

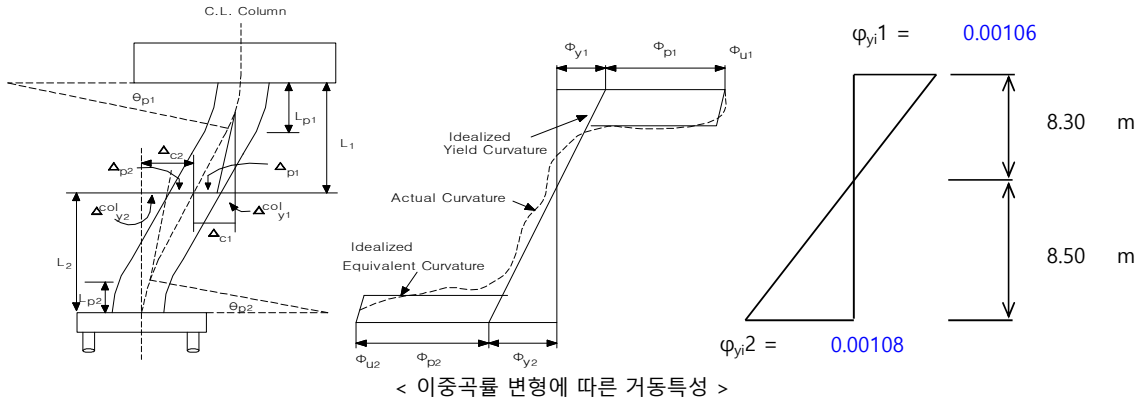
## 9. 교각부 평가

### 9.1 교각 2

#### 9.1.1 교각 거동 특성값

| 구 분                       | 교축방향         | 교직방향       | 비고                  |
|---------------------------|--------------|------------|---------------------|
| 거동형태                      | 1<br>(켄틸레버식) | 2<br>(라멘식) | 1 : 켄틸레버식 2 : 라멘식   |
| 겉이음 판단                    | 3            | 3          | 1:100%, 2:50%, 3:0% |
| 교각높이 H (m)                | 16.800       | 16.800     | 교각높이                |
| 교각유효높이 H <sub>e</sub> (m) | 19.800       | 8.400      | 교직-상부구조 도심          |
| 진동주기(sec)                 | 3.196        | 0.795      | 해석결과                |

※ 교축직각방향-이중곡률 변형에 따른 모멘트 팔길이(H<sub>e</sub>) 산정



$$\begin{aligned}
 \therefore \text{교축직각방향 상단 } H_e &= \text{기둥길이}(L) \times \phi_{yi1} / (\phi_{yi1} + \phi_{yi2}) \\
 &= 16.800 \times 0.00106 / (0.00106 + 0.00108) = 8.30 \text{ m} \\
 \therefore \text{교축직각방향 하단 } H_e &= \text{기둥길이}(L) \times \phi_{yi2} / (\phi_{yi1} + \phi_{yi2}) \\
 &= 16.800 \times 0.00108 / (0.00106 + 0.00108) = 8.50 \text{ m}
 \end{aligned}$$

#### 9.1.2 휨성능 곡선 산정

##### 1) 교축방향

$$\begin{aligned}
 F_y^L &= M_y^L / H_e = 29,739 / 19.800 = 1,501.975 \text{ kN} \\
 F_u^L &= M_u^L / H_e = 30,637 / 19.800 = 1,547.298 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

##### 2) 교축직각방향

$$\begin{aligned}
 F_y^T &= M_y^T / H_e = 29,737 / 8.498 = 3,499.247 \text{ kN} \\
 F_u^T &= M_u^T / H_e = 30,632 / 8.498 = 3,604.625 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

##### - 기둥상단

$$\begin{aligned}
 F_y^T &= M_y^T / H_e = 28,648 / 8.302 = 3,450.735 \text{ kN} \\
 F_u^T &= M_u^T / H_e = 29,480 / 8.302 = 3,551.000 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$F_y^L, F_y^T$  : 교각의 항복시 교축 및 교축직각방향 휨단면강도(kN)  
 $F_u^L, F_u^T$  : 교각의 극한상태시 교축 및 교축직각방향 휨단면강도(kN)  
 $M_y^L, M_y^T$  : 교각의 항복시 항복휨모멘트(kN·m)  
 $M_u^L, M_u^T$  : 교각의 극한상태시 공칭휨모멘트(kN·m)  
 $H_e$  : 교각의 하중작용점 높이, m

#### 9.1.3 교각의 변위 및 공급연성도 산정

##### 1) 교축방향

###### ① 항복변위( $\Delta_y$ )

$$\bullet \Delta_y^L = \frac{\Phi_y^L H_e^2}{3} = \frac{0.00144}{3} \times \frac{19.800^2}{3} = 0.1881 \text{ m}$$

② 소성변위( $\Delta_p$ )

$$\begin{aligned} \bullet L_p^L &= 0.08 H_e + 0.022 f_y d_{bl} = 0.08 \times 19.8 + 0.022 \times 300 \times 0.029 = 1.773 \text{ m} \\ &\geq 0.044 f_y d_{bl} = 0.044 \times 300 \times 0.029 = 0.383 \text{ m} \\ \bullet \theta_p^L &= (\Phi_U^L - \Phi_y^L) L_p^L = (0.00703 - 0.00144) \times 1.773 = 0.0099 \\ \bullet \Delta_p^L &= (M_U^L / m_Y^L - 1) \Delta_y^L + \theta_p^L (H_e^L - L_p^L / 2) \\ &= \left( \frac{30,637}{29,739} - 1 \right) \times 0.18813 + 0.00990 \times \left( 19.800 - \frac{1.773}{2} \right) \\ &= 0.1930 \text{ m} \end{aligned}$$

