

## P14 구조계산서



## 2. 검 토 조 건

### 2.1 일 반 사 항

- |                |            |
|----------------|------------|
| 1) 하 부 구 조 형 식 | : T형 교각    |
| 2) 상 부 구 조 형 식 | : PSC BEAM |
| 3) 교 량 등 급     | : 1 등교     |
| 4) 기 초 형 식     | : 말뚝기초     |

### 2.2 하 중

- |                 |                                     |                    |
|-----------------|-------------------------------------|--------------------|
| 1) 철근콘크리트의 단위중량 | : $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$    | [도로교 설계기준 P6]      |
| 2) 기초지반의 단위중량   | : $\gamma_{s2} = 20 \text{ kN/m}^3$ | [도로교설계요령 제2권 P366] |
| 3) 교량받침 마찰계수    | : $f_s = 0.15$                      |                    |

### 2.3 지 반 조 건

- |                |                           |                                                    |
|----------------|---------------------------|----------------------------------------------------|
| 1) 기초지반의 N치    | : $N = 10$                |                                                    |
| 2) 기초지반의 내부마찰각 | : $\phi_2 = 27.247^\circ$ | ; $15 + \sqrt{15N}$                                |
| 3) 기초지반의 점착력   | : $C = 0 \text{ kN/m}^2$  |                                                    |
| 4) 기초지반의 마찰계수  | : $\mu = 0.328$           | ; $\text{TAN}(\frac{2}{3} \cdot \phi_2)$ : 흙과 콘크리트 |

### 2.4 사 용 재 료 강 도

- |                     |                              |                |                   |
|---------------------|------------------------------|----------------|-------------------|
| 1) 콘크리트 설계기준 강도     | : $f_{ck} =$                 | 두부보: 24 MPa    |                   |
|                     |                              | 기둥: 24 MPa     |                   |
|                     |                              | 기초: 24 MPa     |                   |
| - 탄성계수              | : $E_c =$                    | 두부보: 27849 MPa |                   |
|                     |                              | 기둥: 27849 MPa  |                   |
|                     |                              | 기초: 27849 MPa  |                   |
|                     |                              |                | [콘크리트 설계기준 3.4.3] |
| 2) 철근의 항복 강도(SD300) | : $f_y =$                    | 두부보: 300 MPa   |                   |
|                     |                              | 기둥: 300 MPa    |                   |
|                     |                              | 기초: 300 MPa    |                   |
| - 탄성계수              | : $E_s = 200000 \text{ MPa}$ |                | [도로교 설계기준 P40]    |

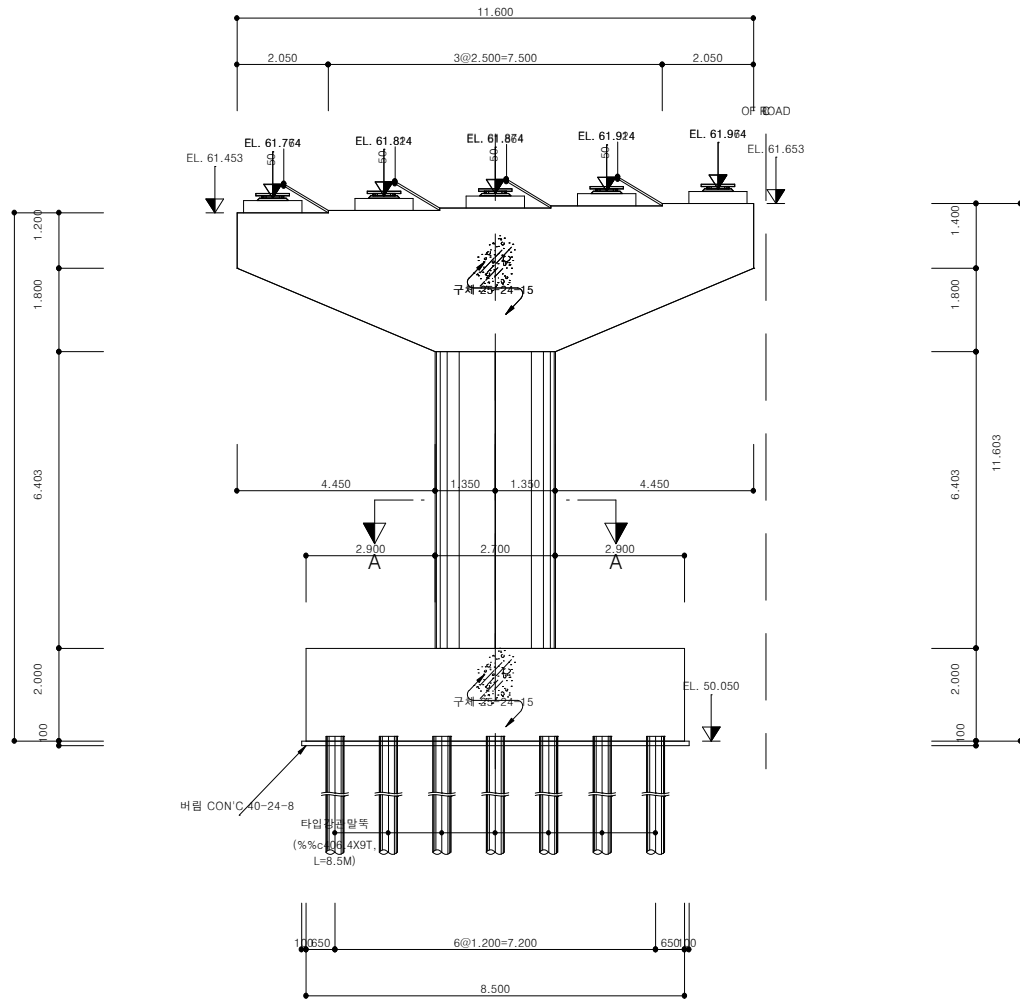
### 2.5 설 계 방 법

- |              |            |
|--------------|------------|
| 1) 안 정 성 검 토 | : 허용응력 설계법 |
| 2) 단 면 검 토   | : 강도설계법    |

### 2.6 참 고 문 헌

- |                |                   |
|----------------|-------------------|
| 1) 도로교 설계기준    | : 국토해양부 (2005)    |
| 2) 콘크리트구조 설계기준 | : 한국콘크리트학회 (2007) |
| 3) 도로설계 편람     | : 국토해양부 (2008)    |
| 4) 도로 설계 요령    | : 한국도로공사 (2009)   |

### 3. 해 석 단 면



## 4. 하 중 계 산

### 4.1 상부반력 및 교각자중

| 교좌번호 | 고정하중(D)  | 활하중(L)   |           |           |
|------|----------|----------|-----------|-----------|
|      |          | 만재하시(L1) | 좌측편재하(L2) | 우측편재하(L3) |
| 1    | 775.995  | 307.072  | 307.072   | 48.526    |
| 2    | 786.922  | 258.720  | 250.120   | 99.086    |
| 3    | 763.135  | 248.595  | 188.672   | 187.113   |
| 4    | 752.824  | 265.137  | 104.356   | 254.358   |
| 5    | 702.580  | 319.725  | 53.524    | 319.725   |
| 6    | 776.616  | 308.429  | 308.429   | 48.338    |
| 7    | 787.005  | 258.980  | 250.770   | 98.601    |
| 8    | 763.016  | 248.556  | 188.679   | 187.102   |
| 9    | 752.551  | 265.432  | 103.902   | 255.042   |
| 10   | 702.330  | 321.177  | 53.330    | 321.177   |
| 계    | 7562.974 | 2801.823 | 1808.854  | 1819.068  |

※ 교각자중은 25.000 kN/m<sup>3</sup> 의 값을 프로그램에서 자동재하

### 4.2 풍 하 중

#### 1) 교축직각방향 (W-TR)

##### ① 상부구조에 작용하는 풍하중

$$B/D = 12.545 / 3.350 = 3.745 \quad [ 1 \leq B/D < 8 ]$$

$$W1 = [4.0 - 0.2 \times (12.545 / 3.350)] \times 3.350 = 10.9 \text{ kN/m} \geq 6.0 \text{ 이므로}$$

$$= 10.891 \text{ kN/m}$$

$$P1 = 10.891 \times (29.999 + 29.998) / 2 \times \sin 90.0$$

$$= 326.713 \text{ kN}$$

$$\text{작용위치 } h = 3.350/2 + 0.400 + 1.200/2 = 2.675 \text{ m}$$

$$\text{작용모멘트 } My = Ph \times h = 326.713 \times 2.675 = 873.958 \text{ kN.m}$$

##### ② 하부구조에 작용하는 풍하중

$$W'_{\text{copping}} = 3.000 \times 3.000 \times 2.700 = 24.3 \text{ kN}$$

$$W'_{\text{column}} = 1.500 \times 2.700 = 4.05 \text{ kN/m (풍상측)}$$

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용 한다.

#### 2) 교축방향 (W-L0)

##### ① 하부구조에 작용하는 풍하중

$$W'_{\text{copping}} = 83.852 \text{ kN (Copping 높이에 따라 재하)}$$

$$W'_{\text{column}} = 1.500 \times 2.700 = 4.05 \text{ kN/m}$$

※ 활하중 재하시에는 계산된 하중의 1/2을 적용 한다.

#### 4.3 활하중에 작용하는 풍하중

활하중에 재하되는 풍하중에 대하여는 교면상 1.5m 위치에서 1500 N/m의  
풍하중이 재하되는 것으로 한다. [도로설계기준 P19]

$$\begin{aligned} P_h &= 1.500 \times (29.999 + 29.998)/2 \times \sin 90.0 &= 44.998 \text{ kN} \\ \text{작용위치 } h &= 2.748 + 1.500 + 1.200/2 &= 4.848 \text{ m} \\ \text{작용모멘트 } M_y &= P_h \times h &= 44.998 \times 4.848 &= 218.162 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

#### 4.4 온도하중 산정

##### 1) 교축직각방향 (G-TR)

연평균 온도변화차  $\Delta T = 10^\circ\text{C}$  적용

##### 2) 교축방향 (G-L0)

###### ① 교각의 종방향 변위를 유발하는 수평력

$$\delta = \alpha \times \Delta T \times L = 0.000012 \times 25.0 \times 30.0 = 0.009 \text{ m}$$

$$\delta = \frac{P \times L^3}{3 \times E \times I} \quad P_h = \frac{3 \times E \times I \times \delta}{L^3}$$

$$\begin{aligned} P_h &= 3 \times 27849000 \times 2.60870 \times 1 \text{EA} \times 0.00900 / 9.403^3 \times \sin 90.0 \\ &= 2359.268 \text{ kN} \end{aligned}$$

###### ② 교량받침에 의한 수평력

$$\text{상부고정하중} : V_d = 7562.974 \text{ kN}$$

$$\text{교량받침마찰계수} : \mu = 0.150$$

$$\begin{aligned} P_h &= \mu \times W = 7562.974 \times 0.150 \times \sin 90.0 \\ &= 1134.446 \text{ kN} \end{aligned}$$

☞ 수평력은 ①, ②중 작은값 1134.446 kN를 적용한다.

###### ③ 작용 모멘트

$$M_h = 1134.446 \times (0.400 + 1.200/2) = 1134.446 \text{ kN.m}$$

#### 4.5 하중조합 : 사용하중 검토시

| 구분    | D    | L1   | L2   | L3   | W    | WL   | G     | GS   | CO   | Q    |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| SVB01 | 1.00 | 1.00 |      |      |      |      |       |      |      | 1.00 |
| SVB02 | 1.00 |      | 1.00 |      |      |      |       |      |      | 1.00 |
| SVB03 | 1.00 |      |      | 1.00 |      |      |       |      |      | 1.00 |
| SVB04 | 1.00 |      |      |      | 1.00 |      |       |      |      | 1.00 |
| SVB05 | 1.00 | 1.00 |      |      | 0.50 | 1.00 |       |      |      | 1.00 |
| SVB06 | 1.00 |      | 1.00 |      | 0.50 | 1.00 |       |      |      | 1.00 |
| SVB07 | 1.00 |      |      | 1.00 | 0.50 | 1.00 |       |      |      | 1.00 |
| SVB08 | 1.00 | 1.00 |      |      |      |      | 1.00  | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB09 | 1.00 | 1.00 |      |      |      |      | -1.00 | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB10 | 1.00 |      | 1.00 |      |      |      | 1.00  | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB11 | 1.00 |      | 1.00 |      |      |      | -1.00 | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB12 | 1.00 |      |      | 1.00 |      |      | 1.00  | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB13 | 1.00 |      |      | 1.00 |      |      | -1.00 | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB14 | 1.00 |      |      |      | 1.00 |      | 1.00  | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB15 | 1.00 |      |      |      | 1.00 |      | -1.00 | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB16 | 1.00 | 1.00 |      |      | 0.50 | 1.00 | 1.00  | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB17 | 1.00 | 1.00 |      |      | 0.50 | 1.00 | -1.00 | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB18 | 1.00 |      | 1.00 |      | 0.50 | 1.00 | 1.00  | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB19 | 1.00 |      | 1.00 |      | 0.50 | 1.00 | -1.00 | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB20 | 1.00 |      |      | 1.00 | 0.50 | 1.00 | 1.00  | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB21 | 1.00 |      |      | 1.00 | 0.50 | 1.00 | -1.00 | 1.00 |      | 1.00 |
| SVB22 | 1.00 |      |      |      |      |      |       |      |      | 1.00 |
| SVB23 | 1.00 | 1.00 |      |      |      |      |       |      | 1.00 | 1.00 |
| SVB24 | 1.00 |      | 1.00 |      |      |      |       |      | 1.00 | 1.00 |
| SVB25 | 1.00 |      |      | 1.00 |      |      |       |      | 1.00 | 1.00 |
| SVB26 | 1.00 |      |      |      | 1.00 |      |       |      | 1.00 | 1.00 |

D = 고정하중 또는 이에 따른 단면력

L = 활하중 또는 이에 따른 단면력

W = 풍하중 또는 이에 따른 단면력

WL = 차량활하중에 작용하는 풍하중 또는 이에 따른 단면력

CO = 충돌하중 또는 이에 따른 단면력

G = 부등침하, 크리프, 건조수축, 제작 또는 시공시 치수착오, 습도변화

또는 온도변화등으로 인한 팽창 또는 수축변형으로 유발된 변형력 또는 이에 따른 단면력

Q = 부력 또는 양압력, 수압, 파압 등의 하중 또는 이에 따른 단면력

CF = 원심하중 또는 이에 따른 단면력

※ 위 테이블에 표시된 SVB는 교축방향이며, 모델링상의 SV0 는 교직방향을 나타냅니다.

SVB 와 SV0 는 동일한 하중조합의 교축, 교직방향 성분들입니다.

#### 4.6 하중조합 : 계수하중 검토시

| 구분    | D    | L1   | L2   | L3   | W    | WL   | G     | GS   | C0   | Q    |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| ULB01 | 1.30 | 2.15 |      |      |      |      |       |      |      | 1.30 |
| ULB02 | 1.30 |      | 2.15 |      |      |      |       |      |      | 1.30 |
| ULB03 | 1.30 |      |      | 2.15 |      |      |       |      |      | 1.30 |
| ULB04 | 1.30 |      |      |      | 1.30 |      |       |      |      | 1.30 |
| ULB05 | 1.30 | 1.30 |      |      | 0.65 | 1.30 |       |      |      | 1.30 |
| ULB06 | 1.30 |      | 1.30 |      | 0.65 | 1.30 |       |      |      | 1.30 |
| ULB07 | 1.30 |      |      | 1.30 | 0.65 | 1.30 |       |      |      | 1.30 |
| ULB08 | 1.30 | 1.30 |      |      |      |      | 1.30  | 1.30 |      | 1.30 |
| ULB09 | 1.30 | 1.30 |      |      |      |      | -1.30 | 1.30 |      | 1.30 |
| ULB10 | 1.30 |      | 1.30 |      |      |      | 1.30  | 1.30 |      | 1.30 |
| ULB11 | 1.30 |      | 1.30 |      |      |      | -1.30 | 1.30 |      | 1.30 |
| ULB12 | 1.30 |      |      | 1.30 |      |      | 1.30  | 1.30 |      | 1.30 |
| ULB13 | 1.30 |      |      | 1.30 |      |      | -1.30 | 1.30 |      | 1.30 |
| ULB14 | 1.25 |      |      |      | 1.25 |      | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB15 | 1.25 |      |      |      | 1.25 |      | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB16 | 1.25 | 1.25 |      |      | 0.63 | 1.25 | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB17 | 1.25 | 1.25 |      |      | 0.63 | 1.25 | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB18 | 1.25 |      | 1.25 |      | 0.63 | 1.25 | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB19 | 1.25 |      | 1.25 |      | 0.63 | 1.25 | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB20 | 1.25 |      |      | 1.25 | 0.63 | 1.25 | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB21 | 1.25 |      |      | 1.25 | 0.63 | 1.25 | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| ULB22 | 1.00 |      |      |      |      |      |       |      |      | 1.00 |
| ULB23 | 1.30 | 1.30 |      |      |      |      |       |      | 1.30 | 1.30 |
| ULB24 | 1.30 |      | 1.30 |      |      |      |       |      | 1.30 | 1.30 |
| ULB25 | 1.30 |      |      | 1.30 |      |      |       |      | 1.30 | 1.30 |
| ULB26 | 1.20 |      |      |      | 1.20 |      |       |      | 1.20 | 1.20 |

※ 위 테이블에 표시된 ULB는 교축방향이며, 모델링상의 UL0 는 교직방향을 나타냅니다.

ULB 와 UL0 는 동일한 하중조합의 교축, 교직방향 성분들입니다.

#### 4.7 하중조합 : 계수하중 검토시 (최대편심)

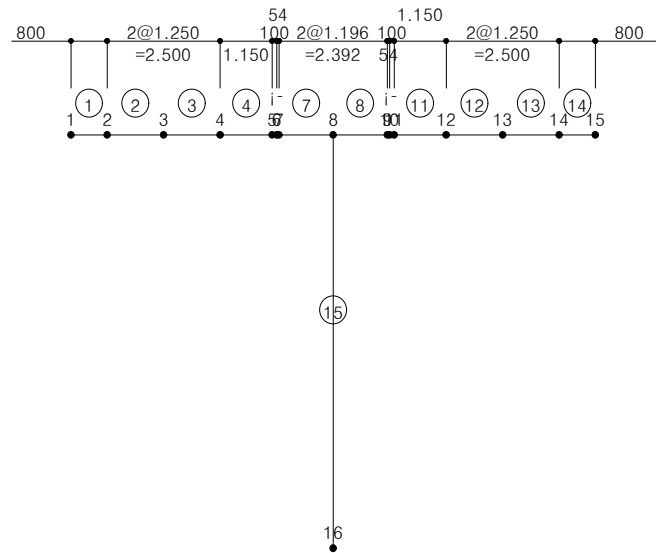
| 구분    | D    | L1   | L2   | L3   | W    | WL   | G     | GS   | C0   | Q    |
|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|
| UEB01 | 1.00 | 2.15 |      |      |      |      |       |      |      | 1.30 |
| UEB02 | 1.00 |      | 2.15 |      |      |      |       |      |      | 1.30 |
| UEB03 | 1.00 |      |      | 2.15 |      |      |       |      |      | 1.30 |
| UEB04 | 1.00 |      |      |      | 1.30 |      |       |      |      | 1.30 |
| UEB05 | 1.00 | 1.30 |      |      | 0.65 | 1.30 |       |      |      | 1.30 |
| UEB06 | 1.00 |      | 1.30 |      | 0.65 | 1.30 |       |      |      | 1.30 |
| UEB07 | 1.00 |      |      | 1.30 | 0.65 | 1.30 |       |      |      | 1.30 |
| UEB08 | 1.00 | 1.30 |      |      |      |      | 1.30  | 1.30 |      | 1.30 |
| UEB09 | 1.00 | 1.30 |      |      |      |      | -1.30 | 1.30 |      | 1.30 |
| UEB10 | 1.00 |      | 1.30 |      |      |      | 1.30  | 1.30 |      | 1.30 |
| UEB11 | 1.00 |      | 1.30 |      |      |      | -1.30 | 1.30 |      | 1.30 |
| UEB12 | 1.00 |      |      | 1.30 |      |      | 1.30  | 1.30 |      | 1.30 |
| UEB13 | 1.00 |      |      | 1.30 |      |      | -1.30 | 1.30 |      | 1.30 |
| UEB14 | 0.95 |      |      |      | 1.25 |      | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB15 | 0.95 |      |      |      | 1.25 |      | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB16 | 0.95 | 1.25 |      |      | 0.63 | 1.25 | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB17 | 0.95 | 1.25 |      |      | 0.63 | 1.25 | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB18 | 0.95 |      | 1.25 |      | 0.63 | 1.25 | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB19 | 0.95 |      | 1.25 |      | 0.63 | 1.25 | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB20 | 0.95 |      |      | 1.25 | 0.63 | 1.25 | 1.25  | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB21 | 0.95 |      |      | 1.25 | 0.63 | 1.25 | -1.25 | 1.30 |      | 1.25 |
| UEB22 | 1.00 |      |      |      |      |      |       |      |      | 1.00 |
| UEB23 | 1.00 | 1.30 |      |      |      |      |       |      | 1.30 | 1.30 |
| UEB24 | 1.00 |      | 1.30 |      |      |      |       |      | 1.30 | 1.30 |
| UEB25 | 1.00 |      |      | 1.30 |      |      |       |      | 1.30 | 1.30 |
| UEB26 | 0.90 |      |      |      | 1.20 |      |       |      | 1.20 | 1.20 |

※ 위 테이블에 표시된 UEB는 교축방향이며, 모델링상의 UE0 는 교직방향을 나타냅니다.

UEB 와 UE0 는 동일한 하중조합의 교축, 교직방향 성분들입니다.

## 5. 구조 해석

### 5.1 해석 모델링



### 5.2 절점 좌표

| 절점 | X     | Z     | 절점 | X     | Z     | 절점 | X     | Z     | 절점 | X      | Z     |
|----|-------|-------|----|-------|-------|----|-------|-------|----|--------|-------|
| 1  | 0.000 | 8.803 | 5  | 4.450 | 8.803 | 9  | 6.996 | 8.803 | 13 | 9.550  | 8.803 |
| 2  | 0.800 | 8.803 | 6  | 4.550 | 8.803 | 10 | 7.050 | 8.803 | 14 | 10.800 | 8.803 |
| 3  | 2.050 | 8.803 | 7  | 4.604 | 8.803 | 11 | 7.150 | 8.803 | 15 | 11.600 | 8.803 |
| 4  | 3.300 | 8.803 | 8  | 5.800 | 8.803 | 12 | 8.300 | 8.803 | 16 | 5.800  | 0.000 |

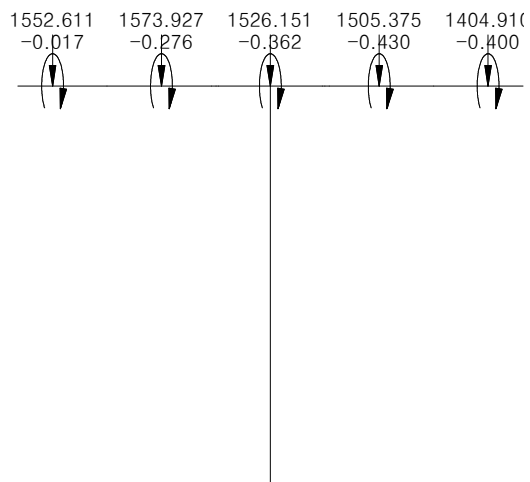
### 5.3 단면 제원

| 구분 | B(m)  | H(m)  | A(m <sup>2</sup> ) | I <sub>22</sub> (m <sup>4</sup> ) | I <sub>33</sub> (m <sup>4</sup> ) | 적용절점   |
|----|-------|-------|--------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|
| ①  | 2.700 | 1.200 | 3.240              | 1.968300                          | 0.388800                          | 1      |
| ②  | 2.700 | 1.400 | 3.780              | 2.296350                          | 0.617400                          | 15     |
| ③  | 2.700 | 1.524 | 4.115              | 2.499741                          | 0.796411                          | 2      |
| ④  | 2.700 | 1.724 | 4.655              | 2.827791                          | 1.152907                          | 14     |
| ⑤  | 2.700 | 2.029 | 5.478              | 3.328067                          | 1.879441                          |        |
| ⑥  | 2.700 | 2.079 | 5.613              | 3.410080                          | 2.021836                          | 3      |
| ⑦  | 2.700 | 2.179 | 5.883              | 3.574105                          | 2.327846                          |        |
| ⑧  | 2.700 | 2.229 | 6.018              | 3.656117                          | 2.491797                          | 13     |
| ⑨  | 2.700 | 2.585 | 6.980              | 4.240046                          | 3.886549                          | 4      |
| ⑩  | 2.700 | 2.685 | 7.250              | 4.404071                          | 4.355273                          | 12     |
| ⑪  | 2.700 | 3.050 | 8.235              | 5.002763                          | 6.383841                          | 5      |
| ⑫  | 2.700 | 3.100 | 8.370              | 5.084775                          | 6.702975                          | 6~9    |
| ⑬  | 2.700 | 3.150 | 8.505              | 5.166788                          | 7.032572                          | 10, 11 |
| ⑭  | 2.700 | 0.000 | 5.726              | 2.608705                          | 2.608705                          | 기동상단   |
| ⑮  | 2.700 | 0.000 | 5.726              | 2.608705                          | 2.608705                          | 기동하단   |

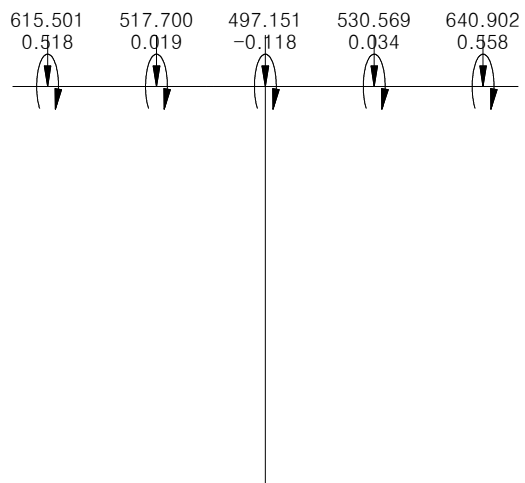
## 5.4 하중재하도

### 1) 연직하중

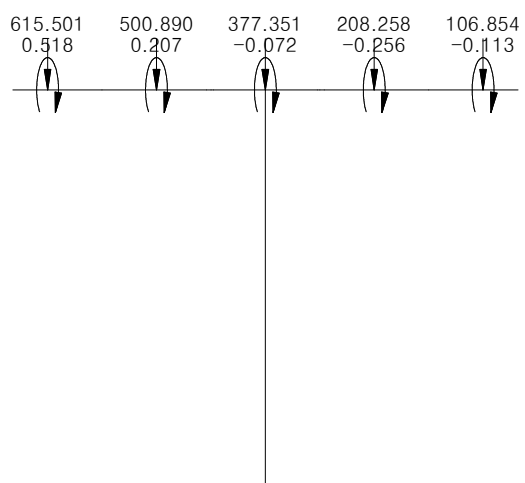
#### ① 고정하중 (D)



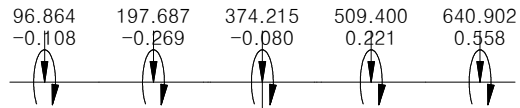
#### ② 활하중 : 만재하시 (L1)



#### ③ 활하중 : 좌측 편재하시 (L2)



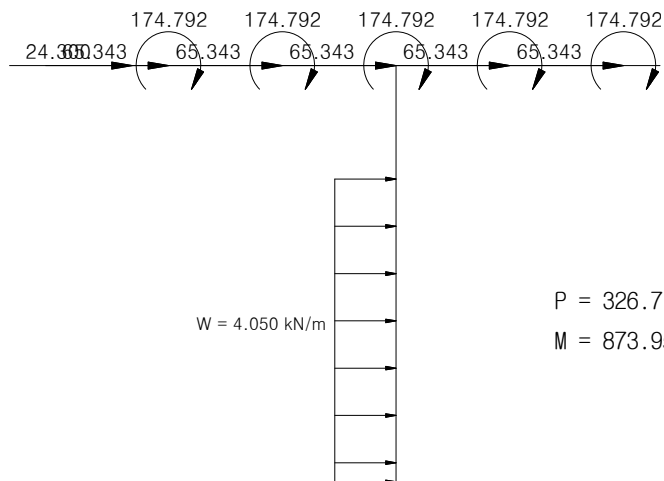
④ 활하중 : 우측 편재하시 (L3)



2) 수평하중

① 교축직각 방향

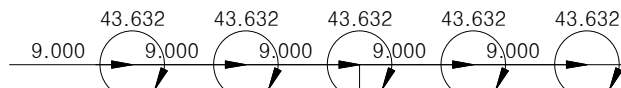
㉠ 풍하중 : 구조물에 재하되는 풍하중 (W-TR)



$$P = 326.713/10EA = 32.671 \text{ kN}$$

$$M = 873.958/10EA = 87.396 \text{ kN}$$

㉡ 풍하중 : 활하중에 재하되는 풍하중 (WL)



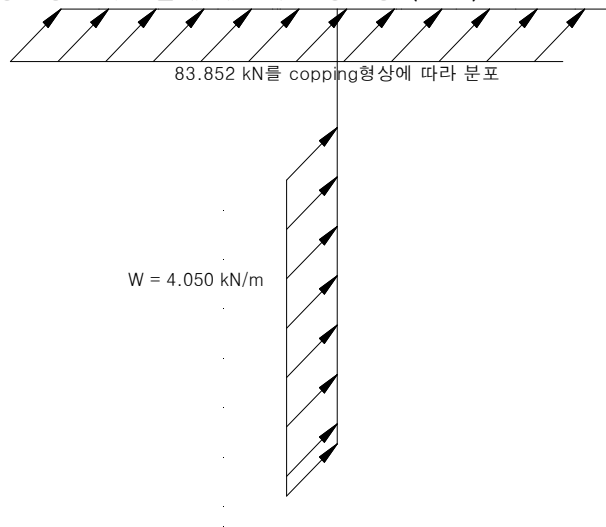
$$P = 44.998/10EA = 4.500 \text{ kN}$$

$$M = 218.162/10EA = 21.816 \text{ kN}$$

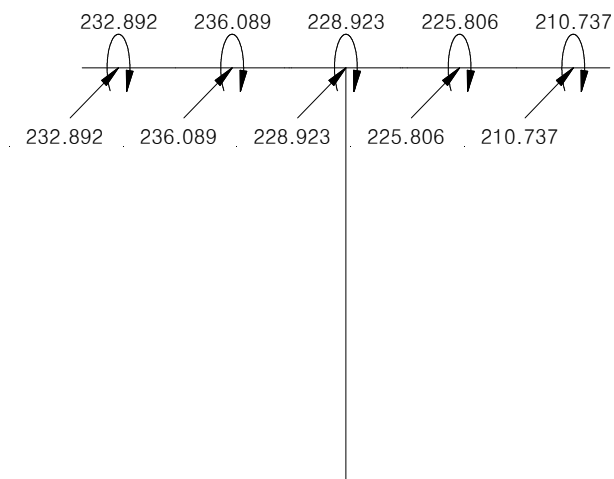
㉔ 온도하중 (G-TR) : 온도변화범위  $\Delta T_x = 10^\circ\text{C}$

② 교축 방향

㉔ 풍하중 : 구조물에 재하되는 풍하중 (W-L0)



㉔ 온도하중 (G-L01) :  $P = 1134.446 / 10EA = 113.445 \text{ kN}$   $M = 1134.446 / 10EA = 113.445 \text{ kN.m}$



## 6. 해석결과 집계

### 6.1 하중별 부재력 집계

① 기동 : 부재번호 15

(교직방향)

| 하중   | 기동상단      |           |          | 기동하단       |           |          | 비고 |
|------|-----------|-----------|----------|------------|-----------|----------|----|
|      | P(kN)     | M(kN.m)   | V(kN)    | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)    |    |
| D    | -9793.185 | -735.539  | 0.000    | -10709.703 | -735.539  | 0.000    |    |
| L1   | -2801.823 | 159.178   | 0.000    | -2801.823  | 159.178   | 0.000    |    |
| L2   | -1808.854 | -3274.815 | 0.000    | -1808.854  | -3274.815 | 0.000    |    |
| L3   | -1819.068 | 3499.473  | 0.000    | -1819.068  | 3499.473  | 0.000    |    |
| W-TR | 0.000     | 1716.391  | -351.014 | 0.000      | 4046.957  | -376.946 |    |
| WL   | 0.000     | 326.156   | -44.998  | 0.000      | 614.277   | -44.998  |    |
| G-TR | 0.000     | 0.000     | 0.000    | 0.000      | 0.000     | 0.000    |    |
| E-TR | 0.000     | 0.000     | 0.000    | 0.000      | 0.000     | 0.000    |    |

(교측방향)

| 하중    | 기동상단      |           |          | 기동하단       |            |          | 비고 |
|-------|-----------|-----------|----------|------------|------------|----------|----|
|       | P(kN)     | M(kN.m)   | V(kN)    | P(kN)      | M(kN.m)    | V(kN)    |    |
| D     | -9793.185 | 1.485     | 0.000    | -10709.703 | 1.485      | 0.000    |    |
| L1    | -2801.823 | -1.011    | 0.000    | -2801.823  | -1.011     | 0.000    |    |
| L2    | -1808.854 | -0.284    | 0.000    | -1808.854  | -0.284     | 0.000    |    |
| L3    | -1819.068 | -0.322    | 0.000    | -1819.068  | -0.322     | 0.000    |    |
| W-L0  | 0.000     | -201.245  | 83.853   | 0.000      | -821.180   | 109.785  |    |
| WL    | 0.000     | 0.000     | 0.000    | 0.000      | 0.000      | 0.000    |    |
| G-L02 | 0.000     | -3857.120 | 1134.447 | 0.000      | -11120.984 | 1134.447 |    |
| E-L0  | 0.000     | 0.000     | 0.000    | 0.000      | 0.000      | 0.000    |    |

② 두부분 : 내민보

| 하중    | 좌측 (부재7, 절점7) |          | 우측 (부재8, 절점9) |           | 비고 |
|-------|---------------|----------|---------------|-----------|----|
|       | M(kN.m)       | V(kN)    | M(kN.m)       | V(kN)     |    |
| D     | -9272.164     | 3797.338 | -8741.978     | -3625.638 |    |
| L1    | -3016.447     | 1133.201 | -3129.853     | -1171.471 |    |
| L2    | -2994.526     | 1116.391 | -678.041      | -315.112  |    |
| L3    | -626.255      | 294.551  | -3102.249     | -1150.302 |    |
| W-L0  | 0.000         | 0.000    | 0.000         | 0.000     |    |
| W-TR  | 349.584       | 0.000    | -349.584      | 0.000     |    |
| WL    | 87.265        | 0.000    | -87.265       | 0.000     |    |
| G-L02 | 0.000         | 0.000    | 0.000         | 0.000     |    |
| G-TR  | 0.000         | 0.000    | 0.000         | 0.000     |    |
| E-L0  | 0.000         | 0.000    | 0.000         | 0.000     |    |
| E-TR  | 0.000         | 0.000    | 0.000         | 0.000     |    |

## 6.2 사용하중 조합시 부재력 집계

### 1) 교축직각방향

① 기둥 : 부재번호 15

(교직방향)

| 하중    | 기둥상단       |           |          | 기둥하단       |           |          | 비고 |
|-------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|----|
|       | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)    | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)    |    |
| SV001 | -12595.008 | -576.362  | 0.000    | -13511.526 | -576.362  | 0.000    |    |
| SV002 | -11602.039 | -4010.354 | 0.000    | -12518.557 | -4010.354 | 0.000    |    |
| SV003 | -11612.253 | 2763.933  | 0.000    | -12528.771 | 2763.933  | 0.000    |    |
| SV004 | -9793.185  | 980.852   | -351.014 | -10709.703 | 3311.418  | -376.946 |    |
| SV005 | -12595.008 | 607.990   | -220.505 | -13511.526 | 2061.393  | -233.471 |    |
| SV006 | -11602.039 | -2826.002 | -220.505 | -12518.557 | -1372.599 | -233.471 |    |
| SV007 | -11612.253 | 3948.285  | -220.505 | -12528.771 | 5401.688  | -233.471 |    |
| SV008 | -12595.008 | -576.362  | 0.000    | -13511.526 | -576.362  | 0.000    |    |
| SV009 | -12595.008 | -576.362  | 0.000    | -13511.526 | -576.362  | 0.000    |    |
| SV010 | -11602.039 | -4010.354 | 0.000    | -12518.557 | -4010.354 | 0.000    |    |
| SV011 | -11602.039 | -4010.354 | 0.000    | -12518.557 | -4010.354 | 0.000    |    |
| SV012 | -11612.253 | 2763.933  | 0.000    | -12528.771 | 2763.933  | 0.000    |    |
| SV013 | -11612.253 | 2763.933  | 0.000    | -12528.771 | 2763.933  | 0.000    |    |
| SV014 | -9793.185  | 980.852   | -351.014 | -10709.703 | 3311.418  | -376.946 |    |
| SV015 | -9793.185  | 980.852   | -351.014 | -10709.703 | 3311.418  | -376.946 |    |
| SV016 | -12595.008 | 607.990   | -220.505 | -13511.526 | 2061.393  | -233.471 |    |
| SV017 | -12595.008 | 607.990   | -220.505 | -13511.526 | 2061.393  | -233.471 |    |
| SV018 | -11602.039 | -2826.002 | -220.505 | -12518.557 | -1372.599 | -233.471 |    |
| SV019 | -11602.039 | -2826.002 | -220.505 | -12518.557 | -1372.599 | -233.471 |    |
| SV020 | -11612.253 | 3948.285  | -220.505 | -12528.771 | 5401.688  | -233.471 |    |
| SV021 | -11612.253 | 3948.285  | -220.505 | -12528.771 | 5401.688  | -233.471 |    |
| SV022 | -9793.185  | -735.539  | 0.000    | -10709.703 | -735.539  | 0.000    |    |
| SV023 | -12595.008 | -576.362  | 0.000    | -13511.526 | -576.362  | 0.000    |    |
| SV024 | -11602.039 | -4010.354 | 0.000    | -12518.557 | -4010.354 | 0.000    |    |
| SV025 | -11612.253 | 2763.933  | 0.000    | -12528.771 | 2763.933  | 0.000    |    |
| SV026 | -9793.185  | 980.852   | -351.014 | -10709.703 | 3311.418  | -376.946 |    |

