

문서번호 : 23-10-001

## 시스템동باري 구조검토보고서

팔당대교~와부 도로건설 공사

교대날개벽

2023. 10

|        |  |  |        |         |  |
|--------|--|--|--------|---------|--|
| 작<br>성 |  |  | 승<br>인 | 토목구조기술사 |  |
|--------|--|--|--------|---------|--|

# 목 차

## I. 일반 사항

1. 검토 개요 및 주의사항
2. 사용부재 제원
3. 설계조건
4. 설계하중 및 하중조합
5. 적용기준 및 참고문헌

## II. 구조 검토

1. 설계조건
2. 설계하중 산정
3. 사용부재 및 설치간격
4. 거푸집 널의 변형기준
5. 합판 및 장선 간격 검토
6. 장선 및 멍에 간격 검토
7. 멍에 및 수직재 간격 검토
8. 수직재 검토
9. 수평재 검토
10. 가새재 검토

## III. 상세 구조해석

1. 하중 조합
2. 변위 및 응력 검토
3. 단면력 집계
4. 수직재 검토
5. 수평재 검토
6. 가새재 검토
7. 상세 구조해석 결과

## IV. 검토 결과

1. 검토 의견
2. 요약

## I. 일반 사항

---

### 1. 검토 개요 및 주의사항

본 검토보고서는 시스템 동바리에 대한 구조 안전성 검토를 위한 것임.

시스템 동바리의 하부구조는 **충분한 지지력을 확보한 것으로 가정**하고 구조검토를 실시 하였음.

- ① 시공사에서 제시한 시공조건 및 도면을 근거로 검토하였음. 따라서, **현장 여건이 변경되는 경우에는 반드시 검토자와 협의 후 시공한다.**
- ② 본 공사는 "**5. 적용기준 및 참고문헌**"에 제시된 설계기준 및 시공기준을 따라 시공하여야 하며, 거푸집 및 동바리에 적용되는 각종 안전작업지침 및 설치지침에 따라 시공한다.
- ③ 모든 재료적 성능은 검토서에 표기된 **동등 이상의 제품을 확인**하고 설치한다.
- ④ 경사지에 설치되는 구조용 동바리는 **수직을 유지**하게 설치한다.
- ⑤ 슬래브에 설치되는 합판은 주변의 벽체 및 기둥 등에 **견고하게 밀착되도록 설치**한다.
- ⑥ 구조용 동바리의 지지부 하부에는 **침하가 발생하지 않도록** 지반을 다지고 버림 콘크리트를 시공하는 등 관련 조치를 하여 침하가 발생되지 않도록 한다. (특히, 지반 하부에 공동, 배수관 등에 대한 확인 및 조치 필요)
- ⑦ 각각의 가설재(합판, 장선, 멍에, 수직재, 수평재, 가새재 등)는 서로 **견고하게 결속하여 미끄러지거나 변형이 발생되지 않도록** 한다.
- ⑧ 가설 구조물 양측에 강성이 큰 구조물이 존재할 경우에는 직접 이에 지지하여 수평변위를 최대한 방지하며, 특히 콘크리트 부분 타설 등 상부 편심하중에 의한 횡방향 쏠림 현상이 크게 발생할 우려가 있는 시공 조건일 경우 이를 미연에 방지할 수 있도록 경사 버팀대 등으로 충분히 보강한다.
- ⑨ 본 검토에 적용된 시스템 동바리의 규격 및 물성치는 **현장에 적용되는 제품과 반드시 일치되는지 확인**을 거쳐야 하며, 현장에서는 반입제품의 재사용 가설 기자재 성능저하 안전율을 확인하여 **안전성이 검증된 제품을 설치**하도록 한다.

## 2. 사용부재 제원

### 1) 거푸집 널

<근거 : 2.2 거푸집 널 (KDS 21 50 00 : 2022)>

| 부재<br>종류 | 두께 / 하중방향<br>[mm / °] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 허용휨응력<br>f <sub>ba</sub> [MPa] | 허용전단응력<br>f <sub>sa</sub> [MPa] |
|----------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 합판       | 12 / 0°               | -                           | 10.0                            | 90.0                            | 13.0                         | 11.0            | 16.8                           | 0.63                            |

### 2) 장선

<근거 : 2.3 장선 및 멍에 (KDS 21 50 00 : 2022)>

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 허용휨응력<br>f <sub>ba</sub> [MPa] | 허용전단응력<br>f <sub>sa</sub> [MPa] |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 장선       | □ 50×50×2.0t  | 384.0                       | 170.9                           | 147.7×10 <sup>3</sup>           | 5.9×10 <sup>3</sup>          | 210.0           | 181.5                          | 110.0                           |

### 3) 멍에

<근거 : 2.3 장선 및 멍에 (KDS 21 50 00 : 2022)>

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 허용휨응력<br>f <sub>ba</sub> [MPa] | 허용전단응력<br>f <sub>sa</sub> [MPa] |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 멍에       | □ 75×125×2.9t | 1,126.4                     | 600.2                           | 2,440.2×10 <sup>3</sup>         | 39.0×10 <sup>3</sup>         | 210.0           | 181.5                          | 110.0                           |

### 4) 수직재

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 회전반경<br>r [mm] | 항복강도<br>F <sub>y</sub> [MPa] |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| 수직재      | ○ ϕ60.5×2.6t  | 472.9                       | 247.1                           | 198.6×10 <sup>3</sup>           | 6.6×10 <sup>3</sup>          | 210.0           | 20.5           | 355.0                        |

### 5) 수평재

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 회전반경<br>r [mm] | 항복강도<br>F <sub>y</sub> [MPa] |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| 수평재      | ○ ϕ42.7×2.3t  | 291.9                       | 154.3                           | 59.7×10 <sup>3</sup>            | 2.8×10 <sup>3</sup>          | 210.0           | 14.3           | 235.0                        |

### 6) 가새재

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 회전반경<br>r [mm] | 항복강도<br>F <sub>y</sub> [MPa] |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| 가새재      | ○ ϕ42.7×2.3t  | 291.9                       | 154.3                           | 59.7×10 <sup>3</sup>            | 2.8×10 <sup>3</sup>          | 210.0           | 14.3           | 235.0                        |

### 3. 설계조건

#### 1) 거푸집 설계

<근거 : 3.1 거푸집 설계 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 거푸집 설계는 **허용응력설계법**을 적용한다.
- 거푸집은 그 **형상 및 위치가 정확히 유지**되도록 설계한다.
- 규격품이나 성능이 확인된 제품을 제외한 거푸집의 경우는 **공인시험기관의 시험값**을 기준으로 한 허용하중값을 적용한다.
- 거푸집은 예상되는 하중조건에 대하여 모든 부속품이 **허용응력을 초과하지 않아야 하며, 변형기준 이하**가 되도록 설계한다.
- 거푸집은 부과되는 연직하중과 수평하중을 지반 또는 영구 구조체에 **안전하게 전달**할 수 있도록 설계한다.
- 목재 거푸집, 장선 및 멍에는 등분포 하중이 작용하는 **단순보로 검토**한다. 다만, 강재나 알루미늄 등과 같은 재료가 사용되는 경우 지점조건에 맞게 설계한다.

#### 2) 동바리 설계

<근거 : 3.2 동바리 설계 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 동바리 설계는 **허용응력설계법**을 적용한다.
- 동바리는 조립이나 해체가 편리한 구조로서, 그 이음이나 접속부에서 **하중을 확실하게 전달**할 수 있도록 한다.
- 동바리 기초는 상부하중에 대한 지반의 **허용지지력 및 허용침하량**을 초과하지 않도록 설계 하며, 동바리의 모든 부품 및 부속품이 **변형기준과 허용응력을 초과하지 않도록 설계**한다.
- 동바리의 설계는 시공 중과 완성 후의 **전체 연직방향 변위량에 충분한 안전성을 확보** 하며, 이때 전체 연직방향 변위량은 기초 침하량과 동바리 자체 변형량을 포함한다.
- 양중이 필요한 동바리는 **양중에 의한 영향을 고려**한다.
- 동바리에 설치되는 수평재 및 가새재는 예상되는 **모든 수평하중을 안전하게 지지**할 수 있도록 설치한다.
- 동바리 시공 중 태풍 등과 같은 강풍이 작용하여 동바리가 붕괴될 우려가 있는 경우에는 수평방향 풍하중에 저항할 수 있도록 설계하며, 특히 콘크리트 부분 타설 등 상부 편심하중에 의해 횡방향 쏠림현상 (sidesway)이 크게 발생할 우려가 있는 시공조건일 경우 이를 미연에 방지할 수 있는 **경사버팀대 등으로 견고하게 보강**한다.
- 건물의 층고 및 부재의 높이가 높아 단품지지 동바리를 사용할 수 없는 경우에는 **현장 여건에 적합한 동바리로 설계**한다.
- 콘크리트 타설 두께가 큰 구조물을 지지하는 동바리에 의해 하부의 지지 구조물에 전달되는 하중이 구조 계산서에서 제시한 설계하중을 상회하는 경우에는 **하부 지지구조물의 구조 안전성을 검토**한다. 이 때, 하부 지지구조물이 콘크리트 구조물인 경우 **재령에 따른 콘크리트 압축강도를 고려**한다.

#### 4. 설계하중 및 하중조합

##### 1) 연직하중 (고정하중 + 작업하중)

<근거 : 1.6.2 연직하중 (KDS 21 50 00 : 2022)>

###### ① 고정하중

- 보통 콘크리트 자중 :  $24\text{kN/m}^3$  이상 적용
- 거푸집 자중 :  $0.4\text{kN/m}^2$  이상 적용

###### ② 작업하중 (작업원, 경량의 장비하중, 충격하중, 기타 콘크리트 타설에 필요한 자재 및 공구 등)

- 콘크리트 타설 높이가 0.5m 미만인 경우  $2.5\text{kN/m}^2$ , 0.5m 이상 1m 미만인 경우  $3.5\text{kN/m}^2$ , 1m 이상인 경우  $5\text{kN/m}^2$  이상 적용

###### ③ 최소 연직하중

- 콘크리트 타설 높이와 관계없이 최소  $5\text{kN/m}^2$  이상 적용

##### 2) 수평하중 [아래 두값 ①과 ②중 큰 값 적용]

<근거 : 1.6.5 수평하중 (KDS 21 50 00 : 2022)>

###### ① 동바리 상단에 고정하중의 2% 이상

###### ② 동바리 상단에 수평방향으로 단위길이당 $1.5\text{kN/m}$ 이상

- 최소 수평하중은 동바리 설치면에 대하여 X방향 및 Y방향에 대하여 각각 적용한다.

##### 3) 풍하중 [3D 상세 구조 해석에 적용된 풍하중]

<근거 : 1.6.4 풍하중 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 기준 높이  $H$ 에서의 속도압( $q_H$ )은 다음과 같이 산정한다.

$$\text{➤ } q_H = \frac{1}{2} \rho V_H^2 \text{ (N/m}^2\text{)} = 0.286 \text{ kN/m}^2 \quad \text{<근거 : 5.5 속도압 (KDS 41 12 00 : 2022)>}$$

- $\rho$  : 공기밀도로써 균일하게  $1.225 \text{ kg/m}^3$ 으로 한다.

