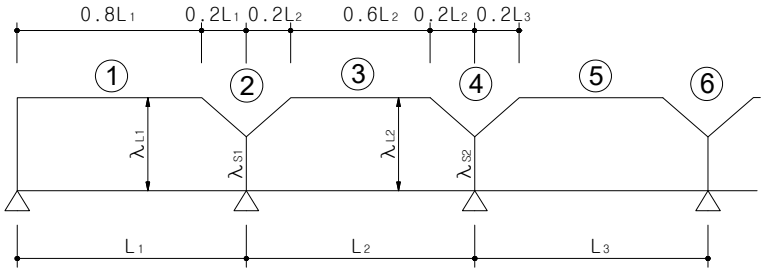
  $= (4 \times 271.1^2 \times 221.4^2) / (2 \times 221.4 / 1.10 + 271.1 / 4.325$

  $+ 271.1 / 1.60) = 22{,}705{,}428\ cm^4$

4. 유효폭산정

4.1 플랜지 유효폭

1) 등가 지간장



- L_1 = 49.400 m
- L_2 = 50.000 m
- L_3 = 50.000 m
- L_4 = 50.000 m

- b_1 = 0.100 m (상부플랜지 돌출폭)
- b_2 = 0.100 m (하부플랜지 돌출폭)
- b_{3t} = 1.600 m (복부판 간격/2)
- b_{3b} = 1.100 m (복부판 간격/2)

- $\lambda L_1 = 0.8\ L_1 = 39.520$ m
- $\lambda S_1 = 0.2\ (L_1 + L_2) = 19.880$ m
- $\lambda L_2 = 0.6\ L_2 = 30.000$ m
- $\lambda S_2 = 0.2\ (L_2 + L_3) = 20.000$ m
- $\lambda L_3 = 0.6\ L_3 = 30.000$ m
- $\lambda S_3 = 0.2\ (L_3 + L_4) = 20.000$ m

2) 외측경간 중앙부 - ①

- b_1 = 0.100 m $b_1 / \lambda L_1$ = 0.100 / 39.520 = 0.003 ≤ 0.050
- ∴ $\lambda_1 = b_1$ = 0.100 m
- b_2 = 0.100 m $b_2 / \lambda L_1$ = 0.100 / 39.520 = 0.003 ≤ 0.050
- ∴ $\lambda_2 = b_2$ = 0.100 m
- b_3 = 1.600 m $b_3 / \lambda L_1$ = 1.600 / 39.520 = 0.040 ≤ 0.050
- ∴ $\lambda_3 = b_3$ = 1.600 m

- 상부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3)$ = 3.400 m (플랜지 유효폭의 100%)
- 하부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3)$ = 2.400 m (플랜지 유효폭의 100%)

3) 외측 지점부 - ②

- b_1 = 0.100 m $b_1 / \lambda S_1$ = 0.100 / 19.880 = 0.005 ≤ 0.020
- ∴ $\lambda_1 = b_1$ = 0.100 m
- b_2 = 0.100 m $b_2 / \lambda S_1$ = 0.100 / 19.880 = 0.005 ≤ 0.020
- ∴ $\lambda_2 = b_2$ = 0.100 m
- b_3 = 1.600 m $b_3 / \lambda S_1$ = 1.600 / 19.880 = 0.080 ≤ 0.300
- ∴ $\lambda_3 = \{1.06 - 3.2\ (b_3 / \lambda S_1) + 4.5\ (b_3 / \lambda S_1)^2\} \times b$ = 1.332 m

- 상부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3)$ = 2.864 m (플랜지 유효폭의 84.2%)
- 하부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3)$ = 2.378 m (플랜지 유효폭의 99.1%)

4) **내측경간 중앙부 - ③**

▸ b_1 = 0.100 m $b_1 / \lambda L_2$ = 0.100 / 30.000 = 0.003 ≤ 0.050

∴ $\lambda_1 = b_1$ = 0.100 m

▸ b_2 = 0.100 m $b_2 / \lambda L_2$ = 0.100 / 30.000 = 0.003 ≤ 0.050

∴ $\lambda_2 = b_2$ = 0.100 m

▸ b_3 = 1.600 m $b_3 / \lambda L_2$ = 1.600 / 30.000 = 0.053 ≤ 0.300

∴ $\lambda_3 = \{ 1.1 - 2 (b_3 / \lambda L_2) \times b_3 \}$ = 1.590 m

▸ 상부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3)$ = 3.380 m (플랜지 유효폭의 99.4%)

▸ 하부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3)$ = 2.400 m (플랜지 유효폭의 100%)

5) **내측 지점부 - ④**

▸ b_1 = 0.100 m $b_1 / \lambda S_2$ = 0.100 / 20.000 = 0.005 ≤ 0.050

∴ $\lambda_1 = b_1$ = 0.100 m

▸ b_2 = 0.100 m $b_2 / \lambda S_2$ = 0.100 / 20.000 = 0.005 ≤ 0.050

∴ $\lambda_2 = b_2$ = 0.100 m

▸ b_3 = 1.600 m $b_3 / \lambda S_2$ = 1.600 / 20.000 = 0.080 ≤ 0.300

∴ $\lambda_3 = \{ 1.06 - 3.2 (b_3 / \lambda S_2) + 4.5 (b_3 / \lambda S_2)^2 \} \times b$ = 1.332 m

▸ 상부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3)$ = 2.864 m (플랜지 유효폭의 84.2%)

▸ 하부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3)$ = 2.378 m (플랜지 유효폭의 99.1%)

6) **중앙경간 중앙부 - ⑤**

▸ b_1 = 0.100 m $b_1 / \lambda L_3$ = 0.100 / 30.000 = 0.003 ≤ 0.050

∴ $\lambda_1 = b_1$ = 0.100 m

▸ b_2 = 0.100 m $b_2 / \lambda L_3$ = 0.100 / 30.000 = 0.003 ≤ 0.050

∴ $\lambda_2 = b_2$ = 0.100 m

▸ b_3 = 1.600 m $b_3 / \lambda L_3$ = 1.600 / 30.000 = 0.053 ≤ 0.300

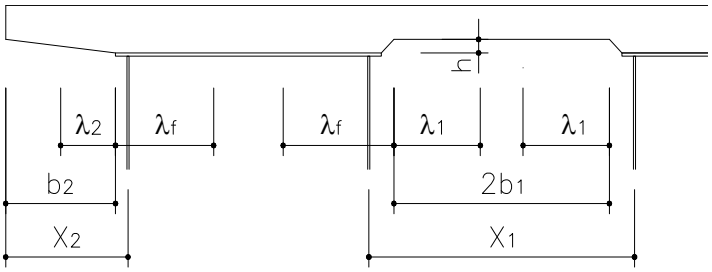
∴ $\lambda_3 = \{ 1.1 - 2 (b_3 / \lambda L_3) \times b_3 \}$ = 1.590 m

▸ 상부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_1 + \lambda_3)$ = 3.380 m (플랜지 유효폭의 99.4%)

▸ 하부 플랜지 유효폭 : $b_e = 2 \cdot (\lambda_2 + \lambda_3)$ = 2.400 m (플랜지 유효폭의 100%)

4.2 바닥판 유효폭

1) **Girder**



- X_1 = 4.750 m
- X_2 = 1.500 m
- h = 0.070 m (헌치 높이)
- be = 0.100 m (플랜지의 돌출폭)
- b_1 = [X_1 - 2(be + h)] / 2 = 2.205 m
- b_2 = X_2 - be = 1.400 m

① 외측경간 중앙부 - ①

- b_1 = 2.205 m $b_1 / \lambda L_1$ = 2.205 / 39.520 = 0.056 ≤ 0.300

∴ λ_1 = { 1.1 - 2 ($b_1 / \lambda L_1$) × b_1 } = 2.179 m

- b_2 = 1.400 m $b_2 / \lambda L_1$ = 1.400 / 39.520 = 0.035 ≤ 0.050

∴ λ_2 = b_2 = 1.400 m

- $2\lambda_f$ = = 3.400 m

- 바닥판 유효폭 : $b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f)$ = 7.049 m (바닥판 유효폭의 99.6%)

② 외측 지점부 - ②

- b_1 = 2.205 m $b_1 / \lambda S_1$ = 2.205 / 19.880 = 0.111 ≤ 0.300

∴ λ_1 = { 1.06 - 3.2 ($b_1 / \lambda S_1$) + 4.5 ($b_1 / \lambda S_1$)² } × b_1 = 1.676 m

- b_2 = 1.400 m $b_2 / \lambda S_1$ = 1.400 / 19.880 = 0.070 ≤ 0.300

∴ λ_2 = { 1.06 - 3.2 ($b_2 / \lambda S_1$) + 4.5 ($b_2 / \lambda S_1$)² } × b_2 = 1.201 m

- 플랜지 유효폭 : = 2.864 m

- 바닥판 유효폭 : $b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f)$ = 5.811 m (바닥판 유효폭의 82.1%)

③ 내측경간 중앙부 - ③

▸ b_1 = 2.205 m $b_1/\lambda L_2$ = 2.205 / 30.000 = 0.074 ≤ 0.300

∴ $\lambda_1 = \{1.1 - 2(b_1/\lambda L_2) \times b_1\}$ = 2.099 m

▸ b_2 = 1.400 m $b_2/\lambda L_2$ = 1.400 / 30.000 = 0.047 ≤ 0.050

∴ $\lambda_2 = b_2$ = 1.400 m

▸ $2\lambda_f$ = = 3.380 m

▸ 바닥판 유효폭 : $b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f)$ = 6.949 m (바닥판 유효폭의 98.2%)

④ 내측 지점부 - ④

▸ b_1 = 2.205 m $b_1/\lambda S_2$ = 2.205 / 20.000 = 0.110 ≤ 0.300

∴ $\lambda_1 = \{1.06 - 3.2(b_1/\lambda S_2) + 4.5(b_1/\lambda S_2)^2\} \times b_1$ = 1.681 m

▸ b_2 = 1.400 m $b_2/\lambda S_2$ = 1.400 / 20.000 = 0.070 ≤ 0.300

∴ $\lambda_2 = \{1.06 - 3.2(b_2/\lambda S_2) + 4.5(b_2/\lambda S_2)^2\} \times b_2$ = 1.201 m

▸ $2\lambda_f$ = = 2.864 m

▸ 바닥판 유효폭 : $b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f)$ = 5.816 m (바닥판 유효폭의 82.2%)

⑤ 중앙경간 중앙부 - ⑤

▸ b_1 = 2.205 m $b_1/\lambda L_3$ = 2.205 / 30.000 = 0.074 ≤ 0.300

∴ $\lambda_1 = \{1.1 - 2(b_1/\lambda L_3) \times b_1\}$ = 2.099 m

▸ b_2 = 1.400 m $b_2/\lambda L_3$ = 1.400 / 30.000 = 0.047 ≤ 0.050

∴ $\lambda_2 = b_2$ = 1.400 m

▸ $2\lambda_f$ = = 3.380 m

▸ 바닥판 유효폭 : $b_e = (\lambda_1 + \lambda_2 + h + 2\lambda_f)$ = 6.949 m (바닥판 유효폭의 98.2%)

4.3 유효폭 산정 결과

Unit : m

구 분		상부 플랜지	하부플랜지	바닥판
Girder	외측경간 중앙부	3.400	2.400	7.049
	외측 지점부	2.864	2.378	5.811
	내측경간 중앙부	3.380	2.400	6.949
	내측 지점부	2.864	2.378	5.816
	중앙경간 중앙부	3.380	2.400	6.949

