

제 2 장

수 하 3 교 (장 호 원 방 향)

- 2.1 시설물 현황
- 2.2 외관조사
- 2.3 교량받침 조사
- 2.4 신축이음장치 유간 조사
- 2.5 재료시험
- 2.6 시설물의 상태평가
- 2.7 재하시험
- 2.8 구조해석 및 내하력 평가
- 2.9 종합평가 및 안전등급 지정
- 2.10 종합결론

제 2 장 수하3교(장호원방향)

2.1 시설물 현황

2.1.1 개요

본 시설물은 경기도 이천시 신둔면 도암리에 위치한 STEEL BOX GIRDER교 교량으로서 3ea의 Girder로 구성되어 있으며, 총연장은 100.0m(30+40+30)이고 양방향 중 장호원방향 폭은 13.94m(편도 3차로)이다.

상세외관조사는 대상시설물의 위험요인 및 시설물의 상태를 평가하기 위한 목적으로 교량부재 전체에 대해 가능한 근접한 상태에서 육안조사를 실시함을 원칙으로 하였다.

본 시설물의 교량하부는 교고가 최대 5.3m이며, 교량하부로 시도 2호선이 횡단하고 있어 교량 점검차를 이용하여 외관조사를 수행하였다.



<상부 전경>



<측면 전경>



<하부 전경>



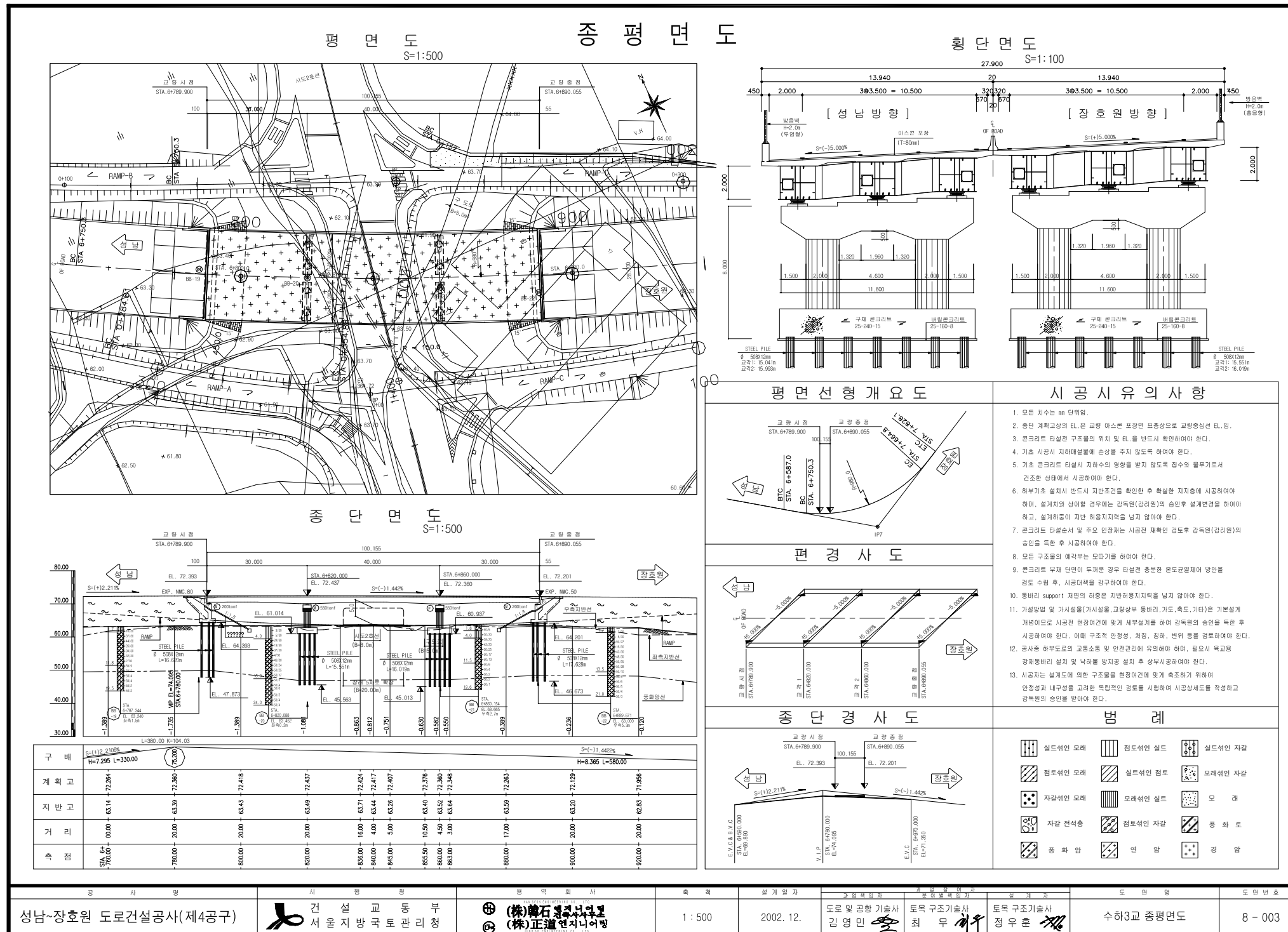
<점검차를 이용한 외관조사 현황>

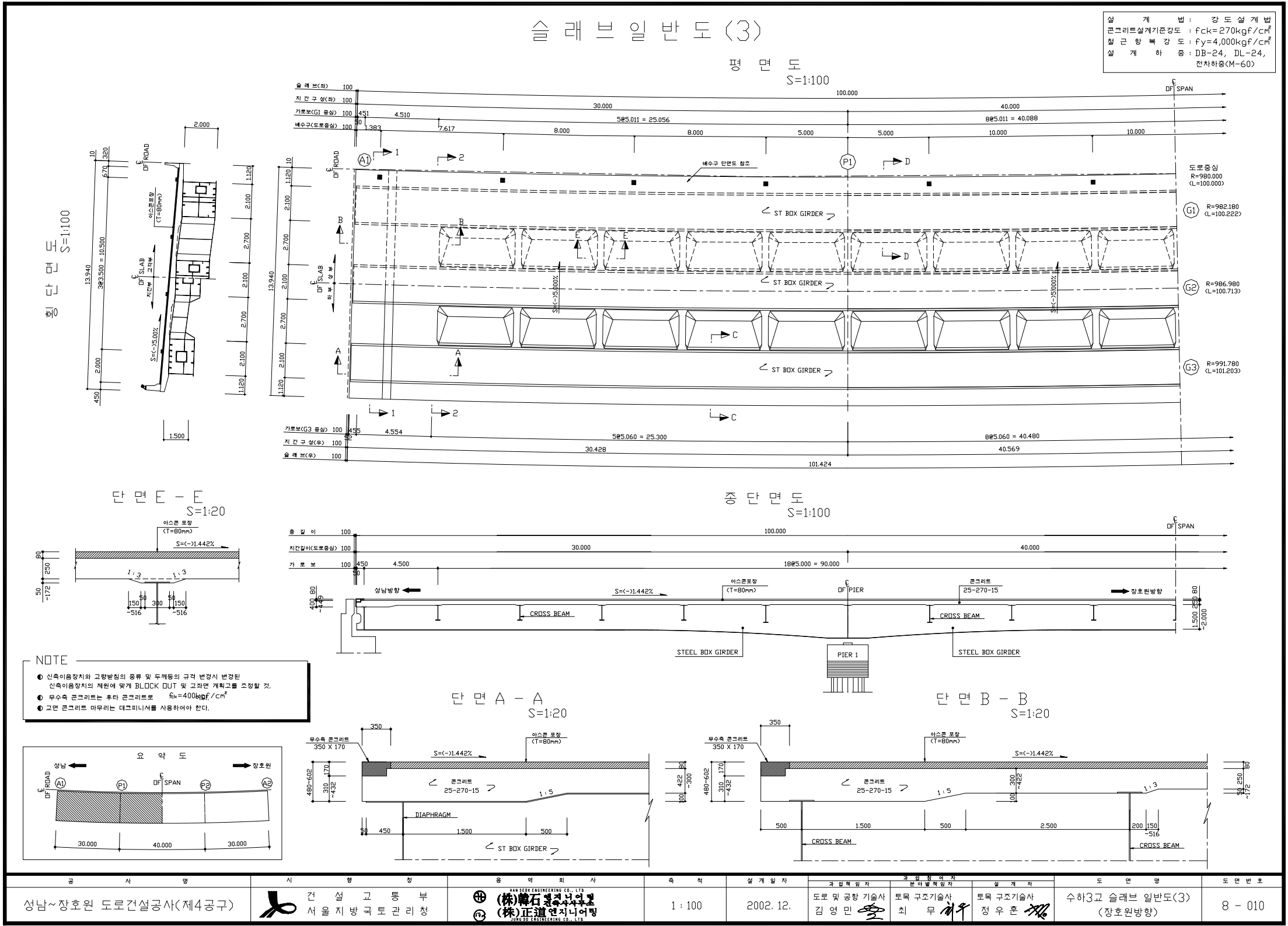
<표 2.1.1> 대상구조물 현황표

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		수하3교(장호원방향)		시설물번호		-	
준공년도		2017년 12월		관리번호		-	
시설물위치		경기도 이천시 신문면 도암리					
설계하중		DB-24, DL-24		노선명(이정)		성남~장호원 도로	
제원	연장	L = 30.0 + 40.0 + 30.0 = 100.0m					
	폭	B = 13.94m(편도3차로)					
구조 형식	상부	STEEL BOX GIRDER교	기초 형식	교대	A1: PILE기초 A2: PILE기초		
	하부	교각:π형, 교대:역T형		교각	P1~P2: PILE기초		
교량받침		POT BEARING		신축이음		MONOCELL	
교차시설물 (도로, 철도, 하천)		시도 2호선		통과 높이		약 5.3m	
부착시설내용		· 가로등, 방음벽					
기 타		· 설계도면 有					

