

제6장 시설물의 안전성평가

6.1 개 요

6.2 상부구조 안전성평가

6.3 내하력평가

6.4 안전성 및 내하력평가 결과 요약

제6장 시설물의 안전성평가

6.1 개 요

본 연인교에 대한 구조검토는 RCB(RC-Box교)와 SPG(Steel Plate Girder교)의 설계 과정이나 시공과정, 구조물의 구조특성 등을 고려하였고, 구조해석 단면결정은 현장조사결과 및 전차보고서를 근거로 수행하였다. 해석결과에 따라 안전성 및 기본 내하력의 적정성 여부를 평가하여 향후 점검이나 정밀안전진단 수행 시 시설물의 기본자료로 활용하기 위해 실시하였고, 본 해석에 사용한 프로그램은 범용구조해석 프로그램인 MIDAS/Civil을 사용하였으며 「도로교설계기준」을 적용하여 구조안전성 검토 및 내하력을 평가하였다.

6.1.1 구조해석 조건

가. 시설물 현황

- 1) 교량형식 : RCB(R.C Box교), SPG(S.T Plate Girder교)
- 2) 등 급 : 2등교 (DB-18, DL-18), 보도교
- 3) 연 장 : 20.0m(R.C Box교), 2@40.0m (S.T. Plate Girder교)
- 4) 사 각 : 0.0°
- 5) 사용강재 : SWS50 (추정)

나. 사용재료의 역학적 특성

- 1) 강 재
 - 허용응력 : $f_a = 190 \text{ MPa}$
 - 탄성계수 : $E_s = 2.05 \times 10^5 \text{ MPa}$
 - 단위질량 : $W_s = 7850 \text{ kg/m}^3$
- 2) 콘크리트
 - RCB(R.C Box교)
 - 압축강도 : $f_{ck} = 23.0 \text{ MPa}$ (코어시료 압축강도시험값)

- 탄성계수 : $E_c = 8500 \sqrt[3]{f_{cu}} = 25,500 \text{ MPa}$
- SPG 슬래브 (S.T Plate Girder교)
 - 압축강도 : $f_{ck} = 23.4 \text{ MPa}$ (코어시료 압축강도시험값)
 - 탄성계수 : $E_c = 8500 \sqrt[3]{f_{cu}} = 25,625 \text{ MPa}$
- 3) 철 근
 - 항복강도 : $f_y = 300 \text{ MPa}$

다. 검토방법

- 1) 강재(SPG)
 - 허용응력 설계법
- 2) 철근콘크리트 (RCB)
 - 강도 설계법
 - 하중계수 [도로교 설계기준 2.2.3.2]

고정하중 : 1.3,	활 하 중 : 2.15,	풍 하 중 : 1.3
-------------	---------------	-------------
 - 강도감소계수 [도로교 설계기준 2.2.3.3]

휨 응 력 : 0.85,	전단응력 : 0.80,	압축응력 : 0.70
---------------	--------------	-------------

라. 참고문헌

- 1) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침해설서(교량), 국토해양부(2012년)
- 2) 도로교설계기준, 국토해양부(2010년)
- 3) 콘크리트구조기준, 국토해양부(2012년)
- 4) 도로설계요령 제3권 교량편, 한국도로공사(2009년)

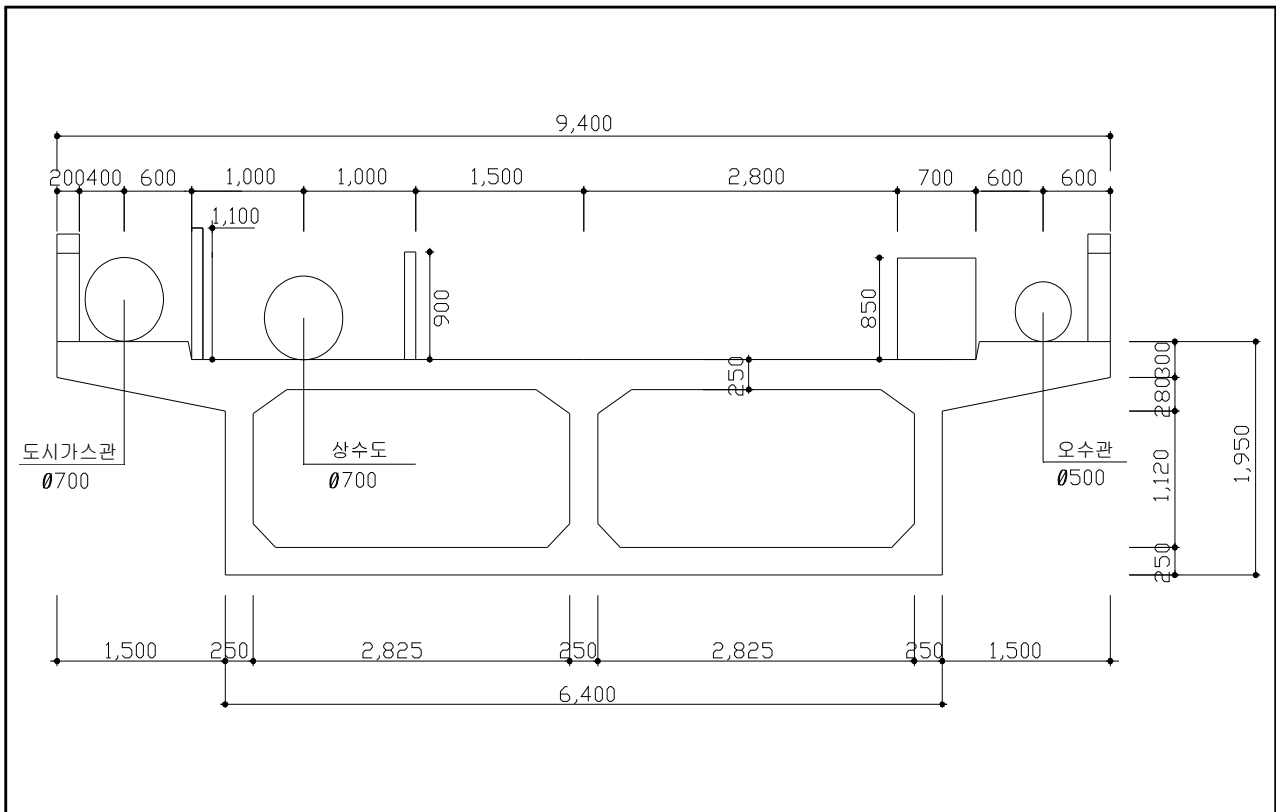
6.2 상부구조 안전성평가

6.2.1 RCB 구간(S1, S8~S19)

6.2.1.1 RCB(R.C Box교) 구조해석

① 해석조건

가. 검토단면



【그림 6.1】 RC BOX Girder 검토단면도

나. 구조해석 조건

1) 구조형식 및 제원

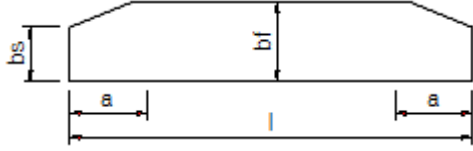
- 구조형식 : R.C Box교
- 연 장 : 20.0 m
- 교량폭원 : 9.400m
- 사 각 : 0.0°
- 설계하중 : DB-18, 보도하중

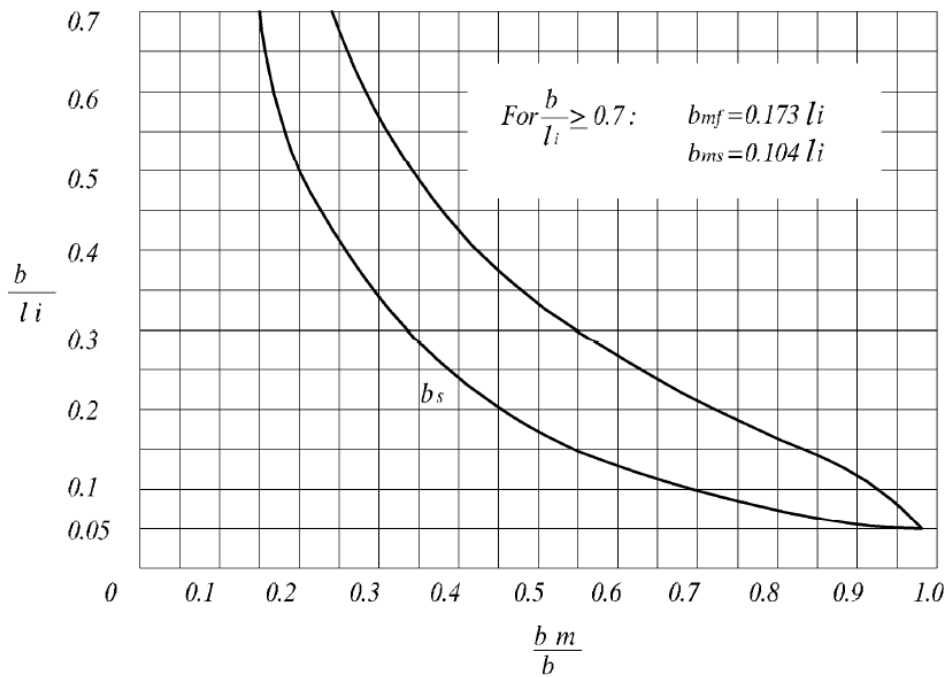
1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

② 주거터 해석

가. 유효폭 계산

1) 플랜지 유효폭 [도로교 설계기준 4.15.6.2]

단경간교		$L_i = L$
------	--	-----------



【그림 6.2】 유효플랜지 폭 계수

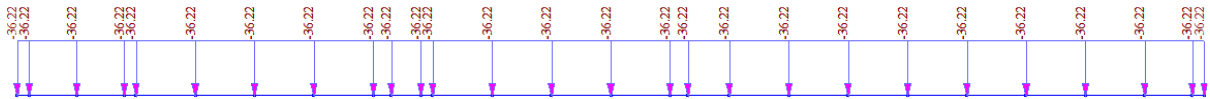
구 분	b	b/L _i	b _m /b	b _m
상부플랜지 캔틸레버부	1.500	0.0750	0.959	1.439
상부플랜지 내측부	1.413	0.0707	0.963	1.361
하부 플랜지	1.413	0.0707	0.963	1.361

$L_i = L = 20.0\text{m}$

나. 하중산정

1) 고정하중

- 콘크리트 자중 : 프로그램 상에서 자동으로 고려. (할중 10%)
- 포 장 : $0.08 \times 23.5 \times 7.0 = 13.16 \text{ kN/m}$
- 콘크리트 난간 : 2.00 kN/m
- 강재난간 : 1.00 kN/m
- 오수관, 상수도관 : 2.25 kN/m
- 가스관 : 1.37 kN/m
- 한전선로 : 11.19 kN/m
- 고정하중 합계 : 36.22 kN/m



2) 활하중 [도로교 설계기준 2.1.3]

- 설계차로 산정

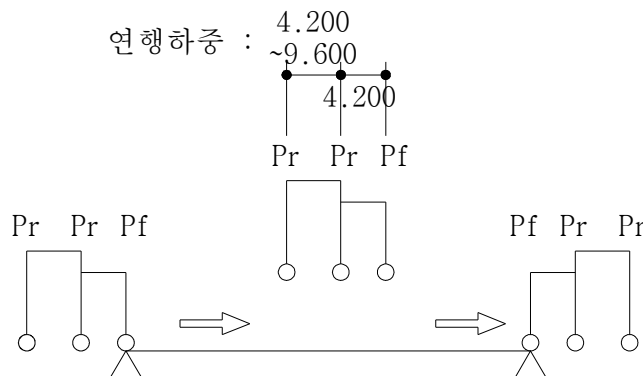
$$W_c = 4.3 \text{ m}$$

설계차로수 : 1차로

전륜 하중 $P_f = 18 \text{ kN}$, 후륜 하중 $P_r = 72 \text{ kN}$

- 종방향 최대 모멘트 재하

- DB-24 하중

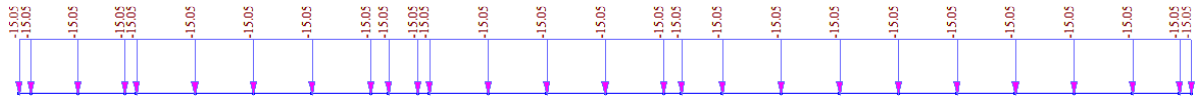


－ 충격계수

$$I = 15 / (40 + L) = 0.25 \leq 0.3$$

$$\therefore I = 0.25$$

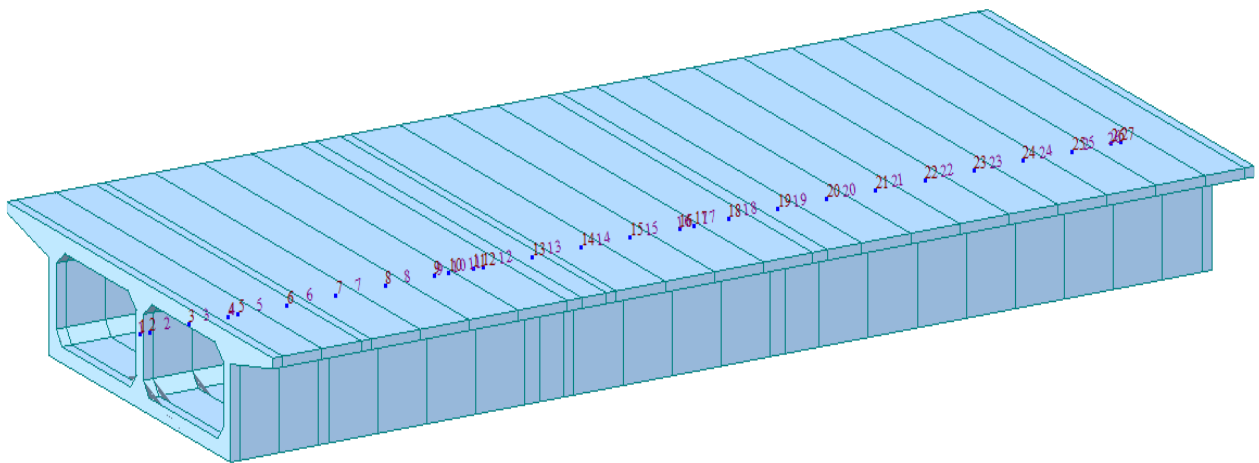
○ 보도하중 : $3.5 \times 4.3 = 15.05\text{kN/m}$