5. 구조해석 단면력 집계

5.1 Composite Steel Box Girder 교량의 해석 절차

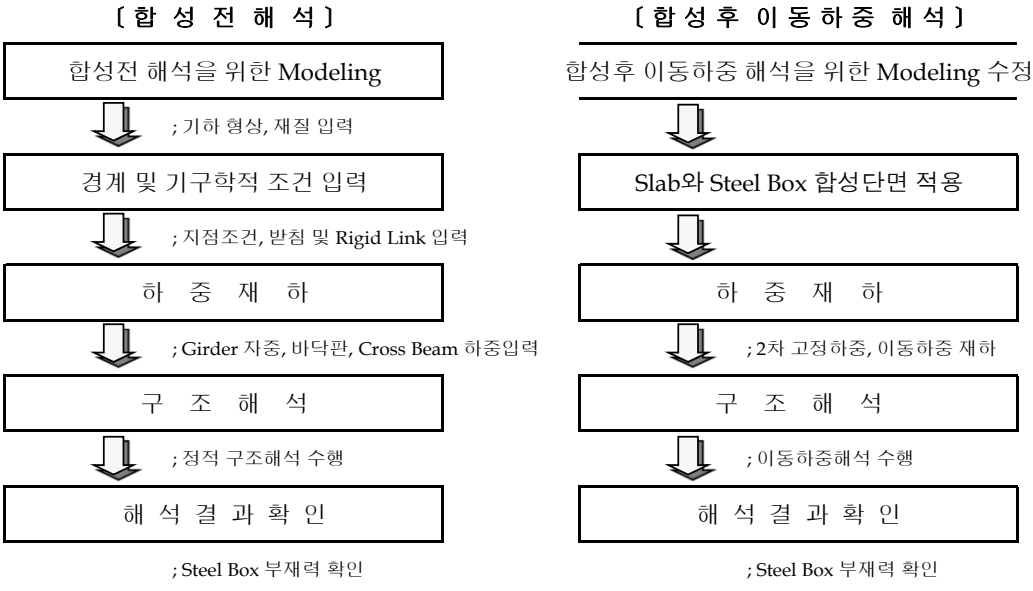
1) 해석 개요

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

▸ 해석 Program : MIDAS/CIVIL

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

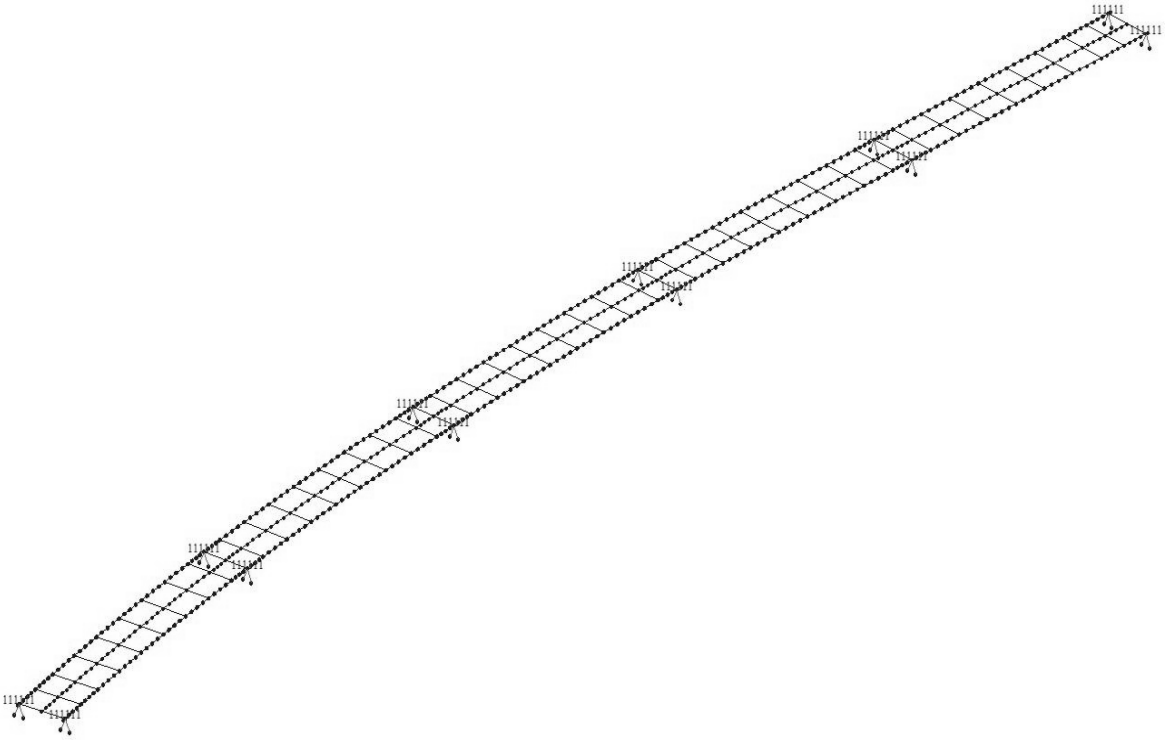
2) 구조해석 절차

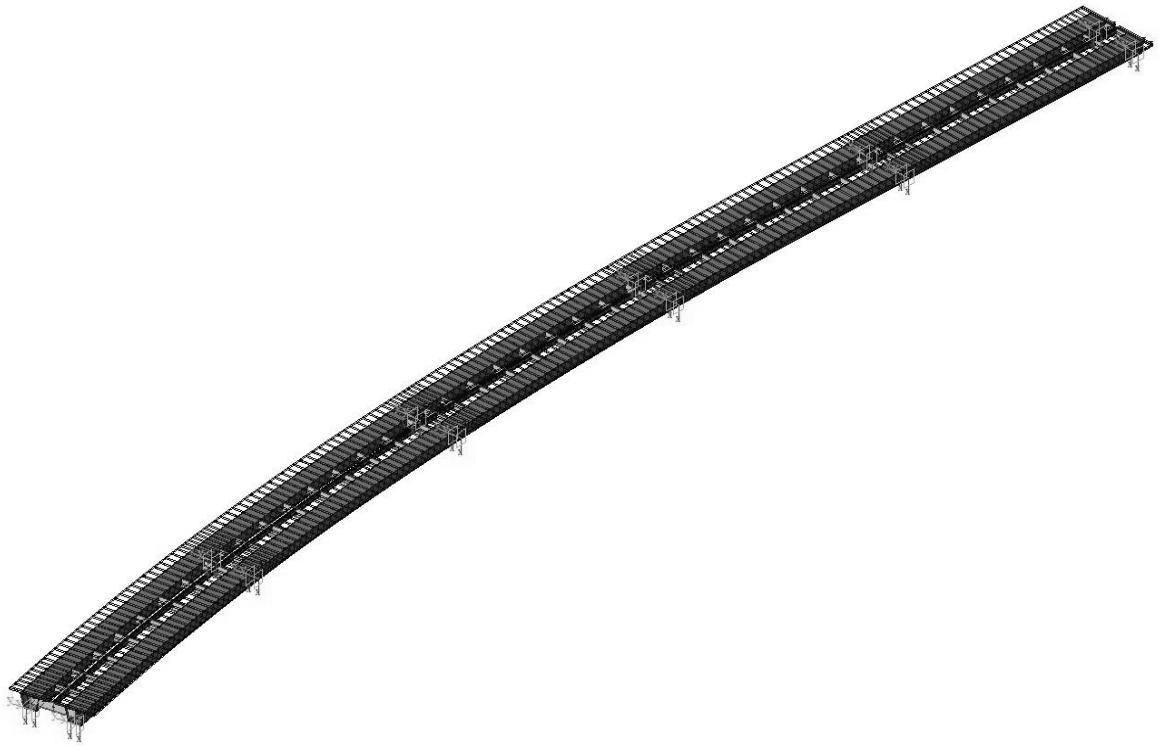


5.2 구조해석

1) 해석 Modeling

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





2) **부재력 집계**

① 외측경간 중앙부

작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	- -	- -	- -	- -
합성전고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D1}	1017c	12,272.336	-	-	-	-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D1}		8.220		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D1}		68.244		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D2}		3,685.584		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D2}		18.364		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D2}		7.949		-		-
활하중에	휨모멘트 (kN ·m)	M_{L+I}		7,952.680		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{L+I}		531.806		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{L+I}		356.032		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		0.501		-		-

② 외측 지점부

작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	- -	- -	- -	- -
합성전고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D1}	1038i	-16,879.358	-	-	-	-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D1}		97.029		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D1}		-1,699.578		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D2}		-4,190.397		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D2}		-104.973		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D2}		-471.059		-		-
활하중에	휨모멘트 (kN ·m)	M_{L+I}		-7,233.370		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{L+I}		-1,133.532		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{L+I}		-1,065.716		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		-0.220		-		-

③ 내측경간 중앙부

작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	- -	- -	- -	- -
합성전고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D1}	1056j	4,893.426	-	-	-	-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D1}		-0.568		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D1}		-3.518		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D2}		1,649.473		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D2}		35.158		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D2}		13.578		-		-
활하중에	휨모멘트 (kN ·m)	M_{L+I}		6,246.399		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{L+I}		510.108		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{L+I}		388.942		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		-0.082		-		-

④ 내측 지점부

작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	- -	- -	- -	- -
합성전고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D1}	1073j	-12,432.742	-	-	-	-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D1}		-2.808		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D1}		1,511.313		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D2}		-3,707.932		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D2}		127.489		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D2}		450.267		-		-
활하중에	휨모멘트 (kN ·m)	M_{L+I}		-7,488.965		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{L+I}		-1,056.647		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{L+I}		-169.352		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		0.041		-		-

⑤ 중앙경간 중앙부

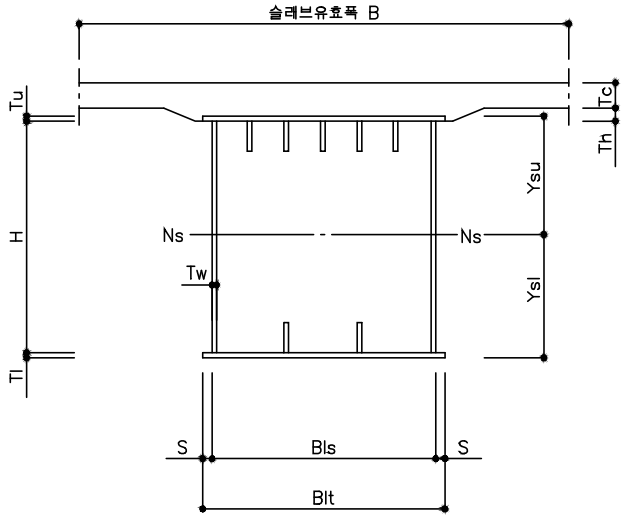
작용하중	구 분	표시 기호	Ele. No.	Girder Force	- -	- -	- -	- -
합성전고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D1}	1091c	6,480.010	-	-	-	-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D1}		-8.039		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D1}		-41.353		-		-
합성후고정	휨모멘트 (kN ·m)	M_{D2}		1,860.712		-		-
하중에 의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{D2}		-18.101		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{D2}		-11.441		-		-
활하중에	휨모멘트 (kN ·m)	M_{L+I}		5,997.002		-		-
의한	비틀림모멘트 (kN ·m	T_{L+I}		497.226		-		-
단면력	전 단 력 (kN)	S_{L+I}		361.892		-		-
부정정력에 대한 영향계수		K		0.039		-		-

6. 단면검토

6.1 Girder (정모멘트구간)

1) 외측경간 중앙부 (Section-C)

① 검토단면 및 검토조건



▸ 주부재 사용강종 : SM 490

▸ H = 2.200 m

▸ B = 7.049 m

▸ Bls = 3.200 m 2.200 m

(전체폭) ▸ Blt = 3.400 m 2.400 m

(유효폭) ▸ Ble = 3.400 m 2.400 m

▸ Tc = 0.250 m

▸ Th = 0.070 m

▸ Tu = 0.012 m

▸ Tl = 0.024 m

▸ Tw = 0.011 m

▸ S = 0.100 m 0.100 m

▸ RIB 160 × 12 mm 상연 7 EA 하연 5 EA

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	205,000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ_2: 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	12,272.336
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	3,685.584
Mv1 : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	11,638.264
Mv2 : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	7,952.680
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	68.244
Sv : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	363.981
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	8.220
Mvt : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘	kN·m	550.170
K : 2차 부정정력 영향계수		0.501

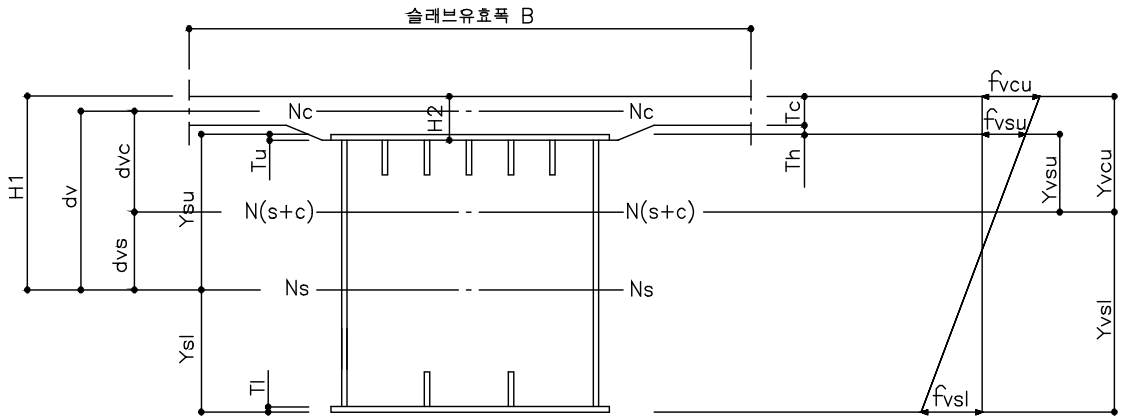
※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

▸ 단면제원

단 면	B (mm)	H (mm)	Area (mm²)	Y (mm)	A· Y (mm³)	A · Y² (mm⁴)	Ix (mm⁴)
1 - UPP. FLG.	3,400	12	40,800	1,106	45,124,800	49,908,028,800	489,600
7 - UPP. RIB	12	160	13,440	1,020	13,708,800	13,982,976,000	28,672,000
2 - WEB	11	2,200	48,400	0	0	0	19,521,333,333
5 - LOW. RIB	12	160	9,600	-1,020	-9,792,000	9,987,840,000	20,480,000
1 - LOW. FLG.	2,400	24	57,600	-1,112	-64,051,200	71,224,934,400	2,764,800
강단면 합계			169,840		-15,009,600	1.451038E+11	19,573,739,733
1 - RC SLAB	7,049	250	1,762,250	1,295	2,282,113,750	2.955337E+12	9,178,385,417

▸ As = 169,840 mm² ▸ Ac = 1,762,250 mm²

② 응력 검토



a. 합성전

▸ Is' = As·Y² + ∑Is = 145,103,779,200.00 + 19,573,739,733.33 = 164,677,518,933.33 mm⁴

▸ δs = ∑(A·Y)/ As = -15,009,600.00 / 169,840.00 = -88.37 mm

▸ Is = Is' - As·δs² = 164,677,518,933.33 - 169,840.00 × -88.37² = 163,351,194,741.44 mm⁴

▸ Ysu = H/2 + Tu - δs = 2,200.0 / 2 + 12.0 - -88.37 = 1,200.37 mm

▸ Ysl = Ysu - (H + Tu + Tl) = 1,200.37 - 2,236.00 = -1,035.63 mm

▸ F = b·h = (Bls + Tw)·(H + Tu/2 +Tl/2) = 7,121,998.00 mm²

▸ fsu = Ms·Ysu / Is =	-90.182	MPa
▸ fsl = Ms·Ysl / Is =	77.805	MPa
▸ υs = Ss / A(Web) =	1.410	MPa
▸ υst = Mst / (2·F·Tw) =	0.052	MPa

b. 합성후

- Av = As + Ac/n = 390,121.25 mm²
- Ic/n = 1,147,298,177.08 mm^4
- dv = Ysu - Tu + Th + Tc/2 = 1,383.37 mm
- dvc = dv ·As / (Ac/n + As) = 602.25 mm
- dvs = dv - dvc = 781.12 mm
- Yvcu = dvc + Tc/2 = 727.25 mm
- Yvcl = Yvcu - Tc = 477.25 mm
- Yvsu = Yvcu - H2 + Tu = 419.25 mm
- Yvsl = Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1,816.75 mm
- Iv = Is + Ic/n + As ·dvs^2 + Ac/n ·dvc^2 = 348,023,230,959.88 mm^4
- fvcu = Mv ·Yvcu/(n ·Iv) = -3.040 MPa
- fvcl = Mv ·Yvcu/(n ·Iv) = -1.995 MPa
- fvsu = Mv ·Yvsu/Iv = -14.020 MPa
- fvsl = Mv ·Yvsl/Iv = 60.754 MPa
- υs = Sv / A(Web) = 7.520 MPa
- υst = Mvt / (2 ·F ·Tw) = 3.511 MPa

c. 크리프

- n1 = n ·(1 + φ_1 / 2) = 8 × (1 + 2.0 / 2) = 16
- Av1 = As + Ac/n1 = 279,980.63 mm²
- dc1 = dv ·As / (Ac/n1 + As) = 839.17 mm
- ds1 = dv - dc1 = 544.20 mm
- Yv1cu = dc1 + Tc/2 = 964.17 mm
- Yv1cl = Yv1cu - Tc = 714.17 mm
- Yv1su = Yv1cu - H2 + Tu = 656.17 mm
- Yv1sl = Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1,579.83 mm
- Iv1 = Is + Ic/n1 + As ·$ds1^2$ + Ac/n1 ·$dc1^2$ = 291,785,298,835.78 mm^4
- Nc = Msc ·dvc ·Ac/(n ·Iv) = 1,404,929 N
- Pφ = Nc ·2 ·φ1 / (2+φ1) = 1,404,929 N
- Mφ = Pφ ·dc1 = 1,178,975,268 N · mm
- Ec1 = Ec / (1 + φ1 / 2) = 13,341 MPa
- fcu = Msc ·Yvcu / (n ·Iv) = 0.963 MPa
- fcl = Msc ·Yvcl / (n ·Iv) = 0.632 MPa

