

6. 이음부 설계

6.1 정모멘트구간 현장이음 설계

◎ 이음번호 < S1-1 , S24-1 > : 103,3/4지점 (외측거더)

< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	5145.1	8755.1	5121.6	7544.2	93.2	12759.0	26659.2	-155.8	149.3
S(kN)	307.6	503.8	288.5	591.5	7.3	887.3	1698.7	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-397.0	-626.1	-487.3	-1460.6	-6.0	-1953.9	-2977.0	HSB500	230
Ysl(mm)	1254.7	1254.7	2239.4				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	2.002E+11	2.002E+11	4.620E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

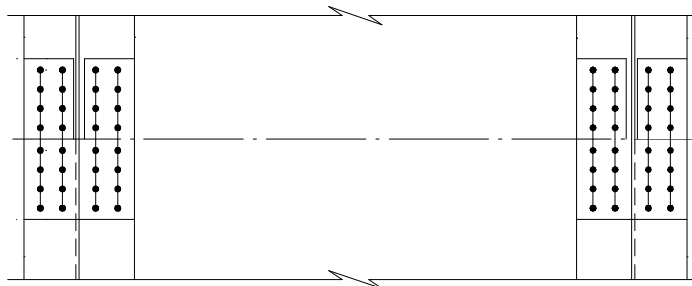
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 155.8 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_{\min}} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을 적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
500	22	2	160	14	820	0	0	0	0	1	380	14	820	5	4	20



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{\text{req}} = \frac{A_s \cdot f_{s'}}{\rho_{sa}} = \frac{22 \times 500 \times 172.5}{126000.0} \approx 16 \text{ EA} \Rightarrow n = 20 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{22 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 8250.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 160 \times 14 \times 820 = 4480.0 \text{ mm}^2$$

$$0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 380 \times 14 \times 820 = 5320.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 9800.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 8250.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{22 \times 500 \times 172.5}{9800.0} = 193.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{22 \times 500 \times 172.5}{20 \text{ EA}} = 94875.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{3.076E+05 \times 1.952E+07}{2.00154E+11} + \frac{5.038E+05 \times 1.952E+07}{2.00154E+11} \right] + \left[\frac{8.873E+05 \times 8.686E+06}{4.62010E+11} \right] \times \frac{125.0}{5 \text{ EA}} = 2395 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 22 \times (1785.33 - 11.0) = 19517630 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 22 \times (1785.33 - 11.0) = 19517630 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 22 \times (800.63 - 11.0) = 8685930 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.00154E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.00154E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 4.62010E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 4 = 125.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (94875.0^2 + 2395.1^2) = 94905.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

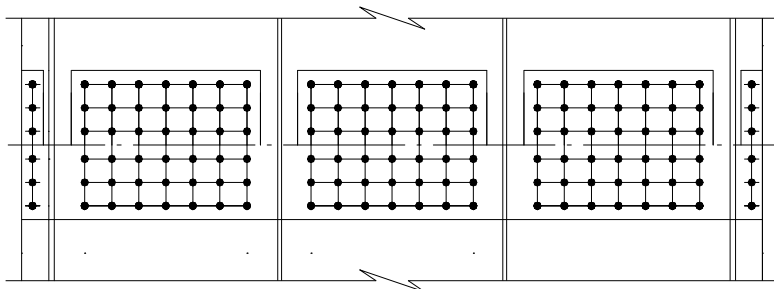
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 149.3 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을적용한다.

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	18	2	80	10	660	3	680	10	660	1	2400	10	660	4	17	68



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 60 \text{ EA} \Rightarrow n = 68 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 32400.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 10 \times 660 = 1600.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 10 \times 660 = 20400.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2400 \times 10 \times 660 = 24000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 46000.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 46000 - 25.0 \times 10.0 \times 17 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 37500.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 32400.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{37500.0} = 198.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2400.0 \times 172.5}{68 \text{ EA}} = 109588.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{3.076E+05 \times 5.381E+07}{2.00154E+11} + \frac{5.038E+05 \times 5.381E+07}{2.00154E+11} \right] \\ + \left[\frac{8.873E+05 \times 9.635E+07}{4.62010E+11} \right] \times \frac{141.2}{4 \text{ EA}} = 14230 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 18 \times (1254.7 - 9.0) = 53812944 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 18 \times (1254.7 - 9.0) = 53812944 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 18 \times (2239.4 - 9.0) = 96351984 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.00154E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.00154E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 4.62010E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 17 = 141.2 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (109588.2^2 + 14230.4^2) = 110508.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

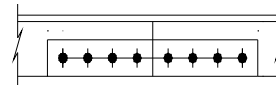
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 18 \times 2400 = 43200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 18 \times (2400 - 25 \times 17) = 35550.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{43200.0 \times 172.5}{35550.0} = 209.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 인장부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
150	12	2	130	10	500	3	1
					총수		
					3		



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 172.5}{126000.0} \approx 2.5 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{230.0} = 1350.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1350.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{2100.00} = 147.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

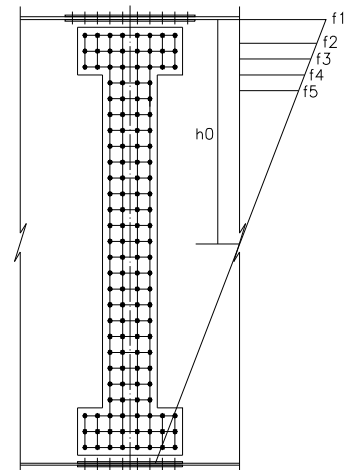
제 원		상하 이음판		중앙 이음판		볼트 개수 및 간격													
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3000	12	2200	4	280	10	2	2320	10	3	150	3	100	3	100	2	100	2	100	64

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 172.500 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 155.250 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 143.750 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 132.250 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 120.750 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 109.250 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{172.50 + 155.25}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 3EA = 98325 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{155.25 + 143.75}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 59800 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{143.75 + 132.25}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 55200 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{132.25 + 120.75}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 75900 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{120.75 + 109.25}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 69000 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2b \cdot h/t), \quad \tau_t = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{1698.7 \times 1000}{2} + \frac{2977.0 \times 1000000}{2 \times 2212.0} \right] / 64EA = 23786 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{98325^2 + 23786^2} = 101161.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1254.7)^2 = 29166725120 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1254.7 - 1500.0)^2 = 29166725120 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (2239.4 - 1500.0)^2 = 46680047888 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 5145.1 \times \frac{2.917E+10}{2.002E+11} = 749.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{v1w}'}{I_{v1}} = 8755.1 \times \frac{2.917E+10}{2.002E+11} = 1275.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{v2w}'}{I_{v2}} = 12759.0 \times \frac{4.668E+10}{4.620E+11} = 1289.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 5145.1 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 8755.1 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 12759.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 2.002E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.002E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 4.620E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분			A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL	280 ×	10	11200.0	1300.0	14560000.00	18928000000.0	73173333.3
2-PL	2320 ×	10	46400.0	-	-	-	20811946666.7
Σ			57600.0			18928000000.0	20885120000.0

$$I = I_o + AY^2 = 20885120000 + 18928000000 = 39813120000 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1254.7)^2 = 4.328E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1254.7 - 1500.0)^2 = 4.328E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2239.4 - 1500.0)^2 = 7.130E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1785.3 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1254.7 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1785.3 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1254.7 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 800.6 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2239.4 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{749.754 \times 1000000}{43279880193} \times 1785.3 \\
 &+ \frac{1275.804 \times 1000000}{43279880193} \times 1785.330 + \frac{1289.125 \times 1000000}{71301196621} \times 800.630 \\
 &= 30.928 + 52.628 + 14.475 = 98.031 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned}
 f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{749.754 \times 1000000}{43279880193} \times 1254.7 \\
 &+ \frac{1275.804 \times 1000000}{43279880193} \times 1254.670 + \frac{1289.125 \times 1000000}{71301196621} \times 2239.370 \\
 &= 21.735 + 36.985 + 40.488 = 99.208 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S2-1 , S23-1 > : 101,1/4지점 (외측거더)

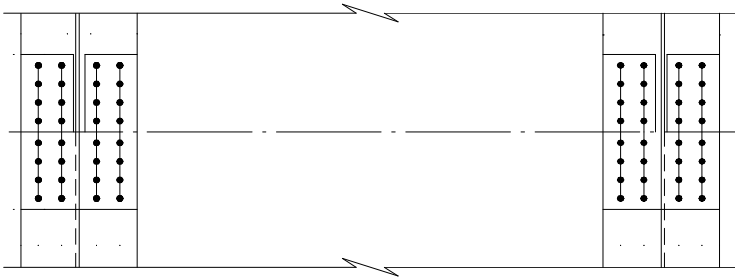
< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	7725.7	12799.6	7447.8	11604.6	185.8	19238.2	39763.5	-202.2	192.0
S(kN)	92.3	130.7	75.3	412.4	7.3	494.9	717.9	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-200.9	-311.2	-203.0	-952.5	-6.0	-1161.5	-1673.6	HSB500	230
Ysl(mm)	1226.8	1226.8	2184.1				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	2.279E+11	2.279E+11	5.117E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

- f_s = 202.2 MPa
- f_{s_min} = 0.75 × 230 = 172.5 MPa
- ∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 202.2 MPa 을 적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
500	26	2	160	18	980	0	0	0	0	1	380	18	980	6	4	24



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{\text{req}} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{26 \times 500 \times 202.2}{126000.0} \approx 21 \text{ EA} \Rightarrow n = 24 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} &= \frac{26 \times 500 \times 202.2}{230.0} = 11428.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } & \begin{aligned} 2\text{-PL } 160 \times 18 \times 980 &= 5760.0 \text{ mm}^2 \\ 0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 &= 0.0 \text{ mm}^2 \\ 1\text{-PL } 380 \times 18 \times 980 &= 6840.0 \text{ mm}^2 \end{aligned} \\ & \underline{\Sigma = 12600.0 \text{ mm}^2} > A_{\text{req}} = 11428.4 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{26 \times 500 \times 202.2}{12600.0} = 208.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K \end{aligned}$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{26 \times 500 \times 202.2}{24 \text{ EA}} = 109521.9 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{9.232E+04 \times 2.351E+07}{2.27936E+11} + \frac{1.307E+05 \times 2.351E+07}{2.27936E+11} \right] + \left[\frac{4.949E+05 \times 1.106E+07}{5.11730E+11} \right] \times \frac{125.0}{6 \text{ EA}} = 702 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 26 \times (1821.16 - 13.0) = 23506093 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 26 \times (1821.16 - 13.0) = 23506093 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 26 \times (863.94 - 13.0) = 11062155 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.27936E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.27936E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 5.11730E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 4 = 125.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (109521.9^2 + 702.0^2) = 109524.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

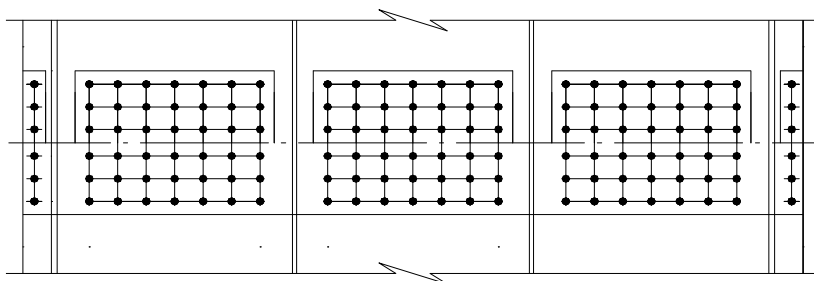
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 192.0 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 192.0 MPa 을 적용한다.

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	22	2	80	12	1300	3	680	12	1300	1	2400	12	1300	8	11	88



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{22 \times 2400 \times 192.0}{126000.0} \approx 81 \text{ EA} \Rightarrow n = 88 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{22 \times 2400 \times 192.0}{230.0} = 44082.2 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 12 \times 1300 = 1920.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 12 \times 1300 = 24480.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2400 \times 12 \times 1300 = 28800.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 55200.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 55200 - 25.0 \times 12.0 \times 11 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 48600.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 44082.2 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{22 \times 2400 \times 192.0}{48600.0} = 208.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{22 \times 2400.0 \times 192.0}{88 \text{ EA}} = 115214.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{9.232E+04 \times 6.420E+07}{2.27936E+11} + \frac{1.307E+05 \times 6.420E+07}{2.27936E+11} \right] \\ + \left[\frac{4.949E+05 \times 1.147E+08}{5.11730E+11} \right] \times \frac{218.2}{8 \text{ EA}} = 4739 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 22 \times (1226.8 - 11.0) = 64196299 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 22 \times (1226.8 - 11.0) = 64196299 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 22 \times (2184.1 - 11.0) = 114737832 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.27936E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.27936E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 5.11730E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 11 = 218.2 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (115214.8^2 + 4739.3^2) = 115312.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

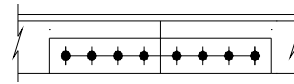
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 22 \times 2400 = 52800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 22 \times (2400 - 25 \times 11) = 46750.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{52800.0 \times 192.0}{46750.0} = 216.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 인장부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
150	12	2	130	10	500	3	1	3



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 192.0}{126000.0} \approx 2.7 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 192.0}{230.0} = 1502.8 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1502.8 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 192.0}{2100.00} = 164.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

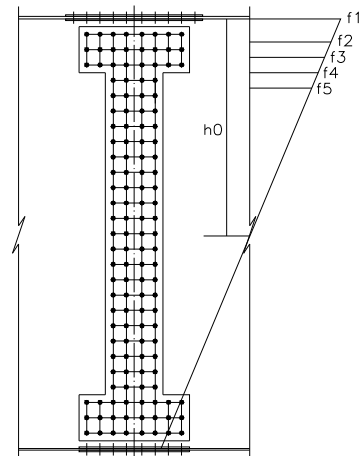
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3000	12	2200	4	280	10	2	2320	10	4	150	4	100	4	100	2	100	2	100	70