③ 극한변위( $\Delta_u^{Lf}$ )

$$\bullet \Delta_u^{Lf} = \Delta_y^L + \Delta_p^L = 0.18810 + 0.19300 = 0.3811 \text{ m}$$

④ 공급연성도

$$\begin{aligned} \bullet \text{공급변위연성도} \quad \mu_{\Delta c}^L &= \frac{\Delta_u^L}{\Delta_y^L} = \frac{0.3811}{0.1881} = 2.026 \quad (\text{제한없음}) \\ &= 2.026 \end{aligned}$$

⑤ 교각의 공급연성도

교각의 공급연성도는 평가요령에 따라 **2.026** 로 제한

(휨파괴보다 전단파괴가 먼저 일어날시 연성도는 1.0으로 측정한다.)

2) 교축직각방향

- 교축직각방향 하단

① 항복변위( $\Delta_y^T$ )

$$\bullet \Delta_y^T = \frac{\Phi_y^T H_e^2}{3} = \frac{0.00144}{3} \times \frac{8.498^2}{3} = 0.0346 \text{ m}$$

② 소성변위( $\Delta_p$ )

$$\begin{aligned} \bullet L_p^T &= 0.08 H_e + 0.022 f_y d_{bl} = 0.08 \times 8.498 + 0.022 \times 300 \times 0.029 = 0.869 \text{ m} \\ &\geq 0.044 f_y d_{bl} = 0.044 \times 300 \times 0.029 = 0.383 \text{ m} \\ \bullet \theta_p^T &= (\Phi_U^T - \Phi_y^T) L_p^T = (0.00702 - 0.00144) \times 0.869 \\ &= 0.00490 \\ \bullet \Delta_p^T &= (M_U^T / m_Y^T - 1) \Delta_y^T + \theta_p^T (H_e^T - L_p^T / 2) \\ &= \left( \frac{30,632}{29,737} - 1 \right) \times 0.03465 + 0.00490 \times \left( 8.498 - \frac{0.869}{2} \right) \\ &= 0.0406 \text{ m} \end{aligned}$$

③ 극한변위( $\Delta_u^T$ )

$$\bullet \Delta_u^{Tf} = \Delta_y^T + \Delta_p^T = 0.0346 + 0.0406 = 0.0752 \text{ m}$$

④ 공급연성도

$$\begin{aligned} \bullet \text{공급변위연성도} \quad \mu_{\Delta c} &= \frac{\Delta_u}{\Delta_y} = \frac{0.07520}{0.03465} = 2.170 \quad (\text{제한없음}) \\ &= 2.170 \end{aligned}$$

⑤ 교각의 공급연성도

교각의 공급연성도는 평가요령에 따라 **2.170** 로 제한

(휨파괴보다 전단파괴가 먼저 일어날시 연성도는 1.0으로 측정한다.)

| 구 분        | 교축방향   |        | 교축직각방향(하단) |        | 교축직각방향(상단) |        | 비고 |
|------------|--------|--------|------------|--------|------------|--------|----|
|            | 항복시(y) | 극한시(u) | 항복시(y)     | 극한시(u) | 항복시(y)     | 극한시(u) |    |
| 휨강도 F (kN) | 1502   | 1547   | 3499       | 3605   | 3451       | 3551   |    |

|                 |        |        |        |        |        |        |  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| 변위 $\Delta$ (m) | 0.1881 | 0.3811 | 0.0346 | 0.0752 | 0.0328 | 0.0731 |  |
|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|

휨강도, 항복 및 극한변위

#### 9.1.4 전단성능곡선 산정

##### 1) 교축방향 ( $V_c$ )

① 콘크리트가 부담하는 전단강도 ( $V_c$ )

- 변위연성도  $\mu_\Delta \leq 2.0$  인 경우  $V_c$ )

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}} A_e = 0.300 \times \sqrt{24} \times 3.6191 = 5,319 \text{ kN}$$

$$k = 0.297 \quad (k=0.3-0.1(\mu_\Delta-2), \text{ 단 } \mu_\Delta \leq 2.0 \text{ 이면 } k=0.3)$$

$$A_e = 0.8 \times A_{\text{gross}} = 0.8 \times 4.524 = 3.6191 \text{ m}^2 \text{ (유효 단면적)}$$

- 변위연성도  $\mu_\Delta \geq 5.0$  인 경우  $V_c$ )

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}} A_e = 0 \times \sqrt{24} \times 3.6191 = 0 \text{ kN}$$

$$k = 0.000$$

$$A_e = 0.8 \times A_{\text{gross}} = 0.8 \times 4.524 = 3.6191 \text{ m}^2 \text{ (유효 단면적)}$$

여기서,

$A_e$  : 유효 단면적

$A_{\text{gross}}$  : 4.524  $\text{m}^2$

$k$  : 부재의 변위연성도에 따른 콘크리트의 전단강도를 감소시켜주는 계수

- 변위연성도  $\mu_\Delta$  에 따른  $\Delta^L$ )

$$\blacktriangleright \mu_\Delta = 2.0 \text{인 경우 } \Delta^L = \mu_\Delta \times \Delta_y^L = 2.0 \times 0.18813 = 0.37626 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright \mu_\Delta = 5.0 \text{인 경우 } \Delta^L = \mu_\Delta \times \Delta_y^L = 5.0 \times 0.18813 = 0.94066 \text{ m}$$

