

5. 주거더 응력검토

5.1 정모멘트 응력검토

◎ 정모멘트 < 단면 1 > 단면위치: 56,1/4지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(Φ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(Φ_2)	4
하부콘크리트, fck	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec'	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.88373

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3000
t1	12
t2	18
t3	12
tr	0.703
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	500
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

$$\Theta = 0.000^{\circ}$$

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	500	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2600	하부슬래브	0	n'(하부)	0

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

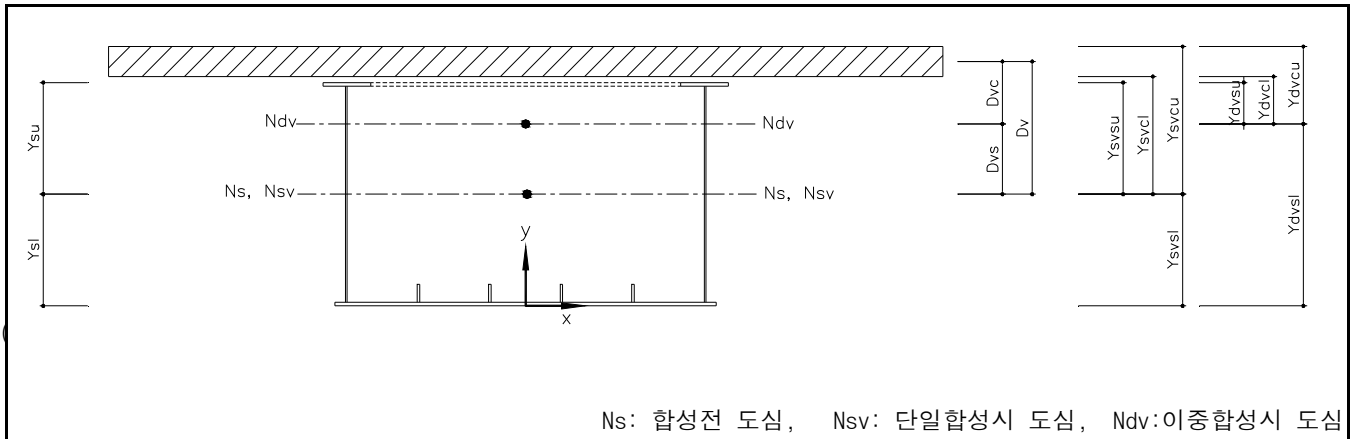
$\Theta=0.000^\circ$

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	5003.8	9088.2	4478.8	7925.8	85.7	26582.4
전단력, S (kN)	-512.7	-877.3	-428.4	-898.4	-10.0	-2726.8
비틀림, T (kN-m)	667.6	1022.0	646.8	2212.5	7.6	4556.60

※ DL1 = 강+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중, LL = 차량활하중 + 풍하중

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	500×18×2	18,000	3,021	5.438.E+07	4.860.E+05	5.257.E+10	5.257.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,512	1.089.E+08	5.400.E+10	2.879.E+09	5.688.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	87	3.132.E+05	6.750.E+06	5.403.E+09	5.409.E+09
하부플랜지	2600×12×1	31,200	6	1.872.E+05	3.744.E+05	5.322.E+10	5.322.E+10
계		124,800		1.637.E+08			1.681.E+11

- 도심 : $y_s = 163742400/124800 = 1312.0 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1312.038 - 3030 = -1718.0 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1312.0 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 5,003.8 \times 1000000 \times (-1717.962) / 168077961415 = -51.145 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 5,003.8 \times 1000000 \times 1312.038 / 168077961415 = 39.060 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2) ; 정모멘트부 단면특성 및 강성변화 없음

- 도심 : $y_{sv} = 163742400/124800 = 1312.0 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1312.038 - 3030 = -1718.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1312.0 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 9088.237 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 168077961415) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 9088.237 \times 1000000 \times (-1718) / 168077961415 = -92.895 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 9088.237 \times 1000000 \times 1312.038 / 168077961415 = 70.944 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Adv (mm ²)	y (mm)	Adv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Idv (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3172.0	6.852.E+08	1.037.E+09	1.002.E+11	1.012.E+11
단일합성시		124800.0	1312.0	1.637.E+08	1.681.E+11	1.734.E+11	3.415.E+11
계		340800.0		8.489.E+08			4.428.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.880$

- 도심 : $Y_{dv} = 848894342/340800 = 2490.9 \text{ mm}$

$A_{tc} = 6300 \times 240 = 1512000.0 \text{ mm}^2$

$A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2490.887 - 3292 = -801.1 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2490.887 - 3172 = -681.1 \text{ mm}$

$Y_{dvctl} = 2490.887 - 3052 = -561.1 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0$ 0.0 mm

$Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dvbcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2490.887 - 1312.038 = 1178.8 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2490.887 - 3030 = -539.1 \text{ mm}$ $D_{dv} = 681.113 + 1178.849 = 1860.0 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2490.9 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 4,478.8 \times 1000000 \times (-801.113) / (7 \times 442753067476) = -1.158 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcl} = M_d3 \times Y_{dvbcl} / (n' \times I_v) = 4,478.8 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 442753067476) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 4478.849 \times 1000000 \times (-539.113) / 442753067476 = -5.454 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 4478.849 \times 1000000 \times 2490.887 / 442753067476 = 25.198 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 7925.8 \times 1000000 \times (-801.113) / (7 \times 442753067476) = -2.049 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcl} = M_d3 \times Y_{dvbcl} / (n' \times I_v) = 7925.8 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 442753067476) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 7925.8 \times 1000000 \times (-539.113) / 442753067476 = -9.651 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 7925.8 \times 1000000 \times 2490.887 / 442753067476 = 44.590 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 85.7 \times 1000000 \times (-801.113) / (7 \times 442753067476) = -0.022 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcl} = M_d3 \times Y_{dvbcl} / (n' \times I_v) = 85.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 442753067476) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 85.7 \times 1000000 \times (-539.113) / 442753067476 = -0.104 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 85.7 \times 1000000 \times 2490.887 / 442753067476 = 0.482 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7257600000		
환산 상부바닥판		108,000	3,172	342576000	518400000	107374508280	107892908280
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		124,800	1,312	163742342	168077961415	92917447714	260995409129
계		232,800		506318342			368888317409

- 도심 : $y_{v1} = 506318342/232800 = 2174.9 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Y_{v1tcu} = 2174.9 - 3292 = -1117.1 \text{ mm}$ $D_{tc1} = 2174.9 - 3172 = -997 \text{ mm}$
- $Y_{v1tcl} = 2174.9 - 3052 = -877.1 \text{ mm}$ $D_{bc1} = 0 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcu} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs1} = 2174.9 - 1312.038 = 863 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{v1} = 997.1 + 862.862 = 1,860 \text{ mm}$
- $Y_{v1su} = 2174.9 - 3030 = -855.1 \text{ mm}$ $Y_{v1sl} = 2,175 \text{ mm}$
- $E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $E_{c1} = E_{c1}' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= 4478.849 \times 1000000 / (7 \times 442753067476) \times (-681.113) \times 1512000 = -1,488,256 \text{ N}$
 - $N_{bc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= 4478.849 \times 1000000 / (7 \times 442753067476) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1488256.413 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,488,256 \text{ N}$
 - $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma_{tc^2} = I_x / A_{tc} = 7257600000 / 1512000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma_{bc^2} = I_x / A_{bc} = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $M_{v1} = P_{tv1} \times (D_{tc1} + \gamma_{tc^2} / D_{dvtc}) + P_{bv1} \times (D_{bc1} + \gamma_{bc^2} / D_{dvbc})$
 $= -1488256.413 \times (-997.1 + 4800 / (-681.113)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0 / 0) / 1000000 = 1494.4 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{v1tcu} = 1/n1 \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1tcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{tc}$
 $= [1/14 \times ((-1488256.413 + 0) / 232800 + (0.88) \times 1494.429 \times 1000000 \times (-1117.1) / 368888317409)] - 0.5 \times 2 \times (-1.158)$
 $= 0.417 \text{ MPa}$
 - $f_{v1bcl} = 1/n1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1bcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{bc}$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{v1su} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1su} / I_{v1}$
 $= (-1,488,256.4 + 0) / 232800 + (0.88) \times (1494.429) \times 10^6 \times (-855.1) / 368888317409 = -9.441 \text{ MPa}$
 - $f_{v1sl} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1sl} / I_{v1}$
 $= (-1,488,256.4 + 0) / 232800 + (0.88) \times (1494.429) \times 10^6 \times 2174.9 / 368888317409 = 1.361 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		72,000	3,172	2.284.E+08	3.456.E+08	1.002.E+11	1.005.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		124,800	1,312	1.637.E+08	1.681.E+11	5.779.E+10	2.259.E+11
계		196,800		3.921.E+08			3.264.E+11

- 도심 : $y_v2 = 392126342/196800 = 1992.5 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

$n2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 0 \times (1 + 4 / 2) = 0$

$Yv2tcu = 1,992.5 - 3292 = -1299.5 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1992.512 - 3172 = -1,179 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,992.5 - 3052 = -1059.5 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1992.512 - 1312.038 = 681 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,992.5 - 3030 = -1037.5 \text{ mm}$ $Dv2 = 1179.488 + 680.5 = 1,860 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1992.5 \text{ mm}$

$Ec2 = Es / n2 = 205000/21 = 9,762 \text{ MPa}$

$Ec2' = Es / n2' = 205000/0 = - \text{MPa}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,200 \text{ N}$

· $Pbv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Abc = -9761.905 \times 0.00027 \times 0 = - \text{N}$

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -3985200.1 \times (-1179.488) + 0 \times 0 = 4,701 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-3985200.1 + 0) / 196800 + (0.88) \times 4700.5 \times 10^6 \times (-1299.5) / 326377380361)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 0.887 \text{ MPa}$

· $f_{v2bcl} = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon_s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 196800 + (0.88) \times 4700.5 \times 10^6 \times (-1037.5) / 326377380361 = -33.399 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 196800 + (0.88) \times 4700.5 \times 10^6 \times 1992.512 / 326377380361 = 5.003 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216,000	3,172	6.852.E+08	1.037.E+09	1.002.E+11	1.012.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		124,800	1,312	1.637.E+08	1.681.E+11	1.734.E+11	3.415.E+11
계		340,800		8.489.E+08			4.428.E+11

- 도심 : $y_v3 = 848894342/340800 = 2490.9 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_v3t_{cu} &= 2,490.9 - 3292 = -801.1 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2490.9 - 3172 = -681.1 \text{ mm} \\
 Y_v3t_{cl} &= 2,490.9 - 3052 = -561.1 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2490.9 - 1312.038 = 1178.9 \text{ mm} \\
 Y_v3s_u &= 2,490.9 - 3030 = -539.1 \text{ mm} & D_{v3} &= 681.1 + 1178.9 = 1860.0 \text{ mm} \\
 Y_v3s_l &= 2490.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 5313600 \times (-681.1) / 1000000 = -3619.093 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3t_{cu}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3t_{cu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/340800 + (0.88) \times (-3619.093) \times (-801.1) / 442753067532) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.286 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3b_{cl}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3b_{cl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/340800 + (0.88) \times (-3619.093) \times 0 / 442753067532) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3s_u} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_u / I_{v3} \\
 &= 5313600/340800 + (0.88) \times (-3619.093) \times 10^6 \times (-539.1) / 442753067532 = 19.469 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3s_l} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_l / I_{v3} \\
 &= 5313600/340800 + (0.88) \times (-3619.093) \times 10^6 \times 2490.9 / 442753067532 = -2.326 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7251462.8 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 512.75 \times 1000 / 72000 + 667.59 \times 10^6 / (2 \times 7251462.8 \times 12) = 10.957 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7251462.8 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 877.25 \times 1000 / 72000 + 1022.04 \times 10^6 / (2 \times 7251462.8 \times 12) = 18.057 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7295120.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1326.82 \times 1000 / 72000 + 2859.37 \times 10^6 / (2 \times 7295120.7 \times 12) = 34.760 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력 검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 상부바닥판 콘크리트의 허용응력 :

(도.설.기 표 3.9.2)

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	바닥판으로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 27 = -10.8 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 27 = 1.9 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa}$$

이므로, 1.9 MPa

2) 강재의 허용응력 :

(HSB500)

(도.설.기 표 3.9.4)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 하부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sla} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 상부플랜지의 허용응력 : (자유돌출판)

- 최소두께 검토 : ($t_{min} \geq b/16$)

$$t_{min} = (500 - 250) / 16 = 15.6 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 15.6 < t = 18.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

$$b / 10.1 = (500 - 250) / 10.1 = 24.8 \text{ mm}$$

$b/16 \leq t < b/10.1$ 이므로 허용응력은 다음과 같다.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (18/250)^2 = -124.4 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.039) = 3000 / (281 \times 1.039) = 10.275 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(155.52/144.04)} = 1.039 < 1.2$ 1.039 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.188) = 3000 / (281 \times 1.188) = 8.987 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/163.025)} = 1.188 < 1.2$ 1.188 적용

$\therefore t_{\min} = 10.275 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$

4) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : (강거더자중) + (하부콘크리트 자중) + (상부바닥판자중)
2	합성후단계 : 1 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
3	합성후단계 : 2 + (크리프) + (건조수축)
4	합성후단계 : 3 + (온도차)
5	합성후단계 : 3 - (온도차)

⑤ 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	- 144.040	- 155.520	110.004	287.500
	2	- 3.062	- 10.800	-	-	- 163.025	- 230.000	180.818	230.000
	3	- 1.925	- 10.800	-	-	- 202.089	- 264.500	186.638	230.000
	4	- 2.211	- 12.420	-	-	- 182.620	- 299.000	184.312	264.500
	5	- 1.639	- 12.420	-	-	- 221.558	- 299.000	188.964	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/f _a) _{max} = 0.926				< 1.0 ∴ 0.K.			
합성응력 검토		(f/f _a) ² + (τ/τ _a) ²							

합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
휨 이 력	1	-	-	0.926	0.383	29.014	168.8	0.17	0.89
	2	0.284	-	0.709	0.786	63.774	135.0	0.47	0.84
	3	0.178	-	0.764	0.811	63.774	155.3	0.41	0.83
	4	0.178	-	0.611	0.697	63.774	175.5	0.36	0.62
	5	0.132	-	0.741	0.714	63.774	175.5	0.36	0.68

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

① 항복응력 :

- 상부바닥판 콘크리트 :

$$f_{cy} = 3 / 5 \times 27 = 16.0 \text{ MPa}$$

- 강재 :

(HSB500)

$$f_y = 380.0 \text{ MPa}$$

② 극한하중 하중조합 :

휨응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

③ 극한하중 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수하중)	1	-5.1	-16.0	-	-	-234.7	-380.0	275.1	380.0
	2	-4.5	-16.0	-	-	-273.6	-380.0	279.8	380.0
	3	-6.0	-16.0	-	-	-199.4	-380.0	269.8	380.0
	4	-5.5	-16.0	-	-	-238.3	-380.0	274.5	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.736	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 2 > 단면위치: 57,3/4지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수(Φ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수(Φ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, $E_{c'}$	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.78767

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

Diagram illustrating the cross-section of a T-beam. The top flange has width B3 and thickness Tcu. The web has width b2 and height H. The bottom flange has width B1 and thickness t1. The effective depth is t2. The diagram shows the coordinate system Y(2) and X(3) with an angle theta. Dimensions B1, B2, B3, H, t1, t2, t3, tr, Tcu, Th are labeled.

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3000
t1	24
t2	26
t3	12
tr	0.705
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	500
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

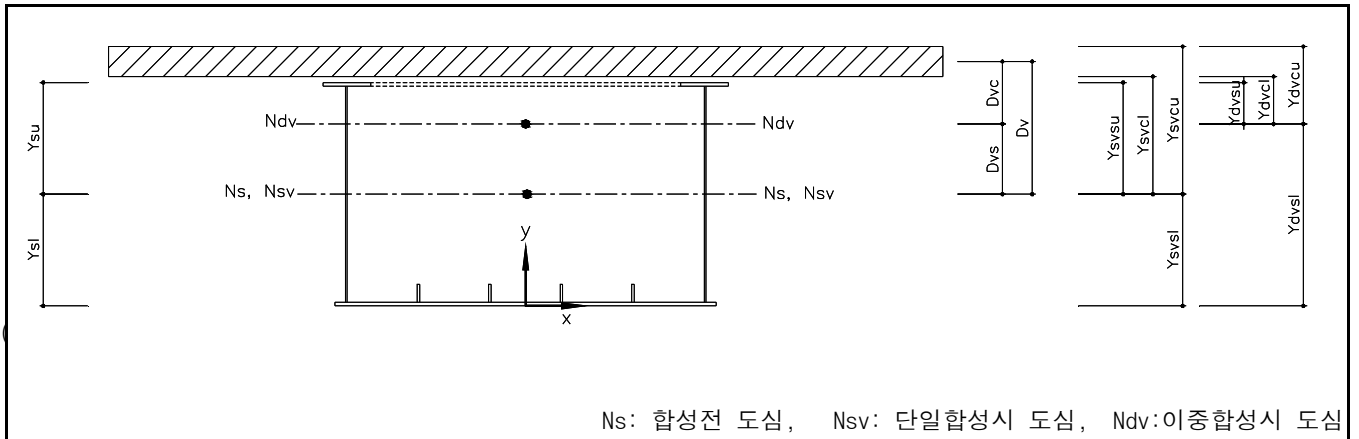
보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	500	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2600	하부슬래브	0	n'(하부)	0

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	8142.2	14253.3	6988.6	12380.1	154.9	41919.2
전단력, S (kN)	-386.6	-613.2	-294.2	-745.8	-9.9	-2049.7
비틀림, T (kN-m)	569.1	865.7	504.5	1997.3	6.0	3942.61

※ DL1 = 강+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중, LL = 차량활하중 + 풍하중

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	500×26×2	26,000	3,037	7.896.E+07	1.465.E+06	9.187.E+10	9.187.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,524	1.097.E+08	5.400.E+10	9.682.E+09	6.368.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	99	3.564.E+05	6.750.E+06	4.032.E+09	4.039.E+09
하부플랜지	2600×24×1	62,400	12	7.488.E+05	2.995.E+06	8.185.E+10	8.185.E+10
계		164,000		1.898.E+08			2.414.E+11

- 도심 : $y_s = 189795200/164000 = 1157.3 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1157.288 - 3050 = -1892.7 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1157.3 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 8,142.2 \times 1000000 \times (-1892.712) / 241440874683 = -63.829 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 8,142.2 \times 1000000 \times 1157.288 / 241440874683 = 39.028 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2) ; 정모멘트부 단면특성 및 강성변화 없음

- 도심 : $y_{sv} = 189795200/164000 = 1157.3 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1157.288 - 3050 = -1892.7 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1157.3 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 14253.34 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 241440874683) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 14253.34 \times 1000000 \times (-1892.7) / 241440874683 = -111.735 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 14253.34 \times 1000000 \times 1157.288 / 241440874683 = 68.320 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Adv (mm ²)	y (mm)	Adv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Idv (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3184.0	6.877.E+08	1.037.E+09	1.653.E+11	1.663.E+11
단일합성시		164000.0	1157.3	1.898.E+08	2.414.E+11	2.177.E+11	4.591.E+11
계		380000.0		8.775.E+08			6.254.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.790$

- 도심 : $Y_{dv} = 877539232/380000 = 2309.3 \text{ mm}$

$A_{tc} = 6300 \times 240 = 1512000.0 \text{ mm}^2$

$A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2309.314 - 3304 = -994.7 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2309.314 - 3184 = -874.7 \text{ mm}$

$Y_{dvtdl} = 2309.314 - 3064 = -754.7 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0 = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dvbdl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2309.314 - 1157.288 = 1152.0 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2309.314 - 3050 = -740.7 \text{ mm}$ $D_{dv} = 874.686 + 1152.026 = 2026.7 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2309.3 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 6,988.6 \times 1000000 \times (-994.686) / (7 \times 625388884347) = -1.588 \text{ MPa}$

· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 6,988.6 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 625388884347) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 6988.649 \times 1000000 \times (-740.686) / 625388884347 = -8.277 \text{ MPa}$

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 6988.649 \times 1000000 \times 2309.314 / 625388884347 = 25.806 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 12380.1 \times 1000000 \times (-994.686) / (7 \times 625388884347) = -2.813 \text{ MPa}$

· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 12380.1 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 625388884347) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 12380.1 \times 1000000 \times (-740.686) / 625388884347 = -14.663 \text{ MPa}$

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 12380.1 \times 1000000 \times 2309.314 / 625388884347 = 45.715 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 154.9 \times 1000000 \times (-994.686) / (7 \times 625388884347) = -0.035 \text{ MPa}$

· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 154.9 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 625388884347) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 154.9 \times 1000000 \times (-740.686) / 625388884347 = -0.183 \text{ MPa}$

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 154.9 \times 1000000 \times 2309.314 / 625388884347 = 0.572 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7257600000		
환산 상부바닥판		108,000	3,184	343872000	518400000	161274672000	161793072000
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		164,000	1,157	189795232	241440874683	106200070083	347640944766
계		272,000		533667232			509434016766

- 도심 : $y_{v1} = 533667232/272000 = 1962.0 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n_1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n_1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Y_{v1tcu} = 1962 - 3304 = -1342.0 \text{ mm}$ $D_{tc1} = 1962 - 3184 = -1,222 \text{ mm}$
- $Y_{v1tcl} = 1962 - 3064 = -1102.0 \text{ mm}$ $D_{bc1} = 0$ $- \text{ mm}$
- $Y_{v1bcu} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs1} = 1962 - 1157.288 = 805 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{v1} = 1222 + 804.712 = 2,027 \text{ mm}$
- $Y_{v1su} = 1962 - 3050 = -1088.0 \text{ mm}$ $Y_{v1sl} = 1,962 \text{ mm}$
- $E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $E_{c1} = E_{c1}' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= 6988.649 \times 1000000 / (7 \times 625388884347) \times (-874.686) \times 1512000 = -2,111,295 \text{ N}$
 - $N_{bc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= 6988.649 \times 1000000 / (7 \times 625388884347) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -2111295.381 \times 2 \times 2 / (2+2) = -2,111,295 \text{ N}$
 - $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma_{tc^2} = I_x / A_{tc} = 7257600000 / 1512000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma_{bc^2} = I_x / A_{bc} = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $M_{v1} = P_{tv1} \times (D_{tc1} + \gamma_{tc^2} / D_{dvtc}) + P_{bv1} \times (D_{bc1} + \gamma_{bc^2} / D_{dvbc})$
 $= -2111295.381 \times (-1222 + 4800 / (-874.686)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0 / 0) / 1000000 = 2591.6 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{v1tcu} = 1/n_1 \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1tcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{tc}$
 $= [1/14 \times ((-2111295.381 + 0) / 272000 + (0.79) \times 2591.589 \times 1000000 \times (-1342) / 509434016766)] - 0.5 \times 2 \times (-1.588)$
 $= 0.648 \text{ MPa}$
 - $f_{v1bcl} = 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1bcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{bc}$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{v1su} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1su} / I_{v1}$
 $= (-2,111,295.4 + 0) / 272000 + (0.79) \times (2591.589) \times 10^6 \times (-1088) / 509434016766 = -12.135 \text{ MPa}$
 - $f_{v1sl} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1sl} / I_{v1}$
 $= (-2,111,295.4 + 0) / 272000 + (0.79) \times (2591.589) \times 10^6 \times 1962 / 509434016766 = 0.123 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		72,000	3,184	2.292.E+08	3.456.E+08	1.428.E+11	1.432.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		164,000	1,157	1.898.E+08	2.414.E+11	6.270.E+10	3.041.E+11
계		236,000		4.190.E+08			4.473.E+11

- 도심 : $yv2 = 419043232/236000 = 1775.6 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

$n2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 0 \times (1 + 4 / 2) = 0$

$Yv2tcu = 1,775.6 - 3304 = -1528.4 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1775.607 - 3184 = -1,408 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,775.6 - 3064 = -1288.4 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1775.607 - 1157.288 = 618 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,775.6 - 3050 = -1274.4 \text{ mm}$ $Dv2 = 1408.393 + 618.3 = 2,027 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1775.6 \text{ mm}$

$Ec2 = Es / n2 = 205000/21 = 9,762 \text{ MPa}$

$Ec2' = Es / n2' = 205000/0 = - \text{MPa}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,200 \text{ N}$

· $Pbv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Abc = -9761.905 \times 0.00027 \times 0 = - \text{N}$

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -3985200.1 \times (-1408.393) + 0 \times 0 = 5,613 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-3985200.1 + 0) / 236000 + (0.79) \times 5612.7 \times 10^6 \times (-1528.4) / 447303790604)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.110 \text{ MPa}$

· $f_{v2bcl} = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon_s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 236000 + (0.79) \times 5612.7 \times 10^6 \times (-1274.4) / 447303790604 = -29.519 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 236000 + (0.79) \times 5612.7 \times 10^6 \times 1775.607 / 447303790604 = 0.715 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216,000	3,184	6.877.E+08	1.037.E+09	1.653.E+11	1.663.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		164,000	1,157	1.898.E+08	2.414.E+11	2.176.E+11	4.591.E+11
계		380,000		8.775.E+08			6.254.E+11

- 도심 : $y_{v3} = 877539232/380000 = 2309.3 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_{v3tcu} &= 2,309.3 - 3304 = -994.7 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2309.3 - 3184 = -874.7 \text{ mm} \\
 Y_{v3tcl} &= 2,309.3 - 3064 = -754.7 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2309.3 - 1157.288 = 1152.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3su} &= 2,309.3 - 3050 = -740.7 \text{ mm} & D_{v3} &= 874.7 + 1152 = 2026.7 \text{ mm} \\
 Y_{v3sl} &= 2309.3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 5313600 \times (-874.7) / 1000000 = -4647.806 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3tcu} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3tcu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/380000 + (0.79) \times (-4647806000) \times (-994.7) / 625388884419) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.505 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3bcl} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3bcl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/380000 + (0.79) \times (-4647806000) \times 0 / 625388884419) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3su} / I_{v3} \\
 &= 5313600/380000 + (0.79) \times (-4647.806) \times 10^6 \times (-740.7) / 625388884419 = 18.332 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3sl} / I_{v3} \\
 &= 5313600/380000 + (0.79) \times (-4647.806) \times 10^6 \times 2309.3 / 625388884419 = 0.425 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7265953.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 386.58 \times 1000 / 72000 + 569.13 \times 10^6 / (2 \times 7265953.7 \times 12) = 8.633 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7265953.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 613.17 \times 1000 / 72000 + 865.66 \times 10^6 / (2 \times 7265953.7 \times 12) = 13.480 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7309611.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1040.02 \times 1000 / 72000 + 2501.79 \times 10^6 / (2 \times 7309611.7 \times 12) = 28.706 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력 검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 상부바닥판 콘크리트의 허용응력 :

(도.설.기 표 3.9.2)

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	바닥판으로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 27 = -10.8 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 27 = 1.9 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa}$$

이므로, 1.9 MPa

2) 강재의 허용응력 :

(HSB500)

(도.설.기 표 3.9.4)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 하부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sla} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 상부플랜지의 허용응력 : (자유돌출판)

- 최소두께 검토 : ($t_{min} \geq b/16$)

$$t_{min} = (500 - 250) / 16 = 15.6 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 15.6 < t = 26.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

$$b / 10.1 = (500 - 250) / 10.1 = 24.8 \text{ mm}$$

$b/10.1 \leq t$ 이므로 허용응력은 다음과 같다.

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3000 / (281 \times 1.2) = 8.897 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(287.5/175.564)} = 1.280 > 1.2 \quad 1.200 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.063) = 3000 / (281 \times 1.063) = 10.043 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/203.541)} = 1.063 < 1.2 \quad 1.063 \text{ 적용}$

$$\therefore t_{\min} = 10.043 < t = 12.0 \text{ mm} \quad \therefore 0.K.$$

4) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : (강거더자중) + (하부콘크리트 자중) + (상부바닥판자중)
2	합성후단계 : 1 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
3	합성후단계 : 2 + (크리프) + (건조수축)
4	합성후단계 : 3 + (온도차)
5	합성후단계 : 3 - (온도차)

⑤ 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	- 175.564	- 287.500	107.348	287.500
	2	- 4.177	- 10.800	-	-	- 203.541	- 230.000	179.490	230.000
	3	- 2.678	- 10.800	-	-	- 240.341	- 264.500	180.279	230.000
	4	- 3.183	- 12.420	-	-	- 222.009	- 299.000	180.704	264.500
	5	- 2.173	- 12.420	-	-	- 258.673	- 299.000	179.854	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)max = 0.909				< 1.0 ∴ 0.K.			
합성응력 검토		(f/fa) ² + (τ/τa) ²							

합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
휨 이 력	1	-	-	0.611	0.373	22.113	168.8	0.13	0.39
	2	0.387	-	0.885	0.780	50.819	135.0	0.38	0.92
	3	0.248	-	0.909	0.784	50.819	155.3	0.33	0.93
	4	0.256	-	0.743	0.683	50.819	175.5	0.29	0.64
	5	0.175	-	0.865	0.680	50.819	175.5	0.29	0.83

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

① 항복응력 :

- 상부바닥판 콘크리트 :

$$f_{cy} = 3 / 5 \times 27 = 16.0 \text{ MPa}$$

- 강재 :

(HSB500)

$$f_y = 380.0 \text{ MPa}$$

② 극한하중 하중조합 :

휨응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 + 1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 + 1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

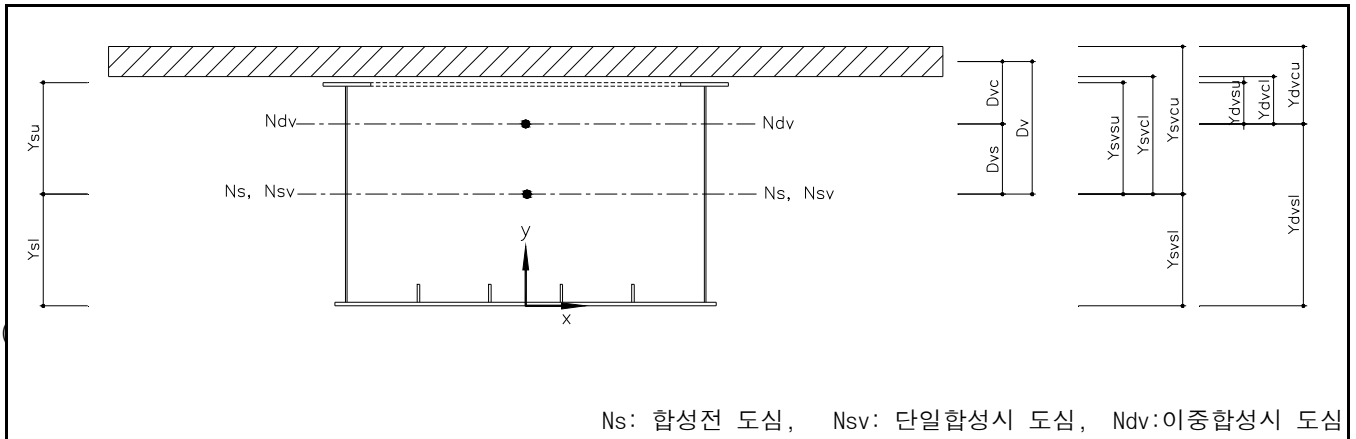
③ 극한하중 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수하중)	1	-7.1	-16.0	-	-	-289.0	-380.0	272.6	380.0
	2	-6.1	-16.0	-	-	-325.7	-380.0	271.8	380.0
	3	-8.4	-16.0	-	-	-257.0	-380.0	271.9	380.0
	4	-7.3	-16.0	-	-	-293.7	-380.0	271.0	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.857	<	1.0	∴ 0.K.	