- $V_H$  : 설계풍속 (m/s) (5.5.1에 따른다)

$$\text{➤ } V_H = V_0 K_D K_{zr} K_{zt} I_w(T) \text{ (m/s)} = 21.6 \text{ m/s}$$

- $V_0$  : 기본풍속 (m/s) (5.5.2에 따른다) [36m/s로 계산 : 제주도 제외 28 ~ 40m/s로 분포]

- $K_D$  : 풍향계수 (5.5.3에 따른다) [1.0으로 계산 : 최솟값 0.85]

- $K_{zr}$  : 풍속고도 분포계수 (5.5.4에 따른다) [1.0으로 계산 : 0.58(A), 0.81(B), 1.0(C), 1.13(D) 적용]

- $K_{zt}$  : 지형계수 (5.5.5에 따른다) [1.0으로 계산 : 평탄한 지역에 대한 지형계수는 1.0이다]

- $I_w(T)$  : 건축구조물의 중요도계수 [0.6으로 계산 : 아래 계산의 0.60 적용]

- 가시설물의 재현기간에 따른 중요도계수  $I_w$  <근거 : 1.6.4 풍하중 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 재현기간( $I_w(T_w)$ )이 1년 이하의 경우에는 0.60을 적용하고, 이 외 기간에 대해서는 다음 식에 의해 산정.

$$\text{▪ } I_w = 0.56 + 0.1 \ln(T_w)$$

$$\text{▪ } T_w = \frac{1}{1 - (P)^{\frac{1}{N}}}$$

- $T_w$  : 재현기간(년),  $N$  : 가시설물의 존치기간(년),  $P$  : 비초과 확률(60%)

#### 4) 하중조합

<근거 : 3.3.1 거푸집 및 동바리, 비계 및 안전시설물 (KDS 21 10 00 : 2022)>

➤ 거푸집 및 동바리, 비계 및 안전시설물 설계 시 하중조합 및 허용응력증가계수는 다음과 같이 적용한다.

| Load Case (LC) | 하중조합                                          | 허용응력증가계수 |
|----------------|-----------------------------------------------|----------|
| LC1            | $D + L_i + M$ (고정하중 + 작업하중 + 수평하중)            | 1.00     |
| LC2            | $D + W$ (고정하중 + 풍하중)                          | 1.25     |
| LC3            | $D + L_i + M + S$ (고정하중 + 작업하중 + 수평하중 + 특수하중) | 1.50     |

#### 5. 적용기준 및 참고문헌

- 가시설물 설계 일반사항 (KDS 21 10 00 : 2022, 국토교통부)
- 거푸집 및 동바리 설계기준 (KDS 21 50 00 : 2022, 국토교통부)
- 강구조 설계 일반사항(허용응력설계법) (KDS 14 30 05 : 2019, 국토교통부)
- 강구조 부재 설계기준(허용응력설계법) (KDS 14 30 10 : 2019, 국토교통부)
- 건축물 설계하중 (KDS 41 12 00 : 2022, 국토교통부)
- 비계 및 안전시설물 설계기준 (KDS 21 60 00 : 2022, 국토교통부)
- 거푸집 및 동바리 (KCS 14 20 12 : 2022, 국토교통부)
- 가설공사 일반사항 (KCS 21 10 00 : 2022, 국토교통부)
- 거푸집 및 동바리공사 일반사항 (KCS 21 50 05 : 2023, 국토교통부)
- 초고층 고주탑 공사용 거푸집 및 동바리 (KCS 21 50 10 : 2022, 국토교통부)
- 노출 콘크리트용 거푸집 및 동바리 (KCS 21 50 15 : 2022, 국토교통부)
- 기타 콘크리트용 거푸집 및 동바리 (KCS 21 50 20 : 2022, 국토교통부)
- 비계공사 일반사항 (KCS 21 60 05 : 2022, 국토교통부)
- 비계 (KCS 21 60 10 : 2022, 국토교통부)
- 시스템 동바리 안전작업 지침 (2020, 한국산업안전보건공단)
- 파이프 서포트 동바리 안전작업 지침 (2020, 한국산업안전보건공단)
- 거푸집 동바리 구조검토 및 설치 안전보건작업 지침 (2015, 한국산업안전보건공단)

## II. 구조 검토

### 1. 설계조건

- ✦ 보의 치수 : 450 mm × 5,800 mm [폭 × 높이]
- ✦ 동바리 스펠 : 5,185 mm × 1,830 mm [X방향 길이 × Y방향 길이]
- ✦ 동바리 높이 : 6,500 mm
- ✦ 거푸집 널의 변형기준 [표면 등급] : A급
- ✦ 콘크리트 단위중량 : 24.0 kN/m<sup>3</sup>
- ✦ 거푸집 단위중량 : 0.4 kN/m<sup>2</sup>

### 2. 설계하중 산정

#### 1) 연직하중 (고정하중 + 작업하중)

<근거 : 1.6.2 연직하중 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 고정하중은 철근콘크리트와 거푸집의 무게를 합한 하중이다.
- 작업하중은 작업원, 경량의 장비하중, 충격하중, 기타 콘크리트 타설에 필요한 자재 및 공구 등의 하중을 포함한다.

| 구분      | 하중 [N/mm <sup>2</sup> ] | 하중 [kN/m <sup>2</sup> ] | 하중 산정                                                       |
|---------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 콘크리트 자중 | 0.1392                  | 139.20                  | 24.0 kN/m <sup>3</sup> × 5.800 m = 139.20 kN/m <sup>2</sup> |
| 거푸집 자중  | 0.0004                  | 0.40                    | 최소 0.4 kN/m <sup>2</sup>                                    |
| 작업하중*   | 0.0050                  | 5.00                    | 최소 2.5 kN/m <sup>2</sup>                                    |
| Σ (합계)  | 0.1446                  | 144.60                  | 최소 5.0 kN/m <sup>2</sup>                                    |

\*작업하중은 콘크리트 타설 높이가 0.5m 미만인 경우 2.5kN/m<sup>2</sup>, 0.5m 이상 1m 미만인 경우 3.5kN/m<sup>2</sup>, 1m 이상인 경우 5kN/m<sup>2</sup> 이상 적용

#### 2) 수평하중 (H)

<근거 : 1.6.5 수평하중 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 수평하중은 고정하중의 2% 이상, 수평방향으로 단위길이당 1.5kN/m 이상 중에 큰 값의 하중이 상단에 작용하는 것으로 한다.

- 고정하중의 2% : (콘크리트 자중 + 거푸집 자중) × 0.02 = 139.6 kN/m<sup>2</sup> × 0.02 = 2.792 kN/m<sup>2</sup>

| 구분                               | max[고정하중의 2%, 단위길이당 1.5 kN/m]                                                                                                                                             |
|----------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 단위 길이당 수평하중 [kN/m]               | X방향 : 고정하중의 2% × Y방향 길이 = 2.792 kN/m <sup>2</sup> × 1.8 m = 5.109 kN/m > 1.5 kN/m<br>Y방향 : 고정하중의 2% × X방향 길이 = 2.792 kN/m <sup>2</sup> × 5.2 m = 14.477 kN/m > 1.5 kN/m   |
| 단위 면적당 수평하중 [kN/m <sup>2</sup> ] | X방향 : 위의 큰값 / X방향 길이 = 5.109 kN/m / 5.2 m = 0.985 kN/m <sup>2</sup><br>Y방향 : 위의 큰값 / Y방향 길이 = 14.477 kN/m / 1.8 m = 7.911 kN/m <sup>2</sup>                               |
| 수평하중 (P <sub>h</sub> ) [kN]      | X방향 : 위의 수평하중 × X방향 길이 × Y방향 길이 = 0.985 kN/m <sup>2</sup> × 5.2 m × 1.8 m = 9.4 kN<br>Y방향 : 위의 수평하중 × X방향 길이 × Y방향 길이 = 7.911 kN/m <sup>2</sup> × 5.2 m × 1.8 m = 75.1 kN |

- ∴ X방향 수평하중 (H<sub>x</sub>) = 9.4 kN

- ∴ Y방향 수평하중 (H<sub>y</sub>) = 75.1 kN

### 3) 풍하중

➤ 3D 상세 구조 해석에 적용된 풍하중 참고

### 3. 사용부재 및 설치간격

| 부재  | 규격 [mm]                   | 재료      | 설치간격 [mm]                | 비 고                             |
|-----|---------------------------|---------|--------------------------|---------------------------------|
| 합판  | 12 / 0° (하중방향)            | 거푸집용    | -                        |                                 |
| 장선  | □ 50×50×2.0t              | SPSR400 | $L_j = 85 \text{ mm}$    |                                 |
| 명에  | □ 75×125×2.9t             | SPSR400 | $L_y = 305 \text{ mm}$   |                                 |
| 수직재 | ○ $\phi 60.5 \times 2.6t$ | SKT500  | $L_v = 305 \text{ mm}$   | 수직재의 간격은 수평재 좌굴길이( $KL_h$ )와 같다 |
| 수평재 | ○ $\phi 42.7 \times 2.3t$ | SKT400  | $L_h = 1,725 \text{ mm}$ | 수평재의 간격은 수직재 좌굴길이( $KL_v$ )와 같다 |
| 가새재 | ○ $\phi 42.7 \times 2.3t$ | SKT400  | -                        |                                 |

### 4. 거푸집 널의 변형기준

<근거 : 1.9 변형기준 (KDS 21 50 00 : 2022)>

| 표면 등급 | 상대변형 [mm]   | 절대변형 [mm] | 표면 상태             | 비 고 |
|-------|-------------|-----------|-------------------|-----|
| A급    | $L_n / 360$ | 3         | 미관상 중요한 노출 콘크리트 면 |     |

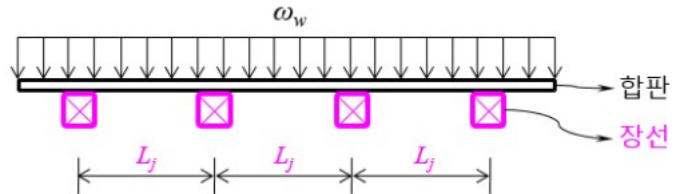
## 5. 합판 및 장선 간격( $L_j$ ) 검토

| 부재<br>종류 | 두께 / 하중방향<br>[mm / °] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>lb/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 허용휨응력<br>f <sub>ba</sub> [MPa] | 허용전단응력<br>f <sub>sa</sub> [MPa] |
|----------|-----------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 합판       | 12 / 0°               | -                           | 10.0                            | 90.0                            | 13.0                         | 11.0            | 16.8                           | 0.63                            |

### 1) 개요

➤ 등분포 하중을 받는 단순보로 계산한다.