## 2) 교축방향

(교축방향)

| 하중    | 기동상단       |           |           | 기동하단       |            |           | 비고 |
|-------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----|
|       | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)     | P(kN)      | M(kN.m)    | V(kN)     |    |
| SVB01 | -12595.008 | 0.474     | 0.000     | -13511.526 | 0.474      | 0.000     |    |
| SVB02 | -11602.039 | 1.201     | 0.000     | -12518.557 | 1.201      | 0.000     |    |
| SVB03 | -11612.253 | 1.163     | 0.000     | -12528.771 | 1.163      | 0.000     |    |
| SVB04 | -9793.185  | -199.760  | 83.853    | -10709.703 | -819.695   | 109.785   |    |
| SVB05 | -12595.008 | -100.149  | 41.927    | -13511.526 | -410.116   | 54.893    |    |
| SVB06 | -11602.039 | -99.422   | 41.927    | -12518.557 | -409.389   | 54.893    |    |
| SVB07 | -11612.253 | -99.460   | 41.927    | -12528.771 | -409.427   | 54.893    |    |
| SVB08 | -12595.008 | -3856.646 | 1134.447  | -13511.526 | -11120.510 | 1134.447  |    |
| SVB09 | -12595.008 | 3857.594  | -1134.447 | -13511.526 | 11121.458  | -1134.447 |    |
| SVB10 | -11602.039 | -3855.919 | 1134.447  | -12518.557 | -11119.783 | 1134.447  |    |
| SVB11 | -11602.039 | 3858.321  | -1134.447 | -12518.557 | 11122.185  | -1134.447 |    |
| SVB12 | -11612.253 | -3855.957 | 1134.447  | -12528.771 | -11119.821 | 1134.447  |    |
| SVB13 | -11612.253 | 3858.283  | -1134.447 | -12528.771 | 11122.147  | -1134.447 |    |
| SVB14 | -9793.185  | -4056.880 | 1218.300  | -10709.703 | -11940.679 | 1244.232  |    |
| SVB15 | -9793.185  | 3657.360  | -1050.594 | -10709.703 | 10301.289  | -1024.662 |    |
| SVB16 | -12595.008 | -3957.268 | 1176.374  | -13511.526 | -11531.100 | 1189.340  |    |
| SVB17 | -12595.008 | 3756.971  | -1092.520 | -13511.526 | 10710.868  | -1079.554 |    |
| SVB18 | -11602.039 | -3956.541 | 1176.374  | -12518.557 | -11530.373 | 1189.340  |    |
| SVB19 | -11602.039 | 3757.698  | -1092.520 | -12518.557 | 10711.595  | -1079.554 |    |
| SVB20 | -11612.253 | -3956.579 | 1176.374  | -12528.771 | -11530.411 | 1189.340  |    |
| SVB21 | -11612.253 | 3757.660  | -1092.520 | -12528.771 | 10711.557  | -1079.554 |    |
| SVB22 | -9793.185  | 1.485     | 0.000     | -10709.703 | 1.485      | 0.000     |    |
| SVB23 | -12595.008 | 0.474     | 0.000     | -13511.526 | 0.474      | 0.000     |    |
| SVB24 | -11602.039 | 1.201     | 0.000     | -12518.557 | 1.201      | 0.000     |    |
| SVB25 | -11612.253 | 1.163     | 0.000     | -12528.771 | 1.163      | 0.000     |    |
| SVB26 | -9793.185  | -199.760  | 83.853    | -10709.703 | -819.695   | 109.785   |    |

3) 두부보

① 두부보 : 내민보

| 하중    | 좌측 (부재7, 절점7) |          | 우측 (부재8, 절점9) |           | 비고 |
|-------|---------------|----------|---------------|-----------|----|
|       | M(kN.m)       | V(kN)    | M(kN.m)       | V(kN)     |    |
| SV001 | -12288.611    | 4930.539 | -11871.831    | -4797.109 |    |
| SV002 | -12266.691    | 4913.729 | -9420.019     | -3940.750 |    |
| SV003 | -9898.419     | 4091.889 | -11844.227    | -4775.940 |    |
| SV004 | -8922.580     | 3797.338 | -9091.562     | -3625.638 |    |
| SV005 | -12026.554    | 4930.539 | -12133.888    | -4797.109 |    |
| SV006 | -12004.634    | 4913.729 | -9682.076     | -3940.750 |    |
| SV007 | -9636.362     | 4091.889 | -12106.284    | -4775.940 |    |
| SV008 | -12288.611    | 4930.539 | -11871.831    | -4797.109 |    |
| SV009 | -12288.611    | 4930.539 | -11871.831    | -4797.109 |    |
| SV010 | -12266.691    | 4913.729 | -9420.019     | -3940.750 |    |
| SV011 | -12266.691    | 4913.729 | -9420.019     | -3940.750 |    |
| SV012 | -9898.419     | 4091.889 | -11844.227    | -4775.940 |    |
| SV013 | -9898.419     | 4091.889 | -11844.227    | -4775.940 |    |
| SV014 | -8922.580     | 3797.338 | -9091.562     | -3625.638 |    |
| SV015 | -8922.580     | 3797.338 | -9091.562     | -3625.638 |    |
| SV016 | -12026.554    | 4930.539 | -12133.888    | -4797.109 |    |
| SV017 | -12026.554    | 4930.539 | -12133.888    | -4797.109 |    |
| SV018 | -12004.634    | 4913.729 | -9682.076     | -3940.750 |    |
| SV019 | -12004.634    | 4913.729 | -9682.076     | -3940.750 |    |
| SV020 | -9636.362     | 4091.889 | -12106.284    | -4775.940 |    |
| SV021 | -9636.362     | 4091.889 | -12106.284    | -4775.940 |    |
| SV022 | -9272.164     | 3797.338 | -8741.978     | -3625.638 |    |
| SV023 | -12288.611    | 4930.539 | -11871.831    | -4797.109 |    |
| SV024 | -12266.691    | 4913.729 | -9420.019     | -3940.750 |    |
| SV025 | -9898.419     | 4091.889 | -11844.227    | -4775.940 |    |
| SV026 | -8922.580     | 3797.338 | -9091.562     | -3625.638 |    |

### 6.3 계수하중 조합시 부재력 집계

#### 1) 교축직각방향

① 기둥 : 부재번호 15

(교직방향)

| 하중    | 기둥상단       |           |          | 기둥하단       |           |          | 비고 |
|-------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|----|
|       | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)    | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)    |    |
| UL001 | -18755.060 | -613.970  | 0.000    | -19946.533 | -613.970  | 0.000    |    |
| UL002 | -16620.177 | -7997.053 | 0.000    | -17811.650 | -7997.053 | 0.000    |    |
| UL003 | -16642.137 | 6567.665  | 0.000    | -17833.610 | 6567.665  | 0.000    |    |
| UL004 | -12731.141 | 1275.107  | -456.318 | -13922.613 | 4304.843  | -490.030 |    |
| UL005 | -16373.511 | 790.387   | -286.656 | -17564.983 | 2679.811  | -303.512 |    |
| UL006 | -15082.651 | -3673.803 | -286.656 | -16274.124 | -1784.379 | -303.512 |    |
| UL007 | -15095.929 | 5132.771  | -286.656 | -16287.402 | 7022.195  | -303.512 |    |
| UL008 | -16373.511 | -749.270  | 0.000    | -17564.983 | -749.270  | 0.000    |    |
| UL009 | -16373.511 | -749.270  | 0.000    | -17564.983 | -749.270  | 0.000    |    |
| UL010 | -15082.651 | -5213.461 | 0.000    | -16274.124 | -5213.461 | 0.000    |    |
| UL011 | -15082.651 | -5213.461 | 0.000    | -16274.124 | -5213.461 | 0.000    |    |
| UL012 | -15095.929 | 3593.113  | 0.000    | -16287.402 | 3593.113  | 0.000    |    |
| UL013 | -15095.929 | 3593.113  | 0.000    | -16287.402 | 3593.113  | 0.000    |    |
| UL014 | -12241.482 | 1226.065  | -438.768 | -13387.128 | 4139.272  | -471.183 |    |
| UL015 | -12241.482 | 1226.065  | -438.768 | -13387.128 | 4139.272  | -471.183 |    |
| UL016 | -15743.760 | 759.988   | -275.631 | -16889.407 | 2576.742  | -291.839 |    |
| UL017 | -15743.760 | 759.988   | -275.631 | -16889.407 | 2576.742  | -291.839 |    |
| UL018 | -14502.549 | -3532.503 | -275.631 | -15648.196 | -1715.749 | -291.839 |    |
| UL019 | -14502.549 | -3532.503 | -275.631 | -15648.196 | -1715.749 | -291.839 |    |
| UL020 | -14515.317 | 4935.357  | -275.631 | -15660.963 | 6752.111  | -291.839 |    |
| UL021 | -14515.317 | 4935.357  | -275.631 | -15660.963 | 6752.111  | -291.839 |    |
| UL022 | -9793.185  | -735.539  | 0.000    | -10709.703 | -735.539  | 0.000    |    |
| UL023 | -16373.511 | -749.270  | 0.000    | -17564.983 | -749.270  | 0.000    |    |
| UL024 | -15082.651 | -5213.461 | 0.000    | -16274.124 | -5213.461 | 0.000    |    |
| UL025 | -15095.929 | 3593.113  | 0.000    | -16287.402 | 3593.113  | 0.000    |    |
| UL026 | -11751.822 | 1177.022  | -421.217 | -12851.643 | 3973.701  | -452.336 |    |

## 2) 교축직각방향(편심최대)

① 기동 : 부재번호 15

(교직방향)

| 하중    | 기동상단       |           |          | 기동하단       |           |          | 비고 |
|-------|------------|-----------|----------|------------|-----------|----------|----|
|       | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)    | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)    |    |
| UE001 | -15817.105 | -393.308  | 0.000    | -16733.622 | -393.308  | 0.000    |    |
| UE002 | -13682.221 | -7776.392 | 0.000    | -14598.739 | -7776.392 | 0.000    |    |
| UE003 | -13704.181 | 6788.327  | 0.000    | -14620.699 | 6788.327  | 0.000    |    |
| UE004 | -9793.185  | 1495.769  | -456.318 | -10709.703 | 4525.505  | -490.030 |    |
| UE005 | -13435.555 | 1011.049  | -286.656 | -14352.073 | 2900.473  | -303.512 |    |
| UE006 | -12144.695 | -3453.141 | -286.656 | -13061.213 | -1563.717 | -303.512 |    |
| UE007 | -12157.974 | 5353.433  | -286.656 | -13074.491 | 7242.857  | -303.512 |    |
| UE008 | -13435.555 | -528.609  | 0.000    | -14352.073 | -528.609  | 0.000    |    |
| UE009 | -13435.555 | -528.609  | 0.000    | -14352.073 | -528.609  | 0.000    |    |
| UE010 | -12144.695 | -4992.799 | 0.000    | -13061.213 | -4992.799 | 0.000    |    |
| UE011 | -12144.695 | -4992.799 | 0.000    | -13061.213 | -4992.799 | 0.000    |    |
| UE012 | -12157.974 | 3813.775  | 0.000    | -13074.491 | 3813.775  | 0.000    |    |
| UE013 | -12157.974 | 3813.775  | 0.000    | -13074.491 | 3813.775  | 0.000    |    |
| UE014 | -9303.526  | 1446.727  | -438.768 | -10174.218 | 4359.934  | -471.183 |    |
| UE015 | -9303.526  | 1446.727  | -438.768 | -10174.218 | 4359.934  | -471.183 |    |
| UE016 | -12805.805 | 980.650   | -275.631 | -13676.496 | 2797.404  | -291.839 |    |
| UE017 | -12805.805 | 980.650   | -275.631 | -13676.496 | 2797.404  | -291.839 |    |
| UE018 | -11564.593 | -3311.841 | -275.631 | -12435.285 | -1495.087 | -291.839 |    |
| UE019 | -11564.593 | -3311.841 | -275.631 | -12435.285 | -1495.087 | -291.839 |    |
| UE020 | -11577.361 | 5156.018  | -275.631 | -12448.053 | 6972.772  | -291.839 |    |
| UE021 | -11577.361 | 5156.018  | -275.631 | -12448.053 | 6972.772  | -291.839 |    |
| UE022 | -9793.185  | -735.539  | 0.000    | -10709.703 | -735.539  | 0.000    |    |
| UE023 | -13435.555 | -528.609  | 0.000    | -14352.073 | -528.609  | 0.000    |    |
| UE024 | -12144.695 | -4992.799 | 0.000    | -13061.213 | -4992.799 | 0.000    |    |
| UE025 | -12157.974 | 3813.775  | 0.000    | -13074.491 | 3813.775  | 0.000    |    |
| UE026 | -8813.867  | 1397.684  | -421.217 | -9638.732  | 4194.363  | -452.336 |    |

## 3) 교축방향

(교축방향)

| 하중    | 기동상단       |           |           | 기동하단       |            |           | 비고 |
|-------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----|
|       | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)     | P(kN)      | M(kN.m)    | V(kN)     |    |
| ULB01 | -18755.060 | -0.243    | 0.000     | -19946.533 | -0.243     | 0.000     |    |
| ULB02 | -16620.177 | 1.320     | 0.000     | -17811.650 | 1.320      | 0.000     |    |
| ULB03 | -16642.137 | 1.238     | 0.000     | -17833.610 | 1.238      | 0.000     |    |
| ULB04 | -12731.141 | -259.688  | 109.009   | -13922.613 | -1065.603  | 142.721   |    |
| ULB05 | -16373.511 | -130.193  | 54.505    | -17564.983 | -533.151   | 71.361    |    |
| ULB06 | -15082.651 | -129.248  | 54.505    | -16274.124 | -532.205   | 71.361    |    |
| ULB07 | -15095.929 | -129.297  | 54.505    | -16287.402 | -532.255   | 71.361    |    |
| ULB08 | -16373.511 | -5013.640 | 1474.781  | -17564.983 | -14456.663 | 1474.781  |    |
| ULB09 | -16373.511 | 5014.872  | -1474.781 | -17564.983 | 14457.895  | -1474.781 |    |
| ULB10 | -15082.651 | -5012.694 | 1474.781  | -16274.124 | -14455.718 | 1474.781  |    |
| ULB11 | -15082.651 | 5015.817  | -1474.781 | -16274.124 | 14458.840  | -1474.781 |    |
| ULB12 | -15095.929 | -5012.744 | 1474.781  | -16287.402 | -14455.767 | 1474.781  |    |
| ULB13 | -15095.929 | 5015.768  | -1474.781 | -16287.402 | 14458.791  | -1474.781 |    |
| ULB14 | -12241.482 | -5071.100 | 1522.875  | -13387.128 | -14925.848 | 1555.291  |    |
| ULB15 | -12241.482 | 4571.700  | -1313.242 | -13387.128 | 12876.612  | -1280.827 |    |
| ULB16 | -15743.760 | -4946.585 | 1470.467  | -16889.407 | -14413.875 | 1486.675  |    |
| ULB17 | -15743.760 | 4696.214  | -1365.650 | -16889.407 | 13388.585  | -1349.443 |    |
| ULB18 | -14502.549 | -4945.677 | 1470.467  | -15648.196 | -14412.966 | 1486.675  |    |
| ULB19 | -14502.549 | 4697.123  | -1365.650 | -15648.196 | 13389.494  | -1349.443 |    |
| ULB20 | -14515.317 | -4945.724 | 1470.467  | -15660.963 | -14413.013 | 1486.675  |    |
| ULB21 | -14515.317 | 4697.075  | -1365.650 | -15660.963 | 13389.446  | -1349.443 |    |
| ULB22 | -9793.185  | 1.485     | 0.000     | -10709.703 | 1.485      | 0.000     |    |
| ULB23 | -16373.511 | 0.616     | 0.000     | -17564.983 | 0.616      | 0.000     |    |
| ULB24 | -15082.651 | 1.561     | 0.000     | -16274.124 | 1.561      | 0.000     |    |
| ULB25 | -15095.929 | 1.512     | 0.000     | -16287.402 | 1.512      | 0.000     |    |
| ULB26 | -11751.822 | -239.712  | 100.624   | -12851.643 | -983.634   | 131.743   |    |

## 4) 교축방향(편심최대)

(교축방향)

| 하중    | 기둥상단       |           |           | 기둥하단       |            |           | 비고 |
|-------|------------|-----------|-----------|------------|------------|-----------|----|
|       | P(kN)      | M(kN.m)   | V(kN)     | P(kN)      | M(kN.m)    | V(kN)     |    |
| UEB01 | -15817.105 | -0.689    | 0.000     | -16733.622 | -0.689     | 0.000     |    |
| UEB02 | -13682.221 | 0.874     | 0.000     | -14598.739 | 0.874      | 0.000     |    |
| UEB03 | -13704.181 | 0.793     | 0.000     | -14620.699 | 0.793      | 0.000     |    |
| UEB04 | -9793.185  | -260.134  | 109.009   | -10709.703 | -1066.049  | 142.721   |    |
| UEB05 | -13435.555 | -130.639  | 54.505    | -14352.073 | -533.596   | 71.361    |    |
| UEB06 | -12144.695 | -129.693  | 54.505    | -13061.213 | -532.651   | 71.361    |    |
| UEB07 | -12157.974 | -129.743  | 54.505    | -13074.491 | -532.700   | 71.361    |    |
| UEB08 | -13435.555 | -5014.085 | 1474.781  | -14352.073 | -14457.108 | 1474.781  |    |
| UEB09 | -13435.555 | 5014.426  | -1474.781 | -14352.073 | 14457.450  | -1474.781 |    |
| UEB10 | -12144.695 | -5013.140 | 1474.781  | -13061.213 | -14456.163 | 1474.781  |    |
| UEB11 | -12144.695 | 5015.372  | -1474.781 | -13061.213 | 14458.395  | -1474.781 |    |
| UEB12 | -12157.974 | -5013.189 | 1474.781  | -13074.491 | -14456.213 | 1474.781  |    |
| UEB13 | -12157.974 | 5015.322  | -1474.781 | -13074.491 | 14458.346  | -1474.781 |    |
| UEB14 | -9303.526  | -5071.545 | 1522.875  | -10174.218 | -14926.294 | 1555.291  |    |
| UEB15 | -9303.526  | 4571.254  | -1313.242 | -10174.218 | 12876.166  | -1280.827 |    |
| UEB16 | -12805.805 | -4947.031 | 1470.467  | -13676.496 | -14414.320 | 1486.675  |    |
| UEB17 | -12805.805 | 4695.769  | -1365.650 | -13676.496 | 13388.140  | -1349.443 |    |
| UEB18 | -11564.593 | -4946.122 | 1470.467  | -12435.285 | -14413.411 | 1486.675  |    |
| UEB19 | -11564.593 | 4696.677  | -1365.650 | -12435.285 | 13389.048  | -1349.443 |    |
| UEB20 | -11577.361 | -4946.170 | 1470.467  | -12448.053 | -14413.459 | 1486.675  |    |
| UEB21 | -11577.361 | 4696.630  | -1365.650 | -12448.053 | 13389.001  | -1349.443 |    |
| UEB22 | -9793.185  | 1.485     | 0.000     | -10709.703 | 1.485      | 0.000     |    |
| UEB23 | -13435.555 | 0.171     | 0.000     | -14352.073 | 0.171      | 0.000     |    |
| UEB24 | -12144.695 | 1.116     | 0.000     | -13061.213 | 1.116      | 0.000     |    |
| UEB25 | -12157.974 | 1.066     | 0.000     | -13074.491 | 1.066      | 0.000     |    |
| UEB26 | -8813.867  | -240.158  | 100.624   | -9638.732  | -984.079   | 131.743   |    |

5) 두부보

① 두부보 : 내민보

| 하중    | 좌측 (부재7, 절점7) |          | 우측 (부재8, 절점9) |           | 비고 |
|-------|---------------|----------|---------------|-----------|----|
|       | M(kN.m)       | V(kN)    | M(kN.m)       | V(kN)     |    |
| UL001 | -18539.174    | 7372.922 | -18093.756    | -7231.992 |    |
| UL002 | -18492.045    | 7336.780 | -12822.360    | -5390.820 |    |
| UL003 | -13400.261    | 5569.824 | -18034.407    | -7186.479 |    |
| UL004 | -11599.355    | 4936.540 | -11819.031    | -4713.330 |    |
| UL005 | -15634.520    | 6409.701 | -15774.055    | -6236.242 |    |
| UL006 | -15606.024    | 6387.848 | -12586.699    | -5122.975 |    |
| UL007 | -12527.271    | 5319.456 | -15738.169    | -6208.722 |    |
| UL008 | -15975.194    | 6409.701 | -15433.381    | -6236.242 |    |
| UL009 | -15975.194    | 6409.701 | -15433.381    | -6236.242 |    |
| UL010 | -15946.698    | 6387.848 | -12246.025    | -5122.975 |    |
| UL011 | -15946.698    | 6387.848 | -12246.025    | -5122.975 |    |
| UL012 | -12867.945    | 5319.456 | -15397.495    | -6208.722 |    |
| UL013 | -12867.945    | 5319.456 | -15397.495    | -6208.722 |    |
| UL014 | -11153.226    | 4746.673 | -11364.453    | -4532.048 |    |
| UL015 | -11153.226    | 4746.673 | -11364.453    | -4532.048 |    |
| UL016 | -15033.193    | 6163.174 | -15167.360    | -5996.386 |    |
| UL017 | -15033.193    | 6163.174 | -15167.360    | -5996.386 |    |
| UL018 | -15005.792    | 6142.161 | -12102.595    | -4925.938 |    |
| UL019 | -15005.792    | 6142.161 | -12102.595    | -4925.938 |    |
| UL020 | -12045.453    | 5114.861 | -15132.855    | -5969.925 |    |
| UL021 | -12045.453    | 5114.861 | -15132.855    | -5969.925 |    |
| UL022 | -9272.164     | 3797.338 | -8741.978     | -3625.638 |    |
| UL023 | -15975.194    | 6409.701 | -15433.381    | -6236.242 |    |
| UL024 | -15946.698    | 6387.848 | -12246.025    | -5122.975 |    |
| UL025 | -12867.945    | 5319.456 | -15397.495    | -6208.722 |    |
| UL026 | -10707.096    | 4556.806 | -10909.875    | -4350.766 |    |

## 7. 두부보 검토

### 7.1 내민보의 검토 : 좌측 (절점 7)

#### 1) 내민길이의 산정

: 원형이나 정다각형 기둥인 경우 내민 길이는 정사각형 기둥단면으로 치환하여 구한다.

[도로교 설계기준 5.4.4.1]

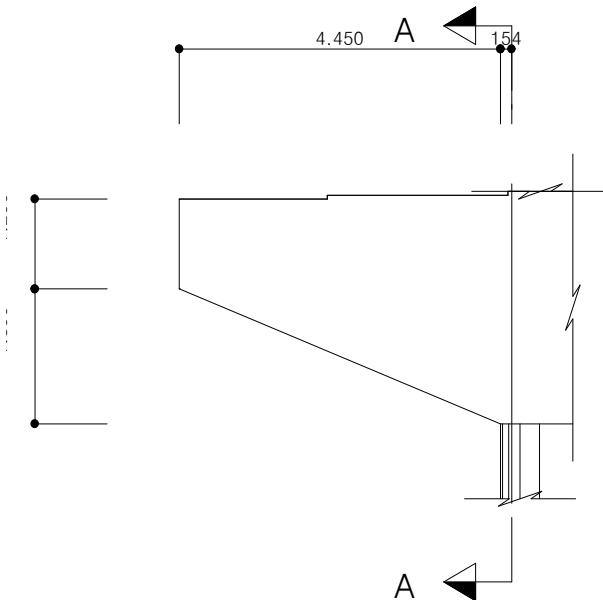
##### ① 기둥의 단면적

$$A = \pi \times 2.700^2 / 4 = 5.726 \text{ m}^2$$

##### ② 치환단면의 한변길이

$$L = \sqrt{5.726} = 2.392 \text{ m}$$

☞ 위험단면은 기둥끝단으로부터  $0.154\text{m} (= 1.350 - 2.392/2)$ 에 위치한다.



#### 2) 브래킷 판정

##### ① 위험단면에서의 작용력 : 『단면력 집계』 참조

$$V_u = 7372.922 \text{ kN} - \text{"UL0-01"}$$

$$M_u = 18539.174 \text{ kN.m}$$

$$N_u = 0.000 \text{ kN}$$

##### ② 브래킷 판정

$$a = 18539.174 / 7372.922 = 2.514 \text{ m}$$

$$d = 3.000 - 0.200 = 2.800 \text{ m}$$

$$a/d = 2.514 / 2.800 = 0.898 \leq 1.0 \therefore \text{브래킷으로 검토}$$

### 3) 브래킷 검토

\* 단면제원 및 검토조건

$f_{ck}=24\text{MPa}$ ,  $f_y=300\text{MPa}$ ,  $k_1=0.85$ ,  $\Phi f=0.80$ ,  $\Phi v=0.80$

| B(mm)  | H(mm)  | d(mm)  | 피복(mm) | 외단깊이(mm) | $V_u(\text{kN})$ |
|--------|--------|--------|--------|----------|------------------|
| 2700.0 | 3000.0 | 2800.0 | 100.0  | 2095.2   | 7372.9           |

$a = 2514.495 \text{ mm}$ ,  $d = 2800.000 \text{ mm}$

$a / d (= 0.898) \leq 1 \rightarrow$  Bracket으로 설계. [도로교 설계기준] 4.4.6.8

지압면의 외단깊이  $\geq 0.5d$ ,  $2095.193 \text{ mm} \geq 0.5 \times 2800.000 \text{ mm} \therefore \text{O.K}$

#### ① 설계 단면력 산정

$$V_u = 7372.922 \text{ kN}$$

$$N_{uc} = 0.20 \times 7372.922 = 1474.584 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_u &= M_u' + N_{uc} \times (h - d) \\ &= 18539.174 + 1474.584 \times (3.000 - 2.800) \\ &= 18834.091 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

#### ② 전단마찰철근( $A_{vf}$ )의 설계

: 전단마찰철근이 전단면에 수직인 경우, [도로교 설계기준] 4.4.6.4

$$\begin{aligned} V_{n\_max} &\leq 0.2 \times f_{ck} \times b_o \times d, 5.6 \times b_o \times d \\ &\leq 0.2 \times 24 \times 2700.000 \times 2800.000 = 36288.000 \text{ kN} \\ &\leq 5.6 \times 2700.000 \times 2800.000 = 42336.000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Phi V_{n\_max} = 0.80 \times 36288.000 = 29030.400 \text{ kN} \geq V_u (=7372.922 \text{ kN}) \therefore \text{O.K}$$

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{V_u}{\Phi v \times f_y \times \mu} \quad (\Phi v=0.80, \mu=1.4\lambda, \lambda=1.0; \text{일체로 친 보통 콘크리트}) \\ &= 7372922.000 / (0.80 \times 300 \times 1.4) \\ &= 21943.220 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### ③ 휨모멘트 철근( $A_f$ )의 설계

$$M_u = 18539.174 + 1474.584 \times (3.000 - 2.800) = 18834.091 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{M_u}{0.85 \times f_{ck} \times b} \\ M_n &= M_u / \Phi = A_f \times f_y \times (d - a/2) \rightarrow \text{위의 } a \text{를 대입하여 } A_f \text{를 이차방정식으로 푼다.} \\ d - \sqrt{[d^2 - 4 \times M_u / (1.7 \times f_{ck} \times b \times \Phi)]} \\ A_f &= \frac{2 \times f_y}{(1.7 \times f_{ck} \times b)} \\ &= 28835.642 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### ④ 수평인장 철근( $A_n$ )의 설계

$$N_{uc} = 0.20 \times 7372.922 = 1474.584 \text{ kN}$$

$$A_n = N_{uc} / (\Phi \times f_y) = 6144.102 \text{ mm}^2$$

⑤ 주인장철근(As)의 산정

주인장철근의 단면적은 (Af + An)과 (2/3 Avf + An) 중 큰값을 취한다.

$$\rightarrow As = 34979.743 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} As(\min) &= 0.04 \times (f_{ck} / f_y) \times b \times d \\ &= 0.04 \times (24 / 300) \times 2700.000 \times 2800.000 \\ &= 24192.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Use } As = 39522.600 \text{ mm}^2 \quad (\text{철근도심 } 200.00 \text{ mm})$$

$$1\text{단} : D25-13.0EA + D25-13.0EA \quad , \quad d1 = 100.00 \text{ mm}$$

$$2\text{단} : D25-13.0EA + D25-13.0EA \quad , \quad d2 = 200.00 \text{ mm}$$

$$3\text{단} : D25-13.0EA + D25-13.0EA \quad , \quad d3 = 300.00 \text{ mm}$$

$$\text{Use } As \geq 34979.743 \text{ mm}^2 , 24192.000 \text{ mm}^2 \quad \therefore \text{O.K}$$

⑥ 폐쇄 스테럽, 띠철근(Ah)의 산정

$$\begin{aligned} Ah &= 0.5 \times (As - An) = 0.5 \times (34979.743 - 6144.102) \\ &= 14417.821 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{사용철근량 (1단)} : D25 - 6.0 EA = 3040.200 \text{ mm}^2$$

$$\text{철근의 배치 범위} : 2/3 d = 2/3 \times 2800.00 = 1866.67 \text{ mm구간에 } 5.0 \text{ 단 설치}$$

$$\blacktriangleright \text{사용철근량}(5.0\text{단}) : D25 - 30.00 EA = 15201.000 \text{ mm}^2 \geq 14417.821 \text{ mm}^2 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 사용성 검토

① 응력 산정

$$\begin{aligned} f_s &= M / [As \times (d - \chi/3)] = 12288.611 \times 1000000 / [39522.600 \times (2800.000 - 661.935/3)] \\ &= 120.544 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi &= -nAs/b + nAs/b \sqrt{1 + 2bd/(nAs)} \\ &= -7 \times 39522.600 / 2700.0 + 7 \times 39522.600 / 2700.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 2700.0 \times 2800.0 / (7 \times 39522.600)} \\ &= 661.935 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{사용철근량} = 39522.6 \text{ mm}^2 \quad (\text{철근도심} : 200.0 \text{ mm})$$

$$1\text{단} : D25 - 26.0 EA \quad (= 13174.2 \text{ mm}^2)$$

$$2\text{단} : D25 - 26.0 EA \quad (= 13174.2 \text{ mm}^2)$$

$$3\text{단} : D25 - 26.0 EA \quad (= 13174.2 \text{ mm}^2)$$

② 철근의 최대 중심간격

$$C_c = 100.00 - 25/2 = 87.50 \text{ mm}$$

여기서 Cc ; 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)

$$S_{\min} : 375 \times (210 / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 120.54) - 2.5 \times 87.50 = 434.54 \text{ mm}$$

$$300 \times (210 / f_s) = 300 \times (210 / 120.54) = 522.63 \text{ mm}$$

Sa는 작은 값인 434.54 mm 를 적용

$$S = 2700.00 / 26.0 EA = 103.85 \leq Sa (= 434.54 \text{ mm}) \quad \therefore \text{O.K}$$

## 7.2 내민보의 검토 : 우측 (절점 9)

### 1) 내민길이의 산정

: 원형이나 정다각형 기둥인 경우 내민 길이는 정사각형 기둥단면으로 치환하여 구한다.  
[도로교 설계기준 5.4.4.1]

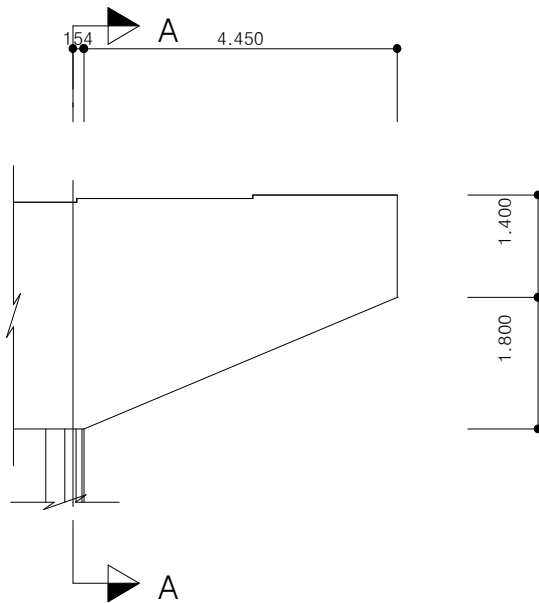
#### ① 기둥의 단면적

$$A = \pi \times 2.700^2 / 4 = 5.726 \text{ m}^2$$

#### ② 치환단면의 한변길이

$$L = \sqrt{5.726} = 2.392 \text{ m}$$

☞ 위험단면은 기둥끝단으로부터  $0.154\text{m} (= 1.350 - 2.392/2)$ 에 위치한다.