※ DL1 = 강+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중, LL = 차량활하중 + 풍하중

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	600×30×2	36,000	3,039	1.094.E+08	2.700.E+06	1.132.E+11	1.132.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,524	1.097.E+08	5.400.E+10	4.803.E+09	5.880.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	99	3.564.E+05	6.750.E+06	4.901.E+09	4.907.E+09
하부플랜지	2600×24×1	62,400	12	7.488.E+05	2.995.E+06	9.808.E+10	9.809.E+10
계		174,000		2.202.E+08			2.750.E+11

- 도심 : $y_s = 220237200/174000 = 1265.7 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1265.731 - 3054 = -1788.3 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1265.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 9,871.8 \times 1000000 \times (-1788.269) / 274999883413 = -64.194 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 9,871.8 \times 1000000 \times 1265.731 / 274999883413 = 45.437 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2) ; 정모멘트부 단면특성 및 강성변화 없음

- 도심 : $y_{sv} = 220237200/174000 = 1265.7 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1265.731 - 3054 = -1788.3 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1265.7 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 16863.25 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 274999883413) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 16863.25 \times 1000000 \times (-1788.3) / 274999883413 = -109.660 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 16863.25 \times 1000000 \times 1265.731 / 274999883413 = 77.616 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Adv (mm ²)	y (mm)	Adv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Idv (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3184.0	6.877.E+08	1.037.E+09	1.582.E+11	1.592.E+11
단일합성시		174000.0	1265.7	2.202.E+08	2.750.E+11	1.964.E+11	4.714.E+11
계		390000.0		9.080.E+08			6.307.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.720$

- 도심 : $Y_{dv} = 907981194/390000 = 2328.2 \text{ mm}$
 $A_{tc} = 6300 \times 240 = 1512000.0 \text{ mm}^2$
 $A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$
 $n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2328.157 - 3304 = -975.8 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2328.157 - 3184 = -855.8 \text{ mm}$
 $Y_{dvtdl} = 2328.157 - 3064 = -735.8 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0$ 0.0 mm
 $Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{dvbdl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2328.157 - 1265.731 = 1062.4 \text{ mm}$
 $Y_{dvsl} = 2328.157 - 3054 = -725.8 \text{ mm}$ $D_{dv} = 855.843 + 1062.426 = 1918.3 \text{ mm}$
 $Y_{dvsl} = 2328.2 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 8,229.2 \times 1000000 \times (-975.843) / (7 \times 630651934346) = -1.819 \text{ MPa}$
· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 8,229.2 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 630651934346) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 8229.177 \times 1000000 \times (-725.843) / 630651934346 = -9.471 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 8229.177 \times 1000000 \times 2328.157 / 630651934346 = 30.379 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 14837.7 \times 1000000 \times (-975.843) / (7 \times 630651934346) = -3.280 \text{ MPa}$
· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 14837.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 630651934346) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 14837.7 \times 1000000 \times (-725.843) / 630651934346 = -17.077 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 14837.7 \times 1000000 \times 2328.157 / 630651934346 = 54.776 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 206.2 \times 1000000 \times (-975.843) / (7 \times 630651934346) = -0.046 \text{ MPa}$
· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 206.2 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 630651934346) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 206.2 \times 1000000 \times (-725.843) / 630651934346 = -0.237 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 206.2 \times 1000000 \times 2328.157 / 630651934346 = 0.761 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7257600000		
환산 상부바닥판		108,000	3,184	343872000	518400000	151298167680	151816567680
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		174,000	1,266	220237194	274999883413	93914505884	368914389297
계		282,000		564109194			520730956977

- 도심 : $yv1 = 564109194/282000 = 2000.4 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Yv1tcu = 2000.4 - 3304 = -1303.6 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2000.4 - 3184 = -1,184 \text{ mm}$
- $Yv1tcl = 2000.4 - 3064 = -1063.6 \text{ mm}$ $Dtc1 = 0$ $- \text{ mm}$
- $Yv1bcu = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs1 = 2000.4 - 1265.731 = 735 \text{ mm}$
- $Yv1bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dv1 = 1183.6 + 734.669 = 1,918 \text{ mm}$
- $Yv1su = 2000.4 - 3054 = -1053.6 \text{ mm}$ $Yv1sl = 2,000 \text{ mm}$
- $Ec1 = Ec / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $Ec1 = Ec' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= 8229.177 \times 1000000 / (7 \times 630651934346) \times (-855.843) \times 1512000 = -2,412,207 \text{ N}$
 - $Nbc = Md3 / (n \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= 8229.177 \times 1000000 / (7 \times 630651934346) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -2412206.734 \times 2 \times 2 / (2+2) = -2,412,207 \text{ N}$
 - $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma tc^2 = Ix / Atc = 7257600000 / 1512000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma bc^2 = Ix / Abc = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $Mv1 = Ptv1 \times (Dtc1 + \gamma tc^2 / Ddvtc) + Pbv1 \times (Dtc1 + \gamma bc^2 / Ddvbc)$
 $= -2412206.734 \times (-1183.6 + 4800 / (-855.843)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0) / 1000000 = 2868.6 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $fv1tcu = 1/n1 \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1tcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times ftc$
 $= [1/14 \times ((-2412206.734 + 0) / 282000 + (0.72) \times 2868.617 \times 1000000 \times (-1303.6) / 520730956977)] - 0.5 \times 2 \times (-1.819)$
 $= 0.839 \text{ MPa}$
 - $fv1bcl = 1/n1' \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1bcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times fbc$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $fv1su = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1su / Iv1$
 $= (-2,412,206.7 + 0) / 282000 + (0.72) \times (2868.617) \times 10^6 \times (-1053.6) / 52073095697 = -12.733 \text{ MPa}$
 - $fv1sl = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1sl / Iv1$
 $= (-2,412,206.7 + 0) / 282000 + (0.72) \times (2868.617) \times 10^6 \times 2000.4 / 520730956977 = -0.620 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		72,000	3,184	2.292.E+08	3.456.E+08	1.325.E+11	1.329.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		174,000	1,266	2.202.E+08	2.750.E+11	5.485.E+10	3.298.E+11
계		246,000		4.495.E+08			4.627.E+11

- 도심 : $y_v2 = 449485194/246000 = 1827.2 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

$n2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 0 \times (1 + 4 / 2) = 0$

$Yv2tcu = 1,827.2 - 3304 = -1476.8 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1827.176 - 3184 = -1,357 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,827.2 - 3064 = -1236.8 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1827.176 - 1265.731 = 561 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,827.2 - 3054 = -1226.8 \text{ mm}$ $Dv2 = 1356.824 + 561.4 = 1,918 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1827.2 \text{ mm}$

$Ec2 = Es / n2 = 205000/21 = 9,762 \text{ MPa}$

$Ec2' = Es / n2' = 205000/0 = - \text{ MPa}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,200 \text{ N}$

· $Pbv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Abc = -9761.905 \times 0.00027 \times 0 = - \text{ N}$

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -3985200.1 \times (-1356.824) + 0 \times 0 = 5,407 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-3985200.1 + 0) / 246000 + (0.72) \times 5407.2 \times 10^6 \times (-1476.8) / 462743786751)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.273 \text{ MPa}$

· $f_{v2bcl} = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon_s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 246000 + (0.72) \times 5407.2 \times 10^6 \times (-1226.8) / 462743786751 = -26.521 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 246000 + (0.72) \times 5407.2 \times 10^6 \times 1827.176 / 462743786751 = -0.827 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216,000	3,184	6.877.E+08	1.037.E+09	1.582.E+11	1.592.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		174,000	1,266	2.202.E+08	2.750.E+11	1.964.E+11	4.714.E+11
계		390,000		9.080.E+08			6.307.E+11

- 도심 : $y_v3 = 907981194/390000 = 2328.2 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_v3t_{cu} &= 2,328.2 - 3304 = -975.8 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2328.2 - 3184 = -855.8 \text{ mm} \\
 Y_v3t_{cl} &= 2,328.2 - 3064 = -735.8 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2328.2 - 1265.731 = 1062.5 \text{ mm} \\
 Y_v3s_u &= 2,328.2 - 3054 = -725.8 \text{ mm} & D_{v3} &= 855.8 + 1062.5 = 1918.3 \text{ mm} \\
 Y_v3s_l &= 2328.2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 5313600 \times (-855.8) / 1000000 = -4547.379 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3t_{cu}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3t_{cu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/390000 + (0.72) \times (-4547.379) \times (-975.8) / 630651935070) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.666 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3b_{cl}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3b_{cl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/390000 + (0.72) \times (-4547.379) \times 0 / 630651935070) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3s_u} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_u / I_{v3} \\
 &= 5313600/390000 + (0.72) \times (-4547.379) \times 10^6 \times (-725.8) / 630651935070 = 17.393 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3s_l} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_l / I_{v3} \\
 &= 5313600/390000 + (0.72) \times (-4547.379) \times 10^6 \times 2328.2 / 630651935070 = 1.537 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7265966.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 284.73 \times 1000 / 72000 + 403.72 \times 10^6 / (2 \times 7265966 \times 12) = 6.270 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7265966.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 416.12 \times 1000 / 72000 + 602.76 \times 10^6 / (2 \times 7265966 \times 12) = 9.236 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7309623.9 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 844.6 \times 1000 / 72000 + 2028.62 \times 10^6 / (2 \times 7309623.9 \times 12) = 23.294 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력 검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 상부바닥판 콘크리트의 허용응력 :

(도.설.기 표 3.9.2)

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	바닥판으로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 27 = -10.8 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 27 = 1.9 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa}$$

이므로, 1.9 MPa

2) 강재의 허용응력 : (HSB500)

(도.설.기 표 3.9.4)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 하부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sla} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 상부플랜지의 허용응력 : (자유돌출판)

- 최소두께 검토 : ($t_{min} \geq b/16$)

$$t_{min} = (600 - 250) / 16 = 21.9 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 21.9 < t = 30.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

$$b / 10.1 = (600 - 250) / 10.1 = 34.7 \text{ mm}$$

$b/16 \leq t < b/10.1$ 이므로 허용응력은 다음과 같다.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (30/350)^2 = -176.3 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.126) = 3000 / (281 \times 1.126) = 9.481 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(220.408/173.854)} = 1.126 < 1.2$ 1.126 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.057) = 3000 / (281 \times 1.057) = 10.100 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/205.732)} = 1.057 < 1.2$ 1.057 적용

$\therefore t_{\min} = 10.100 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

4) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : (강거더자중) + (하부콘크리트 자중) + (상부바닥판자중)
2	합성후단계 : 1 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
3	합성후단계 : 2 + (크리프) + (건조수축)
4	합성후단계 : 3 + (온도차)
5	합성후단계 : 3 - (온도차)

⑤ 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	- 173.854	- 220.408	123.053	287.500
	2	- 4.809	- 10.800	-	-	- 205.732	- 230.000	208.721	230.000
	3	- 3.033	- 10.800	-	-	- 239.893	- 264.500	207.522	230.000
	4	- 3.699	- 12.420	-	-	- 222.500	- 299.000	209.059	264.500
	5	- 2.367	- 12.420	-	-	- 257.286	- 299.000	205.985	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)max = 0.907				< 1.0 ∴ 0.K.			
합성응력 검토		(f/fa) ² + (τ/τa) ²							

합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
휨응력	1	-	-	0.789	0.428	15.506	168.8	0.09	0.63
	2	0.445	-	0.894	0.907	38.800	135.0	0.29	0.91
	3	0.281	-	0.907	0.902	38.800	155.3	0.25	0.89
	4	0.298	-	0.744	0.790	38.800	175.5	0.22	0.67
	5	0.191	-	0.860	0.779	38.800	175.5	0.22	0.79

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

① 항복응력 :

- 상부바닥판 콘크리트 :

$$f_{cy} = 3 / 5 \times 27 = 16.0 \text{ MPa}$$

- 강재 :

(HSB500)

$$f_y = 380.0 \text{ MPa}$$

② 극한하중 하중조합 :

휨응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

③ 극한하중 검토결과 :

(단위 : MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수하중)	1	-8.3	-16.0	-	-	-291.8	-380.0	317.6	380.0
	2	-7.0	-16.0	-	-	-326.6	-380.0	314.5	380.0
	3	-9.7	-16.0	-	-	-262.7	-380.0	318.5	380.0
	4	-8.4	-16.0	-	-	-297.5	-380.0	315.4	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.859	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 4 > 단면위치: 61,1/4지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, $E_{c'}$	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.53863

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

The diagram illustrates the cross-section of a T-beam. Key dimensions include the top flange width (B3), web width (b2), and bottom flange width (B1). Thicknesses for the top flange (Tcu), web (t2), and bottom flange (t1) are shown. A coordinate system (Y(2), X(3)) is centered on the web, with an angle theta indicated. Reinforcement details like tr and b1 are also marked.

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3000
t1	32
t2	36
t3	12
tr	0.707
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	600
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

Θ=0.000°

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	600	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2600	하부슬래브	0	n'(하부)	0

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)

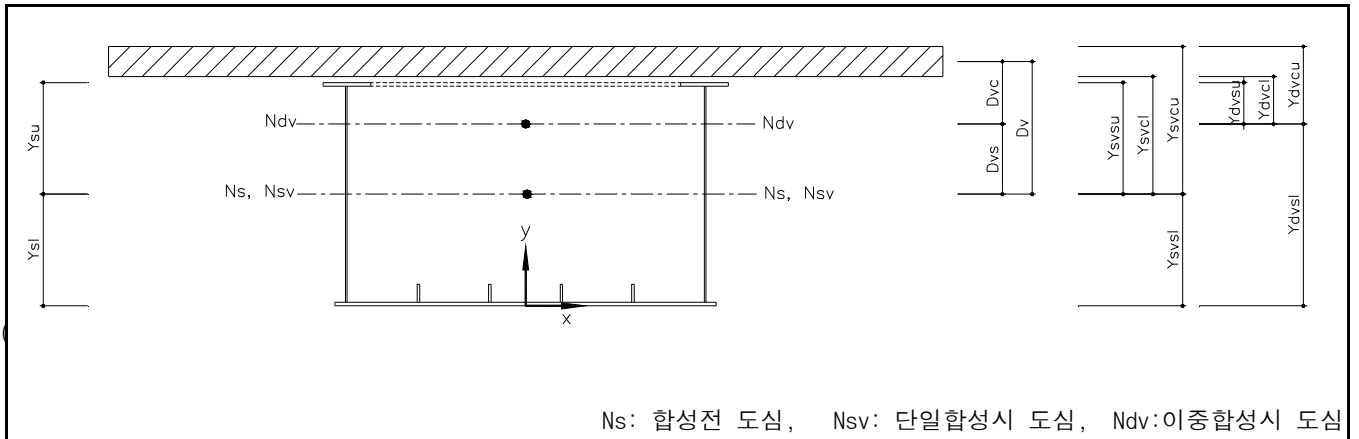
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	11444.6	18572.7	9013.4	18101.2	333.5	57465.4
전단력, S (kN)	50.5	164.3	72.5	522.9	7.4	817.6
비틀림, T (kN-m)	-14.3	-73.6	-21.4	-695.5	-8.8	-813.61

※ DL1 = 강+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중, LL = 차량활하중 + 풍하중

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	600×36×2	43,200	3,050	1.318.E+08	4.666.E+06	1.468.E+11	1.468.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,532	1.103.E+08	5.400.E+10	7.613.E+09	6.161.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	107	3.852.E+05	6.750.E+06	4.355.E+09	4.361.E+09
하부플랜지	2600×32×1	83,200	16	1.331.E+06	7.100.E+06	1.180.E+11	1.180.E+11
계		202,000		2.438.E+08			3.307.E+11

- 도심 : $y_s = 243780400/202000 = 1206.8 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1206.834 - 3068 = -1861.2 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1206.8 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 11,444.6 \times 1000000 \times (-1861.166) / 330732365744 = -64.403 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 11,444.6 \times 1000000 \times 1206.834 / 330732365744 = 41.761 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2) ; 정모멘트부 단면특성 및 강성변화 없음

- 도심 : $y_{sv} = 243780400/202000 = 1206.8 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1206.834 - 3068 = -1861.2 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1206.8 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 18572.65 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 330732365744) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 18572.65 \times 1000000 \times (-1861.2) / 330732365744 = -104.518 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 18572.65 \times 1000000 \times 1206.834 / 330732365744 = 67.771 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Adv (mm ²)	y (mm)	Adv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Idv (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3192.0	6.895.E+08	1.037.E+09	1.988.E+11	1.998.E+11
단일합성시		202000.0	1206.8	2.438.E+08	3.307.E+11	2.126.E+11	5.433.E+11
계		418000.0		9.333.E+08			7.431.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.540$

- 도심 : $Y_{dv} = 933252468/418000 = 2232.7 \text{ mm}$

$A_{tc} = 6300 \times 240 = 1512000.0 \text{ mm}^2$

$A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2232.661 - 3312 = -1079.3 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2232.661 - 3192 = -959.3 \text{ mm}$

$Y_{dvtdl} = 2232.661 - 3072 = -839.3 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0 = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dvbdl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2232.661 - 1206.834 = 1025.8 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2232.661 - 3068 = -835.3 \text{ mm}$ $D_{dv} = 959.339 + 1025.827 = 1985.2 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2232.7 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 9,013.4 \times 1000000 \times (-1079.339) / (7 \times 743129579053) = -1.870 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 9,013.4 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 743129579053) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 9013.39 \times 1000000 \times (-835.339) / 743129579053 = -10.132 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 9013.39 \times 1000000 \times 2232.661 / 743129579053 = 27.080 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 18101.2 \times 1000000 \times (-1079.339) / (7 \times 743129579053) = -3.756 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 18101.2 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 743129579053) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 18101.2 \times 1000000 \times (-835.339) / 743129579053 = -20.347 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 18101.2 \times 1000000 \times 2232.661 / 743129579053 = 54.383 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 333.5 \times 1000000 \times (-1079.339) / (7 \times 743129579053) = -0.069 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 333.5 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 743129579053) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 333.5 \times 1000000 \times (-835.339) / 743129579053 = -0.375 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 333.5 \times 1000000 \times 2232.661 / 743129579053 = 1.002 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7257600000		
환산 상부바닥판		108,000	3,192	344736000	518400000	180727303680	181245703680
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		202,000	1,207	243780468	330732365744	96609233536	427341599280
계		310,000		588516468			608587302960

- 도심 : $y_{v1} = 588516468/310000 = 1898.4 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Y_{v1tcu} = 1898.4 - 3312 = -1413.6 \text{ mm}$ $D_{tc1} = 1898.4 - 3192 = -1,294 \text{ mm}$
- $Y_{v1tcl} = 1898.4 - 3072 = -1173.6 \text{ mm}$ $D_{bc1} = 0 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcu} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs1} = 1898.4 - 1206.834 = 692 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{v1} = 1293.6 + 691.566 = 1,985 \text{ mm}$
- $Y_{v1su} = 1898.4 - 3068 = -1169.6 \text{ mm}$ $Y_{v1sl} = 1,898 \text{ mm}$
- $E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $E_{c1} = E_{c1}' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= 9013.39 \times 1000000 / (7 \times 743129579053) \times (-959.339) \times 1512000 = -2,513,330 \text{ N}$
 - $N_{bc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= 9013.39 \times 1000000 / (7 \times 743129579053) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -2513329.717 \times 2 \times 2 / (2+2) = -2,513,330 \text{ N}$
 - $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma_{tc}^2 = I_x / A_{tc} = 7257600000 / 1512000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma_{bc}^2 = I_x / A_{bc} = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $M_{v1} = P_{tv1} \times (D_{tc1} + \gamma_{tc}^2 / D_{dvtc}) + P_{bv1} \times (D_{bc1} + \gamma_{bc}^2 / D_{dvbc})$
 $= -2513329.717 \times (-1293.6 + 4800 / (-959.339)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0) / 1000000 = 3263.8 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{v1tcu} = 1/n1 \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1tcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{tc}$
 $= [1/14 \times ((-2513329.717 + 0) / 310000 + (0.54) \times 3263.819 \times 1000000 \times (-1413.6) / 608587302960)] - 0.5 \times 2 \times (-1.87)$
 $= 0.998 \text{ MPa}$
 - $f_{v1bcl} = 1/n1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1bcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{bc}$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{v1su} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1su} / I_{v1}$
 $= (-2,513,329.7 + 0) / 310000 + (0.54) \times (3263.819) \times 10^6 \times (-1169.6) / 60858730296 = -11.495 \text{ MPa}$
 - $f_{v1sl} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1sl} / I_{v1}$
 $= (-2,513,329.7 + 0) / 310000 + (0.54) \times (3263.819) \times 10^6 \times 1898.4 / 608587302960 = -2.610 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		72,000	3,192	2.298.E+08	3.456.E+08	1.542.E+11	1.546.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		202,000	1,207	2.438.E+08	3.307.E+11	5.497.E+10	3.857.E+11
계		274,000		4.736.E+08			5.403.E+11

- 도심 : $yv2 = 473604468/274000 = 1728.5 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

$n2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 0 \times (1 + 4 / 2) = 0$

$Yv2tcu = 1,728.5 - 3312 = -1583.5 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1728.483 - 3192 = -1,464 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,728.5 - 3072 = -1343.5 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1728.483 - 1206.834 = 522 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,728.5 - 3068 = -1339.5 \text{ mm}$ $Dv2 = 1463.517 + 521.6 = 1,985 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1728.5 \text{ mm}$

$Ec2 = Es / n2 = 205000/21 = 9,762 \text{ MPa}$

$Ec2' = Es / n2' = 205000/0 = - \text{ MPa}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,200 \text{ N}$

· $Pbv2 = Ec2 \times \epsilon s \times Abc = -9761.905 \times 0.00027 \times 0 = - \text{ N}$

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -3985200.1 \times (-1463.517) + 0 \times 0 = 5,832 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $fv2tcu = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon s$
 $= [1/21 \times ((-3985200.1 + 0) / 274000 + (0.54) \times 5832.4 \times 10^6 \times (-1583.5) / 540261241612)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.504 \text{ MPa}$

· $fv2bcl = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fv2su = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 274000 + (0.54) \times 5832.4 \times 10^6 \times (-1339.5) / 540261241612 = -22.353 \text{ MPa}$

· $fv2sl = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 274000 + (0.54) \times 5832.4 \times 10^6 \times 1728.483 / 540261241612 = -4.468 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216,000	3,192	6.895.E+08	1.037.E+09	1.988.E+11	1.998.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		202,000	1,207	2.438.E+08	3.307.E+11	2.126.E+11	5.433.E+11
계		418,000		9.333.E+08			7.431.E+11

- 도심 : $y_v3 = 933252468/418000 = 2232.7 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_v3t_{cu} &= 2,232.7 - 3312 = -1079.3 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2232.7 - 3192 = -959.3 \text{ mm} \\
 Y_v3t_{cl} &= 2,232.7 - 3072 = -839.3 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2232.7 - 1206.834 = 1025.9 \text{ mm} \\
 Y_v3s_u &= 2,232.7 - 3068 = -835.3 \text{ mm} & D_{v3} &= 959.3 + 1025.9 = 1985.2 \text{ mm} \\
 Y_v3s_l &= 2232.7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 5313600 \times (-959.3) / 1000000 = -5097.336 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3t_{cu}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3t_{cu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/418000 + (0.54) \times (-5097.336000) \times (-1079.3) / 743129579675) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.949 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3b_{cl}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3b_{cl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/418000 + (0.54) \times (-5097.336000) \times 0 / 743129579675) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3s_u} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_u / I_{v3} \\
 &= 5313600/418000 + (0.54) \times (-5097.336) \times 10^6 \times (-835.3) / 743129579675 = 15.806 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3s_l} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_l / I_{v3} \\
 &= 5313600/418000 + (0.54) \times (-5097.336) \times 10^6 \times 2232.7 / 743129579675 = 4.442 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7275619.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 50.47 \times 1000 / 72000 + 14.32 \times 10^6 / (2 \times 7275619.4 \times 12) = 0.783 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7275619.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 164.33 \times 1000 / 72000 + 73.55 \times 10^6 / (2 \times 7275619.4 \times 12) = 2.704 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7319277.3 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 595.42 \times 1000 / 72000 + 716.89 \times 10^6 / (2 \times 7319277.3 \times 12) = 12.351 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력 검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 상부바닥판 콘크리트의 허용응력 :

(도.설.기 표 3.9.2)

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	바닥판으로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 27 = -10.8 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 27 = 1.9 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa}$$

이므로, 1.9 MPa

2) 강재의 허용응력 :

(HSB500)

(도.설.기 표 3.9.4)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 하부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sla} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 상부플랜지의 허용응력 : (자유돌출판)

- 최소두께 검토 : ($t_{min} \geq b/16$)

$$t_{min} = (600 - 250) / 16 = 21.9 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 21.9 < t = 36.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

$$b / 10.1 = (600 - 250) / 10.1 = 34.7 \text{ mm}$$

$b/10.1 \leq t$ 이므로 허용응력은 다음과 같다.

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3000 / (281 \times 1.2) = 8.897 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(287.5/168.921)} = 1.305 > 1.2$ 1.200 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.061) = 3000 / (281 \times 1.061) = 10.062 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/204.373)} = 1.061 < 1.2$ 1.061 적용

$$\therefore t_{\min} = 10.062 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

4) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : (강거더자중) + (하부콘크리트 자중) + (상부바닥판자중)
2	합성후단계 : 1 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
3	합성후단계 : 2 + (크리프) + (건조수축)
4	합성후단계 : 3 + (온도차)
5	합성후단계 : 3 - (온도차)

⑤ 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	- 168.921	- 287.500	109.532	287.500
	2	- 5.296	- 10.800	-	-	- 204.373	- 230.000	190.953	230.000
	3	- 3.193	- 10.800	-	-	- 233.623	- 264.500	184.919	230.000
	4	- 4.142	- 12.420	-	-	- 217.817	- 299.000	189.361	264.500
	5	- 2.244	- 12.420	-	-	- 249.429	- 299.000	180.477	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/f _a) _{max} = 0.889				< 1.0 ∴ 0.K.			
합성응력 검토		(f/f _a) ² + (τ/τ _a) ²							

합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
휨 이 력	1	-	-	0.588	0.381	3.487	168.8	0.02	0.35
	2	0.490	-	0.889	0.830	15.838	135.0	0.12	0.80
	3	0.296	-	0.883	0.804	15.838	155.3	0.10	0.79
	4	0.333	-	0.728	0.716	15.838	175.5	0.09	0.54
	5	0.181	-	0.834	0.682	15.838	175.5	0.09	0.70

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

① 항복응력 :

- 상부바닥판 콘크리트 :

$$f_{cy} = 3 / 5 \times 27 = 16.0 \text{ MPa}$$

- 강재 :

(HSB500)

$$f_y = 380.0 \text{ MPa}$$

② 극한하중 하중조합 :

휨응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

③ 극한하중 검토결과 :

(단위 : MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수하중)	1	-9.4	-16.0	-	-	-290.0	-380.0	292.9	380.0
	2	-7.5	-16.0	-	-	-321.6	-380.0	284.0	380.0
	3	-11.1	-16.0	-	-	-265.3	-380.0	297.9	380.0
	4	-9.2	-16.0	-	-	-296.9	-380.0	289.0	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.846	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 5 > 단면위치: 62,3/4지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, $E_{c'}$	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.43190

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3000
t1	26
t2	30
t3	12
tr	0.706
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	600
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

Θ=0.000°

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	600	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2600	하부슬래브	0	n'(하부)	0

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)

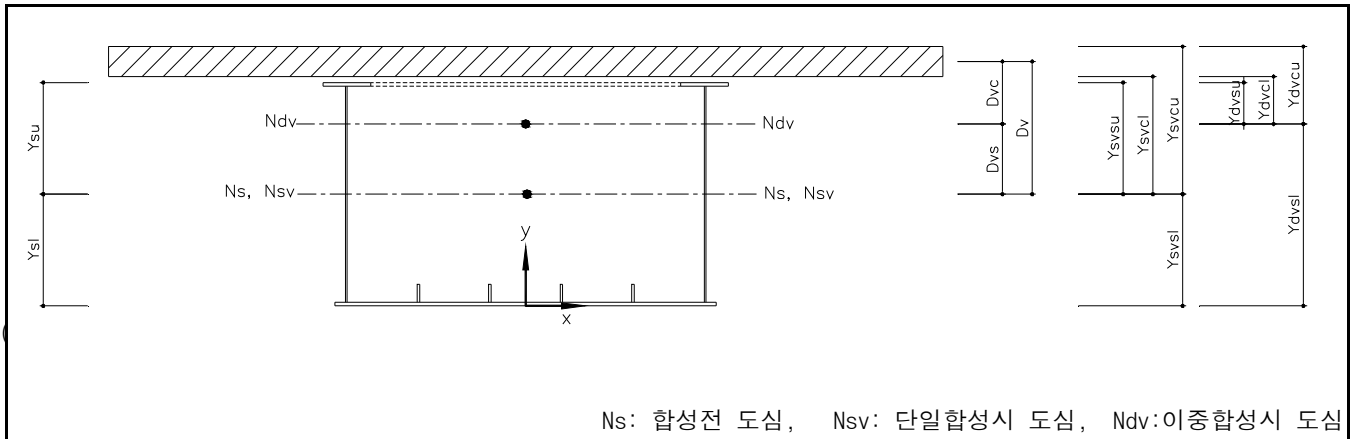
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	10337.7	16121.9	7883.4	18109.3	408.2	52860.5
전단력, S (kN)	234.1	471.2	220.0	642.9	7.3	1575.5
비틀림, T (kN-m)	-139.2	-271.4	-222.3	-850.1	-14.2	-1497.14

※ DL1 = 강+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중, LL = 차량활하중 + 풍하중

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	600×30×2	36,000	3,041	1.095.E+08	2.700.E+06	1.179.E+11	1.179.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,526	1.099.E+08	5.400.E+10	6.267.E+09	6.027.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	101	3.636.E+05	6.750.E+06	4.597.E+09	4.603.E+09
하부플랜지	2600×26×1	67,600	13	8.788.E+05	3.808.E+06	1.003.E+11	1.003.E+11
계		179,200		2.206.E+08			2.831.E+11

- 도심 : $ys = 220590400/179200 = 1231.0 \text{ mm}$
 $Ysu = 1230.973 - 3056 = -1825.0 \text{ mm}$
 $Ysl = 1231.0 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = Md1 \times Ysu / Is = 10,337.7 \times 1000000 \times (-1825.027) / 283101720404.5 = -66.642 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = Md1 \times Ysl / Is = 10,337.7 \times 1000000 \times 1230.973 / 283101720404.5 = 44.950 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2) ; 정모멘트부 단면특성 및 강성변화 없음

- 도심 : $ysv = 220590400/179200 = 1231.0 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Ysvbcl = 0.0 \text{ mm}$
 $Ysvsu = 1230.973 - 3056 = -1825.0 \text{ mm}$
 $Ysvsl = 1231.0 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = Md2 \times Ysvcl / (n' \times Isv) = 16121.94 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 283101720404.5) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = Md2 \times Ysvsu / Isv = 16121.94 \times 1000000 \times (-1825) / 283101720404.5 = -103.929 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = Md2 \times Ysvsl / Isv = 16121.94 \times 1000000 \times 1230.973 / 283101720404.5 = 70.101 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Adv (mm ²)	y (mm)	Adv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	I _{dv} (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3186.0	6.882.E+08	1.037.E+09	1.697.E+11	1.708.E+11
단일합성시		179200.0	1231.0	2.206.E+08	2.831.E+11	2.046.E+11	4.877.E+11
계		395200.0		9.088.E+08			6.585.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.430$

- 도심 : $Y_{dv} = 908766362/395200 = 2299.5 \text{ mm}$
 $A_{tc} = 6300 \times 240 = 1512000.0 \text{ mm}^2$
 $A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$
 $n' = 0$

$Y_{dv\text{tcu}} = 2299.51 - 3306 = -1006.5 \text{ mm}$ $D_{dv\text{tc}} = 2299.51 - 3186 = -886.5 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{tcl}} = 2299.51 - 3066 = -766.5 \text{ mm}$ $D_{dv\text{bc}} = 0 = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{bcu}} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{bcl}} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dv\text{s}} = 2299.51 - 1230.973 = 1068.5 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{su}} = 2299.51 - 3056 = -756.5 \text{ mm}$ $D_{dv} = 886.49 + 1068.537 = 1955.0 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{sl}} = 2299.5 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dv\text{tcu}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 7,883.4 \times 1000000 \times (-1006.49) / (7 \times 658490677356.5) = -1.721 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{bcl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 7,883.4 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 658490677356.5) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dv\text{su}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 7883.41 \times 1000000 \times (-756.49) / 658490677356.5 = -9.057 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{sl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 7883.41 \times 1000000 \times 2299.51 / 658490677356.5 = 27.530 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dv\text{tcu}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 18109.3 \times 1000000 \times (-1006.49) / (7 \times 658490677356.5) = -3.954 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{bcl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 18109.3 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 658490677356.5) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dv\text{su}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 18109.3 \times 1000000 \times (-756.49) / 658490677356.5 = -20.804 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{sl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 18109.3 \times 1000000 \times 2299.51 / 658490677356.5 = 63.239 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dv\text{tcu}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 408.2 \times 1000000 \times (-1006.49) / (7 \times 658490677356.5) = -0.089 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{bcl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 408.2 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 658490677356.5) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dv\text{su}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 408.2 \times 1000000 \times (-756.49) / 658490677356.5 = -0.469 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{sl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 408.2 \times 1000000 \times 2299.51 / 658490677356.5 = 1.425 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7257600000		
환산 상부바닥판		108,000	3,186	344088000	518400000	160694500320	161212900320
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		179,200	1,231	220590362	283101720405	96868126482	379969846887
계		287,200		564678362			541182747207

- 도심 : $y_{v1} = 564678362/287200 = 1966.2 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Y_{v1tcu} = 1966.2 - 3306 = -1339.8 \text{ mm}$ $D_{tc1} = 1966.2 - 3186 = -1,220 \text{ mm}$
- $Y_{v1tcl} = 1966.2 - 3066 = -1099.8 \text{ mm}$ $D_{bc1} = 0 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcu} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs1} = 1966.2 - 1230.973 = 735 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{v1} = 1219.8 + 735.227 = 1,955 \text{ mm}$
- $Y_{v1su} = 1966.2 - 3056 = -1089.8 \text{ mm}$ $Y_{v1sl} = 1,966 \text{ mm}$
- $E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $E_{c1} = E_{c1}' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= 7883.41 \times 1000000 / (7 \times 658490677356.5) \times (-886.49) \times 1512000 = -2,292,409 \text{ N}$
 - $N_{bc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= 7883.41 \times 1000000 / (7 \times 658490677356.5) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -2292408.844 \times 2 \times 2 / (2+2) = -2,292,409 \text{ N}$
 - $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma_{tc^2} = I_x / A_{tc} = 7257600000/1512000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma_{bc^2} = I_x / A_{bc} = 0/0 = - \text{ mm}^2$
 - $M_{v1} = P_{tv1} \times (D_{tc1} + \gamma_{tc^2} / D_{dvtc}) + P_{bv1} \times (D_{bc1} + \gamma_{bc^2} / D_{dvbc})$
 $= -2292408.844 \times (-1219.8 + 4800/(-886.49)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0/0) / 1000000 = 2808.7 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{v1tcu} = 1/n1 \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1tcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{tc}$
 $= [1/14 \times ((-2292408.844 + 0)/287200 + (0.43) \times 2808.693 \times 1000000 \times (-1339.8)/541182747207)] - 0.5 \times 2 \times (-1.721)$
 $= 0.937 \text{ MPa}$
 - $f_{v1bcl} = 1/n1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1bcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{bc}$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{v1su} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1su} / I_{v1}$
 $= (-2,292,408.8 + 0)/287200 + (0.43) \times (2808.693) \times 10^6 \times (-1089.8)/541182747207 = -10.414 \text{ MPa}$
 - $f_{v1sl} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1sl} / I_{v1}$
 $= (-2,292,408.8 + 0)/287200 + (0.43) \times (2808.693) \times 10^6 \times 1966.2/541182747206.5 = -3.594 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		72,000	3,186	2.294.E+08	3.456.E+08	1.400.E+11	1.404.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		179,200	1,231	2.206.E+08	2.831.E+11	5.627.E+10	3.394.E+11
계		251,200		4.500.E+08			4.798.E+11

- 도심 : $y_v2 = 449982362/251200 = 1791.3 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

$n2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 0 \times (1 + 4 / 2) = 0$

$Yv2tcu = 1,791.3 - 3306 = -1514.7 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1791.331 - 3186 = -1,395 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,791.3 - 3066 = -1274.7 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1791.331 - 1230.973 = 560 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,791.3 - 3056 = -1264.7 \text{ mm}$ $Dv2 = 1394.669 + 560.4 = 1,955 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1791.3 \text{ mm}$

$Ec2 = Es / n2 = 205000/21 = 9,762 \text{ MPa}$

$Ec2' = Es / n2' = 205000/0 = - \text{ MPa}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,200 \text{ N}$

· $Pbv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Abc = -9761.905 \times 0.00027 \times 0 = - \text{ N}$

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -3985200.1 \times (-1394.669) + 0 \times 0 = 5,558 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-3985200.1 + 0) / 251200 + (0.43) \times 5558 \times 10^6 \times (-1514.7) / 479763632011.5)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.521 \text{ MPa}$

· $f_{v2bcl} = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon_s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 251200 + (0.43) \times 5558 \times 10^6 \times (-1264.7) / 479763632011.5 = -22.165 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 251200 + (0.43) \times 5558 \times 10^6 \times 1791.331 / 479763632011.5 = -6.941 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216,000	3,186	6.882.E+08	1.037.E+09	1.698.E+11	1.708.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		179,200	1,231	2.206.E+08	2.831.E+11	2.046.E+11	4.877.E+11
계		395,200		9.088.E+08			6.585.E+11

- 도심 : $y_{v3} = 908766362/395200 = 2299.5 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_{v3tcu} &= 2,299.5 - 3306 = -1006.5 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2299.5 - 3186 = -886.5 \text{ mm} \\
 Y_{v3tcl} &= 2,299.5 - 3066 = -766.5 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2299.5 - 1230.973 = 1068.5 \text{ mm} \\
 Y_{v3su} &= 2,299.5 - 3056 = -756.5 \text{ mm} & D_{v3} &= 886.5 + 1068.5 = 1955.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3sl} &= 2299.5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 5313600 \times (-886.5) / 1000000 = -4710.506 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3tcu} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3tcu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600 / 395200 + (0.43) \times (-4710.506) \times (-1006.5) / 658490677395.5) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.973 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3bcl} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3bcl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600 / 395200 + (0.43) \times (-4710.506) \times 0 / 658490677395.5) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3su} / I_{v3} \\
 &= 5313600 / 395200 + (0.43) \times (-4710.506) \times 10^6 \times (-756.5) / 658490677395.5 = 15.772 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3sl} / I_{v3} \\
 &= 5313600 / 395200 + (0.43) \times (-4710.506) \times 10^6 \times 2299.5 / 658490677395.5 = 6.372 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7268378.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 234.09 \times 1000 / 72000 + 139.22 \times 10^6 / (2 \times 7268378 \times 12) = 4.049 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7268378.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 471.19 \times 1000 / 72000 + 271.38 \times 10^6 / (2 \times 7268378 \times 12) = 8.100 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7312035.9 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 862.97 \times 1000 / 72000 + 1072.39 \times 10^6 / (2 \times 7312035.9 \times 12) = 18.097 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력 검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 상부바닥판 콘크리트의 허용응력 :

(도.설.기 표 3.9.2)

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	바닥판으로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 27 = -10.8 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 27 = 1.9 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa}$$

이므로, 1.9 MPa

2) 강재의 허용응력 :

(HSB500)

(도.설.기 표 3.9.4)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 하부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sla} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 상부플랜지의 허용응력 : (자유돌출판)

- 최소두께 검토 : ($t_{min} \geq b/16$)

$$t_{min} = (600 - 250) / 16 = 21.9 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 21.9 < t = 30.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

$$b / 10.1 = (600 - 250) / 10.1 = 34.7 \text{ mm}$$

$b/16 \leq t < b/10.1$ 이므로 허용응력은 다음과 같다.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (30/350)^2 = -176.3 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.137) = 3000 / (281 \times 1.137) = 9.390 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(220.408/170.571)} = 1.137 < 1.2$ 1.137 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.059) = 3000 / (281 \times 1.059) = 10.081 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/205.067)} = 1.059 < 1.2$ 1.059 적용

$\therefore t_{\min} = 10.081 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

4) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : (강거더자중) + (하부콘크리트 자중) + (상부바닥판자중)
2	합성후단계 : 1 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
3	합성후단계 : 2 + (크리프) + (건조수축)
4	합성후단계 : 3 + (온도차)
5	합성후단계 : 3 - (온도차)

⑤ 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	- 170.571	- 220.408	115.051	287.500
	2	- 5.389	- 10.800	-	-	- 205.067	- 230.000	205.807	230.000
	3	- 3.306	- 10.800	-	-	- 233.480	- 264.500	196.710	230.000
	4	- 4.279	- 12.420	-	-	- 217.708	- 299.000	203.082	264.500
	5	- 2.333	- 12.420	-	-	- 249.252	- 299.000	190.338	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)max = 0.895				< 1.0 ∴ 0.K.			
합성응력 검토		(f/fa) ² + (τ/τa) ²							