##### 2) 교축직각방향

① 콘크리트가 부담하는 전단강도 ( $V_c$ ) - 교각 하단

- 변위연성도  $\mu_\Delta \leq 2.0$  인 경우  $V_c$ )

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}} A_e = 0.300 \times \sqrt{24} \times 3.6191 = 5,319 \text{ kN}$$

$$k = 0.283 \quad (k=0.3-0.1(\mu_\Delta-2), \text{ 단 } \mu_\Delta \leq 2.0 \text{ 이면 } k=0.3)$$

$$A_e = 0.8 \times A_{\text{gross}} = 0.8 \times 4.524 = 3.6191 \text{ m}^2 \text{ (유효 단면적)}$$

- 변위연성도  $\mu_\Delta \geq 5.0$  인 경우  $V_c$ )

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}} A_e = 0 \times \sqrt{24} \times 3.6191 = 0 \text{ kN}$$

$$k = 0.000$$

$$A_e = 0.8 \times A_{\text{gross}} = 0.8 \times 4.524 = 3.6191 \text{ m}^2 \text{ (유효 단면적)}$$

여기서,

$A_e$  : 유효 단면적

$A_{\text{gross}}$  : 4.524  $\text{m}^2$

k : 부재의 변위연성도에 따른 콘크리트의 전단강도를 감소시켜주는 계수

- 변위연성도  $\mu_\Delta$  에 따른  $\Delta^L$ )

▶  $\mu_\Delta = 2.0$ 인 경우  $\Delta^L = \mu_\Delta \times \Delta_y^L = 2.0 \times 0.03465 = 0.06929 \text{ m}$

▶  $\mu_\Delta = 5.0$ 인 경우  $\Delta^L = \mu_\Delta \times \Delta_y^L = 5.0 \times 0.03465 = 0.17324 \text{ m}$

② 콘크리트가 부담하는 전단강도 ( $V_c$ ) - 교각 상단

- 변위연성도  $\mu_\Delta \leq 2.0$  인 경우  $V_c$ )

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}} A_e = 0.300 \times \sqrt{24} \times 3.6191 = 5,319 \text{ kN}$$

$$k = 0.277 \quad (k=0.3-0.1(\mu_\Delta-2), \text{ 단 } \mu_\Delta \leq 2.0 \text{ 이면 } k=0.3)$$

$$A_e = 0.8 \times A_{gross} = 0.8 \times 4.524 = 3.6191 \text{ m}^2 \text{ (유효 단면적)}$$

- 변위연성도  $\mu_\Delta \geq 5.0$  인 경우  $V_c$ )

$$V_c = k \sqrt{f_{ck}} A_e = 0 \times \sqrt{24} \times 3.6191 = 0 \text{ kN}$$

$$k = 0.000$$

$$A_e = 0.8 \times A_{gross} = 0.8 \times 4.524 = 3.6191 \text{ m}^2 \text{ (유효 단면적)}$$

여기서,

$A_e$  : 유효 단면적

$A_{gross}$  : 4.524  $\text{m}^2$

$k$  : 부재의 변위연성도에 따른 콘크리트의 전단강도를 감소시켜주는 계수

- 변위연성도  $\mu_\Delta$  에 따른  $\Delta^L$ )

$$\blacktriangleright \mu_\Delta = 2.0 \text{ 인 경우 } \Delta^L = \mu_\Delta \times \Delta_y^L = 2.0 \times 0.03280 = 0.06561 \text{ m}$$

$$\blacktriangleright \mu_\Delta = 5.0 \text{ 인 경우 } \Delta^L = \mu_\Delta \times \Delta_y^L = 5.0 \times 0.03280 = 0.16402 \text{ m}$$

3) 교축방향 ( $V_s$ )

① 전단철근에 의한 전단강도 ( $V_s$ )

$$V_s = \frac{\pi}{2} \frac{A_v f_y D'}{s} = \frac{\pi}{2} \frac{573 \times 300 \times 2,247.7}{2 \times 300} = 2,023 \text{ kN}$$

여기서,  $A_v = 573 \text{ mm}^2$  (전단력 작용 방향의 횡방향 철근의 단면적)

=> ( D19 - 2 EA ) 2 단 배근

$f_y = 300 \text{ Mpa}$  (횡방향 철근의 항복강도)

$D' = D(\text{기둥폭}) - 2c(\text{피복})$

$$= 2400 - 2 \times 100.0 + 28.6 + 19.1$$

$$= 2,247.7 \text{ mm} \text{ (횡철근 중심간 거리)}$$

4) 교축직각방향 ( $V_s$ )

① 전단철근이 부담하는 전단강도( $V_s$ ) - 교각 하단

$$V_s = \frac{\pi}{2} \frac{A_v f_y D'}{s} = \frac{\pi}{2} \frac{573 \times 300 \times 2,247.7}{2 \times 300} = 2,023.1 \text{ kN}$$

여기서,  $A_v = 573 \text{ mm}^2$  (전단력 작용 방향의 횡방향 철근의 단면적)

=> ( D19 - 2 EA ) 2 단 배근

$f_y = 300 \text{ Mpa}$  (횡방향 철근의 항복강도)