- fvcu1=1/n1·(Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1cu/Iv1) - Ec1·fcu·φ1/ Ec = 0.527 MPa
- fvcl1=1/n1·(Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1cl/Iv1) - Ec1·fcl·φ1/ Ec = 0.228 MPa
- fvsu1=Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1su/Iv1 = -6.346 MPa
- fvsl1=Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1sl/Iv1 = -1.820 MPa

d. 건조수축

- n2 = n·(1 + φ2 / 2) = 8 × (1 + 4.0 / 2) = 24
- Av2 = As + Ac/n2 = 243,267.08 mm²
- dc2 = dv·As / (Ac/n2 + As) = 965.82 mm
- ds2 = dv - dc2 = 417.55 mm
- Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 1,090.82 mm
- Yv2cl = Yv2cu - Tc = 840.82 mm
- Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 782.82 mm
- Yv2sl = Yv2su -(H + Tu + Tl) = -1,453.18 mm
- Iv2 = Is + Ic/n2 + As·ds2² + Ac/n2·dc2² = 261,838,282,961.51 mm⁴
- P2 = Es·εs·Ac/n2 = 4,064,189 kgf
- Mv2 = P2·dc2 = 3,925,264,160 kgf·cm
- Ec2 = Es·/n2 = 8,542 MPa
- fvcu2=1/n2·(P2/Av2 + K*Mv2·Yv2cu/Iv2) - Ec2·εs = 1.269 MPa
- fvcl2=1/n2·(P2/Av2 + K*Mv2·Yv2cl/Iv2) - Ec2·εs = 1.347 MPa
- fvsu2=P2/Av2 + K*Mv2·Yv2su/Iv2 = -22.586 MPa
- fvsl2=P2/Av2 + K*Mv2·Yv2sl/Iv2 = -5.792 MPa

e. 온도차

- εt = α·t = 0.000012 × 10 = 0.00012
- P1 = Es·εt·Ac/n = 5,418,919 N
- Mvt = P1·dvc = 3,263,558,235 N·mm
- fcut=1/n·(P1/Av + k*Mvt·Yvcu/Iv) - Ec·εt = 1.038 MPa
- fclt=1/n·(P1/Av + K*Mvt·Yvcl/Iv) - Ec·εt = 1.185 MPa
- fsut=P1/Av + K*Mvt·Yvsu/Iv = -15.860 MPa
- fslt=P1/Av + K*Mvt·Yvsl/Iv = -5.355 MPa

f. 전단및 비틀림

▸ F = b·h = (Bls + Tw)·(H + Tu/2 +Tl/2) = 7,121,998.00 mm²

▸ υ= (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2·F·Tw) = 12.494 MPa < υa = 110.0 MPa O.K.

g. 조합응력의 검토

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

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

$\because \varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \fallingdotseq 0$

여기서, n : 종방향보강재에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 φ: 응력구배

f_1 ,f_2 : 보강된 판의 양연의 응력

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

▸ 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

fta = 190.0 MPa

▸ 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

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

인 경우 : fca = -190.00 MPa

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

인 경우 : fca = -190 - 3.9 (b / (tu·i·n) - 24) = -153.60 MPa

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

인 경우 : fca = 220,000 × { (tu·i·n) / b }² = 198.00 MPa

사용 tu = 12 mm

따라서, fca = -190.00 MPa (압축플랜지가 콘크리트 바닥판과 직접 고정되어 있는 경우)

▸ 철근콘크리트의 허용응력 (도로교 설계기준 P151)

fca = 0.4 fck = -10.80 MPa (fck = 27 MPa)

fta = 0.07 fck = 1.89 MPa

하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)		작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1			-10.800	-10.800	-90.182	77.805	-190.000	190.000
① 1+2	-3.040	-1.995	-10.800	-10.800	-104.202	138.559	-190.000	190.000
② 1+2+3	-2.513	-1.767	-10.800	-10.800	-110.549	136.739	-218.500	190.000
③ 1+2+3+4	-1.244	-0.420	-10.800	-10.800	-133.135	130.947	-218.500	190.000
④ 1+2+3+4+5	-0.206	0.765	-12.420	2.174	-148.995	125.592	-247.000	218.500
⑤ 1+2+3+4-5	-2.282	-1.605	-12.420	-12.420	-117.275	136.302	-247.000	218.500

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

h. 합성응력의 검토

▸ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{-133.135}{-218.500}\right]^2 + \left[\frac{12.494}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.371 + 0.013 = 0.384 < 1.2$$

O.K.

▸ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{138.559}{190.000}\right]^2 + \left[\frac{12.494}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.532 + 0.013 = 0.545 < 1.2$$

O.K.

i. 항복에 대한 안전도 검사

Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중) + 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함)
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

▸ 바닥판 콘크리트

합성후 고정하중 응력 = { Msc / (n ·Iv)} × Yvcu = -0.963 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / (n ·Iv)} × Yvcu = -2.077 MPa

Σf = 1.3 ×-0.963 + 2.15 ×-2.077 + (0.527) + (1.269) + (-1.038)

= -4.960 MPa < (3/5) fck = -16.20 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 ×-0.963 + 2.15 ×-2.077 + (-1.038)

= -6.756 MPa < (3/5) fck = -16.20 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 상부플랜지

합성전 고정하중 응력 = -90.182 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Iv) ×Yvsu = -4.440 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / Iv} × Yvsu = -9.580 MPa

Σf = 1.3 × (-90.182 + -4.44) + 2.15 × -9.58 + (-6.346) + (-22.586) + (-15.86)

= -188.399 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 × (-90.182 + -4.44) + 2.15 × -9.58 + (-15.86)

= -159.466 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 하부플랜지

합성전 고정하중 응력 = 77.805 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Iv) ×Yvsl = 19.239 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / Iv} × Yvsl = 41.514 MPa

Σf = 1.3 × (77.805 + 19.239) + 2.15 × 41.514 + (-1.82) + (-5.792) + (5.355)

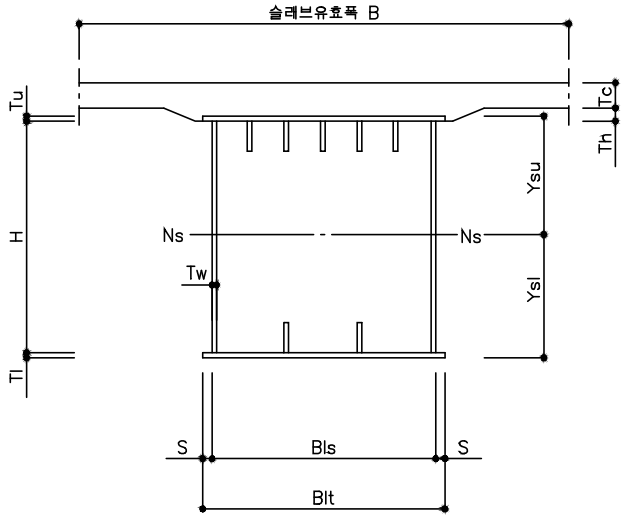
= 213.157 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 × (77.805 + 19.239) + 2.15 × 41.514 + (5.355)

= 220.769 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

2) **내측경간 중앙부 (Section-H)**

① 검토단면 및 검토조건



▸ RIB 160 × 12 mm 상연 7 EA 하연 2 EA

▸ 주부재 사용강종 : SM 490

▸ H = 2.200 m

▸ B = 6.949 m

▸ Bls = 3.200 m 2.200 m

(전체폭) ▸ Blt = 3.400 m 2.400 m

(유효폭) ▸ Ble = 3.380 m 2.400 m

▸ Tc = 0.250 m

▸ Th = 0.070 m

▸ Tu = 0.012 m

▸ Tl = 0.018 m

▸ Tw = 0.011 m

▸ S = 0.100 m 0.100 m

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	205,000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ_2: 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	4,893.426
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,649.473
Mv1 : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	7,895.872
Mv2 : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	6,246.399
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-3.518
Sv : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	402.520
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-0.568
Mvt : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘	kN·m	545.266
K : 2차 부정정력 영향계수		-0.082

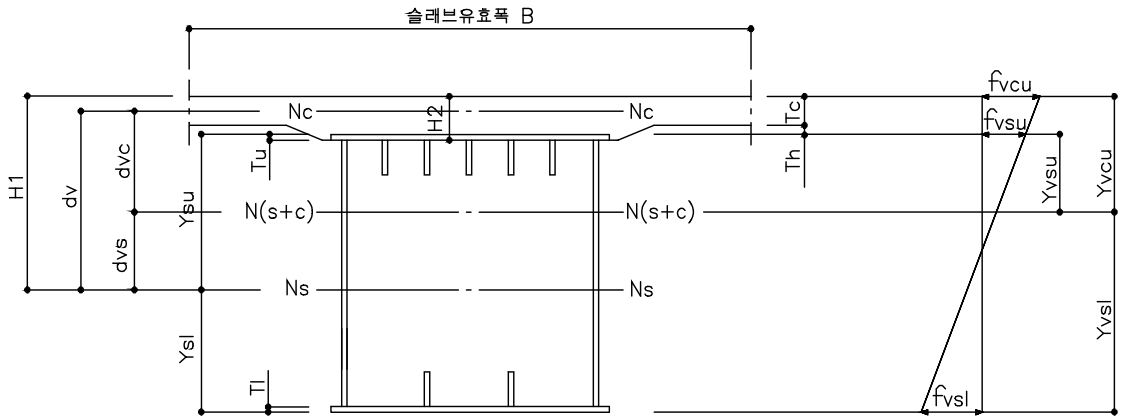
※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

▸ 단면제원

단 면	B (mm)	H (mm)	Area (mm²)	Y (mm)	A· Y (mm^3)	A · Y^2 (mm^4)	Ix (mm^4)
1 - UPP. FLG.	3,380	12	40,560	1,106	44,859,360	49,614,452,160	486,720
7 - UPP. RIB	12	160	13,440	1,020	13,708,800	13,982,976,000	28,672,000
2 - WEB	11	2,200	48,400	0	0	0	19,521,333,333
2 - LOW. RIB	12	160	3,840	-1,020	-3,916,800	3,995,136,000	8,192,000
1 - LOW. FLG.	2,400	18	43,200	-1,109	-47,908,800	53,130,859,200	1,166,400
강단면 합계			149,440		6,742,560	1.207234E+11	19,559,850,453
1 - RC SLAB	6,949	250	1,737,250	1,295	2,249,738,750	2.913412E+12	9,048,177,083

▸ As = 149,440 mm² ▸ Ac = 1,737,250 mm²

② 응력 검토



a. 합성전

▸ Is' = As ·Y^2 + ∑Is = 120,723,423,360.00 + 19,559,850,453.33 = 140,283,273,813.33 mm^4

▸ δs = ∑(A ·Y)/ As = 6,742,560.00 / 149,440.00 = 45.12 mm

▸ Is = Is' - As ·$δs^2$ = 140,283,273,813.33 - 149,440.00 × 45.12^2 = 139,979,041,709.40 mm^4

▸ Ysu = H/2 + Tu - δs = 2,200.0 / 2 + 12.0 - 45.12 = 1,066.88 mm

▸ Ysl = Ysu - (H + Tu + Tl) = 1,066.88 - 2,230.00 = -1,163.12 mm

▸ F = b ·h = (Bls + Tw) ·(H + Tu/2 +Tl/2) = 7,112,365.00 mm²

▸ fsu = Ms ·Ysu / Is =	-37.296	MPa
▸ fsl = Ms ·Ysl / Is =	40.661	MPa
▸ υs = Ss / A(Web) =	-0.073	MPa
▸ υst = Mst / (2 ·F ·Tw) =	-0.004	MPa

b. 합성후

- Av = As + Ac/n = 366,596.25 mm²
- Ic/n = 1,131,022,135.42 mm^4
- dv = Ysu - Tu + Th + Tc/2 = 1,249.88 mm
- dvc = dv ·As / (Ac/n + As) = 509.50 mm
- dvs = dv - dvc = 740.38 mm
- Yvcu = dvc + Tc/2 = 634.50 mm
- Yvcl = Yvcu - Tc = 384.50 mm
- Yvsu = Yvcu - H2 + Tu = 326.50 mm
- Yvsl = Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1,903.50 mm
- Iv = Is + Ic/n + As ·dvs^2 + Ac/n ·dvc^2 = 279,399,119,702.06 mm^4
- fvcu = Mv ·Yvcu/(n ·Iv) = -2.241 MPa
- fvcl = Mv ·Yvcu/(n ·Iv) = -1.358 MPa
- fvsu = Mv ·Yvsu/Iv = -9.227 MPa
- fvsl = Mv ·Yvsl/Iv = 53.793 MPa
- υs = Sv / A(Web) = 8.317 MPa
- υst = Mvt / (2 ·F ·Tw) = 3.485 MPa

c. 크리프

- n1 = n ·(1 + φ_1 / 2) = 8 × (1 + 2.0 / 2) = 16
- Av1 = As + Ac/n1 = 258,018.13 mm²
- dc1 = dv ·As / (Ac/n1 + As) = 723.91 mm
- ds1 = dv - dc1 = 525.97 mm
- Yv1cu = dc1 + Tc/2 = 848.91 mm
- Yv1cl = Yv1cu - Tc = 598.91 mm
- Yv1su = Yv1cu - H2 + Tu = 540.91 mm
- Yv1sl = Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1,689.09 mm
- Iv1 = Is + Ic/n1 + As ·$ds1^2$ + Ac/n1 ·$dc1^2$ = 238,786,196,253.33 mm^4
- Nc = Msc ·dvc ·Ac/(n ·Iv) · 653,190 N
- Pφ = Nc ·2 ·φ1 / (2+φ1) = 653,190 N
- Mφ = Pφ ·dc1 = 472,851,350 N · mm
- Ec1 = Ec / (1 + φ1 / 2) = 13,341 MPa
- fcu = Msc ·Yvcu / (n ·Iv) = 0.468 MPa
- fcl = Msc ·Yvcl / (n ·Iv) = 0.284 MPa