다. 구조검토

1) 해석모델링

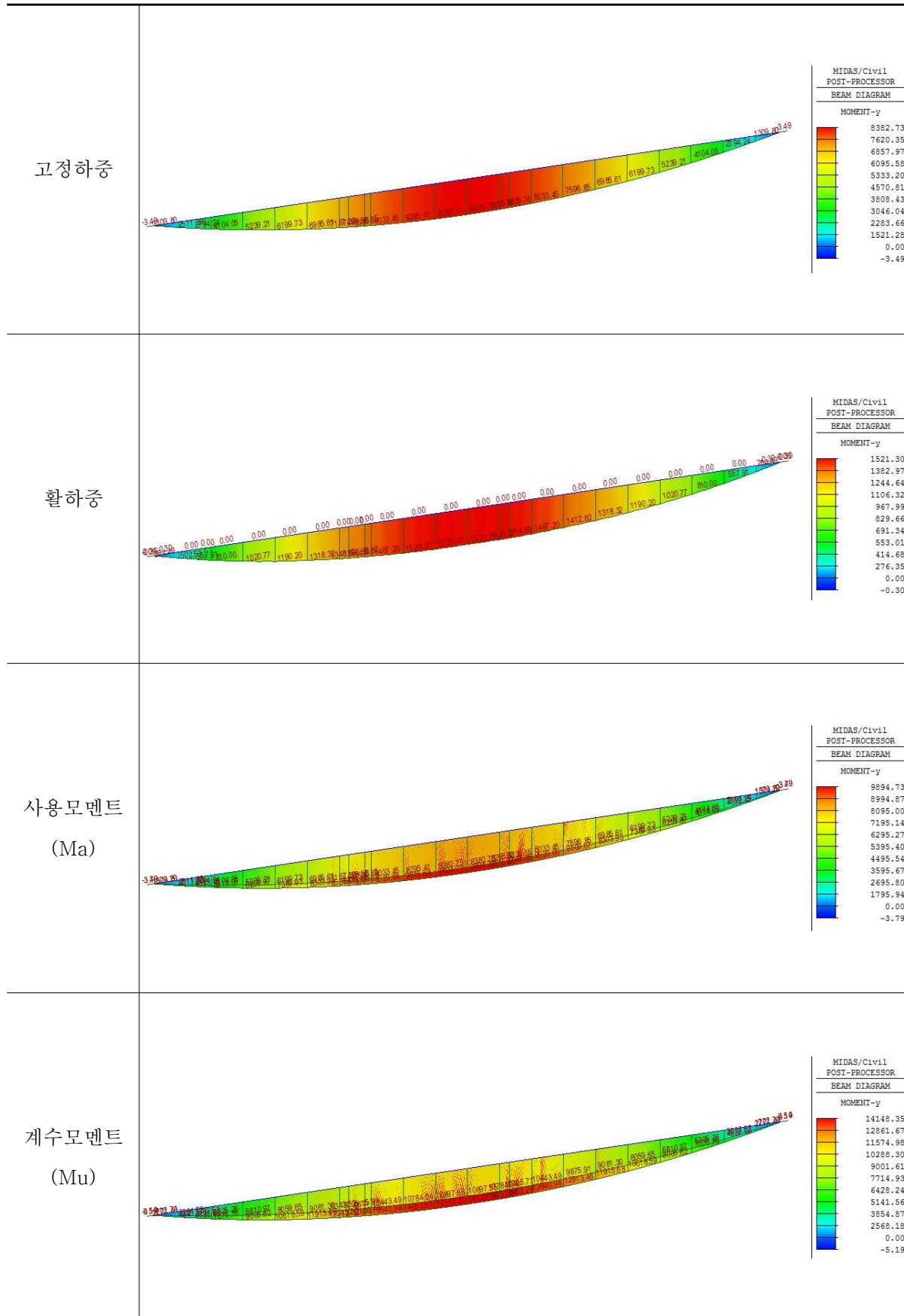
대상교량은 단경간 R.C Box교로 frame요소를 이용하여 모델링하였으며, 해석프로그램은 범용구조해석 프로그램인 Midas Civil을 사용하였다.



【그림 6.3】 RC BOX Girder 모델링도

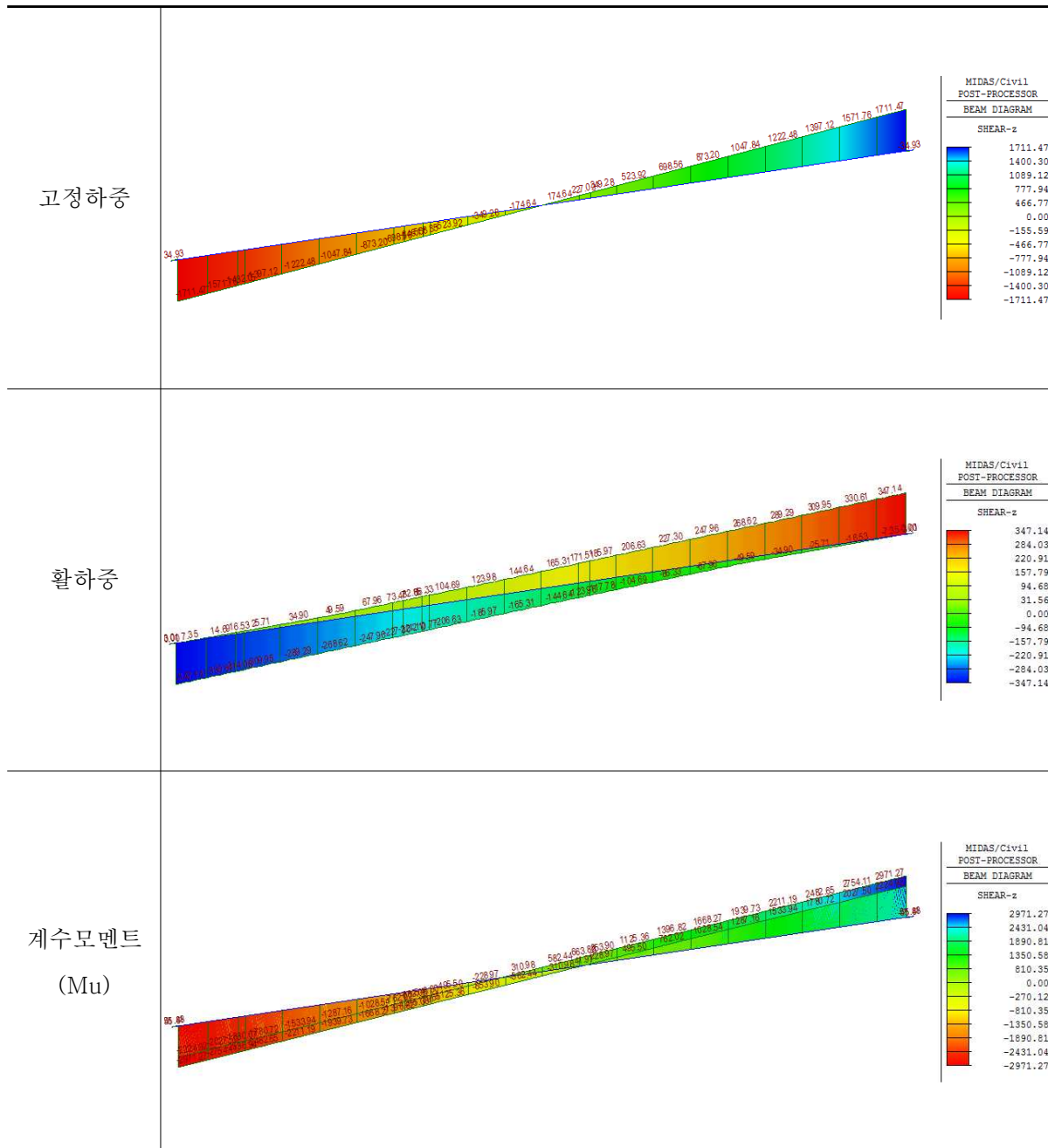
2) 단면력도

가) 모멘트도(kN.m)



1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

나) 전단력도(kN)



다) 발생단면력(kN.m, kN)

구 분	Mu (계수모멘트)	Ma (사용모멘트)	Vu (계수전단력)
RCB	14148.35	9894.73	2536.94

3) 안전성검토

(1) 중앙부

① 설계단면

- 사용철근량 $A_s = D25 \times 51EA$ ($D_c = 50mm$)
 $D25 \times 26EA$ ($D_c = 210mm$)
 $= 39016.67mm^2$
- 두께 $H = 1800 \text{ mm}$, - 폭 $b = 9072 \text{ mm}$
- 유효두께 $d = 1696 \text{ mm}$, - 피복두께 $d' = 104 \text{ mm}$

② 설계모멘트강도 산정

- $a = (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_{ck} \times b)$
 $= 39016.67 \times 300 / (0.85 \times 23 \times 9072)$
 $= 66 \text{ mm}$
- $\phi M_n = 0.85 \times A_s \times f_y \times (d - a/2)$
 $= 0.85 \times 39016.67 \times 300 \times (1696 - 66/2) / 100000$
 $= 16545.6 \text{ kN.m} > M_u \quad \therefore O.K$

③ 사용성검토

- $M_o = 9894.73 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (사용하중 모멘트)
- $n = E_s/E_c = 200000 / (8500 \times (f_{ck}+8)^{1/3}) = 7$
- $p = A_s/(B \times D) = 0.00254$
- $k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.172 \quad \cdot \quad j = 0.943$
- $x = k \times d = 291.7 \text{ mm}$
- $f_c = 2 \times M_o / (B \times x \times (D - x/3)) = 4.68 \text{ MPa}$
- $f_s = M_o / (A_s \times (D - x/3)) = 158.62 \text{ MPa}$
- $f_{st} = f_s \times (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 158.62 \text{ MPa}$

최외단 철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 \times (210/f_{st}) - 2.5 \times C_c, 300 \times (210/f_{st})] = 267.72mm$$

여기서.. $C_c = d_{c_min} - \text{주철근 직경}/2 = 91.5 \text{ mm}$

$\therefore$ 최외단철근 평균배근간격 $= 120.00 \text{ mm} < 267.72 \text{ mm} \dots O.K$

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

(2) 지점부

① 설계전단강도 산정

$$\begin{aligned}
 - \phi V_c &= 0.8 \times 1 / 6 \times \sqrt{f_{ck}} \times b \times d \\
 &= 0.8 \times 1/6 \times \sqrt{23} \times 750 \times 1696 / 1000 = 813.37 \text{ kN} \\
 - A_v &= D16 \times 6ea / m = 1191.3\text{mm}^2 \text{ (s = 200mm)} \\
 - \phi V_s &= 0.8 \times A_v \times f_y \times d / s \\
 &= 0.8 \times 1191.3 \times 300 \times 1696 / 200 / 1000 = 2424.53\text{kN} \\
 \therefore \phi V_n &= \phi V_c + \phi V_s \\
 &= 813.37 + 2424.53 = 3237.9\text{kN} > V_u \quad \therefore O.K
 \end{aligned}$$

라. 종방향 안전성평가 결과

1) 휨모멘트

【표 6.1】 RC BOX Girder의 휨모멘트에 대한 안전성평가 결과

구 분	ϕM_n (모멘트강도)	M_u (계수모멘트)	안전율 (SF)	안전성
중앙부	16545.60	14148.35	1.17	O.K

2) 전단력

【표 6.2】 RC BOX Girder의 전단력에 대한 안전성평가 결과

구 분	ϕV_n (전단강도)	V_u (계수전단력)	안전율 (SF)	안전성
지점부	3237.90	2536.94	1.28	O.K

③ 횡방향 해석

가. 하중조건

1) 고정하중

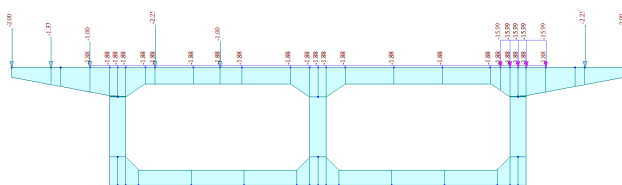
- 콘크리트 자중 : 프로그램 상에서 자동으로 고려.
- 포 장 : $0.08 \times 23.5 = 1.88 \text{ kN/m}$
- 콘크리트 난간 : 2.00 kN/m
- 강재난간 : 1.00 kN/m
- 오수관, 상수도관 : 2.25 kN/m
- 가스관 : 1.37 kN/m
- 환전선로 : 11.19 kN/m

2) 활하중

- 충격계수 : $i = 15 / (40 + 2.83) = 0.35 > 0.3$, $\therefore i = 0.3$
- 활하중에 의한 윤하중 유효 폭
 중앙부 : $2.4 / (L + 0.6) \times L = 2.4 / (2.83 + 0.6) \times 2.83 = 1.98\text{m}$
- 차량활하중(DB18) : $Pr = 72 \times 1.3 / 1.98 = 47.27\text{kN}$
- 설계차로 수 : $W_c = 4.3\text{m}$ ($W_c \leq 6.0$), $\therefore N = 1\text{차로}$
- 보도하중 : 5.00kN/m^2

나. 하중재하

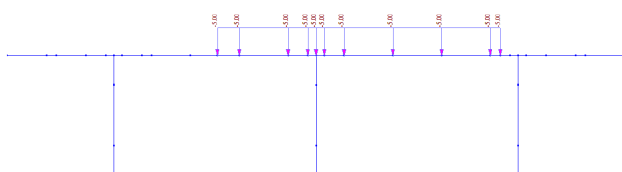
○ 고정하중



- 활하중 (DB-18)

