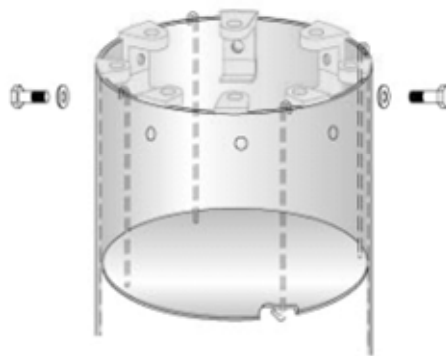
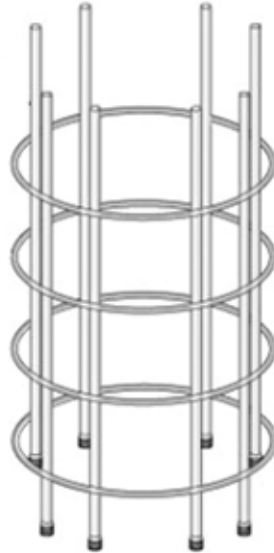
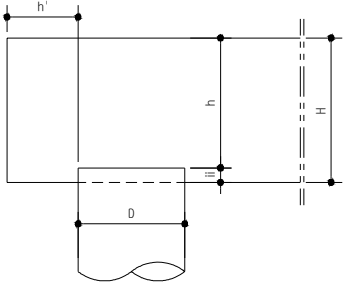
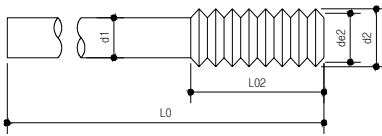
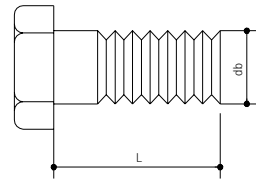
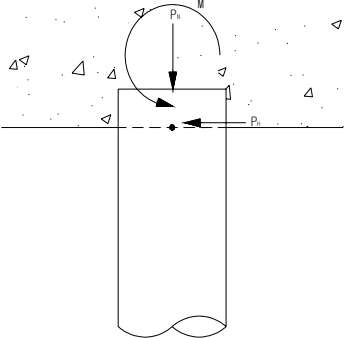


강관말뚝 볼트식 머리보강(B.B.M III)의 구조 검토 보고서

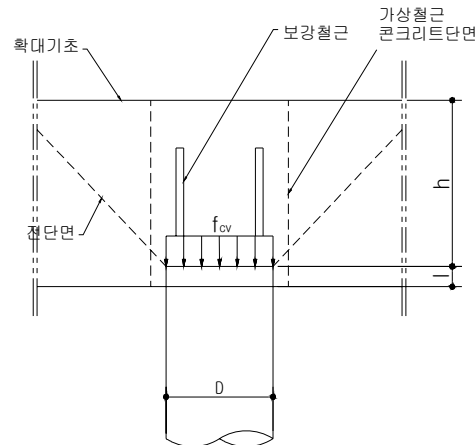


특허출원 제 0059148 호
실용신안등록 제 0426656 호

저작권	BBM KOREA. Co., Ltd.
주 소	경기도 안산시상록구 팔곡일동 568-6
Tel	031-438-1530
Fax	031-409-8031

