

## **제5장 시설물의 안전성평가**

---

**5.1 개요**

**5.2 상부구조 안전성평가 검토**

**5.3 하부구조 안전성평가 검토**

**5.4 내하력평가 검토**

**5.5 안전성평가 결과요약**

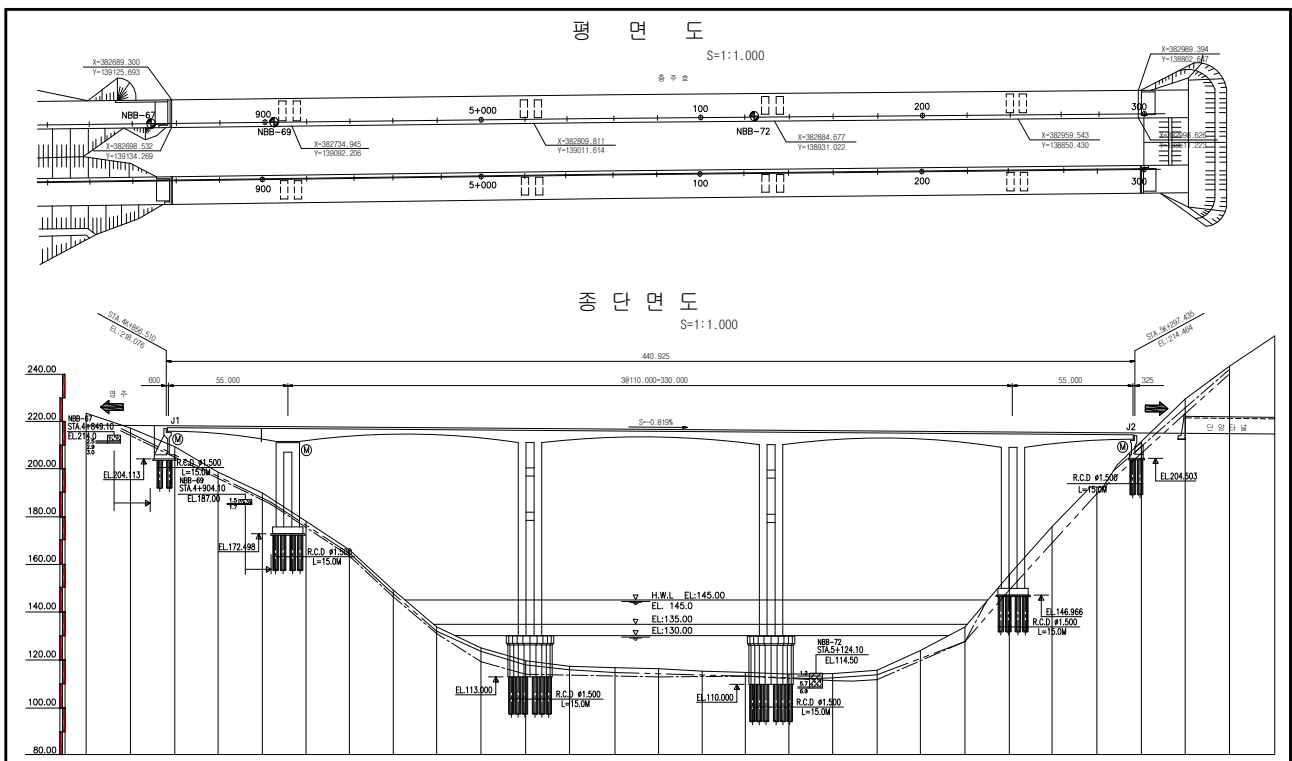


# 제5장 시설물의 안전성평가

## 5.1 개 요

### 5.1.1 금회 과업범위

단양대교는 총연장 440.0m(55.0+3@110.0+55.0), 교폭 12.6m, 설계하중 DB 24(DL 24)의 5경간 PSC Box Girder 교량으로서 2012년 정밀안전진단 이후 하중조건의 증가요인은 없는 상태이며, 또한 현장조사 결과 강도저하 등 재료물성에서의 변화도 없는 것으로 나타나 금회 안전성평가는 과업지시서에 따라 2012년 정밀안전진단에서의 평가결과를 분석 및 검토 하여 안전성평가등급을 결정하였다.



【그림 5-1】 단양대교 종·평면도

## 가. 구조해석 조건

### 1) 검토조건

- ① 구조형식 : PSC Box Girder교(FCM)
- ② 지간구성 :  $L = 55+3@110+55 = 440\text{m}$
- ③ 교량폭원 :  $B = 12.6\text{m}$  (유효폭 :  $11.7\text{m}$ )
- ④ 단면형고 :  $H = 2.5\sim 6.0\text{m}$
- ⑤ 평면선형 : 직선

### 2) 사용재료 및 허용응력

#### ① 콘크리트

##### ㉠ 설계기준강도

- 상부구조 및 하부구조 :  $f_{ck} = 40\text{MPa}$
- 탄성계수 :  $E_c = 30,891\text{MPa}$

##### ㉡ 프리스트레스 도입시의 콘크리트의 압축강도

- $f_{ci} = 0.75 \times f_{ck} = 30\text{MPa}$

##### ㉢ 허용응력

- 프리스트레스 도입직후, 손실발생전
  - 허용 휨 압축응력 :  $0.55f_{ci} = 16.5\text{MPa}$
  - 허용 휨 인장응력 :  $0.75\sqrt{f_{ci}} = 1.3\text{MPa}$
- 사용하중 작용시, 손실 발생 후
  - 허용 휨 압축응력 :  $0.40f_{ci} = 16.0\text{MPa}$
  - 허용 휨 인장응력 :  $1.5\sqrt{f_{ci}} = 3.0\text{MPa}$

#### ② P.C 강재

##### ㉠ 사용기준 : KSD 7002, SWPC 7B- $\phi 15.2\text{mm}$

##### ㉡ 항복강도 : $P_y = 22.6\text{tons/Strand}$

##### ㉢ 인장강도 : $P_u = 26.6\text{tons/Strand}$

##### ㉣ 단 면 적 : $A_p = 138.7\text{mm}^2$

##### ㉤ 탄성계수 : $E_p = 2.0 \times 10^5\text{MPa}$

##### ㉥ 사용텐던 :

- TOP :  $\varnothing 6''-19$ , Duct 100/103
- BOTTOM :  $\varnothing 6''-22$ , Duct 110/113

㊦ 긴 장 력 :

- TOP :  $f_{pi} = 0.72f_{pu}$
- BOTTOM :  $f_{pi} = 0.70f_{pu}$

㊧ 마찰계수 :

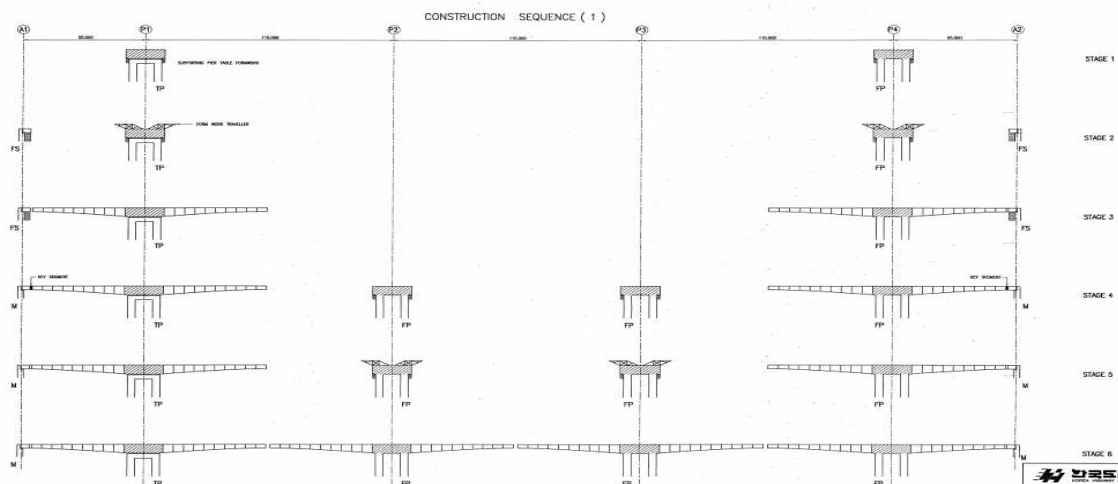
- TOP :  $\mu = 0.2/rad$ (곡률),  $k = 0.001/m$ (파상)
- BOTTOM :  $\mu = 0.3/rad$ (곡률),  $k = 0.006/m$ (파상)

③ 철근(SD 400)