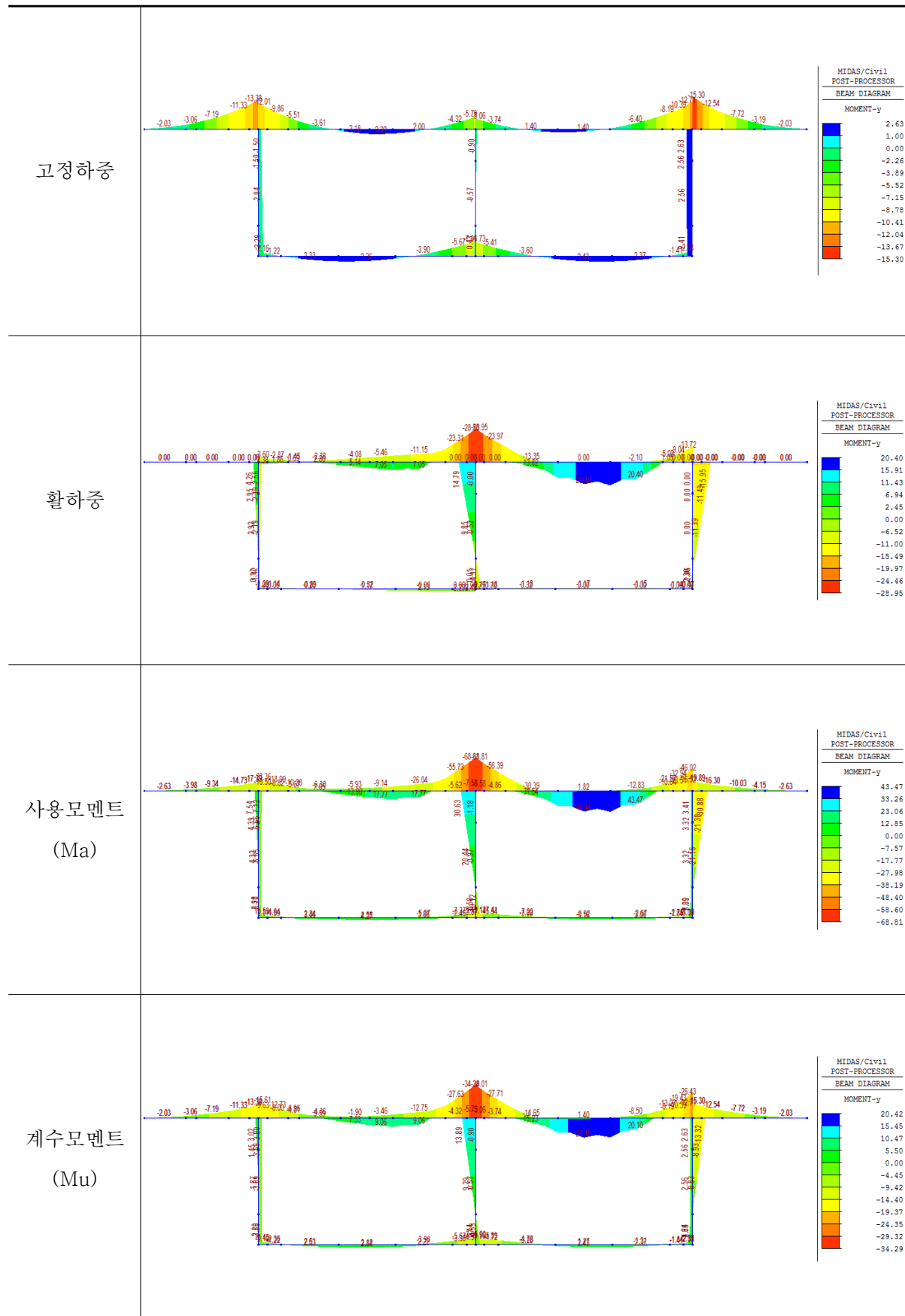


○ 보도활하중

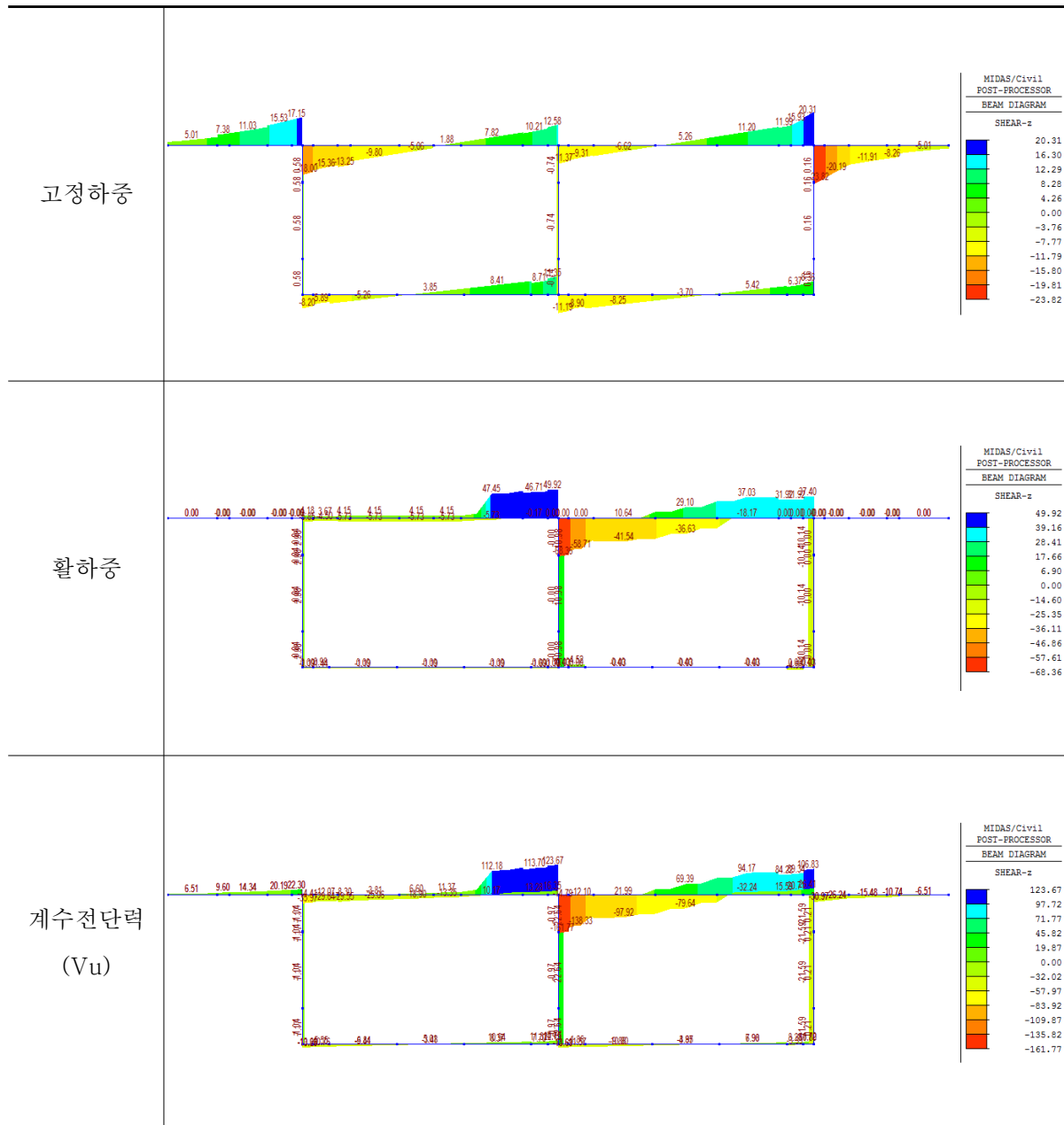


다. 해석결과

1) 모멘트도 (kN.m)



2) 전단력도(kN)



3) 발생단면력(kN.m, kN)

구 분	Mu (계수모멘트)	Ma (사용모멘트)	Vu (계수전단력)
상부 지점부	68.81	34.01	127.57
상부 중앙부	43.47	20.42	79.64
내측 복부	30.63	13.89	22.64
외측 복부	30.88	13.32	21.59

라. 안전성검토

(1) 상부슬래브 지점부

① 설계단면

- 사용철근량 $A_s = D16 @ 150\text{mm} = 1323.7\text{mm}^2$
- 두께 $H = 350\text{ mm}$, - 폭 $b = 1000\text{ mm}$
- 유효두께 $d = 310\text{ mm}$, - 피복두께 $d' = 40\text{ mm}$

② 설계모멘트강도 산정

- $a = (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_{ck} \times b)$
 $= 1323.7 \times 300 / (0.85 \times 23 \times 1000)$
 $= 20.3\text{ mm}$
- $\phi M_n = 0.85 \times A_s \times f_y \times (d - a/2)$
 $= 0.85 \times 1323.7 \times 300 \times (310 - 20.3/2) / 100000$
 $= 101.21\text{ kN.m} > M_u. O.K$

③ 설계전단강도 산정

- $\phi V_c = 0.8 \times 1 / 6 \times \sqrt{f_{ck}} \times b \times d$
 $= 0.8 \times 1/6 \times \sqrt{23} \times 1000 \times 210 / 1000 = 134.28\text{ kN} > V_u. O.K$

③ 사용성검토

- $M_o = 34.01\text{ kN} \cdot \text{m}$ (사용하중 모멘트)
- $n = E_s/E_c = 200000 / (8500 \times (f_{ck}+8)^{1/3}) = 7$
- $p = A_s/(B \times D) = 0.00427$
- $k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.216 \quad \cdot \quad j = 0.928$
- $x = k \times d = 67\text{ mm}$
- $f_c = 2 \times M_o / (B \times x \times (D - x/3)) = 3.53\text{ MPa}$
- $f_s = M_o / (A_s \times (D - x/3)) = 89.32\text{ MPa}$
- $f_{st} = f_s \times (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 89.32\text{ MPa}$

최외단 철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 \times (210/f_{st}) - 2.5 \times C_c, 300 \times (210/f_{st})] = 705.33\text{mm}$$

여기서.. $C_c = d_{c_min} - \text{주철근 직경}/2 = 32\text{ mm}$

$\therefore$ 최외단철근 평균배근간격 = $150.00\text{ mm} < 705.33\text{ mm} \dots O.K$

(2) 상부슬래브 중앙부

① 설계단면

- 사용철근량 $A_s = D16 @ 150\text{mm} = 1323.7\text{mm}^2$
- 두께 $H = 250 \text{ mm}$, - 폭 $b = 1000 \text{ mm}$
- 유효두께 $d = 210 \text{ mm}$, - 피복두께 $d' = 40 \text{ mm}$

② 설계모멘트강도 산정

- $a = (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_{ck} \times b)$
 $= 1323.7 \times 300 / (0.85 \times 23 \times 1000)$
 $= 20.3 \text{ mm}$
- $\phi M_n = 0.85 \times A_s \times f_y \times (d - a/2)$
 $= 0.85 \times 1323.7 \times 300 \times (210 - 20.3/2) / 100000$
 $= 67.46 \text{ kN.m} > M_u. O.K$

③ 설계전단강도 산정

- $\phi V_c = 0.8 \times 1 / 6 \times \sqrt{f_{ck}} \times b \times d$
 $= 0.8 \times 1/6 \times \sqrt{23} \times 1000 \times 210 / 1000 = 134.28 \text{ kN} > V_u. O.K$

④ 사용성검토

- $M_o = 20.42 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (사용하중 모멘트)
- $n = E_s/E_c = 200000 / (8500 \times (f_{ck}+8)^{1/3}) = 7$
- $p = A_s/(B \times D) = 0.0063$
- $k = -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.256 \quad \cdot \quad j = 0.915$
- $x = k \times d = 53.8 \text{ mm}$
- $f_c = 2 \times M_o / (B \times x \times (D - x/3)) = 3.95 \text{ MPa}$
- $f_s = M_o / (A_s \times (D - x/3)) = 80.32 \text{ MPa}$
- $f_{st} = f_s \times (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 80.32 \text{ MPa}$

최외단 철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 \times (210/f_{st}) - 2.5 \times C_c, 300 \times (210/f_{st})] = 784.36\text{mm}$$

여기서.. $C_c = d_{c_min} - \text{주철근 직경}/2 = 32 \text{ mm}$

$\therefore$ 최외단철근 평균배근간격 $= 150.00 \text{ mm} < 784.36 \text{ mm} \dots O.K$

(3) 내측 복부

① 설계단면

- 사용철근량 $A_s = D16 @ 300\text{mm} = 661.9\text{mm}^2$
- 두께 $H = 383 \text{ mm}$, - 폭 $b = 1000 \text{ mm}$
- 유효두께 $d = 343 \text{ mm}$, - 피복두께 $d' = 40 \text{ mm}$

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

② 설계모멘트강도 산정

$$\begin{aligned}
 - a &= (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_{ck} \times b) \\
 &= 661.9 \times 300 / (0.85 \times 23 \times 1000) \\
 &= 10.2 \text{ mm} \\
 - \phi M_n &= 0.85 \times A_s \times f_y \times (d - a/2) \\
 &= 0.85 \times 661.9 \times 300 \times (343 - 10.2/2) / 100000 \\
 &= 57.03 \text{ kN.m} > M_u. \text{ O.K}
 \end{aligned}$$

③ 설계전단강도 산정

$$\begin{aligned}
 - \phi V_c &= 0.8 \times 1 / 6 \times \sqrt{f_{ck}} \times b \times d \\
 &= 0.8 \times 1/6 \times \sqrt{23} \times 1000 \times 210 / 1000 = 134.28 \text{ kN} > V_u. \text{ O.K}
 \end{aligned}$$