### 2) 브래킷 판정

#### ① 위험단면에서의 작용력 : 『단면력 집계』 참조

$$V_u = 7231.992 \text{ kN} - \text{"UL0-01"}$$

$$M_u = 18093.756 \text{ kN.m}$$

$$N_u = 0.000 \text{ kN}$$

#### ② 브래킷 판정

$$a = 18093.756 / 7231.992 = 2.502 \text{ m}$$

$$d = 3.000 - 0.200 = 2.800 \text{ m}$$

$$a/d = 2.502 / 2.800 = 0.894 \leq 1.0 \quad \therefore \text{브래킷으로 검토}$$

### 3) 브래킷 검토

\* 단면제원 및 검토조건

$f_{ck}=24\text{MPa}$ ,  $f_y=300\text{MPa}$ ,  $k_1=0.85$ ,  $\Phi f=0.80$ ,  $\Phi v=0.80$

| B(mm)  | H(mm)  | d(mm)  | 피복(mm) | 외단깊이(mm) | $V_u(\text{kN})$ |
|--------|--------|--------|--------|----------|------------------|
| 2700.0 | 3000.0 | 2800.0 | 100.0  | 2200.3   | 7232.0           |

$a = 2501.905 \text{ mm}$ ,  $d = 2800.000 \text{ mm}$

$a / d (= 0.894) \leq 1 \rightarrow$  Bracket으로 설계. [도로교 설계기준] 4.4.6.8

지압면의 외단깊이  $\geq 0.5d$ ,  $2200.286 \text{ mm} \geq 0.5 \times 2800.000 \text{ mm} \therefore \text{O.K}$

#### ① 설계 단면력 산정

$$V_u = 7231.992 \text{ kN}$$

$$N_{uc} = 0.20 \times 7231.992 = 1446.398 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} M_u &= M_u' + N_{uc} \times (h - d) \\ &= 18093.756 + 1446.398 \times (3.000 - 2.800) \\ &= 18383.036 \text{ kN.m} \end{aligned}$$

#### ② 전단마찰철근( $A_{vf}$ )의 설계

: 전단마찰철근이 전단면에 수직인 경우, [도로교 설계기준] 4.4.6.4

$$\begin{aligned} V_{n\_max} &\leq 0.2 \times f_{ck} \times b_o \times d, 5.6 \times b_o \times d \\ &\leq 0.2 \times 24 \times 2700.000 \times 2800.000 = 36288.000 \text{ kN} \\ &\leq 5.6 \times 2700.000 \times 2800.000 = 42336.000 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\Phi V_{n\_max} = 0.80 \times 36288.000 = 29030.400 \text{ kN} \geq V_u (=7231.992 \text{ kN}) \therefore \text{O.K}$$

$$\begin{aligned} A_{vf} &= \frac{V_u}{\Phi v \times f_y \times \mu} \quad (\Phi v=0.80, \mu=1.4\lambda, \lambda=1.0; \text{일체로 친 보통 콘크리트}) \\ &= 7231992.000 / (0.80 \times 300 \times 1.4) \\ &= 21523.786 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### ③ 휨모멘트 철근( $A_f$ )의 설계

$$M_u = 18093.756 + 1446.398 \times (3.000 - 2.800) = 18383.036 \text{ kN.m}$$

$$\begin{aligned} a &= \frac{M_u}{\Phi \times A_f \times f_y} \\ &= \frac{18383.036}{0.85 \times f_{ck} \times b} \\ M_n &= M_u / \Phi = A_f \times f_y \times (d - a/2) \rightarrow \text{위의 } a \text{를 대입하여 } A_f \text{를 이차방정식으로 푼다.} \\ d - \sqrt{[d^2 - 4 \times M_u / (1.7 \times f_{ck} \times b \times \Phi)]} \\ A_f &= \frac{2 \times f_y}{(1.7 \times f_{ck} \times b)} \\ &= 28125.062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

#### ④ 수평인장 철근( $A_n$ )의 설계

$$N_{uc} = 0.20 \times 7231.992 = 1446.398 \text{ kN}$$

$$A_n = N_{uc} / (\Phi \times f_y) = 6026.660 \text{ mm}^2$$

⑤ 주인장철근(As)의 산정

주인장철근의 단면적은 (Af + An)과 (2/3 Avf + An) 중 큰값을 취한다.

$$\rightarrow As = 34151.722 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} As(\min) &= 0.04 \times (f_{ck} / f_y) \times b \times d \\ &= 0.04 \times (24 / 300) \times 2700.000 \times 2800.000 \\ &= 24192.000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Use } As = 39522.600 \text{ mm}^2 \quad (\text{철근도심 } 200.00 \text{ mm})$$

$$1\text{단} : D25-13.0EA + D25-13.0EA, \quad d1 = 100.00 \text{ mm}$$

$$2\text{단} : D25-13.0EA + D25-13.0EA, \quad d2 = 200.00 \text{ mm}$$

$$3\text{단} : D25-13.0EA + D25-13.0EA, \quad d3 = 300.00 \text{ mm}$$

$$\text{Use } As \geq 34151.722 \text{ mm}^2, \quad 24192.000 \text{ mm}^2 \quad \therefore \text{O.K}$$

⑥ 폐쇄 스테럽, 띠철근(Ah)의 산정

$$\begin{aligned} Ah &= 0.5 \times (As - An) = 0.5 \times (34151.722 - 6026.660) \\ &= 14062.531 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{사용철근량 (1단)} : D25 - 6.0 EA = 3040.200 \text{ mm}^2$$

$$\text{철근의 배치 범위} : 2/3 d = 2/3 \times 2800.00 = 1866.67 \text{ mm구간에 } 5.0 \text{ 단 설치}$$

$$\blacktriangleright \text{사용철근량}(5.0\text{단}) : D25 - 30.00 EA = 15201.000 \text{ mm}^2 \geq 14062.531 \text{ mm}^2 \quad \therefore \text{O.K}$$

4) 사용성 검토

① 응력 산정

$$\begin{aligned} f_s &= M / [As \times (d - \chi/3)] = 12133.888 \times 1000000 / [39522.600 \times (2800.000 - 661.935/3)] \\ &= 119.026 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \chi &= -nAs/b + nAs/b \sqrt{1 + 2bd/(nAs)} \\ &= -7 \times 39522.600 / 2700.0 + 7 \times 39522.600 / 2700.0 \times \sqrt{1 + 2 \times 2700.0 \times 2800.0 / (7 \times 39522.600)} \\ &= 661.935 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{사용철근량} = 39522.6 \text{ mm}^2 \quad (\text{철근도심} : 200.0 \text{ mm})$$

$$1\text{단} : D25 - 26.0 EA \quad (= 13174.2 \text{ mm}^2)$$

$$2\text{단} : D25 - 26.0 EA \quad (= 13174.2 \text{ mm}^2)$$

$$3\text{단} : D25 - 26.0 EA \quad (= 13174.2 \text{ mm}^2)$$

② 철근의 최대 중심간격

$$C_c = 100.00 - 25/2 = 87.50 \text{ mm}$$

여기서 Cc ; 인장철근이나 긴장재의 표면과 콘크리트 표면사이의 두께(mm)

$$S_{\min} : 375 \times (210 / f_s) - 2.5 \times C_c = 375 \times (210 / 119.03) - 2.5 \times 87.50 = 442.87 \text{ mm}$$

$$300 \times (210 / f_s) = 300 \times (210 / 119.03) = 529.29 \text{ mm}$$

Sa는 작은 값인 442.87 mm 를 적용

$$S = 2700.00 / 26.0 EA = 103.85 \leq Sa (= 442.87 \text{ mm}) \quad \therefore \text{O.K}$$

## 8. 기둥 검토

### 8.1 교축직각방향

#### 1) 기둥부재력 집계 : 하단

| 구 분   | Pe(kN)     | Pu(kN)     | M1(kN.m) | M2(kN.m) | V(kN)    | Δ (m)    | 비 고   |
|-------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|-------|
| UL001 | -13922.614 | -19946.533 | 613.970  | 613.970  | 0.000    | -0.00030 | 축력최대  |
| UL002 | -13922.614 | -17811.650 | 7997.053 | 7997.053 | 0.000    | -0.00395 | 모멘트최대 |
| UE020 | -10174.218 | -12448.053 | 5156.018 | 6972.772 | -291.839 | 0.00310  | 편심최대  |

註) Pe : 장기지속축력 (= 고정하중에 의한 축력 x 고정하중계수)

Pu : 전체축력, M1, M2 : 기둥상단, 하단 모멘트

Vu : 전단력, Δ : 기둥상단의 변위량

※ 소성설계시 지진시 모멘트에 대하여 응답수정계수(R=3.0)로 나눈 값을 적용한다

#### 2) 기둥검토 요약

| 구 분   | 철 근 비 |       |       |     | 축방향력, 휨   |           |          |       |     |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----------|-----------|----------|-------|-----|
|       | Pmin  | Puse  | Pmax  | 비고  | ΦPn       | Pu        | Mu       | 안전도   | 비 고 |
| 축력최대  | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 77388.609 | 19946.533 | 613.970  | 3.880 | 0.K |
| 모멘트최대 | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 62095.321 | 17811.650 | 7997.050 | 3.486 | 0.K |
| 편심최대  | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 63407.402 | 12448.053 | 6972.770 | 5.094 | 0.K |

#### 3) 기둥단면 검토

##### ① 축력최대 : (부재 15, UL001)

##### ㉠설계조건 및 단면가정

fck=24MPa, fy=300MPa, k1=0.85, Φc=0.70, θ=90.000도(중립축각도)

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m) | e(mm)  |
|---------|----------|-----------|----------|--------|
| 100.000 | 2549.572 | 19946.533 | 613.970  | 30.781 |

##### ㉡ 압축부재의 장주효과

##### ㉢ 총 안정지수 산정

$$Q = \sum Pu \cdot \Delta / (Vu \cdot Lc)$$

$$= 19946.533 \times -0.00030 / (0.000 \times 8.803)$$

$$= 0.000 \leq 0.05 : \text{횡구속 구조물}$$

여기서,  $\sum Pu$  : 총전체의 수직하중

Δ : 총상단의 상대변위

Vu : 총전단력

Lc : 절점을 중심으로 측정된 기둥의 길이(= 8.803 m)

##### ㉣ 세장비 검토

횡구속된 압축부재이므로, k = 1.00

세장비  $\lambda = k \times Lu / r \leq 34 - 12 (M1/M2)$

$$= 1.000 \times 6.403 / 0.675$$

$$= 9.486 \leq 22.000 \therefore \text{단주}$$

여기서, M1, M2 : 기둥 양끝단 모멘트 (M1=613.970, M2=613.970)

M1/M2의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때(-)

$$M1/M2 (= 1.000) \geq -0.5$$

Lu : 압축부재의 비지지길이(= 6.403 m)

㉔ 철근비 검토

$$A_g = 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, \rho_{use} = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78EA (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d_1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73EA (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d_2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} (= 0.0100) \leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \therefore O.K$$

㉕ 평형하중 산정

$$c_b = 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, a_b = k_1 \times c_b = 1473.050 \text{ mm}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN}$$

$$P_b = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$M_b = C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$e_b > e \rightarrow \text{압축 파괴} (e_b = M_b/P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u/P_u = 30.781 \text{ mm})$$

㉖ 공칭강도 산정

$$- \text{반복시산법을 이용하여 } c = 3157.009 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 2683.458 \text{ mm} \text{ 를 사용.}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 5721304.299 = 116714.608 \text{ kN}$$

$$\sum C_{si} = 17390.487 \text{ kN}, \sum T_{si} = 0.000 \text{ kN}$$

$$P_n = 116714.608 + 17390.487 - 0.000 = 134105.094 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \times 1342.870 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 4128.552 \text{ kN.m}$$

$$- \text{편심오차 : } |e - M_n/P_n (= 30.786)| = 0.0052 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족}$$

㉗ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$d_t = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 3157.009 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 2683.458 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (d_t - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 3157.01) / 3157.01 = -0.00053$$

$$\epsilon_t \leq \epsilon_y \text{ 이므로 압축지배단면이며, } \Phi = 0.70 \text{ 를 적용한다.}$$

㉘ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max} P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} < P_n = 134105.094 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.70 \times 110555.156 = 77388.609 \text{ kN} \geq P_u = 19946.533 \text{ kN} \therefore O.K$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 0.031 = 2382.082 \text{ kN.m} \geq M_u = 613.970 \text{ kN.m} \therefore O.K$$

② 모멘트최대 : (부재 15, UL002)

㉑ 설계조건 및 단면가정

$$f_{ck}=24\text{MPa}, f_y=300\text{MPa}, k_1=0.85, \Phi_c=0.70, \theta=90.000\text{도(중립축각도)}$$

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m) | e(mm)   |
|---------|----------|-----------|----------|---------|
| 100.000 | 2549.572 | 17811.650 | 7997.050 | 448.979 |

㉒ 압축부재의 장주효과

㉓ 총 안정지수 산정

$$Q = \sum P_u \times \Delta / (V_u \times L_c)$$

$$= 17811.650 \times -0.00395 / (0.000 \times 8.803)$$

$$= 0.000 \leq 0.05 : \text{횡구속 구조물}$$

여기서,  $\sum P_u$  : 총전체의 수직하중

$\Delta$  : 총상단의 상대변위

$V_u$  : 총전단력

$L_c$  : 절점을 중심으로 측정된 기둥의 길이(= 8.803 m)

㉞ 세장비 검토

횡구속된 압축부재이므로,  $k = 1.00$

세장비  $\lambda = k \times L_u / r \leq 34 - 12 (M_1/M_2)$

$$= 1.000 \times 6.403 / 0.675$$

$$= 9.486 \leq 22.000 \quad \therefore \text{단주}$$

여기서,  $M_1, M_2$  : 기동 양끝단 모멘트 ( $M_1=7997.053$ ,  $M_2=7997.053$ )

$M_1/M_2$ 의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때(-)

$$M_1/M_2 (= 1.000) \geq -0.5$$

$L_u$  : 압축부재의 비지지길이 (= 6.403 m)

㉟ 철근비 검토

$$A_g = 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, \rho_{use} = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78\text{EA} (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d_1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73\text{EA} (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d_2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} (= 0.0100) \leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \quad \therefore \text{O.K}$$

㊱ 평형하중 산정

$$c_b = 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, a_b = k_1 \times c_b = 1473.050 \text{ mm}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN}$$

$$P_b = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$M_b = C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$e_b > e \rightarrow \text{압축 파괴} \quad (e_b = M_b/P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u/P_u = 448.979 \text{ mm})$$

㊱ 공칭강도 산정

- 반복시산법을 이용하여  $c = 2041.163 \text{ mm}$ ,  $a = k_1 \times c = 1734.988 \text{ mm}$  를 사용.

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3888142.357 = 79318.104 \text{ kN}$$

$$\sum C_{si} = 11689.589 \text{ kN}, \sum T_{si} = 2300.091 \text{ kN}$$

$$P_n = 79318.104 + 11689.589 - 2300.091 = 88707.602 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \times 1239.011 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 39828.415 \text{ kN.m}$$

- 편심오차 :  $|e - M_n/P_n (= 448.985)| = 0.0067 \leq 0.010 \quad \therefore \text{허용오차 만족}$

㊱ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$d_t = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 2041.163 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 1734.988 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (d_t - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 2041.16) / 2041.16 = 0.00082$$

$\epsilon_t \leq \epsilon_y$  이므로 압축지배단면이며,  $\Phi = 0.70$  를 적용한다.

㊱ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max} P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 88707.602 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.70 \times 88707.602 = 62095.321 \text{ kN} \geq P_u = 17811.650 \text{ kN} \quad \therefore \text{O.K}$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 0.449 = 27879.472 \text{ kN.m} \geq M_u = 7997.050 \text{ kN.m} \quad \therefore \text{O.K}$$

③ 편심최대 : (부재 15, UE020)

㉠설계조건 및 단면가정

$f_{ck}=24\text{MPa}$ ,  $f_y=300\text{MPa}$ ,  $k_1=0.85$ ,  $\Phi_c=0.70$ ,  $\theta=90.000$ 도(중립축각도)

| 피복(mm)  | d(mm)    | $P_u(\text{kN})$ | $M_u(\text{kN.m})$ | e(mm)   |
|---------|----------|------------------|--------------------|---------|
| 100.000 | 2549.572 | 12448.053        | 6972.770           | 560.149 |

㉞ 압축부재의 장주효과

㉞ 총 안정지수 산정

$$Q = \sum Pu \cdot \Delta / (Vu \cdot Lc)$$

$$= 12448.053 \times 0.00310 / (-291.839 \times 8.803)$$

$$= 0.015 \leq 0.05 : \text{횡구속 구조물}$$

여기서,  $\sum Pu$  : 총전체의 수직하중

$\Delta$  : 총상단의 상대변위

$Vu$  : 총전단력

$Lc$  : 절점을 중심으로 측정된 기둥의 길이(= 8.803 m)

㉞ 세장비 검토

횡구속된 압축부재이므로,  $k = 1.00$

$$\text{세장비 } \lambda = k \times Lu/r \leq 34 - 12 (M1/M2)$$

$$= 1.000 \times 6.403 / 0.675$$

$$= 9.486 \leq 25.127 \therefore \text{단주}$$

여기서,  $M1, M2$  : 기둥 양끝단 모멘트 ( $M1=5156.018$  ,  $M2=6972.772$ )

$M1/M2$ 의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때(-)

$$M1/M2 (= 0.739) \geq -0.5$$

$Lu$  : 압축부재의 비지지길이(= 6.403 m)

㉞ 철근비 검토

$$Ag = 5725552.61 \text{ mm}^2 , Ast = 76511.70 \text{ mm}^2 , Puse = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78EA (As=39522.600 \text{ mm}^2 ) , d1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73EA (As=36989.100 \text{ mm}^2 ) , d2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} (= 0.0100) \leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \therefore O.K$$

㉞ 평형하중 산정

$$cb = 600 / (600 + fy) \times d = 1733.000 \text{ mm}, ab = k1 \times cb = 1473.050 \text{ mm}$$

$$Cc = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum Csi = 10203.953 \text{ kN}, \sum Tsi = 6009.089 \text{ kN}$$

$$Pb = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$Mb = Cc \times 1258.666 + \sum (Csi \cdot di) + \sum (Tsi \cdot di) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$eb > e \rightarrow \text{압축 파괴} (eb = Mb/Pb = 698.242 \text{ mm}, e = Mu/Pu = 560.149 \text{ mm})$$

㉞ 공칭강도 산정

$$- \text{반복시산법을 이용하여 } c = 1870.134 \text{ mm}, a = k1 \times c = 1589.614 \text{ mm} \text{ 를 사용.}$$

$$Cc = 0.85 \times 24.0 \times 3506463.291 = 71531.851 \text{ kN}$$

$$\sum Csi = 10927.739 \text{ kN}, \sum Tsi = 3901.747 \text{ kN}$$

$$Pn = 71531.851 + 10927.739 - 3901.747 = 78557.843 \text{ kN}$$

$$Mn = Cc \times 1240.713 + \sum (Csi \cdot di) + \sum (Tsi \cdot di) = 44004.602 \text{ kN.m}$$

$$- \text{편심오차 : } |e - Mn/Pn (= 560.155)| = 0.0060 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족}$$

㉞ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$d_t = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 1870.134 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 1589.614 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (d_t - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 1870.13) / 1870.13 = 0.00117$$

→ 계수축력이  $0.10 \times f_{ck} \times A_g$ 보다 작으므로  $\epsilon_t$ 는 최소허용변형률 이상이어야 한다.

최소허용변형률은  $f_y$ 가 400 MPa 이하이므로 0.00400를 적용한다.

$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.00500$  이므로 변화구간단면이며,  $\Phi = 0.81$  를 적용한다.

$$\Phi = 0.700 + (0.0040 - 0.0015) \times (0.850 - 0.700) / (0.00500 - 0.00150) = 0.807$$

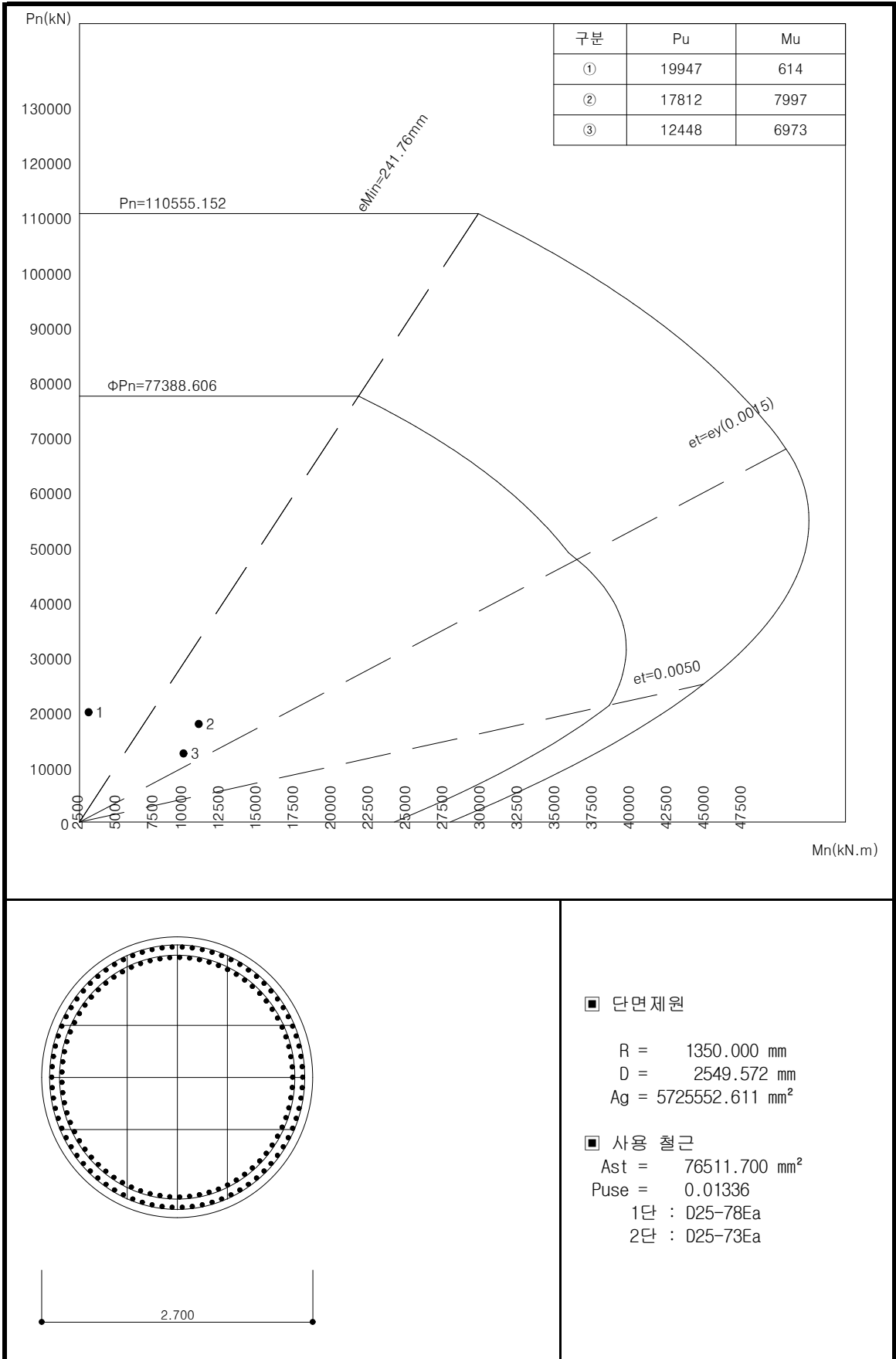
㉟ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max} P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 78557.843 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.81 \times 78557.843 = 63407.402 \text{ kN} \geq P_u = 12448.053 \text{ kN} \therefore \text{O.K.}$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 0.560 = 35517.621 \text{ kN.m} \geq M_u = 6972.770 \text{ kN.m} \therefore \text{O.K.}$$

#### 4) PM 상관도



## 8.2 교축방향

### 1) 기둥부재력 집계 : 하단

| 구 분   | Pe(kN)     | Pu(kN)     | M1(kN.m) | M2(kN.m)  | V(kN)    | Δ (m)   | 비 고   |
|-------|------------|------------|----------|-----------|----------|---------|-------|
| ULB01 | -13922.614 | -19946.533 | 0.243    | 0.243     | 0.000    | 0.00000 | 축력최대  |
| ULB14 | -13387.129 | -13387.128 | 5071.100 | 14925.848 | 1555.291 | 0.00555 | 모멘트최대 |
| UEB14 | -10174.218 | -10174.218 | 5071.545 | 14926.294 | 1555.291 | 0.00555 | 편심최대  |

註) Pe : 장기지속축력 (= 고정하중에 의한 축력 x 고정하중계수)

Pu : 전체축력, M1, M2 : 기둥상단, 하단 모멘트

Vu : 전단력, Δ : 기둥상단의 변위량

※ 소성설계시 지진시 모멘트에 대하여 응답수정계수(R=3.0)로 나눈 값을 적용한다

### 2) 기둥검토 요약

| 구 분   | 철 근 비 |       |       |     | 축방향력, 휨   |           |           |       |     |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----------|-----------|-----------|-------|-----|
|       | Pmin  | Puse  | Pmax  | 비고  | ΦPn       | Pu        | Mu        | 안전도   | 비 고 |
| 축력최대  | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 77388.609 | 19946.533 | 0.240     | 3.880 | 0.K |
| 모멘트최대 | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 34547.879 | 13387.128 | 14925.850 | 2.581 | 0.K |
| 편심최대  | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 24620.147 | 10174.218 | 14926.290 | 2.420 | 0.K |

### 3) 기둥단면 검토

#### ① 축력최대 : (부재 15, ULB01)

##### ㉞설계조건 및 단면가정

fck=24MPa, fy=300MPa, k1=0.85, Φc=0.70

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m) | e(mm) |
|---------|----------|-----------|----------|-------|
| 100.000 | 2549.572 | 19946.533 | 0.240    | 0.012 |

#### ㉞ 압축부재의 장주효과

##### ㉞ 총 안정지수 산정

$$Q = \sum Pu \cdot \Delta / (Vu \cdot Lc)$$

$$= 19946.533 \times 0.00000 / (0.000 \times 8.803)$$

$$= 0.000 \leq 0.05 : \text{횡구속 구조물}$$

여기서,  $\sum Pu$  : 총전체의 수직하중

Δ : 총상단의 상대변위

Vu : 총전단력

Lc : 절점을 중심으로 측정된 기둥의 길이 (= 8.803 m)

##### ㉞ 세장비 검토

횡구속된 압축부재이므로, k = 1.00

$$\text{세장비 } \lambda = k \times Lu / r \leq 34 - 12 (M1/M2)$$

$$= 1.000 \times 6.403 / 0.675$$

$$= 9.486 \leq 22.000 \therefore \text{단주}$$

여기서, M1, M2 : 기둥 양끝단 모멘트 (M1=0.243, M2=0.243)

M1/M2의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때(-)

$$M1/M2 (= 1.000) \geq -0.5$$

Lu : 압축부재의 비지지길이 (= 6.403 m)

㉔ 철근비 검토

$$\begin{aligned} A_g &= 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, P_{use} = 0.01336 \\ - 1\text{단} : D25 - 78EA (A_s &= 39522.600 \text{ mm}^2), d_1 = 100.000 \text{ mm} \\ - 2\text{단} : D25 - 73EA (A_s &= 36989.100 \text{ mm}^2), d_2 = 200.000 \text{ mm} \\ \rho_{min} (= 0.0100) &\leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \therefore O.K \end{aligned}$$

㉕ 평형하중 산정

$$\begin{aligned} c_b &= 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, a_b = k_1 \times c_b = 1473.050 \text{ mm} \\ C_c &= 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN} \\ P_b &= 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN} \\ M_b &= C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47349.865 \text{ kN.m} \\ e_b &> e \rightarrow \text{압축 파괴} (e_b = M_b / P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u / P_u = 0.012 \text{ mm}) \end{aligned}$$

㉖ 공칭강도 산정

$$\begin{aligned} - \text{반복시산법을 이용하여 } c &= 5178.818 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 4401.995 \text{ mm} \text{ 를 사용.} \\ C_c &= 0.85 \times 24.0 \times 5726179.924 = 116814.070 \text{ kN} \\ \sum C_{si} &= 21391.373 \text{ kN}, \sum T_{si} = 0.000 \text{ kN} \\ P_n &= 116814.070 + 21391.373 - 0.000 = 138205.444 \text{ kN} \\ M_n &= C_c \times 2200.997 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 1.620 \text{ kN.m} \\ - \text{편심오차 : } |e - M_n / P_n (= 0.012)| &= 0.0003 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족} \end{aligned}$$

㉗ 강도감소계수(Φ) 산정

$$\begin{aligned} d_t &= 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm} \\ c &= 5178.818 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 4401.995 \text{ mm} \\ \epsilon_y &= f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015 \\ \epsilon_t &= 0.00300 \times (d_t - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 5178.82) / 5178.82 = -0.00149 \\ \epsilon_t &\leq \epsilon_y \text{ 이므로 압축지배단면이며, } \Phi = 0.70 \text{ 를 적용한다.} \end{aligned}$$

㉘ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\begin{aligned} \text{Max } P_n &= 0.80 \times \{0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} < P_n = 138205.444 \text{ kN} \\ \Phi P_n &= 0.70 \times 110555.156 = 77388.609 \text{ kN} \geq P_u = 19946.533 \text{ kN} \therefore O.K \\ \Phi M_n &= \Phi P_n \times 0.000 = 0.931 \text{ kN.m} \geq M_u = 0.240 \text{ kN.m} \therefore O.K \end{aligned}$$

② 모멘트최대 : (부재 15, ULB14)

㉑ 설계조건 및 단면가정

$$f_{ck} = 24 \text{ MPa}, f_y = 300 \text{ MPa}, k_1 = 0.85, \Phi_c = 0.70$$

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m)  | e(mm)    |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|
| 100.000 | 2549.572 | 13387.128 | 14925.850 | 1114.940 |

㉒ 압축부재의 장주효과

㉓ 총 안정지수 산정

$$\begin{aligned} Q &= \sum P_u \Delta / (V_u \times L_c) \\ &= 13387.128 \times 0.00555 / (1555.291 \times 8.803) \\ &= 0.005 \leq 0.05 : \text{횡구속 구조물} \end{aligned}$$

여기서,  $\sum P_u$  : 총전체의 수직하중

$\Delta$  : 총상단의 상대변위

$V_u$  : 총전단력

$L_c$  : 절점을 중심으로 측정된 기둥의 길이(= 8.803 m)

㉞ 세장비 검토

횡구속된 압축부재이므로,  $k = 1.00$

세장비  $\lambda = k \times L_u / r \leq 34 - 12 (M_1/M_2)$

$$= 1.000 \times 6.403 / 0.675$$

$$= 9.486 \leq 29.923 \quad \therefore \text{단주}$$

여기서,  $M_1, M_2$  : 기둥 양끝단 모멘트 ( $M_1=5071.100$ ,  $M_2=14925.848$ )

$M_1/M_2$ 의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때(-)

$$M_1/M_2 (= 0.340) \geq -0.5$$

$L_u$  : 압축부재의 비지지길이 (= 6.403 m)

㉟ 철근비 검토

$$A_g = 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, \rho_{use} = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78EA (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d_1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73EA (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d_2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} (= 0.0100) \leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \quad \therefore O.K$$

㊱ 평형하중 산정

$$c_b = 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, a_b = k_1 \times c_b = 1473.050 \text{ mm}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN}$$

$$P_b = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$M_b = C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$e_b < e \rightarrow \text{인장 파괴} \quad (e_b = M_b/P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u/P_u = 1114.940 \text{ mm})$$

㊱ 공칭강도 산정

- 반복시산법을 이용하여  $c = 1285.404 \text{ mm}$ ,  $a = k_1 \times c = 1092.593 \text{ mm}$  를 사용.

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 2172093.324 = 44310.704 \text{ kN}$$

$$\sum C_{si} = 8376.222 \text{ kN}, \sum T_{si} = 9884.244 \text{ kN}$$

$$P_n = 44310.704 + 8376.222 - 9884.244 = 42802.682 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \times 1260.691 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47722.479 \text{ kN.m}$$

$$- \text{편심오차} : |e - M_n/P_n (= 1114.941)| = 0.0009 \leq 0.010 \quad \therefore \text{허용오차 만족}$$

㊱ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$d_t = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 1285.404 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 1092.593 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (d_t - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 1285.40) / 1285.40 = 0.00307$$

→ 계수축력이  $0.10 \times f_{ck} \times A_g$ 보다 작으므로  $\epsilon_t$ 는 최소허용변형률 이상이어야 한다.

최소허용변형률은  $f_y$ 가 400 MPa 이하이므로 0.00400를 적용한다.

$$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.00500 \text{ 이므로 변화구간단면이며, } \Phi = 0.81 \text{ 를 적용한다.}$$

$$\Phi = 0.700 + (0.0040 - 0.0015) \times (0.850 - 0.700) / (0.00500 - 0.00150) = 0.807$$

㊱ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max} P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 42802.682 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.81 \times 42802.682 = 34547.879 \text{ kN} \geq P_u = 13387.128 \text{ kN} \quad \therefore O.K$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 1.115 = 38518.827 \text{ kN.m} \geq M_u = 14925.850 \text{ kN.m} \quad \therefore O.K$$

③ 편심최대 : (부재 15, UEB14)

㉞ 설계조건 및 단면가정

$f_{ck}=24\text{MPa}$ ,  $f_y=300\text{MPa}$ ,  $k_1=0.85$ ,  $\Phi_c=0.70$

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m)  | e(mm)    |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|
| 100.000 | 2549.572 | 10174.218 | 14926.290 | 1467.070 |

㉞ 압축부재의 장주효과

㉞ 총 안정지수 산정

$$Q = \sum P_u \cdot \Delta / (V_u \cdot L_c)$$

$$= 10174.218 \times 0.00555 / (1555.291 \times 8.803)$$

$$= 0.004 \leq 0.05 : \text{횡구속 구조물}$$

여기서,  $\sum P_u$  : 총전체의 수직하중

$\Delta$  : 층상단의 상대변위

$V_u$  : 층전단력

$L_c$  : 절점을 중심으로 측정된 기둥의 길이(= 8.803 m)

㉞ 세장비 검토

횡구속된 압축부재이므로,  $k = 1.00$

세장비  $\lambda = k \times L_u / r \leq 34 - 12 (M_1/M_2)$

$$= 1.000 \times 6.403 / 0.675$$

$$= 9.486 \leq 29.923 \therefore \text{단주}$$

여기서,  $M_1, M_2$  : 기둥 양끝단 모멘트 ( $M_1=5071.545$ ,  $M_2=14926.294$ )

$M_1/M_2$ 의 값이 단일곡률일 때(+), 이중곡률일 때(-)

$$M_1/M_2 (= 0.340) \geq -0.5$$

$L_u$  : 압축부재의 비지지길이(= 6.403 m)

㉞ 철근비 검토

$$A_g = 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, \rho_{use} = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78\text{EA} (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d_1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73\text{EA} (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d_2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} (= 0.0100) \leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \therefore \text{O.K}$$

㉞ 평형하중 산정

$$c_b = 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, a_b = k_1 \times c_b = 1473.050 \text{ mm}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN}$$

$$P_b = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$M_b = C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \cdot d_i) + \sum (T_{si} \cdot d_i) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$e_b < e \rightarrow \text{인장 파괴} (e_b = M_b/P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u/P_u = 1467.070 \text{ mm})$$

㉞ 공칭강도 산정

- 반복시산법을 이용하여  $c = 1062.074 \text{ mm}$ ,  $a = k_1 \times c = 902.763 \text{ mm}$  를 사용.

