

P6 강교각 구조계산서

1. 검토 조건

1.1 구조물 개요

본 구간은 대림역~신도림역 구간 중 대림철교구간으로서 상부구조는 Steel Plate 거더교인 하로 판형교이고 하부구조는 강교각으로 문형과, T형으로 이루어져 있다.

1.2 교량 제원

- (1) 형 식 : Steel Plate 하로 판형교
- (2) 지 간 : L = m
- (3) 폭 원 : B = m
- (4) 하부형식 : T형 강재교각
- (5) 기초형식 : 파일 기초 (현장타설말뚝)

1.3 주요 사용재료 및 강도

(1) 콘크리트

- 1) 설계기준강도 : $f_{ck} = 21 \text{ MPa}$
- 2) 탄성계수 : $E_c = 8500\sqrt[3]{f_{cu}} = 24854 \text{ MPa}$ ($f_{cu} = f_{ck} + 4 \text{ MPa}$)

(2) 철 근

- 1) 항복응력 : $f_y = 300 \text{ MPa}$
- 2) 탄성계수 : $E_s = 200000 \text{ MPa}$

(3) 강 재

- 1) 주부재 : SWS50(SM490)
- 2) 부부재 : SWS40(SM400)
- 3) 탄성계수 E_s : 205000 MPa
- 4) 허용인장응력, 허용압축응력

강 종			SM 400B	SM 490B	SM 520B
응력의종류, 판두께					
인 장 응 력 (순단면적기준)	축방향응력	40이하	140 MPa	190 MPa	215 MPa
		40초과75이하	130 MPa	175 MPa	200 MPa
		75초과100이하			195 MPa
	휨응력	40이하	140 MPa	190 MPa	215 MPa
		40초과75이하	130 MPa	175 MPa	200 MPa
		75초과100이하			195 MPa
압 축 응 력 (총단면적기준)	축방향응력	40이하	140 MPa	190 MPa	215 MPa
		40초과75이하	130 MPa	175 MPa	200 MPa
		75초과100이하			195 MPa
	휨응력	40이하	140 MPa	190 MPa	215 MPa
		40초과75이하	130 MPa	175 MPa	200 MPa
		75초과100이하			195 MPa

5) 좌굴허용응력(허용 축방향 압축응력)

㉔ 축방향압축응력 (MPa)

강종 판두께	SM 400B	SM 490B	SM 520B
40이하	$0 < \ell / r \leq 9$ 140 MPa $9 < \ell / r \leq 130$ $140 - 0.80 (\ell / r - 9)$ $\ell / r > 130$ $740,000 / (\ell / r)^2$	$0 < \ell / r \leq 8$ 190 MPa $8 < \ell / r \leq 110$ $190 - 1.26 (\ell / r - 8)$ $\ell / r > 110$ $740,000 / (\ell / r)^2$	$0 < \ell / r \leq 7.5$ 215 MPa $7.5 < \ell / r \leq 105$ $215 - 1.51 (\ell / r - 7.5)$ $\ell / r > 105$ $740,000 / (\ell / r)^2$
40초과 75이하	$0 < \ell / r \leq 10$ 130 MPa $10 < \ell / r \leq 135$ $135 - 0.72 (\ell / r - 10)$	$0 < \ell / r \leq 8$ 175 MPa $8 < \ell / r \leq 115$ $175 - 1.22 (\ell / r - 8)$	$0 < \ell / r \leq 7.5$ 200 MPa $7.5 < \ell / r \leq 110$ $200 - 1.36 (\ell / r - 7.5)$ $\ell / r > 110$ $730,000 / (\ell / r)^2$
75초과 100이하	$\ell / r > 135$ $730,000 / (\ell / r)^2$	$\ell / r > 115$ $730,000 / (\ell / r)^2$	$0 < \ell / r \leq 8$ 195 MPa $8 < \ell / r \leq 110$ $195 - 1.32 (\ell / r - 8)$ $\ell / r > 110$ $730,000 / (\ell / r)^2$

㉕ 휨 압축응력 (MPa)

강종 휨축	SM 400B	SM 490B	SM 520B
강축에 대한 휨	표 ㉔의 세장비 (ℓ / r) 대신 다음식으로 표시한 등가세장비 (ℓ / r)_e 를 사용한다 $(\ell / r)_e = F \cdot \ell / b$ 여기서, I형 단면의 경우 $F = \sqrt{12 + 2\beta / \alpha}$ 박스거더 단면의 경우 $\beta < \beta_0 : F = 0$ $\beta_0 \leq \beta \leq 1 : F = 1.05 (\beta - \beta_0) / 1 - \beta \sqrt{3\alpha + 1} \cdot b / \ell$ U형 단면의 경우 $F = 1.1 \sqrt{12 + 2\beta / \alpha}$		
약축에 대한 휨	140 MPa	190 MPa	215 MPa

6) 허용전단응력

강 종		SM 400	SM 490	SM 520
전단응력	총단면적 기준	40이하	80 MPa	105 MPa
		40초과75이하	75 MPa	115 MPa
		75초과100이하		110 MPa

7) 지 압 응 력

강 종			SM 400	SM 490	SM 520
지압응력	강판과 강관	40이하	210 MPa	285 MPa	320 MPa
		40초과75이하	195 MPa	165 MPa	300 MPa
		75초과100이하			295 MPa

8) 항 복 응 력

강 종		SM 400	SM 490	SM 520
기준항복점	16이하	245 MPa	325 MPa	365 MPa
	16초과40이하	235 MPa	315 MPa	355 MPa
	40초과75이하	215 MPa	215 MPa	355 MPa
	75초과100이하			

9) 하중조합

구분	하 중 조 합	증가계수
1	고정하중(D)+활하중(L1+L2)+충격(I)	1.00
2	①+온도변화의 영향(T)	1.15
3	①+제동하중(BK1) 또는 시동하중(BK2)	1.25
4	①+풍하중(W)	1.25
5	①+풍하중(W)+제동하중(BK1) 또는 시동하중(BK2)	1.35

10) 고장력볼트 허용력(1볼트1마찰면 마다)

나사호칭 \ 볼트등급	F 8 T	F 10 T
M 20	31 kN	39 kN
M 22	39 kN	48 kN
M 24	45 kN	56 kN

1.4 설계하중

(1) 고정하중 : 상부구조 반력 재하

(2) 활 하 중 : 상부구조 반력 재하

(3) 풍하중

- 활하중 재하시 교량의 연직투사면 : 1.5 kN/m^2
- 활하중 비재하시 교량의 연직투사면 : 3.0 kN/m^2

(3) 시동 및 제동하중

- 제동하중 또는 시동하중은 차량 중심위치에 차량진행방향으로 작용하는 것으로 하며 설계 차량하중의 10%로 한다.

(4) 온도하중

- 온도변화 : $\Delta T = 10^{\circ}\text{C}$
- 선팽창계수 : $\alpha = 0.000012$

1.5 설계방법

- 강도 설계법
- 허용응력 설계법

1.6 참고문헌

- 철도설계기준(노반편) (국토해양부, 2015)
- 철도설계편람(노반편) (한국철도시설공단, 2011)
- 강구조 편람 (한국강구조학회, 1995)
- 도로교 설계기준 (국토해양부, 2010)
- 콘크리트 구조기준(한국콘크리트학회, 2012)
- 이에 준하는 기타 시방서 및 문헌

2. 강재 코핑부

2.1 단면제원

i) I_{ys}

구 분	A(mm ²)	Z(mm)	AZ(mm ³)	AZ ² (mm ⁴)	Iy(mm ⁴)
UPPER FLANGE 1 - 1600 X 32	51200	-1199	-61401600	73635868800	4369067
UPPER RIB 3 - 150 X 16	7200	-1108	-7979400	8843170050	13500000
WEB 2 - 2367 X 16	75728	0	0	0	35341766946
LOWER RIB 3 - 150 X 16	7200	1108	7979400	8843170050	13500000
LOWER FLANGE 1 - 1600 X 35	56000	1201	67242000	80740831500	5716667
계	197328		5840400	172063040400	35378852679

$$e_s = 5840400 / 197328 = 30 \text{ mm}$$

$$I_{ys} = I_y + AZ^2 - A s \times e_s^2 = 207269032550 \text{ mm}^4$$

$$Z_{su} = 1245 \text{ mm} \quad Z_{sl} = -1189 \text{ mm}$$

ii) I_{zs}

구 분	A(mm ²)	Y(mm)	AY(mm ³)	AY ² (mm ⁴)	Iz(mm ⁴)
UPPER FLANGE 1 - 1600 X 32	51200	0	0	0	10922666667
UPPER RIB 3 - 150 X 16	7200	0	0	512000000	153600
WEB 2 - 2367 X 16	75728	800	0	48465920000	1615531
LOWER RIB 3 - 150 X 16	7200	0	0	1706666667	153600
LOWER FLANGE 1 - 1600 X 35	56000	0	0	0	11946666667
계	197328		0	50684586667	22871256064

$$e_s = 0 / 197328 = 0 \text{ mm}$$

$$I_{zs} = I_z + A y^2 - A s \times e_s^2 = 73555842731 \text{ mm}^4$$

iii) 비틀림 상수 (J)

$$J = (4F^2 / \phi ds/t)$$

$$F = a b \quad \phi ds/t = (b/t_1) + (a/t_2) + (b/t_3) + (a/t_4)$$

$$F = 1584 \times 2399 = 3799224 \text{ m}$$

$$\phi ds/t = (1584 / 32) + (2399 / 16) \times 2 + (1584 / 35) = 395$$

$$J = (3799224^2 / 395) \times 4 = 146168131668 \text{ m}^4$$

iii) 단면계수

$$A = 197328 \text{ mm}^2 \quad I_{ys} = 207269032550 \text{ mm}^4 \quad C_{y(+,-)} = 800, 800 \text{ mm}$$

$$I_{zs} = 73555842731 \text{ mm}^4 \quad J = 146168131668 \text{ mm}^4 \quad C_{z(+,-)} = 1245, 1189 \text{ mm}$$