- fvcu1=1/n1·(Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1cu/Iv1) - Ec1·fcu·φ1/ Ec = 0.319 MPa
- fvcl1=1/n1·(Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1cl/Iv1) - Ec1·fcl·φ1/ Ec = 0.132 MPa
- fvsu1=Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1su/Iv1 = -2.444 MPa
- fvsl1=Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1sl/Iv1 = -2.806 MPa

d. 건조수축

- n2 = n·(1 + φ2 / 2) = 8 × (1 + 4.0 / 2) = 24
- Av2 = As + Ac/n2 = 221,825.42 mm²
- dc2 = dv·As / (Ac/n2 + As) = 842.02 mm
- ds2 = dv - dc2 = 407.86 mm
- Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 967.02 mm
- Yv2cl = Yv2cu - Tc = 717.02 mm
- Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 659.02 mm
- Yv2sl = Yv2su -(H + Tu + Tl) = -1,570.98 mm
- Iv2 = Is + Ic/n2 + As·$ds2^2$ + Ac/n2·$dc2^2$ = 216,536,452,660.96 mm^4
- P2 = Es·εs·Ac/n2 = 4,006,533 kgf
- Mv2 = P2·dc2 = 3,373,592,135 kgf·cm
- Ec2 = Es·/n2 = 7,346 MPa
- fvcu2=1/n2·(P2/Av2 + K*Mv2·Yv2cu/Iv2) - Ec2·εs = 1.282 MPa
- fvcl2=1/n2·(P2/Av2 + K*Mv2·Yv2cl/Iv2) - Ec2·εs = 1.269 MPa
- fvsu2=P2/Av2 + K*Mv2·Yv2su/Iv2 = -17.220 MPa
- fvsl2=P2/Av2 + K*Mv2·Yv2sl/Iv2 = -20.069 MPa

e. 온도차

- εt = α·t = 0.000012 × 10 = 0.00012
- P1 = Es·εt·Ac/n = 5,342,044 N
- Mvt = P1·dvc = 2,721,789,911 N·mm
- fcut=1/n·(P1/Av + k*Mvt·Yvcu/Iv) - Ec·εt = 1.444 MPa
- fclt=1/n·(P1/Av + K*Mvt·Yvcl/Iv) - Ec·εt = 1.419 MPa
- fsut=P1/Av + K*Mvt·Yvsu/Iv = -14.311 MPa
- fslt=P1/Av + K*Mvt·Yvsl/Iv = -16.093 MPa

f. 전단및 비틀림

▸ $F = b \cdot h = (Bls + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) =$ 7,112,365.00 mm²

▸ $\upsilon = (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2 \cdot F \cdot Tw) =$ 11.725 MPa < $\upsilon a =$ 110.0 MPa O.K.

g. 조합응력의 검토

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

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

$\because \varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \fallingdotseq 0$

여기서, n : 종방향보강재에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 φ: 응력구배

f_1 ,f_2 : 보강된 판의 양연의 응력

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

▸ 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

fta = 190.0 MPa

▸ 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

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

인 경우 : fca = -190.00 MPa

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

인 경우 : fca = $-190 - 3.9 (b / (tu \cdot i \cdot n) - 24) =$ -153.60 MPa

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

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

사용 tu = 12 mm

따라서, fca = -190.00 MPa

▸ 철근콘크리트의 허용응력 (도로교 설계기준 P151)

fca = 0.4 fck = -10.80 MPa (fck = 27 MPa사용)

fta = 0.07 fck = 1.89 MPa

하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)		작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1			-10.800	-10.800	-37.296	40.661	-190.000	190.000
① 1+2	-2.241	-1.358	-10.800	-10.800	-46.523	94.454	-190.000	190.000
② 1+2+3	-1.923	-1.227	-10.800	-10.800	-48.967	91.648	-218.500	190.000
③ 1+2+3+4	-0.640	0.042	-10.800	1.890	-66.187	71.580	-218.500	190.000
④ 1+2+3+4+5	0.803	1.461	2.174	2.174	-80.498	55.487	-247.000	218.500
⑤ 1+2+3+4-5	-2.084	-1.376	-12.420	-12.420	-51.875	87.672	-247.000	218.500

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

h. 합성응력의 검토

▸ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{-80.498}{-247.000}\right]^2 + \left[\frac{11.725}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.106 + 0.011 = 0.118 < 1.2$$

O.K.

▸ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{94.454}{190.000}\right]^2 + \left[\frac{11.725}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.247 + 0.011 = 0.258 < 1.2$$

O.K.

i. 항복에 대한 안전도 검사

Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중) + 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함)
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

▸ 바닥판 콘크리트

합성후 고정하중 응력 = { Msc / (n ·Iv)} × Yvcu = -0.468 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / (n ·Iv)} × Yvcu = -1.773 MPa

Σf = 1.3 ×-0.468 + 2.15 ×-1.773 + (0.319) + (1.282) + (-1.444)

= -4.264 MPa < (3/5) fck = -16.20 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 ×-0.468 + 2.15 ×-1.773 + (-1.444)

= -5.865 MPa < (3/5) fck = -16.20 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 상부플랜지

합성전 고정하중 응력 = -37.296 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Iv) ×Yvsu = -1.928 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / Iv} × Yvsu = -7.299 MPa

Σf = 1.3 × (-37.296 + -1.928) + 2.15 × -7.299 + (-2.444) + (-17.22) + (-14.311)

= -100.659 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 × (-37.296 + -1.928) + 2.15 × -7.299 + (-14.311)

= -80.996 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 하부플랜지

합성전 고정하중 응력 = 40.661 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Iv) ×Yvsl = 11.238 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / Iv} × Yvsl = 42.556 MPa

Σf = 1.3 × (40.661 + 11.238) + 2.15 × 42.556 + (-2.806) + (-20.069) + (16.093)

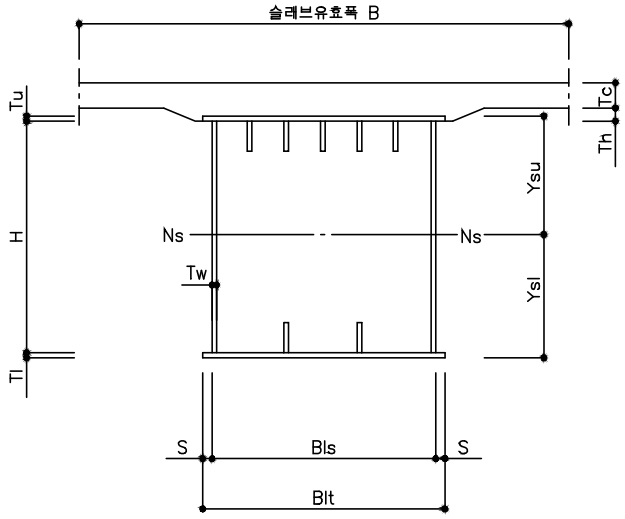
= 152.181 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 × (40.661 + 11.238) + 2.15 × 42.556 + (16.093)

= 175.055 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

3) **중앙경간 중앙부 (Section-L)**

① 검토단면 및 검토조건



▸ RIB 160 × 12 mm 상연 7 EA 하연 2 EA

▸ 주부재 사용강종 : SM 490

▸ H = 2.200 m

▸ B = 6.949 m

▸ Bls = 3.200 m 2.200 m

(전체폭) ▸ Blt = 3.400 m 2.400 m

(유효폭) ▸ Ble = 3.380 m 2.400 m

▸ Tc = 0.250 m

▸ Th = 0.070 m

▸ Tu = 0.012 m

▸ Tl = 0.016 m

▸ Tw = 0.011 m

▸ S = 0.100 m 0.100 m

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	205,000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ_2: 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	6,480.010
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	1,860.712
Mv1 : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	7,857.714
Mv2 : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	5,997.002
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-41.353
Sv : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	350.451
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-8.039
Mvt : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘	kN·m	479.125
K : 2차 부정정력 영향계수		0.039

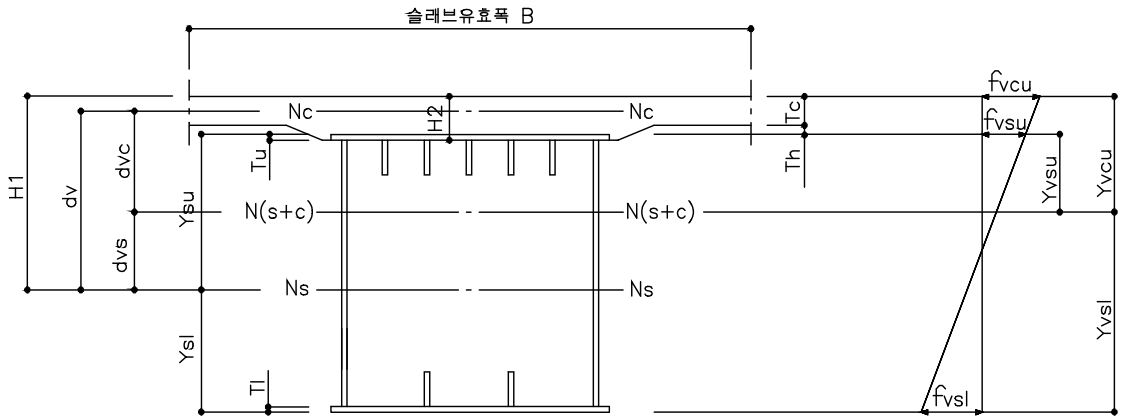
※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

▸ 단면제원

단 면	B (mm)	H (mm)	Area (mm²)	Y (mm)	A· Y (mm^3)	A · Y^2 (mm^4)	Ix (mm^4)
1 - UPP. FLG.	3,380	12	40,560	1,106	44,859,360	49,614,452,160	486,720
7 - UPP. RIB	12	160	13,440	1,020	13,708,800	13,982,976,000	28,672,000
2 - WEB	11	2,200	48,400	0	0	0	19,521,333,333
2 - LOW. RIB	12	160	3,840	-1,020	-3,916,800	3,995,136,000	8,192,000
1 - LOW. FLG.	2,400	16	38,400	-1,108	-42,547,200	47,142,297,600	819,200
강단면 합계			144,640		12,104,160	1.147349E+11	19,559,503,253
1 - RC SLAB	6,949	250	1,737,250	1,295	2,249,738,750	2.913412E+12	9,048,177,083

▸ As = 144,640 mm² ▸ Ac = 1,737,250 mm²

② 응력 검토



a. 합성전

▸ Is' = As ·Y^2 + ∑Is = 114,734,861,760.00 + 19,559,503,253.33 = 134,294,365,013.33 mm^4

▸ δs = ∑(A ·Y)/ As = 12,104,160.00 / 144,640.00 = 83.68 mm

▸ Is = Is' - As ·$δs^2$ = 134,294,365,013.33 - 144,640.00 × 83.68² = 133,281,546,208.60 mm^4

▸ Ysu = H/2 + Tu - δs = 2,200.0 / 2 + 12.0 - 83.68 = 1,028.32 mm

▸ Ysl = Ysu - (H + Tu + Tl) = 1,028.32 - 2,228.00 = -1,199.68 mm

▸ F = b ·h = (Bls + Tw) ·(H + Tu/2 +Tl/2) = 7,109,154.00 mm²

▸ fsu = Ms ·Ysu / Is =	-49.996	MPa
▸ fsl = Ms ·Ysl / Is =	58.327	MPa
▸ υs = Ss / A(Web) =	-0.854	MPa
▸ υst = Mst / (2 ·F ·Tw) =	-0.051	MPa

b. 합성후

- Av = As + Ac/n = 361,796.25 mm²
- Ic/n = 1,131,022,135.42 mm^4
- dv = Ysu - Tu + Th + Tc/2 = 1,211.32 mm
- dvc = dv ·As / (Ac/n + As) = 484.27 mm
- dvs = dv - dvc = 727.05 mm
- Yvcu = dvc + Tc/2 = 609.27 mm
- Yvcl = Yvcu - Tc = 359.27 mm
- Yvsu = Yvcu - H2 + Tu = 301.27 mm
- Yvsl = Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1,926.73 mm
- Iv = Is + Ic/n + As ·dvs^2 + Ac/n ·dvc^2 = 261,796,444,873.39 mm^4
- fvcu = Mv ·Yvcu/(n ·Iv) = -2.286 MPa
- fvcl = Mv ·Yvcu/(n ·Iv) = -1.348 MPa
- fvsu = Mv ·Yvsu/Iv = -9.042 MPa
- fvsl = Mv ·Yvsl/Iv = 57.830 MPa
- υs = Sv / A(Web) = 7.241 MPa
- υst = Mvt / (2 ·F ·Tw) = 3.063 MPa

c. 크리프

- n1 = n ·(1 + φ_1 / 2) = 8 × (1 + 2.0 / 2) = 16
- Av1 = As + Ac/n1 = 253,218.13 mm²
- dc1 = dv ·As / (Ac/n1 + As) = 691.91 mm
- ds1 = dv - dc1 = 519.41 mm
- Yv1cu = dc1 + Tc/2 = 816.91 mm
- Yv1cl = Yv1cu - Tc = 566.91 mm
- Yv1su = Yv1cu - H2 + Tu = 508.91 mm
- Yv1sl = Yv1su - (H + Tu + Tl) = -1,719.09 mm
- Iv1 = Is + Ic/n1 + As ·$ds1^2$ + Ac/n1 ·$dc1^2$ = 224,849,644,154.30 mm^4
- Nc = Msc ·dvc ·Ac/(n ·Iv) · 747,431 N
- Pφ = Nc ·2 ·φ1 / (2+φ1) = 747,431 N
- Mφ = Pφ ·dc1 = 517,158,300 N · mm
- Ec1 = Ec / (1 + φ1 / 2) = 13,341 MPa
- fcu = Msc ·Yvcu / (n ·Iv) = 0.541 MPa
- fcl = Msc ·Yvcl / (n ·Iv) = 0.319 MPa