합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
휨 이 력	1	-	-	0.774	0.400	12.149	168.8	0.07	0.60
	2	0.499	-	0.892	0.895	30.246	135.0	0.22	0.85
	3	0.306	-	0.883	0.855	30.246	155.3	0.19	0.82
	4	0.345	-	0.728	0.768	30.246	175.5	0.17	0.62
	5	0.188	-	0.834	0.720	30.246	175.5	0.17	0.72

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

① 항복응력 :

- 상부바닥판 콘크리트 :

$$f_{cy} = 3 / 5 \times 27 = 16.0 \text{ MPa}$$

- 강재 :

(HSB500)

$$f_y = 380.0 \text{ MPa}$$

② 극한하중 하중조합 :

휨응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

③ 극한하중 검토결과 :

(단위 : MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수하중)	1	-9.6	-16.0	-	-	-290.9	-380.0	318.6	380.0
	2	-7.7	-16.0	-	-	-322.4	-380.0	305.8	380.0
	3	-11.3	-16.0	-	-	-266.6	-380.0	326.3	380.0
	4	-9.4	-16.0	-	-	-298.2	-380.0	313.5	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.859	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 6 > 단면위치: 64,1/4지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, $E_{c'}$	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.32516

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

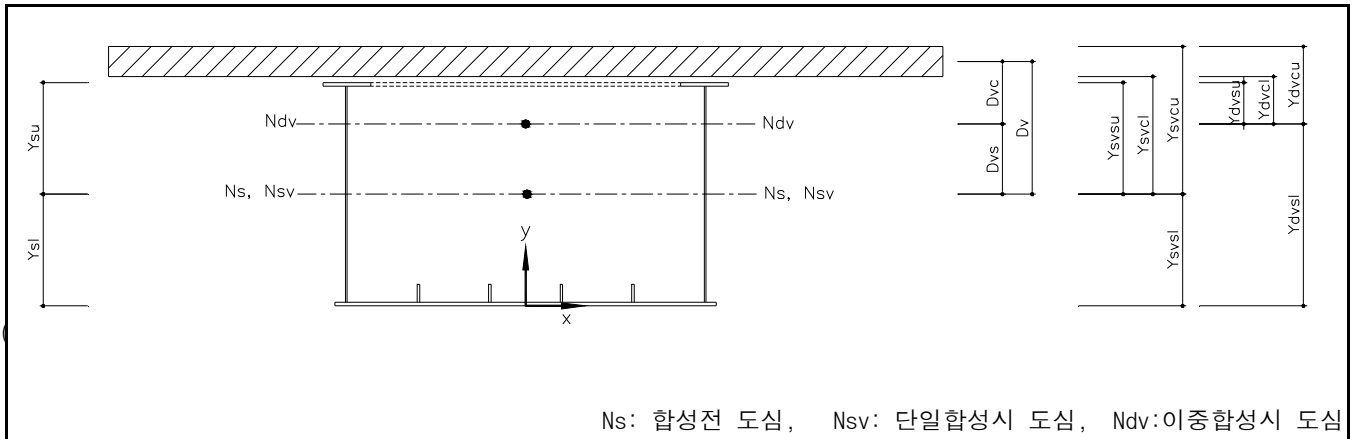
		단면제원(mm)	
		B1	2400
		B2	2400
		B3	6300
		H	3000
		t1	18
		t2	20
		t3	14
		tr	0.704
		Tcu	240
※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조) ※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$		Th	40
		Tcl	0
		b1	100
		b2	500
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40
보강리브 제원(mm)			
상부리브	0	0	0
하부리브	150	12	2
유효폭 제원 (mm)			
상부플랜지	500	상부바닥판	6300
하부플랜지	2600	하부슬래브	0
n(상부)	7	n'(하부)	0

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	7782.9	11073.3	5557.2	16680.4	480.1	41573.9
전단력, S (kN)	430.3	838.4	381.4	761.4	6.9	2418.4
비틀림, T (kN-m)	-347.1	-580.1	-400.0	-1403.8	-26.2	-2757.15

※ DL1 = 강+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중, LL = 차량활하중 + 풍하중

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	500×20×2	20,000	3,028	6.056.E+07	6.667.E+05	6.516.E+10	6.516.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×14×2	84,000	1,518	1.275.E+08	6.300.E+10	7.311.E+09	7.031.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	93	3.348.E+05	6.750.E+06	4.597.E+09	4.603.E+09
하부플랜지	2600×18×1	46,800	9	4.212.E+05	1.264.E+06	6.897.E+10	6.897.E+10
계		154,400		1.888.E+08			2.090.E+11

- 도심 : $y_s = 188828000/154400 = 1223.0 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1222.979 - 3038 = -1815.0 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1223.0 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 7,782.9 \times 1000000 \times (-1815.021) / 209049773001 = -67.573 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 7,782.9 \times 1000000 \times 1222.979 / 209049773001 = 45.532 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2) ; 정모멘트부 단면특성 및 강성변화 없음

- 도심 : $y_{sv} = 188828000/154400 = 1223.0 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1222.979 - 3038 = -1815.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1223.0 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 11073.33 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 209049773001) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 11073.33 \times 1000000 \times (-1815) / 209049773001 = -96.140 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 11073.33 \times 1000000 \times 1222.979 / 209049773001 = 64.781 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Adv (mm ²)	y (mm)	Adv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Idv (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3178.0	6.864.E+08	1.037.E+09	1.435.E+11	1.445.E+11
단일합성시		154400.0	1223.0	1.888.E+08	2.090.E+11	2.007.E+11	4.097.E+11
계		370400.0		8.753.E+08			5.542.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.330$

- 도심 : $Y_{dv} = 875275958/370400 = 2363.1 \text{ mm}$

$A_{tc} = 6300 \times 240 = 1512000.0 \text{ mm}^2$

$A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2363.056 - 329\text{E} = -934.9 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2363.056 - 3178 = -814.9 \text{ mm}$

$Y_{dvtdl} = 2363.056 - 305\text{E} = -694.9 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0$ 0.0 mm

$Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dvtdl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2363.056 - 1222.979 = 1140.1 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2363.056 - 303\text{E} = -674.9 \text{ mm}$ $D_{dv} = 814.944 + 1140.077 = 1955.0 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2363.1 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtdcu} = M_d3 \times Y_{dvtdcu} / (n \times I_v) = 5,557.2 \times 1000000 \times (-934.944) / (7 \times 554224804577) = -1.339 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvtdcl} = M_d3 \times Y_{dvtdcl} / (n' \times I_v) = 5,557.2 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 554224804577) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 5557.197 \times 1000000 \times (-674.944) / 554224804577 = -6.768 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 5557.197 \times 1000000 \times 2363.056 / 554224804577 = 23.694 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtdcu} = M_d3 \times Y_{dvtdcu} / (n \times I_v) = 16680.4 \times 1000000 \times (-934.944) / (7 \times 554224804577) = -4.020 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvtdcl} = M_d3 \times Y_{dvtdcl} / (n' \times I_v) = 16680.4 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 554224804577) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 16680.4 \times 1000000 \times (-674.944) / 554224804577 = -20.314 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 16680.4 \times 1000000 \times 2363.056 / 554224804577 = 71.120 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dvtdcu} = M_d3 \times Y_{dvtdcu} / (n \times I_v) = 480.1 \times 1000000 \times (-934.944) / (7 \times 554224804577) = -0.116 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvtdcl} = M_d3 \times Y_{dvtdcl} / (n' \times I_v) = 480.1 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 554224804577) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 480.1 \times 1000000 \times (-674.944) / 554224804577 = -0.585 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 480.1 \times 1000000 \times 2363.056 / 554224804577 = 2.047 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7257600000		
환산 상부바닥판		108,000	3,178	343224000	518400000	142929377280	143447777280
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		154,400	1,223	188827958	209049773001	99960868842	309010641843
계		262,400		532051958			452458419123

- 도심 : $yv1 = 532051958/262400 = 2027.6 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Yv1tcu = 2027.6 - 3298 = -1270.4 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2027.6 - 3178 = -1,150 \text{ mm}$
- $Yv1tcl = 2027.6 - 3058 = -1030.4 \text{ mm}$ $Dbc1 = 0 \text{ mm}$
- $Yv1bcu = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs1 = 2027.6 - 1222.979 = 805 \text{ mm}$
- $Yv1bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dv1 = 1150.4 + 804.621 = 1,955 \text{ mm}$
- $Yv1su = 2027.6 - 3038 = -1010.4 \text{ mm}$ $Yv1sl = 2,028 \text{ mm}$
- $Ec1 = Ec / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $Ec1 = Ec' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= 5557.197 \times 1000000 / (7 \times 554224804577) \times (-814.944) \times 1512000 = -1,765,027 \text{ N}$
 - $Nbc = Md3 / (n \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= 5557.197 \times 1000000 / (7 \times 554224804577) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1765026.993 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,765,027 \text{ N}$
 - $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma tc^2 = Ix / Atc = 7257600000 / 1512000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma bc^2 = Ix / Abc = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $Mv1 = Ptv1 \times (Dtc1 + \gamma tc^2 / Ddvtc) + Pbv1 \times (Dbc1 + \gamma bc^2 / Ddvbc)$
 $= -1765026.993 \times (-1150.4 + 4800 / (-814.944)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0) / 1000000 = 2040.9 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $fv1tcu = 1/n1 \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1tcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times ftc$
 $= [1/14 \times ((-1765026.993 + 0) / 262400 + (0.33) \times 2040.883 \times 1000000 \times (-1270.4) / 452458419123)] - 0.5 \times 2 \times (-1.339)$
 $= 0.723 \text{ MPa}$
 - $fv1bcl = 1/n1' \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1bcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times fbc$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $fv1su = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1su / Iv1$
 $= (-1,765,027.0 + 0) / 262400 + (0.33) \times (2040.883) \times 10^6 \times (-1010.4) / 45245841912 = -8.230 \text{ MPa}$
 - $fv1sl = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1sl / Iv1$
 $= (-1,765,027.0 + 0) / 262400 + (0.33) \times (2040.883) \times 10^6 \times 2027.6 / 452458419123 = -3.708 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		72,000	3,178	2.288.E+08	3.456.E+08	1.280.E+11	1.283.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		154,400	1,223	1.888.E+08	2.090.E+11	5.968.E+10	2.687.E+11
계		226,400		4.176.E+08			3.971.E+11

- 도심 : $yv2 = 417643958/226400 = 1844.7 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

$n2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 0 \times (1 + 4 / 2) = 0$

$Yv2tcu = 1,844.7 - 3298 = -1453.3 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1844.717 - 3178 = -1,333 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,844.7 - 3058 = -1213.3 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1844.717 - 1222.979 = 622 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,844.7 - 3038 = -1193.3 \text{ mm}$ $Dv2 = 1333.283 + 621.7 = 1,955 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1844.7 \text{ mm}$

$Ec2 = Es / n2 = 205000/21 = 9,762 \text{ MPa}$

$Ec2' = Es / n2' = 205000/0 = - \text{ MPa}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,200 \text{ N}$

· $Pbv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Abc = -9761.905 \times 0.00027 \times 0 = - \text{ N}$

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -3985200.1 \times (-1333.283) + 0 \times 0 = 5,313 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $fv2tcu = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-3985200.1 + 0) / 226400 + (0.33) \times 5313.4 \times 10^6 \times (-1453.3) / 397070286098)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.492 \text{ MPa}$

· $fv2bcl = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon_s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fv2su = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 226400 + (0.33) \times 5313.4 \times 10^6 \times (-1193.3) / 397070286098 = -22.872 \text{ MPa}$

· $fv2sl = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 226400 + (0.33) \times 5313.4 \times 10^6 \times 1844.717 / 397070286098 = -9.456 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216,000	3,178	6.864.E+08	1.037.E+09	1.434.E+11	1.445.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		154,400	1,223	1.888.E+08	2.090.E+11	2.007.E+11	4.098.E+11
계		370,400		8.753.E+08			5.542.E+11

- 도심 : $y_{v3} = 875275958/370400 = 2363.1 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_{v3tcu} &= 2,363.1 - 3298 = -934.9 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2363.1 - 3178 = -814.9 \text{ mm} \\
 Y_{v3tcl} &= 2,363.1 - 3058 = -694.9 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2363.1 - 1222.979 = 1140.1 \text{ mm} \\
 Y_{v3su} &= 2,363.1 - 3038 = -674.9 \text{ mm} & D_{v3} &= 814.9 + 1140.1 = 1955.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3sl} &= 2363.1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 5313600 \times (-814.9) / 1000000 = -4330.053 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3tcu} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3tcu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600 / 370400 + (0.33) \times (-4330.053) \times (-934.9) / 554224805294) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.943 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3bcl} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3bcl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600 / 370400 + (0.33) \times (-4330.053) \times 0 / 554224805294) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3su} / I_{v3} \\
 &= 5313600 / 370400 + (0.33) \times (-4330.053) \times 10^6 \times (-674.9) / 554224805294 = 16.086 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3sl} / I_{v3} \\
 &= 5313600 / 370400 + (0.33) \times (-4330.053) \times 10^6 \times 2363.1 / 554224805294 = 8.253 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7264723.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 430.28 \times 1000 / 84000 + 347.15 \times 10^6 / (2 \times 7264723.7 \times 14) = 6.829 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7264723.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 838.43 \times 1000 / 84000 + 580.06 \times 10^6 / (2 \times 7264723.7 \times 14) = 12.833 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7308417.8 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1142.77 \times 1000 / 84000 + 1803.75 \times 10^6 / (2 \times 7308417.8 \times 14) = 22.419 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력 검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 상부바닥판 콘크리트의 허용응력 :

(도.설.기 표 3.9.2)

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	바닥판으로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 27 = -10.8 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 27 = 1.9 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa}$$

이므로, 1.9 MPa

2) 강재의 허용응력 :

(HSB500)

(도.설.기 표 3.9.4)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 하부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sla} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 상부플랜지의 허용응력 : (자유돌출판)

- 최소두께 검토 : (t_min ≥ b/16)

$$t_{\min} = (500 - 250) / 16 = 15.6 \text{ mm}$$

$$t_{\min} = 15.6 < t = 20.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

$$b / 10.1 = (500 - 250) / 10.1 = 24.8 \text{ mm}$$

$b/16 \leq t < b/10.1$ 이므로 허용응력은 다음과 같다.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (20/250)^2 = -153.6 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.083) = 3000 / (281 \times 1.083) = 9.858 \text{ mm}$
여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(192/163.713)} = 1.083 < 1.2$ 1.083 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.087) = 3000 / (281 \times 1.087) = 9.822 \text{ mm}$
여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/194.672)} = 1.087 < 1.2$ 1.087 적용
 $\therefore t_{\min} = 9.858 < t = 14.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

4) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : (강거더자중) + (하부콘크리트 자중) + (상부바닥판자중)
2	합성후단계 : 1 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
3	합성후단계 : 2 + (크리프) + (건조수축)
4	합성후단계 : 3 + (온도차)
5	합성후단계 : 3 - (온도차)

⑤ 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	- 163.713	- 192.000	110.313	287.500
	2	- 5.186	- 10.800	-	-	- 194.672	- 230.000	205.691	230.000
	3	- 3.260	- 10.800	-	-	- 222.482	- 264.500	194.010	230.000
	4	- 4.203	- 12.420	-	-	- 206.396	- 299.000	202.263	264.500
	5	- 2.317	- 12.420	-	-	- 238.568	- 299.000	185.757	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)max = 0.894				< 1.0 ∴ 0.K.			
합성응력 검토		(f/fa) ² + (τ/τa) ²							

합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
휨 이 력	1	-	-	0.853	0.384	19.662	168.8	0.12	0.74
	2	0.480	-	0.846	0.894	42.081	135.0	0.31	0.90
	3	0.302	-	0.841	0.844	42.081	155.3	0.27	0.78
	4	0.338	-	0.690	0.765	42.081	175.5	0.24	0.64
	5	0.187	-	0.798	0.702	42.081	175.5	0.24	0.69

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

① 항복응력 :

- 상부바닥판 콘크리트 :

$$f_{cy} = 3 / 5 \times 27 = 16.0 \text{ MPa}$$

- 강재 :

(HSB500)

$$f_y = 380.0 \text{ MPa}$$

② 극한하중 하중조합 :

휨응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

③ 극한하중 검토결과 :

(단위 : MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수하중)	1	-9.4	-16.0	-	-	-277.0	-380.0	323.7	380.0
	2	-7.5	-16.0	-	-	-309.2	-380.0	307.2	380.0
	3	-11.0	-16.0	-	-	-252.5	-380.0	333.9	380.0
	4	-9.2	-16.0	-	-	-284.7	-380.0	317.4	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.879	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 17 > 단면위치: 80,2/4지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, $E_{c'}$	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.15290

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조)

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	2500
t1	12
t2	18
t3	12
tr	0.703
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	500
피복두께 (mm)	
tcl	60
tcl	40

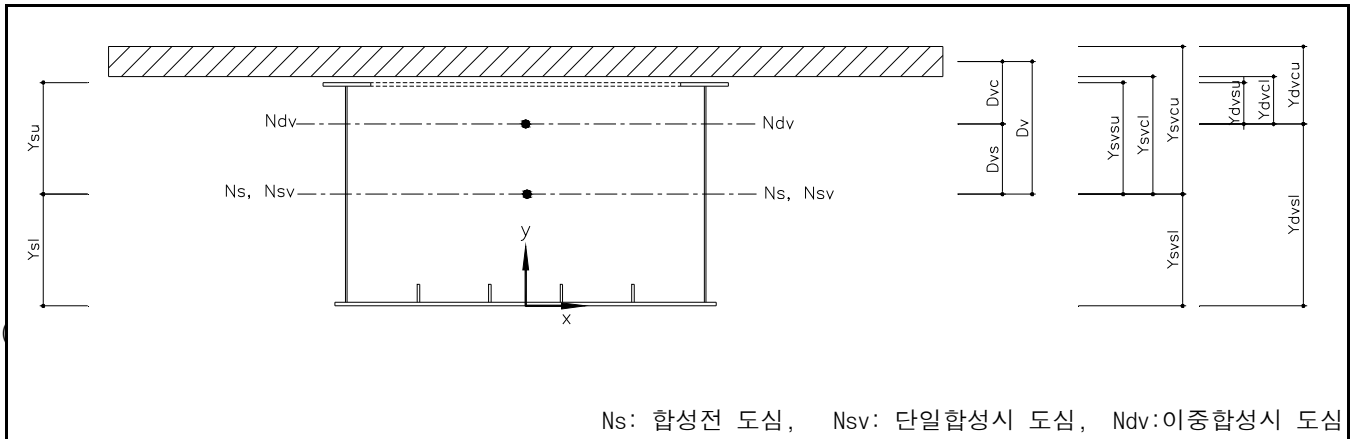
보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	500	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2600	하부슬래브	0	n'(하부)	0

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	2167.5	7056.2	3471.7	10824.7	101.9	23622.0
전단력, S (kN)	-3.1	-4.9	-2.5	-527.7	-15.0	-553.3
비틀림, T (kN-m)	5.6	6.1	9.8	682.1	4.0	707.52

※ DL1 = 강+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중, LL = 차량활하중 + 풍하중

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	500×18×2	18,000	2,521	4.538.E+07	4.860.E+05	3.748.E+10	3.748.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	2,500.0×12×2	60,000	1,262	7.572.E+07	3.125.E+10	2.031.E+09	3.328.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	87	3.132.E+05	6.750.E+06	3.535.E+09	3.542.E+09
하부플랜지	2600×12×1	31,200	6	1.872.E+05	3.744.E+05	3.585.E+10	3.585.E+10
계		112,800		1.216.E+08			1.102.E+11

- 도심 : $y_s = 121598400/112800 = 1078.0 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1078 - 2530 = -1452.0 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1078.0 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 2,167.5 \times 1000000 \times (-1452) / 110159484800 = -28.570 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 2,167.5 \times 1000000 \times 1078 / 110159484800 = 21.211 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2) ; 정모멘트부 단면특성 및 강성변화 없음

- 도심 : $y_{sv} = 121598400/112800 = 1078.0 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1078 - 2530 = -1452.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1078.0 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 7056.207 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 110159484800) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 7056.207 \times 1000000 \times (-1452) / 110159484800 = -93.007 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 7056.207 \times 1000000 \times 1078 / 110159484800 = 69.051 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Adv (mm ²)	y (mm)	Adv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	I _{dv} (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	2672.0	5.772.E+08	1.037.E+09	6.459.E+10	6.563.E+10
단일합성시		112800.0	1078.0	1.216.E+08	1.102.E+11	1.237.E+11	2.338.E+11
계		328800.0		6.988.E+08			2.995.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.150$

- 도심 : $Y_{dv} = 698750400/328800 = 2125.2 \text{ mm}$

$A_{tc} = 6300 \times 240 = 1512000.0 \text{ mm}^2$

$A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$n' = 0$

$Y_{dv\text{tcu}} = 2125.153 - 2792 = -666.8 \text{ mm}$ $D_{dv\text{tc}} = 2125.153 - 2672 = -546.8 \text{ mm}$

$Y_{dv\text{tcl}} = 2125.153 - 2552 = -426.8 \text{ mm}$ $D_{dv\text{bc}} = 0 = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dv\text{bcu}} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{dv\text{bcl}} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dv\text{s}} = 2125.153 - 1078 = 1047.2 \text{ mm}$

$Y_{dv\text{su}} = 2125.153 - 2530 = -404.8 \text{ mm}$ $D_{dv} = 546.847 + 1047.153 = 1594.0 \text{ mm}$

$Y_{dv\text{sl}} = 2125.2 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dv\text{tcu}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 3,471.7 \times 1000000 \times (-666.847) / (7 \times 299477796274) = -1.104 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dv\text{bcl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 3,471.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 299477796274) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dv\text{su}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 3471.686 \times 1000000 \times (-404.847) / 299477796274 = -4.693 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dv\text{sl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 3471.686 \times 1000000 \times 2125.153 / 299477796274 = 24.636 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dv\text{tcu}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 10824.7 \times 1000000 \times (-666.847) / (7 \times 299477796274) = -3.443 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dv\text{bcl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 10824.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 299477796274) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dv\text{su}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 10824.7 \times 1000000 \times (-404.847) / 299477796274 = -14.633 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dv\text{sl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 10824.7 \times 1000000 \times 2125.153 / 299477796274 = 76.814 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot f_{dv\text{tcu}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 101.9 \times 1000000 \times (-666.847) / (7 \times 299477796274) = -0.032 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dv\text{bcl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 101.9 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 299477796274) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dv\text{su}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 101.9 \times 1000000 \times (-404.847) / 299477796274 = -0.138 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dv\text{sl}} = M_{d3} \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 101.9 \times 1000000 \times 2125.153 / 299477796274 = 0.723 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7257600000		
환산 상부바닥판		108,000	2,672	288576000	518400000	71613124920	72131524920
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		112,800	1,078	121598400	110159484800	68574739752	178734224552
계		220,800		410174400			250865749472

- 도심 : $yv1 = 410174400/220800 = 1857.7 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Yv1tcu = 1857.7 - 2792 = -934.3 \text{ mm}$ $Dtc1 = 1857.7 - 2672 = -814 \text{ mm}$
- $Yv1tcl = 1857.7 - 2552 = -694.3 \text{ mm}$ $Dbc1 = 0$ $- \text{ mm}$
- $Yv1bcu = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs1 = 1857.7 - 1078 = 780 \text{ mm}$
- $Yv1bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dv1 = 814.3 + 779.7 = 1,594 \text{ mm}$
- $Yv1su = 1857.7 - 2530 = -672.3 \text{ mm}$ $Yv1sl = 1,858 \text{ mm}$
- $Ec1 = Ec / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $Ec1 = Ec' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= 3471.686 \times 1000000 / (7 \times 299477796274) \times (-546.847) \times 1512000 = -1,369,290 \text{ N}$
 - $Nbc = Md3 / (n \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= 3471.686 \times 1000000 / (7 \times 299477796274) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1369289.868 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,369,290 \text{ N}$
 - $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma tc^2 = Ix / Atc = 7257600000 / 1512000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma bc^2 = Ix / Abc = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $Mv1 = Ptv1 \times (Dtc1 + \gamma tc^2 / Ddvtc) + Pbv1 \times (Dbc1 + \gamma bc^2 / Ddvbc)$
 $= -1369289.868 \times (-814.3 + 4800 / (-546.847)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0 / 1000000) = 1127.0 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $fv1tcu = 1/n1 \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1tcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times ftc$
 $= [1/14 \times ((-1369289.868 + 0) / 220800 + (-0.15) \times 1127.032 \times 1000000 \times (-934.3) / 250865749472)] - 0.5 \times 2 \times (-1.104)$
 $= 0.706 \text{ MPa}$
 - $fv1bcl = 1/n1' \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1bcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times fbc$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $fv1su = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1su / Iv1$
 $= (-1,369,289.9 + 0) / 220800 + (-0.15) \times (1127.032) \times 10^6 \times (-672.3) / 25086574947 = -5.748 \text{ MPa}$
 - $fv1sl = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1sl / Iv1$
 $= (-1,369,289.9 + 0) / 220800 + (-0.15) \times (1127.032) \times 10^6 \times 1857.7 / 250865749472 = -7.453 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		72,000	2,672	1.924.E+08	3.456.E+08	6.816.E+10	6.850.E+10
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		112,800	1,078	1.216.E+08	1.102.E+11	4.351.E+10	1.537.E+11
계		184,800		3.140.E+08			2.222.E+11

- 도심 : $y_v2 = 313982400/184800 = 1699.0 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

$n2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 0 \times (1 + 4 / 2) = 0$

$Yv2tcu = 1,699.0 - 2792 = -1093.0 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1699.039 - 2672 = -973 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,699.0 - 2552 = -853.0 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1699.039 - 1078 = 621 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,699.0 - 2530 = -831.0 \text{ mm}$ $Dv2 = 972.961 + 621 = 1,594 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1699.0 \text{ mm}$

$Ec2 = Es / n2 = 205000/21 = 9,762 \text{ MPa}$

$Ec2' = Es / n2' = 205000/0 = - \text{ MPa}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$\cdot Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,200 \text{ N}$

$\cdot Pbv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Abc = -9761.905 \times 0.00027 \times 0 = - \text{ N}$

$\cdot Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -3985200.1 \times (-972.961) + 0 \times 0 = 3,877 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot fv2tcu = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-3985200.1 + 0) / 184800 + (-0.15) \times 3877.4 \times 10^6 \times (-1093) / 222169877320)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.745 \text{ MPa}$

$\cdot fv2bcl = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon_s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fv2su = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 184800 + (-0.15) \times 3877.4 \times 10^6 \times (-831) / 222169877320 = -19.389 \text{ MPa}$

$\cdot fv2sl = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-3985200.1 + 0) / 184800 + (-0.15) \times 3877.4 \times 10^6 \times 1699.039 / 222169877320 = -26.013 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216,000	2,672	5.772.E+08	1.037.E+09	6.458.E+10	6.562.E+10
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		112,800	1,078	1.216.E+08	1.102.E+11	1.237.E+11	2.339.E+11
계		328,800		6.988.E+08			2.995.E+11

- 도심 : $y_v3 = 698750400/328800 = 2125.2 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_{v3tcu} &= 2,125.2 - 2792 = -666.8 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2125.2 - 2672 = -546.8 \text{ mm} \\
 Y_{v3tcl} &= 2,125.2 - 2552 = -426.8 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3bcl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2125.2 - 1078 = 1047.2 \text{ mm} \\
 Y_{v3su} &= 2,125.2 - 2530 = -404.8 \text{ mm} & D_{v3} &= 546.8 + 1047.2 = 1594.0 \text{ mm} \\
 Y_{v3sl} &= 2125.2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 5313600 \times (-546.8) / 1000000 = -2905.476 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3tcu} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3tcu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/328800 + (-0.15) \times (-2905.476) \times (-666.8) / 299477796992) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -1.166 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3bcl} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3bcl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (5313600/328800 + (-0.15) \times (-2905.476) \times 0 / 299477796992) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3su} / I_{v3} \\
 &= 5313600/328800 + (-0.15) \times (-2905.476) \times 10^6 \times (-404.8) / 299477796992 = 15.571 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3sl} / I_{v3} \\
 &= 5313600/328800 + (-0.15) \times (-2905.476) \times 10^6 \times 2125.2 / 299477796992 = 19.253 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6045462.8 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 3.13 \times 1000 / 60000 + 5.55 \times 10^6 / (2 \times 6045462.8 \times 12) = 0.090 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6045462.8 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 4.94 \times 1000 / 60000 + 6.08 \times 10^6 / (2 \times 6045462.8 \times 12) = 0.124 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6089120.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 530.2 \times 1000 / 60000 + 691.86 \times 10^6 / (2 \times 6089120.7 \times 12) = 13.571 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력 검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 상부바닥판 콘크리트의 허용응력 :

(도.설.기 표 3.9.2)

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	바닥판으로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 27 = -10.8 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 27 = 1.9 \text{ MPa} < 2.5 \text{ MPa}$$

이므로, 1.9 MPa

2) 강재의 허용응력 :

(HSB500)

(도.설.기 표 3.9.4)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 하부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sla} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 상부플랜지의 허용응력 : (자유돌출판)

- 최소두께 검토 : ($t_{min} \geq b/16$)

$$t_{min} = (500 - 250) / 16 = 15.6 \text{ mm}$$

$$t_{min} = 15.6 < t = 18.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

$$b / 10.1 = (500 - 250) / 10.1 = 24.8 \text{ mm}$$

$b/16 \leq t < b/10.1$ 이므로 허용응력은 다음과 같다.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (18/250)^2 = -124.4 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

$$\therefore f_{sua} = -230.0 \text{ MPa}$$

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.131) = 2500 / (281 \times 1.131) = 7.866 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(155.52/121.577)} = 1.131 < 1.2$ 1.131 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 2500 / (281 \times 1.2) = 7.414 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/143.34)} = 1.267 > 1.2$ 1.200 적용

$\therefore t_{\min} = 7.866 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

4) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : (강거더자중) + (하부콘크리트 자중) + (상부바닥판자중)
2	합성후단계 : 1 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
3	합성후단계 : 2 + (크리프) + (건조수축)
4	합성후단계 : 3 + (온도차)
5	합성후단계 : 3 - (온도차)

⑤ 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	- 121.577	- 155.520	90.262	287.500
	2	- 4.297	- 10.800	-	-	- 143.340	- 230.000	189.454	230.000
	3	- 2.128	- 10.800	-	-	- 166.178	- 264.500	158.969	230.000
	4	- 3.294	- 12.420	-	-	- 150.607	- 299.000	178.222	264.500
	5	- 0.962	- 12.420	-	-	- 181.749	- 299.000	139.716	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)max = 0.824				< 1.0 ∴ 0.K.			
합성응력 검토		(f/fa) ² + (τ/τa) ²							

합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
휨 이 력	1	-	-	0.782	0.314	0.214	168.8	0.00	0.61
	2	0.398	-	0.623	0.824	13.785	135.0	0.10	0.69
	3	0.197	-	0.628	0.691	13.785	155.3	0.09	0.49
	4	0.265	-	0.504	0.674	13.785	175.5	0.08	0.46
	5	0.077	-	0.608	0.528	13.785	175.5	0.08	0.38

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

① 항복응력 :

- 상부바닥판 콘크리트 :

$$f_{cy} = 3 / 5 \times 27 = 16.0 \text{ MPa}$$

- 강재 :

(HSB500)

$$f_y = 380.0 \text{ MPa}$$

② 극한하중 하중조합 :

휨응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 + 1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 + 1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

③ 극한하중 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수하중)	1	-7.8	-16.0	-	-	-202.9	-380.0	303.3	380.0
	2	-5.5	-16.0	-	-	-234.0	-380.0	264.8	380.0
	3	-9.7	-16.0	-	-	-182.3	-380.0	330.8	380.0
	4	-7.4	-16.0	-	-	-213.5	-380.0	292.3	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.870	<	1.0	∴ 0.K.	