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1539 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 202.194 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 182.483 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 169.343 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 156.202 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 143.061 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 129.921 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{202.19 + 182.48}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 4EA = 86552 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{182.48 + 169.34}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 4EA = 52774 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{169.34 + 156.20}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 4EA = 48832 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{156.20 + 143.06}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 89779 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{143.06 + 129.92}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 81895 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2b \cdot h/t), \quad ut = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left(\frac{717.9 \times 1000}{2} + \frac{1673.6 \times 1000000}{2 \times 2212.0} \right) / 70EA = 10533 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{89779^2 + 10533^2} = 90394.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1226.8)^2 = 29686189882 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1226.8 - 1500.0)^2 = 29686209549 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (2184.1 - 1500.0)^2 = 43846017272 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 7725.7 \times \frac{2.969E+10}{2.279E+11} = 1006.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 12799.6 \times \frac{2.969E+10}{2.279E+11} = 1667.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 19238.2 \times \frac{4.385E+10}{5.117E+11} = 1648.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 7725.7 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 12799.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 19238.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 2.279E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.279E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.117E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분			A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL	280 ×	10	11200.0	1300.0	14560000.00	18928000000.0	73173333.3
2-PL	2320 ×	10	46400.0	-	-	-	20811946666.7
Σ			57600.0			18928000000.0	20885120000.0

$$I = I_o + AY^2 = 20885120000 + 18928000000 = 39813120000 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1226.8)^2 = 4.411E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1226.8 - 1500.0)^2 = 4.411E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2184.1 - 1500.0)^2 = 6.677E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1821.2 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1226.8 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1821.2 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1226.8 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 863.9 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2184.1 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상면응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{1006.187 \times 1000000}{44111023811} \times 1821.2 \\ &+ \frac{1667.010 \times 1000000}{44111055279} \times 1821.161 + \frac{1648.363 \times 1000000}{66766747635} \times 863.935 \\ &= 41.541 + 68.824 + 21.329 = 131.694 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하면응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{1006.187 \times 1000000}{44111023811} \times 1226.8 \\ &+ \frac{1667.010 \times 1000000}{44111055279} \times 1226.839 + \frac{1648.363 \times 1000000}{66766747635} \times 2184.065 \\ &= 27.985 + 46.364 + 53.921 = 128.269 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S3-1 , S22-1 > : 98,3/4지점 (외측거더)

< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	7409.0	12074.2	7043.1	12817.7	278.2	20139.1	39622.3	-194.5	189.5
S(kN)	-142.1	-244.9	-139.6	-428.8	-5.4	-573.8	-960.8	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	141.2	262.2	125.6	543.3	9.7	678.6	1082.0	HSB500	230
Ysl(mm)	1226.8	1226.8	2184.1				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	2.279E+11	2.279E+11	5.117E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

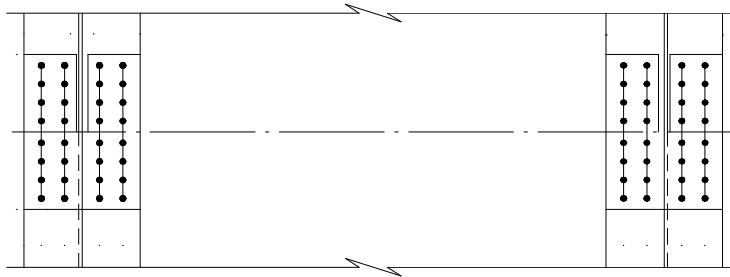
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 194.5 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 194.5 MPa 을 적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
500	26	2	160	18	980	0	0	0	0	1	380	18	980	6	4	24



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{26 \times 500 \times 194.5}{126000.0} \approx 21 \text{ EA} \Rightarrow n = 24 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{26 \times 500 \times 194.5}{230.0} = 10996.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 160 \times 18 \times 980 = 5760.0 \text{ mm}^2$$

$$0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 380 \times 18 \times 980 = 6840.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 12600.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 10996.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{26 \times 500 \times 194.5}{12600.0} = 200.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{26 \times 500 \times 194.5}{24 \text{ EA}} = 105378.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.421E+05 \times 2.351E+07}{2.27936E+11} + \frac{2.449E+05 \times 2.351E+07}{2.27936E+11} \right] + \left[\frac{5.738E+05 \times 1.106E+07}{5.11730E+11} \right] \times \frac{125.0}{6 \text{ EA}} = 1090 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 26 \times (1821.16 - 13.0) = 23506093 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 26 \times (1821.16 - 13.0) = 23506093 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 26 \times (863.94 - 13.0) = 11062155 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.27936E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.27936E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 5.11730E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 4 = 125.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (105378.3^2 + 1089.8^2) = 105384.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

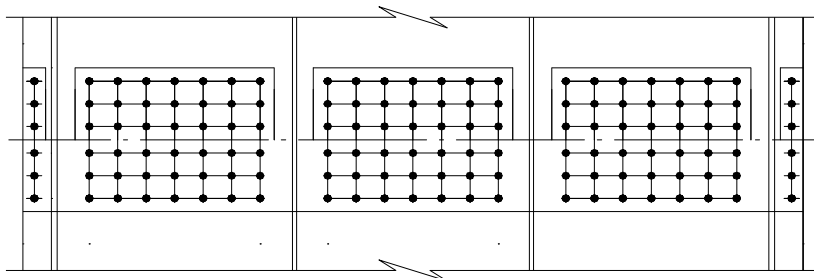
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 189.5 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 189.5 MPa 을 적용한다.

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	22	2	80	12	1300	3	680	12	1300	1	2400	12	1300	8	11	88



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{22 \times 2400 \times 189.5}{126000.0} \approx 80 \text{ EA} \Rightarrow n = 88 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{22 \times 2400 \times 189.5}{230.0} = 43491.4 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 12 \times 1300 = 1920.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 12 \times 1300 = 24480.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2400 \times 12 \times 1300 = 28800.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 55200.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 55200 - 25.0 \times 12.0 \times 11 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 48600.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 43491.4 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{22 \times 2400 \times 189.5}{48600.0} = 205.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{22 \times 2400.0 \times 189.5}{88 \text{ EA}} = 113670.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.421\text{E}+05 \times 6.420\text{E}+07}{2.27936\text{E}+11} + \frac{2.449\text{E}+05 \times 6.420\text{E}+07}{2.27936\text{E}+11} \right] \\ + \left[\frac{5.738\text{E}+05 \times 1.147\text{E}+08}{5.11730\text{E}+11} \right] \times \frac{218.2}{8 \text{ EA}} = 6481 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_{v1} : 단일합성 전단력, S_{v2} : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_{v1}, Q_{v2} : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 22 \times (1226.8 - 11.0) = 64196299 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2400.0 \times 22 \times (1226.8 - 11.0) = 64196299 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2400.0 \times 22 \times (2184.1 - 11.0) = 114737832 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.27936\text{E}+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.27936\text{E}+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.11730\text{E}+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 11 = 218.2 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (113670.6^2 + 6481.3^2) = 113855.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

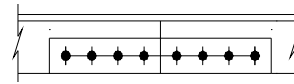
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 22 \times 2400 = 52800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 22 \times (2400 - 25 \times 11) = 46750.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{52800.0 \times 189.5}{46750.0} = 214.0 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 인장부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
150	12	2	130	10	500	3	1
					총수		
					3		



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 189.5}{126000.0} \approx 2.7 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 189.5}{230.0} = 1482.7 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1482.7 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 189.5}{2100.00} = 162.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

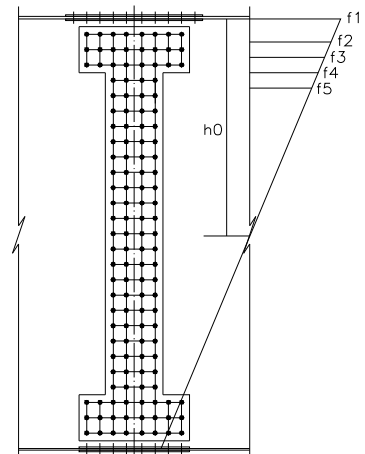
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3000	12	2200	4	280	10	2	2320	10	4	177	4	100	4	100	2	100	2	100	70

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1520 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 194.545 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 177) / h_0 = 171.889 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 277) / h_0 = 159.089 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 377) / h_0 = 146.289 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 477) / h_0 = 133.489 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 577) / h_0 = 120.689 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{194.54 + 171.89}{2} \times 177.0 \times 12.0 / 4EA = 97288 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{171.89 + 159.09}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 4EA = 49647 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{159.09 + 146.29}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 4EA = 45807 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{146.29 + 133.49}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 83933 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{133.49 + 120.69}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 76253 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$\therefore St = Mt \cdot (ht) / (2bht)$, $ut = Mt / (2 \cdot A \cdot t)$, $A = b \cdot h$ (도.설.해 3.8.2.3)

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{960.8 \times 1000}{2} + \frac{1082.0 \times 1000000}{2 \times 2212.0} \right] / 70EA = 10357 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97288^2 + 10357^2} = 97837.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1226.8)^2 = 29686189882 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1226.8 - 1500.0)^2 = 29686209549 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (2184.1 - 1500.0)^2 = 43846017272 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 7409.0 \times \frac{2.969E+10}{2.279E+11} = 964.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 12074.2 \times \frac{2.969E+10}{2.279E+11} = 1572.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 20139.1 \times \frac{4.385E+10}{5.117E+11} = 1725.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 7409.0 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 12074.2 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 20139.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 2.279E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.279E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.117E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분			A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL	280 ×	10	11200.0	1300.0	14560000.00	18928000000.0	73173333.3
2-PL	2320 ×	10	46400.0	-	-	-	20811946666.7
Σ			57600.0			18928000000.0	20885120000.0

$$I = I_o + AY^2 = 20885120000 + 18928000000 = 39813120000 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1226.8)^2 = 4.411E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1226.8 - 1500.0)^2 = 4.411E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2184.1 - 1500.0)^2 = 6.677E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1821.2 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1226.8 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1821.2 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1226.8 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 863.9 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2184.1 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상면응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{964.939 \times 1000000}{44111023811} \times 1821.2 \\ &+ \frac{1572.535 \times 1000000}{44111055279} \times 1821.161 + \frac{1725.554 \times 1000000}{66766747635} \times 863.935 \\ &= 39.838 + 64.923 + 22.328 = 127.090 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하면응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{964.939 \times 1000000}{44111023811} \times 1226.8 \\ &+ \frac{1572.535 \times 1000000}{44111055279} \times 1226.839 + \frac{1725.554 \times 1000000}{66766747635} \times 2184.065 \\ &= 26.837 + 43.736 + 56.446 = 127.020 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S4-1 , S21-1 > : 96,1/4지점 (외측거더)

< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	4276.6	6582.7	3884.6	11192.1	368.7	15445.4	26304.8	-167.9	181.1
S(kN)	-346.7	-619.6	-357.3	-608.9	-5.2	-971.4	-1937.7	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	320.3	534.7	357.9	900.2	19.4	1277.6	2132.6	HSB500	230
Ysl(mm)	1337.6	1337.6	2338.2				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	1.639E+11	1.639E+11	3.844E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

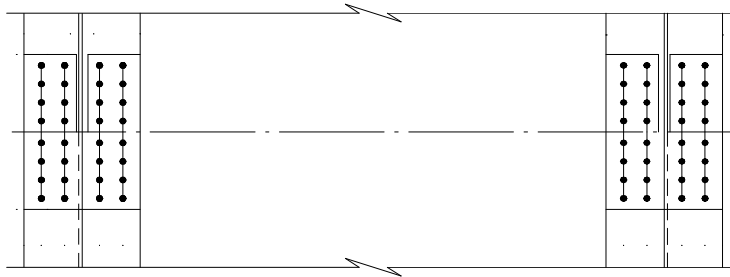
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 167.9 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
500	18	2	160	12	660	0	0	0	0	1	380	12	660	4	4	16



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_{s'}}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 500 \times 172.5}{126000.0} \approx 13 \text{ EA} \Rightarrow n = 16 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{18 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 6750.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 160 \times 12 \times 660 = 3840.0 \text{ mm}^2$$

$$0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 380 \times 12 \times 660 = 4560.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 8400.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 6750.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 500 \times 172.5}{8400.0} = 184.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 500 \times 172.5}{16 \text{ EA}} = 97031.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{3.467E+05 \times 1.515E+07}{1.63904E+11} + \frac{6.196E+05 \times 1.515E+07}{1.63904E+11} \right] + \left[\frac{9.714E+05 \times 6.145E+06}{3.84398E+11} \right] \times \frac{125.0}{4 \text{ EA}} = 3276 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_{v1} : 단일합성 전단력, S_{v2} : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_{v1}, Q_{v2} : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 18 \times (1692.35 - 9.0) = 15150177 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 500.0 \times 18 \times (1692.35 - 9.0) = 15150177 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 500.0 \times 18 \times (691.78 - 9.0) = 6145056 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.63904E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.63904E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 3.84398E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 4 = 125.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (97031.3^2 + 3276.3^2) = 97086.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

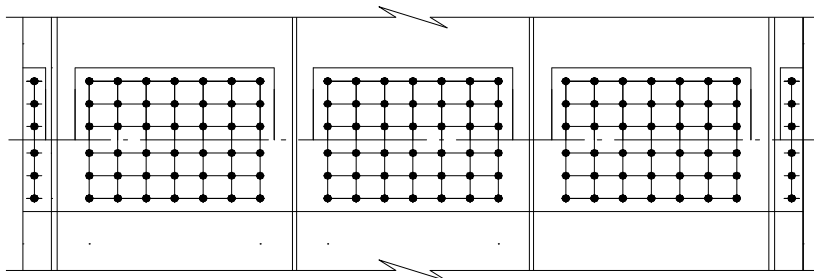
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 181.1 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 181.1 MPa 을적용한다.