④ 사용성검토

$$\begin{aligned}
 - M_o &= 13.89 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{사용하중 모멘트}) \\
 - n &= E_s/E_c = 200000 / (8500 \times (f_{ck}+8)^{1/3}) = 7 \\
 - p &= A_s/(B \times D) = 0.00193 \\
 - k &= -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.151 \quad \cdot j = 0.95 \\
 - x &= k \times d = 51.8 \text{ mm} \\
 - f_c &= 2 \times M_o / (B \times x \times (D - x/3)) = 1.65 \text{ MPa} \\
 - f_s &= M_o / (A_s \times (D - x/3)) = 64.42 \text{ MPa} \\
 - f_{st} &= f_s \times (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 64.42 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

최외단 철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 \times (210/f_{st}) - 2.5 \times C_c, 300 \times (210/f_{st})] = 977.96 \text{ mm}$$

$$\text{여기서.. } C_c = d_{c_min} - \text{주철근 직경}/2 = 32 \text{ mm}$$

$$\therefore \text{최외단철근 평균배근간격} = 300.00 \text{ mm} < 977.96 \text{ mm} \dots \text{ O.K}$$

(4) 외측 복부

① 설계단면

$$\begin{aligned}
 - \text{사용철근량 } A_s &= D16 @ 300 \text{ mm} = 661.9 \text{ mm}^2 \\
 - \text{두께 } H &= 383 \text{ mm}, \quad - \text{폭 } b = 1000 \text{ mm} \\
 - \text{유효두께 } d &= 343 \text{ mm}, \quad - \text{피복두께 } d' = 40 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

② 설계모멘트강도 산정

$$\begin{aligned}
 - a &= (A_s \times f_y) / (0.85 \times f_{ck} \times b) \\
 &= 661.9 \times 300 / (0.85 \times 23 \times 1000) = 10.2 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 - \phi M_n &= 0.85 \times A_s \times f_y \times (d - a/2) \\
 &= 0.85 \times 661.9 \times 300 \times (343 - 10.2/2) / 100000 \\
 &= 57.03 \text{ kN.m} > M_u. \text{ O.K}
 \end{aligned}$$

③ 설계전단강도 산정

$$\begin{aligned}
 - \phi V_c &= 0.8 \times 1 / 6 \times \sqrt{f_{ck}} \times b \times d \\
 &= 0.8 \times 1/6 \times \sqrt{23} \times 1000 \times 210 / 1000 = 134.28 \text{ kN} > V_u. \text{ O.K}
 \end{aligned}$$

④ 사용성검토

$$\begin{aligned}
 - M_o &= 13.32 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad (\text{사용하중 모멘트}) \\
 - n &= E_s/E_c = 200000 / (8500 \times (f_{ck}+8)^{1/3}) = 7 \\
 - p &= A_s/(B \times D) = 0.00193 \\
 - k &= -np + \sqrt{(np)^2 + 2np} = 0.151 \quad \cdot j = 0.95 \\
 - x &= k \times d = 51.8 \text{ mm} \\
 - f_c &= 2 \times M_o / (B \times x \times (D - x/3)) = 1.58 \text{ MPa} \\
 - f_s &= M_o / (A_s \times (D - x/3)) = 61.78 \text{ MPa} \\
 - f_{st} &= f_s \times (H - D_{c_min} - x) / (D - x) = 61.78 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

최외단 철근 소요중심간격

$$s = \text{Min} [375 \times (210/f_{st}) - 2.5 \times C_c, 300 \times (210/f_{st})] = 1019.75 \text{ mm}$$

$$\text{여기서.. } C_c = d_{c_min} - \text{주철근 직경}/2 = 32 \text{ mm}$$

$$\therefore \text{최외단철근 평균배근간격} = 300.00 \text{ mm} < 1019.75 \text{ mm} \dots \text{ O.K}$$

마. 횡방향 안전성평가 결과

【표 6.3】 RC BOX Girder구간 횡방향 안전성평가 결과

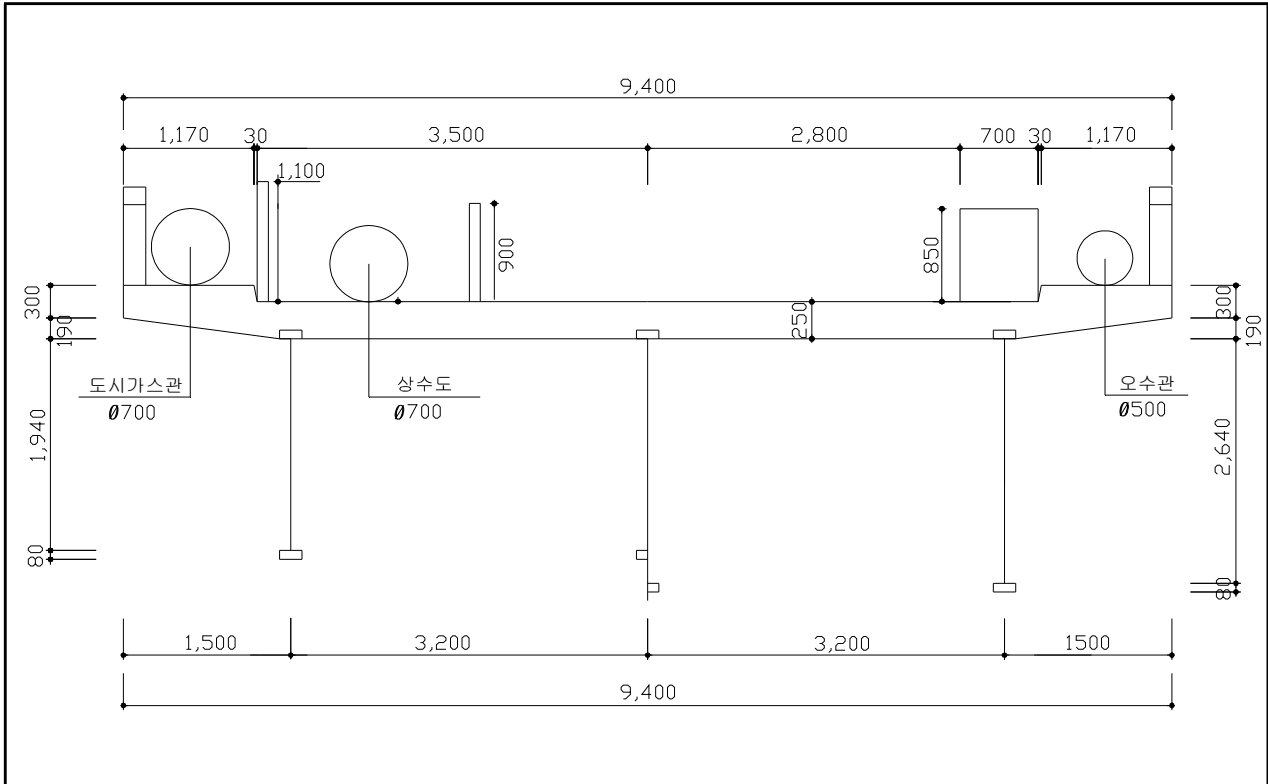
구 분	ϕM_n (모멘트강도)	M_u (계수모멘트)	안전율 (SF)	안전성
상부 지점부	101.21	68.81	1.47	O.K
상부 중앙부	67.46	43.47	1.55	O.K
내측 복부	57.03	30.63	1.86	O.K
외측 복부	57.03	30.88	1.85	O.K

6.2.2 SPG 2경간 연속구간(S2~S7)

6.2.2.1 SPG(Steel Plate Girder교) 구조해석

① 해석조건

가. 검토단면



【그림 6.4】 Steel Plate Girder 검토단면도

나. 구조해석 조건

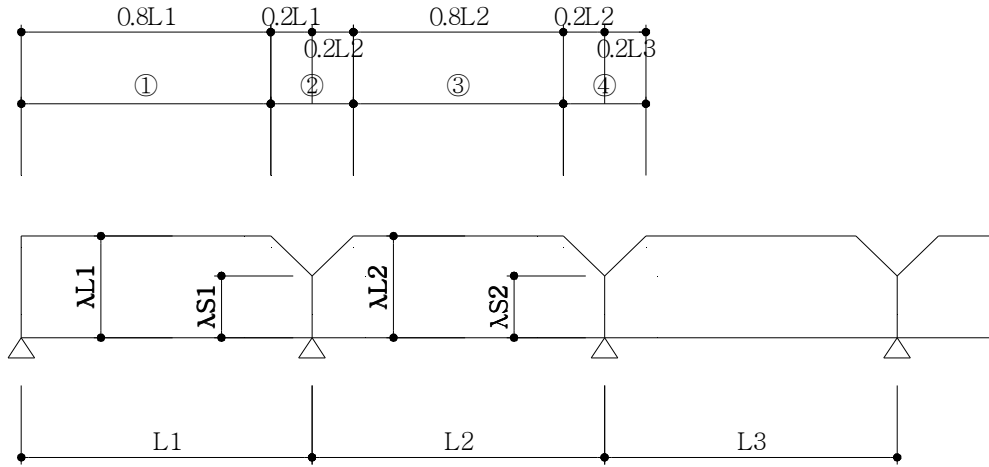
1) 구조형식 및 제원

- 구조형식 : STEEL PLATE GIRDER 교
- 연 장 : 2@40.0=80.0m
- 교량폭원 : 9.40m
- 사 각 : 0.0°
- 설계하중 : DB-18, DL-18, 보도하중

② 주거더 해석

가. 유효폭 계산

1) 플랜지 유효폭 [도로교 설계기준 3.8.3.4]

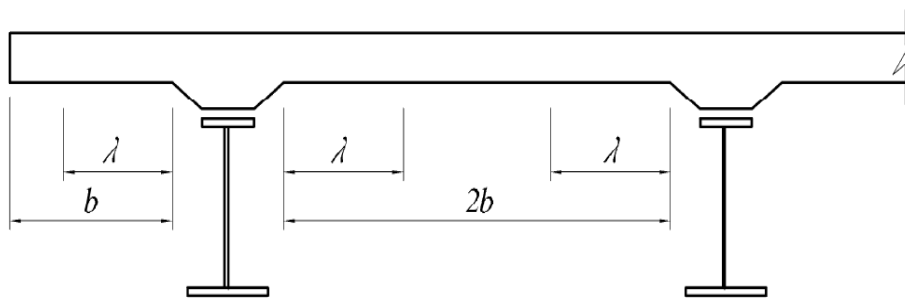


상부 : 플랜지 폭 $2b = 0.400\text{m}$, 하부 : 플랜지 폭 $2b = 0.400\text{m}$

$L1 \sim L2 = 40.000\text{m}$

구 분	상 부 (m)		하 부 (m)	
	$\lambda L, \lambda S$	유효폭(B)	$\lambda L, \lambda S$	유효폭(B)
중앙부	0.200	0.400	0.200	0.400
지점부	0.200	0.400	0.200	0.400

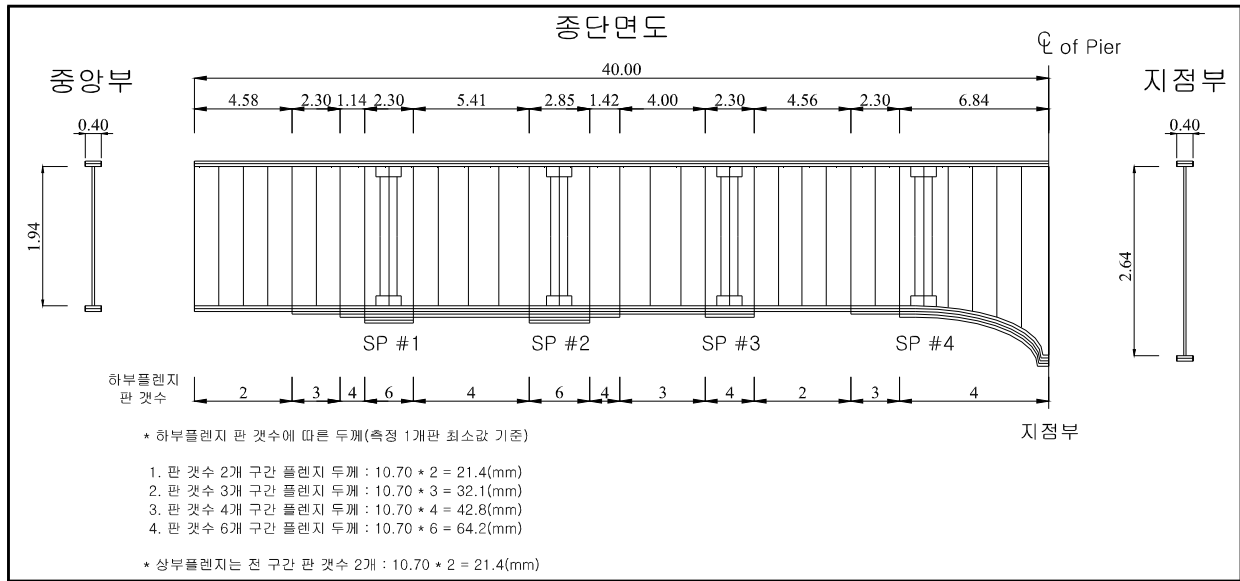
2) 바닥판 유효폭 [도로교 설계기준 3.9.2.4]



구 분		b1(m)	b2(m)	b3(m)	유효폭(m)
외측거더	중앙부	1.250	0.250	1.350	3.100
	지점부	1.180	0.250	1.257	2.937
내측거더	중앙부	1.350	0.250	1.350	3.200
	지점부	1.257	0.250	1.257	3.014

