

6. 이음부 설계

6.1 정모멘트구간 현장이음 설계

◎ 이음번호 < S1-1 , S24-1 > : 57,1/4지점 (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)	7091.8	12572.8	6176.5	10896.9	129.3	17202.7	36867.2	-181.1	158.8
S(kN)	-430.6	-694.7	-337.8	-791.0	-9.9	-1138.8	-2264.1	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	569.1	864.9	563.9	1978.1	6.0	2548.0	3982.0	HSB500	230
Ysl(mm)	1157.3	1157.3	2286.6				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	2.414E+11	2.414E+11	6.104E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

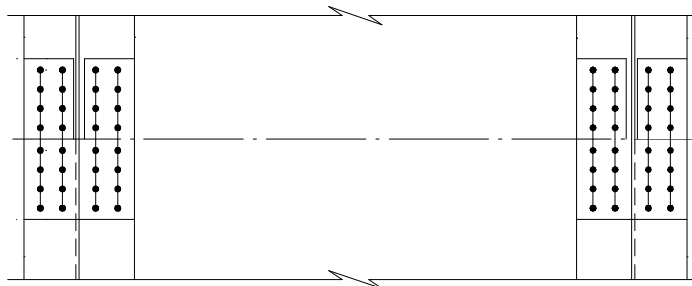
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

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

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 181.1 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 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{26 \times 500 \times 181.1}{126000.0} \approx 19 \text{ EA} \Rightarrow n = 24 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{26 \times 500 \times 181.1}{230.0} = 10235.0 \text{ mm}^2$$

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

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

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

$$\Sigma = 12600.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 10235.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{26 \times 500 \times 181.1}{12600.0} = 186.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{26 \times 500 \times 181.1}{24 \text{ EA}} = 98085.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{4.306E+05 \times 2.444E+07}{2.41441E+11} + \frac{6.947E+05 \times 2.444E+07}{2.41441E+11} \right] + \left[\frac{1.139E+06 \times 9.755E+06}{6.10423E+11} \right] \times \frac{125.0}{6 \text{ EA}} = 2752 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 500.0 \times 26 \times (1892.71 - 13.0) = 24436256 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 500.0 \times 26 \times (1892.71 - 13.0) = 24436256 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 500.0 \times 26 \times (763.42 - 13.0) = 9755499 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.41441E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.41441E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 6.10423E+11 \text{ mm}^4)$$

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

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (98085.8^2 + 2752.0^2) = 98124.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

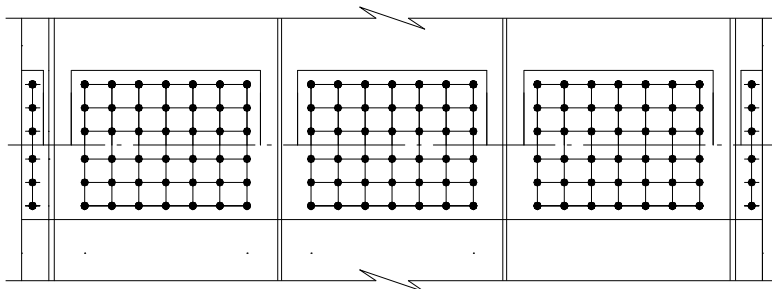
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 158.8 \text{ MPa}$$

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

∴ 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
2600	24	2	80	14	980	3	680	14	980	1	2600	14	980	6	17	102



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{24 \times 2600 \times 172.5}{126000.0} \approx 86 \text{ EA} \Rightarrow n = 102 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{24 \times 2600 \times 172.5}{230.0} = 46800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 14 \times 980 = 2240.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 14 \times 980 = 28560.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2600 \times 14 \times 980 = 36400.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 67200.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 67200 - 25.0 \times 14.0 \times 17 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 55300.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 46800.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{24 \times 2600 \times 172.5}{55300.0} = 194.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{24 \times 2600.0 \times 172.5}{102 \text{ EA}} = 105529.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{4.306E+05 \times 7.147E+07}{2.41441E+11} + \frac{6.947E+05 \times 7.147E+07}{2.41441E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.139E+06 \times 1.419E+08}{6.10423E+11} \right] \times \frac{152.9}{6 \text{ EA}} = 15240 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 24 \times (1157.3 - 12.0) = 71465971 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2600.0 \times 24 \times (1157.3 - 12.0) = 71465971 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2600.0 \times 24 \times (2286.6 - 12.0) = 141933605 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.41441E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.41441E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 6.10423E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 17 = 152.9 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (105529.4^2 + 15240.2^2) = 106624.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

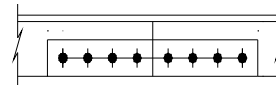
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 24 \times 2600 = 62400.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 24 \times (2600 - 25 \times 17) = 52200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{62400.0 \times 172.5}{52200.0} = 206.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{12 \times 150 \times 172.5}{230.0} = 1350.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 = 2600.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1350.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } fs = \frac{12 \times 150 \times 172.5}{2100.00} = 147.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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	2400	4	280	10	2	2320	10	3	150	3	100	2	100	2	100	2	100	64

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

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

$$f_1 = fs' = 181.082 \text{ MPa}$$

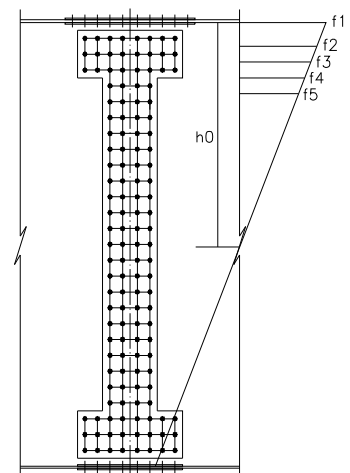
$$f_2 = f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 163.402 \text{ MPa}$$

$$f_3 = f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 151.616 \text{ MPa}$$

$$f_4 = f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 139.830 \text{ MPa}$$

$$f_5 = f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 128.044 \text{ MPa}$$

$$f_6 = f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 116.258 \text{ MPa}$$



$$\text{제1열: } \frac{181.08 + 163.40}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 3EA = 103345 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열: } \frac{163.40 + 151.62}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 63004 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{151.62 + 139.83}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 87434 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

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

$$\text{제5열} : \frac{128.04 + 116.26}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 73291 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 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

$$\rho_s = \left(\frac{2264.1 \times 1000}{2} + \frac{3982.0 \times 1000000}{2 \times 2412.0} \right) / 64EA = 30586 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{103345^2 + 30586^2} = 107776.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1157.3)^2 = 31228205188 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1157.3 - 1500.0)^2 = 31228254538 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (2286.6 - 1500.0)^2 = 49273321569 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 7091.8 \times \frac{3.123E+10}{2.414E+11} = 917.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 12572.8 \times \frac{3.123E+10}{2.414E+11} = 1626.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 17202.7 \times \frac{4.927E+10}{6.104E+11} = 1388.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 7091.8 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 12572.8 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 17202.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 2.414E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.414E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 6.104E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1157.3)^2 = 4.658E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1157.3 - 1500.0)^2 = 4.658E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2286.6 - 1500.0)^2 = 7.545E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1892.7 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1157.3 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1892.7 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1157.3 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 763.4 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2286.6 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{917.257 \times 1000000}{46578248300} \times 1892.7 \\
 &+ \frac{1626.175 \times 1000000}{46578327261} \times 1892.712 + \frac{1388.600 \times 1000000}{75450434511} \times 763.423 \\
 &= 37.273 + 66.080 + 14.050 = 117.403 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned}
 f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{917.257 \times 1000000}{46578248300} \times 1157.3 \\
 &+ \frac{1626.175 \times 1000000}{46578327261} \times 1157.288 + \frac{1388.600 \times 1000000}{75450434511} \times 2286.577 \\
 &= 22.790 + 40.404 + 42.082 = 105.277 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S2-1 , S23-1 > : 59,3/4지점 (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)	11005.6	18404.2	8941.3	16633.1	257.4	25831.8	55241.6	-200.8	185.3
S(kN)	-162.6	-206.0	-90.0	-565.7	-10.0	-665.6	-1034.2	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	245.6	347.9	220.4	1300.7	8.5	1529.6	2123.1	HSB500	230
Ysl(mm)	1206.8	1206.8	2212.0				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	3.307E+11	3.307E+11	7.267E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

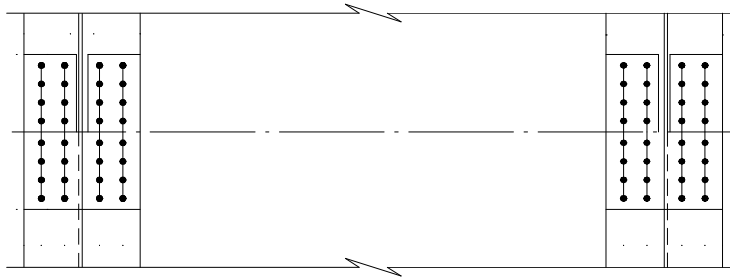
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 200.8 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 200.8 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
600	36	2	200	24	1300	0	0	0	0	1	480	24	1300	8	5	40



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{36 \times 600 \times 200.8}{126000.0} \approx 35 \text{ EA} \Rightarrow n = 40 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{36 \times 600 \times 200.8}{230.0} = 18856.9 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 200 \times 24 \times 1300 = 9600.0 \text{ mm}^2$$

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

$$1\text{-PL } 480 \times 24 \times 1300 = 11520.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 21120.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 18856.9 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{36 \times 600 \times 200.8}{21120.0} = 205.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{36 \times 600 \times 200.8}{40 \text{ EA}} = 108427.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.626E+05 \times 3.981E+07}{3.30732E+11} + \frac{2.060E+05 \times 3.981E+07}{3.30732E+11} \right] + \left[\frac{6.656E+05 \times 1.810E+07}{7.26719E+11} \right] \times \frac{120.0}{8 \text{ EA}} = 914 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 600.0 \times 36 \times (1861.17 - 18.0) = 39812386 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 600.0 \times 36 \times (1861.17 - 18.0) = 39812386 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 600.0 \times 36 \times (856.01 - 18.0) = 18100973 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 7.26719E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $600 / 5 = 120.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (108427.0^2 + 914.2^2) = 108430.9 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

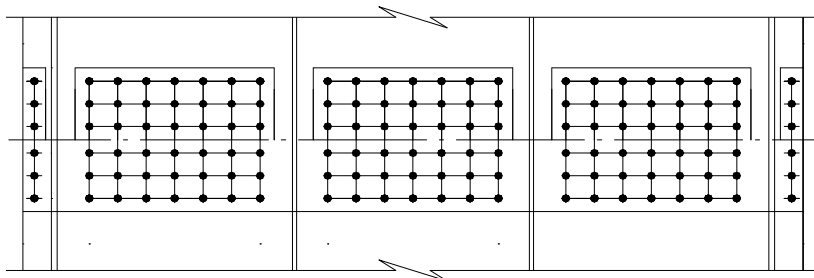
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 185.3 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 185.3 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
2600	32	2	80	20	1620	3	680	20	1620	1	2600	20	1620	10	14	140



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{32 \times 2600 \times 185.3}{126000.0} \approx 123 \text{ EA} \Rightarrow n = 140 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{32 \times 2600 \times 185.3}{230.0} = 67039.5 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 20 \times 1620 = 3200.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 20 \times 1620 = 40800.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2600 \times 20 \times 1620 = 52000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 96000.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 96000 - 25.0 \times 20.0 \times 14 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 82000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 67039.5 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{32 \times 2600 \times 185.3}{82000.0} = 188.0 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{32 \times 2600.0 \times 185.3}{140 \text{ EA}} = 110136.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.626E+05 \times 9.908E+07}{3.30732E+11} + \frac{2.060E+05 \times 9.908E+07}{3.30732E+11} \right] \\ + \left[\frac{6.656E+05 \times 1.827E+08}{7.26719E+11} \right] \times \frac{185.7}{10 \text{ EA}} = 5158 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 32 \times (1206.8 - 16.0) = 99077389 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2600.0 \times 32 \times (1206.8 - 16.0) = 99077389 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2600.0 \times 32 \times (2212.0 - 16.0) = 182706534 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 7.26719E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 14 = 185.7 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (110136.4^2 + 5158.3^2) = 110257.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

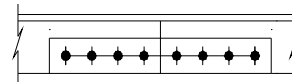
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 32 \times 2600 = 83200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 32 \times (2600 - 25 \times 14) = 72000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{83200.0 \times 185.3}{72000.0} = 214.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 185.3}{126000.0} \approx 2.6 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 185.3}{230.0} = 1450.4 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1450.4 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 185.3}{2100.00} = 158.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

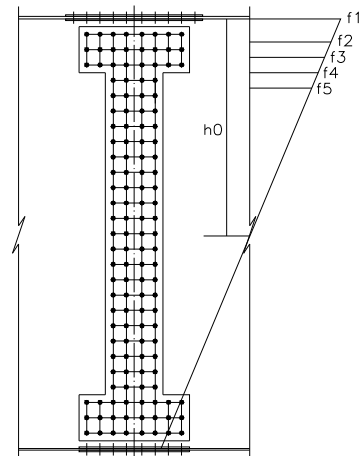
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3000	12	2400	4	280	10	2	2320	10	4	150	4	100	2	100	2	100	2	100	70

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1560 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 200.791 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 181.485 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 168.614 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 155.744 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 142.873 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 130.003 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{200.79 + 181.49}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 4EA = 86012 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{181.49 + 168.61}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 4EA = 52515 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{168.61 + 155.74}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 97307 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{155.74 + 142.87}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 89585 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{142.87 + 130.00}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 81863 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 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

$$\rho_s = \left[\frac{1034.2 \times 1000}{2} + \frac{2123.1 \times 1000000}{2 \times 2412.0} \right] / 70EA = 13674 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97307^2 + 13674^2} = 98263.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1206.8)^2 = 30094151360 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1206.8 - 1500.0)^2 = 30094066928 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (2212.0 - 1500.0)^2 = 45249573890 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 11005.6 \times \frac{3.009E+10}{3.307E+11} = 1001.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 18404.2 \times \frac{3.009E+10}{3.307E+11} = 1674.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 25831.8 \times \frac{4.525E+10}{7.267E+11} = 1608.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 11005.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 18404.2 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 25831.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 3.307E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 3.307E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 7.267E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1206.8)^2 = 4.476E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1206.8 - 1500.0)^2 = 4.476E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2212.0 - 1500.0)^2 = 6.901E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1861.2 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1206.8 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1861.2 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1206.8 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 856.0 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2212.0 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상면응력