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	12	2	80	10	660	3	680	10	660	1	2400	10	660	4	14	56



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 2400 \times 181.1}{126000.0} \approx 42 \text{ EA} \Rightarrow n = 56 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{12 \times 2400 \times 181.1}{230.0} = 22674.4 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 10 \times 660 = 1600.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 10 \times 660 = 20400.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2400 \times 10 \times 660 = 24000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 46000.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 46000 - 25.0 \times 10.0 \times 14 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 39000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 22674.4 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{12 \times 2400 \times 181.1}{39000.0} = 133.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{12 \times 2400.0 \times 181.1}{56 \text{ EA}} = 93127.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{3.467E+05 \times 3.835E+07}{1.63904E+11} + \frac{6.196E+05 \times 3.835E+07}{1.63904E+11} \right] \\ + \left[\frac{9.714E+05 \times 6.717E+07}{3.84398E+11} \right] \times \frac{171.4}{4 \text{ EA}} = 16964 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 12 \times (1337.6 - 6.0) = 38351434 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 12 \times (1337.6 - 6.0) = 38351434 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 12 \times (2338.2 - 6.0) = 67167821 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.63904E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.63904E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 3.84398E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 14 = 171.4 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (93127.0^2 + 16964.3^2) = 94659.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 12 \times 2400 = 28800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 12 \times (2400 - 25 \times 14) = 24600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{28800.0 \times 181.1}{24600.0} = 212.0 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 인장부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
150	12	2	130	10	500	3	1



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 181.1}{126000.0} \approx 2.6 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 181.1}{230.0} = 1417.1 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1417.1 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 181.1}{2100.00} = 155.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

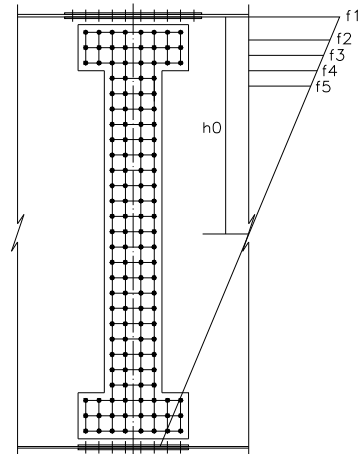
제 원		상하 이음판		중앙 이음판		볼트 개수 및 간격													
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3000	12	2200	4	280	10	2	2320	10	3	150	3	100	3	100	2	100	2	100	64

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1536 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 181.080 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 163.401 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 151.615 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 139.829 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 128.043 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 116.257 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{181.08 + 163.40}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 3EA = 103344 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{163.40 + 151.62}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 63003 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{151.62 + 139.83}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 58289 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{139.83 + 128.04}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 80362 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{128.04 + 116.26}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 73290 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2b \cdot h/t), \quad ut = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{1937.7 \times 1000}{2} + \frac{2132.6 \times 1000000}{2 \times 2212.0} \right] / 64EA = 22670 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{103344^2 + 22670^2} = 105801.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1337.7)^2 = 27948870810 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1337.6 - 1500.0)^2 = 27948905878 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (2338.2 - 1500.0)^2 = 52293818256 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 4276.6 \times \frac{2.795E+10}{1.639E+11} = 729.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 6582.7 \times \frac{2.795E+10}{1.639E+11} = 1122.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 15445.4 \times \frac{5.229E+10}{3.844E+11} = 2101.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 4276.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 6582.7 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 15445.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.639E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.639E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 3.844E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분			A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL	280 ×	10	11200.0	1300.0	14560000.00	18928000000.0	73173333.3
2-PL	2320 ×	10	46400.0	-	-	-	20811946666.7
Σ			57600.0			18928000000.0	20885120000.0

$$I = I_o + AY^2 = 20885120000 + 18928000000 = 39813120000 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1337.7)^2 = 4.133E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1337.6 - 1500.0)^2 = 4.133E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2338.2 - 1500.0)^2 = 8.028E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1692.4 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1337.6 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1692.4 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1337.6 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 691.8 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2338.2 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상면응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{729.253 \times 1000000}{41331313296} \times 1692.4 \\ &+ \frac{1122.490 \times 1000000}{41331369405} \times 1692.353 + \frac{2101.205 \times 1000000}{80283229209} \times 691.784 \\ &= 29.860 + 45.961 + 18.106 = 93.927 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하면응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{729.253 \times 1000000}{41331313296} \times 1337.6 \\ &+ \frac{1122.490 \times 1000000}{41331369405} \times 1337.647 + \frac{2101.205 \times 1000000}{80283229209} \times 2338.216 \\ &= 23.602 + 36.328 + 61.197 = 121.127 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S11-1 , S14-1 > : 77,1/4지점 (외측거더)

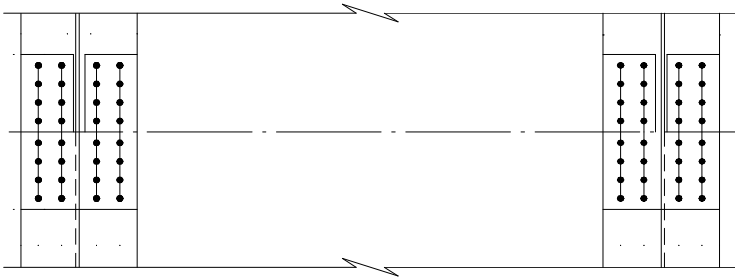
< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	659.6	1624.3	804.7	6001.7	260.2	7066.5	9350.4	-62.7	72.7
S(kN)	-204.7	-484.2	-277.1	-606.7	-11.0	-894.8	-1583.6	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	79.7	188.2	146.0	882.1	8.7	1036.8	1304.7	HSB500	230
Ysl(mm)	1043.2	1043.2	1963.8				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	1.066E+11	1.066E+11	2.711E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

- f_s = 62.7 MPa
- f_{s_min} = 0.75 × 230 = 172.5 MPa
- ∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
500	16	2	160	10	660	0	0	0	0	1	380	10	660	4	4	16



① 필요 BOLT수의 결정 :

· $n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{126000.0} \approx 11 \text{ EA} \Rightarrow n = 16 \text{ EA 사용 } 0.K$

② 이음판의 결정 :

· 필요단면적: $A_{req} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 6000.0 \text{ mm}^2$

· 사용이음판:

2-PL	160	×	10	×	660	=	3200.0	mm ²	
0-PL	0	×	0	×	0	=	0.0	mm ²	
1-PL	380	×	10	×	660	=	3800.0	mm ²	
Σ							=	7000.0	mm ²

> $A_{req} = 6000.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$

· 이음판응력: $f_s = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{7000.0} = 197.1 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{16 \text{ EA}} = 86250.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{2.047E+05 \times 1.181E+07}{1.06597E+11} + \frac{4.842E+05 \times 1.181E+07}{1.06597E+11} \right] + \left[\frac{8.948E+05 \times 4.450E+06}{2.71144E+11} \right] \times \frac{125.0}{4 \text{ EA}} = 2845 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 16 \times (1484.79 - 8.0) = 11814344 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 16 \times (1484.79 - 8.0) = 11814344 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 16 \times (564.25 - 8.0) = 4449984 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.06597E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.06597E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 2.71144E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 4 = 125.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (86250.0^2 + 2844.7^2) = 86296.9 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

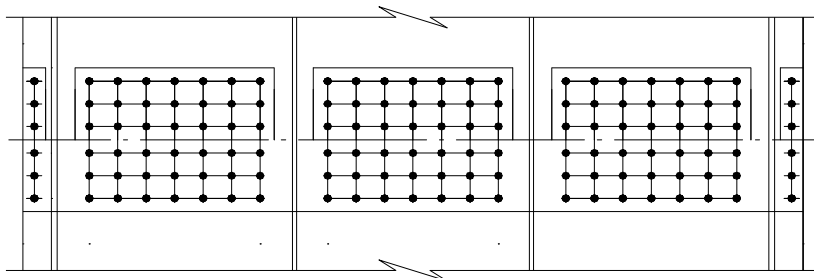
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 72.7 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을적용한다.

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	12	2	80	10	500	5	380	10	500	1	2400	10	500	3	17	51



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 40 \text{ EA} \Rightarrow n = 51 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 21600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 10 \times 500 = 1600.0 \text{ mm}^2$$

$$5\text{-PL } 380 \times 10 \times 500 = 19000.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2400 \times 10 \times 500 = 24000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 44600.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 44600 - 25.0 \times 10.0 \times 17 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 36100.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 21600.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{36100.0} = 137.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{12 \times 2400.0 \times 172.5}{51 \text{ EA}} = 97411.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{2.047E+05 \times 2.987E+07}{1.06597E+11} + \frac{4.842E+05 \times 2.987E+07}{1.06597E+11} \right] \\ + \left[\frac{8.948E+05 \times 5.638E+07}{2.71144E+11} \right] \times \frac{141.2}{3 \text{ EA}} = 17840 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 12 \times (1043.2 - 6.0) = 29871562 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 12 \times (1043.2 - 6.0) = 29871562 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 12 \times (1963.8 - 6.0) = 56383258 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.06597E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.06597E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 2.71144E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 17 = 141.2 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (97411.8^2 + 17839.9^2) = 99031.9 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

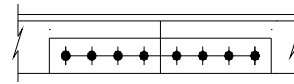
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 12 \times 2400 = 28800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 12 \times (2400 - 25 \times 17) = 23700.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{28800.0 \times 172.5}{23700.0} = 209.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 인장부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
150	12	2	130	10	500	3	1	3



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 172.5}{126000.0} \approx 2.5 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{230.0} = 1350.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1350.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{2100.00} = 147.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

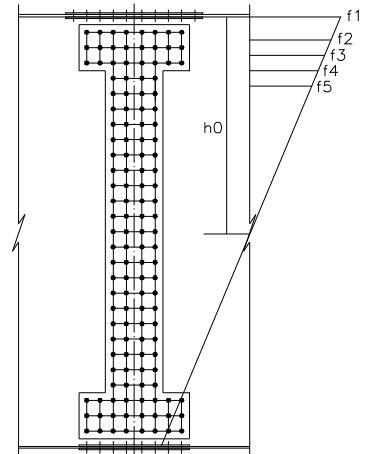
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
2500	12	2200	4	280	10	2	1820	10	3	150	3	100	3	100	2	100	2	100	54

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 172.500 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 151.800 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 138.000 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 124.200 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 110.400 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 96.600 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{172.50 + 151.80}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 3EA = 97290 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{151.80 + 138.00}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 57960 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{138.00 + 124.20}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 52440 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{124.20 + 110.40}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 70380 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{110.40 + 96.60}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 62100 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2b \cdot h/t), \quad ut = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{1583.6 \times 1000}{2} + \frac{1304.7 \times 1000000}{2 \times 2212.0} \right] / 54EA = 20125 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97290^2 + 20125^2} = 99349.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1250.0 - 1043.2)^2 = 16907863123 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1043.2 - 1250.0)^2 = 16907900345 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1963.8 - 1250.0)^2 = 30908257525 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 659.6 \times \frac{1.691E+10}{1.066E+11} = 104.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 1624.3 \times \frac{1.691E+10}{1.066E+11} = 257.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 7066.5 \times \frac{3.091E+10}{2.711E+11} = 805.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 659.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 1624.3 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 7066.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.066E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.066E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.711E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분			A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL	280 ×	10	11200.0	1050.0	11760000.00	12348000000.0	73173333.3
2-PL	1820 ×	10	36400.0	-	-	-	10047613333.3
Σ			47600.0			12348000000.0	10120786666.7

$$I = I_o + AY^2 = 10120786667 + 12348000000 = 22468786667 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 22468786667 + 47600.0 \times (1250.0 - 1043.2)^2 = 2.450E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 22468786667 + 47600.0 \times (1043.2 - 1250.0)^2 = 2.450E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 22468786667 + 47600.0 \times (1963.8 - 1250.0)^2 = 4.672E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1484.8 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1043.2 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1484.8 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1043.2 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 564.2 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1963.8 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{104.625 \times 1000000}{24504262822} \times 1484.8 \\ &+ \frac{257.636 \times 1000000}{24504321881} \times 1484.793 + \frac{805.529 \times 1000000}{46718221940} \times 564.248 \\ &= 6.340 + 15.611 + 9.729 = 31.679 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{104.625 \times 1000000}{24504262822} \times 1043.2 \\ &+ \frac{257.636 \times 1000000}{24504321881} \times 1043.207 + \frac{805.529 \times 1000000}{46718221940} \times 1963.752 \\ &= 4.454 + 10.968 + 33.860 = 49.282 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S12-1 , S13-1 > : 79,1/4지점 (외측거더)

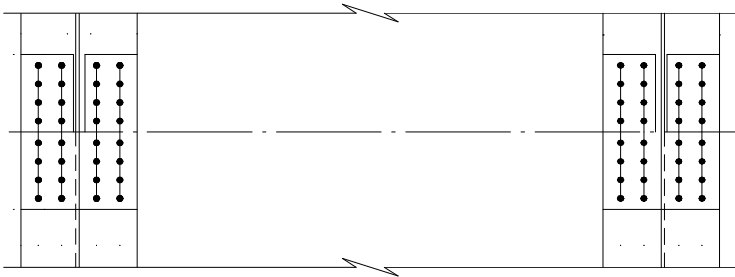
< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	2102.2	5026.5	2749.2	7952.9	148.8	10851.0	17979.7	-143.3	155.0
S(kN)	-75.3	-182.8	-104.5	-479.4	-11.0	-594.9	-853.0	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	32.1	71.5	67.5	589.4	2.7	659.6	763.2	HSB500	230
Ysl(mm)	1075.0	1075.0	1989.5				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	1.032E+11	1.032E+11	2.583E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

- f_s = 143.3 MPa
- f_{s_min} = 0.75 × 230 = 172.5 MPa
- ∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
500	16	2	160	10	660	0	0	0	0	1	380	10	660	4	4	16



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{126000.0} \approx 11 \text{ EA} \Rightarrow n = 16 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{16 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 6000.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } & \begin{aligned} 2\text{-PL } 160 \times 10 \times 660 &= 3200.0 \text{ mm}^2 \\ 0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 &= 0.0 \text{ mm}^2 \\ 1\text{-PL } 380 \times 10 \times 660 &= 3800.0 \text{ mm}^2 \end{aligned} \\ & \underline{\Sigma = 7000.0 \text{ mm}^2} > A_{req} = 6000.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{16 \times 500 \times 172.5}{7000.0} = 197.1 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K \end{aligned}$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{16 \text{ EA}} = 86250.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{7.527E+04 \times 1.156E+07}{1.03190E+11} + \frac{1.828E+05 \times 1.156E+07}{1.03190E+11} \right] + \left[\frac{5.949E+05 \times 4.244E+06}{2.58284E+11} \right] \times \frac{125.0}{4 \text{ EA}} = 1209 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 16 \times (1453.04 - 8.0) = 11560296 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 16 \times (1453.04 - 8.0) = 11560296 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 16 \times (538.53 - 8.0) = 4244216 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.03190E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.03190E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 2.58284E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 4 = 125.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (86250.0^2 + 1209.0^2) = 86258.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

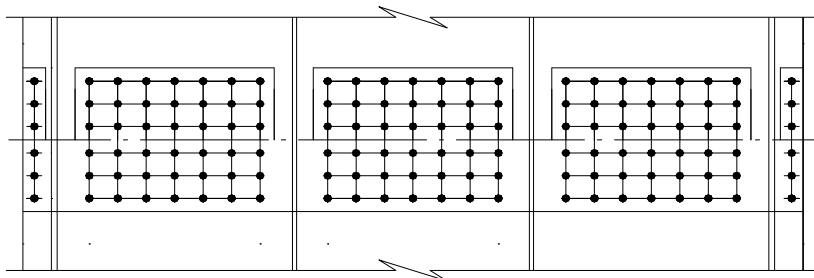
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 155.0 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을적용한다.