1. Input Data			
1) 확대기초 제원			
	H (단면두께)	=	1200.0 mm
	l (말뚝 매입길이)	=	100.0 mm
	h (수직유효두께)	=	1100.0 mm
	h' (수평유효두께)	=	396.0 mm
	fck (콘크리트 설계기준강도)	=	27.0 MPa
	va3(콘크리트 허용 압발전단응력)	=	1.0 MPa (정상시)
	va3(콘크리트 허용 압발전단응력)	=	1.3 MPa (지진시)
	v oa(콘크리트 허용 부착응력)	=	1.7 MPa
2) 강관말뚝 제원 강관종류는 SPS400 강종			
	D (말뚝직경)	=	508.0 mm
	t' (말뚝두께)	=	12.0 mm
3) 보강 철근량 제원			
	보강 철근 종류	=	H19(SD40) 12 EA
	Ast(공칭단면적)	=	286.5 mm ²
	d1 (보강철근 공칭지름)	=	19.1 mm
	U (보강철근 공칭둘레)	=	60.0 mm
	de2(나사산의 유효직경)	=	18.326 mm
	fsa1(보강철근의 허용인장응력)	=	180.0 MPa (정상시)
	fsa1(보강철근의 허용인장응력)	=	239.4 MPa (지진시)
	vsa1(나사산의 허용 전단응력)	=	80.0 MPa (정상시)
	vsa1(나사산의 허용 전단응력)	=	106.4 MPa (지진시)
4) 지압이음용 고장력볼트 제원			
	사용볼트	=	M20*55L 12 EA
	de3 (볼트나사의 유효직경)	=	17.78 mm
	vsa2(볼트의 허용 전단응력)	=	190.0 MPa(정상시)
	vsa2(볼트의 허용력)	=	252.7 MPa(지진시)
	vba2(볼트의 허용 지압응력)	=	240.0 MPa(정상시)
	vba2(볼트의 허용력)	=	319.2 MPa(지진시)
	l (고장력볼트의 길이)	=	40.0 mm
	b (고장력볼트의 연단거리)	=	10.0 mm
	S (ㄷ형 연결재 두께)	=	12.0 mm
5) 말뚝머리작용하중			
	① 정상시		
	Pn,max (최대 압입력)	=	628.451 kN
	Pn,min (최소 압입력)	=	161.781 kN
	Ph,max (최대 수평력)	=	92.169 kN
	M max (최대 모멘트)	=	104.066 kN*m
	② 지진시		
	Pn,max (최대 압입력)	=	816.373 kN
	Pn,min (최소 압입력)	=	-92.234 kN
	Ph,max (최대 수평력)	=	141.551 kN
	M max (최대 모멘트)	=	109.788 kN*m

2. 압입력에 대한 검토



1) 확대기초 콘크리트의 수직지압응력(f_{cv}) 검토

$$f_{cv} = \frac{P_{n,max}}{\pi \times D^2 / 4} = \frac{628451.0}{\pi \times 508.00^2 / 4} = 3.1 \text{ MPa} < f_{ca} = 6.8 \text{ MPa} \quad (\text{평상시}) \quad 0.K$$

$$f_{cv} = \frac{P_{n,max}}{\pi \times D^2 / 4} = \frac{816373.0}{\pi \times 508.00^2 / 4} = 4.0 \text{ MPa} < f_{ca} = 9.0 \text{ MPa} \quad (\text{지진시}) \quad 0.K$$

D (말뚝외경)	=	508.0 mm	
f _{ck} (콘크리트설계기준강도)	=	27.0 MPa	
f _{ca} (콘크리트허용지압응력) = 0.25f _{ck}	=	6.8 MPa	(평상시)
f _{ca} (콘크리트허용지압응력) = 1.33f _{ca} (평상시)	=	9.0 MPa	(지진시)
P _{n,max} (최대 압입력)	=	628.451 kN	(평상시)
P _{n,max} (최대 압입력)	=	816.373 kN	(지진시)

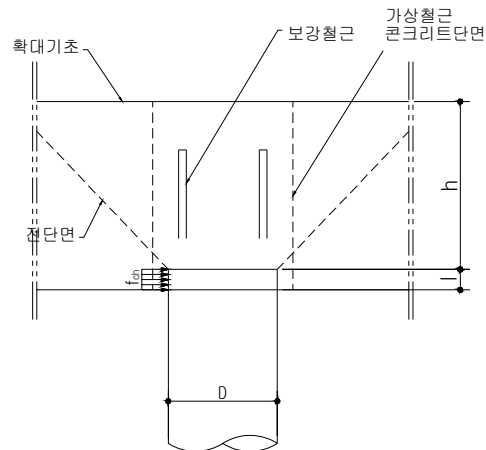
2) 확대기초 콘크리트의 수직압발전단응력(V_v) 검토

$$V_v = \frac{P_{n,max}}{\pi (D+h)h} = \frac{628451.0}{\pi \times (508.00 + 1100.0) \times 1100.0} = 0.11 \text{ MPa} < v_{ca} = 1.0 \text{ MPa} \quad (\text{평상시}) \quad 0.K$$

