4. 삼축내진말뚝 기초 설계

4.1 설계절차

삼축내진말뚝 설계절차는 다음과 같다.

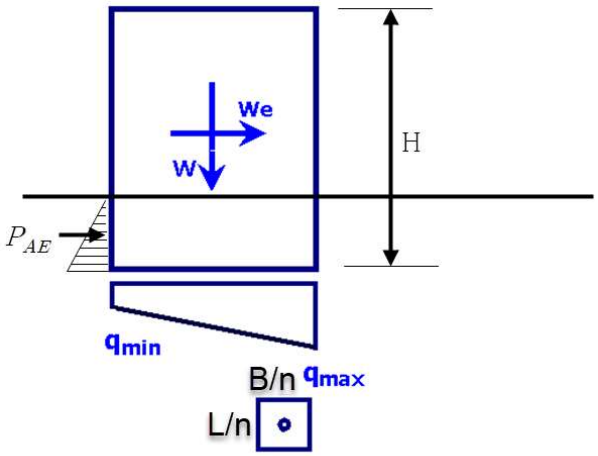
① 건물의 하중 산정
② 설계 접지압 산정
③ 상시, 지진시에 대한 두부의 적용하중 산정
④ 삼축내진말뚝 두부 하중 적용에 따른 부재력 검토(트러스 구조)
⑤ 말뚝의 최대 축려에 대한 지지력 검토

4.2 말뚝 두부 하중 산정

4.2.1 소규모 주택에 대한 하중 산정

약식계산에서는 말뚝에 직접적으로 적용되는 하중으로 검토하면 다음과 같다.

- 사하중 : 건물하중 D
- 지진토압 : H(Pae)
- 수직 지진하중 : Ev
- 수평 지진하중 : Eh



지진시 건축물의 토압

4.2.2 하중조합

- 강도설계법 적용시
  ① 1.4D
  ② 1.2D + 1.0E
  ③ 0.9D + 1.0E

- 허용응력 설계법 적용시
  ① 1.0D
  ② D + 0.7E
  ③ 0.6D + 0.7E

4.2.3 적용하중 계산

- 건축물 : 지상 5층, 지하 1층, 층높이 3m 적용
- 기초폭 : B=10m, L=10m
- 건축물단위면적당 무게 : 15kN/m²

① 건축물 사하중 : $W = 6 \times 10 \times 10 \times 15 = 9000\,kN$

② 수직 지진하중 : $E_v = 0.5 \times 0.14 \times 9000 = 630\,kN$

③ 수평 지진하중 : $E_h = 0.14 \times 9000 = 1260\,kN$

④ 지진토압 : $P_{ae} = 13.167 \times L = 13.167 \times 10 = 131.67\,kN/m$

$$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_{ae} = \frac{1}{2} \times 19 \times 3^2 \times 0.154 = 13.167\,kN$$

$$EPGA_{ff} = S \times F_a \times \frac{2}{3} = 0.22 \times 1.4 \times \frac{2}{3} = 0.2053$$

$$K_{ae} = 0.75 \times EPGA_{ff} = 0.75 \times 0.2053 = 0.154$$

가. 하중조합별 검토

① 1.4D : 상시
  - 설계하중 : 1.4 × 9000 = 12600 kN

② 1.2D + 1.0E : 지진시
  - 설계수직하중(Pv) : 1.2 × 9,000 + 1.0 × 630 = 11,400.00 kN
  - 설계수평하중(Ph) : 1.0 × 1,260 + 1.0 × 131.67 = 1,391.67 kN

③ 0.9D + 1.0E : 지진시
  - 설계수직하중(Pv) : 0.9 × 9,000 + 1.0 × 630 = 8,730.00 kN
  - 설계수평하중(Ph) : 1.0 × 1,260 + 1.0 × 131.67 = 1,391.67 kN