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	12	2	80	10	500	3	680	10	500	1	2400	10	500	3	17	51



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 40 \text{ EA} \Rightarrow n = 51 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 21600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 10 \times 500 = 1600.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 10 \times 500 = 20400.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2400 \times 10 \times 500 = 24000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 46000.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 46000 - 25.0 \times 10.0 \times 17 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 37500.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 21600.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{37500.0} = 132.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{12 \times 2400.0 \times 172.5}{51 \text{ EA}} = 97411.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{7.527E+04 \times 3.079E+07}{1.03190E+11} + \frac{1.828E+05 \times 3.079E+07}{1.03190E+11} \right] \\ + \left[\frac{5.949E+05 \times 5.712E+07}{2.58284E+11} \right] \times \frac{141.2}{3 \text{ EA}} = 9815 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_{v1} : 단일합성 전단력, S_{v2} : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_{v1}, Q_{v2} : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 12 \times (1075.0 - 6.0) = 30786134 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2400.0 \times 12 \times (1075.0 - 6.0) = 30786134 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2400.0 \times 12 \times (1989.5 - 6.0) = 57124022 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.03190E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.03190E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.58284E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 17 = 141.2 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (97411.8^2 + 9815.2^2) = 97905.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

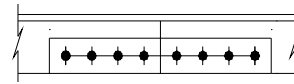
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 12 \times 2400 = 28800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 12 \times (2400 - 25 \times 17) = 23700.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{28800.0 \times 172.5}{23700.0} = 209.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 인장부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
150	12	2	130	10	500	3	1
					총수		
					3		



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 172.5}{126000.0} \approx 2.5 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{230.0} = 1350.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1350.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{2100.00} = 147.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

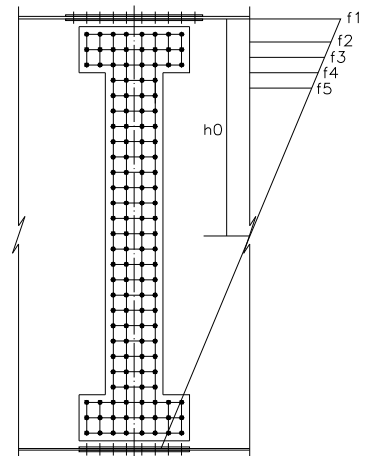
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
2500	12	2200	4	280	10	2	1820	10	3	150	3	100	3	100	2	100	2	100	54

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1250 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 172.500 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 151.800 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 138.000 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 124.200 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 110.400 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 96.600 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{172.50 + 151.80}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 3EA = 97290 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{151.80 + 138.00}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 57960 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{138.00 + 124.20}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 52440 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{124.20 + 110.40}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 70380 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{110.40 + 96.60}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 62100 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$\therefore St = Mt \cdot (ht) / (2bht)$, $ut = Mt / (2 \cdot A \cdot t)$, $A = b \cdot h$ (도.설.해 3.8.2.3)

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{853.0 \times 1000}{2} + \frac{763.2 \times 1000000}{2 \times 2212.0} \right] / 54EA = 11093 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97290^2 + 11093^2} = 97920.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1250.0 - 1075.0)^2 = 16544170048 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1075.0 - 1250.0)^2 = 16544138541 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1989.5 - 1250.0)^2 = 32029609532 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 2102.2 \times \frac{1.654E+10}{1.032E+11} = 337.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 5026.5 \times \frac{1.654E+10}{1.032E+11} = 805.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 10851.0 \times \frac{3.203E+10}{2.583E+11} = 1345.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 2102.2 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 5026.5 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 10851.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.032E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.032E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.583E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분			A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL	280 ×	10	11200.0	1050.0	11760000.00	12348000000.0	73173333.3
2-PL	1820 ×	10	36400.0	-	-	-	10047613333.3
Σ			47600.0			12348000000.0	10120786666.7

$$I = I_o + AY^2 = 10120786667 + 12348000000 = 22468786667 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 22468786667 + 47600.0 \times (1250.0 - 1075.0)^2 = 2.393E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 22468786667 + 47600.0 \times (1075.0 - 1250.0)^2 = 2.393E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 22468786667 + 47600.0 \times (1989.5 - 1250.0)^2 = 4.850E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1453.0 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1075.0 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1453.0 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1075.0 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 538.5 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1989.5 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상면응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{337.046 \times 1000000}{23927203143} \times 1453.0 \\ &+ \frac{805.888 \times 1000000}{23927153152} \times 1453.037 + \frac{1345.622 \times 1000000}{48497433791} \times 538.527 \\ &= 20.468 + 48.940 + 14.942 = 84.350 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하면응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{337.046 \times 1000000}{23927203143} \times 1075.0 \\ &+ \frac{805.888 \times 1000000}{23927153152} \times 1074.963 + \frac{1345.622 \times 1000000}{48497433791} \times 1989.473 \\ &= 15.142 + 36.206 + 55.200 = 106.548 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

6.2 부모멘트구간 현장이음 설계

◎ 이음번호 < S5-1 , S20-1 > : 94,1/4지점 (외측거더)

< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f_u (MPa)	f_l (MPa)
M(kN-m)	-108.0	-1419.2	-687.6	-8380.4	-324.1	-9392.1	-10919.2	74.0	-90.6
S(kN)	-508.8	-946.6	-536.0	-765.3	-4.7	-1305.9	-2761.4	사용강종	허용인장, f_{sa}
T(kN-m)	371.1	580.7	442.9	1330.4	29.8	1803.0	2754.8	HSB500	230
Ysl(mm)	1316.3	1316.3	1558.4				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
Is(mm ⁴)	1.792E+11	1.792E+11	2.408E+11				ρ_{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

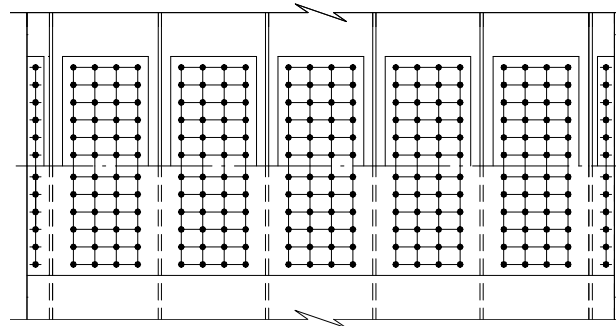
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 90.6 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	12	0	80	10	500	5	380	10	500	1	2100	10	500	3	15	45



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 40 \text{ EA} \Rightarrow n = 45 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 21600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 10 \times 500 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$5\text{-PL } 380 \times 10 \times 500 = 19000.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2100 \times 10 \times 500 = 21000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 40000.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 21600.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{40000.0} = 124.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{12 \times 2400 \times 172.5}{45 \text{ EA}} = 110400.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{5.088E+05 \times 3.774E+07}{1.79205E+11} + \frac{9.466E+05 \times 3.774E+07}{1.79205E+11} \right] + \left[\frac{1.306E+06 \times 4.471E+07}{2.40793E+11} \right] \times \frac{160.0}{3 \text{ EA}} = 29279 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 12 \times (1316.30 - 6.0) = 37736640 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 12 \times (1316.30 - 6.0) = 37736640 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 12 \times (1558.40 - 6.0) = 44709120 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.79205E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.79205E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 2.40793E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 15 = 160.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(110400.0^2 + 29278.5^2)} = 114216.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

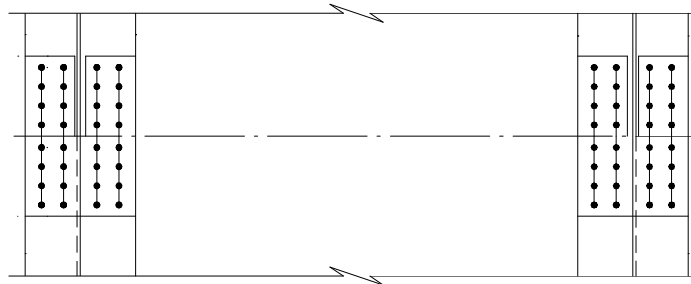
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 74.0 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을 적용한다.

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	중	횡	총수
500	16	2	160	14	660	0	0	0	0	1	380	14	660	4	4	16



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{126000.0} \approx 11 \text{ EA} \Rightarrow n = 16 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 6000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 160 \times 14 \times 660 = 4480.0 \text{ mm}^2$$

$$0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 380 \times 14 \times 660 = 5320.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 9800.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 9800 - 25.0 \times 14.0 \times 4 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 7000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 6000.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{7000.0} = 197.1 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{16 \times 500.0 \times 172.5}{16 \text{ EA}} = 86250.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{5.088E+05 \times 1.399E+07}{1.79205E+11} + \frac{9.466E+05 \times 1.399E+07}{1.79205E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.306E+06 \times 1.205E+07}{2.40793E+11} \right] \times \frac{125.0}{4 \text{ EA}} = 5593 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 16 \times (1756.7 - 8.0) = 13989600 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 16 \times (1756.7 - 8.0) = 13989600 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 16 \times (1514.6 - 8.0) = 12052800 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.79205E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.79205E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 2.40793E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 4 = 125.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(86250.0^2 + 5593.4^2)} = 86431.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

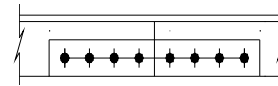
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 16 \times 500 = 8000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 16 \times (500 - 25 \times 4) = 6400.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{8000.0 \times 172.5}{6400.0} = 215.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
150	12	2	130	10	500	3	1
					총수		
					3		



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{\text{req}} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 172.5}{126000.0} \approx 2.5 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{230.0} = 1350.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ &= 2600.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 1350.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 172.5}{2600.00} = 119.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

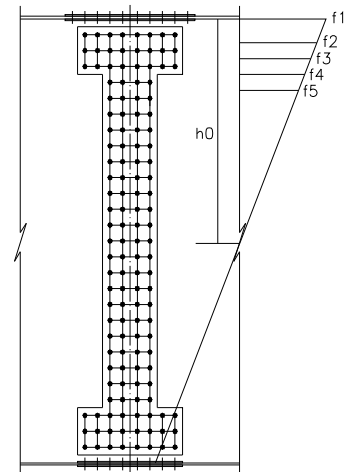
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										총수
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	
3045	14	2200	4	280	10	2	2365	10	4	150	4	100	4	100	2	100	2	100	70

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1523 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 172.500 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 155.505 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 144.175 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 132.845 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 121.515 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 110.185 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열: } \frac{172.50 + 155.51}{2} \times 150.0 \times 14.0 / 4EA = 86101 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열: } \frac{155.51 + 144.18}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 4EA = 52444 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열: } \frac{144.18 + 132.85}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 4EA = 48479 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열: } \frac{132.85 + 121.52}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 89026 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{121.52 + 110.19}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 81095 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: } (S_s + S_v) / 2$$

$$\text{- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: } St = Mt / (2 \cdot b)$$

$$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2 \cdot b \cdot h \cdot t), \quad \tau_t = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{2761.4 \times 1000}{2} + \frac{2754.8 \times 1000000}{2 \times 2214.0} \right] / 70 EA = 28612 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{89026^2 + 28612^2} = 93510.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{14 \times 3045^3}{12} + 14.0 \times 3045 \times (1522.5 - 1316.3)^2 = 34751429910 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{14 \times 3045^3}{12} + 14.0 \times 3045 \times (1316.3 - 1522.5)^2 = 34751429910 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{14 \times 3045^3}{12} + 14.0 \times 3045 \times (1558.4 - 1522.5)^2 = 32993810783 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 108.0 \times \frac{3.475E+10}{1.792E+11} = 20.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 1419.2 \times \frac{3.475E+10}{1.792E+11} = 275.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 9392.1 \times \frac{3.299E+10}{2.408E+11} = 1286.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 108.0 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 1419.2 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 9392.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.792E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.792E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.408E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분	A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL 280 × 10	11200.0	1322.5	14812000.00	19588870000.0	73173333.3
2-PL 2365 × 10	47300.0	-	-	-	22046628541.7
Σ	58500.0			19588870000.0	22119801875.0

$$I = I_o + AY^2 = 22119801875 + 19588870000 = 41708671875 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 41708671875 + 58500.0 \times (1522.5 - 1316.3)^2 = 4.420E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 41708671875 + 58500.0 \times (1316.3 - 1522.5)^2 = 4.420E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 41708671875 + 58500.0 \times (1558.4 - 1522.5)^2 = 4.178E+10 \text{ mm}^4$$

- 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1756.7 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1316.3 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1756.7 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1316.3 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1514.6 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1558.4 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{20.935 \times 1000000}{44196000615} \times 1756.7 \\ &+ \frac{275.207 \times 1000000}{44196000615} \times 1756.700 + \frac{1286.919 \times 1000000}{41784067260} \times 1514.600 \\ &= 0.832 + 10.939 + 46.649 = 58.420 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{20.935 \times 1000000}{44196000615} \times 1316.3 \\ &+ \frac{275.207 \times 1000000}{44196000615} \times 1316.300 + \frac{1286.919 \times 1000000}{41784067260} \times 1558.400 \\ &= 0.624 + 8.197 + 47.998 = 56.818 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S6-1 , S19-1 > : 92,1/4지점 (외측거더)

< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	-6188.7	-12448.6	-6970.5	-11873.3	-366.1	-19209.8	-37847.1	175.1	-165.3
S(kN)	-701.7	-1170.3	-692.5	-922.1	-3.9	-1618.6	-3490.5	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	407.3	590.7	412.4	1804.6	41.9	2258.9	3256.9	HSB500	230
Ysl(mm)	1501.1	1501.1	1674.6				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	3.427E+11	3.427E+11	4.090E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

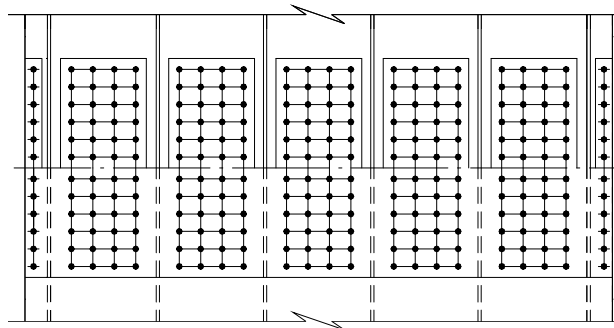
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 165.3 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	18	0	80	10	660	5	330	10	660	1	2100	10	660	4	18	72



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 60 \text{ EA} \Rightarrow n = 72 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 32400.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 10 \times 660 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$5\text{-PL } 330 \times 10 \times 660 = 16500.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2100 \times 10 \times 660 = 21000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 37500.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 32400.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{37500.0} = 198.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{72 EA} = 103500.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{7.017E+05 \times 6.446E+07}{3.42744E+11} + \frac{1.170E+06 \times 6.446E+07}{3.42744E+11} \right] + \left[\frac{1.619E+06 \times 7.195E+07}{4.08997E+11} \right] \times \frac{133.3}{4 EA} = 21227 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 18 \times (1501.10 - 9.0) = 64458720 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 18 \times (1501.10 - 9.0) = 64458720 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 18 \times (1674.60 - 9.0) = 71953920 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에 대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.42744E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 3.42744E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 4.08997E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 18 = 133.3 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(103500.0^2 + 21226.6^2)} = 105654.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

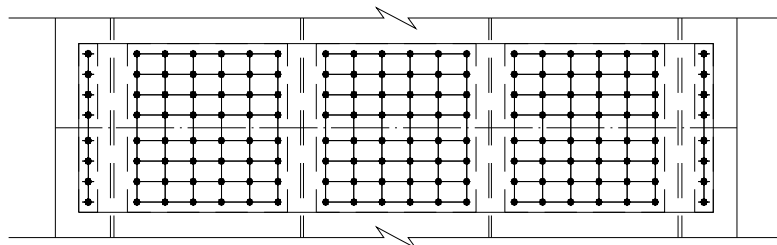
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 175.1 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 175.1 MPa 을 적용한다.

