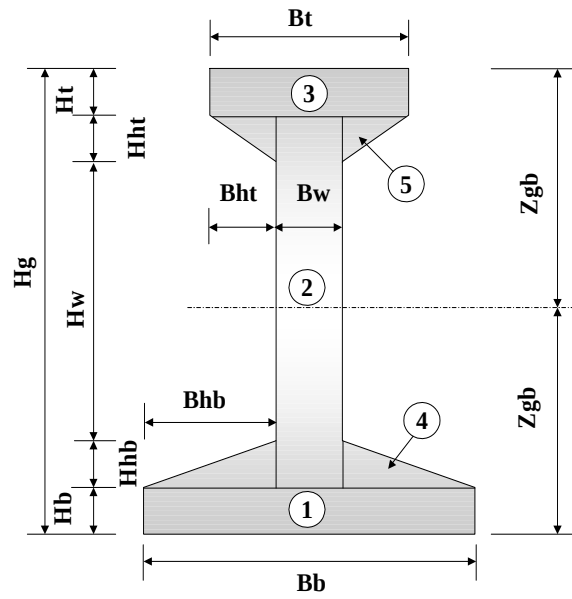


## 5. 단 면 성 질

### 5.1 총 단 면

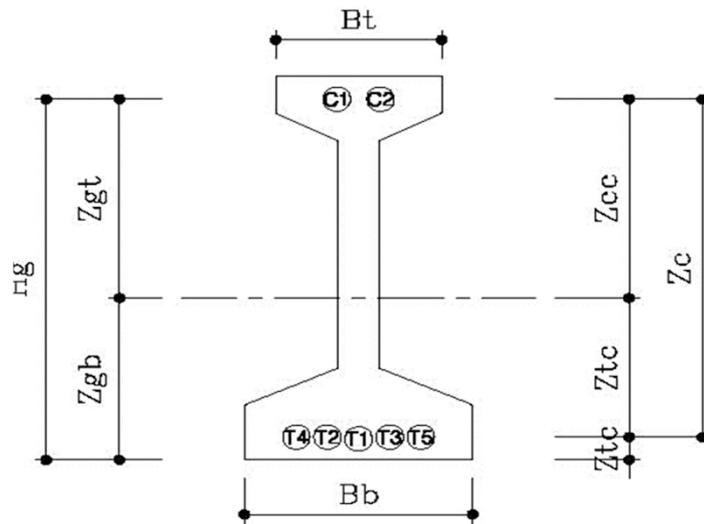


< 단위 : m >

| 요 소     | B × H         | A       | z     | A × z   | A × z <sup>2</sup> | I <sub>o</sub> |
|---------|---------------|---------|-------|---------|--------------------|----------------|
| ① 하부플랜지 | 1.100 × 0.300 | 0.33000 | 0.150 | 0.04950 | 0.00743            | 0.002475       |
| ② 복 부   | 0.200 × 1.900 | 0.38000 | 1.250 | 0.47500 | 0.59375            | 0.114317       |
| ③ 상부플랜지 | 0.800 × 0.200 | 0.16000 | 2.300 | 0.36800 | 0.84640            | 0.000533       |
| ④ 하부현치  | 0.450 × 0.200 | 0.09000 | 0.367 | 0.03300 | 0.01210            | 0.000200       |
| ⑤ 상부현치  | 0.300 × 0.150 | 0.04500 | 2.150 | 0.09675 | 0.20801            | 0.000056       |
| Σ 합 계   | -             | 1.00500 | 1.017 | 1.02225 | 1.66769            | 0.117581       |

- 거더하단에서 중립축까지의 거리( $z_{gb}$ ) =  $\sum(A \times z) / \sum A = -1.017164 \text{ m}$
- 거더상단에서 중립축까지의 거리( $z_{gt}$ ) =  $H_g - Z_{gb} = 1.382836 \text{ m}$
- 중립축에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) =  $\sum I_o + \sum(A \times z^2) - \sum A \times z_{gb}^2 = 0.745473 \text{ m}^4$

## 5.2 순 단 면



▷ PS 강봉 쉬스

< 단위 : m >

| 번호 | 직경(mm) | A       | z     | $A \times z$ | $A \times z^2$ | $I_o$     |
|----|--------|---------|-------|--------------|----------------|-----------|
| C1 | 55     | 0.00238 | 2.275 | 0.00541      | 0.01230        | 4.492E-07 |
| C2 | 55     | 0.00238 | 2.275 | 0.00541      | 0.01230        | 4.492E-07 |
| Σ  | -      | 0.00475 | 2.275 | 0.01081      | 0.02459        | 8.984E-07 |

- 쉬스 도심에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) =  $\sum I_o + \sum (A \times z^2) - \sum A \times zc^2$  : 0.000001 m<sup>4</sup>

▷ PS 강연선 쉬스

< 단위 : m >

| 번호 | 직경(mm) | A       | z     | $A \times z$ | $A \times z^2$ | $I_o$     |
|----|--------|---------|-------|--------------|----------------|-----------|
| T1 | 70     | 0.00385 | 0.115 | 0.00044      | 0.00005        | 1.179E-06 |
| T2 | 105    | 0.00866 | 0.125 | 0.00108      | 0.00014        | 5.967E-06 |
| T3 | 105    | 0.00866 | 0.125 | 0.00108      | 0.00014        | 5.967E-06 |
| T4 | 105    | 0.00866 | 0.125 | 0.00108      | 0.00014        | 5.967E-06 |
| T5 | 105    | 0.00866 | 0.125 | 0.00108      | 0.00014        | 5.967E-06 |
| Σ  | -      | 0.03848 | 0.124 | 0.00477      | 0.00059        | 2.504E-05 |

- 쉬스 도심에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) =  $\sum I_o + \sum (A \times z^2) - \sum A \times zt^2$  : 0.000025 m<sup>4</sup>

▷ 순단면

< 단위 : m >

| 요 소       | A        | z     | $A \times z$ | $A \times z^2$ | $I_o$     |
|-----------|----------|-------|--------------|----------------|-----------|
| 총 단 면     | 1.00500  | 1.017 | 1.02225      | 1.03980        | 0.745473  |
| PS 강봉 쉬스  | -0.00475 | 2.275 | -0.01081     | -0.02459       | -0.000001 |
| PS 강연선 쉬스 | -0.03848 | 0.124 | -0.00477     | -0.00059       | -0.000025 |
| Σ         | 0.96176  | 1.047 | 1.00667      | 1.01461        | 0.745446  |

- 거더하단에서 중립축까지의 거리( $z_{gb}$ ) =  $\sum (A \times z) / \sum A$  = -1.046689 m

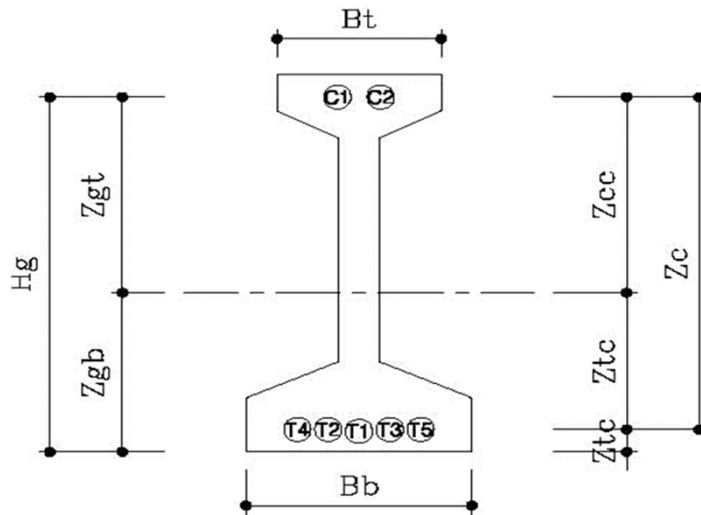
- 거더상단에서 중립축까지의 거리( $z_{gt}$ ) =  $H_g - Z_{gb}$  = 1.353311 m

- PS 강봉 쉬스 도심에서 중립축까지의 거리( $z_{cc}$ ) =  $z_c - z_{gb}$  = 1.228311 m

- PS 강연선 쉬스 도심에서 중립축까지의 거리( $z_{tc}$ ) =  $z_{gb} - z_t$  = -0.922689 m

- 중립축에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) =  $\sum I_o + \sum (A \times y^2) - \sum A \times z_{gb}^2$  : 0.706389 m<sup>4</sup>

### 5.3 PS강재 환산단면



▷ PS 강봉

< 단위 : m >

| 번호 | 직경(mm) | A       | z     | A×z     | A×z <sup>2</sup> | lo        |
|----|--------|---------|-------|---------|------------------|-----------|
| C1 | 40     | 0.00126 | 2.275 | 0.00286 | 0.00651          | 1.257E-07 |
| C2 | 40     | 0.00126 | 2.275 | 0.00286 | 0.00651          | 1.257E-07 |
| Σ  | -      | 0.00251 | 2.275 | 0.00572 | 0.01301          | 2.513E-07 |

- PS 강봉 도심에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) =  $\sum I_o + \sum (A \times z^2) - \sum A \times zc^2 = 2.513E-07 \text{ m}^4$

▷ PS 강연선

< 단위 : m >

| 번호 | 가닥수 | A       | y      | A×z     | A×z <sup>2</sup> | lo        |
|----|-----|---------|--------|---------|------------------|-----------|
| T1 | 7   | 0.00097 | 0.115  | 0.00011 | 0.00001          | 7.501E-08 |
| T2 | 17  | 0.00236 | 0.125  | 0.00029 | 0.00004          | 4.424E-07 |
| T3 | 17  | 0.00236 | 0.125  | 0.00029 | 0.00004          | 4.424E-07 |
| T4 | 17  | 0.00236 | 0.125  | 0.00029 | 0.00004          | 4.424E-07 |
| T5 | 17  | 0.00236 | 0.125  | 0.00029 | 0.00004          | 4.424E-07 |
| Σ  | -   | 0.01040 | 0.1241 | 0.00129 | 0.00016          | 1.845E-06 |

- PS 강연선 도심에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) =  $\sum I_o + \sum (A \times z^2) - \sum A \times zt^2 = 1.9327E-06 \text{ m}^4$

▷ 단면의 합성

< 단위 : m >

| 요 소    | n     | A       | z     | A×z     | A×z <sup>2</sup> | lo        |
|--------|-------|---------|-------|---------|------------------|-----------|
| 순 단 면  | 1.000 | 0.96176 | 1.047 | 1.00667 | 1.05367          | 0.706389  |
| PS 강봉  | 6.665 | 0.01676 | 2.275 | 0.03812 | 0.08672          | 1.675E-06 |
| PS 강연선 | 6.665 | 0.06933 | 0.124 | 0.00860 | 0.00107          | 1.288E-05 |
| Σ      | -     | 1.04785 | 1.005 | 1.05339 | 1.14146          | 0.706404  |

- 거더하단에서 중립축까지의 거리( $z_{gb}$ ) =  $\sum (A \times z) / \sum A = -1.005284 \text{ m}$

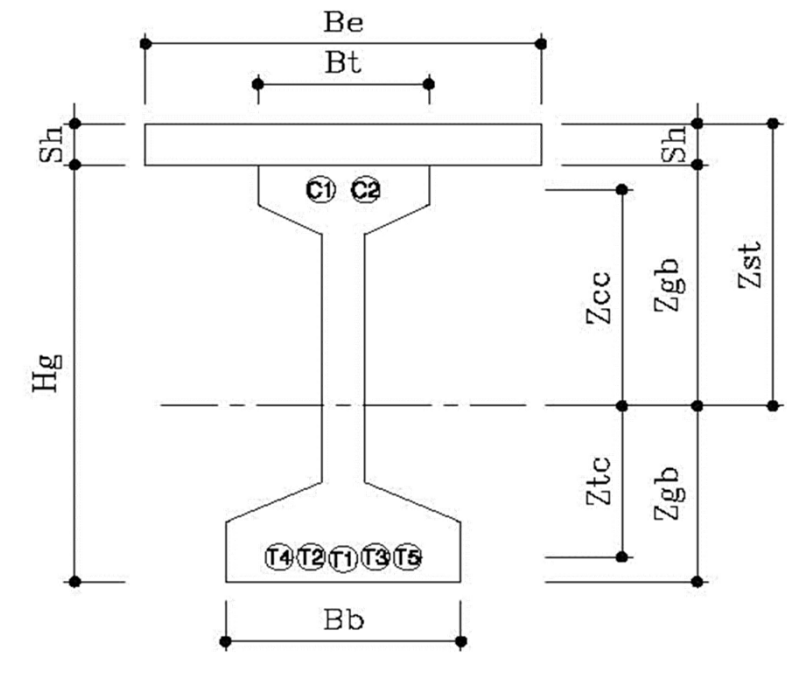
- 거더상단에서 중립축까지의 거리( $z_{gt}$ ) =  $H_g - Z_{gb} = 1.394716 \text{ m}$

- PS 강봉 도심에서 중립축까지의 거리( $z_{cc}$ ) =  $z_c - z_{gb} = 1.269716 \text{ m}$

- PS 강연선 도심에서 중립축까지의 거리( $z_{tc}$ ) =  $z_{gb} - z_t = -0.881217 \text{ m}$

- 중립축에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) =  $\sum I_o + \sum (A \times y^2) - \sum A \times z_{gb}^2 = 0.788906 \text{ m}^4$

### 5.4.1 G1 거더



- 유효폭 산정(도로교 설계기준 4.2.2.6 )

※ b1 = 복부폭을 포함한 바닥판 캔틸레버 길이 = 1.305 m

거더 경간의  $1/12 + b_1$  = 5.388 m

$$6 \times \text{바닥판 두께} + b1 = 2.745 \text{ m}$$

$$\text{인접거더와의 순경간의 } 1/2 + b_1 = 2.455 \text{ m}$$

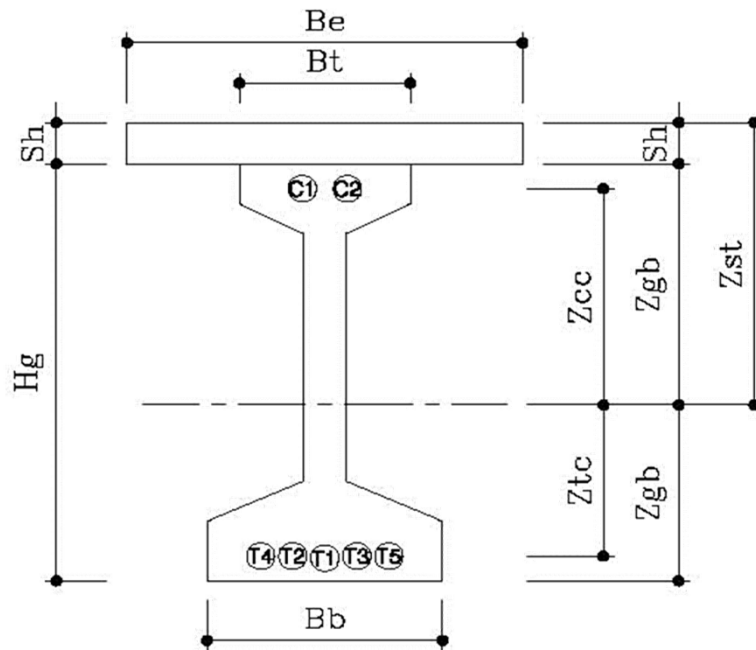
압축플랜지의 유효폭(최소값) = 2.455 m

< 단위 : m >

| 요 소       | n     | A       | z     | $A \times z$ | $A \times z^2$ | lo       |
|-----------|-------|---------|-------|--------------|----------------|----------|
| PS강재 환산단면 | 1.000 | 1.04785 | 1.005 | 1.05339      | 1.05896        | 0.788906 |
| 바닥판       | 0.890 | 0.52439 | 2.520 | 1.32146      | 3.33007        | 0.002517 |
| $\Sigma$  | -     | 1.57224 | 1.510 | 2.37485      | 4.38903        | 0.791423 |

- |                                                                                           |           |                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------------|
| - 거더하단에서 중립축까지의 거리( $z_{gb}$ ) = $\sum(A \times z) / \sum A$ =                            | -1.510486 | m              |
| - 거더상단에서 중립축까지의 거리( $z_{gt}$ ) = $H_g - Z_{gb}$ =                                         | 0.889514  | m              |
| - PS 강봉 도심에서 중립축까지의 거리( $z_{cc}$ ) = $z_c - z_{gb}$ =                                     | 0.764514  | m              |
| - PS 강연선 도심에서 중립축까지의 거리( $z_{tc}$ ) = $z_{gb} - z_t$ =                                    | -1.386419 | m              |
| - 바닥판 상연에서 중립축까지의 거리( $z_{st}$ ) = $z_{gt} + sh$ =                                        | 1.129514  | m              |
| - 중립축에 대한 단면 2차모멘트( $I_{yy}$ ) = $\sum I_o + \sum(A \times y^2) - \sum A \times z_{gb}^2$ | 1.593279  | m <sup>4</sup> |

#### 5.4.2 G2~G4 거더



- 유효폭 산정(도로교 설계기준 4.2.2.6 )

$$\text{거더 경간의 } 1/4 = 12.25 \text{ m}$$

$$16 \times \text{바닥판 두께} + \text{복부폭} = 4.040 \text{ m}$$

$$\text{양쪽 바닥판의 중심간 거리} = 2.500 \text{ m}$$

$$\text{압축플랜지의 유효폭(최소값)} = 2.500 \text{ m}$$

< 단위 : m >

| 요 소       | n     | A       | z     | A×z     | A×z <sup>2</sup> | lo       |
|-----------|-------|---------|-------|---------|------------------|----------|
| PS강재 환산단면 | 1.000 | 1.04785 | 1.005 | 1.05339 | 1.05896          | 0.788906 |
| 바닥판       | 0.890 | 0.53400 | 2.520 | 1.34568 | 3.39111          | 0.002563 |
| Σ         | -     | 1.58185 | 1.517 | 2.39907 | 4.45007          | 0.791469 |

$$\text{- 거더하단에서 중립축까지의 거리}(z_{gb}) = \Sigma(A \times z) / \Sigma A = -1.516620 \text{ m}$$

$$\text{- 거더상단에서 중립축까지의 거리}(z_{gt}) = H_g - Z_{gb} = 0.883380 \text{ m}$$

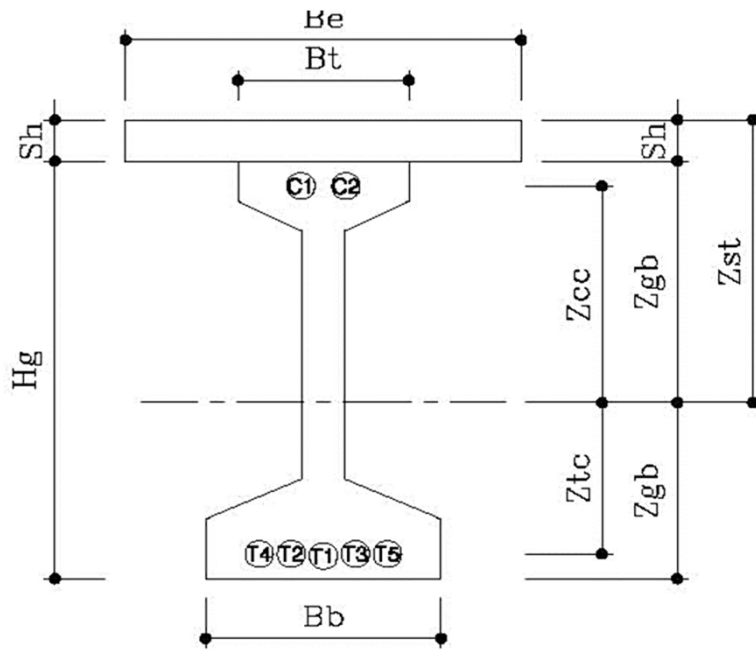
$$\text{- PS 강봉 도심에서 중립축까지의 거리}(z_{cc}) = z_c - z_{gb} = 0.758380 \text{ m}$$

$$\text{- PS 강연선 도심에서 중립축까지의 거리}(z_{tc}) = z_{gb} - z_t = -1.392554 \text{ m}$$

$$\text{- 바닥판 상연에서 중립축까지의 거리}(z_{st}) = z_{gt} + sh = 1.123380 \text{ m}$$

$$\text{- 중립축에 대한 단면 2차모멘트}(I_{yy}) = \Sigma I_o + \Sigma(A \times y^2) - \Sigma A \times z_{gb}^2 = 1.603061 \text{ m}^4$$

