

5. 주거더 응력검토

5.1 정모멘트 응력검토

◎ 정모멘트 < 단면 1 > 단면위치: 104,3/4지점 (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	0.88118

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

Diagram illustrating the cross-section of a T-beam structure. The top flange has width B3 and thickness t1. The web has width b1 and height H. The bottom flange has width B1 and thickness t2. The total width at the bottom is B2. The diagram shows the reinforcement layout with top bars (tr) and bottom bars (t1, t2). A coordinate system (X(3), Y(2)) is shown with the origin at the center of the web. The angle of rotation is $\Theta = 0.000^\circ$.

단면제원 (mm)	
B1	2200
B2	2200
B3	4500
H	3000
t1	12
t2	16
t3	12
tr	0.723
Tcu	240
Th	26
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	4500	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2400	하부슬래브	0	n'(하부)	0

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

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

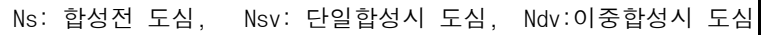
$\Theta=0.000^\circ$

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	3664.4	6315.6	3707.3	5486.5	61.8	19235.6
전단력, S (kN)	372.0	623.2	362.2	656.9	7.3	2021.6
비틀림, T (kN-m)	-473.1	-754.3	-567.4	-1667.8	-7.2	-3469.91

※ 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	500×16×2	16,000	3,020	4.832.E+07	3.413.E+05	4.681.E+10	4.681.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,512	1.089.E+08	5.400.E+10	2.951.E+09	5.695.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	87	3.132.E+05	6.750.E+06	5.381.E+09	5.387.E+09
하부플랜지	2400×12×1	28,800	6	1.728.E+05	3.456.E+05	4.894.E+10	4.894.E+10
계		120,400		1.577.E+08			1.581.E+11

- 도심 : $y_s = 157670000/120400 = 1309.6 \text{ mm}$
 $y_{su} = 1309.551 - 3028 = -1718.4 \text{ mm}$
 $y_{sl} = 1309.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

$$\cdot f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 3,664.4 \times 10^6 \times (-1718.449) / 158087505914.3 = -39.833 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 3,664.4 \times 10^6 \times 1309.551 / 158087505914.3 = 30.355 \text{ MPa}$$

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

- 도심 : $y_{sv} = 157670000 / 120400 = 1309.6 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n' = 0$ ($\because$ 단일합성)

YsvbcI = 0.0 mm

$$Y_{svsu} = 1309.551 - 3028 = -1718.4 \text{ mm}$$

$$Y_{svsl} = 1309.6 \text{ mm}$$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

$$\cdot f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 6315.583 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 158087505914.3) = 0.000 \text{ MPa}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\cdot f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 6315.583 \times 1000000 \times (-1718.4) / 158087505914.3 = -68.650 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 6315.583 \times 1000000 \times 1309.551 / 158087505914.3 = 52.316 \text{ MPa}$$

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	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3158.0	4.872.E+08	7.406.E+08	1.013.E+11	1.020.E+11
단일합성시		120400.0	1309.6	1.577.E+08	1.581.E+11	1.298.E+11	2.879.E+11
계		274685.7		6.449.E+08			3.899.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.880$

- 도심 : $Y_{dv} = 644904226/274685.7 = 2347.8 \text{ mm}$
 $A_{tc} = 4500 \times 240 = 1080000.0 \text{ mm}^2$
 $A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$
 $n' = 0$

$Y_{dv\text{tcu}} = 2347.79 - 3278 = -930.2 \text{ mm}$ $D_{dv\text{tc}} = 2347.79 - 3158 = -810.2 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{tcl}} = 2347.79 - 3038 = -690.2 \text{ mm}$ $D_{dv\text{bc}} = 0 = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{bcu}} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{bcl}} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dv\text{s}} = 2347.79 - 1309.551 = 1038.2 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{su}} = 2347.79 - 3028 = -680.2 \text{ mm}$ $D_{dv} = 810.21 + 1038.239 = 1848.4 \text{ mm}$
 $Y_{dv\text{sl}} = 2347.8 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dv\text{tcu}} = M_d3 \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 3,707.3 \times 1000000 \times (-930.21) / (7 \times 389891431913.3) = -1.264 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{bcl}} = M_d3 \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 3,707.3 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 389891431913.3) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dv\text{su}} = M_d3 \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 3707.303 \times 1000000 \times (-680.21) / 389891431913.3 = -6.468 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{sl}} = M_d3 \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 3707.303 \times 1000000 \times 2347.79 / 389891431913.3 = 22.324 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dv\text{tcu}} = M_d3 \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 5486.5 \times 1000000 \times (-930.21) / (7 \times 389891431913.3) = -1.870 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{bcl}} = M_d3 \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 5486.5 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 389891431913.3) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dv\text{su}} = M_d3 \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 5486.5 \times 1000000 \times (-680.21) / 389891431913.3 = -9.572 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{sl}} = M_d3 \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 5486.5 \times 1000000 \times 2347.79 / 389891431913.3 = 33.038 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dv\text{tcu}} = M_d3 \times Y_{dv\text{tcu}} / (n \times I_v) = 61.8 \times 1000000 \times (-930.21) / (7 \times 389891431913.3) = -0.021 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{bcl}} = M_d3 \times Y_{dv\text{bcl}} / (n' \times I_v) = 61.8 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 389891431913.3) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dv\text{su}} = M_d3 \times Y_{dv\text{su}} / I_v = 61.8 \times 1000000 \times (-680.21) / 389891431913.3 = -0.108 \text{ MPa}$
· $f_{dv\text{sl}} = M_d3 \times Y_{dv\text{sl}} / I_v = 61.8 \times 1000000 \times 2347.79 / 389891431913.3 = 0.372 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5184000000		
환산 상부바닥판		77,143	3,158	243617143	370285714	97911840343	98282126057
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		120,400	1,310	157669940	158087505914	62736343848	220823849762
계		197,543		401287083			319105975820

- 도심 : $y_{v1} = 401287083/197542.9 = 2031.4 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Y_{v1tcu} = 2031.4 - 3278 = -1246.6 \text{ mm}$ $D_{tc1} = 2031.4 - 3158 = -1,127 \text{ mm}$
- $Y_{v1tcl} = 2031.4 - 3038 = -1006.6 \text{ mm}$ $D_{bc1} = 0 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcu} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs1} = 2031.4 - 1309.551 = 722 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{v1} = 1126.6 + 721.849 = 1,848 \text{ mm}$
- $Y_{v1su} = 2031.4 - 3028 = -996.6 \text{ mm}$ $Y_{v1sl} = 2,031 \text{ mm}$
- $E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $E_{c1} = E_{c1}' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= 3707.303 \times 1000000 / (7 \times 389891431913.3) \times (-810.21) \times 1080000 = -1,188,605 \text{ N}$
 - $N_{bc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= 3707.303 \times 1000000 / (7 \times 389891431913.3) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1188605.419 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,188,605 \text{ N}$
 - $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma_{tc^2} = I_x / A_{tc} = 5184000000 / 1080000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma_{bc^2} = I_x / A_{bc} = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $M_{v1} = P_{tv1} \times (D_{tc1} + \gamma_{tc^2} / D_{dvtc}) + P_{bv1} \times (D_{bc1} + \gamma_{bc^2} / D_{dvbc})$
 $= -1188605.419 \times (-1126.6 + 4800 / (-810.21)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0 / 0) / 1000000 = 1346.1 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{v1tcu} = 1/n1 \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1tcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \times \Phi_1 \times f_{tc}$
 $= [1/14 \times ((-1188605.419 + 0) / 197542.9 + (0.88) \times 1346.125 \times 1000000 \times (-1246.6) / 319105975820)] - 0.5 \times 2 \times (-1.264)$
 $= 0.504 \text{ MPa}$
 - $f_{v1bcl} = 1/n1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1bcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \times \Phi_1 \times f_{bc}$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{v1su} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1su} / I_{v1}$
 $= (-1,188,605.4 + 0) / 197542.9 + (0.88) \times (1346.125) \times 10^6 \times (-996.6) / 3191059758 = -9.717 \text{ MPa}$
 - $f_{v1sl} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1sl} / I_{v1}$
 $= (-1,188,605.4 + 0) / 197542.9 + (0.88) \times (1346.125) \times 10^6 \times 2031.4 / 319105975819 = 1.524 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		51,429	3,158	1.624.E+08	2.469.E+08	8.627.E+10	8.652.E+10
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		120,400	1,310	1.577.E+08	1.581.E+11	3.685.E+10	1.949.E+11
계		171,829		3.201.E+08			2.815.E+11

- 도심 : $yv2 = 320081369/171828.6 = 1862.8 \text{ mm}$

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

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

$Yv2tcu = 1,862.8 - 3278 = -1415.2 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1862.794 - 3158 = -1,295 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,862.8 - 3038 = -1175.2 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1862.794 - 1309.551 = 553 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,862.8 - 3028 = -1165.2 \text{ mm}$ $Dv2 = 1295.206 + 553.2 = 1,848 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1862.8 \text{ mm}$

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

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

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,572 \text{ N}$

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

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -2846571.5 \times (-1295.206) + 0 \times 0 = 3,687 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-2846571.5 + 0) / 171828.6 + (0.88) \times 3686.9 \times 10^6 \times (-1415.2) / 281460573612.2)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.070 \text{ MPa}$

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

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 171828.6 + (0.88) \times 3686.9 \times 10^6 \times (-1165.2) / 281460573612.2 = -29.998 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 171828.6 + (0.88) \times 3686.9 \times 10^6 \times 1862.794 / 281460573612.2 = 4.907 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154,286	3,158	4.872.E+08	7.406.E+08	1.013.E+11	1.020.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		120,400	1,310	1.577.E+08	1.581.E+11	1.298.E+11	2.879.E+11
계		274,686		6.449.E+08			3.899.E+11

- 도심 : $y_v3 = 644904226/274685.7 = 2347.8 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_v3t_{cu} &= 2,347.8 - 3278 = -930.2 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2347.8 - 3158 = -810.2 \text{ mm} \\
 Y_v3t_{cl} &= 2,347.8 - 3038 = -690.2 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2347.8 - 1309.551 = 1038.2 \text{ mm} \\
 Y_v3s_u &= 2,347.8 - 3028 = -680.2 \text{ mm} & D_{v3} &= 810.2 + 1038.2 = 1848.4 \text{ mm} \\
 Y_v3s_l &= 2347.8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 3795428.6 \times (-810.2) / 1000000 = -3075.056 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3t_{cu}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3t_{cu}} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (3795428.6 / 274685.7 + (0.88) \times (-3075.056000) \times (-930.2) / 389891431943.9) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.440 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3b_{cl}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3b_{cl}} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (3795428.6 / 274685.7 + (0.88) \times (-3075.056000) \times 0 / 389891431943.9) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3s_u} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3s_u} / I_{v3} \\
 &= 3795428.6 / 274685.7 + (0.88) \times (-3075.056) \times 10^6 \times (-680.2) / 389891431943.9 = 18.538 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3s_l} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3s_l} / I_{v3} \\
 &= 3795428.6 / 274685.7 + (0.88) \times (-3075.056) \times 10^6 \times 2347.8 / 389891431943.9 = -2.478 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6650195.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 372 \times 1000 / 72000 + 473.15 \times 10^6 / (2 \times 6650195.6 \times 12) = 8.131 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6650195.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 623.23 \times 1000 / 72000 + 754.29 \times 10^6 / (2 \times 6650195.6 \times 12) = 13.382 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6690233.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1019.11 \times 1000 / 72000 + 2235.25 \times 10^6 / (2 \times 6690233.4 \times 12) = 28.075 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 : ($t_{min} \geq b/16$)

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

$$t_{min} = 15.6 < t = 16.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 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.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (16/250)^2 = -98.3 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

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

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.064) = 3000 / (281 \times 1.064) = 10.034 \text{ mm}$
여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(122.88/108.483)} = 1.064 < 1.2$ 1.064 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3000 / (281 \times 1.2) = 8.897 \text{ mm}$
여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/128.518)} = 1.338 > 1.2$ 1.200 적용
 $\therefore t_{\min} = 10.034 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

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	-	-	-	-	- 108.483	- 122.880	82.671	287.500
	2	- 2.953	- 10.800	-	-	- 128.518	- 230.000	139.015	230.000
	3	- 1.581	- 10.800	-	-	- 164.346	- 264.500	144.836	230.000
	4	- 2.021	- 12.420	-	-	- 145.808	- 299.000	142.358	264.500
	5	- 1.141	- 12.420	-	-	- 182.884	- 299.000	147.314	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)max = 0.883				< 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	-	-	0.883	0.288	21.513	168.8	0.13	0.80
	2	0.273	-	0.559	0.604	49.588	135.0	0.37	0.50
	3	0.146	-	0.621	0.630	49.588	155.3	0.32	0.50
	4	0.163	-	0.488	0.538	49.588	175.5	0.28	0.37
	5	0.092	-	0.612	0.557	49.588	175.5	0.28	0.45

(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	-4.7	-16.0	-	-	-187.3	-380.0	210.9	380.0
	2	-3.9	-16.0	-	-	-224.4	-380.0	215.8	380.0
	3	-5.9	-16.0	-	-	-155.4	-380.0	205.7	380.0
	4	-5.0	-16.0	-	-	-192.4	-380.0	210.6	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.590	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 2 > 단면위치: 103,1/4지점 (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	0.78420

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

Diagram illustrating the cross-section of a T-beam. The top flange has width B1 and thickness t1. The web has width b1 and height H. The bottom flange has width B2 and thickness t2. The total width at the bottom is B3. The effective depth is t3. The diagram also shows the coordinate system X(3) and Y(2), and the angle of rotation Θ . Dimensions are given in mm.

※ 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	4500	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2400	하부슬래브	0	n'(하부)	0

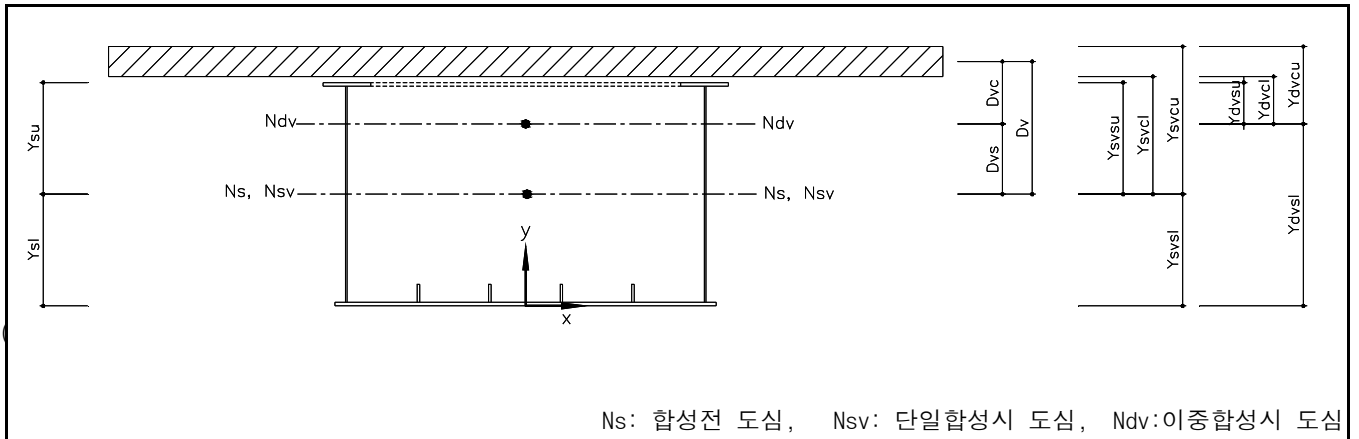
단면제원 (mm)	
B1	2200
B2	2200
B3	4500
H	3000
t1	18
t2	22
t3	12
tr	0.726
Tcu	240
Th	26
Tcl	0
b1	100
b2	500
피복두께(mm)	
tcl	60
tcl	40

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	5880.1	9943.5	5800.5	8573.2	111.7	30309.0
전단력, S (kN)	270.7	431.1	245.7	539.0	7.3	1493.7
비틀림, T (kN-m)	-397.0	-638.2	-443.5	-1474.5	-6.0	-2959.20

※ 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	500×22×2	22,000	3,029	6.664.E+07	8.873.E+05	6.926.E+10	6.926.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,518	1.093.E+08	5.400.E+10	4.993.E+09	5.899.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	93	3.348.E+05	6.750.E+06	4.858.E+09	4.865.E+09
하부플랜지	2400×18×1	43,200	9	3.888.E+05	1.166.E+06	6.703.E+10	6.703.E+10
계		140,800		1.767.E+08			2.002.E+11

- 도심 : $ys = 176657600/140800 = 1254.7 \text{ mm}$
 $Ysu = 1254.67 - 3040 = -1785.3 \text{ mm}$
 $Ysl = 1254.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = Md1 \times Ysu / Is = 5,880.1 \times 1000000 \times (-1785.33) / 200154198041.8 = -52.449 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = Md1 \times Ysl / Is = 5,880.1 \times 1000000 \times 1254.67 / 200154198041.8 = 36.860 \text{ MPa}$

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

- 도심 : $ysv = 176657600/140800 = 1254.7 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Ysvbcl = 0.0 \text{ mm}$
 $Ysvsu = 1254.67 - 3040 = -1785.3 \text{ mm}$
 $Ysvsl = 1254.7 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = Md2 \times Ysvcl / (n' \times Isv) = 9943.494 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 200154198041.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = Md2 \times Ysvsu / Isv = 9943.494 \times 1000000 \times (-1785.3) / 200154198041.8 = -88.692 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = Md2 \times Ysvsl / Isv = 9943.494 \times 1000000 \times 1254.67 / 200154198041.8 = 62.331 \text{ MPa}$

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	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3164.0	4.882.E+08	7.406.E+08	1.281.E+11	1.288.E+11
단일합성시		140800.0	1254.7	1.767.E+08	2.002.E+11	1.403.E+11	3.405.E+11
계		295085.7		6.648.E+08			4.693.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.780$

- 도심 : $Y_{dv} = 664817536/295085.7 = 2253.0 \text{ mm}$

$A_{tc} = 4500 \times 240 = 1080000.0 \text{ mm}^2$

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

- 탄성계수비 : $n = 7$

$n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2252.964 - 3284 = -1031.0 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2252.964 - 3164 = -911.0 \text{ mm}$

$Y_{dvtdl} = 2252.964 - 3044 = -791.0 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0$ 0.0 mm

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

$Y_{dvbdl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2252.964 - 1254.67 = 998.3 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2252.964 - 3040 = -787.0 \text{ mm}$ $D_{dv} = 911.036 + 998.294 = 1909.3 \text{ mm}$

$Y_{dvsl} = 2253.0 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtdcu} = M_{d3} \times Y_{dvtdcu} / (n \times I_v) = 5,800.5 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -1.821 \text{ MPa}$

· $f_{dvbdcl} = M_{d3} \times Y_{dvbdcl} / (n' \times I_v) = 5,800.5 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvslu} = M_{d3} \times Y_{dvslu} / I_v = 5800.48 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -9.728 \text{ MPa}$

· $f_{dvsl} = M_{d3} \times Y_{dvsl} / I_v = 5800.48 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 27.848 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtdcu} = M_{d3} \times Y_{dvtdcu} / (n \times I_v) = 8573.2 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -2.691 \text{ MPa}$

· $f_{dvbdcl} = M_{d3} \times Y_{dvbdcl} / (n' \times I_v) = 8573.2 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvslu} = M_{d3} \times Y_{dvslu} / I_v = 8573.2 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -14.379 \text{ MPa}$

· $f_{dvsl} = M_{d3} \times Y_{dvsl} / I_v = 8573.2 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 41.160 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtdcu} = M_{d3} \times Y_{dvtdcu} / (n \times I_v) = 111.7 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -0.035 \text{ MPa}$

· $f_{dvbdcl} = M_{d3} \times Y_{dvbdcl} / (n' \times I_v) = 111.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvslu} = M_{d3} \times Y_{dvslu} / I_v = 111.7 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -0.187 \text{ MPa}$

· $f_{dvsl} = M_{d3} \times Y_{dvsl} / I_v = 111.7 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 0.536 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5184000000		
환산 상부바닥판		77,143	3,164	244080000	370285714	117374573571	117744859285
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		140,800	1,255	176657536	200154198042	64309863397	264464061439
계		217,943		420737536			382208920724

- 도심 : $yv1 = 420737536/217942.9 = 1930.5 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Yv1tcu = 1930.5 - 3284 = -1353.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 1930.5 - 3164 = -1,234 \text{ mm}$
- $Yv1tcl = 1930.5 - 3044 = -1113.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 0$ $- \text{ mm}$
- $Yv1bcu = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs1 = 1930.5 - 1254.67 = 676 \text{ mm}$
- $Yv1bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dv1 = 1233.5 + 675.83 = 1,909 \text{ mm}$
- $Yv1su = 1930.5 - 3040 = -1109.5 \text{ mm}$ $Yv1sl = 1,931 \text{ mm}$
- $Ec1 = Ec / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $Ec1 = Ec' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= 5800.48 \times 1000000 / (7 \times 469269844053.8) \times (-911.036) \times 1080000 = -1,737,411 \text{ N}$
 - $Nbc = Md3 / (n \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= 5800.48 \times 1000000 / (7 \times 469269844053.8) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1737410.897 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,737,411 \text{ N}$
 - $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma tc^2 = Ix / Atc = 5184000000 / 1080000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma bc^2 = Ix / Abc = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $Mv1 = Ptv1 \times (Dtc1 + \gamma tc^2 / Ddvtc) + Pbv1 \times (Dtc1 + \gamma bc^2 / Ddvbc)$
 $= -1737410.897 \times (-1233.5 + 4800 / (-911.036)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0) / 1000000 = 2152.3 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $fv1tcu = 1/n1 \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1tcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times ftc$
 $= [1/14 \times ((-1737410.897 + 0) / 217942.9 + (0.78) \times 2152.25 \times 1000000 \times (-1353.5) / 382208920724)] - 0.5 \times 2 \times (-1.821)$
 $= 0.827 \text{ MPa}$
 - $fv1bcl = 1/n1' \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1bcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times fbc$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $fv1su = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1su / Iv1$
 $= (-1,737,410.9 + 0) / 217942.9 + (0.78) \times (2152.25) \times 10^6 \times (-1109.5) / 3822089207 = -12.845 \text{ MPa}$
 - $fv1sl = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1sl / Iv1$
 $= (-1,737,410.9 + 0) / 217942.9 + (0.78) \times (2152.25) \times 10^6 \times 1930.5 / 382208920724 = 0.507 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		51,429	3,164	1.627.E+08	2.469.E+08	1.006.E+11	1.008.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		140,800	1,255	1.767.E+08	2.002.E+11	3.674.E+10	2.369.E+11
계		192,229		3.394.E+08			3.377.E+11

- 도심 : $y_v2 = 339377536/192228.6 = 1765.5 \text{ mm}$

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

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

$Yv2tcu = 1,765.5 - 3284 = -1518.5 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1765.489 - 3164 = -1,399 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,765.5 - 3044 = -1278.5 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1765.489 - 1254.67 = 511 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,765.5 - 3040 = -1274.5 \text{ mm}$ $Dv2 = 1398.511 + 510.8 = 1,909 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1765.5 \text{ mm}$

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

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

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,572 \text{ N}$

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

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -2846571.5 \times (-1398.511) + 0 \times 0 = 3,981 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_v2tcu = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.78) \times 3981 \times 10^6 \times (-1518.5) / 337726549154.7)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.266 \text{ MPa}$

· $f_v2bcl = 1/n2' \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2bcu / Iv2) - Ec2' \times \epsilon_s$
 $= 0$
 $= 0.0 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_v2su = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.78) \times 3981 \times 10^6 \times (-1274.5) / 337726549154.7 = -26.526 \text{ MPa}$

· $f_v2sl = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.78) \times 3981 \times 10^6 \times 1765.489 / 337726549154.7 = 1.424 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154,286	3,164	4.882.E+08	7.406.E+08	1.280.E+11	1.288.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		140,800	1,255	1.767.E+08	2.002.E+11	1.403.E+11	3.405.E+11
계		295,086		6.648.E+08			4.693.E+11

- 도심 : $y_v3 = 664817536/295085.7 = 2253.0 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$Y_v3t_{cu} = 2,253.0 - 3284 = -1031.0 \text{ mm}$ $D_{tc3} = 2253 - 3164 = -911.0 \text{ mm}$

$Y_v3t_{cl} = 2,253.0 - 3044 = -791.0 \text{ mm}$ $D_{bc3} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_v3b_{cu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_v3b_{cl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs3} = 2253 - 1254.67 = 998.3 \text{ mm}$

$Y_v3s_u = 2,253.0 - 3040 = -787.0 \text{ mm}$ $D_{v3} = 911 + 998.3 = 1909.3 \text{ mm}$

$Y_v3s_l = 2253.0 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv3} = E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N}$

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{tc3} = 3795428.6 \times (-911) / 1000000 = -3457.635 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v3t_{cu}} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3t_{cu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/295085.7 + (0.78) \times (-3457.635000) \times (-1031) / 469269844433.4) - 27804 \times 0.000012 \times 10$
 $= -0.653 \text{ MPa}$

· $f_{v3b_{cl}} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3b_{cl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/295085.7 + (0.78) \times (-3457.635000) \times 0 / 469269844433.4) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10$
 $= 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3s_u} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_u / I_{v3}$
 $= 3795428.6/295085.7 + (0.78) \times (-3457.635) \times 10^6 \times (-787) / 469269844433.4 = 17.385 \text{ MPa}$

· $f_{v3s_l} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_l / I_{v3}$
 $= 3795428.6/295085.7 + (0.78) \times (-3457.635) \times 10^6 \times 2253 / 469269844433.4 = -0.086 \text{ MPa}$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6656851.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 270.71 \times 1000 / 72000 + 396.97 \times 10^6 / (2 \times 6656851.2 \times 12) = 6.245 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6656851.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 431.13 \times 1000 / 72000 + 638.16 \times 10^6 / (2 \times 6656851.2 \times 12) = 9.982 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6696889.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 784.61 \times 1000 / 72000 + 1918.07 \times 10^6 / (2 \times 6696889 \times 12) = 22.831 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 : ($t_{min} \geq b/16$)

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

$$t_{min} = 15.6 < t = 22.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 : (고정하중에 의한 허용응력)

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

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

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (22/250)^2 = -185.9 \quad \text{MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

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

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3000 / (281 \times 1.2) = 8.897 \quad \text{mm}$
여기서, $\sqrt{ (f_{ca} / f_c) } = \sqrt{ (232.32 / 141.141) } = 1.283 > 1.2 \quad 1.200 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.161) = 3000 / (281 \times 1.161) = 9.196 \quad \text{mm}$
여기서, $\sqrt{ (f_{ca} / f_c) } = \sqrt{ (230 / 170.573) } = 1.161 < 1.2 \quad 1.161 \text{ 적용}$
 $\therefore t_{\min} = 9.196 < t = 12.0 \quad \text{mm} \quad \therefore \text{O.K.}$

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	-	-	-	-	- 141.141	- 232.320	99.191	287.500
	2	- 4.216	- 10.800	-	-	- 170.573	- 230.000	168.938	230.000
	3	- 2.454	- 10.800	-	-	- 204.806	- 264.500	170.666	230.000
	4	- 3.107	- 12.420	-	-	- 187.421	- 299.000	170.580	264.500
	5	- 1.801	- 12.420	-	-	- 222.191	- 299.000	170.752	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/f _a) _{max} = 0.774				< 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	-	-	0.608	0.345	16.227	168.8	0.10	0.38
	2	0.390	-	0.742	0.735	39.058	135.0	0.29	0.63
	3	0.227	-	0.774	0.742	39.058	155.3	0.25	0.66
	4	0.250	-	0.627	0.645	39.058	175.5	0.22	0.47
	5	0.145	-	0.743	0.646	39.058	175.5	0.22	0.60

(도.설.기 3.9.3.2)

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

힘응력 조합	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

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수 하중)	1	-7.0	-16.0	-	-	-243.9	-380.0	255.3	380.0
	2	-5.7	-16.0	-	-	-278.7	-380.0	255.5	380.0
	3	-8.5	-16.0	-	-	-214.8	-380.0	253.8	380.0
	4	-7.2	-16.0	-	-	-249.6	-380.0	253.9	380.0
최대 항복응력비		(f/fy)max		=	0.733	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 3 > 단면위치: 102,1/4지점 (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	0.71236

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

단면제원 (mm)

B1	2200
B2	2200
B3	4500
H	3000
t1	18
t2	22
t3	12
tr	0.726
Tcu	240
Th	26
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	4500
하부플랜지	2400	하부슬래브	0

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

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

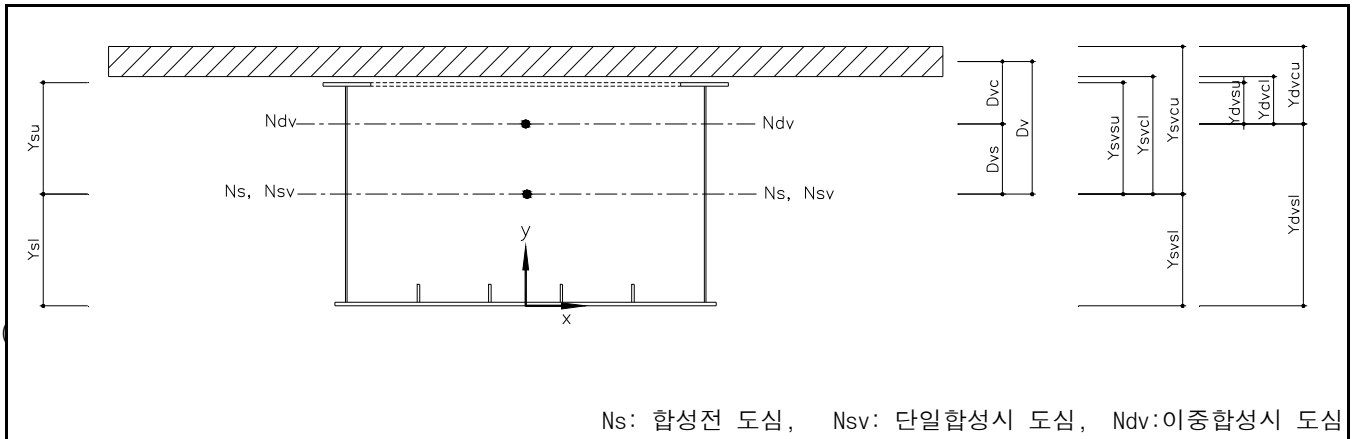
Θ=0.000°

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	7032.2	11755.6	6842.4	10316.9	148.7	36095.9
전단력, S (kN)	184.6	281.2	161.1	473.8	7.3	1108.0
비틀림, T (kN-m)	-306.2	-486.6	-327.0	-1214.5	-4.9	-2339.28

※ 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	500×22×2	22,000	3,029	6.664.E+07	8.873.E+05	6.926.E+10	6.926.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,518	1.093.E+08	5.400.E+10	4.993.E+09	5.899.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	93	3.348.E+05	6.750.E+06	4.858.E+09	4.865.E+09
하부플랜지	2400×18×1	43,200	9	3.888.E+05	1.166.E+06	6.703.E+10	6.703.E+10
계		140,800		1.767.E+08			2.002.E+11

- 도심 : $ys = 176657600/140800 = 1254.7 \text{ mm}$
 $Ysu = 1254.67 - 3040 = -1785.3 \text{ mm}$
 $Ysl = 1254.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = Md1 \times Ysu / Is = 7,032.2 \times 1000000 \times (-1785.33) / 200154198041.8 = -62.726 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = Md1 \times Ysl / Is = 7,032.2 \times 1000000 \times 1254.67 / 200154198041.8 = 44.082 \text{ MPa}$

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

- 도심 : $ysv = 176657600/140800 = 1254.7 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Ysvbcl = 0.0 \text{ mm}$
 $Ysvsu = 1254.67 - 3040 = -1785.3 \text{ mm}$
 $Ysvsl = 1254.7 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = Md2 \times Ysvcl / (n' \times Isv) = 11755.62 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 200154198041.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = Md2 \times Ysvsu / Isv = 11755.62 \times 1000000 \times (-1785.3) / 200154198041.8 = -104.856 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = Md2 \times Ysvsl / Isv = 11755.62 \times 1000000 \times 1254.67 / 200154198041.8 = 73.690 \text{ MPa}$

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	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3164.0	4.882.E+08	7.406.E+08	1.281.E+11	1.288.E+11
단일합성시		140800.0	1254.7	1.767.E+08	2.002.E+11	1.403.E+11	3.405.E+11
계		295085.7		6.648.E+08			4.693.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.710$

- 도심 : $Y_{dv} = 664817536/295085.7 = 2253.0 \text{ mm}$
 $A_{tc} = 4500 \times 240 = 1080000.0 \text{ mm}^2$
 $A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$
 $n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2252.964 - 3284 = -1031.0 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2252.964 - 3164 = -911.0 \text{ mm}$
 $Y_{dvtdl} = 2252.964 - 3044 = -791.0 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0$ 0.0 mm
 $Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{dvbdl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2252.964 - 1254.67 = 998.3 \text{ mm}$
 $Y_{dvsl} = 2252.964 - 3040 = -787.0 \text{ mm}$ $D_{dv} = 911.036 + 998.294 = 1909.3 \text{ mm}$
 $Y_{dvsl} = 2253.0 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 6,842.4 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -2.148 \text{ MPa}$
· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 6,842.4 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 6842.424 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -11.476 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 6842.424 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 32.850 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 10316.9 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -3.238 \text{ MPa}$
· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 10316.9 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 10316.9 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -17.303 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 10316.9 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 49.532 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 148.7 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -0.047 \text{ MPa}$
· $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 148.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 148.7 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -0.249 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 148.7 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 0.714 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5184000000		
환산 상부바닥판		77,143	3,164	244080000	370285714	117374573571	117744859285
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		140,800	1,255	176657536	200154198042	64309863397	264464061439
계		217,943		420737536			382208920724

- 도심 : $yv1 = 420737536 / 217942.9 = 1930.5 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Yv1tcu = 1930.5 - 3284 = -1353.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 1930.5 - 3164 = -1,234 \text{ mm}$
- $Yv1tcl = 1930.5 - 3044 = -1113.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 0$ $- \text{ mm}$
- $Yv1bcu = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs1 = 1930.5 - 1254.67 = 676 \text{ mm}$
- $Yv1bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dv1 = 1233.5 + 675.83 = 1,909 \text{ mm}$
- $Yv1su = 1930.5 - 3040 = -1109.5 \text{ mm}$ $Yv1sl = 1,931 \text{ mm}$
- $Ec1 = Ec / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804 / (1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $Ec1 = Ec' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0 / (1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= 6842.424 \times 1000000 / (7 \times 469269844053.8) \times (-911.036) \times 1080000 = -2,049,503 \text{ N}$
 - $Nbc = Md3 / (n \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= 6842.424 \times 1000000 / (7 \times 469269844053.8) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -2049503.148 \times 2 \times 2 / (2+2) = -2,049,503 \text{ N}$
 - $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma tc^2 = Ix / Atc = 5184000000 / 1080000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma bc^2 = Ix / Abc = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $Mv1 = Ptv1 \times (Dtc1 + \gamma tc^2 / Ddvtc) + Pbv1 \times (Dtc1 + \gamma bc^2 / Ddvbc)$
 $= -2049503.148 \times (-1233.5 + 4800 / (-911.036)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0) / 1000000 = 2538.9 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $fv1tcu = 1/n1 \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1tcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times ftc$
 $= [1/14 \times ((-2049503.148 + 0) / 217942.9 + (0.71) \times 2538.86 \times 1000000 \times (-1353.5) / 382208920724)] - 0.5 \times 2 \times (-2.148)$
 $= 1.020 \text{ MPa}$
 - $fv1bcl = 1/n1' \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1bcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times fbc$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $fv1su = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1su / Iv1$
 $= (-2,049,503.1 + 0) / 217942.9 + (0.71) \times (2538.86) \times 10^6 \times (-1109.5) / 3822089207 = -14.637 \text{ MPa}$
 - $fv1sl = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1sl / Iv1$
 $= (-2,049,503.1 + 0) / 217942.9 + (0.71) \times (2538.86) \times 10^6 \times 1930.5 / 382208920724 = -0.299 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		51,429	3,164	1.627.E+08	2.469.E+08	1.006.E+11	1.008.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		140,800	1,255	1.767.E+08	2.002.E+11	3.674.E+10	2.369.E+11
계		192,229		3.394.E+08			3.377.E+11

- 도심 : $yv2 = 339377536/192228.6 = 1765.5 \text{ mm}$

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

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

$Yv2tcu = 1,765.5 - 3284 = -1518.5 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1765.489 - 3164 = -1,399 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,765.5 - 3044 = -1278.5 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1765.489 - 1254.67 = 511 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,765.5 - 3040 = -1274.5 \text{ mm}$ $Dv2 = 1398.511 + 510.8 = 1,909 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1765.5 \text{ mm}$

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

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

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,572 \text{ N}$

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

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -2846571.5 \times (-1398.511) + 0 \times 0 = 3,981 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon s$
 $= [1/21 \times ((-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.71) \times 3981 \times 10^6 \times (-1518.5) / 337726549154.7)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.325 \text{ MPa}$

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

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.71) \times 3981 \times 10^6 \times (-1274.5) / 337726549154.7 = -25.475 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.71) \times 3981 \times 10^6 \times 1765.489 / 337726549154.7 = -0.032 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154,286	3,164	4.882.E+08	7.406.E+08	1.280.E+11	1.288.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		140,800	1,255	1.767.E+08	2.002.E+11	1.403.E+11	3.405.E+11
계		295,086		6.648.E+08			4.693.E+11

- 도심 : $y_v3 = 664817536/295085.7 = 2253.0 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$Y_v3t_{cu} = 2,253.0 - 3284 = -1031.0 \text{ mm}$ $D_{tc3} = 2253 - 3164 = -911.0 \text{ mm}$

$Y_v3t_{cl} = 2,253.0 - 3044 = -791.0 \text{ mm}$ $D_{bc3} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_v3b_{cu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_v3b_{cl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs3} = 2253 - 1254.67 = 998.3 \text{ mm}$

$Y_v3s_u = 2,253.0 - 3040 = -787.0 \text{ mm}$ $D_{v3} = 911 + 998.3 = 1909.3 \text{ mm}$

$Y_v3s_l = 2253.0 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv3} = E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N}$

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{tc3} = 3795428.6 \times (-911) / 1000000 = -3457.635 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v3t_{cu}} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3t_{cu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/295085.7 + (0.71) \times (-3457.635000) \times (-1031) / 469269844433.4) - 27804 \times 0.000012 \times 10$
 $= -0.729 \text{ MPa}$

· $f_{v3b_{cl}} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3b_{cl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/295085.7 + (0.71) \times (-3457.635000) \times 0 / 469269844433.4) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10$
 $= 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3s_u} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_u / I_{v3}$
 $= 3795428.6/295085.7 + (0.71) \times (-3457.635) \times 10^6 \times (-787) / 469269844433.4 = 16.979 \text{ MPa}$

· $f_{v3s_l} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_l / I_{v3}$
 $= 3795428.6/295085.7 + (0.71) \times (-3457.635) \times 10^6 \times 2253 / 469269844433.4 = 1.076 \text{ MPa}$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6656851.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 184.6 \times 1000 / 72000 + 306.24 \times 10^6 / (2 \times 6656851.2 \times 12) = 4.481 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6656851.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 281.2 \times 1000 / 72000 + 486.64 \times 10^6 / (2 \times 6656851.2 \times 12) = 6.952 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6696889.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 634.94 \times 1000 / 72000 + 1541.52 \times 10^6 / (2 \times 6696889 \times 12) = 18.410 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 : ($t_{min} \geq b/16$)

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

$$t_{min} = 15.6 < t = 22.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 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.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (22/250)^2 = -185.9 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

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

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.177) = 3000 / (281 \times 1.177) = 9.071 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(232.32/167.582)} = 1.177 < 1.2$ 1.177 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.066) = 3000 / (281 \times 1.066) = 10.015 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/202.465)} = 1.066 < 1.2$ 1.066 적용

$\therefore t_{\min} = 10.015 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

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	-	-	-	-	- 167.582	- 232.320	117.772	287.500
	2	- 5.025	- 10.800	-	-	- 202.465	- 230.000	200.748	230.000
	3	- 3.088	- 10.800	-	-	- 236.722	- 264.500	200.537	230.000
	4	- 3.817	- 12.420	-	-	- 219.743	- 299.000	201.613	264.500
	5	- 2.359	- 12.420	-	-	- 253.701	- 299.000	199.461	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	-	-	0.721	0.410	11.433	168.8	0.07	0.52
	2	0.465	-	0.880	0.873	29.843	135.0	0.22	0.82
	3	0.286	-	0.895	0.872	29.843	155.3	0.19	0.84
	4	0.307	-	0.735	0.762	29.843	175.5	0.17	0.61
	5	0.190	-	0.848	0.754	29.843	175.5	0.17	0.75

(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	-8.5	-16.0	-	-	-287.3	-380.0	303.2	380.0
	2	-7.1	-16.0	-	-	-321.2	-380.0	301.0	380.0
	3	-10.1	-16.0	-	-	-258.9	-380.0	303.3	380.0
	4	-8.6	-16.0	-	-	-292.8	-380.0	301.1	380.0
최대 항복응력비		(f/fy)max		=		0.845		< 1.0 ∴ 0.K.	