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	중	횡	총수
2700	14	2	80	10	500	3	630	10	500	1	2500	10	500	3	20	60



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{14 \times 2700 \times 175.1}{126000.0} \approx 53 EA \Rightarrow n = 60 EA \text{ 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{14 \times 2700 \times 175.1}{230.0} = 28772.9 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 10 \times 500 = 1600.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 630 \times 10 \times 500 = 18900.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2500 \times 10 \times 500 = 25000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 45500.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 45500 - 25.0 \times 10.0 \times 20 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 35500.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 28772.9 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{14 \times 2700 \times 175.1}{35500.0} = 186.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{14 \times 2700.0 \times 175.1}{60 \text{ EA}} = 110296.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{7.017E+05 \times 6.807E+07}{3.42744E+11} + \frac{1.170E+06 \times 6.807E+07}{3.42744E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.619E+06 \times 6.152E+07}{4.08997E+11} \right] \times \frac{135.0}{3 \text{ EA}} = 27686 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2700.0 \times 14 \times (1807.9 - 7.0) = 68074020 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2700.0 \times 14 \times (1807.9 - 7.0) = 68074020 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2700.0 \times 14 \times (1634.4 - 7.0) = 61515720 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.42744E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 3.42744E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 4.08997E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2700 / 20 = 135.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(110296.0^2 + 27685.7^2)} = 113717.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

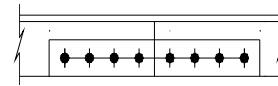
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 14 \times 2700 = 37800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 14 \times (2700 - 25 \times 20) = 30800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{37800.0 \times 175.1}{30800.0} = 214.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
200	18	2	180	10	500	3	2
					총수		
					6		



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{\text{req}} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 200 \times 172.5}{126000.0} \approx 4.9 \text{ EA} \Rightarrow n = 6 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} &= \frac{18 \times 200 \times 172.5}{230.0} = 2700.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 180 \times 10 \times 500 &= 3600.0 \text{ mm}^2 \\ &= 3600.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 2700.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{18 \times 200 \times 172.5}{3600.00} = 172.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

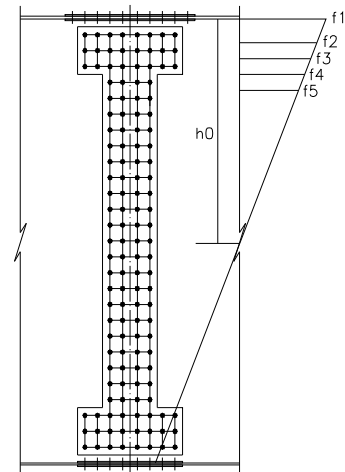
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										총수
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	
3277	16	2200	4	280	10	2	2597	10	4	150	4	100	4	100	3	100	3	100	102

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1651 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 175.073 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 159.163 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 148.557 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 137.950 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 127.344 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 116.738 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열: } \frac{175.07 + 159.16}{2} \times 150.0 \times 16.0 / 4EA = 100271 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열: } \frac{159.16 + 148.56}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 61544 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열: } \frac{148.56 + 137.95}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 57301 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열: } \frac{137.95 + 127.34}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 70745 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{127.34 + 116.74}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 65089 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: } (S_s + S_v) / 2$$

$$\text{- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: } St = Mt / (2 \cdot b)$$

$$\therefore St = Mt \cdot (h \cdot t) / (2 \cdot b \cdot h \cdot t), \quad ut = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{3490.5 \times 1000}{2} + \frac{3256.9 \times 1000000}{2 \times 2216.0} \right] / 102 EA = 24315 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{100271^2 + 24315^2} = 103176.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{16 \times 3277^3}{12} + 16.0 \times 3277 \times (1638.5 - 1501.1)^2 = 47910937722 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{16 \times 3277^3}{12} + 16.0 \times 3277 \times (1501.1 - 1638.5)^2 = 47910937722 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{16 \times 3277^3}{12} + 16.0 \times 3277 \times (1674.6 - 1638.5)^2 = 46989416484 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 6188.7 \times \frac{4.791E+10}{3.427E+11} = 865.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 12448.6 \times \frac{4.791E+10}{3.427E+11} = 1740.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 19209.8 \times \frac{4.699E+10}{4.090E+11} = 2207.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 6188.7 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 12448.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 19209.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 3.427E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 3.427E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 4.090E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분	A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL 280 × 10	11200.0	1438.5	16111200.00	23175961200.0	73173333.3
2-PL 2597 × 10	51940.0	-	-	-	29192050288.3
Σ	63140.0			23175961200.0	29265223621.7

$$I = I_o + AY^2 = 29265223622 + 23175961200 = 52441184822 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 52441184822 + 63140.0 \times (1638.5 - 1501.1)^2 = 5.363E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 52441184822 + 63140.0 \times (1501.1 - 1638.5)^2 = 5.363E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 52441184822 + 63140.0 \times (1674.6 - 1638.5)^2 = 5.252E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1807.9 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1501.1 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1807.9 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1501.1 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1634.4 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1674.6 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{865.088 \times 1000000}{53633189728} \times 1807.9 \\ &+ \frac{1740.144 \times 1000000}{53633189728} \times 1807.900 + \frac{2207.009 \times 1000000}{52523469501} \times 1634.400 \\ &= 29.161 + 58.658 + 68.677 = 156.495 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{865.088 \times 1000000}{53633189728} \times 1501.1 \\ &+ \frac{1740.144 \times 1000000}{53633189728} \times 1501.100 + \frac{2207.009 \times 1000000}{52523469501} \times 1674.600 \\ &= 24.212 + 48.704 + 70.366 = 143.282 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S7-1 , S18-1 > : 90,3/4지점 (외측거더)

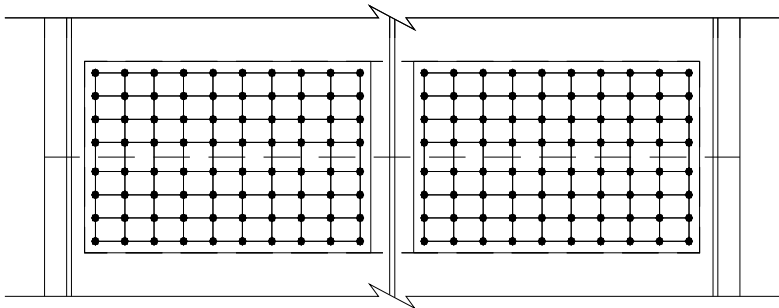
< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	-12680.4	-21459.7	-12462.2	-17059.0	-377.8	-29899.0	-64039.0	170.7	-137.1
S(kN)	-1038.0	-1229.5	-734.4	-1211.0	-8.5	-1953.9	-4221.4	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	288.8	467.3	223.6	1989.9	27.1	2240.6	2996.7	HSB500	230
Ysl(mm)	1928.4	1337.1	1458.4				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	5.311E+11	7.761E+11	8.833E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$\cdot f_s = 137.1 \text{ MPa}$
 $\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$
 $\therefore$ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		상면-측면 이음판					상면-중앙 이음판					하면 이음판			볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수	
2400	22	0	80	12	660	2	960	12	660	1	2100	12	660	4	20	80	



① 필요 BOLT수의 결정 :

$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{22 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 73 \text{ EA} \Rightarrow n = 80 \text{ EA 사용 } 0.K$

② 이음판의 결정 :

$\cdot$ 필요단면적: $A_{req} = \frac{22 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 39600.0 \text{ mm}^2$
 $\cdot$ 사용이음판:

0-PL	80	× 12 × 660	=	0.0	mm ²
2-PL	960	× 12 × 660	=	23040.0	mm ²
1-PL	2100	× 12 × 660	=	25200.0	mm ²
<u>Σ</u>			=	48240.0	mm ²

 $> A_{req} = 39600.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$

$\cdot$ 이음판응력: $f_s = \frac{22 \times 2400 \times 172.5}{48240.0} = 188.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{22 \times 2400 \times 172.5}{80 \text{ EA}} = 113850.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.038E+06 \times 1.012E+08}{5.31052E+11} + \frac{1.229E+06 \times 7.002E+07}{7.76102E+11} \right] + \left[\frac{1.954E+06 \times 7.642E+07}{8.83299E+11} \right] \times \frac{120.0}{4 \text{ EA}} = 14336 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 22 \times (1928.40 - 11.0) = 101238720 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 22 \times (1337.10 - 11.0) = 70018080 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 22 \times (1458.40 - 11.0) = 76422720 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 5.31052E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 7.76102E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 8.83299E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 20 = 120.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(113850.0^2 + 14335.8^2)} = 114749.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

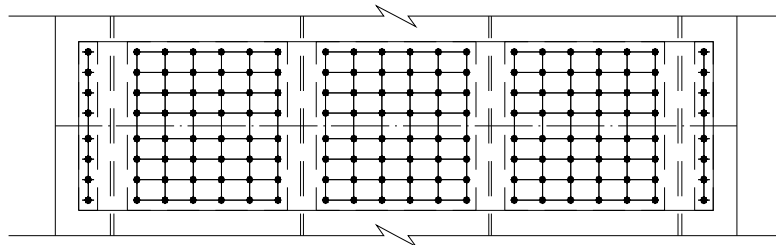
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 170.7 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을적용한다.

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2700	26	2	80	16	1300	3	680	16	1300	1	2500	16	1300	8	14	112



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{26 \times 2700 \times 172.5}{126000.0} \approx 97 \text{ EA} \Rightarrow n = 112 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{26 \times 2700 \times 172.5}{230.0} = 52650.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 16 \times 1300 = 2560.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 16 \times 1300 = 32640.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2500 \times 16 \times 1300 = 40000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 75200.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 75200 - 25.0 \times 16.0 \times 14 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 64000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 52650.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{26 \times 2700 \times 172.5}{64000.0} = 189.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{26 \times 2700.0 \times 172.5}{112 \text{ EA}} = 108120.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.038E+06 \times 1.181E+08}{5.31052E+11} + \frac{1.229E+06 \times 1.596E+08}{7.76102E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.954E+06 \times 1.511E+08}{8.83299E+11} \right] \times \frac{192.9}{8.0 \text{ EA}} = 19720 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2700.0 \times 26 \times (1695.6 - 13.0) = 118118520 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2700.0 \times 26 \times (2286.9 - 13.0) = 159627780 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2700.0 \times 26 \times (2165.6 - 13.0) = 151112520 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 5.31052E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 7.76102E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 8.83299E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2700 / 14 = 192.9 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(108120.5^2 + 19720.4^2)} = 109904.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

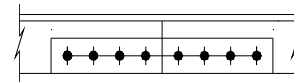
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 26 \times 2700 = 70200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 26 \times (2700 - 25 \times 14) = 61100.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{70200.0 \times 172.5}{61100.0} = 198.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판				하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
220	20	2	200	10	660	4	2	8



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{20 \times 220 \times 172.5}{126000.0} \approx 6.0 \text{ EA} \Rightarrow n = 8 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{20 \times 220 \times 172.5}{230.0} = 3300.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 200 \times 10 \times 660 &= 4000.0 \text{ mm}^2 \\ &= 4000.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 3300.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{20 \times 220 \times 172.5}{4000.00} = 189.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

(4) 인장부 RIB의 이음 : (상부 RIB)

제 원		상면 이음판				상면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
120	12	2	100	10	500	3	1	3

① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 120 \times 172.5}{126000.0} \approx 2.0 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 120 \times 172.5}{230.0} = 1080.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 100 \times 10 \times 500 &= 2000.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적: (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2000 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 1500.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1080.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 120 \times 172.5}{1500.00} = 165.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3576	16	2200	4	280	10	2	2896	10	4	150	4	100	4	100	3	100	3	100	111