5.2 교변구간 응력검토

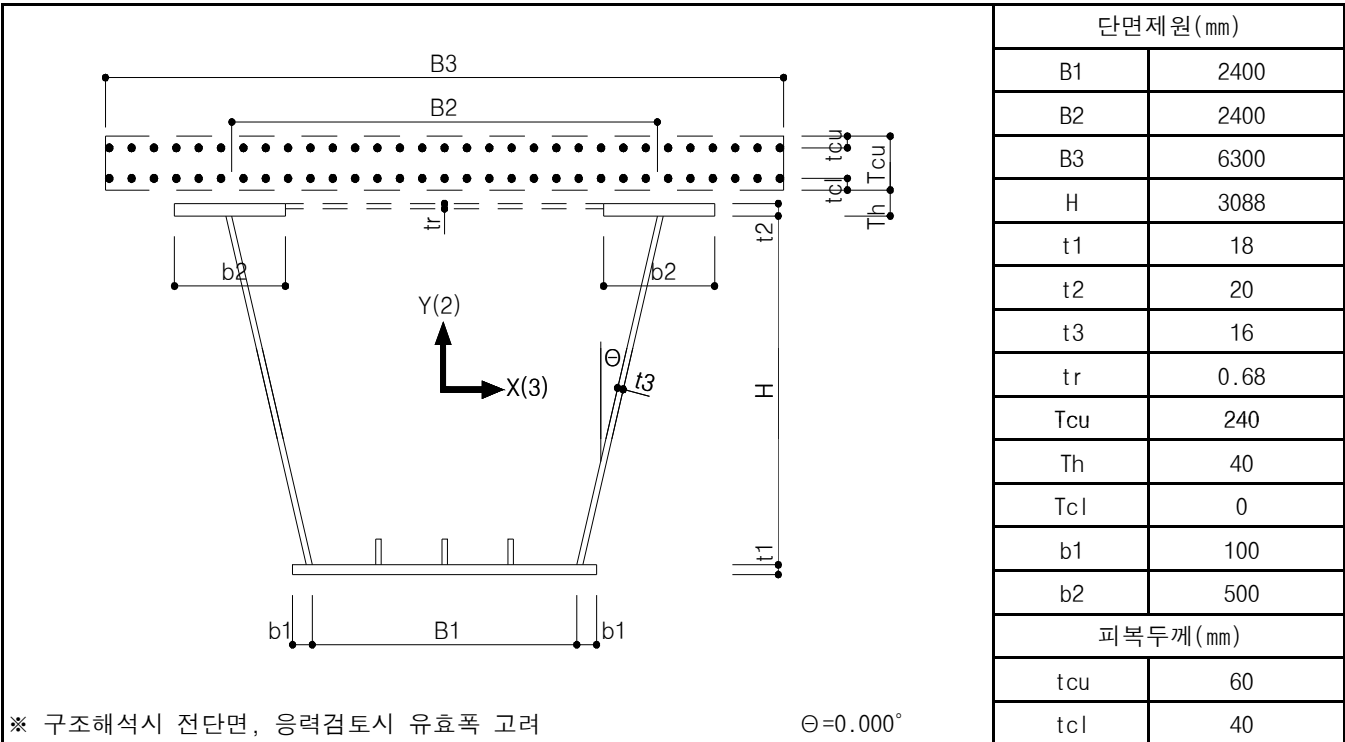
◎ 교변구간 < 단면 7 > 단면위치: 67,1/4지점(외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.11170

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원



보강리브 제원(mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	500	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	180	16	4	하부플랜지	2600	하부슬래브	0	n'(하부)	0

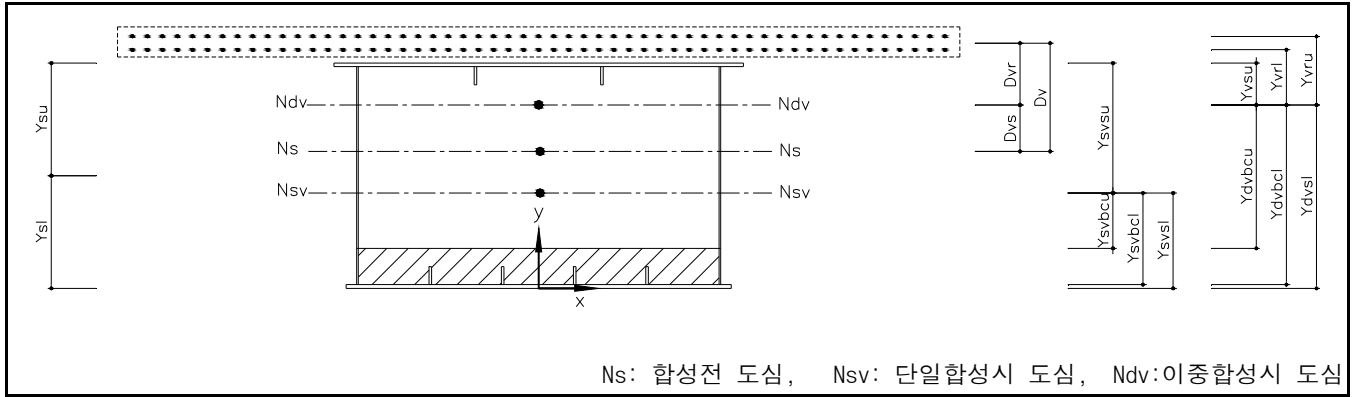
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-1300.9	-6832.0	-2673.8	-12805.8	-463.2	-24075.8
전단력, S (kN)	747.4	1492.1	687.8	1095.3	5.3	4027.8
비틀림, T (kN-m)	-436.1	-554.0	-523.3	-2169.2	-42.5	-3725.05

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	500×20×2	20,000	3,116	6.232.E+07	6.667.E+05	7.094.E+10	7.094.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,088.0×16×2	98,816	1,562	1.544.E+08	7.852.E+10	1.072.E+10	8.925.E+10
하부리브	180×16×4	11,520	108	1.244.E+06	3.110.E+07	1.457.E+10	1.460.E+10
하부플랜지	2600×18×1	46,800	9	4.212.E+05	1.264.E+06	7.007.E+10	7.007.E+10
계		177,136		2.183.E+08			2.449.E+11

- 도심 : $y_s = 218335952/177136 = 1232.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1232.6 - 3126 = -1893.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1232.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -1,300.9 \times 1000000 \times (-1893.4) / 244861037134.8 = 10.059 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -1,300.9 \times 1000000 \times 1232.6 / 244861037134.8 = -6.549 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
STEEL		177136.0	1232.6	2.18.E+08	2.45.E+11	-	2.45.E+11
계		177136.0		2.18.E+08			2.45.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 218337834/177136 = 1232.6 \text{ mm}$ $n^1 = 0$
 $Y_{svsu} = 1232.6 - 3126 = -1893.4 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1232.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -6832.048 \times 1000000 \times (-1893.4) / 244861037134.8 = 52.829 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -6832.048 \times 1000000 \times 1232.6 / 244861037134.8 = -34.392 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x100	28650.0					
환산바닥판 철근		28650.0	3256.0	9.328.E+07		8.691.E+10	8.691.E+10
단일합성시		177136.0	1232.6	2.183.E+08	2.449.E+11	1.406.E+10	2.589.E+11
계		205786.0		3.116.E+08			3.458.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.112$

- 도심 : $Ydv = 311622234/205786 = 1514 \text{ mm}$
 $Atc = 6300 \times 240 = 1512000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $ns = 205000/200000 = 1$
 $n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1514.3 - 3326 = -1811.7 \text{ mm} \quad Ddvr = 1514.3 - 3256 = -1741.7 \text{ mm}$
 $YdvrcI = 1514.3 - 3186 = -1671.7 \text{ mm} \quad Ddvs = 1514.3 - 1232.6 = 281.7 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1514.3 - 3126 = -1611.7 \text{ mm} \quad Ddv = 1741.7 + (281.7) = 2023.4 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1514.3 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -2,673.8 \times 1000000 \times (-1811.7) / (1 \times 345827961128.8) = 14.007 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -2673.773 \times 1000000 \times (-1611.7) / 345827961128.8 = 12.461 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -2673.773 \times 1000000 \times 1514.3 / 345827961128.8 = -11.708 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -12805.8 \times 1000000 \times (-1811.7) / (1 \times 345827961128.8) = 67.086 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12805.8 \times 1000000 \times (-1611.7) / 345827961128.8 = 59.680 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12805.8 \times 1000000 \times 1514.3 / 345827961128.8 = -56.074 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -463.2 \times 1000000 \times (-1811.7) / (1 \times 345827961128.8) = 2.427 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -463.2 \times 1000000 \times (-1611.7) / 345827961128.8 = 2.159 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -463.2 \times 1000000 \times 1514.3 / 345827961128.8 = -2.028 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3266.0	7.055.E+08	1.037.E+09	1.813.E+11	1.824.E+11
합성전		177136.0	1232.6	2.183.E+08	2.449.E+11	2.211.E+11	4.660.E+11
계		393136.0		9.238.E+08			6.483.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 923793834/393136 = 2349.8 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		108000.0	3266.0	3.527.E+08	5.184.E+08	1.723.E+11	1.729.E+11
합성전		177136.0	1232.6	2.183.E+08	2.449.E+11	1.051.E+11	3.499.E+11
계		285136.0		5.711.E+08			5.228.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

- 도심 : $ydv1 = 571065833.6/285136 = 2002.8 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 2349.8 - 3386 = -1036.2 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2349.8 - 3266 = -916.2 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 2349.8 - 3146 = -796.2 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 2002.8 - 3266 = -1263.2 \text{ mm}$

$Yv1su = 2349.8 - 3126 = -776.2 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 285136.0 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 2349.8 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1263.216 \text{ mm}$

$Dvs1 = 2349.8 - 1232.6 = 1117.2 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 770.184 \text{ mm}$

$Dv1 = 916.2 + 1117.2 = 2033.4 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -2673.773 \times 1000000 / (7 \times 648302874328.8) \times (-916.2) \times 1512000 = 816,189 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 816188.8 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 816,189 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 816188.8 \times (-1263.2) / 1000000 = -1031.0 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 816188.8 / 205786 + (0.112) \times (-1031) \times 1000000 \times (-1811.7) / 345827961129$
 $= 4.571 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsu / Iv1$
 $= 816188.8 / 285136 + (0.112) \times (-1031) \times 1000000 \times (-776.2) / 522790754355.724$
 $= 3.034 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvs1 / Iv1$
 $= 816188.8 / 285136 + (0.112) \times (-1031) \times 1000000 \times 2349.8 / 522790754355.724$
 $= 2.343 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산상부바닥판		72,000	3,266	2.352.E+08	3.456.E+08	1.505.E+11	1.508.E+11
합성전		177,136	1,233	2.183.E+08	2.449.E+11	6.118.E+10	3.060.E+11
계		249,136	-	4.535.E+08			4.569.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 453489833.6 / 249136 = 1820.30 \text{ mm}$

$E_{c2} = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$

$Y_{dv2su} = 1820.3 - 3126 = -1305.7 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1820.3 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,198 \text{ N}$

$D_{dv} = 1820.3 - 3266 = -1,446 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 177136 + 1512000 / 21 = \text{mm}^2$

$dc_2 = d_v \cdot A_s / (A_{c2}/n_2 + A_s) = 2033.4 \times 177136 / (1512000 / 21 + 177136) = 1,446 \text{ mm}$

$ds_2 = d_v - dc_2 = 2033.4 - 1445.7 = 588 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$

$= [-3985198.1 \times (-1445.7)] / 1000000$

$= 5761.4 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$

$= -3985198.1 / 205786 + (0.112) \times 5761.4 \times 1000000 \times (-1811.7) / 345827961129$

$= -22.746 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 249136 + (0.112) \times 5761.4 \times 1000000 \times (-1305.7) / 456871359960.24$

$= -17.840 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 249136 + (0.112) \times 5761.4 \times 1000000 \times 1820.3 / 456871359960.24$

$= -13.425 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :
 - $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N}$
 - $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 5313600 \times -916.2 / 1000000 = -4868.3 \text{ kN-m}$
- 상부철근 응력 :
 - $f_{v3ru} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvru} / I_v - E_s \cdot \epsilon_t$
 $= 5313600 / 205786 + (0.112) \times (-4868.3) \times (-1811.7) / 345827961128.8 - 205000 \times 0.00012$
 $= 4.077 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{v3su} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsu} / I_v$
 $= 5313600 / 205786 + (0.112) \times (-4868.3) \times 1000000 \times (-1611.7) / 345827961128.8 = 28.362 \text{ MPa}$
 - $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsI} / I_v$
 $= 5313600 / 205786 + (0.112) \times (-4868.3) \times 1000000 \times 1514.3 / 345827961128.8 = 23.433 \text{ MPa}$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

- 1) 합성전
 - $F = 7483350.5 \text{ mm}^2$
 - $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$
 $= 747.39 \times 1000 / 98816 + 436.07 \times 1000000 / (2 \times 7483350.5 \times 16) = 9.384 \text{ MPa}$
- 2) 단일합성시
 - $F = 7483350.5 \text{ mm}^2$
 - $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$
 $= 1492.08 \times 1000 / 98816 + 554 \times 1000000 / (2 \times 7483350.5 \times 16) = 17.413 \text{ MPa}$
- 3) 이중합성시
 - $F = 7527080.8 \text{ mm}^2$
 - $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$
 $= 1783.08 \times 1000 / 98816 + 2692.53 \times 1000000 / (2 \times 7527080.8 \times 16) = 29.223 \text{ MPa}$

(6) 허용응력검토 (도.설.기 3.4.2)

- 1) 철근의 허용응력 : (SD400)
 - 허용인장응력 : $\therefore f_{rta} = 160.0 \text{ MPa}$
 - 허용압축응력 : $\therefore f_{rca} = 180.0 \text{ MPa}$

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1. 항의 15% 증가

- 허용압축응력 :
 - $\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times - = 0.0 \text{ MPa}$
- 허용인장응력 :
 - $\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times - = 0.0 \text{ MPa}$

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 허용응력 : (보강된 판)

- 가설시 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (80 \times 1 \times 5) = 6.0 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore \text{O.K.} \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (44 \times 1 \times 5) = 10.9 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore \text{O.K.} \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 21.8 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.9 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 6.0 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -205.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3088 / (281 \times 1.2) = 9.158 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/40.941)} = 2.242 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3088 / (281 \times 1.2) = 9.158 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(205.733/110.751)} = 1.363 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 9.158 < t = 16.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.} \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

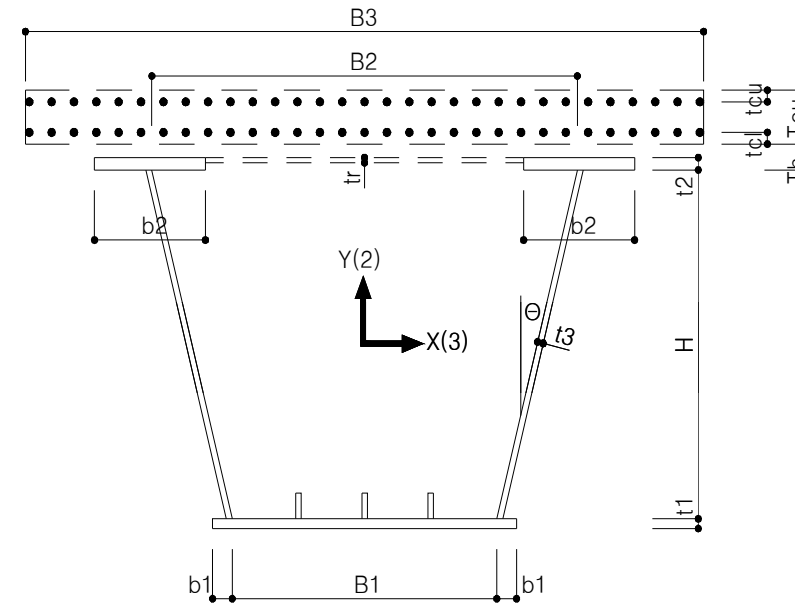
◎ 교변구간 < 단면 8 > 단면위치: 68,1/4지점(외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, E_c	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.04054

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2400
		B2	2400
		B3	6300
		H	3202
		t1	18
		t2	20
		t3	16
		tr	0.68
		Tcu	240
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 Θ=0.000°		Th	40
		Tcl	0
		b1	100
		b2	500
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40
		보강리브 제원(mm)	
		상부리브	0 0 0
		하부리브	200 20 4
		유효폭 제원 (mm)	
		상부플랜지	985 상부바닥판 6300 n(상부) 7
		하부플랜지	2583 하부슬래브 0 n'(하부) 0

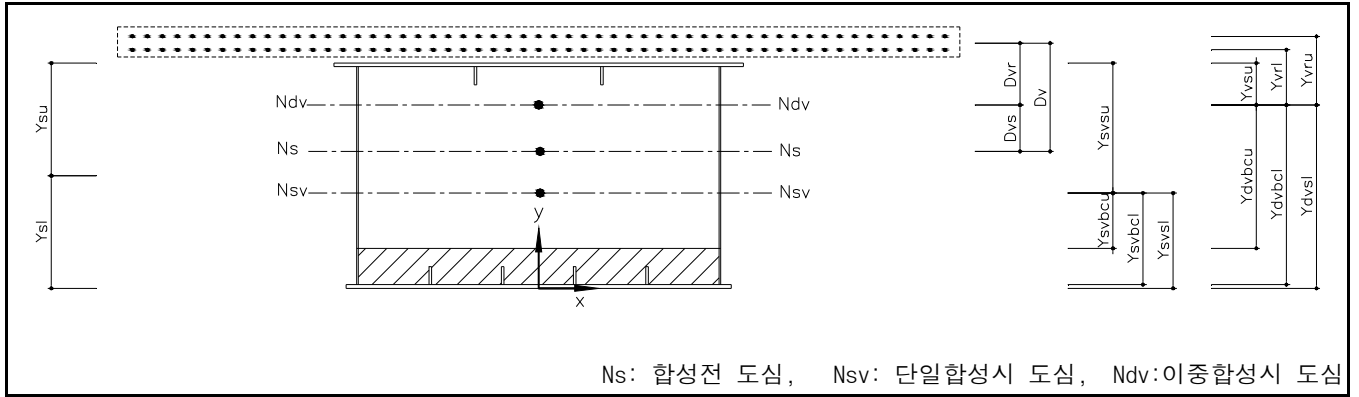
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-5360.7	-14895.9	-6447.3	-15050.7	-488.5	-42243.2
전단력, S (kN)	825.1	1624.2	778.8	1216.6	4.2	4448.8
비틀림, T (kN-m)	-585.4	-683.7	-488.4	-2465.5	-45.7	-4268.60

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	984.8×20×2	39,393	3,230	1.272.E+08	1.313.E+06	1.254.E+11	1.254.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,202.0×16×2	102,464	1,619	1.659.E+08	8.755.E+10	3.077.E+09	9.062.E+10
하부리브	200×20×4	16,000	118	1.888.E+06	5.333.E+07	2.820.E+10	2.826.E+10
하부플랜지	2582.8×18×1	46,490	9	4.184.E+05	1.255.E+06	9.596.E+10	9.596.E+10
계		204,346		2.954.E+08			3.403.E+11

- 도심 : $y_s = 295433400 / 204346.4 = 1445.7 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1445.7 - 3240 = -1794.3 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1445.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -5,360.7 \times 1000000 \times (-1794.3) / 340258132740 = 28.269 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -5,360.7 \times 1000000 \times 1445.7 / 340258132740 = -22.777 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
STEEL		204346.4	1445.7	2.95.E+08	3.40.E+11	-	3.40.E+11
계		204346.4		2.95.E+08			3.40.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 295423590 / 204346.4 = 1445.7 \text{ mm}$ $n^1 = 0$
 $Y_{svsu} = 1445.7 - 3240 = -1794.3 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1445.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -14895.86 \times 1000000 \times (-1794.3) / 340258132740 = 78.551 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -14895.86 \times 1000000 \times 1445.7 / 340258132740 = -63.290 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x100	28650.0					
환산바닥판 철근		28650.0	3370.0	9.655.E+07		8.160.E+10	8.160.E+10
단일합성시		204346.4	1445.7	2.954.E+08	3.403.E+11	1.144.E+10	3.517.E+11
계		232996.4		3.920.E+08			4.333.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.041$

- 도심 : $Ydv = 391974090/232996.4 = 1682 \text{ mm}$

$Atc = 6300 \times 240 = 1512000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1682.3 - 3440 = -1757.7 \text{ mm} \quad Ddvr = 1682.3 - 3370 = -1687.7 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1682.3 - 3300 = -1617.7 \text{ mm} \quad Ddvs = 1682.3 - 1445.7 = 236.6 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1682.3 - 3240 = -1557.7 \text{ mm} \quad Ddv = 1687.7 + (236.6) = 1924.3 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1682.3 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -6,447.3 \times 1000000 \times (-1757.7) / (1 \times 433302045759) = 26.154 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -6447.326 \times 1000000 \times (-1557.7) / 433302045759 = 23.178 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -6447.326 \times 1000000 \times 1682.3 / 433302045759 = -25.032 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -15050.7 \times 1000000 \times (-1757.7) / (1 \times 433302045759) = 61.054 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -15050.7 \times 1000000 \times (-1557.7) / 433302045759 = 54.107 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -15050.7 \times 1000000 \times 1682.3 / 433302045759 = -58.435 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -488.5 \times 1000000 \times (-1757.7) / (1 \times 433302045759) = 1.982 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -488.5 \times 1000000 \times (-1557.7) / 433302045759 = 1.756 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -488.5 \times 1000000 \times 1682.3 / 433302045759 = -1.897 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3380.0	7.301.E+08	1.037.E+09	1.910.E+11	1.920.E+11
합성전		204346.4	1445.7	2.954.E+08	3.403.E+11	2.019.E+11	5.422.E+11
계		420346.4		1.026.E+09			7.342.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 1025503590/420346.4 = 2439.7 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		108000.0	3380.0	3.650.E+08	5.184.E+08	1.730.E+11	1.735.E+11
합성전		204346.4	1445.7	2.954.E+08	3.403.E+11	9.141.E+10	4.317.E+11
계		312346.4		6.605.E+08			6.051.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

- 도심 : $ydv1 = 660463590.5/312346.4 = 2114.5 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 2439.7 - 3500 = -1060.3 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2439.7 - 3380 = -940.3 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 2439.7 - 3260 = -820.3 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 2114.5 - 3380 = -1265.5 \text{ mm}$

$Yv1su = 2439.7 - 3240 = -800.3 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 312346.4 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 2439.7 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1265.477 \text{ mm}$

$Dvs1 = 2439.7 - 1445.7 = 994.0 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 668.823 \text{ mm}$

$Dv1 = 940.3 + 994 = 1934.3 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -6447.326 \times 1000000 / (7 \times 734175975850) \times (-940.3) \times 1512000 = 1,783,609 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 1783609 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 1,783,609 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 1783609 \times (-1265.5) / 1000000 = -2257.1 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 1783609 / 232996.4 + (0.041) \times (-2257.1) \times 1000000 \times (-1757.7) / 433302045759$
 $= 8.030 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsu / Iv1$
 $= 1783609 / 312346.4 + (0.041) \times (-2257.1) \times 1000000 \times (-800.3) / 605140283784.964$
 $= 5.833 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 1783609 / 312346.4 + (0.041) \times (-2257.1) \times 1000000 \times 2439.7 / 605140283784.964$
 $= 5.337 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산상부바닥판		72,000	3,380	2.434.E+08	3.456.E+08	1.473.E+11	1.476.E+11
합성전		204,346	1,446	2.954.E+08	3.403.E+11	5.191.E+10	3.922.E+11
계		276,346	-	5.388.E+08			5.398.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 538783590.5 / 276346.4 = 1949.70 \text{ mm}$

$E_{c2} = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$

$Y_{dv2su} = 1949.7 - 3240 = -1290.3 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1949.7 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,198 \text{ N}$

$D_{dv} = 1949.7 - 3380 = -1,430 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 204346.4 + 1512000 / 21 = \text{--- mm}^2$

$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{c}/n_2 + A_s) = 1934.3 \times 204346.4 / (1512000 / 21 + 204346.4) = 1,430 \text{ mm}$

$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1934.3 - 1430.3 = 504 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$

$= [-3985198.1 \times (-1430.3)] / 1000000$

$= 5700.0 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$

$= -3985198.1 / 232996.4 + (0.041) \times 5700 \times 1000000 \times (-1757.7) / 433302045759$

$= -18.052 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 276346.4 + (0.041) \times 5700 \times 1000000 \times (-1290.3) / 539805570362.4$

$= -14.980 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 276346.4 + (0.041) \times 5700 \times 1000000 \times 1949.7 / 539805570362.4$

$= -13.577 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 =$

5313600.0 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 5313600 \times -940.3 / 1000000 =$

-4996.4 kN-m

- 상부철근 응력 :

· $f_{v3ru} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvru} / I_v - E_s \cdot \epsilon_t$

$= 5313600 / 232996.4 + (0.041) \times (-4996.4) \times (-1757.7) / 433302045759 - 205000 \times 0.00012$
 $=$

-0.964 MPa

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3su} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsu} / I_v$

$= 5313600 / 232996.4 + (0.041) \times (-4996.4) \times 1000000 \times (-1557.7) / 433302045759$

23.542 MPa

· $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsl} / I_v$

$= 5313600 / 232996.4 + (0.041) \times (-4996.4) \times 1000000 \times 1682.3 / 433302045759 =$

22.010 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

7758774.5 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 825.08 \times 1000 / 102464 + 585.38 \times 1000000 / (2 \times 7758774.5 \times 16) =$

10.410 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

7758774.5 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1624.15 \times 1000 / 102464 + 683.7 \times 1000000 / (2 \times 7758774.5 \times 16) =$

18.605 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

7802504.8 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1995.44 \times 1000 / 102464 + 2953.83 \times 1000000 / (2 \times 7802504.8 \times 16) =$

31.305 MPa

(6) 허용응력검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : ∴ $f_{rta} =$ 160.0 MPa

- 허용압축응력 : ∴ $f_{rca} =$ 180.0 MPa

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1. 항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

∴ $f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times - =$

0.0 MPa

- 허용인장응력 :

∴ $f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times - =$

0.0 MPa

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 허용응력 : (보강된 판)

- 가설시 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (80 \times 1 \times 5) = 6.0 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (44 \times 1 \times 5) = 10.9 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{㉑ } b/(22 \times i \times n) &= 21.8 \text{ mm} & \text{㉒ } b/(44 \times i \times n) &= 10.9 \text{ mm} & \text{㉓ } b/(80 \times i \times n) &= 6.0 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -205.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} - \text{합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3202 / (281 \times 1.2) = 9.496 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/86.067)} = 1.546 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ - \text{합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.095) = 3202 / (281 \times 1.095) = 10.406 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(205.733/171.431)} = 1.095 < 1.2 \quad 1.10 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 10.406 < t = 16.0 \text{ mm} \therefore 0.K. \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

◎ 교변구간 < 단면 9 > 단면위치: 68,J지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.01282

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3320
t1	22
t2	24
t3	16
tr	0.66
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	250
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

$\Theta=0.000^{\circ}$

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	2878	상부바닥판	6139	n(상부)	7
하부리브	220	20	4	하부플랜지	2578	하부슬래브	0	n'(하부)	0

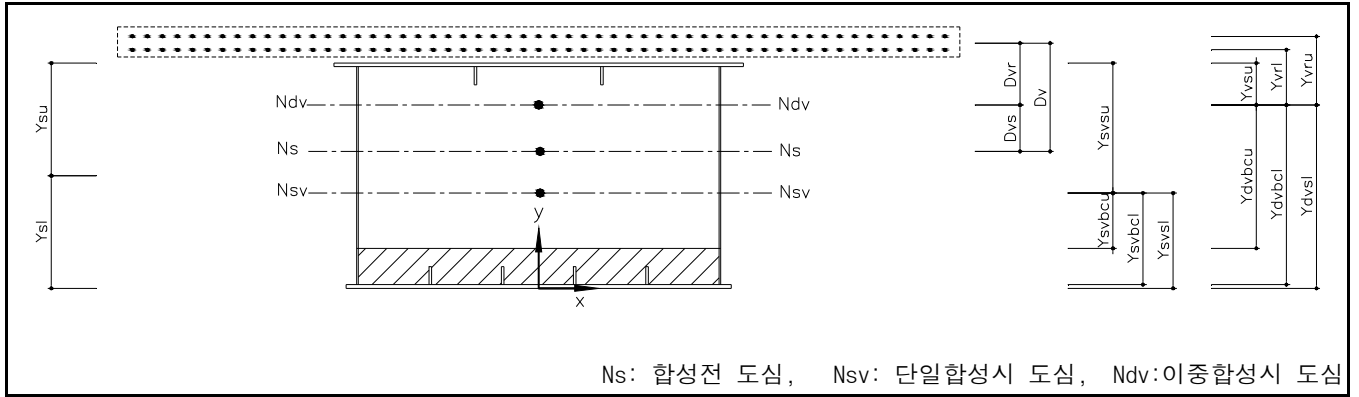
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-8828.7	-21397.0	-9576.3	-17903.6	-504.6	-58210.1
전단력, S (kN)	985.2	1748.1	844.2	1305.1	4.2	4886.7
비틀림, T (kN-m)	-585.4	-681.8	-577.4	-2436.7	-45.7	-4326.99

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	2877.6×24×1	69,064	3,354	2.316.E+08	3.315.E+06	1.992.E+11	1.992.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,320.0×16×2	106,240	1,682	1.787.E+08	9.758.E+10	7.349.E+07	9.766.E+10
하부리브	220×20×4	17,600	132	2.323.E+06	7.099.E+07	4.086.E+10	4.093.E+10
하부플랜지	2577.6×22×1	56,708	11	6.238.E+05	2.287.E+06	1.534.E+11	1.534.E+11
계		249,612		4.133.E+08			4.912.E+11

- 도심 : $y_s = 413281985/249611.9 = 1655.7 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1655.7 - 3366 = -1710.3 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1655.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -8,828.7 \times 1000000 \times (-1710.3) / 491189228679.6 = 30.741 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -8,828.7 \times 1000000 \times 1655.7 / 491189228679.6 = -29.760 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
STEEL		249611.9	1655.7	4.13.E+08	4.91.E+11	-	4.91.E+11
계		249611.9		4.13.E+08			4.91.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 413282423/249611.9 = 1655.7 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1655.7 - 3366 = -1710.3 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1655.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -21397.03 \times 1000000 \times (-1710.3) / 491189228679.6 = 74.504 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -21397.03 \times 1000000 \times 1655.7 / 491189228679.6 = -72.125 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x98	28077.0					
환산바닥판 철근		28077.0	3492.0	9.804.E+07		7.650.E+10	7.650.E+10
단일합성시		249611.9	1655.7	4.133.E+08	4.912.E+11	8.608.E+09	4.998.E+11
계		277688.9		5.113.E+08			5.763.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.013$

- 도심 : $Ydv = 511327307/277688.9 = 1841 \text{ mm}$
 $Atc = 6139.4 \times 240 = 1473451 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7$ $n' = 0$

$Ydvru = 1841.4 - 3562 = -1720.6 \text{ mm}$ $Ddvr = 1841.4 - 3492 = -1650.6 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1841.4 - 3422 = -1580.6 \text{ mm}$ $Ddvs = 1841.4 - 1655.7 = 185.7 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1841.4 - 3366 = -1524.6 \text{ mm}$ $Ddv = 1650.6 + (185.7) = 1836.3 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1841.4 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -9,576.3 \times 1000000 \times (-1720.6) / (1 \times 576292202816.6) = 28.591 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -9576.25 \times 1000000 \times (-1524.6) / 576292202816.6 = 25.334 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -9576.25 \times 1000000 \times 1841.4 / 576292202816.6 = -30.599 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -17903.6 \times 1000000 \times (-1720.6) / (1 \times 576292202816.6) = 53.454 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -17903.6 \times 1000000 \times (-1524.6) / 576292202816.6 = 47.365 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -17903.6 \times 1000000 \times 1841.4 / 576292202816.6 = -57.207 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -504.6 \times 1000000 \times (-1720.6) / (1 \times 576292202816.6) = 1.507 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -504.6 \times 1000000 \times (-1524.6) / 576292202816.6 = 1.335 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -504.6 \times 1000000 \times 1841.4 / 576292202816.6 = -1.612 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6139.4x240	1473451.1			7.073.E+09		
환산 상부바닥판		210493.0	3502.0	7.371.E+08	1.010.E+09	2.112.E+11	2.122.E+11
합성전		249611.9	1655.7	4.133.E+08	4.912.E+11	1.781.E+11	6.693.E+11
계		460104.9		1.150.E+09			8.815.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 1150428959/460104.9 = 2500.4 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6139.4x240	1473451.1			7.073.E+09		
환산 상부바닥판		105246.5	3502.0	3.686.E+08	5.052.E+08	1.775.E+11	1.780.E+11
합성전		249611.9	1655.7	4.133.E+08	4.912.E+11	7.485.E+10	5.660.E+11
계		354858.4		7.819.E+08			7.441.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

- 도심 : $ydv1 = 781855690.8/354858.4 = 2203.3 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 2500.4 - 3622 = -1121.6 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2500.4 - 3502 = -1001.6 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 2500.4 - 3382 = -881.6 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 2203.3 - 3502 = -1298.7 \text{ mm}$

$Yv1su = 2500.4 - 3366 = -865.6 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 354858.4 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 2500.4 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1298.711 \text{ mm}$

$Dvs1 = 2500.4 - 1655.7 = 844.7 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 547.589 \text{ mm}$

$Dv1 = 1001.6 + 844.7 = 1846.3 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -9576.25 \times 1000000 / (7 \times 881469332049.6) \times (-1001.6) \times 1473451.1 = 2,290,447 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 2290447.1 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 2,290,447 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 2290447.1 \times (-1298.7) / 1000000 = -2974.6 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 2290447.1 / 277688.9 + (-0.013) \times (-2974.6) \times 1000000 \times (-1720.6) / 576292202817$
 $= 8.133 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsu / Iv1$
 $= 2290447.1 / 354858.4 + (-0.013) \times (-2974.6) \times 1000000 \times (-865.6) / 744055515704.026$
 $= 6.410 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 2290447.1 / 354858.4 + (-0.013) \times (-2974.6) \times 1000000 \times 2500.4 / 744055515704.026$
 $= 6.584 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6139.4x240	1,473,451			7.073.E+09		
환산상부바닥판		70,164	3,502	2.457.E+08	3.368.E+08	1.457.E+11	1.461.E+11
합성전		249,612	1,656	4.133.E+08	4.912.E+11	4.096.E+10	5.322.E+11
계		319,776	-	6.590.E+08			6.782.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 658997934.8 / 319776.2 = 2060.80 \text{ mm}$

$E_{c2} = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$

$Y_{dv2su} = 2060.8 - 3366 = -1305.2 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 2060.8 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1473451.1 = -3,883,594 \text{ N}$

$D_{dv} = 2060.8 - 3502 = -1,441 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 249611.9 + 1473451.1 / 21 = \text{--- mm}^2$

$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1846.3 \times 249611.9 / (1473451.1 / 21 + 249611.9) = 1,441 \text{ mm}$

$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1846.3 - 1441.2 = 405 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$

$= [-3883594.2 \times (-1441.2)] / 1000000$

$= 5597.0 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$

$= -3883594.2 / 277688.9 + (-0.013) \times 5597 \times 1000000 \times (-1720.6) / 576292202817$

$= -13.768 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$

$= -3883594.2 / 319776.2 + (-0.013) \times 5597 \times 1000000 \times (-1305.2) / 678224190916.175$

$= -12.005 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$

$= -3883594.2 / 319776.2 + (-0.013) \times 5597 \times 1000000 \times 2060.8 / 678224190916.175$

$= -12.366 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1473451.1 / 7 =$

5178128.2 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 5178128.2 \times -1001.6 / 1000000 =$

-5186.4 kN-m

- 상부철근 응력 :

· $f_{v3ru} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvru} / I_v - E_s \cdot \epsilon_t$

$= 5178128.2 / 277688.9 + (-0.013) \times (-5186.4) \times (-1720.6) / 576292202816.6 - 205000 \times 0.00012$

=

-6.154 MPa

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3su} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsu} / I_v$

$= 5178128.2 / 277688.9 + (-0.013) \times (-5186.4) \times 1000000 \times (-1524.6) / 5762922028$

18.469 MPa

· $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsl} / I_v$

$= 5178128.2 / 277688.9 + (-0.013) \times (-5186.4) \times 1000000 \times 1841.4 / 576292202816.6$

18.863 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

8048659.0 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 985.16 \times 1000 / 106240 + 585.38 \times 1000000 / (2 \times 8048659 \times 16) =$

11.546 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

8048659.0 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1748.09 \times 1000 / 106240 + 681.8 \times 1000000 / (2 \times 8048659 \times 16) =$

19.101 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

8092389.3 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 2149.28 \times 1000 / 106240 + 3014.12 \times 1000000 / (2 \times 8092389.3 \times 16) =$

31.870 MPa

(6) 허용응력검토 (도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : ∴ $f_{rta} =$ 160.0 MPa

- 허용압축응력 : ∴ $f_{rca} =$ 180.0 MPa

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1. 항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

∴ $f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times - =$

0.0 MPa

- 허용인장응력 :

∴ $f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times - =$

0.0 MPa

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 허용응력 : (보강된 판)

- 가설시 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2400 / (80 \times 1 \times 5) &= 6.0 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2400 / (44 \times 1 \times 5) &= 10.9 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 21.8 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.9 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 6.0 \text{ mm} \\ t &= 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[f_{sua1}] & & & & -230.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3320 / (281 \times 1.2) = 9.846 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/101.885)} = 1.502 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.096) = 3320 / (281 \times 1.096) = 10.780 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/191.303)} = 1.096 < 1.2 \quad 1.10 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 10.780 < t = 16.0 \text{ mm} \therefore 0.K. \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

◎ 교변구간 < 단면 14 > 단면위치: 73,J지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.15446

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

$\Theta=0.000^\circ$

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	2833
t1	22
t2	28
t3	16
tr	0.69
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	500
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	1010	상부바닥판	6198	n(상부)	7
하부리브	220	20	4	하부플랜지	2574	하부슬래브	0	n'(하부)	0

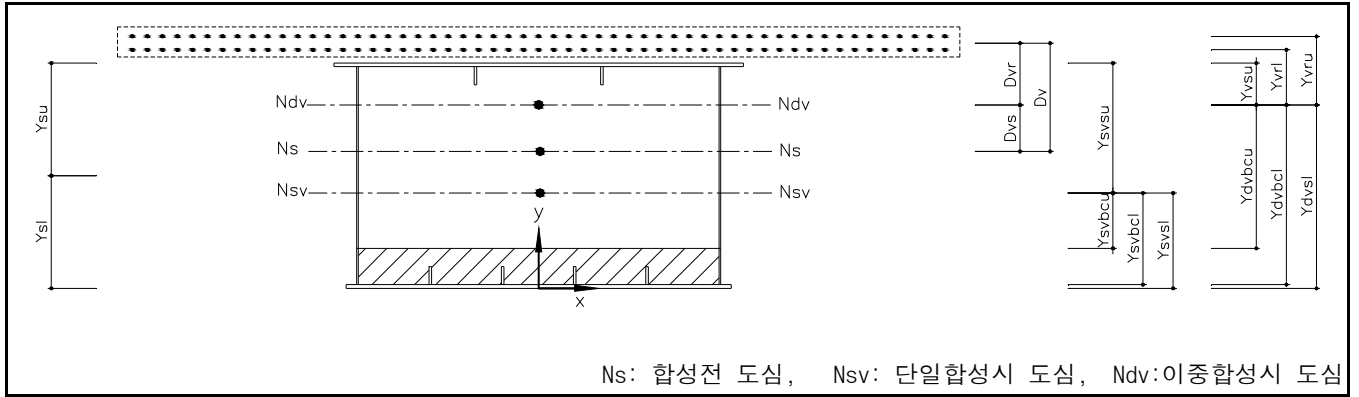
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-6677.3	-16753.3	-7681.1	-13860.2	-378.8	-45350.6
전단력, S (kN)	-644.1	-1392.6	-662.2	-1179.1	-11.8	-3889.9
비틀림, T (kN-m)	-101.2	-192.4	56.0	-1749.9	-10.9	-1998.36

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	1010.4×28×2	56,581	2,869	1.623.E+08	3.697.E+06	1.331.E+11	1.331.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	2,833.0×16×2	90,656	1,439	1.304.E+08	6.063.E+10	9.674.E+08	6.160.E+10
하부리브	220×20×4	17,600	132	2.323.E+06	7.099.E+07	2.548.E+10	2.555.E+10
하부플랜지	2573.6×22×1	56,620	11	6.228.E+05	2.284.E+06	9.928.E+10	9.929.E+10
계		221,456		2.957.E+08			3.195.E+11