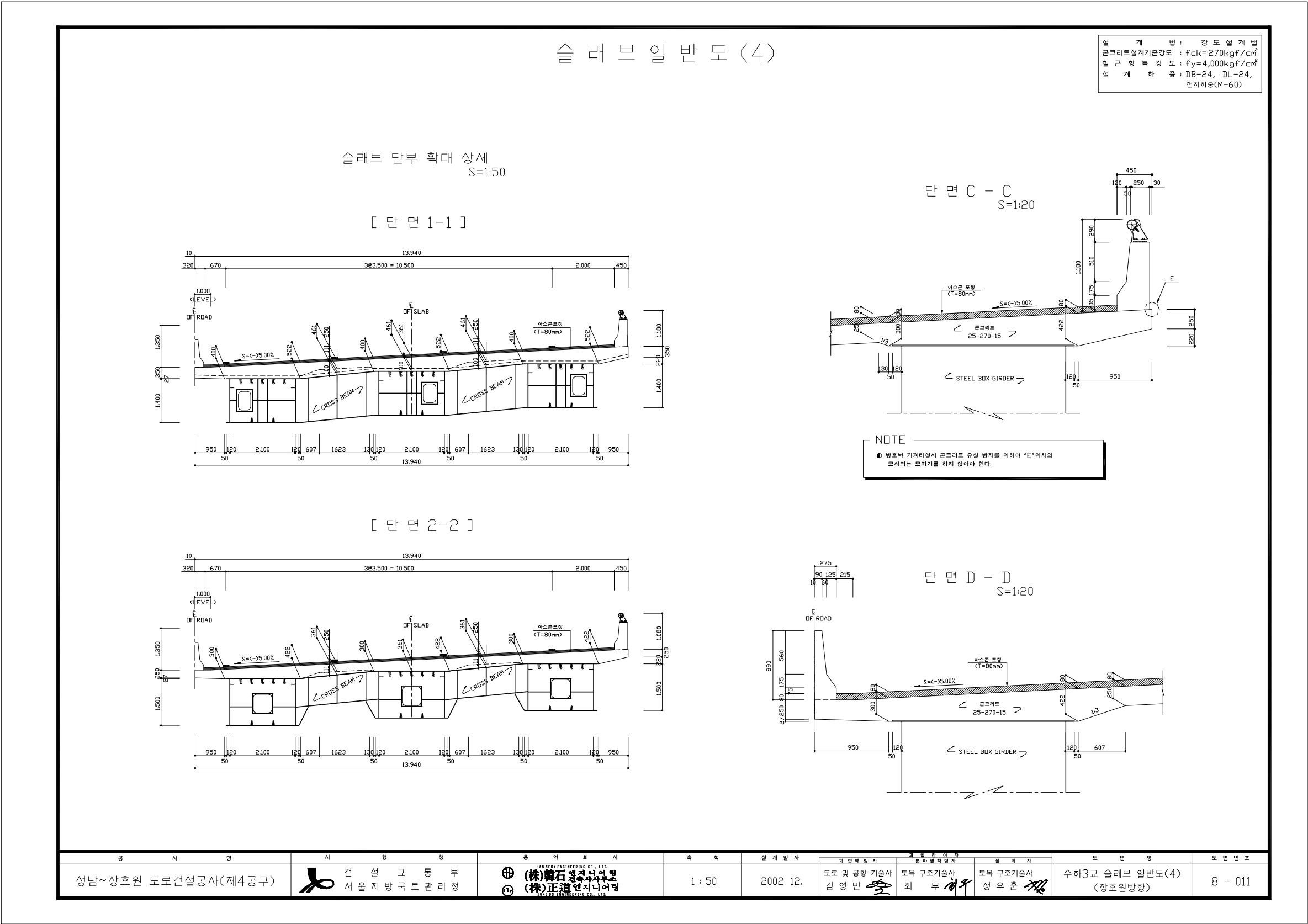
2.1.2 관련도면

가. 장호원방향

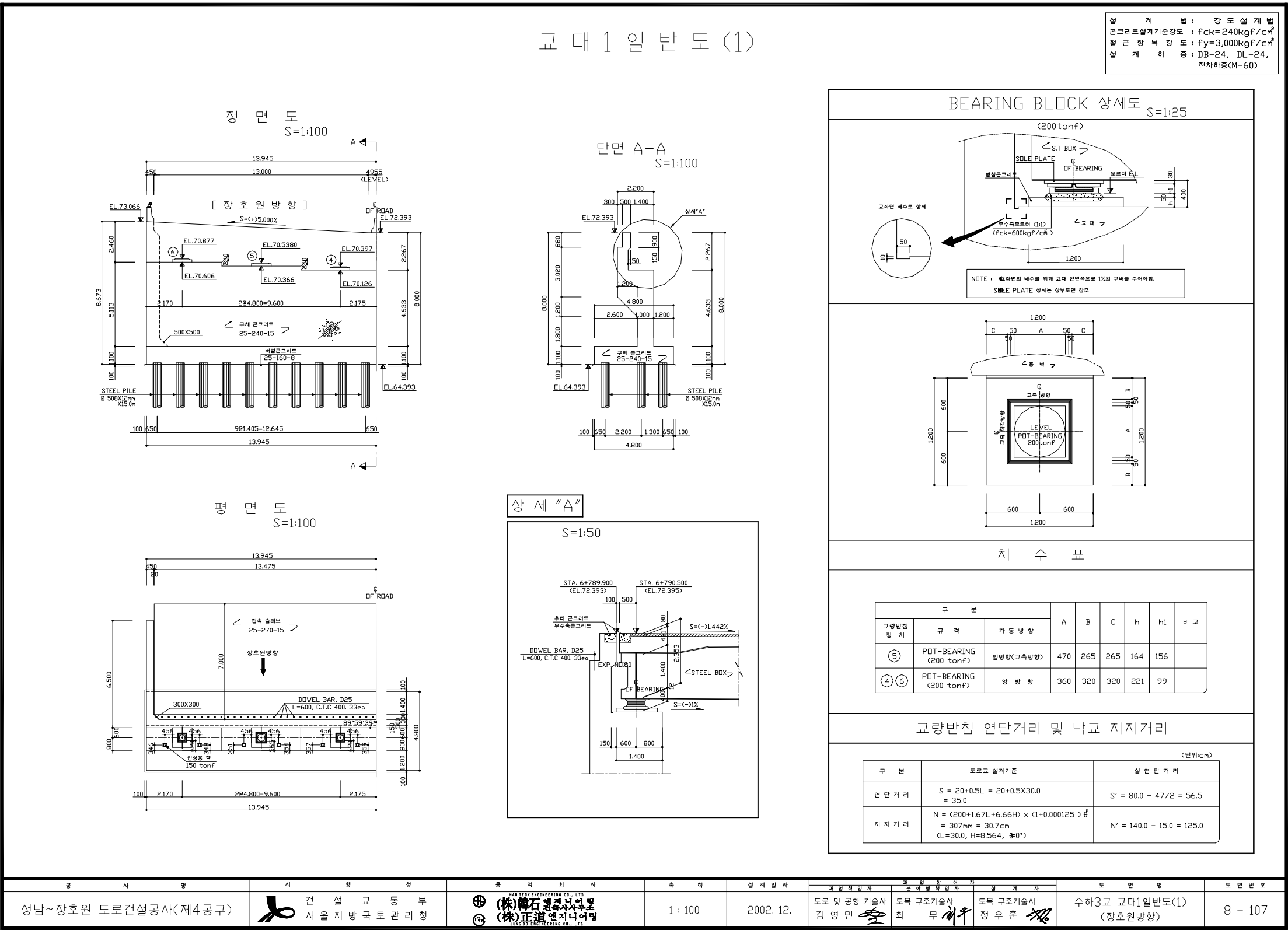




<그림 2.1.2> 수하3교 장호원방향 슬래브 일반도-1



<그림 2.1.3> 수하3교 장호원방향 슬래브 일반도-2

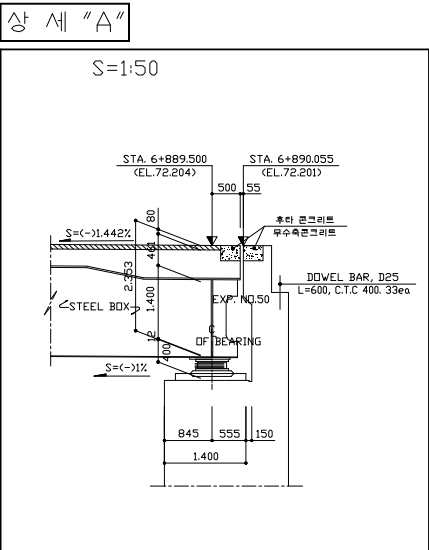
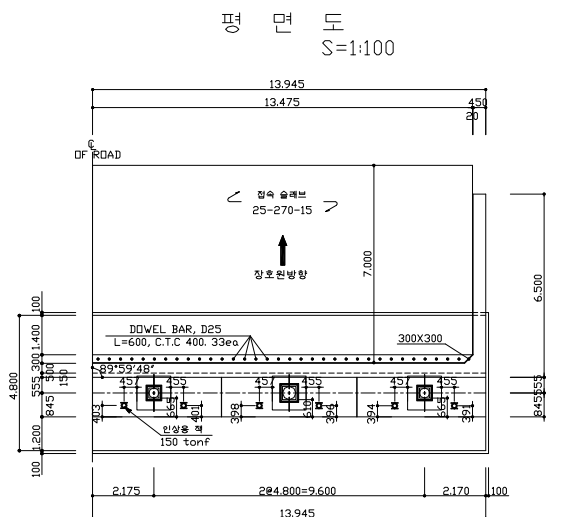
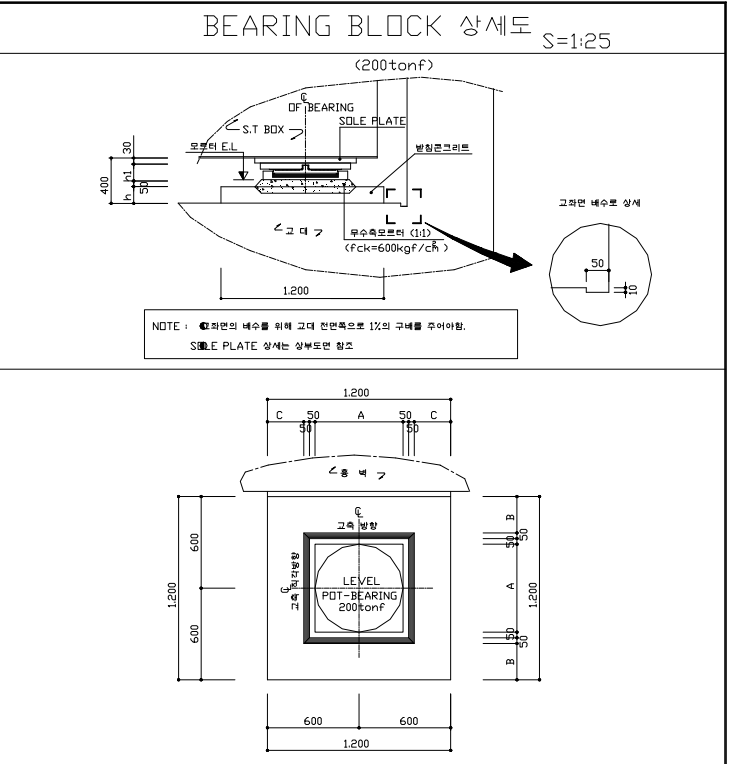
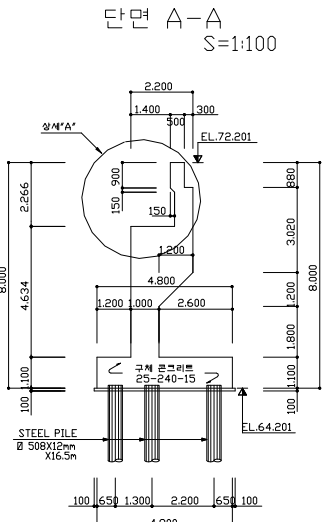
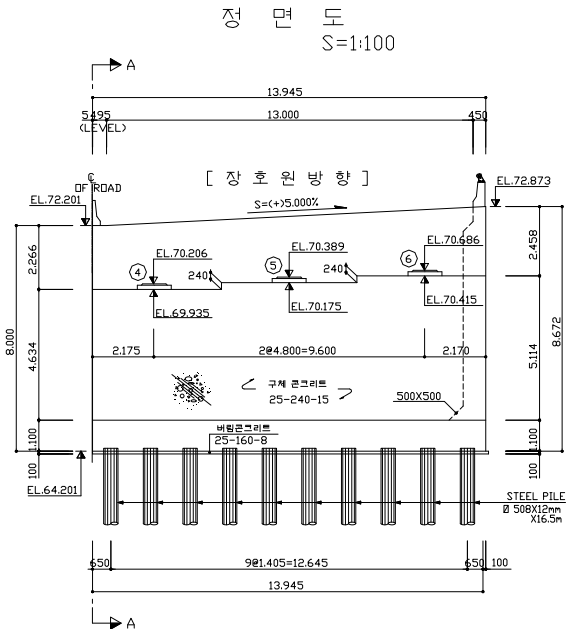


공 사 명	시 설 공 사 부	용 역 회 사	축 척	설 계 일 자	교 량 설 계 자	토 목 구 조 설 계 자	토 목 구 조 설 계 자	도 면 명	도 면 번 호
성남~장호원 도로건설공사(제4공구)	건 설 공 사 부 시 설 공 사 부	(株)韓石建設(주)正道엔지니어링	1 : 100	2002. 12.	도로 및 교량 기술사 김 영 민	토목 구조기술사 최 무	토목 구조기술사 정 우 준	수하3교 교대1일반도(1) (장호원방향)	8 - 107

<그림 2.1.4> 수하3교 장호원방향 교대 일반도-1

교대 2 일반도 (1)

설 계 법 : 강 도 설 계 법
콘크리트설계기준강도 : $f_{ck}=240\text{kgf/cm}^2$
철근항복강도 : $f_y=3,000\text{kgf/cm}^2$
설 계 하 중 : DB-24, DL-24,
전차하중(M-60)