$D' = D(\text{기둥폭}) - 2c(\text{피복})$

$$= 2400 - 2 \times 100.0 + 28.6 + 19.1$$

$$= 2,247.7 \text{ mm} \text{ (횡철근 중심간 거리)}$$

② 전단철근이 부담하는 전단강도( $V_s$ ) - 교각 상단

$$\bullet V_s = \frac{\pi A_v f_y D'}{2 s}$$

$$= \frac{\pi \times 573 \times 300 \times 2,247.7}{2 \times 300} = 2,023.1 \text{ kN}$$

여기서,  $A_v = 573 \text{ mm}^2$  (전단력 작용 방향의 횡방향 철근의 단면적)

$\Rightarrow (D_{19} - 2EA) \times 2 \text{ 단 배근}$

$f_y = 300 \text{ Mpa}$  (횡방향 철근의 항복강도)

$D' = D(\text{기둥폭}) - 2c(\text{피복})$

$= 2400 - 2 \times 100.0 + 28.6 + 19.1$

$= 2247.7 \text{ mm}$  (횡철근 중심간 거리)

## 5) 교축방향 ( $V_p$ )

### ① 축력에 의한 전단강도( $V_p$ )

$$\bullet V_p = 0.15 \times \frac{P_{TOP} t_s^L}{L_s} = 0.15 \times \frac{8,633 \times 2,400}{19,800} = 157 \text{ kN}$$

여기서,  $P_{TOP} = 8,633 \text{ kN}$  (기둥당 상단고정하중)

$t_s^L = 2,400 \text{ m}$  ( $=D$ ) (교축방향 기둥 폭)

$L_s^L = 19,800 \text{ m}$  ( $=H_e^L$ ) (교각유효높이)

## 6) 교축직각방향 ( $V_p$ )

### ① 축력에 의한 전단강도( $V_p$ ) - 교각 하단

$$\bullet V_p = 0.15 \times \frac{P_{TOP} t_s}{L_s} = 0.15 \times \frac{8,633 \times 2,400}{8,498} = 366 \text{ kN}$$

여기서,  $P_{TOP} = 8,633 \text{ kN}$  (기둥당 상단고정하중)

$t_s = 2,400 \text{ m}$  ( $=D$ ) (교축직각방향 기둥 폭)

$L_s = 8,498 \text{ m}$  ( $=H_e$ ) (교각유효높이)

### ② 축력에 의한 전단강도( $V_p$ ) - 교각 상단

$$\bullet V_p = 0.15 \times \frac{P \cdot h}{L_s} = 0.15 \times \frac{8,633 \times 2,400}{8,302} = 374 \text{ kN}$$

여기서,  $P_{TOP} = 8,633 \text{ kN}$  (교각 1기둥당 상단고정하중)

$t_s = 2,400 \text{ m}$  ( $=D$ ) (교축직각방향 기둥 폭)

$L_s = 8,302 \text{ m}$  ( $=H_e$ ) (교각유효높이)

## 7) 교축방향 ( $V_n$ )

### ① 교각의 전단강도( $V_n$ )

|                                      |                     |   |         |    |             |
|--------------------------------------|---------------------|---|---------|----|-------------|
| ▶ $\mu_{\Delta}=2.0$ 인 경우            |                     |   |         |    |             |
| • $V_n$                              | $= V_c + V_s + V_p$ | = | 5,319   | +  | 2,023 + 157 |
|                                      |                     | = | 7,499   | kN |             |
| ▶ $\mu_{\Delta}=2.0$ 인 경우 $\Delta^L$ | =                   |   | 0.37626 | m  |             |

|                                      |                     |   |         |    |             |
|--------------------------------------|---------------------|---|---------|----|-------------|
| ▶ $\mu_{\Delta}=5.0$ 인 경우            |                     |   |         |    |             |
| • $V_n$                              | $= V_c + V_s + V_p$ | = | 0       | +  | 2,023 + 157 |
|                                      |                     | = | 2,180   | kN |             |
| ▶ $\mu_{\Delta}=5.0$ 인 경우 $\Delta^L$ | =                   |   | 0.94066 | m  |             |

#### 8) 교축직각방향 ( $V_n$ )

##### ① 교각의 전단강도( $V_n$ ) - 교각 하단

|                                      |                     |   |         |    |             |
|--------------------------------------|---------------------|---|---------|----|-------------|
| ▶ $\mu_{\Delta}=2.0$ 인 경우            |                     |   |         |    |             |
| • $V_n$                              | $= V_c + V_s + V_p$ | = | 5,319   | +  | 2,023 + 366 |
|                                      |                     | = | 7,708   | kN |             |
| ▶ $\mu_{\Delta}=2.0$ 인 경우 $\Delta^L$ | =                   |   | 0.06929 | m  |             |

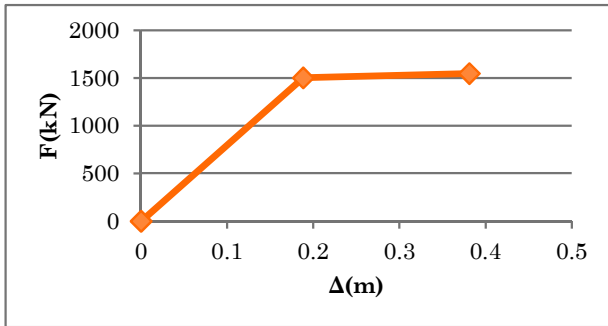
|                                      |                     |   |         |    |             |
|--------------------------------------|---------------------|---|---------|----|-------------|
| ▶ $\mu_{\Delta}=5.0$ 인 경우            |                     |   |         |    |             |
| • $V_n$                              | $= V_c + V_s + V_p$ | = | 0       | +  | 2,023 + 366 |
|                                      |                     | = | 2,389   | kN |             |
| ▶ $\mu_{\Delta}=5.0$ 인 경우 $\Delta^L$ | =                   |   | 0.17324 | m  |             |