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{1001.428 \times 1000000}{44763762177} \times 1861.2 \\
 &+ \frac{1674.640 \times 1000000}{44763627085} \times 1861.166 + \frac{1608.430 \times 1000000}{69012438224} \times 856.008 \\
 &= 41.637 + 69.628 + 19.950 = 131.215 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하면응력

$$\begin{aligned}
 f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{1001.428 \times 1000000}{44763762177} \times 1206.8 \\
 &+ \frac{1674.640 \times 1000000}{44763627085} \times 1206.834 + \frac{1608.430 \times 1000000}{69012438224} \times 2211.992 \\
 &= 26.999 + 45.149 + 51.554 = 123.701 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S3-1 , S22-1 > : 62,1/4지점 (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)	10876.2	17229.8	8393.0	18268.6	383.5	27045.1	55151.0	-194.2	183.6
S(kN)	184.4	390.9	176.5	596.3	7.3	780.1	1355.4	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-139.2	-271.5	-162.9	-863.2	-14.2	-1040.3	-1451.0	HSB500	230
Ysl(mm)	1206.8	1206.8	2212.0				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	3.307E+11	3.307E+11	7.267E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

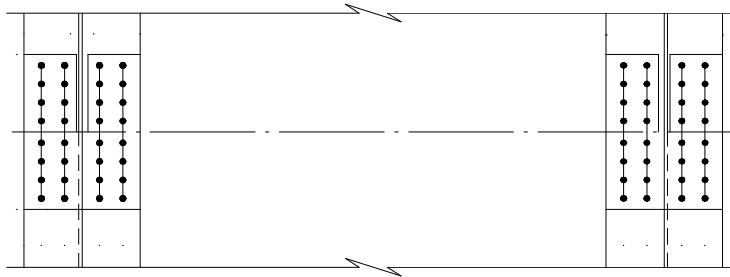
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 194.2 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 194.2 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
600	36	2	200	24	1300	0	0	0	0	1	480	24	1300	8	5	40



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{36 \times 600 \times 194.2}{126000.0} \approx 34 \text{ EA} \Rightarrow n = 40 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{36 \times 600 \times 194.2}{230.0} = 18234.1 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 200 \times 24 \times 1300 = 9600.0 \text{ mm}^2$$

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

$$1\text{-PL } 480 \times 24 \times 1300 = 11520.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 21120.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 18234.1 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{36 \times 600 \times 194.2}{21120.0} = 198.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{36 \times 600 \times 194.2}{40 \text{ EA}} = 104846.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.844E+05 \times 3.981E+07}{3.30732E+11} + \frac{3.909E+05 \times 3.981E+07}{3.30732E+11} \right] + \left[\frac{7.801E+05 \times 1.810E+07}{7.26719E+11} \right] \times \frac{120.0}{8 \text{ EA}} = 1330 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 600.0 \times 36 \times (1861.17 - 18.0) = 39812386 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 600.0 \times 36 \times (1861.17 - 18.0) = 39812386 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 600.0 \times 36 \times (856.01 - 18.0) = 18100973 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 7.26719E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $600 / 5 = 120.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (104846.3^2 + 1330.3^2) = 104854.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

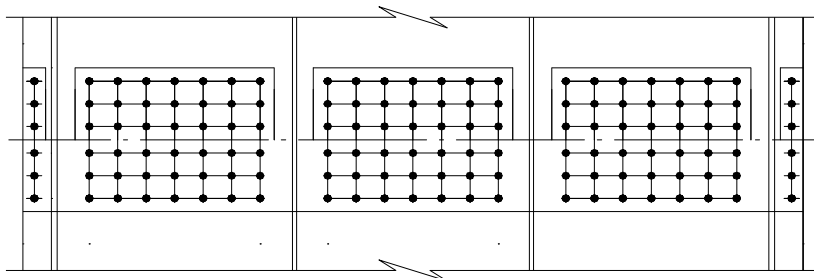
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 183.6 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 183.6 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
2600	32	2	80	20	1620	3	680	20	1620	1	2600	20	1620	10	14	140



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{32 \times 2600 \times 183.6}{126000.0} \approx 122 \text{ EA} \Rightarrow n = 140 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{32 \times 2600 \times 183.6}{230.0} = 66423.1 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 20 \times 1620 = 3200.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 20 \times 1620 = 40800.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2600 \times 20 \times 1620 = 52000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 96000.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 96000 - 25.0 \times 20.0 \times 14 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 82000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 66423.1 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{32 \times 2600 \times 183.6}{82000.0} = 186.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{32 \times 2600.0 \times 183.6}{140 \text{ EA}} = 109123.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.844E+05 \times 9.908E+07}{3.30732E+11} + \frac{3.909E+05 \times 9.908E+07}{3.30732E+11} \right] \\ + \left[\frac{7.801E+05 \times 1.827E+08}{7.26719E+11} \right] \times \frac{185.7}{10 \text{ EA}} = 6843 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 32 \times (1206.8 - 16.0) = 99077389 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2600.0 \times 32 \times (1206.8 - 16.0) = 99077389 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2600.0 \times 32 \times (2212.0 - 16.0) = 182706534 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 3.30732E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 7.26719E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 14 = 185.7 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (109123.7^2 + 6843.1^2) = 109338.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

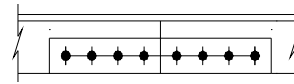
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 32 \times 2600 = 83200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 32 \times (2600 - 25 \times 14) = 72000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{83200.0 \times 183.6}{72000.0} = 212.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 183.6}{126000.0} \approx 2.6 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 183.6}{230.0} = 1437.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1437.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 183.6}{2100.00} = 157.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

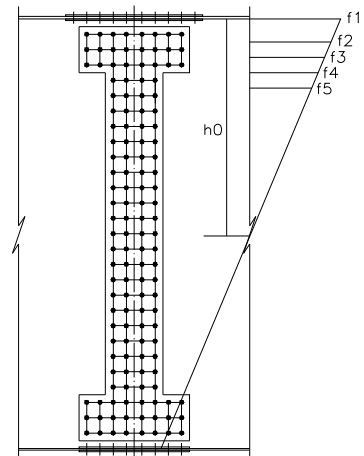
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3000	12	2400	4	280	10	2	2320	10	4	177	4	100	2	100	2	100	2	100	70

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1542 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 194.160 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 177) / h_0 = 171.871 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 277) / h_0 = 159.278 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 377) / h_0 = 146.685 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 477) / h_0 = 134.093 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 577) / h_0 = 121.500 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{194.16 + 171.87}{2} \times 177.0 \times 12.0 / 4EA = 97181 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{171.87 + 159.28}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 4EA = 49672 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{159.28 + 146.69}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 91789 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{146.69 + 134.09}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 84233 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{134.09 + 121.50}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 76678 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 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

$$\rho_s = \left[\frac{1355.4 \times 1000}{2} + \frac{1451.0 \times 1000000}{2 \times 2412.0} \right] / 70EA = 13979 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97181^2 + 13979^2} = 98181.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1206.8)^2 = 30094151360 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (1206.8 - 1500.0)^2 = 30094066928 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 3000^3}{12} + 12.0 \times 3000 \times (2212.0 - 1500.0)^2 = 45249573890 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 10876.2 \times \frac{3.009E+10}{3.307E+11} = 989.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 17229.8 \times \frac{3.009E+10}{3.307E+11} = 1567.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 27045.1 \times \frac{4.525E+10}{7.267E+11} = 1684.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 10876.2 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 17229.8 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 27045.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 3.307E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 3.307E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 7.267E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1206.8)^2 = 4.476E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1206.8 - 1500.0)^2 = 4.476E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2212.0 - 1500.0)^2 = 6.901E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1861.2 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1206.8 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1861.2 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1206.8 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 856.0 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2212.0 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상면응력

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{989.648 \times 1000000}{44763762177} \times 1861.2 \\
 &+ \frac{1567.777 \times 1000000}{44763627085} \times 1861.166 + \frac{1683.977 \times 1000000}{69012438224} \times 856.008 \\
 &= 41.147 + 65.184 + 20.888 = 127.219 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하면응력

$$\begin{aligned}
 f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{989.648 \times 1000000}{44763762177} \times 1206.8 \\
 &+ \frac{1567.777 \times 1000000}{44763627085} \times 1206.834 + \frac{1683.977 \times 1000000}{69012438224} \times 2211.992 \\
 &= 26.681 + 42.268 + 53.975 = 122.923 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S4-1 , S21-1 > : 64,3/4지점 (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)	6617.8	8812.3	4520.7	15883.6	503.3	20907.6	36337.7	-189.9	179.5
S(kN)	475.3	920.8	425.0	813.3	6.9	1245.2	2641.3	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-347.1	-578.9	-459.4	-1390.1	-26.2	-1875.6	-2801.7	HSB500	230
Ysl(mm)	1223.0	1223.0	2339.7				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	2.090E+11	2.090E+11	5.403E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

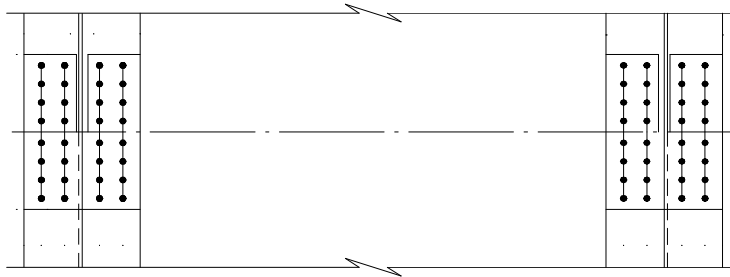
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 189.9 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 189.9 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	20	2	160	14	820	0	0	0	0	1	380	14	820	5	4	20



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{20 \times 500 \times 189.9}{126000.0} \approx 16 \text{ EA} \Rightarrow n = 20 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{20 \times 500 \times 189.9}{230.0} = 8254.9 \text{ mm}^2$$

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

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

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

$$\Sigma = 9800.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 8254.9 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{20 \times 500 \times 189.9}{9800.0} = 193.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{20 \times 500 \times 189.9}{20 \text{ EA}} = 94931.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{4.753E+05 \times 1.805E+07}{2.09050E+11} + \frac{9.208E+05 \times 1.805E+07}{2.09050E+11} \right] + \left[\frac{1.245E+06 \times 6.883E+06}{5.40287E+11} \right] \times \frac{125.0}{5 \text{ EA}} = 3410 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 500.0 \times 20 \times (1815.02 - 10.0) = 18050210 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 20 \times (1815.02 - 10.0) = 18050210 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 20 \times (698.27 - 10.0) = 6882700 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.09050E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.09050E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 5.40287E+11 \text{ mm}^4)$$

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

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (94931.5^2 + 3410.3^2) = 94992.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

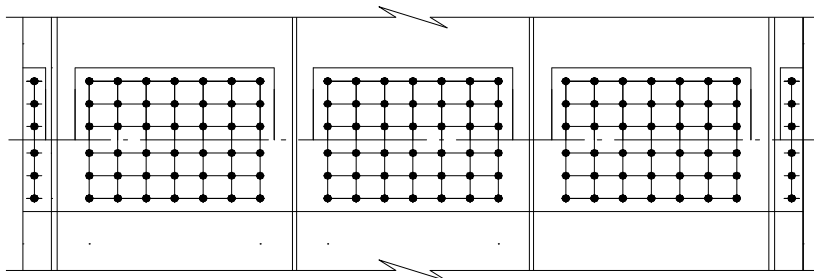
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 179.5 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 179.5 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
2600	18	0	80	12	820	3	747	12	820	1	2300	12	820	5	15	75



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2600 \times 179.5}{126000.0} \approx 67 \text{ EA} \Rightarrow n = 75 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{18 \times 2600 \times 179.5}{230.0} = 36518.7 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \cdot \text{사용이음판: } & \begin{array}{l} 0\text{-PL} \quad 80 \times 12 \times 820 = 0.0 \text{ mm}^2 \\ 3\text{-PL} \quad 747 \times 12 \times 820 = 26880.0 \text{ mm}^2 \\ 1\text{-PL} \quad 2300 \times 12 \times 820 = 27600.0 \text{ mm}^2 \end{array} \\ & \underline{\underline{\Sigma = 54480.0 \text{ mm}^2}} \end{aligned}$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$\begin{aligned} A_n &= 54480 - 25.0 \times 12.0 \times 15 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 45480.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 36518.7 \text{ mm}^2 \quad 0.K \end{aligned}$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2600 \times 179.5}{45480.0} = 184.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2600.0 \times 179.5}{75 \text{ EA}} = 111990.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\begin{aligned} \rho_h &= \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{4.753E+05 \times 5.681E+07}{2.09050E+11} + \frac{9.208E+05 \times 5.681E+07}{2.09050E+11} \right] \\ &+ \left[\frac{1.245E+06 \times 1.091E+08}{5.40287E+11} \right] \times \frac{173.3}{5 \text{ EA}} = 21869 \text{ N/EA} \end{aligned}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 18 \times (1223.0 - 9.0) = 56814217 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2600.0 \times 18 \times (1223.0 - 9.0) = 56814217 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2600.0 \times 18 \times (2339.7 - 9.0) = 109078164 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.09050E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.09050E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.40287E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 15 = 173.3 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (111990.5^2 + 21868.6^2) = 114105.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

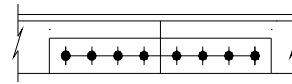
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 18 \times 2600 = 46800.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 18 \times (2600 - 25 \times 15) = 40050.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{46800.0 \times 179.5}{40050.0} = 209.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 179.5}{126000.0} \approx 2.6 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 179.5}{230.0} = 1404.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1404.6 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } fs &= \frac{12 \times 150 \times 179.5}{2100.00} = 153.9 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

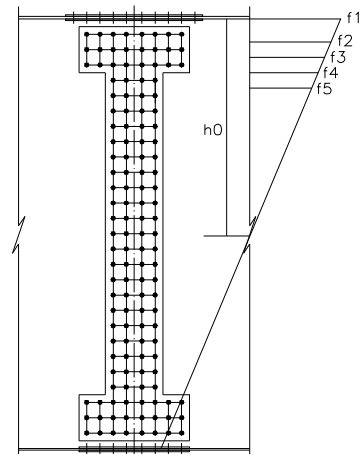
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3000	14	2400	4	280	10	2	2320	10	4	150	4	100	2	100	2	100	2	100	70