### 5.1.2 시공단계별 검토

#### 가. 시공단계 적용 개요

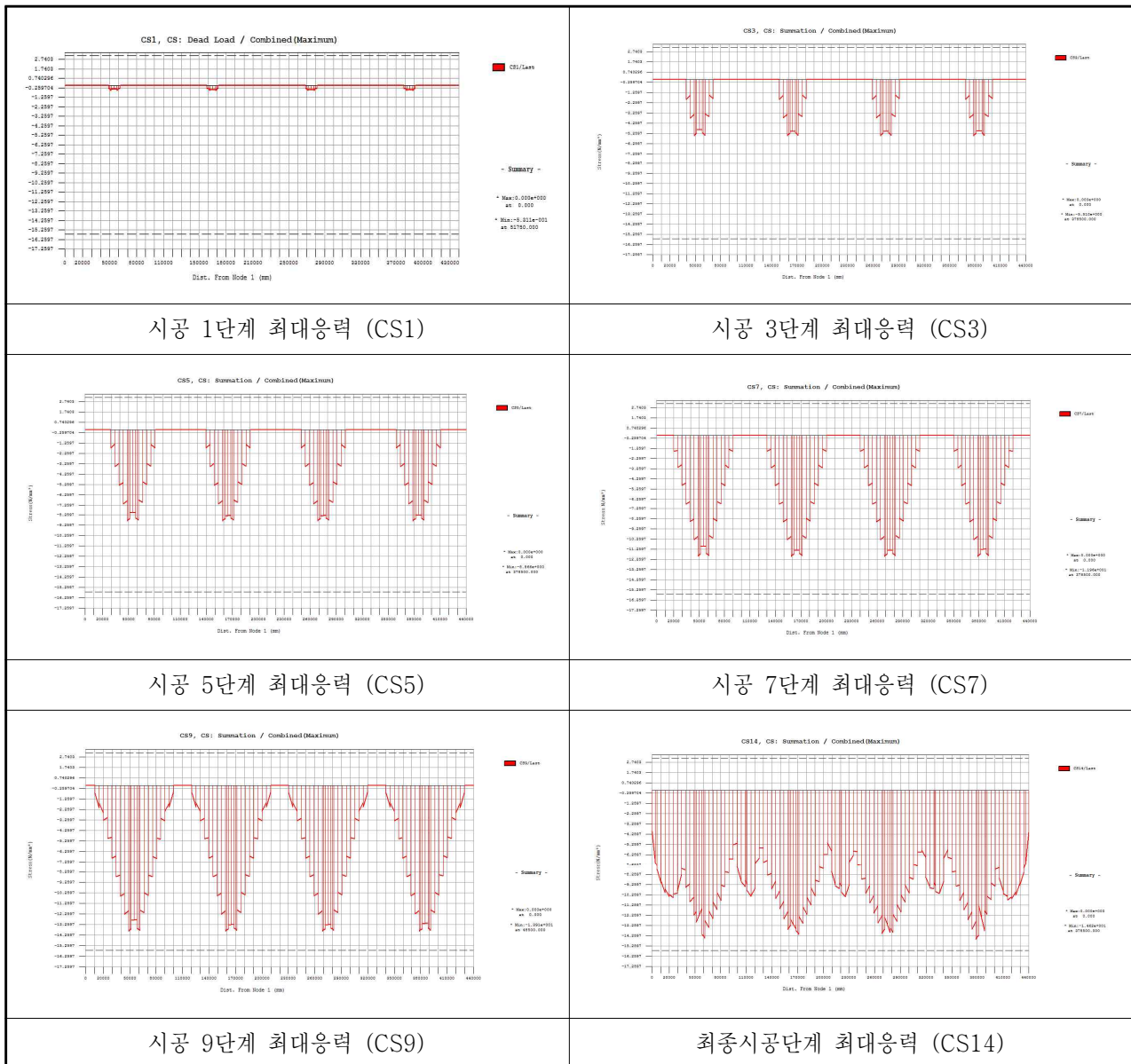
본 교량은 주거터 해석시 Segment 제작 소요일수는 일반적인 소요일수 15 일을 적용하였으며, 각 교각에 거치되는 단계별로는 10단계의 시공단계로 구분하였다. 시공방향은 A2부터 A1으로 하였으며, 경계조건 및 재하하중은 각 단계별 시공순서에 따라 고려하였으며, 2차고정하중(내부 격벽, 포장, 방호벽)과 활하중 등은 마지막 세그먼트 압출이 완료된 후 재하 하였다. 또한 크리프 및 건조수축 등의 영향을 고려하기위해 시공 후 10,000일을 고려하여 해석을 수행하였다.



(시공단계 정의 개략도)

## 나. 시공단계별 검토 결과

각 시공단계에 따른 응력변화를 【그림 5-2】에 나타내었으며, 그림에서 알 수 있듯이 시공중에도 허용 응력값 보다 작은 응력(최대압축응력 14.62MPa)이 발생하였던 것으로 분석되었다.



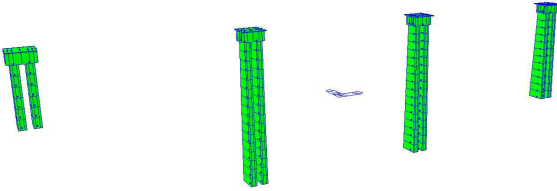
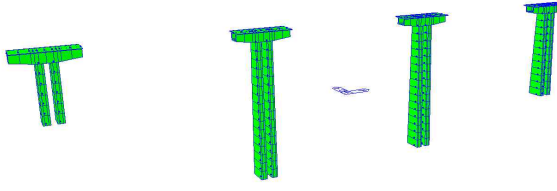
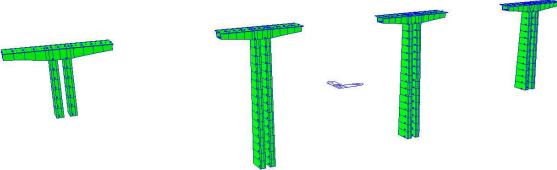
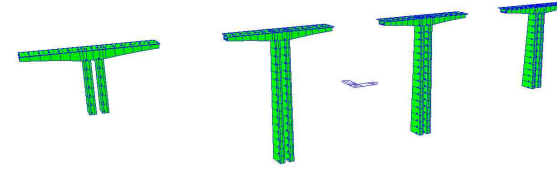
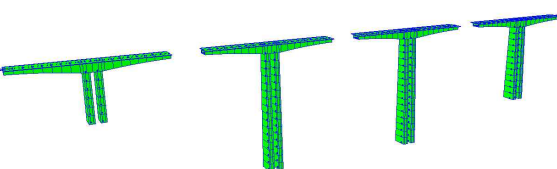
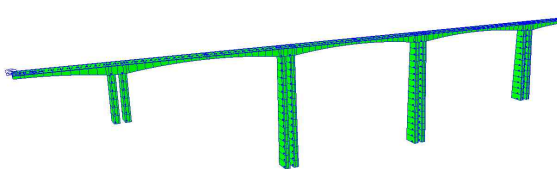
【그림 5-2】 시공단계별 최대응력 변화

### ※ 시공단계별

CS 1 : 교각 시공 후 주두부 시공완료 상태

CS 2~11 : 각 PSC BOX 시공완료 상태(총 10단계)

CS 14 : Key Segment 설치 및 시공완료 상태 (최종단계)

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|   |   |
| 시공1단계 시공상태 (CS1)                                                                   | 시공3단계 시공상태 (CS1)                                                                    |
|   |   |
| 시공5단계 시공상태 (CS1)                                                                   | 시공7단계 시공상태 (CS1)                                                                    |
|  |  |
| 시공9단계 시공상태 (CS1)                                                                   | 시공14단계 시공상태 (CS1)                                                                   |

【표 5-1】 시공단계별 해석 결과(최대 발생응력)

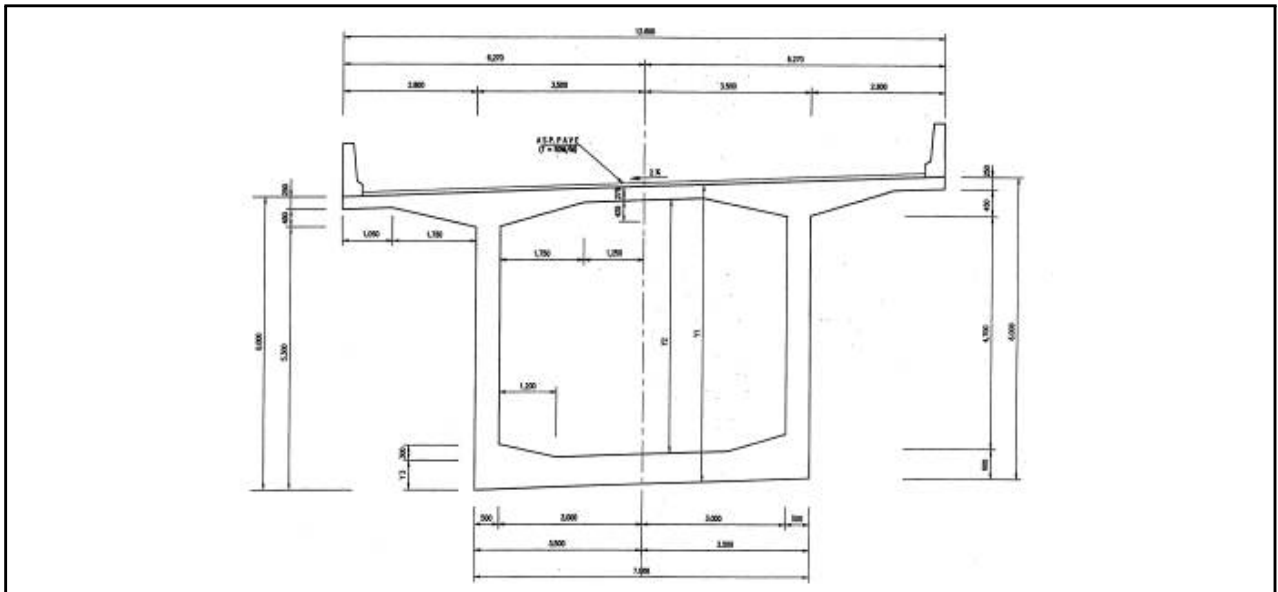
| 시공단계           | 위 치 | 최대 발생응력<br>(MPa) | 결과검토 | 허용응력 (MPa)                                                  |
|----------------|-----|------------------|------|-------------------------------------------------------------|
| 5단계            | 상연  | -8.96            | O.K  | 압축 $f_{ca} = 16.3\text{MPa}$<br>인장 $f_{ca} = 3.0\text{MPa}$ |
|                | 하연  | -0.85            | O.K  |                                                             |
| 최종단계<br>(14단계) | 상연  | -14.62           | O.K  |                                                             |
|                | 하연  | -10.80           | O.K  |                                                             |

## 5.2 상부구조 안전성평가 검토

### 5.2.1 부산방향

PSC BOX는 단면의 특성상 횡방향 단면이 연속보와 같은 거동을 하게 되어 교축직각 방향의 단면력에 대해 적절한 보강이 필요하다. 본 과업에서는 횡방향 내하력 평가를 위하여 중방향 해석에 사용된 단면을 바탕으로 해석을 수행하였다. 검토부위는 캔틸레버부와 상부슬래브의 중앙부에 대하여 수행하였다.