- fvcu1=1/n1·(Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1cu/Iv1) - Ec1·fcu·φ1/ Ec = 0.352 MPa
- fvcl1=1/n1·(Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1cl/Iv1) - Ec1·fcl·φ1/ Ec = 0.132 MPa
- fvsu1=Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1su/Iv1 = -2.997 MPa
- fvsl1=Pφ/Av1 + k*Mφ·Yv1sl/Iv1 = -2.798 MPa

d. 건조수축

- n2 = n·(1 + φ2 / 2) = 8 × (1 + 4.0 / 2) = 24
- Av2 = As + Ac/n2 = 217,025.42 mm²
- dc2 = dv·As / (Ac/n2 + As) = 807.30 mm
- ds2 = dv - dc2 = 404.02 mm
- Yv2cu = dc2 + Tc/2 = 932.30 mm
- Yv2cl = Yv2cu - Tc = 682.30 mm
- Yv2su = Yv2cu - H2 + Tu = 624.30 mm
- Yv2sl = Yv2su -(H + Tu + Tl) = -1,603.70 mm
- Iv2 = Is + Ic/n2 + As·ds2² + Ac/n2·dc2² = 204,444,439,017.22 mm⁴
- P2 = Es·εs·Ac/n2 = 4,006,533 kgf
- Mv2 = P2·dc2 = 3,234,486,972 kgf·cm
- Ec2 = Es·/n2 = 8,542 MPa
- fvcu2=1/n2·(P2/Av2 + K*Mv2·Yv2cu/Iv2) - Ec2·εs = 1.513 MPa
- fvcl2=1/n2·(P2/Av2 + K*Mv2·Yv2cl/Iv2) - Ec2·εs = 1.519 MPa
- fvsu2=P2/Av2 + K*Mv2·Yv2su/Iv2 = -18.846 MPa
- fvsl2=P2/Av2 + K*Mv2·Yv2sl/Iv2 = -17.472 MPa

e. 온도차

- εt = α·t = 0.000012 × 10 = 0.00012
- P1 = Es·εt·Ac/n = 5,342,044 N
- Mvt = P1·dvc = 2,586,965,759 N·mm
- fcut=1/n·(P1/Av + k*Mvt·Yvcu/Iv) - Ec·εt = 1.327 MPa
- fclt=1/n·(P1/Av + K*Mvt·Yvcl/Iv) - Ec·εt = 1.339 MPa
- fsut=P1/Av + K*Mvt·Yvsu/Iv = -14.881 MPa
- fslt=P1/Av + K*Mvt·Yvsl/Iv = -14.023 MPa

f. 전단및 비틀림

▸ F = b·h = (Bls + Tw)·(H + Tu/2 +Tl/2) = 7,109,154.00 mm²

▸ υ= (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2·F·Tw) = 9.398 MPa < υa = 110.0 MPa O.K.

g. 조합응력의 검토

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

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

$\because \varphi = (f_1 - f_2)/f_1 \fallingdotseq 0$

여기서, n : 종방향보강재에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수 φ: 응력구배

f_1 ,f_2 : 보강된 판의 양연의 응력

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

▸ 인장 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

fta = 190.0 MPa

▸ 압축 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

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

인 경우 : fca = -190.00 MPa

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

인 경우 : fca = -190 - 3.9 (b / (tu·i·n) - 24) = -153.60 MPa

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

인 경우 : fca = 220,000 × { (tu·i·n) / b }² = 198.00 MPa

사용 tu = 12 mm

따라서, fca = -190.00 MPa

▸ 철근콘크리트의 허용응력 (도로교 설계기준 P151)

fca = 0.4 fck = -10.80 MPa (fck = 27 MPa사용)

fta = 0.07 fck = 1.89 MPa

하중조합	CONCRETE				STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)		작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1			-10.800	-10.800	-49.996	58.327	-190.000	190.000
① 1+2	-2.286	-1.348	-10.800	-10.800	-59.038	116.157	-190.000	190.000
② 1+2+3	-1.934	-1.216	-10.800	-10.800	-62.036	113.360	-218.500	190.000
③ 1+2+3+4	-0.421	0.303	-10.800	1.890	-80.882	95.888	-218.500	190.000
④ 1+2+3+4+5	0.906	1.642	2.174	2.174	-95.763	81.865	-247.000	218.500
⑤ 1+2+3+4-5	-1.747	-1.036	-12.420	-12.420	-66.001	109.911	-247.000	218.500

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

h. 합성응력의 검토

▸ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{-95.763}{-247.000}\right]^2 + \left[\frac{9.398}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.150 + 0.007 = 0.158 < 1.2$$

O.K.

▸ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{116.157}{190.000}\right]^2 + \left[\frac{9.398}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.374 + 0.007 = 0.381 < 1.2$$

O.K.

i. 항복에 대한 안전도 검사

Σf = 1.3 × (합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중) + 2.15 × 활하중에 의한 응력(충격포함)
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

▸ 바닥판 콘크리트

합성후 고정하중 응력 = { Msc / (n ·Iv)} × Yvcu = -0.541 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / (n ·Iv)} × Yvcu = -1.745 MPa

Σf = 1.3 ×-0.541 + 2.15 ×-1.745 + (0.352) + (1.513) + (-1.327)

= -3.916 MPa < (3/5) fck = -16.20 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 ×-0.541 + 2.15 ×-1.745 + (-1.327)

= -5.781 MPa < (3/5) fck = -16.20 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 상부플랜지

합성전 고정하중 응력 = -49.996 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Iv) ×Yvsu = -2.141 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / Iv} × Yvsu = -6.901 MPa

Σf = 1.3 × (-49.996 + -2.141) + 2.15 × -6.901 + (-2.997) + (-18.846) + (-14.881)

= -119.341 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 × (-49.996 + -2.141) + 2.15 × -6.901 + (-14.881)

= -97.497 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 하부플랜지

합성전 고정하중 응력 = 58.327 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Iv) ×Yvsl = 13.694 MPa

합성후 활하중 응력 = { Mv2 / Iv} × Yvsl = 44.136 MPa

Σf = 1.3 × (58.327 + 13.694) + 2.15 × 44.136 + (-2.798) + (-17.472) + (14.023)

= 182.274 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

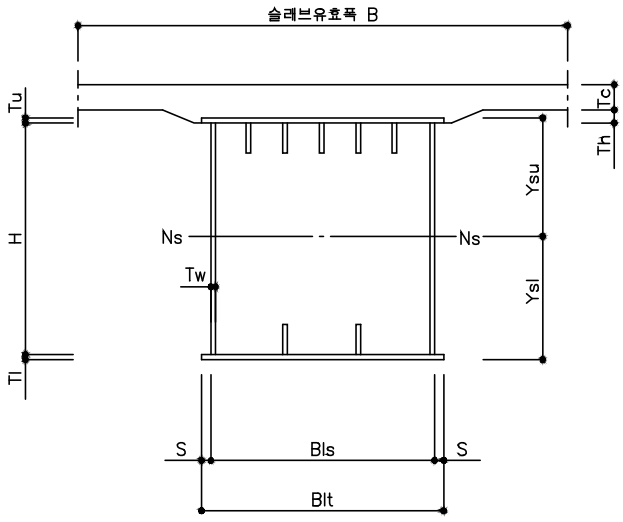
Σf = 1.3 × (58.327 + 13.694) + 2.15 × 44.136 + (14.023)

= 202.543 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

6.2 Girder (부모멘트 구간)

1) 외측 지점부 (Section-F)

① 검토단면 및 검토조건



▸ 주부재 사용강종 : SM 490

▸ H = 2.200 m

▸ B = 5.811 m

▸ Bls = 3.200 m 2.200 m

(전체폭) ▸ Blt = 3.400 m 2.400 m

(유효폭) ▸ Ble = 2.864 m 2.378 m

▸ Tc = 0.250 m

▸ Th = 0.070 m

▸ Tu = 0.022 m

▸ Tl = 0.028 m

▸ Tw = 0.011 m

▸ S = 0.100 m 0.100 m

▸ RIB 160 × 12 mm 상연 3 EA 하연 5 EA

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	205,000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ_2: 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-16,879.36
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-4,190.40
Mv1 : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	-11,423.77
Mv2 : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	-7,233.37
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	-1,699.58
Sv : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	-1,536.78
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	97.03
Mvt : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘	kN·m	-1,238.51
K : 2차 부정정력 영향계수		-0.220

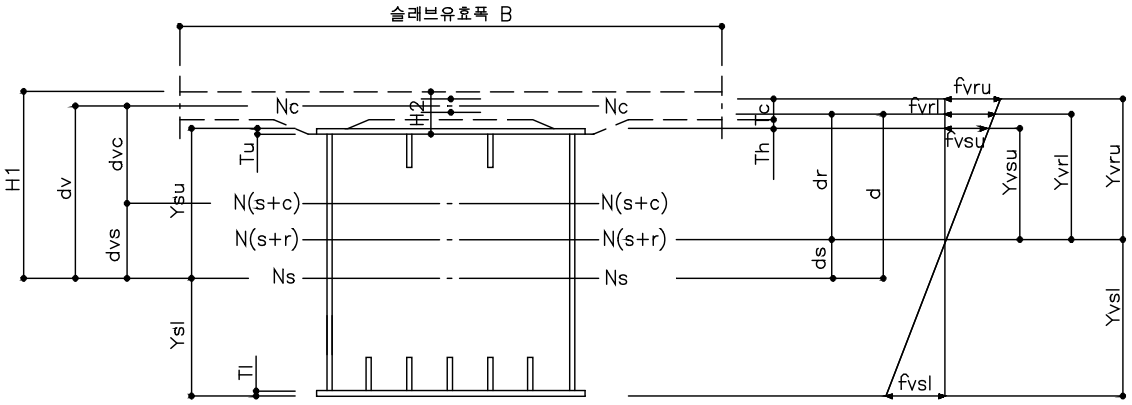
※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

▸ 단면제원

단 면	B (mm)	H (mm)	Area (mm²)	Y (mm)	A·Y (mm³)	A·Y² (mm⁴)	Ix (mm⁴)
1 - UPP. FLG.	2864	22	63,008	1,111	70,001,888	77,772,097,568	2,541,323
3 - UPP. RIB	12	160	5,760	1,020	5,875,200	5,992,704,000	12,288,000
2 - WEB	11	2200	48,400	0	0	0	19,521,333,333
5 - LOW. RIB	12	160	9,600	-1,020	-9,792,000	9,987,840,000	20,480,000
1 - LOW. FLG.	2378	28	66,584	-1,114	-74,174,576	82,630,477,664	4,350,155
강단면 합계			193,352		-8,089,488	1.763831E+11	19,560,992,811
UPPER RE-BAR	피복	40	16,101	1,317	21,205,412	2.792753E+10	-
LOWER RE-BAR	두께	40	17,360	1,147	19,911,347	2.283831E+10	-
RE-BAR 합계			33,461		41,116,759	5.076584E+10	-
1 - RC SLAB	5,811	250	1,452,750	1,295	1.8813E+09	2.436298E+12	7.566406E+09

▸ As = 193,352 mm² ▸ Ac = 1,452,750 mm² ▸ Ar = 33,461 mm²

② 응력 검토



a. 합성전

▸ Is' = As·Y² + ∑Is = 176,383,119,232.00 + 19,560,992,810.67 = 195,944,112,043 mm⁴

▸ δs = ∑(A·Y)/ As = -8,089,488.00 / 193,352.00 = -41.84 mm

▸ Is = Is' - As·δs² = 195,944,112,042.67 - 193,352.00 × -41.84² = 195,605,632,815.74 mm⁴

▸ Ysu = H/2 + Tu - δs = 2,200.00 / 2 + 22.0 - -41.84 = 1,163.84 mm

▸ Ysl = Ysu - (H + Tu + Tl) = 1,163.84 - 2,250.00 = -1,086.16 mm

▸ F = b·h = (Bls + Tw)·(H + Tu/2 +Tl/2) = 7,144,475.00 mm²

▸ fsu = Ms·Ysu / Is =	100.431	MPa
▸ fsl = Ms·Ysl / Is =	-93.728	MPa
▸ υs = Ss / A(Web) =	-35.115	MPa
▸ υst = Mst / (2·F·Tw) =	0.617	MPa

b. 합성후

- Av = As + Ar = 226,812.80 mm²
- d = Ysu - Tu + Th + tcl + (Tc - tcu - tcl) ·Aru/Ar = 1,333.64 mm
- dr = d ·As / (As + Ar) = 1,136.90 mm
- ds = d - dr = 196.75 mm
- Yvru = dr + (Tc - tcu - tcl) ·Arl/Ar = 1,225.09 mm
- Yvrl = dr - (Tc - tcu - tcl) ·Aru/Ar = 1,055.09 mm
- Yvsu = Yvrl - tcl - Th + Tu = 967.09 mm
- Yvsl = Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1,282.91 mm
- Irv = Is + As ·ds^2 + Ar ·dr^2 = 246,339,403,013.92 mm^4
- fvru = Mv ·Yvru/Irv = 56.813 MPa
- fvrl = Mv ·Yvrl/Irv = 48.929 MPa
- fvsu = Mv ·Yvsu/Irv = 44.848 MPa
- fvsl = Mv ·Yvsl/Irv = -59.494 MPa
- υs = Sv / A(Web) = -31.752 MPa
- υst = Mvt / (2 ·F ·Tw) = -7.880 MPa

c. 크리프

- Avc = As + Ac/n = 374,945.75 mm²
- dv = Ysu - Tu + Th + Tc/2 = 1,273.84 mm
- dvc = dv ·As / (Ac/n + As) = 656.89 mm
- dvs = dv - dvc = 616.95 mm
- n1 = n ·(1 + φ_1 / 2) = 8 × (1 + 2.0 / 2) = 16
- Av1 = As + Ac/n1 = 284,148.88 mm²
- dc1 = dv ·As / (Ac/n1 + As) = 866.80 mm
- ds1 = dv - dc1 = 407.04 mm
- Icv = Is + Ic/n + As ·dvs^2 + Ac/n ·dvc^2 348,504,999,015.16 mm^4
- Nc = Msc ·dvc ·Ac/(n ·Icv) = -1,434,307 N
- Pφ = Nc ·2 ·φ1 / (2+φ1) = -1,434,307 N
- Mφ = Pφ ·dc1 = -1,243,253,758 N · mm
- Ec1 = Ec / (1 + φ1 / 2) = 13,341 MPa
- fvru1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvru/Irv = 4.964 MPa
- fvrl1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvrl/Irv = 5.152 MPa
- fvsu1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvsu/Irv = 5.250 MPa
- fvsl1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvsl/Irv = 7.748 MPa

d. 건조수축

- n2 = n·(1 + φ2 / 2) = 8 × (1 + 4.0 / 2) = 24
- Av2 = As + Ac/n2 = 253,883.25 mm²
- dc2 = dv·As / (Ac/n2 + As) = 970.13 mm
- ds2 = dv - dc2 = 303.71 mm
- P2 = Es·εs·Ac/n2 = 3,350,405 N
- Mv2 = P2·dc2 = 3,250,324,858 N·cm
- fvru2=P2/Av + K*Mv2·Yvru/Irv = -11.215 MPa
- fvrl2=P2/Av + K*Mv2·Yvrl/Irv = -11.709 MPa
- fvsu2=P2/Av + K*Mv2·Yvsu/Irv = -11.964 MPa
- fvsl2=P2/Av + K*Mv2·Yvsl/Irv = -18.496 MPa

e. 온도차

- εt = α·t = 0.000012 × 10 = 0.00012
- P1 = Es·εt·Ac/n = 4,467,206 N
- Mvt = P1·dvc = 2,934,479,769 N·m
- Ert = Es·εt = 24.600 N/mm²
- frut=P1/Av + K*Mvt·Yvru/Irv - Es·εt = 8.115 MPa
- frlt=P1/Av + K*Mvt·Yvrl/Irv - Es·εt = 7.670 MPa
- fsut=P1/Av + K*Mvt·Yvsu/Irv = -17.161 MPa
- fslt=P1/Av + K*Mvt·Yvsl/Irv = -23.058 MPa

f. 전단및 비틀림

▸ $F = b \cdot h = (Bls + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) =$ 7,144,475.00 mm²