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1542 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= fs' = 189.863 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 171.396 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 159.085 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 146.774 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 134.463 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 122.152 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{189.86 + 171.40}{2} \times 150.0 \times 14.0 / 4EA = 94831 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{171.40 + 159.09}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 4EA = 57834 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{159.09 + 146.77}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 107051 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{146.77 + 134.46}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 98433 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{134.46 + 122.15}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 89815 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

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

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

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left(\frac{2641.3 \times 1000}{2} + \frac{2801.7 \times 1000000}{2 \times 2414.0} \right) / 70EA = 27157 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{107051^2 + 27157^2} = 110441.5 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{14 \times 3000^3}{12} + 14.0 \times 3000 \times (1500.0 - 1223.0)^2 = 34723083377 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{14 \times 3000^3}{12} + 14.0 \times 3000 \times (1223.0 - 1500.0)^2 = 34723106647 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{14 \times 3000^3}{12} + 14.0 \times 3000 \times (2339.7 - 1500.0)^2 = 61116151862 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 6617.8 \times \frac{3.472E+10}{2.090E+11} = 1099.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 8812.3 \times \frac{3.472E+10}{2.090E+11} = 1463.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 20907.6 \times \frac{6.112E+10}{5.403E+11} = 2365.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 6617.8 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 8812.3 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 20907.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 2.090E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.090E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.403E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 39813120000 + 57600.0 \times (1500.0 - 1223.0)^2 = 4.423E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 39813120000 + 57600.0 \times (1223.0 - 1500.0)^2 = 4.423E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 39813120000 + 57600.0 \times (2339.7 - 1500.0)^2 = 8.043E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1815.0 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1223.0 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1815.0 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1223.0 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 698.3 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2339.7 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상면응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{1099.217 \times 1000000}{44233348631} \times 1815.0 \\ &+ \frac{1463.723 \times 1000000}{44233380544} \times 1815.021 + \frac{2365.024 \times 1000000}{80429556839} \times 698.270 \\ &= 45.104 + 60.061 + 20.533 = 125.697 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하면응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{1099.217 \times 1000000}{44233348631} \times 1223.0 \\ &+ \frac{1463.723 \times 1000000}{44233380544} \times 1222.979 + \frac{2365.024 \times 1000000}{80429556839} \times 2339.730 \\ &= 30.392 + 40.469 + 68.800 = 139.661 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S11-1 , S14-1 > : 83,3/4지점 (외측거더)

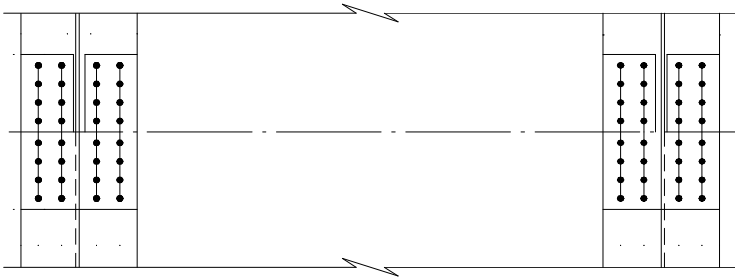
< 설계조건 >

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)	191.9	1165.5	747.8	7526.6	347.7	8622.1	9979.5	-49.1	61.2
S(kN)	239.6	698.0	324.9	808.0	14.7	1147.7	2085.2	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-59.3	-194.9	-196.6	-1202.7	-12.4	-1411.7	-1665.9	HSB500	230
Ysl(mm)	974.5	974.5	2022.8				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	1.223E+11	1.223E+11	3.424E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

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

- f_s = 49.1 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	18	2	160	12	660	0	0	0	0	1	380	12	660	4	4	16



① 필요 BOLT수의 결정 :

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

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} &= \frac{18 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 6750.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } & \begin{aligned} 2\text{-PL } 160 \times 12 \times 660 &= 3840.0 \text{ mm}^2 \\ 0\text{-PL } 0 \times 0 \times 0 &= 0.0 \text{ mm}^2 \\ 1\text{-PL } 380 \times 12 \times 660 &= 4560.0 \text{ mm}^2 \end{aligned} \\ & \underline{\Sigma = 8400.0 \text{ mm}^2} > A_{\text{req}} = 6750.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{18 \times 500 \times 172.5}{8400.0} = 184.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K \end{aligned}$$

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:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{2.396E+05 \times 1.394E+07}{1.22274E+11} + \frac{6.980E+05 \times 1.394E+07}{1.22274E+11} \right] + \left[\frac{1.148E+06 \times 4.501E+06}{3.42383E+11} \right] \times \frac{125.0}{4 \text{ EA}} = 3811 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 500.0 \times 18 \times (1557.52 - 9.0) = 13936653 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 500.0 \times 18 \times (1557.52 - 9.0) = 13936653 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 500.0 \times 18 \times (509.16 - 9.0) = 4501404 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.22274E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.22274E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 3.42383E+11 \text{ mm}^4)$$

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

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (97031.3^2 + 3810.9^2) = 97106.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

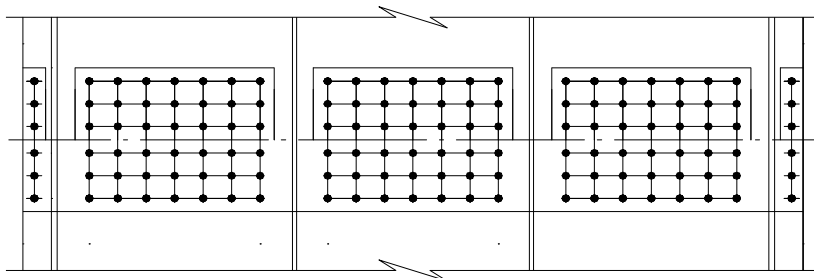
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

$$\cdot f_s = 61.2 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 을 적용한다.

제 원		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
2600	14	2	80	10	660	5	380	10	660	1	2600	10	660	4	17	68



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{14 \times 2600 \times 172.5}{126000.0} \approx 50 \text{ EA} \Rightarrow n = 68 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{14 \times 2600 \times 172.5}{230.0} = 27300.0 \text{ mm}^2$$

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

$$5\text{-PL } 380 \times 10 \times 660 = 19000.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2600 \times 10 \times 660 = 26000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 46600.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 46600 - 25.0 \times 10.0 \times 17 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 38100.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 27300.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{14 \times 2600 \times 172.5}{38100.0} = 164.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{14 \times 2600.0 \times 172.5}{68 \text{ EA}} = 92338.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{2.396E+05 \times 3.522E+07}{1.22274E+11} + \frac{6.980E+05 \times 3.522E+07}{1.22274E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.148E+06 \times 7.338E+07}{3.42383E+11} \right] \times \frac{152.9}{4 \text{ EA}} = 19729 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 14 \times (974.5 - 7.0) = 35216381 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2600.0 \times 14 \times (974.5 - 7.0) = 35216381 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2600.0 \times 14 \times (2022.8 - 7.0) = 73376722 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.22274E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.22274E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 3.42383E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 17 = 152.9 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (92338.2^2 + 19728.8^2) = 94422.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

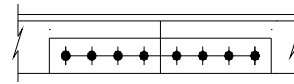
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 14 \times 2600 = 36400.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 14 \times (2600 - 25 \times 17) = 30450.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{36400.0 \times 172.5}{30450.0} = 206.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 인장부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
180	16	2	150	10	500	3	1	4



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{16 \times 180 \times 172.5}{126000.0} \approx 3.9 \text{ EA} \Rightarrow n = 4 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{16 \times 180 \times 172.5}{230.0} = 2160.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 150 \times 10 \times 500 &= 3000.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 3000 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2500.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 2160.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{16 \times 180 \times 172.5}{2500.00} = 198.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

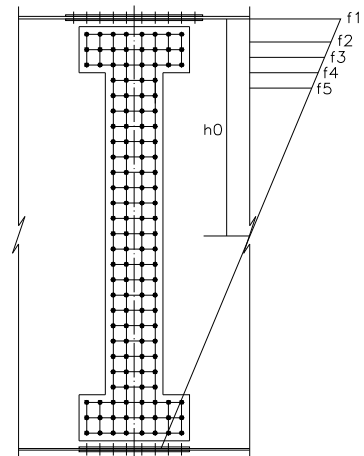
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
2500	12	2400	4	280	10	2	1820	10	3	150	3	100	2	100	2	100	2	100	54

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

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

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



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

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

$$\text{제3열} : \frac{138.00 + 124.20}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 78660 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

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

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

· 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

$$\rho_s = \left(\frac{2085.2 \times 1000}{2} + \frac{1665.9 \times 1000000}{2 \times 2412.0} \right) / 54EA = 25703 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97290^2 + 25703^2} = 100627.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1250.0 - 974.5)^2 = 17902338112 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (974.5 - 1250.0)^2 = 17902288519 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (2022.8 - 1250.0)^2 = 33543635450 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 191.9 \times \frac{1.790E+10}{1.223E+11} = 28.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 1165.5 \times \frac{1.790E+10}{1.223E+11} = 170.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 8622.1 \times \frac{3.354E+10}{3.424E+11} = 844.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 191.9 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 1165.5 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 8622.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.223E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.223E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 3.424E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 22468786667 + 47600.0 \times (1250.0 - 974.5)^2 = 2.608E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 22468786667 + 47600.0 \times (974.5 - 1250.0)^2 = 2.608E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 22468786667 + 47600.0 \times (2022.8 - 1250.0)^2 = 5.090E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1557.5 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 974.5 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1557.5 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 974.5 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 509.2 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2022.8 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{28.099 \times 1000000}{26082163138} \times 1557.5 \\
 &+ \frac{170.646 \times 1000000}{26082084450} \times 1557.517 + \frac{844.712 \times 1000000}{50899688247} \times 509.156 \\
 &= 1.678 + 10.190 + 8.450 = 20.318 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned}
 f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{28.099 \times 1000000}{26082163138} \times 974.5 \\
 &+ \frac{170.646 \times 1000000}{26082084450} \times 974.483 + \frac{844.712 \times 1000000}{50899688247} \times 2022.844 \\
 &= 1.050 + 6.376 + 33.570 = 40.996 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S12-1 , S13-1 > : 81,3/4지점 (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)	1891.4	6209.1	3080.0	10331.0	197.8	13608.7	21709.3	-151.5	175.1
S(kN)	85.9	258.0	121.3	625.5	14.9	761.7	1105.6	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-23.7	-85.9	-88.7	-849.1	-6.4	-944.3	-1053.8	HSB500	230
Ysl(mm)	1078.0	1078.0	2098.9				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	1.102E+11	1.102E+11	2.901E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

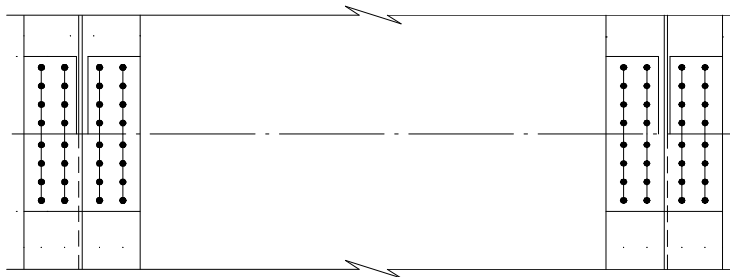
1) 압축부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 151.5 \text{ MPa}$$

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

∴ 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	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:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{8.592E+04 \times 1.299E+07}{1.10159E+11} + \frac{2.580E+05 \times 1.299E+07}{1.10159E+11} \right] + \left[\frac{7.617E+05 \times 3.799E+06}{2.90147E+11} \right] \times \frac{125.0}{4 \text{ EA}} = 1579 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 500.0 \times 18 \times (1452.00 - 9.0) = 12987000 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 500.0 \times 18 \times (1452.00 - 9.0) = 12987000 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 500.0 \times 18 \times (431.12 - 9.0) = 3799116 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.10159E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.10159E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.90147E+11 \text{ mm}^4)$$

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

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (97031.3^2 + 1578.6^2) = 97044.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

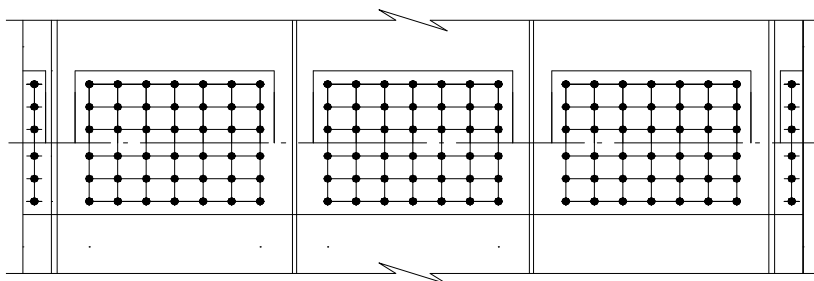
2) 인장부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지)

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

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 175.1 MPa 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
2600	12	2	80	10	500	3	680	10	500	1	2600	10	500	3	17	51



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 2600 \times 175.1}{126000.0} \approx 44 \text{ EA} \Rightarrow n = 51 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{12 \times 2600 \times 175.1}{230.0} = 23746.7 \text{ mm}^2$$

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

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

$$1\text{-PL } 2600 \times 10 \times 500 = 26000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 48000.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 48000 - 25.0 \times 10.0 \times 17 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 39500.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 23746.7 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{12 \times 2600 \times 175.1}{39500.0} = 138.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{12 \times 2600.0 \times 175.1}{51 \text{ EA}} = 107092.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{8.592E+04 \times 3.345E+07}{1.10159E+11} + \frac{2.580E+05 \times 3.345E+07}{1.10159E+11} \right] \\ + \left[\frac{7.617E+05 \times 6.530E+07}{2.90147E+11} \right] \times \frac{152.9}{3 \text{ EA}} = 14062 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 12 \times (1078.0 - 6.0) = 33446400 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2600.0 \times 12 \times (1078.0 - 6.0) = 33446400 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2600.0 \times 12 \times (2098.9 - 6.0) = 65297731 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.10159E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.10159E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.90147E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 17 = 152.9 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = (\rho_p^2 + \rho_h^2) = (107092.8^2 + 14062.3^2) = 108012.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