#### 가. 검토 단면



【그림 5-3】 단양대교(부산) 상부구조 횡단면도

#### 나. 바닥판 검토

##### 1) 캔틸레버부

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot b) = 30.36 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \cdot A_s \cdot (d - a/2)$$

$$= 548.22 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 485.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \therefore \text{OK}$$

##### 2) 중앙부

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot b) = 22.47 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \cdot A_s \cdot (d - a/2)$$

$$= 132.31 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 128.7 \text{ kN} \cdot \text{m} \therefore \text{OK}$$

## 3) 휨강도 검토

PSC BOX 거더의 횡방향 휨강도 검토시 대상구조물을 교축방향으로 단위폭(1m)에 대한 휨강도를 산정하였으며 안전측으로 단철근보로 고려하여 검토하였다.

## ① 캔틸레버

- 부재두께  $H=700\text{mm}$ , 단위폭  $B=1,000\text{mm}$
- 철근량  $A=H22@150 = 2580.67\text{mm}^2$
- 콘크리트의 강도  $f_{ck} = 40.0\text{MPa}$ , 철근의 항복강도  $f_y = 400\text{MPa}$
- $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = 30.36\text{mm}$
- $\phi M_n = 0.85 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 548.22\text{kN}\cdot\text{m} \geq M_u = 485.6\text{kN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K}$

## ② 상부슬래브 중앙부

- 부재두께  $H=275\text{mm}$ , 단위폭  $B=1,000\text{mm}$
- 철근량  $A=H19@150 = 1,910.0\text{mm}^2$
- 콘크리트의 강도  $f_{ck} = 40.0\text{MPa}$ , 철근의 항복강도  $f_y = 400\text{MPa}$
- $a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_{ck} b} = 22.47\text{mm}$
- $\phi M_n = 0.85 A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 132.31\text{kN}\cdot\text{m} \geq M_u = 128.7\text{kN}\cdot\text{m} \quad \therefore \text{O.K}$
- 비파괴 시험결과 PSC BOX 강도는 설계강도  $40.0\text{MPa}$ 이상을 확보하는 것으로 검토되었으며, 슬래브 중앙부의 철근배근간격은 도면과 거의 일치하는 것으로 검토되었다. 또한 철근의 피복두께는 설계기준  $60\text{mm}$ 와 유사하지만 평균값으로 표표현하면 약  $55\text{mm}$ 로 설계값과 거의 유사한 것으로 검토되었다.

【표 5-2】 단양대교(부산) 횡방향 안전성평가 결과

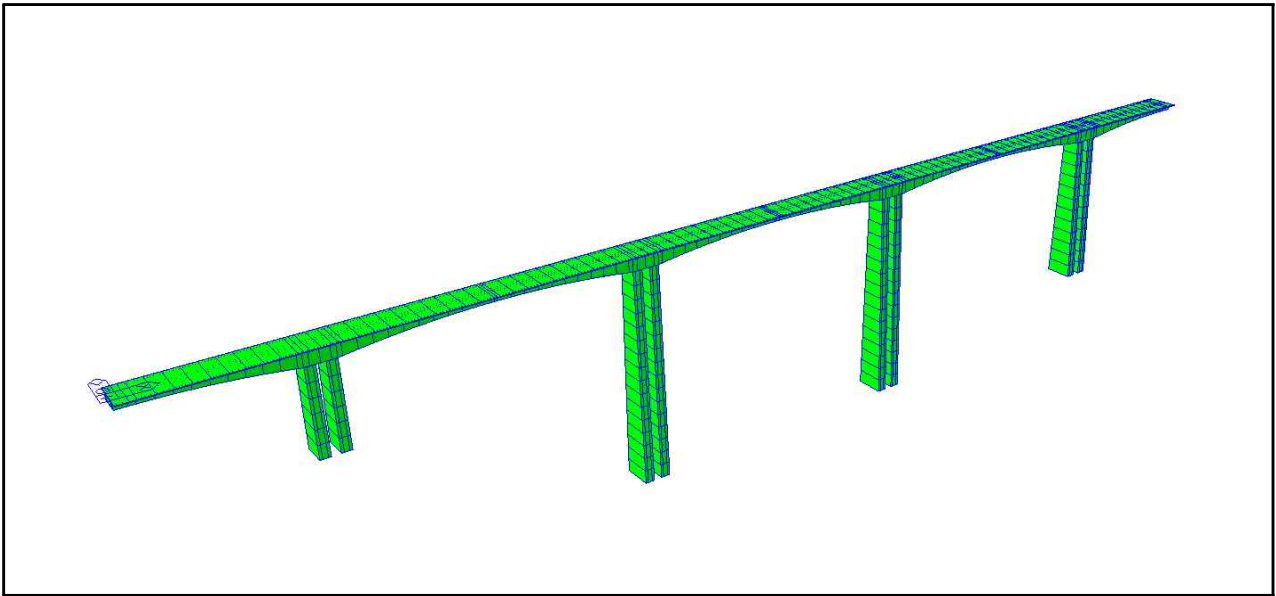
| 구분    | 소요강도( $M_u$ , kN·m) | 설계강도( $\phi M_n$ , kN·m) | 안전율  | 비 고 |
|-------|---------------------|--------------------------|------|-----|
| 캔틸레버  | 485.7               | 548.22                   | 1.13 | O.K |
| 중앙슬래브 | 128.6               | 132.3                    | 1.03 | O.K |

위와 같이 PSC BOX의 횡방향 해석결과 안전성은 확보하고 있는 것으로 조사되었으나 슬래브 중앙부의 안전율이 1.0에 근사한 값(SF=1.4로 설계) 설계당시 으로 검토되었다. 점검 당시 슬래브의  $c/w=0.3\text{mm}$ 미만의 균열이 국부적으로 발생한 상태였으며(현재는 보수완료됨) 향후 유지관리시 균열보수부의 재균열 발생 여부등을 확인해야 할 것이다. 또한 현장점

검 결과 균열의 진전 및 확대등은 없을 것으로 판단되나, 향후 균열의 확대 및 구조적 손상이 조사될 경우 본 내용을 참고하여 보강계획을 수립해야 할 것으로 판단된다.