##### ② 교각의 전단강도( $V_n$ ) - 교각 상단

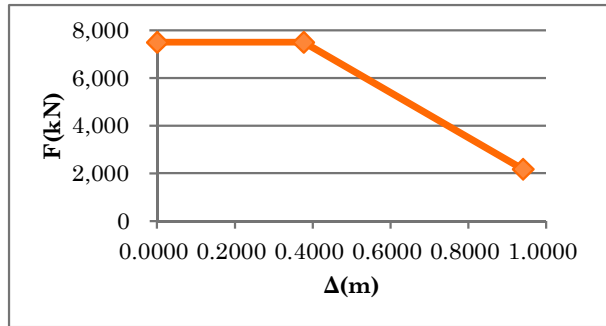
|                                      |                     |   |         |    |             |
|--------------------------------------|---------------------|---|---------|----|-------------|
| ▶ $\mu_{\Delta}=2.0$ 인 경우            |                     |   |         |    |             |
| • $V_n$                              | $= V_c + V_s + V_p$ | = | 5,319   | +  | 2,023 + 374 |
|                                      |                     | = | 7,716   | kN |             |
| ▶ $\mu_{\Delta}=2.0$ 인 경우 $\Delta^L$ | =                   |   | 0.06561 | m  |             |

|                                      |                     |   |         |    |             |
|--------------------------------------|---------------------|---|---------|----|-------------|
| ▶ $\mu_{\Delta}=5.0$ 인 경우            |                     |   |         |    |             |
| • $V_n$                              | $= V_c + V_s + V_p$ | = | 0       | +  | 2,023 + 374 |
|                                      |                     | = | 2,397   | kN |             |
| ▶ $\mu_{\Delta}=5.0$ 인 경우 $\Delta^L$ | =                   |   | 0.16402 | m  |             |