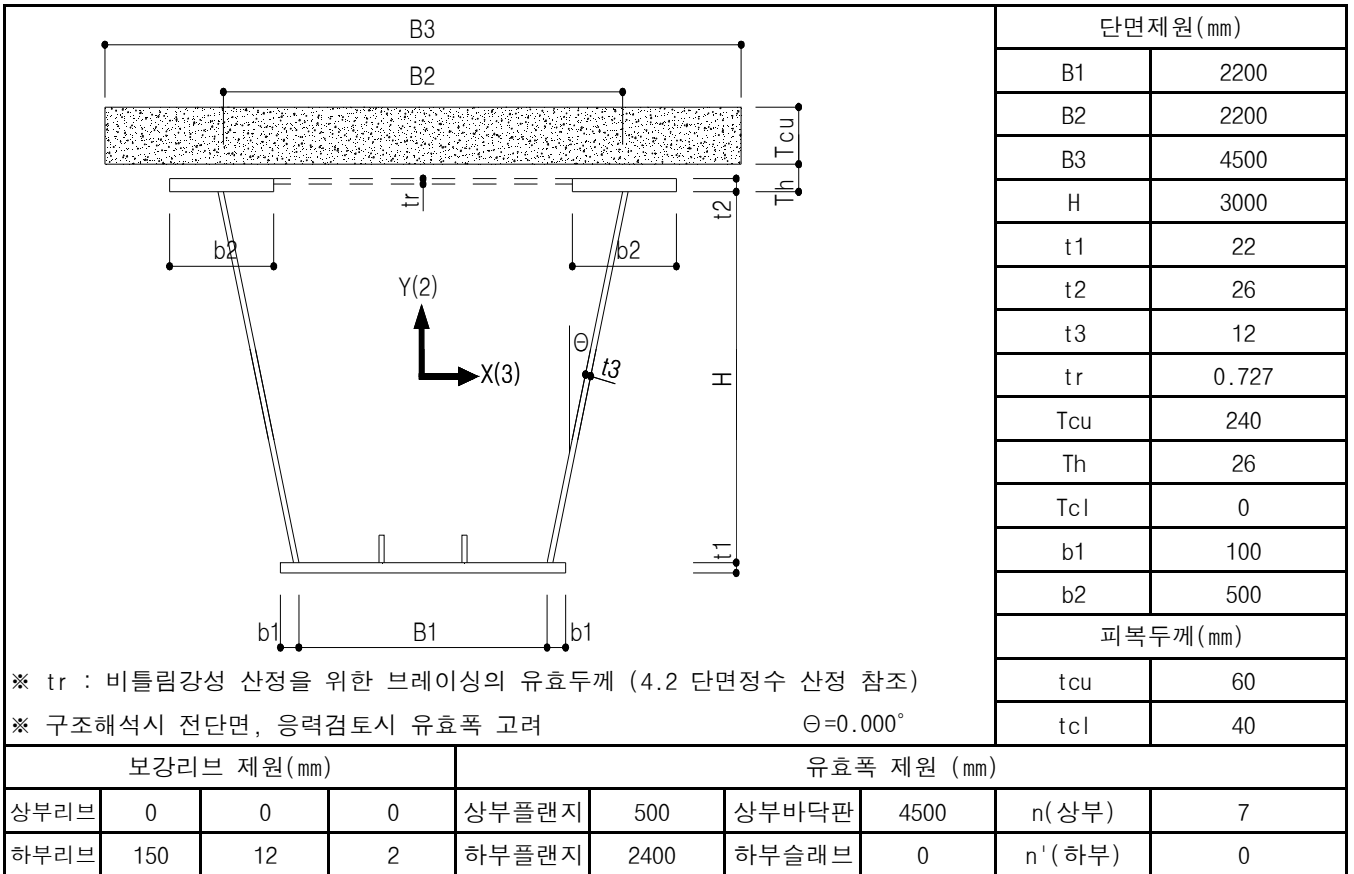
단면위치: 99, J지점 (외측거더)

(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	0.55073

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

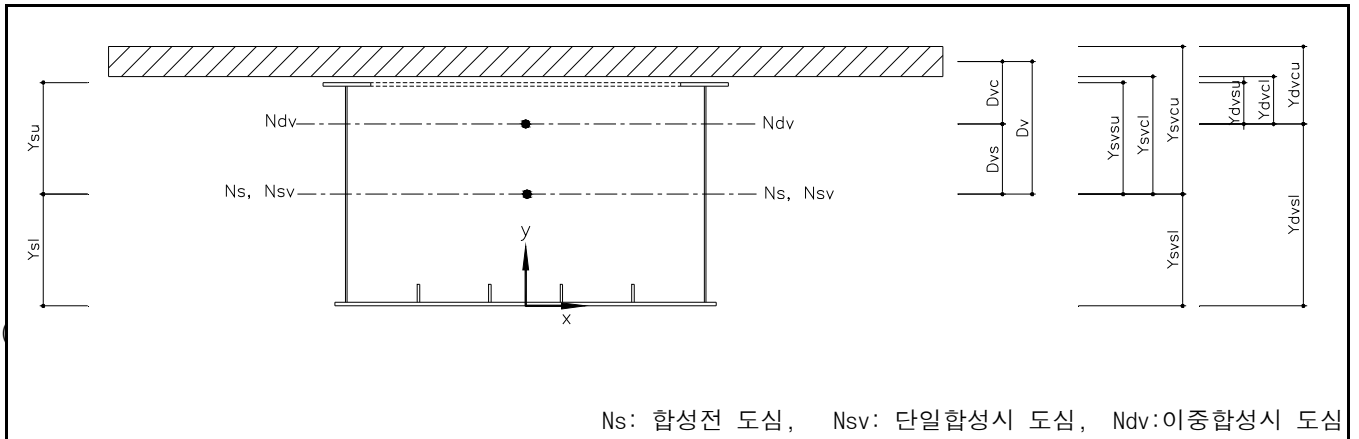


(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	7938.5	13034.6	7589.0	12549.4	232.0	41343.5
전단력, S (kN)	-30.4	-59.9	-32.0	-358.1	-5.4	-485.8
비틀림, T (kN-m)	30.7	87.7	-14.8	451.5	5.5	560.59

※ 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	3,035	7.891.E+07	1.465.E+06	8.501.E+10	8.501.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,522	1.096.E+08	5.400.E+10	6.273.E+09	6.027.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	97	3.492.E+05	6.750.E+06	4.596.E+09	4.602.E+09
하부플랜지	2400×22×1	52,800	11	5.808.E+05	2.130.E+06	7.805.E+10	7.805.E+10
계		154,400		1.894.E+08			2.279.E+11

- 도심 : $y_s = 189424000/154400 = 1226.8 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1226.839 - 3048 = -1821.2 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1226.8 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 7,938.5 \times 1000000 \times (-1821.161) / 227936481083.3 = -63.427 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 7,938.5 \times 1000000 \times 1226.839 / 227936481083.3 = 42.728 \text{ MPa}$

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

- 도심 : $y_{sv} = 189424000/154400 = 1226.8 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1226.839 - 3048 = -1821.2 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1226.8 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 13034.59 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 227936481083.3) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 13034.59 \times 1000000 \times (-1821.2) / 227936481083.3 = -104.146 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 13034.59 \times 1000000 \times 1226.839 / 227936481083.3 = 70.157 \text{ MPa}$

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	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3168.0	4.888.E+08	7.406.E+08	1.454.E+11	1.462.E+11
단일합성시		154400.0	1226.8	1.894.E+08	2.279.E+11	1.453.E+11	3.733.E+11
계		308685.7		6.782.E+08			5.195.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.550$

- 도심 : $Ydv = 678201085/308685.7 = 2197.1 \text{ mm}$
 $Atc = 4500 \times 240 = 1080000.0 \text{ mm}^2$
 $Abc = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$
 $n' = 0$

$Ydvtcu = 2197.06 - 3288 = -1090.9 \text{ mm}$ $Ddvtc = 2197.06 - 3168 = -970.9 \text{ mm}$
 $Ydvbcl = 2197.06 - 3048 = -850.9 \text{ mm}$ $Ddvbc = 0 = 0.0 \text{ mm}$
 $Ydvbcu = 0.0 \text{ mm}$
 $Ydvbcl = 0.0 \text{ mm}$ $Ddvs = 2197.06 - 1226.839 = 970.2 \text{ mm}$
 $Ydvsu = 2197.06 - 3048 = -850.9 \text{ mm}$ $Ddv = 970.94 + 970.221 = 1941.2 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 2197.1 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $fdvtcu = Md3 \times Ydvtcu / (n \times Iv) = 7,589.0 \times 1000000 \times (-1090.94) / (7 \times 519467137836.3) = -2.277 \text{ MPa}$
· $fdvbccl = Md3 \times Ydvbcl / (n' \times Iv) = 7,589.0 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 519467137836.3) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsu / Iv = 7589.017 \times 1000000 \times (-850.94) / 519467137836.3 = -12.432 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = 7589.017 \times 1000000 \times 2197.06 / 519467137836.3 = 32.097 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $fdvtcu = Md3 \times Ydvtcu / (n \times Iv) = 12549.4 \times 1000000 \times (-1090.94) / (7 \times 519467137836.3) = -3.765 \text{ MPa}$
· $fdvbccl = Md3 \times Ydvbcl / (n' \times Iv) = 12549.4 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 519467137836.3) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsu / Iv = 12549.4 \times 1000000 \times (-850.94) / 519467137836.3 = -20.557 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = 12549.4 \times 1000000 \times 2197.06 / 519467137836.3 = 53.077 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $fdvtcu = Md3 \times Ydvtcu / (n \times Iv) = 232 \times 1000000 \times (-1090.94) / (7 \times 519467137836.3) = -0.070 \text{ MPa}$
· $fdvbccl = Md3 \times Ydvbcl / (n' \times Iv) = 232 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 519467137836.3) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsu / Iv = 232 \times 1000000 \times (-850.94) / 519467137836.3 = -0.380 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = 232 \times 1000000 \times 2197.06 / 519467137836.3 = 0.981 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5184000000		
환산 상부바닥판		77,143	3,168	244388571	370285714	129250647771	129620933485
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		154,400	1,227	189423942	227936481083	64585487749	292521968832
계		231,543		433812513			422142902318

- 도심 : $y_{v1} = 433812513/231542.9 = 1873.6 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n_1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

$n_1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$

$Y_{v1tcu} = 1873.6 - 3288 = -1414.4 \text{ mm}$ $D_{tc1} = 1873.6 - 3168 = -1,294 \text{ mm}$

$Y_{v1tcl} = 1873.6 - 3048 = -1174.4 \text{ mm}$ $D_{bc1} = 0$ $- \text{ mm}$

$Y_{v1bcu} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs1} = 1873.6 - 1226.839 = 647 \text{ mm}$

$Y_{v1bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{v1} = 1294.4 + 646.761 = 1,941 \text{ mm}$

$Y_{v1su} = 1873.6 - 3048 = -1174.4 \text{ mm}$ $Y_{v1sl} = 1,874 \text{ mm}$

$E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$

$E_{c1} = E_{c1}' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= 7589.017 \times 1000000 / (7 \times 519467137836.3) \times (-970.94) \times 1080000 = -2,188,495 \text{ N}$

· $N_{bc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= 7589.017 \times 1000000 / (7 \times 519467137836.3) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -2188494.984 \times 2 \times 2 / (2+2) = -2,188,495 \text{ N}$

· $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$

· $\gamma_{tc}^2 = I_x / A_{tc} = 5184000000 / 1080000 = 4,800 \text{ mm}^2$

· $\gamma_{bc}^2 = I_x / A_{bc} = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$

· $M_{v1} = P_{tv1} \times (D_{tc1} + \gamma_{tc}^2 / D_{dvtc}) + P_{bv1} \times (D_{bc1} + \gamma_{bc}^2 / D_{dvbc})$
 $= -2188494.984 \times (-1294.4 + 4800 / (-970.94)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0 / 0) / 1000000 = 2843.6 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v1tcu} = 1/n_1 \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1tcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{tc}$
 $= [1/14 \times ((-2188494.984 + 0) / 231542.9 + (0.55) \times 2843.607 \times 1000000 \times (-1414.4) / 422142902318)] - 0.5 \times 2 \times (-2.277)$
 $= 1.228 \text{ MPa}$

· $f_{v1bcl} = 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1bcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{bc}$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v1su} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1su} / I_{v1}$
 $= (-2,188,495.0 + 0) / 231542.9 + (0.55) \times (2843.607) \times 10^6 \times (-1174.4) / 422142902 = -13.803 \text{ MPa}$

· $f_{v1sl} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1sl} / I_{v1}$
 $= (-2,188,495.0 + 0) / 231542.9 + (0.55) \times (2843.607) \times 10^6 \times 1873.6 / 422142902317 = -2.510 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		51,429	3,168	1.629.E+08	2.469.E+08	1.090.E+11	1.093.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		154,400	1,227	1.894.E+08	2.279.E+11	3.632.E+10	2.643.E+11
계		205,829		3.523.E+08			3.736.E+11

- 도심 : $yv2 = 352349656/205828.6 = 1711.9 \text{ mm}$

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

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

$Yv2tcu = 1,711.9 - 3288 = -1576.1 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1711.86 - 3168 = -1,456 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,711.9 - 3048 = -1336.1 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1711.86 - 1226.839 = 485 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,711.9 - 3048 = -1336.1 \text{ mm}$ $Dv2 = 1456.14 + 485 = 1,941 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1711.9 \text{ mm}$

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

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

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$\cdot Ptv2 = Ec2 \times \epsilon s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,572 \text{ N}$

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

$\cdot Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -2846571.5 \times (-1456.14) + 0 \times 0 = 4,145 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

$\cdot fv2tcu = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon s$
 $= [1/21 \times ((-2846571.5 + 0) / 205828.6 + (0.55) \times 4145 \times 10^6 \times (-1576.1) / 373551470830.2)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.519 \text{ MPa}$

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

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fv2su = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 205828.6 + (0.55) \times 4145 \times 10^6 \times (-1336.1) / 373551470830.2 = -21.984 \text{ MPa}$

$\cdot fv2sl = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 205828.6 + (0.55) \times 4145 \times 10^6 \times 1711.86 / 373551470830.2 = -3.382 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154,286	3,168	4.888.E+08	7.406.E+08	1.454.E+11	1.462.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		154,400	1,227	1.894.E+08	2.279.E+11	1.454.E+11	3.733.E+11
계		308,686		6.782.E+08			5.195.E+11

- 도심 : $y_v3 = 678201085/308685.7 = 2197.1 \text{ mm}$

- 탄성계수비: $n = 7$

$$\begin{aligned}
 Y_v3t_{cu} &= 2,197.1 - 3288 = -1090.9 \text{ mm} & D_{tc3} &= 2197.1 - 3168 = -970.9 \text{ mm} \\
 Y_v3t_{cl} &= 2,197.1 - 3048 = -850.9 \text{ mm} & D_{bc3} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cu} &= 0.0 \text{ mm} \\
 Y_v3b_{cl} &= 0.0 \text{ mm} & D_{vs3} &= 2197.1 - 1226.839 = 970.3 \text{ mm} \\
 Y_v3s_u &= 2,197.1 - 3048 = -850.9 \text{ mm} & D_{v3} &= 970.9 + 970.3 = 1941.2 \text{ mm} \\
 Y_v3s_l &= 2197.1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot P_{tv3} &= E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N} \\
 \cdot M_{v3} &= P_{tv3} \times D_{tc3} = 3795428.6 \times (-970.9) / 1000000 = -3684.982 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상하바닥판 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3t_{cu}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3t_{cu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (3795428.6/308685.7 + (0.55) \times (-3684.982000) \times (-1090.9) / 519467138325.9) - 27804 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= -0.972 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3b_{cl}} &= 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3b_{cl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t \\
 &= 1/7 \times (3795428.6/308685.7 + (0.55) \times (-3684.982000) \times 0 / 519467138325.9) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10 \\
 &= 0.000 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v3s_u} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_u / I_{v3} \\
 &= 3795428.6/308685.7 + (0.55) \times (-3684.982) \times 10^6 \times (-850.9) / 519467138325.9 = 15.615 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v3s_l} &= P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_l / I_{v3} \\
 &= 3795428.6/308685.7 + (0.55) \times (-3684.982) \times 10^6 \times 2197.1 / 519467138325.9 = 3.723 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6661283.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 30.45 \times 1000 / 72000 + 30.67 \times 10^6 / (2 \times 6661283.4 \times 12) = 0.615 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6661283.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 59.92 \times 1000 / 72000 + 87.65 \times 10^6 / (2 \times 6661283.4 \times 12) = 1.380 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6701321.3 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 390.09 \times 1000 / 72000 + 436.79 \times 10^6 / (2 \times 6701321.3 \times 12) = 8.134 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(287.5/167.573)} = 1.310 > 1.2 \quad 1.200 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.055) = 3000 / (281 \times 1.055) = 10.120 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/206.463)} = 1.055 < 1.2 \quad 1.055 \text{ 적용}$

$$\therefore t_{\min} = 10.120 < t = 12.0 \text{ mm} \quad \therefore 0.K.$$

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	-	-	-	-	- 167.573	- 287.500	112.885	287.500
	2	- 5.621	- 10.800	-	-	- 206.463	- 230.000	198.036	230.000
	3	- 3.365	- 10.800	-	-	- 236.729	- 264.500	193.148	230.000
	4	- 4.337	- 12.420	-	-	- 221.114	- 299.000	196.871	264.500
	5	- 2.393	- 12.420	-	-	- 252.344	- 299.000	189.425	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/fa)max = 0.898				< 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	-	-	0.583	0.393	1.995	168.8	0.01	0.34
	2	0.520	-	0.898	0.861	10.129	135.0	0.08	0.81
	3	0.312	-	0.895	0.840	10.129	155.3	0.07	0.81
	4	0.349	-	0.740	0.744	10.129	175.5	0.06	0.56
	5	0.193	-	0.844	0.716	10.129	175.5	0.06	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	-9.8	-16.0	-	-	-292.9	-380.0	301.4	380.0
	2	-7.8	-16.0	-	-	-324.1	-380.0	294.0	380.0
	3	-11.5	-16.0	-	-	-268.1	-380.0	305.3	380.0
	4	-9.6	-16.0	-	-	-299.3	-380.0	297.9	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.853	<	1.0	∴ 0.K.	

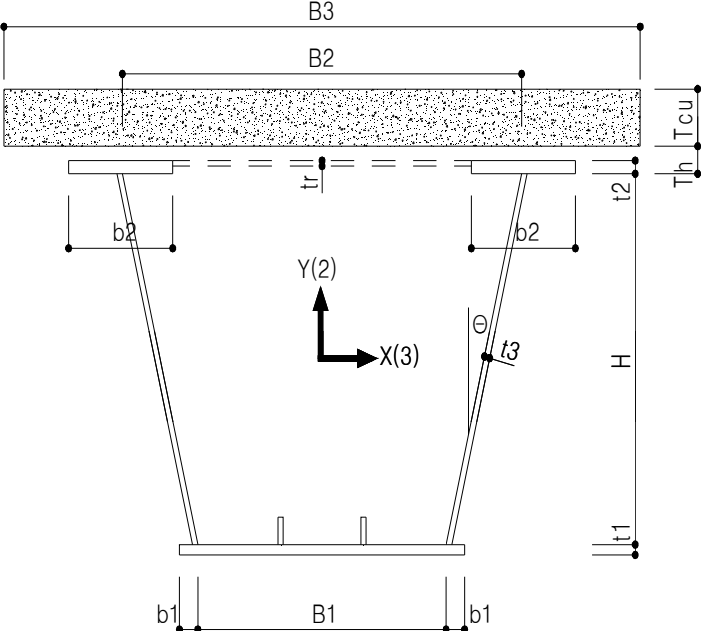
◎ 정모멘트 < 단면 5 > 단면위치: 98,1/4지점 (외측거더)

(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	0.42501

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

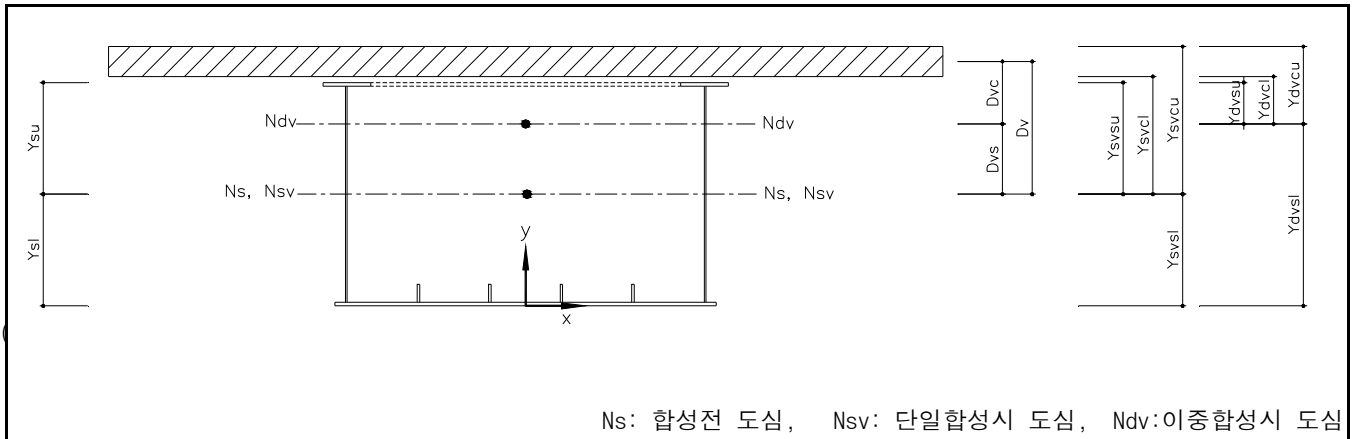
							단면제원 (mm)		
							B1	2200	
							B2	2200	
							B3	4500	
							H	3000	
							t1	18	
							t2	22	
							t3	12	
							tr	0.726	
							Tcu	240	
							Th	26	
							Tcl	0	
							b1	100	
							b2	500	
							피복두께 (mm)		
							tcu	60	
							tcl	40	
※ tr : 비틀림강성 산정을 위한 브레이싱의 유효두께 (4.2 단면정수 산정 참조) ※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려							$\Theta=0.000^\circ$		
보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	500	상부바닥판	4500	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2400	하부슬래브	0	n'(하부)	0

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	6998.4	11360.0	6633.9	12720.3	296.7	38009.2
전단력, S (kN)	-180.7	-317.1	-182.4	-481.9	-5.4	-1167.6
비틀림, T (kN-m)	141.2	250.4	169.4	532.3	9.7	1102.94

※ 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	500×22×2	22,000	3,029	6.664.E+07	8.873.E+05	6.926.E+10	6.926.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,518	1.093.E+08	5.400.E+10	4.993.E+09	5.899.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	93	3.348.E+05	6.750.E+06	4.858.E+09	4.865.E+09
하부플랜지	2400×18×1	43,200	9	3.888.E+05	1.166.E+06	6.703.E+10	6.703.E+10
계		140,800		1.767.E+08			2.002.E+11

- 도심 : $ys = 176657600/140800 = 1254.7 \text{ mm}$
 $Ysu = 1254.67 - 3040 = -1785.3 \text{ mm}$
 $Ysl = 1254.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = Md1 \times Ysu / Is = 6,998.4 \times 1000000 \times (-1785.33) / 200154198041.8 = -62.424 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = Md1 \times Ysl / Is = 6,998.4 \times 1000000 \times 1254.67 / 200154198041.8 = 43.869 \text{ MPa}$

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

- 도심 : $ysv = 176657600/140800 = 1254.7 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Ysvbcl = 0.0 \text{ mm}$
 $Ysvsu = 1254.67 - 3040 = -1785.3 \text{ mm}$
 $Ysvsl = 1254.7 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = Md2 \times Ysvcl / (n' \times Isv) = 11359.97 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 200154198041.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = Md2 \times Ysvsu / Isv = 11359.97 \times 1000000 \times (-1785.3) / 200154198041.8 = -101.327 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = Md2 \times Ysvsl / Isv = 11359.97 \times 1000000 \times 1254.67 / 200154198041.8 = 71.210 \text{ MPa}$

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	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3164.0	4.882.E+08	7.406.E+08	1.281.E+11	1.288.E+11
단일합성시		140800.0	1254.7	1.767.E+08	2.002.E+11	1.403.E+11	3.405.E+11
계		295085.7		6.648.E+08			4.693.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.430$
- 도심 : $Y_{dv} = 664817536/295085.7 = 2253.0 \text{ mm}$
 $A_{tc} = 4500 \times 240 = 1080000.0 \text{ mm}^2$
 $A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$
- 탄성계수비 : $n = 7$
 $n' = 0$
- $Y_{dvtcu} = 2252.964 - 3284 = -1031.0 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2252.964 - 3164 = -911.0 \text{ mm}$
- $Y_{dvtdl} = 2252.964 - 3044 = -791.0 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0$ 0.0 mm
- $Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$
- $Y_{dvbdl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2252.964 - 1254.67 = 998.3 \text{ mm}$
- $Y_{dvsl} = 2252.964 - 3040 = -787.0 \text{ mm}$ $D_{dv} = 911.036 + 998.294 = 1909.3 \text{ mm}$
- $Y_{dvsl} = 2253.0 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 6,633.9 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -2.082 \text{ MPa}$
 - $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 6,633.9 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 6633.859 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -11.126 \text{ MPa}$
 - $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 6633.859 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 31.849 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 12720.3 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -3.993 \text{ MPa}$
 - $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 12720.3 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 12720.3 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -21.334 \text{ MPa}$
 - $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 12720.3 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 61.070 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 296.7 \times 1000000 \times (-1031.036) / (7 \times 469269844053.8) = -0.093 \text{ MPa}$
 - $f_{dvbdl} = M_d3 \times Y_{dvbdl} / (n' \times I_v) = 296.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 469269844053.8) = 0.000 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 296.7 \times 1000000 \times (-787.036) / 469269844053.8 = -0.498 \text{ MPa}$
 - $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 296.7 \times 1000000 \times 2252.964 / 469269844053.8 = 1.424 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5184000000		
환산 상부바닥판		77,143	3,164	244080000	370285714	117374573571	117744859285
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		140,800	1,255	176657536	200154198042	64309863397	264464061439
계		217,943		420737536			382208920724

- 도심 : $yv1 = 420737536/217942.9 = 1930.5 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Yv1tcu = 1930.5 - 3284 = -1353.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 1930.5 - 3164 = -1,234 \text{ mm}$
- $Yv1tcl = 1930.5 - 3044 = -1113.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 0$ $- \text{ mm}$
- $Yv1bcu = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs1 = 1930.5 - 1254.67 = 676 \text{ mm}$
- $Yv1bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dv1 = 1233.5 + 675.83 = 1,909 \text{ mm}$
- $Yv1su = 1930.5 - 3040 = -1109.5 \text{ mm}$ $Yv1sl = 1,931 \text{ mm}$
- $Ec1 = Ec / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $Ec1 = Ec' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= 6633.859 \times 1000000 / (7 \times 469269844053.8) \times (-911.036) \times 1080000 = -1,987,032 \text{ N}$
 - $Nbc = Md3 / (n \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= 6633.859 \times 1000000 / (7 \times 469269844053.8) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1987031.921 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,987,032 \text{ N}$
 - $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma tc^2 = Ix / Atc = 5184000000/1080000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma bc^2 = Ix / Abc = 0/0 = - \text{ mm}^2$
 - $Mv1 = Ptv1 \times (Dtc1 + \gamma tc^2 / Ddvtc) + Pbv1 \times (Dtc1 + \gamma bc^2 / Ddvbc)$
 $= -1987031.921 \times (-1233.5 + 4800 / (-911.036)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0) / 1000000 = 2461.5 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $fv1tcu = 1/n1 \times ((Ptv1+Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1tcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times ftc$
 $= [1/14 \times ((-1987031.921+0)/217942.9 + (0.43) \times 2461.473 \times 1000000 \times (-1353.5)/382208920724)] - 0.5 \times 2 \times (-2.082)$
 $= 1.163 \text{ MPa}$
 - $fv1bcl = 1/n1' \times ((Ptv1+Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1bcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times fbc$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $fv1su = (Ptv1+Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1su / Iv1$
 $= (-1,987,031.9+0)/217942.9 + (0.43) \times (2461.473) \times 10^6 \times (-1109.5)/382208920 = -12.190 \text{ MPa}$
 - $fv1sl = (Ptv1+Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1sl / Iv1$
 $= (-1,987,031.9+0)/217942.9 + (0.43) \times (2461.473) \times 10^6 \times 1930.5/382208920724 = -3.771 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		51,429	3,164	1.627.E+08	2.469.E+08	1.006.E+11	1.008.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		140,800	1,255	1.767.E+08	2.002.E+11	3.674.E+10	2.369.E+11
계		192,229		3.394.E+08			3.377.E+11

- 도심 : $y_v2 = 339377536/192228.6 = 1765.5 \text{ mm}$

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

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

$Yv2tcu = 1,765.5 - 3284 = -1518.5 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1765.489 - 3164 = -1,399 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,765.5 - 3044 = -1278.5 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1765.489 - 1254.67 = 511 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,765.5 - 3040 = -1274.5 \text{ mm}$ $Dv2 = 1398.511 + 510.8 = 1,909 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1765.5 \text{ mm}$

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

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

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,572 \text{ N}$

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

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -2846571.5 \times (-1398.511) + 0 \times 0 = 3,981 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.43) \times 3981 \times 10^6 \times (-1518.5) / 337726549154.7)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.564 \text{ MPa}$

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

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.43) \times 3981 \times 10^6 \times (-1274.5) / 337726549154.7 = -21.268 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 192228.6 + (0.43) \times 3981 \times 10^6 \times 1765.489 / 337726549154.7 = -5.860 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154,286	3,164	4.882.E+08	7.406.E+08	1.280.E+11	1.288.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		140,800	1,255	1.767.E+08	2.002.E+11	1.403.E+11	3.405.E+11
계		295,086		6.648.E+08			4.693.E+11

- 도심 : $y_v3 = 664817536/295085.7 = 2253.0 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$Y_v3t_{cu} = 2,253.0 - 3284 = -1031.0 \text{ mm}$ $D_{tc3} = 2253 - 3164 = -911.0 \text{ mm}$

$Y_v3t_{cl} = 2,253.0 - 3044 = -791.0 \text{ mm}$ $D_{bc3} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_v3b_{cu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_v3b_{cl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs3} = 2253 - 1254.67 = 998.3 \text{ mm}$

$Y_v3s_u = 2,253.0 - 3040 = -787.0 \text{ mm}$ $D_{v3} = 911 + 998.3 = 1909.3 \text{ mm}$

$Y_v3s_l = 2253.0 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv3} = E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N}$

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{tc3} = 3795428.6 \times (-911) / 1000000 = -3457.635 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v3t_{cu}} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3t_{cu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/295085.7 + (0.43) \times (-3457635000) \times (-1031) / 469269844433.4) - 27804 \times 0.000012 \times 10$
 $= -1.032 \text{ MPa}$

· $f_{v3b_{cl}} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3b_{cl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/295085.7 + (0.43) \times (-3457635000) \times 0 / 469269844433.4) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10$
 $= 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3s_u} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_u / I_{v3}$
 $= 3795428.6/295085.7 + (0.43) \times (-3457.635) \times 10^6 \times (-787) / 469269844433.4 = 15.356 \text{ MPa}$

· $f_{v3s_l} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_v3s_l / I_{v3}$
 $= 3795428.6/295085.7 + (0.43) \times (-3457.635) \times 10^6 \times 2253 / 469269844433.4 = 5.724 \text{ MPa}$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6656851.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 180.7 \times 1000 / 72000 + 141.19 \times 10^6 / (2 \times 6656851.2 \times 12) = 3.393 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6656851.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 317.13 \times 1000 / 72000 + 250.38 \times 10^6 / (2 \times 6656851.2 \times 12) = 5.972 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6696889.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 664.36 \times 1000 / 72000 + 701.64 \times 10^6 / (2 \times 6696889 \times 12) = 13.593 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 : ($t_{min} \geq b/16$)

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

$$t_{min} = 15.6 < t = 22.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 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.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (22/250)^2 = -185.9 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

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

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.191) = 3000 / (281 \times 1.191) = 8.964 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(232.32/163.751)} = 1.191 < 1.2$ 1.191 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.068) = 3000 / (281 \times 1.068) = 9.996 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/201.585)} = 1.068 < 1.2$ 1.068 적용

$\therefore t_{\min} = 9.996 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

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	-	-	-	-	- 163.751	- 232.320	115.079	287.500
	2	- 5.703	- 10.800	-	-	- 201.585	- 230.000	207.914	230.000
	3	- 3.441	- 10.800	-	-	- 230.167	- 264.500	199.791	230.000
	4	- 4.473	- 12.420	-	-	- 214.811	- 299.000	205.515	264.500
	5	- 2.409	- 12.420	-	-	- 245.523	- 299.000	194.067	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/f _a) _{max} = 0.904				< 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	-	-	0.705	0.400	9.365	168.8	0.06	0.50
	2	0.528	-	0.876	0.904	22.958	135.0	0.17	0.85
	3	0.319	-	0.870	0.869	22.958	155.3	0.15	0.78
	4	0.360	-	0.718	0.777	22.958	175.5	0.13	0.62
	5	0.194	-	0.821	0.734	22.958	175.5	0.13	0.69

(도.설.기 3.9.3.2)

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

힘응력 조합	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

구분		CONCRETE				STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	항복응력	하연응력	항복응력	상연응력	항복응력	하연응력	항복응력
휨응력 (계수 하중)	1	-10.1	-16.0	-	-	-286.4	-380.0	319.9	380.0
	2	-8.0	-16.0	-	-	-317.1	-380.0	308.5	380.0
	3	-11.9	-16.0	-	-	-262.7	-380.0	326.5	380.0
	4	-9.8	-16.0	-	-	-293.4	-380.0	315.1	380.0
최대 항복응력비		(f/fy)max		=	0.859	<	1.0	∴ 0.K.	