➤  $L_j = 85.0 \text{ mm}$



### 2) 합판에 재하되는 하중 ( $\omega_w$ ) [폭 : 단위폭 1mm]

➤  $\omega_w = \text{설계 하중} \times \text{단위폭 } 1\text{mm}$

➤  $\omega_w = 0.1446 \text{ N/mm}^2 \times 1.0 \text{ mm} = 0.1446 \text{ N/mm}$

### 3) 응력 검토

#### ① 휨응력 검토

$$\star M_{max} = \frac{\omega_w L_j^2}{8} = \frac{0.1446 \times 85.0^2}{8} = 130.6 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\star f_b = \frac{M_{max}}{S} = \frac{130.6}{13.0} = 10.0 \text{ MPa} \leq 16.8 \text{ MPa} (= f_{ba}) \quad \therefore \text{OK (OK ✓)}$$

#### ② 전단응력 검토

$$\star V_{max} = \frac{\omega_w L_j}{2} = \frac{0.1446 \times 85.0}{2} = 6.15 \text{ N}$$

$$\star f_s = \frac{V_{max}}{Ib/Q} = \frac{6.1}{10.0} = 0.61 \text{ MPa} \leq 0.63 \text{ MPa} (= f_{sa}) \quad \therefore \text{OK (OK ✓)}$$

### 4) 변형 검토 (표면 등급 : A급)

<근거 : 1.9 변형기준 (KDS 21 50 00 : 2022)>

#### ① 상대변형 검토

$$\star \delta_{max} = \frac{5 \omega_w L_j^4}{384 E I} \leq \frac{L_n}{360}$$

$$\star L_j \leq \sqrt[4]{\frac{384 E I L_n}{5 \omega_w 360}} = \sqrt[4]{\frac{384 \times 11,000.0 \times 90.0 \times 85.0}{5 \times 0.1446 \times 360}} = 105.6 \text{ mm}$$

$$\star L_j = 85.0 \text{ mm} \leq 105.6 \text{ mm} \quad \therefore \text{OK (OK ✓)}$$

#### ② 절대변형 검토

$$\star \delta_{max} = \frac{5 \omega_w L_j^4}{384 E I} \leq 3\text{mm}$$

$$\star L_j \leq \sqrt[4]{\frac{384 E I 3}{5 \omega_w}} = \sqrt[4]{\frac{384 \times 11,000.0 \times 90.0 \times 3}{5 \times 0.1446}} = 199.3 \text{ mm}$$

$$\star L_j = 85.0 \text{ mm} \leq 199.3 \text{ mm} \quad \therefore \text{OK (OK ✓)}$$

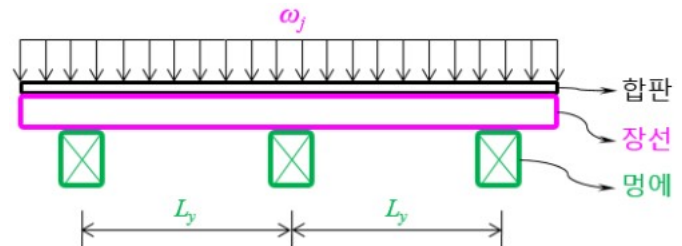
## 6. 장선 및 멍에 간격( $L_y$ ) 검토

| 부재 종류 | 단면 규격 [mm]   | 단면적 A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수 Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트 I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수 S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수 E [GPa] | 허용휨응력 $f_{ba}$ [MPa] | 허용전단응력 $f_{sa}$ [MPa] |
|-------|--------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 장선    | □ 50×50×2.0t | 384.0                    | 170.9                        | 147.7×10 <sup>3</sup>        | 5.9×10 <sup>3</sup>       | 210.0        | 181.5                | 110.0                 |

### 1) 개요

➤ 등분포 하중을 받는 단순보로 계산한다.

➤  $L_y = 305.0 \text{ mm}$



### 2) 장선에 재하되는 하중 ( $\omega_j$ ) [폭 : 장선 간격]

➤  $\omega_j = \text{설계 하중} \times \text{장선 간격}$

➤  $\omega_j = 0.1446 \text{ N/mm}^2 \times 85.0 \text{ mm} = 12.29 \text{ N/mm}$

### 3) 응력 검토

#### ① 휨응력 검토

$$\star M_{max} = \frac{\omega_j L_y^2}{8} = \frac{12.2910 \times 305.0^2}{8} = 142,921.3 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\star f_b = \frac{M_{max}}{S} = \frac{142,921.3}{5,908.5} = 24.2 \text{ MPa} \leq 181.5 \text{ MPa} (= f_{ba}) \therefore \text{OK (OK } \checkmark)$$

#### ② 전단응력 검토

$$\star V_{max} = \frac{\omega_j L_y}{2} = \frac{12.2910 \times 305.0}{2} = 1,874.38 \text{ N}$$

$$\star f_s = \frac{V_{max}}{Ib/Q} = \frac{1,874.4}{170.9} = 10.97 \text{ MPa} \leq 110.00 \text{ MPa} (= f_{sa}) \therefore \text{OK (OK } \checkmark)$$

### 4) 변형 검토 (표면 등급 : A급)

<근거 : 1.9 변형기준 (KDS 21 50 00 : 2022)>

#### ① 상대변형 검토

$$\star \delta_{max} = \frac{5 \omega_j L_y^4}{384 E I} \leq \frac{L_n}{360}$$

$$\star L_y \leq \sqrt[4]{\frac{384 E I L_n}{5 \omega_j 360}} = \sqrt[4]{\frac{384 \times 210,000.0 \times 147,712.0 \times 305.0}{5 \times 12.2910 \times 360}} = 636.6 \text{ mm}$$

$$\star L_y = 305.0 \text{ mm} \leq 636.6 \text{ mm} \therefore \text{OK (OK } \checkmark)$$

#### ② 절대변형 검토

$$\star \delta_{max} = \frac{5 \omega_j L_y^4}{384 E I} \leq 3 \text{ mm}$$

$$\star L_y \leq \sqrt[4]{\frac{384 E I 3}{5 \omega_j}} = \sqrt[4]{\frac{384 \times 210,000.0 \times 147,712.0 \times 3}{5 \times 12.2910}} = 873.2 \text{ mm}$$

$$\star L_y = 305.0 \text{ mm} \leq 873.2 \text{ mm} \therefore \text{OK (OK } \checkmark)$$

## 7. 멍에 및 수직재 간격( $L_v$ ) 검토

| 부재 종류 | 단면 규격 [mm]    | 단면적 A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수 Ib/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트 I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수 S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수 E [GPa] | 허용휨응력 $f_{ba}$ [MPa] | 허용전단응력 $f_{sa}$ [MPa] |
|-------|---------------|--------------------------|------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------|----------------------|-----------------------|
| 멍에    | □ 75×125×2.9t | 1,126.4                  | 600.2                        | 2,440.2×10 <sup>3</sup>      | 39.0×10 <sup>3</sup>      | 210.0        | 181.5                | 110.0                 |

### 1) 개요

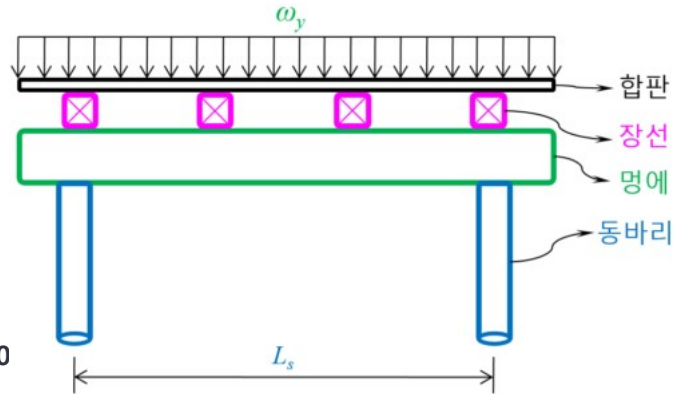
➤ 등분포 하중을 받는 단순보로 계산한다.

➤  $L_v = 305.0 \text{ mm}$

### 2) 멍에에 재하되는 하중 ( $\omega_y$ ) [폭 : 멍에 간격]

➤  $\omega_y = \text{설계 하중} \times \text{멍에 간격}$

➤  $\omega_y = 0.1446 \text{ N/mm}^2 \times 305.0 \text{ mm} = 44.10$



### 3) 응력 검토

#### ① 휨응력 검토

$$\star M_{max} = \frac{\omega_y L_v^2}{8} = \frac{44.1030 \times 305.0^2}{8} = 512,835.2 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\star f_b = \frac{M_{max}}{S} = \frac{512,835.2}{39,043.2} = 13.1 \text{ MPa} \leq 181.5 \text{ MPa} (= f_{ba}) \therefore \text{OK (OK } \checkmark)$$

#### ② 전단응력 검토

$$\star V_{max} = \frac{\omega_y L_v}{2} = \frac{44.1030 \times 305.0}{2} = 6,725.71 \text{ N}$$

$$\star f_s = \frac{V_{max}}{Ib/Q} = \frac{6,725.7}{600.2} = 11.21 \text{ MPa} \leq 110.00 \text{ MPa} (= f_{sa}) \therefore \text{OK (OK } \checkmark)$$

### 4) 변형 검토 (표면 등급 : A급)

<근거 : 1.9 변형기준 (KDS 21 50 00 : 2022)>

#### ① 상대변형 검토

$$\star \delta_{max} = \frac{5 \omega_y L_v^4}{384 E I} \leq \frac{L_n}{360}$$

$$\star L_v \leq \sqrt[4]{\frac{384 E I L_n}{5 \omega_y 360}} = \sqrt[4]{\frac{384 \times 210,000.0 \times 2,440,201.6 \times 305.0}{5 \times 44.1030 \times 360}} = 932.5 \text{ mm}$$

$$\star L_v = 305.0 \text{ mm} \leq 932.5 \text{ mm} \therefore \text{OK (OK } \checkmark)$$

#### ② 절대변형 검토

$$\star \delta_{max} = \frac{5 \omega_y L_v^4}{384 E I} \leq 3 \text{ mm}$$

$$\star L_v \leq \sqrt[4]{\frac{384 E I 3}{5 \omega_y}} = \sqrt[4]{\frac{384 \times 210,000.0 \times 2,440,201.6 \times 3}{5 \times 44.1030}} = 1,279.1 \text{ mm}$$

$$\star L_v = 305.0 \text{ mm} \leq 1,279.1 \text{ mm}$$

∴ OK (OK ✓)

## 8. 수직재 검토

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm²] | 전단상수<br>lb/Q [mm²] | 단면2차모멘트<br>I [mm⁴] | 단면계수<br>S [mm³] | 탄성계수<br>E [GPa] | 회전반경<br>r [mm] | 항복강도<br>F <sub>y</sub> [MPa] |
|----------|---------------|----------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| 수직재      | ○ ϕ60.5×2.6t  | 472.9          | 247.1              | 198.6×10³          | 6.6×10³         | 210.0           | 20.5           | 355.0                        |

### 1) 1분당 작용하중 (P)

➤ P = 설계 하중 x 멩에 간격 x 등바리 간격

$$\text{➤ } P = 0.1446 \text{ N/mm}^2 \times 305.0 \text{ mm} \times 305.0 \text{ mm} = 13.5 \text{ kN/EA}$$

### 2) 허용압축응력 (F<sub>ca</sub>) 산정

<근거 : 4.4.3 허용압축응력 (KDS 14 30 10 : 2019)>

➤ 유효 좌굴길이

<근거 : 4.4.2 좌굴길이와 세장비 (KDS 14 30 10 : 2019)>

$$\blacksquare KL_v = 1,725.0 \text{ mm}$$

➤ 세장비

$$\blacksquare \lambda = \frac{KL_v}{r} = \frac{1,725.0}{20.5} = 84.2 \leq 200 \text{ (최대 세장비)}$$

∴ OK (OK ✓)

➤ 한계 세장비

$$\blacksquare C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 210,000}{355.0}} = 108.1$$

➤  $\lambda = \frac{KL_v}{r} \leq C_c$  이므로

$$\blacksquare F_{ca} = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} = 130.2 \text{ MPa}$$

### 3) 안전율 검토

<근거 : 1.8 안전율 (KDS 21 50 00 : 2022)>

➤ 허용압축하중 :  $P_a = F_{ca} \times A = 130.2 \text{ MPa} \times 472.9 \text{ mm}^2 = 61.6 \text{ kN}$

➤ 안전율 검토 :  $S.F = \frac{P_a}{P} = \frac{61.6}{13.5} = 4.6 \geq 2.5 \text{ (안전율*)}$

∴ OK (OK ✓)