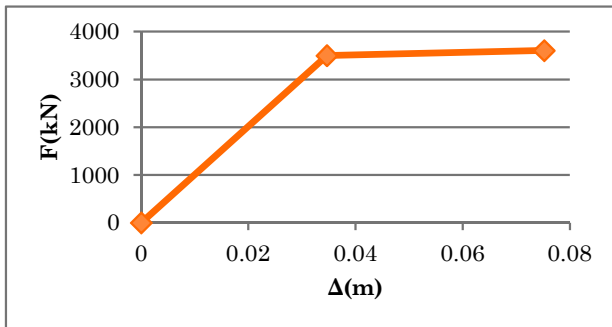
※ 힘·전단성능 곡선



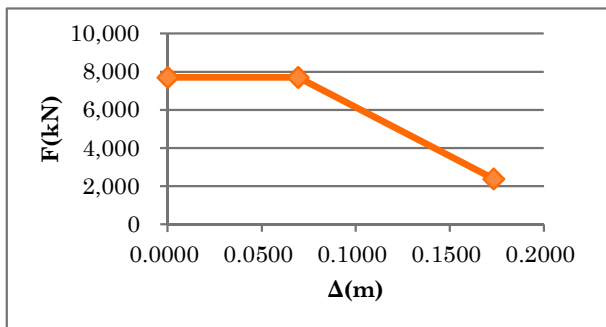
교축방향 휨성능 곡선



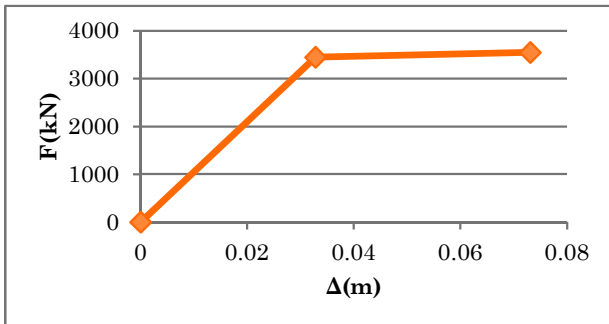
교축방향 전단성능 곡선



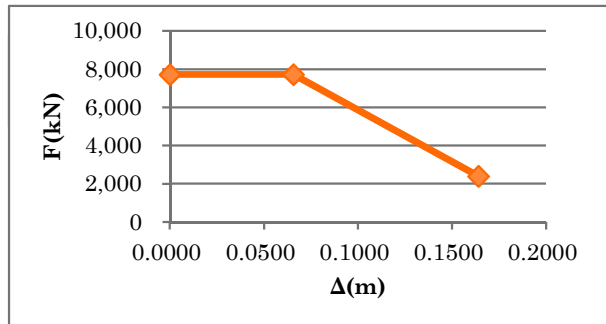
교축직각방향(하단) 휨성능 곡선



교축직각방향(하단) 전단성능 곡선



교축직각방향(상단) 휨성능 곡선

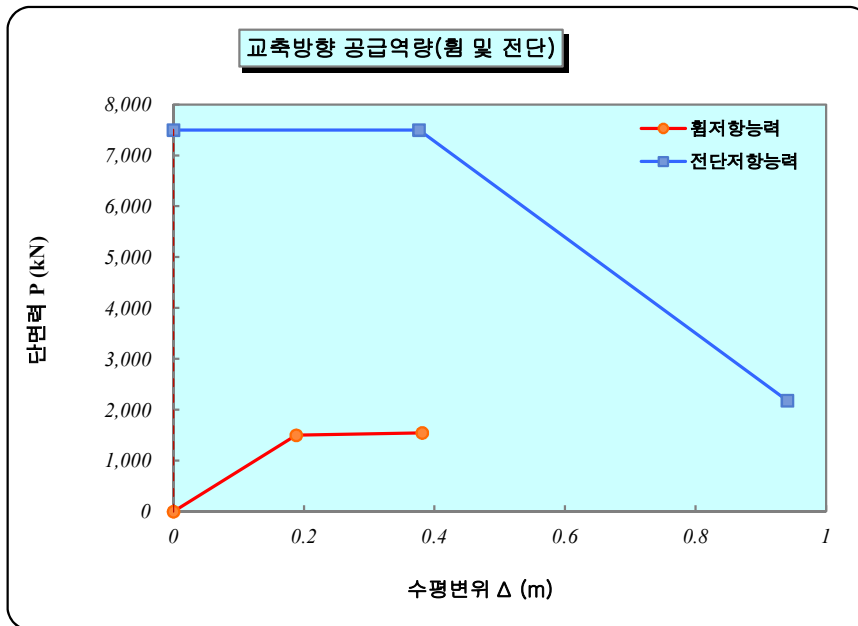


교축직각방향(상단) 전단성능 곡선



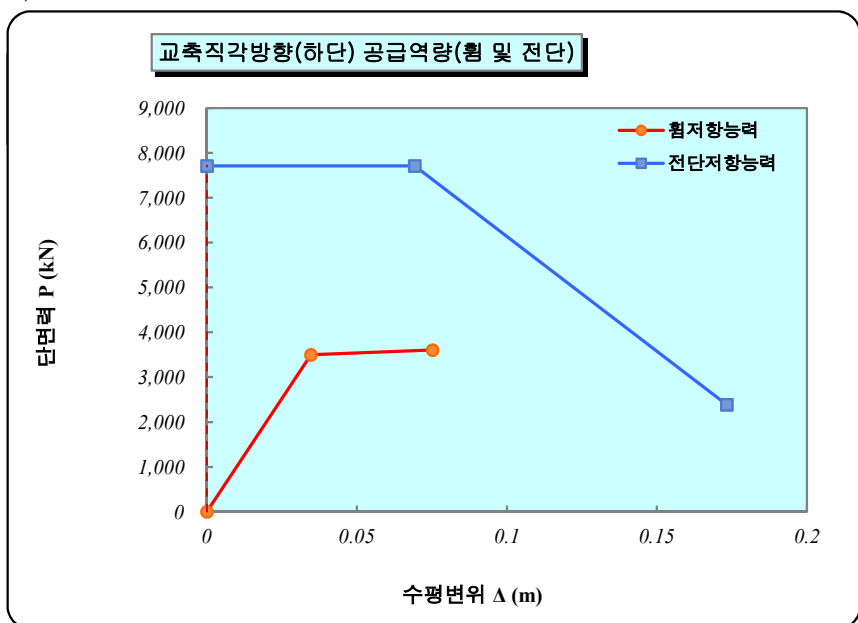
### 9.1.5 파괴모드 결정

#### 1) 교축방향



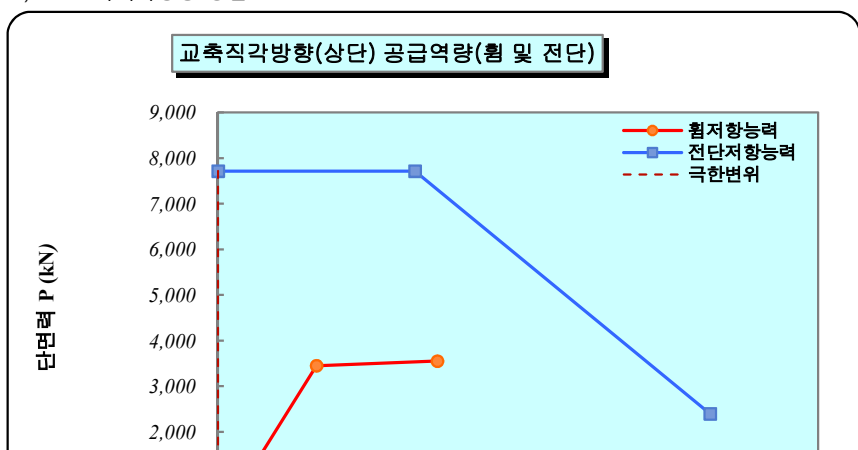
|                     |
|---------------------|
| 휨강도( $P_f$ )        |
| <b>1,547</b>        |
| (kN)                |
| 전단강도( $V_n$ )       |
| <b>7,499</b>        |
| (kN)                |
| 항복변위 ( $\Delta_y$ ) |
| <b>0.1881</b>       |
| (m)                 |
| 극한변위 ( $\Delta_u$ ) |
| <b>0.3811</b>       |
| (m)                 |
| 변위연성도( $\mu$ )      |
| <b>2.026</b>        |