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 1677763.753 = 34226.381 \text{ kN}$$

$$\sum C_{si} = 7339.869 \text{ kN}, \sum T_{si} = 11610.752 \text{ kN}$$

$$P_n = 34226.381 + 7339.869 - 11610.752 = 29955.497 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \times 1272.627 + \sum (C_{si} \cdot d_i) + \sum (T_{si} \cdot d_i) = 43946.543 \text{ kN.m}$$

$$- \text{편심오차} : |e - M_n/P_n (= 1467.061)| = 0.0089 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족}$$

㉞ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$d_t = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 1062.074 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 902.763 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\varepsilon_t = 0.00300 \times (d_t - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 1062.07) / 1062.07 = 0.00434$$

$\varepsilon_y < \varepsilon_t < 0.00500$  이므로 변화구간단면이며,  $\Phi = 0.82$  를 적용한다.

$$\Phi = 0.700 + (0.0043 - 0.0015) \times (0.850 - 0.700) / (0.00500 - 0.00150) = 0.822$$

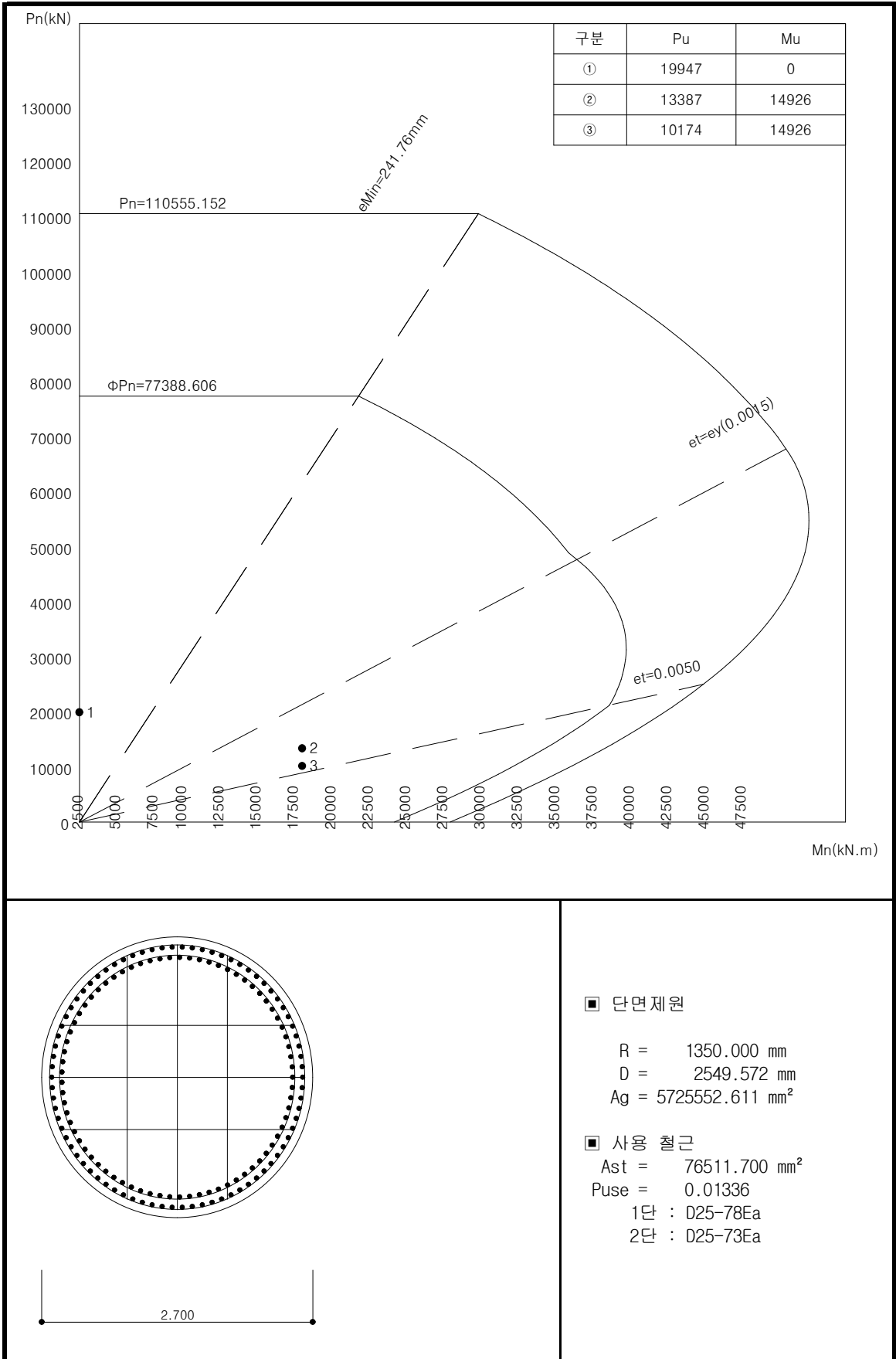
㉟ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max} P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 29955.497 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.82 \times 29955.497 = 24620.147 \text{ kN} \geq P_u = 10174.218 \text{ kN} \therefore \text{O.K}$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 1.467 = 36119.480 \text{ kN.m} \geq M_u = 14926.290 \text{ kN.m} \therefore \text{O.K}$$

#### 4) PM 상관도



### 8.3 합성부재력 검토

1) 기동부재력 집계 : 하단

| 구 분  | Pu(kN)     | Mx(kN.m)  | My(kN.m) | M2(kN.m)  | 비 고   |
|------|------------|-----------|----------|-----------|-------|
| UL01 | -19946.533 | 0.240     | 613.970  | 613.970   | 축력최대  |
| UL14 | -13387.128 | 14925.850 | 4139.270 | 15489.175 | 모멘트최대 |
| UE14 | -10174.218 | 14926.290 | 4359.930 | 15550.020 | 편심최대  |
| UL02 | -17811.650 | 1.320     | 7997.050 | 7997.050  | 모멘트최대 |
| UE20 | -12448.053 | 14413.460 | 6972.770 | 16011.476 | 편심최대  |

註) Pu : 축력, Mx : 교축방향 모멘트, My : 교축직각방향 모멘트

Mx, My는 확대 모멘트 값을 사용한다,  $M2 = \sqrt{(Mx^2 + My^2)}$

2) 기동검토 요약

| 구 분   | 철 근 비 |       |       |     | 축방향력, 휨   |           |           |       |     |
|-------|-------|-------|-------|-----|-----------|-----------|-----------|-------|-----|
|       | Pmin  | Puse  | Pmax  | 비고  | ΦPn       | Pu        | Mu        | 안전도   | 비 고 |
| 축력최대  | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 77388.609 | 19946.533 | 613.970   | 3.880 | 0.K |
| 모멘트최대 | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 33014.657 | 13387.128 | 15489.175 | 2.466 | 0.K |
| 편심최대  | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 23522.927 | 10174.218 | 15550.020 | 2.312 | 0.K |
| 모멘트최대 | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 62095.321 | 17811.650 | 7997.050  | 3.486 | 0.K |
| 편심최대  | 0.010 | 0.013 | 0.080 | 0.K | 28848.401 | 12448.053 | 16011.476 | 2.318 | 0.K |

3) 기동단면 검토

① 축력최대 : (부재 15, UL001)

【 기동 : 하부 , 1/5 】

㉠설계조건 및 단면가정

fck=24MPa, fy=300MPa, k1=0.85, Φc=0.70, θ=89.978도(중립축각도)

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m) | e(mm)  |
|---------|----------|-----------|----------|--------|
| 100.000 | 2549.572 | 19946.533 | 613.970  | 30.781 |

㉡ 철근비 검토

Ag = 5725552.61 mm<sup>2</sup>, Ast = 76511.70 mm<sup>2</sup>, Puse = 0.01336

- 1단 : D25 - 78EA (As=39522.600 mm<sup>2</sup>), d1 = 100.000 mm

- 2단 : D25 - 73EA (As=36989.100 mm<sup>2</sup>), d2 = 200.000 mm

ρmin (= 0.0100) ≤ ρuse (= 0.0134) ≤ ρmax (= 0.0800) ∴ 0.K

㉢ 평형하중 산정

cb = 600 / (600 + fy) x d = 1733.000 mm, ab = k1 x cb = 1473.050 mm

Cc = 0.85 x 24.0 x 3118533.896 = 63618.091 kN, ΣCsi = 10203.953 kN, ΣTsi = 6009.089 kN

Pb = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 kN

Mb = Cc x 1258.666 + Σ(Csi\*di) + Σ(Tsi\*di) = 47349.865 kN.m

eb > e → 압축 파괴 (eb = Mb/Pb = 698.242 mm, e = Mu/Pu = 30.781 mm)

㉣ 공칭강도 산정

- 반복시산법을 이용하여 c = 3157.009 mm, a = k1 x c = 2683.458 mm 를 사용.

Cc = 0.85 x 24.0 x 5721304.299 = 116714.608 kN

ΣCsi = 17390.487 kN, ΣTsi = 0.000 kN

Pn = 116714.608 + 17390.487 - 0.000 = 134105.094 kN

Mn = Cc x 1342.870 + Σ(Csi\*di) + Σ(Tsi\*di) = 4128.552 kN.m

- 편심오차 : |e - Mn/Pn(=30.786)| = 0.0052 ≤ 0.010 ∴ 허용오차 만족

㉞ 강도감소계수(Φ) 산정

$$dt = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 3157.009 \text{ mm}, a = k1 \times c = 2683.458 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (dt - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 3157.01) / 3157.01 = -0.00053$$

$$\epsilon_t \leq \epsilon_y \text{ 이므로 압축지배단면이며, } \Phi = 0.70 \text{ 를 적용한다.}$$

㉞ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max}P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} < P_n = 134105.094 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.70 \times 110555.156 = 77388.609 \text{ kN} \geq P_u = 19946.533 \text{ kN} \therefore 0.K$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 0.031 = 2382.083 \text{ kN.m} \geq M_u = 613.970 \text{ kN.m} \therefore 0.K$$

② 모멘트최대 : (부재 15, UL014)

【 기둥 : 하부 , 2/5 】

㉞ 설계조건 및 단면가정

$$f_{ck}=24\text{MPa}, f_y=300\text{MPa}, k1=0.85, \Phi_c=0.70, \theta=15.500\text{도(중립축각도)}$$

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m)  | e(mm)    |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|
| 100.000 | 2549.572 | 13387.128 | 15489.175 | 1157.020 |

㉞ 철근비 검토

$$A_g = 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, P_{use} = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78EA (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73EA (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} (= 0.0100) \leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \therefore 0.K$$

㉞ 평형하중 산정

$$cb = 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, ab = k1 \times cb = 1473.050 \text{ mm}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN}$$

$$P_b = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$M_b = C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$eb < e \rightarrow \text{인장 파괴} (eb = M_b/P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u/P_u = 1157.020 \text{ mm})$$

㉞ 공칭강도 산정

- 반복시산법을 이용하여  $c = 1252.932 \text{ mm}$ ,  $a = k1 \times c = 1064.992 \text{ mm}$  를 사용.

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 2099087.341 = 42821.382 \text{ kN}$$

$$\sum C_{si} = 8212.818 \text{ kN}, \sum T_{si} = 10131.085 \text{ kN}$$

$$P_n = 42821.382 + 8212.818 - 10131.085 = 40903.115 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \times 1262.303 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47325.379 \text{ kN.m}$$

$$- \text{편심오차} : |e - M_n/P_n (=1157.012)| = 0.0084 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족}$$

㉞ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$dt = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 1252.932 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 1064.992 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (dt - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 1252.93) / 1252.93 = 0.00323$$

→ 계수축력이  $0.10 \times f_{ck} \times A_g$ 보다 작으므로  $\epsilon_t$ 는 최소허용변형률 이상이어야 한다.

최소허용변형률은  $f_y$ 가 400 MPa 이하이므로 0.00400를 적용한다.

$$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.00500 \text{ 이므로 변화구간단면이며, } \Phi = 0.81 \text{ 를 적용한다.}$$

$$\Phi = 0.700 + (0.0040 - 0.0015) \times (0.850 - 0.700) / (0.00500 - 0.00150) = 0.807$$

㉞ 축방항력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max} P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 40903.115 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.81 \times 40903.115 = 33014.657 \text{ kN} \geq P_u = 13387.128 \text{ kN} \therefore \text{O.K.}$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 1.157 = 38198.620 \text{ kN.m} \geq M_u = 15489.175 \text{ kN.m} \therefore \text{O.K.}$$

③ 편심최대 : (부재 15, UE014)

【 기둥 : 하부 , 3/5 】

㉞ 설계조건 및 단면가정

$$f_{ck}=24\text{MPa}, f_y=300\text{MPa}, k_1=0.85, \Phi_c=0.70, \theta=16.283\text{도(중립축각도)}$$

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m)  | e(mm)    |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|
| 100.000 | 2549.572 | 10174.218 | 15550.020 | 1528.375 |

㉞ 철근비 검토

$$A_g = 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, \rho_{use} = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78EA (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d_1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73EA (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d_2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{min} (= 0.0100) \leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \therefore \text{O.K.}$$

㉞ 평형하중 산정

$$c_b = 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, a_b = k_1 \times c_b = 1473.050 \text{ mm}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN}$$

$$P_b = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$M_b = C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$e_b < e \rightarrow \text{인장 파괴} (e_b = M_b / P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u / P_u = 1528.375 \text{ mm})$$

㉞ 공칭강도 산정

- 반복시산법을 이용하여  $c = 1033.420 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 878.407 \text{ mm}$  를 사용.

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 1615924.789 = 32964.866 \text{ kN}$$

$$\sum C_{si} = 7194.803 \text{ kN}, \sum T_{si} = 11839.884 \text{ kN}$$

$$P_n = 32964.866 + 7194.803 - 11839.884 = 28319.784 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \times 1274.295 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 43283.211 \text{ kN.m}$$

- 편심오차 :  $|e - M_n / P_n (= 1528.374)| = 0.0014 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족}$

㉞ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$dt = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 1033.420 \text{ mm}, a = k1 \times c = 878.407 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (dt - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 1033.42) / 1033.42 = 0.00455$$

$$\epsilon_y < \epsilon_t < 0.00500 \text{ 이므로 변화구간단면이며, } \Phi = 0.83 \text{ 를 적용한다.}$$

$$\Phi = 0.700 + (0.0045 - 0.0015) \times (0.850 - 0.700) / (0.00500 - 0.00150) = 0.831$$

㉞ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\text{Max}P_n = 0.80 \times \{0.85 f_{ck} \times (A_g - A_{st}) + f_y \times A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 28319.784 \text{ kN}$$

$$\Phi P_n = 0.83 \times 28319.784 = 23522.927 \text{ kN} \geq P_u = 10174.218 \text{ kN} \therefore \text{O.K.}$$

$$\Phi M_n = \Phi P_n \times 1.528 = 35951.853 \text{ kN.m} \geq M_u = 15550.020 \text{ kN.m} \therefore \text{O.K.}$$

④ 모멘트최대 : (부재 15, UL002)

【 기둥 : 하부 , 4/5 】

㉞ 설계조건 및 단면가정

$$f_{ck}=24\text{MPa}, f_y=300\text{MPa}, k1=0.85, \Phi_c=0.70, \theta=89.991^\circ(\text{중립축각도})$$

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m) | e(mm)   |
|---------|----------|-----------|----------|---------|
| 100.000 | 2549.572 | 17811.650 | 7997.050 | 448.979 |

㉞ 철근비 검토

$$A_g = 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, P_{use} = 0.01336$$

$$- 1\text{단} : D25 - 78\text{EA} (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d1 = 100.000 \text{ mm}$$

$$- 2\text{단} : D25 - 73\text{EA} (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d2 = 200.000 \text{ mm}$$

$$\rho_{\min} (= 0.0100) \leq \rho_{\text{use}} (= 0.0134) \leq \rho_{\max} (= 0.0800) \therefore \text{O.K.}$$

㉞ 평형하중 산정

$$cb = 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, ab = k1 \times cb = 1473.050 \text{ mm}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN}$$

$$P_b = 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN}$$

$$M_b = C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 47349.865 \text{ kN.m}$$

$$eb > e \rightarrow \text{압축 파괴} (eb = M_b/P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u/P_u = 448.979 \text{ mm})$$

㉞ 공칭강도 산정

$$- \text{반복시산법을 이용하여 } c = 2041.163 \text{ mm}, a = k1 \times c = 1734.988 \text{ mm} \text{ 를 사용.}$$

$$C_c = 0.85 \times 24.0 \times 3888142.357 = 79318.104 \text{ kN}$$

$$\sum C_{si} = 11689.589 \text{ kN}, \sum T_{si} = 2300.091 \text{ kN}$$

$$P_n = 79318.104 + 11689.589 - 2300.091 = 88707.602 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \times 1239.011 + \sum (C_{si} \times d_i) + \sum (T_{si} \times d_i) = 39828.415 \text{ kN.m}$$

$$- \text{편심오차 : } |e - M_n/P_n (= 448.985)| = 0.0067 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족}$$

㉞ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$dt = 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm}$$

$$c = 2041.163 \text{ mm}, a = k1 \times c = 1734.988 \text{ mm}$$

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015$$

$$\epsilon_t = 0.00300 \times (dt - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 2041.16) / 2041.16 = 0.00082$$

$$\epsilon_t \leq \epsilon_y \text{ 이므로 압축지배단면이며, } \Phi = 0.70 \text{ 를 적용한다.}$$

㉞ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\begin{aligned} \text{MaxPn} &= 0.80 \times \{0.85 f_{ck} \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 88707.602 \text{ kN} \\ \Phi P_n &= 0.70 \times 88707.602 = 62095.321 \text{ kN} \geq P_u = 17811.650 \text{ kN} \therefore 0.K \\ \Phi M_n &= \Phi P_n \times 0.449 = 27879.472 \text{ kN.m} \geq M_u = 7997.050 \text{ kN.m} \therefore 0.K \end{aligned}$$

⑤ 편심최대 : (부재 15, UE020)

【 기둥 : 하부 , 5/5 】

㉞ 설계조건 및 단면가정

$f_{ck}=24\text{MPa}$ ,  $f_y=300\text{MPa}$ ,  $k_1=0.85$ ,  $\Phi_c=0.70$ ,  $\theta=25.816^\circ$ (중립축각도)

| 피복(mm)  | d(mm)    | Pu(kN)    | Mu(kN.m)  | e(mm)    |
|---------|----------|-----------|-----------|----------|
| 100.000 | 2549.572 | 12448.053 | 16011.476 | 1286.263 |

㉞ 철근비 검토

$$\begin{aligned} A_g &= 5725552.61 \text{ mm}^2, A_{st} = 76511.70 \text{ mm}^2, P_{use} = 0.01336 \\ - 1\text{단} : D25 - 78EA (A_s=39522.600 \text{ mm}^2), d_1 &= 100.000 \text{ mm} \\ - 2\text{단} : D25 - 73EA (A_s=36989.100 \text{ mm}^2), d_2 &= 200.000 \text{ mm} \\ \rho_{min} (= 0.0100) &\leq \rho_{use} (= 0.0134) \leq \rho_{max} (= 0.0800) \therefore 0.K \end{aligned}$$

㉞ 평형하중 산정

$$\begin{aligned} c_b &= 600 / (600 + f_y) \times d = 1733.000 \text{ mm}, a_b = k_1 \times c_b = 1473.050 \text{ mm} \\ C_c &= 0.85 \times 24.0 \times 3118533.896 = 63618.091 \text{ kN}, \sum C_{si} = 10203.953 \text{ kN}, \sum T_{si} = 6009.089 \text{ kN} \\ P_b &= 63618.091 + 10203.953 - 6009.089 = 67812.956 \text{ kN} \\ M_b &= C_c \times 1258.666 + \sum (C_{si} \cdot d_i) + \sum (T_{si} \cdot d_i) = 47349.865 \text{ kN.m} \\ e_b &< e \rightarrow \text{인장 파괴} (e_b = M_b / P_b = 698.242 \text{ mm}, e = M_u / P_u = 1286.263 \text{ mm}) \end{aligned}$$

㉞ 공칭강도 산정

$$\begin{aligned} - \text{반복시산법을 이용하여 } c &= 1163.600 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 989.060 \text{ mm} \text{ 를 사용.} \\ C_c &= 0.85 \times 24.0 \times 1900045.576 = 38760.930 \text{ kN} \\ \sum C_{si} &= 7816.502 \text{ kN}, \sum T_{si} = 10836.051 \text{ kN} \\ P_n &= 38760.930 + 7816.502 - 10836.051 = 35741.381 \text{ kN} \\ M_n &= C_c \times 1266.960 + \sum (C_{si} \cdot d_i) + \sum (T_{si} \cdot d_i) = 45972.703 \text{ kN.m} \\ - \text{편심오차 : } |e - M_n / P_n (=1286.260)| &= 0.0036 \leq 0.010 \therefore \text{허용오차 만족} \end{aligned}$$

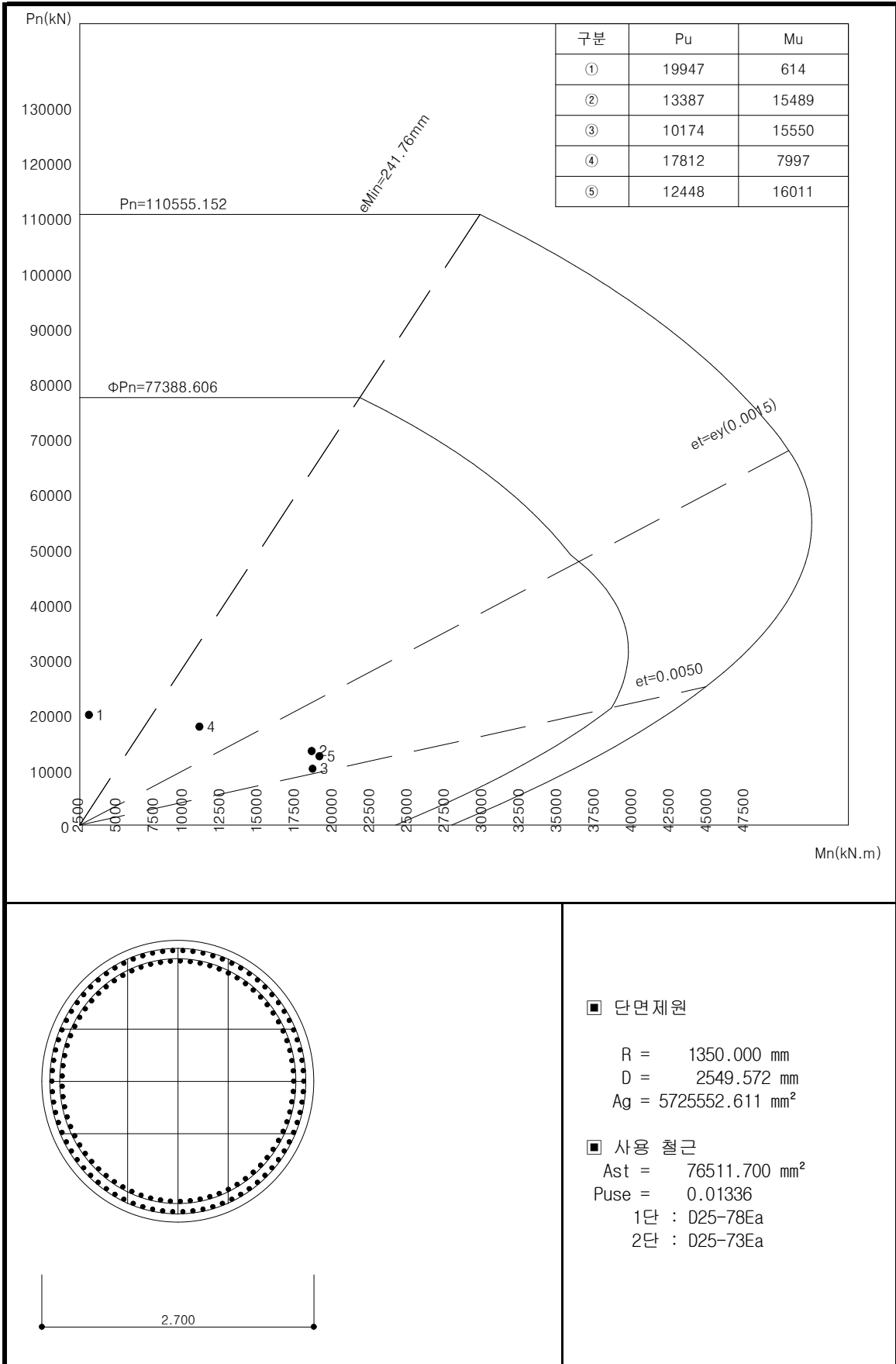
㉞ 강도감소계수( $\Phi$ ) 산정

$$\begin{aligned} d_t &= 2700.00 - 100.00 = 2600.000 \text{ mm} \\ c &= 1163.600 \text{ mm}, a = k_1 \times c = 989.060 \text{ mm} \\ \epsilon_y &= f_y / E_s = 300.00 / 200000.00 = 0.0015 \\ \epsilon_t &= 0.00300 \times (d_t - c) / c = 0.00300 \times (2600.00 - 1163.60) / 1163.60 = 0.00370 \\ \rightarrow \text{계수축력이 } 0.10 \cdot f_{ck} \cdot A_g &\text{보다 작으므로 } \epsilon_t \text{는 최소허용변형률 이상이어야 한다.} \\ \text{최소허용변형률은 } f_y &\text{가 } 400 \text{ MPa 이하이므로 } 0.00400 \text{를 적용한다.} \\ \epsilon_y &< \epsilon_t < 0.00500 \text{ 이므로 변화구간단면이며, } \Phi = 0.81 \text{ 를 적용한다.} \\ \Phi &= 0.700 + (0.0040 - 0.0015) \times (0.850 - 0.700) / (0.00500 - 0.00150) = 0.807 \end{aligned}$$

㉞ 축방향력 및 휨에대한 검토

$$\begin{aligned} \text{MaxPn} &= 0.80 \times \{0.85 f_{ck} \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}\} = 110555.156 \text{ kN} \geq P_n = 35741.381 \text{ kN} \\ \Phi P_n &= 0.81 \times 35741.381 = 28848.401 \text{ kN} \geq P_u = 12448.053 \text{ kN} \therefore 0.K \\ \Phi M_n &= \Phi P_n \times 1.286 = 37106.643 \text{ kN.m} \geq M_u = 16011.476 \text{ kN.m} \therefore 0.K \end{aligned}$$

#### 4) PM 상관도



## 9. 기 초 검 토

### 9.1 교축직각방향

#### 1) 기초 안정검토

##### ① 기초 중앙작용력 산정

| 구 분   | P(kN)     | Vx(kN)  | My(kN)   | $\Sigma V$ (kN) | Mr(kN.m)  | Mo(kN.m) | 비 고   |
|-------|-----------|---------|----------|-----------------|-----------|----------|-------|
| SV005 | 13511.526 | 233.471 | 2061.393 | 16699.026       | 70970.860 | 2528.335 | 축력최대  |
| SV007 | 12528.771 | 233.471 | 5401.688 | 15716.271       | 66794.152 | 5868.630 | 모멘트최대 |
| SV021 | 12528.771 | 233.471 | 5401.688 | 15716.271       | 66794.152 | 5868.630 | 편심최대  |
| SV021 | 12528.771 | 233.471 | 5401.688 | 15716.271       | 66794.152 | 5868.630 | 지진시   |

註) 기초중앙의 부재력은 기둥의 부재력을 합산한 값을 사용한다.

$$\Sigma V = P + W, \quad W = 7.500 \times 8.500 \times 2.000 \times 25.000 = 3187.500 \text{ kN}$$

$$Mr = \Sigma V \times B/2, \quad B = 8.500 \text{ m}$$

$$My = M + P \times e, \quad e = 0.000 \text{ m}$$

$$Mo = |My + Vx \times h|, \quad h = 2.000 \text{ mm}$$

※ 말뚝검토시의 모멘트는  $M_c = \Sigma V \times e$  를 적용한다,  $e = B/2 - (Mr - Mo)/\Sigma V$

※ 지진시의 부재력은 탄성설계를 적용한 값을 사용한다.

##### ② 전도에 대한 안정

- 말뚝기초이므로 불필요 : 『말뚝검토』 참조

##### ③ 활동에 대한 안정

- 말뚝기초이므로 불필요 : 『말뚝검토』 참조

##### ④ 지지력에 대한 안정

- 말뚝기초이므로 불필요 : 『말뚝검토』 참조

■ 확대기초 두께에 대한 강체 검토 : [도로교 설계기준 5.4.5.2]

- 확대기초는 부재로서 필요한 두께를 확보함과 동시에 강체로서 취급되는 두께를 가져야함을 원칙으로 한다.
- 확대기초에 대한 강체로서의 취급여부는 지반반력 및 말뚝반력에 미치는 확대기초의 강성의 영향을 고려하여 판정하는 것으로서, 일반적으로 다음의 식을 만족할 때 강체로 취급할 수 있다.

$$\beta \lambda \leq 1.0$$

여기서

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot k}{E \cdot h^3}} (m^{-1})$$

k : kv - 직접기초인 경우, kp - 말뚝기초인 경우

kp : 환산지반반력계수 (kN/m<sup>3</sup>)

$$= 233087.629 \times 49 / (8.500 \times 7.500) = 179157.550 \text{ kN/m}^3$$

$$k_p = k_v \cdot \frac{n \cdot m}{L \cdot B}$$

Kv : 개 말뚝의 축방향 스프링정수 (= 233087.629 kN/m), 『말뚝계산』 참조

L : 확대기초의 길이 (= 8.500 m)

B : 확대기초의 폭 (= 7.500 m)

n\*m : 말뚝의 개수 (= 49 본)

E : 확대기초의 탄성계수 (= 27849000.000 kN/m<sup>2</sup>)

h : 확대기초의 평균두께 (= 2.000 m)

λ : 확대기초의 환산 돌출길이 (m)

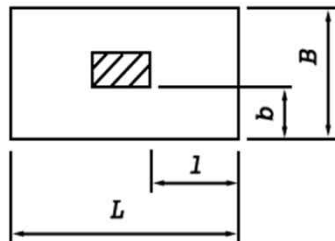
$$\beta = \sqrt[4]{\{(3 \times 179157.550) / (27849000.000 \times 2.000^3)\}} = 0.222 \text{ (m}^{-1}\text{)}$$

★ 독립확대기초 및 벽확대기초의 경우

$$\lambda = \max(l, b) = \max(2.400, 2.900) = 2.900$$

다만, l ≥ L/20이면 l = L/2 = 4.250

b ≥ B/20이면 b = B/2 = 4.250



$$\beta \lambda = 0.222 \times 2.900 = 0.643 \leq 1.0, \therefore O.K$$

## 9.2 교축방향

### 1) 기초 안정검토

#### ① 기초 중앙작용력 산정

| 구 분   | P(kN)     | Vy(kN)   | Mx(kN)     | $\Sigma V$ (kN) | Mr (kN.m) | Mo(kN.m)  | 비 고   |
|-------|-----------|----------|------------|-----------------|-----------|-----------|-------|
| SVB16 | 13511.526 | 1189.340 | -11531.100 | 16699.026       | 62621.347 | 9152.420  | 축력최대  |
| SVB14 | 10709.703 | 1244.232 | -11940.679 | 13897.203       | 52114.511 | 9452.215  | 모멘트최대 |
| SVB14 | 10709.703 | 1244.232 | -11940.679 | 13897.203       | 52114.511 | 9452.215  | 편심최대  |
| SVB21 | 12528.771 | 1079.554 | 10711.557  | 15716.271       | 58936.016 | 12870.665 | 지진시   |

註) 기초중앙의 부재력은 기둥의 부재력을 합산한 값을 사용한다.

$$\Sigma V = P + W, \quad W = 7.500 \times 8.500 \times 2.000 \times 25.000 = 3187.500 \text{ kN}$$

$$Mr = \Sigma V \times B/2, \quad B = 7.500 \text{ m}$$

$$Mx = M + P \times e, \quad e = 0.000 \text{ m}$$

$$Mo = |Mx + Vy \times h|, \quad h = 2.000 \text{ m}$$

※ 말뚝검토시의 모멘트는  $M_c = \Sigma V \times e$  를 적용한다,  $e = B/2 - (Mr - Mo)/\Sigma V$

#### ② 전도에 대한 안정

- 말뚝기초이므로 불필요 : 『말뚝검토』 참조

#### ③ 활동에 대한 안정

- 말뚝기초이므로 불필요 : 『말뚝검토』 참조

#### ④ 지지력에 대한 안정

- 말뚝기초이므로 불필요 : 『말뚝검토』 참조

## 10. PILE 교축직각방향 검토

### 1) 검토조건

#### ① 말뚝의 제원

| 말뚝 종류  | 직경 (mm) | 두께 (mm) | 부식두께 (mm) | 길이 (m) |
|--------|---------|---------|-----------|--------|
| 타입강관말뚝 | 406     | 9       | 2         | 8.400  |

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이로 계산한다.

말뚝의 탄성계수  $E = 210000.0 \text{ MPa}$

말뚝의 단면2차모멘트  $I = \pi/64 \times (0.402^4 - 0.388^4) = 0.0001700 \text{ m}^4$

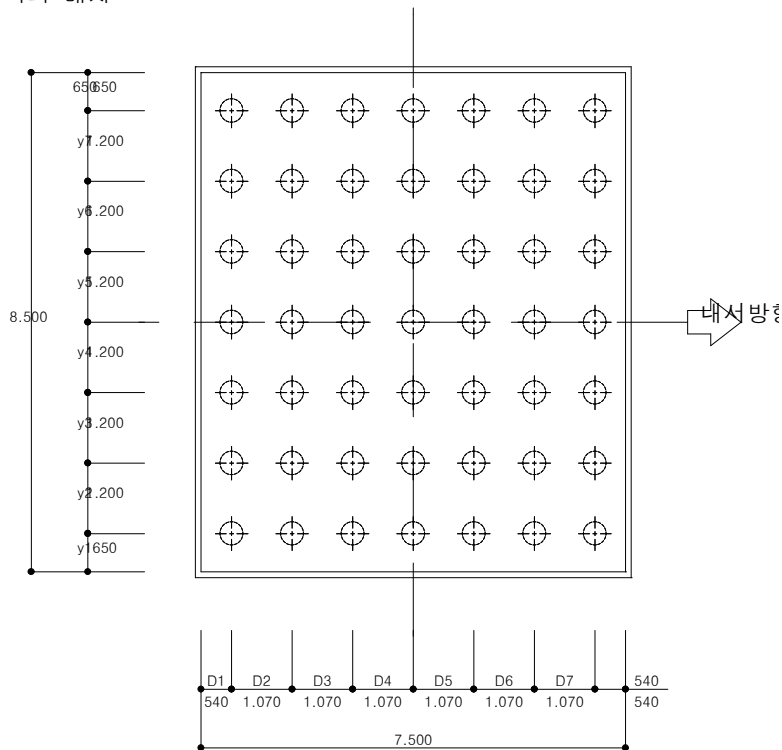
말뚝 머리의 평균 N치  $N = 10$

말뚝 선단의 평균 N치  $N = 40$

말뚝 선단의 근입깊이  $Df = 1.0 \text{ m}$

원지반으로부터 돌출된 길이  $h = 0.0 \text{ m}$

#### ② 말뚝의 배치



### 2) 말뚝도심에서의 작용하중

| 구분   |         | Vo(kN)    | Ho(kN)  | Mo(kN.m) | 비고    |
|------|---------|-----------|---------|----------|-------|
| 사용하중 | COMBO 1 | 16699.026 | 233.471 | 2528.335 | SV005 |
|      | COMBO 2 | 15716.271 | 233.471 | 5868.630 | SV007 |
|      | COMBO 3 | 15716.271 | 233.471 | 5868.630 | SV021 |
|      | COMBO 4 | 15716.271 | 233.471 | 5868.630 | SV021 |
| 계수하중 | COMBO 1 | 24090.283 | 0.000   | 613.970  | UL001 |
|      | COMBO 2 | 21955.400 | 0.000   | 7997.053 | UL002 |
|      | COMBO 3 | 15476.178 | 291.839 | 7556.449 | UE021 |
|      | COMBO 4 | 15476.178 | 291.839 | 7556.449 | UE021 |

### 3) 말뚝의 특성치 계산

#### ① 말뚝의 축방향 스프링정수

$$\begin{aligned} A_p &= \pi/4 \times (0.402^2 - 0.388^2) = 0.0087 \text{ m}^2 ; \text{ 말뚝의 순단면적} \\ a &= 0.014 \times (L/D) + 0.78 = 1.072 \\ K_v &= a \times A_p \times E_p / L = 233087.629 \text{ kN/m} ; \text{ 말뚝의 축방향 스프링정수} \end{aligned}$$

#### ② 말뚝의 축직각방향 스프링정수

:  $1/\beta$  가정된 값이 계산된 값과 일치할 때까지 반복 계산

$$B_H = \sqrt{\frac{D}{\beta}} \quad k_{HO} = \frac{1}{0.3} \alpha E_O \quad k_H = k_{HO} \left( \frac{B_H}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

$$\alpha = 1 \text{ (평상시)}$$

$$E_O = 2800 \times \text{N} = 2800 \times 10 = 28000 \text{ kN/m}^2$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$$

수평저항에 관여하는 지반의 깊이 : 평상시

| 가정된 $1/\beta$ (m) | 계산치 $1/\beta$ (m) | $K_h$ (kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 0.402             | 1.475             | 74883.17                   |
| 1.475             | 1.667             | 46003.37                   |
| 1.667             | 1.686             | 43949.37                   |
| 1.686             | 1.687             | 43761.57                   |
| 1.687             | 1.688             | 43744.01                   |
| 1.688             | 1.688             | 43742.36                   |
| 1.688             | 1.688             | 43742.21                   |

$$K_h = 43742.19 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = 0.593 \text{ m}^{-1}$$

$$\beta L = 0.593 \times 8.4000 = 4.977 \geq 3 \quad \therefore \text{반무한장 말뚝으로 설계한다.}$$

#### 4) 말뚝의 변위 및 부재력

##### ① 말뚝머리 고정일 경우

##### 가) 축직각방향 스프링정수

| 구 분 | 평상시       | 산출식           | 단 위      |
|-----|-----------|---------------|----------|
| K1  | 29705.695 | $4EI \beta^3$ | kN/m     |
| K2  | 25066.339 | $2EI \beta^2$ | kN/rad   |
| K3  | 25066.339 | $2EI \beta^2$ | kN/rad   |
| K4  | 42303.092 | $2EI \beta$   | kN.m/rad |

##### 나) 기초의 변위

| 말뚝원점에서의 변위 |                                                                                                                                                                                                                                             | 계산값        |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|            |                                                                                                                                                                                                                                             | 평상시        |
| Axx        | $\sum (K_1 \cos^2 \theta_i + K_v \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 1455579.0  |
| Axy, Ayx   | $\sum (K_v - K_1) \sin \theta_i \cos \theta_i$                                                                                                                                                                                              | 0.0        |
| Axa, Aax   | $\sum \{(K_v - K_1)x_i \sin \theta_i \cos \theta_i - K_2 \cos \theta_i\}$                                                                                                                                                                   | -1228250.6 |
| Ayy        | $\sum (K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 11421293.8 |
| Aya, Aay   | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i + K_2 \sin \theta_i\}$                                                                                                                                                               | 0.0        |
| Aaa        | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i^2 + (K_2 + K_3)x_i \sin \theta_i + K_4\}$                                                                                                                                            | 67859504.0 |
| 일반식        | $\begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} H_o \\ V_o \\ M_o \end{bmatrix}$ |            |

| 구 분     | 사용하중          |               |               | 구 분     | 계수하중          |               |               |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|
|         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |
| COMBO 1 | 0.0001948     | 0.0014621     | 0.0000408     | COMBO 1 | 0.0000078     | 0.0021092     | 0.0000092     |
| COMBO 2 | 0.0002370     | 0.0013760     | 0.0000908     | COMBO 2 | 0.0001010     | 0.0019223     | 0.0001197     |
| COMBO 3 | 0.0002370     | 0.0013760     | 0.0000908     | COMBO 3 | 0.0002990     | 0.0013550     | 0.0001168     |
| COMBO 4 | 0.0001531     | 0.0013760     | 0.0000900     | COMBO 4 | 0.0001936     | 0.0013550     | 0.0001157     |