\*단품 등바리 안전율 3.0, 조립식 등바리 안전율 2.5 적용

## 9. 수평재 검토

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>lb/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 회전반경<br>r [mm] | 항복강도<br>F <sub>y</sub> [MPa] |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| 수평재      | ○ ϕ42.7×2.3t  | 291.9                       | 154.3                           | 59.7×10 <sup>3</sup>            | 2.8×10 <sup>3</sup>          | 210.0           | 14.3           | 235.0                        |

### 1) 수평하중 (H)

- X방향 수평하중 (H<sub>x</sub>) = 9.4 kN
- Y방향 수평하중 (H<sub>y</sub>) = 75.1 kN

### 2) 허용압축응력 (F<sub>ca</sub>) 산정

<근거 : 4.4.3 허용압축응력 (KDS 14 30 10 : 2019)>

- 유효 좌굴길이

<근거 : 4.4.2 좌굴길이와 세장비 (KDS 14 30 10 : 2019)>

$$\blacksquare KL_h = 305.0 \text{ mm}$$

- 세장비

$$\blacksquare \lambda = \frac{KL_h}{r} = \frac{305.0}{14.3} = 21.3 \leq 200 \text{ (최대 세장비)}$$

∴ OK (OK ✓)

- 한계 세장비

$$\blacksquare C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 210,000}{235.0}} = 132.8$$

- $\lambda = \frac{KL_h}{r} \leq C_c$  이므로

$$\blacksquare F_{ca} = \frac{\left[1 - \frac{(KL/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(KL/r)}{8C_c} - \frac{(KL/r)^3}{8C_c^3}} = 134.4 \text{ MPa}$$

### 3) 수평재 수량

<근거 : 1.8 안전율 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 허용압축하중 :  $P_a = F_{ca} \times A = 134.4 \text{ MPa} \times 291.9 \text{ mm}^2 = 39.2 \text{ kN}$

- X방향 수평재 수량 :  $\frac{\text{X방향수평하중}}{\text{허용압축하중}} = \frac{9.4}{39.2} = 0.2 \text{ EA 이상}$

- Y방향 수평재 수량 :  $\frac{\text{Y방향수평하중}}{\text{허용압축하중}} = \frac{75.1}{39.2} = 1.9 \text{ EA 이상}$

## 10. 가새재 검토

| 부재<br>종류 | 단면 규격<br>[mm] | 단면적<br>A [mm <sup>2</sup> ] | 전단상수<br>lb/Q [mm <sup>2</sup> ] | 단면2차모멘트<br>I [mm <sup>4</sup> ] | 단면계수<br>S [mm <sup>3</sup> ] | 탄성계수<br>E [GPa] | 회전반경<br>r [mm] | 항복강도<br>F <sub>y</sub> [MPa] |
|----------|---------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| 가새재      | ○ ϕ42.7×2.3t  | 291.9                       | 154.3                           | 59.7×10 <sup>3</sup>            | 2.8×10 <sup>3</sup>          | 210.0           | 14.3           | 235.0                        |

### 1) 수평하중 (H)

- X방향 수평하중 (H<sub>x</sub>) = 9.4 kN
- Y방향 수평하중 (H<sub>y</sub>) = 75.1 kN

### 2) 허용압축응력 (F<sub>ca</sub>) 산정

<근거 : 4.4.3 허용압축응력 (KDS 14 30 10 : 2019)>

- 유효 좌굴길이

<근거 : 4.4.2 좌굴길이와 세장비 (KDS 14 30 10 : 2019)>

$$K L_d = \sqrt{1725.0^2 + 305.0^2} = 1,751.8 \text{ mm}$$

- 세장비

$$\lambda = \frac{K L_d}{r} = \frac{1,751.8}{14.3} = 122.4 \leq 200 \text{ (최대 세장비)}$$

∴ OK (OK ✓)

- 한계 세장비

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} = \sqrt{\frac{2\pi^2 \times 210,000}{235.0}} = 132.8$$

- $\lambda = \frac{K L_d}{r} \leq C_c$  이므로

$$F_{ca} = \frac{\left[1 - \frac{(K L_d/r)^2}{2C_c^2}\right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3(K L_d/r)}{8C_c} - \frac{(K L_d/r)^3}{8C_c^3}} = 70.6 \text{ MPa}$$

### 3) 가새재 수량

<근거 : 1.8 안전율 (KDS 21 50 00 : 2022)>

- 허용압축하중\* :  $P_a = \cos(60^\circ) \times F_{ca} \times A = 0.5 \times 70.6 \text{ MPa} \times 291.9 \text{ mm}^2 = 10.3 \text{ kN}$

- X방향 가새재 수량 :  $\frac{X\text{방향수평하중}}{\text{허용압축하중}} = \frac{9.4}{10.3} = 0.9 \text{ EA 이상}$

- Y방향 가새재 수량 :  $\frac{Y\text{방향수평하중}}{\text{허용압축하중}} = \frac{75.1}{10.3} = 7.3 \text{ EA 이상}$

\*가새재의 최대 각도(60°)를 고려한 허용압축하중

Ⅲ. 상세 구조해석 (ANSYS 상용 프로그램을 이용한 3차원 상세 구조해석)

1. 하중 조합 (Load Case)

- LC1 : 고정하중 + 작업하중 + 수평하중
- LC2 : 고정하중 + 풍하중 (허용응력 증가계수 : 1.25)

2. 변위 및 응력 검토

1) 수직변위 검토 (절대 최대값)

| 구 분  | 수직변위 [mm] | 허용변위 [mm] | 변위 검토  |
|------|-----------|-----------|--------|
| LC1  | 2.107     | 3.0 [A급]  | OK (✓) |
| LC2  | 1.755     | 3.0 [A급]  | OK (✓) |
| LC2* | 1.404     | 3.0 [A급]  | OK (✓) |

\*LC2의 경우 허용응력 증가계수 1.25를 고려한다. (변위값/1.25)

2) 등가응력 검토 (절대 최대값)

| 구 분  | 등가응력 [MPa] | 허용응력 [MPa] | 응력 검토  |
|------|------------|------------|--------|
| LC1  | 174.2      | 235.0      | OK (✓) |
| LC2  | 57.6       | 235.0      | OK (✓) |
| LC2* | 46.1       | 235.0      | OK (✓) |

\*LC2의 경우 허용응력 증가계수 1.25를 고려한다. (응력값/1.25)

3. 단면력 집계

1) 단면력 (절대 최대값)

| 부 재<br>종 류 | 축방향력<br>[kN] | 축방향력<br>[kN] | 휨모멘트<br>[kN·m] | 휨모멘트<br>[kN·m] | 전단력<br>[kN] | 전단력<br>[kN] | 비 고 |
|------------|--------------|--------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-----|
|            | LC1          | LC2          | LC1            | LC2            | LC1         | LC2         |     |
| 수직재        | 32.956       | 25.764       | 0.547          | 0.019          | 2.299       | 0.128       |     |
| 수평재        | 2.479        | 0.149        | 0.486          | 0.017          | 1.960       | 0.068       |     |
| 가새재        | 0.000        | 0.000        | 0.000          | 0.000          | 0.000       | 0.000       |     |

## 2) 허용응력 증가계수를 고려한 단면력

- LC2(하중조합 2)의 경우 허용응력 증가계수 1.25를 고려한다.
- 허용응력 증가는 단면력을 1.25로 나눈 것과 같다.

| 부재종류 | 축방향력 [kN] | 축방향력 [kN] | 휨모멘트 [kN·m] | 휨모멘트 [kN·m] | 전단력 [kN] | 전단력 [kN] | 비고 |
|------|-----------|-----------|-------------|-------------|----------|----------|----|
|      | LC1       | LC2       | LC1         | LC2         | LC1      | LC2      |    |
| 수직재  | 32.956    | 20.611    | 0.547       | 0.015       | 2.299    | 0.102    |    |
| 수평재  | 2.479     | 0.119     | 0.486       | 0.014       | 1.960    | 0.054    |    |
| 가새재  | 0.000     | 0.000     | 0.000       | 0.000       | 0.000    | 0.000    |    |

## 4. 수직재 검토

### 1) 수직재에 발생하는 절대 최대 단면력

| 구분  | 축방향력 [kN] | 휨모멘트 [kN·m] | 전단력 [kN] | 안전률 |
|-----|-----------|-------------|----------|-----|
| LC1 | 32.956    | 0.547       | 2.299    | 1.0 |
| LC2 | 20.611    | 0.015       | 0.102    | 1.0 |

### 2) 축방향력에 대한 검토

| 구분  | 응력계산 [MPa]                                                             | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|------------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 축방향력/단면적 = $32.956 \text{ kN} / 472.9 \text{ mm}^2 = 69.7 \text{ MPa}$ | 130.2      | 0.535 | OK (✓) |
| LC2 | 축방향력/단면적 = $20.611 \text{ kN} / 472.9 \text{ mm}^2 = 43.6 \text{ MPa}$ | 130.2      | 0.335 | OK (✓) |

### 3) 휨모멘트에 대한 검토

| 구분  | 응력계산 [MPa]                                                                 | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|----------------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 휨모멘트/단면계수 = $0.547 \text{ kN·m} / 6,564.8 \text{ mm}^3 = 83.3 \text{ MPa}$ | 355.0      | 0.235 | OK (✓) |
| LC2 | 휨모멘트/단면계수 = $0.015 \text{ kN·m} / 6,564.8 \text{ mm}^3 = 2.3 \text{ MPa}$  | 355.0      | 0.007 | OK (✓) |

### 4) 전단력에 대한 검토

| 구분  | 응력계산 [MPa]                                                           | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|----------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 전단력/전단면적 = $2.299 \text{ kN} / 247.1 \text{ mm}^2 = 9.3 \text{ MPa}$ | 125.0      | 0.074 | OK (✓) |
| LC2 | 전단력/전단면적 = $0.102 \text{ kN} / 247.1 \text{ mm}^2 = 0.4 \text{ MPa}$ | 125.0      | 0.003 | OK (✓) |

## 5. 수평재 검토

### 1) 수평재에 발생하는 절대 최대 단면력

| 구 분 | 축방향력 [kN] | 휨모멘트 [kN·m] | 전단력 [kN] | 안전률 |
|-----|-----------|-------------|----------|-----|
| LC1 | 2.479     | 0.486       | 1.960    | 1.0 |
| LC2 | 0.119     | 0.014       | 0.054    | 1.0 |

### 2) 축방향력에 대한 검토

| 구 분 | 응력계산 [MPa]                                                           | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|----------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 축방향력/단면적 = $2.479 \text{ kN} / 291.9 \text{ mm}^2 = 8.5 \text{ MPa}$ | 134.4      | 0.063 | OK (✓) |
| LC2 | 축방향력/단면적 = $0.119 \text{ kN} / 291.9 \text{ mm}^2 = 0.4 \text{ MPa}$ | 134.4      | 0.003 | OK (✓) |

### 3) 휨모멘트에 대한 검토

| 구 분 | 응력계산 [MPa]                                                                               | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 휨모멘트/단면계수 = $0.486 \text{ kN} \cdot \text{m} / 2,798.6 \text{ mm}^3 = 173.6 \text{ MPa}$ | 235.0      | 0.739 | OK (✓) |
| LC2 | 휨모멘트/단면계수 = $0.014 \text{ kN} \cdot \text{m} / 2,798.6 \text{ mm}^3 = 4.8 \text{ MPa}$   | 235.0      | 0.021 | OK (✓) |