치 수 표

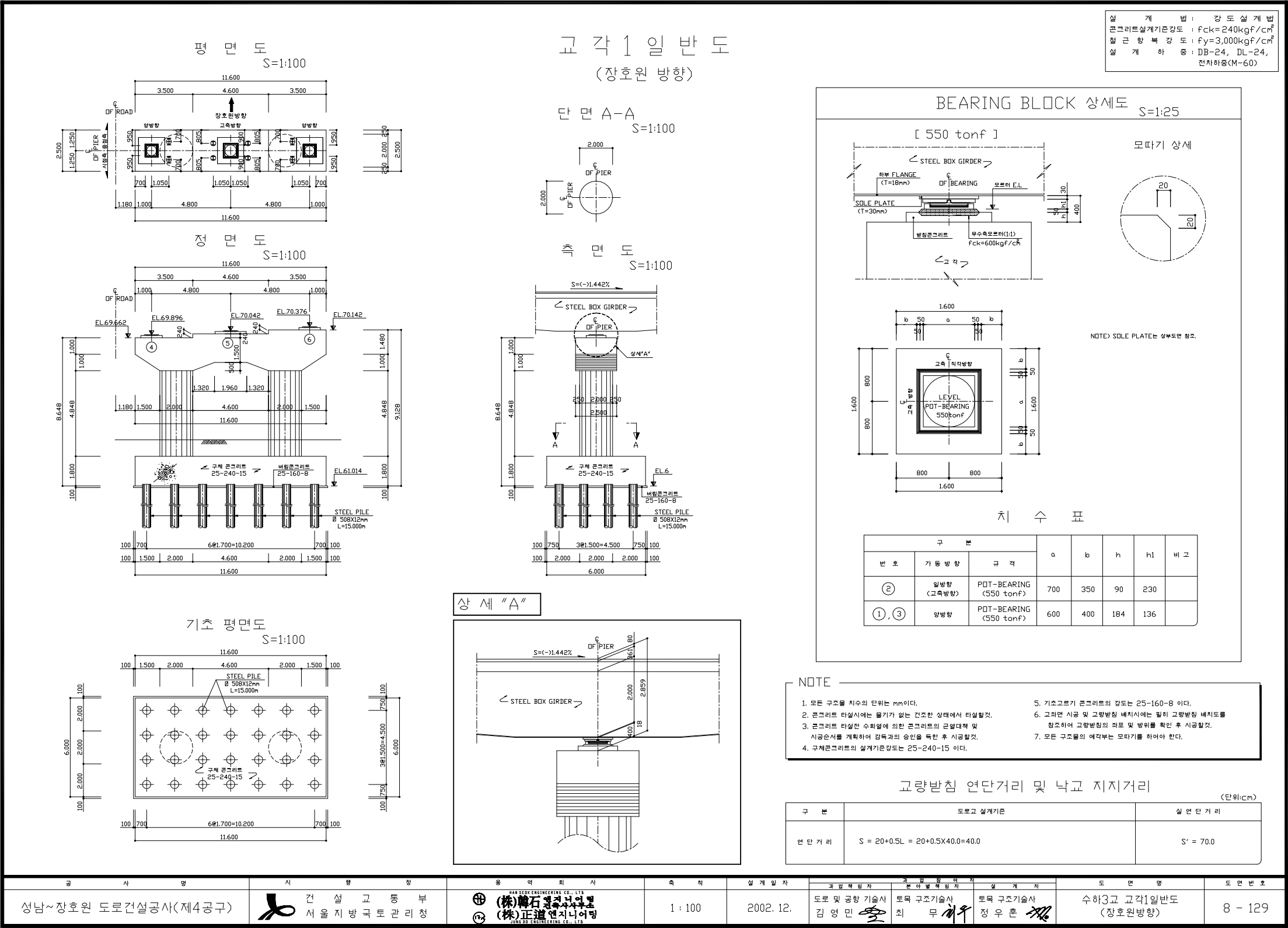
구 분		A	B	C	h	h1	비 고
교량받침 장 치	구 격						
⑤	POT-BEARING (200 tonf)	일방향(교축방향)	470	265	265	164	156
④ ⑥	POT-BEARING (200 tonf)	양 방 향	360	320	320	221	99

교량받침 연단거리 및 낙고 지지거리

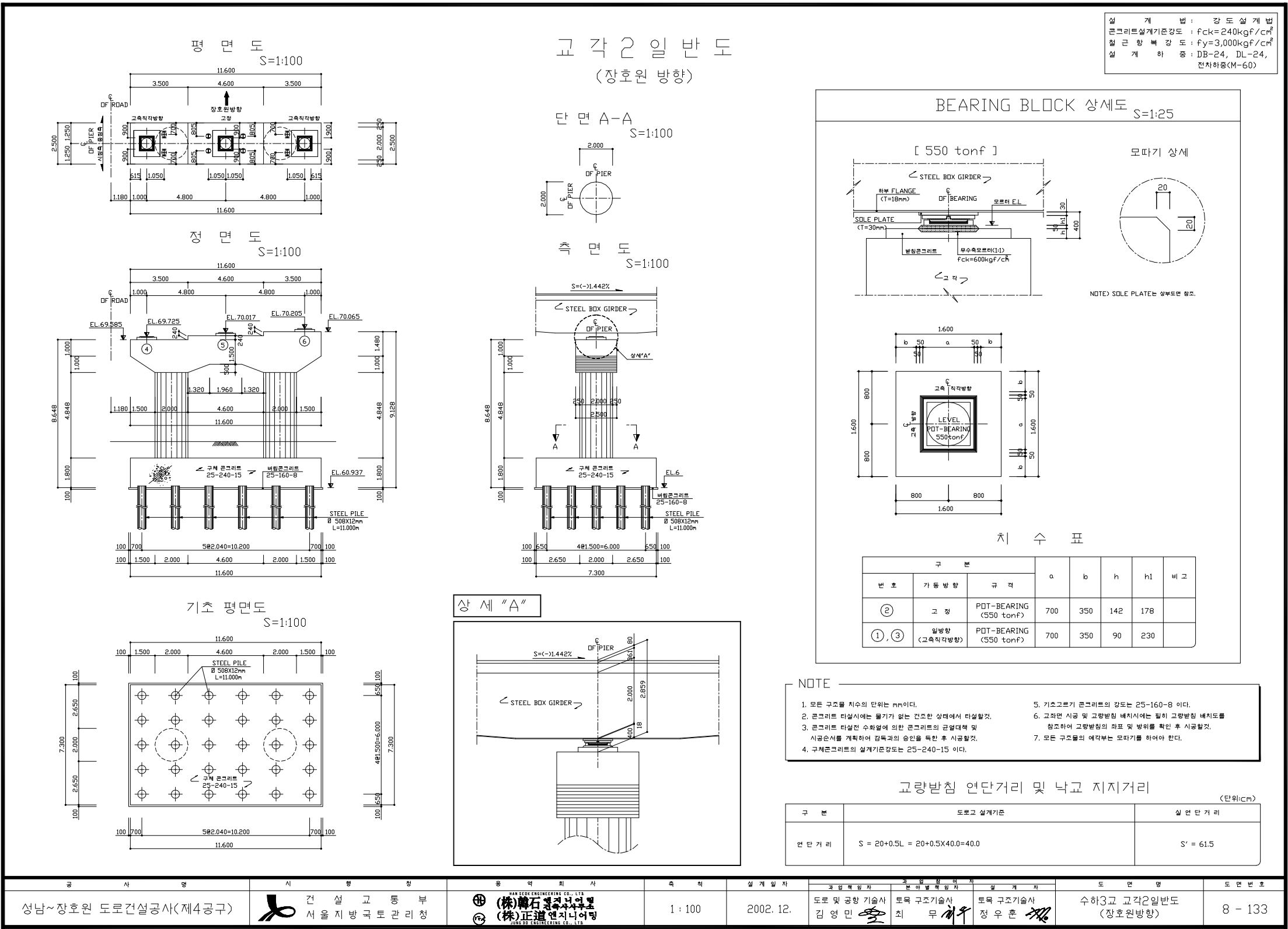
구 분	도로고 설계기준	실 연 단 거 리
연 단 거 리	$S = 20+0.5L = 20+0.5 \times 30.0 = 35.0$	$S' = 84.5 - 47/2 = 61.0$
지 지 거 리	$N = (200+1.67L+6.66H) \times (1+0.000125 \times \frac{L}{30.0})$ $= 307\text{mm} = 30.7\text{cm}$ ($L=30.0, H=8.564, \theta=0^\circ$)	$N' = 140.0 - 10.5 = 129.5$

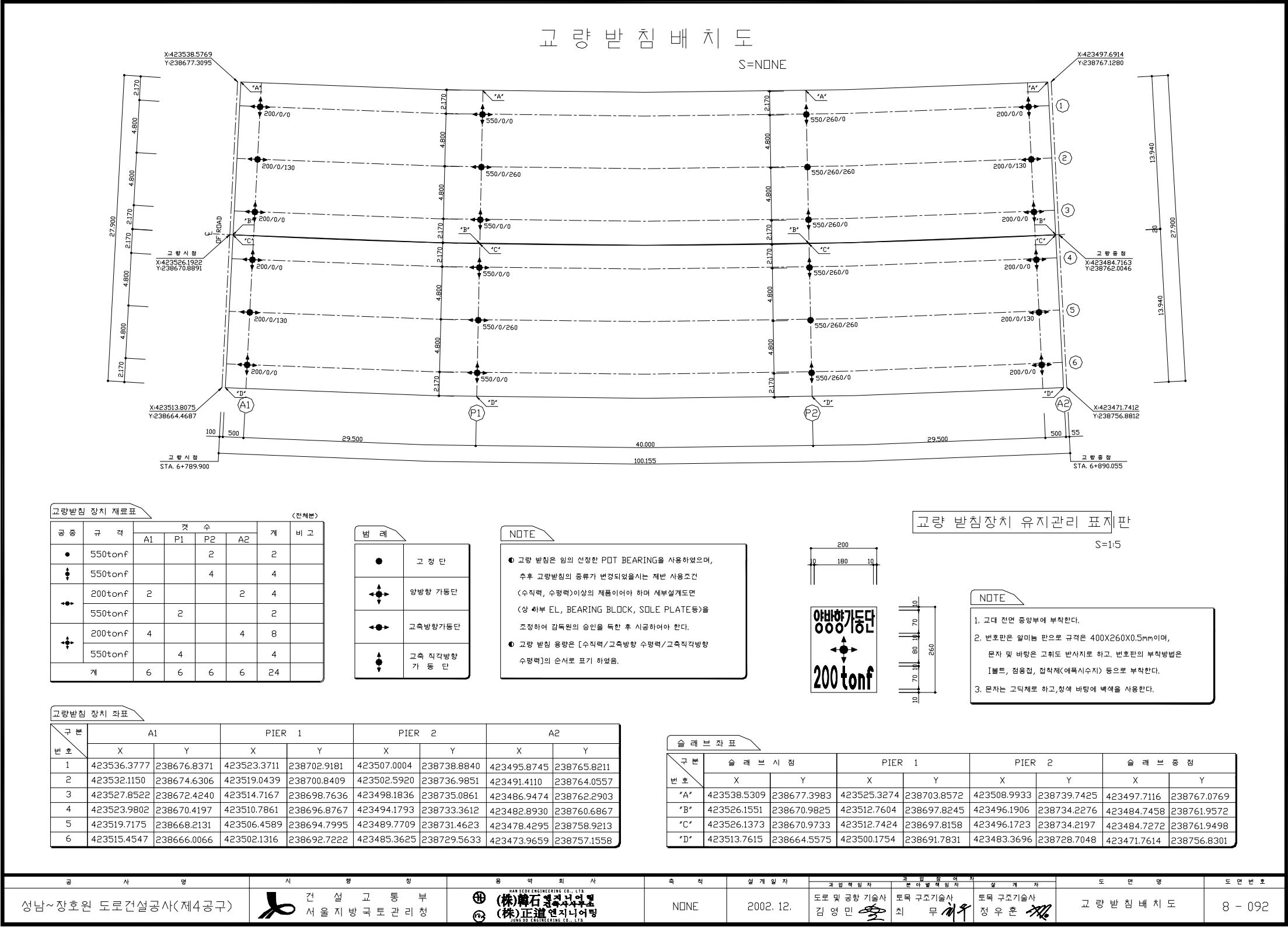
공 사 명	시 행 장	용 역 회 사	축 척	설 계 일 자	교 량 설 계 자	교 량 보 험 자	설 계 자	도 면 명	도 면 번 호
성남~장호원 도로건설공사(제4공구)	건 설 교 량 보 험 서울 지방 국토 관리 청	(株)韓石建設(주) 韓石建設(株) (株)正道엔지니어링 正道엔지니어링	1 : 100	2002. 12.	도로 및 교량 기술사 김 영 민	토목 구조기술사 최 무	토목 구조기술사 정 우 훈	수하3교 교대2일반도(1) (장호원방향)	8 - 114

<그림 2.1.5> 수하3교 장호원방향 교대 일반도-2



<그림 2.1.6> 수하3교 장호원방향 교각 일반도-1





<그림 2.1.8> 수하3교 교량받침 배치도

2.2 외관조사

2.2.1 장호원방향 상세외관조사

가. 교면 포장

본 교량의 교폭은 13.94m로 방호벽(0.45m), 중앙분리대(0.32m)를 고려한 유효폭은 13.17m이며, 편도 3차선으로 구성되어있다. 교면포장은 콘크리트 바닥판위에 두께 80mm의 아스콘 포장으로 시공되어 있으며 외관조사결과 포장면에 균열, 포트홀, 함몰 및 요철, 단차 등의 손상이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.