▸ $\upsilon = (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2 \cdot F \cdot Tw) =$ 74.129 MPa < $\upsilon a =$ 110.0 MPa O.K.

g. 조합응력의 검토

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

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

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

여기서, n : 종방향보강재에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수

φ: 응력구배

f_1 ,f_2 : 보강된 판의 양연의 응력 (단,$f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

▸ 인장 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

fta = 190.0 MPa

▸ 압축 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

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

인 경우 : fca = -190.00 MPa

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

인 경우 : fca = -190 - 3.9 (b / (t | in) - 24) = -209.31 MPa

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

인 경우 : fca = 220,000 × { (tu in) / b }² = 606.38 MPa

사용 t | = 28 mm

따라서, fca = -190.00 MPa

▸ RE-BAR의 허용응력 (도로교 설계기준 p3-75)

fta = 160.00 MPa fca = 180.00 MPa (SD 400 사용)

	하중조합	RE-BAR			STEEL			
		작용응력 (MPa)		허용응력	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
		상 연	하 연	(MPa)	상 연	하 연	상 연	하 연
	1	0.000	0.000	160.000	100.431	-93.728	190.000	-190.000
①	1+2	56.813	48.929	160.000	145.279	-153.221	190.000	-190.000
②	1+2+3	61.776	54.081	160.000	150.529	-145.473	190.000	-190.000
③	1+2+3+4	50.561	42.372	160.000	138.565	-163.969	190.000	-190.000
④	1+2+3+4+5	58.676	50.042	160.000	121.404	-187.027	218.500	-218.500
⑤	1+2+3+4-5	42.446	34.703	160.000	155.726	-140.911	218.500	-218.500

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

h. 합성응력의 검토

▸ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{150.529}{190.000}\right]^2 + \left[\frac{74.129}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.628 + 0.454 = 1.082 < 1.2$$

O.K.

▸ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{-163.969}{-190.000}\right]^2 + \left[\frac{74.129}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.745 + 0.454 = 1.199 < 1.2$$

O.K.

i. 항복에 대한 안전도 검사

Σf = 1.3×(합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중) + 2.15×(활하중에 의한 응력(충격포함))
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

▸ 상부 바닥판 RE - BAR

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Irv) × Yvru = 20.840 MPa

합성후 활하중 응력 = (Mv2 / Irv) × Yvru = 35.973 MPa

Σf= 1.3 ×(20.84) + 2.15 ×(35.973) + (4.964) + (-11.215) + (8.115)

= 106.296 MPa < fy = 400.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf= 1.3 ×(20.84) + 2.15 ×(35.973) + (8.115)

= 112.548 MPa < fy = 400.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 상부플랜지

합성전 고정하중 응력 = 100.431 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Irv) × Yvsu = 16.451 MPa

합성후 활하중 응력 = (Mv2 / Irv) × Yvsu = 28.397 MPa

Σf= 1.3 ×(100.431 + 16.451) + 2.15 ×(28.397) + (5.25) + -11.964 + (17.161)

= 223.447 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf= 1.3 ×(100.431 + 16.451) + 2.15 ×(28.397) + (17.161)

= 230.161 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 하부플랜지

합성전 고정하중 응력 = -93.728 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Irv) × Yvsl = -21.823 MPa

합성후 활하중 응력 = (-153.221 - -93.728 - -21.823 = -37.671 MPa

Σf = 1.3 × (-93.728 + -21.823) + 2.15 × -37.671 + (7.748) + (-18.496) + -23.058

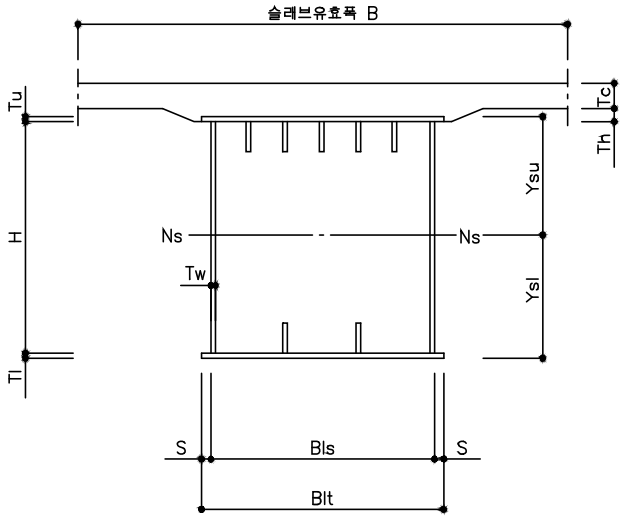
= -265.013 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 × (-93.728 + -21.823) + 2.15 × -37.671 + -23.058 =

= -254.266 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

2) **내측 지점부 (Section-I)**

① 검토단면 및 검토조건



▸ RIB 160 × 12 mm 상연 3 EA 하연 5 EA

▸ 주부재 사용강종 : SM 490

▸ H = 2.200 m

▸ B = 5.816 m

▸ Bls = 3.200 m 2.200 m

(전체폭) ▸ Blt = 3.400 m 2.400 m

(유효폭) ▸ Ble = 2.864 m 2.378 m

▸ Tc = 0.250 m

▸ Th = 0.070 m

▸ Tu = 0.020 m

▸ Tl = 0.024 m

▸ Tw = 0.011 m

▸ S = 0.100 m 0.100 m

구 분	단 위	입력 DATA
Es : 강의 탄성계수	MPa	205,000
Ec : 콘크리트의 탄성계수	MPa	26,681
εs : 바닥판 콘크리트의 건조수축에 의한 최종수축율		0.00027
α : 강재 및 콘크리트의 선팽창계수		0.000012
φ_2: 건조수축에 의한 크리프계수		4
n : 강과 콘크리트의 탄성계수비		8
t : 강과 콘크리트의 온도차	℃	10
Ms : 합성전 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-12,432.742
Msc : 합성후 고정하중에 의한 모멘트	kN·m	-3,707.93
Mv1 : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 모멘트	kN·m	-11,196.90
Mv2 : 활하중에 의한 모멘트	kN·m	-7,488.97
Ss : 합성전 고정하중에 의한 전단력	kN	1,511.31
Sv : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 전단력	kN	280.92
Mst : 합성전 고정하중에 의한 비틀림모멘트	kN·m	-2.81
Mvt : (합성후 고정하중 + 활하중 + 지점침하) 에 의한 비틀림모멘	kN·m	-929.16
K : 2차 부정정력 영향계수		0.041

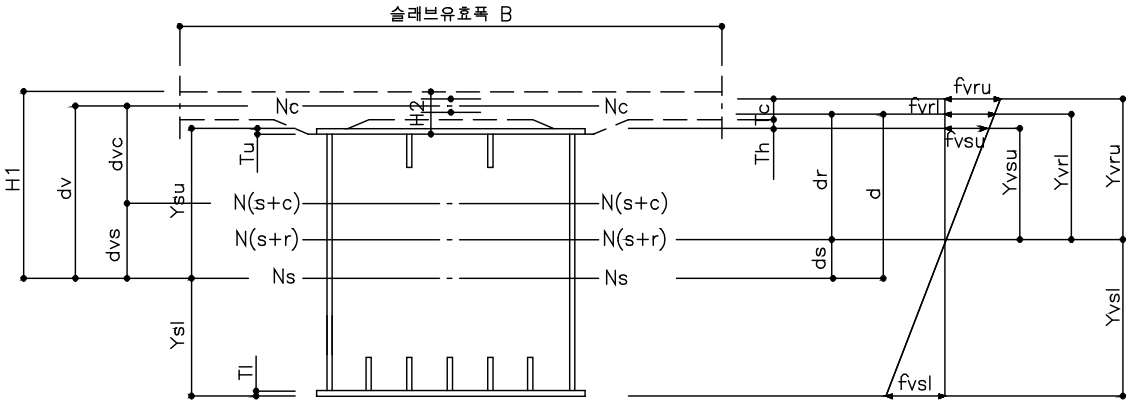
※ 합성전 고정하중 : 강재자중 + 바닥판콘크리트자중 , 합성후 고정하중 : 난간및방호벽 자중 + 포장자중

▸ 단면제원

단 면	B (mm)	H (mm)	Area (mm²)	Y (mm)	A·Y (mm³)	A·Y² (mm⁴)	Ix (mm⁴)
1 - UPP. FLG.	2864	20	57,280	1,110	63,580,800	70,574,688,000	1,909,333
3 - UPP. RIB	12	160	5,760	1,020	5,875,200	5,992,704,000	12,288,000
2 - WEB	11	2200	48,400	0	0	0	19,521,333,333
5 - LOW. RIB	12	160	9,600	-1,020	-9,792,000	9,987,840,000	20,480,000
1 - LOW. FLG.	2378	24	57,072	-1,112	-63,464,064	70,572,039,168	2,739,456
강단면 합계			178,112		-3,800,064	1.571273E+11	19,558,750,123
UPP. RE-BAR	피복	40	16,101	1,317	21,205,412	27,927,527,736	-
LOW. RE-BAR	두께	40	17,360	1,147	19,911,347	22,838,314,436	-
RE-BAR 합계			33,461		41,116,759	5.076584E+10	-
1 - RC SLAB	5,816	250	1,454,000	1,295	1.88293E+09	2.438394E+12	7.5729167E+09

▸ As = 178,112 mm² ▸ Ac = 1,454,000 mm² ▸ Ar = 33,461 mm²

② 응력 검토



a. 합성전

▸ Is' = As·Y² + ∑Is = 157,127,271,168.00 + 19,558,750,122.67 = 176,686,021,291 mm⁴

▸ δs = ∑(A·Y)/ As = -3,800,064.00 / 178,112.00 = -21.34 mm

▸ Is = Is' - As·δs² = 176,686,021,290.67 - 178,112.00 × -21.34² = 176,604,909,869.56 mm⁴

▸ Ysu = H/2 + Tu - δs = 2,200.00 / 2 + 20.0 - -21.34 = 1,141.34 mm

▸ Ysl = Ysu - (H + Tu + Tl) = 1,141.34 - 2,244.00 = -1,102.66 mm

▸ F = b·h = (Bls + Tw)·(H + Tu/2 +Tl/2) = 7,134,842.00 mm²

▸ fsu = Ms·Ysu / Is =	80.349	MPa
▸ fsl = Ms·Ysl / Is =	-77.626	MPa
▸ υs = Ss / A(Web) =	31.225	MPa
▸ υst = Mst / (2·F·Tw) =	-0.018	MPa

b. 합성후

- Av = As + Ar = 211,572.80 mm²
- d = Ysu - Tu + Th + tcl + (Tc - tcu - tcl) ·Aru/Ar = 1,313.14 mm
- dr = d ·As / (As + Ar) = 1,105.47 mm
- ds = d - dr = 207.68 mm
- Yvru = dr + (Tc - tcu - tcl) ·Arl/Ar = 1,193.66 mm
- Yvrl = dr - (Tc - tcu - tcl) ·Aru/Ar = 1,023.66 mm
- Yvsu = Yvrl - tcl - Th + Tu = 933.66 mm
- Yvsl = Yvsu - (H + Tu + Tl) = -1,310.34 mm
- Irv = Is + As ·ds^2 + Ar ·dr^2 = 225,177,834,080.13 mm^4
- fvru = Mv ·Yvru/Irv = 59.355 MPa
- fvrl = Mv ·Yvrl/Irv = 50.901 MPa
- fvsu = Mv ·Yvsu/Irv = 46.426 MPa
- fvsl = Mv ·Yvsl/Irv = -65.156 MPa
- υs = Sv / A(Web) = 5.804 MPa
- υst = Mvt / (2 ·F ·Tw) = -5.919 MPa

c. 크리프

- Avc = As + Ac/n = 726,458.25 mm²
- dv = Ysu - Tu + Th + Tc/2 = 1,253.34 mm
- dvc = dv ·As / (Ac/n + As) = 620.33 mm
- dvs = dv - dvc = 633.01 mm
- n1 = n ·(1 + φ_1 / 2) = 8 × (1 + 2.0 / 2) = 16
- Av1 = As + Ac/n1 = 268,987.00 mm²
- dc1 = dv ·As / (Ac/n1 + As) = 829.91 mm
- ds1 = dv - dc1 = 423.43 mm
- Icv = Is + Ic/n + As ·dvs^2 + Ac/n ·dvc^2 318,860,390,421.17 mm^4
- Nc = Msc ·dvc ·Ac/(n ·Icv) = -1,311,088 N
- Pφ = Nc ·2 ·φ1 / (2+φ1) = -1,311,088 N
- Mφ = Pφ ·dc1 = -1,088,084,159 N · mm
- Ec1 = Ec / (1 + φ1 / 2) = 13,341 MPa
- fvru1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvru/Irv = 6.433 MPa
- fvrl1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvrl/Irv = 6.400 MPa
- fvsu1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvsu/Irv = 6.382 MPa
- fvsl1 = Pφ/Av + K*Mφ ·Yvsl/Irv = 5.937 MPa

d. 건조수축

- n2 = n·(1 + φ2 / 2) = 8 × (1 + 4.0 / 2) = 24
- Av2 = As + Ac/n2 = 238,695.33 mm²
- dc2 = dv·As / (Ac/n2 + As) = 935.23 mm
- ds2 = dv - dc2 = 318.11 mm
- P2 = Es·εs·Ac/n2 = 3,353,288 N
- Mv2 = P2·dc2 = 3,136,093,067 N·cm
- fvru2=P2/Av + K*Mv2·Yvru/Irv = -16.531 MPa
- fvrl2=P2/Av + K*Mv2·Yvrl/Irv = -16.434 MPa
- fvsu2=P2/Av + K*Mv2·Yvsu/Irv = -16.382 MPa
- fvsl2=P2/Av + K*Mv2·Yvsl/Irv = -15.101 MPa

e. 온도차

- εt = α·t = 0.000012 × 10 = 0.00012
- P1 = Es·εt·Ac/n = 4,471,050 N
- Mvt = P1·dvc = 2,773,547,563 N·m
- Ert = Es·εt = 24.600 N/mm²
- frut=P1/Av + K*Mvt·Yvru/Irv - Es·εt = 2.865 MPa
- frlt=P1/Av + K*Mvt·Yvrl/Irv - Es·εt = 2.951 MPa
- fsut=P1/Av + K*Mvt·Yvsu/Irv = -21.604 MPa
- fslt=P1/Av + K*Mvt·Yvsl/Irv = -20.471 MPa

f. 전단및 비틀림

▸ $F = b \cdot h = (Bls + Tw) \cdot (H + Tu/2 + Tl/2) =$ 7,134,842.00 mm²

▸ $\upsilon = (Ss + Sv)/Aw + (Mst + Mvt)/(2 \cdot F \cdot Tw) =$ 42.967 MPa < $\upsilon a =$ 110.0 MPa O.K.

g. 조합응력의 검토

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

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

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

여기서, n : 종방향보강재에 의해서 구분되는 Pannel의 수

i : 응력구배계수

φ: 응력구배

f_1 ,f_2 : 보강된 판의 양연의 응력 (단,$f_1 \geq f_2$ 이며 압축응력을 정(+)으로 한다.)