## 다. 거더검토

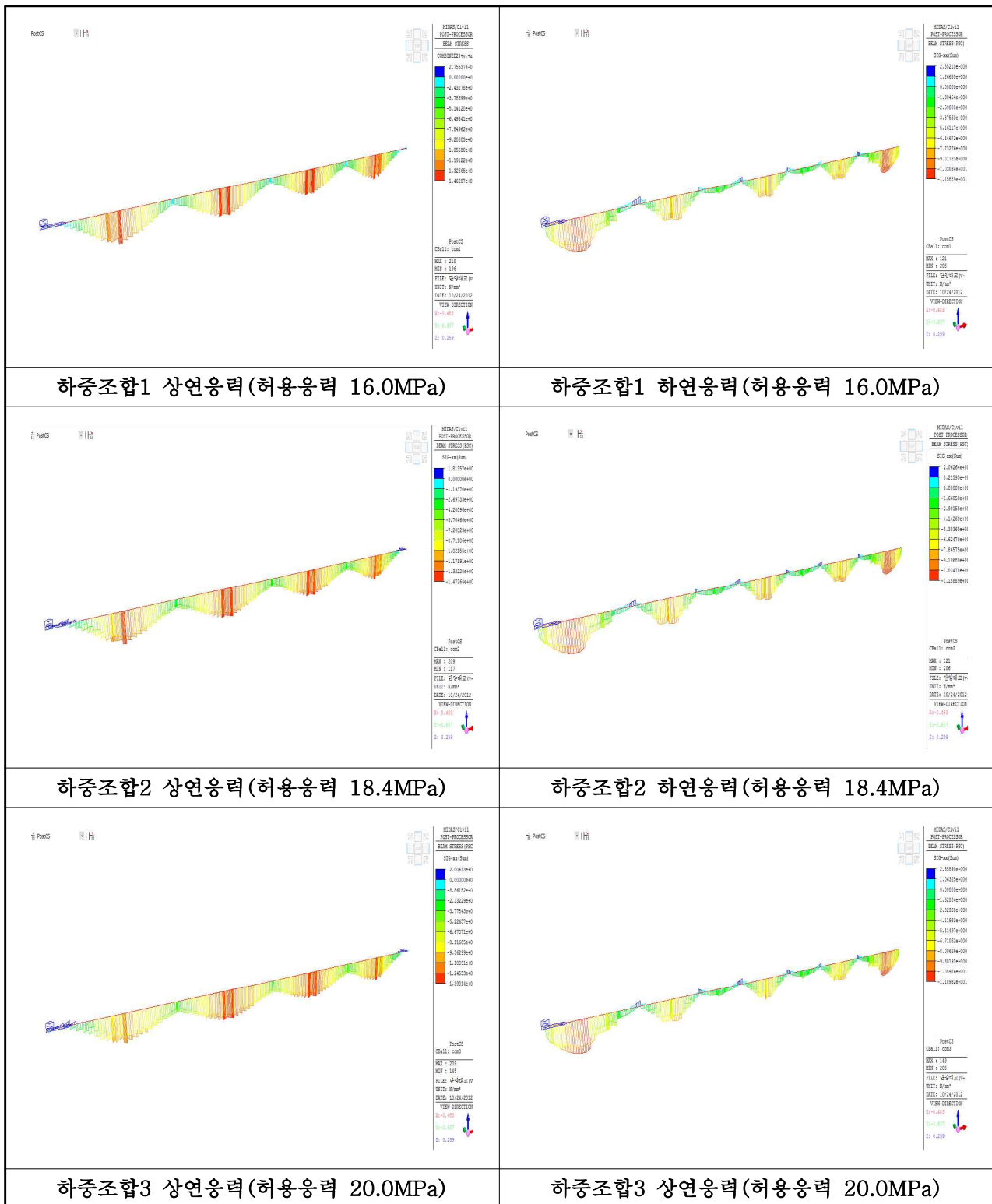
### 1) 해석모델



【그림 5-4】 단양대교(부산) 해석모델링

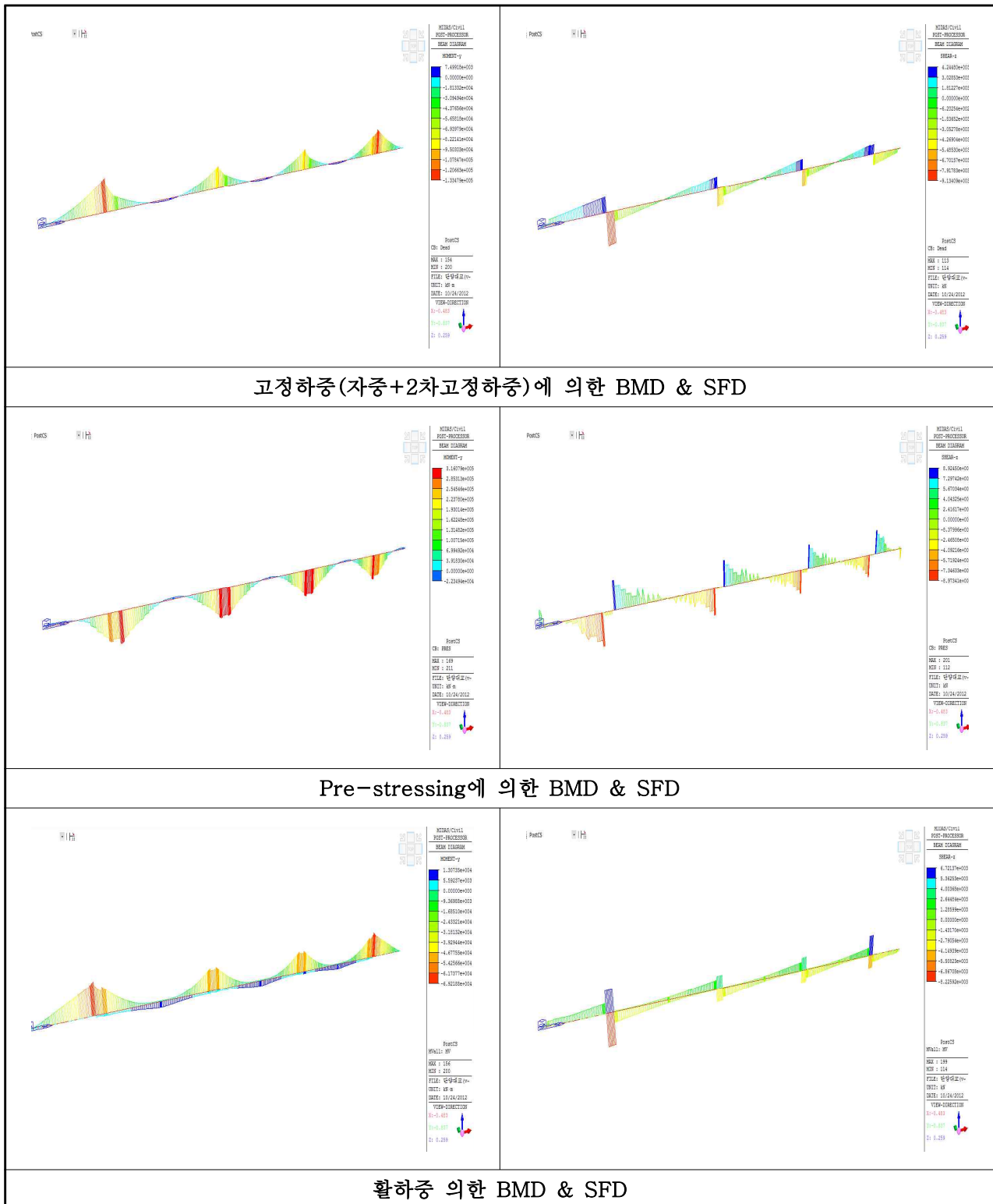
## 2) 구조해설 결과

### ① 사용하중 상태의 응력

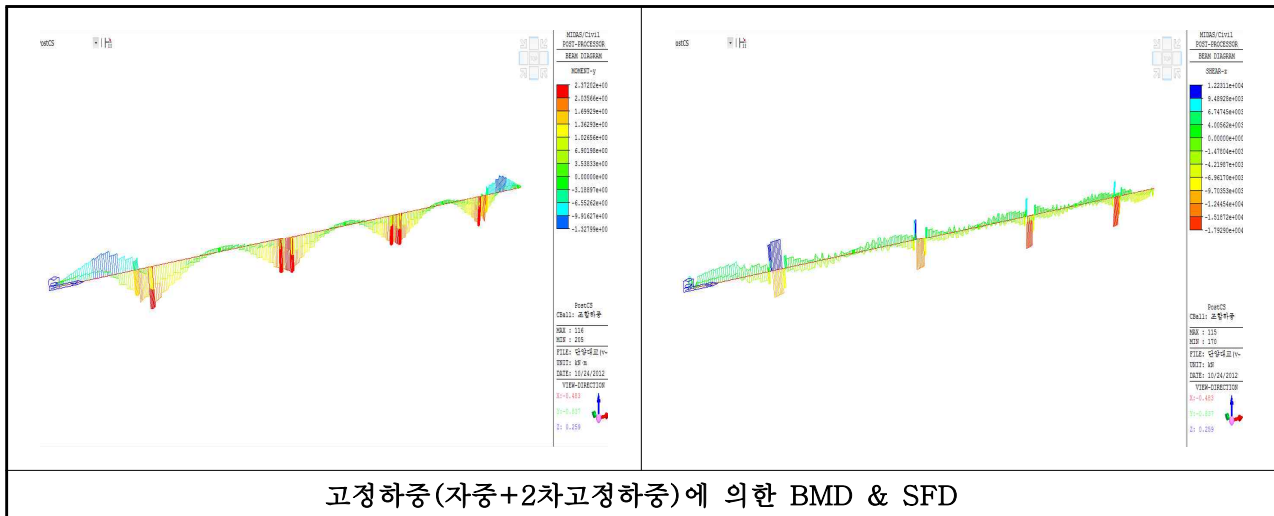


【그림 5-5】 단양대교(부산) 상태의 단면 상·하연 응력

② 작용하중별 단면력 결과



【그림 5-6】 단양대교(부산) 사용하중하에서의 모멘트 및 전단력도



【그림 5-6】 단양대교(부산) 사용하중하에서의 모멘트 및 전단력도(계속)

## 3) 응력검토결과

【표 5-3】 단양대교(부산) 사용하중에 의한 단면력 및 휨응력

| 구 분         |          | 휨응력(MPa) |         |
|-------------|----------|----------|---------|
|             |          | 상연       | 하연      |
| S1<br>경간중양부 | 고정하중     | 4.16     | -5.52   |
|             | PS하중     | -10.1    | -2.78   |
|             | 크리프+건조수축 | -        | -       |
|             | 활하중      | 2.5      | -3.50   |
|             | 온도하중     | -        | -       |
|             | 풍하중      | 0.821    | 0.473   |
|             | 소계       | -2.619   | -11.327 |
| S2<br>경간중양부 | 고정하중     | -0.80    | 1.40    |
|             | PS하중     | -3.40    | -8.90   |
|             | 크리프+건조수축 | 1.98     | -1.50   |
|             | 활하중      | -1.43    | -0.507  |
|             | 온도하중     | -0.0942  | -0.853  |
|             | 풍하중      | -0.682   | -0.379  |
|             | 소계       | -4.43    | -10.73  |
| P1<br>지점부   | 고정하중     | 4.60     | -5.0    |
|             | PS하중     | -16.4    | 3.31    |
|             | 크리프+건조수축 | -1.1     | 1.7     |
|             | 활하중      | 2.3      | -2.60   |
|             | 온도하중     | 0.7      | -1.1    |
|             | 풍하중      | 1.9      | 1.1     |
|             | 소계       | -8.0     | -2.59   |
| P2<br>지점부   | 고정하중     | 2.53     | -2.70   |
|             | PS하중     | -17.0    | 4.48    |
|             | 크리프+건조수축 | 1.34     | -0.681  |
|             | 활하중      | -0.0135  | -1.89   |
|             | 온도하중     | -0.476   | -0.0901 |
|             | 풍하중      | 0.34     | 0.189   |
|             | 소계       | -13.3    | -0.507  |