#### 2) 교축직각방향-하단

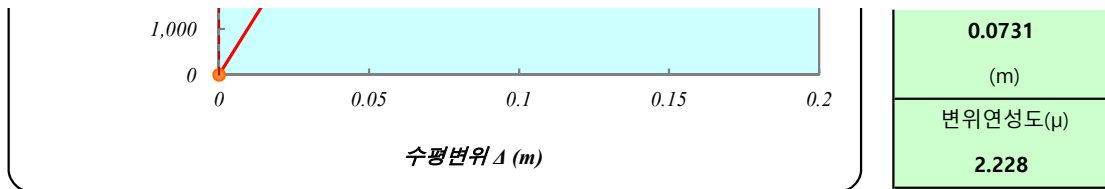


|                     |
|---------------------|
| 휨강도( $P_f$ )        |
| <b>3,605</b>        |
| (kN)                |
| 전단강도( $V_n$ )       |
| <b>7,708</b>        |
| (kN)                |
| 항복변위 ( $\Delta_y$ ) |
| <b>0.0346</b>       |
| (m)                 |
| 극한변위 ( $\Delta_u$ ) |
| <b>0.0752</b>       |
| (m)                 |
| 변위연성도( $\mu$ )      |
| <b>2.170</b>        |

#### 3) - 교축직각방향-상단



|                     |
|---------------------|
| 휨강도( $P_f$ )        |
| <b>3,551</b>        |
| (kN)                |
| 전단강도( $V_n$ )       |
| <b>7,716</b>        |
| (kN)                |
| 항복변위 ( $\Delta_y$ ) |
| <b>0.0328</b>       |
| (m)                 |
| 극한변위 ( $\Delta_u$ ) |
| -                   |



### 9.1.6 소요성능 산정

#### 1) 교축방향

##### ① 탄성 지진 조합력

$$\begin{aligned}
 \bullet \quad M_{E, pd}^L &= M_E^L + P \cdot 1.5 \Delta_E^L = 27,972 + 8,633 \times 1.5 \times 0.17399 \\
 &= 30,225 \text{ kN}\cdot\text{m}
 \end{aligned}$$

##### ② 단면강도비 RS

$$\bullet \quad R_s^L = \frac{M_{E, pd}}{M_y} = \frac{30,225}{29,739} = 1.016 \rightarrow \text{RS } 1.016 \text{ 적용}$$

- $T \geq 1.25 T_s$  일때,  $\lambda_{DR} = 1$
- $T < 1.25 T_s$  일때,  $\lambda_{DR} = (1 - (1/R_s) * 1.25 T_s / T + 1/R_s)$
- 지반종류는 **S2** 이고, 주기(T)는 **3.1957** 초 이므로  
 $T \geq 1.25 T_s$  ( = 0.516 )  $\therefore \lambda_{DR} = 1.000$

※ 설계응답스펙트럼의 통제주기

| 구분         | 지반 종류  |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | S1     | S2     | S3     | S4     | S5     |
| $T_s$      | 0.3000 | 0.4131 | 0.4136 | 0.5609 | 0.7420 |
| $1.25 T_s$ | 0.3750 | 0.5164 | 0.5170 | 0.7011 | 0.9275 |

④ 소요변위연성도  $\mu_{\Delta d}$

- $\mu_{\Delta d} = \lambda_{DR} \times R_s = 1.000 \times 1.016 = 1.016$

2) 교축직각방향

- 교축직각방향 기둥하단

① 탄성 지진 조합력

- $M_{E, pd}^T = M_E^L + P \cdot 1.5 \Delta E^L = 22,412 + 8,633 \times 1.5 \times 0.056$   
 $= 23,131 \text{ kN}\cdot\text{m}$

② 단면강도비  $R_s$

- $R_s^T = \frac{M_{E, pd}^T}{M_y} = \frac{23,131}{29,737} = 0.778 \rightarrow R_s 1.000 \text{ 적용} \therefore \text{탄성영역상에서 거동}$

- $T \geq 1.25 T_s$  일때,  $\lambda_{DR} = 1$
- $T < 1.25 T_s$  일때,  $\lambda_{DR} = (1 - (1/R_s) * 1.25 T_s / T + 1/R_s)$
- 지반종류는 **S2** 이고, 주기(T)는 **0.7953** 초 이므로  
 $T \geq 1.25 T_s$  ( = 0.516 )  $\therefore \lambda_{DR} = 1.000$

※ 설계응답스펙트럼의 통제주기

| 구분         | 지반 종류  |        |        |        |        |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|
|            | S1     | S2     | S3     | S4     | S5     |
| $T_s$      | 0.3000 | 0.4131 | 0.4136 | 0.5609 | 0.7420 |
| $1.25 T_s$ | 0.3750 | 0.5164 | 0.5170 | 0.7011 | 0.9275 |

④ 소요변위연성도  $\mu_{\Delta d}$

- $\mu_{\Delta d} = \lambda_{DR} \times R_s = 1.000 \times 1.000 = 1.000$

- - 교축직각방향 상단

① 탄성 지진 조합력

- $M_{E, pd}^T = M_E^L + P \cdot 1.5 \Delta E^L = 21,062 + 8,633 \times 1.5 \times 0.056$   
 $= 21,781 \text{ kN}\cdot\text{m}$

② 단면강도비  $R_s$

- $R_s = \frac{M_{E, pd}^T}{M_y} = \frac{21,781}{28,648} = 1.000 \therefore \text{탄성영역상에서 거동}$

- $T \geq 1.25 T_s$  일때,  $\lambda_{DR} = 1$
- $T < 1.25 T_s$  일때,  $\lambda_{DR} = (1 - (1/R_s) * 1.25 T_s / T + 1/R_s)$
- 지반종류는 **S2** 이고, 주기(T)는 **0.7953** 초 이므로  
 $T \geq 1.25 T_s$  ( = 0.516 )  $\therefore \lambda_{DR} = 1.000$