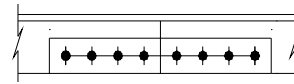
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 12 \times 2600 = 31200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 12 \times (2600 - 25 \times 17) = 26100.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{31200.0 \times 175.1}{26100.0} = 209.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 150 \times 175.1}{126000.0} \approx 2.5 \text{ EA} \Rightarrow n = 3 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 150 \times 175.1}{230.0} = 1370.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 130 \times 10 \times 500 &= 2600.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2600 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 2100.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1370.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 150 \times 175.1}{2100.00} = 150.1 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

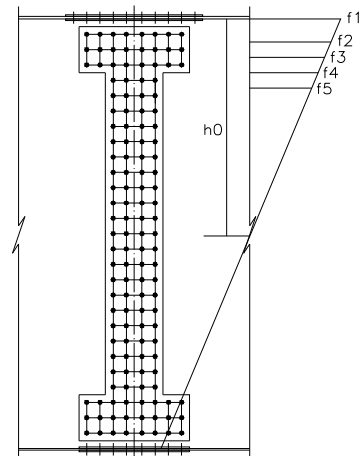
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
2500	12	2400	4	280	10	2	1820	10	3	150	3	100	2	100	2	100	2	100	54

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에의한 BOLT의 응력:

$$\cdot \text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1259 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 175.056 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 154.202 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 140.300 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 126.398 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 112.496 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 98.593 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열: } \frac{175.06 + 154.20}{2} \times 150.0 \times 12.0 / 3EA = 98777 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열: } \frac{154.20 + 140.30}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 3EA = 58900 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열} : \frac{140.30 + 126.40}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 80009 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열} : \frac{126.40 + 112.50}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 71668 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{112.50 + 98.59}{2} \times 100.0 \times 12.0 / 2EA = 63327 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 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

$$\rho_s = \left[\frac{1105.6 \times 1000}{2} + \frac{1053.8 \times 1000000}{2 \times 2412.0} \right] / 54EA = 14283 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{98777^2 + 14283^2} = 99804.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1250.0 - 1078.0)^2 = 16512520000 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (1078.0 - 1250.0)^2 = 16512520000 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{12 \times 2500^3}{12} + 12.0 \times 2500 \times (2098.9 - 1250.0)^2 = 37242713901 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 1891.4 \times \frac{1.651E+10}{1.102E+11} = 283.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{v1w}'}{I_{v1}} = 6209.1 \times \frac{1.651E+10}{1.102E+11} = 930.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{v2w}'}{I_{v2}} = 13608.7 \times \frac{3.724E+10}{2.901E+11} = 1746.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 1891.4 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 6209.1 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 13608.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.102E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.102E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.901E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 22468786667 + 47600.0 \times (1250.0 - 1078.0)^2 = 2.388E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 22468786667 + 47600.0 \times (1078.0 - 1250.0)^2 = 2.388E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 22468786667 + 47600.0 \times (2098.9 - 1250.0)^2 = 5.677E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1452.0 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1078.0 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1452.0 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1078.0 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 431.1 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 2098.9 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned}
 f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{283.519 \times 1000000}{23876985067} \times 1452.0 \\
 &+ \frac{930.727 \times 1000000}{23876985067} \times 1452.000 + \frac{1746.787 \times 1000000}{56768892723} \times 431.124 \\
 &= 17.241 + 56.599 + 13.266 = 87.106 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned}
 f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{283.519 \times 1000000}{23876985067} \times 1078.0 \\
 &+ \frac{930.727 \times 1000000}{23876985067} \times 1078.000 + \frac{1746.787 \times 1000000}{56768892723} \times 2098.876 \\
 &= 12.800 + 42.021 + 64.583 = 119.404 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K
 \end{aligned}$$

6.2 부모멘트구간 현장이음 설계

◎ 이음번호 < S5-1 , S20-1 > : 66,3/4지점 (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)	556.6	-3141.6	-969.1	-12138.7	-449.1	-13556.8	-16141.8	88.9	-98.5
S(kN)	692.9	1372.3	631.6	1028.9	6.0	1666.5	3731.7	사용강종	허용인장, f_{sa}
T(kN-m)	-421.8	-615.9	-572.6	-1937.6	-37.1	-2547.2	-3584.9	HSB500	230
Ysl(mm)	1188.8	1188.8	1484.9				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
Is(mm ⁴)	2.261E+11	2.261E+11	3.223E+11				ρ_{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

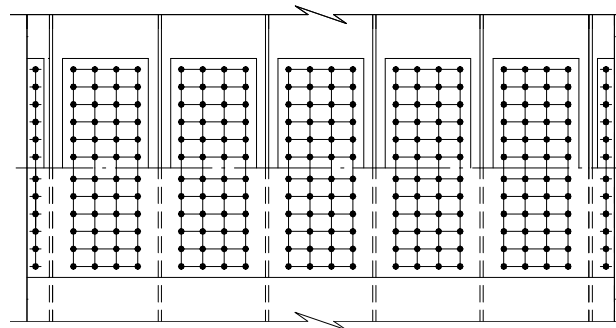
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 98.5 \text{ MPa}$$

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

∴ 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
2600	18	0	80	10	820	5	380	10	820	1	2300	10	820	5	15	75



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{126000.0} \approx 65 \text{ EA} \Rightarrow n = 75 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{230.0} = 35100.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 10 \times 820 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$5\text{-PL } 380 \times 10 \times 820 = 19000.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2300 \times 10 \times 820 = 23000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 42000.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 35100.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{42000.0} = 192.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{75 \text{ EA}} = 107640.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{6.929E+05 \times 5.521E+07}{2.26060E+11} + \frac{1.372E+06 \times 5.521E+07}{2.26060E+11} \right] + \left[\frac{1.666E+06 \times 6.907E+07}{3.22287E+11} \right] \times \frac{173.3}{5 \text{ EA}} = 29868 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 18 \times (1188.80 - 9.0) = 55214640 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2600.0 \times 18 \times (1188.80 - 9.0) = 55214640 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2600.0 \times 18 \times (1484.90 - 9.0) = 69072120 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.26060E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.26060E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 3.22287E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 15 = 173.3 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(107640.0^2 + 29868.3^2)} = 111707.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

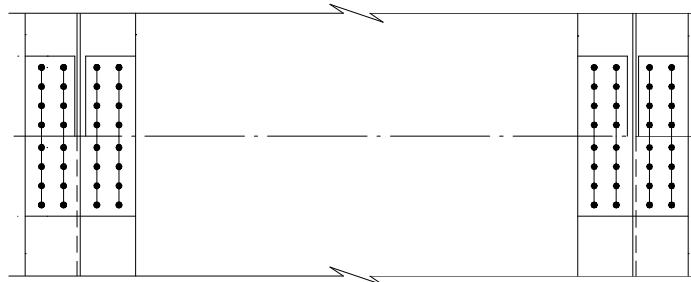
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 88.9 \text{ MPa}$$

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

∴ 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	중	횡	총수
500	20	2	160	18	820	0	0	0	0	1	380	18	820	5	4	20



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{20 \times 500 \times 172.5}{126000.0} \approx 14 \text{ EA} \Rightarrow n = 20 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{20 \times 500 \times 172.5}{230.0} = 7500.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 160 \times 18 \times 820 = 5760.0 \text{ mm}^2$$

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

$$1\text{-PL } 380 \times 18 \times 820 = 6840.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 12600.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 12600 - 25.0 \times 18.0 \times 4 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 9000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 7500.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{20 \times 500 \times 172.5}{9000.0} = 191.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{20 \times 500.0 \times 172.5}{20 \text{ EA}} = 86250.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{6.929E+05 \times 1.884E+07}{2.26060E+11} + \frac{1.372E+06 \times 1.884E+07}{2.26060E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.666E+06 \times 1.588E+07}{3.22287E+11} \right] \times \frac{125.0}{5 \text{ EA}} = 6356 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 500.0 \times 20 \times (1894.2 - 10.0) = 18842000 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 20 \times (1894.2 - 10.0) = 18842000 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 20 \times (1598.1 - 10.0) = 15881000 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 2.26060E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 2.26060E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 3.22287E+11 \text{ mm}^4)$$

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

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(86250.0^2 + 6356.3^2)} = 86484.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

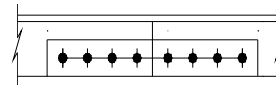
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 20 \times 500 = 10000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 20 \times (500 - 25 \times 4) = 8000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{10000.0 \times 172.5}{8000.0} = 215.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수			
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
180	16	2	150	10	820	5	1	5



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{16 \times 180 \times 172.5}{126000.0} \approx 3.9 \text{ EA} \Rightarrow n = 5 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{16 \times 180 \times 172.5}{230.0} = 2160.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 150 \times 10 \times 820 &= 3000.0 \text{ mm}^2 \\ &= 3000.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 2160.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{16 \times 180 \times 172.5}{3000.00} = 165.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

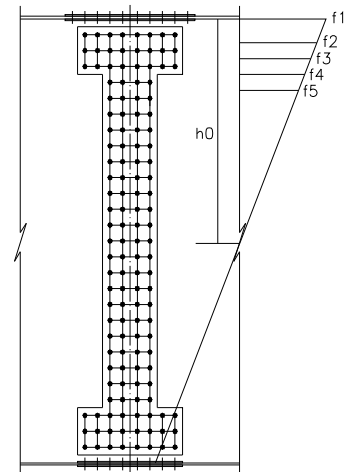
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3045	14	2400	4	280	10	2	2365	10	4	150	4	100	2	100	2	100	2	100	70

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에 의한 BOLT의 응력:

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

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



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

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

$$\text{제3열: } \frac{144.18 + 132.85}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 96957 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

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

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

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

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

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

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

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{3731.7 \times 1000}{2} + \frac{3584.9 \times 1000000}{2 \times 2414.0} \right] / 70 EA = 37263 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{96957^2 + 37263^2} = 103870.9 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{14 \times 3045^3}{12} + 14.0 \times 3045 \times (1522.5 - 1894.2)^2 = 38828667553 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{14 \times 3045^3}{12} + 14.0 \times 3045 \times (1894.2 - 1522.5)^2 = 38828667553 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{14 \times 3045^3}{12} + 14.0 \times 3045 \times (1598.1 - 1522.5)^2 = 33182514609 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 556.6 \times \frac{3.883E+10}{2.261E+11} = 95.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 3141.6 \times \frac{3.883E+10}{2.261E+11} = 539.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 13556.8 \times \frac{3.318E+10}{3.223E+11} = 1395.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 556.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 3141.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 13556.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 2.261E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 2.261E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 3.223E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성 후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성 후 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

$$I_{sw} = 41708671875 + 58500.0 \times (1522.5 - 1894.2)^2 = 4.979E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 41708671875 + 58500.0 \times (1894.2 - 1522.5)^2 = 4.979E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 41708671875 + 58500.0 \times (1598.1 - 1522.5)^2 = 4.204E+10 \text{ mm}^4$$

- 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1188.8 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1894.2 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1188.8 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1894.2 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1484.9 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1598.1 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{95.604 \times 1000000}{49791083940} \times 1188.8 \\ &+ \frac{539.604 \times 1000000}{49791083940} \times 1188.800 + \frac{1395.800 \times 1000000}{42043020435} \times 1484.900 \\ &= 2.283 + 12.883 + 49.298 = 64.464 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{95.604 \times 1000000}{49791083940} \times 1894.2 \\ &+ \frac{539.604 \times 1000000}{49791083940} \times 1894.200 + \frac{1395.800 \times 1000000}{42043020435} \times 1598.100 \\ &= 3.637 + 20.528 + 53.056 = 77.221 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S6-1 , S19-1 > : 68,3/4지점 (외측거더)

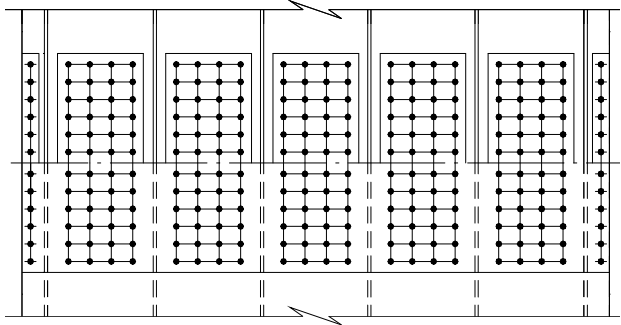
< 설계조건 >

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)	-7602.5	-19176.9	-8505.3	-16859.7	-499.2	-25864.2	-52643.6	164.5	-182.0
S(kN)	924.2	1706.8	822.4	1275.2	4.2	2101.8	4732.8	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-585.4	-682.4	-547.7	-2446.3	-45.7	-3039.7	-4307.5	HSB500	230
Ysl(mm)	1634.6	1634.6	1815.0				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	4.781E+11	4.781E+11	5.578E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

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

· f_s = 182.0 MPa
· f_{s_min} = 0.75 × 230 = 172.5 MPa
∴ 이음부의 설계응력 (f_{s'})은 182.0 MPa 을 적용한다. (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	총	횡	총수
2600	22	2	80	12	820	5	324	12	820	1	2300	12	820	5	20	100



① 필요 BOLT수의 결정 :

· n_{req} = $\frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}}$ = $\frac{22 \times 2600 \times 182.0}{126000.0}$ ≒ 83 EA ⇒ n = 100 EA 사용 0.K

② 이음판의 결정 :

· 필요단면적: A_{req} = $\frac{22 \times 2600 \times 182.0}{230.0}$ = 45273.8 mm²
· 사용이음판: 2-PL 80 × 12 × 820 = 1920.0 mm²
5-PL 324 × 12 × 820 = 19440.0 mm²
1-PL 2300 × 12 × 820 = 27600.0 mm²
Σ = 48960.0 mm² > A_{req} = 45273.8 mm² 0.K

· 이음판응력: f_s = $\frac{22 \times 2600 \times 182.0}{48960.0}$ = 212.7 MPa < f_{sa} = 230 MPa 0.K