◎ 정모멘트 < 단면 6 > 단면위치: 96,3/4지점 (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	0.31725

※ 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	2200
B2	2200
B3	4500
H	3000
t1	12
t2	18
t3	12
tr	0.724
Tcu	240
Th	26
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	4500	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2400	하부슬래브	0	n'(하부)	0

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

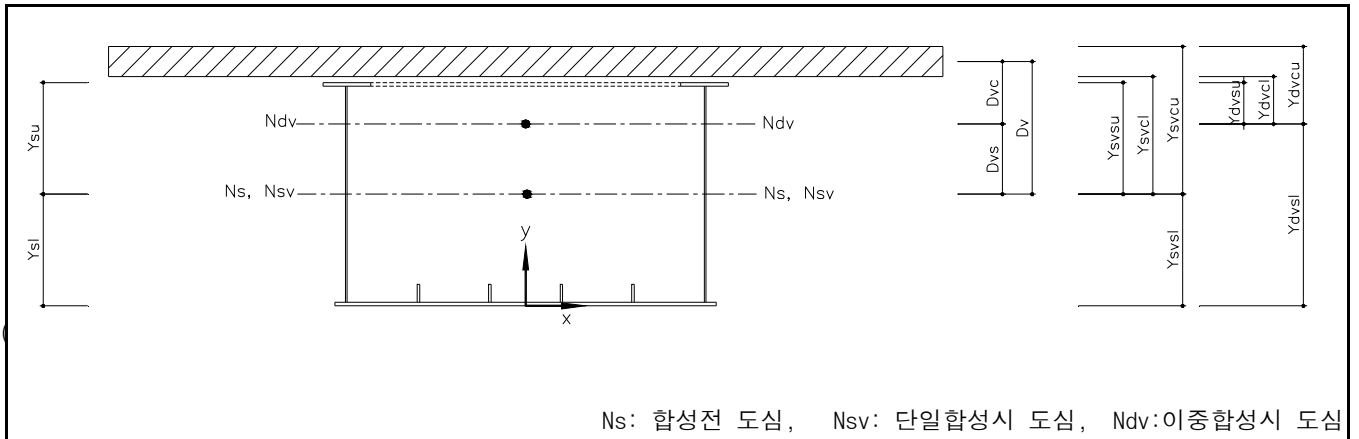
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	5114.8	8064.7	4738.6	11749.7	351.0	30018.7
전단력, S (kN)	-312.3	-546.3	-314.5	-549.7	-5.2	-1728.0
비틀림, T (kN-m)	320.3	547.0	314.1	912.5	19.4	2113.37

※ 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	5.101.E+10	5.101.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,000.0×12×2	72,000	1,512	1.089.E+08	5.400.E+10	2.189.E+09	5.619.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	87	3.132.E+05	6.750.E+06	5.631.E+09	5.638.E+09
하부플랜지	2400×12×1	28,800	6	1.728.E+05	3.456.E+05	5.107.E+10	5.107.E+10
계		122,400		1.637.E+08			1.639.E+11

- 도심 : $y_s = 163728000/122400 = 1337.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1337.647 - 3030 = -1692.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1337.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 5,114.8 \times 1000000 \times (-1692.353) / 163903895152.8 = -52.812 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 5,114.8 \times 1000000 \times 1337.647 / 163903895152.8 = 41.743 \text{ MPa}$

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

- 도심 : $y_{sv} = 163728000/122400 = 1337.6 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1337.647 - 3030 = -1692.4 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1337.6 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 8064.676 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 163903895152.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 8064.676 \times 1000000 \times (-1692.4) / 163903895152.8 = -83.272 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 8064.676 \times 1000000 \times 1337.647 / 163903895152.8 = 65.817 \text{ MPa}$

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	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3158.0	4.872.E+08	7.406.E+08	1.001.E+11	1.008.E+11
단일합성시		122400.0	1337.6	1.637.E+08	1.639.E+11	1.261.E+11	2.900.E+11
계		276685.7		6.510.E+08			3.908.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.320$

- 도심 : $Ydv = 650962279/276685.7 = 2352.7 \text{ mm}$
 $Atc = 4500 \times 240 = 1080000.0 \text{ mm}^2$
 $Abc = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $n = 7$
 $n' = 0$

$Ydvtcu = 2352.714 - 327\text{E} = -925.3 \text{ mm}$ $Ddvtc = 2352.714 - 3158 = -805.3 \text{ mm}$
 $Ydvtdl = 2352.714 - 303\text{E} = -685.3 \text{ mm}$ $Ddvbc = 0$ 0.0 mm
 $Ydvbcu = 0.0 \text{ mm}$
 $Ydvbdl = 0.0 \text{ mm}$ $Ddvs = 2352.714 - 1337.647 = 1015.1 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 2352.714 - 303\text{C} = -677.3 \text{ mm}$ $Ddv = 805.286 + 1015.067 = 1820.4 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 2352.7 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $fdvtcu = Md3 \times Ydvtcu / (n \times Iv) = 4,738.6 \times 1000000 \times (-925.286) / (7 \times 390812709774.8) = -1.603 \text{ MPa}$
· $fdvbdl = Md3 \times Ydvbdl / (n' \times Iv) = 4,738.6 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 390812709774.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = 4738.557 \times 1000000 \times (-677.286) / 390812709774.8 = -8.212 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = 4738.557 \times 1000000 \times 2352.714 / 390812709774.8 = 28.526 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $fdvtcu = Md3 \times Ydvtcu / (n \times Iv) = 11749.7 \times 1000000 \times (-925.286) / (7 \times 390812709774.8) = -3.974 \text{ MPa}$
· $fdvbdl = Md3 \times Ydvbdl / (n' \times Iv) = 11749.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 390812709774.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = 11749.7 \times 1000000 \times (-677.286) / 390812709774.8 = -20.362 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = 11749.7 \times 1000000 \times 2352.714 / 390812709774.8 = 70.734 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $fdvtcu = Md3 \times Ydvtcu / (n \times Iv) = 351 \times 1000000 \times (-925.286) / (7 \times 390812709774.8) = -0.119 \text{ MPa}$
· $fdvbdl = Md3 \times Ydvbdl / (n' \times Iv) = 351 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 390812709774.8) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = 351 \times 1000000 \times (-677.286) / 390812709774.8 = -0.608 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = 351 \times 1000000 \times 2352.714 / 390812709774.8 = 2.113 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5184000000		
환산 상부바닥판		77,143	3,158	243617143	370285714	96181371771	96551657485
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		122,400	1,338	163727993	163903895153	60620838085	224524733238
계		199,543		407345136			321076390723

- 도심 : $y_{v1} = 407345136/199542.9 = 2041.4 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Y_{v1tcu} = 2041.4 - 3278 = -1236.6 \text{ mm}$ $D_{tc1} = 2041.4 - 3158 = -1,117 \text{ mm}$
- $Y_{v1tcl} = 2041.4 - 3038 = -996.6 \text{ mm}$ $D_{bc1} = 0 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcu} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs1} = 2041.4 - 1337.647 = 704 \text{ mm}$
- $Y_{v1bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{v1} = 1116.6 + 703.753 = 1,820 \text{ mm}$
- $Y_{v1su} = 2041.4 - 3030 = -988.6 \text{ mm}$ $Y_{v1sl} = 2,041 \text{ mm}$
- $E_{c1} = E_c / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $E_{c1} = E_{c1}' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= 4738.557 \times 1000000 / (7 \times 390812709774.8) \times (-805.286) \times 1080000 = -1,506,445 \text{ N}$
 - $N_{bc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= 4738.557 \times 1000000 / (7 \times 390812709774.8) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1506445.049 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,506,445 \text{ N}$
 - $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma_{tc^2} = I_x / A_{tc} = 5184000000/1080000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma_{bc^2} = I_x / A_{bc} = 0/0 = - \text{ mm}^2$
 - $M_{v1} = P_{tv1} \times (D_{tc1} + \gamma_{tc^2} / D_{dvtc}) + P_{bv1} \times (D_{bc1} + \gamma_{bc^2} / D_{dvbc})$
 $= -1506445.049 \times (-1116.6 + 4800 / (-805.286)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0) / 1000000 = 1691.1 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $f_{v1tcu} = 1/n1 \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1tcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{tc}$
 $= [1/14 \times ((-1506445.049 + 0) / 199542.9 + (0.32) \times 1691.076 \times 1000000 \times (-1236.6) / 321076390723)] - 0.5 \times 2 \times (-1.603)$
 $= 0.915 \text{ MPa}$
 - $f_{v1bcl} = 1/n1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1bcu} / I_{v1}) - E_{c1}/E_{cx} \Phi_1 \times f_{bc}$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $f_{v1su} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1su} / I_{v1}$
 $= (-1,506,445.0 + 0) / 199542.9 + (0.32) \times (1691.076) \times 10^6 \times (-988.6) / 3210763907 = -9.216 \text{ MPa}$
 - $f_{v1sl} = (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{v1} + k \times M_{v1} \times Y_{v1sl} / I_{v1}$
 $= (-1,506,445.0 + 0) / 199542.9 + (0.32) \times (1691.076) \times 10^6 \times 2041.4 / 321076390723 = -4.109 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		51,429	3,158	1.624.E+08	2.469.E+08	8.450.E+10	8.474.E+10
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		122,400	1,338	1.637.E+08	1.639.E+11	3.550.E+10	1.994.E+11
계		173,829		3.261.E+08			2.841.E+11

- 도심 : $y_v2 = 326139422/173828.6 = 1876.2 \text{ mm}$

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

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

$Yv2tcu = 1,876.2 - 3278 = -1401.8 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1876.213 - 3158 = -1,282 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,876.2 - 3038 = -1161.8 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1876.213 - 1337.647 = 539 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,876.2 - 3030 = -1153.8 \text{ mm}$ $Dv2 = 1281.787 + 538.6 = 1,820 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1876.2 \text{ mm}$

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

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

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,572 \text{ N}$

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

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -2846571.5 \times (-1281.787) + 0 \times 0 = 3,649 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-2846571.5 + 0) / 173828.6 + (0.32) \times 3648.7 \times 10^6 \times (-1401.8) / 284149287638.7)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.582 \text{ MPa}$

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

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 173828.6 + (0.32) \times 3648.7 \times 10^6 \times (-1153.8) / 284149287638.7 = -21.117 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 173828.6 + (0.32) \times 3648.7 \times 10^6 \times 1876.213 / 284149287638.7 = -8.666 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154,286	3,158	4.872.E+08	7.406.E+08	1.001.E+11	1.008.E+11
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		122,400	1,338	1.637.E+08	1.639.E+11	1.261.E+11	2.900.E+11
계		276,686		6.510.E+08			3.908.E+11

- 도심 : $y_{v3} = 650962279 / 276685.7 = 2352.7 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$Y_{v3tcu} = 2,352.7 - 3278 = -925.3 \text{ mm}$ $D_{tc3} = 2352.7 - 3158 = -805.3 \text{ mm}$

$Y_{v3tcl} = 2,352.7 - 3038 = -685.3 \text{ mm}$ $D_{bc3} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{v3bcu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{v3bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs3} = 2352.7 - 1337.647 = 1015.1 \text{ mm}$

$Y_{v3su} = 2,352.7 - 3030 = -677.3 \text{ mm}$ $D_{v3} = 805.3 + 1015.1 = 1820.4 \text{ mm}$

$Y_{v3sl} = 2352.7 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv3} = E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N}$

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{tc3} = 3795428.6 \times (-805.3) / 1000000 = -3056.459 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v3tcu} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3tcu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6 / 276685.7 + (0.32) \times (-3056.459000) \times (-925.3) / 390812709827.4) - 27804 \times 0.000012 \times 10$
 $= -1.046 \text{ MPa}$

· $f_{v3bcl} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3bcl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6 / 276685.7 + (0.32) \times (-3056.459000) \times 0 / 390812709827.4) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10$
 $= 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3su} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3su} / I_{v3}$
 $= 3795428.6 / 276685.7 + (0.32) \times (-3056.459) \times 10^6 \times (-677.3) / 390812709827.4 = 15.413 \text{ MPa}$

· $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3sl} / I_{v3}$
 $= 3795428.6 / 276685.7 + (0.32) \times (-3056.459) \times 10^6 \times 2352.7 / 390812709827.4 = 7.829 \text{ MPa}$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6650203.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 312.26 \times 1000 / 72000 + 320.28 \times 10^6 / (2 \times 6650203.4 \times 12) = 6.344 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6650203.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 546.34 \times 1000 / 72000 + 546.96 \times 10^6 / (2 \times 6650203.4 \times 12) = 11.015 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6690241.3 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 864.2 \times 1000 / 72000 + 1226.68 \times 10^6 / (2 \times 6690241.3 \times 12) = 19.643 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.069) = 3000 / (281 \times 1.069) = 9.987 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(155.52/136.084)} = 1.069 < 1.2$ 1.069 적용

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.167) = 3000 / (281 \times 1.167) = 9.148 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/168.952)} = 1.167 < 1.2$ 1.167 적용

$\therefore t_{\min} = 9.987 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

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	-	-	-	-	- 136.084	- 155.520	107.560	287.500
	2	- 5.330	- 10.800	-	-	- 168.952	- 230.000	207.289	230.000
	3	- 3.199	- 10.800	-	-	- 195.599	- 264.500	196.158	230.000
	4	- 4.245	- 12.420	-	-	- 180.186	- 299.000	203.987	264.500
	5	- 2.153	- 12.420	-	-	- 211.012	- 299.000	188.329	264.500
전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		(f/f _a) _{max} = 0.901				< 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	-	-	0.875	0.374	17.359	168.8	0.10	0.78
	2	0.494	-	0.735	0.901	37.002	135.0	0.27	0.89
	3	0.296	-	0.740	0.853	37.002	155.3	0.24	0.78
	4	0.342	-	0.603	0.771	37.002	175.5	0.21	0.64
	5	0.173	-	0.706	0.712	37.002	175.5	0.21	0.55

(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	-9.5	-16.0	-	-	-242.6	-380.0	325.7	380.0
	2	-7.5	-16.0	-	-	-273.4	-380.0	310.0	380.0
	3	-11.3	-16.0	-	-	-219.6	-380.0	335.2	380.0
	4	-9.2	-16.0	-	-	-250.5	-380.0	319.5	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.882	<	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	-0.16616

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

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

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

Θ=0.000°

단면제원 (mm)	
B1	2200
B2	2200
B3	4500
H	2500
t1	12
t2	16
t3	12
tr	0.723
Tcu	240
Th	26
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	4500	n(상부)	7
하부리브	150	12	2	하부플랜지	2400	하부슬래브	0	n'(하부)	0

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

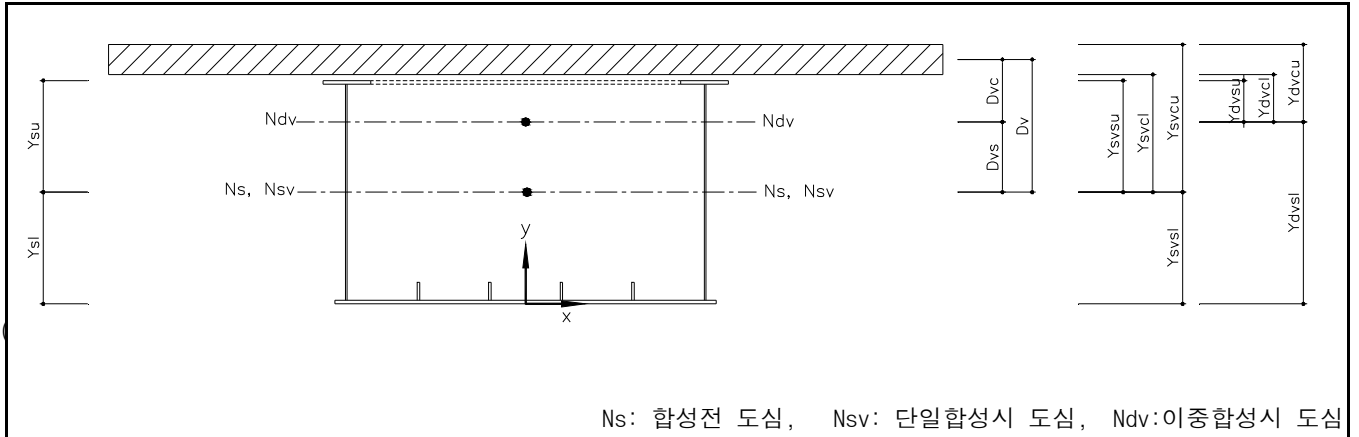
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$

(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	2336.9	5595.4	3073.9	8300.7	78.8	19385.7
전단력, S (kN)	3.0	4.4	2.5	399.8	11.0	420.8
비틀림, T (kN-m)	-2.5	-5.1	-7.4	-466.3	-2.6	-483.90

※ 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	500×16×2	16,000	2,520	4.032.E+07	3.413.E+05	3.341.E+10	3.341.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	2,500.0×12×2	60,000	1,262	7.572.E+07	3.125.E+10	2.099.E+09	3.335.E+10
하부리브	150×12×2	3,600	87	3.132.E+05	6.750.E+06	3.514.E+09	3.521.E+09
하부플랜지	2400×12×1	28,800	6	1.728.E+05	3.456.E+05	3.291.E+10	3.291.E+10
계		108,400		1.165.E+08			1.032.E+11

- 도심 : $y_s = 116526000/108400 = 1075.0 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1074.963 - 2528 = -1453.0 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1075.0 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = 2,336.9 \times 1000000 \times (-1453.037) / 103189611986.1 = -32.907 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = 2,336.9 \times 1000000 \times 1074.963 / 103189611986.1 = 24.344 \text{ MPa}$

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

- 도심 : $y_{sv} = 116526000/108400 = 1075.0 \text{ mm}$
 - 탄성계수비: $n' = 0$ (∵ 단일합성)

$Y_{svbcl} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsu} = 1074.963 - 2528 = -1453.0 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1075.0 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 : (하부콘크리트 없음)

· $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svcl} / (n' \times I_{sv}) = 5595.362 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 103189611986.1) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = 5595.362 \times 1000000 \times (-1453) / 103189611986.1 = -78.788 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = 5595.362 \times 1000000 \times 1074.963 / 103189611986.1 = 58.289 \text{ MPa}$

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	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	2658.0	4.101.E+08	7.406.E+08	6.584.E+10	6.658.E+10
단일합성시		108400.0	1075.0	1.165.E+08	1.032.E+11	9.371.E+10	1.969.E+11
계		262685.7		5.266.E+08			2.635.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.170$

- 도심 : $Y_{dv} = 526617418/262685.7 = 2004.7 \text{ mm}$
 $A_{tc} = 4500 \times 240 = 1080000.0 \text{ mm}^2$
 $A_{bc} = 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $n = 7$
 $n' = 0$

$Y_{dvtcu} = 2004.743 - 277\text{E} = -773.3 \text{ mm}$ $D_{dvtc} = 2004.743 - 2658 = -653.3 \text{ mm}$
 $Y_{dvctl} = 2004.743 - 253\text{E} = -533.3 \text{ mm}$ $D_{dvbc} = 0$ 0.0 mm
 $Y_{dvbcu} = 0.0 \text{ mm}$
 $Y_{dvbcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{dvs} = 2004.743 - 1074.963 = 929.8 \text{ mm}$
 $Y_{dvsl} = 2004.743 - 252\text{E} = -523.3 \text{ mm}$ $D_{dv} = 653.257 + 929.78 = 1583.0 \text{ mm}$
 $Y_{dvsl} = 2004.7 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 3,073.9 \times 1000000 \times (-773.257) / (7 \times 263481603481.1) = -1.289 \text{ MPa}$
· $f_{dvbcl} = M_d3 \times Y_{dvbcl} / (n' \times I_v) = 3,073.9 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 263481603481.1) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 3073.93 \times 1000000 \times (-523.257) / 263481603481.1 = -6.105 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 3073.93 \times 1000000 \times 2004.743 / 263481603481.1 = 23.389 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 8300.7 \times 1000000 \times (-773.257) / (7 \times 263481603481.1) = -3.480 \text{ MPa}$
· $f_{dvbcl} = M_d3 \times Y_{dvbcl} / (n' \times I_v) = 8300.7 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 263481603481.1) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 8300.7 \times 1000000 \times (-523.257) / 263481603481.1 = -16.485 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 8300.7 \times 1000000 \times 2004.743 / 263481603481.1 = 63.157 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{dvtcu} = M_d3 \times Y_{dvtcu} / (n \times I_v) = 78.8 \times 1000000 \times (-773.257) / (7 \times 263481603481.1) = -0.033 \text{ MPa}$
· $f_{dvbcl} = M_d3 \times Y_{dvbcl} / (n' \times I_v) = 78.8 \times 1000000 \times 0 / (0 \times 263481603481.1) = 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 78.8 \times 1000000 \times (-523.257) / 263481603481.1 = -0.156 \text{ MPa}$
· $f_{dvsl} = M_d3 \times Y_{dvsl} / I_v = 78.8 \times 1000000 \times 2004.743 / 263481603481.1 = 0.599 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5184000000		
환산 상부바닥판		77,143	2,658	205045714	370285714	65991086486	66361372200
하부콘크리트	0x0	-			0		
환산 하부콘크리트		-	-	0	0	0	0
합성전		108,400	1,075	116525989	103189611986	46952843287	150142455273
계		185,543		321571703			216503827473

- 도심 : $y_{v1} = 321571703/185542.9 = 1733.1 \text{ mm}$
- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \Phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$
 $n1' = n' \times (1 + \Phi_1 / 2) = 0 \times (1 + 2 / 2) = 0$
- $Yv1tcu = 1733.1 - 2778 = -1044.9 \text{ mm}$ $Dtc1 = 1733.1 - 2658 = -925 \text{ mm}$
- $Yv1tcl = 1733.1 - 2538 = -804.9 \text{ mm}$ $Dtc1 = 0$ $- \text{ mm}$
- $Yv1bcu = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs1 = 1733.1 - 1074.963 = 658 \text{ mm}$
- $Yv1bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dv1 = 924.9 + 658.137 = 1,583 \text{ mm}$
- $Yv1su = 1733.1 - 2528 = -794.9 \text{ mm}$ $Yv1sl = 1,733 \text{ mm}$
- $Ec1 = Ec / (1 + \Phi_1 / 2) = 27804/(1+2/2) = 13,902 \text{ MPa}$
- $Ec1 = Ec' / (1 + \Phi_1 / 2) = 0/(1+2/2) = - \text{ MPa}$
- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :
 - $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= 3073.93 \times 1000000 / (7 \times 263481603481.1) \times (-653.257) \times 1080000 = -1,175,854 \text{ N}$
 - $Nbc = Md3 / (n \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= 3073.93 \times 1000000 / (7 \times 263481603481.1) \times 0 \times 0 = - \text{ N}$
- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :
 - $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -1175854.169 \times 2 \times 2 / (2+2) = -1,175,854 \text{ N}$
 - $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 0 \times 2 \times 2 / (2+2) = - \text{ N}$
 - $\gamma tc^2 = Ix / Atc = 5184000000 / 1080000 = 4,800 \text{ mm}^2$
 - $\gamma bc^2 = Ix / Abc = 0 / 0 = - \text{ mm}^2$
 - $Mv1 = Ptv1 \times (Dtc1 + \gamma tc^2 / Ddvtc) + Pbv1 \times (Dtc1 + \gamma bc^2 / Ddvbc)$
 $= -1175854.169 \times (-924.9 + 4800 / (-653.257)) / 1000000 + 0 \times (0 + 0 / 0) / 1000000 = 1096.2 \text{ kN-m}$
- 상하바닥판 응력 :
 - $fv1tcu = 1/n1 \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1tcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times ftc$
 $= [1/14 \times ((-1175854.169 + 0) / 185542.9 + (-0.17) \times 1096.187 \times 1000000 \times (-1044.9) / 216503827473)] - 0.5 \times 2 \times (-1.289)$
 $= 0.901 \text{ MPa}$
 - $fv1bcl = 1/n1' \times ((Ptv1 + Pbv1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1bcu / Iv1) - Ec1/Ecx \Phi_1 \times fbc$
 $= 0$
 $= 0.00 \text{ MPa}$
- 상하플랜지 응력 :
 - $fv1su = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1su / Iv1$
 $= (-1,175,854.2 + 0) / 185542.9 + (-0.17) \times (1096.187) \times 10^6 \times (-794.9) / 216503827. = -5.653 \text{ MPa}$
 - $fv1sl = (Ptv1 + Pbc1) / Av1 + k \times Mv1 \times Yv1sl / Iv1$
 $= (-1,175,854.2 + 0) / 185542.9 + (-0.17) \times (1096.187) \times 10^6 \times 1733.1 / 21650382747 = -7.829 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		51,429	2,658	1.367.E+08	2.469.E+08	5.928.E+10	5.953.E+10
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		108,400	1,075	1.165.E+08	1.032.E+11	2.813.E+10	1.313.E+11
계		159,829		2.532.E+08			1.908.E+11

- 도심 : $yv2 = 253223132/159828.6 = 1584.3 \text{ mm}$

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

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

$Yv2tcu = 1,584.3 - 2778 = -1193.7 \text{ mm}$ $Dtc2 = 1584.342 - 2658 = -1,074 \text{ mm}$

$Yv2tcl = 1,584.3 - 2538 = -953.7 \text{ mm}$ $Dbc2 = - \text{ mm}$

$Yv2bcu = 0.0 \text{ mm}$

$Yv2bcl = 0.0 \text{ mm}$ $Dvs2 = 1584.342 - 1074.963 = 509 \text{ mm}$

$Yv2su = 1,584.3 - 2528 = -943.7 \text{ mm}$ $Dv2 = 1073.658 + 509.4 = 1,583 \text{ mm}$

$Yv2sl = 1584.3 \text{ mm}$

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

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

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv2 = Ec2 \times \epsilon_s \times Atc = -9761.905 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,572 \text{ N}$

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

· $Mv2 = Ptv2 \times Dtc2 + Pbv2 \times Dbc2$
 $= -2846571.5 \times (-1073.658) + 0 \times 0 = 3,056 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v2tcu} = 1/n2 \times ((Ptv2 + Pbv2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2tcu / Iv2) - Ec2 \times \epsilon_s$
 $= [1/21 \times ((-2846571.5 + 0) / 159828.6 + (-0.17) \times 3056.2 \times 10^6 \times (-1193.7) / 190846536825)] - 9761.905 \times (-0.00027)$
 $= 1.942 \text{ MPa}$

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

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v2su} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2su / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 159828.6 + (-0.17) \times 3056.2 \times 10^6 \times (-943.7) / 190846536825 = -15.241 \text{ MPa}$

· $f_{v2sl} = (Ptv2 + Pbc2) / Av2 + k \times Mv2 \times Yv2sl / Iv2$
 $= (-2846571.5 + 0) / 159828.6 + (-0.17) \times 3056.2 \times 10^6 \times 1584.342 / 190846536825 = -22.123 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154,286	2,658	4.101.E+08	7.406.E+08	6.585.E+10	6.659.E+10
하부콘크리트	0x0	-			-		
환산 하부콘크리트		-	-	-	-	-	-
합성전		108,400	1,075	1.165.E+08	1.032.E+11	9.370.E+10	1.969.E+11
계		262,686		5.266.E+08			2.635.E+11

- 도심 : $y_{v3} = 526617418/262685.7 = 2004.7 \text{ mm}$

- 탄성계수비 : $n = 7$

$Y_{v3tcu} = 2,004.7 - 2778 = -773.3 \text{ mm}$ $D_{tc3} = 2004.7 - 2658 = -653.3 \text{ mm}$

$Y_{v3tcl} = 2,004.7 - 2538 = -533.3 \text{ mm}$ $D_{bc3} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{v3bcu} = 0.0 \text{ mm}$

$Y_{v3bcl} = 0.0 \text{ mm}$ $D_{vs3} = 2004.7 - 1074.963 = 929.7 \text{ mm}$

$Y_{v3su} = 2,004.7 - 2528 = -523.3 \text{ mm}$ $D_{v3} = 653.3 + 929.7 = 1583.0 \text{ mm}$

$Y_{v3sl} = 2004.7 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv3} = E_{st} \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N}$

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{tc3} = 3795428.6 \times (-653.3) / 1000000 = -2479.554 \text{ kN-m}$

- 상하바닥판 응력 :

· $f_{v3tcu} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3tcu} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/262685.7 + (-0.17) \times (-2479554000) \times (-773.3) / 263481603971.7) - 27804 \times 0.000012 \times 10$
 $= -1.449 \text{ MPa}$

· $f_{v3bcl} = 1/n \times (P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3bcl} / I_{v3}) - E_c \times \alpha \times \Delta t$
 $= 1/7 \times (3795428.6/262685.7 + (-0.17) \times (-2479554000) \times 0 / 263481603971.7) - 27804.063636603 \times 0.000012 \times 10$
 $= 0.000 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{v3su} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3su} / I_{v3}$
 $= 3795428.6/262685.7 + (-0.17) \times (-2479.554) \times 10^6 \times (-523.3) / 263481603971.7 = 13.611 \text{ MPa}$

· $f_{v3sl} = P_{tv3} / A_{v3} + k \times M_{v3} \times Y_{v3sl} / I_{v3}$
 $= 3795428.6/262685.7 + (-0.17) \times (-2479.554) \times 10^6 \times 2004.7 / 263481603971.7 = 17.656 \text{ MPa}$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 5544195.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 2.99 \times 1000 / 60000 + 2.47 \times 10^6 / (2 \times 5544195.6 \times 12) = 0.068 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 5544195.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 4.44 \times 1000 / 60000 + 5.13 \times 10^6 / (2 \times 5544195.6 \times 12) = 0.113 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 5584233.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 402.33 \times 1000 / 60000 + 473.69 \times 10^6 / (2 \times 5584233.4 \times 12) = 10.240 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 : ($t_{min} \geq b/16$)

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

$$t_{min} = 15.6 < t = 16.0 \text{ mm} \therefore \text{O.K.}$$

- 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.

$$\therefore f_{sua} = -24000 \times (t / b)^2 = -24000 \times (16/250)^2 = -98.3 \text{ MPa}$$

- 합성후 : (상부바닥판에 의해 국부좌굴이 방지된 경우)

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

3) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.049) = 2500 / (281 \times 1.049) = 8.481 \text{ mm}$

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(122.88/111.695)} = 1.049 < 1.2$ 1.049 적용

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

여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/136.702)} = 1.297 > 1.2$ 1.200 적용

$\therefore t_{\min} = 8.481 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K.$

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	-	-	-	-	- 111.695	- 122.880	82.633	287.500
	2	- 4.442	- 10.800	-	-	- 136.702	- 230.000	166.646	230.000
	3	- 1.959	- 10.800	-	-	- 155.335	- 264.500	139.826	230.000
	4	- 3.408	- 12.420	-	-	- 141.724	- 299.000	157.482	264.500
	5	- 0.510	- 12.420	-	-	- 168.946	- 299.000	122.170	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	-	-	0.909	0.287	0.181	168.8	0.00	0.83
	2	0.411	-	0.594	0.725	10.421	135.0	0.08	0.53
	3	0.181	-	0.587	0.608	10.421	155.3	0.07	0.37
	4	0.274	-	0.474	0.595	10.421	175.5	0.06	0.36
	5	0.041	-	0.565	0.462	10.421	175.5	0.06	0.32

(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 (계수 하중)	1	-8.1	-16.0	-	-	-193.6	-380.0	264.5	380.0
	2	-5.2	-16.0	-	-	-220.8	-380.0	229.1	380.0
	3	-10.2	-16.0	-	-	-177.2	-380.0	288.1	380.0
	4	-7.3	-16.0	-	-	-204.5	-380.0	252.8	380.0
최대 항복응력비		(f/fy) _{max}		=	0.758	<	1.0	∴ 0.K.	