### 4) 전단력에 대한 검토

| 구 분 | 응력계산 [MPa]                                                            | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 전단력/전단면적 = $1.960 \text{ kN} / 154.3 \text{ mm}^2 = 12.7 \text{ MPa}$ | 125.0      | 0.102 | OK (✓) |
| LC2 | 전단력/전단면적 = $0.054 \text{ kN} / 154.3 \text{ mm}^2 = 0.4 \text{ MPa}$  | 125.0      | 0.003 | OK (✓) |

## 6. 가새재 검토

### 1) 가새재에 발생하는 절대 최대 단면력

| 구 분 | 축방향력 [kN] | 휨모멘트 [kN·m] | 전단력 [kN] | 안전률 |
|-----|-----------|-------------|----------|-----|
| LC1 | 0.000     | 0.000       | 0.000    | 1.0 |
| LC2 | 0.000     | 0.000       | 0.000    | 1.0 |

### 2) 축방향력에 대한 검토

| 구 분 | 응력계산 [MPa]                                                           | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|----------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 축방향력/단면적 = $0.000 \text{ kN} / 291.9 \text{ mm}^2 = 0.0 \text{ MPa}$ | 70.6       | 0.000 | OK (✓) |
| LC2 | 축방향력/단면적 = $0.000 \text{ kN} / 291.9 \text{ mm}^2 = 0.0 \text{ MPa}$ | 70.6       | 0.000 | OK (✓) |

### 3) 휨모멘트에 대한 검토

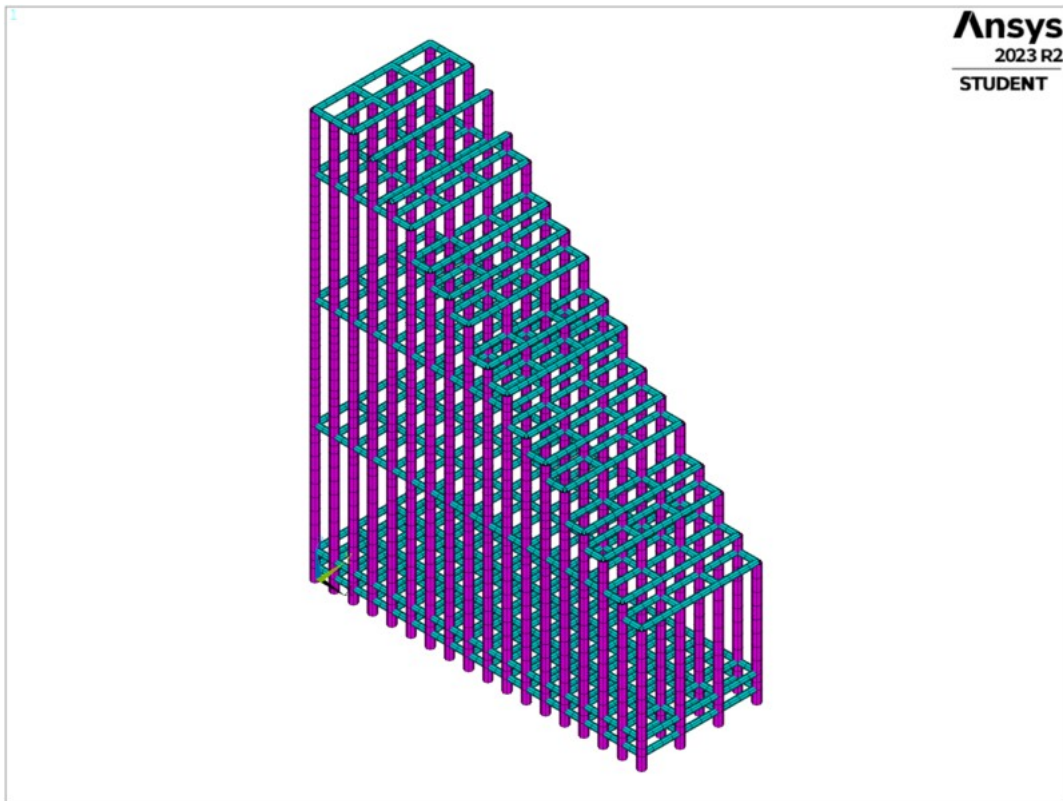
| 구 분 | 응력계산 [MPa]                                                                             | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|----------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 휨모멘트/단면계수 = $0.000 \text{ kN} \cdot \text{m} / 2,798.6 \text{ mm}^3 = 0.0 \text{ MPa}$ | 235.0      | 0.000 | OK (✓) |
| LC2 | 휨모멘트/단면계수 = $0.000 \text{ kN} \cdot \text{m} / 2,798.6 \text{ mm}^3 = 0.0 \text{ MPa}$ | 235.0      | 0.000 | OK (✓) |

### 4) 전단력에 대한 검토

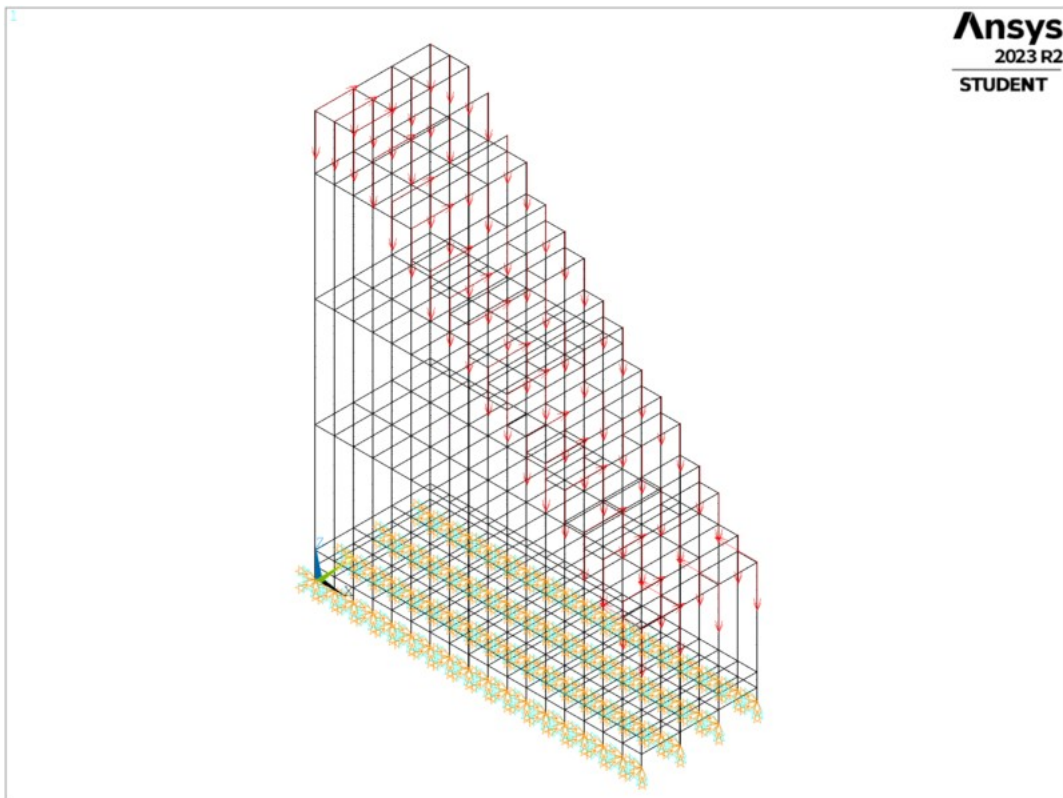
| 구 분 | 응력계산 [MPa]                                                           | 허용응력 [MPa] | 응력비   | 검토     |
|-----|----------------------------------------------------------------------|------------|-------|--------|
| LC1 | 전단력/전단면적 = $0.000 \text{ kN} / 154.3 \text{ mm}^2 = 0.0 \text{ MPa}$ | 125.0      | 0.000 | OK (✓) |
| LC2 | 전단력/전단면적 = $0.000 \text{ kN} / 154.3 \text{ mm}^2 = 0.0 \text{ MPa}$ | 125.0      | 0.000 | OK (✓) |

## 7. 상세 구조해석 결과

### [해석 모델]

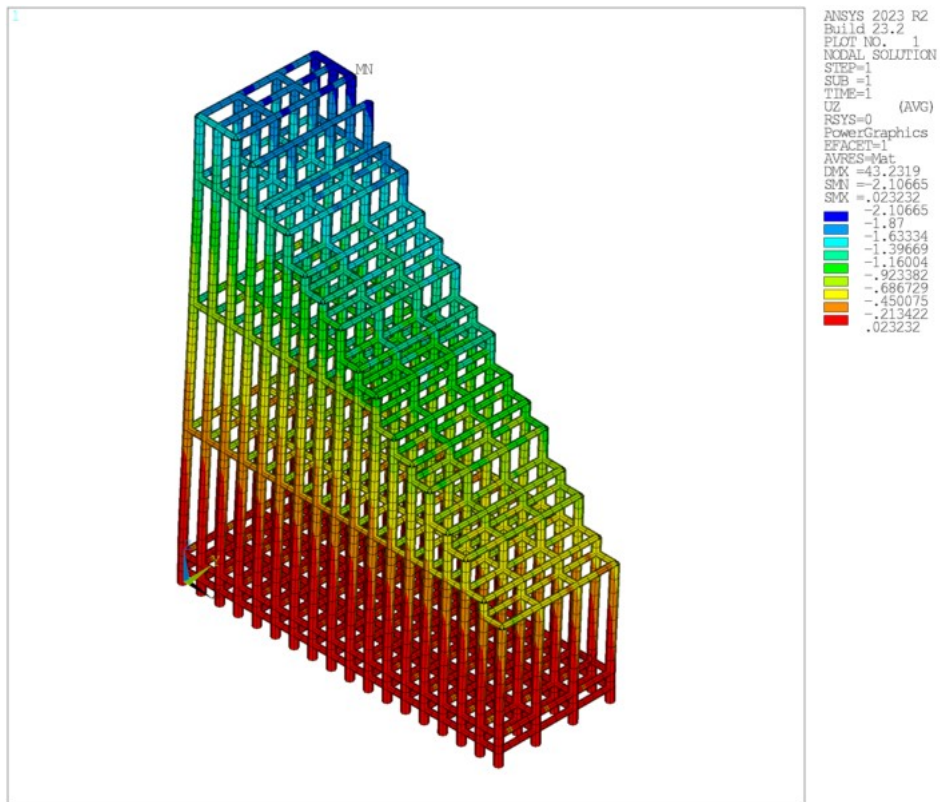


### [경계조건 및 하중조건]

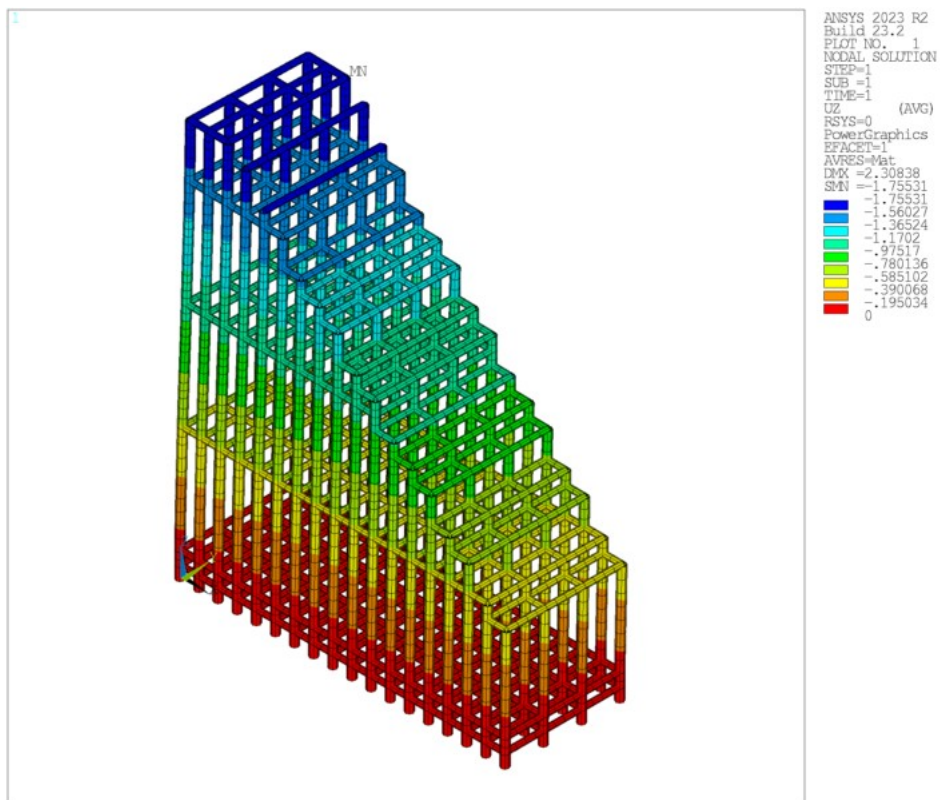


## <Displacement [ $u_z$ , 변위 (mm)]>

➤ 최대 변위 : 2.107 mm [LC1]