$$V_v = \frac{P_{n,max}}{\pi (D+h)h} = \frac{816373.0}{\pi \times (508.00 + 1100.0) \times 1100.0} = 0.15 \text{ MPa} < v_{ca} = 1.3 \text{ MPa} \quad (\text{지진시}) \quad 0.K$$

D (말뚝외경)	=	508.0 mm	
h (확대기초 수직유효두께)	=	1100.0 mm	
v _{a3} (콘크리트 허용압발전단응력)	=	1.0 MPa	(평상시)
v _{a3} (콘크리트 허용압발전단응력)	=	1.3 MPa	(지진시)
P _{n,max} (최대 압입력)	=	628.451 kN	(평상시)
P _{n,max} (최대 압입력)	=	816.373 kN	(지진시)

3. 수평력에 대한 검토



1) 확대기초 콘크리트의 수평지압응력(fch) 검토

$$f_{ch} = \frac{Ph, \max}{D \times l} = \frac{92169.0}{508.00 \times 100.00} = 1.8 \text{ MPa} < f_{ca} = 6.8 \text{ MPa (정상시)} \quad 0.K$$

$$f_{ch} = \frac{Ph, \max}{D \times l} = \frac{141551.0}{508.00 \times 100.00} = 2.8 \text{ MPa} < f_{ca} = 9.0 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

D (말뚝외경)	=	508.0	mm
l (말뚝의 매입길이)	=	100.0	mm
f _{ck} (콘크리트설계기준강도)	=	27.0	MPa
f _{ca} (콘크리트허용지압응력) = 0.25f _{ck}	=	6.8	MPa (정상시)
f _{ca} (콘크리트허용지압응력) = 1.33f _{ca} (정상시)	=	9.0	MPa (지진시)
Ph, max (최대 수평력)	=	92.169	kN (정상시)
Ph, max (최대 수평력)	=	141.551	kN (지진시)

2) 확대기초 콘크리트의 수평압발전단응력(Vh) 검토

$$V_h = \frac{Ph, \max}{h' (2l + D + 2h')} = \frac{92169.0}{0.16 \text{ MPa} (2 \times 508.0 + 2 \times 396.0)} < v_{ca} = 1.0 \text{ MPa (정상시)} \quad 0.K$$

$$V_h = \frac{Ph, \max}{h' (2l + D + 2h')} = \frac{141551.0}{0.24 \text{ MPa} (2 \times 508 + 2 \times 396.0)} < v_{ca} = 1.3 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

D (말뚝외경)	=	508.0	mm
h' (확대기초 수평유효두께)	=	396.0	mm
v _{a3} (콘크리트 허용압발전단응력)	=	1.0	MPa (정상시)
v _{a3} (콘크리트 허용압발전단응력)	=	1.3	MPa (지진시)
Ph, max (최대 수평력)	=	92.169	kN (정상시)
Ph, max (최대 수평력)	=	141.551	kN (지진시)

4. 인발력에 대한 검토

1) 부풀림 보강철근 나사산의 전단응력(Vs1) 검토

$$V_h = \frac{P_{u,max}}{n1 \cdot \pi \cdot de2 \cdot l_r} = \frac{0.000}{12 \times \pi \times 18.3 \times 25} = 0.0 \text{ MPa} < v_{sa1} = 80.0 \text{ MPa (평상시)} \quad 0.K$$

$$V_h = \frac{P_{u,max}}{n1 \cdot \pi \cdot de2 \cdot l_r} = \frac{92234.000}{12 \times \pi \times 18.3 \times 25} = 5.3 \text{ MPa} < v_{sa1} = 106.4 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