【표 5-4】 단양대교(부산) 구조안전성 평가 결과

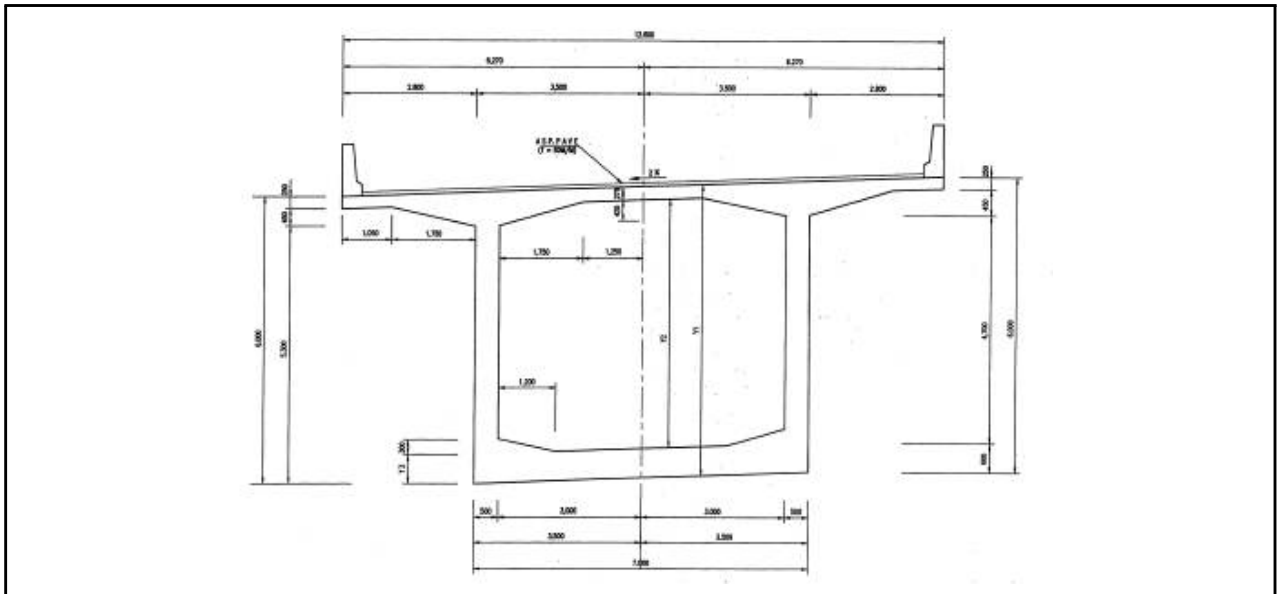
| 구 분       |       | 휨응력(MPa) |       | 허용응력(MPa) |       | 안전율(SF) |      | 검토<br>결과 |
|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|---------|------|----------|
|           |       | 상연       | 하연    | 상연        | 하연    | 상연      | 하연   |          |
| S1<br>경간  | Case1 | -5.9     | -14.0 | -16.0     | -16.0 | 2.71    | 1.14 | O.K      |
|           | Case2 | -5.9     | -14.0 | -18.4     | -18.4 | 3.11    | 1.31 | O.K      |
|           | Case3 | -5.2     | -13.8 | -20.0     | -20.0 | 3.84    | 1.44 | O.K      |
|           | Case4 | 3.0      | -18.9 | 4.05      | -21.6 | 1.35    | 1.14 | O.K      |
| S2<br>경간  | Case1 | -3.6     | -10.9 | -16.0     | -16.0 | 4.44    | 1.46 | O.K      |
|           | Case2 | -3.7     | -11.6 | -18.4     | -18.4 | 4.97    | 1.58 | O.K      |
|           | Case3 | -4.3     | -11.4 | -20.0     | -20.0 | 4.65    | 1.75 | O.K      |
|           | Case4 | -5.5     | -11.0 | -21.6     | -21.6 | 3.92    | 1.96 | O.K      |
| P1<br>지점부 | Case1 | -13.0    | -3.2  | -16.0     | -16.0 | 1.23    | 5.00 | O.K      |
|           | Case2 | -12.5    | -3.3  | -18.4     | -18.4 | 1.47    | 5.57 | O.K      |
|           | Case3 | -11.1    | -2.1  | -20.0     | -20.0 | 1.80    | 9.52 | O.K      |
|           | Case4 | -7.5     | -5.4  | -21.6     | -21.6 | 2.88    | 4.00 | O.K      |
| P2<br>지점부 | Case1 | -13.6    | 2.0   | -16.0     | 3.0   | 1.17    | 1.50 | O.K      |
|           | Case2 | -14.0    | 2.0   | -18.4     | 3.45  | 1.31    | 1.50 | O.K      |
|           | Case3 | -13.3    | 2.2   | -20.0     | 3.75  | 1.50    | 1.36 | O.K      |
|           | Case4 | -11.8    | -4.6  | -21.6     | -21.6 | 1.83    | 4.69 | O.K      |

위와 같이 사용하중하에서 허용응력검토 결과 대부분 주요 구간에서 인장은 발생하지 않았으며, 검토부재 전체가 허용압축응력  $f_{ca}=16.0\text{MPa}$ 이하로 검토되었다. 이에 따른 안전율은 상연에서 최소 SF=1.17, 하연에서 최소 1.14의 안전율을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

### 5.2.2 춘천방향

PSC BOX는 단면의 특성상 횡방향 단면이 연속보와 같은 거동을 하게 되어 교축직각 방향의 단면력에 대해 적절한 보강이 필요하다. 본 과업에서는 횡방향 내하력 평가를 위하여 종방향 해석에 사용된 단면을 바탕으로 해석을 수행하였다. 검토부위는 캔틸레버부와 상부슬래브의 중앙부에 대하여 수행하였다.

#### 가. 검토 단면



【그림 5-7】 단양대교(춘천) 상부구조 횡단면도

#### 나. 바닥판 검토

##### 1) 캔틸레버부

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot b) = 30.36 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \cdot A_s \cdot (d - a/2)$$

$$= 548.22 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 485.6 \text{ kN} \cdot \text{m} \therefore \text{OK}$$

##### 2) 중앙부

$$a = (A_s \cdot f_y) / (0.85 \cdot f_{ck} \cdot b) = 22.47 \text{ mm}$$

$$\phi M_n = \phi f_y \cdot A_s \cdot (d - a/2)$$

$$= 132.31 \text{ kN} \cdot \text{m} \geq M_u = 128.7 \text{ kN} \cdot \text{m} \therefore \text{OK}$$

### 3) 중앙부

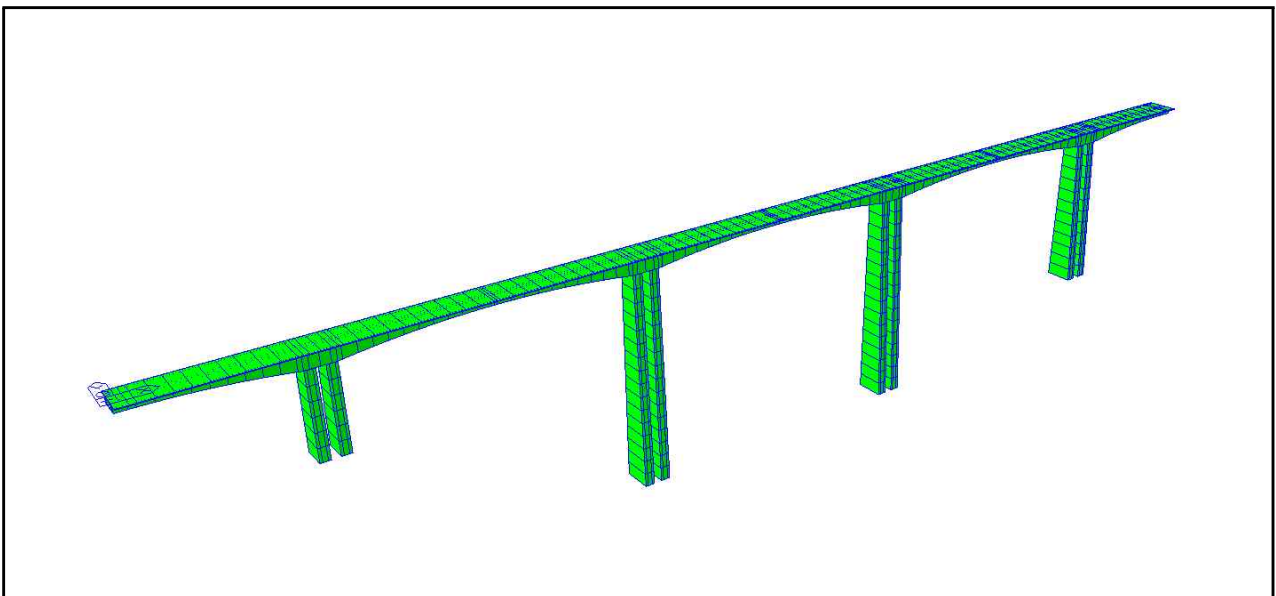
【표 5-5】 단양대교(춘천) 횡방향 안전성평가 결과

| 구분    | 소요강도( $M_u$ , kN·m) | 설계강도( $\phi M_n$ , kN·m) | 안전율  | 비 고 |
|-------|---------------------|--------------------------|------|-----|
| 캔틸레버  | 485.7               | 548.22                   | 1.13 | O.K |
| 중앙슬래브 | 128.6               | 132.3                    | 1.03 | O.K |

위와 같이 PSC BOX의 횡방향 해석결과 안전성은 확보하고 있는 것으로 조사되었으나 슬래브 중앙부의 안전율이 1.0에 근사한 값(SF=1.4로 설계)설계당시 으로 검토되었다. 점검 당시 슬래브의  $c/w=0.3\text{mm}$ 미만의 균열이 국부적으로 발생한 상태였으며(현재는 보수완료 됨) 향후 유지관리시 균열보수부의 재균열 발생 여부를 확인해야 할 것이다. 또한 현장점검 결과 균열의 진전 및 확대등은 없을 것으로 판단되나, 향후 균열의 확대 및 구조적 손상이 조사될 경우 본 내용을 참고하여 보강계획을 수립해야 할 것으로 판단된다.