##### \* 말뚝의 수평변위 검토

말뚝의 수평변위 = 0.237 mm ≤ 말뚝의 허용변위 = 15.000 mm ∴ 0.K

다) 말뚝의 작용력과 말뚝머리에서의 반력

▣ 말뚝머리 변위량 및 작용력 : 말뚝응력검토시

$$\delta x(i) = \delta x \times \cos \theta(i) - (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \sin \theta(i)$$

$$\delta y(i) = \delta x \times \sin \theta(i) + (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \cos \theta(i)$$

$$P_n(i) = K_v \times \delta y(i)$$

$$P_h(i) = K_1 \times \delta x(i) - K_2 \times \alpha$$

$$M_t(i) = -K_3 \times \delta x(i) + K_4 \times \alpha$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $P_h(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|----------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0001948     | 0.0016089     | 0.0000408 | 375.019  | 4.765    | -3.158   |
|         | 2 | 0.0001948     | 0.0015600     | 0.0000408 | 363.612  | 4.765    | -3.158   |
|         | 3 | 0.0001948     | 0.0015110     | 0.0000408 | 352.204  | 4.765    | -3.158   |
|         | 4 | 0.0001948     | 0.0014621     | 0.0000408 | 340.796  | 4.765    | -3.158   |
|         | 5 | 0.0001948     | 0.0014132     | 0.0000408 | 329.389  | 4.765    | -3.158   |
|         | 6 | 0.0001948     | 0.0013642     | 0.0000408 | 317.981  | 4.765    | -3.158   |
|         | 7 | 0.0001948     | 0.0013153     | 0.0000408 | 306.574  | 4.765    | -3.158   |
| COMBO 2 | 1 | 0.0002370     | 0.0017028     | 0.0000908 | 396.908  | 4.765    | -2.101   |
|         | 2 | 0.0002370     | 0.0015939     | 0.0000908 | 371.519  | 4.765    | -2.101   |
|         | 3 | 0.0002370     | 0.0014850     | 0.0000908 | 346.130  | 4.765    | -2.101   |
|         | 4 | 0.0002370     | 0.0013760     | 0.0000908 | 320.740  | 4.765    | -2.101   |
|         | 5 | 0.0002370     | 0.0012671     | 0.0000908 | 295.351  | 4.765    | -2.101   |
|         | 6 | 0.0002370     | 0.0011582     | 0.0000908 | 269.962  | 4.765    | -2.101   |
|         | 7 | 0.0002370     | 0.0010493     | 0.0000908 | 244.572  | 4.765    | -2.101   |
| COMBO 3 | 1 | 0.0002370     | 0.0017028     | 0.0000908 | 396.908  | 4.765    | -2.101   |
|         | 2 | 0.0002370     | 0.0015939     | 0.0000908 | 371.519  | 4.765    | -2.101   |
|         | 3 | 0.0002370     | 0.0014850     | 0.0000908 | 346.130  | 4.765    | -2.101   |
|         | 4 | 0.0002370     | 0.0013760     | 0.0000908 | 320.740  | 4.765    | -2.101   |
|         | 5 | 0.0002370     | 0.0012671     | 0.0000908 | 295.351  | 4.765    | -2.101   |
|         | 6 | 0.0002370     | 0.0011582     | 0.0000908 | 269.962  | 4.765    | -2.101   |
|         | 7 | 0.0002370     | 0.0010493     | 0.0000908 | 244.572  | 4.765    | -2.101   |
| COMBO 4 | 1 | 0.0001531     | 0.0016999     | 0.0000900 | 396.231  | 4.765    | -1.017   |
|         | 2 | 0.0001531     | 0.0015920     | 0.0000900 | 371.067  | 4.765    | -1.017   |
|         | 3 | 0.0001531     | 0.0014840     | 0.0000900 | 345.904  | 4.765    | -1.017   |
|         | 4 | 0.0001531     | 0.0013760     | 0.0000900 | 320.740  | 4.765    | -1.017   |
|         | 5 | 0.0001531     | 0.0012681     | 0.0000900 | 295.577  | 4.765    | -1.017   |
|         | 6 | 0.0001531     | 0.0011601     | 0.0000900 | 270.413  | 4.765    | -1.017   |
|         | 7 | 0.0001531     | 0.0010522     | 0.0000900 | 245.250  | 4.765    | -1.017   |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $P_h(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|----------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0000078     | 0.0021423     | 0.0000092 | 499.348  | 0.000    | 0.194    |
|         | 2 | 0.0000078     | 0.0021313     | 0.0000092 | 496.778  | 0.000    | 0.194    |
|         | 3 | 0.0000078     | 0.0021203     | 0.0000092 | 494.208  | 0.000    | 0.194    |
|         | 4 | 0.0000078     | 0.0021092     | 0.0000092 | 491.638  | 0.000    | 0.194    |
|         | 5 | 0.0000078     | 0.0020982     | 0.0000092 | 489.069  | 0.000    | 0.194    |
|         | 6 | 0.0000078     | 0.0020872     | 0.0000092 | 486.499  | 0.000    | 0.194    |
|         | 7 | 0.0000078     | 0.0020762     | 0.0000092 | 483.929  | 0.000    | 0.194    |
| COMBO 2 | 1 | 0.0001010     | 0.0023532     | 0.0001197 | 548.491  | 0.000    | 2.531    |
|         | 2 | 0.0001010     | 0.0022095     | 0.0001197 | 515.017  | 0.000    | 2.531    |
|         | 3 | 0.0001010     | 0.0020659     | 0.0001197 | 481.543  | 0.000    | 2.531    |
|         | 4 | 0.0001010     | 0.0019223     | 0.0001197 | 448.069  | 0.000    | 2.531    |
|         | 5 | 0.0001010     | 0.0017787     | 0.0001197 | 414.596  | 0.000    | 2.531    |
|         | 6 | 0.0001010     | 0.0016351     | 0.0001197 | 381.122  | 0.000    | 2.531    |
|         | 7 | 0.0001010     | 0.0014915     | 0.0001197 | 347.648  | 0.000    | 2.531    |
| COMBO 3 | 1 | 0.0002990     | 0.0017754     | 0.0001168 | 413.821  | 5.956    | -2.556   |
|         | 2 | 0.0002990     | 0.0016353     | 0.0001168 | 381.161  | 5.956    | -2.556   |
|         | 3 | 0.0002990     | 0.0014951     | 0.0001168 | 348.501  | 5.956    | -2.556   |
|         | 4 | 0.0002990     | 0.0013550     | 0.0001168 | 315.840  | 5.956    | -2.556   |
|         | 5 | 0.0002990     | 0.0012149     | 0.0001168 | 283.180  | 5.956    | -2.556   |
|         | 6 | 0.0002990     | 0.0010748     | 0.0001168 | 250.520  | 5.956    | -2.556   |
|         | 7 | 0.0002990     | 0.0009347     | 0.0001168 | 217.860  | 5.956    | -2.556   |
| COMBO 4 | 1 | 0.0001936     | 0.0017717     | 0.0001157 | 412.965  | 5.956    | -1.187   |
|         | 2 | 0.0001936     | 0.0016328     | 0.0001157 | 380.590  | 5.956    | -1.187   |
|         | 3 | 0.0001936     | 0.0014939     | 0.0001157 | 348.215  | 5.956    | -1.187   |
|         | 4 | 0.0001936     | 0.0013550     | 0.0001157 | 315.840  | 5.956    | -1.187   |
|         | 5 | 0.0001936     | 0.0012161     | 0.0001157 | 283.465  | 5.956    | -1.187   |
|         | 6 | 0.0001936     | 0.0010772     | 0.0001157 | 251.090  | 5.956    | -1.187   |
|         | 7 | 0.0001936     | 0.0009383     | 0.0001157 | 218.715  | 5.956    | -1.187   |

■ 말뚝머리 작용력 : 기초응력 검토시

$$V(i) = P_n(i) \times \cos \theta(i) - P_h(i) \times \sin \theta(i)$$

$$H(i) = P_n(i) \times \sin \theta(i) + P_h(i) \times \cos \theta(i)$$

$$H_t = \sum H(i) \times N$$

$$V_t = \sum V(i) \times N$$

$$M_t = \sum (V(i) \times x(i) + M(i)) \times N$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력     | 모멘트      | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|---------|----------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.600  | 0  | 375.019   | 4.765   | -3.158   | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 363.612   | 4.765   | -3.158   | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 352.204   | 4.765   | -3.158   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 340.796   | 4.765   | -3.158   | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 329.389   | 4.765   | -3.158   | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 317.981   | 4.765   | -3.158   | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 306.574   | 4.765   | -3.158   | 7  |
|         | 계 |        |    | 16699.026 | 233.471 | 2528.335 | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.600  | 0  | 396.908   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 371.519   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 346.130   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 295.351   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 269.962   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 244.572   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 233.471 | 5868.630 | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.600  | 0  | 396.908   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 371.519   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 346.130   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 295.351   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 269.962   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 244.572   | 4.765   | -2.101   | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 233.471 | 5868.630 | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.600  | 0  | 396.231   | 4.765   | -1.017   | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 371.067   | 4.765   | -1.017   | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 345.904   | 4.765   | -1.017   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 4.765   | -1.017   | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 295.577   | 4.765   | -1.017   | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 270.413   | 4.765   | -1.017   | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 245.250   | 4.765   | -1.017   | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 233.471 | 5868.630 | 49 |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력     | 모멘트      | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|---------|----------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.600  | 0  | 499.348   | 0.000   | 0.194    | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 496.778   | 0.000   | 0.194    | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 494.208   | 0.000   | 0.194    | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 491.638   | 0.000   | 0.194    | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 489.069   | 0.000   | 0.194    | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 486.499   | 0.000   | 0.194    | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 483.929   | 0.000   | 0.194    | 7  |
|         | 계 |        |    | 24090.283 | 0.000   | 613.970  | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.600  | 0  | 548.491   | 0.000   | 2.531    | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 515.017   | 0.000   | 2.531    | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 481.543   | 0.000   | 2.531    | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 448.069   | 0.000   | 2.531    | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 414.596   | 0.000   | 2.531    | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 381.122   | 0.000   | 2.531    | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 347.648   | 0.000   | 2.531    | 7  |
|         | 계 |        |    | 21955.400 | 0.000   | 7997.053 | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.600  | 0  | 413.821   | 5.956   | -2.556   | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 381.161   | 5.956   | -2.556   | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 348.501   | 5.956   | -2.556   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 315.840   | 5.956   | -2.556   | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 283.180   | 5.956   | -2.556   | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 250.520   | 5.956   | -2.556   | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 217.860   | 5.956   | -2.556   | 7  |
|         | 계 |        |    | 15476.178 | 291.839 | 7556.449 | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.600  | 0  | 412.965   | 5.956   | -1.187   | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 380.590   | 5.956   | -1.187   | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 348.215   | 5.956   | -1.187   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 315.840   | 5.956   | -1.187   | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 283.465   | 5.956   | -1.187   | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 251.090   | 5.956   | -1.187   | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 218.715   | 5.956   | -1.187   | 7  |
|         | 계 |        |    | 15476.178 | 291.839 | 7556.449 | 49 |

라) 말뚝의 변위 및 부재력 : 사용하중

㉔ COMBO 1 : SV005

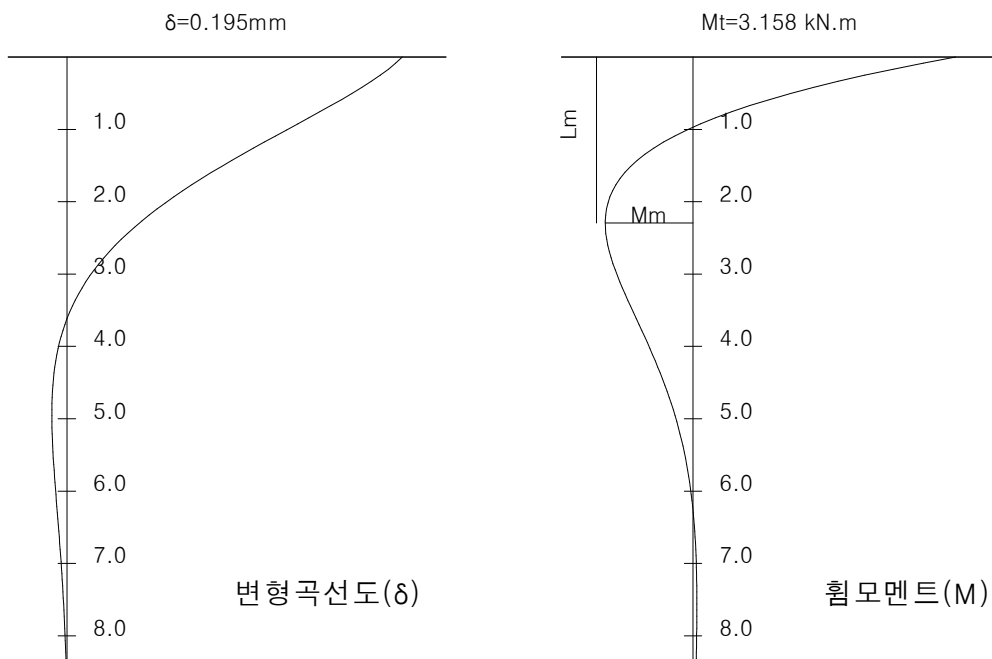
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -1.056 kN.m, 2.294 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.195 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.195 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 3.158     | -4.765  | 0.195  |     |
| 0.560 | 1.001     | -2.994  | 0.162  |     |
| 1.120 | -0.268    | -1.609  | 0.119  |     |
| 1.680 | -0.879    | -0.641  | 0.078  |     |
| 2.240 | -1.055    | -0.042  | 0.045  |     |
| 2.800 | -0.979    | 0.274   | 0.021  |     |
| 3.360 | -0.785    | 0.393   | 0.005  |     |
| 3.920 | -0.561    | 0.392   | -0.004 |     |
| 4.480 | -0.357    | 0.330   | -0.008 |     |
| 5.040 | -0.196    | 0.246   | -0.009 |     |
| 5.600 | -0.082    | 0.163   | -0.008 |     |
| 6.160 | -0.010    | 0.095   | -0.006 |     |
| 6.720 | 0.029     | 0.045   | -0.004 |     |
| 7.280 | 0.044     | 0.012   | -0.003 |     |
| 7.840 | 0.045     | -0.007  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.038     | -0.015  | 0.000  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉞ COMBO 2 : SV007

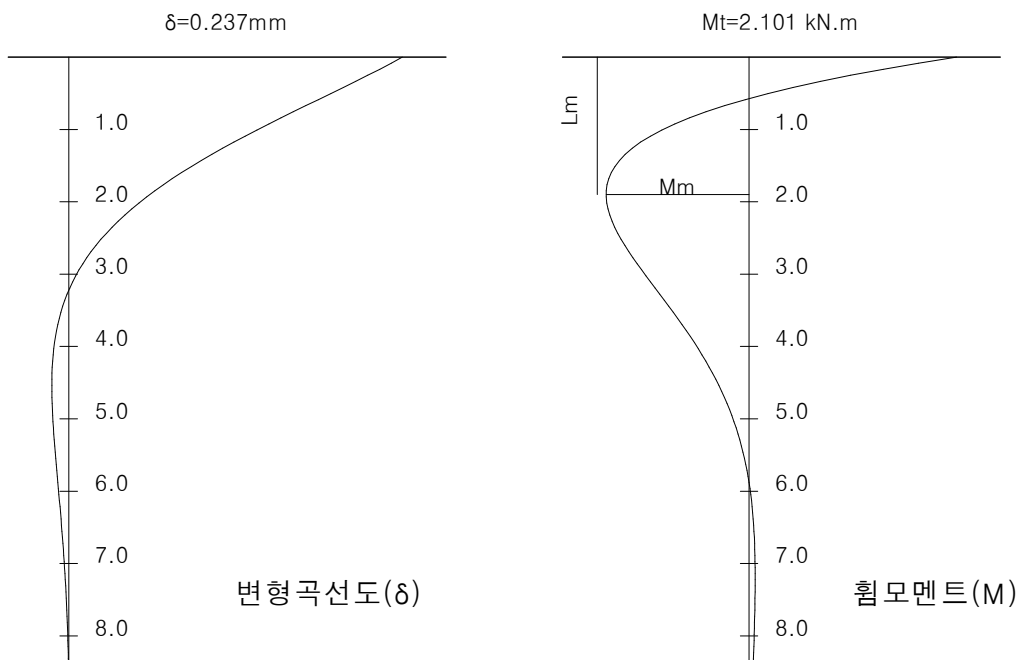
㉞ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -1.446 kN.m, 1.899 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.237 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.237 mm

㉞ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 2.101     | -4.765  | 0.237  |     |
| 0.560 | 0.036     | -2.701  | 0.180  |     |
| 1.120 | -1.032    | -1.211  | 0.123  |     |
| 1.680 | -1.420    | -0.253  | 0.074  |     |
| 2.240 | -1.395    | 0.281   | 0.037  |     |
| 2.800 | -1.161    | 0.511   | 0.012  |     |
| 3.360 | -0.858    | 0.549   | -0.003 |     |
| 3.920 | -0.566    | 0.482   | -0.010 |     |
| 4.480 | -0.326    | 0.371   | -0.012 |     |
| 5.040 | -0.151    | 0.255   | -0.011 |     |
| 5.600 | -0.037    | 0.155   | -0.009 |     |
| 6.160 | 0.027     | 0.079   | -0.006 |     |
| 6.720 | 0.056     | 0.028   | -0.004 |     |
| 7.280 | 0.062     | -0.003  | -0.002 |     |
| 7.840 | 0.056     | -0.019  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.043     | -0.024  | 0.000  |     |

㉞ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 3 : SV021

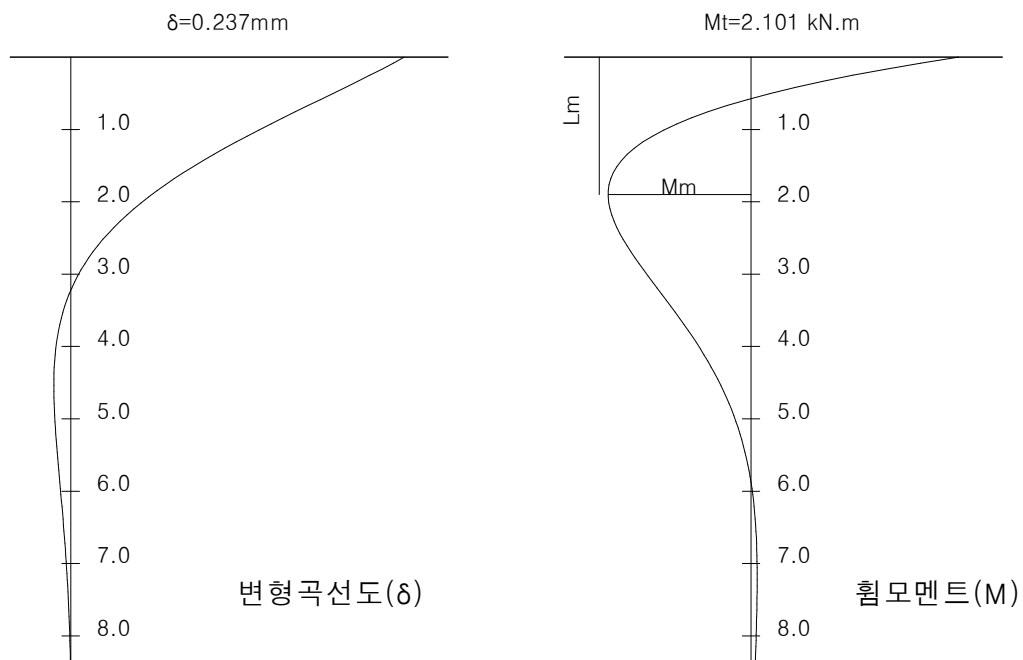
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -1.446 kN.m, 1.899 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.237 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.237 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 2.101     | -4.765  | 0.237  |     |
| 0.560 | 0.036     | -2.701  | 0.180  |     |
| 1.120 | -1.032    | -1.211  | 0.123  |     |
| 1.680 | -1.420    | -0.253  | 0.074  |     |
| 2.240 | -1.395    | 0.281   | 0.037  |     |
| 2.800 | -1.161    | 0.511   | 0.012  |     |
| 3.360 | -0.858    | 0.549   | -0.003 |     |
| 3.920 | -0.566    | 0.482   | -0.010 |     |
| 4.480 | -0.326    | 0.371   | -0.012 |     |
| 5.040 | -0.151    | 0.255   | -0.011 |     |
| 5.600 | -0.037    | 0.155   | -0.009 |     |
| 6.160 | 0.027     | 0.079   | -0.006 |     |
| 6.720 | 0.056     | 0.028   | -0.004 |     |
| 7.280 | 0.062     | -0.003  | -0.002 |     |
| 7.840 | 0.056     | -0.019  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.043     | -0.024  | 0.000  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 4 : SV021

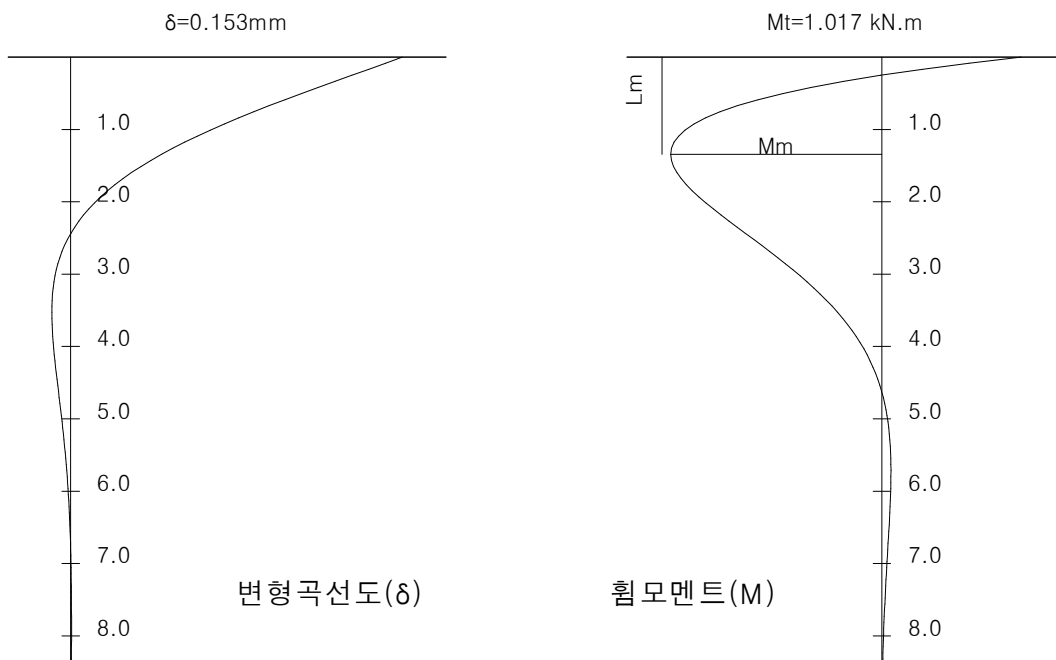
㉔ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -1.541 kN.m, 1.344 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.153 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.153 mm

㉔ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 1.017     | -4.765  | 0.153  |     |
| 0.560 | -0.845    | -2.070  | 0.102  |     |
| 1.120 | -1.497    | -0.416  | 0.057  |     |
| 1.680 | -1.465    | 0.415   | 0.024  |     |
| 2.240 | -1.134    | 0.697   | 0.004  |     |
| 2.800 | -0.741    | 0.673   | -0.005 |     |
| 3.360 | -0.405    | 0.517   | -0.009 |     |
| 3.920 | -0.167    | 0.335   | -0.008 |     |
| 4.480 | -0.024    | 0.181   | -0.006 |     |
| 5.040 | 0.045     | 0.073   | -0.004 |     |
| 5.600 | 0.066     | 0.009   | -0.002 |     |
| 6.160 | 0.061     | -0.022  | -0.001 |     |
| 6.720 | 0.046     | -0.031  | 0.000  |     |
| 7.280 | 0.029     | -0.028  | 0.000  |     |
| 7.840 | 0.015     | -0.021  | 0.000  |     |
| 8.400 | 0.006     | -0.013  | 0.000  |     |

㉔ 변형곡선도 및 휨모멘트도



마) 말뚝의 변위 및 부재력 : 계수하중

㉔ COMBO 3 : UE021

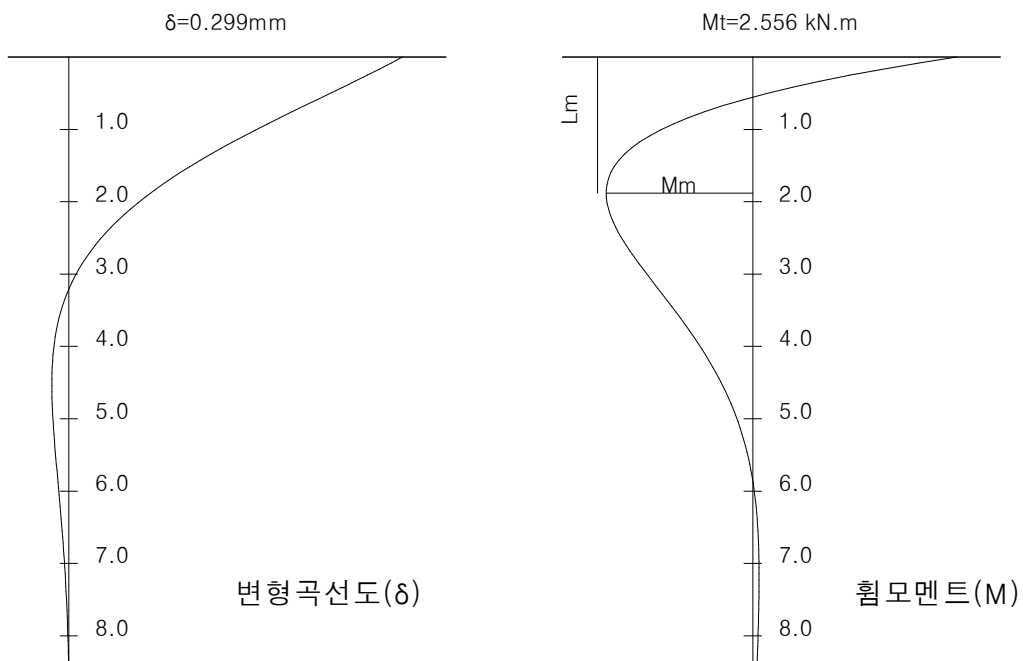
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -1.838 kN.m, 1.880 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.299 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.299 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 2.556     | -5.956  | 0.299  |     |
| 0.560 | -0.018    | -3.357  | 0.227  |     |
| 1.120 | -1.341    | -1.488  | 0.154  |     |
| 1.680 | -1.810    | -0.290  | 0.092  |     |
| 2.240 | -1.766    | 0.372   | 0.045  |     |
| 2.800 | -1.464    | 0.655   | 0.014  |     |
| 3.360 | -1.077    | 0.697   | -0.004 |     |
| 3.920 | -0.708    | 0.608   | -0.013 |     |
| 4.480 | -0.406    | 0.466   | -0.015 |     |
| 5.040 | -0.186    | 0.320   | -0.014 |     |
| 5.600 | -0.043    | 0.194   | -0.011 |     |
| 6.160 | 0.037     | 0.098   | -0.008 |     |
| 6.720 | 0.072     | 0.033   | -0.005 |     |
| 7.280 | 0.079     | -0.005  | -0.003 |     |
| 7.840 | 0.070     | -0.024  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.054     | -0.030  | 0.000  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉞ COMBO 4 : UE021

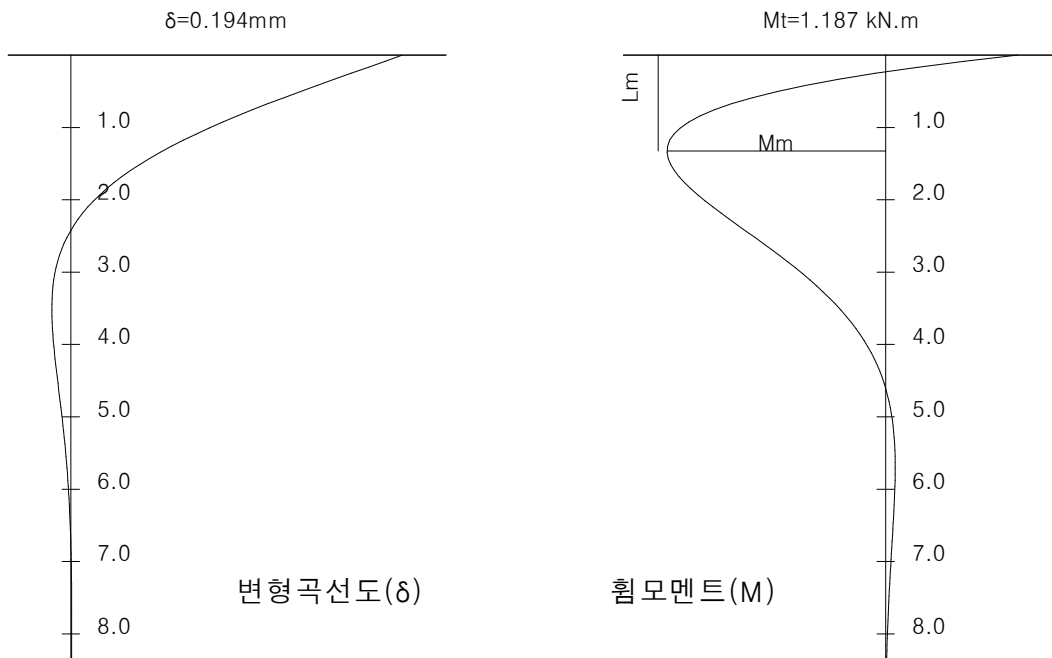
㉟ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -1.971 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.194 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.194 mm

㊱ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 1.187     | -5.956  | 0.194  |     |
| 0.560 | -1.131    | -2.555  | 0.128  |     |
| 1.120 | -1.924    | -0.481  | 0.071  |     |
| 1.680 | -1.864    | 0.552   | 0.030  |     |
| 2.240 | -1.434    | 0.895   | 0.005  |     |
| 2.800 | -0.932    | 0.856   | -0.007 |     |
| 3.360 | -0.506    | 0.653   | -0.011 |     |
| 3.920 | -0.206    | 0.421   | -0.010 |     |
| 4.480 | -0.027    | 0.226   | -0.008 |     |
| 5.040 | 0.059     | 0.090   | -0.005 |     |
| 5.600 | 0.085     | 0.010   | -0.003 |     |
| 6.160 | 0.078     | -0.028  | -0.001 |     |
| 6.720 | 0.058     | -0.039  | 0.000  |     |
| 7.280 | 0.037     | -0.036  | 0.000  |     |
| 7.840 | 0.019     | -0.026  | 0.000  |     |
| 8.400 | 0.007     | -0.017  | 0.000  |     |

㊲ 변형곡선도 및 휨모멘트도



② 말뚝머리 힌지일 경우

가) 축직각방향 스프링정수

| 구 분 | 평상시       | 산출식           | 단 위      |
|-----|-----------|---------------|----------|
| K1  | 14852.847 | $2EI \beta^3$ | kN/m     |
| K2  | 0.000     | 0.000         | kN/rad   |
| K3  | 0.000     | 0.000         | kN/rad   |
| K4  | 0.000     | 0.000         | kN.m/rad |

나) 기초의 변위

| 말뚝원점에서의 변위 |                                                                                                                                                                                                                                             | 계산값        |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|            |                                                                                                                                                                                                                                             | 평상시        |
| Axx        | $\sum (K_1 \cos^2 \theta_i + K_v \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 727789.5   |
| Axy, Ayx   | $\sum (K_v - K_1) \sin \theta_i \cos \theta_i$                                                                                                                                                                                              | 0.0        |
| Axa, Aax   | $\sum \{(K_v - K_1)x_i \sin \theta_i \cos \theta_i - K_2 \cos \theta_i\}$                                                                                                                                                                   | 0.0        |
| Ayy        | $\sum (K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 11421293.8 |
| Aya, Aay   | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i + K_2 \sin \theta_i\}$                                                                                                                                                               | 0.0        |
| Aaa        | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i^2 + (K_2 + K_3)x_i \sin \theta_i + K_4\}$                                                                                                                                            | 65786652.5 |
| 일반식        | $\begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} H_o \\ V_o \\ M_o \end{bmatrix}$ |            |

| 구 분     | 사용하중          |               |               | 구 분     | 계수하중          |               |               |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|
|         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |
| COMBO 1 | 0.0003208     | 0.0014621     | 0.0000384     | COMBO 1 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000093     |
| COMBO 2 | 0.0003208     | 0.0013760     | 0.0000892     | COMBO 2 | 0.0000000     | 0.0019223     | 0.0001216     |
| COMBO 3 | 0.0003208     | 0.0013760     | 0.0000892     | COMBO 3 | 0.0004010     | 0.0013550     | 0.0001149     |
| COMBO 4 | 0.0001808     | 0.0013760     | 0.0000892     | COMBO 4 | 0.0002259     | 0.0013550     | 0.0001149     |

\* 말뚝의 수평변위 검토

말뚝의 수평변위 = 0.321 mm ≤ 말뚝의 허용변위 = 15.000 mm ∴ 0.K

다) 말뚝의 작용력과 말뚝머리에서의 반력

▣ 말뚝머리 변위량 및 작용력 : 말뚝응력검토시

$$\delta x(i) = \delta x \times \cos \theta(i) - (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \sin \theta(i)$$

$$\delta y(i) = \delta x \times \sin \theta(i) + (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \cos \theta(i)$$

$$P_n(i) = K_v \times \delta y(i)$$

$$P_h(i) = K_1 \times \delta x(i) - K_2 \times \alpha$$

$$M_t(i) = -K_3 \times \delta x(i) + K_4 \times \alpha$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $P_h(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|----------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0003208     | 0.0016005     | 0.0000384 | 373.046  | 4.765    | 0.000    |
|         | 2 | 0.0003208     | 0.0015543     | 0.0000384 | 362.296  | 4.765    | 0.000    |
|         | 3 | 0.0003208     | 0.0015082     | 0.0000384 | 351.546  | 4.765    | 0.000    |
|         | 4 | 0.0003208     | 0.0014621     | 0.0000384 | 340.796  | 4.765    | 0.000    |
|         | 5 | 0.0003208     | 0.0014160     | 0.0000384 | 330.047  | 4.765    | 0.000    |
|         | 6 | 0.0003208     | 0.0013699     | 0.0000384 | 319.297  | 4.765    | 0.000    |
|         | 7 | 0.0003208     | 0.0013237     | 0.0000384 | 308.547  | 4.765    | 0.000    |
| COMBO 2 | 1 | 0.0003208     | 0.0016972     | 0.0000892 | 395.595  | 4.765    | 0.000    |
|         | 2 | 0.0003208     | 0.0015901     | 0.0000892 | 370.644  | 4.765    | 0.000    |
|         | 3 | 0.0003208     | 0.0014831     | 0.0000892 | 345.692  | 4.765    | 0.000    |
|         | 4 | 0.0003208     | 0.0013760     | 0.0000892 | 320.740  | 4.765    | 0.000    |
|         | 5 | 0.0003208     | 0.0012690     | 0.0000892 | 295.789  | 4.765    | 0.000    |
|         | 6 | 0.0003208     | 0.0011620     | 0.0000892 | 270.837  | 4.765    | 0.000    |
|         | 7 | 0.0003208     | 0.0010549     | 0.0000892 | 245.885  | 4.765    | 0.000    |
| COMBO 3 | 1 | 0.0003208     | 0.0016972     | 0.0000892 | 395.595  | 4.765    | 0.000    |
|         | 2 | 0.0003208     | 0.0015901     | 0.0000892 | 370.644  | 4.765    | 0.000    |
|         | 3 | 0.0003208     | 0.0014831     | 0.0000892 | 345.692  | 4.765    | 0.000    |
|         | 4 | 0.0003208     | 0.0013760     | 0.0000892 | 320.740  | 4.765    | 0.000    |
|         | 5 | 0.0003208     | 0.0012690     | 0.0000892 | 295.789  | 4.765    | 0.000    |
|         | 6 | 0.0003208     | 0.0011620     | 0.0000892 | 270.837  | 4.765    | 0.000    |
|         | 7 | 0.0003208     | 0.0010549     | 0.0000892 | 245.885  | 4.765    | 0.000    |
| COMBO 4 | 1 | 0.0001808     | 0.0016972     | 0.0000892 | 395.595  | 4.765    | 0.000    |
|         | 2 | 0.0001808     | 0.0015901     | 0.0000892 | 370.644  | 4.765    | 0.000    |
|         | 3 | 0.0001808     | 0.0014831     | 0.0000892 | 345.692  | 4.765    | 0.000    |
|         | 4 | 0.0001808     | 0.0013760     | 0.0000892 | 320.740  | 4.765    | 0.000    |
|         | 5 | 0.0001808     | 0.0012690     | 0.0000892 | 295.789  | 4.765    | 0.000    |
|         | 6 | 0.0001808     | 0.0011620     | 0.0000892 | 270.837  | 4.765    | 0.000    |
|         | 7 | 0.0001808     | 0.0010549     | 0.0000892 | 245.885  | 4.765    | 0.000    |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $Ph(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|---------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0000000     | 0.0021428     | 0.0000093 | 499.470  | 0.000   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0000000     | 0.0021316     | 0.0000093 | 496.859  | 0.000   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0000000     | 0.0021204     | 0.0000093 | 494.249  | 0.000   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000093 | 491.638  | 0.000   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0000000     | 0.0020980     | 0.0000093 | 489.028  | 0.000   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0000000     | 0.0020868     | 0.0000093 | 486.418  | 0.000   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0000000     | 0.0020756     | 0.0000093 | 483.807  | 0.000   | 0.000    |
| COMBO 2 | 1 | 0.0000000     | 0.0023599     | 0.0001216 | 550.073  | 0.000   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0000000     | 0.0022141     | 0.0001216 | 516.072  | 0.000   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0000000     | 0.0020682     | 0.0001216 | 482.070  | 0.000   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0000000     | 0.0019223     | 0.0001216 | 448.069  | 0.000   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0000000     | 0.0017764     | 0.0001216 | 414.068  | 0.000   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0000000     | 0.0016306     | 0.0001216 | 380.067  | 0.000   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0000000     | 0.0014847     | 0.0001216 | 346.066  | 0.000   | 0.000    |
| COMBO 3 | 1 | 0.0004010     | 0.0017685     | 0.0001149 | 412.224  | 5.956   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0004010     | 0.0016307     | 0.0001149 | 380.096  | 5.956   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0004010     | 0.0014929     | 0.0001149 | 347.968  | 5.956   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0004010     | 0.0013550     | 0.0001149 | 315.840  | 5.956   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0004010     | 0.0012172     | 0.0001149 | 283.713  | 5.956   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0004010     | 0.0010794     | 0.0001149 | 251.585  | 5.956   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0004010     | 0.0009415     | 0.0001149 | 219.457  | 5.956   | 0.000    |
| COMBO 4 | 1 | 0.0002259     | 0.0017685     | 0.0001149 | 412.224  | 5.956   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0002259     | 0.0016307     | 0.0001149 | 380.096  | 5.956   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0002259     | 0.0014929     | 0.0001149 | 347.968  | 5.956   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0002259     | 0.0013550     | 0.0001149 | 315.840  | 5.956   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0002259     | 0.0012172     | 0.0001149 | 283.713  | 5.956   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0002259     | 0.0010794     | 0.0001149 | 251.585  | 5.956   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0002259     | 0.0009415     | 0.0001149 | 219.457  | 5.956   | 0.000    |