< 교면포장 상태 양호 >

< 교면포장 상태 양호 >

나. 방호벽 및 중앙분리대

본 교량의 바닥판상면 측면에는 콘크리트 방호벽 및 중앙분리대가 시공되어 있으며, 외관조사 결과 일부 구간에 균열, 백태 등의 손상이 발생된 것으로 조사되었다.

- 점검 후 관찰된 손상부위에 대한 보수를 진행 중인 것으로 확인되었다.

구 분	손상 내용	S1	S2	S3	합계	단위	비고
방호벽 및 중앙분리대	균열 및 백태 (0.3mm미만)	8.3/10	11.1/14	32.6/22	4.7/5	m/ea	



< S1 방호벽 균열 보수 >



< S3 방호벽 균열 보수 >



< S2 중앙분리대 균열 백태 발생 >



< 중앙분리대 보수 완료 >

다. 배수시설

본 교량은 횡구배(-5.0%)에 의해 좌측면으로 우수가 유입되도록 설계되어 있으며, 배수구 상면에는 쓰레기 등의 이물질 혼입을 방지하기 위한 그레이팅(Grating)이 설치되어 있는 상태이다.

시공상태는 배수구가 전반적으로 포장면보다 낮게 설치되어 우수시 배수여건은 양호한 상태이며, 배수구에 이물질이 없는 깨끗한 상태이고 배수관에는 파손, 이음부 어긋남 등이 없는 것으로 조사되었다.



< 배수구 시공 상태 >



< 배수관 시공 상태 >

라. 바닥판하면

본 교량의 바닥판 하면은 프리캐스트 콘크리트 판넬로 시공되었으며, 외관조사 결과 균열, 파손, 이격 등의 손상이 발생되지 않은 양호한 상태로 조사되었다.

또한, 캔틸레버부에도 손상은 없는 것으로 조사되었다.



< S1 바닥판하면 상태 양호 >



< S2 바닥판하면 캔틸레버부 상태 양호 >

마. GIRDER 및 가로보

본 교량은 3기의 Steel Box Girder로 구성되어 있으며 경간장은 30.0~40.0m이다. 외관조사는 교량점검차를 이용하여 박스 외부를 최대한 근접한 상태로 실시하였으며, 박스 내부는 도보를 통한 외관조사를 실시하였다. 점검결과 강재 변형, 도장 굽힘 및 탈락 등의 손상이 발생하지 않았고 연결부 볼트체결 상태도 양호한 것으로 확인되었다.



< 박스 외부 상태 양호 >



< 박스 외부 상태 양호 >



< 박스 내부 상태 양호 >



< 가로보 상태 양호 >

바. 신축이음 장치

신축이음장치는 A1(MONOCCELL), A2(MONOCCELL)에 시공되었으며, 하부 구조로의 우수유입을 차단하기 위한 차수판을 설치한 상태이다. 신축이음의 본체는 파손 및 누수, 신축유간부에 토사퇴적, 후타재 균열이 발생되지 않은 양호한 상태인 조사되었다.



< A2 신축이음장치 상태 양호 >

< A2 신축이음장치 후타재 상태 양호 >

사. 교량받침

본 교량의 받침장치는 POT BEARING 12개소로 설치되어 있으며, 받침 본체에 대한 현장조사 결과 변형 및 파손 등의 손상은 발생되지 않았으나, 일부 도장탈락이 발생한 상태이다. 받침 콘크리트 및 우수축 물탈에는 균열, 파손 등의 손상이 발생되지 않은 것으로 조사되었다.

- 점검 후 관찰된 손상부위에 대한 보수가 완료된 것으로 확인되었다.

구 분	손상 내용	A1	P1	P2	A2	합계	단위	비고
받침 장치	도장 탈락	0.06/2	-	-	0.04/1	0.1/3	m ² /ea	보수 완료



< A1 교량받침 상태 >

< P2 교량받침 상태 >

아. 교대

교대에 대한 외관조사결과 흥벽, 날개벽, 벽체에 일부 건조수축에 의한 균열, 망상균열 등의 손상이 발생한 상태이며, 신축이음부 실란트에 열화가 진행되고 있는 것으로 조사되었다.

- 점검 후 관찰된 손상부위에 대한 보수가 진행 중인 것으로 확인되었다.

구 분	손상 내용	A1	A2	합계	단위	비고
교 대	균열(CW:0.3mm미만)	2.0/2	3.1/4	5.1/6	m/ea	
	신축 이음부 실란트 열화	-	2.0/1	2.0/1	m/ea	
	망상균열	1.0/2	-	1.0/2	m ² /ea	



< 교대 A1 흥벽 균열 발생 >

< 교대 A2 흥벽 실란트 열화 발생 >

자. 교각

교각은 교량 상부구조의 하중을 지반으로 전달하며, 교량 전체 구조의 안전성을 위해 중요한 역할을 수행하는 구조부재로서 외관조사시 도보 및 교량점검차를 이용하여 최대한 근접하여 외관조사를 실시하였다.

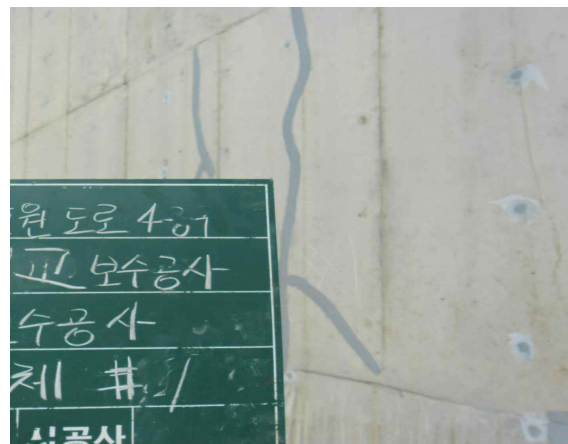
교각의 기초 형식은 PILE기초로 시공되었으며, 외관조사결과 기둥 및 코핑부에 부분적으로 균열, 망상균열 등의 손상이 발생한 것으로 조사되었다.

- 점검 후 관찰된 손상부위에 대한 보수가 진행중인 것으로 확인되었다.

구 분	손상 내용	P1	P2	합계	단위	비고
교 각	망상균열	0.15/1	-	0.15/1	m ² /ea	
	균열(0.3mm미만)	8.5/5	10.5/5	19.0/10	m/ea	



< 교각 P1 망상균열 발생 >



< 망상균열 보수 완료 >

2.3 교량받침 조사

2.3.1 교량받침 이동량조사

가. 교량받침 이동량 실측조사

1) 장호원방향

<표 2.3.1> 교량받침 이동량 실측조사 (장호원방향)

(단위 : cm)

위치	SH1		SH2		SH3		비고
	이동 방향	이동량	이동 방향	이동량	이동 방향	이동량	
A1	↕		↕		↕		↑ : A1측 ↓ : A2측 ← : 좌측 → : 우측
	↑	1.8	↑	1.3	↑	1.2	
P1	↕		↕		↕		
	↑	1.5	↑	1.0	↑	1.0	
P2	↔		•		↔		
	-	-	-	-	-	-	
A2	↕		↕		↕		
	↓	1.0	↓	1.0	↓	0.5	

나. 교량받침 이동량 산출 근거

구 분	신축장 100m 미만의 교량	신축장 100m 이상 초과 교량	비 고
기본 신축량	• 온도신축+건조수축+크리프 단) 상로교, 하로, 강상판교는 건조수축, 크리프 제외	• 온도신축+건조수축+크리프+빔의 회전	

※ 출처 : 도로교 설계 기준

1) A1

위 치	A1	측정일	2017.09.28
조사시 평균기온	24.0°	온도변화 범위	-10 ~ +40
선팅창계수(a)	1.2×10^{-5}	신축거더 길이(L)	69,500mm
온도변화에 의한 이동량	$\Delta l_t = \Delta T * a * L$ 신장량: $\Delta l_t = (40 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 69,500 = 13.3 \text{ mm}$ 수축량: $\Delta l_t = (-10 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 69,500 = 28.4 \text{ mm}$		

2) P1

위 치	P1	측정일	2017.09.28
조사시 평균기온	24.0°	온도변화 범위	-10 ~ +40
선팅창계수(a)	1.2×10^{-5}	신축거더 길이(L)	40,000mm
온도변화에 의한 이동량	$\Delta l_t = \Delta T * a * L$ 신장량: $\Delta l_t = (40 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 40,000 = 7.7 \text{ mm}$ 수축량: $\Delta l_t = (-10 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 40,000 = 16.3 \text{ mm}$		

3) A2

위 치	A2	측정일	2017.09.28
조사시 평균기온	24.0°	온도변화 범위	-10 ~ +40
선팅창계수(a)	1.2×10^{-5}	신축거더 길이(L)	29,500mm
온도변화에 의한 이동량	$\Delta l_t = \Delta T * a * L$ 신장량: $\Delta l_t = (40 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 29,500 = 5.7 \text{ mm}$ 수축량: $\Delta l_t = (-10 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 29,500 = 12.0 \text{ mm}$		

<표 2.3.2> 교량받침 이동량 산정 (장호원방향)

위치	온도변화(ΔT)		선팅창 계수	온도에 의한 이동량(mm)		최대받침이동량(mm)	
	동절기 (℃)	하절기 (℃)		동절기	하절기	동절기 (최대수축시)	하절기 (최대신장시)
A1	34.0	16.0	1.2×10^{-5}	28.4	13.3	28.4	13.3
P1	34.0	16.0	1.2×10^{-5}	16.3	7.7	16.3	7.7
A2	34.0	16.0	1.2×10^{-5}	12.0	5.7	12.0	5.7

<표 2.3.3> 교량받침 가동 여유량 조사결과 (장호원방향)

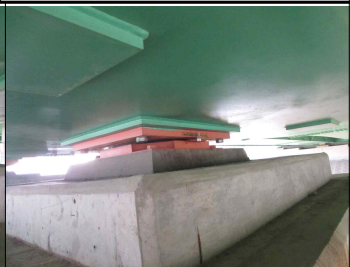
위 치		가동량 (mm)	이동량 (mm)	실측 받침 가동여유량(mm)		최대 받침 이동량(mm)		평가	비 고
				수축 여유량	신장 여유량	최대수축 이동량	최대신장 이동량		
A1	SH1	± 100	+18	118	82	28.4	13.3	OK	
	SH2	± 100	+13	113	87				
	SH3	± 100	+12	112	88				
P1	SH1	± 100	+15	115	85	16.3	7.7	OK	
	SH2	± 100	+10	110	90				
	SH3	± 100	+10	110	90				
A2	SH1	± 100	-10	110	90	12.0	5.7	OK	
	SH2	± 100	-10	110	90				
	SH3	± 100	-5	105	95				

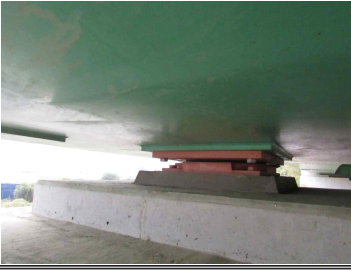
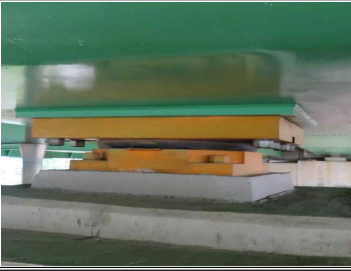
(이동량 ; +:A1측, -:A2측)

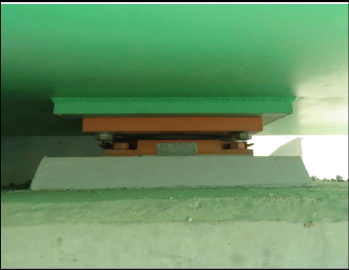
다. 고 찰

교량 받침 가동 여유량에 대한 분석 결과 수축·신장 여유량이 최대 수축·신장 이동량을 상회하는 것으로 나타나 본 과업대상 교량의 받침장치는 수축·신장에 따른 여유량을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.