나. 접지압 분포

① 1.4D : 상시
  - 접지압 : 12600 / 100 = 126 kPa

② 1.2D + 1.0E : 지진시
  - 설계수직하중(Pv) : 11,400 kN
  - 설계수평하중(Ph) : 1,391.67 kN
  - 회전모멘트(M) : 1.0 × 1,260 × 9 + 1.0 × 131.67 × 1.5 = 11,537.505 kN−m
  - 최소접지압 : $q_{\min} = \frac{P_D}{A} - \frac{M_D}{Z} = \frac{11400}{100} - \frac{6 \times 11537.505}{10 \times 10^2}$ = 44.77 kPa
  - 최대접지압 : $q_{\max} = \frac{P_D}{A} + \frac{M_D}{Z} = \frac{11400}{100} + \frac{6 \times 11537.505}{10 \times 10^2}$ = 183.22 kPa

③ 0.9D + 1.0E : 지진시
  - 설계수직하중(Pv) : 8730 kN
  - 설계수평하중(Ph) : 1391.67 kN

- 회전모멘트(M) : 1.0 × 1260 × 9 + 1.0 × 131.67 × 1.5 = 11537.505 kN-m
- 최소접지압 : $q_{\min} = \frac{P_D}{A} - \frac{M_D}{Z} = \frac{8730}{100} - \frac{6 \times 11537.505}{10 \times 10^2}$ = 18.07 kPa
- 최대접지압 : $q_{\max} = \frac{P_D}{A} + \frac{M_D}{Z} = \frac{8730}{100} + \frac{6 \times 11537.505}{10 \times 10^2}$ = 156.52 kPa

다. 말뚝 두부 하중 산정

① 상시

- 수직하중 : $P_{\max} = q_{\max} B_i L_i$ = 126 × 1.25 × 1.25 = 196.87 kN

② 지진시

- 최대 수직하중 : $P_{\max} = q_{\max} B_i L_i$ = 183.22 × 1.25 × 1.25 = 286.28kN
- 최소 수직하중 : $P_{\min} = q_{\min} B_i L_i$ = 18.07 × 1.25 × 1.25 = 28.23 kN
- 최대 수평하중 : $V_p = V / N_p$ = 1391.67 / 25 = 55.67 kN