5.2 교변구간 응력검토

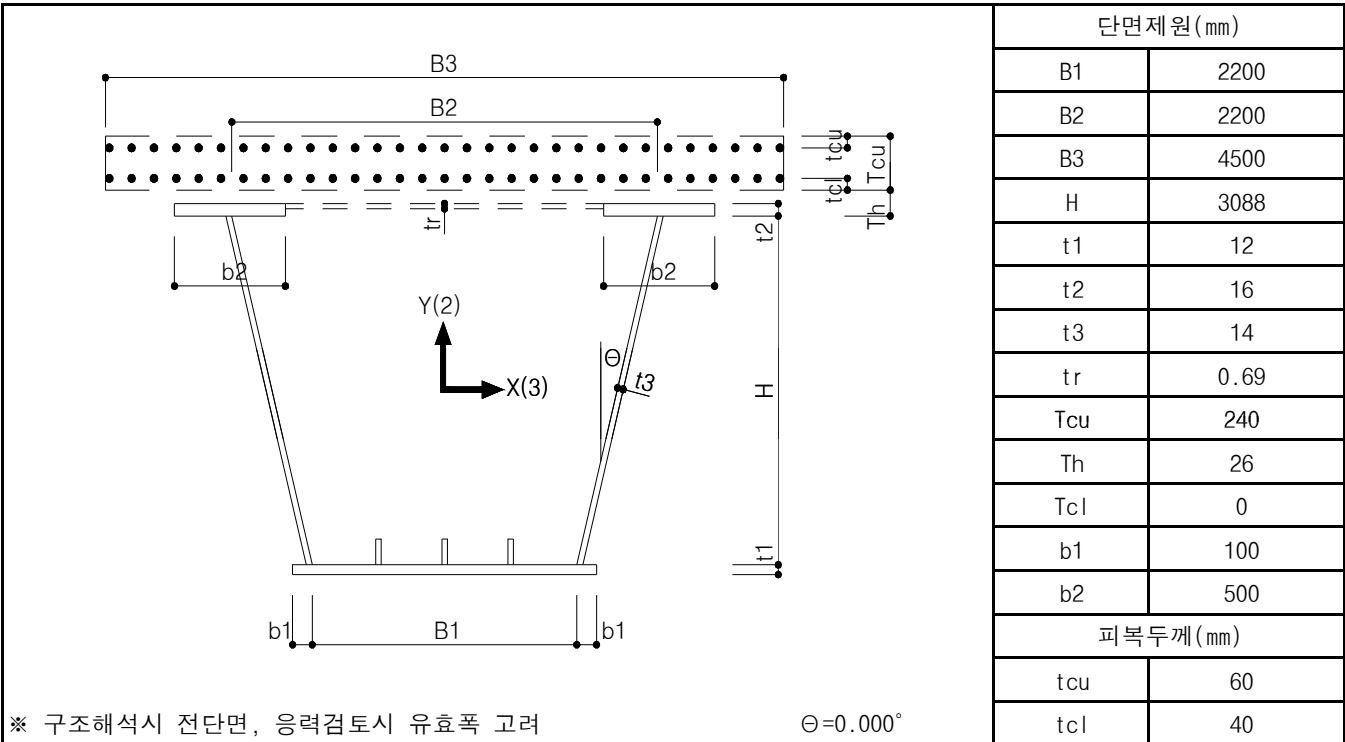
◎ 교변구간 < 단면 7 > 단면위치: 93,3/4지점(외측거더)

(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	0.10174

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원



보강리브 제원(mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	500	상부바닥판	4500	n(상부)	7
하부리브	150	12	4	하부플랜지	2400	하부슬래브	0	n'(하부)	0

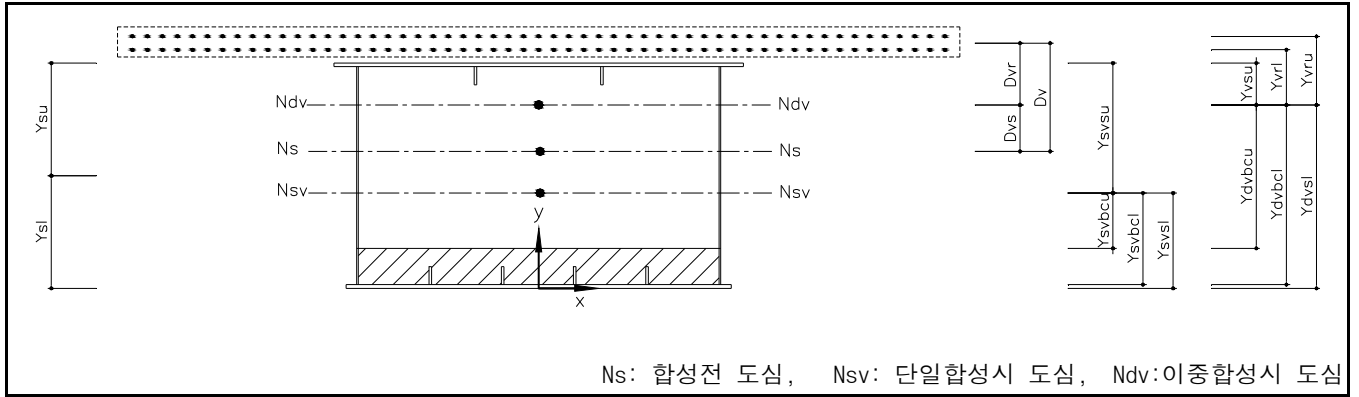
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-1480.4	-3967.6	-2112.7	-8882.6	-335.2	-16778.4
전단력, S (kN)	-567.1	-1051.9	-579.7	-788.7	-4.3	-2991.6
비틀림, T (kN-m)	322.8	470.7	403.4	1510.2	35.2	2742.29

※ 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)	I _s (mm ⁴)
상부플랜지	500×16×2	16,000	3,108	4.973.E+07	3.413.E+05	5.021.E+10	5.021.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,088.0×14×2	86,464	1,556	1.345.E+08	6.871.E+10	4.162.E+09	7.287.E+10
하부리브	150×12×4	7,200	87	6.264.E+05	1.350.E+07	1.124.E+10	1.126.E+10
하부플랜지	2400×12×1	28,800	6	1.728.E+05	3.456.E+05	5.099.E+10	5.099.E+10
계		138,464		1.851.E+08			1.853.E+11

- 도심 : $y_s = 185065184/138464 = 1336.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1336.6 - 3116 = -1779.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1336.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -1,480.4 \times 1000000 \times (-1779.4) / 185323286945 = 14.214 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -1,480.4 \times 1000000 \times 1336.6 / 185323286945 = -10.677 \text{ MPa}$

2) 단일합성 : (DL2)

구분	단면	Asv (mm ²)	y (mm)	Asv · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	I _{sv} (mm ⁴)
STEEL		138464.0	1336.6	1.85.E+08	1.85.E+11	-	1.85.E+11
계		138464.0		1.85.E+08			1.85.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 185070982/138464 = 1336.6 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1336.6 - 3116 = -1779.4 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1336.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -3967.611 \times 1000000 \times (-1779.4) / 185323286945 = 38.095 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -3967.611 \times 1000000 \times 1336.6 / 185323286945 = -28.615 \text{ MPa}$

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	H19x72	20628.0					
환산바닥판 철근		20628.0	3236.0	6.675.E+07		5.637.E+10	5.637.E+10
단일합성시		138464.0	1336.6	1.851.E+08	1.853.E+11	8.400.E+09	1.937.E+11
계		159092.0		2.518.E+08			2.501.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.102$

- 도심 : $Ydv = 251823190/159092 = 1583 \text{ mm}$

$Atc = 4500 \times 240 = 1080000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1582.9 - 3306 = -1723.1 \text{ mm} \quad Ddvr = 1582.9 - 3236 = -1653.1 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1582.9 - 3166 = -1583.1 \text{ mm} \quad Ddvs = 1582.9 - 1336.6 = 246.3 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1582.9 - 3116 = -1533.1 \text{ mm} \quad Ddv = 1653.1 + (246.3) = 1899.4 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1582.9 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -2,112.7 \times 1000000 \times (-1723.1) / (1 \times 250093976792) = 14.556 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -2112.653 \times 1000000 \times (-1533.1) / 250093976792 = 12.951 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -2112.653 \times 1000000 \times 1582.9 / 250093976792 = -13.371 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -8882.6 \times 1000000 \times (-1723.1) / (1 \times 250093976792) = 61.199 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -8882.6 \times 1000000 \times (-1533.1) / 250093976792 = 54.451 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -8882.6 \times 1000000 \times 1582.9 / 250093976792 = -56.220 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -335.2 \times 1000000 \times (-1723.1) / (1 \times 250093976792) = 2.309 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -335.2 \times 1000000 \times (-1533.1) / 250093976792 = 2.055 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -335.2 \times 1000000 \times 1582.9 / 250093976792 = -2.122 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3246.0	5.008.E+08	7.406.E+08	1.258.E+11	1.266.E+11
합성전		138464.0	1336.6	1.851.E+08	1.853.E+11	1.402.E+11	3.255.E+11
계		292749.7		6.859.E+08			4.521.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 685882411/292749.7 = 2342.9 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		77142.9	3246.0	2.504.E+08	3.703.E+08	1.160.E+11	1.164.E+11
합성전		138464.0	1336.6	1.851.E+08	1.853.E+11	6.462.E+10	2.499.E+11
계		215606.9		4.355.E+08			3.663.E+11

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

- 도심 : $ydv1 = 435476696.7/215606.9 = 2019.8 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 2342.9 - 3366 = -1023.1 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2342.9 - 3246 = -903.1 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 2342.9 - 3126 = -783.1 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 2019.8 - 3246 = -1226.2 \text{ mm}$

$Yv1su = 2342.9 - 3116 = -773.1 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 215606.9 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 2342.9 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1226.228 \text{ mm}$

$Dvs1 = 2342.9 - 1336.6 = 1006.3 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 683.172 \text{ mm}$

$Dv1 = 903.1 + 1006.3 = 1909.4 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -2112.653 \times 1000000 / (7 \times 452111825952.6) \times (-903.1) \times 1080000 = 651,094 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 651094.3 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 651,094 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 651094.3 \times (-1226.2) / 1000000 = -798.4 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 651094.3 / 159092 + (0.102) \times (-798.4) \times 1000000 \times (-1723.1) / 250093976792$
 $= 4.654 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvru / Iv1$
 $= 651094.3 / 215606.9 + (0.102) \times (-798.4) \times 1000000 \times (-773.1) / 366312750375.562$
 $= 3.192 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 651094.3 / 215606.9 + (0.102) \times (-798.4) \times 1000000 \times 2342.9 / 366312750375.562$
 $= 2.499 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산상부바닥판		51,429	3,246	1.669.E+08	2.469.E+08	9.969.E+10	9.994.E+10
합성전		138,464	1,337	1.851.E+08	1.853.E+11	3.702.E+10	2.223.E+11
계		189,893	-	3.520.E+08			3.223.E+11

$$\begin{aligned}
 - \text{탄성계수비: } n_2 &= n \times (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21 \\
 - \text{도심 : } y_{dv2} &= 352008125.3 / 189892.6 = 1853.70 \text{ mm} \\
 E_{c2} &= E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa} \\
 Y_{dv2su} &= 1853.7 - 3116 = -1262.3 \text{ mm} \\
 Y_{dv2sl} &= 1853.7 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned}
 P_{tv2} &= E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,570 \text{ N} \\
 D_{dv} &= 1853.7 - 3246 = -1,392 \text{ mm} \\
 A_{v2} &= A_s + A_{cu}/n_2 = 138464 + 1080000 / 21 = \text{mm}^2 \\
 d_{c2} &= d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1909.4 \times 138464 / (1080000 / 21 + 138464) = 1,392 \text{ mm} \\
 d_{s2} &= d_v - d_{c2} = 1909.4 - 1392.3 = 517 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 \cdot M_{v2} &= P_{tv2} \times D_{dv} \\
 &= [-2846570 \times (-1392.3)] / 1000000 \\
 &= 3963.3 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상부철근 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v2ru} &= P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v \\
 &= -2846570 / 159092 + (0.102) \times 3963.3 \times 1000000 \times (-1723.1) / 250093976792 \\
 &= -20.678 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 \cdot f_{v2su} &= P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2} \\
 &= -2846570 / 189892.6 + (0.102) \times 3963.3 \times 1000000 \times (-1262.3) / 322288615946.097 \\
 &= -16.574 \text{ MPa} \\
 \cdot f_{v2sl} &= P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2} \\
 &= -2846570 / 189892.6 + (0.102) \times 3963.3 \times 1000000 \times 1853.7 / 322288615946.097 \\
 &= -12.665 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\cdot P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 = 3795428.6 \text{ N}$$

$$\cdot M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 3795428.6 \times -903.1 / 1000000 = -3427.7 \text{ kN-m}$$

- 상부철근 응력 :

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

$$= 3795428.6 / 159092 + (0.102) \times (-3427.7) \times (-1723.1) / 250093976792 - 205000 \times 0.00012$$

$$= 1.666 \text{ MPa}$$

- 상하플랜지 응력 :

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

$$= 3795428.6 / 159092 + (0.102) \times (-3427.7) \times 1000000 \times (-1533.1) / 250093976792 = 26.000 \text{ MPa}$$

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

$$= 3795428.6 / 159092 + (0.102) \times (-3427.7) \times 1000000 \times 1582.9 / 250093976792 = 21.644 \text{ MPa}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\cdot F = 6851040.4 \text{ mm}^2$$

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

$$= 567.08 \times 1000 / 86464 + 322.85 \times 1000000 / (2 \times 6851040.4 \times 14) = 8.242 \text{ MPa}$$

2) 단일합성시

$$\cdot F = 6851040.4 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1051.92 \times 1000 / 86464 + 470.7 \times 1000000 / (2 \times 6851040.4 \times 14) = 14.620 \text{ MPa}$$

3) 이중합성시

$$\cdot F = 6891114.4 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1368.36 \times 1000 / 86464 + 1913.56 \times 1000000 / (2 \times 6891114.4 \times 14) = 25.743 \text{ MPa}$$

(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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (80 \times 1 \times 5) &= 5.5 \text{ mm} < t = 12 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (44 \times 1 \times 5) &= 10.0 \text{ mm} < t = 12 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 20.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 5.5 \text{ mm} \\ t &= 12 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] &= -153.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3088 / (281 \times 1.2) = 9.158 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/39.292)} = 1.978 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.177) = 3088 / (281 \times 1.177) = 9.337 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(153.733/111.005)} = 1.177 < 1.2 \quad 1.18 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 9.337 < t = 14.0 \text{ mm} \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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 8 > 단면위치: 92,3/4지점(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	0.02990

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

The diagram illustrates the cross-section of a bridge girder. Key dimensions and components include:

- Dimensions:** B1 (bottom flange width), B2 (top flange width), B3 (total width), H (height), t1 (bottom flange thickness), t2 (top flange thickness), t3 (web thickness), tr (top flange stiffener thickness), tcl (top flange stiffener length), tcu (top flange stiffener length), Th (top flange stiffener height).
- Reinforcement:** Top and bottom reinforcement bars are shown with their respective diameters and spacing.
- Coordinate System:** A local coordinate system (X(3), Y(2)) is defined at the center of the section, with an angle Θ between the vertical axis and the line connecting the center to the bottom flange.

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

단면제원 (mm)	
B1	2200
B2	2200
B3	4500
H	3202
t1	18
t2	14
t3	14
tr	0.68
Tcu	240
Th	26
Tcl	0
b1	100
b2	500
피복두께 (mm)	
tcu	60
tcl	40

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	937	상부바닥판	4500	n(상부)	7
하부리브	200	18	4	하부플랜지	2387	하부슬래브	0	n'(하부)	0

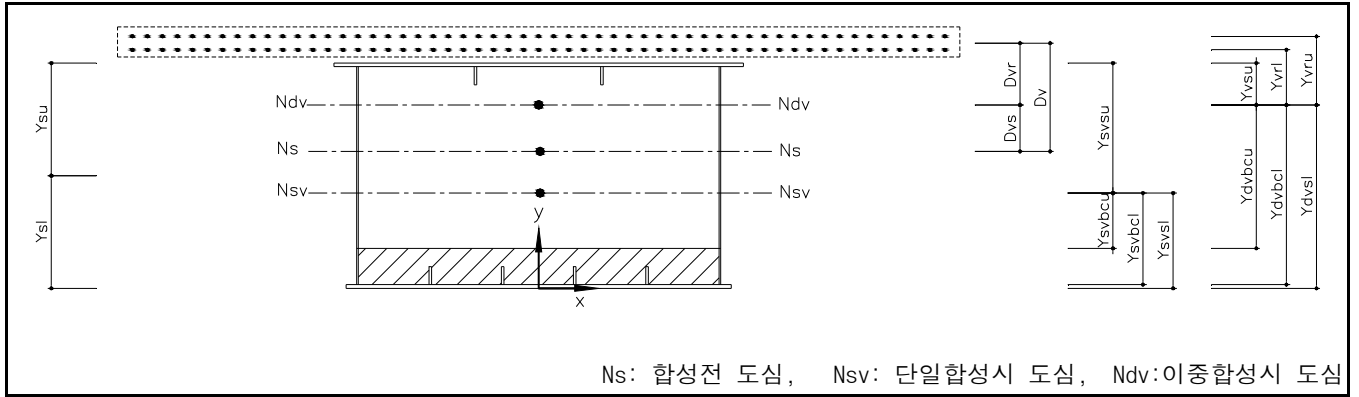
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-4520.0	-9568.3	-5264.4	-10604.0	-356.1	-30312.9
전단력, S (kN)	-615.2	-1095.6	-649.7	-855.5	-3.9	-3220.0
비틀림, T (kN-m)	407.3	603.6	368.7	1815.8	41.9	3237.31

※ 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	937.4×14×2	26,247	3,227	8.470.E+07	4.287.E+05	9.360.E+10	9.360.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,202.0×14×2	89,656	1,619	1.452.E+08	7.660.E+10	7.049.E+09	8.365.E+10
하부리브	200×18×4	14,400	118	1.699.E+06	4.800.E+07	2.145.E+10	2.150.E+10
하부플랜지	2387.2×18×1	42,969	9	3.867.E+05	1.160.E+06	7.596.E+10	7.596.E+10
계		173,271		2.319.E+08			2.747.E+11

- 도심 : $y_s = 231936761/173271.4 = 1338.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1338.6 - 3234 = -1895.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1338.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -4,520.0 \times 1000000 \times (-1895.4) / 274713485617 = 31.186 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -4,520.0 \times 1000000 \times 1338.6 / 274713485617 = -22.025 \text{ MPa}$

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		173271.4	1338.6	2.32.E+08	2.75.E+11	-	2.75.E+11
계		173271.4		2.32.E+08			2.75.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 231941096/173271.4 = 1338.6 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1338.6 - 3234 = -1895.4 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1338.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -9568.347 \times 1000000 \times (-1895.4) / 274713485617 = 66.017 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -9568.347 \times 1000000 \times 1338.6 / 274713485617 = -46.624 \text{ MPa}$

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	H19x72	20628.0					
환산바닥판 철근		20628.0	3356.0	6.923.E+07		6.704.E+10	6.704.E+10
단일합성시		173271.4	1338.6	2.319.E+08	2.747.E+11	7.980.E+09	2.827.E+11
계		193899.4		3.012.E+08			3.497.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = 0.03$

- 도심 : $Ydv = 301168664/193899.4 = 1553 \text{ mm}$

$Atc = 4500 \times 240 = 1080000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1553.2 - 3426 = -1872.8 \text{ mm} \quad Ddvr = 1553.2 - 3356 = -1802.8 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1553.2 - 3286 = -1732.8 \text{ mm} \quad Ddvs = 1553.2 - 1338.6 = 214.6 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1553.2 - 3234 = -1680.8 \text{ mm} \quad Ddv = 1802.8 + (214.6) = 2017.4 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1553.2 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -5,264.4 \times 1000000 \times (-1872.8) / (1 \times 349735993089) = 28.190 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -5264.425 \times 1000000 \times (-1680.8) / 349735993089 = 25.300 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -5264.425 \times 1000000 \times 1553.2 / 349735993089 = -23.380 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -10604 \times 1000000 \times (-1872.8) / (1 \times 349735993089) = 56.783 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -10604 \times 1000000 \times (-1680.8) / 349735993089 = 50.962 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -10604 \times 1000000 \times 1553.2 / 349735993089 = -47.093 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -356.1 \times 1000000 \times (-1872.8) / (1 \times 349735993089) = 1.907 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -356.1 \times 1000000 \times (-1680.8) / 349735993089 = 1.711 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -356.1 \times 1000000 \times 1553.2 / 349735993089 = -1.581 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	3366.0	5.193.E+08	7.406.E+08	1.775.E+11	1.782.E+11
합성전		173271.4	1338.6	2.319.E+08	2.747.E+11	1.580.E+11	4.327.E+11
계		327557.1		7.513.E+08			6.109.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 751266810/327557.1 = 2293.5 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		77142.9	3366.0	2.597.E+08	3.703.E+08	1.518.E+11	1.522.E+11
합성전		173271.4	1338.6	2.319.E+08	2.747.E+11	6.759.E+10	3.423.E+11
계		250414.3		4.916.E+08			4.945.E+11

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

- 도심 : $ydv1 = 491603953.2/250414.3 = 1963.2 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 2293.5 - 3486 = -1192.5 \text{ mm}$ $Dtc1 = 2293.5 - 3366 = -1072.5 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 2293.5 - 3246 = -952.5 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 1963.2 - 3366 = -1402.8 \text{ mm}$

$Yv1su = 2293.5 - 3234 = -940.5 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 250414.3 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 2293.5 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1402.837 \text{ mm}$

$Dvs1 = 2293.5 - 1338.6 = 954.9 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 624.563 \text{ mm}$

$Dv1 = 1072.5 + 954.9 = 2027.4 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -5264.425 \times 1000000 / (7 \times 610916919668.6) \times (-1072.5) \times 1080000 = 1,425,909 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 1425909 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 1,425,909 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 1425909 \times (-1402.8) / 1000000 = -2000.3 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 1425909 / 193899.4 + (0.03) \times (-2000.3) \times 1000000 \times (-1872.8) / 349735993089$
 $= 7.675 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 1425909 / 250414.3 + (0.03) \times (-2000.3) \times 1000000 \times (-940.5) / 494486708433.128$
 $= 5.808 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 1425909 / 250414.3 + (0.03) \times (-2000.3) \times 1000000 \times 2293.5 / 494486708433.128$
 $= 5.416 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산상부바닥판		51,429	3,366	1.731.E+08	2.469.E+08	1.257.E+11	1.259.E+11
합성전		173,271	1,339	2.319.E+08	2.747.E+11	3.730.E+10	3.120.E+11
계		224,700	-	4.050.E+08			4.380.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 405049667.5 / 224700 = 1802.60 \text{ mm}$

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

$Y_{dv2su} = 1802.6 - 3234 = -1431.4 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1802.6 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,570 \text{ N}$

$D_{dv} = 1802.6 - 3366 = -1,563 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 173271.4 + 1080000 / 21 = - \text{mm}^2$

$dc_2 = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 2027.4 \times 173271.4 / (1080000 / 21 + 173271.4) = 1,563 \text{ mm}$

$ds_2 = d_v - dc_2 = 2027.4 - 1563.4 = 464 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$
 $= [-2846570 \times (-1563.4)] / 1000000$
 $= 4450.3 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$
 $= -2846570 / 193899.4 + (0.03) \times 4450.3 \times 1000000 \times (-1872.8) / 349735993089$
 $= -15.396 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$
 $= -2846570 / 224700 + (0.03) \times 4450.3 \times 1000000 \times (-1431.4) / 437967702322.829$
 $= -13.105 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$
 $= -2846570 / 224700 + (0.03) \times 4450.3 \times 1000000 \times 1802.6 / 437967702322.829$
 $= -12.119 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 =$

3795428.6 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 3795428.6 \times -1072.5 / 1000000 =$

-4070.6 kN-m

- 상부철근 응력 :

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

$= 3795428.6 / 193899.4 + (0.03) \times (-4070.6) \times (-1872.8) / 349735993089 - 205000 \times 0.00012$

=

-4.372 MPa

- 상하플랜지 응력 :

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

$= 3795428.6 / 193899.4 + (0.03) \times (-4070.6) \times 1000000 \times (-1680.8) / 349735993089$

20.161 MPa

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

$= 3795428.6 / 193899.4 + (0.03) \times (-4070.6) \times 1000000 \times 1553.2 / 349735993089 =$

19.032 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

7110068.4 mm²

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

$= 615.23 \times 1000 / 89656 + 407.28 \times 1000000 / (2 \times 7110068.4 \times 14) =$

8.908 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

7110068.4 mm²

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

$= 1095.61 \times 1000 / 89656 + 603.64 \times 1000000 / (2 \times 7110068.4 \times 14) =$

15.252 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

7150142.5 mm²

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

$= 1505.18 \times 1000 / 89656 + 2184.49 \times 1000000 / (2 \times 7150142.5 \times 14) =$

27.700 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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (80 \times 1 \times 5) &= 5.5 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (44 \times 1 \times 5) &= 10.0 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 20.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 5.5 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] &= -217.3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3202 / (281 \times 1.2) = 9.496 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/68.649)} = 1.779 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3202 / (281 \times 1.2) = 9.496 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(217.289/140.703)} = 1.243 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 9.496 < t = 14.0 \text{ mm} \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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)

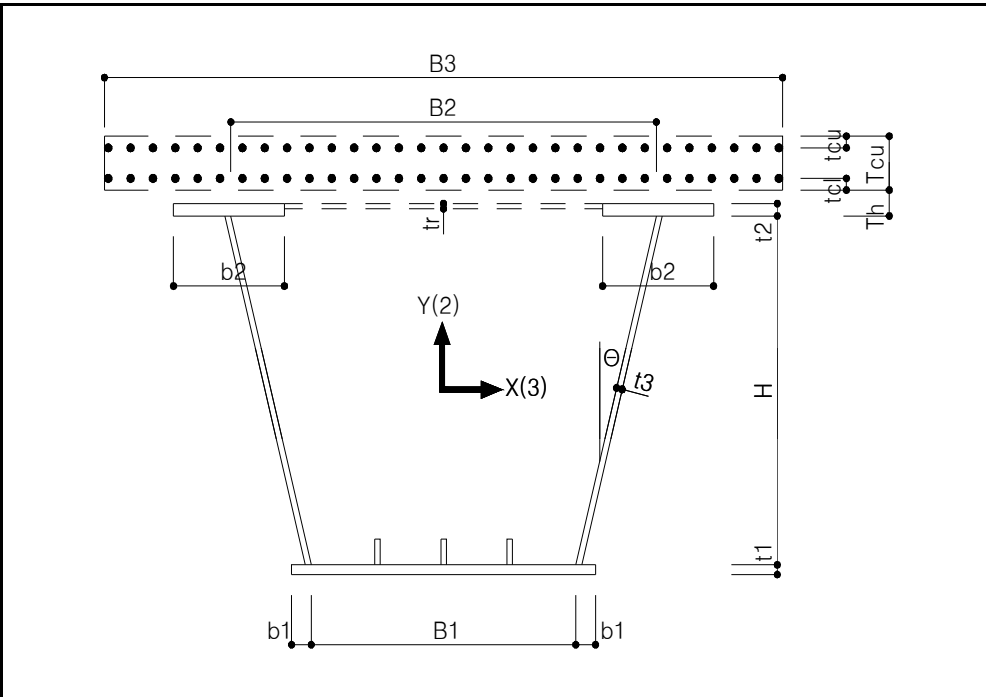
◎ 교변구간 < 단면 9 > 단면위치: 92.1지점 (외측거더)

(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	-0.02398

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2200
		B2	2200
		B3	4500
		H	3320
		t1	18
		t2	14
		t3	16
		tr	0.64
		Tcu	240
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$		Th	26
		Tcl	0
		b1	100
		b2	250
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40
보강리브 제원(mm)		유효폭 제원 (mm)	
상부리브	0	상부플랜지	2692
하부리브	200	하부플랜지	2392

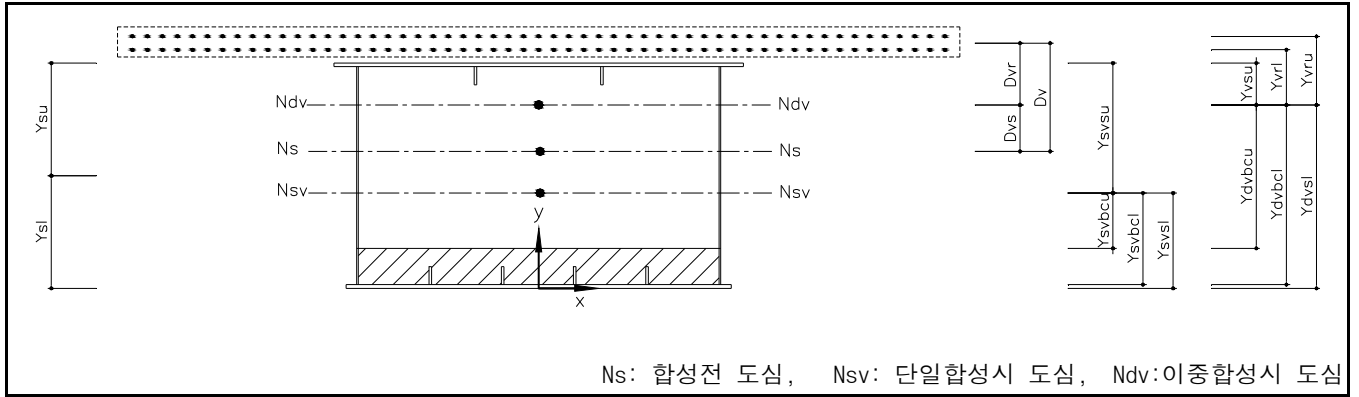
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-7113.3	-13959.9	-7864.3	-12601.3	-371.1	-41909.9
전단력, S (kN)	-754.2	-1207.6	-713.9	-955.7	-3.9	-3635.4
비틀림, T (kN-m)	407.3	584.3	434.3	1799.1	41.9	3266.81

※ 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	2691.8×14×1	37,686	3,345	1.261.E+08	6.155.E+05	1.253.E+11	1.253.E+11
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	3,320.0×16×2	106,240	1,678	1.783.E+08	9.758.E+10	2.599.E+09	1.002.E+11
하부리브	200×18×4	14,400	118	1.699.E+06	4.800.E+07	2.837.E+10	2.842.E+10
하부플랜지	2391.8×18×1	43,053	9	3.875.E+05	1.162.E+06	9.850.E+10	9.850.E+10
계		201,379		3.064.E+08			3.524.E+11

- 도심 : $y_s = 306416399/201378.9 = 1521.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1521.6 - 3352 = -1830.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1521.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -7,113.3 \times 1000000 \times (-1830.4) / 352403826634.4 = 36.947 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -7,113.3 \times 1000000 \times 1521.6 / 352403826634.4 = -30.714 \text{ MPa}$

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		201378.9	1521.6	3.06.E+08	3.52.E+11	-	3.52.E+11
계		201378.9		3.06.E+08			3.52.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 306418134/201378.9 = 1521.6 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1521.6 - 3352 = -1830.4 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1521.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -13959.94 \times 1000000 \times (-1830.4) / 352403826634.4 = 72.509 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -13959.94 \times 1000000 \times 1521.6 / 352403826634.4 = -60.276 \text{ MPa}$

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	H19x70	20055.0					
환산바닥판 철근		20055.0	3474.0	6.967.E+07		6.323.E+10	6.323.E+10
단일합성시		201378.9	1521.6	3.064.E+08	3.524.E+11	6.295.E+09	3.587.E+11
계		221433.9		3.761.E+08			4.219.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.024$

- 도심 : $Ydv = 376089204/221433.9 = 1698 \text{ mm}$

$Atc = 4477.8 \times 240 = 1074661 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비 : $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1698.4 - 3544 = -1845.6 \text{ mm} \quad Ddvr = 1698.4 - 3474 = -1775.6 \text{ mm}$

$Ydvrc1 = 1698.4 - 3404 = -1705.6 \text{ mm} \quad Ddvs = 1698.4 - 1521.6 = 176.8 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1698.4 - 3352 = -1653.6 \text{ mm} \quad Ddv = 1775.6 + (176.8) = 1952.4 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1698.4 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -7,864.3 \times 1000000 \times (-1845.6) / (1 \times 421927085366.4) = 34.400 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -7864.292 \times 1000000 \times (-1653.6) / 421927085366.4 = 30.821 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -7864.292 \times 1000000 \times 1698.4 / 421927085366.4 = -31.656 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -12601.3 \times 1000000 \times (-1845.6) / (1 \times 421927085366.4) = 55.121 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12601.3 \times 1000000 \times (-1653.6) / 421927085366.4 = 49.387 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12601.3 \times 1000000 \times 1698.4 / 421927085366.4 = -50.725 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -371.1 \times 1000000 \times (-1845.6) / (1 \times 421927085366.4) = 1.623 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -371.1 \times 1000000 \times (-1653.6) / 421927085366.4 = 1.454 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -371.1 \times 1000000 \times 1698.4 / 421927085366.4 = -1.494 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4477.8x240	1074660.9			5.158.E+09		
환산 상부바닥판		153523.0	3484.0	5.349.E+08	7.369.E+08	1.904.E+11	1.911.E+11
합성전		201378.9	1521.6	3.064.E+08	3.524.E+11	1.451.E+11	4.975.E+11
계		354901.9		8.413.E+08			6.886.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 841292216/354901.9 = 2370.5 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4477.8x240	1074660.9			5.158.E+09		
환산 상부바닥판		76761.5	3484.0	2.674.E+08	3.685.E+08	1.550.E+11	1.553.E+11
합성전		201378.9	1521.6	3.064.E+08	3.524.E+11	5.907.E+10	4.115.E+11
계		278140.4		5.739.E+08			5.668.E+11

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

- 도심 : $ydv1 = 573855175.4/278140.4 = 2063.2 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} Yv1tcu &= 2370.5 - 3604 = -1233.5 \text{ mm} & Dtc1 &= 2370.5 - 3484 = -1113.5 \text{ mm} \\ Yv1tcl &= 2370.5 - 3364 = -993.5 \text{ mm} & Ddvct1 &= 2063.2 - 3484 = -1420.8 \text{ mm} \\ Yv1su &= 2370.5 - 3352 = -981.5 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 278140.4 \text{ mm}^2 \\ Yv1sl &= 2370.5 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1420.815 \text{ mm} \\ Dvs1 &= 2370.5 - 1521.6 = 848.9 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 541.585 \text{ mm} \\ Dv1 &= 1113.5 + 848.9 = 1962.4 \text{ mm} \end{aligned}$$

① 2차 고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$$\begin{aligned} Ntc &= Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc \\ &= -7864.292 \times 1000000 / (7 \times 688611082288) \times (-1113.5) \times 1074660.9 = 1,952,312 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} Ptv1 &= Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 1952312.1 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 1,952,312 \text{ N} \\ Mv1 &= Ptv1 \times Ddvct1 \\ &= 1952312.1 \times (-1420.8) / 1000000 = -2773.9 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 응력 :

$$\begin{aligned} fv1ru &= Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv) \\ &= 1952312.1 / 221433.9 + (-0.024) \times (-2773.9) \times 1000000 \times (-1845.6) / 421927085366 \\ &= 8.525 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} fv1su &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsu / Iv1 \\ &= 1952312.1 / 278140.4 + (-0.024) \times (-2773.9) \times 1000000 \times (-981.5) / 566799192682.198 \\ &= 6.904 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fv1sl &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1 \\ &= 1952312.1 / 278140.4 + (-0.024) \times (-2773.9) \times 1000000 \times 2370.5 / 566799192682.198 \\ &= 7.298 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4477.8x240	1,074,661			5.158.E+09		
환산상부바닥판		51,174	3,484	1.783.E+08	2.456.E+08	1.253.E+11	1.256.E+11
합성전		201,379	1,522	3.064.E+08	3.524.E+11	3.184.E+10	3.842.E+11
계		252,553	-	4.847.E+08			5.098.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 484709495 / 252553.2 = 1919.20 \text{ mm}$

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

$Y_{dv2su} = 1919.2 - 3352 = -1432.8 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1919.2 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1074660.9 = -2,832,498 \text{ N}$

$D_{dv} = 1919.2 - 3484 = -1,565 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 201378.9 + 1074660.9 / 21 = - \text{mm}^2$

$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1962.4 \times 201378.9 / (1074660.9 / 21 + 201378.9) = 1,565 \text{ mm}$

$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1962.4 - 1564.8 = 398 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$M_{v2} = P_{tv2} \times D_{dv}$
 $= [-2832497.7 \times (-1564.8)] / 1000000$
 $= 4432.3 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$f_{v2ru} = P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v$
 $= -2832497.7 / 221433.9 + (-0.024) \times 4432.3 \times 1000000 \times (-1845.6) / 421927085366$
 $= -12.326 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$f_{v2su} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2}$
 $= -2832497.7 / 252553.2 + (-0.024) \times 4432.3 \times 1000000 \times (-1432.8) / 509790011676.366$
 $= -10.916 \text{ MPa}$

$f_{v2sl} = P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2}$
 $= -2832497.7 / 252553.2 + (-0.024) \times 4432.3 \times 1000000 \times 1919.2 / 509790011676.366$
 $= -11.616 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\cdot P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1074660.9 / 7 = 3776665.4 \text{ N}$$

$$\cdot M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 3776665.4 \times -1113.5 / 1000000 = -4205.3 \text{ kN-m}$$

- 상부철근 응력 :

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

$$= 3776665.4 / 221433.9 + (-0.024) \times (-4205.3) \times (-1845.6) / 421927085366.4 - 205000 \times 0.00012$$

$$= -7.986 \text{ MPa}$$

- 상하플랜지 응력 :