라. 교량받침 사진

A1 - SH1			
내 용	정면	측면	
A1 - SH2			
내 용	정면	측면	
A1 - SH3			
내 용	정면	측면	
P1 - SH1			
내 용	정면	측면	
P1 - SH2			
내 용	정면	측면	

P1 - SH3			
내 용	정면	측면	
P2 - SH1			
내 용	정면	측면	
P2 - SH2			
내 용	정면	측면	
P2 - SH3			
내 용	정면	측면	
A2 - SH1			
내 용	정면	측면	

A2 - SH2			
내 용	정면	측면	
A2 - SH3			
내 용	정면	측면	

2.3.2 교량받침 연단거리조사

가. 교량받침 연단거리 측정

<표 2.3.4> 교량 받침 연단거리 측정 (장호원방향)

구 분	지간길이 (m)	최소값 (mm)	측 정 결 과(mm)			비 고
			SH1	SH2	SH3	
A1	29.5	348	680	680	670	
P1	40.0	400	900	900	950	
P2	40.0	400	900	900	900	
A2	29.5	348	700	710	700	

나. 교량받침 연단거리 산출근거

교축방향의 받침연단과 하부구조 정부연단 사이의 거리 $S(\text{mm})$ 는 다음의 값 이상으로 한다.(도로교설계기준)

- 거더의 경간길이 100m 이하인 경우

$$S = 200 + 5L \quad \dots\dots\dots <\text{식 2.1}>$$

- 거더의 경간길이 100m 이상인 경우

$$S = 300 + 4L \quad \dots\dots\dots <\text{식 2.2}>$$

여기서, S : 받침연단거리(mm), L : 경간길이(m)

다. 연단거리 평가

교대, 교각 받침장치에 대한 연단거리 측정결과 현장 실측치가 허용치(최소값)를 상회하는 것으로 조사되어 본 과업대상인 수하3교(장호원방향)는 충분한 연단거리를 확보하고 있는 것으로 검토되었다.



<그림 2.3.1> 연단거리 측정 (장호원방향)

2.4 신축이음장치 유간 조사

2.4.1 신축이음장치 현황

<표 2.4.1> 신축이음장치 현황

신축이음장치		지간범위	신축거더 길이	비고
위치	종류			
A1	MONOCELL	A1 ~ P2	69.5m	
A2	MONOCELL	P2 ~ A2	29.5m	

2.4.2 설계 신축량

<표 2.4.2> 설계신축량 검토

신축이음장치		계산 신축량 (mm)	설계 신축량 (mm)	판 정	비 고
위치	종 류				
A1	MONOCELL	60.0	80	OK	
A2	MONOCELL	31.2	50	OK	

2.4.3 신축이음부 유간 분석

<표 2.4.3> 신축이음부 유간 분석 - A1

위 치	A1	측정일	2017.09.28
조사시 평균기온	24.0°	온도변화 범위	-10 ~ +40
선팅창계수(a)	1.2×10^{-5}	신축거더 길이(L)	69,500mm
온도변화에 의한 이동량	$\Delta l_t = \Delta T * a * L$ 신장량: $\Delta l_t = (40 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 69,500 = 13.3 \text{ mm}$ 수축량: $\Delta l_t = (-10 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 69,500 = 28.4 \text{ mm}$		

<표 2.4.4> 신축이음부 유간 분석 - A2

위 치	A2	측정일	2017.09.28
조사시 평균기온	24.0°	온도변화 범위	-10 ~ +40
선팅창계수(a)	1.2×10^{-5}	신축거더 길이(L)	29,500mm
온도변화에 의한 이동량	$\Delta l_t = \Delta T * a * L$ 신장량: $\Delta l_t = (40 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 29,500 = 5.73 \text{ mm}$ 수축량: $\Delta l_t = (-10 - 24.0) \times (1.2 \times 10^{-5}) \times 29,500 = 12.0 \text{ mm}$		

2.4.4 신축이음부 유간 측정 결과

<표 2.4.6> 신축이음부 유간 측정 결과 (장호원방향)

구 분	계산 신축량 (mm)	설계 신축량 (mm)	계산치(mm)		측정 유간(mm)			판정	비 고
			신장량	수축량	신축유간 상부	신축유간 하부	거더간격		
A1	60.0	80	13.3	28.4	53	45	180	OK	
A2	31.2	50	5.73	12.0	34	60	143	OK	

신축이음장치 유간에 대한 분석결과 설계 신축량이 계산 신축량을 상회하고, 신축 유간 상·하부 및 거더에서 측정한 여유량이 계산 신장·수축량을 상회하는 것으로 나타나 본 대상교량은 신장·수축에 따른 충분한 유간을 확보하고 있는 것으로 분석되었다.



<그림 2.4.1> 신축이음 유간 측정

2.5 재료 시험

2.5.1 재료 시험 현황

본 과업에서는 대상 구조물의 구조부재에 대해 콘크리트 품질상태와 압축강도를 파악하기 위하여 반발경도시험, 철근배근탐사 및 탄산화 시험을 수행하여 콘크리트의 품질 및 내구성을 평가하였다.

2.5.2 콘크리트 강도 시험

가. 반발경도법에 의한 압축강도 측정

1) 장호원방향

<표 2.5.1> 반발경도법(일반식)에 의한 압축강도 측정(장호원방향)

측정위치		평균치	신뢰 범위	재평균 (R)	타격 각도 (°)	보정치 (ΔR)	보정 경도 (R_0)	압축강도 (MPa)		재형 계수 (α)	보정 압축강도 (MPa)		비고
								재료 학회	건축 학회		재료 학회	건축 학회	
바닥판	S2 바닥판 하면	52.6	42.1~63.1	52.6	90.0	-2.94	49.7	45.1	45.3	0.64	28.8	29.0	
평 균											28.8	29.0	
교대	A2 구체전면	47.1	37.6~56.5	47.1	0.0	0.0	47.1	41.8	43.5	0.64	26.7	27.8	
평 균											26.7	27.8	
교각	P1 기둥부	47.2	37.7~56.6	47.2	0.0	0.0	47.2	41.9	43.5	0.64	26.8	27.9	
평 균											26.8	27.9	

나. 반발경도법에 의한 압축강도 평가 및 고찰

1) 압축강도 평가

① 장호원방향

<표 2.5.2> 반발경도법에 의한 압축강도 평가(장호원방향)

측정위치		측정강도(A)		설계기준 강도(B)	A/B*100		비 고
		재료학회	건축학회		재료학회	건축학회	
바닥판	S2 바닥판하면	28.8 MPa	29.0 MPa	27 MPa	106.7 %	107.4 %	
교 대	A2 구체전면	26.7 MPa	27.8 MPa	24 MPa	111.3 %	115.8 %	
교 각	P1 기둥부	26.8 MPa	27.9 MPa	24 MPa	111.7 %	116.3 %	

2) 고찰

일반식(일본재료학회, 건축학회)을 이용하여 콘크리트 비파괴강도 측정을 시행한 결과, 장호원방향 상부구조물(바닥판하면)은 28.8~29.0MPa, 하부구조물 교대는 26.7~27.8MPa, 교각은 26.8~27.9MPa로 측정되었다.

반발경도 각각의 측정치가 부재별 설계기준 강도(바닥판하면:27.0MPa, 교대:24.0MPa, 교각:24.0MPa)를 상회하는 것으로 나타나 콘크리트 강도는 양호한 것으로 분석되었다.

2.5.3 철근배근 탐사

가. 철근배근 측정

1) 장호원방향

<표 2.5.3> 철근배근 탐사 시험(장호원방향)

측정위치		배근종류	설 계(mm)		측 정(mm)		비 고
			간격	피복두께	간격	피복두께	
바닥판	S3 바닥판 하면	종방향 철근	125	48	128	53	
		횡방향 철근	125	32	126	36	
교 각	P2 기둥부	수직철근	100	92.5	112	94	
		수평철근	100	67.5	103	69	

나. 고찰

OK0-2를 이용하여 철근배근탐사를 시행하였으며, 측정 결과는 설계배근간격과 설계피복두께를 만족하고 있는 것으로 조사되어 시공상의 철근배근 및 피복두께 상태는 적정한 것으로 분석된다.



<그림 2.5.1> 재료시험 측정

2.5.5 재료시험 결과 요약

<표 2.5.5> 재료시험 결과 요약①(장호원방향)

종 류		결 과							검 토	
콘크리트 강도 시험	반발 경도법	측정위치		측정강도(A)		설계 기준 강도 (B)	A/B*100		비 고	■ 콘크리트 강도 양호한 상태임
				재료학회	건축학회		재료학회	건축학회		
		바닥판	S2 바닥판 하면	28.8 MPa	29.0 MPa	27 MPa	106.7 %	107.4 %		
		교 대	A2 구체전면	26.7 MPa	27.8 MPa	24 MPa	111.3 %	115.8 %		
		교 각	P1 기동부	26.8 MPa	27.9 MPa	24 MPa	111.7 %	116.3 %		
철근 배근 탐사 시험		측정위치		배근종류	설 계(mm)		측 정(mm)		비 고	■ 철근배근 양호한 상태임
					간격	피복두께	간격	피복두께		
		바닥판	S3 바닥판 하면	종방향 철근	125	48	128	53		
				횡방향 철근	125	32	126	36		
		교 각	P2 기동부	수직철근	100	92.5	112	94		
수평철근	100			67.5	103	69				

2.6 시설물의 상태평가

2.6.1 개 요

상태평가 등급산정은 한국시설안전공단에서 제공하는 교량상태평가 프로그램 (Bridge Level2)을 이용하여 산정하였으며 결과는 다음과 같다.

2.6.2 상태평가 결과

<표 2.6.1> 상태평가 결과 (장호원방향)

부재의 분류	상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성 요소	
	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	하부	기초	탄산화 (상)	탄산화 (하)
STB[1]	a	a	a	a	a	a	a	a	a	N/A	N/A	N/A
STB[2]	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	N/A	N/A	N/A
STB[3]	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	N/A	N/A	N/A
STB[4]	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	a	a	a	N/A	N/A	N/A
평균	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	N/A	N/A	N/A
가중치	18	20	5	7	3	2	9	9	20	0	4	3
(평균X가중치) /가중치합	0.018	0.020	0.005	0.007	0.003	0.002	0.009	0.009	0.020	N/A	N/A	N/A
1. 환산결함도 점수 =											0.093	
2. 상태평가 결과 =											a	

<표 2.6.2> 전체 상태평가 결과 (장호원방향)

교량명	환산 결함도점수	상태평가 등급	연장 (M)	차선	길이 X 차선	연장비	환산결함도 점수 X 연장비
수하3교 (장호원방향)	0.093	A	100	3	300	1.000	0.093
합계(Σ)			100		300	1.00	0.093
1. 결함지수 =							0.093
2. 상태평가 결과 =							A 등급

본 교량의 상태등급평가는 「안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(국토교통부, 한국시설안전공단, 2017.01)」에 의거 각 부재에 대해 각각 실시하였으며, 육안조사에 의한 외관조사 상태평가를 실시하였다. 이에 따른 상태평가 산정결과 결함지수는 0.093로서 상태평가 등급은 “A” 등급($0 \leq x < 0.13$)의 “문제점이 없는 최상의 상태”인 것으로 평가되었다.