■ 말뚝머리 작용력 : 기초응력 검토시

$$V(i) = P_n(i) \times \cos \theta(i) - P_h(i) \times \sin \theta(i)$$

$$H(i) = P_n(i) \times \sin \theta(i) + P_h(i) \times \cos \theta(i)$$

$$H_t = \sum H(i) \times N$$

$$V_t = \sum V(i) \times N$$

$$M_t = \sum (V(i) \times x(i) + M(i)) \times N$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력     | 모멘트   | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|---------|-------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.600  | 0  | 373.046   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 362.296   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 351.546   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 340.796   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 330.047   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 319.297   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 308.547   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 16699.026 | 233.471 | 0.000 | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.600  | 0  | 395.595   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 370.644   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 345.692   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 295.789   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 270.837   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 245.885   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 233.471 | 0.000 | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.600  | 0  | 395.595   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 370.644   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 345.692   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 295.789   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 270.837   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 245.885   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 233.471 | 0.000 | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.600  | 0  | 395.595   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 370.644   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 345.692   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 295.789   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 270.837   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 245.885   | 4.765   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 233.471 | 0.000 | 49 |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력     | 모멘트   | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|---------|-------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.600  | 0  | 499.470   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 496.859   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 494.249   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 491.638   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 489.028   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 486.418   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 483.807   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 24090.283 | 0.000   | 0.000 | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.600  | 0  | 550.073   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 516.072   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 482.070   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 448.069   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 414.068   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 380.067   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 346.066   | 0.000   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 21955.400 | 0.000   | 0.000 | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.600  | 0  | 412.224   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 380.096   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 347.968   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 315.840   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 283.713   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 251.585   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 219.457   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 15476.178 | 291.839 | 0.000 | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.600  | 0  | 412.224   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.400  | 0  | 380.096   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.200  | 0  | 347.968   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 315.840   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.200 | 0  | 283.713   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.400 | 0  | 251.585   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.600 | 0  | 219.457   | 5.956   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 15476.178 | 291.839 | 0.000 | 49 |

라) 말뚝의 변위 및 부재력 : 사용하중

㉔ COMBO 1 : SV005

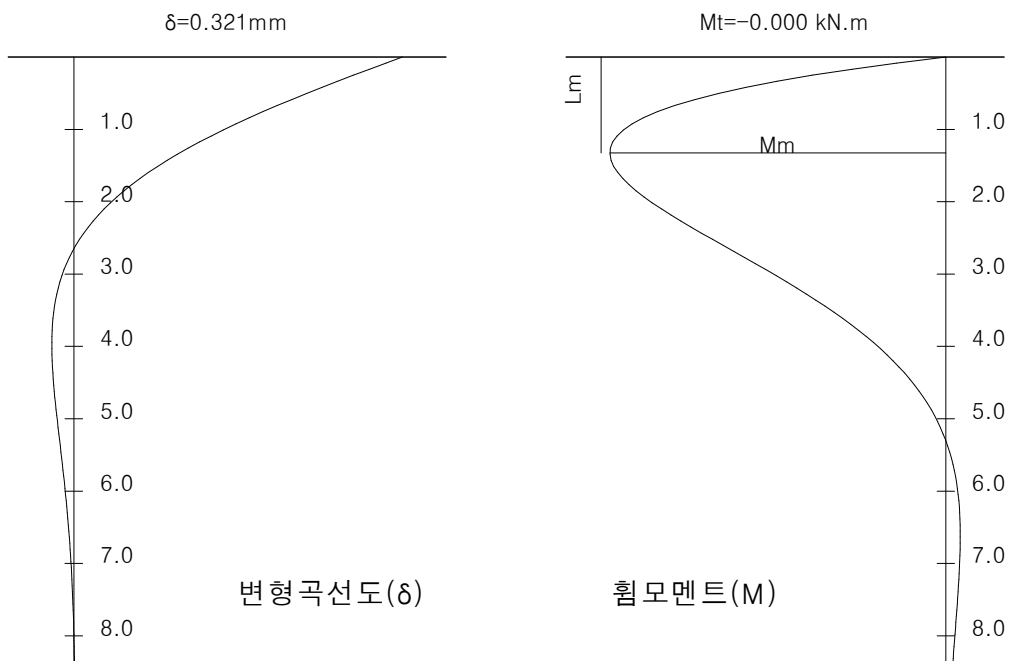
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -2.592 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.321 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.321 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -4.765  | 0.321  |     |
| 0.560 | -1.880    | -2.119  | 0.218  |     |
| 1.120 | -2.551    | -0.421  | 0.130  |     |
| 1.680 | -2.493    | 0.519   | 0.065  |     |
| 2.240 | -2.070    | 0.922   | 0.021  |     |
| 2.800 | -1.524    | 0.983   | -0.005 |     |
| 3.360 | -1.003    | 0.860   | -0.018 |     |
| 3.920 | -0.576    | 0.660   | -0.021 |     |
| 4.480 | -0.265    | 0.453   | -0.020 |     |
| 5.040 | -0.063    | 0.275   | -0.016 |     |
| 5.600 | 0.051     | 0.140   | -0.011 |     |
| 6.160 | 0.102     | 0.048   | -0.007 |     |
| 6.720 | 0.112     | -0.007  | -0.004 |     |
| 7.280 | 0.099     | -0.034  | -0.002 |     |
| 7.840 | 0.077     | -0.043  | 0.000  |     |
| 8.400 | 0.053     | -0.040  | 0.001  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉞ COMBO 2 : SV007

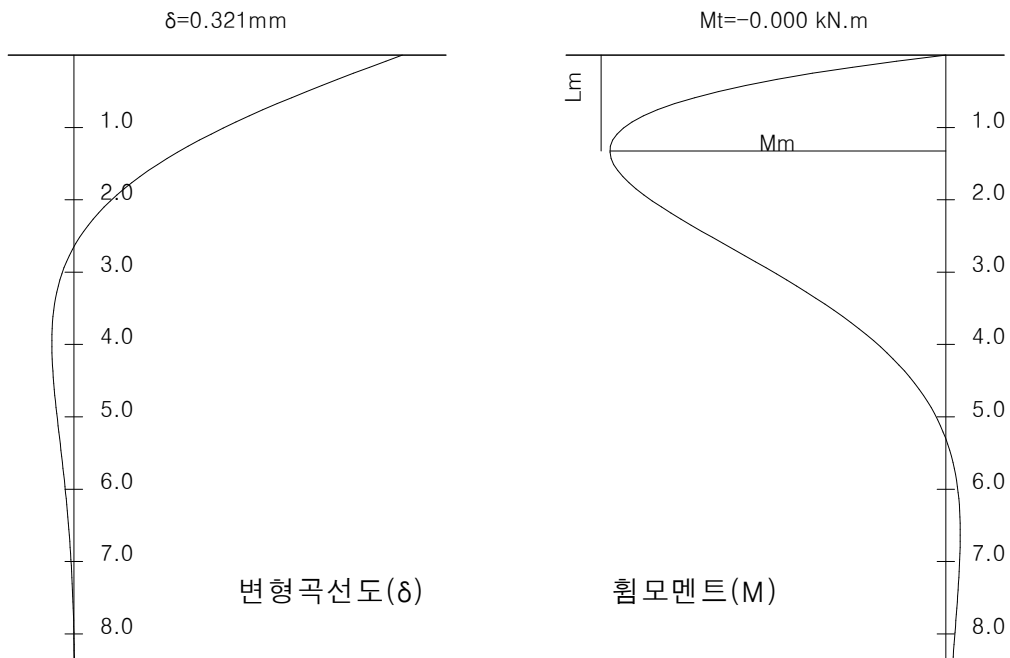
㉞ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -2.592 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.321 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.321 mm

㉞ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -4.765  | 0.321  |     |
| 0.560 | -1.880    | -2.119  | 0.218  |     |
| 1.120 | -2.551    | -0.421  | 0.130  |     |
| 1.680 | -2.493    | 0.519   | 0.065  |     |
| 2.240 | -2.070    | 0.922   | 0.021  |     |
| 2.800 | -1.524    | 0.983   | -0.005 |     |
| 3.360 | -1.003    | 0.860   | -0.018 |     |
| 3.920 | -0.576    | 0.660   | -0.021 |     |
| 4.480 | -0.265    | 0.453   | -0.020 |     |
| 5.040 | -0.063    | 0.275   | -0.016 |     |
| 5.600 | 0.051     | 0.140   | -0.011 |     |
| 6.160 | 0.102     | 0.048   | -0.007 |     |
| 6.720 | 0.112     | -0.007  | -0.004 |     |
| 7.280 | 0.099     | -0.034  | -0.002 |     |
| 7.840 | 0.077     | -0.043  | 0.000  |     |
| 8.400 | 0.053     | -0.040  | 0.001  |     |

㉞ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 3 : SV021

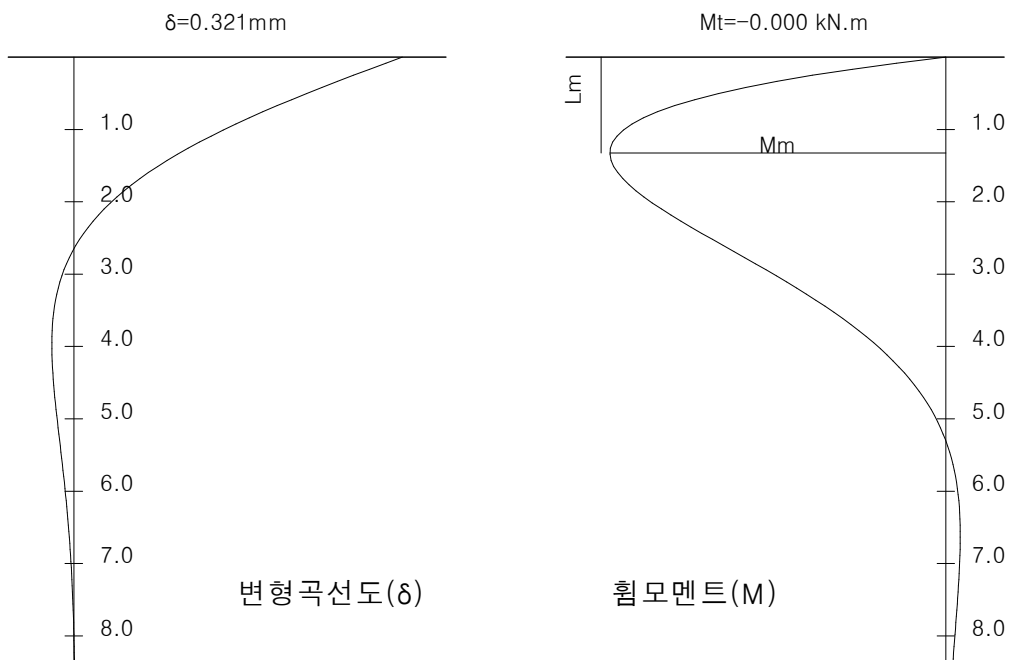
㉔ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -2.592 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.321 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.321 mm

㉔ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -4.765  | 0.321  |     |
| 0.560 | -1.880    | -2.119  | 0.218  |     |
| 1.120 | -2.551    | -0.421  | 0.130  |     |
| 1.680 | -2.493    | 0.519   | 0.065  |     |
| 2.240 | -2.070    | 0.922   | 0.021  |     |
| 2.800 | -1.524    | 0.983   | -0.005 |     |
| 3.360 | -1.003    | 0.860   | -0.018 |     |
| 3.920 | -0.576    | 0.660   | -0.021 |     |
| 4.480 | -0.265    | 0.453   | -0.020 |     |
| 5.040 | -0.063    | 0.275   | -0.016 |     |
| 5.600 | 0.051     | 0.140   | -0.011 |     |
| 6.160 | 0.102     | 0.048   | -0.007 |     |
| 6.720 | 0.112     | -0.007  | -0.004 |     |
| 7.280 | 0.099     | -0.034  | -0.002 |     |
| 7.840 | 0.077     | -0.043  | 0.000  |     |
| 8.400 | 0.053     | -0.040  | 0.001  |     |

㉔ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 4 : SV021

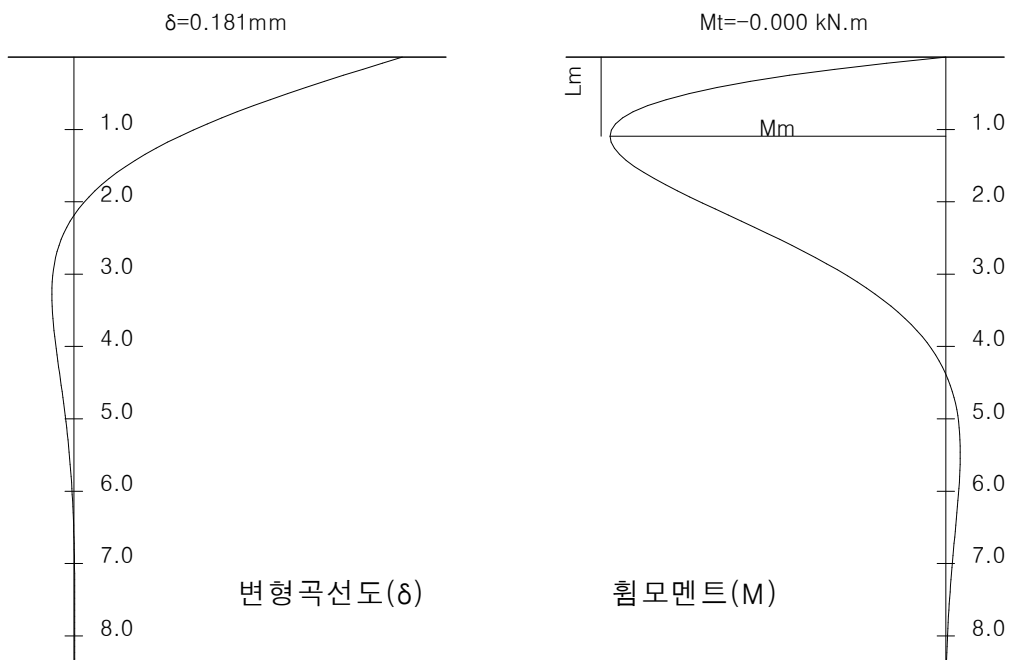
㉔ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -2.141 kN.m, 1.095 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.181 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.181 mm

㉔ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -4.765  | 0.181  |     |
| 0.560 | -1.738    | -1.688  | 0.111  |     |
| 1.120 | -2.141    | 0.055   | 0.056  |     |
| 1.680 | -1.858    | 0.823   | 0.019  |     |
| 2.240 | -1.331    | 0.989   | -0.001 |     |
| 2.800 | -0.807    | 0.850   | -0.010 |     |
| 3.360 | -0.398    | 0.604   | -0.012 |     |
| 3.920 | -0.129    | 0.363   | -0.010 |     |
| 4.480 | 0.019     | 0.177   | -0.007 |     |
| 5.040 | 0.082     | 0.056   | -0.004 |     |
| 5.600 | 0.092     | -0.011  | -0.002 |     |
| 6.160 | 0.077     | -0.038  | -0.001 |     |
| 6.720 | 0.053     | -0.042  | 0.000  |     |
| 7.280 | 0.031     | -0.035  | 0.000  |     |
| 7.840 | 0.015     | -0.024  | 0.001  |     |
| 8.400 | 0.004     | -0.014  | 0.000  |     |

㉔ 변형곡선도 및 휨모멘트도



마) 말뚝의 변위 및 부재력 : 계수하중

㉔ COMBO 3 : UE021

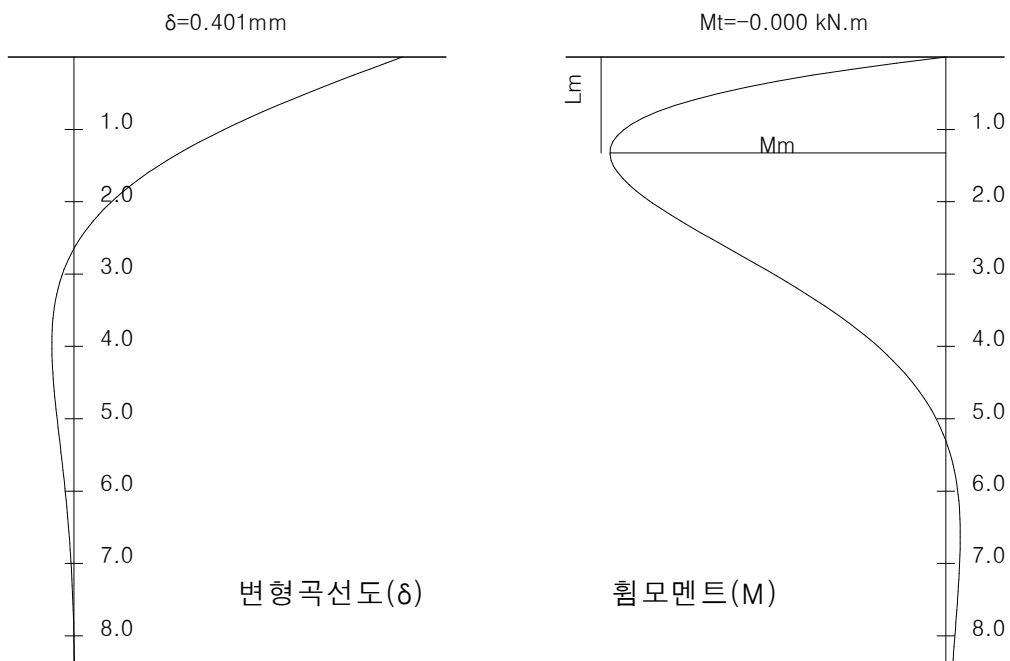
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -3.241 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.401 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.401 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -5.956  | 0.401  |     |
| 0.560 | -2.350    | -2.649  | 0.272  |     |
| 1.120 | -3.188    | -0.527  | 0.163  |     |
| 1.680 | -3.117    | 0.649   | 0.081  |     |
| 2.240 | -2.587    | 1.152   | 0.026  |     |
| 2.800 | -1.905    | 1.229   | -0.007 |     |
| 3.360 | -1.253    | 1.074   | -0.022 |     |
| 3.920 | -0.719    | 0.825   | -0.027 |     |
| 4.480 | -0.331    | 0.566   | -0.025 |     |
| 5.040 | -0.078    | 0.343   | -0.020 |     |
| 5.600 | 0.064     | 0.174   | -0.014 |     |
| 6.160 | 0.127     | 0.060   | -0.009 |     |
| 6.720 | 0.140     | -0.009  | -0.005 |     |
| 7.280 | 0.124     | -0.043  | -0.002 |     |
| 7.840 | 0.096     | -0.053  | 0.000  |     |
| 8.400 | 0.067     | -0.050  | 0.001  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉞ COMBO 4 : UE021

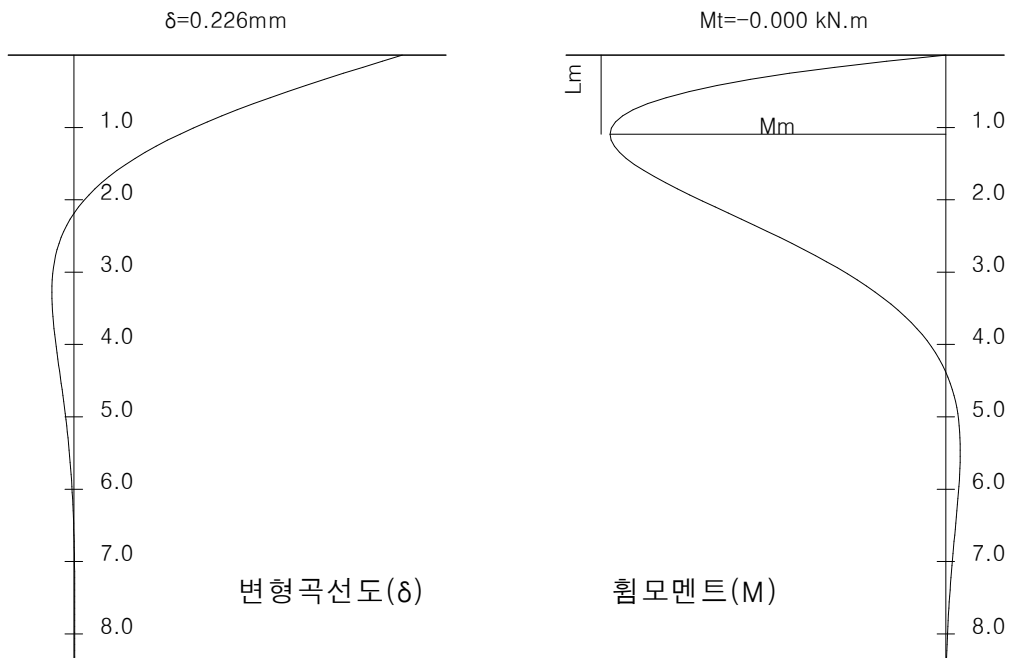
㉞ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -2.677 kN.m, 1.095 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.226 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.226 mm

㉞ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -5.956  | 0.226  |     |
| 0.560 | -2.172    | -2.110  | 0.139  |     |
| 1.120 | -2.676    | 0.068   | 0.070  |     |
| 1.680 | -2.323    | 1.029   | 0.024  |     |
| 2.240 | -1.663    | 1.237   | -0.002 |     |
| 2.800 | -1.009    | 1.062   | -0.013 |     |
| 3.360 | -0.498    | 0.755   | -0.015 |     |
| 3.920 | -0.161    | 0.454   | -0.013 |     |
| 4.480 | 0.024     | 0.221   | -0.009 |     |
| 5.040 | 0.102     | 0.069   | -0.005 |     |
| 5.600 | 0.115     | -0.014  | -0.003 |     |
| 6.160 | 0.096     | -0.048  | -0.001 |     |
| 6.720 | 0.067     | -0.053  | 0.000  |     |
| 7.280 | 0.039     | -0.044  | 0.001  |     |
| 7.840 | 0.018     | -0.030  | 0.001  |     |
| 8.400 | 0.005     | -0.018  | 0.001  |     |

㉞ 변형곡선도 및 휨모멘트도



## 5) 말뚝의 안정성 검토

### ① 말뚝의 허용지지력 검토

가) 말뚝의 허용지지력 : 선단지지 + 군말뚝의 영향 없음

$$\text{말뚝의 선단면적 } A_p = \pi \times (0.406)^2 / 4 = 0.1272 \text{ m}^2$$

$$R_a = 1/n \times R_u$$

$$R_u = q_d \times A_p ; q_d = 300 \times N$$

$$= 300 \times 40 \times 0.1272$$

$$= 1526.114 \text{ kN}$$

$$R_{a1} = 1/3.0 \times 1526.114 = 508.705 \text{ kN} \quad (\text{평상시})$$

나) 말뚝의 허용 수평변위 검토

$$\text{평상시의 말뚝의 허용 수평변위 } \delta_a = 15.000 > \delta = 0.3208 \text{ mm} \quad 0.K$$

다) 말뚝의 허용인발력

주면 마찰력을 고려하지 않으므로 인발력이 발생해서는 않된다.

라) 하중조합별 검토

| 구 분     |       | V(max)  | V(min)  | Ra(kN)  | Pa(kN) | 비 고 |
|---------|-------|---------|---------|---------|--------|-----|
| COMBO 1 | FIX   | 375.019 | 306.574 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 373.046 | 308.547 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
| COMBO 2 | FIX   | 396.908 | 244.572 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 395.595 | 245.885 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
| COMBO 3 | FIX   | 396.908 | 244.572 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 395.595 | 245.885 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
| COMBO 4 | FIX   | 396.231 | 245.250 | 763.057 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 395.595 | 245.885 | 763.057 | 0.000  | 0.K |

## ② 말뚝의 응력 검토

가) 말뚝의 이음과 장경비에 따른 허용응력의 감소율 검토

: 『도로교설계기준 해설(하부구조편)』 P223 참조

사용 PILE 본당 길이 : 15.00 m / 본

PILE 길이 : 8.50 m

이음개소수 : 0 개소

말뚝이음에 의한 허용응력 감소율 : 0.00%

장경비 (L/D) = 8.40/0.406 = 20.669 < 100 이므로 장경비에 따른 감소 없음.

따라서 허용응력의 총 감소율은 0.00% 적용

나) 말뚝의 휨응력 검토

$f_{sa} = 140.000 \text{ MPa}$  (평상시)

$f = V/A_p \pm M \times y/I_o$

$= V/0.009 \pm M \times 0.406/2 / 0.00017$

| 구 분     |       | V(kN)   | M(kN.m) | f <sub>max</sub> | f <sub>sa</sub> | 비 고 |
|---------|-------|---------|---------|------------------|-----------------|-----|
| COMBO 1 | FIX   | 375.019 | 3.158   | 46.904           | 140.00          | 0.K |
|         | HINGE | 373.046 | 2.592   | 46.001           | 140.00          | 0.K |
| COMBO 2 | FIX   | 396.908 | 2.101   | 48.157           | 140.00          | 0.K |
|         | HINGE | 395.595 | 2.592   | 48.594           | 140.00          | 0.K |
| COMBO 3 | FIX   | 396.908 | 2.101   | 48.157           | 140.00          | 0.K |
|         | HINGE | 395.595 | 2.592   | 48.594           | 140.00          | 0.K |
| COMBO 4 | FIX   | 396.231 | 1.541   | 47.410           | 210.00          | 0.K |
|         | HINGE | 395.595 | 2.141   | 48.055           | 210.00          | 0.K |

다) 말뚝의 전단응력 검토

$\tau_{sa} = 80.000 \text{ MPa}$  (평상시)

$\tau = \alpha \times H_o / A_p$

$\alpha = 4 \times (D^2 + D \times d + d^2) / (3 \times (D^2 + d^2))$

$= 4 \times (402.4^2 + 402.4 \times 388.4 + 388.4^2) / (3 \times (402.4^2 + 388.4^2))$

$= 2.000$  : 전단형상계수

| 구 분     |       | H(kN) | $\tau$ | $\tau_{sa}$ | 비 고 |
|---------|-------|-------|--------|-------------|-----|
| COMBO 1 | FIX   | 4.765 | 1.096  | 80.000      | 0.K |
|         | HINGE | 4.765 | 1.096  | 80.000      | 0.K |
| COMBO 2 | FIX   | 4.765 | 1.096  | 80.000      | 0.K |
|         | HINGE | 4.765 | 1.096  | 80.000      | 0.K |
| COMBO 3 | FIX   | 4.765 | 1.096  | 80.000      | 0.K |
|         | HINGE | 4.765 | 1.096  | 80.000      | 0.K |
| COMBO 4 | FIX   | 4.765 | 1.096  | 120.000     | 0.K |
|         | HINGE | 4.765 | 1.096  | 120.000     | 0.K |

## 11. PILE 교축방향 검토

### 1) 검토조건

#### ① 말뚝의 제원

| 말뚝 종류  | 직경(mm) | 두께(mm) | 부식두께(mm) | 길이(m) |
|--------|--------|--------|----------|-------|
| 타입강관말뚝 | 406    | 9      | 2        | 8.400 |

※ 말뚝길이는 기초평면에 묻힌 100mm는 제외한 길이로 계산한다.

말뚝의 탄성계수  $E = 210000.0 \text{ MPa}$

말뚝의 단면2차모멘트  $I = \pi/64 \times (0.402^4 - 0.388^4) = 0.0001700 \text{ m}^4$

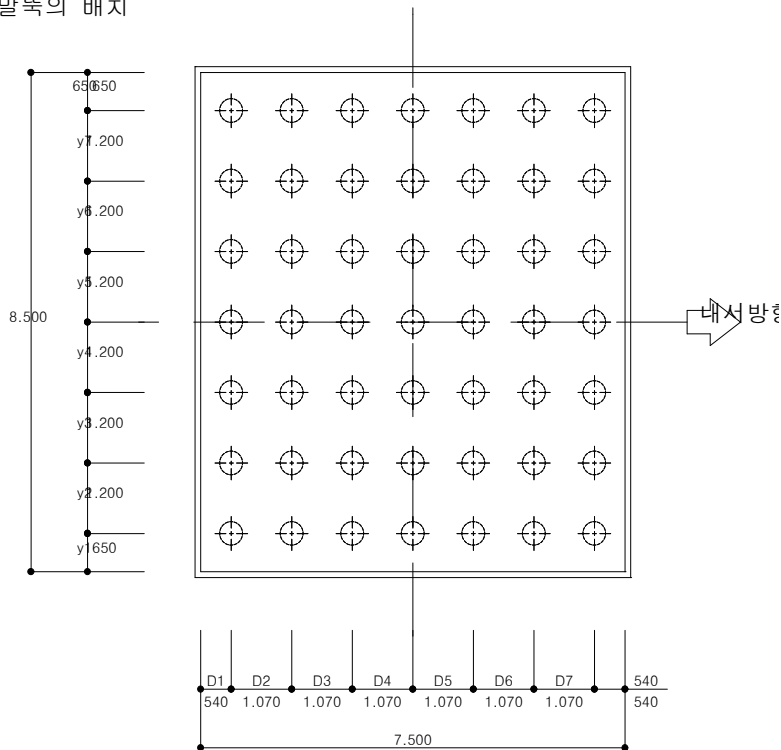
말뚝 머리의 평균 N치  $N = 10$

말뚝 선단의 평균 N치  $N = 40$

말뚝 선단의 근입깊이  $D_f = 1.0 \text{ m}$

원지반으로부터 돌출된 길이  $h = 0.0 \text{ m}$

#### ② 말뚝의 배치



### 2) 말뚝도심에서의 작용하중

| 구 분  |         | Vo(kN)    | Ho(kN)   | Mo(kN.m)  | 비 고   |
|------|---------|-----------|----------|-----------|-------|
| 사용하중 | COMBO 1 | 16699.026 | 1189.340 | 9152.420  | SVB16 |
|      | COMBO 2 | 13897.203 | 1244.232 | 9452.215  | SVB14 |
|      | COMBO 3 | 13897.203 | 1244.232 | 9452.215  | SVB14 |
|      | COMBO 4 | 15716.271 | 1079.554 | 12870.665 | SVB21 |
| 계수하중 | COMBO 1 | 24090.283 | 0.000    | 0.243     | ULB01 |
|      | COMBO 2 | 13202.343 | 1555.291 | 11815.712 | UEB14 |
|      | COMBO 3 | 13202.343 | 1555.291 | 11815.712 | UEB14 |
|      | COMBO 4 | 15476.178 | 1349.443 | 16087.887 | UEB21 |

### 3) 말뚝의 특성치 계산

#### ① 말뚝의 축방향 스프링정수

$$A_p = \pi/4 \times (0.402^2 - 0.388^2) = 0.0087 \text{ m}^2 ; \text{ 말뚝의 순단면적}$$

$$a = 0.014 \times (L/D) + 0.78 = 1.072$$

$$K_v = a \times A_p \times E_p / L = 233087.629 \text{ kN/m} ; \text{ 말뚝의 축방향 스프링정수}$$

#### ② 말뚝의 축직각방향 스프링정수

:  $1/\beta$  가정된 값이 계산된 값과 일치할 때까지 반복 계산

$$B_H = \sqrt{\frac{D}{\beta}} \quad k_{HO} = \frac{1}{0.3} \alpha E_O \quad k_H = k_{HO} \left( \frac{B_H}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

$$\alpha = 1 \text{ (평상시)}$$

$$E_O = 2800 \times N = 2800 \times 10 = 28000 \text{ kN/m}^2$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}$$

수평저항에 관여하는 지반의 깊이 : 평상시

| 가정된 $1/\beta$ (m) | 계산치 $1/\beta$ (m) | $K_h$ (kN/m <sup>3</sup> ) |
|-------------------|-------------------|----------------------------|
| 0.402             | 1.475             | 74883.17                   |
| 1.475             | 1.667             | 46003.37                   |
| 1.667             | 1.686             | 43949.37                   |
| 1.686             | 1.687             | 43761.57                   |
| 1.687             | 1.688             | 43744.01                   |
| 1.688             | 1.688             | 43742.36                   |
| 1.688             | 1.688             | 43742.21                   |

$$K_h = 43742.19 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = 0.593 \text{ m}^{-1}$$

$$\beta L = 0.593 \times 8.4000 = 4.977 \geq 3 \quad \therefore \text{반무한장 말뚝으로 설계한다.}$$

#### 4) 말뚝의 변위 및 부재력

##### ① 말뚝머리 고정일 경우

##### 가) 축직각방향 스프링정수

| 구 분 | 평상시       | 산출식           | 단 위      |
|-----|-----------|---------------|----------|
| K1  | 29705.695 | $4EI \beta^3$ | kN/m     |
| K2  | 25066.339 | $2EI \beta^2$ | kN/rad   |
| K3  | 25066.339 | $2EI \beta^2$ | kN/rad   |
| K4  | 42303.092 | $2EI \beta$   | kN.m/rad |

##### 나) 기초의 변위

| 말뚝원점에서의 변위 |                                                                                                                                                                                                                                             | 계산값        |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|            |                                                                                                                                                                                                                                             | 평상시        |
| Axx        | $\sum (K_1 \cos^2 \theta_i + K_v \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 1455579.0  |
| Axy, Ayx   | $\sum (K_v - K_1) \sin \theta_i \cos \theta_i$                                                                                                                                                                                              | 0.0        |
| Axa, Aax   | $\sum \{(K_v - K_1)x_i \sin \theta_i \cos \theta_i - K_2 \cos \theta_i\}$                                                                                                                                                                   | -1228250.6 |
| Ayy        | $\sum (K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 11421293.8 |
| Aya, Aay   | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i + K_2 \sin \theta_i\}$                                                                                                                                                               | 0.0        |
| Aaa        | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i^2 + (K_2 + K_3)x_i \sin \theta_i + K_4\}$                                                                                                                                            | 54377808.7 |
| 일반식        | $\begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} H_o \\ V_o \\ M_o \end{bmatrix}$ |            |

| 구 분     | 사용하중          |               |               | 구 분     | 계수하중          |               |               |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|
|         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |
| COMBO 1 | 0.0009778     | 0.0014621     | 0.0001904     | COMBO 1 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000     |
| COMBO 2 | 0.0010209     | 0.0012168     | 0.0001969     | COMBO 2 | 0.0012762     | 0.0011559     | 0.0002461     |
| COMBO 3 | 0.0010209     | 0.0012168     | 0.0001969     | COMBO 3 | 0.0012762     | 0.0011559     | 0.0002461     |
| COMBO 4 | 0.0005952     | 0.0013760     | 0.0002544     | COMBO 4 | 0.0007440     | 0.0013550     | 0.0003179     |