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

$$= 3776665.4 / 221433.9 + (-0.024) \times (-4205.3) \times 1000000 \times (-1653.6) / 4219270853 = 16.660 \text{ MPa}$$

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

$$= 3776665.4 / 221433.9 + (-0.024) \times (-4205.3) \times 1000000 \times 1698.4 / 421927085366.4 = 17.462 \text{ MPa}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\cdot F = 7377906.7 \text{ mm}^2$$

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

$$= 754.24 \times 1000 / 106240 + 407.28 \times 1000000 / (2 \times 7377906.7 \times 16) = 8.824 \text{ MPa}$$

2) 단일합성시

$$\cdot F = 7377906.7 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1207.63 \times 1000 / 106240 + 584.26 \times 1000000 / (2 \times 7377906.7 \times 16) = 13.842 \text{ MPa}$$

3) 이중합성시

$$\cdot F = 7418016.9 \text{ mm}^2$$

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

$$= 1669.61 \times 1000 / 106240 + 2233.37 \times 1000000 / (2 \times 7418016.9 \times 16) = 25.124 \text{ MPa}$$

(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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2200 / (80 \times 1 \times 5) = 5.5 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2200 / (44 \times 1 \times 5) = 10.0 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 20.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 5.5 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -217.3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3320 / (281 \times 1.2) = 9.846 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/90.99)} = 1.545 > 1.2 & 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.115) = 3320 / (281 \times 1.115) = 10.596 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(217.289/174.865)} = 1.115 < 1.2 & 1.12 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 10.596 < t = 16.0 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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)

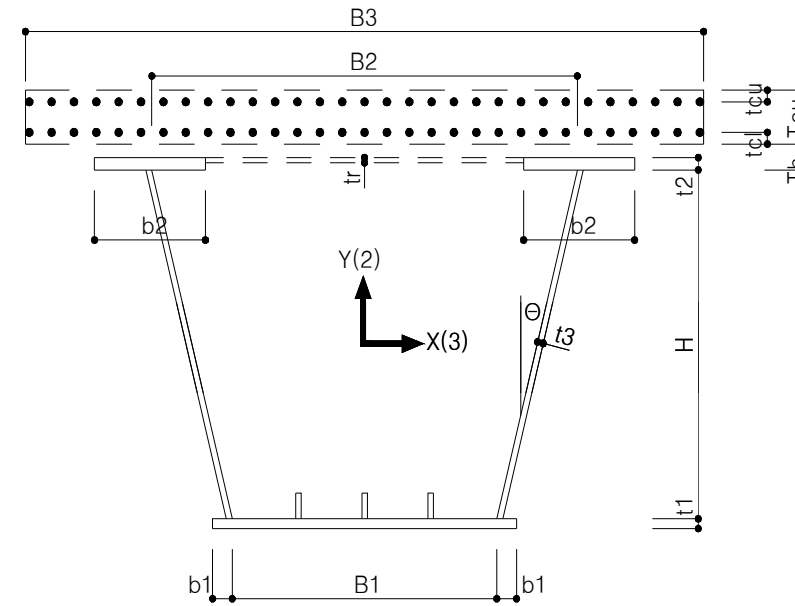
◎ 교변구간 < 단면 14 > 단면위치: 87,1지점 (외측거더)

(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	-0.16720

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2200
		B2	2200
		B3	4500
		H	2833
		t1	18
		t2	16
		t3	14
		tr	0.69
		Tcu	240
		Th	26
		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	960	상부바닥판	4486	n(상부)	7
하부리브	200	18	4	하부플랜지	2380	하부슬래브	0	n'(하부)	0

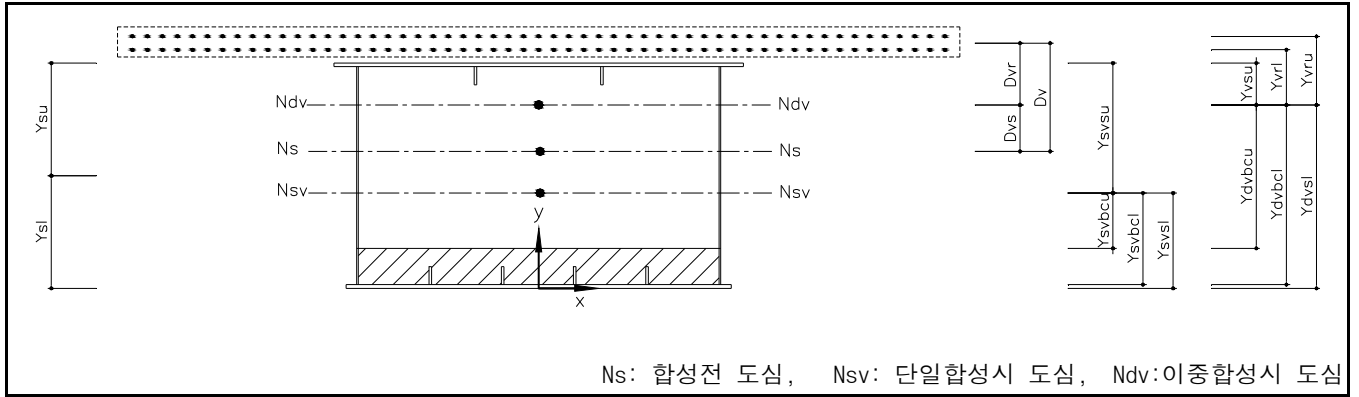
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-5005.4	-10639.9	-6241.3	-9543.9	-280.2	-31710.7
전단력, S (kN)	522.3	934.7	549.8	824.1	9.4	2840.4
비틀림, T (kN-m)	15.9	-16.6	-18.5	-1443.1	-25.3	-1487.61

※ 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	960.2×16×2	30,728	2,859	8.785.E+07	6.555.E+05	8.278.E+10	8.278.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	2,833.0×14×2	79,324	1,435	1.138.E+08	5.305.E+10	3.728.E+09	5.678.E+10
하부리브	200×18×4	14,400	118	1.699.E+06	4.800.E+07	1.741.E+10	1.746.E+10
하부플랜지	2380.3×18×1	42,846	9	3.856.E+05	1.157.E+06	6.260.E+10	6.260.E+10
계		167,298		2.037.E+08			2.196.E+11

- 도심 : $y_s = 203725588/167297.9 = 1217.7 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1217.7 - 2867 = -1649.3 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1217.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -5,005.4 \times 1000000 \times (-1649.3) / 219619213387.8 = 37.590 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -5,005.4 \times 1000000 \times 1217.7 / 219619213387.8 = -27.753 \text{ MPa}$

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		167297.9	1217.7	2.04.E+08	2.20.E+11	-	2.20.E+11
계		167297.9		2.04.E+08			2.20.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 203718653/167297.9 = 1217.7 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1217.7 - 2867 = -1649.3 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1217.7 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -10639.91 \times 1000000 \times (-1649.3) / 219619213387.8 = 79.904 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -10639.91 \times 1000000 \times 1217.7 / 219619213387.8 = -58.994 \text{ MPa}$

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	H19x70	20055.0					
환산바닥판 철근		20055.0	2987.0	5.990.E+07		5.006.E+10	5.006.E+10
단일합성시		167297.9	1217.7	2.037.E+08	2.196.E+11	6.001.E+09	2.256.E+11
계		187352.9		2.636.E+08			2.757.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.167$

- 도심 : $Ydv = 263622938/187352.9 = 1407 \text{ mm}$

$Atc = 4485.9 \times 240 = 1076616 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1407.1 - 3057 = -1649.9 \text{ mm} \quad Ddvr = 1407.1 - 2987 = -1579.9 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1407.1 - 2917 = -1509.9 \text{ mm} \quad Ddvs = 1407.1 - 1217.7 = 189.4 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1407.1 - 2867 = -1459.9 \text{ mm} \quad Ddv = 1579.9 + (189.4) = 1769.3 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1407.1 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -6,241.3 \times 1000000 \times (-1649.9) / (1 \times 275679548704.8) = 37.353 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -6241.28 \times 1000000 \times (-1459.9) / 275679548704.8 = 33.052 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -6241.28 \times 1000000 \times 1407.1 / 275679548704.8 = -31.856 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -9543.9 \times 1000000 \times (-1649.9) / (1 \times 275679548704.8) = 57.119 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -9543.9 \times 1000000 \times (-1459.9) / 275679548704.8 = 50.541 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -9543.9 \times 1000000 \times 1407.1 / 275679548704.8 = -48.713 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -280.2 \times 1000000 \times (-1649.9) / (1 \times 275679548704.8) = 1.677 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -280.2 \times 1000000 \times (-1459.9) / 275679548704.8 = 1.484 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -280.2 \times 1000000 \times 1407.1 / 275679548704.8 = -1.430 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4485.9x240	1076616.4			5.168.E+09		
환산 상부바닥판		153802.3	2997.0	4.609.E+08	7.383.E+08	1.322.E+11	1.329.E+11
합성전		167297.9	1217.7	2.037.E+08	2.196.E+11	1.215.E+11	3.411.E+11
계		321100.2		6.647.E+08			4.741.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 664664275/321100.2 = 2070.0 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4485.9x240	1076616.4			5.168.E+09		
환산 상부바닥판		76901.2	2997.0	2.305.E+08	3.691.E+08	1.143.E+11	1.146.E+11
합성전		167297.9	1217.7	2.037.E+08	2.196.E+11	5.253.E+10	2.721.E+11
계		244199.1		4.342.E+08			3.868.E+11

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

- 도심 : $ydv1 = 434191463.6/244199.1 = 1778.0 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} Yv1tcu &= 2070 - 3117 = -1047.0 \text{ mm} & Dtc1 &= 2070 - 2997 = -927.0 \text{ mm} \\ Yv1tcl &= 2070 - 2877 = -807.0 \text{ mm} & Ddvct1 &= 1778 - 2997 = -1219.0 \text{ mm} \\ Yv1su &= 2070 - 2867 = -797.0 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 244199.1 \text{ mm}^2 \\ Yv1sl &= 2070.0 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1218.977 \text{ mm} \\ Dvs1 &= 2070 - 1217.7 = 852.3 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 560.323 \text{ mm} \\ Dv1 &= 927 + 852.3 = 1779.3 \text{ mm} \end{aligned}$$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$$\begin{aligned} Ntc &= Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc \\ &= -6241.28 \times 1000000 / (7 \times 474052030670.9) \times (-927) \times 1076616.4 = 1,877,113 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} Ptv1 &= Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 1877112.7 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 1,877,113 \text{ N} \\ Mv1 &= Ptv1 \times Ddvct1 \\ &= 1877112.7 \times (-1219) / 1000000 = -2288.2 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 응력 :

$$\begin{aligned} fv1ru &= Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv) \\ &= 1877112.7 / 187352.9 + (-0.167) \times (-2288.2) \times 1000000 \times (-1649.9) / 275679548705 \\ &= 7.732 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} fv1su &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1 \\ &= 1877112.7 / 244199.1 + (-0.167) \times (-2288.2) \times 1000000 \times (-797) / 386781329078.231 \\ &= 6.899 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fv1sl &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1 \\ &= 1877112.7 / 244199.1 + (-0.167) \times (-2288.2) \times 1000000 \times 2070 / 386781329078.231 \\ &= 9.732 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4485.9x240	1,076,616			5.168.E+09		
환산상부바닥판		51,267	2,997	1.536.E+08	2.461.E+08	9.509.E+10	9.534.E+10
합성전		167,298	1,218	2.037.E+08	2.196.E+11	2.915.E+10	2.488.E+11
계		218,565	-	3.574.E+08			3.441.E+11

$$\begin{aligned}
 - \text{탄성계수비: } n_2 &= n \times (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21 \\
 - \text{도심 : } y_{dv2} &= 357367193.3 / 218565.3 = 1635.10 \text{ mm} \\
 E_{c2} &= E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa} \\
 Y_{dv2su} &= 1635.1 - 2867 = -1231.9 \text{ mm} \\
 Y_{dv2sl} &= 1635.1 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned}
 P_{tv2} &= E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1076616.4 = -2,837,652 \text{ N} \\
 D_{dv} &= 1635.1 - 2997 = -1,362 \text{ mm} \\
 A_{v2} &= A_s + A_{cu}/n_2 = 167297.9 + 1076616.4 / 21 = - \text{mm}^2 \\
 d_{c2} &= d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1779.3 \times 167297.9 / (1076616.4 / 21 + 167297.9) = 1,362 \text{ mm} \\
 d_{s2} &= d_v - d_{c2} = 1779.3 - 1361.9 = 417 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned}
 M_{v2} &= P_{tv2} \times D_{dv} \\
 &= [-2837651.8 \times (-1361.9)] / 1000000 \\
 &= 3864.6 \text{ kN-m}
 \end{aligned}$$

- 상부철근 응력 :

$$\begin{aligned}
 f_{v2ru} &= P_{tv2} / A_v + k \times M_{v2} \times Y_{dvru} / I_v \\
 &= -2837651.8 / 187352.9 + (-0.167) \times 3864.6 \times 1000000 \times (-1649.9) / 275679548705 \\
 &= -11.283 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned}
 f_{v2su} &= P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2su} / I_{v2} \\
 &= -2837651.8 / 218565.3 + (-0.167) \times 3864.6 \times 1000000 \times (-1231.9) / 344101805380.023 \\
 &= -10.673 \text{ MPa} \\
 f_{v2sl} &= P_{tv2} / A_{v2} + k \times M_{v2} \times Y_{dv2sl} / I_{v2} \\
 &= -2837651.8 / 218565.3 + (-0.167) \times 3864.6 \times 1000000 \times 1635.1 / 344101805380.023 \\
 &= -16.050 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1076616.4 / 7 =$

3783537.6 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 3783537.6 \times -927 / 1000000 =$

-3507.3 kN-m

- 상부철근 응력 :

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

$= 3783537.6 / 187352.9 + (-0.167) \times (-3507.3) \times (-1649.9) / 275679548704.8 - 205000 \times 0.00012$

$=$

-7.911 MPa

- 상하플랜지 응력 :

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

$= 3783537.6 / 187352.9 + (-0.167) \times (-3507.3) \times 1000000 \times (-1459.9) / 2756795487$

17.093 MPa

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

$= 3783537.6 / 187352.9 + (-0.167) \times (-3507.3) \times 1000000 \times 1407.1 / 275679548704.8$

23.184 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

6293112.4 mm^2

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

$= 522.33 \times 1000 / 79324 + 15.86 \times 1000000 / (2 \times 6293112.4 \times 14) =$

6.675 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

6293112.4 mm^2

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

$= 934.71 \times 1000 / 79324 + 16.58 \times 1000000 / (2 \times 6293112.4 \times 14) =$

11.878 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

6333186.4 mm^2

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

$= 1373.91 \times 1000 / 79324 + 1461.63 \times 1000000 / (2 \times 6333186.4 \times 14) =$

25.563 MPa

(6) 허용응력검토 (도.설.기 3.4.2)

1) 철근의 허용응력 : (SD400)

- 허용인장응력 : $\therefore f_{rta} =$

160.0 MPa

- 허용압축응력 : $\therefore f_{rca} =$

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 :

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

0.0 MPa

- 허용인장응력 :

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

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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (80 \times 1 \times 5) &= 5.5 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (44 \times 1 \times 5) &= 10.0 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 20.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 5.5 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] &= -217.3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2833 / (281 \times 1.2) = 8.402 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/86.747)} = 1.583 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.135) = 2833 / (281 \times 1.135) = 8.883 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(217.289/168.746)} = 1.135 < 1.2 \quad 1.14 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 8.883 < t = 14.0 \text{ mm} \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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)

6) 허용응력 검토결과 :

(단위: MPa)

구분		RE-BAR		CONCRETE		STEEL			
		상부바닥판		하부콘크리트		상부플랜지		하부플랜지	
		상연응력	허용응력	하연응력	허용응력	상연응력	허용응력	하연응력	허용응력
휨응력	1	-	-	-	-	37.6	287.5	-27.8	-271.6
	2	-	-	0.0	0.0	117.5	230.0	-86.7	-217.3
	3	96.1	160.0	0.0	0.0	202.6	230.0	-168.7	-217.3
	4	92.6	160.0	0.0	0.0	198.8	230.0	-175.1	-217.3
	5	84.7	184.0	0.0	0.0	215.9	264.5	-151.9	-249.9
	6	100.5	184.0	0.0	0.0	181.7	264.5	-198.2	-249.9
허용전단응력		(허용응력 할증되지 않은 값)				135.0			
최대 허용응력비		$(f/f_a)_{\max}$							
합성응력 검토		$(f/f_a)^2 + (\tau/\tau_a)^2$							

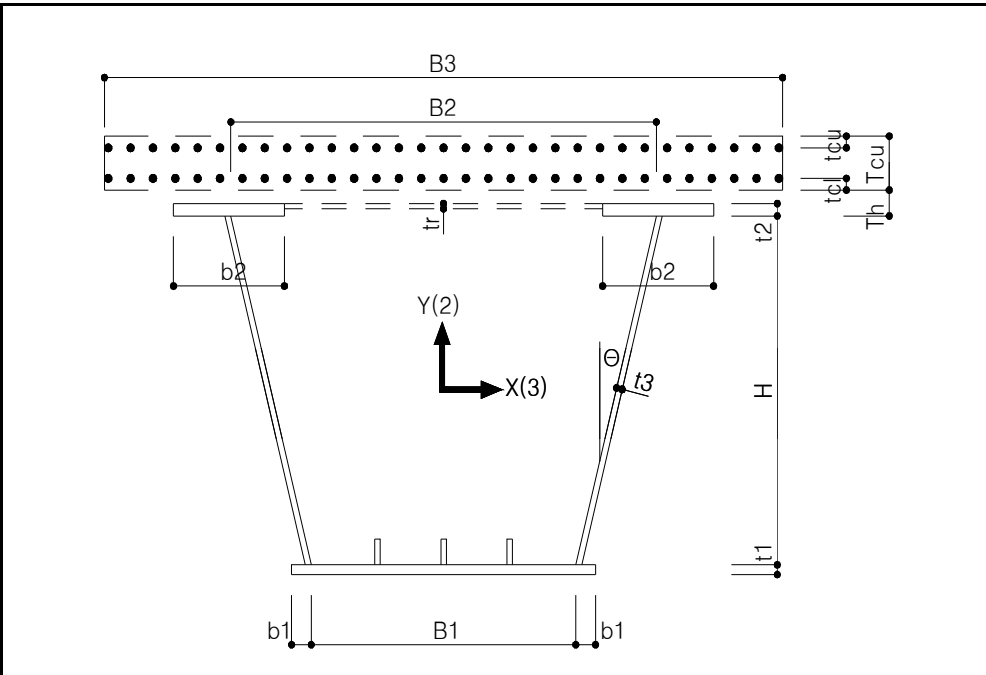
◎ 교변구간 < 단면 15 > 단면위치: 86,1/4지점(외측거더)

(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	-0.16708

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2200
		B2	2200
		B3	4500
		H	2680
		t1	18
		t2	16
		t3	12
		tr	0.69
		Tcu	240
		Th	26
		Tcl	0
		b1	100
		b2	500
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 $\Theta=0.000^\circ$		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40

보강리브 제원(mm)				유효폭 제원 (mm)					
상부리브	0	0	0	상부플랜지	600	상부바닥판	4500	n(상부)	7
하부리브	200	18	4	하부플랜지	2400	하부슬래브	0	n'(하부)	0

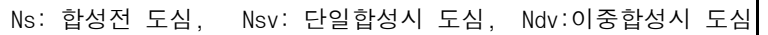
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-3277.0	-7159.2	-4235.0	-7668.7	-240.7	-22580.5
전단력, S (kN)	397.0	856.8	493.5	771.3	10.4	2529.0
비틀림, T (kN-m)	-59.2	-98.4	-109.1	-1328.5	-22.2	-1617.36

※ 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	600×16×2	19,200	2,706	5.196.E+07	4.096.E+05	5.576.E+10	5.576.E+10
상부리브	0×0×0	—	—	—	—	—	—
복부판	2,680.0×12×2	64,320	1,358	8.735.E+07	3.850.E+10	8.156.E+09	4.665.E+10
하부리브	200×18×4	14,400	118	1.699.E+06	4.800.E+07	1.125.E+10	1.130.E+10
하부플랜지	2400×18×1	43,200	9	3.888.E+05	1.166.E+06	4.259.E+10	4.259.E+10
계		141,120		1.414.E+08			1.563.E+11

- 도심 : $y_s = 141389760/141120 = 1001.9 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1001.9 - 2714 = -1712.1 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1001.9 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{su} &= M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -3,277.0 \times 10^6 \times (-1712.1) / 156298608835.2 = 35.896 \text{ MPa} \\ \cdot f_{sl} &= M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -3,277.0 \times 10^6 \times 1001.9 / 156298608835.2 = -21.006 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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		141120.0	1001.9	1.41.E+08	1.56.E+11	-	1.56.E+11
계		141120.0		1.41.E+08			1.56.E+11

- 도심 : ysv = 141388128/141120 = 1001.9 mm n' = 0
 Ysvsu = 1001.9-2714= -1712.1 mm
 Ysvsl = 1001.9 mm

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{vsu} &= M_d \times Y_{svsu} / I_{sv} = -7159.2 \times 1000000 \times (-1712.1) / 156298608835.2 = 78.422 \text{ MPa} \\ \cdot f_{vsl} &= M_d \times Y_{svsl} / I_{sv} = -7159.2 \times 1000000 \times 1001.9 / 156298608835.2 = -45.892 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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	H19x72	20628.0					
환산바닥판 철근		20628.0	2834.0	5.846.E+07		5.270.E+10	5.270.E+10
단일합성시		141120.0	1001.9	1.414.E+08	1.563.E+11	7.707.E+09	1.640.E+11
계		161748.0		1.998.E+08			2.167.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.167$

- 도심 : $Ydv = 199847880/161748 = 1236 \text{ mm}$

$Atc = 4500 \times 240 = 1080000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1235.6 - 2904 = -1668.4 \text{ mm} \quad Ddvr = 1235.6 - 2834 = -1598.4 \text{ mm}$

$YdvrcI = 1235.6 - 2764 = -1528.4 \text{ mm} \quad Ddvs = 1235.6 - 1001.9 = 233.7 \text{ mm}$

$Ydv su = 1235.6 - 2714 = -1478.4 \text{ mm} \quad Ddv = 1598.4 + (233.7) = 1832.1 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1235.6 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -4,235.0 \times 1000000 \times (-1668.4) / (1 \times 216708092456.2) = 32.604 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydv su / Iv = -4234.963 \times 1000000 \times (-1478.4) / 216708092456.2 = 28.891 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -4234.963 \times 1000000 \times 1235.6 / 216708092456.2 = -24.146 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -7668.7 \times 1000000 \times (-1668.4) / (1 \times 216708092456.2) = 59.040 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydv su / Iv = -7668.7 \times 1000000 \times (-1478.4) / 216708092456.2 = 52.316 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -7668.7 \times 1000000 \times 1235.6 / 216708092456.2 = -43.724 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -240.7 \times 1000000 \times (-1668.4) / (1 \times 216708092456.2) = 1.853 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydv su / Iv = -240.7 \times 1000000 \times (-1478.4) / 216708092456.2 = 1.642 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -240.7 \times 1000000 \times 1235.6 / 216708092456.2 = -1.372 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	2844.0	4.388.E+08	7.406.E+08	1.195.E+11	1.202.E+11
합성전		141120.0	1001.9	1.414.E+08	1.563.E+11	1.306.E+11	2.869.E+11
계		295405.7		5.802.E+08			4.071.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 580176699/295405.7 = 1964.0 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		77142.9	2844.0	2.194.E+08	3.703.E+08	1.094.E+11	1.098.E+11
합성전		141120.0	1001.9	1.414.E+08	1.563.E+11	5.982.E+10	2.161.E+11
계		218262.9		3.608.E+08			3.259.E+11

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

- 도심 : $ydv1 = 360782413.7/218262.9 = 1653.0 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} Yv1tcu &= 1964 - 2964 = -1000.0 \text{ mm} & Dtc1 &= 1964 - 2844 = -880.0 \text{ mm} \\ Yv1tcl &= 1964 - 2724 = -760.0 \text{ mm} & Ddvct1 &= 1653 - 2844 = -1191.0 \text{ mm} \\ Yv1su &= 1964 - 2714 = -750.0 \text{ mm} & Av1 &= As + Ac/n1 = 218262.9 \text{ mm}^2 \\ Yv1sl &= 1964.0 \text{ mm} & dc1 &= dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1191.028 \text{ mm} \\ Dvs1 &= 1964 - 1001.9 = 962.1 \text{ mm} & ds1 &= dv - dc1 = 651.072 \text{ mm} \\ Dv1 &= 880 + 962.1 = 1842.1 \text{ mm} \end{aligned}$$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$$\begin{aligned} Ntc &= Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc \\ &= -4234.963 \times 1000000 / (7 \times 407143847585.8) \times (-880) \times 1080000 = 1,412,245 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 1412245.3 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 1,412,245 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} Mv1 &= Ptv1 \times Ddvct1 \\ &= 1412245.3 \times (-1191) / 1000000 = -1682.0 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 응력 :

$$\begin{aligned} fv1ru &= Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv) \\ &= 1412245.3 / 161748 + (-0.167) \times (-1682) \times 1000000 \times (-1668.4) / 216708092456 \\ &= 6.569 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} fv1su &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsu / Iv1 \\ &= 1412245.3 / 218262.9 + (-0.167) \times (-1682) \times 1000000 \times (-750) / 325919743877.69 \\ &= 5.824 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} fv1sl &= Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvs1 / Iv1 \\ &= 1412245.3 / 218262.9 + (-0.167) \times (-1682) \times 1000000 \times 1964 / 325919743877.69 \\ &= 8.163 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산상부바닥판		51,429	2,844	1.463.E+08	2.469.E+08	9.374.E+10	9.399.E+10
합성전		141,120	1,002	1.414.E+08	1.563.E+11	3.416.E+10	1.905.E+11
계		192,549	-	2.877.E+08			2.844.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 287650985.1 / 192548.6 = 1493.90 \text{ mm}$

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

$Y_{dv2su} = 1493.9 - 2714 = -1220.1 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1493.9 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,570 \text{ N}$

$D_{dv} = 1493.9 - 2844 = -1,350 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 141120 + 1080000 / 21 = - \text{mm}^2$

$dc_2 = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1842.1 \times 141120 / (1080000 / 21 + 141120) = 1,350 \text{ mm}$

$ds_2 = d_v - dc_2 = 1842.1 - 1350.1 = 492 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

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

$= [-2846570 \times (-1350.1)] / 1000000$

$= 3843.2 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

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

$= -2846570 / 161748 + (-0.167) \times 3843.2 \times 1000000 \times (-1668.4) / 216708092456$

$= -12.658 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

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

$= -2846570 / 192548.6 + (-0.167) \times 3843.2 \times 1000000 \times (-1220.1) / 284447995315.2$

$= -12.031 \text{ MPa}$

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

$= -2846570 / 192548.6 + (-0.167) \times 3843.2 \times 1000000 \times 1493.9 / 284447995315.2$

$= -18.154 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 =$

3795428.6 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 3795428.6 \times -880 / 1000000 =$

-3340.0 kN-m

- 상부철근 응력 :

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

$= 3795428.6 / 161748 + (-0.167) \times (-3340) \times (-1668.4) / 216708092456.2 - 205000 \times 0.00012$
 $=$

-5.429 MPa

- 상하플랜지 응력 :

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

$= 3795428.6 / 161748 + (-0.167) \times (-3340) \times 1000000 \times (-1478.4) / 216708092456.2$

19.660 MPa

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

$= 3795428.6 / 161748 + (-0.167) \times (-3340) \times 1000000 \times 1235.6 / 216708092456.2 =$

26.645 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

5948991.6 mm²

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

$= 397.01 \times 1000 / 64320 + 59.18 \times 1000000 / (2 \times 5948991.6 \times 12) =$

6.587 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

5948991.6 mm²

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

$= 856.77 \times 1000 / 64320 + 98.42 \times 1000000 / (2 \times 5948991.6 \times 12) =$

14.010 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

5989029.4 mm²

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

$= 1264.78 \times 1000 / 64320 + 1437.59 \times 1000000 / (2 \times 5989029.4 \times 12) =$

29.665 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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (80 \times 1 \times 5) &= 5.5 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} = 2200 / (44 \times 1 \times 5) &= 10.0 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 20.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 5.5 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] &= -217.3 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2680 / (281 \times 1.2) = 7.948 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/66.898)} = 1.802 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2680 / (281 \times 1.2) = 7.948 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(217.289/136.14)} = 1.263 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 7.948 < t = 12.0 \text{ mm} \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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)

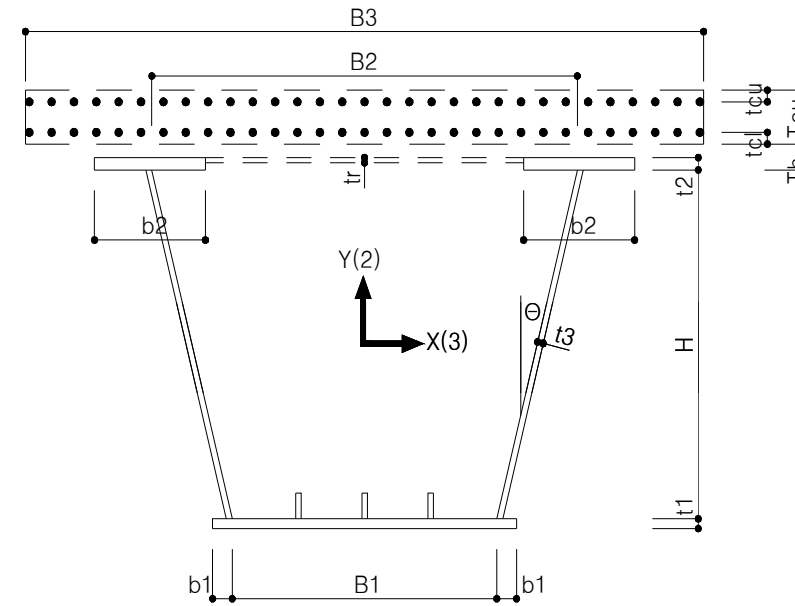
◎ 교변구간 < 단면 16 > 단면위치: 84,3/4지점(외측거더)

(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	-0.16684

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2200
		B2	2200
		B3	4500
		H	2514
		t1	12
		t2	16
		t3	12
		tr	0.69
		Tcu	240
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려 Θ=0.000°		Th	26
		Tcl	0
		b1	100
		b2	500
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40
		보강리브 제원(mm)	
		유효폭 제원 (mm)	
		상부리브	0
		상부플랜지	500
		상부바닥판	4500
		n(상부)	7
		하부리브	150
		하부플랜지	2400
		하부슬래브	0
		n'(하부)	0

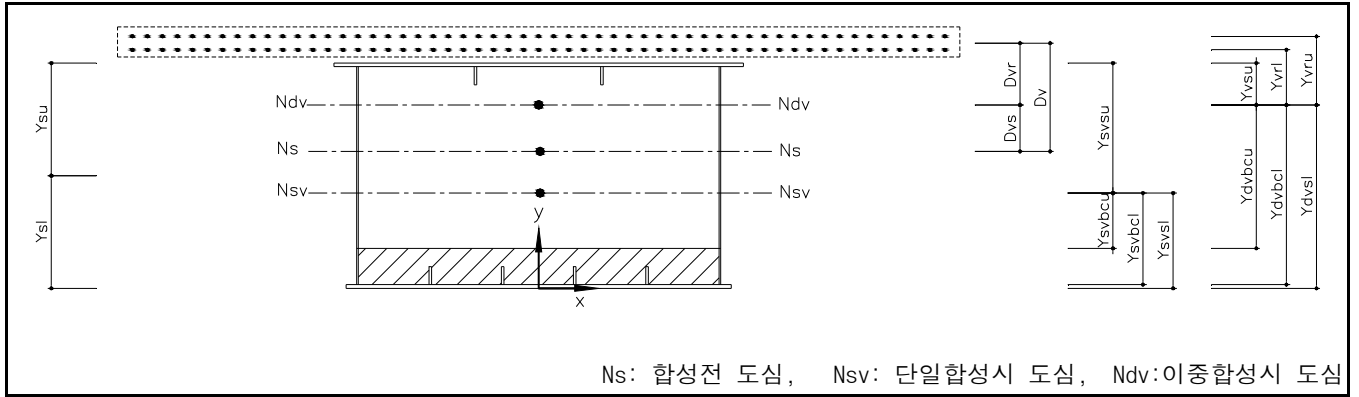
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-695.5	-1420.5	-936.2	-5146.5	-162.0	-8360.7
전단력, S (kN)	280.6	643.6	368.4	680.1	11.0	1983.6
비틀림, T (kN-m)	-83.8	-203.2	-181.6	-1034.2	-12.9	-1515.55

※ 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	500×16×2	16,000	2,534	4.054.E+07	3.413.E+05	3.526.E+10	3.526.E+10
상부리브	0×0×0	-	-	-	-	-	-
복부판	2,514.0×12×2	60,336	1,269	7.657.E+07	3.178.E+10	2.904.E+09	3.468.E+10
하부리브	150×12×4	7,200	87	6.264.E+05	1.350.E+07	6.672.E+09	6.685.E+09
하부플랜지	2400×12×1	28,800	6	1.728.E+05	3.456.E+05	3.137.E+10	3.137.E+10
계		112,336		1.179.E+08			1.080.E+11

- 도심 : $y_s = 117909584 / 112336 = 1049.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1049.6 - 2542 = -1492.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1049.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -695.5 \times 1000000 \times (-1492.4) / 107989200318 = 9.612 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -695.5 \times 1000000 \times 1049.6 / 107989200318 = -6.760 \text{ MPa}$

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		112336.0	1049.6	1.18.E+08	1.08.E+11	-	1.08.E+11
계		112336.0		1.18.E+08			1.08.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 117907866 / 112336 = 1049.6 \text{ mm}$ $n' = 0$
 $Y_{svsu} = 1049.6 - 2542 = -1492.4 \text{ mm}$
 $Y_{svsl} = 1049.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -1420.521 \times 1000000 \times (-1492.4) / 107989200318 = 19.631 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -1420.521 \times 1000000 \times 1049.6 / 107989200318 = -13.807 \text{ MPa}$

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	H19x72	20628.0					
환산바닥판 철근		20628.0	2662.0	5.491.E+07		3.828.E+10	3.828.E+10
단일합성시		112336.0	1049.6	1.179.E+08	1.080.E+11	7.027.E+09	1.150.E+11
계		132964.0		1.728.E+08			1.533.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.167$

- 도심 : $Ydv = 172819602/132964 = 1300 \text{ mm}$

$Atc = 4500 \times 240 = 1080000 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 0$

$Ydvru = 1299.7 - 2732 = -1432.3 \text{ mm} \quad Ddvr = 1299.7 - 2662 = -1362.3 \text{ mm}$

$Ydvrc1 = 1299.7 - 2592 = -1292.3 \text{ mm} \quad Ddvs = 1299.7 - 1049.6 = 250.1 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1299.7 - 2542 = -1242.3 \text{ mm} \quad Ddv = 1362.3 + (250.1) = 1612.4 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1299.7 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -936.2 \times 1000000 \times (-1432.3) / (1 \times 153298524931) = 8.747 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -936.1863 \times 1000000 \times (-1242.3) / 153298524931 = 7.587 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -936.1863 \times 1000000 \times 1299.7 / 153298524931 = -7.937 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -5146.5 \times 1000000 \times (-1432.3) / (1 \times 153298524931) = 48.085 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -5146.5 \times 1000000 \times (-1242.3) / 153298524931 = 41.706 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -5146.5 \times 1000000 \times 1299.7 / 153298524931 = -43.633 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -162 \times 1000000 \times (-1432.3) / (1 \times 153298524931) = 1.514 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -162 \times 1000000 \times (-1242.3) / 153298524931 = 1.313 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -162 \times 1000000 \times 1299.7 / 153298524931 = -1.373 \text{ MPa}$

4) 크리프 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		154285.7	2672.0	4.123.E+08	7.406.E+08	7.210.E+10	7.284.E+10
합성전		112336.0	1049.6	1.179.E+08	1.080.E+11	9.901.E+10	2.070.E+11
계		266621.7		5.302.E+08			2.798.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 0$