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

- 중립축에서 연단까지의 거리: $h_0 = 1788 \text{ mm}$

$$f_1 = f_s' = 172.500 \text{ MPa}$$

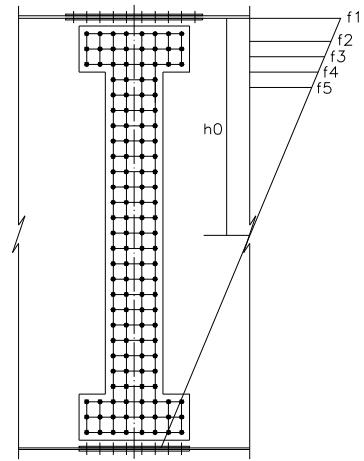
$$f_2 = f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 158.029 \text{ MPa}$$

$$f_3 = f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 148.381 \text{ MPa}$$

$$f_4 = f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 138.733 \text{ MPa}$$

$$f_5 = f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 129.086 \text{ MPa}$$

$$f_6 = f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 119.438 \text{ MPa}$$



$$\text{제1열} : \frac{172.50 + 158.03}{2} \times 150.0 \times 16.0 / 4EA = 99159 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제2열} : \frac{158.03 + 148.38}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 61282 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제3열} : \frac{148.38 + 138.73}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 57423 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제4열} : \frac{138.73 + 129.09}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 71418 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제5열} : \frac{129.09 + 119.44}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 66273 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 전단력에의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2b \cdot h \cdot t), \quad \tau_t = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{4221.4 \times 1000}{2} + \frac{2996.7 \times 1000000}{2 \times 2216.0} \right] / 111 EA = 25107 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{99159^2 + 25107^2} = 102287.9 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{16 \times 3576^3}{12} + 16.0 \times 3576 \times (1788.0 - 1928.4)^2 = 62099966915 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{16 \times 3576^3}{12} + 16.0 \times 3576 \times (1337.1 - 1788.0)^2 = 72604747273 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{16 \times 3576^3}{12} + 16.0 \times 3576 \times (1458.4 - 1788.0)^2 = 67187842499 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강제보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 12680.4 \times \frac{6.210E+10}{5.311E+11} = 1482.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 21459.7 \times \frac{7.260E+10}{7.761E+11} = 2007.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 29899.0 \times \frac{6.719E+10}{8.833E+11} = 2274.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 12680.4 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 21459.7 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 29899.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 5.311E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 7.761E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 8.833E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트
- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트
- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분	A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL 280 × 10	11200.0	1588.0	17785600.00	28243532800.0	73173333.3
2-PL 2896 × 10	57920.0	-	-	-	40480365226.7
Σ	69120.0			28243532800.0	40553538560.0

$$I = I_o + AY^2 = 40553538560 + 28243532800 = 68797071360 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 68797071360 + 69120.0 \times (1788.0 - 1928.4)^2 = 7.016E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 68797071360 + 69120.0 \times (1337.1 - 1788.0)^2 = 8.285E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 68797071360 + 69120.0 \times (1458.4 - 1788.0)^2 = 7.631E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1695.6 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1928.4 \text{ mm}$$

- Y_{vu}, Y_{vl} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 2286.9 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1337.1 \text{ mm}$$

- Y_{vu}, Y_{vl} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 2165.6 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1458.4 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$f_u = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{vu} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{vu} = \frac{1482.815 \times 1000000}{70159575859} \times 1695.6$$

$$+ \frac{2007.563 \times 1000000}{82849914547} \times 2286.900 + \frac{2274.253 \times 1000000}{76306002739} \times 2165.600$$

$$= 35.836 + 55.415 + 64.544 = 155.795 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$f_l = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{vl} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{vl} = \frac{1482.815 \times 1000000}{70159575859} \times 1928.4$$

$$+ \frac{2007.563 \times 1000000}{82849914547} \times 1337.100 + \frac{2274.253 \times 1000000}{76306002739} \times 1458.400$$

$$= 40.757 + 32.400 + 43.467 = 116.623 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

◎ 이음번호 < S8-1 , S17-1 > : 89,1/4지점 (외측거더)

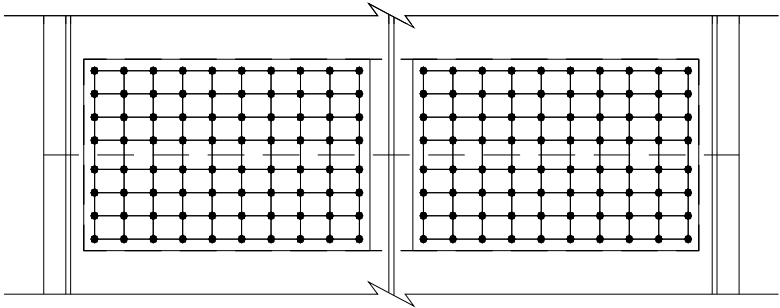
< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	-13610.8	-22613.0	-13264.4	-17706.3	-361.5	-31332.1	-67556.0	182.7	-146.7
S(kN)	1041.6	1184.6	670.4	1208.9	6.9	1886.2	4112.4	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	228.2	386.0	179.7	1525.9	4.9	1710.6	2324.7	HSB500	230
Ysl(mm)	1912.8	1323.5	1444.3				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	5.187E+11	7.587E+11	8.644E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

· f_s = 146.7 MPa
· f_{s_min} = 0.75 × 230 = 172.5 MPa
∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		상면-측면 이음판					상면-중앙 이음판					하면 이음판			볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수	
2400	22	0	80	12	660	2	960	12	660	1	2100	12	660	4	20	80	



① 필요 BOLT수의 결정 :

· n_{req} = $\frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}}$ = $\frac{22 \times 2400 \times 172.5}{126000.0}$ ≒ 73 EA ⇒ n = 80 EA 사용 0.K

② 이음판의 결정 :

· 필요단면적: A_{req} = $\frac{22 \times 2400 \times 172.5}{230.0}$ = 39600.0 mm²
· 사용이음판: 0-PL 80 × 12 × 660 = 0.0 mm²
2-PL 960 × 12 × 660 = 23040.0 mm²
1-PL 2100 × 12 × 660 = 25200.0 mm²
Σ = 48240.0 mm² > A_{req} = 39600.0 mm² 0.K

· 이음판응력: f_s = $\frac{22 \times 2400 \times 172.5}{48240.0}$ = 188.8 MPa < f_{sa} = 230 MPa 0.K

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{22 \times 2400 \times 172.5}{80 \text{ EA}} = 113850.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.042E+06 \times 1.004E+08}{5.18730E+11} + \frac{1.185E+06 \times 6.930E+07}{7.58730E+11} \right] + \left[\frac{1.886E+06 \times 7.568E+07}{8.64434E+11} \right] \times \frac{120.0}{4 \text{ EA}} = 14249 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_{v1} : 단일합성 전단력, S_{v2} : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_{v1}, Q_{v2} : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 22 \times (1912.80 - 11.0) = 100415040 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2400.0 \times 22 \times (1323.50 - 11.0) = 69300000 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2400.0 \times 22 \times (1444.30 - 11.0) = 75678240 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 5.18730E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 7.58730E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 8.64434E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 20 = 120.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(113850.0^2 + 14248.5^2)} = 114738.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

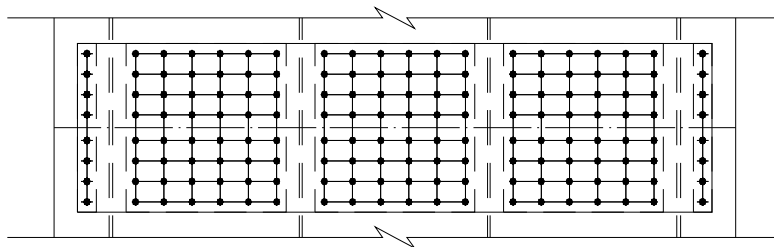
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 182.7 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_{min}} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 182.7 MPa 을 적용한다.

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2700	26	2	80	16	1300	3	680	16	1300	1	2500	16	1300	8	14	112



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{26 \times 2700 \times 182.7}{126000.0} \approx 102 \text{ EA} \Rightarrow n = 112 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{26 \times 2700 \times 182.7}{230.0} = 55750.4 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 16 \times 1300 = 2560.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 16 \times 1300 = 32640.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2500 \times 16 \times 1300 = 40000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 75200.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 75200 - 25.0 \times 16.0 \times 14 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 64000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 55750.4 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{26 \times 2700 \times 182.7}{64000.0} = 200.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{26 \times 2700.0 \times 182.7}{112 \text{ EA}} = 114487.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.042E+06 \times 1.171E+08}{5.18730E+11} + \frac{1.185E+06 \times 1.585E+08}{7.58730E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.886E+06 \times 1.500E+08}{8.64434E+11} \right] \times \frac{192.9}{8.0 \text{ EA}} = 19524 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2700.0 \times 26 \times (1681.2 - 13.0) = 117107640 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2700.0 \times 26 \times (2270.5 - 13.0) = 158476500 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2700.0 \times 26 \times (2149.7 - 13.0) = 149996340 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 5.18730E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 7.58730E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 8.64434E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2700 / 14 = 192.9 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(114487.4^2 + 19523.5^2)} = 116140.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 26 \times 2700 = 70200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 26 \times (2700 - 25 \times 14) = 61100.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{70200.0 \times 182.7}{61100.0} = 209.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판				하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
220	20	2	200	10	660	4	2	8



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{20 \times 220 \times 172.5}{126000.0} \approx 6.0 \text{ EA} \Rightarrow n = 8 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{20 \times 220 \times 172.5}{230.0} = 3300.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 200 \times 10 \times 660 &= 4000.0 \text{ mm}^2 \\ &= 4000.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 3300.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{20 \times 220 \times 172.5}{4000.00} = 189.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

(4) 인장부 RIB의 이음 : (상부 RIB)

제 원		상면 이음판				상면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
120	12	2	100	10	500	3	1	3

① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 120 \times 182.7}{126000.0} \approx 2.1 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 120 \times 182.7}{230.0} = 1143.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 100 \times 10 \times 500 &= 2000.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2000 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 1500.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1143.6 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 120 \times 182.7}{1500.00} = 175.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

제 원		상하 이음판		중앙 이음판		볼트 개수 및 간격													
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3546	16	2200	4	280	10	2	2866	10	4	150	4	100	4	100	3	100	3	100	108

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에 의한 BOLT의 응력:

- 중립축에서 연단까지의 거리: $h_0 = 1824 \text{ mm}$

$$f_1 = f_s' = 182.658 \text{ MPa}$$

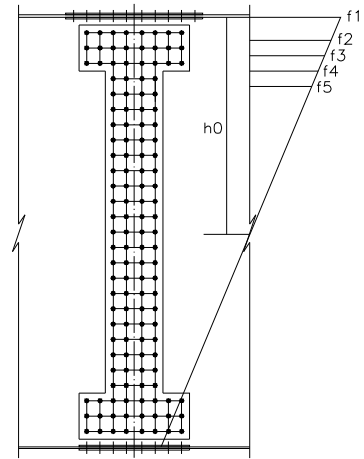
$$f_2 = f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 167.634 \text{ MPa}$$

$$f_3 = f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 157.619 \text{ MPa}$$

$$f_4 = f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 147.603 \text{ MPa}$$

$$f_5 = f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 137.587 \text{ MPa}$$

$$f_6 = f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 127.571 \text{ MPa}$$



$$\text{제1열} : \frac{182.66 + 167.63}{2} \times 150.0 \times 16.0 / 4EA = 105088 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제2열} : \frac{167.63 + 157.62}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 65051 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제3열} : \frac{157.62 + 147.60}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 61044 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제4열} : \frac{147.60 + 137.59}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 76051 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제5열} : \frac{137.59 + 127.57}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 70709 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: $St = Mt / (2b)$

$$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2b \cdot h/t), \quad \tau_t = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{4112.4 \times 1000}{2} + \frac{2324.7 \times 1000000}{2 \times 2216.0} \right] / 108 EA = 23896 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{105088^2 + 23896^2} = 107770.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{16 \times 3546^3}{12} + 16.0 \times 3546 \times (1773.0 - 1912.8)^2 = 60559271101 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{16 \times 3546^3}{12} + 16.0 \times 3546 \times (1323.5 - 1773.0)^2 = 70913943432 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{16 \times 3546^3}{12} + 16.0 \times 3546 \times (1444.3 - 1773.0)^2 = 65580387244 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 13610.8 \times \frac{6.056E+10}{5.187E+11} = 1589.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 22613.0 \times \frac{7.091E+10}{7.587E+11} = 2113.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 31332.1 \times \frac{6.558E+10}{8.644E+11} = 2377.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 13610.8 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 22613.0 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 31332.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 5.187E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 7.587E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 8.644E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트
- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트
- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분	A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL 280 × 10	11200.0	1573.0	17617600.00	27712484800.0	73173333.3
2-PL 2866 × 10	57320.0	-	-	-	39235329826.7
Σ	68520.0			27712484800.0	39308503160.0

$$I = I_o + AY^2 = 39308503160 + 27712484800 = 67020987960 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트
 - I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트
 - I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트
- $$I_{sw} = 67020987960 + 68520.0 \times (1773.0 - 1912.8)^2 = 6.836E+10 \text{ mm}^4$$
- $$I_{v1w} = 67020987960 + 68520.0 \times (1323.5 - 1773.0)^2 = 8.087E+10 \text{ mm}^4$$
- $$I_{v2w} = 67020987960 + 68520.0 \times (1444.3 - 1773.0)^2 = 7.442E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리
 - Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리
 - Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리
- $$Y_{su} = 1681.2 \text{ mm}, \quad Y_{sl} = 1912.8 \text{ mm}$$
- $$Y_{v1u} = 2270.5 \text{ mm}, \quad Y_{v1l} = 1323.5 \text{ mm}$$
- $$Y_{v2u} = 2149.7 \text{ mm}, \quad Y_{v2l} = 1444.3 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$f_u = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{1588.998 \times 1000000}{68360145581} \times 1681.2$$

$$+ \frac{2113.505 \times 1000000}{80865471090} \times 2270.500 + \frac{2377.016 \times 1000000}{74424141599} \times 2149.700$$

$$= 39.079 + 59.342 + 68.659 = 167.079 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$f_l = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{1588.998 \times 1000000}{68360145581} \times 1912.8$$

$$+ \frac{2113.505 \times 1000000}{80865471090} \times 1323.500 + \frac{2377.016 \times 1000000}{74424141599} \times 1444.300$$

$$= 44.462 + 34.591 + 46.129 = 125.182 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

◎ 이음번호 < S9-1 , S16-1 > : 87,3/4지점 (외측거더)

< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	-7283.8	-14416.6	-8460.5	-11795.1	-316.2	-20571.8	-42272.2	176.1	-149.2
S(kN)	676.8	1045.7	614.0	925.0	9.4	1548.5	3271.0	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	15.9	2.3	-84.1	-1427.3	-25.3	-1536.7	-1518.5	HSB500	230
Ysl(mm)	1573.2	1065.2	1201.8				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	2.887E+11	4.179E+11	5.002E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