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{22 \times 2600 \times 182.0}{100 \text{ EA}} = 104129.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{9.242E+05 \times 9.287E+07}{4.78147E+11} + \frac{1.707E+06 \times 9.287E+07}{4.78147E+11} \right] + \left[\frac{2.102E+06 \times 1.032E+08}{5.57798E+11} \right] \times \frac{130.0}{5 \text{ EA}} = 23396 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 22 \times (1634.60 - 11.0) = 92869920 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2600.0 \times 22 \times (1634.60 - 11.0) = 92869920 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2600.0 \times 22 \times (1815.00 - 11.0) = 103188800 \text{ mm}^3$$

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

$$(I_s = 4.78147E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 4.78147E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 5.57798E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 20 = 130.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(104129.7^2 + 23395.6^2)} = 106725.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

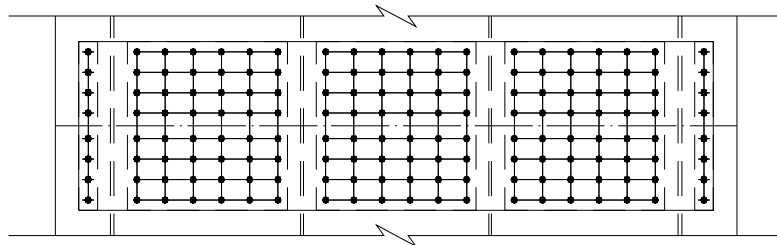
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 164.5 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 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
2900	24	2	80	16	980	3	680	16	980	1	2700	16	980	6	20	120



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{24 \times 2900 \times 172.5}{126000.0} \approx 96 \text{ EA} \Rightarrow n = 120 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{24 \times 2900 \times 172.5}{230.0} = 52200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 16 \times 980 = 2560.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 16 \times 980 = 32640.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2700 \times 16 \times 980 = 43200.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 78400.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 78400 - 25.0 \times 16.0 \times 20 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 62400.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 52200.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{24 \times 2900 \times 172.5}{62400.0} = 192.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{24 \times 2900.0 \times 172.5}{120 \text{ EA}} = 100050.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{9.242E+05 \times 1.167E+08}{4.78147E+11} + \frac{1.707E+06 \times 1.167E+08}{4.78147E+11} \right] \\ + \left[\frac{2.102E+06 \times 1.041E+08}{5.57798E+11} \right] \times \frac{145.0}{6 \text{ EA}} = 24997 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2900.0 \times 24 \times (1688.4 - 12.0) = 116677440 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2900.0 \times 24 \times (1688.4 - 12.0) = 116677440 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2900.0 \times 24 \times (1508.0 - 12.0) = 104121600 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 4.78147E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 4.78147E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 5.57798E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2900 / 20 = 145.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(100050.0^2 + 24996.7^2)} = 103125.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

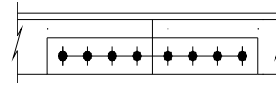
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 24 \times 2900 = 69600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 24 \times (2900 - 25 \times 20) = 57600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{69600.0 \times 172.5}{57600.0} = 208.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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	180	12	630	4	2	8



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{\text{req}} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{20 \times 220 \times 182.0}{126000.0} \approx 6.4 \text{ EA} \Rightarrow n = 8 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} &= \frac{20 \times 220 \times 182.0}{230.0} = 3482.6 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 180 \times 12 \times 630 &= 4320.0 \text{ mm}^2 \\ &= 4320.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 3482.6 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{20 \times 220 \times 182.0}{4320.00} = 185.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

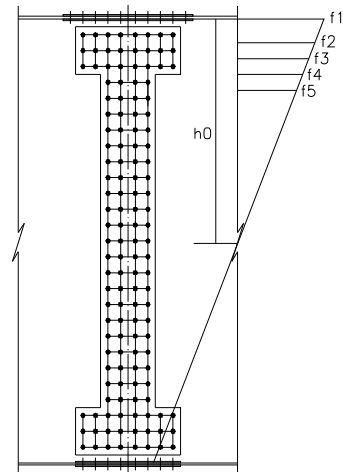
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3277	16	2400	4	280	10	2	2597	10	4	150	4	100	4	100	3	100	3	100	102

① BOLT의 응력계산 :

· 힘에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1683 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 182.045 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 165.816 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 154.997 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 144.178 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 133.359 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 122.539 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열: } \frac{182.05 + 165.82}{2} \times 150.0 \times 16.0 / 4EA = 104358 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열: } \frac{165.82 + 155.00}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 64163 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열: } \frac{155.00 + 144.18}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 59835 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열: } \frac{144.18 + 133.36}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 74010 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{133.36 + 122.54}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 68240 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 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

$$\rho_s = \left[\frac{4732.8 \times 1000}{2} + \frac{4307.5 \times 1000000}{2 \times 2416.0} \right] / 102 EA = 31940 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{104358^2 + 31940^2} = 109136.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{16 \times 3277^3}{12} + 16.0 \times 3277 \times (1638.5 - 1634.6)^2 = 46921884068 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{16 \times 3277^3}{12} + 16.0 \times 3277 \times (1634.6 - 1638.5)^2 = 46921884068 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{16 \times 3277^3}{12} + 16.0 \times 3277 \times (1815.0 - 1638.5)^2 = 48554461349 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 7602.5 \times \frac{4.692E+10}{4.781E+11} = 746.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 19176.9 \times \frac{4.692E+10}{4.781E+11} = 1881.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 25864.2 \times \frac{4.855E+10}{5.578E+11} = 2251.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 7602.5 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 19176.9 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 25864.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 4.781E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 4.781E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 5.578E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 52441184822 + 63140.0 \times (1638.5 - 1634.6)^2 = 5.244E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 52441184822 + 63140.0 \times (1634.6 - 1638.5)^2 = 5.244E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 52441184822 + 63140.0 \times (1815.0 - 1638.5)^2 = 5.441E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1688.4 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1634.6 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1688.4 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1634.6 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1508.0 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1815.0 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{746.053 \times 1000000}{52442145181} \times 1688.4 \\ &+ \frac{1881.881 \times 1000000}{52442145181} \times 1688.400 + \frac{2251.394 \times 1000000}{54408137887} \times 1508.000 \\ &= 24.020 + 60.588 + 62.401 = 147.008 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{746.053 \times 1000000}{52442145181} \times 1634.6 \\ &+ \frac{1881.881 \times 1000000}{52442145181} \times 1634.600 + \frac{2251.394 \times 1000000}{54408137887} \times 1815.000 \\ &= 23.254 + 58.657 + 75.104 = 157.016 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S7-1 , S18-1 > : 70,1/4지점 (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)	-16138.7	-32816.8	-15235.5	-24537.0	-510.7	-40283.2	-89238.6	163.1	-141.2
S(kN)	1338.5	1836.6	910.0	1629.9	6.2	2546.1	5721.3	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-610.2	-753.6	-311.0	-2702.5	-28.2	-3041.7	-4405.5	HSB500	230
Ysl(mm)	2042.6	1413.6	1530.6				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	7.454E+11	1.102E+12	1.238E+12				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

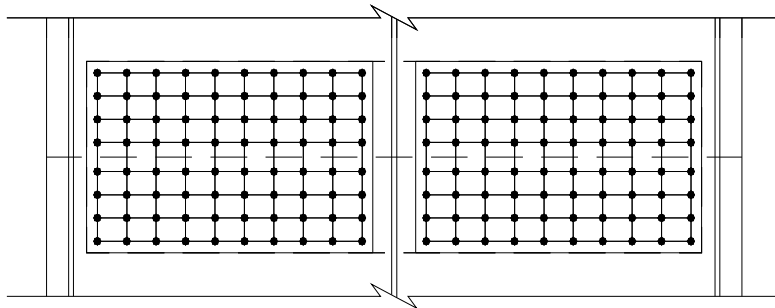
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 141.2 \text{ MPa}$$

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

∴ 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	
2600	28	0	80	14	980	2	1070	14	980	1	2300	14	980	6	20	120	



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{126000.0} \approx 100 \text{ EA} \Rightarrow n = 120 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{230.0} = 54600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 14 \times 980 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$2\text{-PL } 1070 \times 14 \times 980 = 29960.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2300 \times 14 \times 980 = 32200.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 62160.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 54600.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{62160.0} = 202.0 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{120 \text{ EA}} = 104650.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.339E+06 \times 1.477E+08}{7.45370E+11} + \frac{1.837E+06 \times 1.019E+08}{1.10215E+12} \right] + \left[\frac{2.546E+06 \times 1.104E+08}{1.23772E+12} \right] \times \frac{130.0}{6 \text{ EA}} = 14346 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 28 \times (2042.60 - 14.0) = 147682080 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2600.0 \times 28 \times (1413.60 - 14.0) = 101890880 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2600.0 \times 28 \times (1530.60 - 14.0) = 110408480 \text{ mm}^3$$

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

$$(I_s = 7.45370E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.10215E+12 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 1.23772E+12 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 20 = 130.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(104650.0^2 + 14346.0^2)} = 105628.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

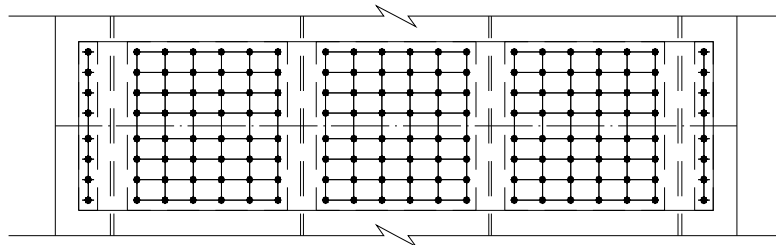
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 163.1 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 172.5 MPa 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
2900	40	2	80	26	1460	3	680	26	1460	1	2700	26	1460	9	20	180



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{40 \times 2900 \times 172.5}{126000.0} \approx 159 \text{ EA} \Rightarrow n = 180 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{40 \times 2900 \times 172.5}{230.0} = 87000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 26 \times 1460 = 4160.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 26 \times 1460 = 53040.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2700 \times 26 \times 1460 = 70200.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 127400.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 127400 - 25.0 \times 26.0 \times 20 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 101400.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 87000.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{40 \times 2900 \times 172.5}{101400.0} = 197.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{40 \times 2900.0 \times 172.5}{180 \text{ EA}} = 111166.7 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.339E+06 \times 1.834E+08}{7.45370E+11} + \frac{1.837E+06 \times 2.564E+08}{1.10215E+12} \right] \\ + \left[\frac{2.546E+06 \times 2.428E+08}{1.23772E+12} \right] \times \frac{145.0}{9.0 \text{ EA}} = 20239 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2900.0 \times 40 \times (1601.4 - 20.0) = 183442400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2900.0 \times 40 \times (2230.4 - 20.0) = 256406400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2900.0 \times 40 \times (2113.4 - 20.0) = 242834400 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 7.45370E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.10215E+12 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 1.23772E+12 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2900 / 20 = 145.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(111166.7^2 + 20239.4^2)} = 112994.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

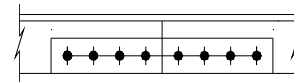
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 40 \times 2900 = 116000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 40 \times (2900 - 25 \times 20) = 96000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{116000.0 \times 172.5}{96000.0} = 208.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판				하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
280	20	2	210	12	630	4	2	8



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{20 \times 280 \times 172.5}{126000.0} \approx 7.7 \text{ EA} \Rightarrow n = 8 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{20 \times 280 \times 172.5}{230.0} = 4200.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 210 \times 12 \times 630 &= 5040.0 \text{ mm}^2 \\ &= 5040.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 4200.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{20 \times 280 \times 172.5}{5040.00} = 191.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

(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	630	4	1	4

① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 120 \times 172.5}{126000.0} \approx 2.0 \text{ EA} \Rightarrow n = 4 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 120 \times 172.5}{230.0} = 1080.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 100 \times 10 \times 630 &= 2000.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적: (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2000 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 1500.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1080.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 120 \times 172.5}{1500.00} = 165.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

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	18	2400	4	280	10	2	2896	10	4	150	4	100	3	100	3	100	3	100	111

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에 의한 BOLT의 응력:

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

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

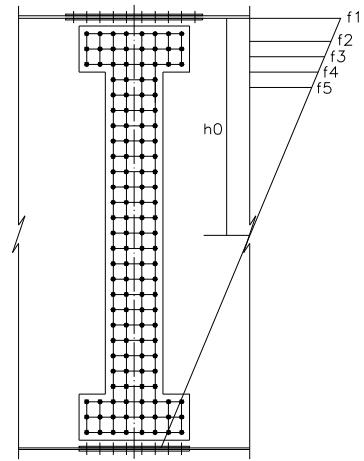
$$f_2 = f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 158.029 \text{ MPa}$$

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

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

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

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



$$\text{제1열} : \frac{172.50 + 158.03}{2} \times 150.0 \times 18.0 / 4EA = 111554 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제2열} : \frac{158.03 + 148.38}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 4EA = 68942 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제3열} : \frac{148.38 + 138.73}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 3EA = 86134 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제4열} : \frac{138.73 + 129.09}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 3EA = 80346 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제5열} : \frac{129.09 + 119.44}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 3EA = 74557 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

- 한쪽 복부판이 부담하는 전단력: $(S_s + S_v) / 2$

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

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

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{5721.3 \times 1000}{2} + \frac{4405.5 \times 1000000}{2 \times 2418.0} \right] / 111 EA = 33979 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{111554^2 + 33979^2} = 116613.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{18 \times 3576^3}{12} + 18.0 \times 3576 \times (1788.0 - 2042.6)^2 = 72766038891 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{18 \times 3576^3}{12} + 18.0 \times 3576 \times (1413.6 - 1788.0)^2 = 77616438036 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{18 \times 3576^3}{12} + 18.0 \times 3576 \times (1530.6 - 1788.0)^2 = 72858316856 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강제보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 16138.7 \times \frac{7.277E+10}{7.454E+11} = 1575.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 32816.8 \times \frac{7.762E+10}{1.102E+12} = 2311.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 40283.2 \times \frac{7.286E+10}{1.238E+12} = 2371.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 16138.7 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 32816.8 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 40283.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 7.454E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.102E+12 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 1.238E+12 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 68797071360 + 69120.0 \times (1788.0 - 2042.6)^2 = 7.328E+10 \text{ mm}^4$$
- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 68797071360 + 69120.0 \times (1413.6 - 1788.0)^2 = 7.849E+10 \text{ mm}^4$$
- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 68797071360 + 69120.0 \times (1530.6 - 1788.0)^2 = 7.338E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1601.4 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 2042.6 \text{ mm}$$
- Y_{vu}, Y_{vl} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 2230.4 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1413.6 \text{ mm}$$
- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 2113.4 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1530.6 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$f_u = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{vu} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{1575.521 \times 1000000}{73277509939} \times 1601.4$$

$$+ \frac{2311.054 \times 1000000}{78485992243} \times 2230.400 + \frac{2371.276 \times 1000000}{73376600371} \times 2113.400$$

$$= 34.431 + 65.675 + 68.298 = 168.404 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$f_l = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{vl} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{1575.521 \times 1000000}{73277509939} \times 2042.6$$

$$+ \frac{2311.054 \times 1000000}{78485992243} \times 1413.600 + \frac{2371.276 \times 1000000}{73376600371} \times 1530.600$$

$$= 43.917 + 41.624 + 49.464 = 135.005 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