▸ 인장 (상부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

fta = 190.0 MPa

▸ 압축 (하부)플랜지의 허용응력 (SM 490 사용)

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

인 경우 : fca = -190.00 MPa

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

인 경우 : fca = -190 - 3.9 (b / (t | in) - 24) = -196.93 MPa

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

인 경우 : fca = 220,000 × { (tu in) / b }² = 445.50 MPa

사용 t | = 24 mm

따라서, fca = -190.00 MPa

▸ RE-BAR의 허용응력 (도로교 설계기준 p3-75)

fta = 160.00 MPa fca = 180.00 MPa (SD 400 사용)

하중조합	RE-BAR			STEEL			
	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	작용응력 (MPa)		허용응력 (MPa)	
	상 연	하 연		상 연	하 연	상 연	하 연
1	0.000	0.000	160.000	80.349	-77.626	190.000	-190.000
① 1+2	59.355	50.901	160.000	126.775	-142.782	190.000	-190.000
② 1+2+3	65.788	57.301	160.000	133.157	-136.845	190.000	-190.000
③ 1+2+3+4	49.257	40.867	160.000	116.774	-151.946	190.000	-190.000
④ 1+2+3+4+5	52.122	43.818	160.000	95.170	-172.416	218.500	-218.500
⑤ 1+2+3+4-5	46.392	37.917	160.000	138.378	-131.475	218.500	-218.500

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

h. 합성응력의 검토

▸ 거더 상연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{133.157}{190.000}\right]^2 + \left[\frac{42.967}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.491 + 0.153 = 0.644 < 1.2$$

O.K.

▸ 거더 하연

$$\left[\frac{f}{fa}\right]^2 + \left[\frac{\upsilon}{\upsilon a}\right]^2 = \left[\frac{-151.946}{-190.000}\right]^2 + \left[\frac{42.967}{110.000}\right]^2$$

$$= 0.640 + 0.153 = 0.792 < 1.2$$

O.K.

i. 항복에 대한 안전도 검사

Σf = 1.3×(합성전 고정하중 응력 + 합성후 고정하중) + 2.15×(활하중에 의한 응력(충격포함))
+ (크리프응력 변화량) + (건조수축응력변화량) + (온도차응력변화량) 의 조합 중에서
가장 불리한 하중 조합에 대하여 검토

▸ 상부 바닥판 RE - BAR

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Irv) × Yvru = 19.656 MPa

합성후 활하중 응력 = (Mv2 / Irv) × Yvru = 39.699 MPa

Σf= 1.3 ×(19.656) + 2.15 ×(39.699) + (6.433) + (-16.531) + (2.865)

= 103.672 MPa < fy = 400.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf= 1.3 ×(19.656) + 2.15 ×(39.699) + (2.865)

= 113.770 MPa < fy = 400.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 상부플랜지

합성전 고정하중 응력 = 80.349 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Irv) × Yvsu = 15.374 MPa

합성후 활하중 응력 = (Mv2 / Irv) × Yvsu = 31.052 MPa

Σf= 1.3 ×(80.349 + 15.374) + 2.15 ×(31.052) + (6.382) + -16.382 + (21.604)

= 202.805 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf= 1.3 ×(80.349 + 15.374) + 2.15 ×(31.052) + (21.604)

= 212.805 MPa < fy = 315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

▸ 강재 거더 하부플랜지

합성전 고정하중 응력 = -77.626 MPa

합성후 고정하중 응력 = (Msc / Irv) × Yvsl = -21.577 MPa

합성후 활하중 응력 = (-142.782 - -77.626 - -21.577 = -43.579 MPa

Σf = 1.3 × (-77.626 + -21.577) + 2.15 × -43.579 + (5.937) + (-15.101) + -20.471

= -252.293 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 포함시)

Σf = 1.3 × (-77.626 + -21.577) + 2.15 × -43.579 + -20.471 =

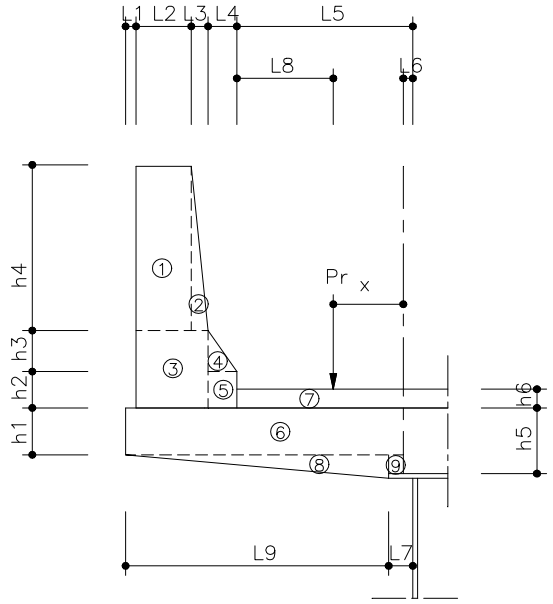
= -243.129 MPa < fy = -315.0 MPa O.K. (크리프,건조수축 제외시)

7. 바닥판 검토

7.1 캔틸레버부

1) G1측 (방호벽)

① 고정하중



- h1 = 0.250 m
- h2 = 0.215 m
- h3 = 0.250 m
- h4 = 0.485 m
- h5 = 0.388 m
- h6 = 0.080 m
- L1 = 0.030 m
- L2 = 0.150 m
- L3 = 0.058 m
- L4 = 0.168 m
- L5 = 1.095 m
- L6 = 0.050 m
- L7 = 0.100 m
- L8 = 0.300 m
- L9 = 1.400 m

- 철근콘크리트 단위중량 : 25.00 kN/m^3
- 아스콘 포장 단위중량 : 23.00 kN/m^3
- 콘그리트 단위중량 : 23.50 kN/m^3
- 트럭의 1후륜하중 (Pr) : 96.00 kN
- 설계속도(R) : 80 km/hr
- 곡선 반경(R) : 607.09 m
- 방음벽 높이 : - m

구 분	작용하중		거 리 (m)	모 멘 트 (kN ·m)
①	0.485 × 0.150 ×25.0	= 1.819	1.345	2.447
②	0.485 × 0.058/2 × 25.0	= 0.349	1.251	0.437
③	0.465 × 0.208 × 25.0	= 2.412	1.316	3.174
④	0.250 × 0.168 / 2 × 25.0	= 0.523	1.157	0.605
⑤	0.215 × 0.168 × 25.0	= 0.900	1.129	1.016
⑥	0.250 × 1.450 × 25.0	= 9.063	0.725	6.571
⑦	0.080 × 1.045 × 23.0	= 1.923	0.523	1.006
⑧	0.138 × 1.400/2 × 25.0	= 2.415	0.517	1.249
⑨	0.138 × 0.050 × 25.0	= 0.173	0.025	0.004
난간하중		= 0.000	1.345	0.000
ΣM_D				16.509

② 활하중 : DB-24

- Pr = 96.0 kN
- X = 0.745 m
- I = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.745) = 0.368 > 0.30 ∴ I = 0.30
- E = 0.8 X + 1.14 = 0.8 × 0.745 + 1.14 = 1.736 m
- M_{L+I} = Pr / E · X · (1+I) = 96.0 / 1.736) × 0.745 × (1 + 0.3 = 53.558 kN·m

③ 차량 충돌하중

- H = (V / 60)^2 × 7.5 + 2.5 = (80 / 60)^2 × 7.5 + 2.5 = 15.833 kN/m
- h = 1.080 m (수평충돌력 H가 교면 위 1m 높이에 작용)
- H = 20.000 kN/m (직선구간 : 10 kN/m , 곡선구간 : 20 kN/m)
- h = 0.950 m (수평충돌력 H가 상단부에 작용)
- M_{CO} = Max (15.833 × 1.080 , 20.000 × 0.950) = 19.000 kN·m/m

④ 풍하중

- P_W = 3.000 × 0.950 = 2.850 kN/m
- M_W = 2.850 × 0.950 / 2 = 1.354 kN·m

⑤ 원심하중 : 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

- CF = 0.79 · V^2 / R = 0.79 × 80 ^{2} / 607.085 = 8.328 (%)
- P_{CF} = (Pr/E) × 8.328 / 100 = 4.605 kN/m
- M_{CF} = 4.605 × 1.800 = 8.290 kN·m/m

⑥ 극한 모멘트

- M_{U1} = 1.3 M_D + 2.15 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} = 147.388 kN·m
- M_{U2} = 1.3 M_D + 1.3 M_{I+I} + 1.3 M_{CF} + 1.3 M_{CO} = 126.564 kN·m
- M_{U3} = 1.3 M_D + 1.3 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} + 0.65 M_W = 102.744 kN·m
- M_{U4} = 1.2 M_D + 1.2 M_W + 1.2 M_{CO} = 44.236 kN·m
- M_{U5} = 1.3 M_D + 1.3 M_W = 23.222 kN·m

∴ M_U = 147.388 kN·m/m

⑦ 사용 모멘트

- M_{O1} = 1.0 M_D + 1.0 M_{L+I} + 1.0 M_{CF} + 0.3 M_V = 78.763 kN·m

∴ M_O = 78.763 kN·m

⑧ 바닥판의 최소 두께 (X > 0.25 인 경우)

- H_{min} = (80 X + 230) = (80×0.745) + 230 = 290 mm ≤ H = 388 mm → O.K.

⑨ 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 27.0 Mpa fy = 400.0 Mpa

β1 = 0.850 Øf = 0.850 Øv = 0.800

pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350

계수 모멘트 Mu 147.388 kN·m

단면의 두께 H 388.0 mm 단면의 폭 B 1,000.0 mm

유 효 깊 이 D 348.0 mm 피 복 두 께 Dc 40.0 mm

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

사용철근량 = H 16 @ 250 mm + H 16 @ 250 mm (dc = 40 mm)

= 1,588.8 mm^2 ∴ P = As/(B·D) = 0.00457

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 27.692 mm

최외단 인장철근 변형률 εt 0.029046 ≥ 0.005 ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) 180,507,451.7 N·mm

= 180.507 kN·m ≥ Mu = 147.388 kN·m ∴ O.K [S.F = 1.225]

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a 22.435 mm 로 가정

As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} 1,287.2 mm^2

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) 22.435 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D 0.00370 ⇒ 4/3 Preq = 0.00493

∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D 1,287.2 mm^2 ≤ 사용철근량 ∴ O.K

철근비검토 : Pmin ≤ P ∴ O.K

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 78.763 kN·m

n = Es/Ec = 200,000 / (0.077 $m_c^{1.5}$ ∛(fcu) 7 여기서, fcm = fck+4

p = As/(B·D) = 0.004566

k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.223

j = 1 - k/3 = 0.926

x = k·D = 77.559 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) 6.305 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) 153.886 MPa

fs = 153.886 MPa ≤ 0.6 fy = 240.00 MPa ∴ O.K

fst = fs (H - Dc_min - x) / (D - x) 153.886 MPa

최외단철근 소요중심간격

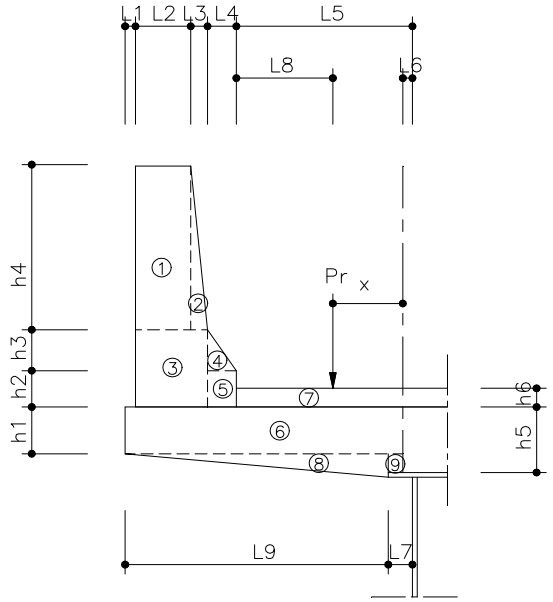
s = Min [375 (210 / fst) - 2.5 Cc , 300 (210/fst)] 409.39 mm

여기서, Cc = Dc_min - 주철근 직경/2 = 32.00 mm

최외단철근 평균배근간격 125.00 mm ≤ 409.39 mm ∴ O.K

2) G2측 (중분대)

① 고정하중



- h1 = 0.250 m
- h2 = 0.200 m
- h3 = 0.250 m
- h4 = 0.450 m
- h5 = 0.323 m
- h6 = 0.080 m
- L1 = 0.000 m
- L2 = 0.070 m
- L3 = 0.050 m
- L4 = 0.200 m
- L5 = 1.180 m
- L6 = 0.050 m
- L7 = 0.100 m
- L8 = 0.300 m
- L9 = 1.400 m