##### \* 말뚝의 수평변위 검토

말뚝의 수평변위 = 1.021 mm ≤ 말뚝의 허용변위 = 15.000 mm ∴ 0.K

다) 말뚝의 작용력과 말뚝머리에서의 반력

▣ 말뚝머리 변위량 및 작용력 : 말뚝응력검토시

$$\delta x(i) = \delta x \times \cos \theta(i) - (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \sin \theta(i)$$

$$\delta y(i) = \delta x \times \sin \theta(i) + (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \cos \theta(i)$$

$$P_n(i) = K_v \times \delta y(i)$$

$$P_h(i) = K_1 \times \delta x(i) - K_2 \times \alpha$$

$$M_t(i) = -K_3 \times \delta x(i) + K_4 \times \alpha$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $P_h(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|----------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0009778     | 0.0020733     | 0.0001904 | 483.253  | 24.272   | -16.454  |
|         | 2 | 0.0009778     | 0.0018695     | 0.0001904 | 435.768  | 24.272   | -16.454  |
|         | 3 | 0.0009778     | 0.0016658     | 0.0001904 | 388.282  | 24.272   | -16.454  |
|         | 4 | 0.0009778     | 0.0014621     | 0.0001904 | 340.796  | 24.272   | -16.454  |
|         | 5 | 0.0009778     | 0.0012584     | 0.0001904 | 293.311  | 24.272   | -16.454  |
|         | 6 | 0.0009778     | 0.0010546     | 0.0001904 | 245.825  | 24.272   | -16.454  |
|         | 7 | 0.0009778     | 0.0008509     | 0.0001904 | 198.340  | 24.272   | -16.454  |
| COMBO 2 | 1 | 0.0010209     | 0.0018488     | 0.0001969 | 430.928  | 25.392   | -17.262  |
|         | 2 | 0.0010209     | 0.0016381     | 0.0001969 | 381.824  | 25.392   | -17.262  |
|         | 3 | 0.0010209     | 0.0014274     | 0.0001969 | 332.720  | 25.392   | -17.262  |
|         | 4 | 0.0010209     | 0.0012168     | 0.0001969 | 283.616  | 25.392   | -17.262  |
|         | 5 | 0.0010209     | 0.0010061     | 0.0001969 | 234.512  | 25.392   | -17.262  |
|         | 6 | 0.0010209     | 0.0007954     | 0.0001969 | 185.409  | 25.392   | -17.262  |
|         | 7 | 0.0010209     | 0.0005848     | 0.0001969 | 136.305  | 25.392   | -17.262  |
| COMBO 3 | 1 | 0.0010209     | 0.0018488     | 0.0001969 | 430.928  | 25.392   | -17.262  |
|         | 2 | 0.0010209     | 0.0016381     | 0.0001969 | 381.824  | 25.392   | -17.262  |
|         | 3 | 0.0010209     | 0.0014274     | 0.0001969 | 332.720  | 25.392   | -17.262  |
|         | 4 | 0.0010209     | 0.0012168     | 0.0001969 | 283.616  | 25.392   | -17.262  |
|         | 5 | 0.0010209     | 0.0010061     | 0.0001969 | 234.512  | 25.392   | -17.262  |
|         | 6 | 0.0010209     | 0.0007954     | 0.0001969 | 185.409  | 25.392   | -17.262  |
|         | 7 | 0.0010209     | 0.0005848     | 0.0001969 | 136.305  | 25.392   | -17.262  |
| COMBO 4 | 1 | 0.0005952     | 0.0021925     | 0.0002544 | 511.050  | 22.032   | -8.842   |
|         | 2 | 0.0005952     | 0.0019204     | 0.0002544 | 447.613  | 22.032   | -8.842   |
|         | 3 | 0.0005952     | 0.0016482     | 0.0002544 | 384.177  | 22.032   | -8.842   |
|         | 4 | 0.0005952     | 0.0013760     | 0.0002544 | 320.740  | 22.032   | -8.842   |
|         | 5 | 0.0005952     | 0.0011039     | 0.0002544 | 257.304  | 22.032   | -8.842   |
|         | 6 | 0.0005952     | 0.0008317     | 0.0002544 | 193.867  | 22.032   | -8.842   |
|         | 7 | 0.0005952     | 0.0005596     | 0.0002544 | 130.431  | 22.032   | -8.842   |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $Ph(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|---------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0000000     | 0.0021093     | 0.0000000 | 491.642  | 0.000   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0000000     | 0.0021093     | 0.0000000 | 491.641  | 0.000   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.640  | 0.000   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.638  | 0.000   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.637  | 0.000   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.636  | 0.000   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.635  | 0.000   | 0.000    |
| COMBO 2 | 1 | 0.0012762     | 0.0019460     | 0.0002461 | 453.581  | 31.741  | -21.578  |
|         | 2 | 0.0012762     | 0.0016826     | 0.0002461 | 392.199  | 31.741  | -21.578  |
|         | 3 | 0.0012762     | 0.0014193     | 0.0002461 | 330.818  | 31.741  | -21.578  |
|         | 4 | 0.0012762     | 0.0011559     | 0.0002461 | 269.436  | 31.741  | -21.578  |
|         | 5 | 0.0012762     | 0.0008926     | 0.0002461 | 208.054  | 31.741  | -21.578  |
|         | 6 | 0.0012762     | 0.0006293     | 0.0002461 | 146.672  | 31.741  | -21.578  |
|         | 7 | 0.0012762     | 0.0003659     | 0.0002461 | 85.290   | 31.741  | -21.578  |
| COMBO 3 | 1 | 0.0012762     | 0.0019460     | 0.0002461 | 453.581  | 31.741  | -21.578  |
|         | 2 | 0.0012762     | 0.0016826     | 0.0002461 | 392.199  | 31.741  | -21.578  |
|         | 3 | 0.0012762     | 0.0014193     | 0.0002461 | 330.818  | 31.741  | -21.578  |
|         | 4 | 0.0012762     | 0.0011559     | 0.0002461 | 269.436  | 31.741  | -21.578  |
|         | 5 | 0.0012762     | 0.0008926     | 0.0002461 | 208.054  | 31.741  | -21.578  |
|         | 6 | 0.0012762     | 0.0006293     | 0.0002461 | 146.672  | 31.741  | -21.578  |
|         | 7 | 0.0012762     | 0.0003659     | 0.0002461 | 85.290   | 31.741  | -21.578  |
| COMBO 4 | 1 | 0.0007440     | 0.0023756     | 0.0003179 | 553.721  | 27.540  | -11.052  |
|         | 2 | 0.0007440     | 0.0020354     | 0.0003179 | 474.428  | 27.540  | -11.052  |
|         | 3 | 0.0007440     | 0.0016952     | 0.0003179 | 395.134  | 27.540  | -11.052  |
|         | 4 | 0.0007440     | 0.0013550     | 0.0003179 | 315.840  | 27.540  | -11.052  |
|         | 5 | 0.0007440     | 0.0010148     | 0.0003179 | 236.547  | 27.540  | -11.052  |
|         | 6 | 0.0007440     | 0.0006747     | 0.0003179 | 157.253  | 27.540  | -11.052  |
|         | 7 | 0.0007440     | 0.0003345     | 0.0003179 | 77.960   | 27.540  | -11.052  |

■ 말뚝머리 작용력 : 기초응력 검토시

$$V(i) = P_n(i) \times \cos \theta(i) - P_h(i) \times \sin \theta(i)$$

$$H(i) = P_n(i) \times \sin \theta(i) + P_h(i) \times \cos \theta(i)$$

$$H_t = \sum H(i) \times N$$

$$V_t = \sum V(i) \times N$$

$$M_t = \sum (V(i) \times x(i) + M(i)) \times N$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력      | 모멘트       | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|----------|-----------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.210  | 0  | 483.253   | 24.272   | -16.454   | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 435.768   | 24.272   | -16.454   | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 388.282   | 24.272   | -16.454   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 340.796   | 24.272   | -16.454   | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 293.311   | 24.272   | -16.454   | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 245.825   | 24.272   | -16.454   | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 198.340   | 24.272   | -16.454   | 7  |
|         | 계 |        |    | 16699.026 | 1189.340 | 9152.420  | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.210  | 0  | 430.928   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 381.824   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 332.720   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 283.616   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 234.512   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 185.409   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 136.305   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 계 |        |    | 13897.203 | 1244.232 | 9452.215  | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.210  | 0  | 430.928   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 381.824   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 332.720   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 283.616   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 234.512   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 185.409   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 136.305   | 25.392   | -17.262   | 7  |
|         | 계 |        |    | 13897.203 | 1244.232 | 9452.215  | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.210  | 0  | 511.050   | 22.032   | -8.842    | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 447.613   | 22.032   | -8.842    | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 384.177   | 22.032   | -8.842    | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 22.032   | -8.842    | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 257.304   | 22.032   | -8.842    | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 193.867   | 22.032   | -8.842    | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 130.431   | 22.032   | -8.842    | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 1079.554 | 12870.665 | 49 |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력      | 모멘트       | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|----------|-----------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.210  | 0  | 491.642   | 0.000    | 0.000     | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 491.641   | 0.000    | 0.000     | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 491.640   | 0.000    | 0.000     | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 491.638   | 0.000    | 0.000     | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 491.637   | 0.000    | 0.000     | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 491.636   | 0.000    | 0.000     | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 491.635   | 0.000    | 0.000     | 7  |
|         | 계 |        |    | 24090.283 | 0.000    | 0.243     | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.210  | 0  | 453.581   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 392.199   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 330.818   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 269.436   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 208.054   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 146.672   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 85.290    | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 계 |        |    | 13202.343 | 1555.291 | 11815.712 | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.210  | 0  | 453.581   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 392.199   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 330.818   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 269.436   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 208.054   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 146.672   | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 85.290    | 31.741   | -21.578   | 7  |
|         | 계 |        |    | 13202.343 | 1555.291 | 11815.712 | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.210  | 0  | 553.721   | 27.540   | -11.052   | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 474.428   | 27.540   | -11.052   | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 395.134   | 27.540   | -11.052   | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 315.840   | 27.540   | -11.052   | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 236.547   | 27.540   | -11.052   | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 157.253   | 27.540   | -11.052   | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 77.960    | 27.540   | -11.052   | 7  |
|         | 계 |        |    | 15476.178 | 1349.443 | 16087.887 | 49 |

라) 말뚝의 변위 및 부재력 : 사용하중

㉔ COMBO 1 : SVB16

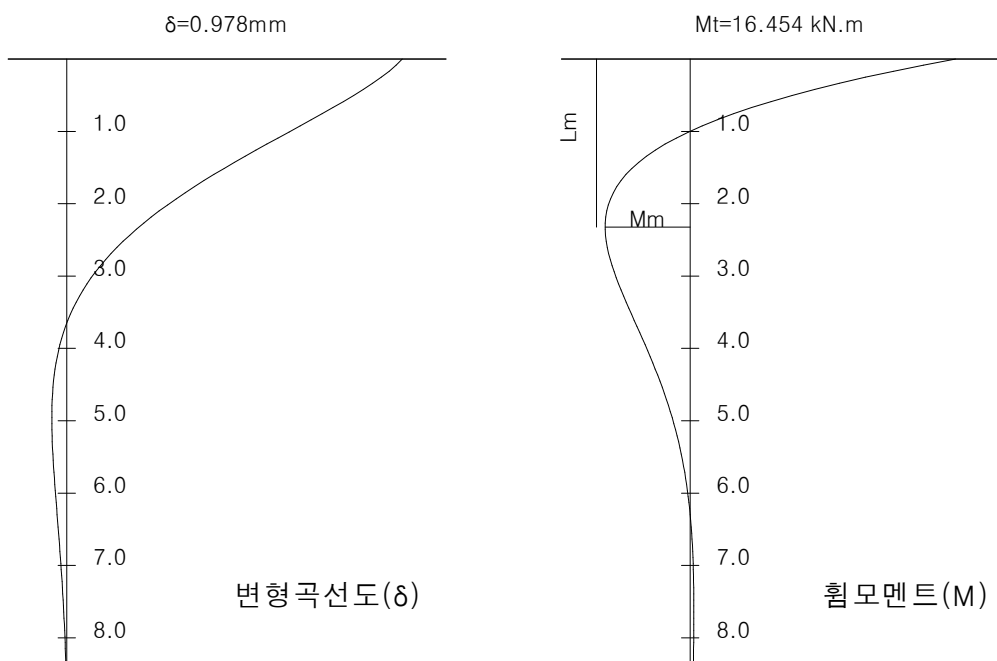
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -5.269 kN.m, 2.323 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.978 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.978 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 16.454    | -24.272 | 0.978  |     |
| 0.560 | 5.434     | -15.352 | 0.817  |     |
| 1.120 | -1.100    | -8.333  | 0.605  |     |
| 1.680 | -4.291    | -3.401  | 0.400  |     |
| 2.240 | -5.256    | -0.324  | 0.231  |     |
| 2.800 | -4.922    | 1.312   | 0.108  |     |
| 3.360 | -3.973    | 1.947   | 0.027  |     |
| 3.920 | -2.856    | 1.966   | -0.018 |     |
| 4.480 | -1.829    | 1.666   | -0.039 |     |
| 5.040 | -1.012    | 1.247   | -0.044 |     |
| 5.600 | -0.431    | 0.835   | -0.039 |     |
| 6.160 | -0.063    | 0.491   | -0.031 |     |
| 6.720 | 0.136     | 0.236   | -0.021 |     |
| 7.280 | 0.217     | 0.067   | -0.013 |     |
| 7.840 | 0.224     | -0.030  | -0.007 |     |
| 8.400 | 0.193     | -0.076  | -0.003 |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉞ COMBO 2 : SVB14

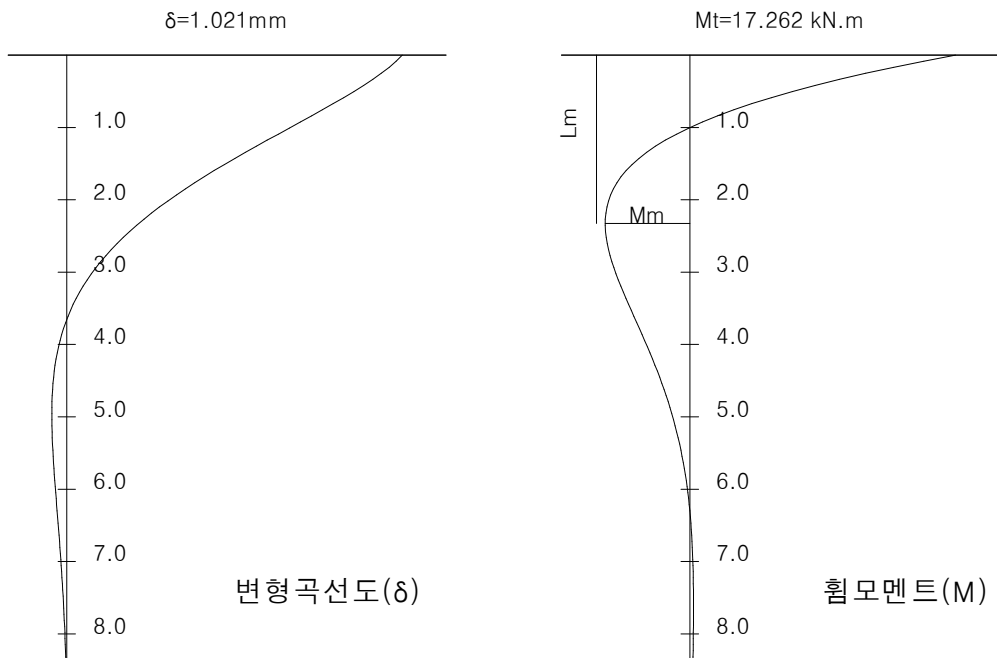
㉟ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -5.498 kN.m, 2.327 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.021 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.021 mm

㊱ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 17.262    | -25.392 | 1.021  |     |
| 0.560 | 5.729     | -16.074 | 0.854  |     |
| 1.120 | -1.115    | -8.735  | 0.633  |     |
| 1.680 | -4.464    | -3.576  | 0.419  |     |
| 2.240 | -5.483    | -0.353  | 0.243  |     |
| 2.800 | -5.141    | 1.362   | 0.113  |     |
| 3.360 | -4.153    | 2.030   | 0.029  |     |
| 3.920 | -2.987    | 2.053   | -0.019 |     |
| 4.480 | -1.915    | 1.741   | -0.041 |     |
| 5.040 | -1.060    | 1.305   | -0.046 |     |
| 5.600 | -0.453    | 0.874   | -0.041 |     |
| 6.160 | -0.068    | 0.514   | -0.032 |     |
| 6.720 | 0.141     | 0.247   | -0.022 |     |
| 7.280 | 0.226     | 0.071   | -0.014 |     |
| 7.840 | 0.234     | -0.031  | -0.007 |     |
| 8.400 | 0.201     | -0.079  | -0.003 |     |

㊲ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 3 : SVB14

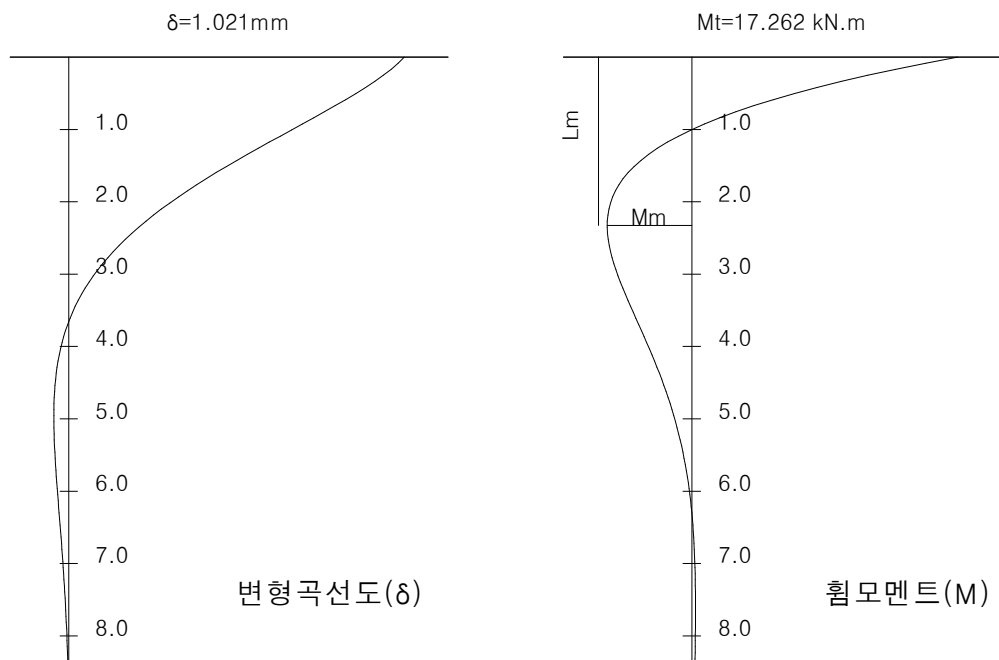
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -5.498 kN.m, 2.327 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.021 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.021 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 17.262    | -25.392 | 1.021  |     |
| 0.560 | 5.729     | -16.074 | 0.854  |     |
| 1.120 | -1.115    | -8.735  | 0.633  |     |
| 1.680 | -4.464    | -3.576  | 0.419  |     |
| 2.240 | -5.483    | -0.353  | 0.243  |     |
| 2.800 | -5.141    | 1.362   | 0.113  |     |
| 3.360 | -4.153    | 2.030   | 0.029  |     |
| 3.920 | -2.987    | 2.053   | -0.019 |     |
| 4.480 | -1.915    | 1.741   | -0.041 |     |
| 5.040 | -1.060    | 1.305   | -0.046 |     |
| 5.600 | -0.453    | 0.874   | -0.041 |     |
| 6.160 | -0.068    | 0.514   | -0.032 |     |
| 6.720 | 0.141     | 0.247   | -0.022 |     |
| 7.280 | 0.226     | 0.071   | -0.014 |     |
| 7.840 | 0.234     | -0.031  | -0.007 |     |
| 8.400 | 0.201     | -0.079  | -0.003 |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 4 : SVB21

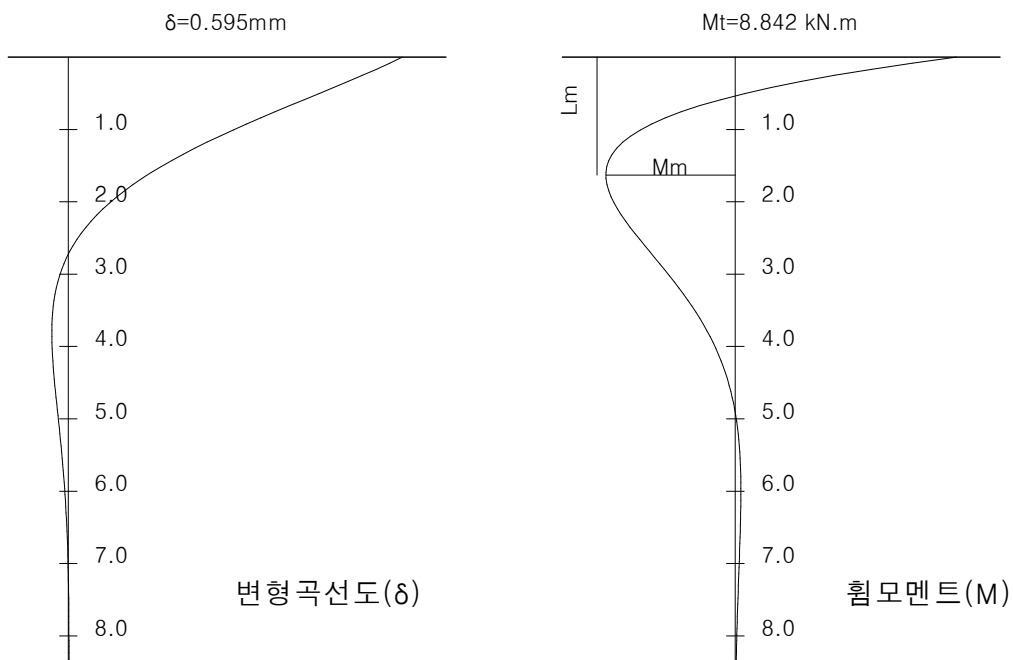
㉔ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -5.179 kN.m, 1.630 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.595 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.595 mm

㉔ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 8.842     | -22.032 | 0.595  |     |
| 0.560 | -0.277    | -11.123 | 0.430  |     |
| 1.120 | -4.300    | -3.836  | 0.263  |     |
| 1.680 | -5.172    | 0.255   | 0.131  |     |
| 2.240 | -4.446    | 2.032   | 0.044  |     |
| 2.800 | -3.160    | 2.389   | -0.005 |     |
| 3.360 | -1.902    | 2.033   | -0.025 |     |
| 3.920 | -0.928    | 1.434   | -0.029 |     |
| 4.480 | -0.291    | 0.856   | -0.025 |     |
| 5.040 | 0.057     | 0.412   | -0.017 |     |
| 5.600 | 0.200     | 0.125   | -0.010 |     |
| 6.160 | 0.221     | -0.031  | -0.005 |     |
| 6.720 | 0.183     | -0.094  | -0.001 |     |
| 7.280 | 0.126     | -0.102  | 0.000  |     |
| 7.840 | 0.074     | -0.084  | 0.001  |     |
| 8.400 | 0.034     | -0.057  | 0.001  |     |

㉔ 변형곡선도 및 휨모멘트도



마) 말뚝의 변위 및 부재력 : 계수하중

㉔ COMBO 2 : UEB14

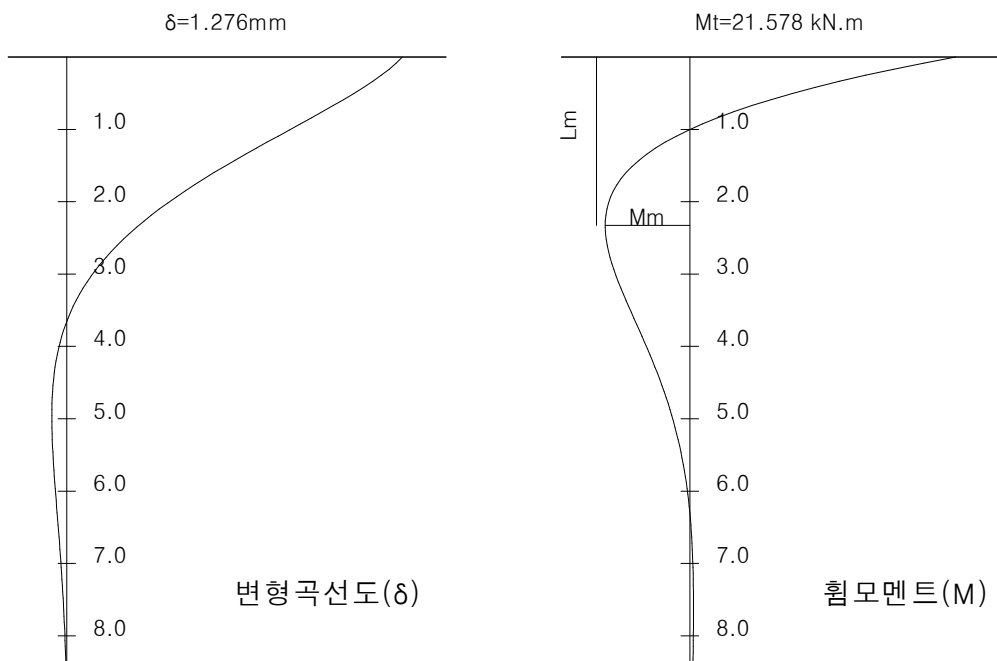
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -6.872 kN.m, 2.327 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.276 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.276 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 21.578    | -31.741 | 1.276  |     |
| 0.560 | 7.162     | -20.093 | 1.067  |     |
| 1.120 | -1.394    | -10.919 | 0.791  |     |
| 1.680 | -5.580    | -4.469  | 0.524  |     |
| 2.240 | -6.853    | -0.442  | 0.303  |     |
| 2.800 | -6.426    | 1.702   | 0.142  |     |
| 3.360 | -5.191    | 2.537   | 0.036  |     |
| 3.920 | -3.734    | 2.566   | -0.024 |     |
| 4.480 | -2.394    | 2.176   | -0.051 |     |
| 5.040 | -1.325    | 1.631   | -0.057 |     |
| 5.600 | -0.566    | 1.092   | -0.051 |     |
| 6.160 | -0.085    | 0.643   | -0.040 |     |
| 6.720 | 0.176     | 0.309   | -0.028 |     |
| 7.280 | 0.282     | 0.089   | -0.017 |     |
| 7.840 | 0.293     | -0.039  | -0.009 |     |
| 8.400 | 0.252     | -0.098  | -0.003 |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉠ COMBO 3 : UEB14

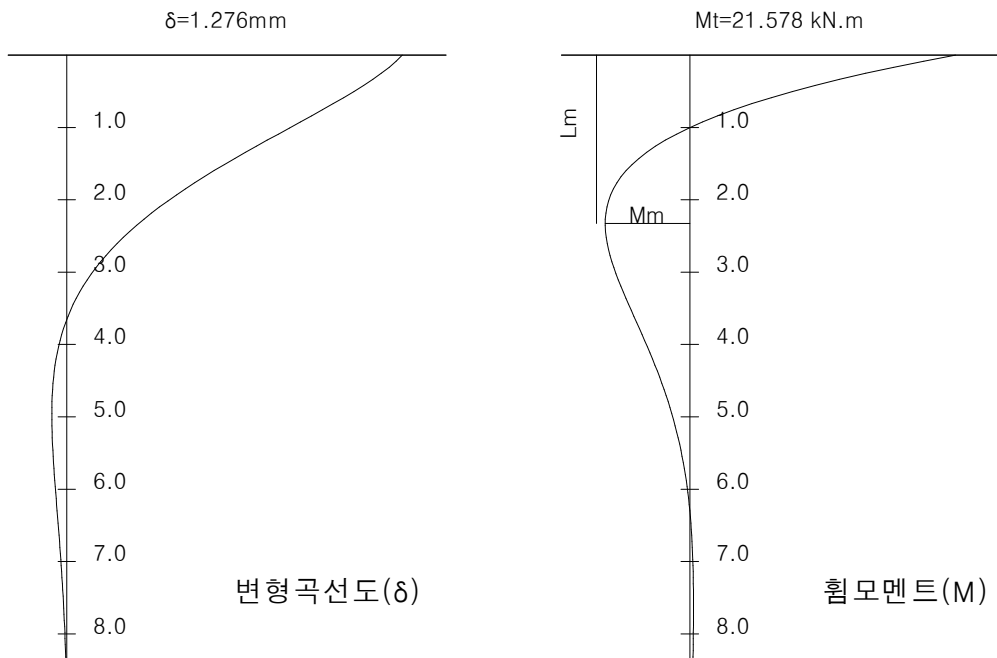
㉡ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -6.872 kN.m, 2.327 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.276 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.276 mm

㉢ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 21.578    | -31.741 | 1.276  |     |
| 0.560 | 7.162     | -20.093 | 1.067  |     |
| 1.120 | -1.394    | -10.919 | 0.791  |     |
| 1.680 | -5.580    | -4.469  | 0.524  |     |
| 2.240 | -6.853    | -0.442  | 0.303  |     |
| 2.800 | -6.426    | 1.702   | 0.142  |     |
| 3.360 | -5.191    | 2.537   | 0.036  |     |
| 3.920 | -3.734    | 2.566   | -0.024 |     |
| 4.480 | -2.394    | 2.176   | -0.051 |     |
| 5.040 | -1.325    | 1.631   | -0.057 |     |
| 5.600 | -0.566    | 1.092   | -0.051 |     |
| 6.160 | -0.085    | 0.643   | -0.040 |     |
| 6.720 | 0.176     | 0.309   | -0.028 |     |
| 7.280 | 0.282     | 0.089   | -0.017 |     |
| 7.840 | 0.293     | -0.039  | -0.009 |     |
| 8.400 | 0.252     | -0.098  | -0.003 |     |

㉣ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 4 : UEB21

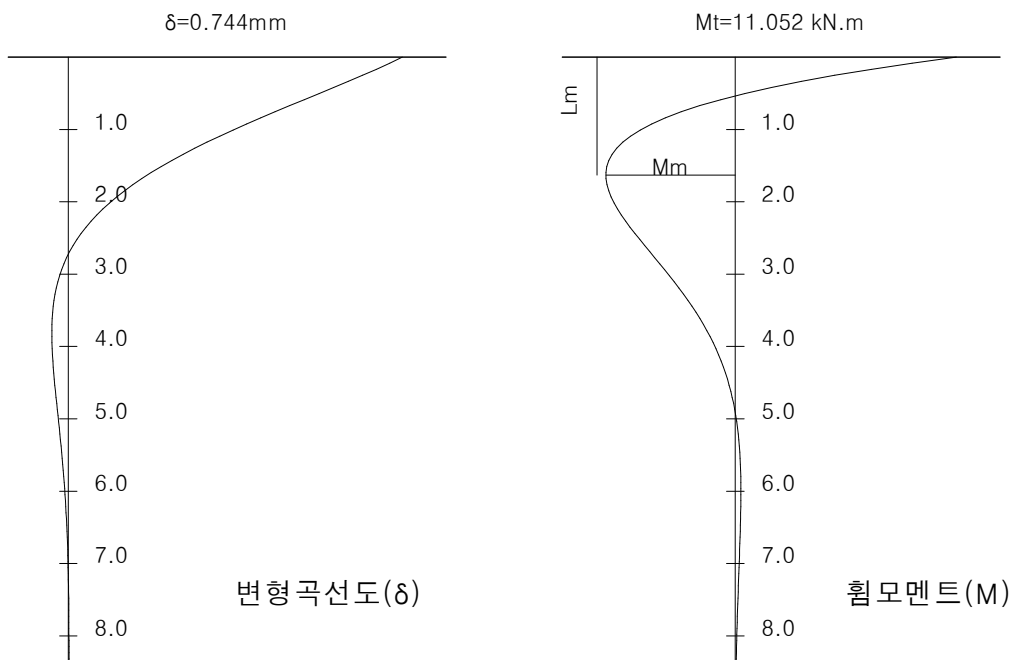
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -6.473 kN.m, 1.630 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.744 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.744 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 11.052    | -27.540 | 0.744  |     |
| 0.560 | -0.346    | -13.904 | 0.537  |     |
| 1.120 | -5.375    | -4.795  | 0.328  |     |
| 1.680 | -6.465    | 0.319   | 0.164  |     |
| 2.240 | -5.557    | 2.540   | 0.055  |     |
| 2.800 | -3.950    | 2.986   | -0.006 |     |
| 3.360 | -2.377    | 2.541   | -0.032 |     |
| 3.920 | -1.159    | 1.792   | -0.036 |     |
| 4.480 | -0.364    | 1.070   | -0.031 |     |
| 5.040 | 0.071     | 0.516   | -0.021 |     |
| 5.600 | 0.251     | 0.156   | -0.013 |     |
| 6.160 | 0.277     | -0.039  | -0.006 |     |
| 6.720 | 0.229     | -0.118  | -0.002 |     |
| 7.280 | 0.158     | -0.128  | 0.001  |     |
| 7.840 | 0.092     | -0.104  | 0.001  |     |
| 8.400 | 0.043     | -0.071  | 0.002  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



② 말뚝머리 힌지일 경우

가) 축직각방향 스프링정수

| 구 분 | 평상시       | 산출식           | 단 위      |
|-----|-----------|---------------|----------|
| K1  | 14852.847 | $2EI \beta^3$ | kN/m     |
| K2  | 0.000     | 0.000         | kN/rad   |
| K3  | 0.000     | 0.000         | kN/rad   |
| K4  | 0.000     | 0.000         | kN.m/rad |

나) 기초의 변위

| 말뚝원점에서의 변위 |                                                                                                                                                                                                                                             | 계산값        |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|            |                                                                                                                                                                                                                                             | 평상시        |
| Axx        | $\sum (K_1 \cos^2 \theta_i + K_v \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 727789.5   |
| Axy, Ayx   | $\sum (K_v - K_1) \sin \theta_i \cos \theta_i$                                                                                                                                                                                              | 0.0        |
| Axa, Aax   | $\sum \{(K_v - K_1)x_i \sin \theta_i \cos \theta_i - K_2 \cos \theta_i\}$                                                                                                                                                                   | 0.0        |
| Ayy        | $\sum (K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)$                                                                                                                                                                                          | 11421293.8 |
| Aya, Aay   | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i + K_2 \sin \theta_i\}$                                                                                                                                                               | 0.0        |
| Aaa        | $\sum \{(K_v \cos^2 \theta_i + K_1 \sin^2 \theta_i)x_i^2 + (K_2 + K_3)x_i \sin \theta_i + K_4\}$                                                                                                                                            | 52304957.3 |
| 일반식        | $\begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix}^{-1} \times \begin{bmatrix} H_o \\ V_o \\ M_o \end{bmatrix}$ |            |

| 구 분     | 사용하중          |               |               | 구 분     | 계수하중          |               |               |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------|---------------|---------------|---------------|
|         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |         | $\delta x(m)$ | $\delta y(m)$ | $\alpha(rad)$ |
| COMBO 1 | 0.0016342     | 0.0014621     | 0.0001750     | COMBO 1 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000     |
| COMBO 2 | 0.0017096     | 0.0012168     | 0.0001807     | COMBO 2 | 0.0021370     | 0.0011559     | 0.0002259     |
| COMBO 3 | 0.0017096     | 0.0012168     | 0.0001807     | COMBO 3 | 0.0021370     | 0.0011559     | 0.0002259     |
| COMBO 4 | 0.0008358     | 0.0013760     | 0.0002461     | COMBO 4 | 0.0010448     | 0.0013550     | 0.0003076     |