#### 5.4.3 G5 거더



- 유효폭 산정(도로교 설계기준 4.2.2.6 )

※  $b_1$  = 복부폭을 포함한 바닥판 캔틸레버 길이 = 1.350 m

$$\text{거더 경간의 } 1/12 + b_1 = 5.433 \text{ m}$$

$$6 \times \text{바닥판 두께} + b_1 = 2.790 \text{ m}$$

$$\text{인접거더와의 순경간의 } 1/2 + b_1 = 2.500 \text{ m}$$

$$\text{압축플랜지의 유효폭(최소값)} = 2.500 \text{ m}$$

< 단위 : m >

| 요 소       | n     | A       | z     | $A \times z$ | $A \times z^2$ | $I_o$    |
|-----------|-------|---------|-------|--------------|----------------|----------|
| PS강재 환산단면 | 1.000 | 1.04785 | 1.005 | 1.05339      | 1.05896        | 0.788906 |
| 바닥판       | 0.890 | 0.53400 | 2.520 | 1.34568      | 3.39111        | 0.002563 |
| $\Sigma$  | -     | 1.58185 | 1.517 | 2.39907      | 4.45007        | 0.791469 |

$$\text{- 거더하단에서 중립축까지의 거리}(z_{gb}) = \Sigma(A \times z) / \Sigma A = -1.516620 \text{ m}$$

$$\text{- 거더상단에서 중립축까지의 거리}(z_{gt}) = H_g - Z_{gb} = 0.883380 \text{ m}$$

$$\text{- PS 강봉 도심에서 중립축까지의 거리}(z_{cc}) = z_c - z_{gb} = 0.758380 \text{ m}$$

$$\text{- PS 강연선 도심에서 중립축까지의 거리}(z_{tc}) = z_{gb} - z_t = -1.392554 \text{ m}$$

$$\text{- 바닥판 상연에서 중립축까지의 거리}(z_{st}) = z_{gt} + sh = 1.123380 \text{ m}$$

$$\text{- 중립축에 대한 단면 2차모멘트}(I_{yy}) = \Sigma I_o + \Sigma(A \times y^2) - \Sigma A \times z_{gb}^2 = 1.603061 \text{ m}^4$$

## 5.5 단면성질 요약

### 5.5.1 G1 거더

< 단위 : m >

| 구 분       | A       | l <sub>yy</sub> | z <sub>st</sub> | z <sub>gt</sub> | z <sub>gb</sub> | z <sub>cc</sub> | z <sub>tc</sub> |
|-----------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 총 단 면     | 1.00500 | 0.745473        | -               | 1.383           | -1.017          | -               | -               |
| 순 단 면     | 0.96176 | 0.706389        | -               | 1.353           | -1.047          | 1.228           | -0.923          |
| PS강재 환산단면 | 1.04785 | 0.788906        | -               | 1.395           | -1.005          | 1.270           | -0.881          |
| 바닥판 합성단면  | 1.57224 | 1.593279        | 1.130           | 0.890           | -1.510          | 0.765           | -1.386          |

### 5.5.2 G2~G4 거더

< 단위 : m >

| 구 분       | A       | l <sub>yy</sub> | z <sub>st</sub> | z <sub>gt</sub> | z <sub>gb</sub> | z <sub>cc</sub> | z <sub>tc</sub> |
|-----------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 총 단 면     | 1.00500 | 0.745473        | -               | 1.383           | -1.017          | -               | -               |
| 순 단 면     | 0.96176 | 0.706389        | -               | 1.353           | -1.047          | 1.228           | -0.923          |
| PS강재 환산단면 | 1.04785 | 0.788906        | -               | 1.395           | -1.005          | 1.270           | -0.881          |
| 바닥판 합성단면  | 1.58185 | 1.603061        | 1.123           | 0.883           | -1.517          | 0.758           | -1.393          |

### 5.5.3 G5 거더

< 단위 : m >

| 구 분       | A       | l <sub>yy</sub> | z <sub>st</sub> | z <sub>gt</sub> | z <sub>gb</sub> | z <sub>cc</sub> | z <sub>tc</sub> |
|-----------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 총 단 면     | 1.00500 | 0.745473        | -               | 1.383           | -1.017          | -               | -               |
| 순 단 면     | 0.96176 | 0.706389        | -               | 1.353           | -1.047          | 1.228           | -0.923          |
| PS강재 환산단면 | 1.04785 | 0.788906        | -               | 1.395           | -1.005          | 1.270           | -0.881          |
| 바닥판 합성단면  | 1.58185 | 1.603061        | 1.123           | 0.883           | -1.517          | 0.758           | -1.393          |

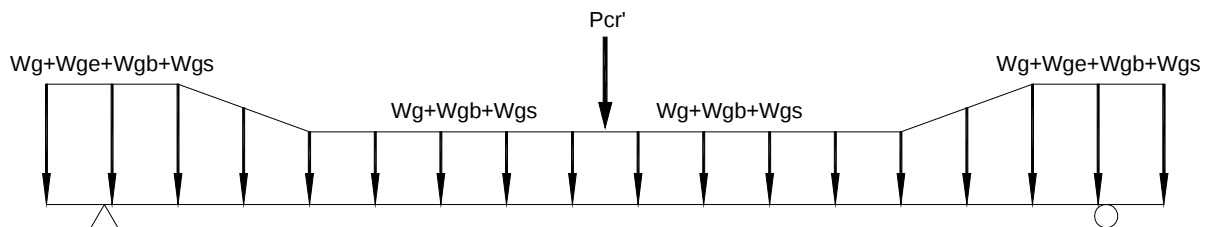
## 6. 설 계 하 중

### 6.1 거 더 자 중

#### 6.1.1 하중산정 (모든거더에 대해 동일하게 작용)

| 구 분              | 산 출 근 거                                                                                                              |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 거더본체 (Wg)        | $A_{net} \times w_{gc} = 0.962 \times 25000 = 24044 \text{ N/m}$                                                     |
| 단부보강 (Wge)       | $A_{var} \times w_{gc} = 1.015 \times 25000 = 25375 \text{ N/m}$                                                     |
| 가 로 보 (Pcr')     | $A_{var} \times L_{cr} \times w_{gc} \times e_a = 1.015 \times 1 \times 25000 \times 1 \text{ EA} = 15225 \text{ N}$ |
| 강 봉 (Wgb)        | $w_{1cm} \times C_{ea} = 102.1 \times 2 \text{ EA} = 204 \text{ N/m}$                                                |
| T1 강연선 (Wgs1)    | $w_{1tm} \times T_{ea} = 11.01 \times 7 \text{ EA} = 77 \text{ N/m}$                                                 |
| T2~T5 강연선 (Wgs2) | $w_{2tm} \times T_{ea} = 11.01 \times 4 \text{ EA} \times 17 \text{ EA} = 749 \text{ N/m}$                           |

#### 6.1.2 모델링 (저항단면 : 순단면)



### 6.2 합성전 고정하중

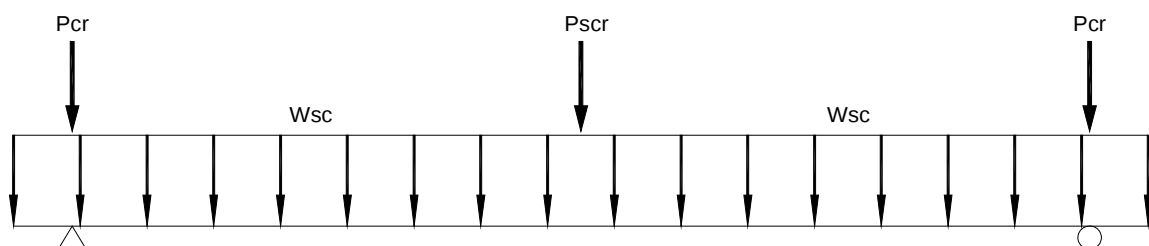
#### 6.2.1 바닥판 콘크리트(Wsc)

- (1) G1 거더 :  $0.240 \times 2.455 \times 25000 = 14730 \text{ N/m}$
- (2) G2~G4 거더 :  $0.240 \times 2.500 \times 25000 = 15000 \text{ N/m}$
- (3) G5 거더 :  $0.240 \times 2.500 \times 25000 = 15000 \text{ N/m}$

#### 6.2.2 가로보 콘크리트(Pcr)

- (1) G1 거더 :  $0.300 \times 2.033 \times 1.25 \times 25000 = 19063 \text{ N}$
- (2) G2~G4 거더 :  $0.300 \times 2.033 \times 2.50 \times 25000 = 38125 \text{ N}$
- (3) G5 거더 :  $0.300 \times 2.033 \times 1.25 \times 25000 = 19063 \text{ N}$

#### 6.2.3 모델링 (저항단면 : PS강재 환산단면)



### 6.3. 합성후 고정하중(AL단계)

#### (1) 좌측 캔틸레버 하중

- 방호벽(좌) :  $A \times w = 0.398 \times 25000 = 9955 \text{ N/m}$

#### (2) 우측 캔틸레버 하중

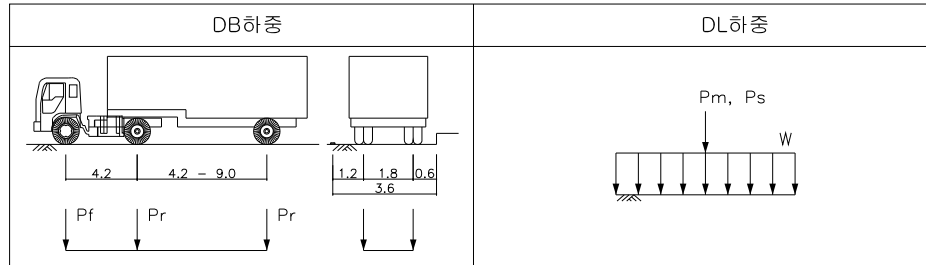
- 중분대(우) :  $A \times w = 0.421 \times 25000 = 10531 \text{ N/m}$

#### (3) 중앙부 하중

- 포장하중 :  $t \times w = 0.050 \times 23500 = 1175 \text{ N/m}^2$

#### 6.4. 활하중(LL단계)

- (1) 차 로 수 : 3 차로
- (2) 차 로 폭 : 3.6 m
- (3) 적용하중(1등급)



- 1) DB24 : DBr = 96.00 kN  
DBf = 24.00 kN
- 2) DL24 : DLw = 12.70 kN/m  
: DLm = 108.00 kN  
: DLs = 156.00 kN

## 7. 하중 횡분배계수의 산정

▶ 직교 이방성 판이론에 기초한 Guyon-Massonnet Method에 의해 하중의 횡방향 분배계수를 산정한다

### 7.1. 분배요소의 강성 및 단면계수요약(평균치)

|             | 주거더(g)   | 바닥판(s)   |
|-------------|----------|----------|
| 단면2차모멘트(I)  | 1.622340 | 0.001152 |
| 탄 성 계 수 (E) | 30891    | 27804    |
| 전단 탄성계수(G)  | 13235    | 11913    |
| 비틀림 상수 (J)  | 0.025518 | 0.003911 |
| 요소 중심간격(V)  | 2.500    | 1.000    |

### 7.2. 격자구조의 휨강성 및 비틀림 영향계수

#### 7.2.1. 휨강성 영향계수( $\Theta$ )

- (1) 교량폭의 1/2 ;  $B_b = 6.225\text{m}$
- (2) 거더의 평균지간 ;  $L = 49.000\text{m}$
- (3) 주거더의 휨강성 ;  $C_x = E_g \times I_g / V_g = 20046.320$
- (4) 바닥판의 휨강성 ;  $C_y = E_s \times I_s / V_s = 32.030$
- (5) 휨강성 영향계수 ;  $\Theta = ( B_b / L ) \times \sqrt[4]{ ( C_x / C_y ) } = 0.635$

#### 7.2.2. 비틀림강성 영향계수( $\alpha$ )

- (1) 주거더의 비틀림강성 ;  $D_x = G_g \times J_g / V_g = 135.095$
- (2) 바닥판의 비틀림강성 ;  $D_y = G_s \times J_s / V_s = 46.590$
- (3) 비틀림 영향계수 ;  $\alpha = ( D_x + D_y ) / 2\sqrt{ ( C_x \times C_y ) } = 0.113$

### 7.3. Y.Guyon & C.Massonnet Method

#### 7.3.1. a=0일 때의 영향선 종거(K0)

$$K0 = 2 \times \lambda \times B_b \times [A] \times [B] \times [C]$$

$$[A] = \begin{bmatrix} \cos(\lambda \cdot y) \cdot \cosh(\lambda \cdot y) \\ \cos(\lambda \cdot y) \cdot \sinh(\lambda \cdot y) \\ \sin(\lambda \cdot y) \cdot \cosh(\lambda \cdot y) \\ \sin(\lambda \cdot y) \cdot \sinh(\lambda \cdot y) \end{bmatrix}, [C] = \begin{bmatrix} \cos(\lambda \cdot e) \cdot \sinh(\lambda \cdot e) - \sin(\lambda \cdot e) \cdot \cosh(\lambda \cdot e) \\ \sin(\lambda \cdot e) \cdot \sinh(\lambda \cdot e) - \cos(\lambda \cdot e) \cdot \cosh(\lambda \cdot e) \\ \sin(\lambda \cdot e) \cdot \sinh(\lambda \cdot e) + \cos(\lambda \cdot e) \cdot \cosh(\lambda \cdot e) \\ -\cos(\lambda \cdot e) \cdot \sinh(\lambda \cdot e) - \sin(\lambda \cdot e) \cdot \cosh(\lambda \cdot e) \end{bmatrix}$$

$$[B] = \begin{bmatrix} \pm \frac{1}{2} & \frac{-\cosh^2(\lambda \cdot B_b)}{Y_o} & \frac{\cos^2(\lambda \cdot B_b)}{Y_o} & 0 \\ \frac{-\sinh^2(\lambda \cdot B_b)}{X_o} & \pm \frac{1}{2} & 0 & \frac{-\cos^2(\lambda \cdot B_b)}{X_o} \\ \frac{-\sin^2(\lambda \cdot B_b)}{X_o} & 0 & \pm \frac{1}{2} & \frac{-\cosh^2(\lambda \cdot B_b)}{X_o} \\ 0 & \frac{\sin^2(\lambda \cdot B_b)}{Y_o} & \frac{-\sinh^2(\lambda \cdot B_b)}{Y_o} & \pm \frac{1}{2} \end{bmatrix}$$

$$\lambda : \frac{\pi \cdot \theta}{\sqrt{2} \cdot B_b}, B_b : \text{저항폭의 } \frac{1}{2} \text{ ( m )}$$

y : 저항폭 중심에서 분배계수를 구하는 점까지의 거리 ( m )

e : 저항폭 중심에서 영향선 값을 구하는 점까지의 거리 ( m )

$$X_o : 2 \cdot \{ \sinh(\lambda \cdot B_b) \cdot \cosh(\lambda \cdot B_b) - \sin(\lambda \cdot B_b) \cdot \cos(\lambda \cdot B_b) \}$$

$$Y_o : 2 \cdot \{ \sinh(\lambda \cdot B_b) \cdot \cosh(\lambda \cdot B_b) + \sin(\lambda \cdot B_b) \cdot \cos(\lambda \cdot B_b) \}$$

· 매트릭스 [B]에서 ±의 부호는, y < e일 때 +를, y ≥ e일 때 -를 취한다.

#### 7.3.2. a=1일 때의 영향선 종거(K1)

$$K1 = 1/2 \times \sigma \times B_b \times [D] \times [E] \times [F]$$

$$[D] = \begin{bmatrix} \cosh(\sigma \cdot y) \\ \sinh(\sigma \cdot y) \\ (\sigma \cdot y) \cdot \cosh(\sigma \cdot y) \\ (\sigma \cdot y) \cdot \sinh(\sigma \cdot y) \end{bmatrix}, [F] = \begin{bmatrix} \sinh(\sigma \cdot e) - (\sigma \cdot e) \cdot \cosh(\sigma \cdot e) \\ -\cosh(\sigma \cdot e) - (\sigma \cdot e) \cdot \sinh(\sigma \cdot e) \\ \cosh(\sigma \cdot e) \\ -\sinh(\sigma \cdot e) \end{bmatrix}$$

$$[E] = \begin{bmatrix} \pm 1 & \frac{2+3 \cdot \sinh^2(\sigma \cdot B_b)}{X_1} & \frac{-2-(\sigma \cdot B_b)}{X_1} & 0 \\ \frac{2-3 \cdot \cosh^2(\sigma \cdot B_b)}{Y_1} & \pm 1 & 0 & \frac{-2-(\sigma \cdot B_b)}{Y_1} \\ -\frac{1}{Y_1} & 0 & \pm 1 & \frac{-2-3 \cdot \sinh^2(\sigma \cdot B_b)}{Y_1} \\ 0 & -\frac{1}{X_1} & \frac{-2+3 \cdot \cosh^2(\sigma \cdot B_b)}{X_1} & \pm 1 \end{bmatrix}$$

$$\sigma : \sqrt{2} \cdot \lambda$$

$$X_1 : (\sigma \cdot B_b) - 3 \cdot \sinh(\sigma \cdot B_b) \cdot (\sigma \cdot B_b)$$

$$Y_1 : (\sigma \cdot B_b) + 3 \cdot \sinh(\sigma \cdot B_b) \cdot (\sigma \cdot B_b)$$

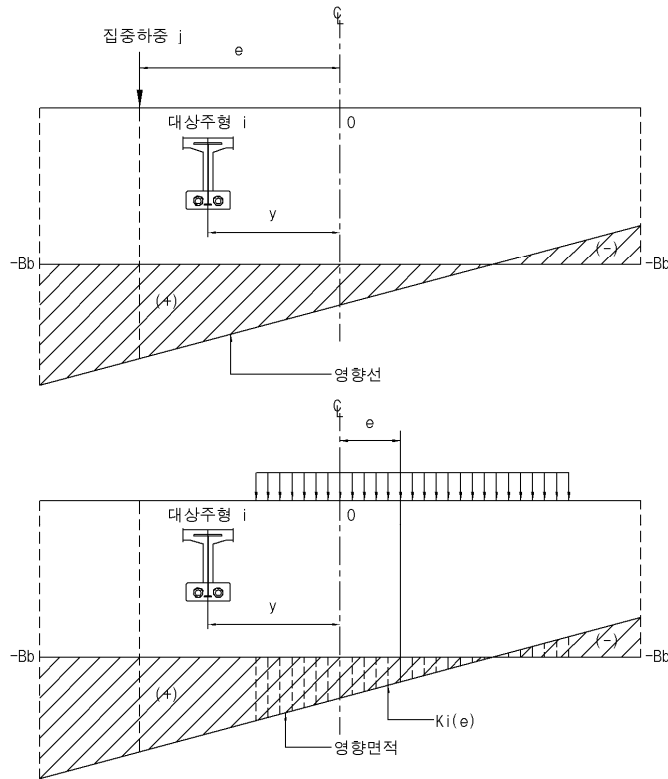
· 매트릭스 [E]에서 ±의 부호는, y < e일 때 -, y ≥ e일 때 +를 취한다.

y, e는 저항폭중심에서 좌측에 있을 때는 -, 우측에 있을 때는 +의 값으로 한다.