③ 유효폭을 고려한 단면상수

* 플랜지 유효폭 산정

$$b = 1600 \text{ mm}, \quad L = 12.064 \text{ m}$$

$$b/L = 0.1326 \quad \therefore \lambda = 1144 \text{ mm}$$

i) I_{yse}

구분	A(mm ²)	Z(mm)	AZ(mm ³)	AZ ² (mm ⁴)	I _y (mm ⁴)
UPPER FLANGE 1 - 2287 X 32	73190	-1199	-87773587	105262474450	6245581
UPPER RIB 3 - 150 X 16	7200	-1108	-7979400	8843170050	13500000
WEB 2 - 2367 X 16	75728	0	0	0	35341766946
LOWER RIB 3 - 150 X 16	7200	1108	7979400	8843170050	13500000
LOWER FLANGE 1 - 2287 X 35	80052	1201	96122439	115419018629	8171975
계	243370		8348852	238367833179	35383184501

$$e_s = 8348852 / 243370 = 34 \text{ mm}$$

$$I_{yse} = I_y + AZ^2 - A s \times e_s^2 = 273464609687 \text{ mm}^4$$

$$Z_{su} = 1250 \text{ mm} \quad Z_{sl} = -1184 \text{ mm}$$

ii) I_{zse}

구분	A(mm ²)	Y(mm)	AY(mm ³)	AY ² (mm ⁴)	I _z (mm ⁴)
UPPER FLANGE 1 - 2287 X 32	73190	0	0	0	31906646397
UPPER RIB 3 - 150 X 16	7200	0	0	512000000	153600
WEB 2 - 2367 X 16	75728	1144	0	99038665659	1615531
LOWER RIB 3 - 150 X 16	7200	0	0	1706666667	153600
LOWER FLANGE 1 - 2287 X 35	80052	0	0	0	34897894497
계	243370		0	101257332326	66806463624

$$e_s = 0 / 243370 = 0 \text{ mm}$$

$$I_{zse} = I_z + A y^2 - A s \times e_s^2 = 168063795950 \text{ mm}^4$$

iii) 비틀림 상수 (J)

$$J = (4F^2 / \oint ds/t)$$

$$F = a \cdot b \quad \phi_{ds}/t = (b/t_1) + (a/t_2) + (b/t_3) + (a/t_4)$$

$$F = 1584 \times 2399 = 3799224 \text{ mm}$$

$$\phi_{ds}/t = \left(\frac{1584}{32} \right) + \left(\frac{2399}{16} \right) \times 2 + \left(\frac{1584}{35} \right) = 395.000$$

$$J = \left(\frac{3799224^2}{395} \right) \times 4 = 146168131668 \text{ mm}^4$$

IV) 단면계수

$$A = 243370 \text{ mm}^2 \quad I_{yse} = 273464609687 \text{ mm}^4 \quad I_{zse} = 168063795950 \text{ mm}^4$$

2.2 응력검토

(1) 설계 조건

온도차 (ΔT)	10	°C
온도 팽창율(α)	0.000012	
강재의 탄성계수(E_s)	205000	MPa
사용 강종	SM490	
부호 규약	(+) 인장 (-) 압축	

- 철.설 P184

- 철.설 P184

- 철.설 P181

(2) 작용 단면력

(단위 : kN, m)

구 분	고정하중	활 하 중	온도변화	시,제동하중	풍 하 중
모멘트	-4550.839	-7548.551	67.921	825.090	-208.891
전단력	1126.810	1845.917	0.000	0.000	47.787
비틀림모멘트	-1.712	-1038.944	728.072	-166.946	202.723

(3) 휨응력 산정

-. 2차모멘트계수 $k = 1.000$

상부플랜지 상면	Y_{su}	-1250
하부플랜지 하면	Y_{sl}	1184
단면2차모멘트	I_y	273464609687

a. 고정하중

$$f_{vsu} = \frac{M_{d2}}{I_y} \times Y_{vsu} = \frac{-4550839000}{273464609687} \times -1250 = 20.794 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = \frac{M_{d2}}{I_y} \times Y_{vsl} = \frac{-4550839000}{273464609687} \times 1184 = -19.703 \text{ MPa}$$

b. 활하중

$$f_{vsu} = \frac{M_{ll}}{I_y} \times Y_{vsu} = \frac{-7548551000}{273464609687} \times -1250 = 34.492 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = \frac{M_{ll}}{I_y} \times Y_{vsl} = \frac{-7548551000}{273464609687} \times 1184 = -32.681 \text{ MPa}$$

c. 온도변화

$$f_{vsu} = \frac{M_{se}}{I_y} \times Y_{vsu} = \frac{67921000}{273464609687} \times -1250 = -0.310 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = \frac{M_{se}}{I_y} \times Y_{vsl} = \frac{67921000}{273464609687} \times 1184 = 0.294 \text{ MPa}$$

d. 제동 or 시동 하중

$$f_{vsu} = \frac{M_{bl}}{I_y} \times Y_{vsu} = \frac{825090000}{273464609687} \times -1250 = -3.770 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = \frac{M_{bl}}{I_y} \times Y_{vsl} = \frac{825090000}{273464609687} \times 1184 = 3.572 \text{ MPa}$$

e. 풍하중

$$f_{vsu} = \frac{M_{wl}}{I_v} \times Y_{vsu} = \frac{-208891000}{273464609687} \times -1250 = 0.954 \text{ MPa}$$

$$f_{vsl} = \frac{M_{wl}}{I_v} \times Y_{vsl} = \frac{-208891000}{273464609687} \times 1184 = -0.904 \text{ MPa}$$

(4) 전단 응력 산정 - 철.설 P121

$$v = v_s + v_t \quad v_s = \frac{S}{A_w} \quad v_t = \frac{T}{2 F t}$$

$$A_w = t_w \times H \times 2 \text{ ea} = 16 \times 2367 \times 2 \text{ ea} = 75728 \text{ mm}^2$$

$$F = 1584 \times 2335 = 3697848$$

(단위 : N, mm)

구 분	고정하중	활 하 중	온도변화	시,제동하중	풍 하 중
S	1126810	1845917	0	0	47787
T	-1712000	-1038944000	728072000	-166946000	202723000
v_s	14.880	24.376	0.000	0.000	0.631
v_t	-0.014	-8.780	6.153	-1.411	1.713
v	14.866	15.596	6.153	-1.411	2.344

(5) 허용 응력 검토

a. 강재의 허용 응력 - 철.설 P88

사 용 강 종 : SM490

휨 인장에 대한 허용응력 : 190 MPa

휨 압축에 대한 좌굴허용응력 : 190 MPa

β (복부판 높이와 플랜지폭의 비) = $h / b = 2367 / 1600 = 1.479$

α (플랜지 두께와 복부판 두께의 비) = $t_f / t_w = 32 / 16 = 2.000$

$\beta_0 = (14 + 12\alpha) / (5 + 12\alpha) = 0.809$

$\beta < \beta_0 : F = 0$

허 용 전 단 응 력 : 110 MPa

b. 하중 조합

하중 조합	고정하중	활하중	온도변화	시제동하중	풍하중	F_s
1	⊙	⊙				1.000
2	⊙	⊙	⊙			1.150
3	⊙	⊙		⊙		1.250
4	⊙	⊙			⊙	1.250
5	⊙	⊙		⊙	⊙	1.350

e. 휘 및 전단응력 검토

하중조합	사 용 응 력		허 용 응 력		안 전 율		전단응력		
	상부플랜지 상 면	하부플랜지 하 면	상부플랜지 상 면	하부플랜지 하 면	상부플랜지 상 면	하부플랜지 하 면	v	v_a	판정
1	55.286	-52.384	190	-190	3.437	3.627	30.462	110.000	GOOD
2	54.976	-52.090	218.5	-218.5	3.974	4.195	36.615	126.500	GOOD
3	51.516	-48.812	237.5	-237.5	4.610	4.866	29.051	137.500	GOOD
4	56.240	-53.288	237.5	-237.5	4.223	4.457	32.806	137.500	GOOD
5	52.470	-49.716	256.5	-256.5	4.889	5.159	31.395	148.500	GOOD

$\therefore f < f_a \quad \text{GOOD}$

$\therefore$

h. 합성응력 검토

CASE	1	2	3	4	5
f	0.291	0.252	0.217	0.237	0.205
f _a					
u	0.277	0.289	0.211	0.239	0.211
u _a					
합성 응력	0.402	0.383	0.303	0.337	0.294
판정	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD

(6) 항복에 대한 안전도 검사

a. 재료의 항복 응력 (단위 : MPa)

	강재
f _y	f _{sy} = 315

b. 하중 조합

$$\text{CASE 1: } U = 1.35 \times D + 1.85 \times (L+i)$$

$$\text{CASE 2: } U = 1.6 \times D + 1.6 \times (L+i)$$

$$\text{CASE 3: } U = 1.35 \times D + 1.40 \times (L+i) + 1.35 \times (0.5W+WL) + 1.4 \times (SB+LR)$$

c. 안전도 검토

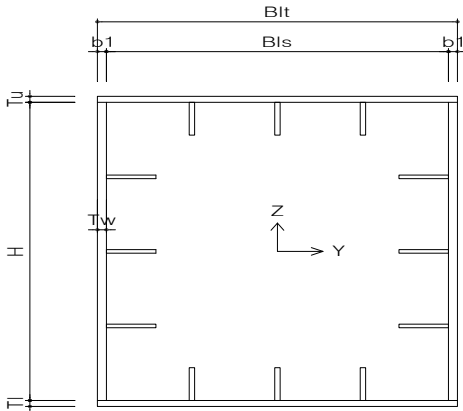
(단위 : MPa)

하중조합	계수응력		항복응력	
	상부플랜지 상면	하부플랜지 하면	상부플랜지 상면	하부플랜지 하면
1	91.882	-87.059	315	-315
2	76.361	-83.814	315	-315
3	71.727	-67.962	315	-315

$$\therefore f_u < f_y \quad \text{GOOD}$$

3. 기둥 검토

3.1 단면제원



- 주부재 사용강종 : SWS50(SM490)

- H = 1.765 m

- Bts = 1.400 m

- b1 = 0.100 m

- Blt = 1.600 m

- Tu = 0.035 m

- Tl = 0.035 m

- Tw = 0.025 m

- RIB 1: 150 × 16 mm ρ = 3 CTC 588.3 mm

- RIB 2: 150 × 12 mm ρ = 4 CTC 343.8 mm (WEB)