사용철근	=	H19(SD40)	-	12	EA
n1 (부풀림보강철근 사용개수)	=	12	EA		
de2 (부풀림보강철근 나사산 유효직경)	=	18.326	mm		
l_r (나사선 연결부 길이)	=	25	mm		
vsa1(보강철근 나사산의 허용전단응력)	=	80.0	MPa (평상시)		
vsa1(보강철근 나사산의 허용전단응력)	=	106.4	MPa (지진시)		
Pu,max (최대 인발력)	=	0.000	kN (평상시)		
Pu,max (최대 인발력)	=	92.234	kN (지진시)		

2) 지압이음용 고장력 볼트 검토

① 전단응력(Vs2) 검토

$$V_{s2} = \frac{P_{u,max}}{n2(\pi \cdot de3^2 / 4)} = \frac{0.000}{12 (\pi \times 17.78^2 / 4)} = 0.0 \text{ MPa} < v_{s2} = 190.0 \text{ MPa (평상시)} \quad 0.K$$

$$V_{s2} = \frac{P_{u,max}}{n2(\pi \cdot de3^2 / 4)} = \frac{92234.000}{12 (\pi \times 17.78^2 / 4)} = 31.0 \text{ MPa} < v_{s2} = 252.7 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

사용볼트	=	M20*55L			
n2 (고장력볼트 개수)	=	12	EA		
de3 (고장력볼트 나사의 유효직경)	=	17.780	mm		
vsa2(고장력볼트의 허용 전단응력)	=	190.0	MPa (평상시)		
vsa2(고장력볼트의 허용 전단응력)	=	252.7	MPa (지진시)		
Pu,max (최대 인발력)	=	0.000	kN (평상시)		
Pu,max (최대 인발력)	=	92.234	kN (지진시)		

② 지압응력(Vb2) 검토

$$Vb2 = \frac{Pu, \max}{n2(de3 \ t)} = \frac{0.000}{12 \ (\ 17.78 \ \times \ 9 \)} = 0.0 \text{ MPa} < vb2 = 240.0 \text{ MPa (평상시)} \quad 0.K$$

$$Vb2 = \frac{Pu, \max}{n2(de3 \ t)} = \frac{92234.000}{12 \ (\ 17.78 \ \times \ 9 \)} = 48.0 \text{ MPa} < vb2 = 319.2 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

n2 (고장력볼트 개수)	=	12	EA
t (강관과 강재절편 중 얇은쪽의 두께)	=	9	mm
de3 (고장력볼트 나사의 유효직경)	=	17.780	mm
vba2(고장력볼트의 허용 지압응력)	=	240.0	MPa (평상시)
vba2(고장력볼트의 허용 지압응력)	=	319.2	MPa (지진시)
Pu,max (최대 인발력)	=	0.000	kN (평상시)
Pu,max (최대 인발력)	=	92.234	kN (지진시)

3) 고장력볼트 배치시 연단거리 s 검토 - 강구조공학(한국강구조학회 발행) P129 참조

- 볼트 구멍이 배치된 경우 다음 볼트구멍까지의 거리 s(피치)를 구하는 방법으로 검토

$$bn = bg - (n \times d) + \sum_{4 \times gi} si$$

$$= \begin{cases} 1577 - (12 \times 23) = 1301 \\ 1577 - (23 \times 23) + \frac{70^2}{4 \times 65.7} \times 22 = 1458.2 \end{cases} \quad \text{중 작은 값}$$

∴ bn = 1301 mm가 된다

$$An = bn \times t = 1301 \times 12 = 15612 \text{ mm}^2$$

여기서,



- 인장부재의 내하력

$$Tn = fy \times An > Pu, \max \text{ (최대인발력) 이므로}$$

$$Tn = 140 \times 15612 = 2185.68 \text{ kN} > Pu, \max = 92.234 \text{ kN} \quad 0.K$$