### 7.3.3. 임의의 a에 대한 영향선 종거(Ka)

$$K_a = K_0 + (K_1 - K_0) \times \sqrt{(\alpha)}$$

### 7.3.4. 하중분배계수



집중하중

$$K_{ai} = K_{aij} / N_g$$

분포하중

$$K_{ai} = \int \frac{K_{ai}(e)}{N_g} \cdot de$$

### 7.4. 횡방향 등분점에 대한 영향선 종거

|          | 거더<br>위치(m) | G1     | G2     | G3    | G4     | G5     | 합계<br>(Σ) |
|----------|-------------|--------|--------|-------|--------|--------|-----------|
| -1.00×Bb | -6.225      | -0.081 | -0.028 | 0.081 | 0.314  | 0.714  | 1.000     |
| -0.75×Bb | -4.669      | -0.043 | 0.030  | 0.144 | 0.324  | 0.545  | 1.000     |
| -0.50×Bb | -3.112      | -0.002 | 0.091  | 0.206 | 0.325  | 0.379  | 1.000     |
| -0.25×Bb | -1.556      | 0.052  | 0.158  | 0.259 | 0.293  | 0.238  | 1.000     |
| 0.00×Bb  | 0.000       | 0.128  | 0.227  | 0.285 | 0.229  | 0.131  | 1.000     |
| 0.25×Bb  | 1.556       | 0.236  | 0.291  | 0.260 | 0.159  | 0.054  | 1.000     |
| 0.50×Bb  | 3.112       | 0.376  | 0.324  | 0.206 | 0.093  | 0.000  | 1.000     |
| 0.75×Bb  | 4.669       | 0.542  | 0.323  | 0.145 | 0.032  | -0.041 | 1.000     |
| 1.00×Bb  | 6.225       | 0.708  | 0.314  | 0.083 | -0.026 | -0.078 | 1.000     |

#### 7.5. 합성후 고정하중에 대한 하중 분배계수

|        | 거더<br>위치(m) | G1<br>5.025 | G2<br>2.525 | G3<br>0.025 | G4<br>-2.475 | G5<br>-4.975 | 합계<br>( $\Sigma$ ) |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|
| 방호벽(좌) | 6.037       | 0.688       | 0.315       | 0.090       | -0.019       | -0.074       | 1.000              |
| 중분대(우) | -5.920      | -0.073      | -0.017      | 0.094       | 0.316        | 0.681        | 1.000              |
| 포장하중   | 0.080       | 2.212       | 2.351       | 2.391       | 2.313        | 2.123        | 11.390             |

## 7.6. 활하중에 대한 하중 분배계수

### 7.6.1. 차로별 영향선 종거

#### (1) DB하중

|     | 거더<br>위치(m) | G1<br>5.025 | G2<br>2.525 | G3<br>0.025 | G4<br>-2.475 | G5<br>-4.975 | 합계<br>( $\Sigma$ ) |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|
| DB1 | 4.275       | 0.999       | 0.646       | 0.321       | 0.095        | -0.061       | 2.000              |
| DB2 | 0.675       | 0.353       | 0.509       | 0.543       | 0.397        | 0.197        | 2.000              |
| DB3 | -2.925      | 0.012       | 0.200       | 0.423       | 0.634        | 0.731        | 2.000              |

#### (2) DL하중

|     | 거더<br>위치(m) | G1<br>5.025 | G2<br>2.525 | G3<br>0.025 | G4<br>-2.475 | G5<br>-4.975 | 합계<br>( $\Sigma$ ) |
|-----|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------------|
| DL1 | 4.275       | 0.499       | 0.325       | 0.161       | 0.047        | -0.032       | 1.000              |
| DL2 | 0.675       | 0.171       | 0.257       | 0.279       | 0.199        | 0.094        | 1.000              |
| DL3 | -2.925      | 0.004       | 0.099       | 0.213       | 0.324        | 0.360        | 1.000              |

### 7.6.2. 하중조합에 따른 하중 분배계수

#### (1) DB하중

|       | G1    | G2    | G3    | G4    | G5     | 합계    |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| DB1   | 0.999 | 0.646 | 0.321 | 0.095 | -0.061 | 2.000 |
| DB2   | 0.353 | 0.509 | 0.543 | 0.397 | 0.197  | 2.000 |
| DB3   | 0.012 | 0.200 | 0.423 | 0.634 | 0.731  | 2.000 |
| DB12  | 1.352 | 1.155 | 0.864 | 0.492 | 0.136  | 4.000 |
| DB13  | 1.012 | 0.846 | 0.744 | 0.729 | 0.670  | 4.000 |
| DB23  | 0.365 | 0.709 | 0.966 | 1.032 | 0.928  | 4.000 |
| DB123 | 1.228 | 1.219 | 1.158 | 1.014 | 0.780  | 5.400 |

#### (2) DL하중

|       | G1    | G2    | G3    | G4    | G5     | 합계    |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| DL1   | 0.499 | 0.325 | 0.161 | 0.047 | -0.032 | 1.000 |
| DL2   | 0.171 | 0.257 | 0.279 | 0.199 | 0.094  | 1.000 |
| DL3   | 0.004 | 0.099 | 0.213 | 0.324 | 0.360  | 1.000 |
| DL12  | 0.670 | 0.582 | 0.440 | 0.246 | 0.063  | 2.000 |
| DL13  | 0.503 | 0.424 | 0.373 | 0.370 | 0.329  | 2.000 |
| DL23  | 0.175 | 0.356 | 0.492 | 0.522 | 0.455  | 2.000 |
| DL123 | 0.606 | 0.613 | 0.588 | 0.512 | 0.381  | 2.700 |

## 8. 설계 단면력 집계

### 8.1 시간중양부의 휨모멘트 집계(kN · m)

| 구 분      | G1      | G2~G4   | G5      | 저 항 단 면   | 비 고 |
|----------|---------|---------|---------|-----------|-----|
| 거더 자중    | 7882.0  | 7882.0  | 7882.0  | 순 단 면     |     |
| 합성전 고정하중 | 4643.9  | 4967.4  | 4733.9  | PS강재 환산단면 |     |
| 합성후 고정하중 | 1924.5  | 2072.1  | 1993.3  | 바닥판 합성단면  |     |
| DB 활하중   | 3899.3  | 3312.4  | 3123.4  |           |     |
| DL 활하중   | 4211.8  | 3533.2  | 3394.1  |           |     |
| 균중하중     | 0.0     | 0.0     | 0.0     |           |     |
| MAX      | 4211.8  | 3533.2  | 3394.1  |           |     |
| 합 계      | 18662.2 | 18454.7 | 18003.3 |           |     |

### 8.2 시간지점부의 전단력 집계(kN)

| 구 분      | G1     | G2~G4  | G5     | 저 항 단 면   | 비 고 |
|----------|--------|--------|--------|-----------|-----|
| 거더 자중    | 692.8  | 692.8  | 692.8  | 순 단 면     |     |
| 합성전 고정하중 | 369.7  | 386.6  | 377.0  | PS강재 환산단면 |     |
| 합성후 고정하중 | 183.5  | 154.7  | 189.5  | 바닥판 합성단면  |     |
| DB 활하중   | 382.7  | 373.8  | 282.7  |           |     |
| DL 활하중   | 396.0  | 367.3  | 295.9  |           |     |
| 균중하중     | 0.0    | 0.0    | 0.0    |           |     |
| MAX      | 396.0  | 373.8  | 295.9  |           |     |
| 합 계      | 1642.0 | 1607.9 | 1555.3 |           |     |

### 8.3 반력종합

#### 8.3.1 S1 시점측(단위:kN)

| 위 치                   |       | G1       | G2       | G3       | G4       | G5       | 비 고 |
|-----------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 자 중                   |       | 715.642  | 715.642  | 715.642  | 715.642  | 715.642  |     |
| 거푸집                   |       | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    |     |
| 합성전                   |       | 395.359  | 431.438  | 431.438  | 431.438  | 402.844  |     |
| 합성후                   |       | 190.501  | 155.214  | 146.395  | 160.794  | 192.124  |     |
| ADD                   |       | 1301.502 | 1302.294 | 1293.475 | 1307.874 | 1310.610 |     |
| 좌<br>측<br>편<br>재<br>하 | DB1   | 275.958  | 196.796  | 113.761  | 41.459   | 11.540   |     |
|                       | DB2   | 120.343  | 152.220  | 158.866  | 121.668  | 76.321   |     |
|                       | DB3   | 22.347   | 71.948   | 134.027  | 191.159  | 209.297  |     |
|                       | DB12  | 394.675  | 348.669  | 271.270  | 160.353  | 73.601   |     |
|                       | DB13  | 296.703  | 268.402  | 246.436  | 229.868  | 206.582  |     |
|                       | DB23  | 142.693  | 224.171  | 292.916  | 312.829  | 285.620  |     |
|                       | DB123 | 375.319  | 378.555  | 364.786  | 316.370  | 254.611  |     |
|                       | DL1   | 293.283  | 191.239  | 114.234  | 44.131   | 14.689   |     |
|                       | DL2   | 130.846  | 147.647  | 152.547  | 118.857  | 83.594   |     |
|                       | DL3   | 26.584   | 73.028   | 130.648  | 188.213  | 220.161  |     |
|                       | DL12  | 421.963  | 338.419  | 264.996  | 159.290  | 83.409   |     |
|                       | DL13  | 317.749  | 263.810  | 243.102  | 228.647  | 219.976  |     |
|                       | DL23  | 157.430  | 220.673  | 283.190  | 307.058  | 303.708  |     |
|                       | DL123 | 403.683  | 370.304  | 356.077  | 312.761  | 273.215  |     |
| 우<br>측<br>편<br>재<br>하 | DB1   | 12.760   | 48.794   | 116.342  | 201.270  | 265.727  |     |
|                       | DB2   | 81.792   | 126.145  | 159.534  | 149.470  | 113.496  |     |
|                       | DB3   | 218.639  | 189.003  | 131.575  | 64.977   | 19.237   |     |
|                       | DB12  | 81.292   | 172.728  | 274.631  | 350.613  | 377.927  |     |
|                       | DB13  | 218.139  | 235.587  | 246.671  | 266.120  | 283.669  |     |
|                       | DB23  | 300.436  | 315.172  | 291.114  | 214.471  | 132.737  |     |
|                       | DB123 | 269.935  | 325.551  | 365.572  | 374.041  | 357.460  |     |
|                       | DL1   | 16.086   | 52.542   | 116.636  | 198.892  | 278.168  |     |
|                       | DL2   | 90.195   | 123.176  | 153.279  | 145.628  | 122.164  |     |
|                       | DL3   | 233.242  | 183.639  | 128.333  | 65.214   | 23.270   |     |
|                       | DL12  | 92.134   | 172.787  | 268.193  | 344.331  | 398.555  |     |
|                       | DL13  | 235.195  | 233.290  | 243.254  | 263.920  | 299.661  |     |
|                       | DL23  | 323.396  | 306.837  | 281.568  | 210.828  | 145.381  |     |
|                       | DL123 | 292.826  | 320.785  | 356.873  | 368.589  | 379.651  |     |
| ENV                   |       | 421.963  | 378.555  | 365.572  | 374.041  | 398.555  |     |
| 군 중                   |       | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    |     |
| MAX( ∑ )              |       | 1723.465 | 1680.849 | 1659.047 | 1681.915 | 1709.165 |     |

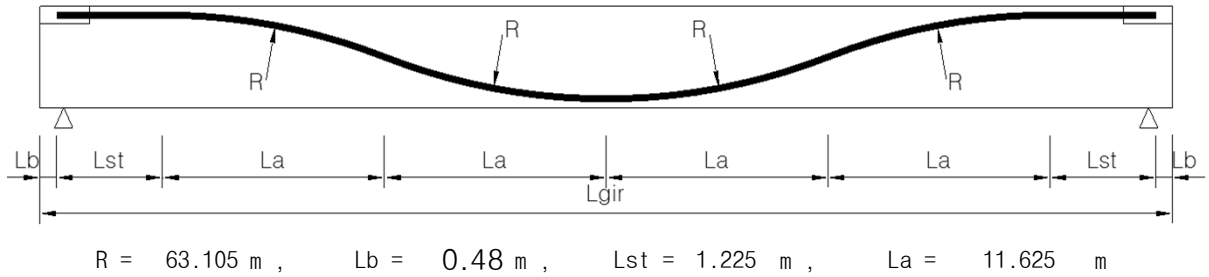
### 8.3.2 S1 종점측(단위:kN)

| 위 치                   |       | G1       | G2       | G3       | G4       | G5       | 비 고 |
|-----------------------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| 자 중                   |       | 715.642  | 715.642  | 715.642  | 715.642  | 715.642  |     |
| 거푸집                   |       | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    |     |
| 합성전                   |       | 395.359  | 431.438  | 431.438  | 431.438  | 402.844  |     |
| 합성후                   |       | 185.676  | 158.044  | 146.374  | 157.625  | 197.309  |     |
| ADD                   |       | 1296.677 | 1305.124 | 1293.454 | 1304.705 | 1315.795 |     |
| 좌<br>측<br>편<br>재<br>하 | DB1   | 271.679  | 201.971  | 114.278  | 46.489   | 12.061   |     |
|                       | DB2   | 117.770  | 152.183  | 158.962  | 123.348  | 78.252   |     |
|                       | DB3   | 21.426   | 67.820   | 133.636  | 187.905  | 212.883  |     |
|                       | DB12  | 388.032  | 354.017  | 271.892  | 167.431  | 75.938   |     |
|                       | DB13  | 291.711  | 269.660  | 246.570  | 232.010  | 210.575  |     |
|                       | DB23  | 139.198  | 220.007  | 292.621  | 311.256  | 291.137  |     |
|                       | DB123 | 368.511  | 379.653  | 364.993  | 319.810  | 259.943  |     |
|                       | DL1   | 284.089  | 199.887  | 115.001  | 50.484   | 15.175   |     |
|                       | DL2   | 126.489  | 148.396  | 152.723  | 120.536  | 86.517   |     |
|                       | DL3   | 25.602   | 67.887   | 130.003  | 182.504  | 227.367  |     |
|                       | DL12  | 408.690  | 348.094  | 265.917  | 167.883  | 86.427   |     |
|                       | DL13  | 307.850  | 267.596  | 243.203  | 229.853  | 227.277  |     |
|                       | DL23  | 152.091  | 216.282  | 282.720  | 303.030  | 313.835  |     |
|                       | DL123 | 390.854  | 374.384  | 356.325  | 315.356  | 282.416  |     |
| 우<br>측<br>편<br>재<br>하 | DB1   | 12.201   | 43.858   | 115.836  | 196.291  | 269.943  |     |
|                       | DB2   | 79.796   | 124.623  | 159.456  | 149.683  | 116.002  |     |
|                       | DB3   | 214.997  | 192.467  | 131.981  | 69.237   | 20.105   |     |
|                       | DB12  | 78.842   | 165.932  | 274.039  | 345.653  | 384.455  |     |
|                       | DB13  | 214.043  | 233.776  | 246.564  | 265.207  | 288.558  |     |
|                       | DB23  | 294.797  | 317.114  | 291.443  | 218.945  | 136.112  |     |
|                       | DB123 | 264.452  | 322.551  | 365.406  | 373.410  | 364.117  |     |
|                       | DL1   | 15.555   | 46.320   | 115.874  | 190.558  | 287.165  |     |
|                       | DL2   | 87.140   | 121.730  | 153.134  | 145.148  | 126.364  |     |
|                       | DL3   | 225.857  | 189.678  | 128.990  | 70.541   | 24.163   |     |
|                       | DL12  | 88.911   | 164.598  | 267.305  | 335.258  | 411.492  |     |
|                       | DL13  | 227.640  | 232.585  | 243.168  | 260.655  | 309.291  |     |
|                       | DL23  | 312.956  | 311.428  | 282.081  | 215.675  | 150.474  |     |
|                       | DL123 | 283.278  | 318.848  | 356.665  | 365.217  | 392.098  |     |
| ENV                   |       | 408.690  | 379.653  | 365.406  | 373.410  | 411.492  |     |
| 군 중                   |       | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    | 0.000    |     |
| MAX( ∑ )              |       | 1705.367 | 1684.777 | 1658.860 | 1678.115 | 1727.287 |     |

## 9. 프리스트레스

### 9.1 마찰에 의한 손실

#### (1) 일체긴장 강연선(T1)



▷ 지간중양부의 접선변화각 누계

$$\alpha = 2 \cdot \sin^{-1}(La / R) = 0.371 \text{ rad}$$

▷ 지간중양부까지의 강선길이

$$x = Lst + \alpha \cdot R = 1.225 + 0.371 \times 63.105 = 24.609 \text{ m}$$

▷ 마찰손실량 산정

- 곡률마찰계수 ( $\mu$ ) = 0.250

- 파상마찰계수 ( $\kappa$ ) = 0.005

$$\Delta Ppf = Po - Px = Po \cdot [1 - e^{-(\mu \alpha + \kappa x)}] = 232808 \text{ N}$$

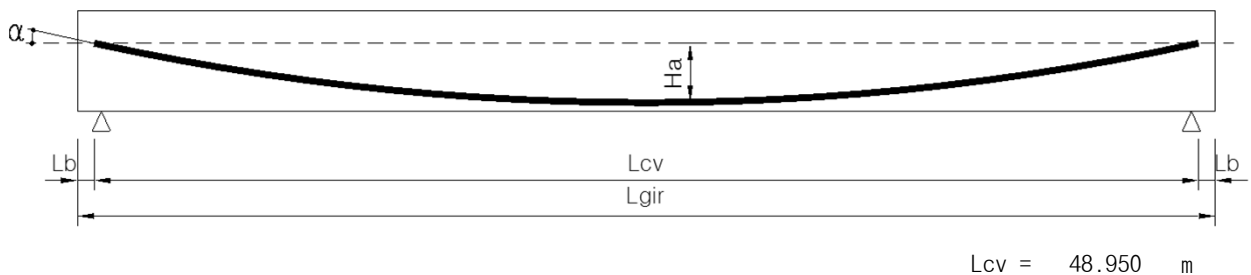
#### (2) 일체긴장 강봉 (C1, C2 압축 PS강봉은 직선으로 배치되어 있으므로 곡률마찰손실은 없다.)

- 지간중양부까지의 강봉길이( $x$ ) = 24.475 m

- 파상마찰계수 ( $\kappa$ ) = 0.008

$$\Delta Ppf = Po - Px = Po \cdot [1 - e^{-\kappa x}] = 213388 \text{ N}$$

#### (3) 일반 강연선(T2 ~ T5)



▷  $y = a \cdot x^2$  에서  $a = 4 \cdot Ha / Lcv^2$

▷ 지간중양부의 접선변화각 누계 ( $\alpha$ ) =  $\tan^{-1}(a \times Lcv)$

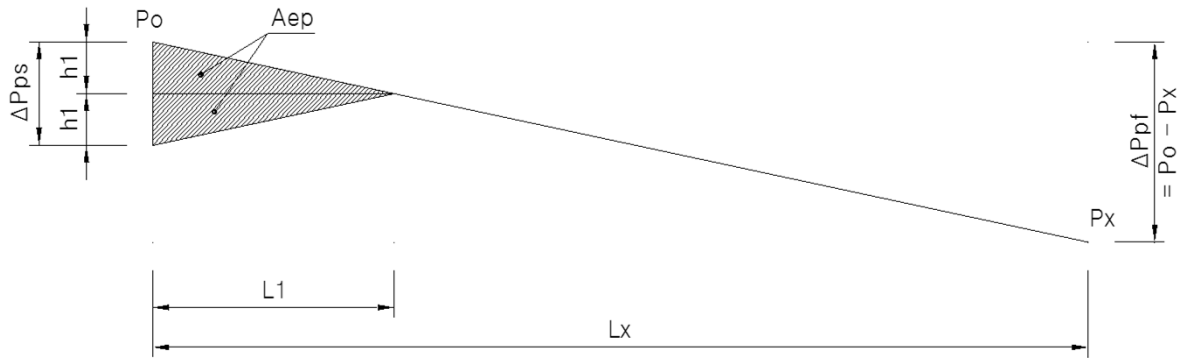
▷ 강선의 총길이( $Lt$ ) =  $Lcv + \frac{8 Ha^2}{3 Lcv} - \frac{32 Ha^4}{5 Lcv^3}$

▷ 지간중양부까지의 강선길이( $x$ ) =  $Lt / 2$

▷ 마찰손실량 ( $\Delta Ppf$ ) =  $Po - Px = Po \cdot [1 - e^{-(\mu \alpha + \kappa x)}]$

|    | Ha    | a        | $\alpha$ (rad) | Lt     | x      | $\mu$ | $\kappa$ | $\Delta Ppf$ |
|----|-------|----------|----------------|--------|--------|-------|----------|--------------|
| T2 | 1.625 | 0.002713 | 0.13202        | 49.093 | 24.547 | 0.250 | 0.005    | 490336       |
| T3 | 1.125 | 0.001878 | 0.09167        | 49.019 | 24.509 | 0.250 | 0.005    | 460293       |
| T4 | 0.625 | 0.001043 | 0.05103        | 48.971 | 24.486 | 0.250 | 0.005    | 429916       |
| T5 | 0.125 | 0.000209 | 0.01021        | 48.951 | 24.475 | 0.250 | 0.005    | 399302       |

## 9.2 정착장치 활동에 의한 손실



- ▷ 정착장치 활동량 가정 :  $\Delta \ell : 6 \text{ mm}$
- ▷ PS강재의 단위길이당 마찰손실력( $p$ ) =  $\Delta P_{pf} / L_x$
- ▷ 정착장치 활동에 의한 손실발생 길이( $L_1$ )

$$A_{ep} = \Delta \ell \cdot A_p \cdot E_p$$

$$h_1 = \Delta P_{pf} \times L_1 / L_x = p \times L_1$$

$$A_{ep} = h_1 \times L_1 = p \times L_1^2$$

$$L_1 = \sqrt{A_{ep} / p}$$

- ▷ 긴장단에서의 손실력( $\Delta P_{ps}$ ) =  $2 \cdot p \cdot L_1$

- ▷ 지간중앙부에서의 손실력( $\Delta P_{px}$ )

$$L_x \leq L_1 \text{ 이면 } \Delta P_{px} = \Delta P_{ps} \cdot (1 - L_x / L_1)$$

$$L_x > L_1 \text{ 이면 } \Delta P_{px} = 0$$

| 단위 | $L_x$  | $p$   | $A_{ep}$ | $L_1$  | $\Delta P_{ps}$ | $\Delta P_{px}$ |
|----|--------|-------|----------|--------|-----------------|-----------------|
|    | m      | N/m   | N · m    | m      | N               | N               |
| C1 | 24.475 | 4359  | 1508400  | 18.602 | 162180          | 0               |
| C2 | 24.475 | 4359  | 1508400  | 18.602 | 162180          | 0               |
| T1 | 24.609 | 9460  | 1165080  | 11.097 | 209973          | 0               |
| T2 | 24.547 | 19976 | 2829480  | 11.902 | 475481          | 0               |
| T3 | 24.509 | 18780 | 2829480  | 12.274 | 461035          | 0               |
| T4 | 24.486 | 17558 | 2829480  | 12.695 | 445779          | 0               |
| T5 | 24.475 | 16314 | 2829480  | 13.169 | 429704          | 0               |

### 9.3 콘크리트의 탄성변형에 의한 손실

- ▶ 긴장순서는 T3, T4, T5, T2 순으로 하고, 그 이후에 일체긴장 PS강재(C1, C2, T1)를 긴장하는 것으로 가정한다.  
또한, 일체긴장 PS강재를 긴장할 때는 거더의 탄성변형이 발생하지 않으므로 계산에서 제외한다.