1) Y축에 대한 단면계수

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Z(mm)	A×Z(mm ³)	A×Z ² (mm ⁴)	Iy(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	1600.0	35.0	56000.0	900.0	50400000.0	45360000000.0	45365716666.7
3 - UPPER RIB	16.0	150.0	7200.0	807.5	5814000.0	4694805000.0	4708305000.0
2 - WEB	25.0	1765.0	88250.0	0.0	0.0	0.0	22909883854.2
3 - LOWER RIB	16.0	150.0	7200.0	-807.5	-5814000.0	4694805000.0	4708305000.0
1 - LOWER FLANGE	1600.0	35.0	56000.0	-900	-50400000.0	45360000000.0	45365716666.7
2 - LEFT RIB	150.0	12.0	3600.0	588.3	2118000.0	1246090000.0	1246111600.0
2 - RIGHT RIB	150.0	12.0	3600.0	-588.3	-2118000.0	1246090000.0	1246111600.0
합 계			221850.0		0.0	102601790000.0	125550150387.5

여기서, $I_y' = I_y + AZ^2$, 부재의 단면2차 반지름 $r_y = \sqrt{I_y' / A} = 752.280$ mm

$Z_{top} = 917.5$ mm , $Z_{bot} = -917.5$ mm

2) Z축에 대한 단면계수

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A×Y(mm ³)	A×Y ² (mm ⁴)	Iz(mm ⁴)
1 - UPPER FLANGE	35.0	1600.0	56000.0	0.0	0.0	0.0	11946666666.7
3 - UPPER RIB	150.0	16.0	7200.0	343.8	2475000.0	850781250.0	850883650.0
1 - LEFT WEB	1765.0	25.0	44125.0	712.5	31439062.5	22400332031.3	22402630208.3
1 - RIGHT WEB	1765.0	25.0	44125.0	-712.5	-31439062.5	22400332031.3	22402630208.3
3 - LOWER RIB	150.0	16.0	7200.0	-343.8	-2475000.0	850781250.0	850883650.0
1 - LOWER FLANGE	35.0	1600.0	56000.0	0.0	0.0	0.0	11946666666.7
2 - LEFT RIB	12.0	150.0	3600.0	625.0	2250000.0	1406250000.0	1409625000.0
2 - RIGHT RIB	12.0	150.0	3600.0	-625.0	-2250000.0	1406250000.0	1413000000.0
합 계			221850.0		0.0	49314726562.5	73222986050.0

여기서, $I_z' = I_z + AY^2$, 부재의 단면2차 반지름 $r_z = \sqrt{I_z' / A} = 574.510$ mm

$Y_{top} = 800.0$ mm , $Y_{bot} = -800.0$ mm

3) 순수비틀림상수

$$-K = \frac{4b^2h^2}{\frac{b}{t_u} + \frac{2h}{t_w} + \frac{b}{t_l}} = \frac{4 \times (1425.0)^2 \times (1800.0)^2}{\frac{1425.0}{35.0} + \frac{3600.0}{25.0} + \frac{1425.0}{35.0}} = 116741634981.0 \text{ mm}^4$$

3.2 검토 개요

- 축방향력과 휨모멘트를 동시에 받는 부재는 각각에 대해 철도교 설계기준 2.1 및 2.2의 규정을 만족시키는 것 외에 다음의 각 항에 의한 검토도 해야 한다.

(1) 축방향력이 인장인 경우

- 인장응력 검토

$$\frac{P}{A_n} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta}$$

- 인장응력 검토

$$-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao}$$

(2) 축방향력이 압축인 경우

- 인장응력 검토

$$-\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_t \frac{A_{fg}}{A_{fn}} + \frac{M_y}{I_y} y_t' \frac{A_{fg}'}{A_{fn}'} \leq f_{ta}$$

- 인장응력 검토

$$\frac{P}{A_g} + \frac{M_x}{I_x} y_c + \frac{M_y}{I_y} y_c' \leq f_{cao}$$

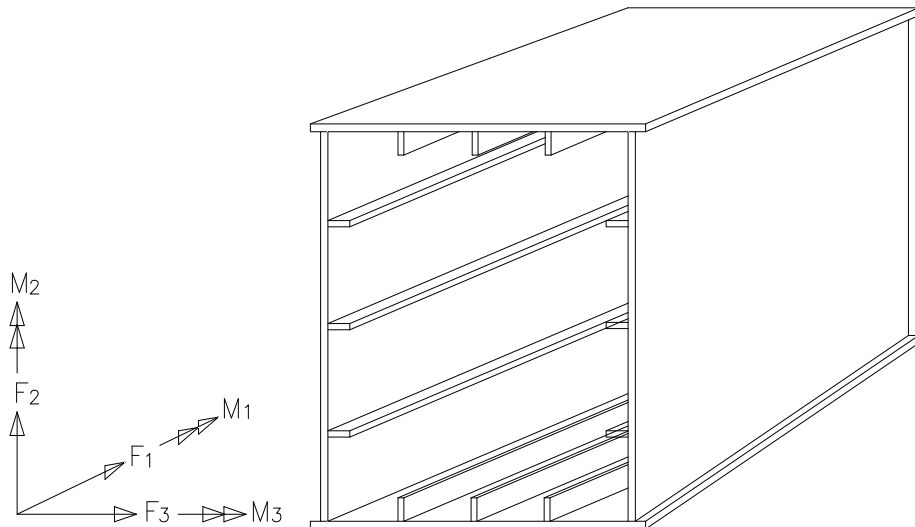
(3) 좌굴 검토

$$\frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{yao}} \leq 1.0$$

P	: 부재에 작용하는 축방향력(N).
M _x , M _y	: 각각 강축 및 약축에 작용하는 휨모멘트(N·mm).
I _x , I _y	: 각각 강축 및 약축에 대한 총단면의 단면 2차 모멘트(mm ⁴)
A _n , A _g	: 각각 검토하려는 단면의 순단면적 및 총단면적(mm ²)
A _{fn} , A _{fg}	: 각각 검토하려는 강축에 대한 플랜지의 순단면적 및 총단면적(mm ²)
A _{fn} ', A _{fg} '	: 각각 검토하려는 약축에 대한 플랜지의 순단면적 및 총단면적(mm ²)
y _t , y _c	: 각각 강축에서부터 힘에 관한 인장연단 및 압축연단까지의 거리(mm)
y _t ', y _c '	: 각각 약축에서부터 힘에 관한 인장연단 및 압축연단까지의 거리(mm)
f _{ta}	: 철도교 설계기준(철도교편) 2.2.1에 규정한 기본 허용인장응력(MPa)
f _{cao}	: 철도교 설계기준(철도교편) 2.2.2에 나타낸 l/r=0 때의 허용압축응력(MPa)
P _{ca}	: 강축 또는 약축에 대한 허용좌굴응력 가운데 작은 쪽의 값(N)
M _{xa}	: 횡좌굴을 고려한 강축에 대한 허용휨모멘트(N·mm)
M _{yao}	: 약축에 대한 허용휨모멘트(N·mm)

- 기둥 설계를 위한 단면력의 집계는 각각의 절점에 대해 하중조합별로 표준화된 단면력을 나타낸다.
- 단면력은 축력(F_1) 최대·최소, 면외모멘트(M_2) 최대·최소 및 면내모멘트(M_3) 최대·최소시 각각에 대해 수반된 단면력을 산정하였다.
- Check Case는 6가지의 하중조합중 최대·최소 단면력과 수반된 단면력을 산정하였다.
- 각 단면력에 대한 기호와 방향은 다음과 같다.

F_1 : 부재축력
 F_2 : 부재수직축 전단력
 F_3 : 부재수평축 전단력
 M_1 : 비틀림 모멘트
 M_2 : 면외 모멘트
 M : 면내 모멘트



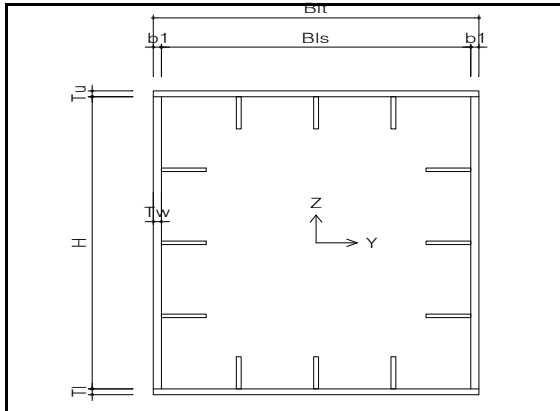
(4) 단면력 집계

강재 기둥	Elem	Load	Part	p	Vy	Vz	T	My	Mz
Pmax	2	LC1	J[3]	-5846.928	7.620	0.000	8674.534	-651.873	14.746
Pmin	2	LC1	I[2]	-5949.057	7.620	0.000	8674.534	-651.873	49.798
M2max	2	LC3	I[2]	-5949.057	7.620	1282.622	9696.266	8368.003	42.887
M2min	2	LC4(all)	I[2]	-5949.057	-219.403	-18.663	8671.618	-1208.735	-1547.987
M3max	2	LC1	I[2]	-5949.057	7.620	0.000	8674.534	-651.873	49.798
M3min	2	LC5(all)	I[2]	-5949.057	-219.403	1282.622	9693.350	8368.003	-1554.897

3.3 기둥 검토

(1) 강재 기둥

1) 단면 제원



주부재 사용강종 : SWS50(SM490)

H = 1.765 m

Bls = 1.400 m

S = 0.100 m

Blt = 1.301 m (유효폭 고려)

Tu = 0.035 m

Tl = 0.035 m Uz = 0.588 m

Tw = 0.025 m Uy = 0.363 m

Rib : 150 × 16 mm

2) Y 축에 대한 단면계수

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Z(mm)	A×Z(mm ³)	A×Z ² (mm ⁴)	Iy(mm ⁴)
1 - Upper Flange	1300.8	35.0	45526.3	900.0	40973647	36876282597	36880930071
3 - Upper Rib	16.0	150.0	7200.0	807.5	5814000	4694805000	4708305000
2 - Web	25.0	1765.0	88250.0	0.0	0	0	22909883854
3 - Lower Rib	16.0	150.0	7200.0	-807.5	-5814000	4694805000	4708305000
1 - Lower Flange	1300.8	35.0	45526.3	-900.0	-40973647	36876282597	36880930071
2 - Left Rib	150.0	16.0	4800.0	588.3	2824000	830726667	830777867
2 - Right Rib	150.0	16.0	4800.0	-588.3	2824000	830726667	830777867
합 계			203302.5		0	84803628527	107749909729