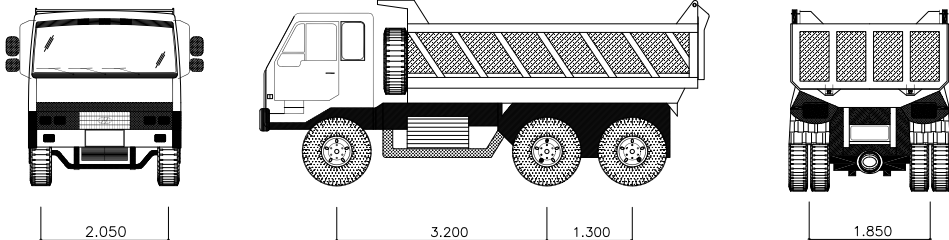
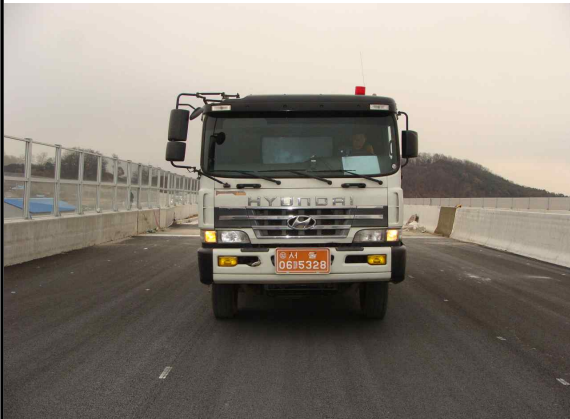
2.7 재하시험

2.7.1 재하차량 및 시험구간 선정

가. 재하차량

현 초기점검에서 재하시험 시행 시에는 15t 덤프트럭을 이용하여 교량의 허용하중 60%이상 토사를 상재시켜 재하시험을 하는 것으로 규정하고 있으므로 이에 따라 재하시험을 실시하였다. 또한 만재된 상태의 각 차륜하중을 계량소에서 측정 기록하였으며, 사용된 트럭의 제원 및 차륜하중은 <표2.7.1>과 같다.

<표 2.7.1> 재하차량 제원

																									
	계 량 확 인 서 공급받는자용 <table border="1"> <tr><td>일 자</td><td>2017-11-20</td></tr> <tr><td>차 량 번 호</td><td>5328</td></tr> <tr><td>거 래 처</td><td></td></tr> <tr><td>품 명</td><td>공인계량</td></tr> <tr><td>총 중 량</td><td>10시01분 27,490 kg <i>초</i></td></tr> <tr><td>공 시 중 량</td><td>10시01분 20,180 kg <i>후</i></td></tr> <tr><td>실 중 량</td><td>7,310 kg <i>미</i></td></tr> <tr><td>감 울 / 감 량</td><td>0 kg</td></tr> <tr><td>인 수 량</td><td>7,310 kg</td></tr> <tr><td>단 가 / 총 액</td><td>0 원 / 0 원</td></tr> <tr><td>계 량 자</td><td></td></tr> <tr><td>비 고</td><td></td></tr> </table> 상기와 같이 계량하였음을 확인함. 126-28-13456 삼순공인계량소 김은영  경기도 성남시 초이동 199-2 도 · 주 · 면 공병고용기단 서 비 스 공인계량소 삼순공인계량소 TEL: 021429-1735 FAX: 021429-1725	일 자	2017-11-20	차 량 번 호	5328	거 래 처		품 명	공인계량	총 중 량	10시01분 27,490 kg <i>초</i>	공 시 중 량	10시01분 20,180 kg <i>후</i>	실 중 량	7,310 kg <i>미</i>	감 울 / 감 량	0 kg	인 수 량	7,310 kg	단 가 / 총 액	0 원 / 0 원	계 량 자		비 고	
일 자	2017-11-20																								
차 량 번 호	5328																								
거 래 처																									
품 명	공인계량																								
총 중 량	10시01분 27,490 kg <i>초</i>																								
공 시 중 량	10시01분 20,180 kg <i>후</i>																								
실 중 량	7,310 kg <i>미</i>																								
감 울 / 감 량	0 kg																								
인 수 량	7,310 kg																								
단 가 / 총 액	0 원 / 0 원																								
계 량 자																									
비 고																									
재하시험 차량	계량증명서																								

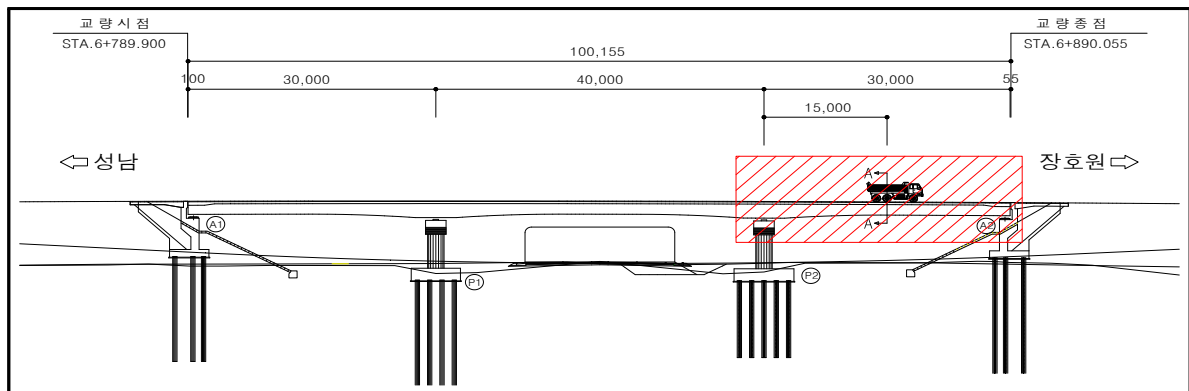
구 분 (차량번호)	차 륜 별 축 중 (kN)			총중량
	1축(전륜)	2축(후륜)	2축(후륜)	
5328	73.10	100.90	100.90	274.90

나. 시험구간 선정

본 수하3교 장호원방향 3경간에 재하시험을 실시하였으며, 교량형식은 Steel Box Girder교로서 시험경간 선정은 대상교량의 구조적 특성 및 차량통제 등을 고려하여 구조적으로 가장 불리하고 Gauge 부착 및 측정 장비의 설치, 시험차량의 가속거리 등의 현장여건을 종합적으로 고려하여 다음과 같이 선정하였다.

<표 2.7.2> 시험구간의 선정사유

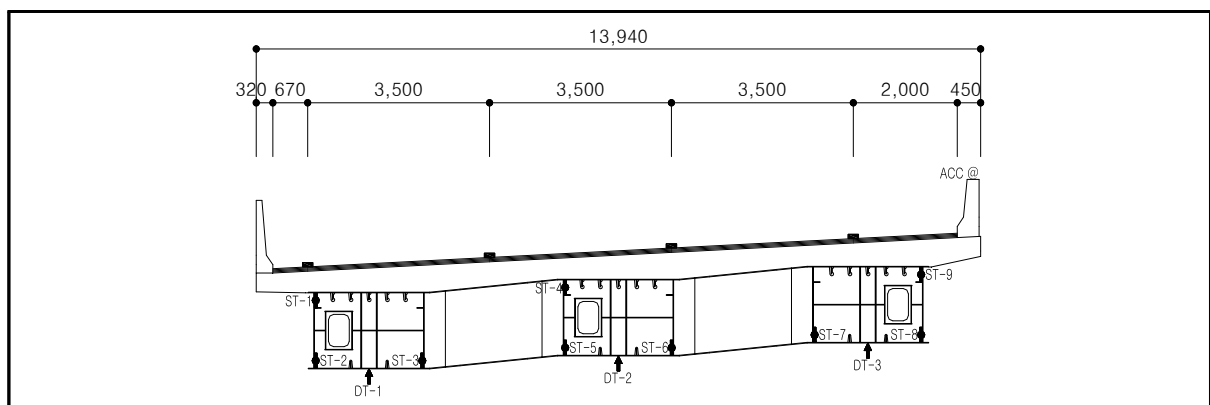
시험경간/지점	지간장(L)	선 정 사 유	비 고
S3 (L/2부)	30.0m	최대 정모멘트 작용구간	



<그림 2.7.1> 종단면도 및 시험구간

다. 센서 설치위치 및 수량

본 교량에서는 최대단면력 발생단면을 측정단면으로 선정하고 처짐계, 변형률계 및 진동가속도계를 <그림 2.7.2>, <그림 2.7.3>, <표 2.7.3>과 같이 설치하였다.

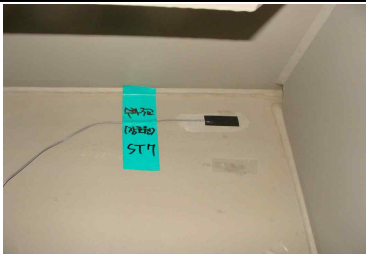
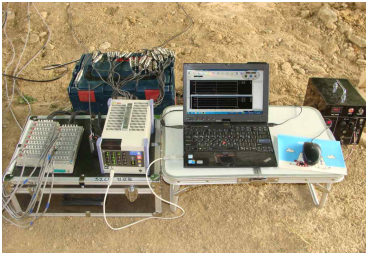


<그림 2.7.2> 게이지 부착위치

<표 2.7.3> 각 단면별 게이지 부착현황

기 호	게이지 종류	용 도	비 고
○	Steel Strain Gauge	변형률 측정	휨
▲	처짐계(Displacement)	변위 측정	처짐
@	가속도계(Accelerometer)	가속도 측정	고유진동수

부착경간	구 분		부착위치	측정내용
S3 L/2지점 (A-A 단면)	변위계	DT1	G1 하연 중앙	최대변위
		DT2	G2 하연 중앙	최대변위
		DT3	G3 하연 중앙	최대변위
	변형률계	ST1	G1 좌측 상연	최대변형률
		ST2	G1 좌측 하연	최대변형률
		ST3	G1 우측 하연	최대변형률
		ST4	G2 좌측 상연	최대변형률
		ST5	G2 좌측 하연	최대변형률
		ST6	G2 우측 하연	최대변형률
		ST7	G3 좌측 하연	최대변형률
		ST8	G3 우측 하연	최대변형률
		ST9	G3 우측 상연	최대변형률
	가속도계	ACC	좌측 방호벽	진동가속도