- 도심 : $yv1 = 530159295/266621.7 = 1988.4 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1080000.0			5.184.E+09		
환산 상부바닥판		77142.9	2672.0	2.061.E+08	3.703.E+08	7.137.E+10	7.174.E+10
합성전		112336.0	1049.6	1.179.E+08	1.080.E+11	4.901.E+10	1.570.E+11
계		189478.9		3.240.E+08			2.287.E+11

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

- 도심 : $ydv1 = 324033579.9/189478.9 = 1710.1 \text{ mm}$

$Yv1tcu = 1988.4 - 2792 = -803.6 \text{ mm}$ $Dtc1 = 1988.4 - 2672 = -683.6 \text{ mm}$

$Yv1tcl = 1988.4 - 2552 = -563.6 \text{ mm}$ $Ddvct1 = 1710.1 - 2672 = -961.9 \text{ mm}$

$Yv1su = 1988.4 - 2542 = -553.6 \text{ mm}$ $Av1 = As + Ac/n1 = 189478.9 \text{ mm}^2$

$Yv1sl = 1988.4 \text{ mm}$ $dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 961.869 \text{ mm}$

$Dvs1 = 1988.4 - 1049.6 = 938.8 \text{ mm}$ $ds1 = dv - dc1 = 660.531 \text{ mm}$

$Dv1 = 683.6 + 938.8 = 1622.4 \text{ mm}$

① 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

$Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvct \times Atc$
 $= -936.1863 \times 1000000 / (7 \times 279835689780.6) \times (-683.6) \times 1080000 = 352,847 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$Ptv1 = Ntc \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = 352847.4 \times 2 \times 2 / (2 + 2) = 352,847 \text{ N}$

$Mv1 = Ptv1 \times Ddvct1$
 $= 352847.4 \times (-961.9) / 1000000 = -339.4 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

$fv1ru = Ptv1 / Arv + k \times Mv1 \times Yvru / (Irv)$
 $= 352847.4 / 132964 + (-0.167) \times (-339.4) \times 1000000 \times (-1432.3) / 153298524931$
 $= 2.124 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$fv1su = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 352847.4 / 189478.9 + (-0.167) \times (-339.4) \times 1000000 \times (-553.6) / 228743770071.042$
 $= 1.725 \text{ MPa}$

$fv1sl = Ptv1 / Av1 + k \times Mv1 \times Ydvsl / Iv1$
 $= 352847.4 / 189478.9 + (-0.167) \times (-339.4) \times 1000000 \times 1988.4 / 228743770071.042$
 $= 2.355 \text{ MPa}$

5) 건조수축 :

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4500x240	1,080,000			5.184.E+09		
환산상부바닥판		51,429	2,672	1.374.E+08	2.469.E+08	6.370.E+10	6.394.E+10
합성전		112,336	1,050	1.179.E+08	1.080.E+11	2.916.E+10	1.372.E+11
계		163,765	-	2.553.E+08			2.011.E+11

- 탄성계수비: $n_2 = n \times (1 + \phi_2 / 2) = 7 \times (1 + 4 / 2) = 21$

- 도심 : $y_{dv2} = 255325008.5 / 163764.6 = 1559.10 \text{ mm}$

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

$Y_{dv2su} = 1559.1 - 2542 = -982.9 \text{ mm}$

$Y_{dv2sl} = 1559.1 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$P_{tv2} = E_{c2} \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1080000 = -2,846,570 \text{ N}$

$D_{dv} = 1559.1 - 2672 = -1,113 \text{ mm}$

$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 = 112336 + 1080000 / 21 = - \text{mm}^2$

$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1622.4 \times 112336 / (1080000 / 21 + 112336) = 1,113 \text{ mm}$

$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1622.4 - 1112.9 = 509 \text{ mm}$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

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

$= [-2846570 \times (-1112.9)] / 1000000$

$= 3167.9 \text{ kN-m}$

- 상부철근 응력 :

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

$= -2846570 / 132964 + (-0.167) \times 3167.9 \times 1000000 \times (-1432.3) / 153298524931$

$= -16.466 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

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

$= -2846570 / 163764.6 + (-0.167) \times 3167.9 \times 1000000 \times (-982.9) / 201094060299.143$

$= -14.796 \text{ MPa}$

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

$= -2846570 / 163764.6 + (-0.167) \times 3167.9 \times 1000000 \times 1559.1 / 201094060299.143$

$= -21.484 \text{ MPa}$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

· $P_{tv3} = E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1080000 / 7 =$

3795428.6 N

· $M_{v3} = P_{tv3} \times D_{dvr} = 3795428.6 \times -683.6 / 1000000 =$

-2594.6 kN-m

- 상부철근 응력 :

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

$= 3795428.6 / 132964 + (-0.167) \times (-2594.6) \times (-1432.3) / 153298524931 - 205000 \times 0.00012$

=

-0.104 MPa

- 상하플랜지 응력 :

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

$= 3795428.6 / 132964 + (-0.167) \times (-2594.6) \times 1000000 \times (-1242.3) / 153298524931$

25.033 MPa

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

$= 3795428.6 / 132964 + (-0.167) \times (-2594.6) \times 1000000 \times 1299.7 / 153298524931 =$

32.218 MPa

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

· $F =$

5575163.6 mm²

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

$= 280.63 \times 1000 / 60336 + 83.75 \times 1000000 / (2 \times 5575163.6 \times 12) =$

5.277 MPa

2) 단일합성시

· $F =$

5575163.6 mm²

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

$= 643.57 \times 1000 / 60336 + 203.19 \times 1000000 / (2 \times 5575163.6 \times 12) =$

12.185 MPa

3) 이중합성시

· $F =$

5615201.4 mm²

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

$= 1048.47 \times 1000 / 60336 + 1215.75 \times 1000000 / (2 \times 5615201.4 \times 12) =$

26.398 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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2200 / (80 \times 1 \times 5) = 5.5 \text{ mm} < t = 12 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 가설완료후 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 5 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2200 / (44 \times 1 \times 5) = 10.0 \text{ mm} < t = 12 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 20.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 10.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 5.5 \text{ mm} \\ t &= 12 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i \times n) - 22)] = -153.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2514 / (281 \times 1.2) = 7.456 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/20.567)} = 2.734 > 1.2 & 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 2514 / (281 \times 1.2) = 7.456 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(153.733/73.51)} = 1.446 > 1.2 & 1.20 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 7.456 < t = 12.0 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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)

5.3 이중합성구간 응력검토

◎ 이중합성구간 < 단면 10 > 단면위치: 91,1/4지점 (외측거더)

<폐합단면>

(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	-0.07786

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2200
		B2	2200
		B3	4500
		H	3466
		t1	18
		t2	14
		t3	16
		tr	0
		Tcu	240
		Th	26
		Tcl	490
		b1	100
		b2	250
		피복두께(mm)	
		tcu	60
		tcl	40
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려			
Theta=0.000°			
보강리브 제원(mm)			
상부리브	120	12	2
하부리브	200	18	1
유효폭 제원 (mm)			
상부플랜지	2672	상부바닥판	4465
하부플랜지	2372	하부슬래브	2172
		n(상부)	7
		n'(하부)	7

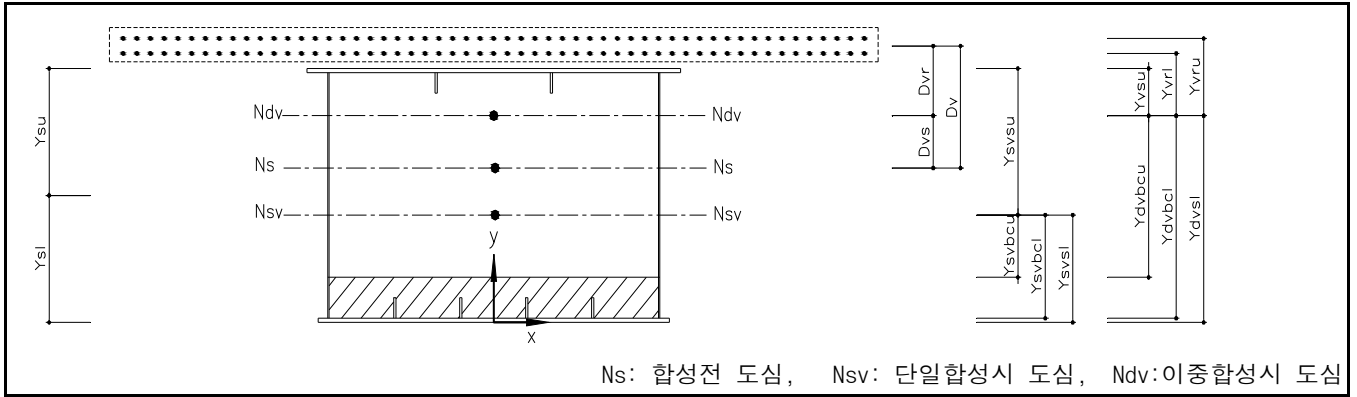
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-10208.3	-18356.3	-10579.9	-14990.4	-379.9	-54514.7
전단력, S (kN)	-904.2	-1205.2	-742.6	-1015.0	-2.4	-3869.4
비틀림, T (kN-m)	414.4	652.9	359.4	2104.0	44.1	3574.75

※ 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	2671.5×14×1	37,402	3,491	1.306.E+08	6.109.E+05	1.202.E+11	1.202.E+11
상부리브	120×12×2	2,880	3,424	9.861.E+06	3.456.E+06	8.574.E+09	8.577.E+09
복부판	3,466.0×16×2	110,912	1,751	1.942.E+08	1.110.E+11	3.045.E+08	1.113.E+11
하부리브	200×18×1	3,600	118	4.248.E+05	1.200.E+07	8.994.E+09	9.006.E+09
하부플랜지	2371.5×18×1	42,688	9	3.842.E+05	1.153.E+06	1.219.E+11	1.219.E+11
계		197,481		3.354.E+08			3.709.E+11

- 도심 : $y_s = 335446007 / 197481.3 = 1698.6 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1698.6 - 3498 = -1799.4 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1698.6 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -10,208.3 \times 1000000 \times (-1799.4) / 370945665044.1 = 49.519 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -10,208.3 \times 1000000 \times 1698.6 / 370945665044.1 = -46.745 \text{ MPa}$

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	2171.5x490	1064055.0			2.13.E+10		
환산 하부콘크리트		152007.9	263.0	4.00.E+07	3.04.E+09	1.00.E+11	1.03.E+11
STEEL		197481.3	1698.6	3.35.E+08	3.71.E+11	7.70.E+10	4.48.E+11
계		349489.2		3.75.E+08			5.51.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 375419814 / 349489.2 = 1074.2 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1074.2 - 508 = 566.2 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1074.2 - 3498 = -2423.8 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1074.2 - 18 = 1056.2 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1074.2 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1074.2 - 263 = 811.2 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -18356.25 \times 1000000 \times 566.2 / (7 \times 551008287310.1) = -2.695 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -18356.25 \times 1000000 \times 1056.2 / (7 \times 551008287310.1) = -5.027 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -18356.25 \times 1000000 \times (-2423.8) / 551008287310.1 = 80.746 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -18356.25 \times 1000000 \times 1074.2 / 551008287310.1 = -35.786 \text{ MPa}$

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	H19x70	20055.0					
환산바닥판 철근		20055.0	3620.0	7.260.E+07		1.162.E+11	1.162.E+11
단일합성시		349489.2	1074.2	3.754.E+08	5.510.E+11	6.675.E+09	5.577.E+11
계		369544.2		4.480.E+08			6.739.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.078$

- 도심 : $Ydv = 448020399/369544.2 = 1212 \text{ mm}$
 $Atc = 4464.7 \times 240 = 1071533 \text{ mm}^2$
 $Abc = 2171.5 \times 490 = 1064055 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7$ $n' = 7$

$Ydvru = 1212.4 - 3690 = -2477.6 \text{ mm}$ $Ddvr = 1212.4 - 3620 = -2407.6 \text{ mm}$
 $YdvrcI = 1212.4 - 3550 = -2337.6 \text{ mm}$ $Ddvbc = 1212.4 - 263 = 1080.9 \text{ mm}$
 $Ydvbcu = 1212.4 - 508 = 704.4 \text{ mm}$ $Ddvs = 1212.4 - 1698.6 = -486.2 \text{ mm}$
 $YdvbcI = 1212.4 - 18 = 1194.4 \text{ mm}$ $Ddv = 2407.6 + (-486.2) = 1921.4 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1212.4 - 3491 = -2278.6 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1212.4 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -10,579.9 \times 1000000 \times (-2477.6) / (1 \times 673932830195.1) = 38.895 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -10,579.9 \times 1000000 \times 704.4 / (7 \times 673932830195.1) = -1.580 \text{ MPa}$
· $fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -10,579.9 \times 1000000 \times 1194.4 / (7 \times 673932830195.1) = -2.679 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -10579.89 \times 1000000 \times (-2278.6) / 673932830195.1 = 35.771 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -10579.89 \times 1000000 \times 1212.4 / 673932830195.1 = -19.033 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -14990.4 \times 1000000 \times (-2477.6) / (1 \times 673932830195.1) = 55.110 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -14990.4 \times 1000000 \times 704.4 / (7 \times 673932830195.1) = -2.238 \text{ MPa}$
· $fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -14990.4 \times 1000000 \times 1194.4 / (7 \times 673932830195.1) = -3.795 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -14990.4 \times 1000000 \times (-2278.6) / 673932830195.1 = 50.683 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -14990.4 \times 1000000 \times 1212.4 / 673932830195.1 = -26.968 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -379.9 \times 1000000 \times (-2477.6) / (1 \times 673932830195.1) = 1.397 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -379.9 \times 1000000 \times 704.4 / (7 \times 673932830195.1) = -0.057 \text{ MPa}$
· $fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -379.9 \times 1000000 \times 1194.4 / (7 \times 673932830195.1) = -0.096 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -379.9 \times 1000000 \times (-2278.6) / 673932830195.1 = 1.284 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -379.9 \times 1000000 \times 1212.4 / 673932830195.1 = -0.683 \text{ MPa}$

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	2171.5x490	1064055.0			2.129.E+10	1.434.E+12	1.456.E+12
환산 하부콘크리트		118228.3	263.0	3.109.E+07	3.041.E+09	9.534.E+10	9.838.E+10
합성전		197481.3	1698.6	3.354.E+08	3.709.E+11	5.707.E+10	4.280.E+11
계		315709.6		3.665.E+08			5.264.E+11

$$\begin{aligned} - \text{탄성계수비: } n_1-60' &= n' \times (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.468 / 2) = 9 \\ \Phi_1' (60,30) &= \mathbf{0.468} \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수}) \end{aligned}$$

$$- \text{도심: } y_{sv1} = 366535787.8 / 315709.6 = 1161.0 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1161 - 508 = 653.0 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1161 - 3491 = -2330.0 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1161 - 18 = 1143.0 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1161.0 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1161 - 263 = 898.0 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\cdot N_{bc} = M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc}$$

$$= -18356.25 \times 1000000 / (7 \times 551008287310.1) \times (811.2) \times 1064055 = -4,107,900 \text{ N}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -4107899.5 \times 2 \times 0.468 / (2 + 0.468) = -1,557,939 \text{ N}$$

$$\cdot M_{v1} = P_{bv1} \times D_{svbc1}$$

$$= -1557939.2 \times 898 / 1000000 = -1399.0 \text{ kN-m}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1-60' \times (P_{bv1}/A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-1557939 / 315710 + (-0.078) \times (-1399) \times 1000000 \times 653 / 526401702896) - 0.468 / (1 + 0.468 / 2) \times (-2.695) \\ &= 0.489 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1-60' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-1557939 / 315710 + (-0.078) \times (-1399) \times 1000000 \times 1143 / 526401702896) - 0.468 / (1 + 0.468 / 2) \times (-5.027) \\ &= 1.385 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1} \\ &= -1557939.2 / 315709.6 + (-0.078) \times (-1399) \times 1000000 \times (-2330) / 526401702896.407 \\ &= -5.418 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1sl} &= +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1} \\ &= -1557939.2 / 315709.6 + (-0.078) \times (-1399) \times 1000000 \times 1161 / 526401702896.407 \\ &= -4.694 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4464.7x240	1071532.5			5.143.E+09		
환산 상부바닥판		153076.1	3630.0	5.557.E+08	7.348.E+08	4.835.E+11	4.843.E+11
하부콘크리트	2171.5x490	1064055.0			2.129.E+10		
환산 하부콘크리트		152007.9	263.0	3.998.E+07	3.041.E+09	3.841.E+11	3.872.E+11
합성전		197481.3	1698.6	3.354.E+08	3.709.E+11	4.690.E+09	3.756.E+11
계		502565.2		9.311.E+08			1.247.E+12

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $y_{v1} = 931085941/502565.2 = 1852.7 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4464.7x240	1071532.5			5.143.E+09		
환산 상부바닥판		76538.0	3630.0	2.778.E+08	3.674.E+08	2.690.E+11	2.694.E+11
하부콘크리트	2171.5x490	1064055.0			2.129.E+10	3.278.E+12	3.299.E+12
환산 하부콘크리트		88671.3	263.0	2.332.E+07	3.041.E+09	1.974.E+11	2.005.E+11
합성전		197481.3	1698.6	3.354.E+08	3.709.E+11	6.326.E+08	3.716.E+11
계		362690.6		6.366.E+08			8.414.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 : $y_{dv1} = 636595344.6/362690.6 = 1755.2 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 Y_{dv1tcu} &= 1755.2 - 3750 = -1994.8 \text{ mm} & D_{dvtc} &= 1852.7 - 3630 = -1777.3 \text{ mm} \\
 Y_{dv1tcl} &= 1755.2 - 3510 = -1754.8 \text{ mm} & D_{dvbc} &= 1852.7 - 263 = 1589.7 \text{ mm} \\
 Y_{dv1bcu} &= 1755.2 - 508 = 1247.2 \text{ mm} & D_{dvtc1} &= 1755.2 - 3630 = -1874.8 \text{ mm} \\
 Y_{dv1bcl} &= 1755.2 - 18 = 1737.2 \text{ mm} & D_{dvbc1} &= 1755.2 - 263 = 1492.2 \text{ mm} \\
 Y_{dv1su} &= 1755.2 - 3491 = -1735.8 \text{ mm} & A_{v1} &= A_s + A_c/n1 = 274019.3 \text{ mm}^2 \\
 Y_{dv1sl} &= 1755.2 \text{ mm} & d_{c1} &= d_v \times A_s / (A_c/n1 + A_s) = 1391.929 \text{ mm} \\
 D_{vs1} &= 1852.7 - 1698.6 = 154.1 \text{ mm} & d_{s1} &= d_v - d_{c1} = 539.471 \text{ mm} \\
 D_{v1} &= 1777.3 + 154.1 = 1931.4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= -10579.89 \times 1000000 / (7 \times 1247093440264.8) \times (-1777.3) \times 1071532.5 = 2,308,077 \text{ N}$

· $N_{bc} = M_{d3} / (n' \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= -10579.89 \times 1000000 / (7 \times 1247093440264.8) \times (1589.7) \times 1064055 = -2,050,045 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \phi_1 / (2 + \phi_1) = 2308076.5 \times 2 \times 2 / (2+2) = 2,308,077 \text{ N}$

· $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \phi_1' / (2 + \phi_1') = -2050044.9 \times 2 \times 1.53 / (2+1.53) = -1,777,093 \text{ N}$

· $M_{v1} = P_{tv1} \times D_{dvtc1} + P_{bv1} \times D_{dvbc1}$
 $= 2308076.5 \times (-1874.8) / 1000000 + -1777092.7 \times 1492.2 / 1000000 = -6979.0 \text{ kN-m}$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (2308076.5 + -1777092.7) / 362690.6 + (-0.078) \times (-6979) \times 1000000 \times (-2477.6) / 841449546059 \\ &= -0.139 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2308076.5 + -1777093) / 362691 + (-0.078) \times (-6979) \times 1000000 \times 1247 / 841449546059) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.679) \\ &= 2.512 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2308076.5 + -1777093) / 362691 + (-0.078) \times (-6979) \times 1000000 \times 1737 / 841449546059) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.679) \\ &= 2.538 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (2308076.5 + -1777092.7) / 362690.6 + (-0.078) \times (-6979) \times 1000000 \times (-1735.8) / 841449546058.649 \\ &= 0.341 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (2308076.5 + -1777092.7) / 362690.6 + (-0.078) \times (-6979) \times 1000000 \times 1755.2 / 841449546058.649 \\ &= 2.600 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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	2171.5x490	1064055.0			2.129.E+10	1.522.E+12	1.543.E+12
환산 하부콘크리트		106405.5	263.0	2.798.E+07	3.041.E+09	9.260.E+10	9.565.E+10
합성전		197481.3	1698.6	3.354.E+08	3.709.E+11	4.990.E+10	4.209.E+11
계		303886.8		3.634.E+08			5.165.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n' \times (1 + \Phi_2 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.936 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1' (60,30) = 0.936$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s (60,30) = 0.000011$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 363426382.7 / 303886.8 = 1195.9 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1195.9 - 508 = 687.9 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1195.9 - 3491 = -2295.1 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1195.9 - 18 = 1177.9 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1195.9 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1195.9 - 263 = 932.9 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s (60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.000011 \times 1064055 = -239,944 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1195.9 - 263 = 933 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-239944.4) \times 932.9 / 1000000 \\ &= -223.8 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-239944) / 303887 + (-0.078) \times -224 \times 1000000 \times 688 / 516497016176 - 20500 \times (-0.000011) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-239944) / 303887 + (-0.078) \times -224 \times 1000000 \times 1178 / 516497016176 - 20500 \times (-0.000011) \\ &= 0.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -239944.4 / 303886.8 + (-0.078) \times -223.8 \times 1000000 \times (-2295.1) / 516497016176.318 \\ &= -0.867 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -239944.4 / 303886.8 + (-0.078) \times -223.8 \times 1000000 \times 1195.9 / 516497016176.318 \\ &= -0.749 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4464.7x240	1071532.5			5.143.E+09		
환산상부바닥판	0.000	51025.4	3630.0	1.852.E+08	2.449.E+08	1.737.E+11	1.740.E+11
하부콘크리트	2171.5x490	1064055.0			2.129.E+10	3.390.E+12	3.411.E+12
환산 하부콘크리트		50669.3	263.0	1.333.E+07	1.014.E+09	1.174.E+11	1.184.E+11
합성전		197481.3	1698.6	3.354.E+08	3.709.E+11	1.471.E+09	3.724.E+11
계		299175.9	0.0	5.340.E+08			6.647.E+11

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

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

$$\text{- 도심 : } y_{dv2} = 533989804.8 / 299175.9 = 1784.90 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 1784.9 - 508 = 1276.9 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 1784.9 - 3491 = -1706.1 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 1784.9 - 18 = 1766.9 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 1784.9 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1071532.5 = -2,824,252 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1064055 = -2,804,544 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 1784.9 - 3630 = -1,845 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 1784.9 - 263 = 1,522 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 197481.3 + 1071532.5 / 21 + 1064055 / 21 = 299,176 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1931.4 \times 197481.3 / (1071532.5 / 21 + 197481.3) = 1,535 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1931.4 - 1534.8 = 397 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_v2 &= P_{tv2} \times D_{dv} + P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= [-2824252.1 \times (-1845.1) + (-2804543.6) \times 1521.9] / 1000000 \\ &= 942.8 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2ru} &= ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_v + k \times M_v2 \times Y_{dvru} / I_v) \\ &= (-2824252.1 + (-2804543.6)) / 369544.2 + (-0.078) \times 942.8 \times 1000000 \times (-2477.6) / 673932830195 \\ &= -14.961 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcu} &= 1/n^1 \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcu} / I_{dv2}) - E_c^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2824252 - 2804544) / 299176 + (-0.078) \times 943 \times 1000000 \times 1277 / 664744760868) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcl} &= 1/n^1 \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcl} / I_{dv2}) - E_c^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2824252 - 2804544) / 299176 + (-0.078) \times 943 \times 1000000 \times 1767 / 664744760868) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2su} / I_{dv2} \\ &= (-2824252.1 + (-2804543.6)) / 299175.9 + (-0.078) \times 942.8 \times 1000000 \times (-1706.1) / 664744760868.148 \\ &= -18.626 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2sl} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2sl} / I_{dv2} \\ &= (-2824252.1 + (-2804543.6)) / 299175.9 + (-0.078) \times 942.8 \times 1000000 \times 1784.9 / 664744760868.148 \\ &= -19.012 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot P_{tv3} &= E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1071532.5 / 7 = 3,765,671 \text{ N} \\ \cdot M_v3 &= P_{tv3} \times D_{dvr} = 3765671.4 \times -1777.3 / 1000000 = -6,693 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3ru} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvru} / I_v - E_s \times \epsilon_t \\ &= 3765671.4 / 369544.2 + (-0.078) \times (-6692.7) \times (-2477.6) / 673932830195.1 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -16.329 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcu} &= 1/n^1 \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcu} / I_v) - E_c^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3765671.4 / 369544.2 + (-0.078) \times (-6692.7) \times 704.4 / 673932830195.1) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.200 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcl} &= 1/n^1 \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcl} / I_v) - E_c^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3765671.4 / 369544.2 + (-0.078) \times (-6692.7) \times 1000000 \times 1194.4 / 673932830195.1) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.100 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsu} / I_v \\ &= 3765671.4 / 369544.2 + (-0.078) \times (-6692.7) \times 1000000 \times (-2278.6) / 673932830195.1 \\ &= 8.425 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsl} / I_v \\ &= 3765671.4 / 369544.2 + (-0.078) \times (-6692.7) \times 1000000 \times 1212.4 / 673932830195.1 \\ &= 11.129 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7716112.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 904.16 \times 1000 / 110912 + 414.36 \times 1000000 / (2 \times 7716112 \times 16) = 9.830 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7807095.9 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1205.18 \times 1000 / 110912 + 652.9 \times 1000000 / (2 \times 7807095.9 \times 16) = 13.479 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7847206.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1757.63 \times 1000 / 110912 + 2463.39 \times 1000000 / (2 \times 7847206.2 \times 16) = 25.657 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 :

$$b = 2200.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 2 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2200 / (80 \times 1 \times 2) = 13.8 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성전 허용응력

$$\textcircled{a} \quad b/(22 \times i \times n) = 50.0 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \quad b/(44 \times i \times n) = 25.0 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \quad b/(80 \times i \times n) = 13.8 \text{ mm}$$

$$t = 18 \text{ mm} \quad \text{이므로,} \quad \therefore f_{sla1} = -[220,000 \times ((t \times i \times n) / b)^2] = -58.9 \text{ MPa}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$b = 2200.0 \text{ mm} \quad (\text{보강된 판의 폭}) \quad i = 1 \quad (\text{응력구배계수})$$

$$n = 4 \quad (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수})$$

$$t_{\min} = 2200 / (44 \times 1 \times 4) = 12.5 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$$

- 합성후 허용응력

$$\textcircled{a} \quad b/(22 \times i \times n) = 25.0 \text{ mm} \quad \textcircled{b} \quad b/(44 \times i \times n) = 12.5 \text{ mm} \quad \textcircled{c} \quad b/(80 \times i \times n) = 6.9 \text{ mm}$$

$$t = 18 \text{ mm} \quad \text{이므로,} \quad \therefore f_{sla2} = -[230 - 5.2 \times (b / (t \times i \times n) - 22)] = -185.5 \text{ MPa}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

- 합성전 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.2) = 3466 / (281 \times 1.2) = 10.279$
여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/82.531)} = 1.499 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용}$

- 합성후 : $t_{\min} = b / (281 \times 1.174) = 3466 / (281 \times 1.174) = 10.506$
여기서, $\sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(185.511/134.658)} = 1.174 < 1.2 \quad 1.17 \text{ 적용}$
 $\therefore t_{\min} = 10.506 < t = 16.0 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K.}$

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)

(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	-0.16699

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원(mm)	
		B1	2200
		B2	2200
		B3	4500
		H	3700
		t1	22
		t2	26
		t3	16
		tr	0
		Tcu	240
		Th	26
		Tcl	600
		b1	100
		b2	250
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려		Θ=0.000°	
		피복두께(mm)	
		tcl	40
보강리브 제원(mm)			
상부리브	120	12	2
하부리브	220	20	1
유효폭 제원 (mm)			
상부플랜지	2621	상부바닥판	4443
하부플랜지	2321	하부슬래브	2121
n(상부)		7	
n'(하부)		7	

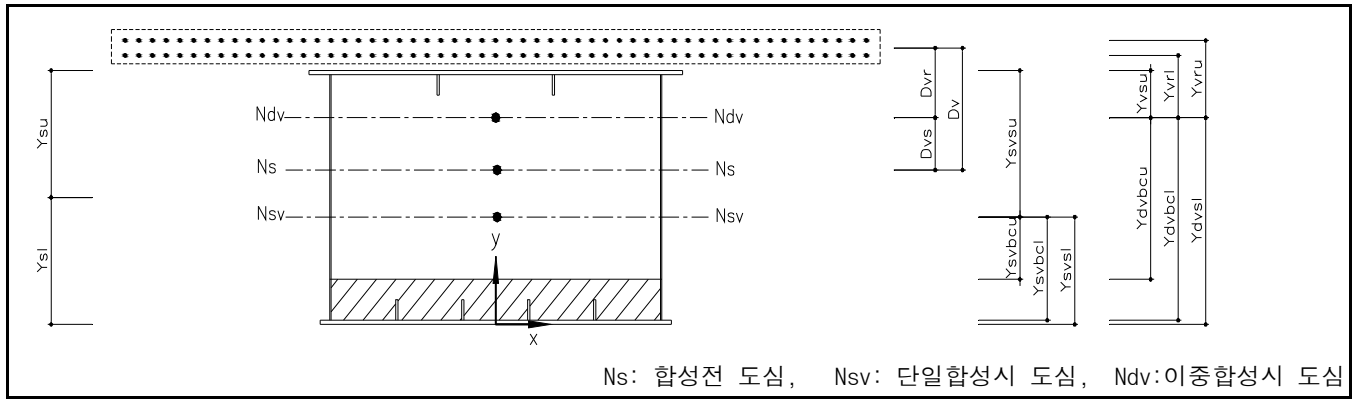
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-17372.1	-27503.5	-15990.6	-21042.6	-486.3	-82395.0
전단력, S (kN)	1410.3	1689.3	985.3	1487.5	12.1	5584.5
비틀림, T (kN-m)	-23.4	-27.0	66.9	-1961.0	-4.3	-1948.75

※ 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	2620.5×26×1	68,134	3,735	2.545.E+08	3.838.E+06	2.069.E+11	2.069.E+11
상부리브	120×12×2	2,880	3,662	1.055.E+07	3.456.E+06	8.030.E+09	8.034.E+09
복부판	3,700.0×16×2	118,400	1,872	2.216.E+08	1.351.E+11	1.711.E+09	1.368.E+11
하부리브	220×20×1	4,400	132	5.808.E+05	1.775.E+07	1.523.E+10	1.524.E+10
하부플랜지	2320.5×22×1	51,052	11	5.616.E+05	2.059.E+06	2.004.E+11	2.004.E+11
계		244,865		4.878.E+08			5.674.E+11

- 도심 : $y_s = 487812723/244865.1 = 1992.2 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1992.2 - 3748 = -1755.8 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1992.2 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -17,372.1 \times 1000000 \times (-1755.8) / 567398722756 = 53.757 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -17,372.1 \times 1000000 \times 1992.2 / 567398722756 = -60.995 \text{ MPa}$

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	2120.5x600	1272313.0			3.82.E+10		
환산 하부콘크리트		181759.0	322.0	5.85.E+07	5.45.E+09	1.67.E+11	1.72.E+11
STEEL		244865.1	1992.2	4.88.E+08	5.67.E+11	1.24.E+11	6.91.E+11
계		426624.1		5.46.E+08			8.64.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 546346650/426624.1 = 1280.6 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1280.6 - 622 = 658.6 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1280.6 - 3748 = -2467.4 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1280.6 - 22 = 1258.6 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1280.6 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1280.6 - 322 = 958.6 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -27503.48 \times 1000000 \times 658.6 / (7 \times 863865832397) = -2.995 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -27503.48 \times 1000000 \times 1258.6 / (7 \times 863865832397) = -5.724 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -27503.48 \times 1000000 \times (-2467.4) / 863865832397 = 78.556 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -27503.48 \times 1000000 \times 1280.6 / 863865832397 = -40.771 \text{ MPa}$

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	H19x70	20055.0					
환산바닥판 철근		20055.0	3858.0	7.737.E+07		1.215.E+11	1.215.E+11
단일합성시		426624.1	1280.6	5.463.E+08	8.639.E+11	5.711.E+09	8.696.E+11
계		446679.1		6.237.E+08			9.911.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.167$

- 도심 : $Ydv = 623707012/446679.1 = 1396 \text{ mm}$
 $Atc = 4443 \times 240 = 1066319 \text{ mm}^2$
 $Abc = 2120.5 \times 600 = 1272313 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7$ $n' = 7$

$Ydvru = 1396.3 - 3928 = -2531.7 \text{ mm}$ $Ddvr = 1396.3 - 3858 = -2461.7 \text{ mm}$
 $YdvrcI = 1396.3 - 3788 = -2391.7 \text{ mm}$ $Ddvbc = 1396.3 - 322 = 1235.3 \text{ mm}$
 $Ydvbcu = 1396.3 - 622 = 774.3 \text{ mm}$ $Ddvs = 1396.3 - 1992.2 = -595.9 \text{ mm}$
 $YdvbcI = 1396.3 - 22 = 1374.3 \text{ mm}$ $Ddv = 2461.7 + (-595.9) = 1865.8 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1396.3 - 3735 = -2338.7 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1396.3 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -15,990.6 \times 1000000 \times (-2531.7) / (1 \times 991109467624) = 40.846 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -15,990.6 \times 1000000 \times 774.3 / (7 \times 991109467624) = -1.785 \text{ MPa}$
· $fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -15,990.6 \times 1000000 \times 1374.3 / (7 \times 991109467624) = -3.168 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -15990.57 \times 1000000 \times (-2338.7) / 991109467624 = 37.733 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -15990.57 \times 1000000 \times 1396.3 / 991109467624 = -22.528 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -21042.6 \times 1000000 \times (-2531.7) / (1 \times 991109467624) = 53.751 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -21042.6 \times 1000000 \times 774.3 / (7 \times 991109467624) = -2.348 \text{ MPa}$
· $fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -21042.6 \times 1000000 \times 1374.3 / (7 \times 991109467624) = -4.168 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -21042.6 \times 1000000 \times (-2338.7) / 991109467624 = 49.654 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -21042.6 \times 1000000 \times 1396.3 / 991109467624 = -29.645 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

· $fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -486.3 \times 1000000 \times (-2531.7) / (1 \times 991109467624) = 1.242 \text{ MPa}$
· $fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -486.3 \times 1000000 \times 774.3 / (7 \times 991109467624) = -0.054 \text{ MPa}$
· $fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -486.3 \times 1000000 \times 1374.3 / (7 \times 991109467624) = -0.096 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -486.3 \times 1000000 \times (-2338.7) / 991109467624 = 1.148 \text{ MPa}$
· $fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -486.3 \times 1000000 \times 1396.3 / 991109467624 = -0.685 \text{ MPa}$