- 도심 : $y_s = 295684130 / 221456.4 = 1335.2 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1335.2 - 2883 = -1547.8 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1335.2 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -6,677.3 \times 1000000 \times (-1547.8) / 319547952966.8 = 32.343 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -6,677.3 \times 1000000 \times 1335.2 / 319547952966.8 = -27.900 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
STEEL		221456.4	1335.2	2.96.E+08	3.20.E+11	-	3.20.E+11
계		221456.4		2.96.E+08			3.20.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 295688585 / 221456.4 = 1335.2 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1335.2 - 2883 = -1547.8 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1335.2 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -16753.29 \times 1000000 \times (-1547.8) / 319547952966.8 = 81.148 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -16753.29 \times 1000000 \times 1335.2 / 319547952966.8 = -70.002 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x98	28077.0					
환산바닥판 철근		28077.0	3005.0	8.437.E+07		6.166.E+10	6.166.E+10
단일합성시		221456.4	1335.2	2.957.E+08	3.195.E+11	7.819.E+09	3.274.E+11
계		249533.4		3.801.E+08			3.890.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.154$

- 도심 : $Ydv = 380059970/249533.4 = 1523 \text{ mm}$

$Atc = 6198.2 \times 240 = 1487570 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1523.1 - 3075 = -1551.9 \text{ mm} \quad Ddvr = 1523.1 - 3005 = -1481.9 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1523.1 - 2935 = -1411.9 \text{ mm} \quad Ddvs = 1523.1 - 1335.2 = 187.9 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1523.1 - 2883 = -1359.9 \text{ mm} \quad Ddv = 1481.9 + (187.9) = 1669.8 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1523.1 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -7,681.1 \times 1000000 \times (-1551.9) / (1 \times 389024650628.8) = 30.641 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -7681.082 \times 1000000 \times (-1359.9) / 389024650628.8 = 26.850 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -7681.082 \times 1000000 \times 1523.1 / 389024650628.8 = -30.073 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -13860.2 \times 1000000 \times (-1551.9) / (1 \times 389024650628.8) = 55.291 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -13860.2 \times 1000000 \times (-1359.9) / 389024650628.8 = 48.451 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -13860.2 \times 1000000 \times 1523.1 / 389024650628.8 = -54.265 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -378.8 \times 1000000 \times (-1551.9) / (1 \times 389024650628.8) = 1.511 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -378.8 \times 1000000 \times (-1359.9) / 389024650628.8 = 1.324 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -378.8 \times 1000000 \times 1523.1 / 389024650628.8 = -1.483 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6198.2x240	1487570.1			7.140.E+09		
환산 상부바닥판		212510.0	3015.0	6.407.E+08	1.020.E+09	1.562.E+11	1.572.E+11
합성전		221456.4	1335.2	2.957.E+08	3.195.E+11	1.499.E+11	4.694.E+11
계		433966.4		9.364.E+08			6.266.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 936406278/433966.4 = 2157.8 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6198.2x240	1487570.1			7.140.E+09		
환산 상부바닥판		106255.0	3015.0	3.204.E+08	5.100.E+08	1.369.E+11	1.374.E+11
합성전		221456.4	1335.2	2.957.E+08	3.195.E+11	6.569.E+10	3.852.E+11
계		327711.4		6.160.E+08			5.227.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

- 도심 : $ydv1 = 616047431.8/327711.4 = 1879.8 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} Yv1tcu &= 2157.8 - 3135 = -977.2 \text{ mm} & Dtc1 &= 2157.8 - 3015 = -857.2 \text{ mm} \\ Yv1tcl &= 2157.8 - 2895 = -737.2 \text{ mm} & Ddvct1 &= 1879.8 - 3015 = -1135.2 \text{ mm} \\ Yv1su &= 2157.8 - 2883 = -725.2 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 327711.4 \text{ mm}^2 \\ Yv1sl &= 2157.8 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1135.153 \text{ mm} \\ Dvs1 &= 2157.8 - 1335.2 = 822.6 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 544.647 \text{ mm} \\ Dv1 &= 857.2 + 822.6 = 1679.8 \text{ mm} \end{aligned}$$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$$\begin{aligned} Ntc &= Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc \\ &= -7681.082 \times 1000000 / (7 \times 626571695967.9) \times (-857.2) \times 1487570.1 = 2,233,126 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} Ptv1 &= Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 2233125.8 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 2,233,126 \text{ N} \\ Mv1 &= Ptv1 \times Ddvct1 \\ &= 2233125.8 \times (-1135.2) / 1000000 = -2534.9 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 응력 :

$$\begin{aligned} fv1ru &= Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv) \\ &= 2233125.8 / 249533.4 + (-0.154) \times (-2534.9) \times 1000000 \times (-1551.9) / 389024650629 \\ &= 7.392 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} fv1su &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsu / Iv1 \\ &= 2233125.8 / 327711.4 + (-0.154) \times (-2534.9) \times 1000000 \times (-725.2) / 522668144529.217 \\ &= 6.273 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fv1sl &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1 \\ &= 2233125.8 / 327711.4 + (-0.154) \times (-2534.9) \times 1000000 \times 2157.8 / 522668144529.217 \\ &= 8.426 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6198.2x240	1,487,570			7.140.E+09		
환산상부바닥판		70,837	3,015	2.136.E+08	3.400.E+08	1.147.E+11	1.151.E+11
합성전		221,456	1,335	2.957.E+08	3.195.E+11	3.670.E+10	3.563.E+11
계		292,293	-	5.093.E+08			4.713.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 509261149.6 / 292293.1 = 1742.30 \text{ mm}$

$E_{c2} = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$

$Y_{dv2su} = 1742.3 - 2883 = -1140.7 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1742.3 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1487570.1 = -3,920,808 \text{ N}$

$D_{dv} = 1742.3 - 3015 = -1,273 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 221456.4 + 1487570.1 / 21 = \text{mm}^2$

$dc_2 = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1679.8 \times 221456.4 / (1487570.1 / 21 + 221456.4) = 1,273 \text{ mm}$

$ds_2 = d_v - dc_2 = 1679.8 - 1272.7 = 407 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$

$= [-3920807.9 \times (-1272.7)] / 1000000$

$= 4990.0 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$

$= -3920807.9 / 249533.4 + (-0.154) \times 4990 \times 1000000 \times (-1551.9) / 389024650629$

$= -12.647 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$

$= -3920807.9 / 292293.1 + (-0.154) \times 4990 \times 1000000 \times (-1140.7) / 471328810605.44$

$= -11.554 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$

$= -3920807.9 / 292293.1 + (-0.154) \times 4990 \times 1000000 \times 1742.3 / 471328810605.44$

$= -16.255 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1487570.1 / 7 =$

5227746.4 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 5227746.4 \times -857.2 / 1000000 =$

-4481.2 kN-m

- 상부철근 응력 :

· $f_{v3ru} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvru} / I_v - E_s \times \epsilon_t$

$= 5227746.4 / 249533.4 + (-0.154) \times (-4481.2) \times (-1551.9) / 389024650628.8 - 205000 \times 0.00012$

=

-6.403 MPa

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3su} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsu} / I_v$

$= 5227746.4 / 249533.4 + (-0.154) \times (-4481.2) \times 1000000 \times (-1359.9) / 3890246506$

18.538 MPa

· $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsl} / I_v$

$= 5227746.4 / 249533.4 + (-0.154) \times (-4481.2) \times 1000000 \times 1523.1 / 389024650628.8$

23.652 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

6872118.5 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 644.08 \times 1000 / 90656 + 101.16 \times 1000000 / (2 \times 6872118.5 \times 16) =$

7.565 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

6872118.5 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1392.64 \times 1000 / 90656 + 192.39 \times 1000000 / (2 \times 6872118.5 \times 16) =$

16.237 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

6915848.9 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1841.38 \times 1000 / 90656 + 1693.9 \times 1000000 / (2 \times 6915848.9 \times 16) =$

27.966 MPa

(6) 허용응력검토 (도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : ∴ $f_{rta} =$ 160.0 MPa

- 허용압축응력 : ∴ $f_{rca} =$ 180.0 MPa

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1. 항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

∴ $f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times - =$

0.0 MPa

- 허용인장응력 :

∴ $f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times - =$

0.0 MPa

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 허용응력 : (보강된 판)

- 가설시 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2400 / (80 \times 1 \times 5) = 6.0 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2400 / (44 \times 1 \times 5) = 10.9 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 21.8 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.9 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 6.0 \text{ mm} \\ t &= 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[f_{sua1}] & & & & -230.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2833 / (281 \times 1.2) = 8.402 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/97.902)} = 1.533 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.119) = 2833 / (281 \times 1.119) = 9.010 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/183.723)} = 1.119 < 1.2 \quad 1.12 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 9.010 < t = 16.0 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

◎ 교변구간 < 단면 15 > 단면위치: 74,3/4지점(외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.15428

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

단면제원 (mm)

B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	2680
t1	18
t2	28
t3	14
tr	0.69
Tcu	240
Th	40
Tcl	0
b1	100
b2	500
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

$\Theta=0.000^\circ$

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	600	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	200	20	4	하부플랜지	2600	하부슬래브	0	n'(하부)	0

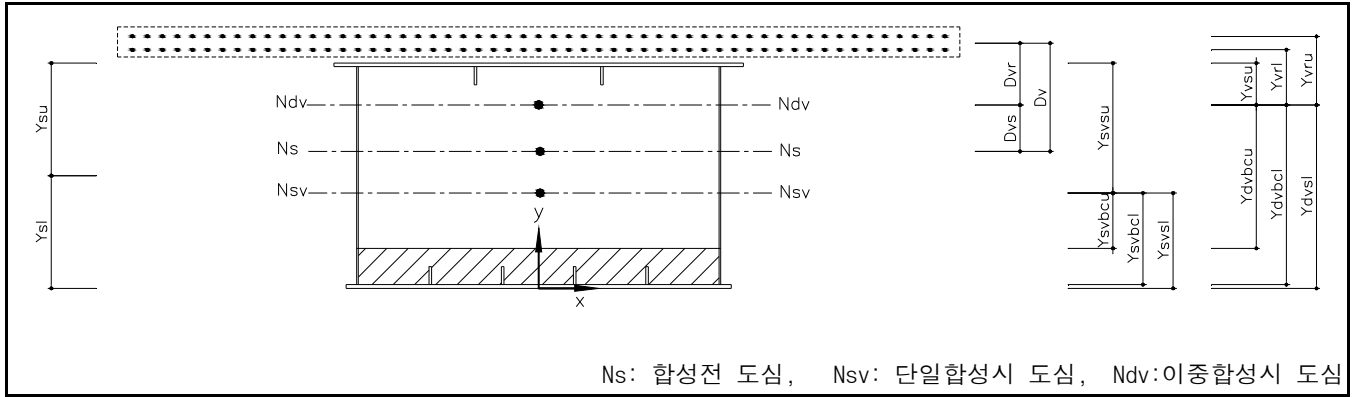
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-4545.9	-11697.8	-5278.3	-11053.8	-328.0	-32903.8
전단력, S (kN)	-488.6	-1250.6	-589.9	-1088.2	-13.2	-3430.4
비틀림, T (kN-m)	8.7	-5.3	159.8	1789.9	23.0	1976.13

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	600×28×2	33,600	2,712	9.112.E+07	2.195.E+06	8.310.E+10	8.310.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	2,680.0×14×2	75,040	1,358	1.019.E+08	4.491.E+10	3.586.E+09	4.850.E+10
하부리브	200×20×4	16,000	118	1.888.E+06	5.333.E+07	1.669.E+10	1.675.E+10
하부플랜지	2600×18×1	46,800	9	4.212.E+05	1.264.E+06	5.980.E+10	5.980.E+10
계		171,440		1.953.E+08			2.081.E+11

- 도심 : $y_s = 195336720/171440 = 1139.4 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1139.4 - 2726 = -1586.6 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1139.4 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -4,545.9 \times 1000000 \times (-1586.6) / 208145131488.4 = 34.651 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -4,545.9 \times 1000000 \times 1139.4 / 208145131488.4 = -24.884 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
STEEL		171440.0	1139.4	1.95.E+08	2.08.E+11	-	2.08.E+11
계		171440.0		1.95.E+08			2.08.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 195338736/171440 = 1139.4 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1139.4 - 2726 = -1586.6 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1139.4 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -11697.84 \times 1000000 \times (-1586.6) / 208145131488.4 = 89.168 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -11697.84 \times 1000000 \times 1139.4 / 208145131488.4 = -64.035 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x100	28650.0					
환산바닥판 철근		28650.0	2848.0	8.160.E+07		6.141.E+10	6.141.E+10
단일합성시		171440.0	1139.4	1.953.E+08	2.081.E+11	1.026.E+10	2.184.E+11
계		200090.0		2.769.E+08			2.798.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.154$

- 도심 : $Ydv = 276933936/200090 = 1384 \text{ mm}$

$Atc = 6300 \times 240 = 1512000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1384 - 2918 = -1534.0 \text{ mm} \quad Ddvr = 1384 - 2848 = -1464.0 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1384 - 2778 = -1394.0 \text{ mm} \quad Ddvs = 1384 - 1139.4 = 244.6 \text{ mm}$

$Ydv su = 1384 - 2726 = -1342.0 \text{ mm} \quad Ddv = 1464 + (244.6) = 1708.6 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1384.0 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -5,278.3 \times 1000000 \times (-1534) / (1 \times 279807673078.4) = 28.938 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydv su / Iv = -5278.315 \times 1000000 \times (-1342) / 279807673078.4 = 25.316 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -5278.315 \times 1000000 \times 1384 / 279807673078.4 = -26.108 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -11053.8 \times 1000000 \times (-1534) / (1 \times 279807673078.4) = 60.601 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydv su / Iv = -11053.8 \times 1000000 \times (-1342) / 279807673078.4 = 53.016 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -11053.8 \times 1000000 \times 1384 / 279807673078.4 = -54.675 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -328 \times 1000000 \times (-1534) / (1 \times 279807673078.4) = 1.798 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydv su / Iv = -328 \times 1000000 \times (-1342) / 279807673078.4 = 1.573 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -328 \times 1000000 \times 1384 / 279807673078.4 = -1.622 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	2858.0	6.173.E+08	1.037.E+09	1.249.E+11	1.260.E+11
합성전		171440.0	1139.4	1.953.E+08	2.081.E+11	1.574.E+11	3.655.E+11
계		387440.0		8.127.E+08			4.915.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 812666736/387440 = 2097.5 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		108000.0	2858.0	3.087.E+08	5.184.E+08	1.201.E+11	1.206.E+11
합성전		171440.0	1139.4	1.953.E+08	2.081.E+11	7.564.E+10	2.838.E+11
계		279440.0		5.040.E+08			4.044.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

- 도심 : $ydv1 = 504002736/279440 = 1803.6 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 2097.5 - 2978 = -880.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2097.5 - 2858 = -760.5 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 2097.5 - 2738 = -640.5 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 1803.6 - 2858 = -1054.4 \text{ mm}$

$Yv1su = 2097.5 - 2726 = -628.5 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 279440.0 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 2097.5 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1054.383 \text{ mm}$

$Dvs1 = 2097.5 - 1139.4 = 958.1 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 664.217 \text{ mm}$

$Dv1 = 760.5 + 958.1 = 1718.6 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -5278.315 \times 1000000 / (7 \times 491482055266.4) \times (-760.5) \times 1512000 = 1,764,171 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 1764170.7 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 1,764,171 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 1764170.7 \times (-1054.4) / 1000000 = -1860.1 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 1764170.7 / 200090 + (-0.154) \times (-1860.1) \times 1000000 \times (-1534) / 279807673078$
 $= 7.246 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydv su / Iv1$
 $= 1764170.7 / 279440 + (-0.154) \times (-1860.1) \times 1000000 \times (-628.5) / 404366293849.19$
 $= 5.868 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 1764170.7 / 279440 + (-0.154) \times (-1860.1) \times 1000000 \times 2097.5 / 404366293849.19$
 $= 7.799 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산상부바닥판		72,000	2,858	2.058.E+08	3.456.E+08	1.055.E+11	1.058.E+11
합성전		171,440	1,139	1.953.E+08	2.081.E+11	4.429.E+10	2.524.E+11
계		243,440	-	4.011.E+08			3.583.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 401114736 / 243440 = 1647.70 \text{ mm}$

$E_{c2} = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$

$Y_{dv2su} = 1647.7 - 2726 = -1078.3 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1647.7 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,198 \text{ N}$

$D_{dv} = 1647.7 - 2858 = -1,210 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu} / n_2 = 171440 + 1512000 / 21 = \text{mm}^2$

$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{c2} / n_2 + A_s) = 1718.6 \times 171440 / (1512000 / 21 + 171440) = 1,210 \text{ mm}$

$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1718.6 - 1210.3 = 508 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$

$= [-3985198.1 \times (-1210.3)] / 1000000$

$= 4823.3 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$

$= -3985198.1 / 200090 + (-0.154) \times 4823.3 \times 1000000 \times (-1534) / 279807673078$

$= -15.845 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 243440 + (-0.154) \times 4823.3 \times 1000000 \times (-1078.3) / 358252972470$

$= -14.135 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 243440 + (-0.154) \times 4823.3 \times 1000000 \times 1647.7 / 358252972470$

$= -19.787 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 =$

5313600.0 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 5313600 \times -760.5 / 1000000 =$

-4041.0 kN-m

- 상부철근 응력 :

· $f_{v3ru} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvru} / I_v - E_s \cdot \epsilon_t$

$= 5313600 / 200090 + (-0.154) \times (-4041) \times (-1534) / 279807673078.4 - 205000 \times 0.00012$
 $=$

-1.456 MPa

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3su} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsu} / I_v$

$= 5313600 / 200090 + (-0.154) \times (-4041) \times 1000000 \times (-1342) / 279807673078.4 =$

23.571 MPa

· $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsl} / I_v$

$= 5313600 / 200090 + (-0.154) \times (-4041) \times 1000000 \times 1384 / 279807673078.4 =$

29.634 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

6492259.7 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 488.56 \times 1000 / 75040 + 8.72 \times 1000000 / (2 \times 6492259.7 \times 14) =$

6.559 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

6492259.7 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1250.58 \times 1000 / 75040 + 5.29 \times 1000000 / (2 \times 6492259.7 \times 14) =$

16.695 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

6535953.8 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1678.09 \times 1000 / 75040 + 1949.66 \times 1000000 / (2 \times 6535953.8 \times 14) =$

33.016 MPa

(6) 허용응력검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : ∴ $f_{rta} =$ 160.0 MPa

- 허용압축응력 : ∴ $f_{rca} =$ 180.0 MPa

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1. 항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

∴ $f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times - =$

0.0 MPa

- 허용인장응력 :

∴ $f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times - =$

0.0 MPa

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 허용응력 : (보강된 판)

- 가설시 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (80 \times 1 \times 5) = 6.0 \text{ mm} & < \quad t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (44 \times 1 \times 5) = 10.9 \text{ mm} & < \quad t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{㉑ } b/(22 \times i \times n) &= 21.8 \text{ mm} & \text{㉒ } b/(44 \times i \times n) &= 10.9 \text{ mm} & \text{㉓ } b/(80 \times i \times n) &= 6.0 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} & \text{이므로, } \therefore f_{sla1} &= -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -205.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} - \text{합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2680 / (281 \times 1.2) = 7.948 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/88.919)} = 1.521 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ - \text{합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.096) = 2680 / (281 \times 1.096) = 8.702 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(205.733/171.324)} = 1.096 < 1.2 \quad 1.10 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 8.702 < t = 14.0 \text{ mm} \therefore 0.K. \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

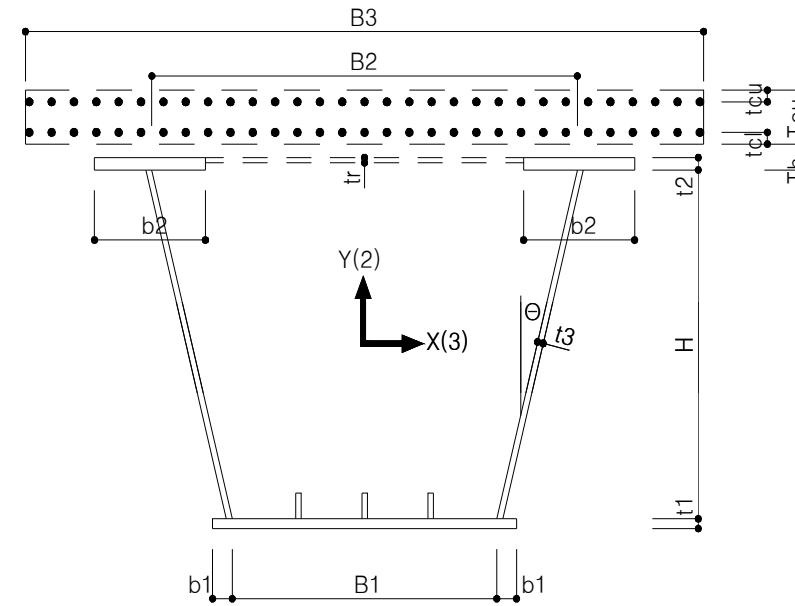
◎ 교변구간 < 단면 16 > 단면위치: 76,1/4지점(외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.15392

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2400
		B2	2400
		B3	6300
		H	2514
		t1	14
		t2	18
		t3	12
		tr	0.68
		Tcu	240
		Th	40
		Tcl	0
		b1	100
		b2	500
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려			
Θ=0.000°			
보강리브 제원(mm)			
상부리브	0	0	0
하부리브	180	16	4
유효폭 제원 (mm)			
상부플랜지	500	상부바닥판	6300
하부플랜지	2600	하부슬래브	0
n(상부)	7	n'(하부)	0

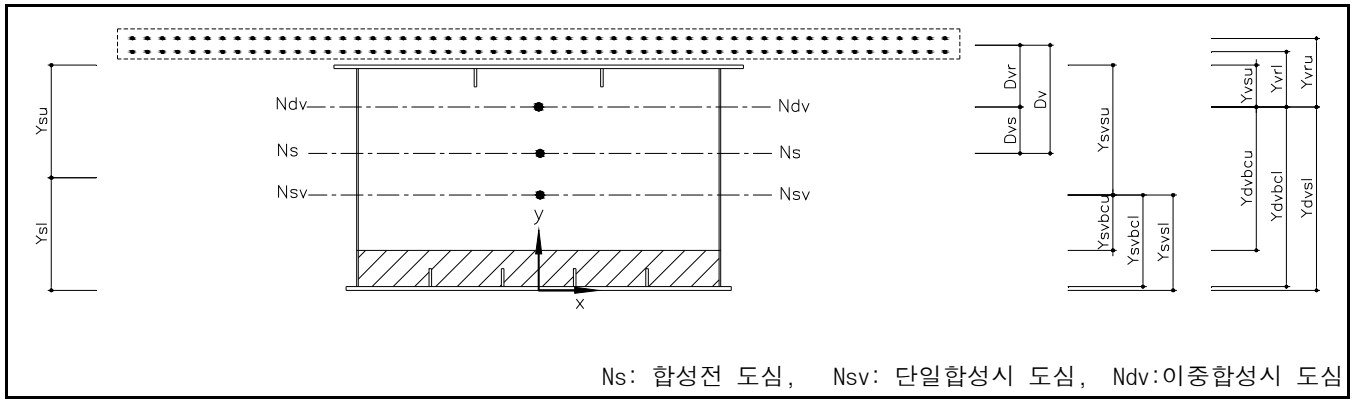
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-1417.5	-3288.6	-1329.4	-7055.7	-221.4	-13312.6
전단력, S (kN)	-331.8	-926.7	-432.4	-912.1	-14.4	-2617.5
비틀림, T (kN-m)	63.4	193.7	244.2	1391.6	15.7	1908.63

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	500×18×2	18,000	2,537	4.567.E+07	4.860.E+05	4.360.E+10	4.360.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	2,514.0×12×2	60,336	1,271	7.669.E+07	3.178.E+10	5.088.E+09	3.687.E+10
하부리브	180×16×4	11,520	104	1.198.E+06	3.110.E+07	8.852.E+09	8.883.E+09
하부플랜지	2600×14×1	36,400	7	2.548.E+05	5.945.E+05	3.450.E+10	3.450.E+10
계		126,256		1.238.E+08			1.239.E+11

- 도심 : $y_s = 123805936/126256 = 980.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 980.6 - 2546 = -1565.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 980.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -1,417.5 \times 1000000 \times (-1565.4) / 123856987341.8 = 17.915 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -1,417.5 \times 1000000 \times 980.6 / 123856987341.8 = -11.222 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
STEEL		126256.0	980.6	1.24.E+08	1.24.E+11	-	1.24.E+11
계		126256.0		1.24.E+08			1.24.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 123806634/126256 = 980.6 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 980.6 - 2546 = -1565.4 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 980.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -3288.638 \times 1000000 \times (-1565.4) / 123856987341.8 = 41.564 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -3288.638 \times 1000000 \times 980.6 / 123856987341.8 = -26.037 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x100	28650.0					
환산바닥판 철근		28650.0	2678.0	7.672.E+07		5.484.E+10	5.484.E+10
단일합성시		126256.0	980.6	1.238.E+08	1.239.E+11	1.244.E+10	1.363.E+11
계		154906.0		2.005.E+08			1.911.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.154$

- 도심 : $Ydv = 200531334/154906 = 1295 \text{ mm}$
 $Atc = 6300 \times 240 = 1512000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7$ $n' = 0$

$Ydvru = 1294.5 - 2748 = -1453.5 \text{ mm}$ $Ddvr = 1294.5 - 2678 = -1383.5 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1294.5 - 2608 = -1313.5 \text{ mm}$ $Ddvs = 1294.5 - 980.6 = 313.9 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1294.5 - 2546 = -1251.5 \text{ mm}$ $Ddv = 1383.5 + (313.9) = 1697.4 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1294.5 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -1,329.4 \times 1000000 \times (-1453.5) / (1 \times 191135566266.8) = 10.110 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -1329.439 \times 1000000 \times (-1251.5) / 191135566266.8 = 8.705 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -1329.439 \times 1000000 \times 1294.5 / 191135566266.8 = -9.004 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -7055.7 \times 1000000 \times (-1453.5) / (1 \times 191135566266.8) = 53.655 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -7055.7 \times 1000000 \times (-1251.5) / 191135566266.8 = 46.199 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -7055.7 \times 1000000 \times 1294.5 / 191135566266.8 = -47.786 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -221.4 \times 1000000 \times (-1453.5) / (1 \times 191135566266.8) = 1.684 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -221.4 \times 1000000 \times (-1251.5) / 191135566266.8 = 1.450 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvru / Iv = -221.4 \times 1000000 \times 1294.5 / 191135566266.8 = -1.499 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	2688.0	5.806.E+08	1.037.E+09	8.568.E+10	8.671.E+10
합성전		126256.0	980.6	1.238.E+08	1.239.E+11	1.466.E+11	2.705.E+11
계		342256.0		7.044.E+08			3.572.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 704414634/342256 = 2058.2 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		108000.0	2688.0	2.903.E+08	5.184.E+08	9.146.E+10	9.198.E+10
합성전		126256.0	980.6	1.238.E+08	1.239.E+11	7.823.E+10	2.021.E+11
계		234256.0		4.141.E+08			2.941.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

- 도심 : $ydv1 = 414110633.6/234256 = 1767.8 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 Yv1tcu &= 2058.2 - 2808 = -749.8 \text{ mm} & Dtc1 &= 2058.2 - 2688 = -629.8 \text{ mm} \\
 Yv1tcl &= 2058.2 - 2568 = -509.8 \text{ mm} & Ddvct1 &= 1767.8 - 2688 = -920.2 \text{ mm} \\
 Yv1su &= 2058.2 - 2546 = -487.8 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 234256.0 \text{ mm}^2 \\
 Yv1sl &= 2058.2 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 920.230 \text{ mm} \\
 Dvs1 &= 2058.2 - 980.6 = 1077.6 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 787.170 \text{ mm} \\
 Dv1 &= 629.8 + 1077.6 = 1707.4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

① 2차 고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$$\begin{aligned}
 Ntc &= Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc \\
 &= -1329.439 \times 1000000 / (7 \times 357180978512.8) \times (-629.8) \times 1512000 = 506,333 \text{ N}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 506333.3 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 506,333 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}
 Mv1 &= Ptv1 \times Ddvct1 \\
 &= 506333.3 \times (-920.2) / 1000000 = -465.9 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상부철근 응력 :

$$\begin{aligned}
 fv1ru &= Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv) \\
 &= 506333.3 / 154906 + (-0.154) \times (-465.9) \times 1000000 \times (-1453.5) / 191135566267 \\
 &= 2.723 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 fv1su &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsu / Iv1 \\
 &= 506333.3 / 234256 + (-0.154) \times (-465.9) \times 1000000 \times (-487.8) / 294065138348.239 \\
 &= 2.042 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 fv1sl &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvs1 / Iv1 \\
 &= 506333.3 / 234256 + (-0.154) \times (-465.9) \times 1000000 \times 2058.2 / 294065138348.239 \\
 &= 2.664 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산상부바닥판		72,000	2,688	1.935.E+08	3.456.E+08	8.512.E+10	8.547.E+10
합성전		126,256	981	1.238.E+08	1.239.E+11	4.855.E+10	1.724.E+11
계		198,256	-	3.173.E+08			2.579.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 317342633.6 / 198256 = 1600.70 \text{ mm}$

$E_{c2} = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$

$Y_{dv2su} = 1600.7 - 2546 = -945.3 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1600.7 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,198 \text{ N}$

$D_{dv} = 1600.7 - 2688 = -1,087 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 126256 + 1512000 / 21 = \text{mm}^2$

$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{c}/n_2 + A_s) = 1707.4 \times 126256 / (1512000 / 21 + 126256) = 1,087 \text{ mm}$

$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1707.4 - 1087.3 = 620 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$

$= [-3985198.1 \times (-1087.3)] / 1000000$

$= 4333.1 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$

$= -3985198.1 / 154906 + (-0.154) \times 4333.1 \times 1000000 \times (-1453.5) / 191135566267$

$= -20.652 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 198256 + (-0.154) \times 4333.1 \times 1000000 \times (-945.3) / 257870983628.36$

$= -17.655 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 198256 + (-0.154) \times 4333.1 \times 1000000 \times 1600.7 / 257870983628.36$

$= -24.243 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 =$

5313600.0 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 5313600 \times -629.8 / 1000000 =$

-3346.5 kN-m

- 상부철근 응력 :

· $f_{v3ru} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvru} / I_v - E_s \cdot \epsilon_t$

$= 5313600 / 154906 + (-0.154) \times (-3346.5) \times (-1453.5) / 191135566266.8 - 205000 \times 0.00012$
 $=$

5.783 MPa

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3su} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dv su} / I_v$

$= 5313600 / 154906 + (-0.154) \times (-3346.5) \times 1000000 \times (-1251.5) / 191135566266.8$

30.928 MPa

· $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dv sl} / I_v$

$= 5313600 / 154906 + (-0.154) \times (-3346.5) \times 1000000 \times 1294.5 / 191135566266.8 =$

37.792 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

6081642.8 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 331.76 \times 1000 / 60336 + 63.38 \times 1000000 / (2 \times 6081642.8 \times 12) =$

5.933 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

6081642.8 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 926.75 \times 1000 / 60336 + 193.73 \times 1000000 / (2 \times 6081642.8 \times 12) =$

16.687 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

6125300.7 mm²

· $\tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$

$= 1344.57 \times 1000 / 60336 + 1635.86 \times 1000000 / (2 \times 6125300.7 \times 12) =$

33.412 MPa

(6) 허용응력검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : ∴ $f_{rta} =$ 160.0 MPa

- 허용압축응력 : ∴ $f_{rca} =$ 180.0 MPa

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1. 항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

∴ $f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times - =$

0.0 MPa

- 허용인장응력 :

∴ $f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times - =$

0.0 MPa

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 허용응력 : (보강된 판)

- 가설시 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (80 \times 1 \times 5) = 6.0 \text{ mm} < t = 14 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (44 \times 1 \times 5) = 10.9 \text{ mm} < t = 14 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{㉐ } b/(22 \times i \times n) &= 21.8 \text{ mm} & \text{㉑ } b/(44 \times i \times n) &= 10.9 \text{ mm} & \text{㉒ } b/(80 \times i \times n) &= 6.0 \text{ mm} \\ t &= 14 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -166.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} - \text{합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2514 / (281 \times 1.2) = 7.456 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/37.259)} = 2.111 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ - \text{합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2514 / (281 \times 1.2) = 7.456 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(166.114/95.548)} = 1.319 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 7.456 < t = 12.0 \text{ mm} \quad \therefore 0.K. \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

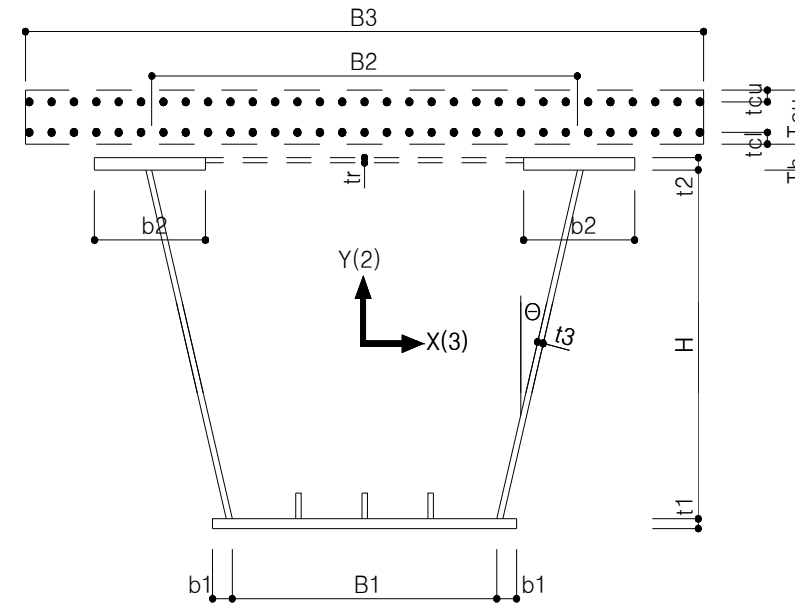
◎ 교변구간 < 단면 18 > 단면위치: 68,1지점 (외측거더)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	-	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, E_c	-	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	0.05833

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2400
		B2	2400
		B3	6300
		H	3168
		t1	18
		t2	24
		t3	16
		tr	0.68
		Tcu	240
		Th	40
		Tcl	0
		b1	100
		b2	500
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

보강리브 제원(mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	500	상부바닥판	6300	n(상부)	7
하부리브	180	16	4	하부플랜지	2583	하부슬래브	0	n'(하부)	0

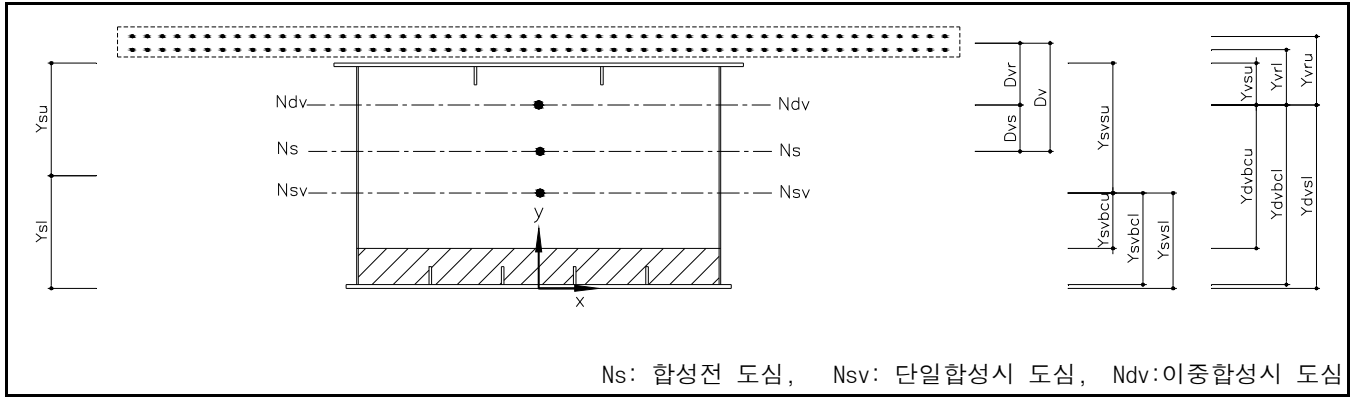
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-4325.7	-12835.0	-5460.4	-14298.0	-483.2	-37402.2
전단력, S (kN)	786.9	1582.8	757.0	1188.3	4.2	4319.3
비틀림, T (kN-m)	-585.4	-684.3	-458.7	-2475.0	-45.7	-4249.14