◎ 이음번호 < S8-1 , S17-1 > : 71,3/4지점 (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)	-17409.7	-34605.3	-16225.4	-25408.9	-488.8	-42123.1	-94138.0	174.1	-154.6
S(kN)	-1321.8	-1746.0	-832.7	-1620.8	-3.9	-2457.4	-5525.3	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-425.7	-644.7	-207.9	-2349.4	-6.9	-2564.2	-3634.6	HSB500	230
Ysl(mm)	2026.1	1429.6	1550.9				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	7.278E+11	1.064E+12	1.197E+12				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

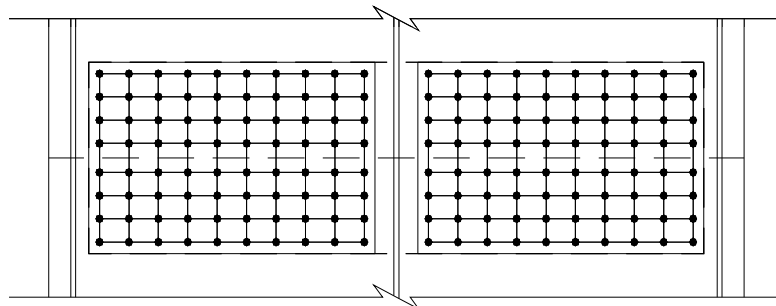
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 154.6 \text{ MPa}$$

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

∴ 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	
2600	28	0	80	14	980	2	1070	14	980	1	2300	14	980	6	20	120	



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{126000.0} \approx 100 \text{ EA} \Rightarrow n = 120 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{230.0} = 54600.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 14 \times 980 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$2\text{-PL } 1070 \times 14 \times 980 = 29960.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2300 \times 14 \times 980 = 32200.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 62160.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 54600.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{62160.0} = 202.0 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{28 \times 2600 \times 172.5}{120 \text{ EA}} = 104650.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_{v1} Q_{v1}}{I_{v1}} + \frac{S_{v2} Q_{v2}}{I_{v2}} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.322E+06 \times 1.465E+08}{7.27756E+11} + \frac{1.746E+06 \times 1.031E+08}{1.06397E+12} \right] + \left[\frac{2.457E+06 \times 1.119E+08}{1.19654E+12} \right] \times \frac{130.0}{6 \text{ EA}} = 14408 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 28 \times (2026.10 - 14.0) = 146480880 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v1} = 2600.0 \times 28 \times (1429.60 - 14.0) = 103055680 \text{ mm}^3$$

$$Q_{v2} = 2600.0 \times 28 \times (1550.90 - 14.0) = 111886320 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 7.27756E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.06397E+12 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 1.19654E+12 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 20 = 130.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(104650.0^2 + 14407.5^2)} = 105637.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

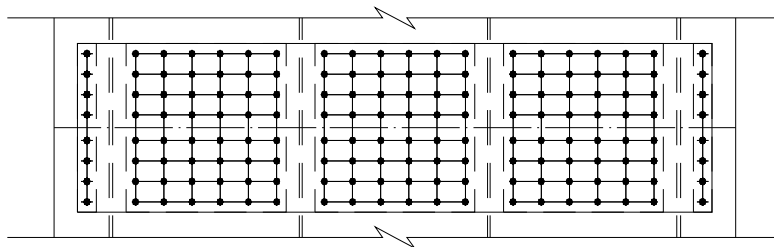
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 174.1 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 174.1 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
2900	40	2	80	26	1460	3	680	26	1460	1	2700	26	1460	9	20	180



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{40 \times 2900 \times 174.1}{126000.0} \approx 161 \text{ EA} \Rightarrow n = 180 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{40 \times 2900 \times 174.1}{230.0} = 87801.9 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 26 \times 1460 = 4160.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 26 \times 1460 = 53040.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2700 \times 26 \times 1460 = 70200.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 127400.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 127400 - 25.0 \times 26.0 \times 20 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 101400.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 87801.9 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{40 \times 2900 \times 174.1}{101400.0} = 199.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{40 \times 2900.0 \times 174.1}{180 \text{ EA}} = 112191.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{1.322E+06 \times 1.819E+08}{7.27756E+11} + \frac{1.746E+06 \times 2.511E+08}{1.06397E+12} \right] \\ + \left[\frac{2.457E+06 \times 2.370E+08}{1.19654E+12} \right] \times \frac{145.0}{9.0 \text{ EA}} = 19802 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2900.0 \times 40 \times (1587.9 - 20.0) = 181876400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2900.0 \times 40 \times (2184.4 - 20.0) = 251070400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2900.0 \times 40 \times (2063.1 - 20.0) = 236999600 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 7.27756E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.06397E+12 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 1.19654E+12 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2900 / 20 = 145.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(112191.3^2 + 19802.2^2)} = 113925.6 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

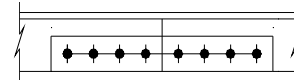
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 40 \times 2900 = 116000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 40 \times (2900 - 25 \times 20) = 96000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{116000.0 \times 174.1}{96000.0} = 210.4 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판				하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡	총수
280	20	2	210	12	630	4	2	8



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{20 \times 280 \times 172.5}{126000.0} \approx 7.7 \text{ EA} \Rightarrow n = 8 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{20 \times 280 \times 172.5}{230.0} = 4200.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 210 \times 12 \times 630 &= 5040.0 \text{ mm}^2 \\ &= 5040.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 4200.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{20 \times 280 \times 172.5}{5040.00} = 191.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

(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	630	4	1	4

① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{12 \times 120 \times 174.1}{126000.0} \approx 2.0 \text{ EA} \Rightarrow n = 4 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{12 \times 120 \times 174.1}{230.0} = 1090.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 100 \times 10 \times 630 &= 2000.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{이음판의 순단면적: (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)} \\ A_n &= 2000 - 25.0 \times 10 \times 1 \text{ 열} \times 2 \text{ EA} \\ &= 1500.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 1090.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{12 \times 120 \times 174.1}{1500.00} = 167.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

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	18	2400	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: $h_0 = 1781 \text{ mm}$

$$f_1 = f_s' = 174.090 \text{ MPa}$$

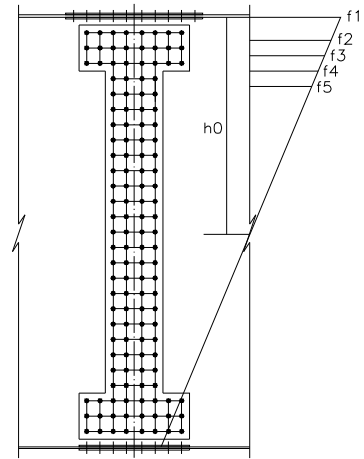
$$f_2 = f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 159.429 \text{ MPa}$$

$$f_3 = f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 149.655 \text{ MPa}$$

$$f_4 = f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 139.881 \text{ MPa}$$

$$f_5 = f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 130.106 \text{ MPa}$$

$$f_6 = f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 120.332 \text{ MPa}$$



$$\text{제1열} : \frac{174.09 + 159.43}{2} \times 150.0 \times 18.0 / 4EA = 112563 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제2열} : \frac{159.43 + 149.66}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 4EA = 69544 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제3열} : \frac{149.66 + 139.88}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 4EA = 65146 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제4열} : \frac{139.88 + 130.11}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 3EA = 80996 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

$$\text{제5열} : \frac{130.11 + 120.33}{2} \times 100.0 \times 18.0 / 3EA = 75131 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 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

$$\rho_s = \left[\frac{5525.3 \times 1000}{2} + \frac{3634.6 \times 1000000}{2 \times 2418.0} \right] / 108 EA = 32539 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{112563^2 + 32539^2} = 117171.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \text{ 0.K}$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{18 \times 3546^3}{12} + 18.0 \times 3546 \times (1773.0 - 2026.1)^2 = 70970519791 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{18 \times 3546^3}{12} + 18.0 \times 3546 \times (1429.6 - 1773.0)^2 = 74408547992 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{18 \times 3546^3}{12} + 18.0 \times 3546 \times (1550.9 - 1773.0)^2 = 70030256757 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강제보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 17409.7 \times \frac{7.097E+10}{7.278E+11} = 1697.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 34605.3 \times \frac{7.441E+10}{1.064E+12} = 2420.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 42123.1 \times \frac{7.003E+10}{1.197E+12} = 2465.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 17409.7 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 34605.3 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 42123.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 7.278E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.064E+12 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 1.197E+12 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 67020987960 + 68520.0 \times (1773.0 - 2026.1)^2 = 7.141E+10 \text{ mm}^4$$
- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 67020987960 + 68520.0 \times (1429.6 - 1773.0)^2 = 7.510E+10 \text{ mm}^4$$
- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 67020987960 + 68520.0 \times (1550.9 - 1773.0)^2 = 7.040E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1587.9 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 2026.1 \text{ mm}$$
- Y_{v1u}, Y_{v1l} : 단일합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 2184.4 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1429.6 \text{ mm}$$
- Y_{v2u}, Y_{v2l} : 이중합성단면의 중립축에서 이음판 상, 하연까지의 거리

$$Y_{vu} = 2063.1 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1550.9 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$f_u = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{1697.792 \times 1000000}{71410352437} \times 1587.9$$

$$+ \frac{2420.116 \times 1000000}{75101110291} \times 2184.400 + \frac{2465.358 \times 1000000}{70400970613} \times 2063.100$$

$$= 37.753 + 70.392 + 72.247 = 180.392 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$f_l = \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{1697.792 \times 1000000}{71410352437} \times 2026.1$$

$$+ \frac{2420.116 \times 1000000}{75101110291} \times 1429.600 + \frac{2465.358 \times 1000000}{70400970613} \times 1550.900$$

$$= 48.171 + 46.069 + 54.311 = 148.550 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K$$

◎ 이음번호 < S9-1 , S16-1 > : 73,1/4지점 (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)	-9500.3	-22359.3	-10360.8	-17188.2	-424.3	-27973.3	-59832.9	175.3	-158.9
S(kN)	-825.8	-1515.0	-727.6	-1266.8	-11.8	-2006.2	-4347.0	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	-101.2	-193.5	145.1	-1781.7	-10.9	-1647.5	-1942.2	HSB500	230
Ysl(mm)	1664.4	1116.4	1252.4				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	3.966E+11	5.838E+11	6.915E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

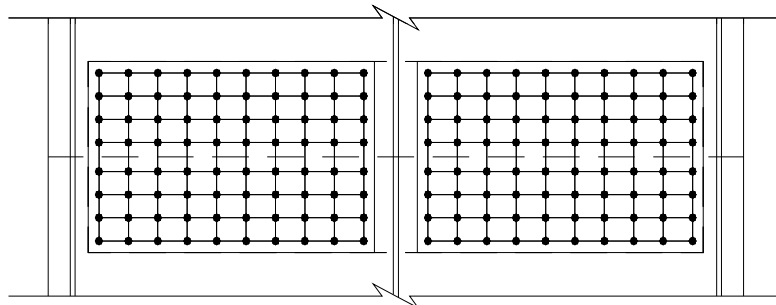
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 158.9 \text{ MPa}$$

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

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

제 원		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	
2600	22	0	80	12	820	2	1070	12	820	1	2300	12	820	5	20	100	



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{22 \times 2600 \times 172.5}{126000.0} \approx 79 \text{ EA} \Rightarrow n = 100 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{22 \times 2600 \times 172.5}{230.0} = 42900.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 12 \times 820 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$2\text{-PL } 1070 \times 12 \times 820 = 25680.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2300 \times 12 \times 820 = 27600.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 53280.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 42900.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{22 \times 2600 \times 172.5}{53280.0} = 185.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{22 \times 2600 \times 172.5}{100 \text{ EA}} = 98670.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{8.258E+05 \times 9.457E+07}{3.96569E+11} + \frac{1.515E+06 \times 6.323E+07}{5.83757E+11} \right] + \left[\frac{2.006E+06 \times 7.101E+07}{6.91466E+11} \right] \times \frac{130.0}{5 \text{ EA}} = 14743 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 22 \times (1664.40 - 11.0) = 94574480 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2600.0 \times 22 \times (1116.40 - 11.0) = 63228880 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2600.0 \times 22 \times (1252.40 - 11.0) = 71008080 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.96569E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 5.83757E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 6.91466E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 20 = 130.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(98670.0^2 + 14743.4^2)} = 99765.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

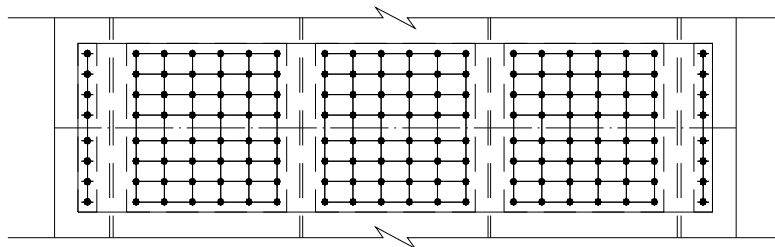
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 175.3 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 175.3 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
2900	28	2	80	18	1140	3	680	18	1140	1	2700	18	1140	7	20	140