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	2120.5x600	1272313.0			3.817.E+10	2.426.E+12	2.464.E+12
환산 하부콘크리트		141368.1	322.0	4.552.E+07	5.453.E+09	1.585.E+11	1.640.E+11
합성전		244865.1	1992.2	4.878.E+08	5.674.E+11	9.150.E+10	6.589.E+11
계		386233.2		5.333.E+08			8.229.E+11

$$\begin{aligned} - \text{탄성계수비: } n_1-60' &= n' \times (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.461 / 2) = 9 \\ \Phi_1' (60,30) &= \mathbf{0.461} \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수}) \end{aligned}$$

$$- \text{도심: } y_{sv1} = 533340784 / 386233.2 = 1380.9 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1380.9 - 622 = 758.9 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1380.9 - 3735 = -2354.1 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1380.9 - 22 = 1358.9 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1380.9 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1380.9 - 322 = 1058.9 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\cdot N_{bc} = M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc}$$

$$= -27503.48 \times 1000000 / (7 \times 863865832397) \times (958.6) \times 1272313 = -5,547,211 \text{ N}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -5547211.2 \times 2 \times 0.461 / (2 + 0.461) = -2,078,232 \text{ N}$$

$$\cdot M_{v1} = P_{bv1} \times D_{svbc1}$$

$$= -2078231.9 \times 1058.9 / 1000000 = -2200.6 \text{ kN-m}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1-60' \times (P_{bv1}/A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30)/2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-2078232/386233 + (-0.167) \times (-2200.6) \times 1000000 \times 759 / 822866276514) - 0.461 / (1 + 0.461/2) \times (-2.995) \\ &= \mathbf{0.562 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1-60' \times ((P_{tv1} + P_{bv1})/A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30)/2) \times f_{bc} \\ &= 1/9 \times (-2078232/386233 + (-0.167) \times (-2200.6) \times 1000000 \times 1359 / 822866276514) - 0.461 / (1 + 0.461/2) \times (-5.724) \\ &= \mathbf{1.614 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1} \\ &= -2078231.9 / 386233.2 + (-0.167) \times (-2200.6) \times 1000000 \times (-2354.1) / 822866276513.938 \\ &= \mathbf{-6.432 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1sl} &= +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1} \\ &= -2078231.9 / 386233.2 + (-0.167) \times (-2200.6) \times 1000000 \times 1380.9 / 822866276513.938 \\ &= \mathbf{-4.764 \text{ MPa}} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4443x240	1066318.5			5.118.E+09		
환산 상부바닥판		152331.2	3868.0	5.892.E+08	7.312.E+08	5.537.E+11	5.545.E+11
하부콘크리트	2120.5x600	1272313.0			3.817.E+10		
환산 하부콘크리트		181759.0	322.0	5.853.E+07	5.453.E+09	4.885.E+11	4.940.E+11
합성전		244865.1	1992.2	4.878.E+08	5.674.E+11	2.323.E+08	5.676.E+11
계		578955.3		1.136.E+09			1.616.E+12

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $y_{v1} = 1135563787/578955.3 = 1961.4 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4443x240	1066318.5			5.118.E+09		
환산 상부바닥판		76165.6	3868.0	2.946.E+08	3.656.E+08	2.914.E+11	2.917.E+11
하부콘크리트	2120.5x600	1272313.0			3.817.E+10	4.652.E+12	4.690.E+12
환산 하부콘크리트		106026.1	322.0	3.414.E+07	5.453.E+09	2.681.E+11	2.735.E+11
합성전		244865.1	1992.2	4.878.E+08	5.674.E+11	1.571.E+09	5.690.E+11
계		427056.8		8.166.E+08			1.134.E+12

- 탄성계수비: $n_1 = n \times (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

$n_1' = n' \times (1 + \phi_1' / 2) = 7 \times (1 + 1.54 / 2) = 12$

$\phi_1' = \phi_1 - \phi_1'(60,30) = 2.00 - 0.46 = 1.54$

- 도심 : $y_{dv1} = 816569219.5/427056.8 = 1912.1 \text{ mm}$

$Y_{dv1tcu} = 1912.1 - 3988 = -2075.9 \text{ mm}$	$D_{dvtc} = 1961.4 - 3868 = -1906.6 \text{ mm}$
$Y_{dv1tcl} = 1912.1 - 3748 = -1835.9 \text{ mm}$	$D_{dvbc} = 1961.4 - 322 = 1639.4 \text{ mm}$
$Y_{dv1bcu} = 1912.1 - 622 = 1290.1 \text{ mm}$	$D_{dvtc1} = 1912.1 - 3868 = -1955.9 \text{ mm}$
$Y_{dv1bcl} = 1912.1 - 22 = 1890.1 \text{ mm}$	$D_{dvbc1} = 1912.1 - 322 = 1590.1 \text{ mm}$
$Y_{dv1su} = 1912.1 - 3735 = -1822.9 \text{ mm}$	$Av_1 = A_s + A_c/n_1 = 321030.7 \text{ mm}^2$
$Y_{dv1sl} = 1912.1 \text{ mm}$	$dc_1 = d_v \times A_s / (A_c/n_1 + A_s) = 1430.760 \text{ mm}$
$D_{vs1} = 1961.4 - 1992.2 = -30.8 \text{ mm}$	$ds_1 = d_v - dc_1 = 445.040 \text{ mm}$
$D_{v1} = 1906.6 + -30.8 = 1875.8 \text{ mm}$	

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $N_{tc} = M_{d3} / (n \times I_{dv}) \times D_{dvtc} \times A_{tc}$
 $= -15990.57 \times 1000000 / (7 \times 1616059127440.1) \times (-1906.6) \times 1066318.5 = 2,873,791 \text{ N}$

· $N_{bc} = M_{d3} / (n' \times I_{dv}) \times (-D_{dvbc}) \times A_{bc}$
 $= -15990.57 \times 1000000 / (7 \times 1616059127440.1) \times (1639.4) \times 1272313 = -2,948,408 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $P_{tv1} = N_{tc} \times 2 \times \phi_1 / (2 + \phi_1) = 2873791.1 \times 2 \times 2 / (2+2) = 2,873,791 \text{ N}$

· $P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \phi_1' / (2 + \phi_1') = -2948407.8 \times 2 \times 1.54 / (2+1.54) = -2,565,281 \text{ N}$

· $M_{v1} = P_{tv1} \times D_{dvtc1} + P_{bv1} \times D_{dvbc1}$
 $= 2873791.1 \times (-1955.9) / 1000000 + -2565281.4 \times 1590.1 / 1000000 = -9699.9 \text{ kN-m}$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (2873791.1 + -2565281.4) / 427056.8 + (-0.167) \times (-9699.9) \times 1000000 \times (-2531.7) / 1134241346259 \\ &= -2.893 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2873791.1 + -2565281) / 427057 + (-0.167) \times (-9699.9) \times 1000000 \times 1290 / 1134241346259) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-3.168) \\ &= 2.970 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2873791.1 + -2565281) / 427057 + (-0.167) \times (-9699.9) \times 1000000 \times 1890 / 1134241346259) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-3.168) \\ &= 3.041 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (2873791.1 + -2565281.4) / 427056.8 + (-0.167) \times (-9699.9) \times 1000000 \times (-1822.9) / 1134241346259.23 \\ &= -1.881 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (2873791.1 + -2565281.4) / 427056.8 + (-0.167) \times (-9699.9) \times 1000000 \times 1912.1 / 1134241346259.23 \\ &= 3.453 \text{ MPa} \end{aligned}$$

5) 건조수축 :

- 단일합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
하부콘크리트	2120.5x600	1272313.0			3.817.E+10	2.569.E+12	2.608.E+12
환산 하부콘크리트		127231.3	322.0	4.097.E+07	5.453.E+09	1.537.E+11	1.592.E+11
합성전		244865.1	1992.2	4.878.E+08	5.674.E+11	7.986.E+10	6.473.E+11
계		372096.4		5.288.E+08			8.064.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n_1' \times (1 + \Phi_2(60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.922 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1'(60,30) = 0.922$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s(60,30) = 0.000009$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 528788730.8 / 372096.4 = 1421.1 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1421.1 - 622 = 799.1 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1421.1 - 3735 = -2313.9 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1421.1 - 22 = 1399.1 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1421.1 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1421.1 - 322 = 1099.1 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s(60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.000009 \times 1272313 = -234,742 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1421.1 - 322 = 1,099 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-234741.7) \times 1099.1 / 1000000 \\ &= -258.0 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-234742) / 372096 + (-0.167) \times -258 \times 1000000 \times 799 / 806413578864 - 20500 \times (-0.000009) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-234742) / 372096 + (-0.167) \times -258 \times 1000000 \times 1399 / 806413578864 - 20500 \times (-0.000009) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -234741.7 / 372096.4 + (-0.167) \times -258 \times 1000000 \times (-2313.9) / 806413578864.095 \\ &= -0.754 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -234741.7 / 372096.4 + (-0.167) \times -258 \times 1000000 \times 1421.1 / 806413578864.095 \\ &= -0.555 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이종합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4443x240	1066318.5			5.118.E+09		
환산상부바닥판	0.000	50777.1	3868.0	1.964.E+08	2.437.E+08	1.819.E+11	1.821.E+11
하부콘크리트	2120.5x600	1272313.0			3.817.E+10	4.965.E+12	5.003.E+12
환산 하부콘크리트		60586.3	322.0	1.951.E+07	1.818.E+09	1.656.E+11	1.675.E+11
합성전		244865.1	1992.2	4.878.E+08	5.674.E+11	6.829.E+07	5.675.E+11
계		356228.5	0.0	7.037.E+08			9.170.E+11

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

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

$$\text{- 도심 : } y_{dv2} = 703734763.8 / 356228.5 = 1975.50 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 1975.5 - 622 = 1353.5 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 1975.5 - 3735 = -1759.5 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 1975.5 - 22 = 1953.5 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 1975.5 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1066318.5 = -2,810,510 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1272313 = -3,353,452 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 1975.5 - 3868 = -1,893 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 1975.5 - 322 = 1,654 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 244865.1 + 1066318.5 / 21 + 1272313 / 21 = 356,229 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{cu}/n_2 + A_s) = 1875.8 \times 244865.1 / (1066318.5 / 21 + 244865.1) = 1,554 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1875.8 - 1553.6 = 322 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_v2 &= P_{tv2} \times D_{dv} + P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= [-2810509.5 \times (-1892.5) + (-3353451.9) \times 1653.5] / 1000000 \\ &= -226.0 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2ru} &= ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_v + k \times M_v2 \times Y_{dvru} / I_v) \\ &= (-2810509.5 + (-3353451.9)) / 446679.1 + (-0.167) \times -226 \times 1000000 \times (-2531.7) / 991109467624 \\ &= -13.896 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcu} &= 1/n^1 \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcu} / I_{dv2}) - E_c^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2810510 - 3353452) / 356229 + (-0.167) \times -226 \times 1000000 \times 1354 / 917036077469) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.8 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcl} &= 1/n^1 \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcl} / I_{dv2}) - E_c^1 \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2810510 - 3353452) / 356229 + (-0.167) \times -226 \times 1000000 \times 1954 / 917036077469) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.8 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2su} / I_{dv2} \\ &= (-2810509.5 + (-3353451.9)) / 356228.5 + (-0.167) \times -226 \times 1000000 \times (-1759.5) / 917036077468.733 \\ &= -17.376 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2sl} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2sl} / I_{dv2} \\ &= (-2810509.5 + (-3353451.9)) / 356228.5 + (-0.167) \times -226 \times 1000000 \times 1975.5 / 917036077468.733 \\ &= -17.222 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot P_{tv3} &= E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1066318.5 / 7 = 3,747,348 \text{ N} \\ \cdot M_v3 &= P_{tv3} \times D_{dvr} = 3747347.9 \times -1906.6 / 1000000 = -7,145 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3ru} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvru} / I_v - E_s \times \epsilon_t \\ &= 3747347.9 / 446679.1 + (-0.167) \times (-7144.7) \times (-2531.7) / 991109467624 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -19.258 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcu} &= 1/n^1 \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcu} / I_v) - E_c^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3747347.9 / 446679.1 + (-0.167) \times (-7144.7) \times 774.3 / 991109467624) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.400 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcl} &= 1/n^1 \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcl} / I_v) - E_c^1 \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3747347.9 / 446679.1 + (-0.167) \times (-7144.7) \times 1000000 \times 1374.3 / 991109467624) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.300 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsu} / I_v \\ &= 3747347.9 / 446679.1 + (-0.167) \times (-7144.7) \times 1000000 \times (-2338.7) / 9911094676 = 5.574 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsI} / I_v \\ &= 3747347.9 / 446679.1 + (-0.167) \times (-7144.7) \times 1000000 \times 1396.3 / 991109467624 = 10.070 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8252384.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1410.31 \times 1000 / 118400 + 23.42 \times 1000000 / (2 \times 8252384 \times 16) = 12.000 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8363792.9 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1689.28 \times 1000 / 118400 + 26.96 \times 1000000 / (2 \times 8363792.9 \times 16) = 14.368 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 8403903.1 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 2472.8 \times 1000 / 118400 + 1894.07 \times 1000000 / (2 \times 8403903.1 \times 16) = 27.928 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 2 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2200 / (80 \times 1 \times 2) = 13.8 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 합성전 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i n) &= 50.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i n) &= 25.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i n) &= 13.8 \text{ mm} \\ t &= 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[220,000 \times ((t \times i n) / b)^2] = -88.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 4 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2200 / (44 \times 1 \times 4) = 12.5 \text{ mm} < t = 22 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 합성후 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i n) &= 25.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i n) &= 12.5 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i n) &= 6.9 \text{ mm} \\ t &= 22 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla2} = -[230 - 5.2 \times (b/(t \times i n) - 22)] = -214.4 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3700 / (281 \times 1.2) = 10.973 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/101.766)} = 1.451 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.158) = 3700 / (281 \times 1.158) = 11.371 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(214.4/159.943)} = 1.158 < 1.2 \quad 1.16 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 11.371 < t = 16.0 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

5) 허용응력 하중조합 :

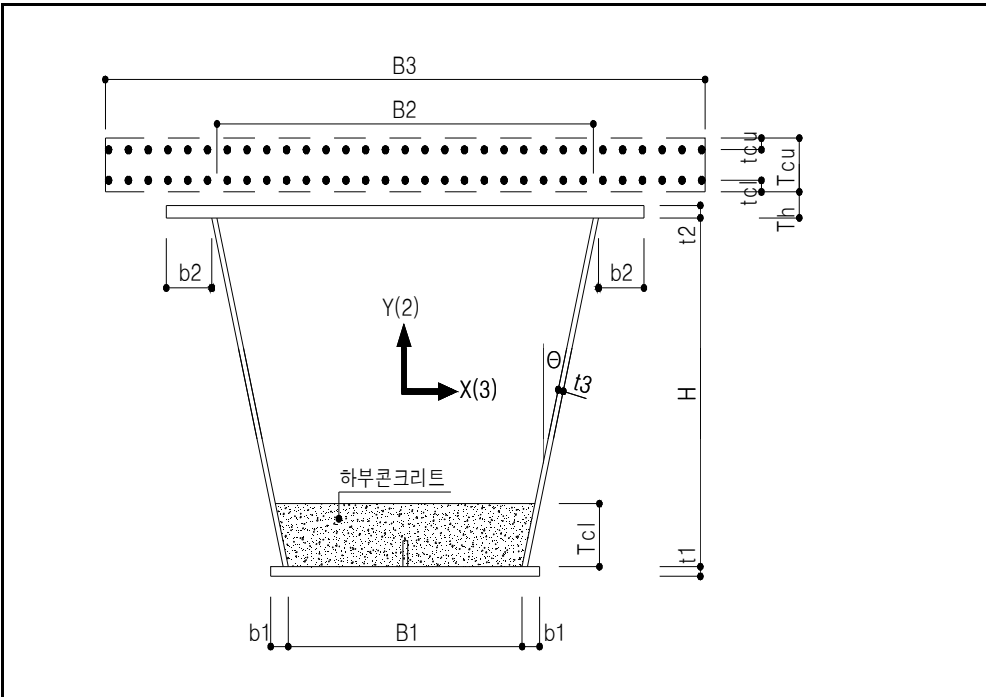
휨응력조합	하중조합
1	합성전단계 : 강거더자중+하부콘크리트 자중
2	단일합성단계: 1 + 상부바닥판 자중
3	이중합성단계: 2 + (2차고정하중) + (활하중) + (지점침하)
4	이중합성단계: 3 + (크리프) + (건조수축)
5	이중합성단계: 4 + (온도차)
6	이중합성단계: 4 - (온도차)

(1) 설계조건

상부바닥판, f_{ck}	27 MPa	크리프계수 (ϕ_1)	2
상부바닥판, E_c	27804 MPa	건조수축계수 (ϕ_2)	4
하부콘크리트, f_{ck}	40 MPa	온도변화 (Δt)	10
하부콘크리트, E_c	30891 MPa	온도팽창율 (α)	0.000012
사용강종	HSB500	건조수축율 (ϵ_s)	0.00027
강재 탄성계수, E_s	205,000	2차 부정정력 영향계수, k	-0.16748

※ 부호규약 : (+) 인장, (-) 압축

(2) 단면제원

		단면제원 (mm)	
		B1	2200
		B2	2200
		B3	4500
		H	3468
		t1	18
		t2	18
		t3	16
		tr	0
		Tcu	240
		Th	26
		Tcl	530
		b1	100
		b2	250
		피복두께 (mm)	
		tcu	60
		tcl	40
※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려			
Θ=0.000°			
보강리브 제원 (mm)			
상부리브	120	12	2
하부리브	200	18	1
유효폭 제원 (mm)			
상부플랜지	2650	상부바닥판	4459
하부플랜지	2350	하부슬래브	2150
n(상부)	7	n'(하부)	7

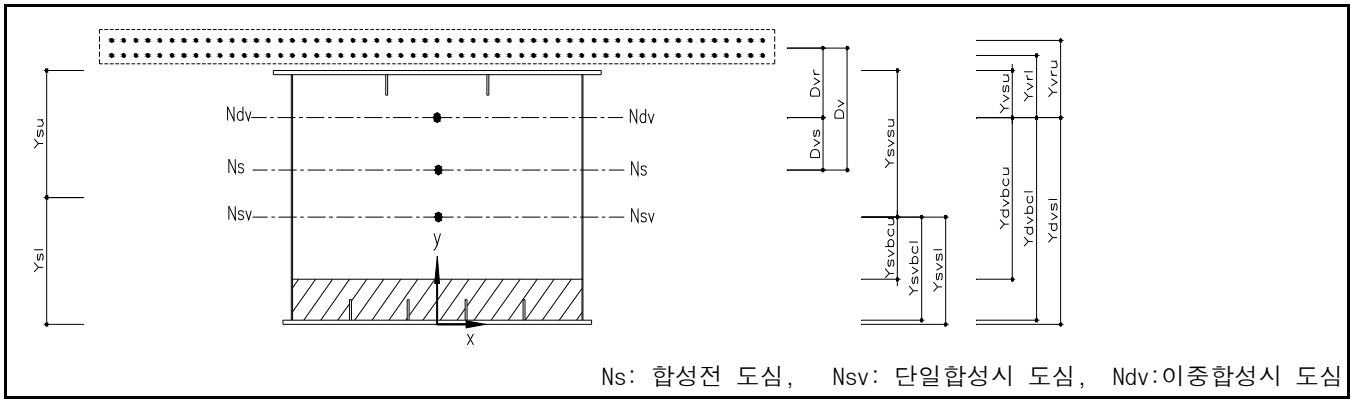
(3) 작용하중

구 분	합성전	단일합성	이중합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-11355.5	-19942.7	-11717.3	-15613.3	-352.8	-58981.6
전단력, S (kN)	931.0	1149.0	677.7	1057.9	6.5	3822.2
비틀림, T (kN-m)	132.8	155.8	30.6	1267.2	8.9	1595.37

※ 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	2649.7×18×1	47,695	3,495	1.667.E+08	1.288.E+06	1.383.E+11	1.383.E+11
상부리브	120×12×2	2,880	3,426	9.867.E+06	3.456.E+06	7.687.E+09	7.690.E+09
복부판	3,468.0×16×2	110,976	1,752	1.944.E+08	1.112.E+11	1.802.E+08	1.114.E+11
하부리브	200×18×1	3,600	118	4.248.E+05	1.200.E+07	1.009.E+10	1.010.E+10
하부플랜지	2349.7×18×1	42,295	9	3.807.E+05	1.142.E+06	1.345.E+11	1.345.E+11
계		207,445		3.718.E+08			4.020.E+11

- 도심 : $y_s = 371794561/207445 = 1792.3 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1792.3 - 3504 = -1711.7 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1792.3 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -11,355.5 \times 1000000 \times (-1711.7) / 401981016796.8 = 48.354 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -11,355.5 \times 1000000 \times 1792.3 / 401981016796.8 = -50.631 \text{ MPa}$

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	2149.7x530	1139339.3			2.67.E+10		
환산 하부콘크리트		162762.8	283.0	4.61.E+07	3.81.E+09	1.16.E+11	1.20.E+11
STEEL		207445.0	1792.3	3.72.E+08	4.02.E+11	9.14.E+10	4.93.E+11
계		370207.8		4.18.E+08			6.14.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 417865546/370207.8 = 1128.7 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1128.7 - 548 = 580.7 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1128.7 - 3504 = -2375.3 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1128.7 - 18 = 1110.7 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1128.7 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1128.7 - 283 = 845.7 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -19942.66 \times 1000000 \times 580.7 / (7 \times 613551867284.8) = -2.696 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -19942.66 \times 1000000 \times 1110.7 / (7 \times 613551867284.8) = -5.157 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -19942.66 \times 1000000 \times (-2375.3) / 613551867284.8 = 77.206 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -19942.66 \times 1000000 \times 1128.7 / 613551867284.8 = -36.687 \text{ MPa}$

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	H19x70	20055.0					
환산바닥판 철근		20055.0	3622.0	7.264.E+07		1.122.E+11	1.122.E+11
단일합성시		370207.8	1128.7	4.179.E+08	6.136.E+11	6.075.E+09	6.196.E+11
계		390262.8		4.905.E+08			7.318.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.167$

- 도심 : $Ydv = 490492754/390262.8 = 1257 \text{ mm}$

$Atc = 4459.1 \times 240 = 1070180 \text{ mm}^2$

$Abc = 2149.7 \times 530 = 1139339 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7 \quad n' = 7$

$Ydvru = 1256.8 - 3692 = -2435.2 \text{ mm} \quad Ddvr = 1256.8 - 3622 = -2365.2 \text{ mm}$

$Ydvrci = 1256.8 - 3552 = -2295.2 \text{ mm} \quad Ddvbc = 1256.8 - 283 = 1115.3 \text{ mm}$

$Ydvbcu = 1256.8 - 548 = 708.8 \text{ mm} \quad Ddvs = 1256.8 - 1792.3 = -535.5 \text{ mm}$

$Ydvbci = 1256.8 - 18 = 1238.8 \text{ mm} \quad Ddv = 2365.2 + (-535.5) = 1829.7 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1256.8 - 3495 = -2238.2 \text{ mm}$

$Ydvsl = 1256.8 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -11,717.3 \times 1000000 \times (-2435.2) / (1 \times 731817933108.8) = 38.991 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -11,717.3 \times 1000000 \times 708.8 / (7 \times 731817933108.8) = -1.621 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -11,717.3 \times 1000000 \times 1238.8 / (7 \times 731817933108.8) = -2.834 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -11717.33 \times 1000000 \times (-2238.2) / 731817933108.8 = 35.836 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -11717.33 \times 1000000 \times 1256.8 / 731817933108.8 = -20.123 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -15613.3 \times 1000000 \times (-2435.2) / (1 \times 731817933108.8) = 51.955 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -15613.3 \times 1000000 \times 708.8 / (7 \times 731817933108.8) = -2.160 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -15613.3 \times 1000000 \times 1238.8 / (7 \times 731817933108.8) = -3.776 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -15613.3 \times 1000000 \times (-2238.2) / 731817933108.8 = 47.752 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -15613.3 \times 1000000 \times 1256.8 / 731817933108.8 = -26.814 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -352.8 \times 1000000 \times (-2435.2) / (1 \times 731817933108.8) = 1.174 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -352.8 \times 1000000 \times 708.8 / (7 \times 731817933108.8) = -0.049 \text{ MPa}$

$\cdot fdvbci = Md3 \times Ydvbci / (n' \times Iv) = -352.8 \times 1000000 \times 1238.8 / (7 \times 731817933108.8) = -0.085 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -352.8 \times 1000000 \times (-2238.2) / 731817933108.8 = 1.079 \text{ MPa}$

$\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -352.8 \times 1000000 \times 1256.8 / 731817933108.8 = -0.606 \text{ MPa}$

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	2149.7x530	1139339.3			2.667.E+10	1.697.E+12	1.723.E+12
환산 하부콘크리트		126593.3	283.0	3.583.E+07	3.810.E+09	1.112.E+11	1.150.E+11
합성전		207445.0	1792.3	3.718.E+08	4.020.E+11	6.787.E+10	4.699.E+11
계		334038.3		4.076.E+08			5.849.E+11

$$- \text{탄성계수비: } n_1 - 60' = n' \times (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.465 / 2) = 9$$

$$\Phi_1' (60,30) = 0.465 \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수})$$

$$- \text{도심: } y_{sv1} = 407629564.8 / 334038.3 = 1220.3 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1220.3 - 548 = 672.3 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1220.3 - 3495 = -2274.7 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1220.3 - 18 = 1202.3 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1220.3 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1220.3 - 283 = 937.3 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\begin{aligned} \cdot N_{bc} &= M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc} \\ &= -19942.66 \times 1000000 / (7 \times 613551867284.8) \times (845.7) \times 1139339.3 = -4,474,074 \text{ N} \end{aligned}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -4474074.1 \times 2 \times 0.465 / (2 + 0.465) = -1,687,987 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \cdot M_{v1} &= P_{bv1} \times D_{svbc1} \\ &= -1687987.4 \times 937.3 / 1000000 = -1582.2 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcu} &= 1 / n_1 - 60' \times (P_{bv1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1 / 9 \times (-1687987 / 334038 + (-0.167) \times (-1582.2) \times 1000000 \times 672 / 584879842730) - 0.465 / (1 + 0.465 / 2) \times (-2.696) \\ &= 0.489 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1bcl} &= 1 / n_1 - 60' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc} \\ &= 1 / 9 \times (-1687987 / 334038 + (-0.167) \times (-1582.2) \times 1000000 \times 1202 / 584879842730) - 0.465 / (1 + 0.465 / 2) \times (-5.157) \\ &= 1.445 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1} \\ &= -1687987.4 / 334038.3 + (-0.167) \times (-1582.2) \times 1000000 \times (-2274.7) / 584879842730.322 \\ &= -6.081 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1sl} &= +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1} \\ &= -1687987.4 / 334038.3 + (-0.167) \times (-1582.2) \times 1000000 \times 1220.3 / 584879842730.322 \\ &= -4.502 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4459.1x240	1070180.2			5.137.E+09		
환산 상부바닥판		152882.9	3632.0	5.553.E+08	7.338.E+08	4.798.E+11	4.806.E+11
하부콘크리트	2149.7x530	1139339.3			2.667.E+10		
환산 하부콘크리트		162762.8	283.0	4.606.E+07	3.810.E+09	4.050.E+11	4.088.E+11
합성전		207445.0	1792.3	3.718.E+08	4.020.E+11	9.620.E+08	4.029.E+11
계		523090.6		9.731.E+08			1.292.E+12

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $yv1 = 973136175/523090.6 = 1860.4 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4459.1x240	1070180.2			5.137.E+09		
환산 상부바닥판		76441.4	3632.0	2.776.E+08	3.669.E+08	2.607.E+11	2.611.E+11
하부콘크리트	2149.7x530	1139339.3			2.667.E+10	3.631.E+12	3.658.E+12
환산 하부콘크리트		94944.9	283.0	2.687.E+07	3.810.E+09	2.143.E+11	2.181.E+11
합성전		207445.0	1792.3	3.718.E+08	4.020.E+11	1.046.E+07	4.020.E+11
계		378831.4		6.763.E+08			8.811.E+11

- 탄성계수비: $n1 = n \times (1 + \phi_1 / 2) = 7 \times (1 + 2 / 2) = 14$

$n1' = n' \times (1 + \phi_1' / 2) = 7 \times (1 + 1.54 / 2) = 12$

$\phi_1' = \phi_1 - \phi_1'(60,30) = 2.00 - 0.47 = 1.54$

- 도심 : $ydv1 = 676308412.4/378831.4 = 1785.2 \text{ mm}$

$Ydv1tcu = 1785.2 - 3752 = -1966.8 \text{ mm}$	$Ddvtc = 1860.4 - 3632 = -1771.6 \text{ mm}$
$Ydv1tcl = 1785.2 - 3512 = -1726.8 \text{ mm}$	$Ddvbc = 1860.4 - 283 = 1577.4 \text{ mm}$
$Ydv1bcu = 1785.2 - 548 = 1237.2 \text{ mm}$	$Ddvtc1 = 1785.2 - 3632 = -1846.8 \text{ mm}$
$Ydv1bcl = 1785.2 - 18 = 1767.2 \text{ mm}$	$Ddvbc1 = 1785.2 - 283 = 1502.2 \text{ mm}$
$Ydv1su = 1785.2 - 3495 = -1709.8 \text{ mm}$	$Av1 = As + Ac/n1 = 283886.4 \text{ mm}^2$
$Ydv1sl = 1785.2 \text{ mm}$	$dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1344.328 \text{ mm}$
$Dvs1 = 1860.4 - 1792.3 = 68.1 \text{ mm}$	$ds1 = dv - dc1 = 495.372 \text{ mm}$
$Dv1 = 1771.6 + 68.1 = 1839.7 \text{ mm}$	

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= -11717.33 \times 1000000 / (7 \times 1292304809717.7) \times (-1771.6) \times 1070180.2 = 2,455,773 \text{ N}$

· $Nbc = Md3 / (n' \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= -11717.33 \times 1000000 / (7 \times 1292304809717.7) \times (1577.4) \times 1139339.3 = -2,327,880 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \phi_1 / (2 + \phi_1) = 2455773.1 \times 2 \times 2 / (2+2) = 2,455,773 \text{ N}$

· $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \phi_1' / (2 + \phi_1') = -2327879.9 \times 2 \times 1.54 / (2+1.54) = -2,025,387 \text{ N}$

· $Mv1 = Ptv1 \times Ddvtc1 + Pbv1 \times Ddvbc1$
 $= 2455773.1 \times (-1846.8) / 1000000 + -2025387 \times 1502.2 / 1000000 = -7577.9 \text{ kN-m}$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (2455773.1 + -2025387) / 378831.4 + (-0.167) \times (-7577.9) \times 1000000 \times (-2435.2) / 881138167136 \\ &= -2.361 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2455773.1 + -2025387) / 378831.4 + (-0.167) \times (-7577.9) \times 1000000 \times 1237 / 881138167136) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.834) \\ &= 2.708 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2455773.1 + -2025387) / 378831.4 + (-0.167) \times (-7577.9) \times 1000000 \times 1767 / 881138167136) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.834) \\ &= 2.772 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (2455773.1 + -2025387) / 378831.4 + (-0.167) \times (-7577.9) \times 1000000 \times (-1709.8) / 881138167136.214 \\ &= -1.320 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (2455773.1 + -2025387) / 378831.4 + (-0.167) \times (-7577.9) \times 1000000 \times 1785.2 / 881138167136.214 \\ &= 3.700 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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	2149.7x530	1139339.3			2.667.E+10	1.801.E+12	1.827.E+12
환산 하부콘크리트		113933.9	283.0	3.224.E+07	3.810.E+09	1.081.E+11	1.119.E+11
합성전		207445.0	1792.3	3.718.E+08	4.020.E+11	5.940.E+10	4.614.E+11
계		321378.9		4.040.E+08			5.733.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n_1' \times (1 + \Phi_2(60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.93 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1'(60,30) = 0.930$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s(60,30) = 0.000010$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 404046975.7 / 321378.9 = 1257.2 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1257.2 - 548 = 709.2 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1257.2 - 3495 = -2237.8 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1257.2 - 18 = 1239.2 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1257.2 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1257.2 - 283 = 974.2 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s(60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.00001 \times 1139339.3 = -233,565 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1257.2 - 283 = 974 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-233564.6) \times 974.2 / 1000000 \\ &= -227.5 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-233565) / 321379 + (-0.167) \times -228 \times 1000000 \times 709 / 573319943749 - 20500 \times (-0.00001) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-233565) / 321379 + (-0.167) \times -228 \times 1000000 \times 1239 / 573319943749 - 20500 \times (-0.00001) \\ &= 0.1 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -233564.6 / 321378.9 + (-0.167) \times -227.5 \times 1000000 \times (-2237.8) / 573319943749.415 \\ &= -0.875 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -233564.6 / 321378.9 + (-0.167) \times -227.5 \times 1000000 \times 1257.2 / 573319943749.415 \\ &= -0.643 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이종합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4459.1x240	1070180.2			5.137.E+09		
환산상부바닥판	0.000	50961.0	3632.0	1.851.E+08	2.446.E+08	1.654.E+11	1.657.E+11
하부콘크리트	2149.7x530	1139339.3			2.667.E+10	3.817.E+12	3.843.E+12
환산 하부콘크리트		54254.3	283.0	1.535.E+07	1.270.E+09	1.299.E+11	1.312.E+11
합성전		207445.0	1792.3	3.718.E+08	4.020.E+11	2.996.E+08	4.023.E+11
계		312660.2	0.0	5.722.E+08			6.991.E+11

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

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

$$\text{- 도심 : } y_{dv2} = 572247840.6 / 312660.2 = 1830.30 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 1830.3 - 548 = 1282.3 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 1830.3 - 3495 = -1664.7 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 1830.3 - 18 = 1812.3 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 1830.3 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1070180.2 = -2,820,688 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1139339.3 = -3,002,971 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 1830.3 - 3632 = -1,802 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 1830.3 - 283 = 1,547 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 207445 + 1070180.2 / 21 + 1139339.3 / 21 = 312,660 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_{c2}/n_2 + A_s) = 1839.7 \times 207445 / (1070180.2 / 21 + 207445) = 1,477 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1839.7 - 1476.9 = 363 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_v2 &= P_{tv2} \times D_{dv} + P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= [-2820687.9 \times (-1801.7) + (-3002971.4) \times 1547.3] / 1000000 \\ &= 435.5 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2ru} &= ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_v + k \times M_v2 \times Y_{dvru} / I_v) \\ &= (-2820687.9 + (-3002971.4)) / 390262.8 + (-0.167) \times 435.5 \times 1000000 \times (-2435.2) / 731817933109 \\ &= -14.680 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcu} &= 1/n' \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcu} / I_{dv2}) - E_c' \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2820688 - 3002971) / 312660 + (-0.167) \times 436 \times 1000000 \times 1282 / 699112855352) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcl} &= 1/n' \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcl} / I_{dv2}) - E_c' \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2820688 - 3002971) / 312660 + (-0.167) \times 436 \times 1000000 \times 1812 / 699112855352) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2su} / I_{dv2} \\ &= (-2820687.9 + (-3002971.4)) / 312660.2 + (-0.167) \times 435.5 \times 1000000 \times (-1664.7) / 699112855352.194 \\ &= -18.453 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2sl} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2sl} / I_{dv2} \\ &= (-2820687.9 + (-3002971.4)) / 312660.2 + (-0.167) \times 435.5 \times 1000000 \times 1830.3 / 699112855352.194 \\ &= -18.817 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot P_{tv3} &= E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1070180.2 / 7 = 3,760,919 \text{ N} \\ \cdot M_v3 &= P_{tv3} \times D_{dvr} = 3760919 \times -1771.6 / 1000000 = -6,663 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3ru} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvru} / I_v - E_s \times \epsilon_t \\ &= 3760919 / 390262.8 + (-0.167) \times (-6662.8) \times (-2435.2) / 731817933108.8 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -18.666 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcu} &= 1/n' \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcu} / I_v) - E_c' \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3760919 / 390262.8 + (-0.167) \times (-6662.8) \times 708.8 / 731817933108.8) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.200 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcl} &= 1/n' \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcl} / I_v) - E_c' \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3760919 / 390262.8 + (-0.167) \times (-6662.8) \times 1000000 \times 1238.8 / 731817933108.8) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.100 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsu} / I_v \\ &= 3760919 / 390262.8 + (-0.167) \times (-6662.8) \times 1000000 \times (-2238.2) / 731817933108 = 6.234 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsl} / I_v \\ &= 3760919 / 390262.8 + (-0.167) \times (-6662.8) \times 1000000 \times 1256.8 / 731817933108.8 = 11.548 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7724976.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 931.01 \times 1000 / 110976 + 132.76 \times 1000000 / (2 \times 7724976 \times 16) = 8.926 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7823387.2 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1148.99 \times 1000 / 110976 + 155.81 \times 1000000 / (2 \times 7823387.2 \times 16) = 10.976 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7863497.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1735.64 \times 1000 / 110976 + 1297.88 \times 1000000 / (2 \times 7863497.4 \times 16) = 20.798 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 2 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2200 / (80 \times 1 \times 2) = 13.8 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 합성전 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 50.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 25.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 13.8 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[220,000 \times ((t \times i \times n) / b)^2] = -58.9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 4 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) \\ t_{\min} &= 2200 / (44 \times 1 \times 4) = 12.5 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 합성후 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 25.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 12.5 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 6.9 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla2} = -[230 - 5.2 \times (b / (t \times i \times n) - 22)] = -185.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3468 / (281 \times 1.2) = 10.285 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(230/87.318)} = 1.458 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.151) = 3468 / (281 \times 1.151) = 10.723 \\ &\text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} = \sqrt{(185.511/140.006)} = 1.151 < 1.2 \quad 1.15 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 10.723 < t = 16.0 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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)