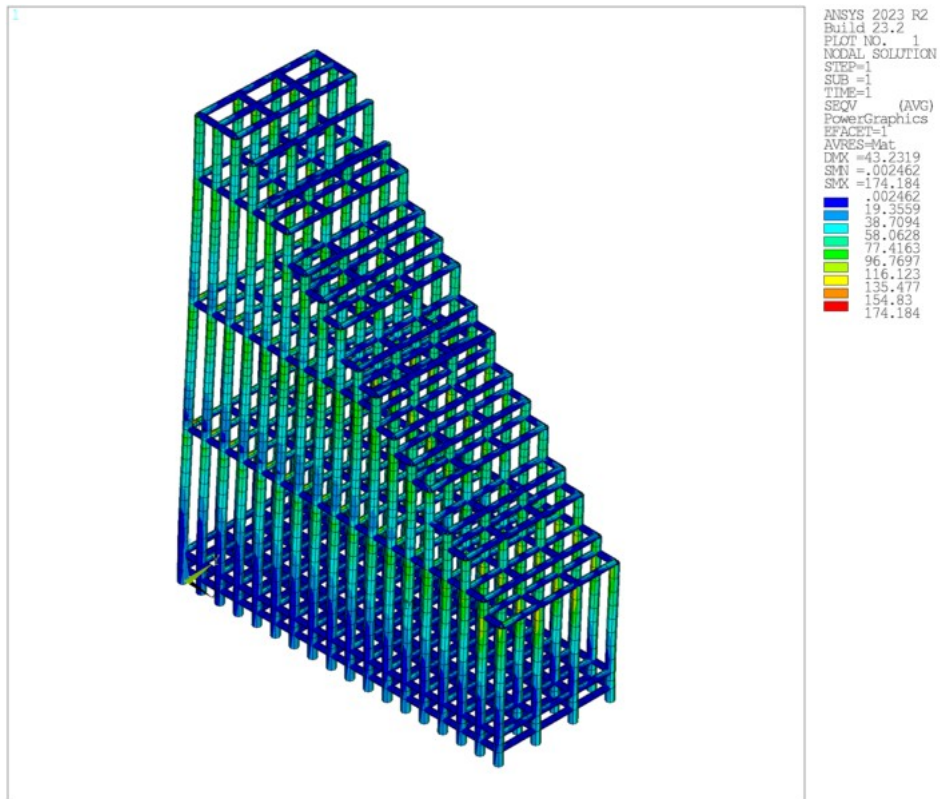


➤ 최대 변위 : 1.755 mm [LC2 : 풍하중 고려]

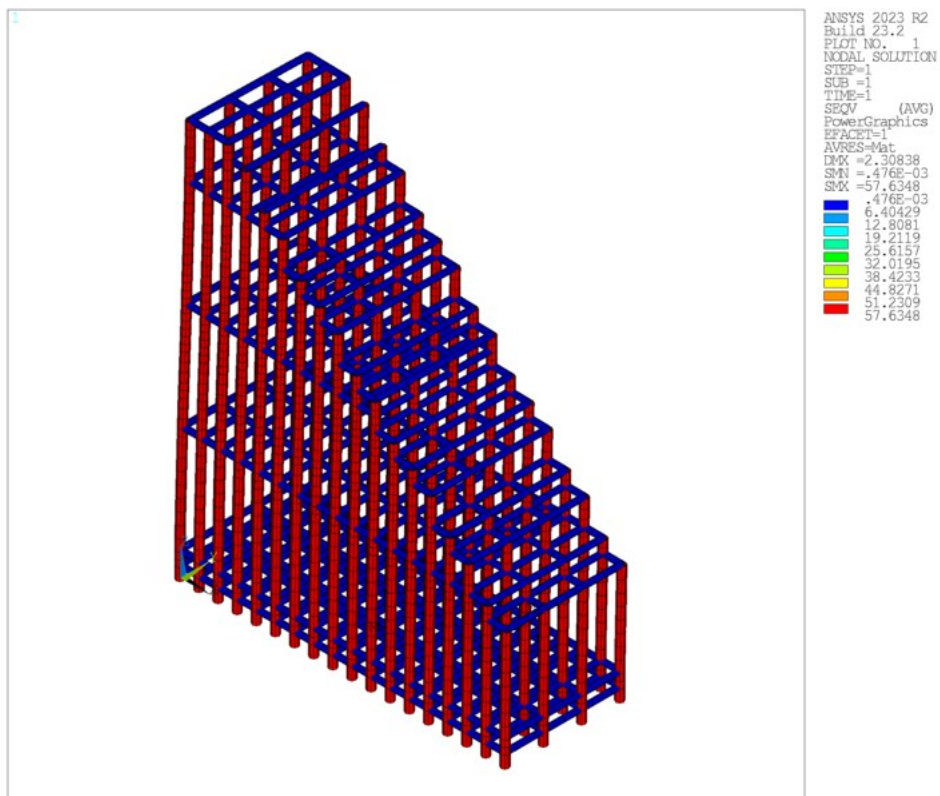


## <von Mises Stress [ $\sigma_{eqv}$ , 등가응력 (MPa)]>

➤ 최대 등가응력 : 174.2 MPa [LC1]

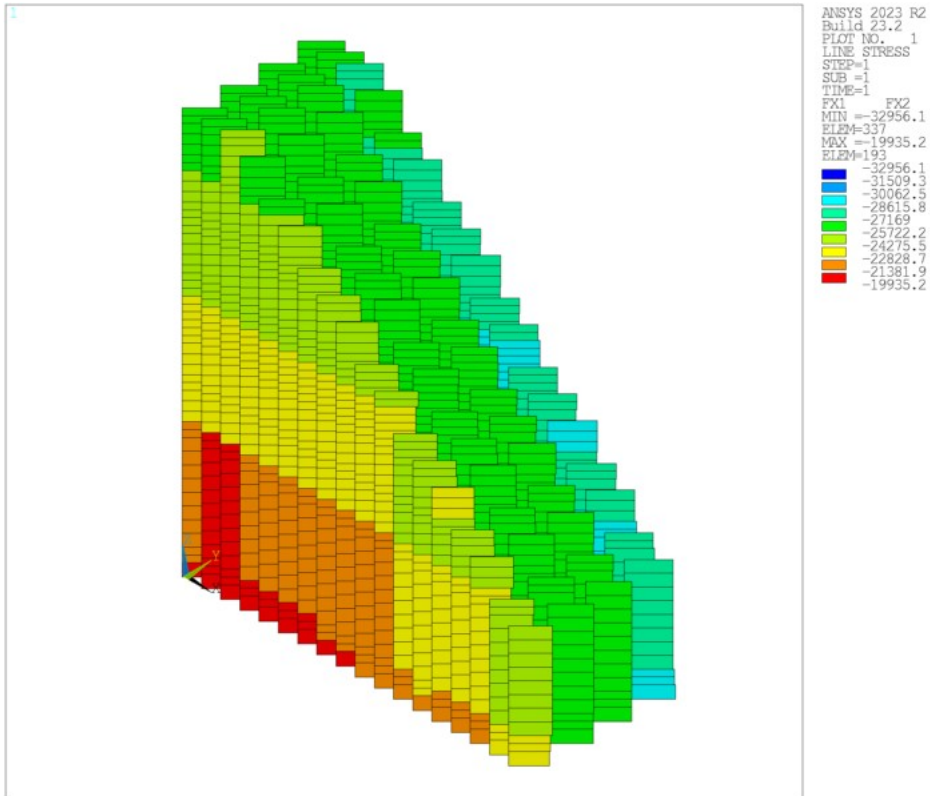


➤ 최대 등가응력 : 57.6 MPa [LC2 : 풍하중 고려]

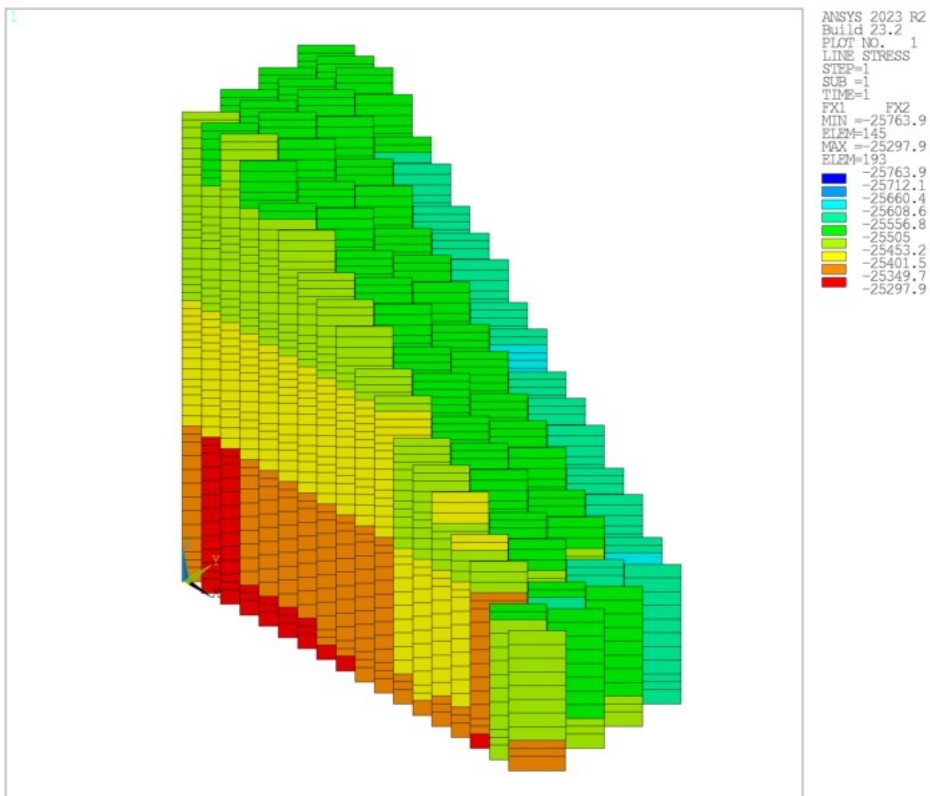


### <Axial Force [ $F_x$ , 축방향력 (N)]>

- 최대 축방향력 : -19.935 kN [LC1]
- 최소 축방향력 : -32.956 kN [LC1]