▶  $f_{cir} = \epsilon_c \cdot E_{ci}$  ,  $\Delta f_{pe} = \epsilon_p \cdot E_{pt}$  ,  $\epsilon_c = \epsilon_p$

▶  $\Delta f_{pe} = \epsilon_p \cdot E_{pt} = (E_{pt}/E_{ci}) \cdot f_{cir} = n \cdot f_{cir}$

$$f_{cir} = \sum f_{psi} + f_{sw} / N$$

$$(E_{pt} / E_{ci}) = n$$

$$f_{sw} = M_{sw} \cdot e / I_{net}$$

$$\sum f_{psi} = \begin{cases} \text{①강선 경우 : } f_{ps2} + f_{ps3} + f_{ps4} \cdots f_{psN} \\ \text{②강선 경우 : } f_{ps3} + f_{ps4} \cdots f_{psN} \\ \text{③강선 경우 : } f_{ps4} \cdots f_{psN} \\ \cdots \\ \text{④강선 경우 : } 0 \end{cases}$$

$$f_{psi} = P_r / A_{net} + P_r \cdot e^2 / I_{net}$$

- 긴장회수(N) = 4 회
- PS 강연선의 탄성계수( $E_{pt}$ ) = 200000 Mpa
- 프리스트레스 도입시 콘크리트 탄성계수( $E_{ci}$ ) = 28066 Mpa
- 탄성계수비(n) = 7.125963
- e : 순단면 도심에서 PS강재 중심까지의 편심
- $P_r = P_o - \Delta P_{pf} - \Delta P_{ps}$
- $f_{cir}$  : 정착직후 자중과 프리스트레스에 의해 발생하는 PS강재 중심에서의 콘크리트 응력
- 순단면의 단면정수 :  $A_{net} = 0.96176 \text{ m}^2$  ,  $I_{net} = 0.70639 \text{ m}^4$
- 거더자중에 의한 지간 중앙부의 휨모멘트( $M_{sw}$ ) = 7882000 N·m

|    | $P_o$   | $\Delta P_{pf}$ | $\Delta P_{px}$ | $P_r$   | e         | 긴장 순서 |
|----|---------|-----------------|-----------------|---------|-----------|-------|
| T2 | 3400000 | -490336         | 0               | 2909664 | -0.921689 | 4     |
| T3 | 3400000 | -460293         | 0               | 2939707 | -0.921689 | 1     |
| T4 | 3400000 | -429916         | 0               | 2970084 | -0.921689 | 2     |
| T5 | 3400000 | -399302         | 0               | 3000698 | -0.921689 | 3     |

|          | $f_{psi}$ | $\sum f_{psi}$ | $f_{sw}/N$ | $f_{cir}$ | $\Delta f_{pe}$ | $\Delta P_{pe}$ |
|----------|-----------|----------------|------------|-----------|-----------------|-----------------|
| T3       | 6.592     | 19.913         | -2.571     | 17.342    | 123.579         | 291.388         |
| T4       | 6.660     | 13.253         | -2.571     | 10.682    | 76.120          | 179.484         |
| T5       | 6.729     | 6.525          | -2.571     | 3.954     | 28.175          | 66.435          |
| T2       | 6.525     | 0.000          | -2.571     | -2.571    | -18.321         | -43.200         |
| $\Sigma$ | 26.505    | 39.691         | -10.284    | 29.407    | 209.554         | 494.107         |

$\Delta f_{pe}$ 의 평균치 : 52.388 MPa

$\Delta P_{pe}$ 의 평균치 : 123.527 kN

#### 9.4 프리스트레싱에 의한 단면력 요약(지간중앙부)

▶ 순 긴장력 = 초기 긴장력 - 마찰에 의한 손실 - 정착장치 활동에 의한 손실 - 탄성변형에 의한 손실

|              | 초기긴장력   | 마찰손실력   | 활동손실력   | 탄성손실력   | 순 긴장력    | 편심거리     | 휨모멘트      |
|--------------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|-----------|
|              | Po (N)  | Ppf (N) | Pps (N) | Ppe (N) | Pnet (N) | e (m)    | M (N · m) |
| C1           | -600000 | 106694  | 0       | 0       | -493306  | 1.22831  | -605933   |
| C2           | -600000 | 106694  | 0       | 0       | -493306  | 1.22831  | -605933   |
| PS강봉 소계(압축)  |         |         |         |         | -986612  | 1.22831  | -1211866  |
| T1           | 1200000 | -232808 | 0       | 0       | 967192   | -0.93169 | -901122   |
| T2           | 3400000 | -490336 | 0       | 43200   | 2952864  | -0.92169 | -2721624  |
| T3           | 3400000 | -460293 | 0       | -291388 | 2648320  | -0.92169 | -2440928  |
| T4           | 3400000 | -429916 | 0       | -179484 | 2790600  | -0.92169 | -2572066  |
| T5           | 3400000 | -399302 | 0       | -66435  | 2934263  | -0.92169 | -2704478  |
| PS강연선 소계(인장) |         |         |         |         | 12293238 | -0.92269 | -11340218 |

## 10. 응력검토

### 10.1 G1거더 응력산출

#### ▶ 하중단계별 휨모멘트 요약

| 구분       |    | 기호 | Pnet   | e      | M          | 저항단면            |
|----------|----|----|--------|--------|------------|-----------------|
|          |    |    | ( kN ) | ( m )  | ( kN · m ) |                 |
| 거더 자중    |    | sw | -      | -      | 7882.00    | 순단면(net)        |
| PS       | 강봉 | gb | -987   | 1.228  | -1211.87   |                 |
|          | 강선 | gs | 12293  | -0.923 | -11340.22  |                 |
| 합성전 고정하중 |    | bl | -      | -      | 4643.90    | PS강재 환산단면(conv) |
| 합성후 고정하중 |    | al | -      | -      | 1924.50    | 바닥판 합성단면(comp)  |
| 최대활하중    |    | ll | -      | -      | 4211.80    |                 |
| 균중하중     |    | gj | -      | -      | 0.00       |                 |

※ Pnet : 즉시손실을 고려한 순긴장력(도입긴장력)

#### 10.1.1 자중에 의한 응력산정

$$f_{sw} = \frac{M_{sw}}{I_{net}} \cdot y = \frac{7882}{0.70639} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더     |         | PS 강재 |    | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|--------|---------|-------|----|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연     | 하연      | 강봉    | 강선 |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.353  | -1.047  | -     | -  |    |
| f <sub>sw</sub> | MPa | -   | -  | 15.100 | -11.679 | -     | -  |    |

#### 10.1.2 프리스트레스 도입량 산정

▷ 일체긴장 강연선(T1)과 강봉(C1,C2)은 상호 지지하여 힘이 작용하므로 거더에 축력에 의한 압축응력이 발생하지 않는다.

▷ 거더에 축력을 작용시키는 강선의 순긴장력(Pn) = P<sub>T2</sub> + P<sub>T3</sub> + P<sub>T4</sub> + P<sub>T5</sub> = 11326 kN

▷ PS강재의 응력산정식(강재기준으로 보면 Pnet와 반대방향으로 하중이 작용하므로)

$$f_{gb} = \frac{P_{net}}{A_{gb}} = \frac{987}{0.002514} = 392.447 \text{ MPa}$$

$$f_{gs} = \frac{P_{net}}{A_{gs}} = \frac{-12293}{0.0104025} = -1181.758 \text{ MPa}$$

▷ 거더의 응력산정식

$$f_{ps} = \frac{P_n}{A_{net}} + \frac{M_{gb} + M_{gs}}{I_{net}} \cdot y = \frac{11326}{0.9618} + \frac{-12552}{0.70639} \cdot y$$

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더      |        | PS 강재   |           | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|---------|--------|---------|-----------|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연      | 하연     | 강봉      | 강선        |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.353   | -1.047 | 1.228   | -0.923    |    |
| f <sub>ps</sub> | MPa | -   | -  | -12.271 | 30.375 | 392.447 | -1181.758 |    |

### 10.1.3 합성전 고정하중에 의한 응력산정

$$f_{bl} = n \cdot \frac{M_{bl}}{I_{conv}} \cdot y = n \cdot \frac{4643.90}{0.78891} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더    |        | PS 강재  |         | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|-------|--------|--------|---------|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연    | 하연     | 강봉     | 강선      |    |
| n               | -   | -   |    | 1.000 |        | 6.665  | 6.665   |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.395 | -1.005 | 1.270  | -0.881  |    |
| f <sub>bl</sub> | MPa | -   | -  | 8.210 | -5.918 | 49.815 | -34.573 |    |

### 10.1.4 합성후 고정하중에 의한 응력산정

$$f_{al} = n \cdot \frac{M_{al}}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{1924.50}{1.59328} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |         | 비고 |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|---------|----|
|                 |     | 상연    | 하연    | 상연    | 하연     | 강봉    | 강선      |    |
| n               | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665   |    |
| y               | m   | 1.130 | 0.890 | 0.890 | -1.510 | 0.765 | -1.386  |    |
| f <sub>al</sub> | MPa | 1.214 | 0.956 | 1.074 | -1.824 | 6.155 | -11.161 |    |

### 10.1.5 활하중에 의한 응력산정

$$f_{ll} = n \cdot \frac{M_{ll} + M_{gj}}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{4211.8 + 0}{1.59328} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재  |         | 비고 |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|---------|----|
|                 |     | 상연    | 하연    | 상연    | 하연     | 강봉     | 강선      |    |
| n               | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665  | 6.665   |    |
| y               | m   | 1.130 | 0.890 | 0.890 | -1.510 | 0.765  | -1.386  |    |
| f <sub>ll</sub> | MPa | 2.657 | 2.093 | 2.351 | -3.993 | 13.470 | -24.427 |    |

#### 10.1.6 건조수축에 의한 손실

※ 안전측의 계산을 위해 건조수축에 의한 일체긴장 강봉(C1,C2)의 영향은 무시한다.

$$\Delta f_{sh} = 0.80 \cdot (119 - 1.05 \cdot H_r) = 0.80 \cdot (119 - 1.05 \cdot 70) = 36.4 \text{ MPa}$$

여기서,  $H_r$ 은 주위의 연간 평균 상대습도(%)로서 70%를 적용한다.

$$\Delta P_{sh} = \Delta f_{sh} \cdot A_{gs} = -36.4 \times 0.0104 = -378.65 \text{ kN}$$

$$f_{sh} = n \cdot \frac{\Delta P_{sh}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{sh} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-378.7}{1.5722} + n \cdot \frac{525.0}{1.5933} \cdot y$$

$y$  : 중립축에서의 거리,  $n$  : 탄성계수비

| 구분  | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|     |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n   | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y   | m   | 1.130 | 0.890 | 0.890 | -1.510 | 0.765 | -1.386 |    |
| fsh | MPa | 0.117 | 0.047 | 0.052 | -0.739 | 0.074 | 4.650  |    |

#### 10.1.7 크리프에 의한 손실

$$\Delta f_{cr} = 12 \cdot f_{cir} - 7 \cdot f_{cd} = 12 \times 17.88 - 7 \times 6.86 = 166.483 \text{ MPa}$$

$$f_{cir} = (f_{cgb} + f_{cgs}) + f_{csw} = f_{cps} + f_{csw} = 28.17 + -10.30 = 17.88 \text{ MPa}$$

$$f_{cds} = f_{cbl} + f_{cal} = -5.19 + -1.67 = -6.86 \text{ MPa}$$

$$f_{cps} = \frac{P_n}{A_{net}} + \frac{M_{gb} + M_{gs}}{I_{net}} \cdot y = \frac{11326}{0.9618} + \frac{-12552}{0.70639} \cdot -0.923 = 28.172 \text{ MPa}$$

$$f_{csw} = \frac{M_{sw}}{I_{net}} \cdot y = \frac{7882}{0.70639} \cdot -0.923 = -10.296 \text{ MPa}$$

$$f_{cbl} = \frac{M_{bl}}{I_{conv}} \cdot y = \frac{4644}{0.78891} \cdot -0.881 = -5.187 \text{ MPa}$$

$$f_{cal} = \frac{M_{al}}{I_{comp}} \cdot y = \frac{1925}{1.59328} \cdot -1.386 = -1.675 \text{ MPa}$$

여기서,  $f_{cir}$ 은 정착직후 프리스트레스와 자중에 의해 발생하는 PS강선 중심에서의 콘크리트 응력

$f_{cds}$ 는 긴장 이후의 모든 고정하중에 의해 발생하는 PS강선 중심에서의 콘크리트 응력

$$\Delta P_{cr} = \Delta f_{cr} \cdot A_{gs} = -166.483 \times 0.0104 = -1731.844 \text{ kN}$$

$$f_{cr} = n \cdot \frac{\Delta P_{cr}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{cr} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-1731.844}{1.5722} + n \cdot \frac{2401.062}{1.5933} \cdot y$$

$y$  : 중립축에서의 거리,  $n$  : 탄성계수비

| 구분  | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|     |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n   | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y   | m   | 1.130 | 0.890 | 0.890 | -1.510 | 0.765 | -1.386 |    |
| fcr | MPa | 0.535 | 0.213 | 0.239 | -3.378 | 0.337 | 21.267 |    |

### 10.1.8 강봉의 릴렉сей션

$$\Delta f_{rgb} = (f_{ps} + f_{bl} + f_{al}) \times 3\%$$

$$= (392.45 + 49.82 + 6.15) \times 0.03 = 13.453 \text{ Mpa}$$

$$\Delta P_{rgb} = \Delta f_{rgb} \cdot A_{gb} = 13.453 \times 0.0025 = 33.820 \text{ kN}$$

$$f_{rgb} = n \cdot \frac{\Delta P_{rgb}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{rgb} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-33.820}{1.5722} + n \cdot \frac{-25.856}{1.5933} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분               | 단위  | 바닥판    |        | 거더     |        | PS 강재  |        | 비고 |
|------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|                  |     | 상면     | 하면     | 상면     | 하면     | 강봉     | 강선     |    |
| n                | -   | 0.89   |        | 1.000  |        | 6.665  | 6.665  |    |
| y                | m   | 1.130  | 0.890  | 0.890  | -1.510 | 0.765  | -1.386 |    |
| f <sub>rgb</sub> | MPa | -0.035 | -0.032 | -0.036 | 0.003  | -0.226 | 0.007  |    |

### 10.1.9 강선의 릴렉сей션

$$\Delta f_{rgs} = 35 - 0.07 \cdot \Delta f_{pf} - 0.1 \cdot \Delta f_{pe} - 0.05 \cdot (\Delta f_{sh} + \Delta f_{cr})$$

| 구분  | A <sub>gs</sub> | Δ f <sub>pf</sub> | Δ f <sub>pe</sub> | Δ f <sub>sh</sub> | Δ f <sub>cr</sub> | Δ f <sub>rgs</sub> |
|-----|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| T1  | 0.000971        | 239.786           | 0.000             | 36.400            | 166.483           | 8.071              |
| T2  | 0.002358        | 207.954           | 18.321            | 36.400            | 166.483           | 8.467              |
| T3  | 0.002358        | 195.213           | -123.579          | 36.400            | 166.483           | 23.549             |
| T4  | 0.002358        | 182.330           | -76.120           | 36.400            | 166.483           | 19.705             |
| T5  | 0.002358        | 169.3467          | -28.175           | 36.400            | 166.483           | 15.819             |
| Σ   | 0.010403        | 994.630           | -209.554          | 182.000           | 832.417           | 75.610             |
| avg | 0.002081        | 198.926           | -41.911           | 36.400            | 166.483           | 15.122             |

$$\Delta P_{rgs} = \Delta f_{rgs} \cdot A_{gs} = 15.122 \times 0.0104 = 157.31 \text{ kN}$$

$$f_{rgs} = n \cdot \frac{\Delta P_{rgs}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{rgs} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-157.31}{1.5722} + n \cdot \frac{218.09}{1.5933} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분               | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|------------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|                  |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n                | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y                | m   | 1.130 | 0.890 | 0.890 | -1.510 | 0.765 | -1.386 |    |
| f <sub>rgs</sub> | MPa | 0.049 | 0.019 | 0.022 | -0.307 | 0.031 | 1.932  |    |

## 10.2 G2~G4거더 응력산출

### ▶ 하중단계별 휨모멘트 요약

| 구분       |    | 기호 | Pnet   | e      | M          | 저항단면            |
|----------|----|----|--------|--------|------------|-----------------|
|          |    |    | ( kN ) | ( m )  | ( kN · m ) |                 |
| 거더 자중    |    | sw | -      | -      | 7882.00    | 순단면(net)        |
| PS       | 강봉 | gb | -987   | 1.228  | -1211.87   |                 |
|          | 강선 | gs | 12293  | -0.923 | -11340.22  |                 |
| 합성전 고정하중 |    | bl | -      | -      | 4967.40    | PS강재 환산단면(conv) |
| 합성후 고정하중 |    | al | -      | -      | 2072.10    | 바닥판 합성단면(comp)  |
| 최대활하중    |    | ll | -      | -      | 3533.20    |                 |
| 균중하중     |    | gj | -      | -      | 0.00       |                 |

※ Pnet : 즉시손실을 고려한 순긴장력(도입긴장력)

### 10.2.1 자중에 의한 응력산정

$$f_{sw} = \frac{M_{sw}}{I_{net}} \cdot y = \frac{7882}{0.70639} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더     |         | PS 강재 |    | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|--------|---------|-------|----|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연     | 하연      | 강봉    | 강선 |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.353  | -1.047  | -     | -  |    |
| f <sub>sw</sub> | MPa | -   | -  | 15.100 | -11.679 | -     | -  |    |

### 10.2.2 프리스트레스 도입량 산정

▷ 일체긴장 강연선(T1)과 강봉(C1,C2)은 상호 지지하여 힘이 작용하므로 거더에 축력에 의한 압축응력이 발생하지 않는다.