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	500×24×2	24,000	3,198	7.675.E+07	1.152.E+06	8.526.E+10	8.526.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,168.0×16×2	101,376	1,602	1.624.E+08	8.479.E+10	8.455.E+09	9.324.E+10
하부리브	180×16×4	11,520	108	1.244.E+06	3.110.E+07	1.673.E+10	1.676.E+10
하부플랜지	2582.8×18×1	46,490	9	4.184.E+05	1.255.E+06	7.908.E+10	7.908.E+10
계		183,386		2.408.E+08			2.743.E+11

- 도심 : $y_s = 240818921/183385.9 = 1313.2 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1313.2 - 3210 = -1896.8 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1313.2 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -4,325.7 \times 1000000 \times (-1896.8) / 274343448315.4 = 29.907 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -4,325.7 \times 1000000 \times 1313.2 / 274343448315.4 = -20.706 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
STEEL		183385.9	1313.2	2.41.E+08	2.74.E+11	-	2.74.E+11
계		183385.9		2.41.E+08			2.74.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 240822364/183385.9 = 1313.2 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1313.2 - 3210 = -1896.8 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1313.2 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -12834.99 \times 1000000 \times (-1896.8) / 274343448315.4 = 88.741 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -12834.99 \times 1000000 \times 1313.2 / 274343448315.4 = -61.437 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x100	28650.0					
환산바닥판 철근		28650.0	3336.0	9.558.E+07		8.769.E+10	8.769.E+10
단일합성시		183385.9	1313.2	2.408.E+08	2.743.E+11	1.370.E+10	2.880.E+11
계		212035.9		3.364.E+08			3.757.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.058$

- 도심 : $Ydv = 336398764/212035.9 = 1587 \text{ mm}$

$Atc = 6300 \times 240 = 1512000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1586.5 - 3406 = -1819.5 \text{ mm} \quad Ddvr = 1586.5 - 3336 = -1749.5 \text{ mm}$

$Ydvrc = 1586.5 - 3266 = -1679.5 \text{ mm} \quad Ddvs = 1586.5 - 1313.2 = 273.3 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1586.5 - 3210 = -1623.5 \text{ mm} \quad Ddv = 1749.5 + (273.3) = 2022.8 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1586.5 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -5,460.4 \times 1000000 \times (-1819.5) / (1 \times 375731565834.4) = 26.442 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -5460.355 \times 1000000 \times (-1623.5) / 375731565834.4 = 23.594 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -5460.355 \times 1000000 \times 1586.5 / 375731565834.4 = -23.056 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -14298 \times 1000000 \times (-1819.5) / (1 \times 375731565834.4) = 69.239 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -14298 \times 1000000 \times (-1623.5) / 375731565834.4 = 61.780 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -14298 \times 1000000 \times 1586.5 / 375731565834.4 = -60.372 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -483.2 \times 1000000 \times (-1819.5) / (1 \times 375731565834.4) = 2.340 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -483.2 \times 1000000 \times (-1623.5) / 375731565834.4 = 2.088 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -483.2 \times 1000000 \times 1586.5 / 375731565834.4 = -2.040 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		216000.0	3346.0	7.227.E+08	1.037.E+09	1.882.E+11	1.892.E+11
합성전		183385.9	1313.2	2.408.E+08	2.743.E+11	2.217.E+11	4.960.E+11
계		399385.9		9.636.E+08			6.852.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 963558364/399385.9 = 2412.6 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1512000.0			7.258.E+09		
환산 상부바닥판		108000.0	3346.0	3.614.E+08	5.184.E+08	1.768.E+11	1.773.E+11
합성전		183385.9	1313.2	2.408.E+08	2.743.E+11	1.041.E+11	3.784.E+11
계		291385.9		6.022.E+08			5.557.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

- 도심 : $ydv1 = 602190363.9/291385.9 = 2066.6 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 2412.6 - 3466 = -1053.4 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2412.6 - 3346 = -933.4 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 2412.6 - 3226 = -813.4 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 2066.6 - 3346 = -1279.4 \text{ mm}$

$Yv1su = 2412.6 - 3210 = -797.4 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 291385.9 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 2412.6 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1279.358 \text{ mm}$

$Dvs1 = 2412.6 - 1313.2 = 1099.4 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 753.442 \text{ mm}$

$Dv1 = 933.4 + 1099.4 = 2032.8 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -5460.355 \times 1000000 / (7 \times 685222064906.4) \times (-933.4) \times 1512000 = 1,606,612 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 1606612.3 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 1,606,612 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 1606612.3 \times (-1279.4) / 1000000 = -2055.4 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 1606612.3 / 212035.9 + (0.058) \times (-2055.4) \times 1000000 \times (-1819.5) / 375731565834$
 $= 8.154 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 1606612.3 / 291385.9 + (0.058) \times (-2055.4) \times 1000000 \times (-797.4) / 555735155460.32$
 $= 5.685 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 1606612.3 / 291385.9 + (0.058) \times (-2055.4) \times 1000000 \times 2412.6 / 555735155460.32$
 $= 4.996 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6300x240	1,512,000			7.258.E+09		
환산상부바닥판		72,000	3,346	2.409.E+08	3.456.E+08	1.534.E+11	1.538.E+11
합성전		183,386	1,313	2.408.E+08	2.743.E+11	6.023.E+10	3.346.E+11
계		255,386	-	4.817.E+08			4.883.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 481734363.9 / 255385.9 = 1886.30 \text{ mm}$

$E_{c2} = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$

$Y_{dv2su} = 1886.3 - 3210 = -1323.7 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1886.3 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1512000 = -3,985,198 \text{ N}$

$D_{dv} = 1886.3 - 3346 = -1,460 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 183385.9 + 1512000 / 21 = \text{mm}^2$

$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{c2}/n_2 + A_s) = 2032.8 \times 183385.9 / (1512000 / 21 + 183385.9) = 1,460 \text{ mm}$

$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 2032.8 - 1459.7 = 573 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$

$= [-3985198.1 \times (-1459.7)] / 1000000$

$= 5817.2 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$

$= -3985198.1 / 212035.9 + (0.058) \times 5817.2 \times 1000000 \times (-1819.5) / 375731565834$

$= -20.429 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 255385.9 + (0.058) \times 5817.2 \times 1000000 \times (-1323.7) / 488333109814.499$

$= -16.519 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$

$= -3985198.1 / 255385.9 + (0.058) \times 5817.2 \times 1000000 \times 1886.3 / 488333109814.499$

$= -14.301 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\cdot P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1512000 / 7 = 5313600.0 \text{ N}$$

$$\cdot M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 5313600 \times -933.4 / 1000000 = -4959.7 \text{ kN-m}$$

- 상부철근 응력 :

$$\cdot f_{v3ru} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvru} / I_v - E_s \cdot \epsilon_t$$

$$= 5313600 / 212035.9 + (0.058) \times (-4959.7) \times (-1819.5) / 375731565834.4 - 205000 \times 0.00012$$

$$= 1.853 \text{ MPa}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\cdot f_{v3su} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsu} / I_v$$

$$= 5313600 / 212035.9 + (0.058) \times (-4959.7) \times 1000000 \times (-1623.5) / 375731565834.4 = 26.303 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{v3sl} = P_{tv3} / A_v + k \times M_{v3} \times Y_{dvsl} / I_v$$

$$= 5313600 / 212035.9 + (0.058) \times (-4959.7) \times 1000000 \times 1586.5 / 375731565834.4 = 23.845 \text{ MPa}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\cdot F = 7676639.8 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$$

$$= 786.91 \times 1000 / 101376 + 585.38 \times 1000000 / (2 \times 7676639.8 \times 16) = 10.145 \text{ MPa}$$

2) 단일합성시

$$\cdot F = 7676639.8 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$$

$$= 1582.84 \times 1000 / 101376 + 684.34 \times 1000000 / (2 \times 7676639.8 \times 16) = 18.399 \text{ MPa}$$

3) 이중합성시

$$\cdot F = 7720370.1 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \tau = S / A_w + T / (2 \times F \times t_3)$$

$$= 1945.38 \times 1000 / 101376 + 2933.74 \times 1000000 / (2 \times 7720370.1 \times 16) = 31.065 \text{ MPa}$$

(6) 허용응력검토 (도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : $\therefore f_{rta} = 160.0 \text{ MPa}$

- 허용압축응력 : $\therefore f_{rca} = 180.0 \text{ MPa}$

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1. 항의 15% 증가

- 허용압축응력 :

$$\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times - = 0.0 \text{ MPa}$$

- 허용인장응력 :

$$\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times - = 0.0 \text{ MPa}$$

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 허용응력 : (보강된 판)

- 가설시 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (80 \times 1 \times 5) = 6.0 \text{ mm} & < \quad t = 18 \text{ mm} & \quad \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2400.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2400 / (44 \times 1 \times 5) = 10.9 \text{ mm} & < \quad t = 18 \text{ mm} & \quad \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{㉑ } b/(22 \times i \times n) &= 21.8 \text{ mm} & \text{㉒ } b/(44 \times i \times n) &= 10.9 \text{ mm} & \text{㉓ } b/(80 \times i \times n) &= 6.0 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} & \text{이므로, } \therefore f_{sla1} &= -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -205.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} - \text{합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3168 / (281 \times 1.2) = 9.395 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/82.143)} = 1.583 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ - \text{합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.108) = 3168 / (281 \times 1.108) = 10.175 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(205.733/167.611)} = 1.108 < 1.2 \quad 1.11 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 10.175 < t = 16.0 \text{ mm} \quad \therefore 0.K. \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	40 MPa	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	30891 MPa	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.06619

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2400
		B2	2400
		B3	6300
		H	3466
		t1	22
		t2	24
		t3	16
		tr	0
		Tcu	240
		Th	40
		Tcl	490
		b1	100
		b2	250
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려		Θ=0.000°	
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40
보강리브 제원(mm)			
상부리브	120	12	2
하부리브	220	20	1
유효폭 제원 (mm)			
상부플랜지	2854	상부바닥판	6045
하부플랜지	2554	하부슬래브	2354
		n(상부)	7
		n'(하부)	7

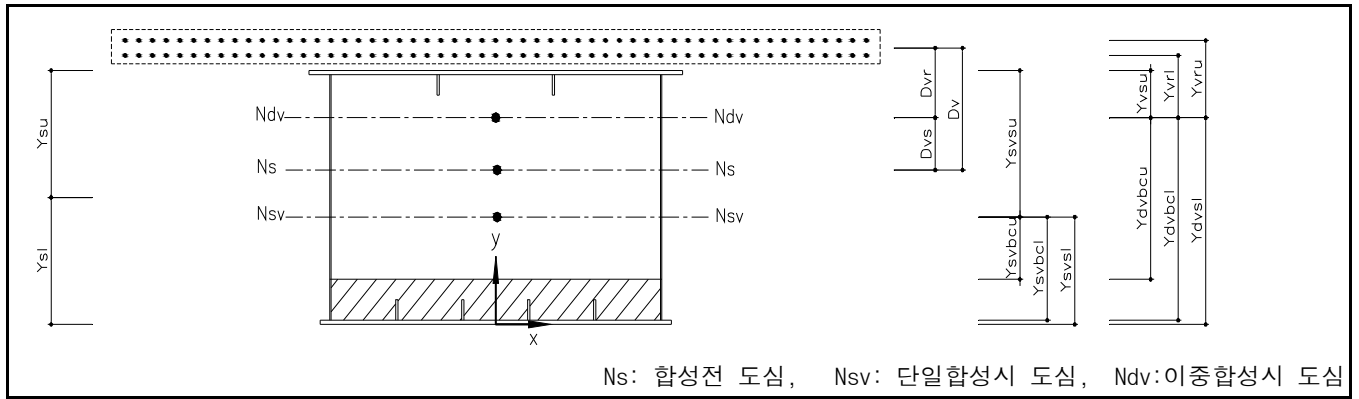
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-12909.8	-28126.6	-12909.1	-21593.3	-511.7	-76050.5
전단력, S (kN)	1168.0	1802.9	895.1	1419.8	1.9	5287.7
비틀림, T (kN-m)	-696.0	-809.8	-484.6	-2749.1	-43.6	-4783.08

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	2853.6×24×1	68,487	3,500	2.397.E+08	3.287.E+06	1.901.E+11	1.901.E+11
상부리브	120×12×2	2,880	3,428	9.873.E+06	3.456.E+06	7.317.E+09	7.320.E+09
복부판	3,466.0×16×2	110,912	1,755	1.947.E+08	1.110.E+11	6.940.E+08	1.117.E+11
하부리브	220×20×1	4,400	132	5.808.E+05	1.775.E+07	1.275.E+10	1.277.E+10
하부플랜지	2553.6×22×1	56,180	11	6.180.E+05	2.266.E+06	1.867.E+11	1.867.E+11
계		242,859		4.454.E+08			5.086.E+11

- 도심 : $y_s = 445427530/242859.3 = 1834.1 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1834.1 - 3512 = -1677.9 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1834.1 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -12,909.8 \times 1000000 \times (-1677.9) / 508611056948.7 = 42.589 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -12,909.8 \times 1000000 \times 1834.1 / 508611056948.7 = -46.554 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
하부콘크리트	2353.6x490	1153281.4			2.31.E+10		
환산 하부콘크리트		164754.5	267.0	4.40.E+07	3.30.E+09	1.44.E+11	1.47.E+11
STEEL		242859.3	1834.1	4.45.E+08	5.09.E+11	9.74.E+10	6.06.E+11
계		407613.8		4.89.E+08			7.53.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 489417694/407613.8 = 1200.7 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1200.7 - 512 = 688.7 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1200.7 - 3512 = -2311.3 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1200.7 - 22 = 1178.7 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1200.7 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1200.7 - 267 = 933.7 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -28126.59 \times 1000000 \times 688.7 / (7 \times 752973855559.7) = -3.675 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -28126.59 \times 1000000 \times 1178.7 / (7 \times 752973855559.7) = -6.290 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -28126.59 \times 1000000 \times (-2311.3) / 752973855559.7 = 86.336 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -28126.59 \times 1000000 \times 1200.7 / 752973855559.7 = -44.851 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x96	27504.0					
환산바닥판 철근		27504.0	3638.0	1.001.E+08		1.434.E+11	1.434.E+11
단일합성시		407613.8	1200.7	4.894.E+08	7.530.E+11	9.680.E+09	7.627.E+11
계		435117.8		5.895.E+08			9.060.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.066$

- 도심 : $Ydv = 589481442/435117.8 = 1355 \text{ mm}$
 $Atc = 6045.3 \times 240 = 1450864 \text{ mm}^2$
 $Abc = 2353.6 \times 490 = 1153281 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7$ $n' = 7$

$Ydvru = 1354.8 - 3708 = -2353.2 \text{ mm}$ $Ddvr = 1354.8 - 3638 = -2283.2 \text{ mm}$
 $YdvrcI = 1354.8 - 3568 = -2213.2 \text{ mm}$ $Ddvbc = 1354.8 - 267 = 1221.3 \text{ mm}$
 $Ydvbcu = 1354.8 - 512 = 842.8 \text{ mm}$ $Ddvs = 1354.8 - 1834.1 = -479.3 \text{ mm}$
 $YdvbcI = 1354.8 - 22 = 1332.8 \text{ mm}$ $Ddv = 2283.2 + (-479.3) = 1803.9 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1354.8 - 3500 = -2145.2 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1354.8 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -12,909.1 \times 1000000 \times (-2353.2) / (1 \times 906031796630.7) = 33.528 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -12,909.1 \times 1000000 \times 842.8 / (7 \times 906031796630.7) = -1.715 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -12,909.1 \times 1000000 \times 1332.8 / (7 \times 906031796630.7) = -2.713 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12909.13 \times 1000000 \times (-2145.2) / 906031796630.7 = 30.565 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12909.13 \times 1000000 \times 1354.8 / 906031796630.7 = -19.303 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -21593.3 \times 1000000 \times (-2353.2) / (1 \times 906031796630.7) = 56.083 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -21593.3 \times 1000000 \times 842.8 / (7 \times 906031796630.7) = -2.869 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -21593.3 \times 1000000 \times 1332.8 / (7 \times 906031796630.7) = -4.538 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -21593.3 \times 1000000 \times (-2145.2) / 906031796630.7 = 51.126 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -21593.3 \times 1000000 \times 1354.8 / 906031796630.7 = -32.289 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -511.7 \times 1000000 \times (-2353.2) / (1 \times 906031796630.7) = 1.329 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -511.7 \times 1000000 \times 842.8 / (7 \times 906031796630.7) = -0.068 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -511.7 \times 1000000 \times 1332.8 / (7 \times 906031796630.7) = -0.108 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -511.7 \times 1000000 \times (-2145.2) / 906031796630.7 = 1.212 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -511.7 \times 1000000 \times 1354.8 / 906031796630.7 = -0.765 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

- 단일합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
하부콘크리트	2353.6x490	1153281.4			2.308.E+10	1.928.E+12	1.951.E+12
환산 하부콘크리트		128142.4	267.0	3.421.E+07	3.296.E+09	1.348.E+11	1.381.E+11
합성전		242859.3	1834.1	4.454.E+08	5.086.E+11	7.116.E+10	5.798.E+11
계		371001.7		4.796.E+08			7.179.E+11

$$\begin{aligned} \text{- 탄성계수비: } n_1-60' &= n' \times (1 + \Phi_1 (60,30)/2) = 7 \times (1 + 0.468/2) = 9 \\ \Phi_1 (60,30) &= \mathbf{0.468} \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수}) \end{aligned}$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv1} = 479642257/371001.7 = 1292.8 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1292.8 - 512 = 780.8 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1292.8 - 3500 = -2207.2 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1292.8 - 22 = 1270.8 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1292.8 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1292.8 - 267 = 1025.8 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\begin{aligned} \cdot N_{bc} &= M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc} \\ &= -28126.59 \times 1000000 / (7 \times 752973855559.7) \times (933.7) \times 1153281.4 = -5,746,214 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -5746213.9 \times 2 \times 0.468 / (2 + 0.468) = -2,179,277 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \cdot M_{v1} &= P_{bv1} \times D_{svbc1} \\ &= -2179277.2 \times 1025.8 / 1000000 = -2235.5 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1-60' \times (P_{bv1}/A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu}/I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30)/(1+\Phi_1 (60,30)/2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-2179277/371002 + (-0.066) \times (-2235.5) \times 1000000 \times 781/717906497620) - 0.468/(1+0.468/2) \times (-3.675) \\ &= 0.759 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1-60' \times ((P_{tv1}+P_{bv1})/A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl}/I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30)/(1+\Phi_1 (60,30)/2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-2179277/371002 + (-0.066) \times (-2235.5) \times 1000000 \times 1271/717906497620) - 0.468/(1+0.468/2) \times (-6.29) \\ &= 1.762 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1} \\ &= -2179277.2 / 371001.7 + (-0.066) \times (-2235.5) \times 1000000 \times (-2207.2) / 717906497619.715 \\ &= -6.328 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1sl} &= +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1} \\ &= -2179277.2 / 371001.7 + (-0.066) \times (-2235.5) \times 1000000 \times 1292.8 / 717906497619.715 \\ &= -5.608 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6045.3x240	1450863.8			6.964.E+09		
환산 상부바닥판		207266.3	3648.0	7.561.E+08	9.949.E+08	5.456.E+11	5.466.E+11
하부콘크리트	2353.6x490	1153281.4			2.308.E+10		
환산 하부콘크리트		164754.5	267.0	4.399.E+07	3.296.E+09	5.095.E+11	5.128.E+11
합성전		242859.3	1834.1	4.454.E+08	5.086.E+11	8.906.E+09	5.175.E+11
계		614880.0		1.246.E+09			1.577.E+12

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $yv1 = 1245524996/614880 = 2025.6 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6045.3x240	1450863.8			6.964.E+09		
환산 상부바닥판		103633.1	3648.0	3.781.E+08	4.974.E+08	3.100.E+11	3.105.E+11
하부콘크리트	2353.6x490	1153281.4			2.308.E+10	4.245.E+12	4.268.E+12
환산 하부콘크리트		96106.8	267.0	2.566.E+07	3.296.E+09	2.621.E+11	2.654.E+11
합성전		242859.3	1834.1	4.454.E+08	5.086.E+11	1.730.E+09	5.103.E+11
계		442599.2		8.491.E+08			1.086.E+12

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

$n1' = n' \times (1 + \phi_1' / 2) = 7 \times (1 + 1.53 / 2) = 12$

$\phi_1' = \phi_1 - \phi_1'(60,30) = 2.00 - 0.47 = 1.53$

- 도심 : $ydv1 = 849142406.3/442599.2 = 1918.5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 Ydv1tcu &= 1918.5 - 3768 = -1849.5 \text{ mm} & Ddvtc &= 2025.6 - 3648 = -1622.4 \text{ mm} \\
 Ydv1tcl &= 1918.5 - 3528 = -1609.5 \text{ mm} & Ddvbc &= 2025.6 - 267 = 1758.6 \text{ mm} \\
 Ydv1bcu &= 1918.5 - 512 = 1406.5 \text{ mm} & Ddvtc1 &= 1918.5 - 3648 = -1729.5 \text{ mm} \\
 Ydv1bcl &= 1918.5 - 22 = 1896.5 \text{ mm} & Ddvbc1 &= 1918.5 - 267 = 1651.5 \text{ mm} \\
 Ydv1su &= 1918.5 - 3500 = -1581.5 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 346492.4 \text{ mm}^2 \\
 Ydv1sl &= 1918.5 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1271.377 \text{ mm} \\
 Dvs1 &= 2025.6 - 1834.1 = 191.5 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 542.523 \text{ mm} \\
 Dv1 &= 1622.4 + 191.5 = 1813.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= -12909.13 \times 1000000 / (7 \times 1576902963965) \times (-1622.4) \times 1450863.8 = 2,752,825 \text{ N}$

· $Nbc = Md3 / (n' \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= -12909.13 \times 1000000 / (7 \times 1576902963965) \times (1758.6) \times 1153281.4 = -2,371,900 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \phi_1 / (2 + \phi_1) = 2752824.6 \times 2 \times 2 / (2+2) = 2,752,825 \text{ N}$

· $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \phi_1' / (2 + \phi_1') = -2371899.7 \times 2 \times 1.53 / (2+1.53) = -2,056,094 \text{ N}$

· $Mv1 = Ptv1 \times Ddvtc1 + Pbv1 \times Ddvbc1$
 $= 2752824.6 \times (-1729.5) / 1000000 + -2056094.4 \times 1651.5 / 1000000 = -8156.7 \text{ kN-m}$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (2752824.6 + -2056094.4) / 442599.2 + (-0.066) \times (-8156.7) \times 1000000 \times (-2353.2) / 1086245926469 \\ &= 0.408 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2752824.6 + -2056094) / 442599 + (-0.066) \times (-8156.7) \times 1000000 \times 1407 / 1086245926469) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.713) \\ &= 2.541 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2752824.6 + -2056094) / 442599 + (-0.066) \times (-8156.7) \times 1000000 \times 1897 / 1086245926469) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.713) \\ &= 2.561 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (2752824.6 + -2056094.4) / 442599.2 + (-0.066) \times (-8156.7) \times 1000000 \times (-1581.5) / 1086245926468.71 \\ &= 0.790 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (2752824.6 + -2056094.4) / 442599.2 + (-0.066) \times (-8156.7) \times 1000000 \times 1918.5 / 1086245926468.71 \\ &= 2.525 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

- 단일합성시

구분	단면	A_{v1} (mm ²)	y (mm)	$A_{v1} \cdot y$ (mm ³)	I_x (mm ⁴)	A_{d^2} (mm ⁴)	I_{v1} (mm ⁴)
하부콘크리트	2353.6x490	1153281.4			2.308.E+10	2.039.E+12	2.062.E+12
환산 하부콘크리트		115328.1	267.0	3.079.E+07	3.296.E+09	1.302.E+11	1.335.E+11
합성전		242859.3	1834.1	4.454.E+08	5.086.E+11	6.184.E+10	5.704.E+11
계		358187.4		4.762.E+08			7.039.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n_1' \times (1 + \Phi_2(60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.936 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1'(60,30) = 0.936$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s(60,30) = 0.000011$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 476220855.5 / 358187.4 = 1329.5 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1329.5 - 512 = 817.5 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1329.5 - 3500 = -2170.5 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1329.5 - 22 = 1307.5 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1329.5 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1329.5 - 267 = 1062.5 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s(60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.000011 \times 1153281.4 = -260,065 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1329.5 - 267 = 1,063 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-260065) \times 1062.5 / 1000000 \\ &= -276.3 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-260065) / 358187 + (-0.066) \times -276 \times 1000000 \times 818 / 703939294417 - 20500 \times (-0.000011) \\ &= 0.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-260065) / 358187 + (-0.066) \times -276 \times 1000000 \times 1308 / 703939294417 - 20500 \times (-0.000011) \\ &= 0.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -260065 / 358187.4 + (-0.066) \times -276.3 \times 1000000 \times (-2170.5) / 703939294416.506 \\ &= -0.782 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -260065 / 358187.4 + (-0.066) \times -276.3 \times 1000000 \times 1329.5 / 703939294416.506 \\ &= -0.692 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6045.3x240	1450863.8			6.964.E+09		
환산상부바닥판	0.000	69088.8	3648.0	2.520.E+08	3.316.E+08	2.013.E+11	2.016.E+11
하부콘크리트	2353.6x490	1153281.4			2.308.E+10	4.345.E+12	4.368.E+12
환산 하부콘크리트		54918.2	267.0	1.466.E+07	1.099.E+09	1.539.E+11	1.550.E+11
합성전		242859.3	1834.1	4.454.E+08	5.086.E+11	2.780.E+09	5.114.E+11
계		366866.2	0.0	7.121.E+08			8.680.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$n_2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$\text{- 도심 : } y_{dv2} = 712127160 / 366866.2 = 1941.10 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 1941.1 - 512 = 1429.1 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 1941.1 - 3500 = -1558.9 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 1941.1 - 22 = 1919.1 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 1941.1 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1450863.8 = -3,824,061 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1153281.4 = -3,039,719 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 1941.1 - 3648 = -1,707 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 1941.1 - 267 = 1,674 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 242859.3 + 1450863.8 / 21 + 1153281.4 / 21 = 366,866 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{c}/n_2 + A_s) = 1813.9 \times 242859.3 / (1450863.8 / 21 + 242859.3) = 1,412 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1813.9 - 1412.2 = 402 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot Mv2 &= Ptv2 \times Ddv + Pbv2 \times Ddvbc \\ &= [-3824060.6 \times (-1706.9) + (-3039718.8) \times 1674.1] / 1000000 \\ &= 1438.5 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv2ru &= ((Ptv2+Pbv2) / Av + k \times Mv2 \times Ydvru / Iv) \\ &= (-3824060.6 + (-3039718.8)) / 435117.8 + (-0.066) \times 1438.5 \times 1000000 \times (-2353.2) / 906031796631 \\ &= -15.528 \text{ MPa} \\ \cdot fv2bcu &= 1/n^1 \times ((Ptv2+Pbv2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2bcu / Idv2) - Ec^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3824061-3039719) / 366866 + (-0.066) \times 1439 \times 1000000 \times 1429 / 868026840046) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \\ \cdot fv2bcl &= 1/n^1 \times ((Ptv2+Pbv2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2bcl / Idv2) - Ec^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3824061-3039719) / 366866 + (-0.066) \times 1439 \times 1000000 \times 1919 / 868026840046) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv2su &= (Ptv2+Pbc2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2su / Idv2 \\ &= (-3824060.6 + (-3039718.8)) / 366866.2 + (-0.066) \times 1438.5 \times 1000000 \times (-1558.9) / 868026840046.422 \\ &= -18.539 \text{ MPa} \\ \cdot fv2sl &= (Ptv2+Pbc2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2sl / Idv2 \\ &= (-3824060.6 + (-3039718.8)) / 366866.2 + (-0.066) \times 1438.5 \times 1000000 \times 1941.1 / 868026840046.422 \\ &= -18.922 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot Ptv3 &= Es \times \alpha \times \Delta t \times Atc / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1450863.8 / 7 = 5,098,750 \text{ N} \\ \cdot Mv3 &= Ptv3 \times Ddvr = 5098749.9 \times -1622.4 / 1000000 = -8,272 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv3ru &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Ydvru / Iv - Es \times \epsilon_t \\ &= 5098749.9 / 435117.8 + (-0.066) \times (-8272.2) \times (-2353.2) / 906031796630.7 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -14.300 \text{ MPa} \\ \cdot fv3bcu &= 1/n^1 \times (Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Yv3bcu / Iv) - Ec^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (5098749.9 / 435117.8 + (-0.066) \times (-8272.2) \times 842.8 / 906031796630.7) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.000 \text{ MPa} \\ \cdot fv3bcl &= 1/n^1 \times (Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Yv3bcl / Iv) - Ec^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (5098749.9 / 435117.8 + (-0.066) \times (-8272.2) \times 1000000 \times 1332.8 / 906031796630.7) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -1.900 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv3su &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Ydvsu / Iv \\ &= 5098749.9 / 435117.8 + (-0.066) \times (-8272.2) \times 1000000 \times (-2145.2) / 906031796630.7 = 10.425 \text{ MPa} \\ \cdot fv3sl &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times YdvsI / Iv \\ &= 5098749.9 / 435117.8 + (-0.066) \times (-8272.2) \times 1000000 \times 1354.8 / 906031796630.7 = 12.534 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8429424.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1167.99 \times 1000 / 110912 + 696.01 \times 1000000 / (2 \times 8429424 \times 16) = 13.111 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8528619.5 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1802.89 \times 1000 / 110912 + 809.81 \times 1000000 / (2 \times 8528619.5 \times 16) = 19.222 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8572349.8 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 2314.89 \times 1000 / 110912 + 3233.68 \times 1000000 / (2 \times 8572349.8 \times 16) = 32.660 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

$$\begin{aligned} - \text{허용인장응력} : & \quad \therefore f_{rta} = 160.0 \text{ MPa} \\ - \text{허용압축응력} : & \quad \therefore f_{rca} = 180.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

$$\begin{aligned} - \text{허용압축응력} : & \quad \therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 40 = -16.0 \text{ MPa} \\ - \text{허용인장응력} : & \quad \therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 40 = 2.8 \text{ MPa} > 2.5 \text{ MPa} \\ & \quad \text{이므로, } 2.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 합성전 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 2 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (80 \times 1 \times 2) = 15.0 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 허용응력

$$\textcircled{a} \ b/(22 \times i \times n) = 54.5 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \ b/(44 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \ b/(80 \times i \times n) = 15.0 \text{ mm}$$

$$t = 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[220,000 \times ((t \times i \times n) / b)^2] = -73.9 \text{ MPa}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 4 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (44 \times 1 \times 4) = 13.6 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성후 허용응력

$$\textcircled{a} \ b/(22 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \ b/(44 \times i \times n) = 13.6 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \ b/(80 \times i \times n) = 7.5 \text{ mm}$$

$$t = 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla2} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -202.6 \text{ MPa}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3466 / (281 \times 1.2) = 10.279$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/91.405)} = 1.489 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.162) = 3466 / (281 \times 1.162) = 10.615$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(202.582/150.062)} = 1.162 < 1.2 \quad 1.16 \text{ 적용}$

$$\therefore t_{\min} = 10.615 < t = 16.0 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

6) 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		RE-BAR		CONCRETE		STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	42.6	287.5	-46.6	-92.4
	2	-	-	-6.3	-16.0	128.9	230.0	-91.4	-202.6
	3	90.9	160.0	-11.7	-16.0	204.7	230.0	-150.1	-202.6
	4	75.8	160.0	-7.4	-16.0	187.0	230.0	-172.1	-202.6
	5	61.5	184.0	-9.3	-18.4	197.4	264.5	-159.5	-233.0
	6	90.1	184.0	-5.5	-18.4	176.5	264.5	-184.6	-233.0
허용전단응력		(허용응력 확증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)_max							
합성응력 검토		(f/fa) ² + (τ/τa) ²							

7) 합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
전단응력	1	-	-	0.148	0.504	13.111	168.8	0.08	0.26
	2	-	0.393	0.561	0.451	32.333	135.0	0.24	0.37
	3	0.568	0.730	0.890	0.741	64.993	135.0	0.48	1.02
	4	0.474	0.464	0.813	0.849	64.993	135.0	0.48	0.95
	5	0.334	0.507	0.746	0.685	64.993	155.3	0.42	0.73
	6	0.490	0.300	0.667	0.792	64.993	155.3	0.42	0.80

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

1) 항복응력 :

- | | | |
|-------------------|------------------------------|-----------|
| - 철근 : | $f_y =$ | 400.0 MPa |
| - 하부콘크리트 : | $f_{cy} = 3 / 5 \times 40 =$ | 24.0 MPa |
| - 강재 : (HSB500) | $f_y =$ | 380.0 MPa |

2) 극한하중 하중조합 :

힘응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

3) 극한하중 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		RE-BAR		CONCRETE		STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨 응력	1	134.7	400.0	-17.14	-24.0	302.8	380.0	-223.5	-380.0
	2	163.3	400.0	-13.34	-24.0	282.0	380.0	-248.6	-380.0
	3	149.9	400.0	-21.40	-24.0	320.6	380.0	-207.1	-380.0
	4	149.7	400.0	-17.60	-24.0	299.7	380.0	-232.2	-380.0
최대 항복응력비		$(f/f_y)_{max} = 0.892 < 1.0 \therefore 0.K.$							

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	40 MPa	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	30891 MPa	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.15345

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3700
t1	28
t2	40
t3	18
tr	0
Tcu	240
Th	40
Tcl	600
b1	100
b2	250
피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^{\circ}$

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	120	12	2	상부플랜지	2793	상부바닥판	5888	n(상부)	7
하부리브	280	20	1	하부플랜지	2493	하부슬래브	2293	n'(하부)	7

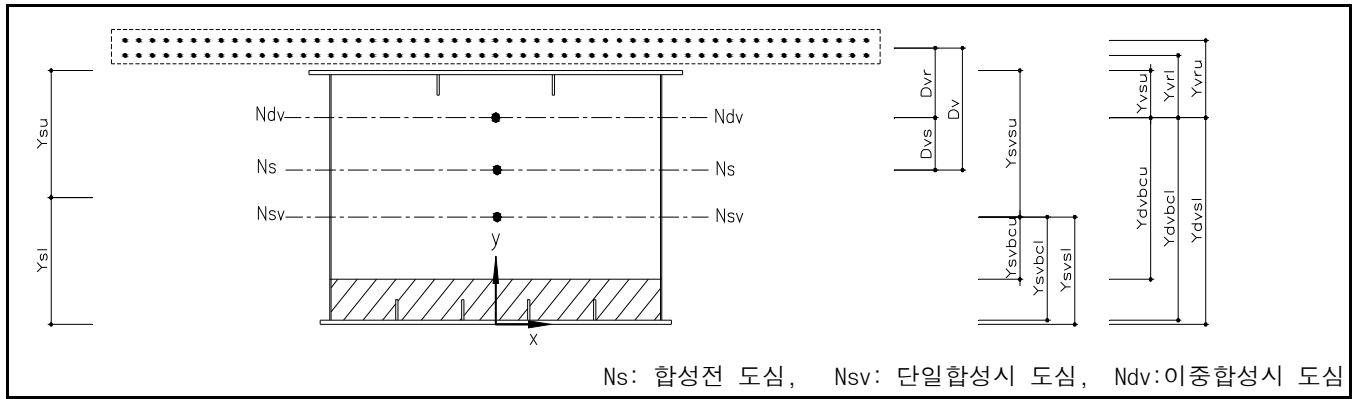
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-21454.0	-40537.8	-18652.2	-29820.9	-707.4	-111172.2
전단력, S (kN)	1776.3	2380.4	1100.6	1890.7	17.2	7165.2
비틀림, T (kN-m)	-652.4	-872.9	-267.8	-3560.6	-27.9	-5381.57

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	2793.4×40×1	111,735	3,748	4.188.E+08	1.490.E+07	3.005.E+11	3.005.E+11
상부리브	120×12×2	2,880	3,668	1.056.E+07	3.456.E+06	7.008.E+09	7.011.E+09
복부판	3,700.0×18×2	133,200	1,878	2.501.E+08	1.520.E+11	7.052.E+09	1.590.E+11
하부리브	280×20×1	5,600	168	9.408.E+05	3.659.E+07	2.108.E+10	2.111.E+10
하부플랜지	2493.4×28×1	69,815	14	9.774.E+05	4.561.E+06	3.062.E+11	3.062.E+11
계		323,230		6.814.E+08			7.938.E+11