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{28 \times 2900 \times 175.3}{126000.0} \approx 113 \text{ EA} \Rightarrow n = 140 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{28 \times 2900 \times 175.3}{230.0} = 61885.3 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 80 \times 18 \times 1140 = 2880.0 \text{ mm}^2$$

$$3\text{-PL } 680 \times 18 \times 1140 = 36720.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2700 \times 18 \times 1140 = 48600.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 88200.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 88200 - 25.0 \times 18.0 \times 20 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 70200.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 61885.3 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{28 \times 2900 \times 175.3}{70200.0} = 202.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{28 \times 2900.0 \times 175.3}{140 \text{ EA}} = 101668.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{8.258E+05 \times 1.138E+08}{3.96569E+11} + \frac{1.515E+06 \times 1.583E+08}{5.83757E+11} \right] \\ + \left[\frac{2.006E+06 \times 1.473E+08}{6.91466E+11} \right] \times \frac{145.0}{7 \text{ EA}} = 22270 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2900.0 \times 28 \times (1415.6 - 14.0) = 113809920 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2900.0 \times 28 \times (1963.6 - 14.0) = 158307520 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2900.0 \times 28 \times (1827.6 - 14.0) = 147264320 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 3.96569E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 5.83757E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 6.91466E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2900 / 20 = 145.0 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(101668.8^2 + 22270.1^2)} = 104079.3 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

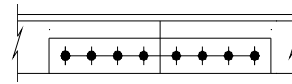
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 28 \times 2900 = 81200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 28 \times (2900 - 25 \times 20) = 67200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{81200.0 \times 175.3}{67200.0} = 211.8 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

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	180	12	630	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 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{req} &= \frac{20 \times 220 \times 172.5}{230.0} = 3300.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 180 \times 12 \times 630 &= 4320.0 \text{ mm}^2 \\ &= 4320.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 3300.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{20 \times 220 \times 172.5}{4320.00} = 175.7 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

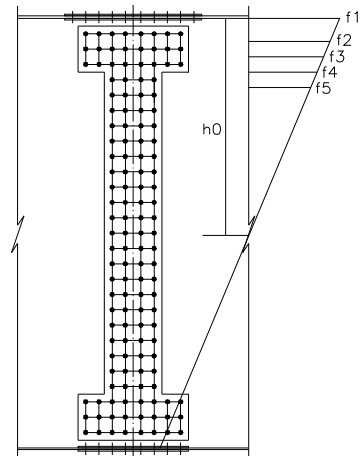
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	총수
3030	16	2400	4	280	10	2	2350	10	4	150	4	100	4	100	3	100	3	100	93

① BOLT의 응력계산 :

· 휨에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1527 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= f_s' = 175.291 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 158.074 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 146.595 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 135.117 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 123.639 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 112.161 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열: } \frac{175.29 + 158.07}{2} \times 150.0 \times 16.0 / 4EA = 100010 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열: } \frac{158.07 + 146.60}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 60934 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열: } \frac{146.60 + 135.12}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 4EA = 56342 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열: } \frac{135.12 + 123.64}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 69002 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열 : } \frac{123.64 + 112.16}{2} \times 100.0 \times 16.0 / 3EA = 62880 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

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

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

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

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{4347.0 \times 1000}{2} + \frac{1942.2 \times 1000000}{2 \times 2416.0} \right] / 93EA = 27693 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{100010^2 + 27693^2} = 103772.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{16 \times 3030^3}{12} + 16.0 \times 3030 \times (1515.0 - 1664.4)^2 = 38172927053 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{16 \times 3030^3}{12} + 16.0 \times 3030 \times (1116.4 - 1515.0)^2 = 44793433421 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{16 \times 3030^3}{12} + 16.0 \times 3030 \times (1252.4 - 1515.0)^2 = 40433956685 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 9500.3 \times \frac{3.817E+10}{3.966E+11} = 914.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 22359.3 \times \frac{4.479E+10}{5.838E+11} = 1715.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 27973.3 \times \frac{4.043E+10}{6.915E+11} = 1635.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 9500.3 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 22359.3 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 27973.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 3.966E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 5.838E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 6.915E+11 \text{ mm}^4$$

- M_{sw} : 복부판에 작용하는 합성전 사하중에 의한 모멘트

- M_{v1w} : 복부판에 작용하는 단일합성 후 하중에 의한 모멘트

- M_{v2w} : 복부판에 작용하는 이중합성 후 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

$$I_{sw} = 41070285000 + 58200.0 \times (1515.0 - 1664.4)^2 = 4.237E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 41070285000 + 58200.0 \times (1116.4 - 1515.0)^2 = 5.032E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 41070285000 + 58200.0 \times (1252.4 - 1515.0)^2 = 4.508E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1415.6 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1664.4 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1963.6 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1116.4 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1827.6 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1252.4 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{914.480 \times 1000000}{42369329952} \times 1415.6 \\ &+ \frac{1715.695 \times 1000000}{50317215072} \times 1963.600 + \frac{1635.759 \times 1000000}{45083684832} \times 1827.600 \\ &= 30.554 + 66.954 + 66.310 = 163.818 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{914.480 \times 1000000}{42369329952} \times 1664.4 \\ &+ \frac{1715.695 \times 1000000}{50317215072} \times 1116.400 + \frac{1635.759 \times 1000000}{45083684832} \times 1252.400 \\ &= 35.924 + 38.067 + 45.440 = 119.431 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

◎ 이음번호 < S10-1 , S15-1 > : 75,1/4지점 (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)	-3378.5	-8635.6	-3831.8	-9437.1	-293.3	-13562.2	-25576.3	179.4	-167.6
S(kN)	-426.4	-1131.8	-533.1	-1025.3	-13.9	-1572.3	-3130.6	사용강종	허용인장, f _{sa}
T(kN-m)	44.8	130.0	250.2	1592.9	19.3	1862.4	2037.3	HSB500	230
Ysl(mm)	1078.4	1078.4	1330.9				사용볼트	M 22 F 13 T (H.T.B)	
I _s (mm ⁴)	1.778E+11	1.778E+11	2.444E+11				ρ _{sa} (N)	63000 × 2 면 = 126000	

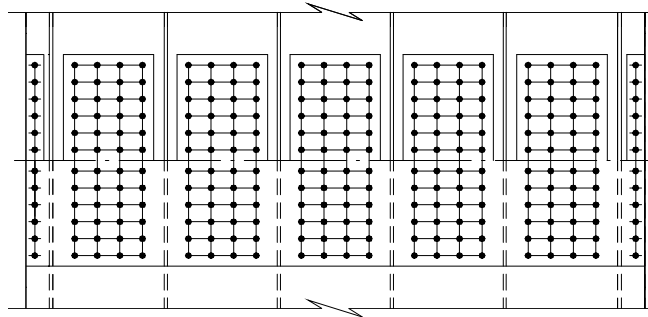
1) 압축부 플랜지의 이음 : (하부 플랜지) (도.설.해 3.5.3.6)

$$\cdot f_s = 167.6 \text{ MPa}$$

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

∴ 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
2600	18	0	80	10	820	5	380	10	820	1	2300	10	820	5	15	75



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{126000.0} \approx 65 \text{ EA} \Rightarrow n = 75 \text{ EA 사용 } 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{req} = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{230.0} = 35100.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 0\text{-PL } 80 \times 10 \times 820 = 0.0 \text{ mm}^2$$

$$5\text{-PL } 380 \times 10 \times 820 = 19000.0 \text{ mm}^2$$

$$1\text{-PL } 2300 \times 10 \times 820 = 23000.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 42000.0 \text{ mm}^2 > A_{req} = 35100.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{42000.0} = 192.2 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa } 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{18 \times 2600 \times 172.5}{75 \text{ EA}} = 107640.0 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{4.264E+05 \times 5.005E+07}{1.77791E+11} + \frac{1.132E+06 \times 5.005E+07}{1.77791E+11} \right] + \left[\frac{1.572E+06 \times 6.186E+07}{2.44386E+11} \right] \times \frac{173.3}{5 \text{ EA}} = 29005 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 2600.0 \times 18 \times (1078.40 - 9.0) = 50047920 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 2600.0 \times 18 \times (1078.40 - 9.0) = 50047920 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 2600.0 \times 18 \times (1330.90 - 9.0) = 61864920 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.77791E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.77791E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 2.44386E+11 \text{ mm}^4)$$

- p : 접합선방향 BOLT 평균 핏치(mm) = 플랜지 전폭 / 횡방향 볼트수 = $2600 / 15 = 173.3 \text{ mm}$

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(107640.0^2 + 29004.9^2)} = 111479.4 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

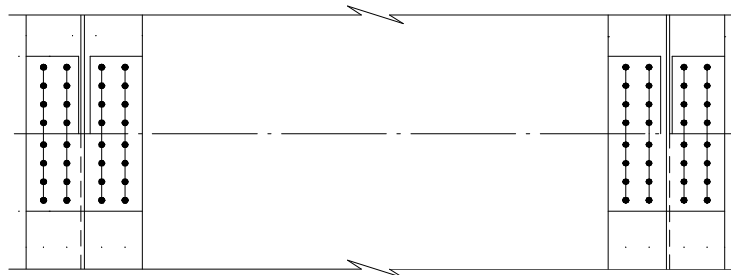
2) 인장부 플랜지의 이음 : (상부 플랜지)

$$\cdot f_s = 179.4 \text{ MPa}$$

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

∴ 이음부의 설계응력 (f_s')은 179.4 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
500	28	2	160	24	980	0	0	0	0	1	380	24	980	6	4	24



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{req} = \frac{A_s \cdot f_s'}{\rho_{sa}} = \frac{28 \times 500 \times 179.4}{126000.0} \approx 20 \text{ EA} \Rightarrow n = 24 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} = \frac{28 \times 500 \times 179.4}{230.0} = 10920.2 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 160 \times 24 \times 980 = 7680.0 \text{ mm}^2$$

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

$$1\text{-PL } 380 \times 24 \times 980 = 9120.0 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma = 16800.0 \text{ mm}^2$$

- 이음판의 순단면적 : (인장부의 순단면적은 BOLT 지름 공제)

$$A_n = 16800 - 25.0 \times 24.0 \times 4 \text{ 열} \times 2 \text{ EA}$$

$$= 12000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 10920.2 \text{ mm}^2 \quad 0.K$$

$$\cdot \text{이음판응력: } f_s = \frac{28 \times 500 \times 179.4}{12000.0} = 209.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

③ BOLT의 응력검토 :

· 직응력:

$$\rho_p = \frac{P}{n} = \frac{28 \times 500.0 \times 179.4}{24 \text{ EA}} = 104651.8 \text{ N/EA} < \rho_{sa} = 126000 \text{ MPa} \quad 0.K$$

· 휨 전단응력:

$$\rho_h = \left[\frac{S_s Q_s}{I_s} + \frac{S_v1 Q_v1}{I_v1} + \frac{S_v2 Q_v2}{I_v2} \right] \times \frac{p}{n} = \left[\frac{4.264E+05 \times 2.181E+07}{1.77791E+11} + \frac{1.132E+06 \times 2.181E+07}{1.77791E+11} \right] \\ + \left[\frac{1.572E+06 \times 1.827E+07}{2.44386E+11} \right] \times \frac{125.0}{6 \text{ EA}} = 6431 \text{ N/EA}$$

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

$$Q_s = 500.0 \times 28 \times (1571.6 - 14.0) = 21806400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v1 = 500.0 \times 28 \times (1571.6 - 14.0) = 21806400 \text{ mm}^3$$

$$Q_v2 = 500.0 \times 28 \times (1319.1 - 14.0) = 18271400 \text{ mm}^3$$

- I_s, I_v : 합성전 및 합성후의 중립축에대한 총단면의 단면2차모멘트

$$(I_s = 1.77791E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v1 = 1.77791E+11 \text{ mm}^4, \quad I_v2 = 2.44386E+11 \text{ mm}^4)$$

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

- n : 접합선직각의 BOLT의 갯수

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_h^2)} = \sqrt{(104651.8^2 + 6430.8^2)} = 104849.2 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

④ 모재의 응력검토 :

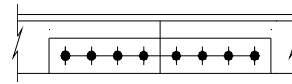
$$\cdot \text{플랜지의 총단면적: } A_s = 28 \times 500 = 14000.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{볼트 구멍을 공제한 플랜지의 순단면적: } A_{sn} = 28 \times (500 - 25 \times 4) = 11200.0 \text{ mm}^2$$

$$\cdot \text{모재의 응력: } f_s = \frac{14000.0 \times 179.4}{11200.0} = 224.3 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K$$

3) 압축부 RIB의 이음 : (하부 RIB)

제 원		하면 이음판			하면 볼트 개수		
폭	두께	개수	폭	두께	길이	종	횡
180	16	2	150	10	660	4	1
					총수		
					4		



① 필요 BOLT수의 결정 :

$$\cdot n_{\text{req}} = \frac{As \cdot fs'}{\rho_{sa}} = \frac{16 \times 180 \times 172.5}{126000.0} \approx 3.9 \text{ EA} \Rightarrow n = 4 \text{ EA 사용} \quad 0.K$$

② 이음판의 결정 :

$$\begin{aligned} \cdot \text{필요단면적: } A_{\text{req}} &= \frac{16 \times 180 \times 172.5}{230.0} = 2160.0 \text{ mm}^2 \\ \cdot \text{사용이음판: } 2\text{-PL } 150 \times 10 \times 660 &= 3000.0 \text{ mm}^2 \\ &= 3000.0 \text{ mm}^2 > A_{\text{req}} = 2160.0 \text{ mm}^2 \quad 0.K \\ \cdot \text{이음판응력: } f_s &= \frac{16 \times 180 \times 172.5}{3000.00} = 165.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 230 \text{ MPa} \quad 0.K \end{aligned}$$

4) WEB 연결부의 계산 :

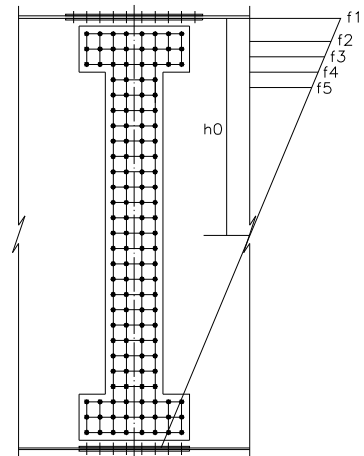
제 원			상하 이음판			중앙 이음판			볼트 개수 및 간격										총수
폭	두께	간격	개수	폭	두께	개수	폭	두께	1열	간격	2열	간격	3열	간격	4열	간격	5열	간격	
2604	14	2400	4	280	10	2	1924	10	4	150	4	100	2	100	2	100	2	100	62