▷ 거더에 축력을 작용시키는 강선의 순긴장력(Pn) = P<sub>T2</sub> + P<sub>T3</sub> + P<sub>T4</sub> + P<sub>T5</sub> 11326 kN

▷ PS강재의 응력산정식(강재기준으로 보면 Pnet와 반대방향으로 하중이 작용하므로)

$$f_{gb} = \frac{P_{net}}{A_{gb}} = \frac{987}{0.002514} = 392.447 \text{ MPa}$$

$$f_{gs} = \frac{P_{net}}{A_{gs}} = \frac{-12293}{0.0104025} = -1181.758 \text{ MPa}$$

▷ 거더의 응력산정식

$$f_{ps} = \frac{P_n}{A_{net}} + \frac{M_{gb} + M_{gs}}{I_{net}} \cdot y = \frac{11326}{0.9618} + \frac{-12552}{0.70639} \cdot y$$

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더      |        | PS 강재   |           | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|---------|--------|---------|-----------|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연      | 하연     | 강봉      | 강선        |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.353   | -1.047 | 1.228   | -0.923    |    |
| f <sub>ps</sub> | MPa | -   | -  | -12.271 | 30.375 | 392.447 | -1181.758 |    |

### 10.2.3 합성전 고정하중에 의한 응력산정

$$f_{bl} = n \cdot \frac{M_{bl}}{I_{conv}} \cdot y = n \cdot \frac{4967.40}{0.78891} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더    |        | PS 강재  |         | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|-------|--------|--------|---------|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연    | 하연     | 강봉     | 강선      |    |
| n               | -   | -   |    | 1.000 |        | 6.665  | 6.665   |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.395 | -1.005 | 1.270  | -0.881  |    |
| f <sub>bl</sub> | MPa | -   | -  | 8.782 | -6.330 | 53.286 | -36.982 |    |

### 10.2.4 합성후 고정하중에 의한 응력산정

$$f_{al} = n \cdot \frac{M_{al}}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{2072.10}{1.60306} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |         | 비고 |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|---------|----|
|                 |     | 상연    | 하연    | 상연    | 하연     | 강봉    | 강선      |    |
| n               | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665   |    |
| y               | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393  |    |
| f <sub>al</sub> | MPa | 1.292 | 1.016 | 1.142 | -1.960 | 6.534 | -11.997 |    |

### 10.2.5 활하중에 의한 응력산정(균중하중 포함)

$$f_{ll} = n \cdot \frac{M_{ll} + M_{gj}}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{3533.2 + 0}{1.60306} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재  |         | 비고 |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|---------|----|
|                 |     | 상연    | 하연    | 상연    | 하연     | 강봉     | 강선      |    |
| n               | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665  | 6.665   |    |
| y               | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758  | -1.393  |    |
| f <sub>ll</sub> | MPa | 2.204 | 1.733 | 1.947 | -3.343 | 11.141 | -20.456 |    |

### 10.2.6 건조수축에 의한 손실

※ 안전측의 계산을 위해 건조수축에 의한 일체긴장 강봉(C1,C2)의 영향은 무시한다.

$$\Delta f_{sh} = 0.80 \cdot (119 - 1.05 \cdot H_r) = 0.80 \cdot (119 - 1.05 \cdot 70) = 36.4 \text{ Mpa}$$

여기서,  $H_r$ 은 주위의 연간 평균 상대습도(%)로서 70%를 적용한다.

$$\Delta P_{sh} = \Delta f_{sh} \cdot A_{gs} = -36.4 \times 0.0104 = -378.65 \text{ kN}$$

$$f_{sh} = n \cdot \frac{\Delta P_{sh}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{sh} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-378.7}{1.5819} + n \cdot \frac{525.0}{1.6031} \cdot y$$

$y$  : 중립축에서의 거리,  $n$  : 탄성계수비

| 구분  | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|     |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n   | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y   | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393 |    |
| fsh | MPa | 0.114 | 0.044 | 0.050 | -0.736 | 0.060 | 4.635  |    |

### 10.2.7 크리프에 의한 손실

$$\Delta f_{cr} = 12 \cdot f_{cir} - 7 \cdot f_{cd} = 12 \times 17.88 - 7 \times 7.34 = 163.132 \text{ Mpa}$$

$$f_{cir} = (f_{cgb} + f_{cgs}) + f_{csw} = f_{cps} + f_{csw} = 28 + -10 = 17.88 \text{ Mpa}$$

$$f_{cds} = f_{cbl} + f_{cal} = -5.55 + -1.79 = -7.34 \text{ Mpa}$$

$$f_{cps} = \frac{P_n}{A_{net}} + \frac{M_{gb} + M_{gs}}{I_{net}} \cdot y = \frac{11326}{0.9618} + \frac{-12552}{0.70639} \cdot -0.923 = 28.172 \text{ MPa}$$

$$f_{csw} = \frac{M_{sw}}{I_{net}} \cdot y = \frac{7882}{0.70639} \cdot -0.923 = -10.296 \text{ MPa}$$

$$f_{cbl} = \frac{M_{bl}}{I_{conv}} \cdot y = \frac{4967}{0.78891} \cdot -0.881 = -5.549 \text{ MPa}$$

$$f_{cal} = \frac{M_{al}}{I_{comp}} \cdot y = \frac{2072}{1.60306} \cdot -1.386 = -1.792 \text{ MPa}$$

여기서,  $f_{cir}$ 은 정착직후 프리스트레스와 자중에 의해 발생하는 PS강선 중심에서의 콘크리트 응력

$f_{cds}$ 는 긴장 이후의 모든 고정하중에 의해 발생하는 PS강선 중심에서의 콘크리트 응력

$$\Delta P_{cr} = \Delta f_{cr} \cdot A_{gs} = -163.132 \times 0.0104 = -1696.980 \text{ kN}$$

$$f_{cr} = n \cdot \frac{\Delta P_{cr}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{cr} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-1696.980}{1.5819} + n \cdot \frac{2352.726}{1.6031} \cdot y$$

$y$  : 중립축에서의 거리,  $n$  : 탄성계수비

| 구분  | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|     |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n   | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y   | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393 |    |
| fcr | MPa | 0.513 | 0.199 | 0.224 | -3.299 | 0.268 | 20.772 |    |

### 10.2.8 강봉의 릴렉сей션

$$\Delta f_{rgb} = (f_{ps} + f_{bl} + f_{al}) \times 3\%$$

$$= (392.45 + 53.29 + 6.53) \times 0.03 = 13.568 \text{ Mpa}$$

$$\Delta P_{rgb} = \Delta f_{rgb} \cdot A_{gb} = 13.568 \times 0.0025 = 34.110 \text{ kN}$$

$$f_{rgb} = n \cdot \frac{\Delta P_{rgb}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{rgb} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{34.110}{1.5819} + n \cdot \frac{-26.078}{1.6031} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분               | 단위  | 바닥판    |        | 거더     |        | PS 강재  |        | 비고 |
|------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|                  |     | 상연     | 하연     | 상연     | 하연     | 강봉     | 강선     |    |
| n                | -   | 0.89   |        | 1.000  |        | 6.665  | 6.665  |    |
| y                | m   | 1.123  | 0.883  | 0.883  | -1.517 | 0.758  | -1.393 |    |
| f <sub>rgb</sub> | MPa | -0.035 | -0.032 | -0.036 | 0.003  | -0.226 | 0.007  |    |

### 10.2.9 강선의 릴렉сей션

$$\Delta f_{rgs} = 35 - 0.07 \cdot \Delta f_{pf} - 0.1 \cdot \Delta f_{pe} - 0.05 \cdot (\Delta f_{sh} + \Delta f_{cr})$$

| 구분  | A <sub>gs</sub> | Δ f <sub>pf</sub> | Δ f <sub>pe</sub> | Δ f <sub>sh</sub> | Δ f <sub>cr</sub> | Δ f <sub>rgs</sub> |
|-----|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| T1  | 0.000971        | 239.786           | 0.000             | 36.400            | 163.132           | 8.238              |
| T2  | 0.002358        | 207.954           | 18.321            | 36.400            | 163.132           | 8.634              |
| T3  | 0.002358        | 195.213           | -123.579          | 36.400            | 163.132           | 23.716             |
| T4  | 0.002358        | 182.330           | -76.120           | 36.400            | 163.132           | 19.872             |
| T5  | 0.002358        | 169.347           | -28.175           | 36.400            | 163.132           | 15.987             |
| Σ   | 0.010403        | 994.630           | -209.554          | 182.000           | 815.660           | 76.448             |
| avg | 0.002081        | 198.926           | -41.911           | 36.400            | 163.132           | 15.290             |

$$\Delta P_{rgs} = \Delta f_{rgs} \cdot A_{gs} = 15.290 \times 0.0104 = 159.05 \text{ kN}$$

$$f_{rgs} = n \cdot \frac{\Delta P_{rgs}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{rgs} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{159.05}{1.5819} + n \cdot \frac{220.51}{1.6031} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분               | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|------------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|                  |     | 상연    | 하연    | 상연    | 하연     | 강봉    | 강선     |    |
| n                | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y                | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393 |    |
| f <sub>rgs</sub> | MPa | 0.048 | 0.019 | 0.021 | -0.309 | 0.025 | 1.947  |    |

### 10.3 G5거더 응력산출

#### ▶ 하중단계별 휨모멘트 요약

| 구분       |    | 기호 | Pnet   | e      | M          | 저항단면            |
|----------|----|----|--------|--------|------------|-----------------|
|          |    |    | ( kN ) | ( m )  | ( kN · m ) |                 |
| 거더 자중    |    | sw | -      | -      | 7882.00    | 순단면(net)        |
| PS       | 강봉 | gb | -987   | 1.228  | -1211.87   |                 |
|          | 강선 | gs | 12293  | -0.923 | -11340.22  |                 |
| 합성전 고정하중 |    | bl | -      | -      | 4733.90    | PS강재 환산단면(conv) |
| 합성후 고정하중 |    | al | -      | -      | 1993.30    | 바닥판 합성단면(comp)  |
| 최대활하중    |    | ll | -      | -      | 3394.10    |                 |
| 균중하중     |    | gj | -      | -      | 0          |                 |

※ Pnet : 즉시손실을 고려한 순긴장력(도입긴장력)

#### 10.3.1 자중에 의한 응력산정

$$f_{sw} = \frac{M_{sw}}{I_{net}} \cdot y = \frac{7882}{0.70639} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더     |         | PS 강재 |    | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|--------|---------|-------|----|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연     | 하연      | 강봉    | 강선 |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.353  | -1.047  | -     | -  |    |
| f <sub>sw</sub> | MPa | -   | -  | 15.100 | -11.679 | -     | -  |    |

#### 10.3.2 프리스트레스 도입량 산정

▷ 일체긴장 강연선(T1)과 강봉(C1,C2)은 상호 지지하여 힘이 작용하므로 거더에 축력에 의한 압축응력이 발생하지 않는다.

▷ 거더에 축력을 작용시키는 강선의 순긴장력(Pn) = P<sub>T2</sub> + P<sub>T3</sub> + P<sub>T4</sub> + P<sub>T5</sub> 11326 kN

▷ PS강재의 응력산정식(강재기준으로 보면 Pnet와 반대방향으로 하중이 작용하므로)

$$f_{gb} = \frac{P_{net}}{A_{gb}} = \frac{987}{0.002514} = 392.447 \text{ MPa}$$

$$f_{gs} = \frac{P_{net}}{A_{gs}} = \frac{-12293}{0.0104025} = -1181.758 \text{ MPa}$$

▷ 거더의 응력산정식

$$f_{ps} = \frac{P_n}{A_{net}} + \frac{M_{gb} + M_{gs}}{I_{net}} \cdot y = \frac{11326}{0.9618} + \frac{-12552}{0.70639} \cdot y$$

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더      |        | PS 강재   |           | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|---------|--------|---------|-----------|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연      | 하연     | 강봉      | 강선        |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.353   | -1.047 | 1.228   | -0.923    |    |
| f <sub>ps</sub> | MPa | -   | -  | -12.271 | 30.375 | 392.447 | -1181.758 |    |

### 10.3.3 합성전 고정하중에 의한 응력산정

$$f_{bl} = n \cdot \frac{M_{bl}}{I_{conv}} \cdot y = n \cdot \frac{4733.90}{0.78891} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판 |    | 거더    |        | PS 강재  |         | 비고 |
|-----------------|-----|-----|----|-------|--------|--------|---------|----|
|                 |     | 상연  | 하연 | 상연    | 하연     | 강봉     | 강선      |    |
| n               | -   | -   |    | 1.000 |        | 6.665  | 6.665   |    |
| y               | m   | -   | -  | 1.395 | -1.005 | 1.270  | -0.881  |    |
| f <sub>bl</sub> | MPa | -   | -  | 8.369 | -6.032 | 50.781 | -35.243 |    |

### 10.3.4 합성후 고정하중에 의한 응력산정

$$f_{al} = n \cdot \frac{M_{al}}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{1993.30}{1.60306} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |         | 비고 |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|---------|----|
|                 |     | 상연    | 하연    | 상연    | 하연     | 강봉    | 강선      |    |
| n               | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665   |    |
| y               | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393  |    |
| f <sub>al</sub> | MPa | 1.243 | 0.978 | 1.098 | -1.886 | 6.285 | -11.541 |    |

### 10.3.5 활하중에 의한 응력산정(균중하중 포함)

$$f_{ll} = n \cdot \frac{M_{ll} + M_{gj}}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{3394.1 + 0}{1.60306} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분              | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재  |         | 비고 |
|-----------------|-----|-------|-------|-------|--------|--------|---------|----|
|                 |     | 상연    | 하연    | 상연    | 하연     | 강봉     | 강선      |    |
| n               | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665  | 6.665   |    |
| y               | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758  | -1.393  |    |
| f <sub>ll</sub> | MPa | 2.117 | 1.665 | 1.870 | -3.211 | 10.702 | -19.651 |    |

### 10.3.6 건조수축에 의한 손실

※ 안전측의 계산을 위해 건조수축에 의한 일체긴장 강봉(C1,C2)의 영향은 무시한다.

$$\Delta f_{sh} = 0.80 \cdot (119 - 1.05 \cdot H_r) = 0.80 \cdot (119 - 1.05 \cdot 70) = 36.4 \text{ Mpa}$$

여기서,  $H_r$ 은 주위의 연간 평균 상대습도(%)로서 70%를 적용한다.

$$\Delta P_{sh} = \Delta f_{sh} \cdot A_{gs} = -36.4 \times 0.0104 = -378.65 \text{ kN}$$

$$f_{sh} = n \cdot \frac{\Delta P_{sh}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{sh} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-378.7}{1.5819} + n \cdot \frac{525.0}{1.6031} \cdot y$$

$y$  : 중립축에서의 거리,  $n$  : 탄성계수비

| 구분  | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|     |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n   | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y   | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393 |    |
| fsh | MPa | 0.114 | 0.044 | 0.050 | -0.736 | 0.060 | 4.635  |    |

### 10.3.7 크리프에 의한 손실

$$\Delta f_{cr} = 12 \cdot f_{cir} - 7 \cdot f_{cds} = 12 \times 17.88 - 7 \times 7.01 = 165.435 \text{ Mpa}$$

$$f_{cir} = (f_{cgb} + f_{cgs}) + f_{csw} = f_{cps} + f_{csw} = 28.17 + -10.30 = 17.88 \text{ Mpa}$$

$$f_{cds} = f_{cbl} + f_{cal} = -5.29 + -1.72 = -7.01 \text{ Mpa}$$

$$f_{cps} = \frac{P_n}{A_{net}} + \frac{M_{gb} + M_{gs}}{I_{net}} \cdot y = \frac{11326}{0.9618} + \frac{-12552}{0.70639} \cdot -0.923 = 28.172 \text{ MPa}$$

$$f_{csw} = \frac{M_{sw}}{I_{net}} \cdot y = \frac{7882}{0.70639} \cdot -0.923 = -10.296 \text{ MPa}$$

$$f_{cbl} = \frac{M_{bl}}{I_{conv}} \cdot y = \frac{4734}{0.78891} \cdot -0.881 = -5.288 \text{ MPa}$$

$$f_{cal} = \frac{M_{al}}{I_{comp}} \cdot y = \frac{1993}{1.60306} \cdot -1.386 = -1.724 \text{ MPa}$$

여기서,  $f_{cir}$ 은 정착직후 프리스트레스와 자중에 의해 발생하는 PS강선 중심에서의 콘크리트 응력

$f_{cds}$ 는 긴장 이후의 모든 고정하중에 의해 발생하는 PS강선 중심에서의 콘크리트 응력

$$\Delta P_{cr} = \Delta f_{cr} \cdot A_{gs} = -165.435 \times 0.0104 = -1720.935 \text{ kN}$$

$$f_{cr} = n \cdot \frac{\Delta P_{cr}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{cr} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{-1720.935}{1.5819} + n \cdot \frac{2385.938}{1.6031} \cdot y$$

$y$  : 중립축에서의 거리,  $n$  : 탄성계수비

| 구분  | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|-----|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|     |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n   | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y   | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393 |    |
| fcr | MPa | 0.520 | 0.202 | 0.227 | -3.345 | 0.272 | 21.065 |    |

### 10.3.8 강봉의 릴렉세이션

$$\Delta f_{rgb} = (f_{ps} + f_{bl} + f_{al}) \times 3\%$$

$$= (392.45 + 50.78 + 6.29) \times 0.03 = 13.485 \text{ Mpa}$$

$$\Delta P_{rgb} = \Delta f_{rgb} \cdot A_{gb} = 13.485 \times 0.0025 = 33.902 \text{ kN}$$

$$f_{rgb} = n \cdot \frac{\Delta P_{rgb}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{rgb} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{33.902}{1.5819} + n \cdot \frac{-25.919}{1.6031} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분               | 단위  | 바닥판    |        | 거더     |        | PS 강재  |        | 비고 |
|------------------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|----|
|                  |     | 상면     | 하면     | 상면     | 하면     | 강봉     | 강선     |    |
| n                | -   | 0.89   |        | 1.000  |        | 6.665  | 6.665  |    |
| y                | m   | 1.123  | 0.883  | 0.883  | -1.517 | 0.758  | -1.393 |    |
| f <sub>rgb</sub> | MPa | -0.035 | -0.032 | -0.036 | 0.003  | -0.225 | 0.007  |    |

### 10.3.9 강선의 릴렉세이션

$$\Delta f_{rgs} = 35 - 0.07 \cdot \Delta f_{pf} - 0.1 \cdot \Delta f_{pe} - 0.05 \cdot (\Delta f_{sh} + \Delta f_{cr})$$

| 구분  | A <sub>gs</sub> | Δ f <sub>pf</sub> | Δ f <sub>pe</sub> | Δ f <sub>sh</sub> | Δ f <sub>cr</sub> | Δ f <sub>rgs</sub> |
|-----|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| T1  | 0.000971        | 239.786           | 0.000             | 36.400            | 165.435           | 8.123              |
| T2  | 0.002358        | 207.954           | 18.321            | 36.400            | 165.435           | 8.519              |
| T3  | 0.002358        | 195.213           | -123.579          | 36.400            | 165.435           | 23.601             |
| T4  | 0.002358        | 182.330           | -76.120           | 36.400            | 165.435           | 19.757             |
| T5  | 0.002358        | 169.347           | -28.175           | 36.400            | 165.435           | 15.872             |
| Σ   | 0.010403        | 994.630           | -209.554          | 182.000           | 827.174           | 75.873             |
| avg | 0.002081        | 198.926           | -41.911           | 36.400            | 165.435           | 15.175             |

$$\Delta P_{rgs} = \Delta f_{rgs} \cdot A_{gs} = 15.175 \times 0.0104 = 157.85 \text{ kN}$$

$$f_{rgs} = n \cdot \frac{\Delta P_{rgs}}{A_{comp}} + n \cdot \frac{\Delta P_{rgs} \times e}{I_{comp}} \cdot y = n \cdot \frac{157.85}{1.5819} + n \cdot \frac{218.85}{1.6031} \cdot y$$

y : 중립축에서의 거리, n : 탄성계수비

| 구분               | 단위  | 바닥판   |       | 거더    |        | PS 강재 |        | 비고 |
|------------------|-----|-------|-------|-------|--------|-------|--------|----|
|                  |     | 상면    | 하면    | 상면    | 하면     | 강봉    | 강선     |    |
| n                | -   | 0.89  |       | 1.000 |        | 6.665 | 6.665  |    |
| y                | m   | 1.123 | 0.883 | 0.883 | -1.517 | 0.758 | -1.393 |    |
| f <sub>rgs</sub> | MPa | 0.048 | 0.019 | 0.021 | -0.307 | 0.025 | 1.932  |    |

## 11.1 G1거더 응력산출

▷ 유효율 : 0.816

(+):압축, (-):인장

| 구 분             |                   | C1       | C2       | T1        | T2        | T3        | T4        | T5         |
|-----------------|-------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 강선수             | (EA)              |          |          | 7         | 17        | 17        | 17        | 17         |
| P <sub>CT</sub> | (kN)              | -493.306 | -493.306 | 967.192   | 2952.864  | 2648.320  | 2790.600  | ± 2934.263 |
| A <sub>p</sub>  | (m <sup>2</sup> ) | 0.00126  | 0.00126  | 0.00097   | 0.00236   | 0.00236   | 0.00236   | ± 0.0024   |
| f <sub>ps</sub> | (MPa)             | -392.447 | -392.447 | 996.180   | 1252.328  | 1123.169  | 1183.511  | ± 1244.439 |
| 응 력 검 토         |                   | ± 777.00 | ± 777.00 | ± 1312.00 | ± 1312.00 | ± 1312.00 | ± 1312.00 | ± 1312.000 |
|                 |                   | 0.K      | 0.K      | 0.K       | 0.K       | 0.K       | 0.K       | 0.K        |