여기서, $I_y = I_o + AZ^2$, 부재의 단면2차 반지름(r_y) = $\sqrt{I_y / A} = 728.01 \text{ mm}$

$Z_{top} = 917.50 \text{ mm}$, $Z_{bot} = -917.50 \text{ mm}$

3) Z 축에 대한 단면계수

단 면	B(mm)	H(mm)	A(mm ²)	Y(mm)	A×Y(mm ³)	A×Y ² (mm ⁴)	Iz(mm ⁴)
1 - Upper Flange	35.0	1300.8	45526.3	0.0	0	0	6419024186
3 - Upper Rib	150.0	16.0	7200.0	362.5	2610000	946125000	946278600
1 - Left Web	1765.0	25.0	44125.0	712.5	31439063	22400332031	22402630208
1 - Right Web	1765.0	25.0	44125.0	-712.5	-31439063	22400332031	22402630208
3 - Lower Rib	150.0	16.0	7200.0	-362.5	2610000	946125000	946176200
1 - Lower Flange	35.0	1300.8	45526.3	0.0	0	0	6419024186
2 - Left Rib	16.0	150.0	4800.0	625.0	3000000	937500000	942000000
2 - Right Rib	16.0	150.0	4800.0	-625.0	-3000000	937500000	942000000
합 계			203302.5		5220000	48567914063	61419763589

여기서, $I_z = I_o + AY^2$, 부재의 단면2차 반지름(r_z) = $\sqrt{I_z / A} = 549.65 \text{ mm}$

$Y_{top} = 725.00 \text{ mm}$, $Y_{bot} = -725.00 \text{ mm}$

4) 순수비틀림상수 (도로교설계기준·해설 p.273)

$$K = \frac{4b^2 h^2}{\frac{b}{t_u} + \frac{2h}{t_w} + \frac{b}{t_f}} = \frac{4 \times (1425)^2 \times (1800)^2}{\frac{1425}{35} + \frac{3600}{25} + \frac{1425}{35}} = 116741634981.0 \text{ mm}^4$$

5) 판의 폭-두께비 검토

(가) 플랜지

- 검토조건 : 부재의 축방향으로 압축력을 받는 판요소 검토, 보강된 판

- 판의 최대폭-두께비(b/t)_o = 21 n = 21 × 4 = 84

- 실제판의 폭-두께비(b/t)_s = 1400 / 35 = 40.00

O.K!!!

(나) 복부판

- 검토조건 : 부재의 축방향으로 압축력을 받는 판요소 검토, 보강된 판

- 판의 최대폭-두께비(b/t)_o = 21 n = 21 × 3 = 63

- 실제판의 폭-두께비(b/t)_s = 1765 / 25 = 70.60

완화계수사용!!

- 최대폭-두께비 완화계수 : $3 - \frac{2f}{f_{cao}} = 3 - \frac{2 \times 118.86}{190.0} = 1.75 \Rightarrow 1.7$

- 완화계수를 고려한 최대폭-두께비 (b/t)_o × 1.7 = 107.10 ≥ (b/t)_s

O.K!!!

6) 압축플랜지의 유효폭: 캔틸레버

[철도설계기준(철도교편) P165-166]

$$b_e = \lambda_1 + \lambda_2$$

여기서, λ_1 : 주거더 중심간의 한쪽편 유효폭, λ_2 : 내민부의 한쪽편 유효폭

$b/l \leq 0.02$ 인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = b$ (전폭유효)

$b/l > 0.02$ 인 경우 $\lambda_1, \lambda_2 = \{1.06 - 3.2(b/l) + 4.5(b/l)^2\}b$

구 분	b	l	b/l	유효폭(λ)
좌측 플랜지 돌출폭	0.100	4.600	0.022	0.099
우측 플랜지 돌출폭	0.100	4.600	0.022	0.100
주거더 중심간의 1/2	0.688	4.600	0.149	0.551
합 계				1.301

7) 유효좌굴장산정

(가) Y 축에 대한 유효좌굴장(면내)

유효좌굴장(l_y) = 4600.0 mm , 단면2차반지름(r_y) = 728.0 mm

세장비(l_y/r_y) = 6.32

(나) Z 축에 대한 유효좌굴장(면외)

유효좌굴장(l_z) = 4600.0 mm , 단면2차반지름(r_z) = 549.7 mm

세장비(l_z/r_z) = 8.37

(다) 약축방향에 대한 세장비

$$\text{세장비}(I_y/r_y) = 8.37$$

(라) 허용휨압축응력 산정을 위한 등가세장비

- 기둥 단면의 경우 (강축)

$$\alpha = t_f / t_w = 25 / 35 = 0.71$$

$$\beta = h / b = 1765.0 / 1325.8 = 1.33$$

$$\beta_o = (14 + 12\alpha) / (5 + 21\alpha) = (14 + 12 \times 0.7) / (5 + 21 \times 0.7) = 1.13$$

$1 \leq \beta < 2$ 이므로

$$F = 0.74 \sqrt{((3\alpha + \beta)(\beta + 1))} \sqrt{(b/l)} = 0.035414$$

$$(L/r)_e = F \times l / b^* = 0.035 \times 4600.0 / 1435.0 = 0.114$$

여기서, b : 플랜지폭, b* : 복부판 중심간격, l : 부재좌굴장

8) 허용응력산정

(가) 축방향 및 휨 인장력

$$f_{ta} = 190 \text{ Mpa } (t \leq 40\text{mm})$$

(나) 축방향 허용압축응력 (fcag)

구 분	SWS50(SM490)	
40이하	$8 < l/r \leq 110$	
	189.54	$190 - 1.26(l/r - 8)$

최대폭-두께비 규정을 만족하지 못하므로 허용압축응력 감소를 고려한다.

$$f_{ca} = f_{cag} = 189.54 \text{ Mpa}$$

(다) 강축 허용 휨압축응력 (fyag)

구 분	SWS50(SM490)	
40이하	$(L/r)_e \leq 8$	
	190.00	190

최대폭-두께비 규정을 만족하지 못하므로 허용압축응력 감소를 고려한다.

$$f_{ya} = f_{yag} = 190.00 \text{ Mpa}$$

(라) 약축 허용 휨압축응력 (fzag)

$$f_{zag} = 190.0 \text{ Mpa}$$

$$f_{za} = f_{zag} = 190.00 \text{ Mpa}$$

(마) 허용전단응력(va)

$$\tau_a = 110.0 \text{ Mpa}$$

(바) 허용국부좌굴응력(f_{cao})

$$f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa}$$

9) 작용하중

(단위 : kN,m)

구 분	P	Vy	Vz	T	My	Mz
Pmax	-5846.928	7.620	0.000	8674.534	-651.873	14.746
Pmin	-5949.057	7.620	0.000	8674.534	-651.873	49.798
M2max	-5949.057	7.620	1282.622	9696.266	8368.003	42.887
M2min	-5949.057	-219.403	-18.663	8671.618	-1208.735	-1547.987
M3max	-5949.057	7.620	0.000	8674.534	-651.873	49.798
M3min	-5949.057	-219.403	1282.622	9693.350	8368.003	-1554.897

10) 응력검토

(가) Pmax 일때

가) 축방향력과 휨응력에 대한 합성응력 검토

① 축방향 압축력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -5846928.00 / 0.203 = -28.76 \text{ Mpa}$$

② 휨모멘트에 의한 응력

$$f_T = My \times Z_{top} / I_y = 5.55 \text{ Mpa}$$

$$f_B = My \times Z_{bot} / I_y = -5.55 \text{ Mpa}$$

$$f_R = Mz \times Y_{top} / I_z = -0.17 \text{ Mpa}$$

$$f_L = Mz \times Y_{bot} / I_z = 0.17 \text{ Mpa}$$

③ 응력의 검산

$$f_{TL} = f_c + f_T + f_L = -28.76 + 5.55 + 0.17 = -23.04 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \therefore \text{O.K}$$

$$f_{TR} = f_c + f_T + f_R = -28.76 + 5.55 + -0.17 = -23.38 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BL} = f_c + f_B + f_L = -28.76 + -5.55 + 0.17 = -34.14 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BR} = f_c + f_B + f_R = -28.76 + -5.55 + -0.17 = -34.48 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \therefore \text{O.K}$$

④ 강재의 최소두께 검토

i. 판의 최소판두께(철도설계기준 3.9.1)

플랜지

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_f = 35.00 \text{ mm} \therefore \text{O.K}$$

복부판

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_w = 25.00 \text{ mm} \therefore \text{O.K}$$

ii. 종리브 최소두께 검토(철도설계기준 3.9.1)

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t = 16.00 \text{ mm} \therefore \text{O.K}$$

⑤ 좌굴의 검산

i. 좌굴검토(철도설계기준 4.2.2)

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{ya}} \\ &= \frac{5846.93}{48744.21} + \frac{651.87}{28157.30} + \frac{14.75}{16096.21} = 0.144 < 1.0 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

나) 휨과 전단응력에 대한 합성응력의 검토(철도설계기준 4.4.1)

$$\begin{aligned} F &= b \times h = (B_{ls} + T_w) \times (H + T_l/2 + T_u/2) = 2565000 \text{ mm}^2 \\ \tau &= V_z / A_w + M_t / (2 \times F \times T_u) = 48.31 < 110.00 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ \sqrt{\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2} &= \sqrt{\left(\frac{34.48}{190.00}\right)^2 + \left(\frac{48.31}{110.00}\right)^2} = 0.48 < 1.10 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

(나) Pmin 일때

가) 축방향력과 휨응력에 대한 합성응력 검토

① 축방향 압축력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -5949057.00 / 0.203 = -29.26 \text{ Mpa}$$

② 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned} f_T &= M_y \times Z_{top} / I_y = -5.55 \text{ Mpa} \\ f_B &= M_y \times Z_{bot} / I_y = 5.55 \text{ Mpa} \\ f_R &= M_z \times Y_{top} / I_z = 0.59 \text{ Mpa} \\ f_L &= M_z \times Y_{bot} / I_z = -0.59 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

③ 응력의 검산

$$\begin{aligned} f_{TL} &= f_c + f_T + f_L = -29.26 + -5.55 + -0.59 = -35.40 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ f_{TR} &= f_c + f_T + f_R = -29.26 + -5.55 + 0.59 = -34.22 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ f_{BL} &= f_c + f_B + f_L = -29.26 + 5.55 + -0.59 = -24.30 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ f_{BR} &= f_c + f_B + f_R = -29.26 + 5.55 + 0.59 = -23.12 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