나. 거더 단면구성

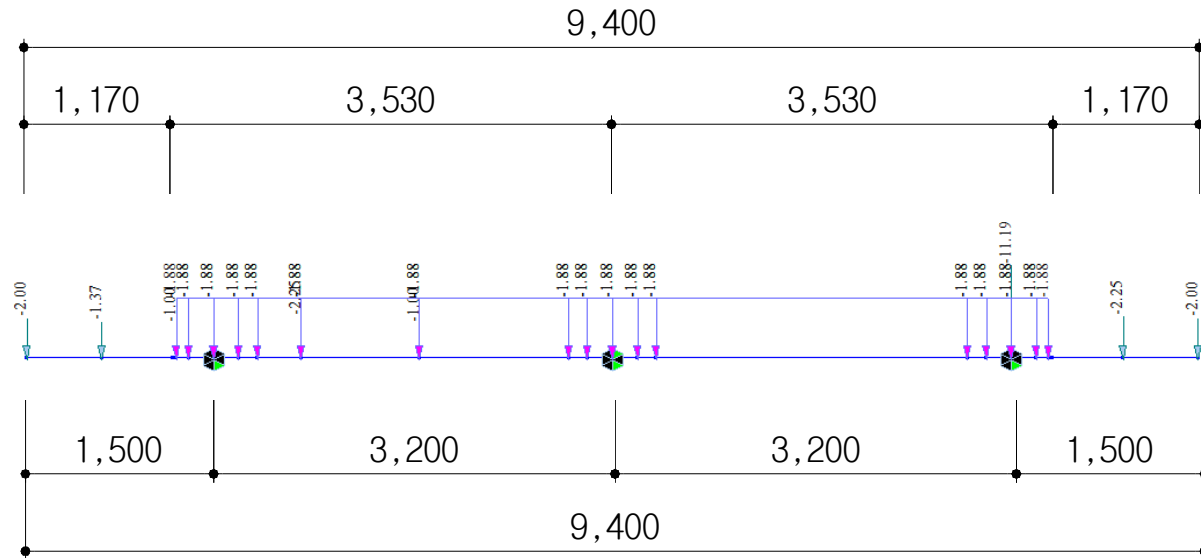
1) 거더 단면



【그림 6.5】 Steel Plate Girder 단면구성도

2) 모델링 단면특성

구 분		A(m ²)	I _x (m ⁴)	I _y (m ⁴)	I _z (m ⁴)
합성 전 내·외측 거더	1	0.0379	0.0000	0.0230	0.0002
	2	0.0422	0.0000	0.0268	0.0003
	3	0.0464	0.0000	0.0300	0.0003
	4	0.0550	0.0000	0.0351	0.0005
	5	0.0539	0.0000	0.0599	0.0003
합성 후 외측거더	1	0.1348	0.0010	0.0574	0.0778
	2	0.1390	0.0010	0.0709	0.0779
	3	0.1433	0.0010	0.0836	0.0779
	4	0.1519	0.0010	0.1075	0.0780
	5	0.1508	0.0010	0.1583	0.0779
합성 후 내측거더	1	0.1379	0.0010	0.0577	0.0856
	2	0.1422	0.0010	0.0713	0.0856
	3	0.1464	0.0011	0.0842	0.0857
	4	0.1550	0.0011	0.1083	0.0858
	5	0.1539	0.0011	0.1594	0.0857



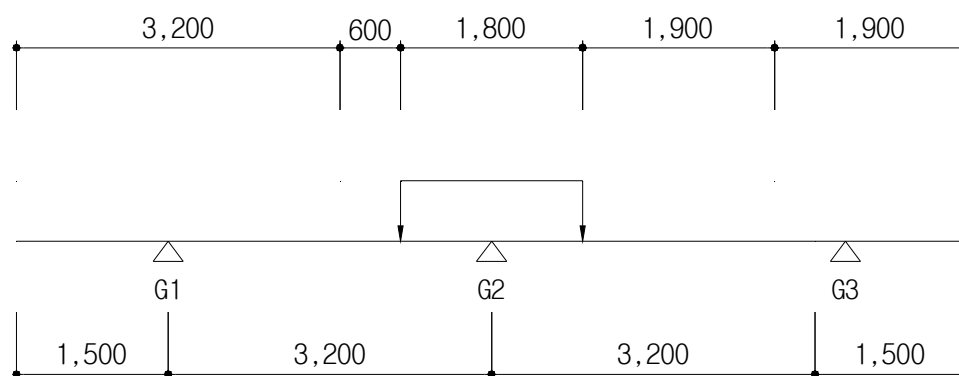
합성 후	G1 (kN)	G2 (kN)	G3 (kN)
P	11.418	4.403	20.399

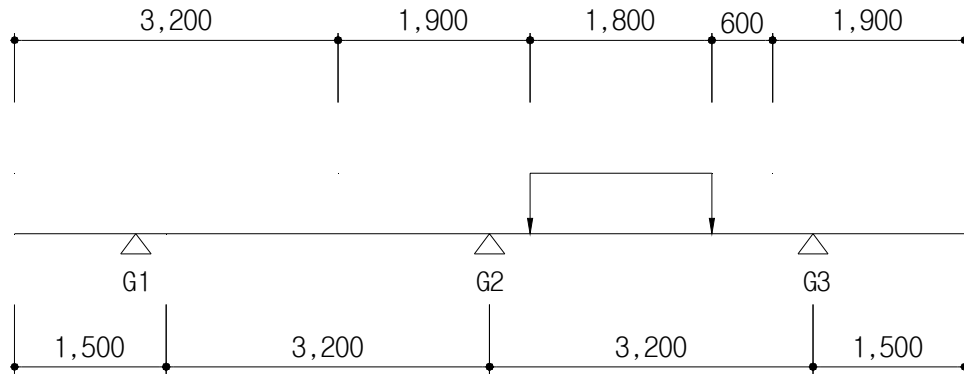
2) 활하중 [도로교 설계기준 2.1.3]

- 설계차로 산정

$W_c = 4.30 \text{ m}$, 설계차로수 : 1차로

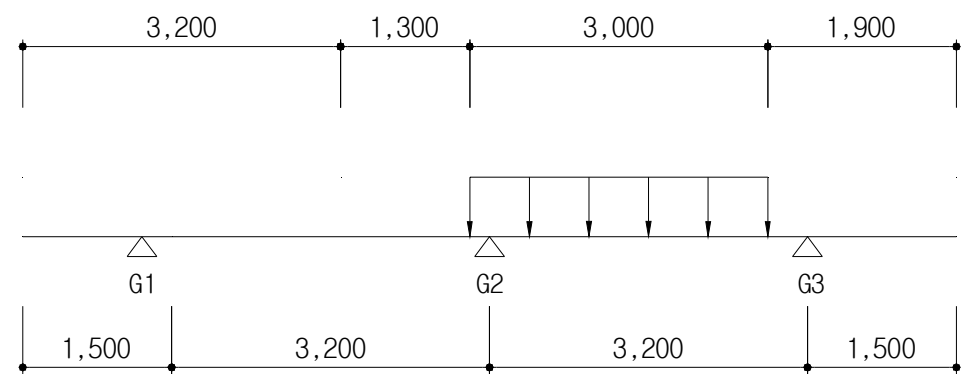
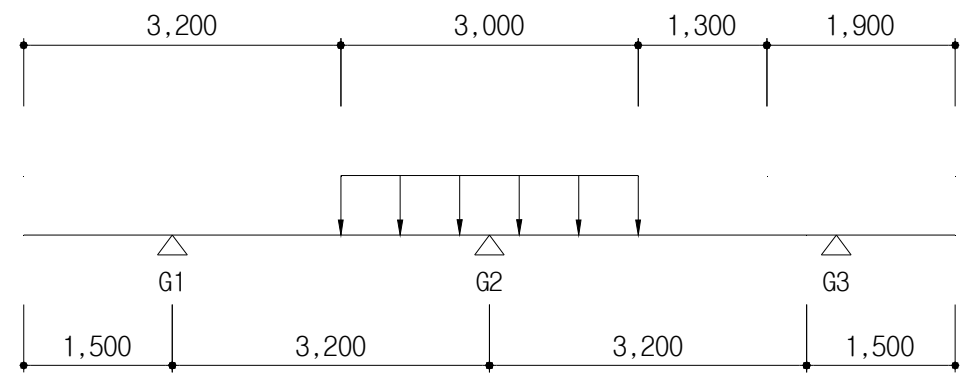
– DB-18





- 전륜 하중 $P_f = 18 \text{ kN}$
- 후륜 하중 $P_r = 72 \text{ kN}$

- DL-18

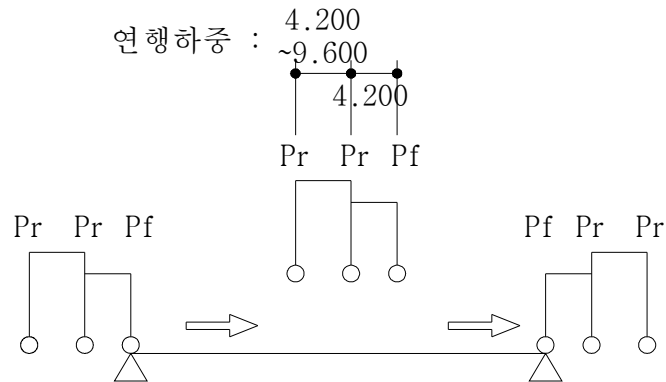


- $W = 9.5 / 3.0 = 3.17 \text{ kN/m}$
- $P_m = 81.0 / 3.0 = 27.0 \text{ kN}$
- $P_s = 117.0 / 3.0 = 39.0 \text{ kN}$

1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

- 종방향 최대 모멘트 재하

○ DB-18 하중



○ DL-18 하중

차선하중은 이동하중으로 재하하며, Ps 및 Pm 하중은 재하 공간내에서 최대 단면력을 발생시키는 위치에 재하함

- 충격계수

$$I = 15 / (40 + L) = 0.188 \leq 0.3 \quad \therefore I = 0.188$$

- 활하중 횡분배

구조해석 프로그램 상에서 가로보를 통해 횡분배 되도록 해석함

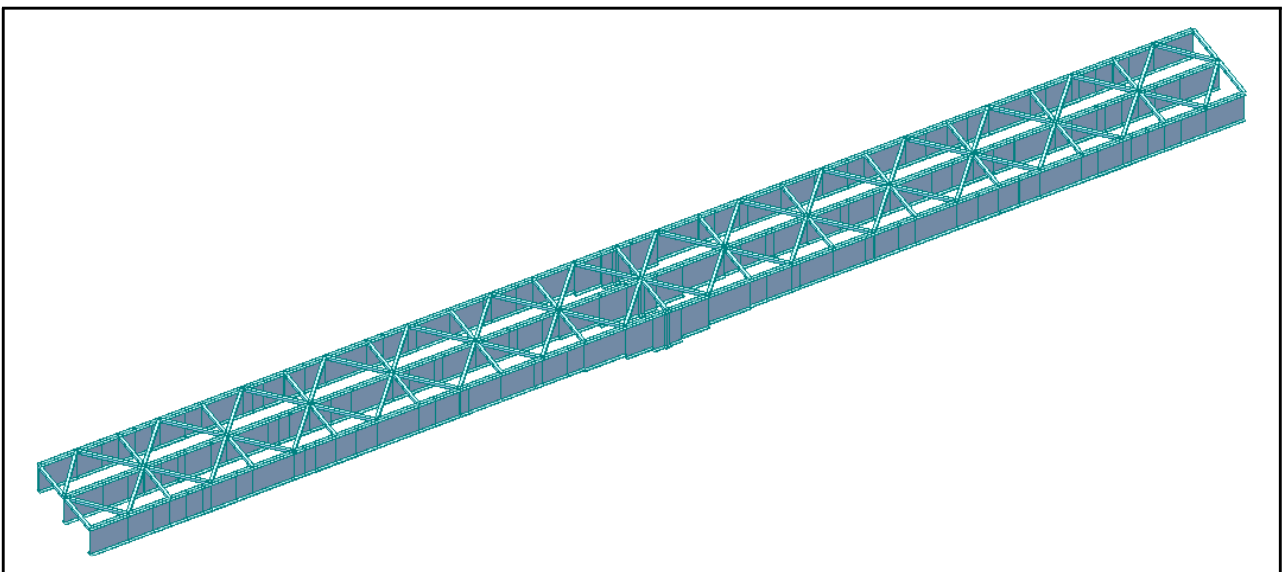
○ 보도하중 : 3.5kN/m^2

라. 구조검토

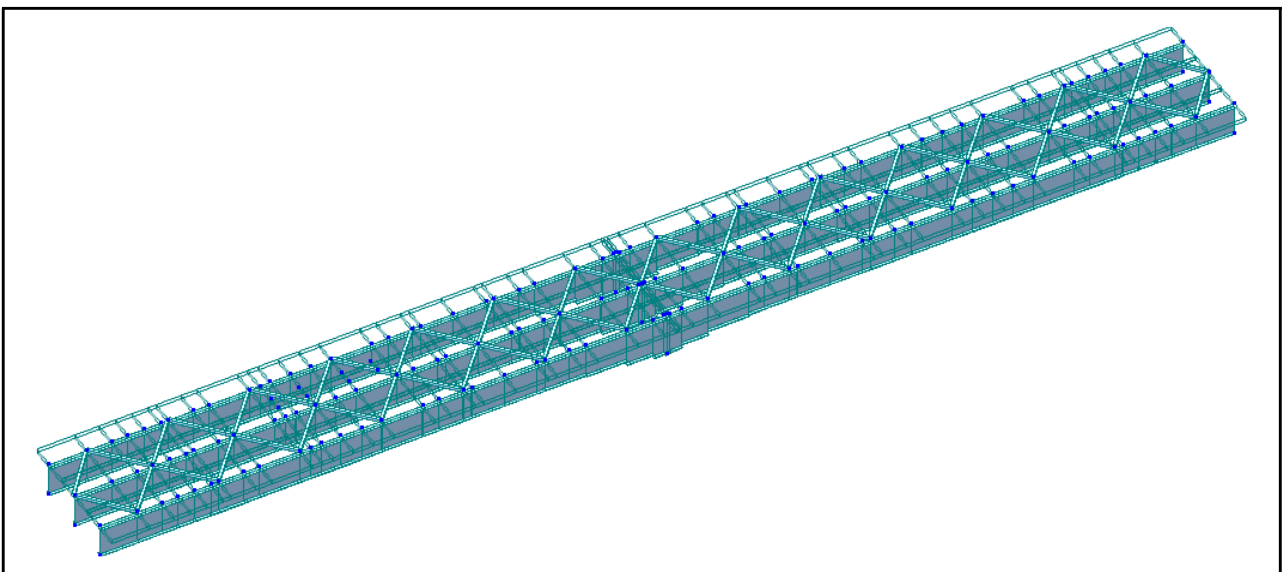
1) 해석모델링

대상교량은 2경간 연속 Steel Plate Girder교로 frame요소를 이용하여 격자해석으로 모델링하였으며, 해석프로그램은 범용구조해석 프로그램인 Midas Civil을 사용하였다.