## 11.2 G2~G4거더 응력산출

1) G2~G4거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.818

| 하중 단계 |      | 바닥판    |        | 거더      |         | PS 강재    |           | 비고 |
|-------|------|--------|--------|---------|---------|----------|-----------|----|
|       |      | 상연     | 하연     | 상연      | 하연      | 강봉       | 강선        |    |
| 1     | fsw  | -      | -      | 15.100  | -11.679 | -        | -         |    |
| 2     | fps  | -      | -      | -12.271 | 30.375  | 392.447  | -1181.758 |    |
| 계     |      | -      | -      | 2.829   | 18.696  | 392.447  | -1181.758 |    |
| 응력 검토 |      | -      | -      | -1.410  | 19.200  | ± 777.00 | ± 1312.00 |    |
|       |      | -      | -      | 0.K     | 0.K     | 0.K      | 0.K       |    |
| 3     | fbl  | -      | -      | 8.782   | -6.330  | 53.286   | -36.982   |    |
| 4     | fal  | 1.292  | 1.016  | 1.142   | -1.960  | 6.534    | -11.997   |    |
| 5     | fil  | 2.204  | 1.733  | 1.947   | -3.343  | 11.141   | -20.456   |    |
| 6     | fsh  | 0.114  | 0.044  | 0.050   | -0.736  | 0.060    | 4.635     |    |
| 7     | fcr  | 0.513  | 0.199  | 0.224   | -3.299  | 0.268    | 20.772    |    |
| 8     | frgb | -0.035 | -0.032 | -0.036  | 0.003   | -0.226   | 0.007     |    |
| 9     | frgs | 0.048  | 0.019  | 0.021   | -0.309  | 0.025    | 1.947     |    |
| 계     |      | 4.136  | 2.979  | 14.959  | 2.723   | 463.534  | -1223.832 |    |
| 응력 검토 |      | 10.800 | -2.598 | 18.000  | -3.162  | ± 777.00 | ± 1312.00 |    |
|       |      | 0.K    | 0.K    | 0.K     | 0.K     | 0.K      | 0.K       |    |

(+):압축, (-):인장

2) 내측거더 강선 응력검토(사용하중 상태)

[illegible]

### 11.3 G5거더 응력산출

1) G5거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.816

| 하중 단계    |      | 바닥판    |        | 거더      |         | PS 강재    |           | 비고 |
|----------|------|--------|--------|---------|---------|----------|-----------|----|
|          |      | 상연     | 하연     | 상연      | 하연      | 강봉       | 강선        |    |
| 1        | fsw  | -      | -      | 15.100  | -11.679 | -        | -         |    |
| 2        | fps  | -      | -      | -12.271 | 30.375  | 392.447  | -1181.758 |    |
| 계        |      | -      | -      | 2.829   | 18.696  | 392.447  | -1181.758 |    |
| 응력<br>검토 |      | -      | -      | -1.410  | 19.200  | ± 777.00 | ± 1312.00 |    |
|          |      | -      | -      | 0.K     | 0.K     | 0.K      | 0.K       |    |
| 3        | fbl  | -      | -      | 8.369   | -6.032  | 50.781   | -35.243   |    |
| 4        | fal  | 1.243  | 0.978  | 1.098   | -1.886  | 6.285    | -11.541   |    |
| 5        | fil  | 2.117  | 1.665  | 1.870   | -3.211  | 10.702   | -19.651   |    |
| 6        | fsh  | 0.114  | 0.044  | 0.050   | -0.736  | 0.060    | 4.635     |    |
| 7        | fcr  | 0.520  | 0.202  | 0.227   | -3.345  | 0.272    | 21.065    |    |
| 8        | frgb | -0.035 | -0.032 | -0.036  | 0.003   | -0.225   | 0.007     |    |
| 9        | frgs | 0.048  | 0.019  | 0.021   | -0.307  | 0.025    | 1.932     |    |
| 계        |      | 4.007  | 2.875  | 14.429  | 3.182   | 460.347  | -1220.554 |    |
| 응력<br>검토 |      | 10.800 | -2.598 | 18.000  | -3.162  | ± 777.00 | ± 1312.00 |    |
|          |      | 0.K    | 0.K    | 0.K     | 0.K     | 0.K      | 0.K       |    |

(+):압축, (-):인장

2) 내측거더 강선 응력검토(사용하중 상태)

[illegible]

## 12. 처짐 검토

### 12.1 하중 단계별 처짐

▷ 최대처짐(  $\delta$  ) = 하중에 의한 처짐 + 프리스트레스에 의한 처짐

$$\delta = \frac{5 \times M \times L^2}{48 \times E \times I}$$

여기서, M : 경간 중앙부 최대 휨 모멘트(= P X e)  
 L : 지간  
 E : 거더의 탄성계수  
 I : 단면 2차 모멘트(거더중앙부)  
 P : 프리스트레스 힘 (도입 또는 유효 프리스트레스 kgf)  
 e : (지점부에서의 편심거리, +하향)

#### (1) G1 거더 처짐

| 하 중         | 휨모멘트 M    | 탄성계수 E | 단면2차모멘트 I         | 처 짐 $\delta$ |
|-------------|-----------|--------|-------------------|--------------|
|             | (kN · m)  | (MPa)  | (m <sup>4</sup> ) | (mm)         |
| 거더 자중       | 7882.00   | 30008  | 0.7064            | 93.00        |
| 합성전 고정하중    | 4643.90   | 30008  | 0.7889            | 49.06        |
| 합성후 고정하중    | 1924.50   | 30008  | 1.5933            | 10.07        |
| 프리스트레스 도입직후 | -12552.08 | 30008  | 0.7064            | -148.10      |
| 프리스트레스 손실   | 2312.78   | 30008  | 1.5933            | 12.10        |
| 활하중         | 4211.80   | 30008  | 1.5933            | 22.03        |

#### (2) G2~G4 거더 처짐

| 하 중         | 휨모멘트 M    | 탄성계수 E | 단면2차모멘트 I         | 처 짐 $\delta$ |
|-------------|-----------|--------|-------------------|--------------|
|             | (kN · m)  | (MPa)  | (m <sup>4</sup> ) | (mm)         |
| 거더 자중       | 7882.00   | 30008  | 0.7064            | 93.00        |
| 합성전 고정하중    | 4967.40   | 30008  | 0.7889            | 52.48        |
| 합성후 고정하중    | 2072.10   | 30008  | 1.6031            | 10.77        |
| 프리스트레스 도입직후 | -12552.08 | 30008  | 0.7064            | -148.10      |
| 프리스트레스 손실   | 2312.78   | 30008  | 1.5933            | 12.10        |
| 활하중         | 3533.20   | 30008  | 1.5933            | 18.48        |

#### (3) G5 거더 처짐

| 하 중         | 휨모멘트 M    | 탄성계수 E | 단면2차모멘트 I         | 처 짐 $\delta$ |
|-------------|-----------|--------|-------------------|--------------|
|             | (kN · m)  | (MPa)  | (m <sup>4</sup> ) | (mm)         |
| 거더 자중       | 7882.00   | 30008  | 0.7064            | 93.00        |
| 합성전 고정하중    | 4733.90   | 30008  | 0.7889            | 50.01        |
| 합성후 고정하중    | 1993.30   | 30008  | 1.6031            | 10.36        |
| 프리스트레스 도입직후 | -12552.08 | 30008  | 0.7064            | -148.10      |
| 프리스트레스 손실   | 2312.78   | 30008  | 1.5933            | 12.10        |
| 활하중         | 3394.10   | 30008  | 1.5933            | 17.75        |

## 12.2 크리프에 의한 처짐

(1) 바닥판 타설전 Bicon 거더 크리프 계수 ( $\Phi_b$ ,  $t' = 30$  일,  $t = 90$  일,  $RH = 70\%$ )

$$\Phi_b(t-t') = \Phi_0 \times \beta_c(t-t')$$

$$\Phi_0 = \Phi_{RH} \times \beta(f_{cu}) \times \beta(t')$$

$$\Phi_{RH} = 1 + (1 - 0.01 \times RH) / 0.1 \times \sqrt[3]{h} = 1.469$$

$$\text{여기서, } h = 2 \times A_c \times EA / u \times EA$$

$$= (2 \times \text{거더단면적}(\text{mm}^2) \times \text{거더갯수}) / (\text{거더단면둘레}(\text{mm}) \times \text{거더갯수})$$

$$= 262.549 \text{ mm}$$

$$\beta(f_{cu}) = 16.8 / \sqrt{f_{cu}} = 2.425$$

$$\text{여기서, } f_{cu} = f_{ck} + 8 = 48$$

$$\beta(t') = 1 / \{ 0.1 + (t')^{0.2} \} = 1 / \{ 0.1 + (30)^{0.2} \} = 0.48$$

$$\beta_c(t-t') = [(t-t') / \{ \beta_u + (t-t') \}]^{0.3} = 0.47$$

$$\text{여기서, } \beta_H = 1.5 [ 1 + (0.012 RH)^{18} ] h + 25( = 661 \text{ 일} < 1500 \text{ 일}$$

$$\Phi_0 = \Phi_{RH} \times \beta(f_{cu}) \times \beta(t')$$

$$= 1.469 \times 2.425 \times 0.482 = 1.717$$

$$\therefore \Phi_b(t, t') = \Phi_0 \times \beta_c(t-t')$$

$$= 1.717 \times 0.47 = 0.807$$

(2) 바닥판 타설후 Bicon 거더 크리프 계수 ( $\Phi_b$ ,  $t' = 90$  일,  $t = 10000$  일,  $RH = 70\%$ )

$$\Phi_t(t-t') = \Phi_0 \times \beta_c(t-t')$$

$$\Phi_0 = \Phi_{RH} \times \beta(f_{cu}) \times \beta(t')$$

$$\Phi_{RH} = 1 + (1 - 0.01 \times RH) / 0.1 \times \sqrt[3]{h} = 1.219$$

$$\text{여기서, } h = 2 \times A_c \times EA / u \times EA$$

$$= (2 \times \text{거더단면적}(\text{m}^2) \times \text{거더갯수}) / (\text{거더단면둘레}(\text{m}) \times \text{거더갯수})$$

$$= 262.549$$

$$\beta(f_{cu}) = 16.8 / \sqrt{f_{cu}} = 2.425$$

$$\text{여기서, } f_{cu} = f_{ck} + 8 = 48$$

$$\beta(t') = 1 / \{ 0.1 + (t')^{0.2} \} = 1 / \{ 0.1 + (90)^{0.2} \} = 0.39$$

$$\beta_c(t-t') = [(t-t') / \{ \beta_u + (t-t') \}]^{0.3} = 0.98$$

$$\text{여기서, } \beta_H = 1.5 [ 1 + (0.012 RH)^{18} ] h + 25( = 661 \text{ 일} < 1500 \text{ 일}$$

$$\Phi_0 = \Phi_{RH} \times \beta(f_{cu}) \times \beta(t')$$

$$= 1.219 \times 2.425 \times 0.391 = 1.156$$

$$\therefore \Phi_t(t, t') = \Phi_0 \times \beta_c(t-t')$$

$$= 1.156 \times 0.98 = 1.133$$

(3) G1 거더

1) 바닥판 타설전에 생기는 처짐

$$\begin{aligned}\delta_{\phi 1} &= \Phi_b \times (\delta_{do} + \delta_{ps}) \quad (\Phi_b = 0.807) \\ &= 0.807 \times (93.00 + -148.10) = -44.47 \text{ mm}\end{aligned}$$

2) 바닥판 타설후에 생기는 처짐

$$\begin{aligned}\delta_{\phi 2} &= \Phi_t \times (\delta_{do} + \delta_{d1} + \delta_{d2} + \delta_{pe}) \quad (\Phi_t = 1.133) \\ &= 1.133 \times (93.00 + 49.06 + 10.07 + -136.00) \\ &= 18.27 \text{ mm}\end{aligned}$$

(4) G2~G4 거더

1) 바닥판 타설전에 생기는 처짐

$$\begin{aligned}\delta_{\phi 1} &= \Phi_b \times (\delta_{do} + \delta_{ps}) \quad (\Phi_b = 0.807) \\ &= 0.807 \times (93.00 + -148.10) = -44.47 \text{ mm}\end{aligned}$$

2) 바닥판 타설후에 생기는 처짐

$$\begin{aligned}\delta_{\phi 2} &= \Phi_t \times (\delta_{do} + \delta_{d1} + \delta_{d2} + \delta_{pe}) \quad (\Phi_t = 1.133) \\ &= 1.133 \times (93.00 + 52.48 + 10.77 + -136.00) \\ &= 22.94 \text{ mm}\end{aligned}$$

12.3 처짐의 합계

(단위:mm)

| 구 분         | G1 거더  | G2~G4 거더 | G5 거더  | 비 고                                                                                         |
|-------------|--------|----------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| 프리스트레스 도입직후 | -55.10 | -55.10   | -55.10 | $\delta_{do} + \delta_{ps}$                                                                 |
| 바닥판 타설 전    | -99.57 | -99.57   | -99.57 |                                                                                             |
| 바닥판 타설 후    | -50.51 | -47.09   | -49.56 | $\delta_{do} + \delta_{ps} + \delta_{d1} + \delta_{\phi 1}$                                 |
| 고정하중 작용시    | -10.07 | -1.28    | -8.82  | $\delta_{do} + \delta_{d1} + \delta_{d2} + \delta_{pe} + \delta_{\phi 1} + \delta_{\phi 2}$ |
| 활하중에 의한 처짐량 | 22.03  | 18.48    | 17.75  |                                                                                             |

12.4 활하중에 의한 처짐 검토

$$\triangleright \text{허용처짐}(\delta_a) = L / 800 = 49 / 800 = 61.25 \text{ mm}$$

(1) G1 거더

$$\delta_v = 22.03 < \delta_a = 61.25 \text{ ----- } 0.K$$

(2) G2~G4 거더

$$\delta_v = 18.48 < \delta_a = 61.25 \text{ ----- } 0.K$$

(3) G5 거더

$$\delta_v = 17.75 < \delta_a = 61.25 \text{ ----- } 0.K$$

### 13. 휨강도의 검토

#### 13.1 거더

##### 1) 극한모멘트 (Factored Moment)

$$Mu = 1.3 MD + 2.15 ML = 27840890.0 \text{ N} \cdot \text{m}$$

##### 2) 단면 제원

$$\begin{aligned} b &= 2500.0 \text{ mm} && (\text{압축 플랜지의 폭}) \\ dp &= 2515.9 \text{ mm} \\ Ap1 &= 0.010403 \text{ m}^2 = 10403 \text{ mm}^2 && (\text{강연선 총면적}) \\ Ap2 &= 0.002514 \text{ m}^2 = 2514 \text{ mm}^2 && (\text{강봉 총면적}) \\ Fck &= 27 \text{ MPa} && (\text{슬래브 콘크리트 강도}) \\ Fck &= 40 \text{ MPa} && (\text{빔 콘크리트 강도}) \\ Fput &= 1900 \text{ MPa} && (\text{극한인장강도}) \\ Fpyt &= 1600 \text{ MPa} && (\text{항복강도}) \\ Fpuc &= 1050 \text{ MPa} && (\text{극한인장강도}) \\ Fpyc &= 950 \text{ MPa} && (\text{항복강도}) \end{aligned}$$

##### 3) 계수 산정

$$\begin{aligned} rp1 &= 0.28 && (0.40\text{-응력제거강재}, 0.28\text{-저릴랙세이션강재}, 0.55\text{-강봉}) \\ \beta 1 &= 0.85 - [0.007 \times (Fck - 28)] = 0.857 \\ \rho p1 &= Ap / (b \times dp) = 0.001654 \\ rp2 &= 0.55 && (0.40\text{-응력제거강재}, 0.28\text{-저릴랙세이션강재}, 0.55\text{-강봉}) \\ \beta 2 &= 0.85 - [0.007 \times (Fck - 28)] = 0.857 \\ \rho p2 &= Ap / (b \times dp) = 0.000400 \end{aligned}$$

##### 4) PS강재의 응력계산(Fps) (도로교설계기준, 2010, p.4-127)

\* 철근을 배치하지 않았거나, 배치했더라도 그 영향을 무시할 수 있는 경우

$$Fps = Fput \times [1 - (rp1 / \beta 1) \times \rho p1 \times (Fput / Fck)] = 1827.8 \text{ MPa}$$

##### 5) 해석단면 결정

$$\begin{aligned} a &= (Ap \times Fps) / (0.85 \times Fck \times b) = 331.4 \text{ mm} \\ \text{슬래브 두께} &: 240.0 \text{ mm} < 331.4 \text{ mm} \text{ ----- 플랜지단면} \end{aligned}$$

##### 6) 최대 PS 강재량 검토

$$\begin{aligned} \text{강재지수}(qp) &= \rho p \times Fps / Fck = 0.112 \\ qp (=0.112) &< 0.36 \times \beta 1 (=0.309) \text{ ----- 0.K} \end{aligned}$$

##### 7) 극한 저항 모멘트 검토

$$\begin{aligned} \Phi \cdot Mn &= \Phi [Apw \times Fps \times dp \times (1 - 0.59 \times Apw \times Fps / (bo \times dp \times Fck)) \\ &\quad + 0.85 \times Fck (b - bo) \times t \times (dp - 0.5 t)] = 36119.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ \Phi \cdot Mn (=36119.83) &> Mu (=27840.89) \text{ ----- 0.K} \end{aligned}$$

##### 8) 균열 모멘트 검토

$$\begin{aligned} 1.2 \cdot Mcr &= Zbo \times (0.5 \times \sqrt{Fck} + fbe - fd) = -31624.063 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ fpe &= 24.772 \text{ MPa} \\ fd &= Md1 / Zbo = -11.679 \text{ MPa} \\ Zbo &= Ico / Ybo = -0.675 \text{ m}^3 \\ 1.2 \cdot Mcr &(-31624.063) < \Phi \cdot Mn (=36119.83) \text{ ----- 0.K} \end{aligned}$$

## 14. 전단 검토

### 14.1 수직 전단 검토

#### 14.1.1 G1 거더

▷ 전단력이 가장 크게 발생하는 지점부에서 검토

외측거더 지점부 단면력

| 구 분 | V(kN)  | M(kN · m) |
|-----|--------|-----------|
| 자 중 | 692.83 | 5.13      |
| 합성전 | 369.68 | 1.49      |
| 합성후 | 183.54 | 5.52      |
| 활하중 | 395.98 | 34.53     |

#### (1) 극한전단력

$$V_u = 1.3 D + 2.15 (L + I) + 1.3CF + 1.7H + 1.3Q = 2471.2 \text{ kN}$$

#### (2) 콘크리트가 부담하는 전단강도 $V_c$ (도로교설계기준, 2010, p.4-76)

-  $V_c$ 는  $V_{ci}$  또는  $V_{cw}$  중에서 작은 값으로 한다.