## 다. 거더검토

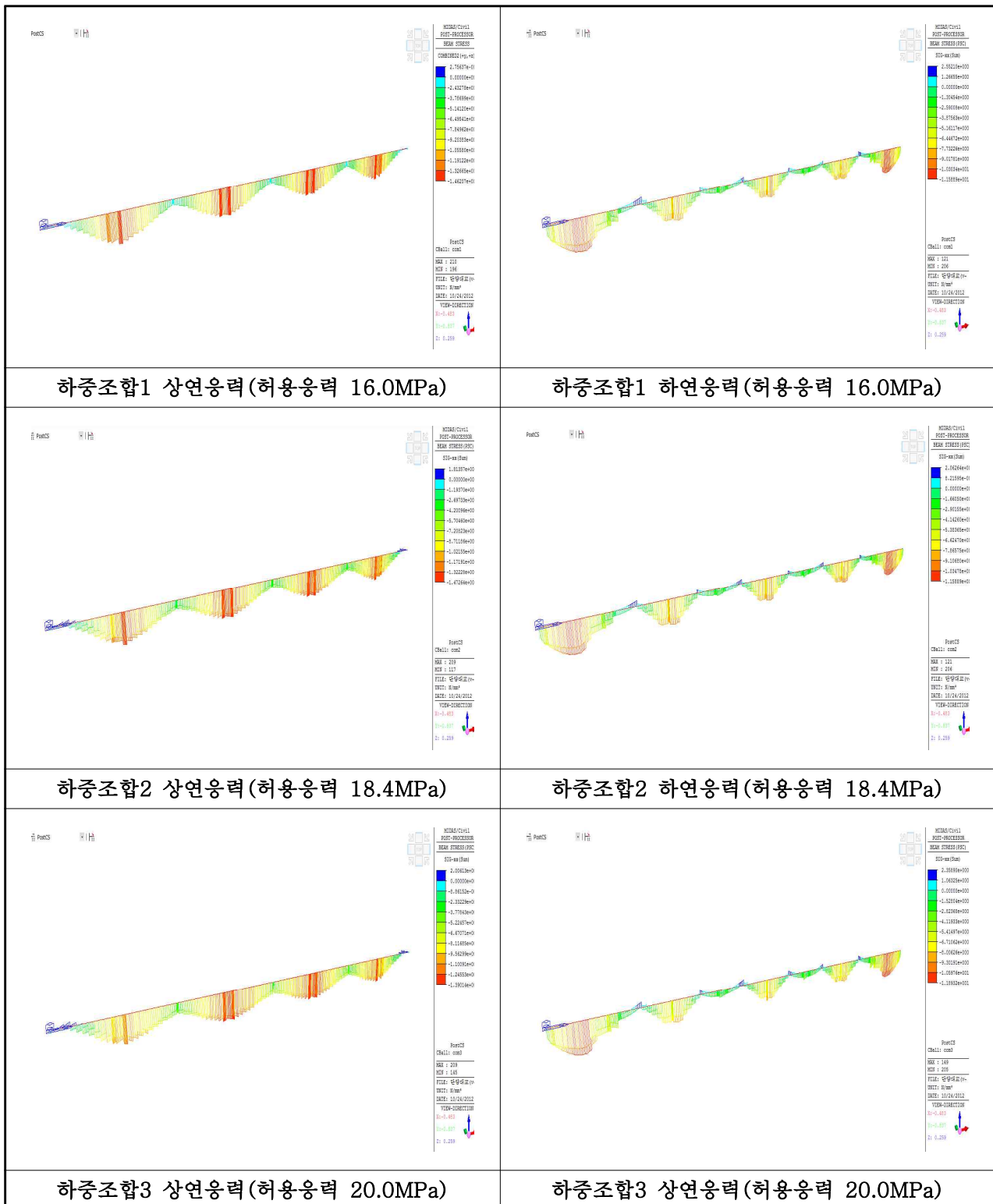
### 1) 해석모델



【그림 5-8】 단양대교(춘천) 해석모델링

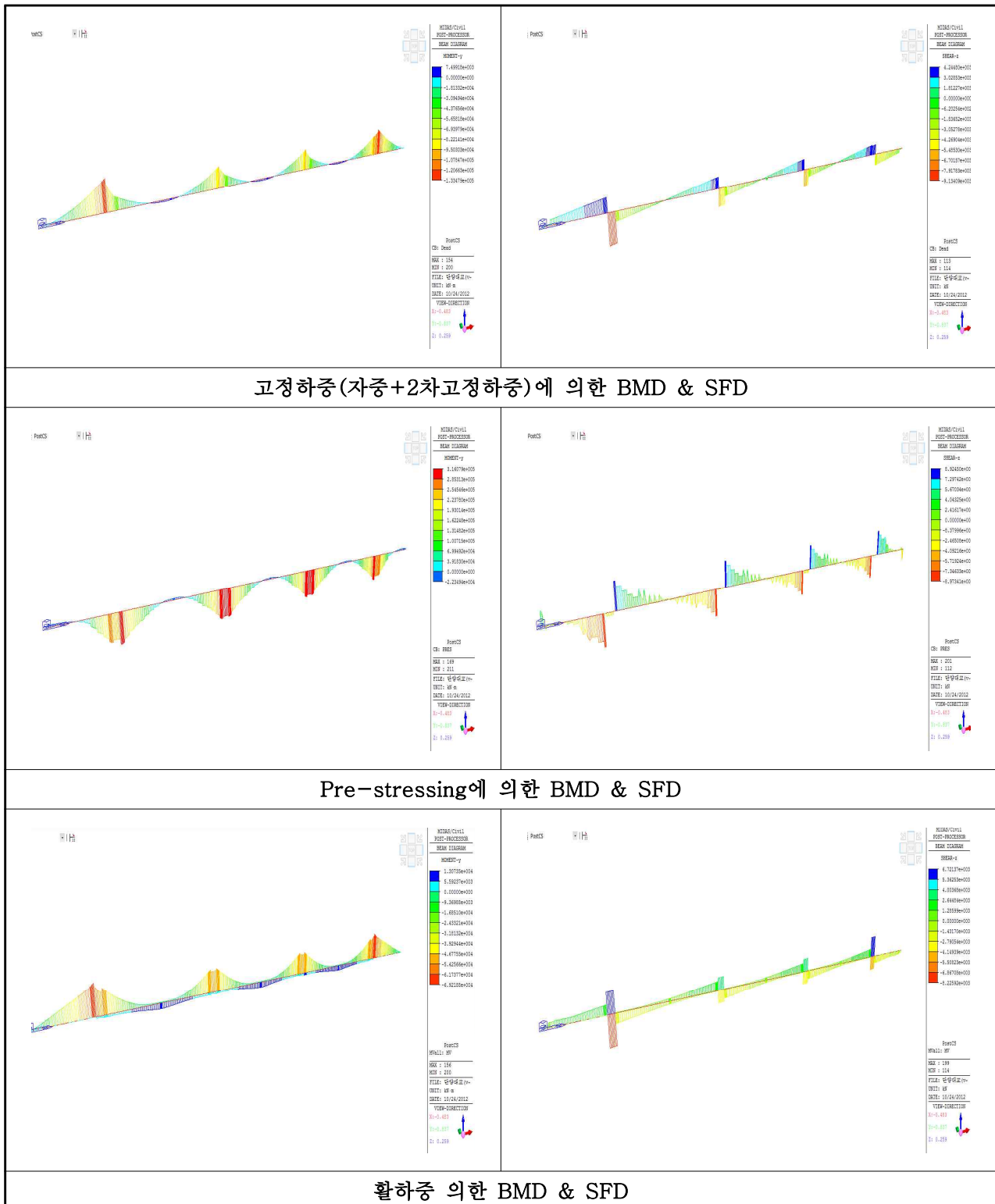
## 2) 구조해설 결과

## ① 사용하중 상태의 응력

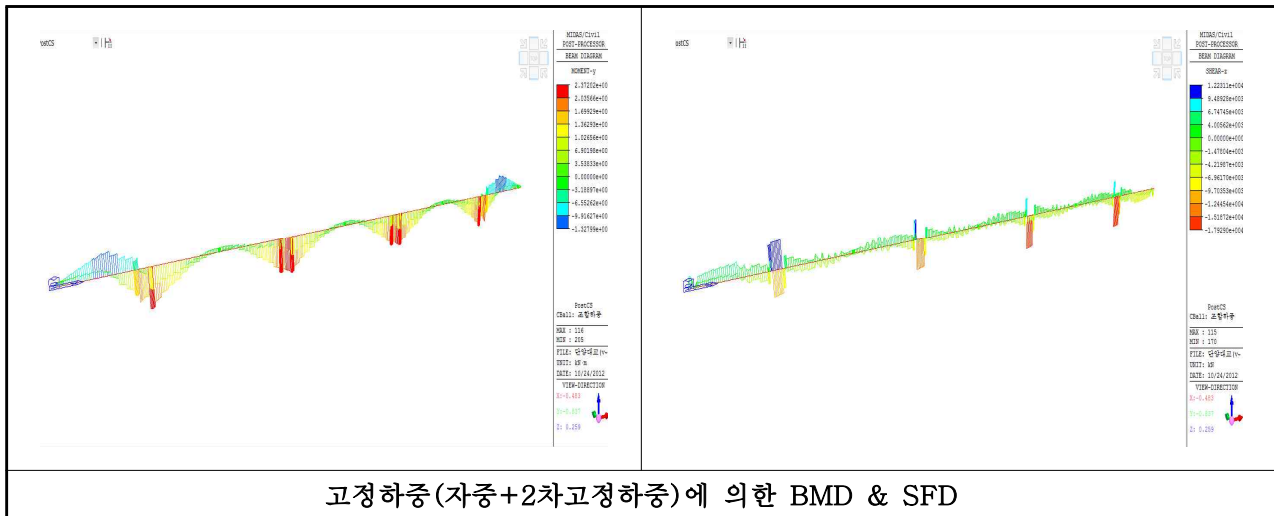


【그림 5-9】 단양대교(춘천) 상태의 단면 상·하면 응력

② 작용하중별 단면력 결과



【그림 5-10】 단양대교(춘천) 사용하중하에서의 모멘트 및 전단력도



【그림 5-10】 단양대교(춘천) 사용하중하에서의 모멘트 및 전단력도(계속)