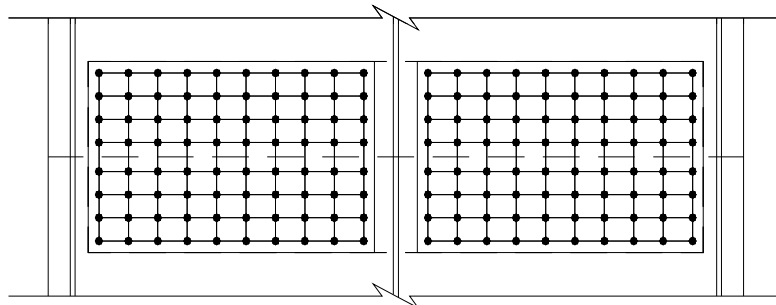
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 149.2 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		상면-측면 이음판					상면-중앙 이음판					하면 이음판			볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수	
2400	18	0	80	10	660	2	960	10	660	1	2100	10	660	4	18	72	



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 60 \text{ EA} \Rightarrow n = 72 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 32400.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 10 \times 660 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$2\text{-PL } 960 \times 10 \times 660 = 19200.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2100 \times 10 \times 660 = 21000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 40200.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 32400.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{40200.0} = 185.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{72 \text{ EA}} = 103500.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{6.768E+05 \times 6.757E+07}{2.88715E+11} + \frac{1.046E+06 \times 4.563E+07}{4.17852E+11} \right] + \left[\frac{1.548E+06 \times 5.153E+07}{5.00158E+11} \right] \times \frac{133.3}{4 \text{ EA}} = 14404 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_{v1} : 단일합성 전단력, S_{v2} : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_{v1}, Q_{v2} : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 18 \times (1573.20 - 9.0) = 67573440 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2400.0 \times 18 \times (1065.20 - 9.0) = 45627840 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2400.0 \times 18 \times (1201.80 - 9.0) = 51528960 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.88715E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 4.17852E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.00158E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 18 = 133.3 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(103500.0^2 + 14404.2^2)} = 104497.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

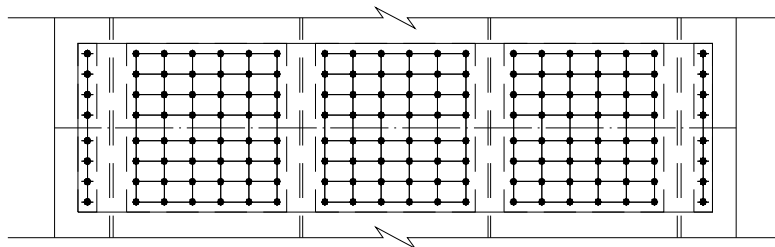
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 176.1 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 176.1 MPa 을 적용한다.

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2700	18	2	80	12	980	3	680	12	980	1	2500	12	980	6	14	84



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2700 \times 176.1}{126000.0} \approx 68 \text{ EA} \Rightarrow n = 84 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{18 \times 2700 \times 176.1}{230.0} = 37213.7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{사용이음판: } & 2\text{-PL} \quad 80 \times 12 \times 980 = 1920.0 \text{ mm}^2 \\ & 3\text{-PL} \quad 680 \times 12 \times 980 = 24480.0 \text{ mm}^2 \\ & 1\text{-PL} \quad 2500 \times 12 \times 980 = 30000.0 \text{ mm}^2 \\ & \Sigma = 56400.0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$\begin{aligned} A_n &= 56400 - 25.0 \times 12.0 \times 14 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 48000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 37213.7 \text{ mm}^2 \quad 0.K \end{aligned}$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2700 \times 176.1}{48000.0} = 178.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2700.0 \times 176.1}{84 \text{ EA}} = 101894.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\begin{aligned} \rho_h &= \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{6.768E+05 \times 7.211E+07}{2.88715E+11} + \frac{1.046E+06 \times 9.680E+07}{4.17852E+11} \right] \\ &+ \left[\frac{1.548E+06 \times 9.016E+07}{5.00158E+11} \right] \times \frac{192.9}{6 \text{ EA}} = 22193 \text{ N/EA} \end{aligned}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_{v1} : 단일합성 전단력, S_{v2} : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_{v1}, Q_{v2} : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2700.0 \times 18 \times (1492.8 - 9.0) = 72112680 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2700.0 \times 18 \times (2000.8 - 9.0) = 96801480 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2700.0 \times 18 \times (1864.2 - 9.0) = 90162720 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.88715E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 4.17852E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.00158E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2700 / 14 = 192.9 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(101894.5^2 + 22192.8^2)} = 104283.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

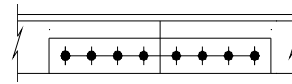
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 18 \times 2700 = 48600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 18 \times (2700 - 25 \times 14) = 42300.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{48600.0 \times 176.1}{42300.0} = 202.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
200	18	2	180	10	500	3	2



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 200 \times 172.5}{126000.0} \approx 4.9 \text{ EA} \Rightarrow n = 6 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{18 \times 200 \times 172.5}{230.0} = 2700.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 180 \times 10 \times 500 &= 3600.0 \text{ mm}^2 \\ &= 3600.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 2700.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{18 \times 200 \times 172.5}{3600.00} = 172.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

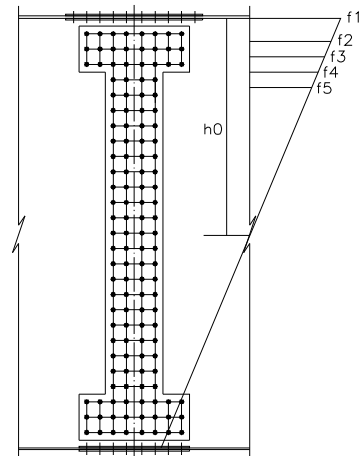
제 원			상하 이음판		중앙 이음판		볼트 개수 및 간격												
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3030	14	2200	4	280	10	2	2350	10	4	150	4	100	4	100	3	100	3	100	93

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1531 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 176.114 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 158.856 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 147.350 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 135.845 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 124.340 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 112.834 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열: } \frac{176.11 + 158.86}{2} \times 150.0 \times 14.0 / 4EA = 87930 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열: } \frac{158.86 + 147.35}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 4EA = 53586 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열: } \frac{147.35 + 135.85}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 4EA = 49559 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열: } \frac{135.85 + 124.34}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 3EA = 60710 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{124.34 + 112.83}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 3EA = 55341 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: } (S_s + S_v) / 2$$

$$\text{- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력: } St = Mt / (2 \cdot b)$$

$$\therefore St = Mt \cdot (h/t) / (2 \cdot b \cdot h \cdot t), \quad \tau_t = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{3271.0 \times 1000}{2} + \frac{1518.5 \times 1000000}{2 \times 2214.0} \right] / 93 EA = 21273 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{87930^2 + 21273^2} = 90466.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{14 \times 3030^3}{12} + 14.0 \times 3030 \times (1515.0 - 1573.2)^2 = 32598168221 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{14 \times 3030^3}{12} + 14.0 \times 3030 \times (1065.2 - 1515.0)^2 = 41036897597 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{14 \times 3030^3}{12} + 14.0 \times 3030 \times (1201.8 - 1515.0)^2 = 36615639161 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 7283.8 \times \frac{3.260E+10}{2.887E+11} = 822.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 14416.6 \times \frac{4.104E+10}{4.179E+11} = 1415.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 20571.8 \times \frac{3.662E+10}{5.002E+11} = 1506.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 7283.8 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 14416.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 20571.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 2.887E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 4.179E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.002E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분	A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL 280 × 10	11200.0	1315.0	14728000.00	19367320000.0	73173333.3
2-PL 2350 × 10	47000.0	-	-	-	21629791666.7
Σ	58200.0			19367320000.0	21702965000.0

$$I = I_o + AY^2 = 21702965000 + 19367320000 = 41070285000 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 41070285000 + 58200.0 \times (1515.0 - 1573.2)^2 = 4.127E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 41070285000 + 58200.0 \times (1065.2 - 1515.0)^2 = 5.285E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 41070285000 + 58200.0 \times (1201.8 - 1515.0)^2 = 4.678E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1492.8 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1573.2 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 2000.8 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1065.2 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1864.2 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1201.8 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{822.400 \times 1000000}{41267422368} \times 1492.8 \\ &+ \frac{1415.840 \times 1000000}{52845311328} \times 2000.800 + \frac{1506.020 \times 1000000}{46779369768} \times 1864.200 \\ &= 29.749 + 53.606 + 60.016 = 143.371 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{822.400 \times 1000000}{41267422368} \times 1573.2 \\ &+ \frac{1415.840 \times 1000000}{52845311328} \times 1065.200 + \frac{1506.020 \times 1000000}{46779369768} \times 1201.800 \\ &= 31.352 + 28.539 + 38.691 = 98.581 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S10-1 , S15-1 > : 85,3/4지점 (외측거더)

< 설계조건 >

구 분	합성전	단일합성	이중합성				합 계	상부FL.응력	하부FL.응력
	DL1	DL2	DL3	LL	SET	소 계		f _u (MPa)	f _l (MPa)
M(kN-m)	-2325.0	-5064.3	-3028.4	-6623.9	-213.9	-9866.2	-17255.5	166.1	-129.4
S(kN)	357.4	789.4	453.5	759.3	10.8	1223.6	2370.4	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-68.2	-171.2	-181.3	-1179.2	-17.2	-1377.7	-1617.2	HSB500	230
Ysl(mm)	930.7	930.7	1168.1				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	1.372E+11	1.372E+11	1.955E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

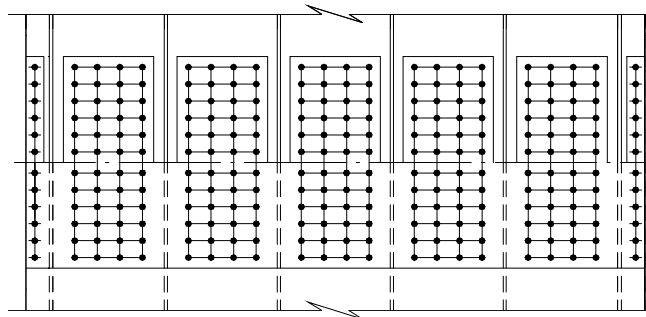
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 129.4 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa}$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 172.5 MPa 을적용한다. (도.설 3.5.1.1)

제 원		상면-측면 이음판				상면-중앙 이음판				하면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
2400	18	2	80	10	660	5	380	10	660	1	2400	10	660	4	17	68



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{126000.0} \approx 60 \text{ EA} \Rightarrow n = 68 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{230.0} = 32400.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 10 \times 660 = 1600.0 \text{ mm}^2$$

$$5\text{-PL } 380 \times 10 \times 660 = 19000.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2400 \times 10 \times 660 = 24000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 44600.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 32400.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{44600.0} = 167.1 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2400 \times 172.5}{68 \text{ EA}} = 109588.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{3.574E+05 \times 3.982E+07}{1.37248E+11} + \frac{7.894E+05 \times 3.982E+07}{1.37248E+11} \right] + \left[\frac{1.224E+06 \times 5.007E+07}{1.95531E+11} \right] \times \frac{141.2}{4 \text{ EA}} = 22802 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 2400.0 \times 18 \times (930.70 - 9.0) = 39817440 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2400.0 \times 18 \times (930.70 - 9.0) = 39817440 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2400.0 \times 18 \times (1168.10 - 9.0) = 50073120 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.37248E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.37248E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 1.95531E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2400 / 17 = 141.2 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(109588.2^2 + 22801.9^2)} = 111935.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

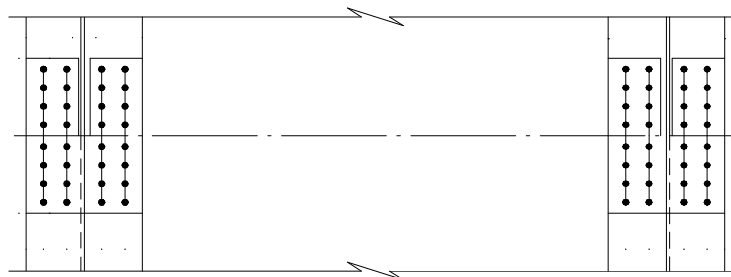
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 166.1 \text{ MPa}$$

$$\cdot f_{s_min} = 0.75 \times 230 = 172.5 \text{ MPa} \quad (\text{도.설 3.5.1.1})$$

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을적용한다.