합성 전 모델링은 강형거더의 특성치를 갖는 보요소로 모델링하였으며, 합성 후 모델링은 강형거더와 바닥판의 합성단면 특성치를 갖는 보요소로 모델링하였다. 거더가 총 3개 이므로 3개의 보요소로 모델링하였으며, 합성 후 모델링은 하중의 횡방향 분배를 위하여 가로 보 강성을 갖는 횡방향 부재를 모델링하였다. 해석은 합성 전, 합성 후로 구분하여 각각 해석한 후 부재에 작용하는 응력을 중첩하여 최종 응력을 산정하였다.



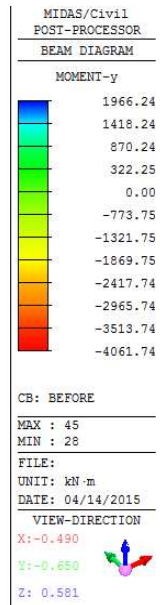
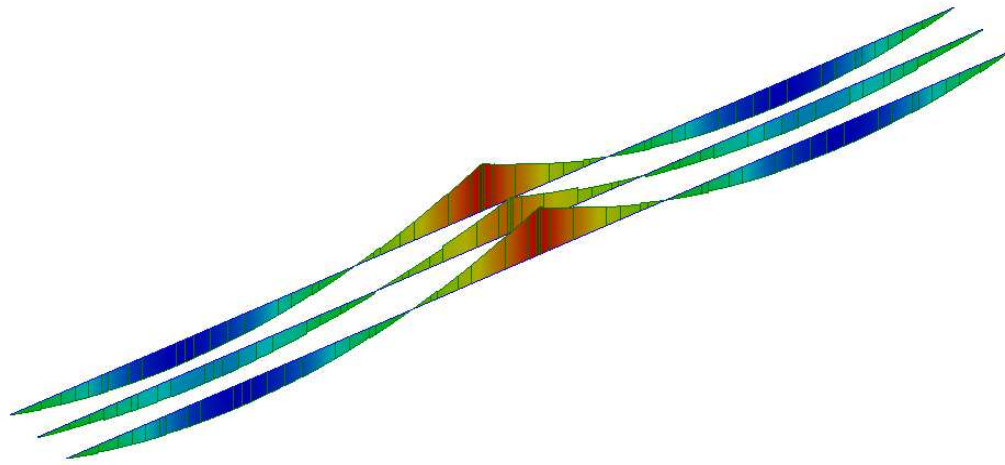
【그림 6.6】 Steel Plate Girder 합성 전 모델링도



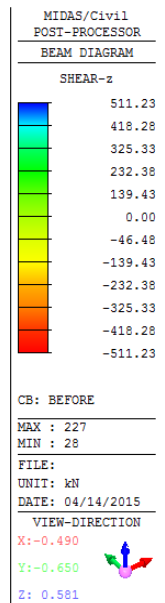
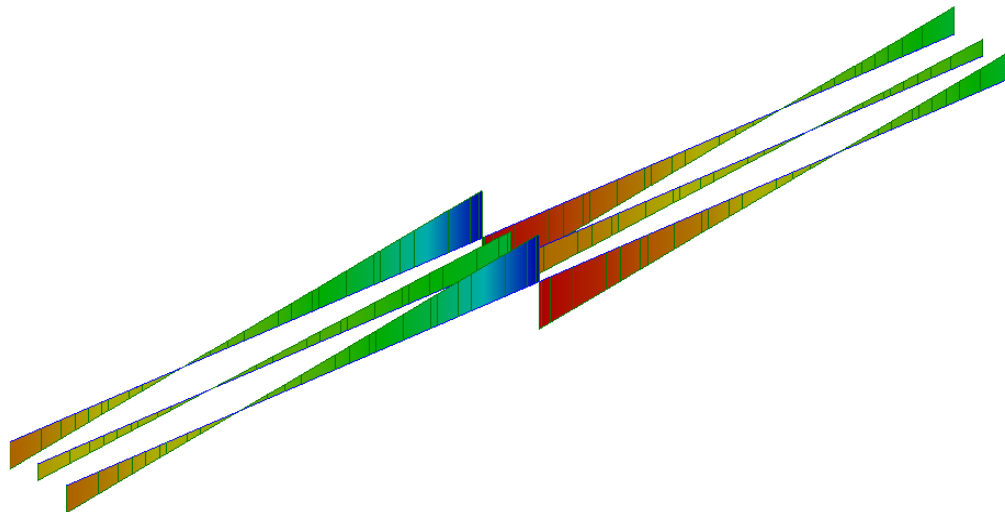
【그림 6.7】 Steel Plate Girder 합성 후 모델링도

2) 단면력도

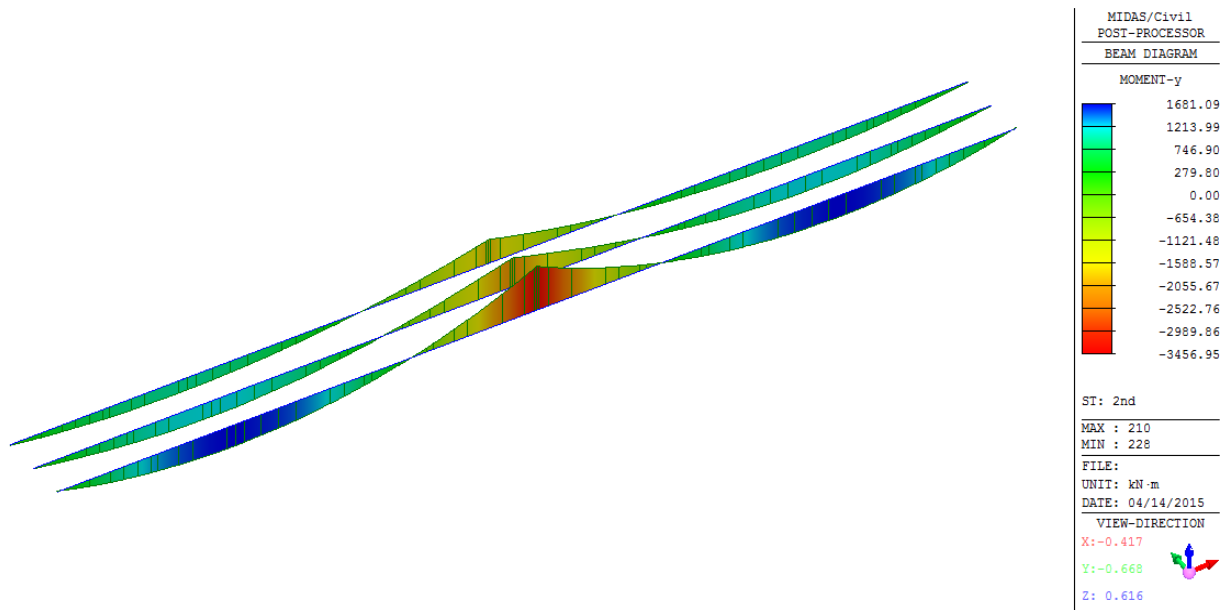
■ 합성 전 고정하중 모멘트도



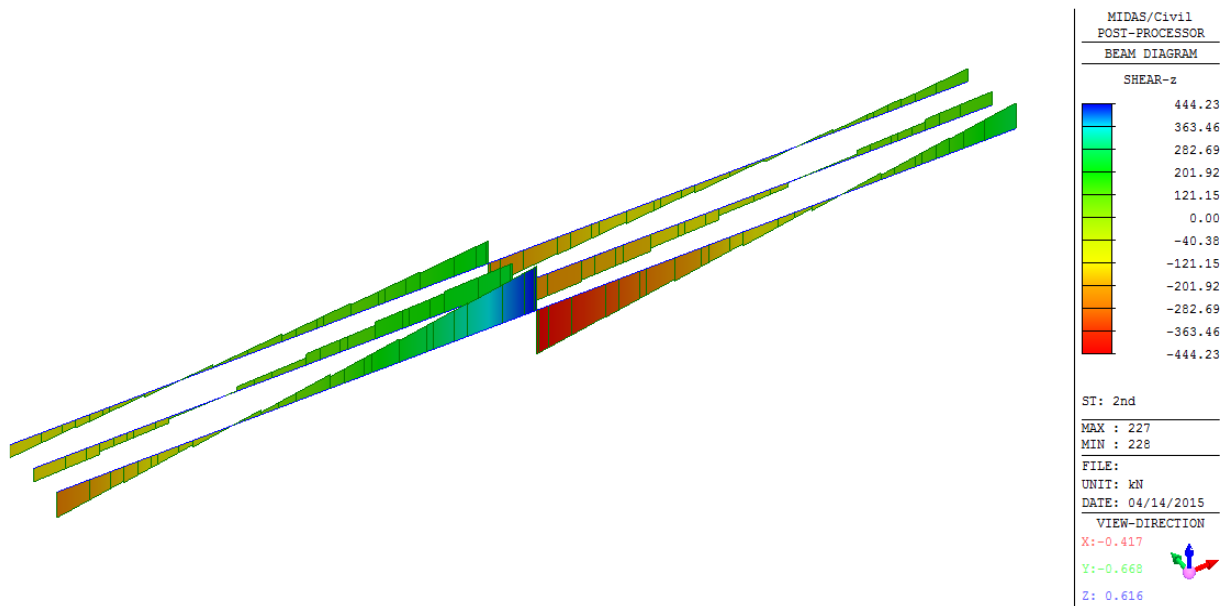
■ 합성 전 고정하중 전단력도



■ 합성 후 고정하중 모멘트도

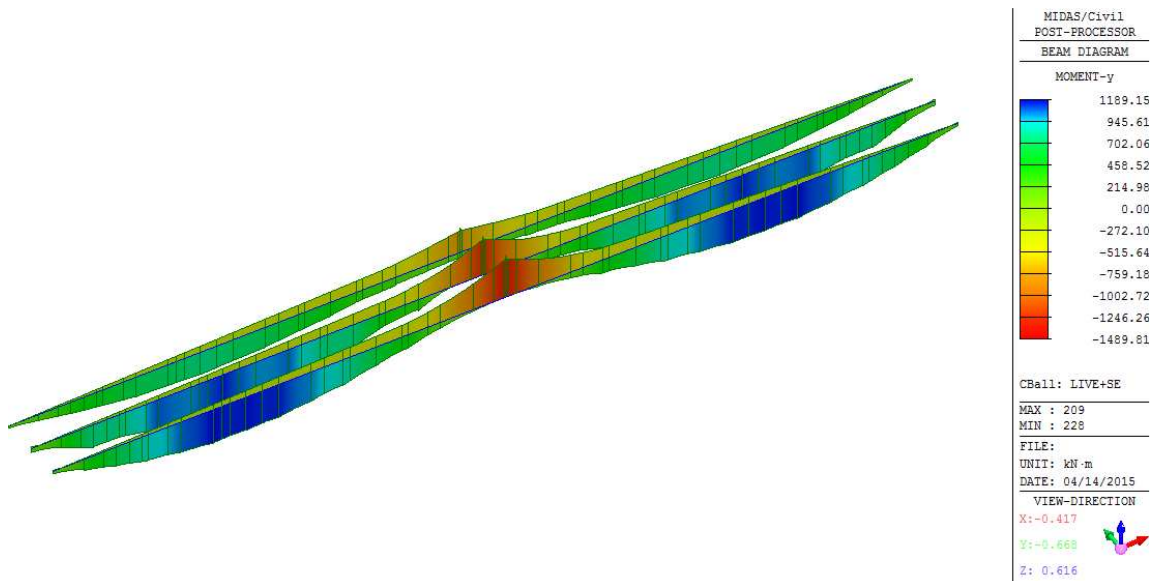


■ 합성 후 고정하중 전단력도

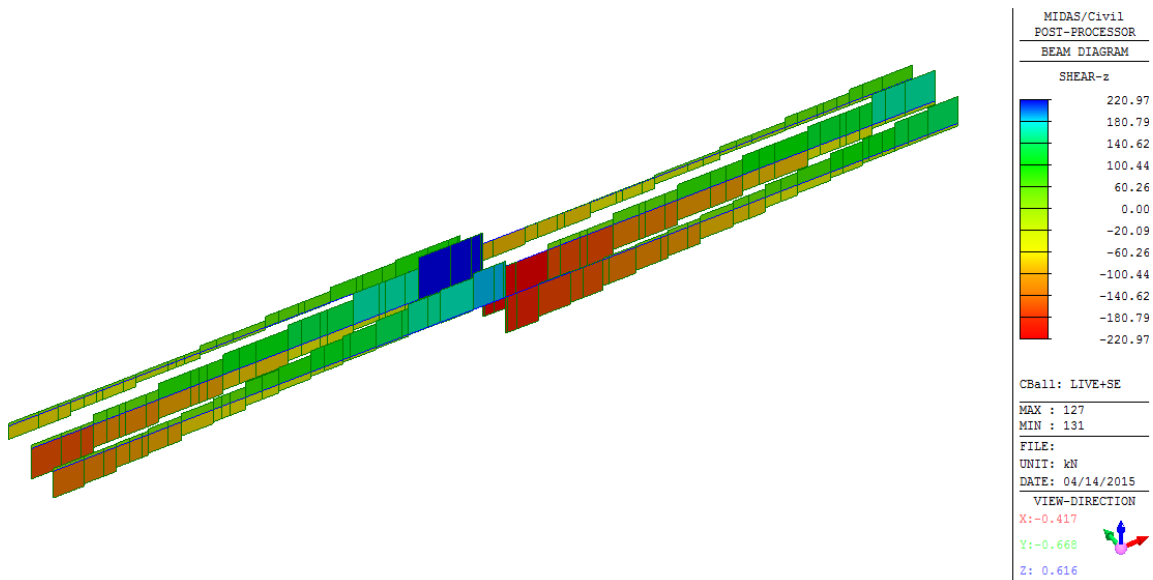


1장
2장
3장
4장
5장
6장
7장
8장
9장

■ 활하중 모멘트도



■ 활하중 전단력도



3) 구조해석결과

가) 거더

구 분		중앙부		지점부	
		외측거더 G1, 3	내측거더 G2	외측거더 G1, 3	내측거더 G2
모멘트 (kN.m)	합성 전 고정하중	1966.24	1573.76	4061.74	3009.97
	합성 후 고정하중	1681.04	1216.61	3456.95	2266.08
	활하중	1189.15	1032.57	1489.81	1393.77
전단력 (kN)	합성 전 고정하중	7.84	5.29	511.23	305.91
	합성 후 고정하중	9.54	7.86	444.23	238.06
	활하중	73.63	99.84	189.66	220.97

4) 거더의 응력검토

거더에 대한 응력검토는 경간 중앙부의 정모멘트부 및 지점부의 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였음.