## 3) 응력검토결과

【표 5-6】 단양대교(부산) 사용하중에 의한 단면력 및 휨응력

| 구 분         |          | 휨응력 (MPa) |         |
|-------------|----------|-----------|---------|
|             |          | 상연        | 하연      |
| S1<br>경간중양부 | 고정하중     | 4.16      | -5.52   |
|             | PS하중     | -10.1     | -2.78   |
|             | 크리프+건조수축 | -         | -       |
|             | 활하중      | 2.5       | -3.50   |
|             | 온도하중     | -         | -       |
|             | 풍하중      | 0.821     | 0.473   |
|             | 소계       | -2.619    | -11.327 |
| S2<br>경간중양부 | 고정하중     | -0.80     | 1.40    |
|             | PS하중     | -3.40     | -8.90   |
|             | 크리프+건조수축 | 1.98      | -1.50   |
|             | 활하중      | -1.43     | -0.507  |
|             | 온도하중     | -0.0942   | -0.853  |
|             | 풍하중      | -0.682    | -0.379  |
|             | 소계       | -4.43     | -10.73  |
| P1<br>지점부   | 고정하중     | 4.60      | -5.0    |
|             | PS하중     | -16.4     | 3.31    |
|             | 크리프+건조수축 | -1.1      | 1.7     |
|             | 활하중      | 2.3       | -2.60   |
|             | 온도하중     | 0.7       | -1.1    |
|             | 풍하중      | 1.9       | 1.1     |
|             | 소계       | -8.0      | -2.59   |
| P2<br>지점부   | 고정하중     | 2.53      | -2.70   |
|             | PS하중     | -17.0     | 4.48    |
|             | 크리프+건조수축 | 1.34      | -0.681  |
|             | 활하중      | -0.0135   | -1.89   |
|             | 온도하중     | -0.476    | -0.0901 |
|             | 풍하중      | 0.34      | 0.189   |
|             | 소계       | -13.3     | -0.507  |

【표 5-7】 단양대교(춘천) 구조안전성 평가 결과

| 구 분       |       | 휨응력(MPa) |       | 허용응력(MPa) |       | 안전율(SF) |      | 검토<br>결과 |
|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|---------|------|----------|
|           |       | 상연       | 하연    | 상연        | 하연    | 상연      | 하연   |          |
| S1<br>경간  | Case1 | -5.9     | -14.0 | -16.0     | -16.0 | 2.71    | 1.14 | O.K      |
|           | Case2 | -5.9     | -14.0 | -18.4     | -18.4 | 3.11    | 1.31 | O.K      |
|           | Case3 | -5.2     | -13.8 | -20.0     | -20.0 | 3.84    | 1.44 | O.K      |
|           | Case4 | 3.0      | -18.9 | 4.05      | -21.6 | 1.35    | 1.14 | O.K      |
| S2<br>경간  | Case1 | -3.6     | -10.9 | -16.0     | -16.0 | 4.44    | 1.46 | O.K      |
|           | Case2 | -3.7     | -11.6 | -18.4     | -18.4 | 4.97    | 1.58 | O.K      |
|           | Case3 | -4.3     | -11.4 | -20.0     | -20.0 | 4.65    | 1.75 | O.K      |
|           | Case4 | -5.5     | -11.0 | -21.6     | -21.6 | 3.92    | 1.96 | O.K      |
| P1<br>지점부 | Case1 | -13.0    | -3.2  | -16.0     | -16.0 | 1.23    | 5.00 | O.K      |
|           | Case2 | -12.5    | -3.3  | -18.4     | -18.4 | 1.47    | 5.57 | O.K      |
|           | Case3 | -11.1    | -2.1  | -20.0     | -20.0 | 1.80    | 9.52 | O.K      |
|           | Case4 | -7.5     | -5.4  | -21.6     | -21.6 | 2.88    | 4.00 | O.K      |
| P2<br>지점부 | Case1 | -13.6    | 2.0   | -16.0     | 3.0   | 1.17    | 1.50 | O.K      |
|           | Case2 | -14.0    | 2.0   | -18.4     | 3.45  | 1.31    | 1.50 | O.K      |
|           | Case3 | -13.3    | 2.2   | -20.0     | 3.75  | 1.50    | 1.36 | O.K      |
|           | Case4 | -11.8    | -4.6  | -21.6     | -21.6 | 1.83    | 4.69 | O.K      |

위와 같이 사용하중하에서 허용응력검토 결과 대부분 주요 구간에서 인장은 발생하지 않았으며, 검토부재 전체가 허용압축응력  $f_{ca}=16.0\text{MPa}$ 이하로 검토되었다. 이에 따른 안전율은 상연에서 최소 SF=1.17, 하연에서 최소 1.14의 안전율을 확보하고 있는 것으로 검토되었다.

## 5.3 내하력평가 검토

본 교량은 과업수행범위에 따라 재하시험을 실시하지 않고 구조해석을 통한 기본 내하력을 구하였으며, 설계하중에 의한 경간중앙부 및 지점부의 응력 및 극한강도는 다음과 같다.

### 5.3.1 부산방향

#### 가. 설계응력 및 극한강도 산출결과

【표 5-8】 단양대교(부산) 설계하중 응력 (단위 : MPa)

| 구 분         |          | 휨응력(MPa) |         |
|-------------|----------|----------|---------|
|             |          | 상연       | 하연      |
| S1<br>경간중앙부 | 고정하중     | 4.16     | -5.52   |
|             | PS하중     | -10.1    | -2.78   |
|             | 크리프+건조수축 | -        | -       |
|             | 활하중      | 2.5      | -3.50   |
|             | 온도하중     | -        | -       |
|             | 풍하중      | 0.821    | 0.473   |
|             | 소계       | -2.619   | -11.327 |
| S2<br>경간중앙부 | 고정하중     | -0.80    | 1.40    |
|             | PS하중     | -3.40    | -8.90   |
|             | 크리프+건조수축 | 1.98     | -1.50   |
|             | 활하중      | -1.43    | 2.90    |
|             | 온도하중     | -0.0942  | -0.853  |
|             | 풍하중      | -0.682   | -0.379  |
|             | 소계       | -4.43    | -10.73  |
| P1<br>지점부   | 고정하중     | 4.60     | -5.0    |
|             | PS하중     | -16.4    | 3.31    |
|             | 크리프+건조수축 | -1.1     | 1.7     |
|             | 활하중      | 2.3      | -2.60   |
|             | 온도하중     | 0.7      | -1.1    |
|             | 풍하중      | 1.9      | 1.1     |
|             | 소계       | -8.0     | -2.59   |
| P2<br>지점부   | 고정하중     | 2.53     | -2.70   |
|             | PS하중     | -17.0    | 4.48    |
|             | 크리프+건조수축 | 1.34     | -0.681  |
|             | 활하중      | 1.60     | -2.10   |
|             | 온도하중     | -0.476   | -0.0901 |
|             | 풍하중      | 0.34     | 0.189   |
|             | 소계       | -13.3    | -0.507  |

【표 5-9】 단양대교(부산) 강도설계법에 의한 극한강도 (단위 : kN·m)

| 구 분 |             | 계수하중모멘트 (Mu), (kN·m) |          |           |            | 극한<br>저항모멘트<br>( $\phi M_n$ ) |
|-----|-------------|----------------------|----------|-----------|------------|-------------------------------|
|     |             | 고정하중                 | PS하중     | 활하중       | $M_u$      |                               |
| 종방향 | S2경간<br>중앙부 | 6,775.2              | 51,738.4 | 12,515.6  | 87,454.7   | 169,095.0                     |
|     | P2<br>지점부   | -133,478.8           | 15,167.8 | -69,218.8 | -337,510.6 | -1,126,854                    |

| 구 분 |       | 극한하중모멘트 (Mu) |        | 극한<br>저항모멘트<br>( $\phi M_n$ ) | 비 고                                                    |
|-----|-------|--------------|--------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|
|     |       | 고정하중         | 활하중    |                               |                                                        |
| 횡방향 | 캔틸레버  | 58.05        | 249.70 | 681.06                        | $\gamma_d = 1.3$<br>$\gamma_l = 2.15$<br>$\phi = 0.85$ |
|     | 중앙슬래브 | 7.84         | 92.86  | 233.52                        |                                                        |

## 나. 내하율

【표 5-10】 단양대교(부산) 허용응력법에 의한 내하율

| 부 재   |        | 내하율 계산                                                           | 내하율(RF) | 비 고 |
|-------|--------|------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| S1경간  | 하 연    | $\frac{16 - 5.52 - 2.78}{3.50}$                                  | 2.20    |     |
| S2경간  | 하 연    | $\frac{-1.4 + 8.9 + 1.54}{2.90}$                                 | 3.11    |     |
| P1지점부 | 상 연    | $\frac{-4.6 + 16.4 + 1.1}{2.3}$                                  | 5.60    |     |
| P2지점부 | 상 연    | $\frac{-2.53 + 17.0 - 1.34}{1.60}$                               | 8.20    |     |
| 종방향   | 경간 중앙부 | $\frac{169,095.8 - 1.3 \times 6,775.2}{2.15 \times 12,515.6}$    | 5.95    |     |
|       | 지점부    | $\frac{1,126,854 - 1.3 \times 133,478.8}{2.15 \times 69,218.8}$  | 6.40    |     |
| 횡방향   | 중앙부    | $\frac{132.3 - 1.3 \times (-1.84)}{2.15 \times 46.5 \times 1.3}$ | 1.03    |     |
|       | 캔틸레버부  | $\frac{548.2 - 1.3 \times 71.8}{2.15 \times 149.8 \times 1.3}$   | 1.08    |     |

## 다. 내하율 산정

단양대교(부산) PSC BOX GIRDER 대한 내하력평가결과 1등급 수준의 DB-24이상의 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-11】 단양대교(부산) 내하력평가 결과

| 부 재 |       | 허용응력설계법 |         | 강도설계법 |         | 비 고 |
|-----|-------|---------|---------|-------|---------|-----|
|     |       | 내하율     | 기본내하력   | 내하율   | 기본내하력   |     |
| 종방향 | 경간중앙부 | 2.20    | DB-24이상 | 5.95  | DB-24이상 |     |
|     | 지점부   | 5.60    | DB-24이상 | 6.40  | DB-24이상 |     |
| 횡방향 | 중앙부   | -       | -       | 1.03  | DB-24.7 |     |
|     | 캔틸레버부 | -       | -       | 1.08  | DB-25.9 |     |

단양대교(부산)에 대한 종방향 해석결과 및 내하력 평가 결과 설계하중 DB-24이상을 확보하는 것으로 검토되었다. 하지만 횡방향 해석결과 PSC BOX 상부슬래브의 중앙부 및 캔틸레버부의 안전율이 1.0에 근사한 값을 보이고 있으며 내하력도 DB-24인 것으로 평가되었다. 따라서 본 교량의 PSC BOX 상부슬래브는 향후 유지관리시 중점유지관리 사항으로 점검되어야 할 것이며, 현재 보수가 완료된 균열부에 대해 재균열 발생여부등을 주기적으로 확인해야 할 것으로 판단된다.