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	-0.16736

※ 구조해석시 전단면, 응력검토시 유효폭 고려

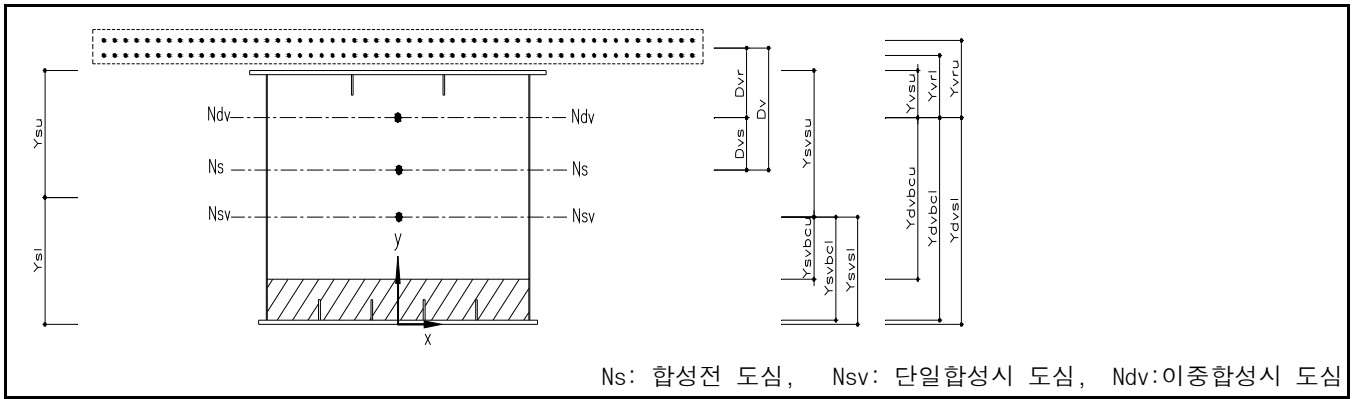
$\Theta = 0.000^\circ$

보강리브 제원 (mm)				유효폭 제원 (mm)			
상부리브	120	12	2	상부플랜지	2666	상부바닥판	4471
하부리브	200	18	1	하부플랜지	2366	하부슬래브	2166

구 분	합성전	단일 합성	이중 합성		지점침하	합 계
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	
모멘트, M (kN-m)	-8179.0	-15767.9	-9254.8	-12659.3	-327.9	-46188.9
전단력, S (kN)	739.5	1039.6	613.5	953.0	6.5	3352.1
비틀림, T (kN-m)	132.8	137.6	96.3	1228.3	8.9	1603.93

※ 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	2666.1×18×1	47,989	3,136	1.505.E+08	1.296.E+06	1.113.E+11	1.113.E+11
상부리브	120×12×2	2,880	3,067	8.833.E+06	3.456.E+06	6.086.E+09	6.090.E+09
복부판	3,109.0×14×2	87,052	1,573	1.369.E+08	7.012.E+10	1.449.E+08	7.026.E+10
하부리브	200×18×1	3,600	118	4.248.E+05	1.200.E+07	8.049.E+09	8.061.E+09
하부플랜지	2366.1×18×1	42,589	9	3.833.E+05	1.150.E+06	1.096.E+11	1.096.E+11
계		184,110		2.970.E+08			3.053.E+11

- 도심 : $y_s = 297023835/184110 = 1613.3 \text{ mm}$
 $Y_{su} = 1613.3 - 3145 = -1531.7 \text{ mm}$
 $Y_{sl} = 1613.3 \text{ mm}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{su} = M_{d1} \times Y_{su} / I_s = -8,179.0 \times 1000000 \times (-1531.7) / 305300477195.3 = 41.034 \text{ MPa}$
 · $f_{sl} = M_{d1} \times Y_{sl} / I_s = -8,179.0 \times 1000000 \times 1613.3 / 305300477195.3 = -43.220 \text{ MPa}$

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	2166.1x470	1018046.4			1.87.E+10		
환산 하부콘크리트		145435.2	253.0	3.68.E+07	2.68.E+09	8.40.E+10	8.67.E+10
STEEL		184110.0	1613.3	2.97.E+08	3.05.E+11	6.63.E+10	3.72.E+11
계		329545.2		3.34.E+08			4.58.E+11

- 도심 : $y_{sv} = 333819769/329545.2 = 1013.0 \text{ mm}$ $n' = 7$
 $Y_{svbcu} = 1013 - 488 = 525.0 \text{ mm}$ $Y_{svsu} = 1013 - 3145 = -2132.0 \text{ mm}$
 $Y_{svbcl} = 1013 - 18 = 995.0 \text{ mm}$ $Y_{svsl} = 1013.0 \text{ mm}$
 $D_{svbc} = 1013 - 253 = 760.0 \text{ mm}$

- 하부콘크리트 응력 :

· $f_{svbcu} = M_{d2} \times Y_{svbcu} / (n' \times I_{sv}) = -15767.92 \times 1000000 \times 525 / (7 \times 458326964451.3) = -2.580 \text{ MPa}$
 · $f_{svbcl} = M_{d2} \times Y_{svbcl} / (n' \times I_{sv}) = -15767.92 \times 1000000 \times 995 / (7 \times 458326964451.3) = -4.890 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

· $f_{vsu} = M_{d2} \times Y_{svsu} / I_{sv} = -15767.92 \times 1000000 \times (-2132) / 458326964451.3 = 73.348 \text{ MPa}$
 · $f_{vsl} = M_{d2} \times Y_{svsl} / I_{sv} = -15767.92 \times 1000000 \times 1013 / 458326964451.3 = -34.850 \text{ MPa}$

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	H19x70	20055.0					
환산바닥판 철근		20055.0	3263.0	6.544.E+07		9.021.E+10	9.021.E+10
단일합성시		329545.2	1013.0	3.338.E+08	4.583.E+11	5.492.E+09	4.638.E+11
계		349600.2		3.993.E+08			5.540.E+11

- 2차 모멘트 계수 : $k = -0.167$

- 도심 : $Ydv = 399268753/349600.2 = 1142 \text{ mm}$
 $Atc = 4470.6 \times 240 = 1072939 \text{ mm}^2$
 $Abc = 2166.1 \times 470 = 1018046 \text{ mm}^2$

- 탄성계수비: $ns = 205000/200000 = 1$

$n = 7$ $n' = 7$

$Ydvru = 1142.1 - 3333 = -2190.9 \text{ mm}$ $Ddvr = 1142.1 - 3263 = -2120.9 \text{ mm}$
 $YdvrcI = 1142.1 - 3193 = -2050.9 \text{ mm}$ $Ddvbc = 1142.1 - 253 = 1015.6 \text{ mm}$
 $Ydvbcu = 1142.1 - 488 = 654.1 \text{ mm}$ $Ddvs = 1142.1 - 1613.3 = -471.2 \text{ mm}$
 $YdvbcI = 1142.1 - 18 = 1124.1 \text{ mm}$ $Ddv = 2120.9 + (-471.2) = 1649.7 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1142.1 - 3136 = -1993.9 \text{ mm}$
 $Ydvsl = 1142.1 \text{ mm}$

① 고정하중 (DL3) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -9,254.8 \times 1000000 \times (-2190.9) / (1 \times 554031169811.3) = 36.598 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -9,254.8 \times 1000000 \times 654.1 / (7 \times 554031169811.3) = -1.561 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -9,254.8 \times 1000000 \times 1124.1 / (7 \times 554031169811.3) = -2.682 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -9254.753 \times 1000000 \times (-1993.9) / 554031169811.3 = 33.307 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -9254.753 \times 1000000 \times 1142.1 / 554031169811.3 = -19.078 \text{ MPa}$

② 활하중 (LL) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -12659.3 \times 1000000 \times (-2190.9) / (1 \times 554031169811.3) = 50.061 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -12659.3 \times 1000000 \times 654.1 / (7 \times 554031169811.3) = -2.135 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -12659.3 \times 1000000 \times 1124.1 / (7 \times 554031169811.3) = -3.669 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12659.3 \times 1000000 \times (-1993.9) / 554031169811.3 = 45.559 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -12659.3 \times 1000000 \times 1142.1 / 554031169811.3 = -26.096 \text{ MPa}$

③ 지점침하 (SET) :

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$\cdot fdvru = Md3 \times Ydvru / (ns \times Iv) = -327.9 \times 1000000 \times (-2190.9) / (1 \times 554031169811.3) = 1.297 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcu = Md3 \times Ydvbcu / (n' \times Iv) = -327.9 \times 1000000 \times 654.1 / (7 \times 554031169811.3) = -0.055 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvbcI = Md3 \times YdvbcI / (n' \times Iv) = -327.9 \times 1000000 \times 1124.1 / (7 \times 554031169811.3) = -0.095 \text{ MPa}$

- 상하플랜지 응력 :

$\cdot fdvsu = Md3 \times Ydvsl / Iv = -327.9 \times 1000000 \times (-1993.9) / 554031169811.3 = 1.180 \text{ MPa}$
 $\cdot fdvsl = Md3 \times Ydvsl / Iv = -327.9 \times 1000000 \times 1142.1 / 554031169811.3 = -0.676 \text{ MPa}$

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	2166.1x470	1018046.4			1.874.E+10	1.222.E+12	1.241.E+12
환산 하부콘크리트		113116.3	253.0	2.862.E+07	2.677.E+09	8.031.E+10	8.299.E+10
합성전		184110.0	1613.3	2.970.E+08	3.053.E+11	4.934.E+10	3.546.E+11
계		297226.3		3.256.E+08			4.376.E+11

$$- \text{탄성계수비: } n_1 - 60' = n' \times (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.469 / 2) = 9$$

$$\Phi_1' (60,30) = 0.469 \quad (\text{하부콘크리트의 바닥판양생시까지의 크리프계수})$$

$$- \text{도심: } y_{sv1} = 325643078.5 / 297226.3 = 1095.6 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcu} = 1095.6 - 488 = 607.6 \text{ mm} \quad Y_{sv1su} = 1095.6 - 3136 = -2040.4 \text{ mm}$$

$$Y_{sv1bcl} = 1095.6 - 18 = 1077.6 \text{ mm} \quad Y_{sv1sl} = 1095.6 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1095.6 - 253 = 842.6 \text{ mm}$$

① 1차고정하중 의한 크리프 효과:

$$\cdot N_{bc} = M_d / (n' \times I_{dsv}) \times (-D_{svbc}) \times A_{bc}$$

$$= -15767.92 \times 1000000 / (7 \times 458326964451.3) \times (760) \times 1018046.4 = -3,802,613 \text{ N}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

$$\cdot P_{bv1} = N_{bc} \times 2 \times \Phi_1 / (2 + \Phi_1) = -3802613 \times 2 \times 0.469 / (2 + 0.469) = -1,444,654 \text{ N}$$

$$\cdot M_{v1} = P_{bv1} \times D_{svbc1}$$

$$= -1444654.1 \times 842.6 / 1000000 = -1217.3 \text{ kN-m}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\cdot f_{v1bcu} = 1 / n_1 - 60' \times (P_{bv1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcu} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc}$$

$$= 1 / 9 \times (-1444654 / 297226 + (-0.167) \times (-1217.3) \times 1000000 \times 608 / 437631317862) - 0.469 / (1 + 0.469 / 2) \times (-2.58)$$

$$= 0.471 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{v1bcl} = 1 / n_1 - 60' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1bcl} / I_{sv1}) - \Phi_1 (60,30) / (1 + \Phi_1 (60,30) / 2) \times f_{bc}$$

$$= 1 / 9 \times (-1444654 / 297226 + (-0.167) \times (-1217.3) \times 1000000 \times 1078 / 437631317862) - 0.469 / (1 + 0.469 / 2) \times (-4.89)$$

$$= 1.373 \text{ MPa}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\cdot f_{v1su} = P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1su} / I_{sv1}$$

$$= -1444654.1 / 297226.3 + (-0.167) \times (-1217.3) \times 1000000 \times (-2040.4) / 437631317861.677$$

$$= -5.808 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{v1sl} = +P_{bc1} / A_{sv1} + k \times M_{v1} \times Y_{sv1sl} / I_{sv1}$$

$$= -1444654.1 / 297226.3 + (-0.167) \times (-1217.3) \times 1000000 \times 1095.6 / 437631317861.677$$

$$= -4.352 \text{ MPa}$$

- 이중합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4470.6x240	1072938.6			5.150.E+09		
환산 상부바닥판		153276.9	3273.0	5.017.E+08	7.357.E+08	3.647.E+11	3.655.E+11
하부콘크리트	2166.1x470	1018046.4			1.874.E+10		
환산 하부콘크리트		145435.2	253.0	3.680.E+07	2.677.E+09	3.174.E+11	3.201.E+11
합성전		184110.0	1613.3	2.970.E+08	3.053.E+11	2.525.E+09	3.078.E+11
계		482822.1		8.355.E+08			9.934.E+11

- 탄성계수비: $n = 7$ $n' = 7$

- 도심 : $yv1 = 835495203/482822.1 = 1730.4 \text{ mm}$

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4470.6x240	1072938.6			5.150.E+09		
환산 상부바닥판		76638.5	3273.0	2.508.E+08	3.679.E+08	2.025.E+11	2.029.E+11
하부콘크리트	2166.1x470	1018046.4			1.874.E+10	2.763.E+12	2.782.E+12
환산 하부콘크리트		84837.2	253.0	2.146.E+07	2.677.E+09	1.650.E+11	1.676.E+11
합성전		184110.0	1613.3	2.970.E+08	3.053.E+11	2.141.E+08	3.055.E+11
계		345585.7		5.693.E+08			6.760.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 : $ydv1 = 569326191.6/345585.7 = 1647.4 \text{ mm}$

$Ydv1tcu = 1647.4 - 3393 = -1745.6 \text{ mm}$	$Ddvtc = 1730.4 - 3273 = -1542.6 \text{ mm}$
$Ydv1tcl = 1647.4 - 3153 = -1505.6 \text{ mm}$	$Ddvbc = 1730.4 - 253 = 1477.4 \text{ mm}$
$Ydv1bcu = 1647.4 - 488 = 1159.4 \text{ mm}$	$Ddvtc1 = 1647.4 - 3273 = -1625.6 \text{ mm}$
$Ydv1bcl = 1647.4 - 18 = 1629.4 \text{ mm}$	$Ddvbc1 = 1647.4 - 253 = 1394.4 \text{ mm}$
$Ydv1su = 1647.4 - 3136 = -1488.6 \text{ mm}$	$Av1 = As + Ac/n1 = 260748.5 \text{ mm}^2$
$Ydv1sl = 1647.4 \text{ mm}$	$dc1 = dv \times As / (Ac/n1 + As) = 1171.886 \text{ mm}$
$Dvs1 = 1730.4 - 1613.3 = 117.1 \text{ mm}$	$ds1 = dv - dc1 = 487.814 \text{ mm}$
$Dv1 = 1542.6 + 117.1 = 1659.7 \text{ mm}$	

② 2차고정하중 의한 크리프 효과:

- 2차 고정하중에 의한 바닥판 작용축력 :

· $Ntc = Md3 / (n \times Idv) \times Ddvtc \times Atc$
 $= -9254.753 \times 1000000 / (7 \times 993421069403.3) \times (-1542.6) \times 1072938.6 = 2,202,732 \text{ N}$

· $Nbc = Md3 / (n' \times Idv) \times (-Ddvbc) \times Abc$
 $= -9254.753 \times 1000000 / (7 \times 993421069403.3) \times (1477.4) \times 1018046.4 = -2,001,701 \text{ N}$

- 합성단면에 발생하는 축력 및 휨모멘트 :

· $Ptv1 = Ntc \times 2 \times \phi_1 / (2 + \phi_1) = 2202731.8 \times 2 \times 2 / (2+2) = 2,202,732 \text{ N}$

· $Pbv1 = Nbc \times 2 \times \phi_1' / (2 + \phi_1') = -2001700.5 \times 2 \times 1.53 / (2+1.53) = -1,735,185 \text{ N}$

· $Mv1 = Ptv1 \times Ddvtc1 + Pbv1 \times Ddvbc1$
 $= 2202731.8 \times (-1625.6) / 1000000 + -1735185.1 \times 1394.4 / 1000000 = -6000.3 \text{ kN-m}$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1ru} &= (P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dvru} / (I_{dv1}) \\ &= (2202731.8 + -1735185.1) / 345585.7 + (-0.167) \times (-6000.3) \times 1000000 \times (-2190.9) / 676035907796 \\ &= -1.895 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcu} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcu} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2202731.8 + -1735185) / 345586 + (-0.167) \times (-6000.3) \times 1000000 \times 1159 / 676035907796) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.682) \\ &= 2.581 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1bcl} &= 1/n_1' \times ((P_{tv1} + P_{bv1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1bcl} / I_{dv1}) - \Phi_1' / (1 + \Phi_1' / 2) \times f_{bc} \\ &= 1/12 \times ((2202731.8 + -1735185) / 345586 + (-0.167) \times (-6000.3) \times 1000000 \times 1629 / 676035907796) - 1.5 / (1 + 1.5/2) \times (-2.682) \\ &= 2.639 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v1su} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1su} / I_{dv1} \\ &= (2202731.8 + -1735185.1) / 345585.7 + (-0.167) \times (-6000.3) \times 1000000 \times (-1488.6) / 676035907795.556 \\ &= -0.854 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v1sl} &= (P_{tv1} + P_{bc1}) / A_{dv1} + k \times M_{v1} \times Y_{dv1sl} / I_{dv1} \\ &= (2202731.8 + -1735185.1) / 345585.7 + (-0.167) \times (-6000.3) \times 1000000 \times 1647.4 / 676035907795.556 \\ &= 3.795 \text{ MPa} \end{aligned}$$

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	2166.1x470	1018046.4			1.874.E+10	1.297.E+12	1.316.E+12
환산 하부콘크리트		101804.6	253.0	2.576.E+07	2.677.E+09	7.810.E+10	8.078.E+10
합성전		184110.0	1613.3	2.970.E+08	3.053.E+11	4.320.E+10	3.485.E+11
계		285914.6		3.228.E+08			4.293.E+11

$$\text{- 탄성계수비: } n_2 - 60' = n_1' \times (1 + \Phi_2(60,30) / 2) = 7 \times (1 + 0.938 / 2) = 10$$

$$\Phi_2' = 2 \times \Phi_1'(60,30) = 0.938$$

$$\text{건조수축변형률 } \epsilon_s(60,30) = 0.000012$$

$$\text{- 도심 : } y_{sv2} = 322781236.9 / 285914.6 = 1128.9 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcu} = 1128.9 - 488 = 640.9 \text{ mm} \quad Y_{sv2su} = 1128.9 - 3136 = -2007.1 \text{ mm}$$

$$Y_{sv2bcl} = 1128.9 - 18 = 1110.9 \text{ mm} \quad Y_{sv2sl} = 1128.9 \text{ mm}$$

$$D_{svbc1} = 1128.9 - 253 = 875.9 \text{ mm}$$

$$E_{c2}' = E_s / n_2' = 205000 / 10 = 20500.0 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{bv2} = E_{c2}' \times \epsilon_s(60,30) \times A_{bc} = -20500 \times 0.000012 \times 1018046.4 = -250,439 \text{ N}$$

$$D_{dvbc} = 1128.9 - 253 = 876 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_{v2} &= P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= (-250439.4) \times 875.9 / 1000000 \\ &= -219.4 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcu} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcu} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-250439) / 285915 + (-0.167) \times -219 \times 1000000 \times 641 / 429282488040 - 20500 \times (-0.000012) \\ &= 0.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{sv2bcl} &= 1/n_2' \times (P_{bv2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2bcl} / I_{sv2}) - E_c 2' \times \epsilon_s \\ &= 1/10 \times (-250439) / 285915 + (-0.167) \times -219 \times 1000000 \times 1111 / 429282488040 - 20500 \times (-0.000012) \\ &= 0.2 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2su} / I_{sv2} \\ &= -250439.4 / 285914.6 + (-0.167) \times -219.4 \times 1000000 \times (-2007.1) / 429282488040.373 \\ &= -1.047 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2sl} &= P_{bc2} / A_{sv2} + k \times M_{v2} \times Y_{sv2sl} / I_{sv2} \\ &= -250439.4 / 285914.6 + (-0.167) \times -219.4 \times 1000000 \times 1128.9 / 429282488040.373 \\ &= -0.780 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 이종합성시

구분	단면	Av1 (mm ²)	y (mm)	Av1 · y (mm ³)	Ix (mm ⁴)	Ad ² (mm ⁴)	Iv1 (mm ⁴)
상부바닥판	4470.6x240	1072938.6			5.150.E+09		
환산상부바닥판	0.000	51092.3	3273.0	1.672.E+08	2.452.E+08	1.297.E+11	1.299.E+11
하부콘크리트	2166.1x470	1018046.4			1.874.E+10	2.873.E+12	2.891.E+12
환산 하부콘크리트		48478.4	253.0	1.227.E+07	8.924.E+08	9.869.E+10	9.958.E+10
합성전		184110.0	1613.3	2.970.E+08	3.053.E+11	8.142.E+08	3.061.E+11
계		283680.7	0.0	4.765.E+08			5.356.E+11

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

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

$$\text{- 도심 : } y_{dv2} = 476514842.9 / 283680.7 = 1679.80 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcu} = 1679.8 - 488 = 1191.8 \text{ mm} \quad Y_{dv2su} = 1679.8 - 3136 = -1456.2 \text{ mm}$$

$$Y_{dv2bcl} = 1679.8 - 18 = 1661.8 \text{ mm} \quad Y_{dv2sl} = 1679.8 \text{ mm}$$

$$E_c 2 = E_s / n_2 = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

$$E_c 2' = E_s / n_2' = 205000 / 21 = 9761.9 \text{ MPa}$$

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$P_{tv2} = E_c 2 \times \epsilon_s \times A_{tc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1072938.6 = -2,827,958 \text{ N}$$

$$P_{bv2} = E_c 2' \times \epsilon_s \times A_{bc} = -9761.9 \times 0.00027 \times 1018046.4 = -2,683,278 \text{ N}$$

$$D_{dv} = 1679.8 - 3273 = -1,593 \text{ mm}$$

$$D_{dvbc} = 1679.8 - 253 = 1,427 \text{ mm}$$

$$A_{v2} = A_s + A_{cu}/n_2 + A_{cl}/n_2' = 184110 + 1072938.6 / 21 + 1018046.4 / 21 = 283,681 \text{ mm}^2$$

$$d_{c2} = d_v \cdot A_s / (A_c/n_2 + A_s) = 1659.7 \times 184110 / (1072938.6 / 21 + 184110) = 1,299 \text{ mm}$$

$$d_{s2} = d_v - d_{c2} = 1659.7 - 1299.2 = 361 \text{ mm}$$

- 합성단면에 발생하는 휨모멘트 :

$$\begin{aligned} \cdot M_v2 &= P_{tv2} \times D_{dv} + P_{bv2} \times D_{dvbc} \\ &= [-2827958.2 \times (-1593.2) + (-2683278.1) \times 1426.8] / 1000000 \\ &= 677.0 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2ru} &= ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_v + k \times M_v2 \times Y_{dvru} / I_v) \\ &= (-2827958.2 + (-2683278.1)) / 349600.2 + (-0.167) \times 677 \times 1000000 \times (-2190.9) / 554031169811 \\ &= -15.317 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcu} &= 1/n' \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcu} / I_{dv2}) - E_c' \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2827958 - 2683278) / 283681 + (-0.167) \times 677 \times 1000000 \times 1192 / 535629527856) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2bcl} &= 1/n' \times ((P_{tv2} + P_{bv2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2bcl} / I_{dv2}) - E_c' \times \epsilon_s \\ &= 1/21 \times ((-2827958 - 2683278) / 283681 + (-0.167) \times 677 \times 1000000 \times 1662 / 535629527856) - 9762 \times (-0.00027) \\ &= 1.7 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v2su} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2su} / I_{dv2} \\ &= (-2827958.2 + (-2683278.1)) / 283680.7 + (-0.167) \times 677 \times 1000000 \times (-1456.2) / 535629527855.667 \\ &= -19.120 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v2sl} &= (P_{tv2} + P_{bc2}) / A_{dv2} + k \times M_v2 \times Y_{dv2sl} / I_{dv2} \\ &= (-2827958.2 + (-2683278.1)) / 283680.7 + (-0.167) \times 677 \times 1000000 \times 1679.8 / 535629527855.667 \\ &= -19.782 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 온도변화 :

- 합성단면에 발생하는 축력 :

$$\begin{aligned} \cdot P_{tv3} &= E_s \times \alpha \times \Delta t \times A_{tc} / n = 205000 \times 0.000012 \times 10 \times 1072938.6 / 7 = 3,770,613 \text{ N} \\ \cdot M_v3 &= P_{tv3} \times D_{dvr} = 3770612.8 \times -1542.6 / 1000000 = -5,817 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

- 상부철근 및 하부콘크리트 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3ru} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvru} / I_v - E_s \times \epsilon_t \\ &= 3770612.8 / 349600.2 + (-0.167) \times (-5816.5) \times (-2190.9) / 554031169811.3 - 205000 \times 0.00012 \\ &= -17.656 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcu} &= 1/n' \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcu} / I_v) - E_c' \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3770612.8 / 349600.2 + (-0.167) \times (-5816.5) \times 654.1 / 554031169811.3) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -2.000 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3bcl} &= 1/n' \times (P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{v3bcl} / I_v) - E_c' \times \alpha \times \Delta t \\ &= 1/7 \times (3770612.8 / 349600.2 + (-0.167) \times (-5816.5) \times 1000000 \times 1124.1 / 554031169811.3) - 30891.1 \times 0.000012 \times 10 \\ &= -1.900 \text{ MPa} \end{aligned}$$

- 상하플랜지 응력 :

$$\begin{aligned} \cdot f_{v3su} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsu} / I_v \\ &= 3770612.8 / 349600.2 + (-0.167) \times (-5816.5) \times 1000000 \times (-1993.9) / 554031169811.3 = 7.290 \text{ MPa} \\ \cdot f_{v3sl} &= P_{tv3} / A_v + k \times M_v3 \times Y_{dvsl} / I_v \\ &= 3770612.8 / 349600.2 + (-0.167) \times (-5816.5) \times 1000000 \times 1142.1 / 554031169811.3 = 12.788 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(5) 전단 및 비틀림 응력산정

1) 합성전

$$\begin{aligned} \cdot F &= 6923178.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 739.55 \times 1000 / 87052 + 132.76 \times 1000000 / (2 \times 6923178 \times 14) = 9.180 \text{ MPa} \end{aligned}$$

2) 단일합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7010369.5 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1039.57 \times 1000 / 87052 + 137.62 \times 1000000 / (2 \times 7010369.5 \times 14) = 12.643 \text{ MPa} \end{aligned}$$

3) 이중합성시

$$\begin{aligned} \cdot F &= 7050443.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \tau &= S / A_w + T / (2 \times F \times t_3) \\ &= 1566.47 \times 1000 / 87052 + 1324.63 \times 1000000 / (2 \times 7050443.6 \times 14) = 24.705 \text{ MPa} \end{aligned}$$

(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 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 2 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2200 / (80 \times 1 \times 2) = 13.8 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 합성전 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 50.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 25.0 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 13.8 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla1} = -[220,000 \times ((t \times i \times n) / b)^2] = -58.9 \text{ MPa} \end{aligned}$$

③ 압축 하부플랜지의 합성후 허용응력 : (보강된 판)

- 최소두께 검토 :

$$\begin{aligned} b &= 2200.0 \text{ mm} & (\text{보강된 판의 폭}) & \quad i = 1 \text{ (응력구배계수)} \\ n &= 4 & (\text{종방향 보강재에 의해서 구분되는 패널의 수}) & \\ t_{\min} &= 2200 / (44 \times 1 \times 4) = 12.5 \text{ mm} < t = 18 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

- 합성후 허용응력

$$\begin{aligned} \text{a) } b/(22 \times i \times n) &= 25.0 \text{ mm} & \text{b) } b/(44 \times i \times n) &= 12.5 \text{ mm} & \text{c) } b/(80 \times i \times n) &= 6.9 \text{ mm} \\ t &= 18 \text{ mm} \text{ 이므로, } \therefore f_{sla2} = -[230 - 5.2 \times (b / (t \times i \times n) - 22)] = -185.5 \text{ MPa} \end{aligned}$$

4) 복부판의 최소두께 검토 : (수평보강재 사용단수 : 2 단)

$$\begin{aligned} \text{- 합성전 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.2) = 3109 / (281 \times 1.2) = 9.220 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(230/78.07)} = 1.541 > 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \text{- 합성후 : } t_{\min} &= b / (281 \times 1.199) = 3109 / (281 \times 1.199) = 9.228 \\ \text{여기서, } \sqrt{(f_{ca}/f_c)} &= \sqrt{(185.511/129.052)} = 1.199 < 1.2 \quad 1.20 \text{ 적용} \\ \therefore t_{\min} &= 9.228 < t = 14.0 \text{ mm} & \therefore 0.K. \end{aligned}$$

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)

5.4 응력검토 요약

< 지간중앙부 >

(단면)		1-1	(위치)	104,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	16.00	12.00	49.59	0.88	0.80	0.59
허용치	15.60	10.03	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.03	1.20	2.72	1.13	1.51	1.69
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		2-1	(위치)	103,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	22.00	12.00	39.06	0.77	0.66	0.73
허용치	15.60	9.20	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.41	1.30	3.46	1.29	1.81	1.36
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		3-1	(위치)	102,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	22.00	12.00	29.84	0.89	0.84	0.85
허용치	15.60	10.02	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.41	1.20	4.52	1.12	1.43	1.18
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		4-1	(위치)	99,J지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	26.00	12.00	10.13	0.90	0.81	0.85
허용치	15.60	10.12	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.67	1.19	13.33	1.11	1.48	1.17
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		5-1	(위치)	98,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	22.00	12.00	22.96	0.90	0.85	0.86
허용치	15.60	10.00	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.41	1.20	5.88	1.11	1.42	1.16
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		6-1	(위치)	96,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	상부플랜지	복부판				
발생치	18.00	12.00	37.00	0.90	0.89	0.88
허용치	15.60	9.99	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.15	1.20	3.65	1.11	1.35	1.13
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	16.00	12.00	10.42	0.91	0.83	0.76
허용치	15.60	8.48	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.03	1.41	12.95	1.10	1.45	1.32
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

< 교변구간 >

(단면)	7-1 (위치)		93,3/4지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	12.00	14.00	48.61	0.81	0.75	0.60
허용치	10.00	9.34	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.20	1.50	2.78	1.24	1.60	1.67
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	8-1 (위치)		92,3/4지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	14.00	51.86	0.76	0.73	0.76
허용치	10.00	9.50	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.80	1.47	2.60	1.31	1.65	1.31
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	9-1 (위치)		92,1지점	(외측거더)		
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	16.00	47.79	0.83	0.82	0.80
허용치	10.00	10.60	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.80	1.51	2.82	1.20	1.47	1.25
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	14-1 (위치)		87,1지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	14.00	44.12	0.88	0.88	0.85
허용치	10.00	8.88	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.80	1.58	3.06	1.14	1.36	1.18
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)	15-1 (위치)		86,1/4지점		(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	12.00	50.26	0.86	0.87	0.84
허용치	10.00	7.95	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.80	1.51	2.69	1.17	1.37	1.19
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		16-1	(위치)	84,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	12.00	12.00	43.86	0.71	0.58	0.48
허용치	10.00	7.46	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.20	1.61	3.08	1.42	2.07	2.09
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

< 이중합성부 :폐 합단면>

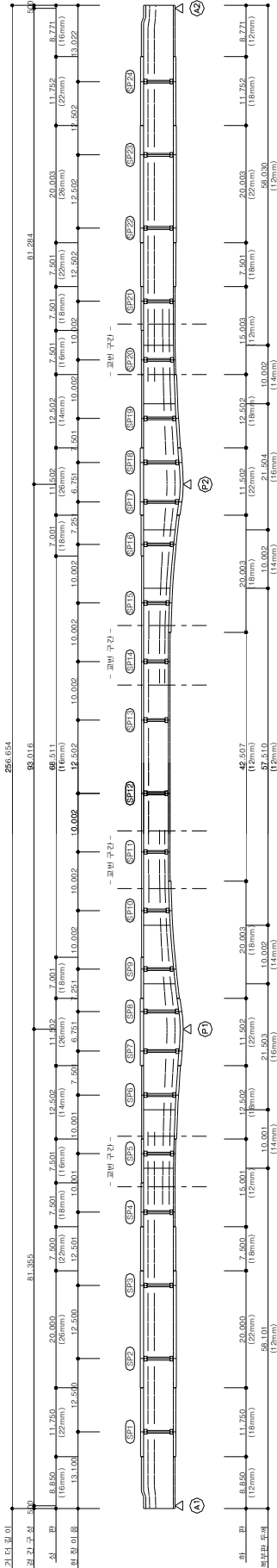
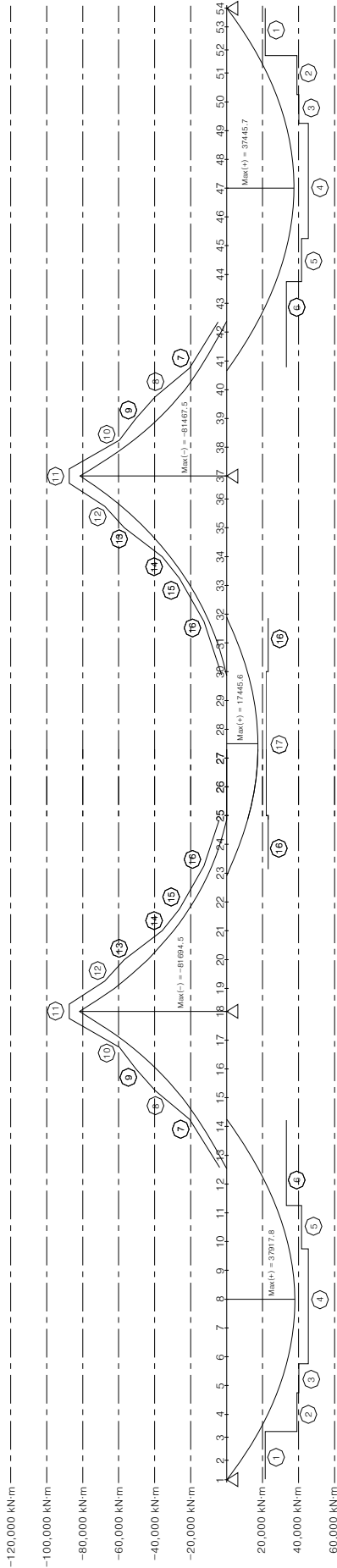
(단면)		10-1	(위치)	91,1/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	16.00	48.97	0.92	0.98	0.86
허용치	13.80	10.51	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.30	1.52	2.76	1.09	1.23	1.16
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		11-1	(위치)	17,J지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	22.00	16.00	54.30	0.93	1.02	0.88
허용치	13.80	11.37	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.59	1.41	2.49	1.08	1.17	1.14
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		12-1	(위치)	88,3/4지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	16.00	40.70	0.88	0.87	0.82
허용치	13.80	10.72	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.30	1.49	3.32	1.13	1.38	1.22
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

(단면)		13-1	(위치)	88,I지점	(외측거더)	
구 분	최소두께 (mm)		전단응력	허용응력비	합성응력비	항복응력비
	하부플랜지	복부판				
발생치	18.00	14.00	46.53	0.82	0.78	0.76
허용치	13.80	9.23	135.00	1.00	1.20	1.00
안전율	1.30	1.52	2.90	1.23	1.53	1.31
판정	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K	∴ 0.K

< 단면요약도 : Girder-1 >



< 단면요약도 : Girder-2 >