- 도심 : $y_s = 681415176 / 323229.9 = 2108.1 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 2108.1 - 3768 = -1659.9 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 2108.1 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -21,454.0 \times 1000000 \times (-1659.9) / 793798707658 = 44.862 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -21,454.0 \times 1000000 \times 2108.1 / 793798707658 = -56.976 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
하부콘크리트	2293.4x600	1376028.7			4.13.E+10		
환산 하부콘크리트		196575.5	328.0	6.45.E+07	5.90.E+09	2.41.E+11	2.47.E+11
STEEL		323229.9	2108.1	6.81.E+08	7.94.E+11	1.46.E+11	9.40.E+11
계		519805.4		7.46.E+08			1.19.E+12

- 도심 : $y_{sv} = 745877716 / 519805.4 = 1434.9 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1434.9 - 628 = 806.9 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1434.9 - 3768 = -2333.1 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1434.9 - 28 = 1406.9 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1434.9 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1434.9 - 328 = 1106.9 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -40537.75 \times 1000000 \times 806.9 / (7 \times 1187032925509) = -3.937 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -40537.75 \times 1000000 \times 1406.9 / (7 \times 1187032925509) = -6.864 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -40537.75 \times 1000000 \times (-2333.1) / 1187032925509 = 79.676 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -40537.75 \times 1000000 \times 1434.9 / 1187032925509 = -49.003 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x94	26931.0					
환산바닥판 철근		26931.0	3878.0	1.044.E+08		1.453.E+11	1.453.E+11
단일합성시		519805.4	1434.9	7.459.E+08	1.187.E+12	7.523.E+09	1.195.E+12
계		546736.4		8.503.E+08			1.340.E+12

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.153$

- 도심 : $Y_{dv} = 850307186/546736.4 = 1555 \text{ mm}$

$A_{tc} = 5888.4 \times 240 = 1413218 \text{ mm}^2$

$A_{bc} = 2293.4 \times 600 = 1376029 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $n_s = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 7$

$Y_{dvru} = 1555.2 - 3948 = -2392.8 \text{ mm} \quad D_{dvr} = 1555.2 - 3878 = -2322.8 \text{ mm}$

$Y_{dvrcI} = 1555.2 - 3808 = -2252.8 \text{ mm} \quad D_{dvbc} = 1555.2 - 328 = 1391.2 \text{ mm}$

$Y_{dvbcu} = 1555.2 - 628 = 927.2 \text{ mm} \quad D_{dvs} = 1555.2 - 2108.1 = -552.9 \text{ mm}$

$Y_{dvbcI} = 1555.2 - 28 = 1527.2 \text{ mm} \quad D_{dv} = 2322.8 + (-552.9) = 1769.9 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 1555.2 - 3748 = -2192.8 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 1555.2 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot f_{dvru} = M_d3 \times Y_{dvru} / (n_s \times I_v) = -18,652.2 \times 1000000 \times (-2392.8) / (1 \times 1339859109131) = 33.310 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcu} = M_d3 \times Y_{dvbcu} / (n' \times I_v) = -18,652.2 \times 1000000 \times 927.2 / (7 \times 1339859109131) = -1.844 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcI} = M_d3 \times Y_{dvbcI} / (n' \times I_v) = -18,652.2 \times 1000000 \times 1527.2 / (7 \times 1339859109131) = -3.037 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = -18652.18 \times 1000000 \times (-2192.8) / 1339859109131 = 30.526 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = -18652.18 \times 1000000 \times 1555.2 / 1339859109131 = -21.650 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot f_{dvru} = M_d3 \times Y_{dvru} / (n_s \times I_v) = -29820.9 \times 1000000 \times (-2392.8) / (1 \times 1339859109131) = 53.256 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcu} = M_d3 \times Y_{dvbcu} / (n' \times I_v) = -29820.9 \times 1000000 \times 927.2 / (7 \times 1339859109131) = -2.948 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcI} = M_d3 \times Y_{dvbcI} / (n' \times I_v) = -29820.9 \times 1000000 \times 1527.2 / (7 \times 1339859109131) = -4.856 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = -29820.9 \times 1000000 \times (-2192.8) / 1339859109131 = 48.805 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = -29820.9 \times 1000000 \times 1555.2 / 1339859109131 = -34.614 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot f_{dvru} = M_d3 \times Y_{dvru} / (n_s \times I_v) = -707.4 \times 1000000 \times (-2392.8) / (1 \times 1339859109131) = 1.263 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcu} = M_d3 \times Y_{dvbcu} / (n' \times I_v) = -707.4 \times 1000000 \times 927.2 / (7 \times 1339859109131) = -0.070 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvbcI} = M_d3 \times Y_{dvbcI} / (n' \times I_v) = -707.4 \times 1000000 \times 1527.2 / (7 \times 1339859109131) = -0.115 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = -707.4 \times 1000000 \times (-2192.8) / 1339859109131 = 1.158 \text{ MPa}$

$\cdot f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = -707.4 \times 1000000 \times 1555.2 / 1339859109131 = -0.821 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

- 단일 합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
하부콘크리트	2293.4x600	1376028.7			4.128.E+10	3.249.E+12	3.290.E+12
환산 하부콘크리트		152892.1	328.0	5.015.E+07	5.897.E+09	2.233.E+11	2.292.E+11
합성전		323229.9	2108.1	6.814.E+08	7.938.E+11	1.056.E+11	8.994.E+11
계		476122.0		7.315.E+08			1.129.E+12

$$\begin{aligned} \text{- 탄성계수비: } n_1-60' &= n' \times (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.461 / 2) = 9 \\ \Phi_1 (60,30) &= \mathbf{0.461} \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수}) \end{aligned}$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv1} = 731549553.7 / 476122 = 1536.5 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1536.5 - 628 = 908.5 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1536.5 - 3748 = -2211.5 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1536.5 - 28 = 1508.5 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1536.5 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1536.5 - 328 = 1208.5 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\begin{aligned} \cdot N_{bc} &= M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc} \\ &= -40537.75 \times 1000000 / (7 \times 1187032925509) \times (1106.9) \times 1376028.7 = -7,430,785 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -7430785.3 \times 2 \times 0.461 / (2 + 0.461) = -2,783,903 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \cdot M_{v1} &= P_{bv1} \times D_{svbc1} \\ &= -2783902.5 \times 1208.5 / 1000000 = -3364.3 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1-60' \times (P_{bv1}/A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu}/I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30)/2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-2783903/476122 + (-0.153) \times (-3364.3) \times 1000000 \times 909 / 1128598403819) - 0.461 / (1 + 0.461/2) \times (-3.937) \\ &= 0.871 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1-60' \times ((P_{tv1} + P_{bv1})/A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl}/I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30)/2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-2783903/476122 + (-0.153) \times (-3364.3) \times 1000000 \times 1509 / 1128598403819) - 0.461 / (1 + 0.461/2) \times (-6.864) \\ &= 1.998 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1} \\ &= -2783902.5 / 476122 + (-0.153) \times (-3364.3) \times 1000000 \times (-2211.5) / 1128598403819.29 \\ &= -6.856 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1sl} &= +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1} \\ &= -2783902.5 / 476122 + (-0.153) \times (-3364.3) \times 1000000 \times 1536.5 / 1128598403819.29 \\ &= -5.146 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	5888.4x240	1413218.4			6.783.E+09		
환산 상부바닥판		201888.3	3888.0	7.849.E+08	9.691.E+08	6.303.E+11	6.313.E+11
하부콘크리트	2293.4x600	1376028.7			4.128.E+10		
환산 하부콘크리트		196575.5	328.0	6.448.E+07	5.897.E+09	6.320.E+11	6.379.E+11
합성전		323229.9	2108.1	6.814.E+08	7.938.E+11	5.463.E+07	7.939.E+11
계		721693.8		1.531.E+09			2.063.E+12

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $yv1 = 1530819602/721693.8 = 2121.1 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	5888.4x240	1413218.4			6.783.E+09		
환산 상부바닥판		100944.2	3888.0	3.925.E+08	4.845.E+08	3.363.E+11	3.368.E+11
하부콘크리트	2293.4x600	1376028.7			4.128.E+10	5.855.E+12	5.896.E+12
환산 하부콘크리트		114669.1	328.0	3.761.E+07	5.897.E+09	3.451.E+11	3.510.E+11
합성전		323229.9	2108.1	6.814.E+08	7.938.E+11	6.662.E+08	7.945.E+11
계		538843.1		1.111.E+09			1.482.E+12

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

$n1' = n' \times (1 + \Phi_1' / 2) = 7 \times (1 + 1.54 / 2) = 12$

$\Phi_1' = \Phi_1 - \Phi_1'(60,30) = 2.00 - 0.46 = 1.54$

- 도심 : $ydv1 = 1111483341.8/538843.1 = 2062.7 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 Ydv1tcu &= 2062.7 - 4008 = -1945.3 \text{ mm} & Ddvtc &= 2121.1 - 3888 = -1766.9 \text{ mm} \\
 Ydv1tcl &= 2062.7 - 3768 = -1705.3 \text{ mm} & Ddvbc &= 2121.1 - 328 = 1793.1 \text{ mm} \\
 Ydv1bcu &= 2062.7 - 628 = 1434.7 \text{ mm} & Ddvtc1 &= 2062.7 - 3888 = -1825.3 \text{ mm} \\
 Ydv1bcl &= 2062.7 - 28 = 2034.7 \text{ mm} & Ddvbc1 &= 2062.7 - 328 = 1734.7 \text{ mm} \\
 Ydv1su &= 2062.7 - 3748 = -1685.3 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 424174.1 \text{ mm}^2 \\
 Ydv1sl &= 2062.7 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1356.323 \text{ mm} \\
 Dvs1 &= 2121.1 - 2108.1 = 13.0 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 423.577 \text{ mm} \\
 Dv1 &= 1766.9 + 13 = 1779.9 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= -18652.18 \times 1000000 / (7 \times 2063033205750.4) \times (-1766.9) \times 1413218.4 = 3,225,125 \text{ N}$

· $Nbc = Md3 / (n' \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= -18652.18 \times 1000000 / (7 \times 2063033205750.4) \times (1793.1) \times 1376028.7 = -3,186,819 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 3225125.3 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 3,225,125 \text{ N}$

· $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1' / (2 + \Phi_1') = -3186818.6 \times 2 \times 1.54 / (2 + 1.54) = -2,772,712 \text{ N}$

· $Mv1 = Ptv1 \times Ddvtc1 + Pbv1 \times Ddvbc1$
 $= 3225125.3 \times (-1825.3) / 1000000 + -2772712.2 \times 1734.7 / 1000000 = -10696.6 \text{ kN-m}$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (3225125.3 + -2772712.2) / 538843.1 + (-0.153) \times (-10696.6) \times 1000000 \times (-2392.8) / 1482224764084 \\ &= -1.802 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((3225125.3 + -2772712.2) / 538843.1 + (-0.153) \times (-10696.6) \times 1000000 \times 1435 / 1482224764084) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-3.037) \\ &= 2.844 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((3225125.3 + -2772712.2) / 538843.1 + (-0.153) \times (-10696.6) \times 1000000 \times 2035 / 1482224764084) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-3.037) \\ &= 2.900 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (3225125.3 + -2772712.2) / 538843.1 + (-0.153) \times (-10696.6) \times 1000000 \times (-1685.3) / 1482224764083.75 \\ &= -1.021 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (3225125.3 + -2772712.2) / 538843.1 + (-0.153) \times (-10696.6) \times 1000000 \times 2062.7 / 1482224764083.75 \\ &= 3.117 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

- 단일합성시

구분	단면	A_{v1} (mm^2)	y (mm)	$A_{v1} \cdot y$ (mm^3)	I_x (mm^4)	A_{d^2} (mm^4)	I_{v1} (mm^4)
하부콘크리트	2293.4x600	1376028.7			4.128.E+10	3.420.E+12	3.462.E+12
환산 하부콘크리트		137602.9	328.0	4.513.E+07	5.897.E+09	2.145.E+11	2.204.E+11
합성전		323229.9	2108.1	6.814.E+08	7.938.E+11	9.131.E+10	8.851.E+11
계		460832.8		7.265.E+08			1.106.E+12

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n_1' \times (1 + \Phi_2(60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.922 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1'(60,30) = 0.922$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s(60,30) = 0.000009$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 726534693.6 / 460832.8 = 1576.6 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1576.6 - 628 = 948.6 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1576.6 - 3748 = -2171.4 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1576.6 - 28 = 1548.6 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1576.6 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1576.6 - 328 = 1248.6 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s(60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.000009 \times 1376028.7 = -253,877 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1576.6 - 328 = 1,249 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-253877.3) \times 1248.6 / 1000000 \\ &= -317.0 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-253877) / 460833 + (-0.153) \times -317 \times 1000000 \times 949 / 1105529059414 - 20500 \times (-0.000009) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-253877) / 460833 + (-0.153) \times -317 \times 1000000 \times 1549 / 1105529059414 - 20500 \times (-0.000009) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -253877.3 / 460832.8 + (-0.153) \times -317 \times 1000000 \times (-2171.4) / 1105529059413.76 \\ &= -0.646 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -253877.3 / 460832.8 + (-0.153) \times -317 \times 1000000 \times 1576.6 / 1105529059413.76 \\ &= -0.482 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이종합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	5888.4x240	1413218.4			6.783.E+09		
환산상부바닥판	0.000	67296.1	3888.0	2.616.E+08	3.230.E+08	2.115.E+11	2.119.E+11
하부콘크리트	2293.4x600	1376028.7			4.128.E+10	6.155.E+12	6.197.E+12
환산 하부콘크리트		65525.2	328.0	2.149.E+07	1.966.E+09	2.092.E+11	2.112.E+11
합성전		323229.9	2108.1	6.814.E+08	7.938.E+11	1.539.E+07	7.938.E+11
계		456051.2	0.0	9.645.E+08			1.217.E+12

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$n_2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$\text{- 도심: } y_{dv2} = 964540502.3 / 456051.2 = 2115.00 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 2115 - 628 = 1487.0 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 2115 - 3748 = -1633.0 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 2115 - 28 = 2087.0 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 2115.0 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1413218.4 = -3,724,838 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1376028.7 = -3,626,817 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 2115 - 3888 = -1,773 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 2115 - 328 = 1,787 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 323229.9 + 1413218.4 / 21 + 1376028.7 / 21 = 456,051 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{c}/n_2 + A_s) = 1779.9 \times 323229.9 / (1413218.4 / 21 + 323229.9) = 1,473 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1779.9 - 1473.2 = 307 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_v2 &= P_{tv2} \times D_{dv} + P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= [-3724838.1 \times (-1773) + (-3626816.7) \times 1787] / 1000000 \\ &= 123.0 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2ru} &= ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_v + k \times M_v2 \times Y_{dvru} / I_v) \\ &= (-3724838.1 + (-3626816.7)) / 546736.4 + (-0.153) \times 123 \times 1000000 \times (-2392.8) / 1339859109131 \\ &= -13.413 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcu} &= 1/n^1 \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcu} / I_{dv2}) - E_c^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3724838 - 3626817) / 456051 + (-0.153) \times 123 \times 1000000 \times 1487 / 1216896226520) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.9 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcl} &= 1/n^1 \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcl} / I_{dv2}) - E_c^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3724838 - 3626817) / 456051 + (-0.153) \times 123 \times 1000000 \times 2087 / 1216896226520) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2su} / I_{dv2} \\ &= (-3724838.1 + (-3626816.7)) / 456051.2 + (-0.153) \times 123 \times 1000000 \times (-1633) / 1216896226519.68 \\ &= -16.095 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2sl} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2sl} / I_{dv2} \\ &= (-3724838.1 + (-3626816.7)) / 456051.2 + (-0.153) \times 123 \times 1000000 \times 2115 / 1216896226519.68 \\ &= -16.153 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot P_{tv3} &= E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1413218.4 / 7 = 4,966,453 \text{ N} \\ \cdot M_v3 &= P_{tv3} \times D_{dvr} = 4966453.2 \times -1766.9 / 1000000 = -8,775 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3ru} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvru} / I_v - E_s \times \epsilon_t \\ &= 4966453.2 / 546736.4 + (-0.153) \times (-8775.2) \times (-2392.8) / 1339859109131 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -17.914 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcu} &= 1/n^1 \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcu} / I_v) - E_c^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (4966453.2 / 546736.4 + (-0.153) \times (-8775.2) \times 927.2 / 1339859109131) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.300 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcl} &= 1/n^1 \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcl} / I_v) - E_c^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (4966453.2 / 546736.4 + (-0.153) \times (-8775.2) \times 1000000 \times 1527.2 / 1339859109131) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.200 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsu} / I_v \\ &= 4966453.2 / 546736.4 + (-0.153) \times (-8775.2) \times 1000000 \times (-2192.8) / 1339859109131 = 6.887 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsI} / I_v \\ &= 4966453.2 / 546736.4 + (-0.153) \times (-8775.2) \times 1000000 \times 1555.2 / 1339859109131 = 10.642 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 9028812.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1776.31 \times 1000 / 133200 + 652.41 \times 1000000 / (2 \times 9028812 \times 18) = 15.343 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 9150376.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 2380.39 \times 1000 / 133200 + 872.9 \times 1000000 / (2 \times 9150376.4 \times 18) = 20.521 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 9194142.9 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 2991.27 \times 1000 / 133200 + 3828.37 \times 1000000 / (2 \times 9194142.9 \times 18) = 34.023 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : $\therefore f_{rta} = 160.0 \text{ MPa}$
- 허용압축응력 : $\therefore f_{rca} = 180.0 \text{ MPa}$

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	$0.4f_{ck}$
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

- 허용압축응력 :
 $\therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 40 = -16.0 \text{ MPa}$
- 허용인장응력 :
 $\therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 40 = 2.8 \text{ MPa}$
이므로, 2.5 MPa

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 합성전 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 2 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (80 \times 1 \times 2) = 15.0 \text{ mm} < t = 28 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 허용응력

$$\textcircled{a} \ b/(22 \times i \times n) = 54.5 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \ b/(44 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \ b/(80 \times i \times n) = 15.0 \text{ mm}$$

$$t = 28 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -121.5 \text{ MPa}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 4 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (44 \times 1 \times 4) = 13.6 \text{ mm} < t = 28 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성후 허용응력

$$\textcircled{a} \ b/(22 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \ b/(44 \times i \times n) = 13.6 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \ b/(80 \times i \times n) = 7.5 \text{ mm}$$

$$t = 28 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla2} = -[f_{sua1}] = -230.0 \text{ MPa}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3700 / (281 \times 1.2) = 10.973$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/105.979)} = 1.473 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.168) = 3700 / (281 \times 1.168) = 11.273$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/168.692)} = 1.168 < 1.2 \quad 1.17 \text{ 적용}$

$$\therefore t_{\min} = 11.273 < t = 18.0 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

6) 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

(1) 설계조건

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수(ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수(ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	40 MPa	온도변화(Δt)	10
하부콘크리트, Ec	30891 MPa	온도팽창율(α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율(ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.15488

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

단면제원 (mm)	
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3468
t1	22
t2	28
t3	16
tr	0
Tcu	240
Th	40
Tcl	530
b1	100
b2	250
피복두께(mm)	
tcu	60
tcl	40

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

$\Theta=0.000^\circ$

보강리브 제원(mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	120	12	2	상부플랜지	2828	상부바닥판	6005	n(상부)	7
하부리브	220	20	1	하부플랜지	2528	하부슬래브	2328	n'(하부)	7

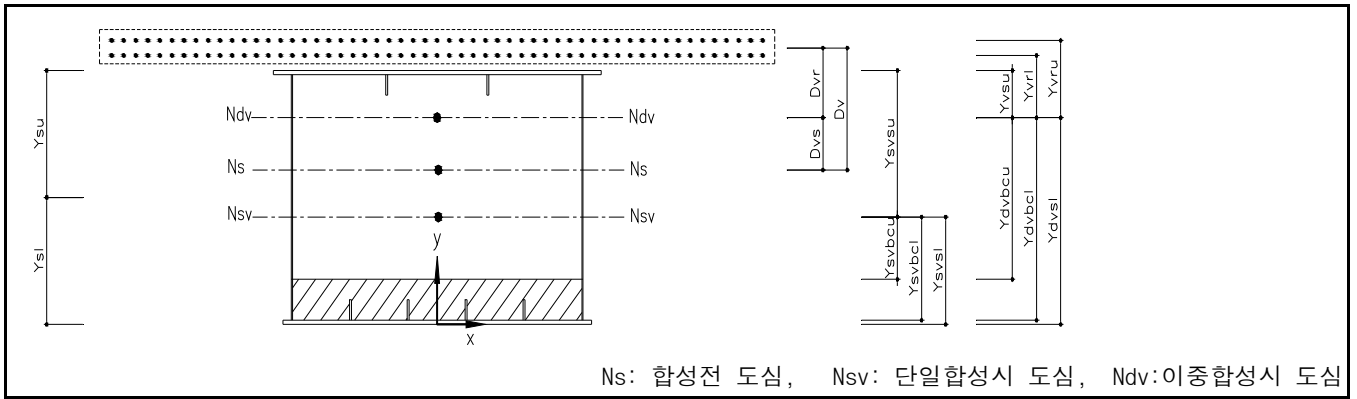
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-14565.6	-30631.4	-14320.5	-22570.1	-473.5	-82561.0
전단력, S (kN)	-1145.8	-1695.2	-813.3	-1418.9	-8.9	-5082.0
비틀림, T (kN-m)	-255.7	-472.0	8.0	-1957.1	-6.9	-2683.77

※ DL1 = 강재+하부콘크리트 자중, DL2 = 상부바닥판 자중, DL3 = 2차 고정하중

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	2827.8×28×1	79,179	3,504	2.774.E+08	5.173.E+06	2.011.E+11	2.011.E+11
상부리브	120×12×2	2,880	3,430	9.878.E+06	3.456.E+06	6.651.E+09	6.655.E+09
복부판	3,468.0×16×2	110,976	1,756	1.949.E+08	1.112.E+11	2.642.E+09	1.139.E+11
하부리브	220×20×1	4,400	132	5.808.E+05	1.775.E+07	1.391.E+10	1.393.E+10
하부플랜지	2527.8×22×1	55,612	11	6.117.E+05	2.243.E+06	2.006.E+11	2.006.E+11
계		253,047		4.834.E+08			5.362.E+11

- 도심 : $y_s = 483388004/253047 = 1910.3 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1910.3 - 3518 = -1607.7 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1910.3 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -14,565.6 \times 1000000 \times (-1607.7) / 536178930569.2 = 43.674 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -14,565.6 \times 1000000 \times 1910.3 / 536178930569.2 = -51.894 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
하부콘크리트	2327.8×530	1233744.6			2.89.E+10		
환산 하부콘크리트		176249.2	287.0	5.06.E+07	4.13.E+09	1.61.E+11	1.65.E+11
STEEL		253047.0	1910.3	4.83.E+08	5.36.E+11	1.12.E+11	6.49.E+11
계		429296.2		5.34.E+08			8.14.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 533979204/429296.2 = 1243.8 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1243.8 - 552 = 691.8 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1243.8 - 3518 = -2274.2 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1243.8 - 22 = 1221.8 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1243.8 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1243.8 - 287 = 956.8 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -30631.43 \times 1000000 \times 691.8 / (7 \times 814063931402.2) = -3.719 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -30631.43 \times 1000000 \times 1221.8 / (7 \times 814063931402.2) = -6.568 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -30631.43 \times 1000000 \times (-2274.2) / 814063931402.2 = 85.573 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -30631.43 \times 1000000 \times 1243.8 / 814063931402.2 = -46.801 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x96	27504.0					
환산바닥판 철근		27504.0	3640.0	1.001.E+08		1.395.E+11	1.395.E+11
단일합성시		429296.2	1243.8	5.340.E+08	8.141.E+11	8.939.E+09	8.230.E+11
계		456800.2		6.341.E+08			9.625.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.155$

- 도심 : $Ydv = 634073174/456800.2 = 1388 \text{ mm}$

$Atc = 6004.6 \times 240 = 1441100 \text{ mm}^2$

$Abc = 2327.8 \times 530 = 1233745 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 7$

$Ydvru = 1388.1 - 3710 = -2321.9 \text{ mm} \quad Ddvr = 1388.1 - 3640 = -2251.9 \text{ mm}$

$Ydvrci = 1388.1 - 3570 = -2181.9 \text{ mm} \quad Ddvbc = 1388.1 - 287 = 1244.6 \text{ mm}$

$Ydvbcu = 1388.1 - 552 = 836.1 \text{ mm} \quad Ddvs = 1388.1 - 1910.3 = -522.2 \text{ mm}$

$Ydvbci = 1388.1 - 22 = 1366.1 \text{ mm} \quad Ddv = 2251.9 + (-522.2) = 1729.7 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1388.1 - 3504 = -2115.9 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1388.1 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -14,320.5 \times 1000000 \times (-2321.9) / (1 \times 962477205723.2) = 34.547 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -14,320.5 \times 1000000 \times 836.1 / (7 \times 962477205723.2) = -1.777 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -14,320.5 \times 1000000 \times 1366.1 / (7 \times 962477205723.2) = -2.904 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -14320.52 \times 1000000 \times (-2115.9) / 962477205723.2 = 31.482 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -14320.52 \times 1000000 \times 1388.1 / 962477205723.2 = -20.653 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -22570.1 \times 1000000 \times (-2321.9) / (1 \times 962477205723.2) = 54.449 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -22570.1 \times 1000000 \times 836.1 / (7 \times 962477205723.2) = -2.801 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -22570.1 \times 1000000 \times 1366.1 / (7 \times 962477205723.2) = -4.576 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -22570.1 \times 1000000 \times (-2115.9) / 962477205723.2 = 49.618 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -22570.1 \times 1000000 \times 1388.1 / 962477205723.2 = -32.551 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -473.5 \times 1000000 \times (-2321.9) / (1 \times 962477205723.2) = 1.142 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -473.5 \times 1000000 \times 836.1 / (7 \times 962477205723.2) = -0.059 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -473.5 \times 1000000 \times 1366.1 / (7 \times 962477205723.2) = -0.096 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -473.5 \times 1000000 \times (-2115.9) / 962477205723.2 = 1.041 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -473.5 \times 1000000 \times 1388.1 / 962477205723.2 = -0.683 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

- 단일합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
하부콘크리트	2327.8x530	1233744.6			2.888.E+10	2.215.E+12	2.244.E+12
환산 하부콘크리트		137082.7	287.0	3.934.E+07	4.126.E+09	1.520.E+11	1.561.E+11
합성전		253047.0	1910.3	4.834.E+08	5.362.E+11	8.233.E+10	6.185.E+11
계		390129.7		5.227.E+08			7.746.E+11

$$- \text{탄성계수비: } n_1 - 60' = n' \times (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.465 / 2) = 9$$

$$\Phi_1' (60,30) = 0.465 \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수})$$

$$- \text{도심: } y_{sv1} = 522738428.6 / 390129.7 = 1339.9 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1339.9 - 552 = 787.9 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1339.9 - 3504 = -2164.1 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1339.9 - 22 = 1317.9 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1339.9 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1339.9 - 287 = 1052.9 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\begin{aligned} \cdot N_{bc} &= M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc} \\ &= -30631.43 \times 1000000 / (7 \times 814063931402.2) \times (956.8) \times 1233744.6 = -6,345,373 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -6345372.9 \times 2 \times 0.465 / (2 + 0.465) = -2,393,995 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \cdot M_{v1} &= P_{bv1} \times D_{svbc1} \\ &= -2393994.6 \times 1052.9 / 1000000 = -2520.6 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcu} &= 1 / n_1 - 60' \times (P_{bv1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1 / 9 \times (-2393995 / 390130 + (-0.155) \times (-2520.6) \times 1000000 \times 788 / 774604731710) - 0.465 / (1 + 0.465 / 2) \times (-3.719) \\ &= 0.765 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcl} &= 1 / n_1 - 60' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1 / 9 \times (-2393995 / 390130 + (-0.155) \times (-2520.6) \times 1000000 \times 1318 / 774604731710) - 0.465 / (1 + 0.465 / 2) \times (-6.568) \\ &= 1.870 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1} \\ &= -2393994.6 / 390129.7 + (-0.155) \times (-2520.6) \times 1000000 \times (-2164.1) / 774604731710.365 \\ &= -7.228 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1sl} &= +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1} \\ &= -2393994.6 / 390129.7 + (-0.155) \times (-2520.6) \times 1000000 \times 1339.9 / 774604731710.365 \\ &= -5.461 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6004.6x240	1441100.3			6.917.E+09		
환산 상부바닥판		205871.5	3650.0	7.514.E+08	9.882.E+08	5.445.E+11	5.455.E+11
하부콘크리트	2327.8x530	1233744.6			2.888.E+10		
환산 하부콘크리트		176249.2	287.0	5.058.E+07	4.126.E+09	5.316.E+11	5.357.E+11
합성전		253047.0	1910.3	4.834.E+08	5.362.E+11	3.254.E+09	5.394.E+11
계		635167.7		1.285.E+09			1.621.E+12

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $yv1 = 1285410084/635167.7 = 2023.7 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6004.6x240	1441100.3			6.917.E+09		
환산 상부바닥판		102935.7	3650.0	3.757.E+08	4.941.E+08	3.021.E+11	3.026.E+11
하부콘크리트	2327.8x530	1233744.6			2.888.E+10	4.628.E+12	4.657.E+12
환산 하부콘크리트		102812.1	287.0	2.951.E+07	4.126.E+09	2.799.E+11	2.840.E+11
합성전		253047.0	1910.3	4.834.E+08	5.362.E+11	1.790.E+08	5.364.E+11
계		458794.8		8.886.E+08			1.123.E+12

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

$n1' = n' \times (1 + \Phi_1' / 2) = 7 \times (1 + 1.54 / 2) = 12$

$\Phi_1' = \Phi_1 - \Phi_1'(60,30) = 2.00 - 0.47 = 1.54$

- 도심 : $ydv1 = 888618177.8/458794.8 = 1936.9 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 Ydv1tcu &= 1936.9 - 3770 = -1833.1 \text{ mm} & Ddvtc &= 2023.7 - 3650 = -1626.3 \text{ mm} \\
 Ydv1tcl &= 1936.9 - 3530 = -1593.1 \text{ mm} & Ddvbc &= 2023.7 - 287 = 1736.7 \text{ mm} \\
 Ydv1bcu &= 1936.9 - 552 = 1384.9 \text{ mm} & Ddvtc1 &= 1936.9 - 3650 = -1713.1 \text{ mm} \\
 Ydv1bcl &= 1936.9 - 22 = 1914.9 \text{ mm} & Ddvbc1 &= 1936.9 - 287 = 1649.9 \text{ mm} \\
 Ydv1su &= 1936.9 - 3504 = -1567.1 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 355982.7 \text{ mm}^2 \\
 Ydv1sl &= 1936.9 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1236.649 \text{ mm} \\
 Dvs1 &= 2023.7 - 1910.3 = 113.4 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 503.051 \text{ mm} \\
 Dv1 &= 1626.3 + 113.4 = 1739.7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= -14320.52 \times 1000000 / (7 \times 1620636434172.1) \times (-1626.3) \times 1441100.3 = 2,958,489 \text{ N}$

· $Nbc = Md3 / (n' \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= -14320.52 \times 1000000 / (7 \times 1620636434172.1) \times (1736.7) \times 1233744.6 = -2,704,738 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 2958489.4 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 2,958,489 \text{ N}$

· $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1' / (2 + \Phi_1') = -2704738.1 \times 2 \times 1.54 / (2 + 1.54) = -2,353,275 \text{ N}$

· $Mv1 = Ptv1 \times Ddvtc1 + Pbv1 \times Ddvbc1$
 $= 2958489.4 \times (-1713.1) / 1000000 + -2353275 \times 1649.9 / 1000000 = -8950.9 \text{ kN-m}$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (2958489.4 + -2353275) / 458794.8 + (-0.155) \times (-8950.9) \times 1000000 \times (-2321.9) / 1122936346599 \\ &= -1.550 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2958489.4 + -2353275) / 458795 + (-0.155) \times (-8950.9) \times 1000000 \times 1385 / 1122936346599) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.904) \\ &= 2.779 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2958489.4 + -2353275) / 458795 + (-0.155) \times (-8950.9) \times 1000000 \times 1915 / 1122936346599) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.904) \\ &= 2.834 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (2958489.4 + -2353275) / 458794.8 + (-0.155) \times (-8950.9) \times 1000000 \times (-1567.1) / 1122936346599.1 \\ &= -0.617 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (2958489.4 + -2353275) / 458794.8 + (-0.155) \times (-8950.9) \times 1000000 \times 1936.9 / 1122936346599.1 \\ &= 3.712 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