제 원		하면-측면 이음판				하면-중앙 이음판				상면 이음판				볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
500	16	2	120	16	820	0	0	0	0	1	380	16	820	5	3	15



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{126000.0} \approx 11 \text{ EA} \Rightarrow n = 15 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 6000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 120 \times 16 \times 820 = 3840.0 \text{ mm}^2$$

$$0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 380 \times 16 \times 820 = 6080.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 9920.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 9920 - 25.0 \times 16.0 \times 3 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 7520.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 6000.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{16 \times 500 \times 172.5}{7520.0} = 183.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{16 \times 500.0 \times 172.5}{15 \text{ EA}} = 92000.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{3.574E+05 \times 1.359E+07}{1.37248E+11} + \frac{7.894E+05 \times 1.359E+07}{1.37248E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.224E+06 \times 1.170E+07}{1.95531E+11} \right] \times \frac{166.7}{5 \text{ EA}} = 6226 \text{ N/EA}$$

여기서,

- S_s : 합성전 전단력, S_v1 : 단일합성 전단력, S_v2 : 이중합성 전단력

- Q_s, Q_v1, Q_v2 : 합성전, 단일 합성 및 이중합성후의 중립축에 대한 접합선외측의 단면1차모멘트

$$Q_s = 500.0 \times 16 \times (1707.3 - 8.0) = 13594400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 16 \times (1707.3 - 8.0) = 13594400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 16 \times (1469.9 - 8.0) = 11695200 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.37248E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.37248E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 1.95531E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $500 / 3 = 166.7 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(92000.0^2 + 6225.9^2)} = 92210.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

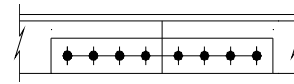
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 16 \times 500 = 8000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 16 \times (500 - 25 \times 3) = 6800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{8000.0 \times 172.5}{6800.0} = 202.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
200	18	2	180	10	500	3	2
					총수		
					6		



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 200 \times 172.5}{126000.0} \approx 4.9 \text{ EA} \Rightarrow n = 6 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{18 \times 200 \times 172.5}{230.0} = 2700.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 180 \times 10 \times 500 &= 3600.0 \text{ mm}^2 \\ &= 3600.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 2700.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{18 \times 200 \times 172.5}{3600.00} = 172.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

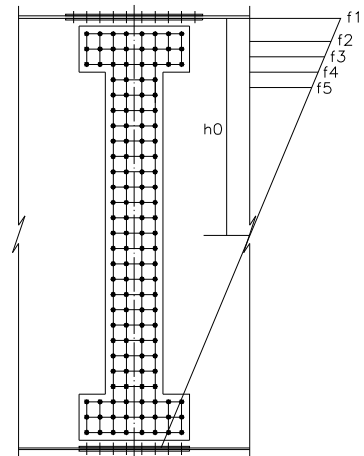
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										총수
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	
2604	12	2200	4	280	10	2	1924	10	3	150	3	100	3	100	2	100	2	100	56

① BOLT의 응력계산 :

· 힘에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1302 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 172.500 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 152.627 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 139.378 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 126.129 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 112.880 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 99.631 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{172.50 + 152.63}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 3EA = 97538 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{152.63 + 139.38}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 58401 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열 : } \frac{139.38 + 126.13}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 53101 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열 : } \frac{126.13 + 112.88}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 71703 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{112.88 + 99.63}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 63753 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력:} \quad (S_s + S_v) / 2$$

$$\text{- 비틀림 모멘트에 의한 복부의 전단력:} \quad St = Mt / (2 \cdot b)$$

$$\therefore St = Mt \cdot (h \cdot t) / (2 \cdot b \cdot h \cdot t), \quad \tau_t = Mt / (2 \cdot A \cdot t), \quad A = b \cdot h \quad (\text{도.설.해 3.8.2.3})$$

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{2370.4 \times 1000}{2} + \frac{1617.2 \times 1000000}{2 \times 2212.0} \right] / 56 EA = 27692 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97538^2 + 27692^2} = 101393.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 2604^3}{12} + 12.0 \times 2604 \times (1302.0 - 930.7)^2 = 21965209449 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 2604^3}{12} + 12.0 \times 2604 \times (930.7 - 1302.0)^2 = 21965209449 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 2604^3}{12} + 12.0 \times 2604 \times (1168.1 - 1302.0)^2 = 18217496818 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 2325.0 \times \frac{2.197E+10}{1.372E+11} = 372.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 5064.3 \times \frac{2.197E+10}{1.372E+11} = 810.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 9866.2 \times \frac{1.822E+10}{1.955E+11} = 919.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 2325.0 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 5064.3 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 9866.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.372E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.372E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 1.955E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성후 하중에 의한 모멘트

· 이음판의 단면2차모멘트:

이음판 구분	A (mm ²)	Y (mm)	AY (mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _o (mm ⁴)
4-PL 280 × 10	11200.0	1102.0	12342400.00	13601324800.0	73173333.3
2-PL 1924 × 10	38480.0	-	-	-	11870361706.7
Σ	49680.0			13601324800.0	11943535040.0

$$I = I_o + AY^2 = 11943535040 + 13601324800 = 25544859840 \text{ mm}^4$$

- I_{sw} : 강재보단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{sw} = 25544859840 + 49680.0 \times (1302.0 - 930.7)^2 = 3.239E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 25544859840 + 49680.0 \times (930.7 - 1302.0)^2 = 3.239E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 25544859840 + 49680.0 \times (1168.1 - 1302.0)^2 = 2.644E+10 \text{ mm}^4$$

- 이음판의응력:

- Y_{su}, Y_{sl} : 강재보단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{su} = 1707.3 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 930.7 \text{ mm}$$

- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1707.3 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 930.7 \text{ mm}$$

- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 1469.9 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1168.1 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{372.097 \times 1000000}{32393927959} \times 1707.3 \\ &+ \frac{810.490 \times 1000000}{32393927959} \times 1707.300 + \frac{919.229 \times 1000000}{26435582993} \times 1469.900 \\ &= 19.611 + 42.716 + 51.112 = 113.439 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{372.097 \times 1000000}{32393927959} \times 930.7 \\ &+ \frac{810.490 \times 1000000}{32393927959} \times 930.700 + \frac{919.229 \times 1000000}{26435582993} \times 1168.100 \\ &= 10.691 + 23.286 + 40.618 = 74.594 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

6.3 용접부 검토

주요부재의 응력을 전달하는 필렛용접의 치수는 다음의 제한내에 있는 것을 표준으로 한다.
 다만, 최소 모재의 두께가 8mm이상인 경우는 필렛용접 치수를 6mm이상으로 한다. (도.설 3.5.2.4)

$$t_1 > S \geq \sqrt{2 \cdot t_2}$$

t_1 : 앞은쪽 모재의 두께 (mm)

t_2 : 두꺼운쪽 모재의 두께 (mm)

S : 필렛용접 치수 (mm)

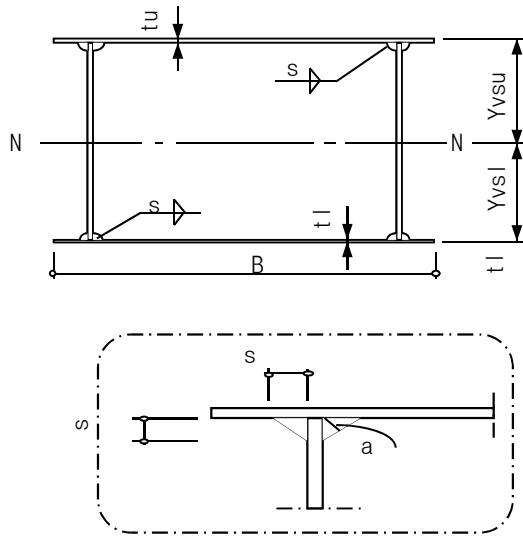
6.3.1 플랜지와 복부판의 용접부 검토

1) 필렛용접 치수 검토

t_u : 상부 플랜지 두께, t_l : 하부 플랜지 두께, t_w : 복부판 두께 (단위 : mm)

구 분	모재의 사용두께			상부 플랜지와 복부판				하부 플랜지와 복부판			
	t_u	t_l	t_w	S_{min}	S_{max}	S_{use}	판정	S_{min}	S_{max}	S_{use}	판정
단면1	16	12	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK
단면2	22	18	12	6.6	12	8	OK	6.0	12	6	OK
단면3	22	18	12	6.6	12	8	OK	6.0	12	6	OK
단면4	26	22	12	7.2	12	8	OK	6.6	12	8	OK
단면5	22	18	12	6.6	12	8	OK	6.0	12	6	OK
단면6	18	12	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK
단면7	16	12	14	6.0	14	6	OK	6.0	12	6	OK
단면8	14	18	14	6.0	14	6	OK	6.0	14	6	OK
단면9	14	18	16	6.0	14	6	OK	6.0	16	6	OK
단면10	14	18	16	6.0	14	6	OK	6.0	16	6	OK
단면11	26	22	16	7.2	16	8	OK	6.6	16	8	OK
단면12	18	18	16	6.0	16	6	OK	6.0	16	6	OK
단면13	18	18	14	6.0	14	6	OK	6.0	14	6	OK
단면14	16	18	14	6.0	14	6	OK	6.0	14	6	OK
단면15	16	18	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK
단면16	16	12	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK
단면17	16	12	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK

2) 용접부의 응력 검토



- 용접부에 작용하는 전단응력(용접강도로고 표준시방서 P26)

$$u = \frac{S \cdot Q}{I_v \cdot \Sigma a} < u_a$$

u 전단 응력 (MPa)

u_a : 허용 전단 응력 (도.설 3.3.2.1)

S : 총 작용전단력 (N)

Q : 용접선 외측 플랜지의 총단면의 중립축에 관한

단면 1차 모멘트 (mm³) = A(mm²) · y(mm)

y = Yvsu(l) - tu(l)/2

I_v : 총단면의 중립축에 관한 단면 2차 모멘트 (mm⁴)

Σ a : 필렛 용접의 목두께의 합 (mm) = 4EA × s √2

s : 필렛 용접 치수 (mm)

① 응력 검토 결과:

- 상부 플랜지와 복부판

구 분	S _{max} (kN)	t _u (mm)	B (mm)	A (mm ²)	Y _{vsu} (mm)	Q (mm ³)	I _v (mm ⁴)	s (mm)	Σ a (mm)	u (MPa)	u _a (MPa)	비고
단면1	2021.6	16	500	8000	672	5.314E+06	3.899E+11	6	17	1.6	135	OK
단면2	1493.7	22	500	11000	776	8.415E+06	4.693E+11	8	23	1.2	135	OK
단면3	1108.0	22	500	11000	776	8.415E+06	4.693E+11	8	23	0.9	135	OK
단면4	-485.8	26	500	13000	838	1.072E+07	5.195E+11	8	23	-0.4	135	OK
단면5	-1167.6	22	500	11000	776	8.415E+06	4.693E+11	8	23	-0.9	135	OK
단면6	-1728.0	18	500	9000	668	5.934E+06	3.908E+11	6	17	-1.5	135	OK
단면7	-2991.6	16	500	8000	1525	1.214E+07	2.501E+11	6	17	-8.6	135	OK
단면8	-3220.0	14	500	7000	1674	1.167E+07	3.497E+11	6	17	-6.3	135	OK
단면9	-3635.4	14	250	3500	1647	5.739E+06	4.219E+11	6	17	-2.9	135	OK
단면10	-3869.4	14	250	3500	2279	7.951E+06	6.739E+11	6	17	-2.7	135	OK
단면11	5584.5	26	250	6500	2339	1.512E+07	9.911E+11	8	23	3.8	135	OK
단면12	3822.2	18	250	4500	2238	1.003E+07	7.318E+11	6	17	3.1	135	OK
단면13	3352.1	18	250	4500	1994	8.932E+06	5.540E+11	6	17	3.2	135	OK
단면14	2840.4	16	500	8000	1452	1.155E+07	2.757E+11	6	17	7.0	135	OK
단면15	2529.0	16	500	8000	1470	1.170E+07	2.167E+11	6	17	8.0	135	OK
단면16	1983.6	16	500	8000	1234	9.810E+06	1.533E+11	6	17	7.5	135	OK
단면17	420.8	16	500	8000	515	4.058E+06	2.635E+11	6	17	0.4	135	OK

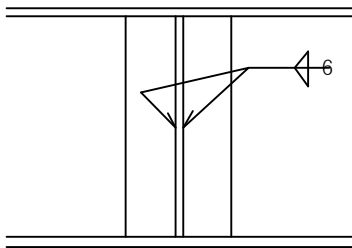
② 하부 플랜지와 복부판

구 분	Smax (kN)	t l (mm)	B (mm)	A (mm ²)	YvsI (mm)	Q (mm ³)	Iv (mm ⁴)	s (mm)	Σ a (mm)	u (MPa)	u a (MPa)	비고
단면1	2021.6	12	2200	26400	2342	6.166E+07	3.899E+11	6	17	18.8	135	OK
단면2	1493.7	18	2200	39600	2244	8.850E+07	4.693E+11	6	17	16.6	135	OK
단면3	1108.0	18	2200	39600	2244	8.850E+07	4.693E+11	6	17	12.3	135	OK
단면4	-485.8	22	2200	48400	2186	1.053E+08	5.195E+11	8	23	-4.4	135	OK
단면5	-1167.6	18	2200	39600	2244	8.850E+07	4.693E+11	6	17	-13.0	135	OK
단면6	-1728.0	12	2200	26400	2347	6.179E+07	3.908E+11	6	17	-16.1	135	OK
단면7	-2991.6	12	2200	26400	1577	4.147E+07	2.501E+11	6	17	-29.2	135	OK
단면8	-3220.0	18	2200	39600	1544	6.079E+07	3.497E+11	6	17	-33.0	135	OK
단면9	-3635.4	18	2200	39600	1689	6.654E+07	4.219E+11	6	17	-33.8	135	OK
단면10	-3869.4	18	2200	39600	1203	4.730E+07	6.739E+11	6	17	-16.0	135	OK
단면11	5584.5	22	2200	48400	1385	6.652E+07	9.911E+11	8	23	16.6	135	OK
단면12	3822.2	18	2200	39600	1248	4.906E+07	7.318E+11	6	17	15.1	135	OK
단면13	3352.1	18	2200	39600	1133	4.451E+07	5.540E+11	6	17	15.9	135	OK
단면14	2840.4	18	2200	39600	1398	5.501E+07	2.757E+11	6	17	33.4	135	OK
단면15	2529.0	18	2200	39600	1227	4.822E+07	2.167E+11	6	17	33.2	135	OK
단면16	1983.6	12	2200	26400	1294	3.400E+07	1.533E+11	6	17	25.9	135	OK
단면17	420.8	12	2200	26400	1999	5.261E+07	2.635E+11	6	17	5.0	135	OK

6.3.2 지점부 보강재 용접부 검토

1) 교대부 (A1)

- Rmax = 3451.6 kN



필렛용접 치수 : s = 6.0 mm

사용 보강재 : 4 PL - 240 × 20 × 3000

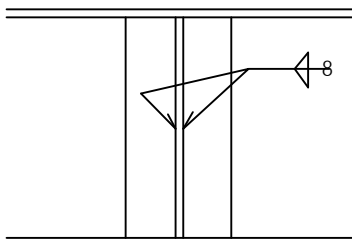
용접 목두께 : a = s / √2 = 4.24 mm

$$u = \frac{P}{\Sigma a \cdot l} = \frac{3451.643 \times 10^3}{8 \text{ EA} \times 4.24 \times 3000}$$

$$= 33.898 \text{ MPa} \leq u a = 135 \text{ MPa} \quad \text{O.K}$$

2) 교각부 (P1)

- Rmax = 11120.6 kN



필렛용접 치수 : s = 8.0 mm

사용 보강재 : 6 PL - 350 × 36 × 3700

용접 목두께 : a = s / √2 = 5.66 mm

$$u = \frac{P}{\Sigma a \cdot l} = \frac{11120.598 \times 10^3}{12 \text{ EA} \times 5.66 \times 3700}$$

$$= 44.276 \text{ MPa} \leq u a = 135 \text{ MPa} \quad \text{O.K}$$