하중종류1	합성 전 고정하중	하중종류2	합성 후 고정하중
하중종류3	활하중	-	-

여기서, 응력의 단위는 MPa이며, 압축응력은 정(+), 인장응력은 부(-)로 표기함.

가) 외측거더 (G1, G3)

(1) 중앙부

하중조합	CONCRETE (MPa)		STEEL (MPa)			
	발생응력	허용응력	발생응력		허용응력	
	상연	상연	상연	하연	상연	하연
1	-	10.80	77.11	-54.30	190.00	-190.00
1+2+3	2.32	10.80	86.37	-111.93	190.00	-190.00

(2) 지점부

하중조합	RE-BAR (MPa)		STEEL (MPa)			
	발생응력	허용응력	발생응력		허용응력	
	상연	상연	상연	하연	상연	하연
1	-	-160.00	-105.53	77.87	-190.00	190.00
1+2+3	-57.21	-160.00	-152.75	154.33	-190.00	190.00

나) 내측거더 (G2)

(1) 중앙부

하중조합	CONCRETE (MPa)		STEEL (MPa)			
	발생응력	허용응력	발생응력		허용응력	
	상연	상연	상연	하연	상연	하연
1	-	10.80	61.72	-43.46	190.00	-190.00
1+2+3	1.78	10.80	68.69	-88.56	190.00	-190.00

(2) 지점부

하중조합	RE-BAR (MPa)		STEEL (MPa)			
	발생응력	허용응력	발생응력		허용응력	
	상연	상연	상연	하연	상연	하연
1	-	-160.00	-78.21	57.71	-190.00	190.00
1+2+3	-41.67	-160.00	-112.54	114.14	-190.00	190.00

5) 응력검토 결과

위치별 최소안전율에 대한 결과를 정리함.

가) 휨응력

【표 6.4】 Steel Plate Girder구간 휨응력 검토 결과

구 분		고정하중(MPa)		활하중(MPa)	합계(MPa)	허용응력(MPa)	안전율
		합성 전	합성 후				
중 앙 부	바닥판 상연	—	1.36	0.96	2.32	10.80	4.66
	강형 상연	77.11	5.42	3.83	86.37	190.00	2.20
	강형 하연	-54.30	-33.76	-23.88	-111.93	-190.00	1.70
지 점 부	바닥판 상연	—	-39.98	-17.23	-57.21	-160.00	2.80
	강형 상연	-105.53	-33.00	-14.22	-152.75	-190.00	1.24
	강형 하연	77.87	53.43	23.03	154.33	190.00	1.23

나) 전단응력

【표 6.5】 Steel Plate Girder구간 전단응력 검토 결과

구 분		고정하중(MPa)		활하중(MPa)	합계(MPa)	허용응력(MPa)	안전율
		합성 전	합성 후				
지 점 부		18.14	15.85	7.48	41.46	110.00	2.65

다) 합성응력

(상 연)

$$\begin{aligned}
 (f/f_a)^2 + (\nu/\nu_a)^2 &= (-152.748/-190)^2 + (41.461/110)^2 \\
 &= 0.646 + 0.142 = 0.788 < 1.2 \quad \dots \text{O.K.}
 \end{aligned}$$

(하 연)

$$\begin{aligned}
 (f/f_a)^2 + (\nu/\nu_a)^2 &= (154.33/190)^2 + (41.461/110)^2 \\
 &= 0.66 + 0.142 = 0.802 < 1.2 \quad \dots \text{O.K.}
 \end{aligned}$$

6.3 내하력 평가

6.3.1 개 요

구조물이 현재 보유하고 있는 실제 내하력 및 안전도를 추정하기 위한 내하력 평가는 유지관리 체계의 핵심이 되는 중요한 분야로서 그 분석 및 평가방법의 합리성과 결과의 신뢰도가 중요한 문제로 된다. 현재 사용되고 있는 교량의 내하력 평가기법은 공용하중에 대한 내하율(Rating Factor)을 구하기 위한 허용응력개념(Working Stress Rating)이나 강도 또는 하중저항계수개념(Load and Resistance Factor Design)에 의한 방법과 신뢰성 이론의 개념에 기초한 방법으로 대별될 수 있다. 국토해양부에서 제정한 『안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량편)』에 의한 내하력평가 절차는 다음과 같다.

① 허용응력법

가. 내하율(Rating Factor) 평가

허용응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시에 하중조합으로는 D+L(1.0+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다. 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따른 항복응력을 사용하여 도로교 설계기준에 의거 부재종류에 따라 결정한다. 고정하중과 활하중에 의한 응력은 대상 부재단면에 있어서 철근 및 강재부식, 콘크리트의 중성화, 염해 등에 의한 강도저하와 단면손실 등을 고려하여 계산한다. 이때 고정하중은 현재 교량에 작용하고 있는 모든 고정하중을 가능한 한 정확히 고려한다. 활하중은 현행 도로교 설계기준의 설계 활하중을 사용한다.

$$RF = \frac{f_a - f_d}{f_t (1+i)}$$

여기서, f_a = 실측 허용응력

f_d = 실측 고정하중에 의한 응력

f_t = 설계 활하중에 의한 응력

i = 도로교 설계기준에서 제시한 설계 충격계수

나. 내하력(Load Carrying Capacity)

$$\text{내하력} : P = K_s \times RF \times P_r$$

여기서, RF = 내하율

P_r = 설계 활하중

$$K_s = \text{응력보정계수} (= \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}) \text{ 또는}$$

$$\text{처짐보정계수} (= \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}})$$

$i_{\text{계산}}$ = 도로교의 경우 도로교 설계기준에 의한 충격계수

$i_{\text{실측}}$ = 동적재하시험으로부터 평가된 최대 충격계수

$\epsilon_{\text{계산}}(\epsilon_{\text{실측}})$ = 이론적인 변형율(실측 변형율)

$\delta_{\text{계산}}(\delta_{\text{실측}})$ = 이론적인 처짐량(실측 처짐량)

② 강도설계법

가. 내하율(Rating Factor) 평가

강도설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시 하중조합으로는 1.3D+2.15L(1.0+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15 가된다.

단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 설계기준과 콘크리트 구조설계기준의 공칭강도와 강도감소 계수에 따라 계산한다.

교량 설계시의 부재강도 감소계수는 부재강도의 산정에 있어서 재료강도에 대한 불확실성, 설계와 시공단면의 오차 등을 고려하는 계수이나 내하력 평가 시에는 그러한 불확실성은 상당히 감소하므로 오히려 공용 중에 부재단면의 손상정도에 따라 결정한다.

그러나 부재단면의 손상정도를 정량적으로 평가하기가 어려우므로 공칭강도의 산정 시는 교량의 현재 상태에 따른 단면감소와 재료강도를 고려하고 강도감소계수는 설계시의 값을 그대로 사용한다. 고정하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 작용하고 있는 고정하중과 현행 도로교 설계기준의 설계 활하중(DB 또는 DL하중)을 사용하여 구조해석을 통하여 구한다.

$$RF = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l (1+i)}$$

여기서, ϕM_n = 극한 저항모멘트 (RC-PC구조물의 휨부재 $\phi = 0.85$)

M_d = 실측 고정하중에 의한 모멘트

M_l = 설계 활하중에 의한 모멘트

r_d = 고정하중 계수 = 1.30

r_l = 활하중 계수 = 2.15

i = 도로교 설계기준에서 제시한 설계 충격계수

나. 내하력(Load Carrying Capacity)

$$\text{내하력} : P = K_s \times RF \times P_r$$

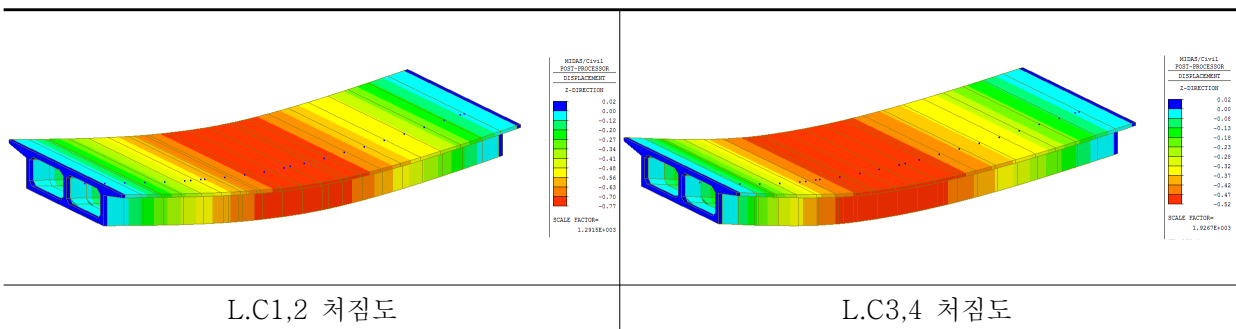
P_r = 설계 활하중

$$K_s = \text{응력보정계수} (= \frac{\epsilon_{\text{계산}}}{\epsilon_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}) \text{ 또는 처짐보정계수} (= \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \cdot \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}})$$

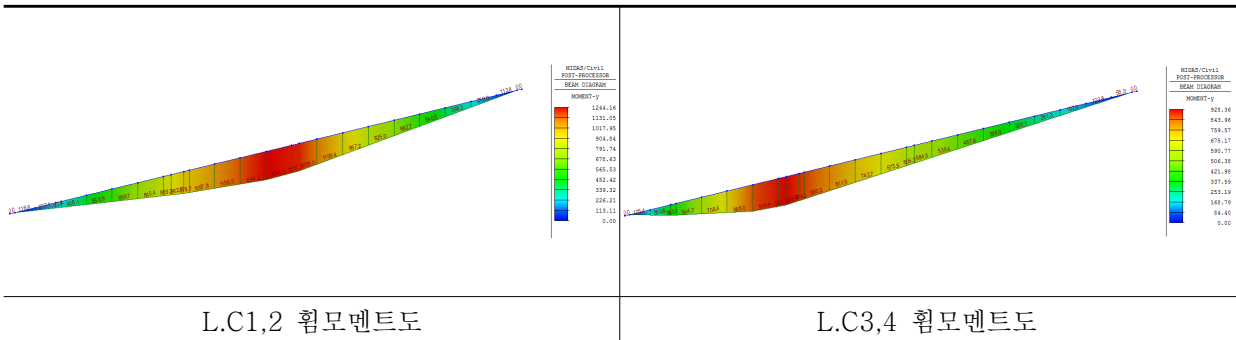
6.3.2. RCB구간(S1, S8~S19)

가. 구조해석에 의한 재하시험 Load Case별 처짐 및 휨모멘트도

1) 처짐도



2) 휨모멘트도



나. 응답비 산정

1) 처짐(mm)

구 분	L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	비 고
계산값	0.774	0.774	0.508	0.508	DT
실측값	0.432	0.493	0.279	0.338	
응답비	1.793	1.571	1.821	1.504	

2) 변형률($\mu \varepsilon$)

구 분	LC1	LC2	LC3	LC4	비 고
계산값	17.210	17.210	9.322	9.322	ST
실측값	16.665	17.974	11.279	11.938	
응답비	1.033	0.957	0.826	0.781	

응답비를 산정할 시 실측되는 응답량이 작을수록 측정 상에서 얻어지는 오차, 온도영향, 전기저항, 습도 등에 의한 영향이 크기 때문에 실측값이 작은 응답비는 선정하지 않았으며, 트럭하중이 중앙부에 재하되어 응답이 크게 발생하는 LC2의 변형률 응답비를 선정하였다.