④ 강재의 최소두께 검토

i. 판의 최소판두께(철도설계기준 3.9.1)

플랜지

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_f = 35.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

복부판

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_w = 25.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

ii. 종리브 최소두께 검토(철도설계기준 3.9.1)

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t = 16.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑤ 좌굴의 검토

i. 좌굴검토(철도설계기준 4.2.2)

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{yac}} \\ &= \frac{5949.06}{48744.21} + \frac{651.87}{28157.30} + \frac{49.80}{16096.21} = 0.148 < 1.0 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

나) 휨과 전단응력에 대한 합성응력의 검토(철도설계기준 4.4.1)

$$\begin{aligned} F &= b \times h = (B_{ls} + T_w) \times (H + T_l/2 + T_u/2) = 2565000 \text{ mm}^2 \\ \tau &= V_z / A_w + M_t / (2 \times F \times T_u) = 48.31 < 110.00 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ \sqrt{\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2} &= \sqrt{\left(\frac{35.40}{190.00}\right)^2 + \left(\frac{48.31}{110.00}\right)^2} = 0.48 < 1.10 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

(다) M2max 일때

가) 축방향력과 휨응력에 대한 합성응력 검토

① 축방향 압축력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -5949057.00 / 0.203 = -29.26 \text{ Mpa}$$

② 휨모멘트에 의한 응력

$$\begin{aligned} f_T &= M_y \times Z_{top} / I_y = -71.25 \text{ Mpa} \\ f_B &= M_y \times Z_{bot} / I_y = 71.25 \text{ Mpa} \\ f_R &= M_z \times Y_{top} / I_z = -0.51 \text{ Mpa} \\ f_L &= M_z \times Y_{bot} / I_z = 0.51 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

③ 응력의 검토

$$\begin{aligned} f_{TL} &= f_c + f_T + f_L = -29.26 + -71.25 + 0.51 = -100.00 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ f_{TR} &= f_c + f_T + f_R = -29.26 + -71.25 + -0.51 = -101.02 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ f_{BL} &= f_c + f_B + f_L = -29.26 + 71.25 + 0.51 = 42.50 \text{ Mpa} < f_{ta} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ f_{BR} &= f_c + f_B + f_R = -29.26 + 71.25 + -0.51 = 41.48 \text{ Mpa} < f_{ta} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

④ 강재의 최소두께 검토

i. 판의 최소판두께(철도설계기준 3.9.1)

플랜지

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_f = 35.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

복부판

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_w = 25.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

ii. 종리브 최소두께 검토(철도설계기준 3.9.1)

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t = 16.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑤ 좌굴의 계산

i. 좌굴검토(철도설계기준 4.2.2)

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{ya}} \\ &= \frac{5949.06}{48744.21} + \frac{8368.00}{28157.30} + \frac{42.89}{16096.21} = 0.422 < 1.0 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

나) 휨과 전단응력에 대한 합성응력의 검토(철도설계기준 4.4.1)

$$\begin{aligned} F &= b \times h = (B_{ls} + T_w) \times (H + T_l/2 + T_u/2) = 2565000 \text{ mm}^2 \\ \tau &= V_z / A_w + M_t / (2 \times F \times T_u) = 68.54 < 110.00 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ \sqrt{\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2} &= \sqrt{\left(\frac{101.02}{190.00}\right)^2 + \left(\frac{68.54}{110.00}\right)^2} = 0.82 < 1.10 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

(라) M2min 일때

가) 축방향력과 휨응력에 대한 합성응력 검토

① 축방향 압축력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -5949057.00 / 0.203 = -29.26 \text{ Mpa}$$

② 휨모멘트에 의한 응력

$$f_T = M_y \times Z_{top} / I_y = 10.29 \text{ Mpa}$$

$$f_B = M_y \times Z_{bot} / I_y = -10.29 \text{ Mpa}$$

$$f_R = M_z \times Y_{top} / I_z = 18.27 \text{ Mpa}$$

$$f_L = M_z \times Y_{bot} / I_z = -18.27 \text{ Mpa}$$

③ 응력의 계산

$$f_{TL} = f_c + f_T + f_L = -29.26 + 10.29 + -18.27 = -37.24 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{TR} = f_c + f_T + f_R = -29.26 + 10.29 + 18.27 = -0.70 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BL} = f_c + f_B + f_L = -29.26 + -10.29 + -18.27 = -57.82 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BR} = f_c + f_B + f_R = -29.26 + -10.29 + 18.27 = -21.28 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

④ 강재의 최소두께 검토

i. 판의 최소판두께(철도설계기준 3.9.1)

플랜지

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_f = 35.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

복부판

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_w = 25.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

ii. 종리브 최소두께 검토(철도설계기준 3.9.1)

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t = 16.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑤ 좌굴의 검토

i. 좌굴검토(철도설계기준 4.2.2)

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{yac}} \\ &= \frac{5949.06}{48744.21} + \frac{1208.74}{28157.30} + \frac{1547.99}{16096.21} = 0.261 < 1.0 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

나) 휨과 전단응력에 대한 합성응력의 검토(철도설계기준 4.4.1)

$$\begin{aligned} F &= b \times h = (B_{ls} + T_w) \times (H + T_l/2 + T_u/2) = 2565000 \text{ mm}^2 \\ \tau &= V_z / A_w + M_t / (2 \times F \times T_u) = 48.51 < 110.00 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K} \\ \sqrt{\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2} &= \sqrt{\left(\frac{57.82}{190.00}\right)^2 + \left(\frac{48.51}{110.00}\right)^2} = 0.54 < 1.10 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

(마) M3max 일때

가) 축방향력과 휨응력에 대한 합성응력 검토

① 축방향 압축력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -5949057.00 / 0.203 = -29.26 \text{ Mpa}$$

② 휨모멘트에 의한 응력

$$f_T = M_y \times Z_{top} / I_y = 5.55 \text{ Mpa}$$

$$f_B = M_y \times Z_{bot} / I_y = -5.55 \text{ Mpa}$$

$$f_R = M_z \times Y_{top} / I_z = -0.59 \text{ Mpa}$$

$$f_L = M_z \times Y_{bot} / I_z = 0.59 \text{ Mpa}$$

③ 응력의 검토

$$f_{TL} = f_c + f_T + f_L = -29.26 + 5.55 + 0.59 = -23.12 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{TR} = f_c + f_T + f_R = -29.26 + 5.55 + -0.59 = -24.30 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BL} = f_c + f_B + f_L = -29.26 + -5.55 + 0.59 = -34.22 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BR} = f_c + f_B + f_R = -29.26 + -5.55 + -0.59 = -35.40 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

④ 강재의 최소두께 검토

i. 판의 최소판두께(철도설계기준 3.9.1)

플랜지

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_f = 35.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

복부판

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_w = 25.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

ii. 종리브 최소두께 검토(철도설계기준 3.9.1)

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t = 16.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑤ 좌굴의 계산

i. 좌굴검토(철도설계기준 4.2.2)

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{yac}} \\ &= \frac{5949.06}{48744.21} + \frac{651.87}{28157.30} + \frac{49.80}{16096.21} = 0.148 < 1.0 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

나) 휨과 전단응력에 대한 합성응력의 검토(철도설계기준 4.4.1)

$$F = b \times h = (B_{ls} + T_w) \times (H + T_l/2 + T_u/2) = 2565000 \text{ mm}^2$$

$$\tau = V_z / A_w + M_t / (2 \times F \times T_u) = 48.31 < 110.00 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\sqrt{\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{35.40}{190.00}\right)^2 + \left(\frac{48.31}{110.00}\right)^2} = 0.48 < 1.10 \quad \therefore \text{O.K}$$

(바) M3min 일때

가) 축방향력과 휨응력에 대한 합성응력 검토

① 축방향 압축력에 의한 응력

$$f_c = P / A = -5949057.00 / 0.203 = -29.26 \text{ Mpa}$$

② 휨모멘트에 의한 응력

$$f_T = M_y \times Z_{top} / I_y = -71.25 \text{ Mpa}$$

$$f_B = M_y \times Z_{bot} / I_y = 71.25 \text{ Mpa}$$

$$f_R = M_z \times Y_{top} / I_z = 18.35 \text{ Mpa}$$

$$f_L = M_z \times Y_{bot} / I_z = -18.35 \text{ Mpa}$$

③ 응력의 계산

$$f_{TL} = f_c + f_T + f_L = -29.26 + -71.25 + -18.35 = -118.86 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{TR} = f_c + f_T + f_R = -29.26 + -71.25 + 18.35 = -82.16 \text{ Mpa} < f_{cao} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BL} = f_c + f_B + f_L = -29.26 + 71.25 + -18.35 = 23.64 \text{ Mpa} < f_{ta} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$f_{BR} = f_c + f_B + f_R = -29.26 + 71.25 + 18.35 = 60.34 \text{ Mpa} < f_{ta} = 190.0 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

④ 강재의 최소두께 검토

i. 판의 최소판두께(철도설계기준 3.9.1)

플랜지

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_f = 35.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

복부판

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t_w = 25.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

ii. 종리브 최소두께 검토(철도설계기준 3.9.1)

$$t_{min} = 9.0 \text{ mm} < t = 16.00 \text{ mm} \quad \therefore \text{O.K}$$

⑤ 좌굴의 계산

i. 좌굴검토(철도설계기준 4.2.2)

$$\begin{aligned} &= \frac{P}{P_{ca}} + \frac{M_x}{M_{xa}} + \frac{M_y}{M_{yac}} \\ &= \frac{5949.06}{48744.21} + \frac{8368.00}{28157.30} + \frac{1554.90}{16096.21} = 0.516 < 1.0 \quad \therefore \text{O.K} \end{aligned}$$

나) 휨과 전단응력에 대한 합성응력의 검토(철도설계기준 4.4.1)

$$F = b \times h = (Bls + Tw) \times (H + Tl/2 + Tu/2) = 2565000 \text{ mm}^2$$

$$\tau = Vz / Aw + Mt / (2 \times F \times Tu) = 68.52 < 110.00 \text{ Mpa} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\sqrt{\left(\frac{f_b}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{118.86}{190.00}\right)^2 + \left(\frac{68.52}{110.00}\right)^2} = 0.88 < 1.10 \quad \therefore \text{O.K}$$