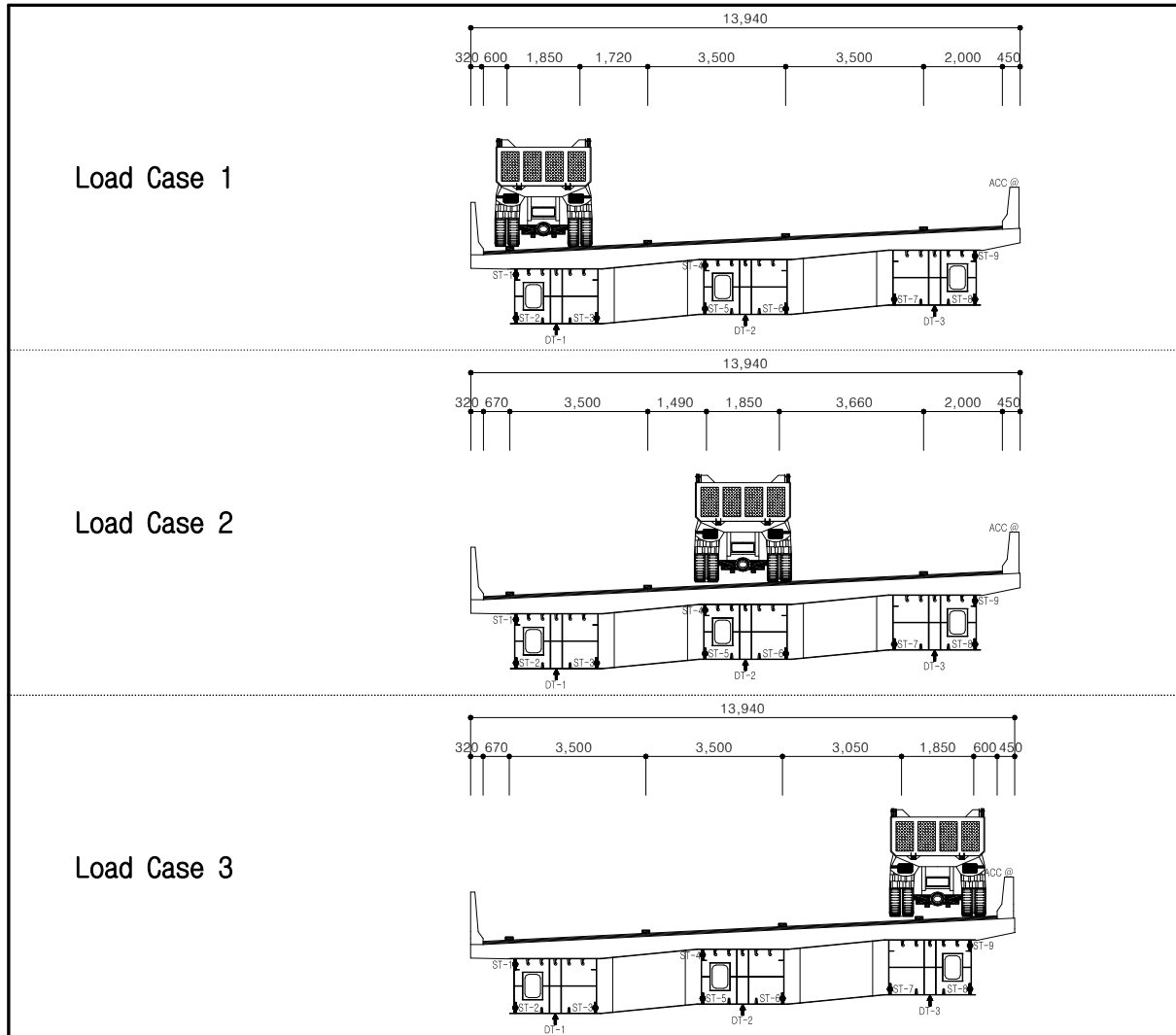
관 련 사 진			
	변형률계 설치 현황	처짐계 설치 현황	가속도계 설치현황
			
	정적재하시험	동적재하시험	데이터 수집 현황

<그림 2.7.3> 게이지 부착 상태

2.7.2 재하시험 결과

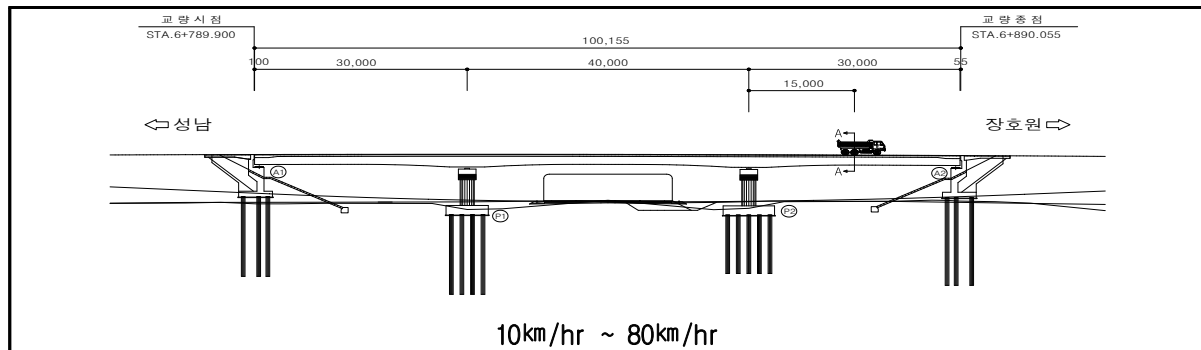
가. Load Case별 재하위치

정적 재하시험의 경우 시험차량 1대를 이용하여 <그림 2.7.4>와 같이 LC 1 ~ LC 3까지 대상교량의 각 축점에 대한 최대응답을 얻고 대칭성을 가지도록 시점(A1)에서 종점(A2)방향으로 진행하며 시험차량을 재하 하였다.



<그림 2.7.4> 정적재하시험 위치별 Load Case

동적 재하시험의 경우 정적 재하시험과 동일한 차량을 이용하여 <그림 2.7.5>와 같이 시속 10km/hr부터 시작하여 80km/hr까지 현장의 여건을 고려하여 시험차량의 최대속도까지 주행하도록 하여 동적시험을 실시하였으며, 주행방향은 시점(A1)에서 종점(A2)방향으로 진행하며 시험차량을 주행하였다.



<그림 2.7.5> 동적재하시험 시험구간

나. 정적 재하시험 결과

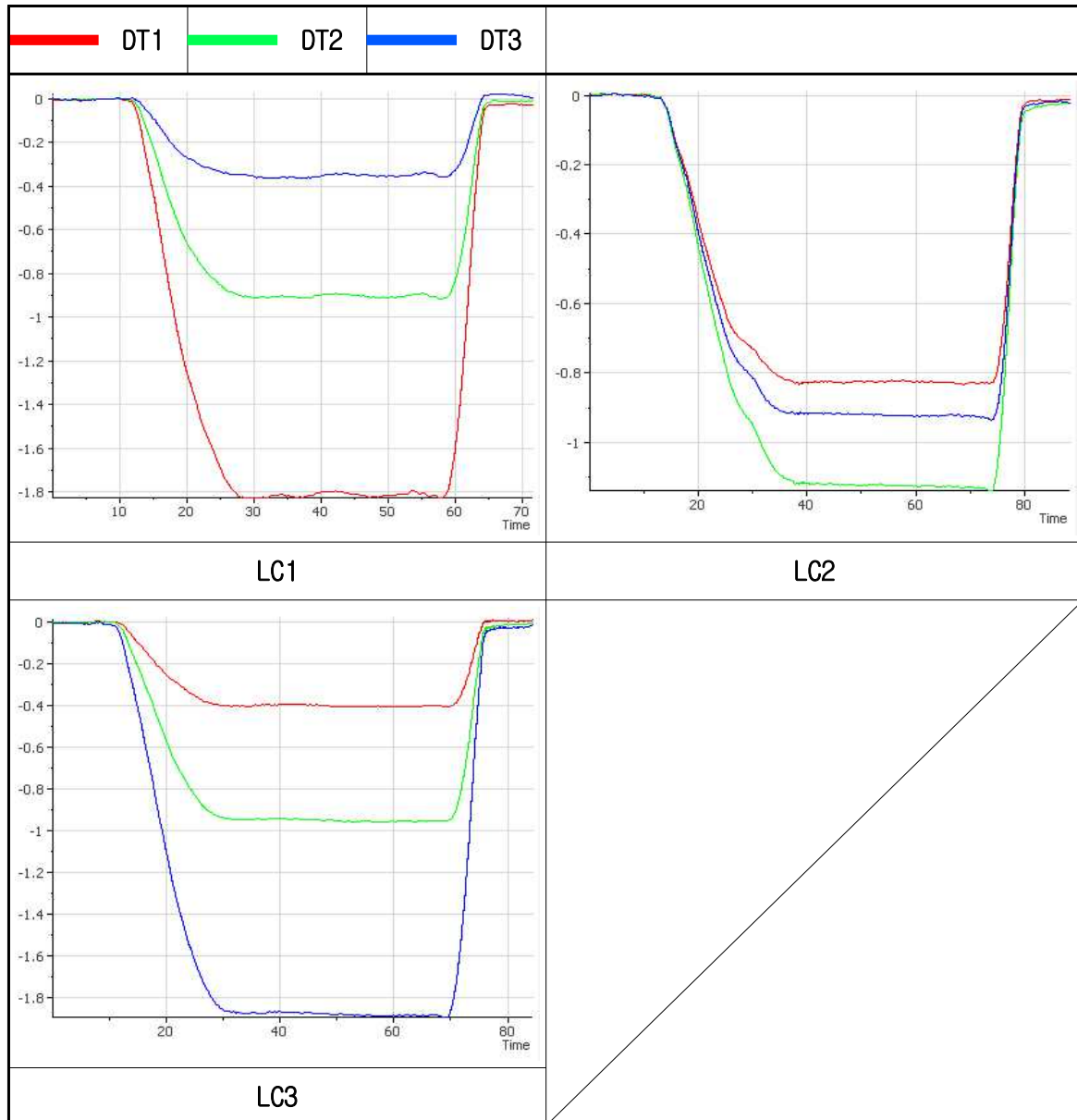
1) 처짐 측정결과

대상 교량의 각 측정위치에 대한 처짐 측정결과는 <표 2.7.4>,<그림 2.7.6>과 같다.

<표 2.7.4> 처짐 측정결과

(단위 : mm, - : 처짐, + : 상승)

구 분		DT1	DT2	DT3	비고
S3	LC1	-1.808	-0.899	-0.345	
	LC2	-0.825	-1.121	-0.918	
	LC3	-0.401	-0.951	-1.879	



<그림 2.7.6> 처짐 측정결과

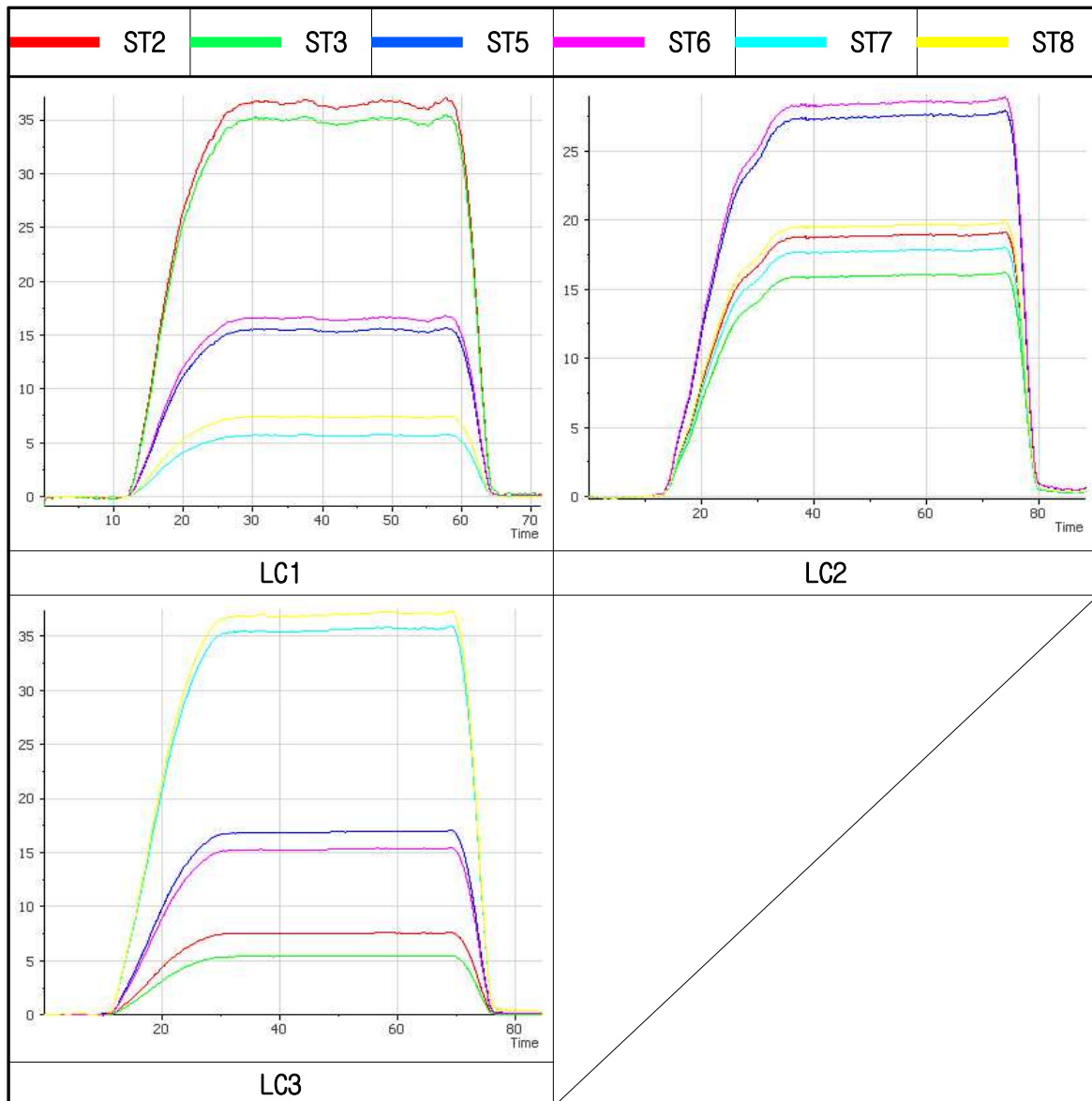
2) 변형률 측정결과

대상 교량의 각 측정위치에 대한 변형률 측정결과는 <표 2.7.5>,<그림 2.7.7>과 같다.