\* 말뚝의 수평변위 검토

말뚝의 수평변위 = 1.710 mm ≤ 말뚝의 허용변위 = 15.000 mm ∴ 0.K

다) 말뚝의 작용력과 말뚝머리에서의 반력

▣ 말뚝머리 변위량 및 작용력 : 말뚝응력검토시

$$\delta x(i) = \delta x \times \cos \theta(i) - (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \sin \theta(i)$$

$$\delta y(i) = \delta x \times \sin \theta(i) + (\delta y + \alpha \times x(i)) \times \cos \theta(i)$$

$$P_n(i) = K_v \times \delta y(i)$$

$$P_h(i) = K_1 \times \delta x(i) - K_2 \times \alpha$$

$$M_t(i) = -K_3 \times \delta x(i) + K_4 \times \alpha$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $P_h(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|----------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0016342     | 0.0020238     | 0.0001750 | 471.720  | 24.272   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0016342     | 0.0018366     | 0.0001750 | 428.079  | 24.272   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0016342     | 0.0016493     | 0.0001750 | 384.438  | 24.272   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0016342     | 0.0014621     | 0.0001750 | 340.796  | 24.272   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0016342     | 0.0012749     | 0.0001750 | 297.155  | 24.272   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0016342     | 0.0010876     | 0.0001750 | 253.514  | 24.272   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0016342     | 0.0009004     | 0.0001750 | 209.873  | 24.272   | 0.000    |
| COMBO 2 | 1 | 0.0017096     | 0.0017969     | 0.0001807 | 418.828  | 25.392   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0017096     | 0.0016035     | 0.0001807 | 373.758  | 25.392   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0017096     | 0.0014101     | 0.0001807 | 328.687  | 25.392   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0017096     | 0.0012168     | 0.0001807 | 283.616  | 25.392   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0017096     | 0.0010234     | 0.0001807 | 238.546  | 25.392   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0017096     | 0.0008301     | 0.0001807 | 193.475  | 25.392   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0017096     | 0.0006367     | 0.0001807 | 148.404  | 25.392   | 0.000    |
| COMBO 3 | 1 | 0.0017096     | 0.0017969     | 0.0001807 | 418.828  | 25.392   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0017096     | 0.0016035     | 0.0001807 | 373.758  | 25.392   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0017096     | 0.0014101     | 0.0001807 | 328.687  | 25.392   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0017096     | 0.0012168     | 0.0001807 | 283.616  | 25.392   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0017096     | 0.0010234     | 0.0001807 | 238.546  | 25.392   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0017096     | 0.0008301     | 0.0001807 | 193.475  | 25.392   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0017096     | 0.0006367     | 0.0001807 | 148.404  | 25.392   | 0.000    |
| COMBO 4 | 1 | 0.0008358     | 0.0021659     | 0.0002461 | 504.852  | 22.032   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0008358     | 0.0019026     | 0.0002461 | 443.482  | 22.032   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0008358     | 0.0016393     | 0.0002461 | 382.111  | 22.032   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0008358     | 0.0013760     | 0.0002461 | 320.740  | 22.032   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0008358     | 0.0011128     | 0.0002461 | 259.370  | 22.032   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0008358     | 0.0008495     | 0.0002461 | 197.999  | 22.032   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0008358     | 0.0005862     | 0.0002461 | 136.628  | 22.032   | 0.000    |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | $\delta x(i)$ | $\delta y(i)$ | $\alpha$  | $P_n(i)$ | $Ph(i)$ | $M_t(i)$ |
|---------|---|---------------|---------------|-----------|----------|---------|----------|
| COMBO 1 | 1 | 0.0000000     | 0.0021093     | 0.0000000 | 491.642  | 0.000   | 0.000    |
|         | 2 | 0.0000000     | 0.0021093     | 0.0000000 | 491.641  | 0.000   | 0.000    |
|         | 3 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.640  | 0.000   | 0.000    |
|         | 4 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.638  | 0.000   | 0.000    |
|         | 5 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.637  | 0.000   | 0.000    |
|         | 6 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.636  | 0.000   | 0.000    |
|         | 7 | 0.0000000     | 0.0021092     | 0.0000000 | 491.635  | 0.000   | 0.000    |
| COMBO 2 | 1 | 0.0021370     | 0.0018811     | 0.0002259 | 438.457  | 31.741  | 0.000    |
|         | 2 | 0.0021370     | 0.0016394     | 0.0002259 | 382.116  | 31.741  | 0.000    |
|         | 3 | 0.0021370     | 0.0013977     | 0.0002259 | 325.776  | 31.741  | 0.000    |
|         | 4 | 0.0021370     | 0.0011559     | 0.0002259 | 269.436  | 31.741  | 0.000    |
|         | 5 | 0.0021370     | 0.0009142     | 0.0002259 | 213.095  | 31.741  | 0.000    |
|         | 6 | 0.0021370     | 0.0006725     | 0.0002259 | 156.755  | 31.741  | 0.000    |
|         | 7 | 0.0021370     | 0.0004308     | 0.0002259 | 100.414  | 31.741  | 0.000    |
| COMBO 3 | 1 | 0.0021370     | 0.0018811     | 0.0002259 | 438.457  | 31.741  | 0.000    |
|         | 2 | 0.0021370     | 0.0016394     | 0.0002259 | 382.116  | 31.741  | 0.000    |
|         | 3 | 0.0021370     | 0.0013977     | 0.0002259 | 325.776  | 31.741  | 0.000    |
|         | 4 | 0.0021370     | 0.0011559     | 0.0002259 | 269.436  | 31.741  | 0.000    |
|         | 5 | 0.0021370     | 0.0009142     | 0.0002259 | 213.095  | 31.741  | 0.000    |
|         | 6 | 0.0021370     | 0.0006725     | 0.0002259 | 156.755  | 31.741  | 0.000    |
|         | 7 | 0.0021370     | 0.0004308     | 0.0002259 | 100.414  | 31.741  | 0.000    |
| COMBO 4 | 1 | 0.0010448     | 0.0023424     | 0.0003076 | 545.974  | 27.540  | 0.000    |
|         | 2 | 0.0010448     | 0.0020132     | 0.0003076 | 469.263  | 27.540  | 0.000    |
|         | 3 | 0.0010448     | 0.0016841     | 0.0003076 | 392.552  | 27.540  | 0.000    |
|         | 4 | 0.0010448     | 0.0013550     | 0.0003076 | 315.840  | 27.540  | 0.000    |
|         | 5 | 0.0010448     | 0.0010259     | 0.0003076 | 239.129  | 27.540  | 0.000    |
|         | 6 | 0.0010448     | 0.0006968     | 0.0003076 | 162.418  | 27.540  | 0.000    |
|         | 7 | 0.0010448     | 0.0003677     | 0.0003076 | 85.707   | 27.540  | 0.000    |

■ 말뚝머리 작용력 : 기초응력 검토시

$$V(i) = P_n(i) \times \cos \theta(i) - P_h(i) \times \sin \theta(i)$$

$$H(i) = P_n(i) \times \sin \theta(i) + P_h(i) \times \cos \theta(i)$$

$$H_t = \sum H(i) \times N$$

$$V_t = \sum V(i) \times N$$

$$M_t = \sum (V(i) \times x(i) + M(i)) \times N$$

- 사용하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력      | 모멘트   | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|----------|-------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.210  | 0  | 471.720   | 24.272   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 428.079   | 24.272   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 384.438   | 24.272   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 340.796   | 24.272   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 297.155   | 24.272   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 253.514   | 24.272   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 209.873   | 24.272   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 16699.026 | 1189.340 | 0.000 | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.210  | 0  | 418.828   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 373.758   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 328.687   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 283.616   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 238.546   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 193.475   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 148.404   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 13897.203 | 1244.232 | 0.000 | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.210  | 0  | 418.828   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 373.758   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 328.687   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 283.616   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 238.546   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 193.475   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 148.404   | 25.392   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 13897.203 | 1244.232 | 0.000 | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.210  | 0  | 504.852   | 22.032   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 443.482   | 22.032   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 382.111   | 22.032   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 320.740   | 22.032   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 259.370   | 22.032   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 197.999   | 22.032   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 136.628   | 22.032   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 15716.271 | 1079.554 | 0.000 | 49 |

- 계수하중 조합

| 구 분     |   | 수평거리   | 각도 | 축력        | 수평력      | 모멘트   | 본수 |
|---------|---|--------|----|-----------|----------|-------|----|
| COMBO 1 | 1 | 3.210  | 0  | 491.642   | 0.000    | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 491.641   | 0.000    | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 491.640   | 0.000    | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 491.638   | 0.000    | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 491.637   | 0.000    | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 491.636   | 0.000    | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 491.635   | 0.000    | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 24090.283 | 0.000    | 0.000 | 49 |
| COMBO 2 | 1 | 3.210  | 0  | 438.457   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 382.116   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 325.776   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 269.436   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 213.095   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 156.755   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 100.414   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 13202.343 | 1555.291 | 0.000 | 49 |
| COMBO 3 | 1 | 3.210  | 0  | 438.457   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 382.116   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 325.776   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 269.436   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 213.095   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 156.755   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 100.414   | 31.741   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 13202.343 | 1555.291 | 0.000 | 49 |
| COMBO 4 | 1 | 3.210  | 0  | 545.974   | 27.540   | 0.000 | 7  |
|         | 2 | 2.140  | 0  | 469.263   | 27.540   | 0.000 | 7  |
|         | 3 | 1.070  | 0  | 392.552   | 27.540   | 0.000 | 7  |
|         | 4 | 0.000  | 0  | 315.840   | 27.540   | 0.000 | 7  |
|         | 5 | -1.070 | 0  | 239.129   | 27.540   | 0.000 | 7  |
|         | 6 | -2.140 | 0  | 162.418   | 27.540   | 0.000 | 7  |
|         | 7 | -3.210 | 0  | 85.707    | 27.540   | 0.000 | 7  |
|         | 계 |        |    | 15476.178 | 1349.443 | 0.000 | 49 |

라) 말뚝의 변위 및 부재력 : 사용하중

㉔ COMBO 1 : SVB16

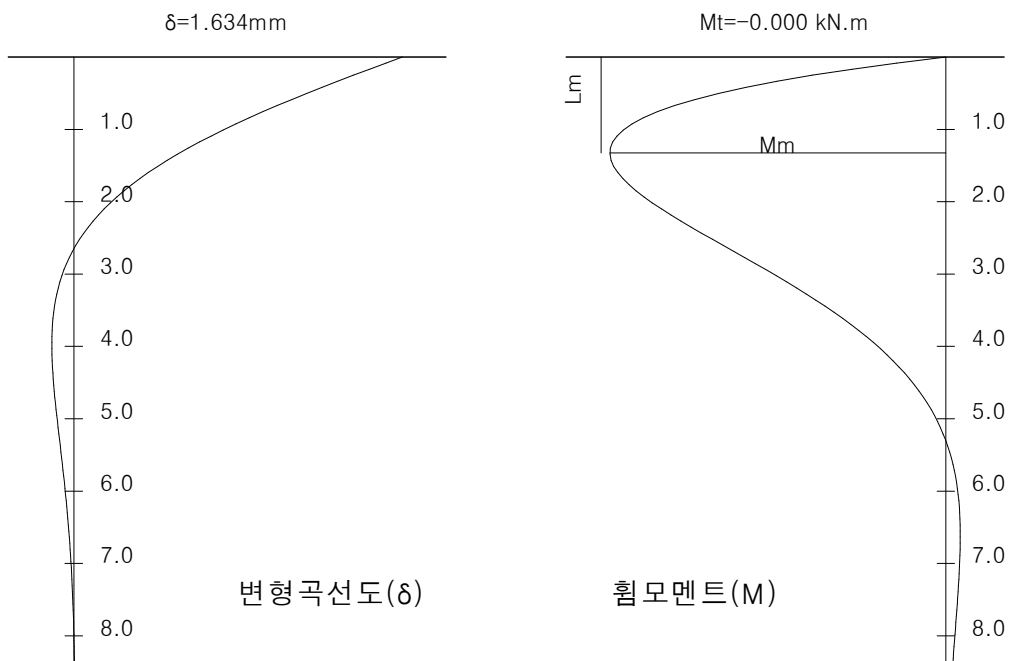
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -13.206 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.634 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.634 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -24.272 | 1.634  |     |
| 0.560 | -9.576    | -10.794 | 1.109  |     |
| 1.120 | -12.994   | -2.147  | 0.663  |     |
| 1.680 | -12.701   | 2.645   | 0.329  |     |
| 2.240 | -10.543   | 4.695   | 0.104  |     |
| 2.800 | -7.765    | 5.009   | -0.027 |     |
| 3.360 | -5.108    | 4.379   | -0.091 |     |
| 3.920 | -2.932    | 3.362   | -0.109 |     |
| 4.480 | -1.348    | 2.307   | -0.102 |     |
| 5.040 | -0.320    | 1.400   | -0.081 |     |
| 5.600 | 0.261     | 0.711   | -0.058 |     |
| 6.160 | 0.518     | 0.244   | -0.037 |     |
| 6.720 | 0.569     | -0.035  | -0.020 |     |
| 7.280 | 0.505     | -0.173  | -0.008 |     |
| 7.840 | 0.393     | -0.217  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.272     | -0.205  | 0.003  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉞ COMBO 2 : SVB14

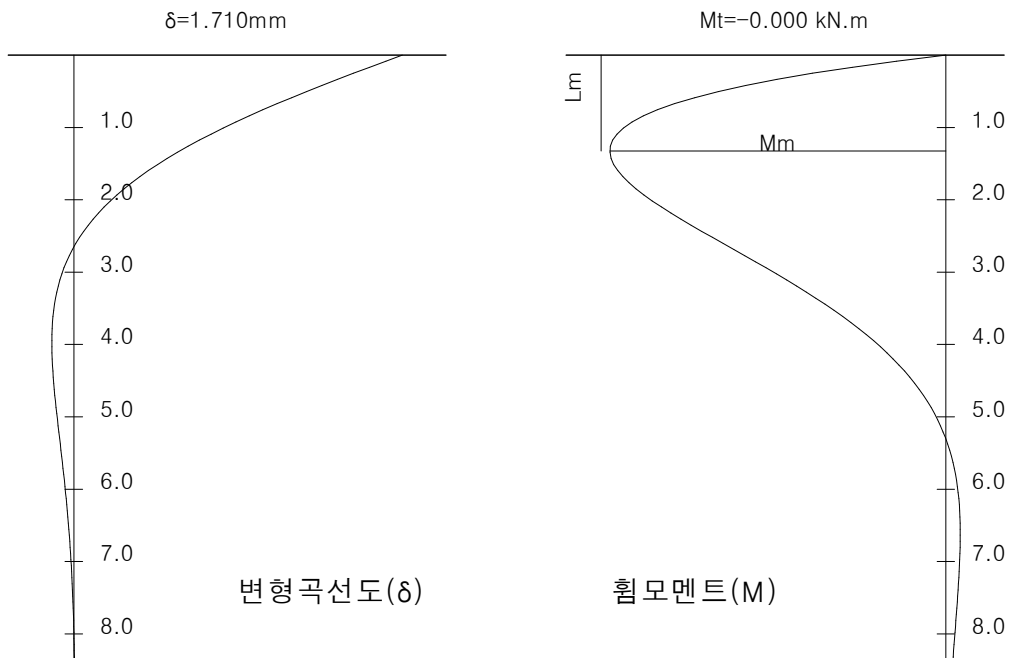
㉞ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -13.816 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.710 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.710 mm

㉞ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -25.392 | 1.710  |     |
| 0.560 | -10.018   | -11.292 | 1.160  |     |
| 1.120 | -13.594   | -2.246  | 0.694  |     |
| 1.680 | -13.287   | 2.767   | 0.344  |     |
| 2.240 | -11.029   | 4.912   | 0.109  |     |
| 2.800 | -8.124    | 5.240   | -0.029 |     |
| 3.360 | -5.343    | 4.581   | -0.095 |     |
| 3.920 | -3.067    | 3.517   | -0.114 |     |
| 4.480 | -1.410    | 2.414   | -0.106 |     |
| 5.040 | -0.334    | 1.464   | -0.085 |     |
| 5.600 | 0.273     | 0.744   | -0.061 |     |
| 6.160 | 0.542     | 0.255   | -0.039 |     |
| 6.720 | 0.595     | -0.037  | -0.021 |     |
| 7.280 | 0.529     | -0.181  | -0.009 |     |
| 7.840 | 0.411     | -0.227  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.285     | -0.215  | 0.003  |     |

㉞ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 3 : SVB14

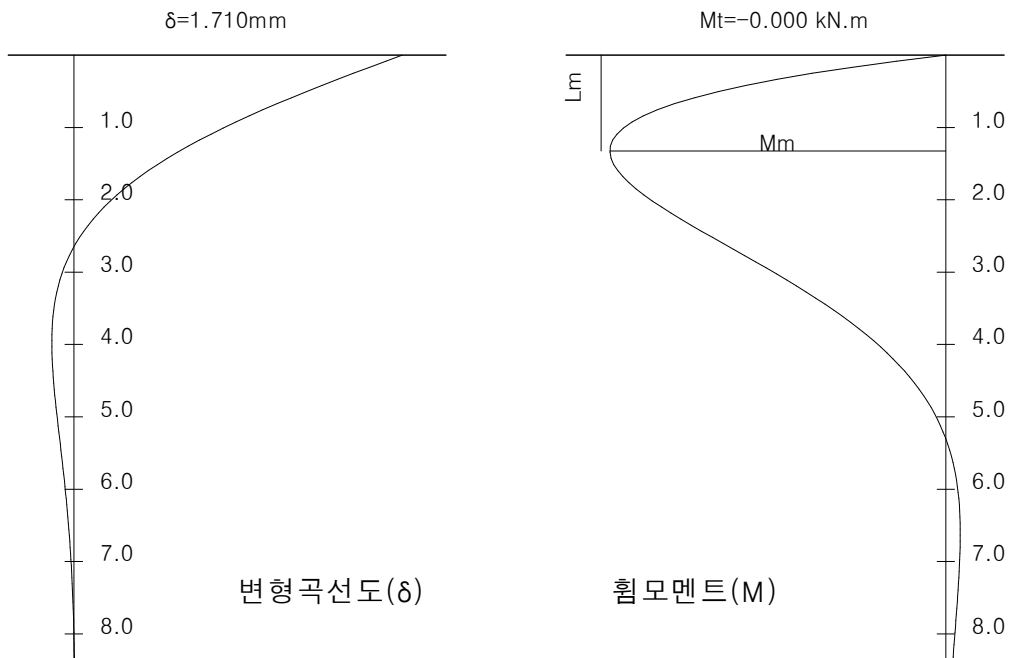
㉔ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -13.816 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.710 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.710 mm

㉔ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -25.392 | 1.710  |     |
| 0.560 | -10.018   | -11.292 | 1.160  |     |
| 1.120 | -13.594   | -2.246  | 0.694  |     |
| 1.680 | -13.287   | 2.767   | 0.344  |     |
| 2.240 | -11.029   | 4.912   | 0.109  |     |
| 2.800 | -8.124    | 5.240   | -0.029 |     |
| 3.360 | -5.343    | 4.581   | -0.095 |     |
| 3.920 | -3.067    | 3.517   | -0.114 |     |
| 4.480 | -1.410    | 2.414   | -0.106 |     |
| 5.040 | -0.334    | 1.464   | -0.085 |     |
| 5.600 | 0.273     | 0.744   | -0.061 |     |
| 6.160 | 0.542     | 0.255   | -0.039 |     |
| 6.720 | 0.595     | -0.037  | -0.021 |     |
| 7.280 | 0.529     | -0.181  | -0.009 |     |
| 7.840 | 0.411     | -0.227  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.285     | -0.215  | 0.003  |     |

㉔ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 4 : SVB21

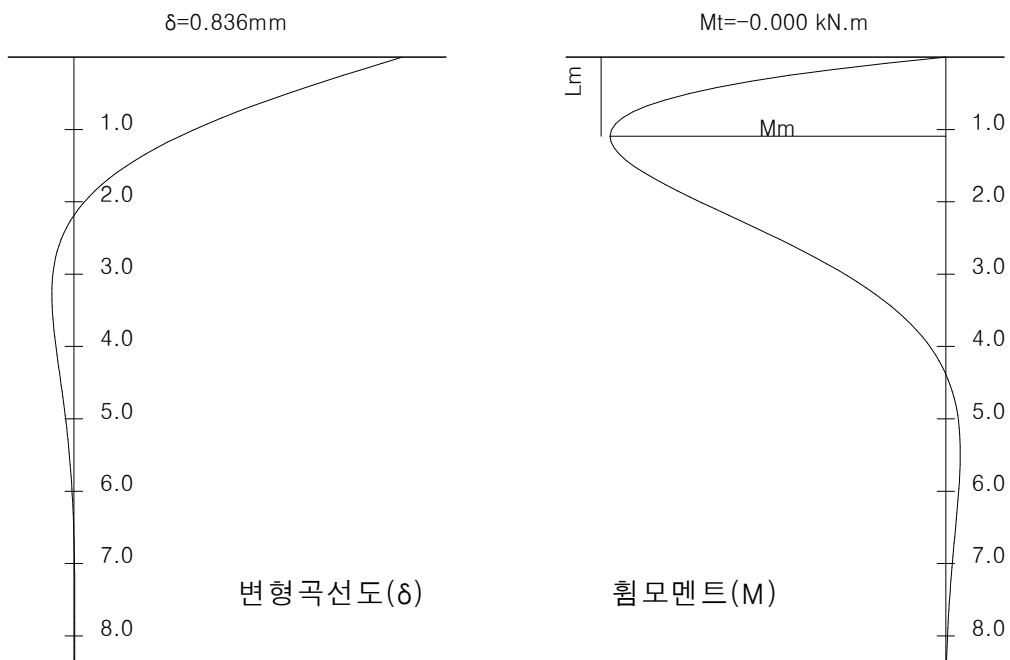
㉔ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -9.901 kN.m, 1.095 m
- 말뚝머리부의 변위 : 0.836 mm
- 지표면에서의 변위 : 0.836 mm

㉔ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -22.032 | 0.836  |     |
| 0.560 | -8.036    | -7.804  | 0.515  |     |
| 1.120 | -9.898    | 0.252   | 0.260  |     |
| 1.680 | -8.594    | 3.805   | 0.090  |     |
| 2.240 | -6.153    | 4.574   | -0.006 |     |
| 2.800 | -3.731    | 3.930   | -0.048 |     |
| 3.360 | -1.841    | 2.793   | -0.056 |     |
| 3.920 | -0.597    | 1.680   | -0.048 |     |
| 4.480 | 0.089     | 0.819   | -0.034 |     |
| 5.040 | 0.377     | 0.257   | -0.020 |     |
| 5.600 | 0.425     | -0.051  | -0.010 |     |
| 6.160 | 0.354     | -0.177  | -0.003 |     |
| 6.720 | 0.246     | -0.196  | 0.001  |     |
| 7.280 | 0.145     | -0.162  | 0.002  |     |
| 7.840 | 0.068     | -0.112  | 0.002  |     |
| 8.400 | 0.019     | -0.065  | 0.002  |     |

㉔ 변형곡선도 및 휨모멘트도



마) 말뚝의 변위 및 부재력 : 계수하중

㉔ COMBO 2 : UEB14

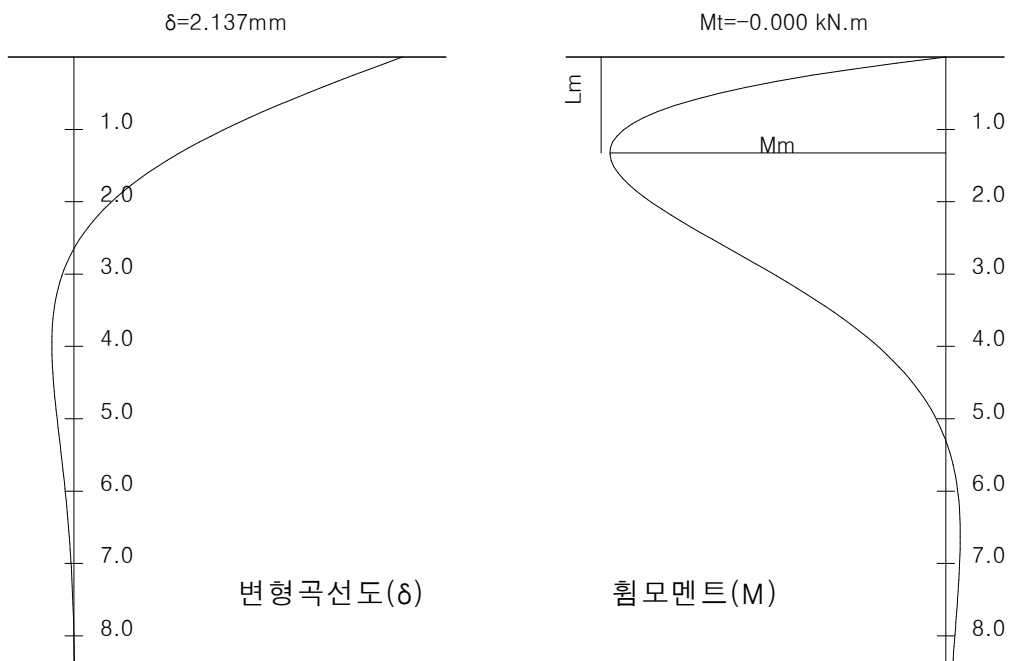
㉕ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -17.270 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 2.137 mm
- 지표면에서의 변위 : 2.137 mm

㉖ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -31.741 | 2.137  |     |
| 0.560 | -12.523   | -14.115 | 1.450  |     |
| 1.120 | -16.992   | -2.807  | 0.867  |     |
| 1.680 | -16.609   | 3.459   | 0.430  |     |
| 2.240 | -13.787   | 6.140   | 0.137  |     |
| 2.800 | -10.154   | 6.550   | -0.036 |     |
| 3.360 | -6.679    | 5.726   | -0.119 |     |
| 3.920 | -3.834    | 4.397   | -0.143 |     |
| 4.480 | -1.763    | 3.017   | -0.133 |     |
| 5.040 | -0.418    | 1.830   | -0.107 |     |
| 5.600 | 0.341     | 0.930   | -0.076 |     |
| 6.160 | 0.678     | 0.319   | -0.049 |     |
| 6.720 | 0.744     | -0.046  | -0.027 |     |
| 7.280 | 0.661     | -0.227  | -0.011 |     |
| 7.840 | 0.513     | -0.284  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.356     | -0.268  | 0.004  |     |

㉗ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉠ COMBO 3 : UEB14

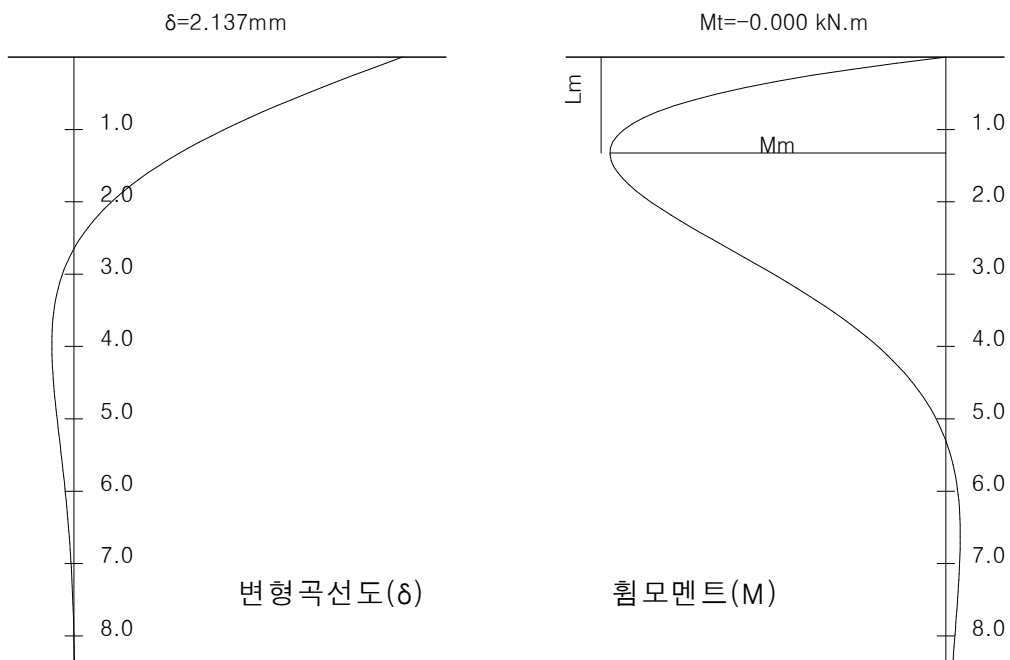
㉡ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -17.270 kN.m, 1.325 m
- 말뚝머리부의 변위 : 2.137 mm
- 지표면에서의 변위 : 2.137 mm

㉢ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -31.741 | 2.137  |     |
| 0.560 | -12.523   | -14.115 | 1.450  |     |
| 1.120 | -16.992   | -2.807  | 0.867  |     |
| 1.680 | -16.609   | 3.459   | 0.430  |     |
| 2.240 | -13.787   | 6.140   | 0.137  |     |
| 2.800 | -10.154   | 6.550   | -0.036 |     |
| 3.360 | -6.679    | 5.726   | -0.119 |     |
| 3.920 | -3.834    | 4.397   | -0.143 |     |
| 4.480 | -1.763    | 3.017   | -0.133 |     |
| 5.040 | -0.418    | 1.830   | -0.107 |     |
| 5.600 | 0.341     | 0.930   | -0.076 |     |
| 6.160 | 0.678     | 0.319   | -0.049 |     |
| 6.720 | 0.744     | -0.046  | -0.027 |     |
| 7.280 | 0.661     | -0.227  | -0.011 |     |
| 7.840 | 0.513     | -0.284  | -0.001 |     |
| 8.400 | 0.356     | -0.268  | 0.004  |     |

㉣ 변형곡선도 및 휨모멘트도



㉔ COMBO 4 : UEB21

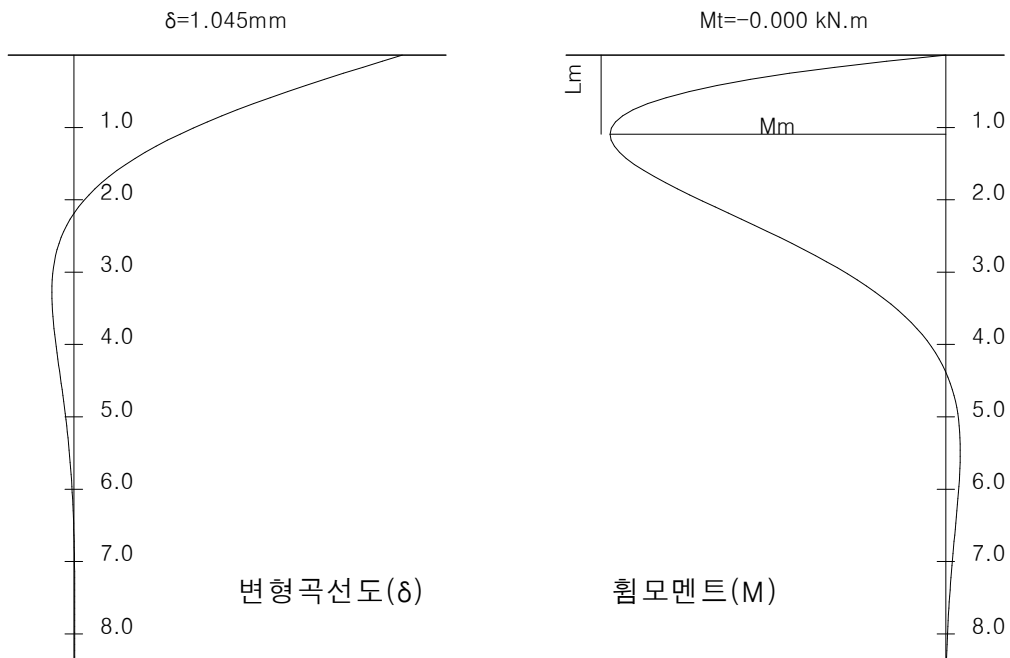
㉔ 말뚝의 최대모멘트 및 변위

- 최대모멘트 및 깊이 : -12.376 kN.m, 1.095 m
- 말뚝머리부의 변위 : 1.045 mm
- 지표면에서의 변위 : 1.045 mm

㉔ 말뚝의 깊이별 모멘트 및 변위

| 깊이(m) | 모멘트(kN.m) | 전단력(kN) | 변위(mm) | 비 고 |
|-------|-----------|---------|--------|-----|
| 0.000 | 0.000     | -27.540 | 1.045  |     |
| 0.560 | -10.044   | -9.755  | 0.643  |     |
| 1.120 | -12.372   | 0.315   | 0.325  |     |
| 1.680 | -10.742   | 4.757   | 0.112  |     |
| 2.240 | -7.692    | 5.718   | -0.008 |     |
| 2.800 | -4.664    | 4.913   | -0.059 |     |
| 3.360 | -2.301    | 3.491   | -0.070 |     |
| 3.920 | -0.746    | 2.101   | -0.059 |     |
| 4.480 | 0.112     | 1.024   | -0.042 |     |
| 5.040 | 0.471     | 0.321   | -0.025 |     |
| 5.600 | 0.531     | -0.063  | -0.012 |     |
| 6.160 | 0.443     | -0.222  | -0.004 |     |
| 6.720 | 0.308     | -0.245  | 0.001  |     |
| 7.280 | 0.181     | -0.202  | 0.003  |     |
| 7.840 | 0.085     | -0.139  | 0.003  |     |
| 8.400 | 0.024     | -0.081  | 0.002  |     |

㉔ 변형곡선도 및 휨모멘트도



## 5) 말뚝의 안정성 검토

### ① 말뚝의 허용지지력 검토

가) 말뚝의 허용지지력 : 선단지지 + 군말뚝의 영향 없음

$$\text{말뚝의 선단면적 } A_p = \pi \times (0.406)^2 / 4 = 0.1272 \text{ m}^2$$

$$R_a = 1/n \times R_u$$

$$R_u = q_d \times A_p ; q_d = 300 \times N$$

$$= 300 \times 40 \times 0.1272$$

$$= 1526.114 \text{ kN}$$

$$R_{a1} = 1/3.0 \times 1526.114 = 508.705 \text{ kN (평상시)}$$

나) 말뚝의 허용 수평변위 검토

$$\text{평상시의 말뚝의 허용 수평변위 } \delta_a = 15.000 > \delta = 1.7096 \text{ mm } 0.K$$

다) 말뚝의 허용인발력

주면 마찰력을 고려하지 않으므로 인발력이 발생해서는 않된다.

라) 하중조합별 검토

| 구 분     |       | V(max)  | V(min)  | Ra(kN)  | Pa(kN) | 비 고 |
|---------|-------|---------|---------|---------|--------|-----|
| COMBO 1 | FIX   | 483.253 | 198.340 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 471.720 | 209.873 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
| COMBO 2 | FIX   | 430.928 | 136.305 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 418.828 | 148.404 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
| COMBO 3 | FIX   | 430.928 | 136.305 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 418.828 | 148.404 | 508.705 | 0.000  | 0.K |
| COMBO 4 | FIX   | 511.050 | 130.431 | 763.057 | 0.000  | 0.K |
|         | HINGE | 504.852 | 136.628 | 763.057 | 0.000  | 0.K |

## ② 말뚝의 응력 검토

가) 말뚝의 이음과 장경비에 따른 허용응력의 감소율 검토

: 『도로교설계기준 해설(하부구조편)』 P223 참조

사용 PILE 본당 길이 : 15.00 m / 본

PILE 길이 : 8.50 m

이음개소수 : 0 개소

말뚝이음에 의한 허용응력 감소율 : 0.00%

장경비 (L/D) = 8.40/0.406 = 20.669 < 100 이므로 장경비에 따른 감소 없음.

따라서 허용응력의 총 감소율은 0.00% 적용

나) 말뚝의 휨응력 검토

$f_{sa} = 140.000 \text{ MPa}$  (평상시)

$f = V/A_p \pm M \times y/I_o$

$= V/0.009 \pm M \times 0.406/2 / 0.00017$

| 구 분     |       | V(kN)   | M(kN.m) | f <sub>max</sub> | f <sub>sa</sub> | 비 고 |
|---------|-------|---------|---------|------------------|-----------------|-----|
| COMBO 1 | FIX   | 483.253 | 16.454  | 75.246           | 140.00          | 0.K |
|         | HINGE | 471.720 | 13.206  | 70.037           | 140.00          | 0.K |
| COMBO 2 | FIX   | 430.928 | 17.262  | 70.194           | 140.00          | 0.K |
|         | HINGE | 418.828 | 13.816  | 64.683           | 140.00          | 0.K |
| COMBO 3 | FIX   | 430.928 | 17.262  | 70.194           | 140.00          | 0.K |
|         | HINGE | 418.828 | 13.816  | 64.683           | 140.00          | 0.K |
| COMBO 4 | FIX   | 511.050 | 8.842   | 69.343           | 210.00          | 0.K |
|         | HINGE | 504.852 | 9.901   | 69.896           | 210.00          | 0.K |

다) 말뚝의 전단응력 검토

$\tau_{sa} = 80.000 \text{ MPa}$  (평상시)

$\tau = \alpha \times H_o / A_p$

$\alpha = 4 \times (D^2 + D \times d + d^2) / (3 \times (D^2 + d^2))$

$= 4 \times (402.4^2 + 402.4 \times 388.4 + 388.4^2) / (3 \times (402.4^2 + 388.4^2))$

$= 2.000$  : 전단형상계수

| 구 분     |       | H(kN)  | $\tau$ | $\tau_{sa}$ | 비 고 |
|---------|-------|--------|--------|-------------|-----|
| COMBO 1 | FIX   | 24.272 | 5.582  | 80.000      | 0.K |
|         | HINGE | 24.272 | 5.582  | 80.000      | 0.K |
| COMBO 2 | FIX   | 25.392 | 5.839  | 80.000      | 0.K |
|         | HINGE | 25.392 | 5.839  | 80.000      | 0.K |
| COMBO 3 | FIX   | 25.392 | 5.839  | 80.000      | 0.K |
|         | HINGE | 25.392 | 5.839  | 80.000      | 0.K |
| COMBO 4 | FIX   | 22.032 | 5.066  | 120.000     | 0.K |
|         | HINGE | 22.032 | 5.066  | 120.000     | 0.K |