3.4 결과 요약

COL1	힘응력검토			전단응력검토			좌굴검토			합성응력검토			
SF Min	작용응력	허용응력	안전율	작용응력	허용응력	안전율	작용	허용	안전율	작용	허용	안전율	판정
1.250	Mpa	Mpa		Mpa	Mpa								
Pmax	34.480	190.0	5.510	48.310	110.0	2.277	0.144	1.0	6.944	0.480	1.100	2.292	O.K
Pmin	35.400	190.0	5.367	48.310	110.0	2.277	0.148	1.0	6.743	0.480	1.100	2.292	O.K
M2max	101.020	190.0	1.881	68.540	110.0	1.605	0.422	1.0	2.370	0.820	1.100	1.341	O.K
M2min	57.820	190.0	3.286	48.510	110.0	2.268	0.261	1.0	3.829	0.540	1.100	2.037	O.K
M3max	35.400	190.0	5.367	48.310	110.0	2.277	0.148	1.0	6.743	0.480	1.100	2.292	O.K
M3min	118.860	190.0	1.599	68.520	110.0	1.605	0.516	1.0	1.939	0.880	1.100	1.250	O.K

4. 앵커 정착부의 검토

1) 앵커볼트

교축방향 작용 단면력

- 축력 최대

P = 5846.93 kN M = 651.87 kN.m V = 0.00 kN (할증계수 : 1.000)

- 모멘트 최대

P = 5849.06 kN M = 8368.00 kN.m V = 1282.62 kN (할증계수 : 1.000)

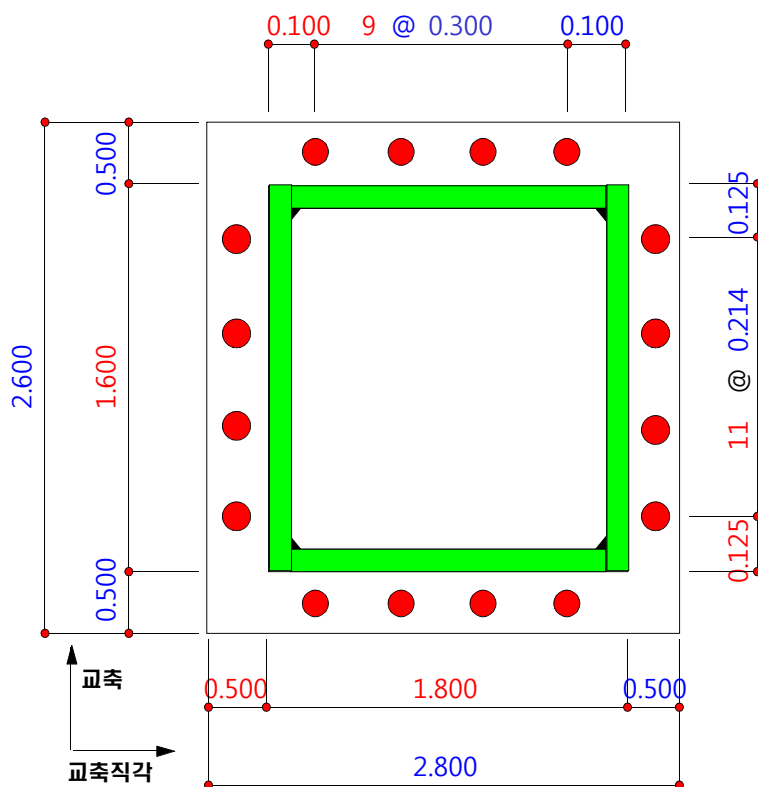
교축직각방향 작용 단면력

- 축력 최대

P = 5846.93 kN M = 14.75 kN.m V = 7.62 kN (할증계수 : 1.000)

- 모멘트 최대

P = 5949.06 kN M = 1554.90 kN.m V = 219.40 kN (할증계수 : 1.000)



사용 앵커 볼트

[M27 , B10T]

- 외경 : 27.000 mm
- 유효경 : 25.051 mm
- 곡경 : 23.752 mm

- 앵커볼트 허용응력

f_{sa} = 156 Mpa

τ_a = 90 Mpa

- 콘크리트

f_{ca} = 8.4 Mpa

τ_a = 0.37 Mpa

- 탄성계수비 = 8

- 1본당 유효 단면적

$$A_s = ((25.051 + 23.752) / 2)^2 \times \pi / 4 = 4.68 \text{ cm}^2$$

- 교축 방향 앵커 볼트 단면적 (As1)

$$A_{s1} = 24 \times 4.7 = 0.01122 \text{ m}^2$$

- 교축 직각 방향 앵커 볼트 단면적 (As2)

$$A_{s2} = 20 \times 4.7 = 0.00935 \text{ m}^2$$

- 총 단면적 (A)

$$A = 2(A_{s1} + A_{s2}) - 16\text{본(중복)면적} = 0.03367 \text{ m}^2$$

① CASE 9 (교축) - 축력 최대

- 적용 단면력

$$P = 5846.93 \text{ kN} \quad M = 651.87 \text{ kN.m} \quad V = 0.00 \text{ kN} \text{ (할증계수: 1.000)}$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.800 \text{ m} \quad D = 2.600 \text{ m} \quad d = 2.250 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.01122 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.800 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.600 - 2 \times 0.500 = 1.600 \text{ m}$$

$$e = 651.9 / 5846.9 = 0.111$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D} \\ &= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.800 \times 2.600^3 - 1.800 \times 1.600^3}{2.800 \times 2.600^2 - 1.800 \times 1.600 \times 2.600} \\ &= 0.610 > 0.111 \quad \therefore e = 0.610 \end{aligned}$$

$$a = e - D/2 = -0.690, \quad f = d + a = 2.250 + (-0.690) = 1.560$$

- 중립축 위치 X 가 t 보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times (-0.690) \times 1.000 X^2 = -2.071 X^2$$

$$\begin{aligned} 3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X &= 3 \times [1.800 \times (2 \times -0.690 + 0.500) \\ &\quad \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.01122 \times 1.560] X = -1.538 X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d &= -(2.800 - 1.000) \times -(2.071 + 1.000) \\ &\quad \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.011 \times 1.560 \times 2.250 = -1.408 \end{aligned}$$

$$\therefore 1.000 X^3 + (-2.071) X^2 + (-1.538) X + (-1.408) = 0$$

$$\therefore X = 4.070 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장측 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.01122 = 11.137$$

$$b X^2 = 2.800 \times 4.070^2 = 46.382$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.800 \times (4.070 - 0.500)^2 = 22.941$$

$$d - X = 2.250 - 4.070 = -1.820$$

$$\begin{aligned} \therefore T &= \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)} \\ &= \frac{2 \times 5846.9 \times (-1.820)}{11.137 \times (46.382 - 22.941) - 2 \times (-1.820)} = -80.40 \text{ KN} \end{aligned}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{-80.40}{0.01122} = -7.16 \text{ Mpa} < f_{sa} = 156.1 \times 1.000 = 156.099 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5846.9 \times 4.070}{46.382 - 22.94 - 2 \times 8 \times 0.01122 \times -1.820}$$

$$= 2.00 < f_{ca} = 8.4 \times 1.000 = 8.4 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 0.0 / 0.03367 = 0.00 < \tau_a = 90 \times 1.000 = 90 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{-7.16}{156.099} \right)^2 + \left(\frac{0.00}{90.0} \right)^2 = 0.0021 < 1.00 \Rightarrow \text{O.K}$$

② CASE 11 (교축) - 모멘트 최대

- 적용 단면력

$$P = 5849.06 \text{ kN} \quad M = 8368.00 \text{ kN.m} \quad V = 1282.62 \text{ kN} \text{ (할증계수: 1.000)}$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.800 \text{ m} \quad D = 2.600 \text{ m} \quad d = 2.250 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.01122 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.800 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.600 - 2 \times 0.500 = 1.600 \text{ m}$$

$$e = 8368.0 / 5849.1 = 1.431$$

$$\frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D}$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.800 \times 2.600^3 - 1.800 \times 1.600^3}{2.800 \times 2.600^2 - 1.800 \times 1.600 \times 2.600}$$

$$= 0.610 < 1.431 \quad \therefore e = 1.431$$

$$a = e - D/2 = 0.131, \quad f = d + a = 2.250 + 0.131 = 2.381$$

- 중립축 위치 X가 t보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times 0.131 \times 1.000 X^2 = 0.392 X^2$$

$$3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X = 3 \times [1.800 \times (2 \times 0.131 + 0.500) \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.01122 \times 2.381] X = 3.338 X$$

$$-(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d = - (2.800 - 1.000) \times (0.392 + 1.000) \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.0112 \times 2.381 \times 2.250 = -3.512$$

$$\therefore 1.000 X^3 + 0.392 X^2 + 3.338 X + -3.512 = 0$$

$$\therefore X = 2.169 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장축 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.01122 = 11.137$$

$$b X^2 = 2.800 \times 2.169^2 = 13.173$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.800 \times (2.169 - 0.500)^2 = 5.014$$

$$d - X = 2.250 - 2.169 = 0.081$$

$$\therefore T = \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5849 \times 0.081}{11.137 \times (13.173 - 5.014) - 2 \times 0.081} = 279.74 \text{ KN}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{279.74}{0.01122} = 24.92 \text{ Mpa} < f_{sa} = 156.1 \times 1.000 = 156.099 \text{ Mpa}$$

$\Rightarrow$ O.K

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5849 \times 2.169}{13.173 - 5.014 - 2 \times 8 \times 0.01122 \times 0.081}$$

$$= 3.12 < f_{ca} = 1.00 \times 8.4 = 8.4 \text{ Mpa}$$

$\Rightarrow$ O.K

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 1282.6 / 0.03367 = 38.09 < \tau_a = 90.0 \times 1.000 = 90.0 \text{ Mpa}$$

$\Rightarrow$ O.K

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{24.92}{156.099} \right)^2 + \left(\frac{38.09}{90.0} \right)^2 = 0.205 < 1.00 \Rightarrow \text{O.K}$$

③ CASE 9 (교축직각방향 축력 최대)