##### 1) 전단강도 $V_{ci}$ (휨 전단강도)

$$V_{ci} = 0.05 \times \sqrt{F_{ck}} \times b_w \times d + V_d + (V_i \times M_{cr}) / M_{max}$$

$$M_{cr} = Z_{bo} \times (0.5 \times \sqrt{F_{ck}} + f_{pe} - f_d) = 18847.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$f_{pe} = 24.772 \text{ MPa}$$

$$f_d = M_{d1} / Z_{bo} = 0.008 \text{ MPa}$$

$$Z_{bo} = I_{co} / Y_{bo} = 0.675 \text{ m}^3$$

$$M_{max} = 1.3 \times (M_{d2} + M_{d3}) + 2.15 \times M_I = 83.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$d = 2400 - (2275 + 1,750 + 1,250 + 750) / 4 = 893.75 \text{ mm}$$

-  $d$ 를  $0.8H$ 보다 작게 취해서는 안된다.

$$893.75 \text{ mm} < 0.8 \times H = 1920 \text{ mm} \quad \therefore d = 1920.00 \text{ mm}$$

$$V_d = 692.83 \text{ kN}$$

$$V_i = 1.3 \times (V_{d2} + V_{d3}) + 2.15 \times V_I = 1570.54 \text{ kN}$$

-  $V_{ci}$ 는  $0.14 \sqrt{F_{ck}} \times b_w \times d$  보다 작아서는 안된다.

$$V_{ci} = 356297.61 \text{ kN} > 0.14 \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d = 1360.03 \text{ kN}$$

$$\therefore V_{ci} = 356297.61 \text{ kN}$$

2) 전단강도  $V_{cw}$ (복부 전단강도)

$$V_{cw} = (0.29 \times \sqrt{f_{ck}} + 0.3 \times f_{pc}) \times b_w \times d + V = 10125272 \text{ N} = 10125.27 \text{ kN}$$

$$f_{pc} = P_{e1} / A_c = 10345587 / 961764 = 10.757 \text{ MPa}$$

$$V_p = P_{e2} \times \sin \Theta \text{ (} V_p : \text{수직분력)} = 9358975 \times 0.2512 = 2351286.82 \text{ N}$$

$$\therefore V_c = \min [ V_{ci}, V_{cw} ] = 10125.3 \text{ kN}$$

3)  $\phi V_c = 0.80 \times 10125.3 = 8100.2 \text{ kN}$

$$1/2 \phi V_c = 4,050.109 \text{ kN}$$

$$\therefore V_u < 1/2 \phi V_c, \text{ 전단 철근 불필요}$$

4) 최소 전단철근 검토

$$\text{전단 철근 간격 } s = 200 \text{ mm (} 0.75H \text{ (=1800mm) 또는 600mm보다 커서는 안된다.)}$$

$$A_{vmin} = 0.0625 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times s / f_y = 210.819 \text{ mm}^2$$

$$A_{vmin} = 210.819 \text{ mm}^2 > 0.35 \times b_w \times s / f_y = 186.667 \text{ mm}^2 \text{ ----- } \mathbf{0.K}$$

$$A_{vall} = \text{Max}(A_v, A_{vmin}) = 210.819 \text{ mm}^2$$

$$A_{vuse} = \mathbf{D16} \times 2 \text{ EA} = 397.2 \text{ mm}^2 \text{ ----- } \mathbf{0.K}$$

4) 전단 철근 검토

$$\text{전단 철근 간격 } s = 200 \text{ mm (} 0.75H \text{ (=1800mm) 또는 600mm보다 커서는 안된다.)}$$

$$A_v = (V_u - \phi V_c) S / (\phi f_y d)$$

$$= (2471.2 - 8100.2) \times 200$$

$$/ (0.80 \times 300 \times 1920.00)$$

$$= -2,443.14 \text{ mm}^2$$

$$A_{vmin} = 0.35 \times b_w \times s / f_y = 186.67 \text{ mm}^2$$

$$A_{vall} = \text{Max}(A_v, A_{vmin}) = 186.67 \text{ mm}^2$$

$$A_{vuse} = \mathbf{D16} \times 2 \text{ EA} = 397.2 \text{ mm}^2 \text{ ----- } \mathbf{0.K}$$

## 14.2 수직 전단 검토 (0.45m ~ 4.95m)

### 14.2.1 거더

▷ 검토 구간에서 전단력이 가장 크게 발생하는 지점에 대하여 전단 검토 시행

외측거더 지점부 단면력

| 구 분 | V(kN)  | M(kN · m) |
|-----|--------|-----------|
| 자 중 | 664.94 | 368.25    |
| 합성전 | 361.60 | 199.61    |
| 합성후 | 178.72 | 94.09     |
| 활하중 | 388.35 | 198.29    |

#### (1) 극한전단력

$$V_u = 1.3 D + 2.15 (L + I) + 1.3CF + 1.7H + 1.3Q = 2401.8 \text{ kN}$$

#### (2) 콘크리트가 부담하는 전단강도 $V_c$ (도로교설계기준, 2010, p.4-76)

-  $V_c$ 는  $V_{ci}$  또는  $V_{cw}$  중에서 작은 값으로 한다.

##### 1) 전단강도 $V_{ci}$ (휨 전단강도)

$$V_{ci} = 0.05 \times \sqrt{F_{ck}} \times b_w \times d + V_d + (V_i \times M_{cr}) / M_{max}$$

$$M_{cr} = Z_{bo} \times (0.5 \times \sqrt{F_{ck}} + f_{pe} - f_d) = 18483.9 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$f_{pe} = 24.772 \text{ MPa}$$

$$f_d = M_{d1} / Z_{bo} = 0.546 \text{ MPa}$$

$$Z_{bo} = I_{co} / Y_{bo} = 0.675 \text{ m}^3$$

$$M_{max} = 1.3 \times (M_{d2} + M_{d3}) + 2.15 \times M_I = 808.13 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$d = 2400 - (2275 + 1,750 + 1,250 + 750) / 4 = 893.75 \text{ mm}$$

-  $d$ 를  $0.8H$ 보다 작게 취해서는 안된다.

$$893.75 \text{ mm} < 0.8 \times H = 1920 \text{ mm} \quad \therefore d = 1920.00 \text{ mm}$$

$$V_d = 664.94 \text{ kN}$$

$$V_i = 1.3 \times (V_{d2} + V_{d3}) + 2.15 \times V_I = 1537.37 \text{ kN}$$

-  $V_{ci}$ 는  $0.14 \sqrt{F_{ck}} \times b_w \times d$  보다 작아서는 안된다.

$$V_{ci} = 35949.59 \text{ kN} > 0.14 \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d = 340.01 \text{ kN}$$

$$\therefore V_{ci} = 35949.59 \text{ kN}$$

2) 전단강도  $V_{cw}$ (복부 전단강도)

$$V_{cw} = (0.29 \times \sqrt{f_{ck}} + 0.3 \times f_{pc}) \times b_w \times d + V = 4294783.00 \text{ N} = 4294.78 \text{ kN}$$

$$f_{pc} = P_{e1} / A_c = 10345587 / 961764 = 10.757 \text{ MPa}$$

$$V_p = P_{e2} \times \sin \Theta \text{ (} V_p \text{ : 수직분력)} = 9358975 \times 0.2512 = 2351286.82 \text{ N}$$

$$\therefore V_c = \min [ V_{ci}, V_{cw} ] = 4294.8 \text{ kN}$$

3)  $\phi V_c = 0.80 \times 4294.8 = 3435.8 \text{ kN}$

$$1/2 \phi V_c = 1,717.913 \text{ kN}$$

$$\therefore 1/2 \phi V_c < V_u < \phi V_c, \text{ 최소 전단 철근 배근}$$

4) 최소 전단철근 검토

$$\text{전단 철근 간격 } s = 200 \text{ mm (} 0.75H \text{ (=1800mm) 또는 600mm보다 커서는 안된다.)}$$

$$A_{vmin} = 0.0625 \times \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times s / f_y = 210.819 \text{ mm}^2$$

$$A_{vmin} = 210.819 \text{ mm}^2 > 0.35 \times b_w \times s / f_y = 186.667 \text{ mm}^2 \text{ ----- } \mathbf{0.K}$$

$$A_{vll} = \text{Max}(A_v, A_{vmin}) = 210.819 \text{ mm}^2$$

$$A_{vuse} = \mathbf{D13} \times 2 \text{ EA} = 253.4 \text{ mm}^2 \text{ ----- } \mathbf{0.K}$$

### 14.3 수직 전단 검토 (4.95m ~ 중앙부)

#### 14.3.1 거더

▷ 검토 구간에서 전단력이 가장 크게 발생하는 지점에 대하여 전단 검토 시행

외측거더 지점부 단면력

| 구 분 | V(kN)  | M(kN · m) |
|-----|--------|-----------|
| 자 중 | 387.52 | 4918.60   |
| 합성전 | 230.03 | 2847.10   |
| 합성후 | 101.06 | 1346.10   |
| 활하중 | 279.77 | 2620.10   |

#### (1) 극한전단력

$$V_u = 1.3 D + 2.15 (L + l) + 1.3CF + 1.7H + 1.3Q = 1535.7 \text{ kN}$$

#### (2) 콘크리트가 부담하는 전단강도 $V_c$ (도로교설계기준, 2010, p.4-76)

-  $V_c$ 는  $V_{ci}$  또는  $V_{cw}$  중에서 작은 값으로 한다.

##### 1) 전단강도 $V_{ci}$ (휨 전단강도)

$$V_{ci} = 0.05 \times \sqrt{F_{ck}} \times b_w \times d + V_d + (V_i \times M_{cr}) / M_{max}$$

$$M_{cr} = Z_{bo} \times (0.5 \times \sqrt{F_{ck}} + f_{pe} - f_d) = 13933.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$f_{pe} = 24.772 \text{ MPa}$$

$$f_d = M_{d1} / Z_{bo} = 7.288 \text{ MPa}$$

$$Z_{bo} = I_{co} / Y_{bo} = 0.6749 \text{ m}^3$$

$$M_{max} = 1.3 \times (M_{d2} + M_{d3}) + 2.15 \times M_l = 11084.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$d = 2400 - (2275 + 1,750 + 1,250 + 750) / 4 = 893.75 \text{ mm}$$

-  $d$ 를  $0.8H$ 보다 작게 취해서는 안된다.

$$893.75 \text{ mm} < 0.8 \times H = 1920 \text{ mm} \quad \therefore d = 1920.00 \text{ mm}$$

$$V_d = 387.52 \text{ kN}$$

$$V_i = 1.3 \times (V_{d2} + V_{d3}) + 2.15 \times V_l = 1031.92 \text{ kN}$$

-  $V_{ci}$ 는  $0.14\sqrt{F_{ck}} \times b_w \times d$  보다 작아서는 안된다.

$$V_{ci} = 1806.12 \text{ kN} > 0.14 \sqrt{f_{ck}} \times b_w \times d = 340.01 \text{ kN}$$

$$\therefore V_{ci} = 1806.12 \text{ kN}$$

2) 전단강도  $V_{cw}$ (복부 전단강도)

$$V_{cw} = (0.29 \times \sqrt{f_{ck}} + 0.3 \times f_{pc}) \times b_w \times d + V = 4294783.00 \text{ N} = 4294.78 \text{ kN}$$

$$f_{pc} = P_{e1} / A_c = 10345587 / 961764 = 10.757 \text{ MPa}$$

$$V_p = P_{e2} \times \sin \Theta \text{ (} V_p : \text{수직분력)} = 9358975 \times 0.2512 = 2351286.82 \text{ N}$$

$$\therefore V_c = \min [ V_{ci}, V_{cw} ] = 1806.1 \text{ kN}$$

3)  $\phi V_c = 0.80 \times 1806.1 = 1444.9 \text{ kN}$

$$1/2 \phi V_c = 722.450 \text{ kN}$$

$\therefore V_u > \phi V_c$ , 전단 보강철근 계산

4) 전단 철근 검토

전단 철근 간격  $s = 400 \text{ mm}$  (0.75H (=1800mm) 또는 600mm보다 커서는 안된다.)

$$\begin{aligned} A_v &= (V_u - \phi V_c) S / (\phi f_y d) \\ &= (1535.7 - 1444.9) \times 400 \\ &\quad / (0.80 \times 300 \times 1920.00) \\ &= 78.82 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$A_{vmin} = 0.35 \times b_w \times s / f_y = 93.33 \text{ mm}^2$$

$$A_{vall} = \text{Max}(A_v, A_{vmin}) = 93.33 \text{ mm}^2$$

$$A_{vuse} = \mathbf{D13} \times 2 \text{ EA} = 253.4 \text{ mm}^2 \text{ ----- } \mathbf{0.K}$$

#### 14.4 수평 전단 강도 검토(주거터와 바닥판 결합)

##### 1) 온도에 의한 수평전단응력 검토

$$F_t = \frac{1}{1 + \frac{A_s}{n \cdot A_b} + \frac{A_s \cdot d_c^2}{I_s + n \cdot I_b}} = 0.081$$

여기서,  $A_s, I_s$  : 슬래브 단면적, 단면2차모멘트  
 $A_b, I_b$  : 거더의 단면적, 단면2차모멘트  
 $d_c$  : 거더단면중심 ~ 슬래브중심

$$P_t = E_b \cdot (A_s/n) \cdot \alpha \cdot \Delta T = 29000 \times 0.5 \times 1.0 \times 10^{-5} \times 5 = 725000 \text{ N}$$

$$N_{ct} = F_t \cdot P_t = 0.081 \times 725000 = 58725 \text{ N}$$

$$v_t = 2 N_{ct} / a \cdot b = 2 \times 58725 / (2.5 \times 0.80) = 0.059 \text{ MPa}$$

여기서,  $a$  = 전단분포폭 ( 거더중심간격, 지간/10 중 작은 값 )

##### 2) 건조수축 의한 수평전단응력 검토

$$n_2 = n [ 1 + \phi_2 / 2 ] = 1.2 \times [ 1 + 4.0 / 2 ] = 3.60$$

$$F_s = \frac{1}{1 + \frac{A_s}{n_2 \cdot A_b} + \frac{A_s \cdot d_c^2}{I_s + n_2 \cdot I_b}} = 0.208$$

$$P_s = E_b \cdot A_s \cdot \epsilon_s / n_2 = 29000 \times 0.6 \times 18 \times 10^{-5} / 3.60 = 870000 \text{ N}$$

$$N_{cs} = F_s \cdot P_s = 0.208 \times 870000 = 180960 \text{ N}$$

$$v_s = 2 N_{cs} / a \cdot b = 2 \times 180960 / (2.5 \times 0.80) = 0.181 \text{ MPa}$$

##### 3) 합성후 고정하중에 의해 접합면에 작용하는 전단응력

$$v_d = 1246.1 \times 1000 / (0.800 \times 2.112) = 0.737 \text{ MPa}$$

$d_p = 0.8 \times h$  보다 작아서는 안된다.

$$d_p = 2.640 - 0.875 = 1.765 \text{ m} \leq 0.8 \times 2.6 = 2.112 \text{ m}$$

$$d_p = 2.112 \text{ m}$$

4) 합성후 활하중에 의해 접합면에 작용하는 전단응력

$$v_l = 396.0 \times 1000 / \{ 0.800 \times 2.112 \} = 0.234 \text{ MPa}$$

dp = 0.8 x h 보다 작아서 안된다.

$$dp = 2.640 - 0.875 = 1.765 \text{ m} \leq 0.8 \times 2.6 = 2.112 \text{ m}$$

$$dp = 2.112 \text{ m}$$

5) 하중 조합

$$\begin{aligned} \textcircled{1} \quad & 1.3 \times v_d + 2.15 \times v_l \\ &= 1.3 \times 0.737 + 2.15 \times 0.234 \\ &= 1.461 \text{ Mpa} \leq 0.8 \times 3.5 = 2.800 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{2} \quad & 1.3 \times v_d + 1.3 \times v_l + 1.3 \times v_t \\ &= 1.3 \times (0.737 + 0.234 + 0.059) \\ &= 1.339 \text{ Mpa} \leq 0.8 \times 3.5 = 2.800 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \textcircled{3} \quad & 1.3 \times (v_t + v_s) \\ &= 1.3 \times (0.059 + 0.181) \\ &= 0.312 \text{ Mpa} \leq 0.8 \times 3.5 = 2.800 \text{ MPa} \end{aligned}$$

6) 전단연결재의 배치간격 결정

- 접촉면을 청결하고 부유물이 없게끔하며, 대략 6 mm 깊이로 표면을 일부러 거칠게 한 후 최소전단연결재 이상을 사용.

- 최대 전단철근 간격

$$a. \quad bw \times 4 = 0.8 \times 4 = 3.200 \quad m$$

$$b. \quad 0.600 \quad m$$

$$\ast \quad \text{전단철근 최대 간격 } s = 0.600 \quad m$$

① 단부 (4.55m)

$$\text{- 사용 철근량} \quad Use \quad Av = D \quad 16 \times 2 \quad ea = 0.000398 \quad m^2$$

- 해석에 의한 최소전단철근 간격

$$Req. \quad s = \frac{Av \times fy}{0.35 \times bv} = \frac{0.000398 \times 300}{0.35 \times 0.800} = 0.426 \quad m$$

$$\ast \quad \text{사용 전단철근 간격 } s = 0.200 \quad m \quad \ast \quad 0.K$$

② 중간 가로보부(19.95m)

$$\text{- 사용 철근량} \quad Use \quad Av = D \quad 16 \times 2 \quad ea = 0.000398 \quad m^2$$

- 해석에 의한 최소전단철근 간격

$$Req. \quad s = \frac{Av \times fy}{0.35 \times bv} = \frac{0.000398 \times 300}{0.35 \times 0.800} = 0.426 \quad m$$

$$\ast \quad \text{사용 전단철근 간격 } s = 0.400 \quad m \quad \ast \quad 0.K$$

③ 중앙부

$$\text{- 사용 철근량} \quad Use \quad Av = D \quad 16 \times 2 \quad ea = 0.000398 \quad m^2$$

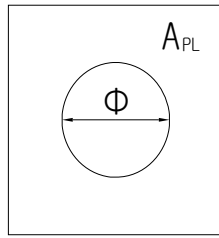
- 해석에 의한 최소전단철근 간격

$$Req. \quad s = \frac{Av \times fy}{0.35 \times bv} = \frac{0.000398 \times 300}{0.35 \times 0.800} = 0.426 \quad m$$

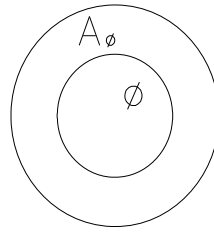
$$\ast \quad \text{사용 전단철근 간격 } s = 0.400 \quad m \quad \ast \quad 0.K$$

## 15. 정착부 설계

### 15.1 설계 조건



< 사각 정착판 제원 >



< 원형 정착판 제원 >

#### 15.1.1 정착판 유효단면적

| 구 분 | 정착구제원     | $A_{PL} (m^2)$ | $A_{\Phi} (m^2)$ | $\Phi (m)$ | 유효단면적( $m^2$ ) |
|-----|-----------|----------------|------------------|------------|----------------|
| T2  | 15.2/17연선 | 0.099          | 0.031            | 0.100      | 0.115          |
| T3  | 15.2/17연선 | 0.099          | 0.031            | 0.100      | 0.115          |
| T4  | 15.2/17연선 | 0.099          | 0.031            | 0.100      | 0.115          |
| T5  | 15.2/17연선 | 0.099          | 0.031            | 0.100      | 0.115          |

#### 15.1.2 정착구 긴장력

단위 : N

| 구 분 | 도입긴장력( $P_o$ ) | 순긴장력( $P_{net}$ ) | 유효프리스트레스( $P_e$ ) |
|-----|----------------|-------------------|-------------------|
| T2  | 3,400,000      | 2,952,864         | 2,408,133         |
| T3  | 3,400,000      | 2,648,320         | 2,159,769         |
| T4  | 3,400,000      | 2,790,600         | 2,275,802         |
| T5  | 3,400,000      | 2,934,263         | 2,392,963         |

$$* \text{유효 프리스트레스}(P_e) = \text{초기 프리스트레스}(P_i) \times \text{유효율}$$

### 15.2 지압 응력 검토

#### 15.2.1 긴장재 검토

##### (1) 긴장재 정착 직후

$$f_{ap} = 0.7 \times f_{ci} \times \sqrt{\left( \frac{A_{b'}}{A_b} \right) - 0.2} \leq 1.1 \times f_{ci}$$

- $f_{ci}$  = 프리스트레스 도입시의 압축 강도 = 32 MPa
- $A_{b'}$  = 정착판의 도심과 일치하는 정착판의 닳은끝은 부재단부에 가장 크게 그렸을때 그 도형의 면적
- $A_b$  = 정착판의 면적

##### - 긴장구별 허용 지압 응력

| 구 분 | 정착구제원     | $A_{b'}$ | $A_b$ | $f_{api}$ | $1.1f_{ci}$ | 허용지압응력 |
|-----|-----------|----------|-------|-----------|-------------|--------|
| T2  | 15.2/17연선 | 0.250    | 0.099 | 34.1      | 35.2        | 34.1   |
| T3  | 15.2/17연선 | 0.250    | 0.099 | 34.1      | 35.2        | 34.1   |
| T4  | 15.2/17연선 | 0.250    | 0.099 | 35.6      | 35.2        | 35.2   |
| T5  | 15.2/17연선 | 0.250    | 0.099 | 34.1      | 35.2        | 34.1   |