5. ㄷ형 강재 절편에 대한 검토

1) 인발력에 의한 저항단면의 휨응력(fs3) 검토

$$f_{s3} = \frac{P_{u,max} \times l_m \times y}{2 \times I \times n_3} = \frac{0 \times 18.0 \times 25.0}{2 \times 60000 \times 12} = 0.0 \text{ MPa} < f_{sa3} = 140.0 \text{ MPa (평상시)} \quad 0.K$$

$$f_{s3} = \frac{P_{u,max} \times l_m \times y}{2 \times I \times n_3} = \frac{92234 \times 18.0 \times 25.0}{2 \times 60000 \times 12} = 28.8 \text{ MPa} < f_{sa3} = 186.2 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

n3 (제품 사용개수)	=	12	EA
l _m (모멘트 팔길이)	=	18.0	mm
I (저항단면의 단면2차모멘트)	=	60000	mm ⁴
y (저항단면의 높이)	=	25	mm
f _{sa3} (제품의 허용휨응력)	=	140.0	MPa (평상시)
f _{sa3} (제품의 허용휨응력)	=	186.2	MPa (지진시)
P _{u,max} (최대 인발력)	=	0.000	kN (평상시)
P _{u,max} (최대 인발력)	=	92.234	kN (지진시)

2) 인발력에 의한 저항단면의 전단응력(Vv3) 검토

$$V_{v3} = \frac{P_{u,max}}{n_3 \times A} = \frac{0.000}{12 \times 1120.0} = 0.0 \text{ MPa} < v_{va3} = 80.0 \text{ MPa (평상시)} \quad 0.K$$

$$V_{v3} = \frac{P_{u,max}}{n_3 \times A} = \frac{92234.000}{12 \times 1120.0} = 6.9 \text{ MPa} < v_{va3} = 106.4 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

n3 (제품 사용개수)	=	12	EA
A (저항단면 전단면적)	=	1120.0	mm ²
v _{va3} (제품의 허용 전단응력)	=	80.0	MPa (평상시)
v _{va3} (제품의 허용 전단응력)	=	106.4	MPa (지진시)
P _{u,max} (최대 인발력)	=	0.000	kN (평상시)
P _{u,max} (최대 인발력)	=	92.234	kN (지진시)

3) 합성응력의 계산

$$\left(\frac{f_{s3}}{f_{sa3}} \right)^2 + \left(\frac{V_{v3}}{v_{va3}} \right)^2 \leq 1.2$$

$$\left(\frac{0.0}{140.0} \right)^2 + \left(\frac{0.0}{80.0} \right)^2 = 0 < 1.2 \quad 0.K \text{ (평상시)}$$

$$\left(\frac{28.8}{186.2} \right)^2 + \left(\frac{6.9}{106.4} \right)^2 = 0.02812 < 1.2 \quad 0.K \text{ (지진시)}$$

4) 인발력에 따른 최소순단면 인장응력(Vt3) 검토

$$V_{t3} = \frac{P_{u,max}}{n_3 \times A_t} = \frac{0.000}{12 \times 480.0} = 0.0 \text{ MPa} < v_{ta3} = 140.0 \text{ MPa (평상시)} \quad 0.K$$

$$V_{t3} = \frac{P_{u,max}}{n_3 \times A_t} = \frac{92234.000}{12 \times 480.0} = 16.0 \text{ MPa} < v_{ta3} = 186.2 \text{ MPa (지진시)} \quad 0.K$$

n3 (제품 사용개수)	=	12	EA
A _t (볼트 연결부 단면의 순단면적)	=	480.0	mm ² (= 단면적 - 볼트구멍 공제)
v _{ta3} (제품의 허용 인장응력)	=	140.0	MPa (평상시)
v _{ta3} (제품의 허용 인장응력)	=	186.2	MPa (지진시)
P _{u,max} (최대 인발력)	=	0.000	kN (평상시)
P _{u,max} (최대 인발력)	=	92.234	kN (지진시)