다. 응답보정계수 산정(K_s)

1) 충격보정계수

충격계수(1+i)		충격보정계수 (A/B)
계산치(A)	실측치(B)	
1.250	1.211	1.032

2) 응답보정계수

구 분	응답비	충격보정계수	응답보정계수
RCB	0.957	1.032	0.988

라. 강도설계법에 의한 RC BOX Girder의 내하력평가

【표 6.6】 RC BOX Girder의 내하력평가 결과

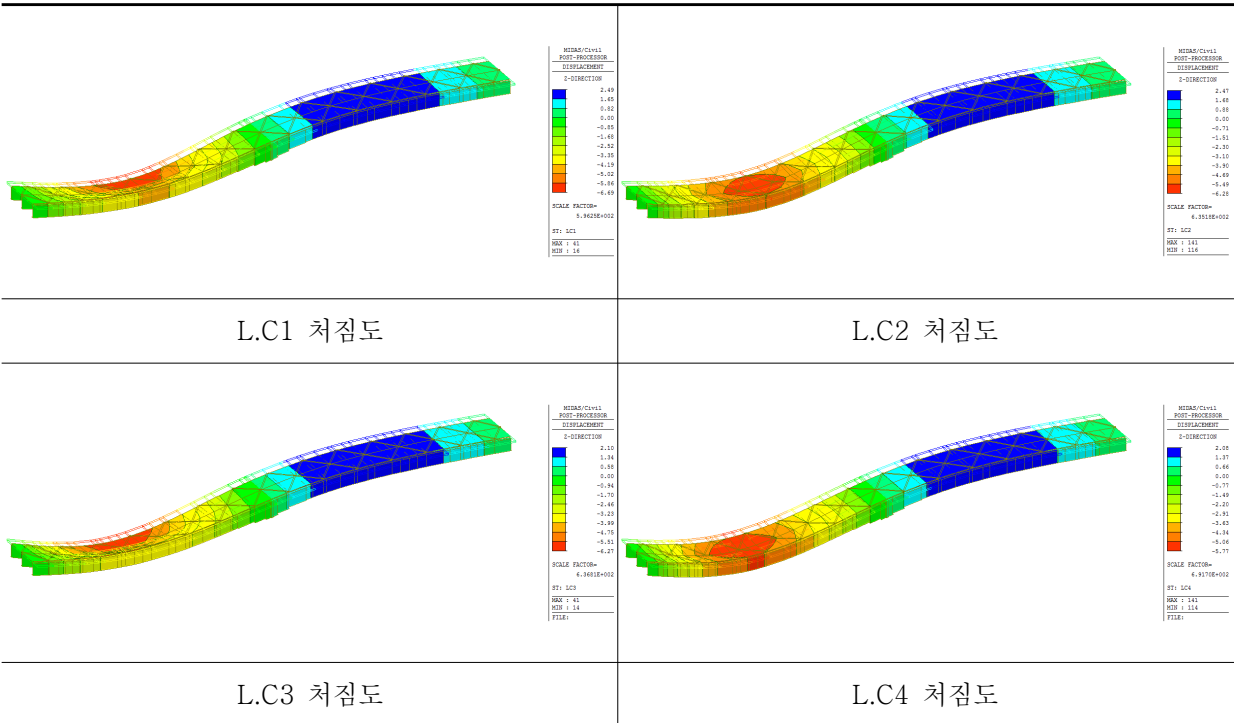
내하율 산정					
구 분	ϕMn	1.3Md	2.15Ml	내하율(R.F)	비 고
RCB	16545.6	10897.55	3250.80	1.737	

내하력 평가					
구 분	내하율(R.F)	응답보정계수	공용내하율	공용내하력	비 고
RCB	1.737	0.988	1.717	DB-18 이상	안전함

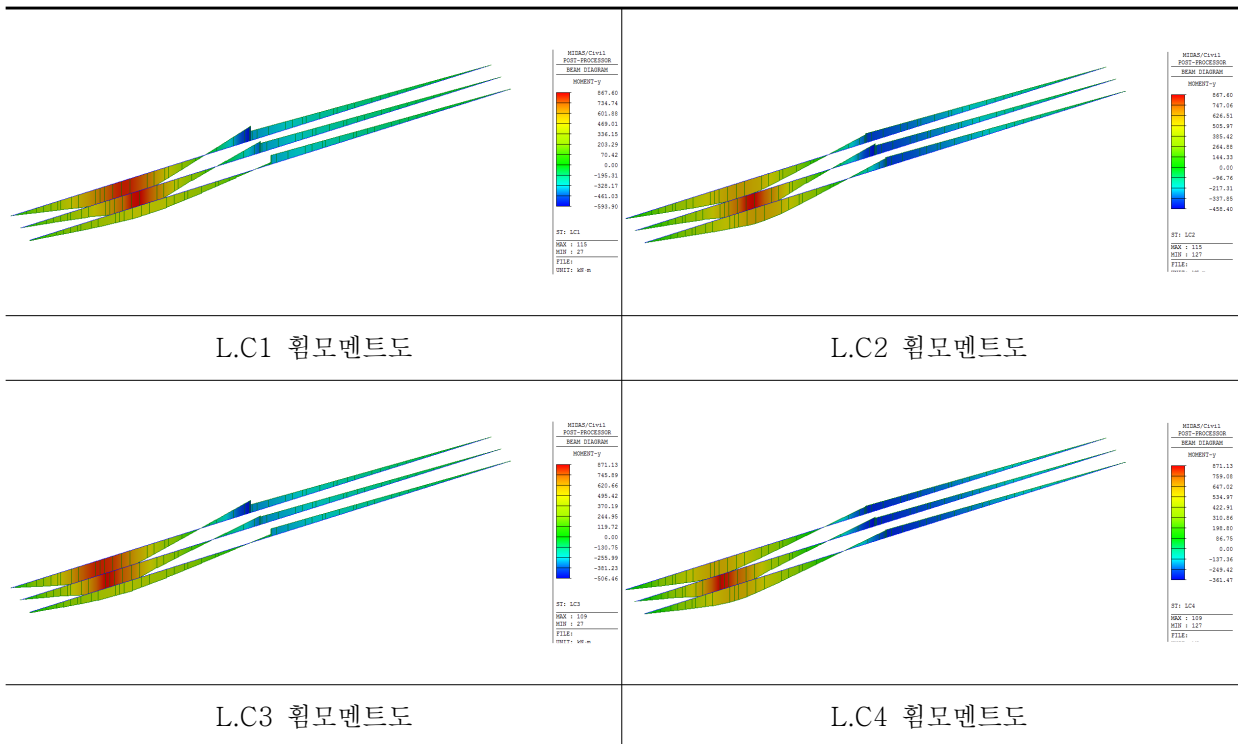
6.3.3. SPG구간(S2~S7)

가. 구조해석에 의한 재하시험 Load Case별 처짐 및 휨모멘트도

1) 처짐도



2) 휨모멘트도



나. 응답비 산정

1) 처짐(mm)

구 분		LC1	LC2	LC3	LC4
DT1	계산값	6.130	5.019	6.110	4.915
	실측값	3.023	2.411	2.943	2.401
	응답비	2.028	2.082	2.076	2.047
DT2	계산값	5.597	5.597	5.684	5.684
	실측값	3.022	3.093	2.877	2.937
	응답비	1.852	1.810	1.976	1.935
DT3	계산값	3.908	5.019	3.720	4.915
	실측값	2.124	2.682	2.210	2.712
	응답비	1.840	1.871	1.683	1.812

2) 변형률($\mu \varepsilon$)

구 분		LC1	LC2	LC3	LC4
ST1	계산값	24.770	13.574	21.408	12.202
	실측값	18.186	15.231	14.997	12.150
	응답비	1.362	0.891	1.427	1.004
ST2	계산값	19.035	19.035	15.205	15.205
	실측값	17.978	20.926	15.092	12.116
	응답비	1.059	0.910	1.007	1.255
ST3	계산값	2.378	13.574	2.996	12.202
	실측값	9.170	17.884	10.253	14.855
	응답비	0.259	0.759	0.292	0.821

응답비를 산정할 시 실측되는 응답량이 작을수록 측정상에서 얻어지는 오차, 온도영향, 전기저항, 습도 등에 의한 영향이 크기 때문에 실측값이 작은 응답비는 선정하지 않았으며, 트럭하중이 중앙부에 재하되어 응답이 크게 발생하는 LC2의 ST2 변형률 응답비를 선정하였다.

다. 응답보정계수 산정 (K_s)

1) 충격보정계수

충격계수(1+i)		충격보정계수 (A/B)
계산치(A)	실측치(B)	
1.188	1.230	0.966

2) 응답보정계수

구 분	응답비	충격보정계수	응답보정계수
RCB	0.910	0.966	0.879

라. 허용응력설계법에 의한 SPG의 내하력평가

【표 6.7】 Steel Plate Girder의 내하력평가 결과

내하율 산정					
구 분	허용응력	고정하중응력	활하중응력	내하율(R.F)	비 고
SPG 중앙부	-190.00	-88.05	-23.88	4.269	하연
SPG 지점부	-190.00	-88.05	-23.88	4.269	하연

내하력 평가					
구 분	내하율(R.F)	응답보정계수	공용내하율	공용내하력	비 고
SPG 중앙부	4.269	0.879	3.751	DB-18 이상	안전함
SPG 지점부	2.549	0.879	2.240	DB-18 이상	안전함

6.4 안전성 및 내하력평가 결과요약

6.4.1 안전성평가 결과

안전성평가 결과 모든 부재에서 안전율은 1.0이상으로 평가되었으며, 안전성평가 등급 “A”등급으로 평가되었다.

가. RC BOX Girder구간

1) 종방향 검토결과

【표 6.8】 RC BOX Girder구간 종방향 안전성평가 결과

구 분	ϕMn (모멘트강도)	Mu (계수모멘트)	안전율 (SF)	안전성 평가등급
휨모멘트 (중앙부)	16545.60	14148.35	1.17	A
구 분	ϕVn (전단강도)	Vu (계수전단력)	안전율 (SF)	안전성 평가등급
전단력 (지점부)	3237.90	2536.94	1.28	A

2) 횡방향 검토결과

【표 6.9】 RC BOX Girder구간 횡방향 안전성평가 결과

구 분	ϕMn (모멘트강도)	Mu (계수모멘트)	안전율 (SF)	안전성 평가등급
상부 지점부	101.21	68.81	1.47	A
상부 중앙부	67.46	43.47	1.55	A
내측 복부	57.03	30.63	1.86	A
외측 복부	57.03	30.88	1.85	A

나. Steel Plate Girder구간

1) 휨응력 검토결과

【표 6.10】 Steel Plate Girder구간 휨응력 검토 결과

구 분		고정하중(MPa)		활하중(MPa)	합계(MPa)	허용응력(MPa)	안전율	안전성 평가등급
		합성 전	합성 후					
중 앙 부	바닥판 상연	—	1.36	0.96	2.32	10.80	4.66	A
	강형 상연	77.11	5.42	3.83	86.37	190.00	2.20	A
	강형 하연	-54.30	-33.76	-23.88	-111.93	-190.00	1.70	A
지 점 부	바닥판 상연	—	-39.98	-17.23	-57.21	-160.00	2.80	A
	강형 상연	-105.53	-33.00	-14.22	-152.75	-190.00	1.24	A
	강형 하연	77.87	53.43	23.03	154.33	190.00	1.23	A

2) 전단응력 검토결과

【표 6.11】 Steel Plate Girder구간 전단응력 검토 결과

구 분		고정하중(MPa)		활하중(MPa)	합계(MPa)	허용응력(MPa)	안전율	안전성 평가등급
		합성 전	합성 후					
지 점 부		18.14	15.85	7.48	41.46	110.00	2.65	A

6.4.2 내하력평가 결과

내하력평가 결과 모든 구간에서 DB-18이상으로 평가되었다.

【표 6.12】 내하력평가 결과표

RC BOX Girder구간				
구 분	내하율(R.F)	응답보정계수	공용내하율	공용내하력
RCB	1.737	0.988	1.717	DB-18 이상

Steel Plate Girder구간				
구 분	내하율(R.F)	응답보정계수	공용내하율	공용내하력
중앙부	4.269	0.879	3.751	DB-18 이상
지점부	2.549	0.879	2.240	DB-18 이상

6.4.3 전차(2010년) 보고서와 평가결과 비교·검토

가. 안전성평가 결과 비교·검토

【표 6.13】 안전성평가 결과 비교표

RC BOX Girder구간					(단위 : kN·m)				
구 분	2010년 정밀안전진단		2015년 정밀안전진단		평가 결과				
	ϕ Mn	Mu	ϕ Mn	Mu					
휨모멘트	16427.37	14528.52	16545.60	14148.35	A				

Steel Plate Girder구간					(단위 : MPa)				
구 분	2010년 정밀안전진단			2015년 정밀안전진단			허용 응력	평가 결과	
	고정하중	활하중	합계	고정하중	활하중	합계			
중양부	상연	106.78	51.30	158.08	82.53	3.83	86.37	190.00	A
	하연	-106.92	-45.78	-152.70	-88.06	-23.88	-111.93	-190.00	A
지점부	상연	-138.81	-15.80	-154.61	-138.53	-14.22	-152.75	-190.00	A
	하연	138.81	26.34	165.15	131.30	23.03	154.33	190.00	A

비교·검토 결과	○ 안전성평가 결과에 대한 비교·검토 결과, 전차와 유사한 결과값으로 검토되었으며, 검토대상 전 부재에서 『A등급』으로 평가됨.								
-------------	---	--	--	--	--	--	--	--	--

나. 내하력평가 결과 비교·검토

【표 6.14】 내하력평가 결과 비교표

구 분	2010년 정밀안전진단			2015년 정밀안전진단			공용 내하력
	내하율	응답 보정계수	공용 내하율	내하율	응답 보정계수	공용 내하율	
RCB	1.26	0.83	1.05	1.737	0.988	1.717	DB-18 이상
SPG	2.54	0.84	2.13	2.549	0.879	2.240	DB-18 이상

비교·검토 결과	○ 내하력평가 결과에 대한 비교·검토 결과, SPG구간의 경우 전차와 유사한 결과값으로 검토되었으나 RCB의 경우 내하율이 다소 상이하게 검토됨. ○ 전차(2010년) 보고서 상 내하율 산정과정은 누락되어 있으며, 2010년 내하율 계산 시 계산에 다소 오류가 있었던 것으로 사료됨. ○ 공용 내하력에 대한 검토결과, 본 연인교는 『DB-18이상』의 내하력을 확보하고 있는 것으로 평가됨.						
-------------	--	--	--	--	--	--	--