※ 설계응답스펙트럼의 통제주기

| 구분      | 지반 종류  |        |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
|         | S1     | S2     | S3     | S4     | S5     |
| Ts      | 0.3000 | 0.4131 | 0.4136 | 0.5609 | 0.7420 |
| 1.25 Ts | 0.3750 | 0.5164 | 0.5170 | 0.7011 | 0.9275 |

④ 소요변위연성도  $\mu_{\Delta d}$

$$\bullet \quad \mu_{\Delta d} = \lambda_{DR} \times R_S = 1.000 \times 1.000 = 1.000$$

### 9.1.7 교각의 내진성능 평가

① 보유성능

- 교축방향(변위연성도)  $\mu_{\Delta C}^L = 2.026$
- 교축직각방향 하단(변위연성도)  $\mu_{\Delta C}^T = 2.170$
- 교축직각방향 상단(변위연성도)  $\mu_{\Delta C}^T = 2.228$

② 소요성능

- 교축방향(변위연성도)  $\mu_{\Delta d}^L = 1.016$
- 교축직각방향 하단(변위연성도)  $\mu_{\Delta d}^T = 1.000$
- 교축직각방향 상단(변위연성도)  $\mu_{\Delta d}^T = 1.000$

③ 평가

$$\begin{aligned} \therefore \text{교축방향(변위연성도)} \quad & \frac{\mu_{\Delta C}^L}{\mu_{\Delta d}^L} = \frac{2.026}{1.016} = 1.993 \geq 1.0 \quad \therefore \mathbf{O.K} \\ \therefore \text{교축직각방향 하단(변위연성도)} \quad & \frac{\mu_{\Delta C}^T}{\mu_{\Delta d}^T} = \frac{2.170}{1.000} = 2.170 \geq 1.0 \quad \therefore \mathbf{O.K} \end{aligned}$$

∴ 교축직각방향 상단(변위연성도)

$$\frac{\mu_{\Delta C}^T}{\mu_{\Delta d}^T} = \frac{2.228}{1.000} = 2.228 \geq 1.0 \quad \therefore \text{O.K}$$

#### ④ 전단력평가

∴ 교축방향

$$\frac{V_n}{VE} = \frac{7,499}{1,493} = 5.022 \geq 1.0 \quad \therefore \text{O.K}$$

∴ 교축직각방향(하단)

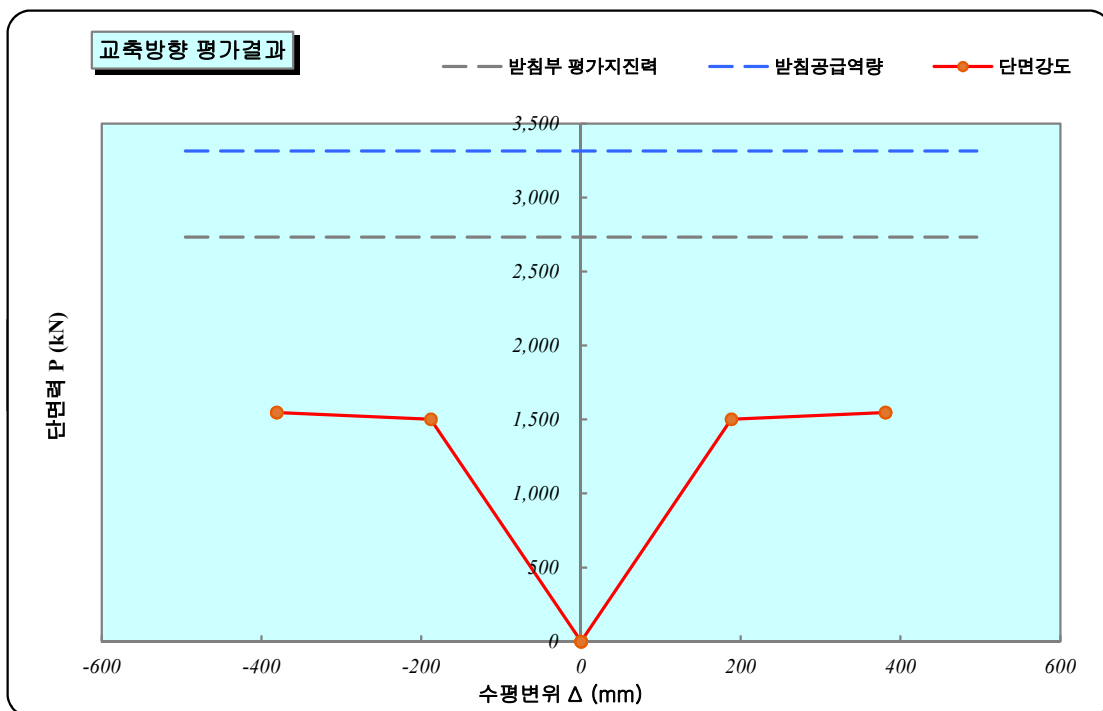
$$\frac{V_n}{VE} = \frac{7,708}{2,674} = 2.883 \geq 1.0 \quad \therefore \text{O.K}$$

∴ 교축직각방향(상단)

$$\frac{V_n}{VE} = \frac{7,716}{2,475} = 3.117 \geq 1.0 \quad \therefore \text{O.K}$$

### 9.1.8 내진성능 평가 결과

- 교축방향



- 교축직각방향