6. 보강철근의 소요정착장(L0) 검토 : 수직형

$$L_0 = \max \left[\frac{f_{sa1} \times A_{st}}{v_{oa} \times U}, 35 \times d_1 + (D/2) \right] = \max \left[\frac{180.0 \times 286.5}{1.7 \times 60.0}, 35 \times 19 + 254 \right]$$

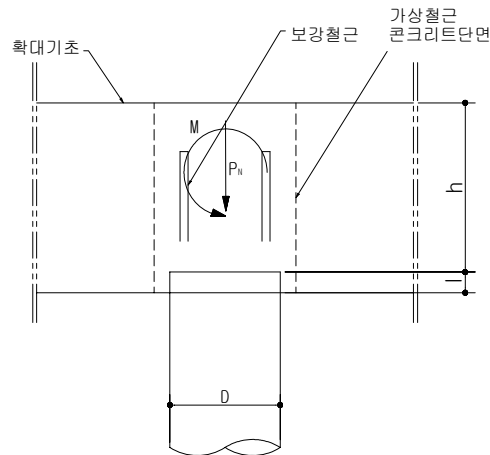
$$= \max [505.6, 922.5] = 922.5 \text{ mm}$$

사용철근	H19(SD40)	-	12	EA
d ₁ (보강철근의 공칭지름)	19.1	mm		
U (보강철근의 공칭둘레)	60.0	mm		
A _{st} (보강철근의 공칭단면적)	286.5	mm ²		
f _{sa1} (보강철근의 허용 인장응력)	180.0	MPa		
v _{oa} (기초 콘크리트의 허용 부착응력)	1.7	MPa		

따라서, 부풀림 보강철근의 정착장은 922.5 mm 이상으로 한다.

7. 확대기초속의 말뚝머리 부분의 매입길이는 최소한 100 mm 로 한다.

8. 가상 철근콘크리트 단면의 검토



상시와 지진시에 발생하는 최대 수직력과 최대 휨모멘트, 최소수직력과 최대 휨모멘트 각각에 대하여 말뚝머리의 보강철근과 콘크리트의 응력을 검토한다.
 이때 말뚝머리는 말뚝의 직경보다 200 mm를 더한 가상의 철근 콘크리트 기둥으로 가정한다.
 이는 실험에 의해 검증된 것으로 본 방법을 이용할 경우, 탄성계수비(n)는 15로 한다

1) 이론식

콘크리트의 응력은 원형 단주의 응력 계산식을 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$f_c = (M' / r^3) C \leq f_{ca} (= 0.4f_{ck})$$

단, 콘크리트의 휨압축응력계수(C)는 다음과 같다.

$$C = \frac{1 - \cos \alpha}{2 \sin^3 \alpha / 3 - \alpha \cos \alpha + \sin \alpha \cos^2 \alpha + \alpha / 4 - D}$$

$$D = \sin \alpha \cos \alpha / 4 + \sin^3 \alpha \cos \alpha / 6 - \pi n p (0.5(rs/r)^2 - \cos \alpha)$$

위 식에서 α 는 아래의 식에서 구한다.

(1) 말뚝머리에 작용하는 축방향력, $P \neq 0$ 인 경우,

$$e/r = \frac{\alpha / 4 - \sin \alpha \cos \alpha (5/12 - \cos^2 \alpha / 6) + 0.5 \pi n p (rs/r)^2}{\sin \alpha (2 + \cos^2 \alpha) / 3 - \alpha \cos \alpha - \pi n p \cos \alpha}$$

(2) 말뚝머리에 작용하는 축방향력, $P = 0$ 인 경우,

$$0 = \sin \alpha (2 + \cos^2 \alpha) / 3 - \alpha \cos \alpha - \pi n p \cos \alpha$$