① BOLT의 응력계산 :

· 힘에 의한 BOLT의 응력:

$$\text{중립축에서 연단까지의 거리: } h_0 = 1328 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} f_1 &= fs' = 179.403 \text{ MPa} \\ f_2 &= f_1 \cdot (h_0 - 150) / h_0 = 159.132 \text{ MPa} \\ f_3 &= f_1 \cdot (h_0 - 250) / h_0 = 145.618 \text{ MPa} \\ f_4 &= f_1 \cdot (h_0 - 350) / h_0 = 132.104 \text{ MPa} \\ f_5 &= f_1 \cdot (h_0 - 450) / h_0 = 118.590 \text{ MPa} \\ f_6 &= f_1 \cdot (h_0 - 550) / h_0 = 105.076 \text{ MPa} \end{aligned}$$



$$\text{제1열 : } \frac{179.40 + 159.13}{2} \times 150.0 \times 14.0 / 4EA = 88865 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제2열 : } \frac{159.13 + 145.62}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 4EA = 53331 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제3열 : } \frac{145.62 + 132.10}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 97203 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제4열 : } \frac{132.10 + 118.59}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 87743 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

$$\text{제5열} : \frac{118.59 + 105.08}{2} \times 100.0 \times 14.0 / 2EA = 78283 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 전단력에 의한 BOLT의 응력:

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

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

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

따라서, 전단력에 의한 볼트의 응력은

$$\rho_s = \left[\frac{3130.6 \times 1000}{2} + \frac{2037.3 \times 1000000}{2 \times 2414.0} \right] / 62EA = 32053 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

· 합성응력의 검토:

$$\rho = \sqrt{(\rho_p^2 + \rho_s^2)} = \sqrt{97203^2 + 32053^2} = 102351.1 \text{ N/EA} < \rho_{sa} \quad 0.K$$

② 이음판의 응력계산

· 복부판의 단면2차모멘트:

$$I_{sw}' = \frac{14 \times 2604^3}{12} + 14.0 \times 2604 \times (1302.0 - 1078.4)^2 = 22422808182 \text{ mm}^4$$

$$I_{v1w}' = \frac{14 \times 2604^3}{12} + 14.0 \times 2604 \times (1078.4 - 1302.0)^2 = 22422808182 \text{ mm}^4$$

$$I_{v2w}' = \frac{14 \times 2604^3}{12} + 14.0 \times 2604 \times (1330.9 - 1302.0)^2 = 20630567424 \text{ mm}^4$$

여기서,

- I_{sw}' : 강재보단면의 단면2차모멘트

- I_{v1w}' : 단일합성단면의 단면2차모멘트

- I_{v2w}' : 이중합성단면의 단면2차모멘트

· 복부판에 작용하는 모멘트:

$$M_{sw} = M_s \cdot \frac{I_{sw}'}{I_s} = 3378.5 \times \frac{2.242E+10}{1.778E+11} = 426.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v1w} = M_{v1} \cdot \frac{I_{sv1}'}{I_{v1}} = 8635.6 \times \frac{2.242E+10}{1.778E+11} = 1089.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{v2w} = M_{v2} \cdot \frac{I_{sv2}'}{I_{v2}} = 13562.2 \times \frac{2.063E+10}{2.444E+11} = 1144.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

여기서,

$$M_s = 3378.5 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v1} = 8635.6 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_{v2} = 13562.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$I_s = 1.778E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v1} = 1.778E+11 \text{ mm}^4, \quad I_{v2} = 2.444E+11 \text{ mm}^4$$

- 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

$$I_{sw} = 25544859840 + 49680.0 \times (1302.0 - 1078.4)^2 = 2.803E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v1w} : 단일합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v1w} = 25544859840 + 49680.0 \times (1078.4 - 1302.0)^2 = 2.803E+10 \text{ mm}^4$$

- I_{v2w} : 이중합성단면의 중립축에 대한 이음판의 총단면2차모멘트

$$I_{v2w} = 25544859840 + 49680.0 \times (1330.9 - 1302.0)^2 = 2.559E+10 \text{ mm}^4$$

· 이음판의응력:

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

$$Y_{su} = 1571.6 \text{ mm} \quad Y_{sl} = 1078.4 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1571.6 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1078.4 \text{ mm}$$

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

$$Y_{vu} = 1319.1 \text{ mm} \quad Y_{vl} = 1330.9 \text{ mm}$$

- f_u : 이음판의 상연응력

$$\begin{aligned} f_u &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{su} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1u} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2u} = \frac{426.090 \times 1000000}{28028708813} \times 1571.6 \\ &+ \frac{1089.113 \times 1000000}{28028708813} \times 1571.600 + \frac{1144.896 \times 1000000}{25586353073} \times 1319.100 \\ &= 23.891 + 61.068 + 59.025 = 143.984 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

- f_l : 이음판의 하연응력

$$\begin{aligned} f_l &= \frac{M_{sw}}{I_{sw}} \cdot Y_{sl} + \frac{M_{v1w}}{I_{v1w}} \cdot Y_{v1l} + \frac{M_{v2w}}{I_{v2w}} \cdot Y_{v2l} = \frac{426.090 \times 1000000}{28028708813} \times 1078.4 \\ &+ \frac{1089.113 \times 1000000}{28028708813} \times 1078.400 + \frac{1144.896 \times 1000000}{25586353073} \times 1330.900 \\ &= 16.394 + 41.903 + 59.553 = 117.850 \text{ MPa} < f_{sa} \quad 0.K \end{aligned}$$

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)

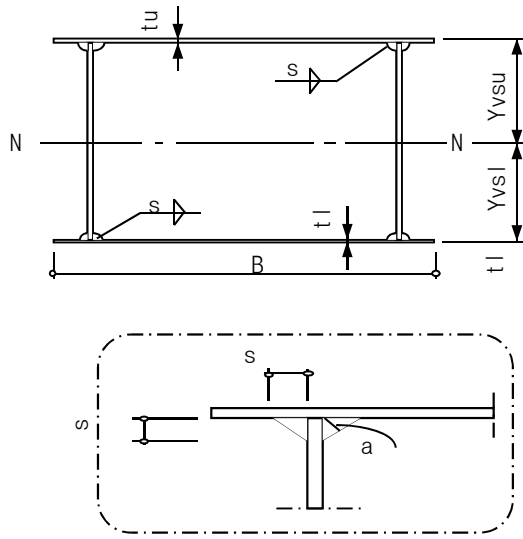
6.3.1 플랜지와 복부판의 용접부 검토

1) 필렛용접 치수 검토

tu : 상부 플랜지 두께, tl : 하부 플랜지 두께, tw : 복부판 두께 (단위 : mm)

구 분	모재의 사용두께			상부 플랜지와 복부판				하부 플랜지와 복부판			
	tu	tl	tw	Smin	Smax	Suse	판정	Smin	Smax	Suse	판정
단면1	18	12	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK
단면2	26	24	12	7.2	12	8	OK	6.9	12	8	OK
단면3	30	24	12	7.7	12	8	OK	6.9	12	8	OK
단면4	36	32	12	8.5	12	10	OK	8.0	12	8	OK
단면5	30	26	12	7.7	12	8	OK	7.2	12	8	OK
단면6	20	18	14	6.3	14	8	OK	6.0	14	6	OK
단면7	20	18	16	6.3	16	8	OK	6.0	16	6	OK
단면8	20	18	16	6.3	16	8	OK	6.0	16	6	OK
단면9	24	22	16	6.9	16	8	OK	6.6	16	8	OK
단면10	24	22	16	6.9	16	8	OK	6.6	16	8	OK
단면11	40	28	18	8.9	18	10	OK	7.5	18	8	OK
단면12	28	22	16	7.5	16	8	OK	6.6	16	8	OK
단면13	28	22	16	7.5	16	8	OK	6.6	16	8	OK
단면14	28	22	16	7.5	16	8	OK	6.6	16	8	OK
단면15	28	18	14	7.5	14	8	OK	6.0	14	6	OK
단면16	18	14	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK
단면17	18	12	12	6.0	12	6	OK	6.0	12	6	OK

2) 용접부의 응력 검토



- 용접부에 작용하는 전단응력(용접강도로고 표준시방서 P26)

$$u = \frac{S \cdot Q}{I_v \cdot \sum a} < u_a$$

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 (mm^3) = $A(\text{mm}^2) \cdot y(\text{mm})$

$y = Y_{vsu}(l) - t(l)/2$

I_v : 총단면의 중립축에 관한 단면 2차 모멘트 (mm^4)

$\sum a$: 필렛 용접의 목두께의 합 (mm) = $4EA \times s \sqrt{2}$

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)	$\sum a$ (mm)	u (MPa)	u_a (MPa)	비고
단면1	-2726.8	18	500	9000	530	4.690E+06	4.428E+11	6	17	-1.7	135	OK
단면2	-2049.7	26	500	13000	728	9.291E+06	6.254E+11	8	23	-1.3	135	OK
단면3	-1555.4	30	600	18000	711	1.253E+07	6.307E+11	8	23	-1.4	135	OK
단면4	817.6	36	600	21600	817	1.727E+07	7.431E+11	10	28	0.7	135	OK
단면5	1575.5	30	600	18000	741	1.308E+07	6.585E+11	8	23	1.4	135	OK
단면6	2418.4	20	500	10000	665	6.549E+06	5.542E+11	8	23	1.3	135	OK
단면7	4027.8	20	500	10000	1602	1.592E+07	3.458E+11	8	23	8.2	135	OK
단면8	4448.8	20	500	10000	1548	1.538E+07	4.333E+11	8	23	7.0	135	OK
단면9	4886.7	24	250	6000	1513	9.004E+06	5.763E+11	8	23	3.4	135	OK
단면10	5287.7	24	250	6000	2145	1.280E+07	9.060E+11	8	23	3.3	135	OK
단면11	7165.2	40	250	10000	2193	2.173E+07	1.340E+12	10	28	4.1	135	OK
단면12	-5082.0	28	250	7000	2116	1.471E+07	9.625E+11	8	23	-3.4	135	OK
단면13	-4573.5	28	250	7000	1875	1.303E+07	7.401E+11	8	23	-3.6	135	OK
단면14	-3889.9	28	500	14000	1346	1.865E+07	3.890E+11	8	23	-8.2	135	OK
단면15	-3430.4	28	500	14000	1328	1.840E+07	2.798E+11	8	23	-10.0	135	OK
단면16	-2617.5	18	500	9000	1243	1.110E+07	1.911E+11	6	17	-9.0	135	OK
단면17	-553.3	18	500	9000	396	3.482E+06	2.995E+11	6	17	-0.4	135	OK

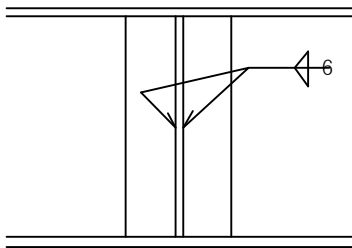
② 하부 플랜지와 복부판

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	-2726.8	12	2400	28800	2485	7.139E+07	4.428E+11	6	17	-25.9	135	OK
단면2	-2049.7	24	2400	57600	2297	1.316E+08	6.254E+11	8	23	-19.1	135	OK
단면3	-1555.4	24	2400	57600	2316	1.327E+08	6.307E+11	8	23	-14.5	135	OK
단면4	817.6	32	2400	76800	2217	1.690E+08	7.431E+11	8	23	8.2	135	OK
단면5	1575.5	26	2400	62400	2287	1.419E+08	6.585E+11	8	23	15.0	135	OK
단면6	2418.4	18	2400	43200	2354	1.013E+08	5.542E+11	6	17	26.0	135	OK
단면7	4027.8	18	2400	43200	1505	6.464E+07	3.458E+11	6	17	44.4	135	OK
단면8	4448.8	18	2400	43200	1673	7.190E+07	4.333E+11	6	17	43.5	135	OK
단면9	4886.7	22	2400	52800	1830	9.606E+07	5.763E+11	8	23	36.0	135	OK
단면10	5287.7	22	2400	52800	1344	7.037E+07	9.060E+11	8	23	18.2	135	OK
단면11	7165.2	28	2400	67200	1541	1.026E+08	1.340E+12	8	23	24.3	135	OK
단면12	-5082.0	22	2400	52800	1377	7.213E+07	9.625E+11	8	23	-16.8	135	OK
단면13	-4573.5	22	2400	52800	1259	6.590E+07	7.401E+11	8	23	-18.0	135	OK
단면14	-3889.9	22	2400	52800	1512	7.926E+07	3.890E+11	8	23	-35.0	135	OK
단면15	-3430.4	18	2400	43200	1375	5.901E+07	2.798E+11	6	17	-42.6	135	OK
단면16	-2617.5	14	2400	33600	1288	4.302E+07	1.911E+11	6	17	-34.7	135	OK
단면17	-553.3	12	2400	28800	2119	6.086E+07	2.995E+11	6	17	-6.6	135	OK

6.3.2 지점부 보강재 용접부 검토

1) 교대부 (A1)

- Rmax = 4805.4 kN



필렛용접 치수 : s = 6.0 mm

사용 보강재 : 4 PL - 250 × 24 × 3000

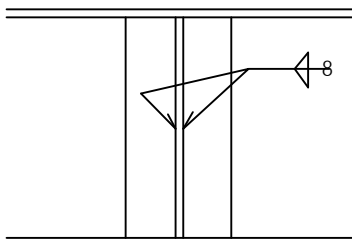
용접 목두께 : a = s / √2 = 4.24 mm

$$u = \frac{P}{\Sigma a \cdot l} = \frac{4805.440 \times 10^3}{8 EA \times 4.24 \times 3000}$$

$$= 47.194 \text{ MPa} \leq u a = 135 \text{ MPa} \quad 0.K$$

2) 교각부 (P1)

- Rmax = 13474.1 kN



필렛용접 치수 : s = 8.0 mm

사용 보강재 : 6 PL - 350 × 36 × 3700

용접 목두께 : a = s / √2 = 5.66 mm

$$u = \frac{P}{\Sigma a \cdot l} = \frac{13474.076 \times 10^3}{12 EA \times 5.66 \times 3700}$$

$$= 53.646 \text{ MPa} \leq u a = 135 \text{ MPa} \quad 0.K$$