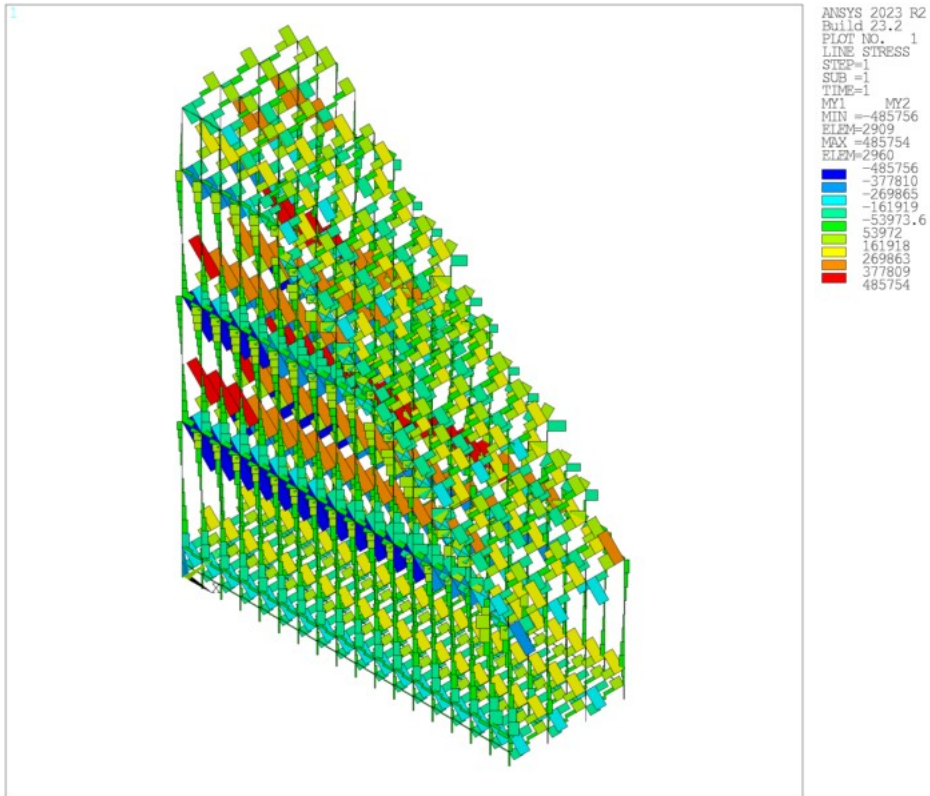


- 최대 축방향력 : -25.298 kN [LC2 : 풍하중 고려]
- 최소 축방향력 : -25.764 kN [LC2 : 풍하중 고려]

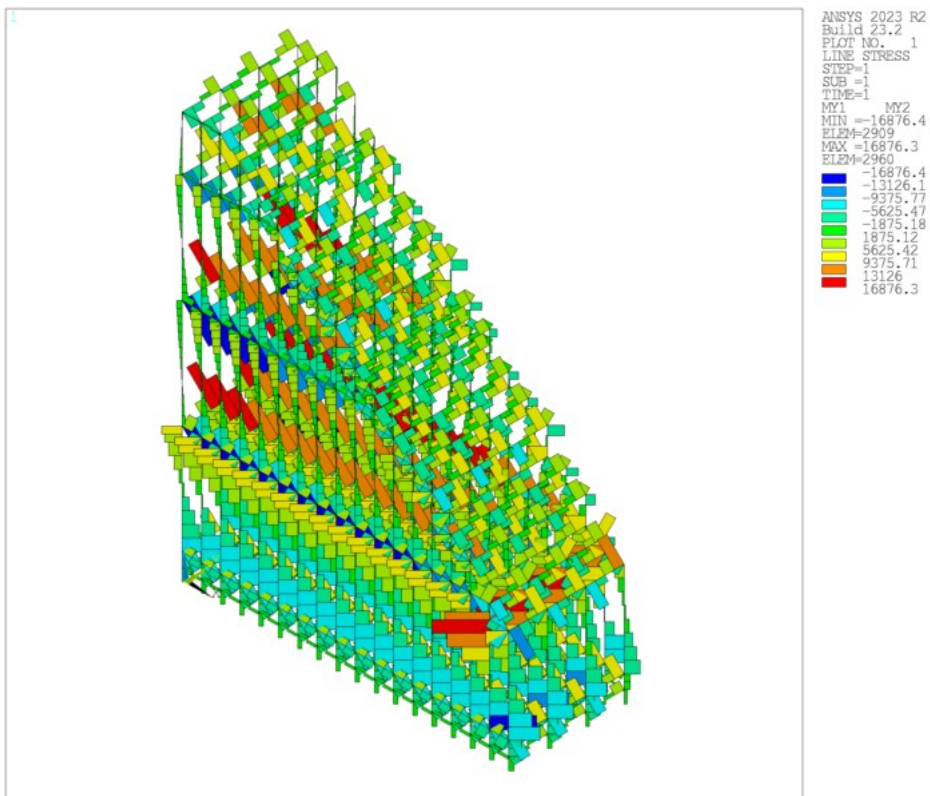


### <Moment [ $M_y$ , 모멘트 (N·mm)]>

- 최대 모멘트 : 0.486 kN·m [LC1]
- 최소 모멘트 : -0.486 kN·m [LC1]

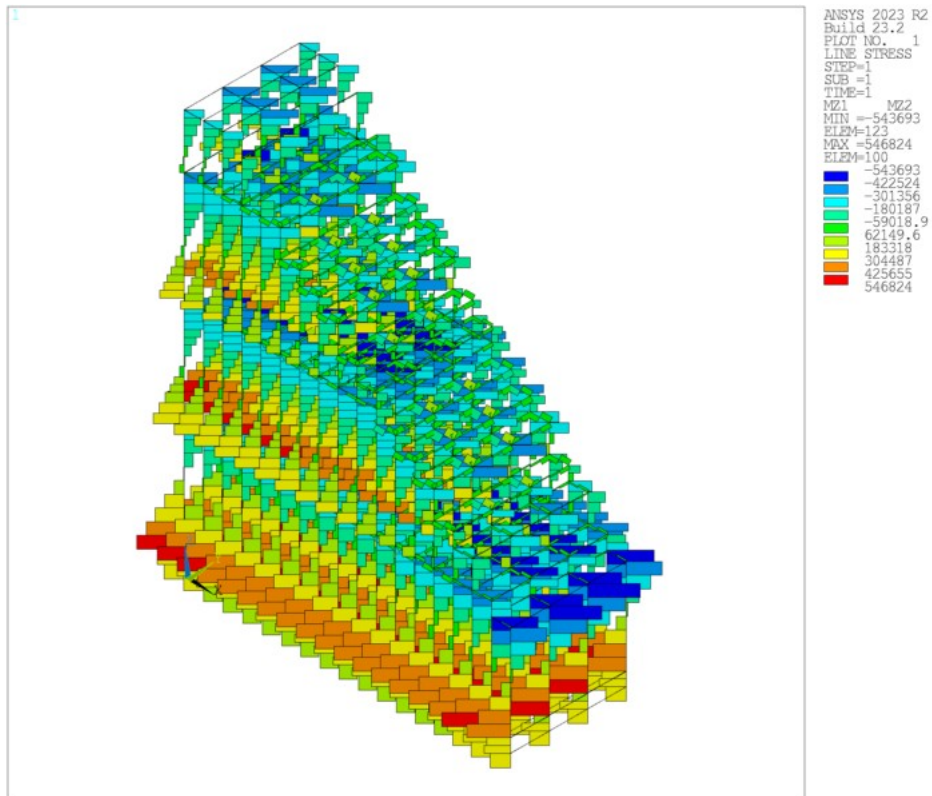


- 최대 모멘트 : 0.017 kN·m [LC2 : 풍하중 고려]
- 최소 모멘트 : -0.017 kN·m [LC2 : 풍하중 고려]

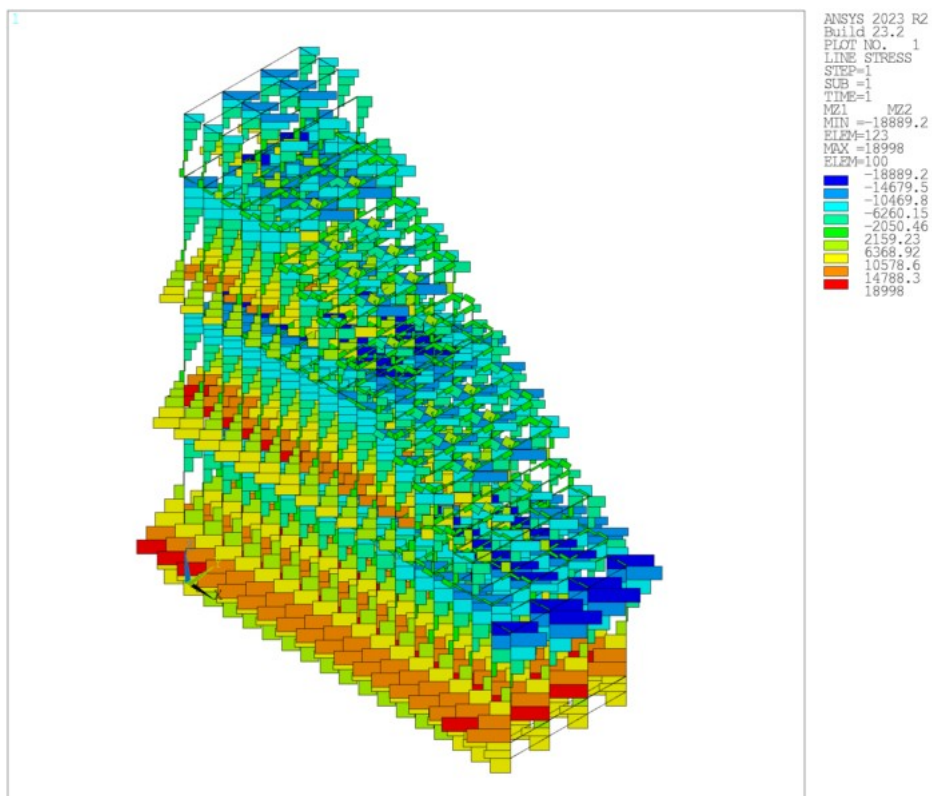


### <Moment [ $M_z$ , 모멘트 (N·mm)]>

- 최대 모멘트 : 0.547 kN·m [LC1]
- 최소 모멘트 : -0.544 kN·m [LC1]