- 적용 단면력

$$P = 5846.93 \text{ kN} \quad M = 14.75 \text{ kN.m} \quad V = 7.62 \text{ kN} \quad (\text{할증계수: } 1.000)$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.600 \text{ m} \quad D = 2.800 \text{ m} \quad d = 2.450 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.00935 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.600 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.800 - 2 \times 0.500 = 1.800 \text{ m}$$

$$e = 14.7 / 5846.9 = 0.003$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D} \\ &= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.600 \times 2.800^3 - 1.600 \times 1.800^3}{2.600 \times 2.800^2 - 1.600 \times 1.800 \times 2.800} \\ &= 0.646 > 0.003 \quad \therefore e = 0.646 \end{aligned}$$

$$a = e - D/2 = -0.754, \quad f = d + a = 2.450 + (-0.754) = 1.696$$

- 중립축 위치 X 가 t 보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times (-0.754) \times 1.000 X^2 = -2.262 X^2$$

$$\begin{aligned} 3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X &= 3 \times [1.600 \times (2 \times -0.754 + 0.500) \\ &\quad \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.00935 \times 1.696] X = -1.658 X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d &= -(2.600 - 1.000) \times -(2.262 + 1.000) \\ &\quad \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.0094 \times 1.696 \times 2.450 = -1.360 \end{aligned}$$

$$\therefore 1.000 X^3 + (-2.262) X^2 + (-1.658) X + (-1.360) = 0$$

$$\therefore X = 3.271 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장측 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.00935 = 13.365$$

$$b X^2 = 2.600 \times 3.271^2 = 27.819$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.600 \times (3.271 - 0.500)^2 = 12.286$$

$$d - X = 2.450 - 3.271 = -0.821$$

$$\begin{aligned} \therefore T &= \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)} \\ &= \frac{2 \times 5847 \times (-0.821)}{13.365 \times (27.819 - 12.286) - 2 \times (-0.821)} = -45.88 \text{ KN} \end{aligned}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{-45.88}{0.00935} = -4.91 \text{ Mpa} < f_{sa} = 156.1 \times 1.000 = 156.099 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5847 \times 3.271}{27.819 - 2 \times 8 \times 0.00935 \times -0.821}$$

$$= 2.44 < f_{ca} = 1.00 \times 8.4 = 8.4 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 7.6 / 0.03367 = 0.23 < \tau_a = 90.0 \times 1.000 = 90.0 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{-4.91}{156.099} \right)^2 + \left(\frac{0.23}{90.0} \right)^2 = 0.0010 < 1.00 \Rightarrow \text{O.K}$$

④ CASE 11(교축직각방향 모멘트 최대)

- 적용 단면력

$$P = 5949.06 \text{ kN} \quad M = 1554.90 \text{ kN.m} \quad V = 219.40 \text{ kN} \text{ (할증계수: 1.000)}$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.600 \text{ m} \quad D = 2.800 \text{ m} \quad d = 2.450 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.00935 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.600 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.800 - 2 \times 0.500 = 1.800 \text{ m}$$

$$e = 1554.9 / 5949.1 = 0.261$$

$$e = \frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D}$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.600 \times 2.800^3 - 1.600 \times 1.800^3}{2.600 \times 2.800^2 - 1.600 \times 1.800 \times 2.800}$$

$$= 0.646 > 0.261 \quad \therefore e = 0.646$$

$$a = e - D/2 = -0.754, \quad f = d + a = 2.450 + -0.754 = 1.696$$

- 중립축 위치 X가 t보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times -0.754 \times 1.000 X^2 = -2.262 X^2$$

$$3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X = 3 \times [1.600 \times (2 \times -0.754 + 0.500) \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.00935 \times 1.696] X = -1.658 X$$

$$-(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d = - (2.600 - 1.000) \times -(2.262 + 1.000) \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.0094 \times 1.696 \times 2.450 = -1.360$$

$$\therefore 1.000 X^3 + -2.262 X^2 + -1.658 X + -1.360 = 0$$

$$\therefore X = 1.308 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장축 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.00935 = 13.365$$

$$b X^2 = 2.600 \times 1.308^2 = 4.448$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.600 \times (1.308 - 0.500)^2 = 1.045$$

$$d - X = 2.450 - 1.308 = 1.142$$

$$\therefore T = \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5949 \times 1.142}{13.365 \times (4.448 - 1.045) - 2 \times 1.142} = 314.49 \text{ KN}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{314.49}{0.00935} = 33.62 \text{ Mpa} < f_{sa} = 156.1 \times 1.000 = 156.099 \text{ Mpa}$$

⇒ O.K

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5949 \times 1.308}{4.448 - 1.045 - 2 \times 8 \times 0.00935 \times 1.142}$$

$$= 4.81 < f_{ca} = 1.00 \times 8.4 = 8.4 \text{ Mpa}$$

⇒ O.K

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 219.4 / 0.03367 = 6.52 < \tau_a = 90.0 \times 1.000 = 90.0 \text{ Mpa}$$

⇒ O.K

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{33.62}{156.099} \right)^2 + \left(\frac{6.52}{90.0} \right)^2 = 0.052 < 1.00$$

⇒ O.K

5. 앵커 정착부의 검토(단면손실)

1) 앵커볼트

교축방향 작용 단면력

- 축력 최대

P = 5846.93 kN M = 651.87 kN.m V = 0.00 kN (할증계수 : 1.000)

- 모멘트 최대

P = 5849.06 kN M = 8368.00 kN.m V = 1282.62 kN (할증계수 : 1.000)

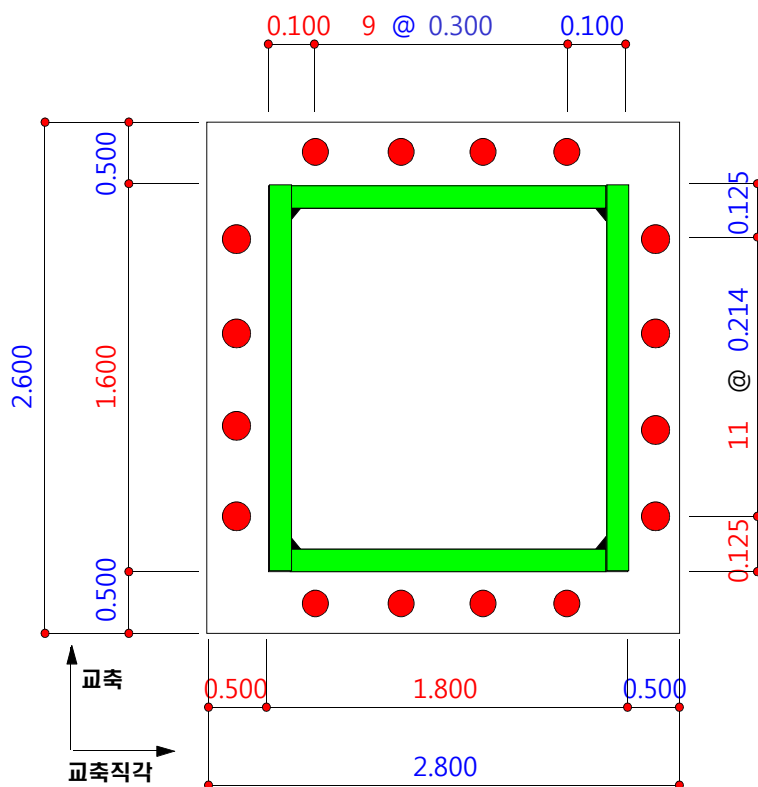
교축직각방향 작용 단면력

- 축력 최대

P = 5846.93 kN M = 14.75 kN.m V = 7.62 kN (할증계수 : 1.000)

- 모멘트 최대

P = 5949.06 kN M = 1554.90 kN.m V = 219.40 kN (할증계수 : 1.000)



사용 앵커 볼트

[M27 , B10T]

- 외경 : 27.000 mm
- 유효경 : 16.033 mm
- 곡경 : 15.201 mm

- 앵커볼트 허용응력

f_{sa} = 381 Mpa

τ_a = 90 Mpa

- 콘크리트

f_{ca} = 8.4 Mpa

τ_a = 0.37 Mpa

- 탄성계수비 = 8

- 1본당 유효 단면적

$$A_s = ((16.033 + 15.201) / 2)^2 \times \pi / 4 = 1.92 \text{ cm}^2$$

- 교축 방향 앵커 볼트 단면적 (As1)

$$A_{s1} = 24 \times 1.9 = 0.00460 \text{ m}^2$$

- 교축 직각 방향 앵커 볼트 단면적 (As2)

$$A_{s2} = 20 \times 1.9 = 0.00383 \text{ m}^2$$

- 총 단면적 (A)

$$A = 2(A_{s1} + A_{s2}) - 16\text{본(중복)면적} = 0.01379 \text{ m}^2$$

① CASE 9 (교축) - 축력 최대

- 적용 단면력

$$P = 5846.93 \text{ kN} \quad M = 651.87 \text{ kN.m} \quad V = 0.00 \text{ kN} \text{ (할증계수: 1.000)}$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.800 \text{ m} \quad D = 2.600 \text{ m} \quad d = 2.250 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.00460 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.800 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.600 - 2 \times 0.500 = 1.600 \text{ m}$$

$$e = 651.9 / 5846.9 = 0.111$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D} \\ &= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.800 \times 2.600^3 - 1.800 \times 1.600^3}{2.800 \times 2.600^2 - 1.800 \times 1.600 \times 2.600} \\ &= 0.610 > 0.111 \quad \therefore e = 0.610 \end{aligned}$$

$$a = e - D/2 = -0.690, \quad f = d + a = 2.250 + -0.690 = 1.560$$

- 중립축 위치 X 가 t 보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times -0.690 \times 1.000 X^2 = -2.071 X^2$$

$$\begin{aligned} 3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X &= 3 \times [1.800 \times (2 \times -0.690 + 0.500) \\ &\quad \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.00460 \times 1.560] X = -2.034 X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d &= -(2.800 - 1.000) \times -(2.071 + 1.000) \\ &\quad \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.005 \times 1.560 \times 2.250 = -0.292 \end{aligned}$$

$$\therefore 1.000 X^3 + -2.071 X^2 + -2.034 X + -0.292 = 0$$

$$\therefore X = 4.070 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장측 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.00460 = 27.190$$

$$b X^2 = 2.800 \times 4.070^2 = 46.382$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.800 \times (4.070 - 0.500)^2 = 22.941$$

$$d - X = 2.250 - 4.070 = -1.820$$

$$\begin{aligned} \therefore T &= \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)} \\ &= \frac{2 \times 5846.9 \times -1.820}{27.190 \times (46.382 - 22.941) - 2 \times -1.820} = -33.20 \text{ KN} \end{aligned}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{-33.20}{0.00460} = -7.22 \text{ Mpa} < f_{sa} = 381.1 \times 1.000 = 381.101 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5846.9 \times 4.070}{46.382 - 22.94 - 2 \times 8 \times 0.00460 \times -1.820}$$

$$= 2.02 < f_{ca} = 8.4 \times 1.000 = 8.4 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 0.0 / 0.01379 = 0.00 < \tau_a = 90 \times 1.000 = 90 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{-7.22}{381.101} \right)^2 + \left(\frac{0.00}{90.0} \right)^2 = 0.0004 < 1.00 \Rightarrow \text{O.K}$$