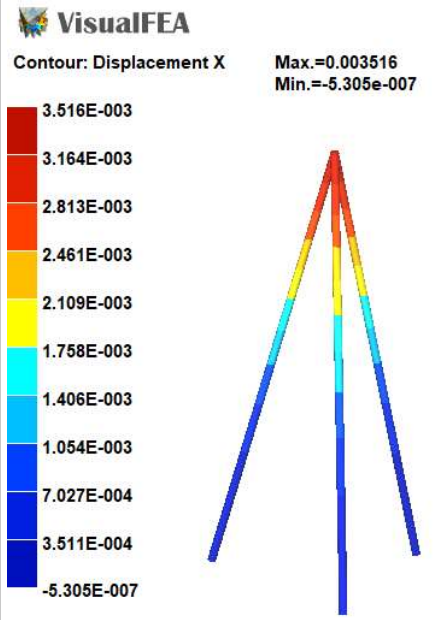
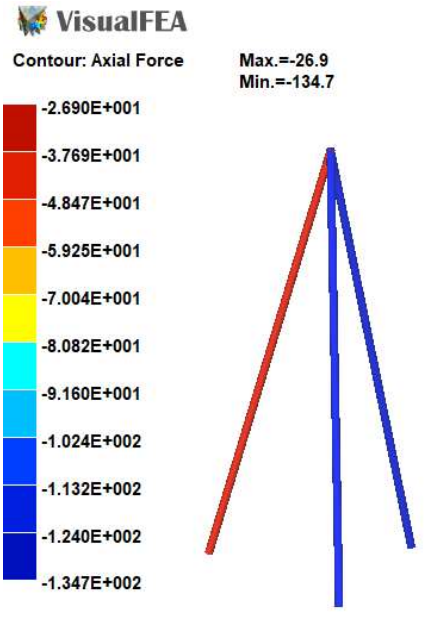
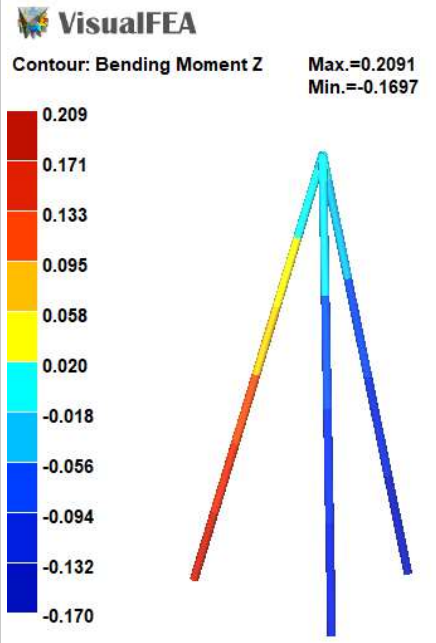
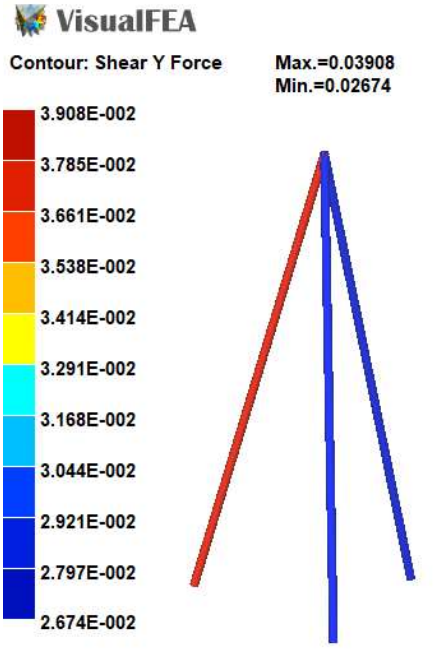
여기서, N_p : 말뚝 총 본수

4.3 말뚝 부재력 산정

삼축 내진말뚝은 위에서 산정한 말뚝의 두부에 발생되는 하중을 이용하여 말뚝 개별 부재력을 산정한다.

- 최대 수직하중 : 286.28 kN 재하
- 최대 수평하중 : 28.23 kN 재하

말뚝 부재력 결과

변위 : 3.52mm	축력 : 134.7kN
	
모멘트 : 0.21kN−m	전단력 : 0.04kN
	

4.4 말뚝 부재력 안정성 검토

강관의 경우 말뚝 부재 응력에 대한 안정성 검토는 KDS 41 30 00 : 2019기준을 따르며, 삼축내진말뚝은 두 부가 고정되어 있는 압축부재로 다음과 같이 안정성을 검토한다.

- 설계 압축 강도 : $P_D = \phi_c P_n = 0.9 P_n = 0.9(F_{cr} A_g)$

F_y = 550MPa, F_u = 690MPa,

$$r = \frac{\sqrt{D^2 + d^2}}{4} = \frac{\sqrt{110^2 + 96^2}}{4} = 36.5 \text{ (부식두께 2mm고려)}$$

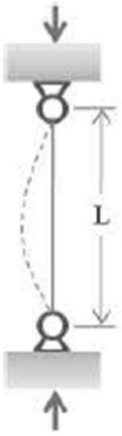
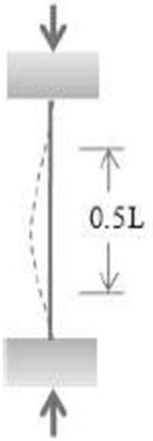
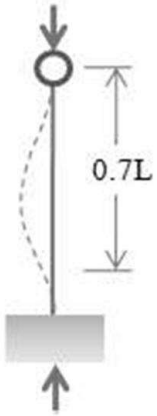
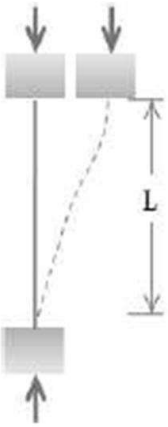
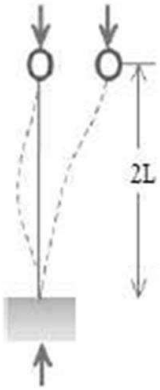
$$\lambda = \frac{KL}{r} = \frac{0.5 \times 5000}{36.5} = 68.49 \text{ (K = 0.5, 양쪽 구속조건)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 210000}{68.49^2} = 441.39 \quad \left(\frac{F_y}{F_e} = \frac{550}{441.39} = 1.24\right)$$