- 단일합성시

구분	단면	A_{v1} (mm ²)	y (mm)	$A_{v1} \cdot y$ (mm ³)	I_x (mm ⁴)	A_{d^2} (mm ⁴)	I_{v1} (mm ⁴)
하부콘크리트	2327.8x530	1233744.6			2.888.E+10	2.344.E+12	2.373.E+12
환산 하부콘크리트		123374.5	287.0	3.541.E+07	4.126.E+09	1.469.E+11	1.511.E+11
합성전		253047.0	1910.3	4.834.E+08	5.362.E+11	7.162.E+10	6.078.E+11
계		376421.5		5.188.E+08			7.589.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n' \times (1 + \Phi_2(60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.93 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1'(60,30) = 0.930$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s(60,30) = 0.000010$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 518804154.1 / 376421.5 = 1378.3 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1378.3 - 552 = 826.3 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1378.3 - 3504 = -2125.7 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1378.3 - 22 = 1356.3 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1378.3 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1378.3 - 287 = 1091.3 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s(60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.00001 \times 1233744.6 = -252,918 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1378.3 - 287 = 1,091 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-252917.6) \times 1091.3 / 1000000 \\ &= -276.0 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-252918) / 376422 + (-0.155) \times -276 \times 1000000 \times 826 / 758854053056 - 20500 \times (-0.00001) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-252918) / 376422 + (-0.155) \times -276 \times 1000000 \times 1356 / 758854053056 - 20500 \times (-0.00001) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -252917.6 / 376421.5 + (-0.155) \times -276 \times 1000000 \times (-2125.7) / 758854053055.534 \\ &= -0.792 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -252917.6 / 376421.5 + (-0.155) \times -276 \times 1000000 \times 1378.3 / 758854053055.534 \\ &= -0.594 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6004.6x240	1441100.3			6.917.E+09		
환산상부바닥판	0.000	68623.8	3650.0	2.505.E+08	3.294.E+08	1.929.E+11	1.932.E+11
하부콘크리트	2327.8x530	1233744.6			2.888.E+10	4.805.E+12	4.833.E+12
환산 하부콘크리트		58749.7	287.0	1.686.E+07	1.375.E+09	1.671.E+11	1.685.E+11
합성전		253047.0	1910.3	4.834.E+08	5.362.E+11	1.008.E+09	5.372.E+11
계		380420.6	0.0	7.507.E+08			8.989.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$n_2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$\text{- 도심 : } y_{dv2} = 750733817.2 / 380420.6 = 1973.40 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 1973.4 - 552 = 1421.4 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 1973.4 - 3504 = -1530.6 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 1973.4 - 22 = 1951.4 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 1973.4 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1441100.3 = -3,798,327 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1233744.6 = -3,251,797 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 1973.4 - 3650 = -1,677 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 1973.4 - 287 = 1,686 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 253047 + 1441100.3 / 21 + 1233744.6 / 21 = 380,421 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_c/n_2 + A_s) = 1739.7 \times 253047 / (1441100.3 / 21 + 253047) = 1,369 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1739.7 - 1368.6 = 371 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot Mv2 &= Ptv2 \times Ddv + Pbv2 \times Ddvbc \\ &= [-3798326.8 \times (-1676.6) + (-3251796.7) \times 1686.4] / 1000000 \\ &= 884.4 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv2ru &= ((Ptv2+Pbv2) / Av + k \times Mv2 \times Ydvru / Iv) \\ &= (-3798326.8 + (-3251796.7)) / 456800.2 + (-0.155) \times 884.4 \times 1000000 \times (-2321.9) / 962477205723 \\ &= -15.103 \text{ MPa} \\ \cdot fv2bcu &= 1/n^1 \times ((Ptv2+Pbv2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2bcu / Idv2) - Ec^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3798327-3251797) / 380421 + (-0.155) \times 884 \times 1000000 \times 1421 / 898872843102) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \\ \cdot fv2bcl &= 1/n^1 \times ((Ptv2+Pbv2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2bcl / Idv2) - Ec^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3798327-3251797) / 380421 + (-0.155) \times 884 \times 1000000 \times 1951 / 898872843102) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv2su &= (Ptv2+Pbc2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2su / Idv2 \\ &= (-3798326.8 + (-3251796.7)) / 380420.6 + (-0.155) \times 884.4 \times 1000000 \times (-1530.6) / 898872843101.893 \\ &= -18.299 \text{ MPa} \\ \cdot fv2sl &= (Ptv2+Pbc2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2sl / Idv2 \\ &= (-3798326.8 + (-3251796.7)) / 380420.6 + (-0.155) \times 884.4 \times 1000000 \times 1973.4 / 898872843101.893 \\ &= -18.833 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot Ptv3 &= Es \times \alpha \times \Delta t \times Atc / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1441100.3 / 7 = 5,064,438 \text{ N} \\ \cdot Mv3 &= Ptv3 \times Ddvr = 5064438.2 \times -1626.3 / 1000000 = -8,236 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv3ru &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Ydvru / Iv - Es \times \epsilon_t \\ &= 5064438.2 / 456800.2 + (-0.155) \times (-8236.3) \times (-2321.9) / 962477205723.2 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -16.593 \text{ MPa} \\ \cdot fv3bcu &= 1/n^1 \times (Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Yv3bcu / Iv) - Ec^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (5064438.2 / 456800.2 + (-0.155) \times (-8236.3) \times 836.1 / 962477205723.2) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.000 \text{ MPa} \\ \cdot fv3bcl &= 1/n^1 \times (Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Yv3bcl / Iv) - Ec^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (5064438.2 / 456800.2 + (-0.155) \times (-8236.3) \times 1000000 \times 1366.1 / 962477205723.2) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -1.900 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv3su &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Ydvsu / Iv \\ &= 5064438.2 / 456800.2 + (-0.155) \times (-8236.3) \times 1000000 \times (-2115.9) / 962477205723.2 = 8.280 \text{ MPa} \\ \cdot fv3sl &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times YdvsI / Iv \\ &= 5064438.2 / 456800.2 + (-0.155) \times (-8236.3) \times 1000000 \times 1388.1 / 962477205723.2 = 12.928 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8439088.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1145.77 \times 1000 / 110976 + 255.75 \times 1000000 / (2 \times 8439088 \times 16) = 11.272 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8546381.1 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1695.15 \times 1000 / 110976 + 472 \times 1000000 / (2 \times 8546381.1 \times 16) = 17.001 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8590111.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 2232.2 \times 1000 / 110976 + 1949.1 \times 1000000 / (2 \times 8590111.4 \times 16) = 27.205 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

$$\begin{aligned} - \text{허용인장응력} : & \quad \therefore f_{rta} = 160.0 \text{ MPa} \\ - \text{허용압축응력} : & \quad \therefore f_{rca} = 180.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4f _{ck}
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

$$\begin{aligned} - \text{허용압축응력} : & \quad \therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 40 = -16.0 \text{ MPa} \\ - \text{허용인장응력} : & \quad \therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 40 = 2.8 \text{ MPa} > 2.5 \text{ MPa} \\ & \quad \text{이므로, } 2.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 합성전 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 2 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (80 \times 1 \times 2) = 15.0 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 허용응력

$$\textcircled{a} \quad b/(22 \times i \times n) = 54.5 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \quad b/(44 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \quad b/(80 \times i \times n) = 15.0 \text{ mm}$$

$$t = 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[220,000 \times ((t \times i \times n) / b)^2] = -73.9 \text{ MPa}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 4 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (44 \times 1 \times 4) = 13.6 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성후 허용응력

$$\textcircled{a} \quad b/(22 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \quad b/(44 \times i \times n) = 13.6 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \quad b/(80 \times i \times n) = 7.5 \text{ mm}$$

$$t = 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla2} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -202.6 \text{ MPa}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3468 / (281 \times 1.2) = 10.285$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/98.695)} = 1.433 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.13) = 3468 / (281 \times 1.13) = 10.922$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(202.582/158.637)} = 1.130 < 1.2 \quad 1.13 \text{ 적용}$

$$\therefore t_{\min} = 10.922 < t = 16.0 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

6) 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		RE-BAR		CONCRETE		STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	43.7	287.5	-51.9	-92.4
	2	-	-	-6.6	-16.0	129.2	230.0	-98.7	-202.6
	3	90.1	160.0	-12.2	-16.0	203.4	230.0	-158.6	-202.6
	4	73.5	160.0	-7.6	-16.0	184.5	230.0	-179.2	-202.6
	5	56.9	184.0	-9.5	-18.4	192.7	264.5	-166.3	-233.0
	6	90.1	184.0	-5.7	-18.4	176.2	264.5	-192.1	-233.0
허용전단응력		(허용응력 확증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)_max							
합성응력 검토		(f/fa) ² + (τ/τa) ²							

7) 합성응력검토

구분		상부바닥판	하부콘크리트	상부플랜지	하부플랜지	전단응력	허용전단응력	전단응력비	합성응력검토
전단응력	1	-	-	0.152	0.561	11.272	168.8	0.07	0.32
	2	-	0.411	0.562	0.487	28.273	135.0	0.21	0.36
	3	0.563	0.761	0.884	0.783	55.478	135.0	0.41	0.95
	4	0.459	0.478	0.802	0.885	55.478	135.0	0.41	0.95
	5	0.309	0.518	0.729	0.714	55.478	155.3	0.36	0.66
	6	0.490	0.312	0.666	0.825	55.478	155.3	0.36	0.81

(7) 항복에 대한 안전도 검사

(도.설.기 3.9.3.2)

1) 항복응력 :

- | | | |
|-------------------|------------------------------|-----------|
| - 철근 : | $f_y =$ | 400.0 MPa |
| - 하부콘크리트 : | $f_{cy} = 3 / 5 \times 40 =$ | 24.0 MPa |
| - 강재 : (HSB500) | $f_y =$ | 380.0 MPa |

2) 극한하중 하중조합 :

힘응력조합	계수하중 하중조합
1	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
2	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차 +1.0 x (건조수축+크리프)
3	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) + 1.0 x 온도차
4	1.3 x (고정하중) + 2.15 x (활하중) - 1.0 x 온도차

3) 극한하중 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		RE-BAR		CONCRETE		STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨 응력	1	128.7	400.0	-17.55	-24.0	297.0	380.0	-233.4	-380.0
	2	161.9	400.0	-13.75	-24.0	280.4	380.0	-259.2	-380.0
	3	145.4	400.0	-22.08	-24.0	315.9	380.0	-218.3	-380.0
	4	147.6	400.0	-18.28	-24.0	299.3	380.0	-244.1	-380.0
최대 항복응력비		$(f/f_y)_{max} = 0.920 < 1.0 \therefore 0.K.$							

상부바닥판, fck	27 MPa	크리프계수 (ϕ_1)	2
상부바닥판, Ec	27804 MPa	건조수축계수 (ϕ_2)	4
하부콘크리트, fck	40 MPa	온도변화 (Δt)	10
하부콘크리트, Ec	30891 MPa	온도팽창율 (α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율 (ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, Es	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.15470

단면제원 (mm)

단면제원 (mm)	단면제원 (mm)
B1	2400
B2	2400
B3	6300
H	3109
t1	22
t2	28
t3	16
tr	0
Tcu	240
Th	40
Tcl	470
b1	100
b2	250
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

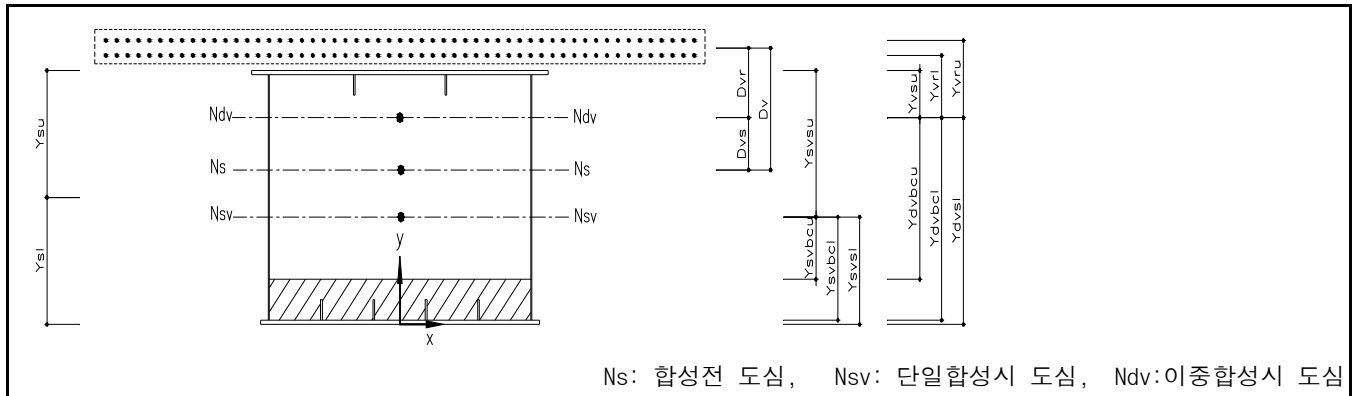
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)			
상부리브	0	0	0	상부플랜지	2847	상부바닥판	6088
하부리브	220	20	1	하부플랜지	2547	하부슬래브	2347

구 분	합성전	단일 합성	이중 합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-10602.2	-24327.1	-11310.8	-18436.0	-439.3	-65115.4
전단력, S (kN)	-916.6	-1574.6	-748.0	-1325.5	-8.9	-4573.5
비틀림, T (kN-m)	-255.7	-471.7	-81.0	-1937.5	-6.9	-2752.96

※ LL = 차량활하중 + 풍하중, SET = 지점침하

(4) 휨응력 산정



1) 합성전 : (DL1)

구분	단면	As (mm ²)	y (mm)	As · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Is (mm ⁴)
상부플랜지	2847.2×28×1	79,720	3,145	2.507.E+08	5.208.E+06	1.651.E+11	1.652.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	0.000.E+00	0.000.E+00	0.000.E+00	0.000.E+00
복부판	3,109.0×16×2	99,488	1,577	1.568.E+08	8.014.E+10	1.661.E+09	8.180.E+10
하부리브	220×20×1	4,400	132	5.808.E+05	1.775.E+07	1.090.E+10	1.091.E+10
하부플랜지	2547.2×22×1	56,037	11	6.164.E+05	2.260.E+06	1.609.E+11	1.609.E+11
계		239,646		4.088.E+08			4.188.E+11

- 도심 : $y_s = 408760071/239645.5 = 1705.7 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1705.7 - 3159 = -1453.3 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1705.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -10,602.2 \times 1000000 \times (-1453.3) / 418805978245.3 = 36.791 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -10,602.2 \times 1000000 \times 1705.7 / 418805978245.3 = -43.180 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
하부콘크리트	2347.2x470	1103161.1			2.03.E+10		
환산 하부콘크리트		157594.4	257.0	4.05.E+07	2.90.E+09	1.20.E+11	1.23.E+11
STEEL		239645.5	1705.7	4.09.E+08	4.19.E+11	7.92.E+10	4.98.E+11
계		397239.9		4.49.E+08			6.21.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 449265090/397239.9 = 1131.0 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1131 - 492 = 639.0 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1131 - 3159 = -2028.0 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1131 - 22 = 1109.0 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1131.0 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1131 - 257 = 874.0 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -24327.12 \times 1000000 \times 639 / (7 \times 621239746419.3) = -3.575 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -24327.12 \times 1000000 \times 1109 / (7 \times 621239746419.3) = -6.204 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -24327.12 \times 1000000 \times (-2028) / 621239746419.3 = 79.414 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -24327.12 \times 1000000 \times 1131 / 621239746419.3 = -44.289 \text{ MPa}$

3) 이중합성 : (DL3, LL, SET)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Isv (mm ⁴)
상부바닥판 철근	H19x96	27504.0					
환산바닥판 철근		27504.0	3281.0	9.024.E+07		1.112.E+11	1.112.E+11
단일합성시		397239.9	1131.0	4.493.E+08	6.212.E+11	7.697.E+09	6.289.E+11
계		424743.9		5.395.E+08			7.401.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.155$

- 도심 : $Ydv = 539518951/424743.9 = 1270 \text{ mm}$
 $Atc = 6087.6 \times 240 = 1461016 \text{ mm}^2$
 $Abc = 2347.2 \times 470 = 1103161 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7$ $n' = 7$

$Ydvru = 1270.2 - 3351 = -2080.8 \text{ mm}$ $Ddvr = 1270.2 - 3281 = -2010.8 \text{ mm}$
 $Ydvrci = 1270.2 - 3211 = -1940.8 \text{ mm}$ $Ddvbc = 1270.2 - 257 = 1141.7 \text{ mm}$
 $Ydvbcu = 1270.2 - 492 = 778.2 \text{ mm}$ $Ddvs = 1270.2 - 1705.7 = -435.5 \text{ mm}$
 $Ydvbci = 1270.2 - 22 = 1248.2 \text{ mm}$ $Ddv = 2010.8 + (-435.5) = 1575.3 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1270.2 - 3145 = -1874.8 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1270.2 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -11,310.8 \times 1000000 \times (-2080.8) / (1 \times 740144301822.3) = 31.798 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -11,310.8 \times 1000000 \times 778.2 / (7 \times 740144301822.3) = -1.699 \text{ MPa}$
· $fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -11,310.8 \times 1000000 \times 1248.2 / (7 \times 740144301822.3) = -2.725 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -11310.76 \times 1000000 \times (-1874.8) / 740144301822.3 = 28.650 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -11310.76 \times 1000000 \times 1270.2 / 740144301822.3 = -19.411 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -18436 \times 1000000 \times (-2080.8) / (1 \times 740144301822.3) = 51.830 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -18436 \times 1000000 \times 778.2 / (7 \times 740144301822.3) = -2.769 \text{ MPa}$
· $fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -18436 \times 1000000 \times 1248.2 / (7 \times 740144301822.3) = -4.442 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -18436 \times 1000000 \times (-1874.8) / 740144301822.3 = 46.699 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -18436 \times 1000000 \times 1270.2 / 740144301822.3 = -31.639 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -439.3 \times 1000000 \times (-2080.8) / (1 \times 740144301822.3) = 1.235 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -439.3 \times 1000000 \times 778.2 / (7 \times 740144301822.3) = -0.066 \text{ MPa}$
· $fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -439.3 \times 1000000 \times 1248.2 / (7 \times 740144301822.3) = -0.106 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -439.3 \times 1000000 \times (-1874.8) / 740144301822.3 = 1.113 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -439.3 \times 1000000 \times 1270.2 / 740144301822.3 = -0.754 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

- 단일합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
하부콘크리트	2347.2x470	1103161.1			2.031.E+10	1.630.E+12	1.650.E+12
환산 하부콘크리트		122573.5	257.0	3.150.E+07	2.901.E+09	1.126.E+11	1.155.E+11
합성전		239645.5	1705.7	4.088.E+08	4.188.E+11	5.759.E+10	4.764.E+11
계		362219.0		4.403.E+08			5.919.E+11

$$\begin{aligned} - \text{탄성계수비: } n_1 - 60' &= n' \times (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.469 / 2) = 9 \\ \Phi_1 (60,30) &= \mathbf{0.469} \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수}) \end{aligned}$$

$$- \text{도심: } y_{sv1} = 440264707.4 / 362219 = 1215.5 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1215.5 - 492 = 723.5 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1215.5 - 3145 = -1929.5 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1215.5 - 22 = 1193.5 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1215.5 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1215.5 - 257 = 958.5 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\begin{aligned} \cdot N_{bc} &= M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc} \\ &= -24327.12 \times 1000000 / (7 \times 621239746419.3) \times (874) \times 1103161.1 = -5,393,663 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -5393662.8 \times 2 \times 0.469 / (2 + 0.469) = -2,049,111 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \cdot M_{v1} &= P_{bv1} \times D_{svbc1} \\ &= -2049111.3 \times 958.5 / 1000000 = -1964.1 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcu} &= 1 / n_1 - 60' \times (P_{bv1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1 / 9 \times (-2049111 / 362219 + (-0.155) \times (-1964.1) \times 1000000 \times 724 / 591903854750) - 0.469 / (1 + 0.469 / 2) \times (-3.575) \\ &= 0.771 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcl} &= 1 / n_1 - 60' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1 / 9 \times (-2049111 / 362219 + (-0.155) \times (-1964.1) \times 1000000 \times 1194 / 591903854750) - 0.469 / (1 + 0.469 / 2) \times (-6.204) \\ &= 1.797 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1} \\ &= -2049111.3 / 362219 + (-0.155) \times (-1964.1) \times 1000000 \times (-1929.5) / 591903854749.824 \\ &= -6.650 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1sl} &= +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1} \\ &= -2049111.3 / 362219 + (-0.155) \times (-1964.1) \times 1000000 \times 1215.5 / 591903854749.824 \\ &= -5.032 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6087.6x240	1461015.9			7.013.E+09		
환산 상부바닥판		208716.6	3291.0	6.869.E+08	1.002.E+09	4.185.E+11	4.195.E+11
하부콘크리트	2347.2x470	1103161.1			2.031.E+10		
환산 하부콘크리트		157594.4	257.0	4.050.E+07	2.901.E+09	4.126.E+11	4.155.E+11
합성전		239645.5	1705.7	4.088.E+08	4.188.E+11	6.869.E+09	4.257.E+11
계		605956.5		1.136.E+09			1.261.E+12

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $yv1 = 1136151291/605956.5 = 1875.0$ mm

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6087.6x240	1461015.9			7.013.E+09		
환산 상부바닥판		104358.3	3291.0	3.434.E+08	5.009.E+08	2.384.E+11	2.389.E+11
하부콘크리트	2347.2x470	1103161.1			2.031.E+10	3.494.E+12	3.514.E+12
환산 하부콘크리트		91930.1	257.0	2.363.E+07	2.901.E+09	2.132.E+11	2.161.E+11
합성전		239645.5	1705.7	4.088.E+08	4.188.E+11	1.312.E+09	4.201.E+11
계		435933.9		7.758.E+08			8.750.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

$n1' = n' \times (1 + \Phi_1' / 2) = 7 \times (1 + 1.53 / 2) = 12$

$\Phi_1' = \Phi_1 - \Phi_1'(60,30) = 2.00 - 0.47 = 1.53$

- 도심 : $ydv1 = 775832457.7/435933.9 = 1779.7$ mm

$Ydv1tcu = 1779.7 - 3411 = -1631.3$ mm	$Ddvtc = 1875 - 3291 = -1416.0$ mm
$Ydv1tcl = 1779.7 - 3171 = -1391.3$ mm	$Ddvbc = 1875 - 257 = 1618.0$ mm
$Ydv1bcu = 1779.7 - 492 = 1287.7$ mm	$Ddvtc1 = 1779.7 - 3291 = -1511.3$ mm
$Ydv1bcl = 1779.7 - 22 = 1757.7$ mm	$Ddvbc1 = 1779.7 - 257 = 1522.7$ mm
$Ydv1su = 1779.7 - 3145 = -1365.3$ mm	$Av1 = As + Ac/n1 = 344003.8$ mm ²
$Ydv1sl = 1779.7$ mm	$dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1104.377$ mm
$Dvs1 = 1875 - 1705.7 = 169.3$ mm	$ds1 = dv - dc1 = 480.923$ mm
$Dv1 = 1416 + 169.3 = 1585.3$ mm	

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= -11310.76 \times 1000000 / (7 \times 1260636364880.2) \times (-1416) \times 1461015.9 = 2,651,686$ N

· $Nbc = Md3 / (n' \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= -11310.76 \times 1000000 / (7 \times 1260636364880.2) \times (1618) \times 1103161.1 = -2,287,818$ N

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 2651686.1 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 2,651,686$ N

· $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1' / (2 + \Phi_1') = -2287817.5 \times 2 \times 1.53 / (2 + 1.53) = -1,983,207$ N

· $Mv1 = Ptv1 \times Ddvtc1 + Pbv1 \times Ddvbc1$
 $= 2651686.1 \times (-1511.3) / 1000000 + -1983207.2 \times 1522.7 / 1000000 = -7027.3$ kN-m

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (2651686.1 + -1983207.2) / 435933.9 + (-0.155) \times (-7027.3) \times 1000000 \times (-2080.8) / 875027961810 \\ &= -1.057 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2651686.1 + -1983207) / 435934 + (-0.155) \times (-7027.3) \times 1000000 \times 1288 / 875027961810) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.725) \\ &= 2.624 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2651686.1 + -1983207) / 435934 + (-0.155) \times (-7027.3) \times 1000000 \times 1758 / 875027961810) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.725) \\ &= 2.672 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (2651686.1 + -1983207.2) / 435933.9 + (-0.155) \times (-7027.3) \times 1000000 \times (-1365.3) / 875027961810.254 \\ &= -0.166 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (2651686.1 + -1983207.2) / 435933.9 + (-0.155) \times (-7027.3) \times 1000000 \times 1779.7 / 875027961810.254 \\ &= 3.749 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

- 단일합성시

구분	단면	A_{v1} (mm ²)	y (mm)	$A_{v1} \cdot y$ (mm ³)	I_x (mm ⁴)	A_{d^2} (mm ⁴)	I_{v1} (mm ⁴)
하부콘크리트	2347.2x470	1103161.1			2.031.E+10	1.721.E+12	1.741.E+12
환산 하부콘크리트		110316.1	257.0	2.835.E+07	2.901.E+09	1.086.E+11	1.115.E+11
합성전		239645.5	1705.7	4.088.E+08	4.188.E+11	4.998.E+10	4.688.E+11
계		349961.6		4.371.E+08			5.802.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n_1' \times (1 + \Phi_2(60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.938 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1'(60,30) = 0.938$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s(60,30) = 0.000012$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 437114569.6 / 349961.6 = 1249.0 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1249 - 492 = 757.0 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1249 - 3145 = -1896.0 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1249 - 22 = 1227.0 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1249.0 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1249 - 257 = 992.0 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s(60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.000012 \times 1103161.1 = -271,378 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1249 - 257 = 992 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-271377.6) \times 992 / 1000000 \\ &= -269.2 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-271378) / 349962 + (-0.155) \times -269 \times 1000000 \times 757 / 580249175490 - 20500 \times (-0.000012) \\ &= 0.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-271378) / 349962 + (-0.155) \times -269 \times 1000000 \times 1227 / 580249175490 - 20500 \times (-0.000012) \\ &= 0.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -271377.6 / 349961.6 + (-0.155) \times -269.2 \times 1000000 \times (-1896) / 580249175490.264 \\ &= -0.912 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -271377.6 / 349961.6 + (-0.155) \times -269.2 \times 1000000 \times 1249 / 580249175490.264 \\ &= -0.686 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	6087.6x240	1461015.9			7.013.E+09		
환산상부바닥판	0.000	69572.2	3291.0	2.290.E+08	3.339.E+08	1.546.E+11	1.550.E+11
하부콘크리트	2347.2x470	1103161.1			2.031.E+10	3.575.E+12	3.595.E+12
환산 하부콘크리트		52531.5	257.0	1.350.E+07	9.670.E+08	1.251.E+11	1.261.E+11
합성전		239645.5	1705.7	4.088.E+08	4.188.E+11	2.140.E+09	4.209.E+11
계		361749.2	0.0	6.512.E+08			7.020.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 = n \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$n_2' = n' \times (1 + \Phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$$

$$\text{- 도심 : } y_{dv2} = 651225983.1 / 361749.2 = 1800.20 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 1800.2 - 492 = 1308.2 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 1800.2 - 3145 = -1344.8 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 1800.2 - 22 = 1778.2 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 1800.2 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1461015.9 = -3,850,819 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1103161.1 = -2,907,616 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 1800.2 - 3291 = -1,491 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 1800.2 - 257 = 1,543 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 239645.5 + 1461015.9 / 21 + 1103161.1 / 21 = 361,749 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1585.3 \times 239645.5 / (1461015.9 / 21 + 239645.5) = 1,229 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1585.3 - 1228.6 = 357 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot Mv2 &= Ptv2 \times Ddv + Pbv2 \times Ddvbc \\ &= [-3850818.6 \times (-1490.8) + (-2907616.1) \times 1543.2] / 1000000 \\ &= 1253.8 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv2ru &= ((Ptv2+Pbv2) / Av + k \times Mv2 \times Ydvru / Iv) \\ &= (-3850818.6 + (-2907616.1)) / 424743.9 + (-0.155) \times 1253.8 \times 1000000 \times (-2080.8) / 740144301822 \\ &= -15.365 \text{ MPa} \\ \cdot fv2bcu &= 1/n^1 \times ((Ptv2+Pbv2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2bcu / Idv2) - Ec^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3850819-2907616) / 361749 + (-0.155) \times 1254 \times 1000000 \times 1308 / 701972098507) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \\ \cdot fv2bcl &= 1/n^1 \times ((Ptv2+Pbv2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2bcl / Idv2) - Ec^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-3850819-2907616) / 361749 + (-0.155) \times 1254 \times 1000000 \times 1778 / 701972098507) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv2su &= (Ptv2+Pbc2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2su / Idv2 \\ &= (-3850818.6 + (-2907616.1)) / 361749.2 + (-0.155) \times 1253.8 \times 1000000 \times (-1344.8) / 701972098507.153 \\ &= -18.310 \text{ MPa} \\ \cdot fv2sl &= (Ptv2+Pbc2) / Adv2 + k \times Mv2 \times Ydv2sl / Idv2 \\ &= (-3850818.6 + (-2907616.1)) / 361749.2 + (-0.155) \times 1253.8 \times 1000000 \times 1800.2 / 701972098507.153 \\ &= -19.181 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot Ptv3 &= Es \times \alpha \times \Delta t \times Atc / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1461015.9 / 7 = 5,134,427 \text{ N} \\ \cdot Mv3 &= Ptv3 \times Ddvr = 5134427.3 \times -1416 / 1000000 = -7,270 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv3ru &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Ydvru / Iv - Es \times \epsilon_t \\ &= 5134427.3 / 424743.9 + (-0.155) \times (-7270.3) \times (-2080.8) / 740144301822.3 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -15.680 \text{ MPa} \\ \cdot fv3bcu &= 1/n^1 \times (Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Yv3bcu / Iv) - Ec^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (5134427.3 / 424743.9 + (-0.155) \times (-7270.3) \times 778.2 / 740144301822.3) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -1.800 \text{ MPa} \\ \cdot fv3bcl &= 1/n^1 \times (Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Yv3bcl / Iv) - Ec^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (5134427.3 / 424743.9 + (-0.155) \times (-7270.3) \times 1000000 \times 1248.2 / 740144301822.3) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -1.700 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot fv3su &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times Ydvsu / Iv \\ &= 5134427.3 / 424743.9 + (-0.155) \times (-7270.3) \times 1000000 \times (-1874.8) / 7401443018 \\ &= 9.234 \text{ MPa} \\ \cdot fv3sl &= Ptv3 / Av + k \times Mv3 \times YdvsI / Iv \\ &= 5134427.3 / 424743.9 + (-0.155) \times (-7270.3) \times 1000000 \times 1270.2 / 740144301822.3 \\ &= 14.022 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7571744.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 916.59 \times 1000 / 99488 + 255.75 \times 1000000 / (2 \times 7571744 \times 16) = 10.269 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7666890.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1574.59 \times 1000 / 99488 + 471.71 \times 1000000 / (2 \times 7666890.7 \times 16) = 17.750 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7710621.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 2073.49 \times 1000 / 99488 + 2018.57 \times 1000000 / (2 \times 7710621 \times 16) = 29.023 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(6) 허용응력검토

(도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

$$\begin{aligned} - \text{허용인장응력} : & \quad \therefore f_{rta} = 160.0 \text{ MPa} \\ - \text{허용압축응력} : & \quad \therefore f_{rca} = 180.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 하부콘크리트 콘크리트의 허용응력 :

구분	하중의 조합	허용응력 (MPa)
1	하부 슬래브로서의 작용	0.4fck
2	주하중+바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	1.항의 15% 증가

$$\begin{aligned} - \text{허용압축응력} : & \quad \therefore f_{cca} = 0.4 \times f_{ck} = - 0.4 \times 40 = -16.0 \text{ MPa} \\ - \text{허용인장응력} : & \quad \therefore f_{cta} = 0.07 \times f_{ck} = 0.07 \times 40 = 2.8 \text{ MPa} > 2.5 \text{ MPa} \\ & \quad \text{이므로, } 2.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 강재의 허용응력 : (HSB500)

구분	하중의 조합		증가율 (%)	
			정의 휨모멘트	부의 휨모멘트
1	크리프와 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중 + 바닥판콘크리트와 강재들보와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15

① 인장 상부플랜지의 허용응력 :

$$\therefore f_{sua} = 230.0 \text{ MPa}$$

② 압축 하부플랜지의 합성전 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 2 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (80 \times 1 \times 2) = 15.0 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 허용응력

$$\textcircled{a} \ b/(22 \times i \times n) = 54.5 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \ b/(44 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \ b/(80 \times i \times n) = 15.0 \text{ mm}$$

$$t = 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[220,000 \times ((t \times i \times n) / b)^2] = -73.9 \text{ MPa}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2400.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 4 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2400 / (44 \times 1 \times 4) = 13.6 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성후 허용응력

$$\textcircled{a} \ b/(22 \times i \times n) = 27.3 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \ b/(44 \times i \times n) = 13.6 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \ b/(80 \times i \times n) = 7.5 \text{ mm}$$

$$t = 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla2} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -202.6 \text{ MPa}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3109 / (281 \times 1.2) = 9.220$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/87.469)} = 1.522 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.182) = 3109 / (281 \times 1.182) = 9.360$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(202.582/144.991)} = 1.182 < 1.2 \quad 1.18 \text{ 적용}$

$$\therefore t_{\min} = 9.360 < t = 16.0 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

5) 허용응력 하중조합 :

휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

6) 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

5.4 응력검토 요약

< 지간중앙부 >

(단면)		1-1	(위치)	56,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	18.00	12.00	63.77	0.93	0.89	0.74
허용치	15.60	10.28	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.15	1.17	2.12	1.08	1.35	1.36
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		2-1	(위치)	57,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	26.00	12.00	50.82	0.91	0.93	0.86
허용치	15.60	10.04	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.67	1.19	2.66	1.10	1.29	1.17
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		3-1	(위치)	58,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	30.00	12.00	38.80	0.91	0.91	0.86
허용치	21.90	10.10	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.37	1.19	3.48	1.10	1.32	1.16
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		4-1	(위치)	61,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	36.00	12.00	15.84	0.89	0.80	0.85
허용치	21.90	10.06	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.64	1.19	8.52	1.13	1.49	1.18
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		5-1	(위치)	62,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	30.00	12.00	30.25	0.89	0.85	0.86
허용치	21.90	10.08	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.37	1.19	4.46	1.12	1.41	1.16
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		6-1	(위치)	64,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	20.00	14.00	42.08	0.89	0.90	0.88
허용치	15.60	9.86	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.28	1.42	3.21	1.12	1.34	1.14
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	17-1 (위치)		80,2/4지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	18.00	12.00	13.79	0.82	0.69	0.87
허용치	15.60	7.87	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.15	1.53	9.79	1.21	1.74	1.15
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

< 교변구간 >

(단면)	7-1 (위치)		67,1/4지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	16.00	56.02	0.61	0.53	0.67
허용치	10.90	9.16	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.65	1.75	2.41	1.63	2.27	1.49
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	8-1 (위치)		68,1/4지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	16.00	60.32	0.87	0.96	0.81
허용치	10.90	10.41	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.65	1.54	2.24	1.15	1.25	1.23
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	9-1 (위치)		68,J지점	(외측거더)		
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	22.00	16.00	62.52	0.86	0.95	0.84
허용치	10.90	10.78	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	2.02	1.48	2.16	1.17	1.26	1.19
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	14-1 (위치)		73,J지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	22.00	16.00	51.77	0.83	0.84	0.83
허용치	10.90	9.01	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	2.02	1.78	2.61	1.20	1.43	1.21
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	15-1 (위치)		74,3/4지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	14.00	56.27	0.90	0.97	0.87
허용치	10.90	8.70	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.65	1.61	2.40	1.11	1.24	1.15
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		16-1	(위치)	76,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	14.00	12.00	56.03	0.81	0.79	0.58
허용치	10.90	7.46	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.28	1.61	2.41	1.23	1.52	1.71
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

< 이중합성부 :폐 합단면>

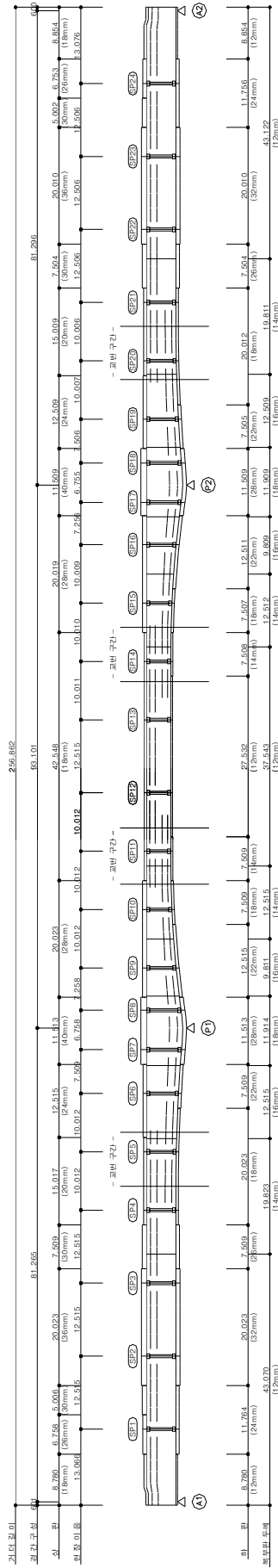
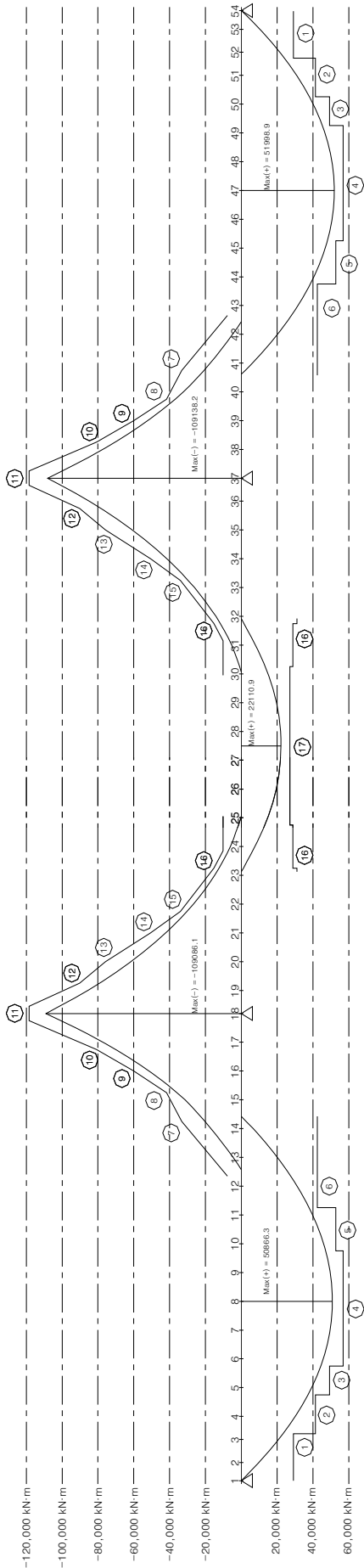
(단면)		10-1	(위치)	69,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	22.00	16.00	64.99	0.89	1.02	0.89
허용치	15.00	10.61	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.47	1.51	2.08	1.12	1.17	1.12
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		11-1	(위치)	17,J지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	28.00	18.00	69.89	0.86	1.01	0.98
허용치	15.00	11.27	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.87	1.60	1.93	1.16	1.19	1.03
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		12-1	(위치)	72,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	22.00	16.00	55.48	0.88	0.95	0.92
허용치	15.00	10.92	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.47	1.46	2.43	1.13	1.26	1.09
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		13-1	(위치)	72,J지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	22.00	16.00	57.04	0.82	0.85	0.87
허용치	15.00	9.36	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.47	1.71	2.37	1.22	1.42	1.15
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

< 단면요약도 : Girder-1 >



< 단면요약도 : Girder-2 >