단, $0 \leq \alpha \leq \cos^{-1}(rs/r)$

그리고 보강철근의 응력은 다음과 같이 구한다.

$$f_s = (M/r^3) S \times n \leq f_{sa}$$

단, 보강철근의 휨인장응력계수(S)는 다음과 같다.

$$S = C * \frac{rs/r + \cos \alpha}{1 - \cos \alpha}$$

1) 최대 압입력(Pn,max)과 최대 모멘트(M max)에 대한 검토

$$r_s/r = 229.00 / 354.00 = 0.647$$

$$D \text{ (말뚝지름)} = 508.0 \text{ mm}$$

$$r \text{ (가상단면의 반경)} = (D + 200) / 2 = 354.00 \text{ mm}$$

$$r_e \text{ (보강철근중심에서 T형 연결재 끝단까지 거리)} = 25.00 \text{ mm}$$

$$r_s \text{ (가상단면중심에서 보강철근중심까지 거리)} = r - (r_e + 100.0) = 229.00 \text{ mm}$$

$$n_p = 15 \times 0.00873 = 0.131$$

$$A_s \text{ (보강철근량)} = H19(SD40) \times 12 \text{ EA} = 286.5 \times 12 = 3438.0 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ (가상단면 철근비)} = A_s / (\pi \times r^2) = 3438 / (\pi \times 354.00^2) = 0.00873$$

$$e/r = 165.591 / 354.00 = 0.468 \text{ (평상시)}$$

$$e/r = 134.483 / 354.00 = 0.380 \text{ (지진시)}$$

$$e \text{ (편심량)} = M_{\max} / P_{n,\max} = 10406600.0 / 628451.0 = 165.591 \text{ mm (평상시)}$$

$$e \text{ (편심량)} = M_{\max} / P_{n,\max} = 10978800.0 / 816373.0 = 134.483 \text{ mm (지진시)}$$

앞의 이론식으로 부터

$$C = 0.627, S = 0.147 \text{ (평상시: } r_s/r = 0.647, n_p = 0.131, e/r = 0.468 \text{)}$$

$$C = 0.548, S = 0.037 \text{ (지진시: } r_s/r = 0.647, n_p = 0.131, e/r = 0.380 \text{)}$$

$$f_c = (M'/r^3) \times C = (32653765.4 / 354.000^3) \times 0.627 \times 10 = 4.6 \text{ MPa} < f_{ca} = 10.8 \text{ MPa (평상시) 0.K}$$

$$f_c = (M'/r^3) \times C = (39878404.2 / 354.000^3) \times 0.548 \times 10 = 4.9 \text{ MPa} < f_{ca} = 14.4 \text{ MPa (지진시) 0.K}$$

$$f_s = (M'/r^3) \cdot S \cdot n = (32653765.4 / 354.000^3) \times 0.147 \times 15 = 1.6 \text{ MPa} < f_{sa} = 180.0 \text{ MPa (평상시) 0.K}$$

$$f_s = (M'/r^3) \cdot S \cdot n = (39878404.2 / 354.000^3) \times 0.037 \times 15 = 0.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 239.4 \text{ MPa (지진시) 0.K}$$

$$M' = M_{\max} + P_{n,\max} \times r = 104.066 + 628 \times \text{#####} = 326.538 \text{ kN-m (평상시)}$$

$$M' = M_{\max} + P_{n,\max} \times r = 109.788 + 816.373 \times \text{#####} = 398.784 \text{ kN-m (지진시)}$$

$$f_{ca} \text{ (콘크리트허용압축응력)} = 0.4 f_{ck} = 0.4 \times 27.0 = 10.8 \text{ MPa (평상시)}$$

$$f_{ca} \text{ (콘크리트허용압축응력)} = 1.33 f_{ca} = 1.33 \times 10.8 = 14.4 \text{ MPa (지진시)}$$