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y = \left[0.658^{\frac{550}{441.39}}\right] 550 = 326.48$$

$$P_D = 0.9 P_n = 0.9(F_{cr} A_g) = 0.9 \times 326.48 \times \frac{\pi(110^2 - 96^2)}{4} = 665218N = 665\,kN$$

좌굴길이계수

이동에 대한 조건		구 속			자 유	
회전에 대한 조건		양단자유	양단구속	1단 자유 타단구속	양단구속	1단 자유 타단구속
단부의 지지상태에 따른 좌굴형태						
Lk	이론치	L	0.5L	0.7L	L	2L
	추정치	L	0.65L	0.8L	1.2L	2.1L

- 말뚝의 설계축력 P_D = 665kN > 발생축력 134.7kN ..... ∴ O.K

4.5 말뚝 지지력 및 침하 검토

건축구조기준에서 말뚝의 침하량은 생략할 수 있다고 되어 있으며, 지반이 연약한 경우는 침하량을 산정한다. 말뚝의 지지력은 일반 말뚝 계산과 동일하게 검토한다.

4.5.1 검토조건

- N=40, 지지층이 6.0m인 경우 지지력 산정
- 말뚝의 설계 축력P_D = 665kN

4.5.2 말뚝의 선단지지력 검토

$$\sigma_v = \gamma' H_{ave} = (19-10)\frac{1}{2}(6+12) = 81\,\text{kPa}$$

$$N_{corr} = \left[0.77\log_{10}\left(\frac{1.92}{\sigma_v'}\right)\right]N = \left[0.77\log_{10}\left(\frac{1.92}{0.081}\right)\right]40 = 32.6$$

$$q_p = \frac{0.038 N_{corr} D_b}{D} = \frac{0.038\times 32.6\times 3000}{500} = 7.432\ \text{MPa}$$

$$q_l = 0.4N = 0.4*40 = 16\ \text{MPa}$$

$$Q_P = q_p A_p = 7.432\times\frac{\pi 0.5^2}{4} = 1.458\,\text{MPa}$$

4.5.3 말뚝의 주면마찰력

$$q_s = 0.0019\,\overline{N} = 0.0019\times 40 = 0.076\ \text{MPa}$$

$$Q_S = q_s A_s = 0.076\times\pi\times 0.5\times 6 = 0.716\,\text{MPa}$$

4.5.4 강도설계법에 의한 설계지지력

$$Q_R = \phi Q_n = 0.45(1.458+0.716) = 0.978\ \text{MPa} = 976\ \text{kN}$$

4.5.5 말뚝의 지지력 검토결과

앞에서 산정한 개별 말뚝의 최대 축력이 지지력 값 이하이면 안정하다.

$$Q_R = 976\text{kN} > P_D = 665\,kN > A_u = 134.7\,kN$$

설계하중에 의한 말뚝에 발생된 최대 축력 $A_u = 134.7\,kN$ 보다 말뚝 설계 축력 $P_D = 665\,kN$ 이 크므로 말뚝의 파괴는 발생하지 않으며, 강도설계법에 의한 설계지지력 Q_R = 976 kN 이 발생된 최대 축력 이상이므로 말뚝의 지지력은 안정한 것으로 검토되었다.