- 철근콘크리트 단위중링 : 25.00 kN/m^3
- 아스콘 포장 단위중량 : 23.00 kN/m^3
- 콘그리트 단위중량 : 23.50 kN/m^3
- 트럭의 1후륜하중 (Pr) : 96.00 kN
- 설계속도(R) : 80 km/hr
- 곡선 반경(R) : 607.09 m
- 방음벽 높이 : - m

구 분	작용하중		거 리 (m)	모 멘 트 (kN ·m)
①	0.450 × 0.070 ×23.5	= 0.740	1.415	1.047
②	0.450 × 0.050/2 × 23.5	= 0.264	1.363	0.360
③	0.450 × 0.120 × 23.5	= 1.269	1.390	1.764
④	0.250 × 0.200 / 2 × 23.5	= 0.588	1.263	0.743
⑤	0.200 × 0.200 × 23.5	= 0.940	1.230	1.156
⑥	0.250 × 1.450 × 25.0	= 9.063	0.725	6.571
⑦	0.080 × 1.130 × 23.0	= 2.079	0.565	1.175
⑧	0.073 × 0.200/2 × 25.0	= 0.183	0.117	0.021
⑨	0.073 × 0.050 × 25.0	= 0.091	0.025	0.002
난간하중		= 0.000	1.415	0.000
ΣM_D				12.839

② 활하중 : DB-24

▸ Pr = 96.00 kN ▸ X = 0.750 m

▸ I = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.75) = 0.368 > 0.30 ∴ I = 0.30

▸ E = 0.8 X + 1.14 = 0.8 × 0.75 + 1.14 = 1.740 m

▸ M_{L+I} = Pr / E · X · (1+I) = (96.0 / 1.74) × 0.75 × (1 + 0.3) = 53.793 kN·m

③ 차량 충돌하중

▸ H = $(V / 60)^2 \times 7.5 + 2.5$ = (80 / 60 $)^2 \times 7.5 + 2.5$ = 15.833 kN/m

▸ h = 1.080 m (수평충돌력 H가 교면 위 1m 높이에 작용)

▸ H = 20.000 kN/m (직선구간 : 10 kN/m , 곡선구간 : 20 kN/m)

▸ h = 0.900 m (수평충돌력 H가 상단부에 작용)

▸ M_{CO} = Max (15.833 × 1.080 , 20.000 × 0.900) = 18.000 kN·m

④ 풍하중

▸ P_W = 3.000 × 0.900 = 2.700 kN/m

▸ M_W = 2.700 × 0.900 / 2 = 1.215 kN·m

⑤ 원심하중 : 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

▸ CF = $0.79 \cdot V^2 / R$ = 0.79 × 80^2 / 607.085 = 8.328 (%)

▸ P_{CF} = (Pr/E) × 8.328 / 100 = 4.595 kN/m

▸ M_{CF} = 4.595 × 1.800 = 8.271 kN·m

⑥ 극한 모멘트

▸ M_{U1} = 1.3 M_D + 2.15 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} = 143.098 kN·m

▸ M_{U2} = 1.3 M_D + 1.3 M_{I+I} + 1.3 M_{CF} + 1.3 M_{CO} = 120.774 kN·m

▸ M_{U3} = 1.3 M_D + 1.3 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} + 0.65 M_W = 98.164 kN·m

▸ M_{U4} = 1.2 M_D + 1.2 M_W + 1.2 M_{CO} = 38.465 kN·m

▸ M_{U5} = 1.3 M_D + 1.3 M_W = 18.270 kN·m

∴ M_U = 143.098 kN·m

⑦ 사용 모멘트

▸ M_{O1} = 1.0 M_D + 1.0 M_{L+I} + 1.0 M_{CF} + 0.3 M_V = 75.268 kN·m

∴ M_O = 75.268 kN·m

⑧ 바닥판의 최소 두께 (X > 0.25 인 경우)

▸ H_{min} = (80 X + 230) = (80×0.75) + 230 = 290 mm ≤ H = 323 mm → O.K.

⑨ 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 27.0 Mpa fy = 400.0 Mpa

β1 = 0.850 Øf = 0.850 Øv = 0.800

pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350

계수 모멘트 Mu 143.098 kN·m

단면의 두께 H 323.0 mm 단면의 폭 B 1,000.0 mm

유 효 깊 이 D 283.0 mm 피 복 두 께 Dc 40.0 mm

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

사용철근량 = H 16 @ 250 mm + H 16 @ 250 mm (dc = 40 mm)

= 1,588.8 mm^2 ∴ P = As/(B·D) = 0.00561

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 27.692 mm

최외단 인장철근 변형률 εt 0.023060 ≥ 0.005 ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) 145,394,971.7 N·mm

= 145.395 kN·m ≥ Mu = 143.098 kN·m ∴ O.K [S.F = 1.016]

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a 27.231 mm 로 가정

As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} 1,562.4 mm^2

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) 27.231 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D 0.00552 ⇒ 4/3 Preq = 0.00736

∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D 1,562.4 mm^2 ≤ 사용철근량 ∴ O.K

철근비검토 : Pmin ≤ P ∴ O.K

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 75.268 kN·m

n = Es/Ec = 200,000 / (0.077 $m_c^{1.5}$ ∛(fcu) 7 여기서, fcm = fck+4

p = As/(B·D) = 0.005614

k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.244

j = 1 - k/3 = 0.919

x = k·D = 68.994 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) 8.392 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) 182.207 MPa

fs = 182.207 MPa ≤ 0.6 fy = 240.00 MPa ∴ O.K

fst = fs (H - Dc_min - x) / (D - x) 182.207 MPa

최외단철근 소요중심간격

s = Min [375 (210 / fst) - 2.5 Cc , 300 (210/fst)] 345.76 mm

여기서, Cc = Dc_min - 주철근 직경/2 = 32.00 mm

최외단철근 평균배근간격 125.00 mm ≤ 345.76 mm ∴ O.K

7.2 연속부

① 고정하중

구 분	두 께 (m)	단위중량 (kN/m^3)	하 중 (kN/m)
바닥판	0.250	25.000	6.250
아스콘 포장	0.080	23.000	1.840
Σ Wd			8.090

▸ 연속판의 지간 : L = 2.375 m

▸ Md = $\Sigma Wd \cdot L^2 / 10$ = 4.563 kN·m

② 활하중 : DB-24

▸ Pr = 96.00 kN

▸ I = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 2.375) = 0.354 > 0.30 ∴ I = 0.30

▸ M_{L+I} = (2.375+0.6) / 9.6 ·Pr ·(1+I) = (2.375+0.6) / 9.6 × 96 × (1+0.3 = 38.675 kN·m

→ 바닥판이 3개이상의 지점을 가지므로 위의 값의 80%를 취한다.

∴ M_{L+I} = 30.940 kN·m

③ 원심하중 : 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

▸ E = 2.4L/(L+0.6) = 2.4 × 2.375 / (2.375+0.6) = 1.916 m

▸ CF = $0.79 \cdot V^2 / R$ = 0.79 × 80^2 / 607.085 = 8.328 (%)

▸ P_{CF} = (Pr/E) × 8.328 / 100 = 4.173 kN/m

▸ M_{CF} = 4.173 × 1.800 = 7.511 kN·m

③ 극한 모멘트

▸ M_U = 1.3 M_D + 2.15 M_{L+I} + 1.3 M_{CF} = 82.217 kN·m

④ 사용 모멘트

▸ M_O = 1.0 M_D + 1.0 M_{L+I} + 1.0 M_{CF} = 43.014 kN·m

⑤ 바닥판의 최소 두께

▸ H_{min} = 30L+130 = 30×2.375 + 130 = 220 mm ≤ H = 250 mm → O.K.

⑥ 단면검토

▷ 검 토 조 건

fck = 27.0 Mpa fy = 400.0 Mpa

β1 = 0.850 Øf = 0.850 Øv = 0.800

pmin = max(0.25√(fck)/fy,1.4/fy) = 0.00350

계수 모멘트 Mu 82.217 kN·m

단면의 두께 H 250.0 mm 단면의 폭 B 1,000.0 mm

유 효 깊 이 D 210.0 mm 피 복 두 께 Dc 40.0 mm

▷ 휨모멘트 검토

- 휨강도 검토

사용철근량 = H 16 @ 250 mm + H 16 @ 250 mm (dc = 40 mm)

= 1,588.8 mm^2 ∴ P = As/(B·D) = 0.00757

공칭강도시 등가응력깊이 a = (As·fy) / (0.85·fck·B) = 27.692 mm

최외단 인장철근 변형률 εt 0.016338 ≥ 0.005 ∴ O.K

...여기서 εt = 0.003·(H - a/β1 - Dc_min) / (a/β1)

0.005 ≤ εt 이므로 인장지배단면, Øf = 0.85를 적용한다.

ØMn = Øf·fy·As·(D - a/2) 105,960,955.7 N·mm

= 105.961 kN·m ≥ Mu = 82.217 kN·m ∴ O.K [S.F = 1.289]

- 필요철근량 및 철근비 검토

소요등가응력깊이 a 21.133 mm 로 가정

As = Mu /{Øf·fy·(D-a/2)} 1,212.5 mm^2

a = (As·fy) / (0.85·fck·B) 21.133 mm ∴ 가정과 비슷함 O.K

Preq = [Mu /{Øf·fy·(D-a/2)}] / (B·D 0.00577 ⇒ 4/3 Preq = 0.00770

∴ 필요철근량 req.As = Preq × (B·D 1,212.5 mm^2 ≤ 사용철근량 ∴ O.K

철근비검토 : Pmin ≤ P ∴ O.K

▷ 사용성 검토 (균열 검토)

Mo = 43.014 kN·m

n = Es/Ec = 200,000 / (0.077 $m_c^{1.5}$ ∛(fcu) 7 여기서, fcm = fck+4

p = As/(B·D) = 0.007566

k = -np + √((np)²+ 2np) = 0.277

j = 1 - k/3 = 0.908

x = k·D = 58.123 mm

fc = 2·Mo / (B·x·(D - x/3)) 7.764 MPa

fs = Mo / (As ·(D - x/3)) 142.023 MPa

fs = 142.023 MPa ≤ 0.6 fy = 240.00 MPa ∴ O.K

fst = fs (H - Dc_min - x) / (D - x) 142.023 MPa

최외단철근 소요중심간격

s = Min [375 (210 / fst) - 2.5 Cc , 300 (210/fst)] 443.59 mm

여기서, Cc = Dc_min - 주철근 직경/2 = 32.00 mm

최외단철근 평균배근간격 125.00 mm ≤ 443.59 mm ∴ O.K

8. 내하력 평가

8.1 내하력 산정식

1) 내하율 산정식

① 허용응력법

▸ $RF = \dfrac{(fa - f_D)}{f_{L+I}}$

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

② 강도설계법

▸ $RF = \dfrac{\Phi Mn - \gamma d \cdot Md}{\gamma_L \cdot M_{L+I}}$

여기서, Φ : 강도 감소계수
Mn : 공칭 모멘트
ΦMn : 설계 모멘트
γd (γ_L) : 고정하중(활하중) 계수
Md : 고정하중에 의한 모멘트
M_{L+I} : 활하중(충격포함)에 의한 모멘트

2) 내하력 산정식

① 기본 내하력

▸ $Po = RF \cdot Pr$

여기서, Pr : 설계활하중

② 공용 내하력

▸ $Pn = Ks \cdot RF \cdot Pr$

여기서, Ks : 응답보정계수

8.2 내하력 평가

1) 강거더 (허용응력법)

구 분		Girder					
		외측경간 중앙부		내측경간 중앙부		중앙경간 중앙부	
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
응력 (MPa)	허용응력 ; fa	-190.000	190.000	-190.000	190.000	-190.000	190.000
	고정하중 응력 ; f_D	-94.622	97.044	-39.224	51.899	-52.137	72.021
	크리프, 건조수축 1)	-28.932	-7.612	-19.663	-22.874	-21.844	-20.269
	활하중 응력 ; f_{L+I}	-9.580	41.514	-7.299	42.556	-6.901	44.136
응답보정계수 ; Ks		1.131	1.131	1.039	1.039	1.000	1.000
기 본 내 하 율		9.956	2.239	20.656	3.245	19.977	2.673
공 용 내 하 율		11.260	2.532	21.462	3.372	19.977	2.673
기본 내하력 ; Po		DB - 238.9	DB - 53.7	DB - 495.7	DB - 77.9	DB - 479.5	DB - 64.2
공용 내하력 ; Pn		DB - 270.3	DB - 60.8	DB - 515.1	DB - 80.9	DB - 479.5	DB - 64.2
공용 총중량 ; (kN)		4,864	1,094	9,271	1,457	8,630	1,155
설계활하중 ; Pr (총중량)		DB 24 - 432kN					

1)의 응력은 내하력 산정에 불리한 경우에 적용함

구 분		Girder			
		외측 지점부		내측 지점부	
		상 연	하 연	상 연	하 연
응력 (MPa)	허용응력 ; fa	190.000	-190.000	190.000	-190.000
	고정하중 응력 ; f_D	116.882	-115.551	102.105	-93.265
	크리프, 건조수축 1)	-6.714	-10.747	-37.986	-35.572
	활하중 응력 ; f_{L+I}	28.397	-37.671	31.052	-43.579
응답보정계수 ; Ks		1.569	1.569	1.000	1.000
기 본 내 하 율		2.811	1.691	4.054	1.403
공 용 내 하 율		4.410	2.653	4.054	1.403
기본 내하력 ; Po		DB - 67.5	DB - 40.6	DB - 97.3	DB - 33.7
공용 내하력 ; Pn		DB - 105.9	DB - 63.7	DB - 97.3	DB - 33.7
공용 총중량 ; (kN)		1,905	1,146	1,751	606
설계활하중 ; Pr (총중량)		DB 24 - 432kN			

1)의 응력은 내하력 산정에 불리한 경우에 적용함

2) **바닥판 (교축직각)**

구 분		캔틸레버부		연속부
		G1측 (방호벽)	G2측 (중분대)	
모멘트 (kN·m)	설계모멘트 ; ΦMn	180.507	145.395	105.961
	고정하중 모멘트 ; M_D	16.509	12.839	4.563
	활하중 모멘트 ; M_{L+I}	53.558	53.793	30.940
강도 감소계수 ; Φ		0.85	0.85	0.85
하 중 계 수	고정하중 계수 ; γd	1.30	1.30	1.30
	활하중 계수 ; γ_L	2.15	2.15	2.15
내 하 율 ; RF		1.381	1.113	1.504
기본 내하력 ; Po		DB - 33.1	DB - 26.7	DB - 36.1
기본 총중량 ; (kN)		597	481	650
설계하중 ; Pr (총중량)		DB 24 - 432kN		