$$f_{sa} \text{ (철근의 허용인장응력)} = 180.00 \text{ MPa (평상시)}$$

$$f_{sa} \text{ (철근의 허용인장응력)} = 239.40 \text{ MPa (지진시)}$$

2) 최소 압입력(Pn,min)과 최대 모멘트(M max)에 대한 검토

$$r_s/r = 229.00 / 354.00 = 0.647$$

$$D \text{ (말뚝지름)} = 508.0 \text{ mm}$$

$$r \text{ (가상단면의 반경)} = (D + 200) / 2 = 354.0 \text{ mm}$$

$$r_e \text{ (보강철근중심에서 T형 연결재 끝단까지 거리)} = 25.00 \text{ mm}$$

$$r_s \text{ (가상단면중심에서 보강철근중심까지 거리)} = r - (r_e + 100.0) = 229.00 \text{ mm}$$

$$n_p = 15 \times 0.00873 = 0.131$$

$$A_s \text{ (보강철근량)} = H19(SD40) \times 12 \text{ EA} = 286.5 \times 12 = 3438 \text{ mm}^2$$

$$\rho \text{ (가상단면 철근비)} = A_s / (\pi \times r^2) = 3438 / (\pi \times 354.00^2) = 0.00873$$

$$e/r = 643.252 / 354.00 = 1.817 \text{ (평상시)}$$

$$e/r = -1190.320 / 354.00 = -3.362 \text{ (지진시)}$$

$$e \text{ (편심량)} = M_{\max} / P_{n,\min} = 10406600.0 / 161781.0 = 643.252 \text{ mm (평상시)}$$

$$e \text{ (편심량)} = M_{\max} / P_{n,\min} = 10978800.0 / -92234.0 = -1190.32 \text{ mm (지진시)}$$

앞의 이론식으로 부터

$$C = 1.243, S = 1.347 \quad (\text{평상시: } r_s/r = 0.647, n_p = 0.131, e/r = 1.817)$$

$$C = 3.762, S = 8.088 \quad (\text{지진시: } r_s/r = 0.647, n_p = 0.131, e/r = -3.362)$$

$$f_c = (M'/r^3) \times C = (16133647.4 / 354.000^3) \times 1.243 \times 10 = 4.5 \text{ MPa} < f_{ca} = 10.8 \text{ MPa (평상시) } 0.K$$

$$f_c = (M'/r^3) \times C = (7713716.4 / 354.000^3) \times 3.762 \times 10 = 6.5 \text{ MPa} < f_{ca} = 14.4 \text{ MPa (지진시) } 0.K$$

$$f_s = (M'/r^3) \cdot S \cdot n = (16133647.4 / 354.000^3) \times 1.347 \times 15 \times 10 = 73.5 \text{ MPa} < f_{sa} = 180.0 \text{ MPa (평상시) } 0.K$$

$$f_s = (M'/r^3) \cdot S \cdot n = (7713716.4 / 354.000^3) \times 8.09 \times 15 \times 10 = 211.0 \text{ MPa} < f_{sa} = 239.4 \text{ MPa (지진시) } 0.K$$

$$M' = M_{\max} + P_{n,\min} \times r = 104.066 + 161.8 \times \text{#####} = 161.336 \text{ kN-m (평상시)}$$

$$M' = M_{\max} + P_{n,\min} \times r = 109.788 + -92.2 \times \text{#####} = 77.137 \text{ kN-m (지진시)}$$

$$f_{ca} \text{ (콘크리트허용압축응력)} = 0.4 f_{ck} = 0.4 \times 27.0 = 10.8 \text{ MPa (평상시)}$$

$$f_{ca} \text{ (콘크리트허용압축응력)} = 1.33 f_{ca} = 1.33 \times 10.8 = 14.4 \text{ MPa (지진시)}$$

$$f_{sa} \text{ (철근의 허용인장응력)} = 180.00 \text{ MPa (평상시)}$$

$$f_{sa} \text{ (철근의 허용인장응력)} = 239.40 \text{ MPa (지진시)}$$