##### - 작용 지압응력

$$f_b = \text{도입긴장력}(P_o) / A_e \quad (A_e : \text{정착판의 유효면적})$$

- 긴장구별 지압 응력 검토

| 구 분 | 정착구제원     | Po        | Ae    | fb   | 허용지압응력 | 검 토 |
|-----|-----------|-----------|-------|------|--------|-----|
| T2  | 15.2/17연선 | 3,400,000 | 0.115 | 29.6 | 34.1   | 0.K |
| T3  | 15.2/17연선 | 3,400,000 | 0.115 | 29.6 | 34.1   | 0.K |
| T4  | 15.2/17연선 | 3,400,000 | 0.115 | 29.6 | 35.2   | 0.K |
| T5  | 15.2/17연선 | 3,400,000 | 0.115 | 29.6 | 34.1   | 0.K |

(2) 프리스트레스 손실 발생후

- 허용 지압 응력

$$f_{ap} = 0.5 \times f_{ck} \times \sqrt{(A_b' / A_b)} \leq 0.9 \times f_{ck}$$

$$\bullet \quad f_{ck} = \text{설계 기준 강도} = 40 \text{ MPa}$$

- 긴장구별 허용 지압 응력

| 구 분 | 정착구제원     | Ab'   | Ab    | fapi | 0.9fck | 허용지압응력 |
|-----|-----------|-------|-------|------|--------|--------|
| T2  | 15.2/17연선 | 0.250 | 0.099 | 31.7 | 36.0   | 31.7   |
| T3  | 15.2/17연선 | 0.250 | 0.099 | 31.7 | 36.0   | 31.7   |
| T4  | 15.2/17연선 | 0.250 | 0.099 | 31.7 | 36.0   | 31.7   |
| T5  | 15.2/17연선 | 0.250 | 0.099 | 31.7 | 36.0   | 31.7   |

- 작용 지압응력

$$f_b = \text{도입긴장력}(P_o) / A_e \quad (A_e : \text{정착판의 유효면적})$$

- 긴장구별 지압 응력 검토

| 구 분 | 정착구제원     | Pnet      | Ae    | fb   | 허용지압응력 | 검 토 |
|-----|-----------|-----------|-------|------|--------|-----|
| T2  | 15.2/17연선 | 2,952,864 | 0.115 | 25.7 | 31.7   | 0.K |
| T3  | 15.2/17연선 | 2,648,320 | 0.115 | 23.0 | 31.7   | 0.K |
| T4  | 15.2/17연선 | 2,790,600 | 0.115 | 24.3 | 31.7   | 0.K |
| T5  | 15.2/17연선 | 2,934,263 | 0.115 | 25.5 | 31.7   | 0.K |

### 15.3 파열력에 대한 검토

#### (1) 정착구 Busting 철근 검토

$$\begin{aligned} a(\text{정착판 일변 길이}) &= 315 \text{ mm} \\ h(\text{정착단면의 치수}) &= 2400 \text{ mm} \\ \alpha(\text{radian}) &= \text{ave}(T_{n-1} \sim T_n) = 0.131096267 \\ \sum P_o(\text{도입긴장력}) &= 13600000 \text{ N} \end{aligned}$$

#### 1) 파열력 산정

$$\begin{aligned} T_{\text{burst}} &= 0.25 \times \sum P_o \times \{ 1 - (a/h) \} + (0.5 \times \sum P_o \times \sin \alpha) \\ &= 0.25 \times 13600000 \times \{ 1 - (315 / 2400) \} \\ &\quad + 0.5 \times 13600000 \times \sin 0.13110 \\ &= 2952704.6 \text{ N} \end{aligned}$$

#### 2) 보강철근량 산정

$$\begin{aligned} 1.2 T_{\text{burst}} &= \phi T_n = \phi A_s f_y \\ \text{Req'd } A_s &= 1.2 \times 2952704.62 / (0.8 \times 300.0) = 14763.5 \text{ mm}^2 \\ e &= 2400 / 2 - (250 \times 4 + 500 \times 2 + 500 \times 1) / 4 \\ &= 575 \text{ mm} \\ d_{\text{burst}} &= 0.5 \times (h - 2e) + 5e \times \sin 0.13110 \\ &= 0.5 \times (2400 - 2 \times 575.0) + 5 \times 575.0 \times \sin 0.13110 \\ &= 1143.2 \text{ mm} \end{aligned}$$

\* 파열 보강 철근은 고려하는 면에 대해 2.5dburst의 거리에 걸쳐 단면의 해당 측방향 치수의 1.5배를 넘지 않게 긴장재 양측을 따라 재하면 앞에 분포되어야 한다. 파열 보강 철근의 도심은 설계에 적용된 거리 dburst와 일치해야 한다. 간격은 보강 철근 지름의 24배 또는 300mm를 넘어서는 안된다.

(도로교설계기준, P323)

$$\begin{aligned} \text{배치 범위} &= 2.5 \times 1143.2 = 2858 \text{ mm} \\ \text{spacing} &= 150 \text{ mm} \\ \text{Used bar} &= D 16 (A = 198.6 \text{ mm}^2) - 6 ea \times 14 \text{ layer} = 16682.4 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

----- 0.K

### 15.4 활렬력에 대한 검토

#### 1) 활렬력 산정

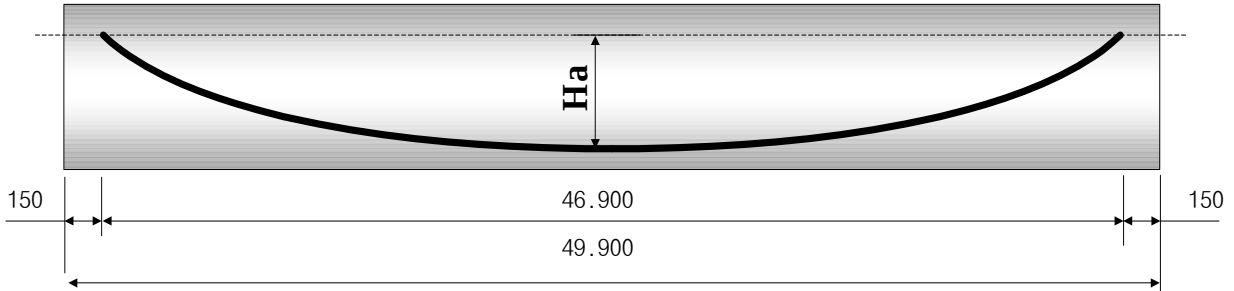
$$T_{\text{spall}} = 0.02 \times \sum P_o = 0.02 \times 2952704.620 = 59054.092 \text{ N}$$

#### 2) 보강철근량 산정

$$\begin{aligned} f_s &= 0.6 \times f_y = 0.6 \times 300 = 180 \text{ MPa} \\ A_s &= T_{\text{spall}} / f_s = 59054.092 / 180 = 328.078 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

## 16. PS 강재의 신장량 검토

### 16.1 강봉 및 강선의 제원 (8. 프리스트레스 참조)



| 강선번호 | $A_p(m^2)$ | $E_p(MPa)$ | $H_a(m)$ | $L(m)$ | $\alpha$ (radian) |
|------|------------|------------|----------|--------|-------------------|
| C1   | 0.001257   | 200000     | 0.000    | 48.950 | 0.00000           |
| C2   | 0.001257   | 200000     | 0.000    | 48.950 | 0.00000           |
| T1   | 0.000971   | 200000     | 2.160    | 49.217 | 0.37055           |
| T2   | 0.002358   | 200000     | 1.625    | 49.093 | 0.13202           |
| T3   | 0.002358   | 200000     | 1.125    | 49.019 | 0.09167           |
| T4   | 0.002358   | 200000     | 0.625    | 48.971 | 0.05103           |
| T5   | 0.002358   | 200000     | 0.125    | 48.951 | 0.01021           |

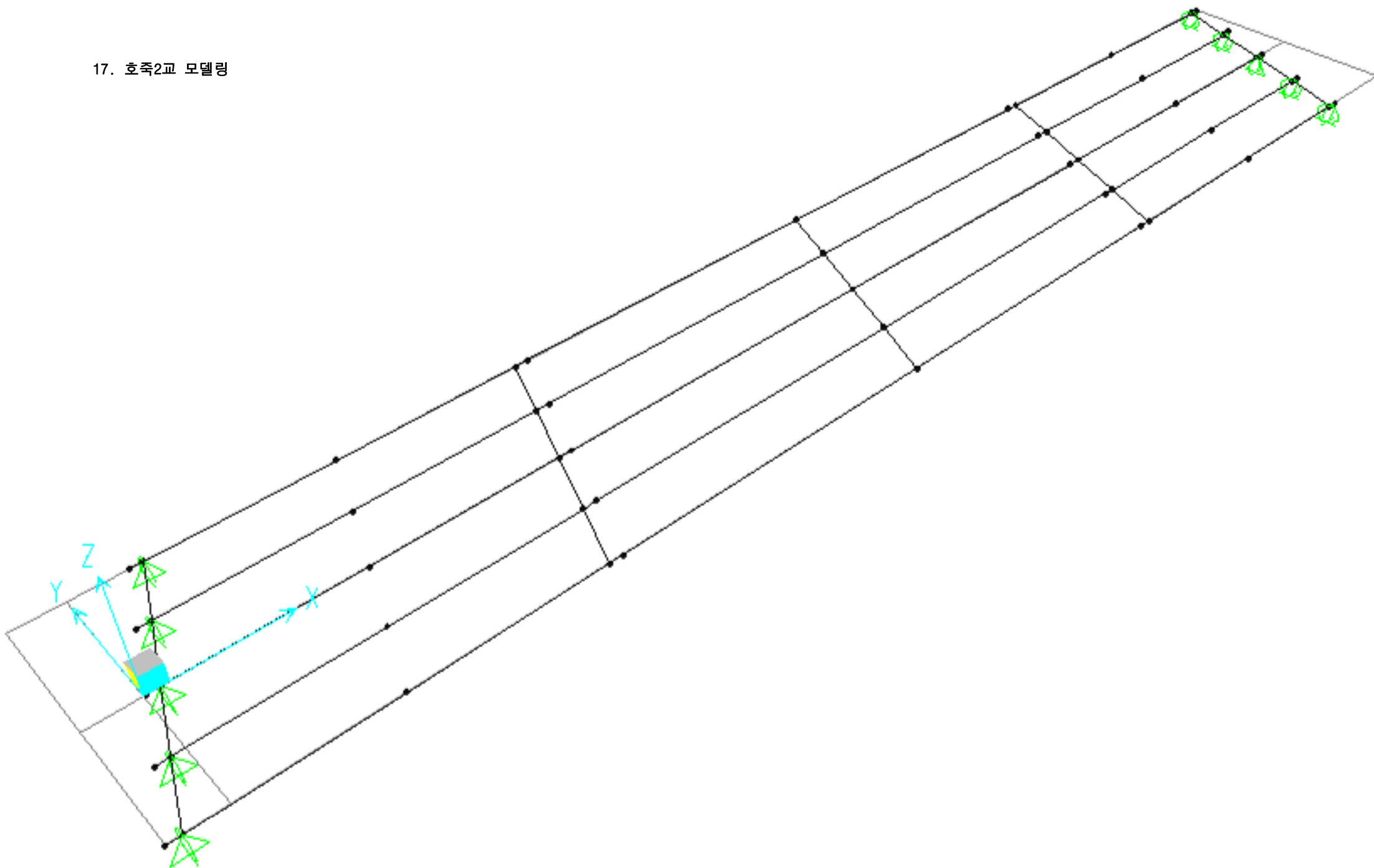
### 16.2 PS 강재의 신장률

#### (1) 신장률 (11. 정착부 설계 참조)

$$\Delta L = (P_o + P_{net}) / 2 \times L_{ps} / (A_p \times E_p)$$

| 강선번호 | 긴장순서 | 도입긴장력( $P_o$ ) | 순긴장력( $P_{net}$ ) | $L_{ps}(m)$ | $\Delta L(mm)$ |
|------|------|----------------|-------------------|-------------|----------------|
| C1   | 5    | -600.00        | -493.31           | 48.950      | -106.439       |
| C2   | 5    | -600.00        | -493.31           | 48.950      | -106.439       |
| T1   | 5    | 1200.00        | 967.19            | 49.217      | 274.650        |
| T2   | 4    | 3400.00        | 2952.86           | 49.093      | 330.680        |
| T3   | 1    | 3400.00        | 2648.32           | 49.019      | 314.349        |
| T4   | 2    | 3400.00        | 2790.60           | 48.971      | 321.432        |
| T5   | 3    | 3400.00        | 2934.26           | 48.951      | 328.754        |

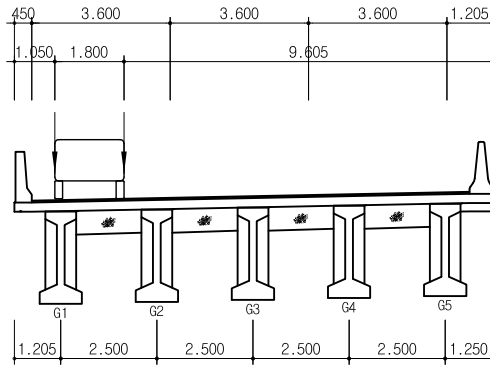
17. 호죽2교 모델링



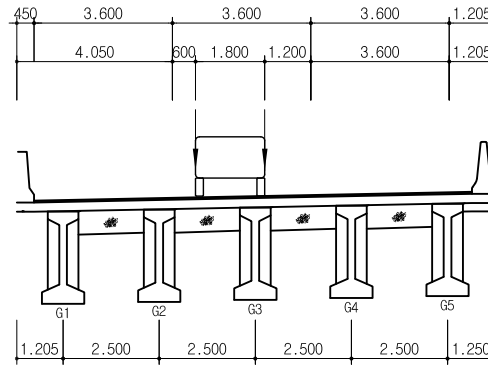
## 18. 활하중 재하도

### (1) DB하중

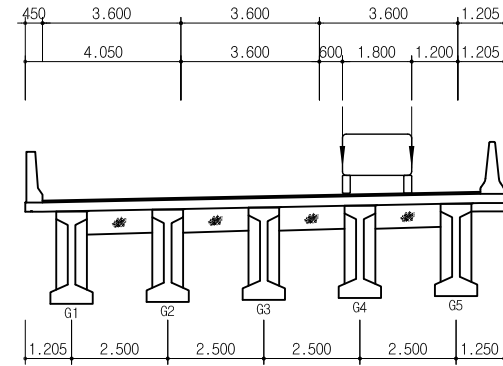
**DB1**



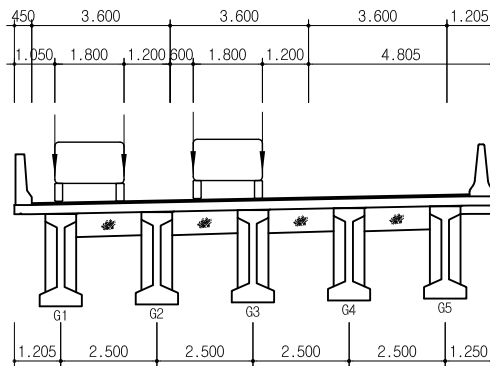
**DB2**



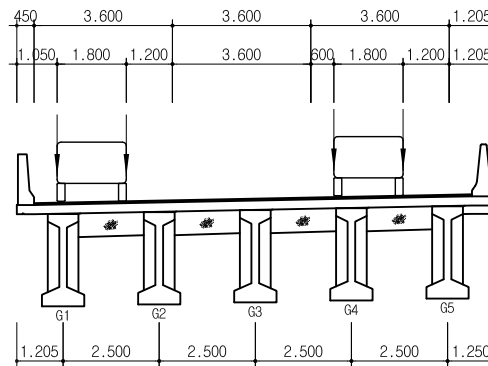
**DB3**



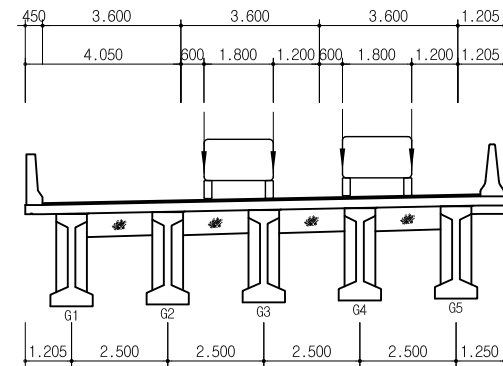
**DB12**



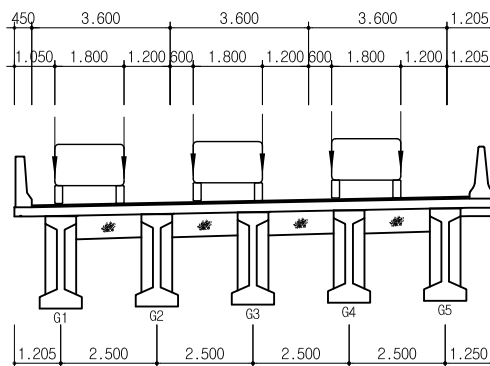
**DB13**



**DB23**

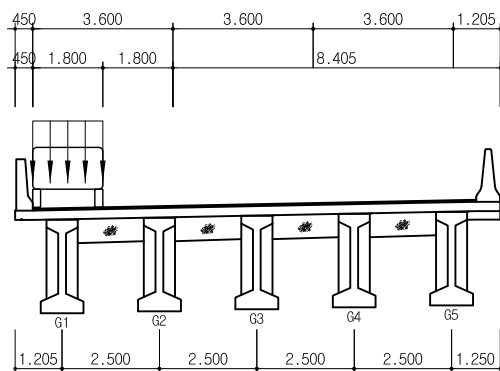


**DB123**

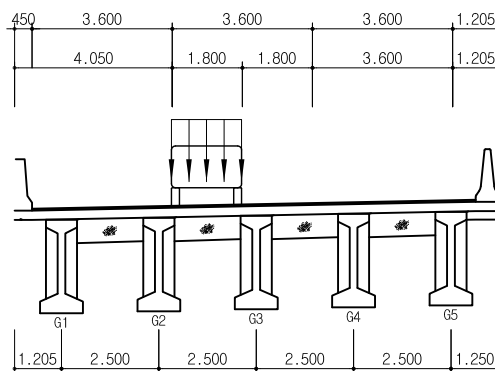


(2) DL하중

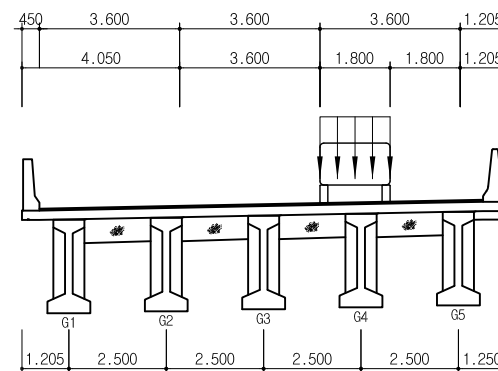
DL1



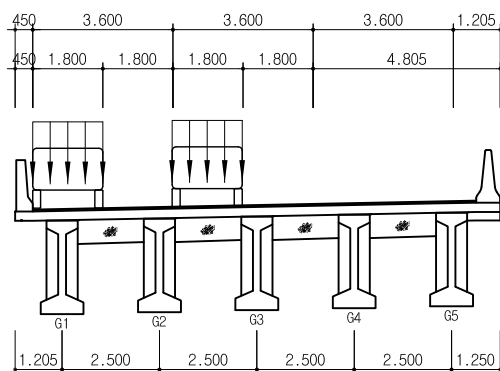
DL2



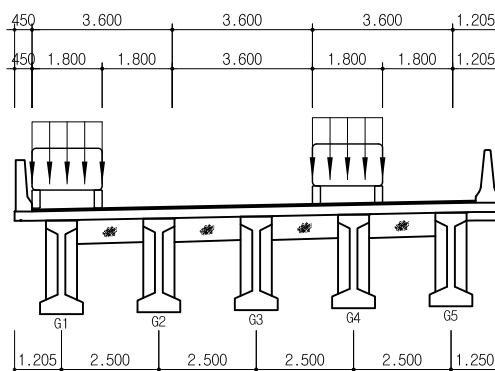
DL3



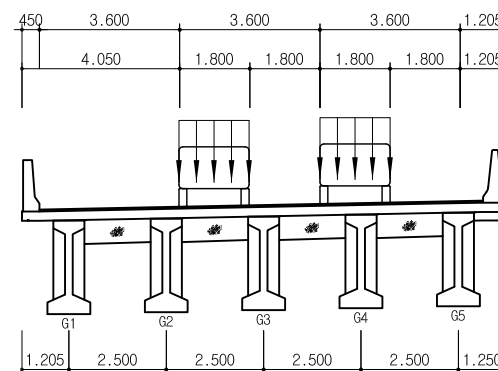
DL12



DL13



DL23



DL123