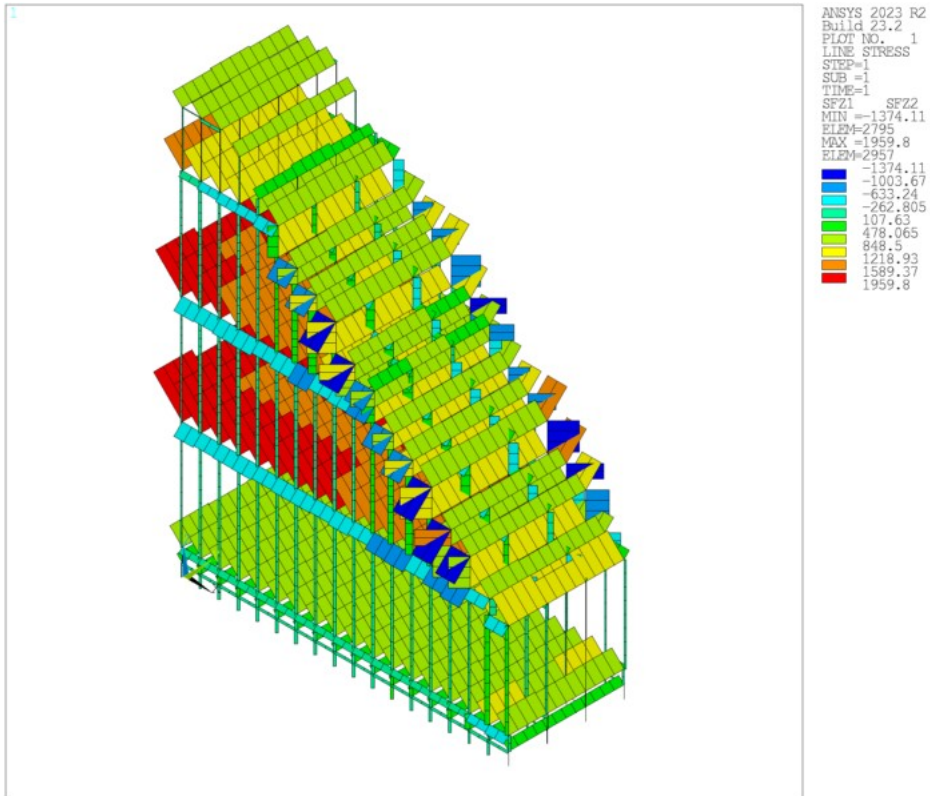


- 최대 모멘트 : 0.019 kN·m [LC2 : 풍하중 고려]
- 최소 모멘트 : -0.019 kN·m [LC2 : 풍하중 고려]

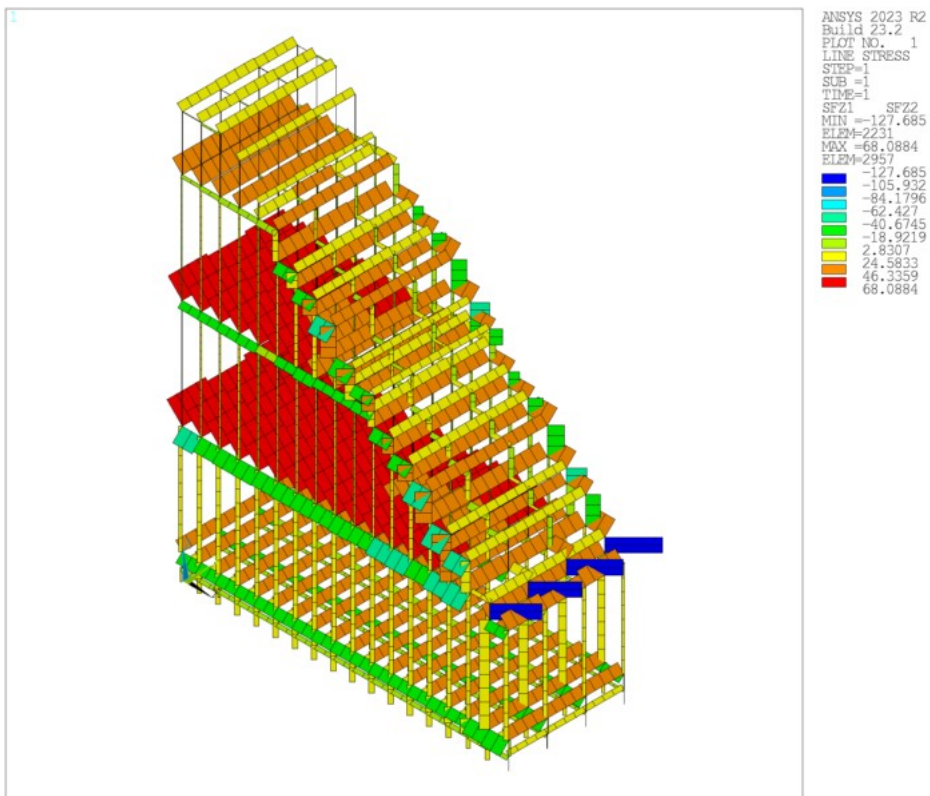


### <Shear Force [ $S_z$ , 전단력 (N)]>

- 최대 전단력 : 1.960 kN [LC1]
- 최소 전단력 : -1.374 kN [LC1]

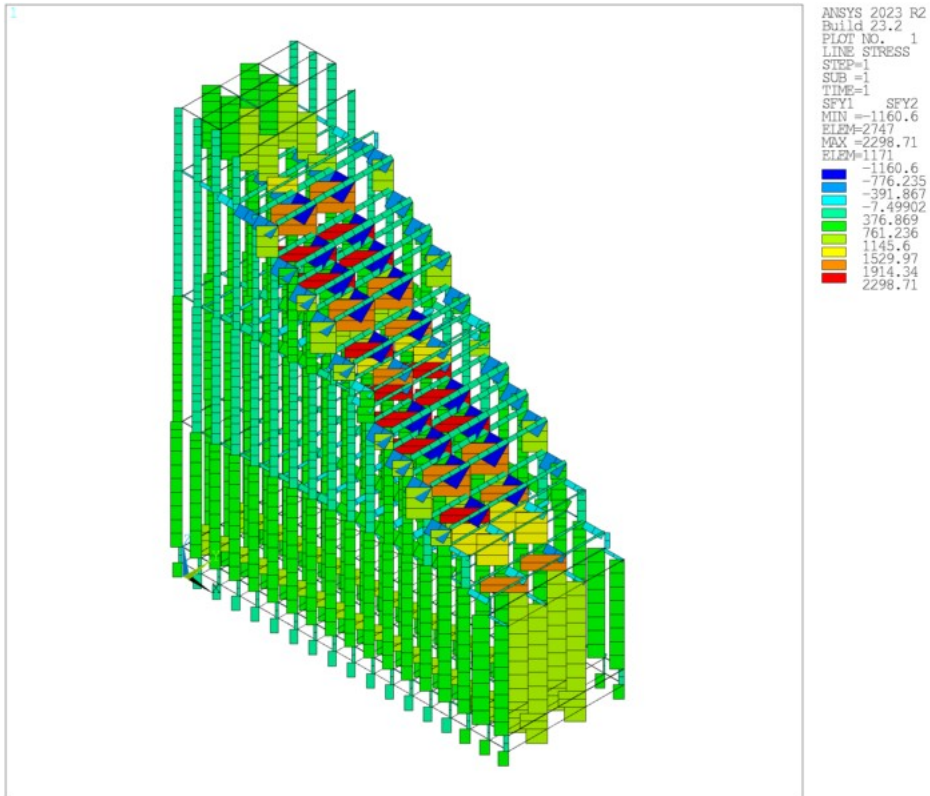


- 최대 전단력 : 0.068 kN [LC2 : 풍하중 고려]
- 최소 전단력 : -0.128 kN [LC2 : 풍하중 고려]

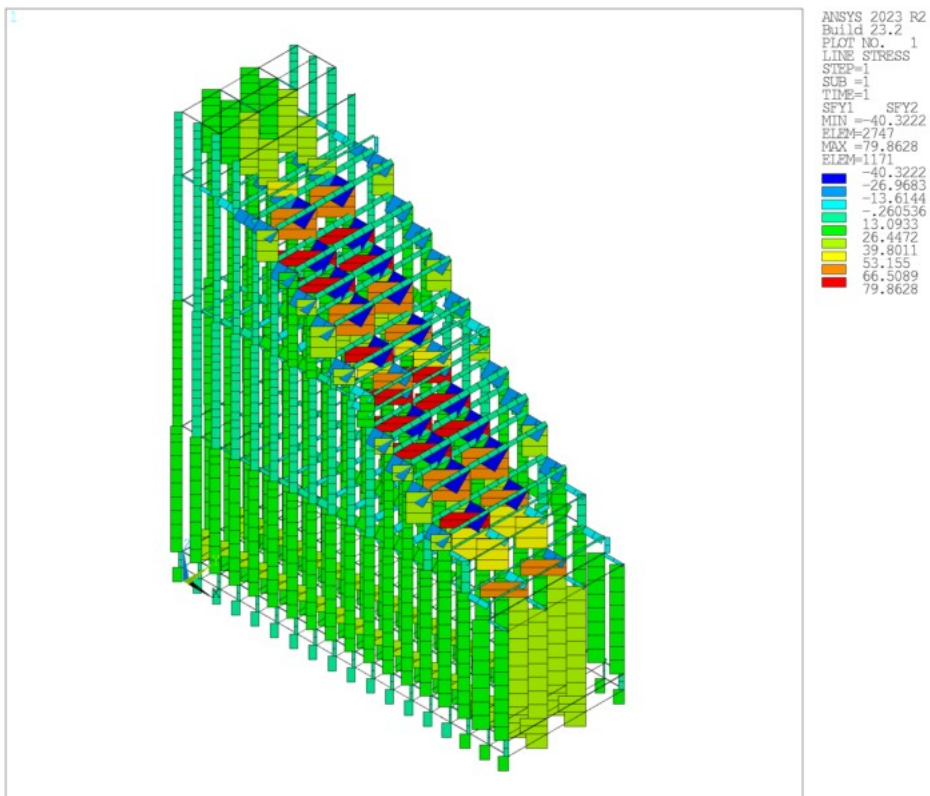


### <Shear Force [ $S_y$ , 전단력 (N)]>

- 최대 전단력 : 2.299 kN [LC1]
- 최소 전단력 : -1.161 kN [LC1]



- 최대 전단력 : 0.080 kN [LC2 : 풍하중 고려]
- 최소 전단력 : -0.040 kN [LC2 : 풍하중 고려]



## IV. 검토 결과

### 1. 검토 의견

➤ 구조검토 결과 변위와 내력이 허용범위 이내인 것을 확인함

### 2. 요약

➤ 부재 설치간격은 설치가 가능한 최대간격으로, 제시된 간격 이하로 설치하더라도 구조적으로 안전함

| 구 분 | 보의 높이*<br>5,800 mm                                          | 보의 높이*<br>3,650 mm                          | 보의 높이*<br>1,500 mm                          | 비 고 |
|-----|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----|
| 합판  | 12 / 0° (하중방향)                                              | 좌동                                          | 좌동                                          |     |
| 장선  | <input type="checkbox"/> 50×50×2.0t<br>@85                  | <input type="checkbox"/> 50×50×2.0t<br>@130 | <input type="checkbox"/> 50×50×2.0t<br>@170 |     |
| 멍에  | <input type="checkbox"/> 75×125×2.9t<br>@305                | 좌동                                          | 좌동                                          |     |
| 수직재 | <input checked="" type="radio"/> $\phi$ 60.5×2.6t<br>@305   | 좌동                                          | 좌동                                          |     |
| 수평재 | <input checked="" type="radio"/> $\phi$ 42.7×2.3t<br>@1,725 | 좌동                                          | 좌동                                          |     |
| 가새재 | <input checked="" type="radio"/> $\phi$ 42.7×2.3t           | 좌동                                          | 좌동                                          |     |

\*가장 가혹한 조건인 보의 높이 5,800mm인 경우에 대해서만 구조 검토를 실시하였고, 나머지 보의 높이의 경우는 결과만 표시하였음