또한 향후 상부슬래브의 재균열 및 구조적 증후가 조사될 경우 위 검토를 참고하여 보강계획을 수립해야 할것으로 판단된다. 다만 보수 이전의 발생한 균열은 공용중 구조적 균열로 판단하기는 어려우며 현재 시점에서 시급한 보강은 필요없을 것으로 판단된다.

### 5.3.2 춘천방향

#### 가. 설계응력 및 극한강도 산출결과

【표 5-12】 단양대교(춘천) 설계하중 응력 (단위 : MPa)

| 구 분         |          | 휨응력(MPa) |         |
|-------------|----------|----------|---------|
|             |          | 상연       | 하연      |
| S1<br>경간중양부 | 고정하중     | 4.16     | -5.52   |
|             | PS하중     | -10.1    | -2.78   |
|             | 크리프+건조수축 | -        | -       |
|             | 활하중      | 2.5      | -3.50   |
|             | 온도하중     | -        | -       |
|             | 풍하중      | 0.821    | 0.473   |
|             | 소계       | -2.619   | -11.327 |
| S2<br>경간중양부 | 고정하중     | -0.80    | 1.40    |
|             | PS하중     | -3.40    | -8.90   |
|             | 크리프+건조수축 | 1.98     | -1.50   |
|             | 활하중      | -1.43    | 2.90    |
|             | 온도하중     | -0.0942  | -0.853  |
|             | 풍하중      | -0.682   | -0.379  |
|             | 소계       | -4.43    | -10.73  |
| P1<br>지점부   | 고정하중     | 4.60     | -5.0    |
|             | PS하중     | -16.4    | 3.31    |
|             | 크리프+건조수축 | -1.1     | 1.7     |
|             | 활하중      | 2.3      | -2.60   |
|             | 온도하중     | 0.7      | -1.1    |
|             | 풍하중      | 1.9      | 1.1     |
|             | 소계       | -8.0     | -2.59   |
| P2<br>지점부   | 고정하중     | 2.53     | -2.70   |
|             | PS하중     | -17.0    | 4.48    |
|             | 크리프+건조수축 | 1.34     | -0.681  |
|             | 활하중      | 1.60     | -2.10   |
|             | 온도하중     | -0.476   | -0.0901 |
|             | 풍하중      | 0.34     | 0.189   |
|             | 소계       | -13.3    | -0.507  |

【표 5-13】 단양대교(춘천) 강도설계법에 의한 극한강도 (단위 : kN·m)

| 구 분 |             | 계수하중모멘트 (Mu), (kN·m) |          |           |            | 극한<br>저항모멘트<br>( $\phi M_n$ ) |
|-----|-------------|----------------------|----------|-----------|------------|-------------------------------|
|     |             | 고정하중                 | PS하중     | 활하중       | $M_u$      |                               |
| 종방향 | S2경간<br>중앙부 | 6,775.2              | 51,738.4 | 12,515.6  | 87,454.7   | 169,095.0                     |
|     | P2<br>지점부   | -133,478.8           | 15,167.8 | -69,218.8 | -337,510.6 | -1,126,854                    |

| 구 분 |       | 극한하중모멘트 (Mu) |        | 극한<br>저항모멘트<br>( $\phi M_n$ ) | 비 고                                                    |
|-----|-------|--------------|--------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|
|     |       | 고정하중         | 활하중    |                               |                                                        |
| 횡방향 | 캔틸레버  | 58.05        | 249.70 | 681.06                        | $\gamma_d = 1.3$<br>$\gamma_l = 2.15$<br>$\phi = 0.85$ |
|     | 중앙슬래브 | 7.84         | 92.86  | 233.52                        |                                                        |

## 나. 내하율

【표 5-14】 단양대교(춘천) 허용응력법에 의한 내하율

| 부 재   |        | 내하율 계산                                                           | 내하율(RF) | 비 고 |
|-------|--------|------------------------------------------------------------------|---------|-----|
| S1경간  | 하 연    | $\frac{16 - 5.52 - 2.78}{3.50}$                                  | 2.20    |     |
| S2경간  | 하 연    | $\frac{-1.4 + 8.9 + 1.54}{2.90}$                                 | 3.11    |     |
| P1지점부 | 상 연    | $\frac{-4.6 + 16.4 + 1.1}{2.3}$                                  | 5.60    |     |
| P2지점부 | 상 연    | $\frac{-2.53 + 17.0 - 1.34}{1.60}$                               | 8.20    |     |
| 종방향   | 경간 중앙부 | $\frac{169,095.8 - 1.3 \times 6,775.2}{2.15 \times 12,515.6}$    | 5.95    |     |
|       | 지점부    | $\frac{1,126,854 - 1.3 \times 133,478.8}{2.15 \times 69,218.8}$  | 6.40    |     |
| 횡방향   | 중앙부    | $\frac{132.3 - 1.3 \times (-1.84)}{2.15 \times 46.5 \times 1.3}$ | 1.03    |     |
|       | 캔틸레버부  | $\frac{548.2 - 1.3 \times 71.8}{2.15 \times 149.8 \times 1.3}$   | 1.08    |     |

## 다. 내하율 산정

단양대교(춘천) PSC BOX GIRDER 대한 내하력평가결과 1등급 수준의 DB-24이상의 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

【표 5-15】 단양대교(춘천) 내하력평가 결과

| 부 재 |       | 허용응력설계법 |         | 강도설계법 |         | 비 고 |
|-----|-------|---------|---------|-------|---------|-----|
|     |       | 내하율     | 기본내하력   | 내하율   | 기본내하력   |     |
| 종방향 | 경간중앙부 | 2.20    | DB-24이상 | 5.95  | DB-24이상 |     |
|     | 지점부   | 5.60    | DB-24이상 | 6.40  | DB-24이상 |     |
| 횡방향 | 중앙부   | -       | -       | 1.03  | DB-24.7 |     |
|     | 캔틸레버부 | -       | -       | 1.08  | DB-25.9 |     |

단양대교(부산)에 대한 종방향 해석결과 및 내하력 평가 결과 설계하중 DB-24이상을 확보하는 것으로 검토되었다. 하지만 횡방향 해석결과 PSC BOX 상부슬래브의 중앙부 및 캔틸레버부의 안전율이 1.0에 근사한 값을 보이고 있으며 내하력도 DB-24인 것으로 평가되었다. 따라서 본 교량의 PSC BOX 상부슬래브는 향후 유지관리시 중점유지관리 사항으로 점검되어야 할 것이며, 현재 보수가 완료된 균열부에 대해 재균열 발생여부등을 주기적으로 확인해야 할 것으로 판단된다.

또한 향후 상부슬래브의 재균열 및 구조적 증후가 조사될 경우 위 검토를 참고하여 보강계획을 수립해야 할것으로 판단된다. 다만 보수 이전의 발생한 균열은 공용중 구조적 균열로 판단하기는 어려우며 현재 시점에서 시급한 보강은 필요없을 것으로 판단된다.

## 5.4 안전성평가 결과요약

### 5.4.1 부산방향

단양대교(부산)의 구조해석에 의한 안전성 평가결과는 구조물의 안전율 평가 결과 1.0 이상으로 평가되었기 때문에 단양대교(부산)의 안전성 평가 등급은 "a" 등급으로 평가되었다.

【표 5-16】 단양대교(부산) 안전성평가 결과

| 부 재                   |     |       | SF(안전율) |      | 등 급 |
|-----------------------|-----|-------|---------|------|-----|
|                       |     |       | 허용응력    | 강도설계 |     |
| PSC<br>BOX<br>GIERDER | 종방향 | 경간중양부 | 1.14    | 1.93 | a   |
|                       |     | 지점부   | 1.50    | 3.34 | a   |
| 횡방향                   | 횡방향 | 중양부   | —       | 1.13 | a   |
|                       |     | 캔틸레버부 | —       | 1.03 | a   |

### 5.4.2 춘천방향

단양대교(춘천)의 구조해석에 의한 안전성 평가결과는 구조물의 안전율 평가 결과 1.0 이상으로 평가되었기 때문에 단양대교(춘천)의 안전성 평가 등급은 "a" 등급으로 평가되었다.

【표 5-17】 단양대교(춘천) 안전성평가 결과

| 부 재                   |     |       | SF(안전율) |      | 등 급 |
|-----------------------|-----|-------|---------|------|-----|
|                       |     |       | 허용응력    | 강도설계 |     |
| PSC<br>BOX<br>GIERDER | 종방향 | 경간중양부 | 1.14    | 1.93 | a   |
|                       |     | 지점부   | 1.50    | 3.34 | a   |
| 횡방향                   | 횡방향 | 중양부   | —       | 1.13 | a   |
|                       |     | 캔틸레버부 | —       | 1.03 | a   |