② CASE 11 (교축) - 모멘트 최대

- 적용 단면력

$$P = 5849.06 \text{ kN} \quad M = 8368.00 \text{ kN.m} \quad V = 1282.62 \text{ kN} \text{ (할증계수: 1.000)}$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.800 \text{ m} \quad D = 2.600 \text{ m} \quad d = 2.250 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.00460 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.800 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.600 - 2 \times 0.500 = 1.600 \text{ m}$$

$$e = 8368.0 / 5849.1 = 1.431$$

$$\frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D}$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.800 \times 2.600^3 - 1.800 \times 1.600^3}{2.800 \times 2.600^2 - 1.800 \times 1.600 \times 2.600}$$

$$= 0.610 < 1.431 \quad \therefore e = 1.431$$

$$a = e - D/2 = 0.131, \quad f = d + a = 2.250 + 0.131 = 2.381$$

- 중립축 위치 X가 t보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times 0.131 \times 1.000 X^2 = 0.392 X^2$$

$$3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X = 3 \times [1.800 \times (2 \times 0.131 + 0.500) \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.00460 \times 2.381] X = 2.581 X$$

$$-(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d = - (2.800 - 1.000) \times (0.392 + 1.000) \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.0046 \times 2.381 \times 2.250 = -1.808$$

$$\therefore 1.000 X^3 + 0.392 X^2 + 2.581 X + -1.808 = 0$$

$$\therefore X = 2.169 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장축 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.00460 = 27.190$$

$$b X^2 = 2.800 \times 2.169^2 = 13.173$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.800 \times (2.169 - 0.500)^2 = 5.014$$

$$d - X = 2.250 - 2.169 = 0.081$$

$$\therefore T = \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5849 \times 0.081}{27.190 \times (13.173 - 5.014) - 2 \times 0.081} = 114.46 \text{ KN}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{114.46}{0.00460} = 24.90 \text{ Mpa} < f_{sa} = 381.1 \times 1.000 = 381.101 \text{ Mpa}$$

$\Rightarrow$ O.K

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5849 \times 2.169}{13.173 - 5.014 - 2 \times 8 \times 0.00460 \times 0.081}$$

$$= 3.11 < f_{ca} = 1.00 \times 8.4 = 8.4 \text{ Mpa}$$

$\Rightarrow$ O.K

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 1282.6 / 0.01379 = 93.00 > \tau_a = 90.0 \times 1.000 = 90.0 \text{ Mpa}$$

$\Rightarrow$ N.G

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{24.90}{381.101} \right)^2 + \left(\frac{93.00}{90.0} \right)^2 = 1.072 > 1.00 \Rightarrow \text{N.G}$$

③ CASE 9 (교축직각방향 축력 최대)

- 적용 단면력

$$P = 5846.93 \text{ kN} \quad M = 14.75 \text{ kN.m} \quad V = 7.62 \text{ kN} \quad (\text{할증계수: } 1.000)$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.600 \text{ m} \quad D = 2.800 \text{ m} \quad d = 2.450 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.00383 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.600 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.800 - 2 \times 0.500 = 1.800 \text{ m}$$

$$e = 14.7 / 5846.9 = 0.003$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D} \\ &= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.600 \times 2.800^3 - 1.600 \times 1.800^3}{2.600 \times 2.800^2 - 1.600 \times 1.800 \times 2.800} \\ &= 0.646 > 0.003 \quad \therefore e = 0.646 \end{aligned}$$

$$a = e - D/2 = -0.754, \quad f = d + a = 2.450 + (-0.754) = 1.696$$

- 중립축 위치 X 가 t 보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times (-0.754) \times 1.000 X^2 = -2.262 X^2$$

$$\begin{aligned} 3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X &= 3 \times [1.600 \times (2 \times -0.754 + 0.500) \\ &\quad \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.00383 \times 1.696] X = -2.108 X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d &= -(2.600 - 1.000) \times -(2.262 + 1.000) \\ &\quad \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.00383 \times 1.696 \times 2.450 = -0.259 \end{aligned}$$

$$\therefore 1.000 X^3 + (-2.262) X^2 + (-2.108) X + (-0.259) = 0$$

$$\therefore X = 3.271 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장측 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.00383 = 32.629$$

$$b X^2 = 2.600 \times 3.271^2 = 27.819$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.600 \times (3.271 - 0.500)^2 = 12.286$$

$$d - X = 2.450 - 3.271 = -0.821$$

$$\begin{aligned} \therefore T &= \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)} \\ &= \frac{2 \times 5847 \times (-0.821)}{32.629 \times (27.819 - 12.286) - 2 \times (-0.821)} = -18.88 \text{ KN} \end{aligned}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{-18.88}{0.00383} = -4.93 \text{ Mpa} < f_{sa} = 381.1 \times 1.000 = 381.101 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5847 \times 3.271}{27.819 - 2 \times 8 \times 0.00383 \times -0.821}$$

$$= 2.45 < f_{ca} = 1.00 \times 8.4 = 8.4 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 7.6 / 0.01379 = 0.55 < \tau_a = 90.0 \times 1.000 = 90.0 \text{ Mpa} \Rightarrow \text{O.K}$$

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{-4.93}{381.101} \right)^2 + \left(\frac{0.55}{90.0} \right)^2 = 0.0002 < 1.00 \Rightarrow \text{O.K}$$

④ CASE 11(교축직각방향 모멘트 최대)

- 적용 단면력

$$P = 5949.06 \text{ kN} \quad M = 1554.90 \text{ kN.m} \quad V = 219.40 \text{ kN} \text{ (할증계수: 1.000)}$$

- 기초부 단면에서

$$b = 2.600 \text{ m} \quad D = 2.800 \text{ m} \quad d = 2.450 \text{ m}$$

$$t = 0.500 \text{ m} \quad b_0 = 1.000 \text{ m}$$

- 앵커볼트의 단면적 A_s

$$A_s = 0.00383 \text{ m}^2$$

- 앵커볼트의 인장응력

$$b - b_0 = 1.600 \text{ m}$$

$$D - 2t = 2.800 - 2 \times 0.500 = 1.800 \text{ m}$$

$$e = 1554.9 / 5949.1 = 0.261$$

$$e = \frac{1}{6} \cdot \frac{b D^3 - (b - b_0) (D - 2t)^3}{b D^2 - (b - b_0) (D - 2t) D}$$

$$= \frac{1}{6} \cdot \frac{2.600 \times 2.800^3 - 1.600 \times 1.800^3}{2.600 \times 2.800^2 - 1.600 \times 1.800 \times 2.800}$$

$$= 0.646 > 0.261 \quad \therefore e = 0.646$$

$$a = e - D/2 = -0.754, \quad f = d + a = 2.450 + -0.754 = 1.696$$

- 중립축 위치 X가 t보다 큰 경우

$$b_0 X^3 = 1.000 X^3$$

$$3 a b_0 X^2 = 3 \times -0.754 \times 1.000 X^2 = -2.262 X^2$$

$$3 [(b - b_0) (2 a + t) t + 2 n A_s f] X = 3 \times [1.600 \times (2 \times -0.754 + 0.500) \times 0.500 + 2 \times 8 \times 0.00383 \times 1.696] X = -2.108 X$$

$$-(b - b_0) (3 a + 2 t) t^2 - 6 n A_s f d = - (2.600 - 1.000) \times -(2.262 + 1.000) \times 0.500^2 - 6 \times 8 \times 0.0038 \times 1.696 \times 2.450 = -0.259$$

$$\therefore 1.000 X^3 + -2.262 X^2 + -2.108 X + -0.259 = 0$$

$$\therefore X = 1.308 > t = 0.500 \text{ m}$$

- 인장축 앵커볼트군에 발생하는 인장력 T

$$1/(n A_s) = 1 / 8 / 0.00383 = 32.629$$

$$b X^2 = 2.600 \times 1.308^2 = 4.448$$

$$(b - b_0) (X - t)^2 = 1.600 \times (1.308 - 0.500)^2 = 1.045$$

$$d - X = 2.450 - 1.308 = 1.142$$

$$\therefore T = \frac{2 N (d - X)}{\frac{1}{n A_s} [b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2] - 2 (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5949 \times 1.142}{32.629 \times (4.448 - 1.045) - 2 \times 1.142} = 124.92 \text{ KN}$$

- 앵커 볼트의 인장응력 f_s

$$f_s = \frac{T}{A_s} = \frac{124.92}{0.00383} = 32.61 \text{ Mpa} < f_{sa} = 381.1 \times 1.000 = 381.101 \text{ Mpa}$$

⇒ O.K

- 콘크리트의 최대 압축응력 f_c

$$f_c = \frac{2 N X}{b X^2 - (b - b_0) (X - t)^2 - 2 n A_s (d - X)}$$

$$= \frac{2 \times 5949 \times 1.308}{4.448 - 1.045 - 2 \times 8 \times 0.00383 \times 1.142}$$

$$= 4.67 < f_{ca} = 1.00 \times 8.4 = 8.4 \text{ Mpa}$$

⇒ O.K

- 수평력에 의한 앵커볼트의 전단응력

$$\tau = H / A_s = 219.4 / 0.01379 = 15.91 < \tau_a = 90.0 \times 1.000 = 90.0 \text{ Mpa}$$

⇒ O.K

- 앵커볼트는 휨모멘트와 전단응력을 동시에 받기 때문에 다음식을 만족해야 한다.

$$\left(\frac{f}{f_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.00$$

$$\left(\frac{32.61}{381.101} \right)^2 + \left(\frac{15.91}{90.0} \right)^2 = 0.039 < 1.00$$

⇒ O.K