<표 2.7.5> 변형률 측정결과

(단위 : μm , - : 압축, + : 인장)

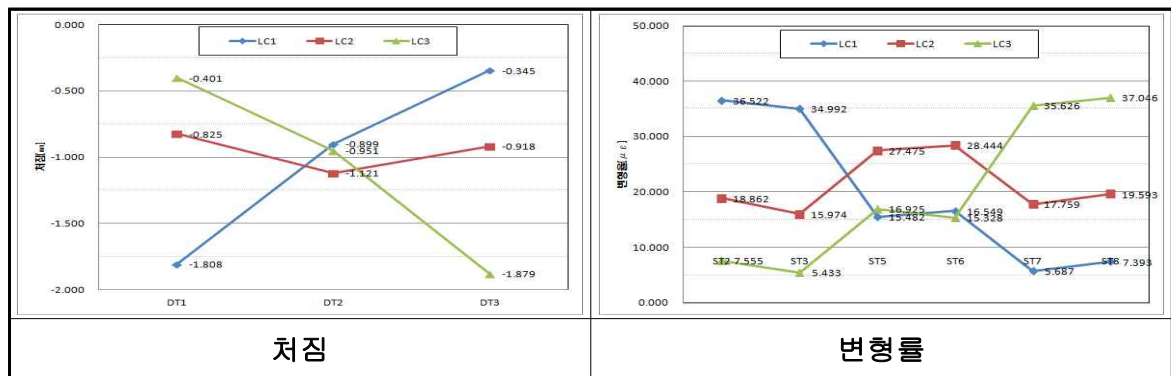
구 분		ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	ST7	ST8	ST9	비고
S3	LC1	-8.486	36.522	34.992	-3.774	15.482	16.549	5.687	7.393	-1.797	
	LC2	-4.315	18.862	15.974	-6.473	27.475	28.444	17.759	19.593	-4.809	
	LC3	-1.766	7.555	5.433	-3.974	16.925	15.328	35.626	37.046	-9.096	



<그림 2.7.7> 변형률 측정결과

3) 대칭성 분석

대칭성이란 대칭구조의 교량부재에 하중을 재하하면 측정 결과는 대칭성을 보여 주게 된다는 것이다. 즉, 현장에서 측정된 데이터를 이용하여 현 상태의 교량이 시공 시 설계도면에 따라 시공이 되었는지의 검증유무 및 현 상태의 거동특성을 데이터의 대칭성 분석을 통하여 판단할 수가 있다.



<그림 2.7.8> 처짐 및 변형률 대칭성 분석 - S3

<그림 2.7.8>과 같이 횡방향에 대한 대칭성 분석결과 하중의 분배상태가 대칭적으로 나타나고 있어 횡방향에 대한 구조물의 거동은 양호한 것으로 평가되었다.

다. 동적 재하시험 결과

1) 재하차량 주행 방향 및 속도

동적 재하시험 시 재하차량의 주행 방향은 시점(A1)에서 종점(A2)방향으로 주행토록 하였으며, 10km/hr에서 부터 주행 가능한 최대속도(80km/hr)까지 측정하였다.

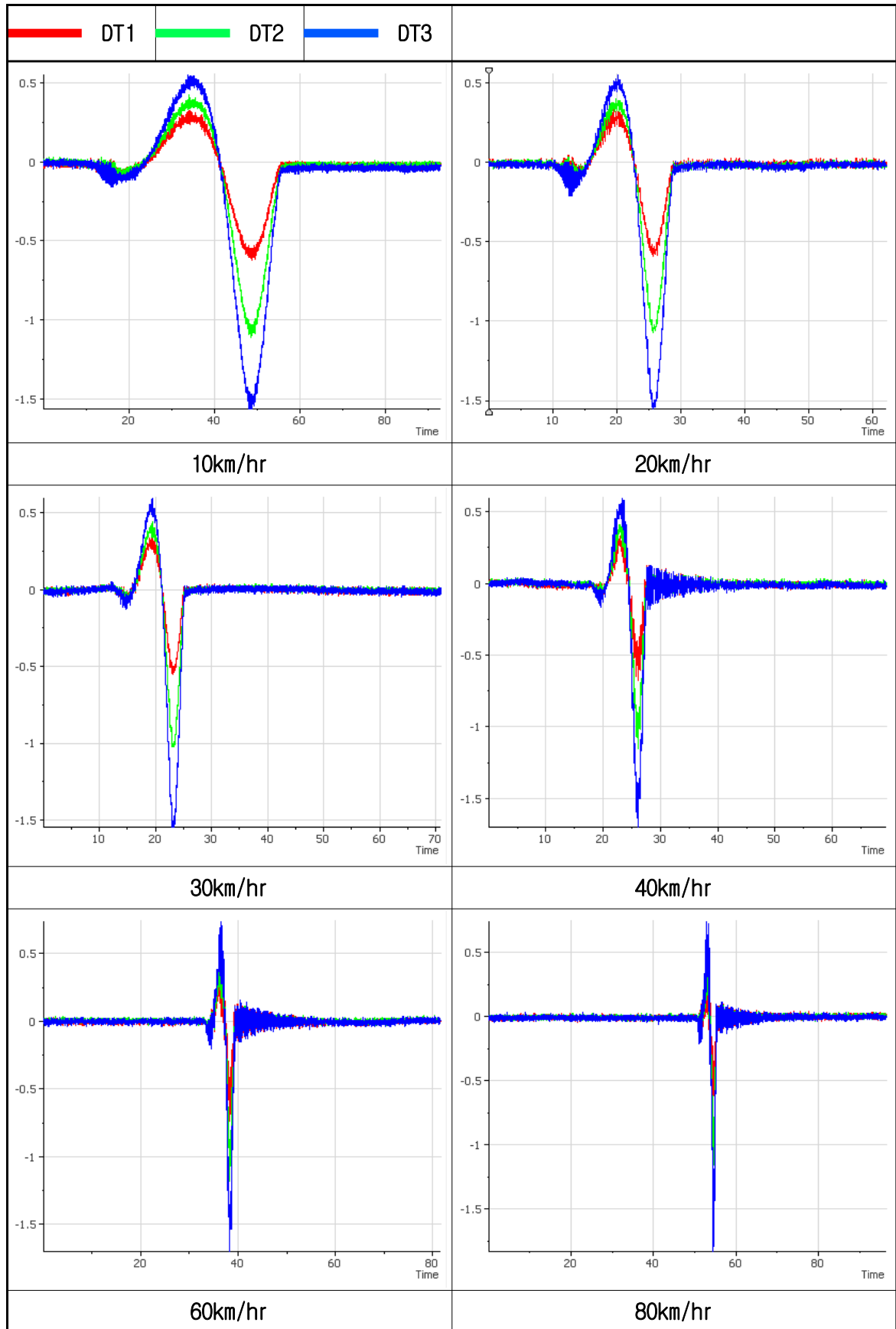
2) 동적 처짐 측정 결과

동적 재하시험 측정 결과 처짐에 대한 측정 결과는 <표 2.7.6>, <그림 2.7.9>와 같다.

<표 2.7.6> 동적 처짐 측정결과

(단위 : mm)

구 분		DT1	DT2	DT3	비 고
S3	10km/hr	-0.621	-1.110	-1.567	
	20km/hr	-0.588	-1.068	-1.555	
	30km/hr	-0.555	-1.025	-1.550	
	40km/hr	-0.677	-1.153	-1.703	
	60km/hr	-0.738	-1.179	-1.703	
	80km/hr	-0.721	-1.169	-1.834	

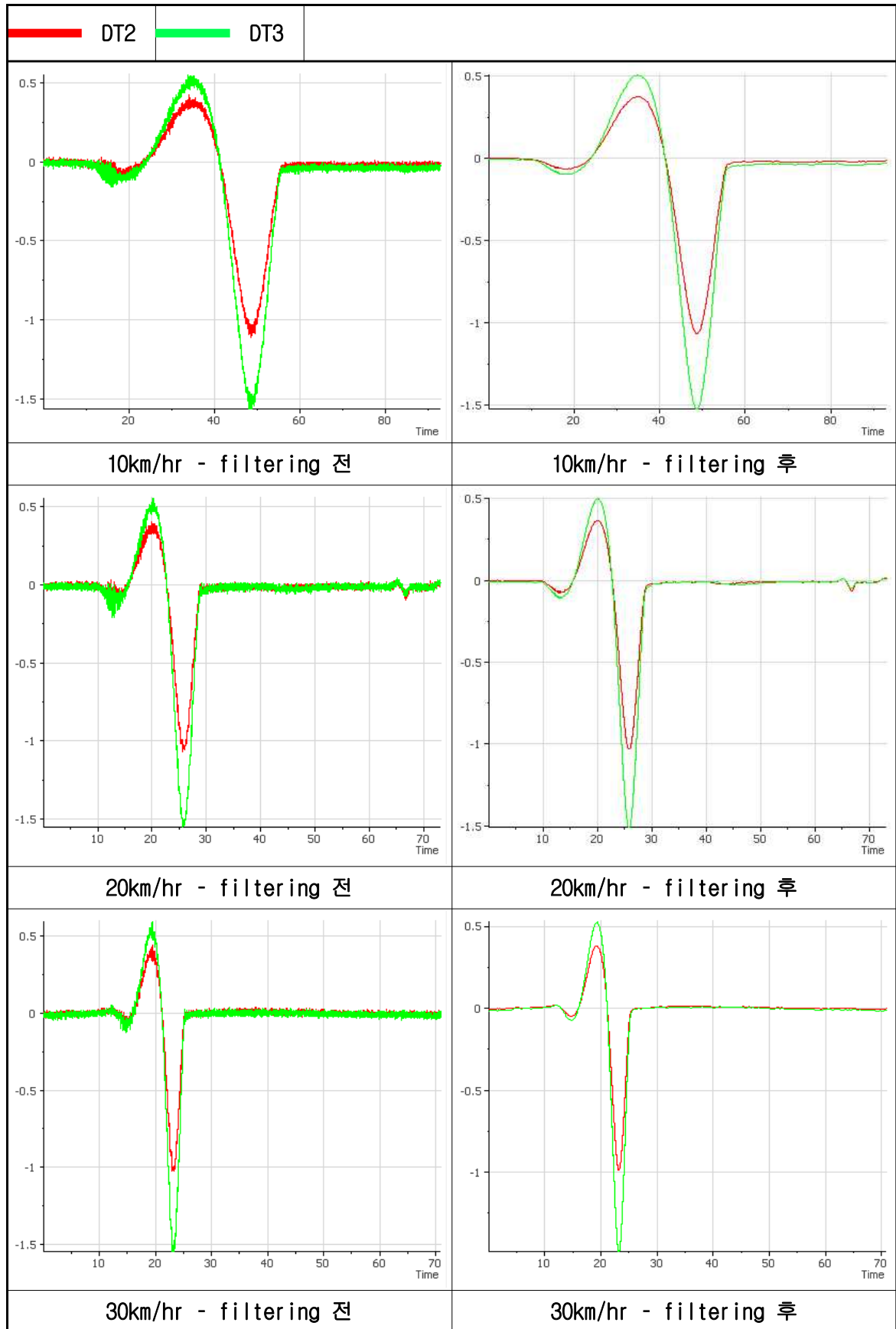


<그림 2.7.9> 동적 처짐 측정 결과

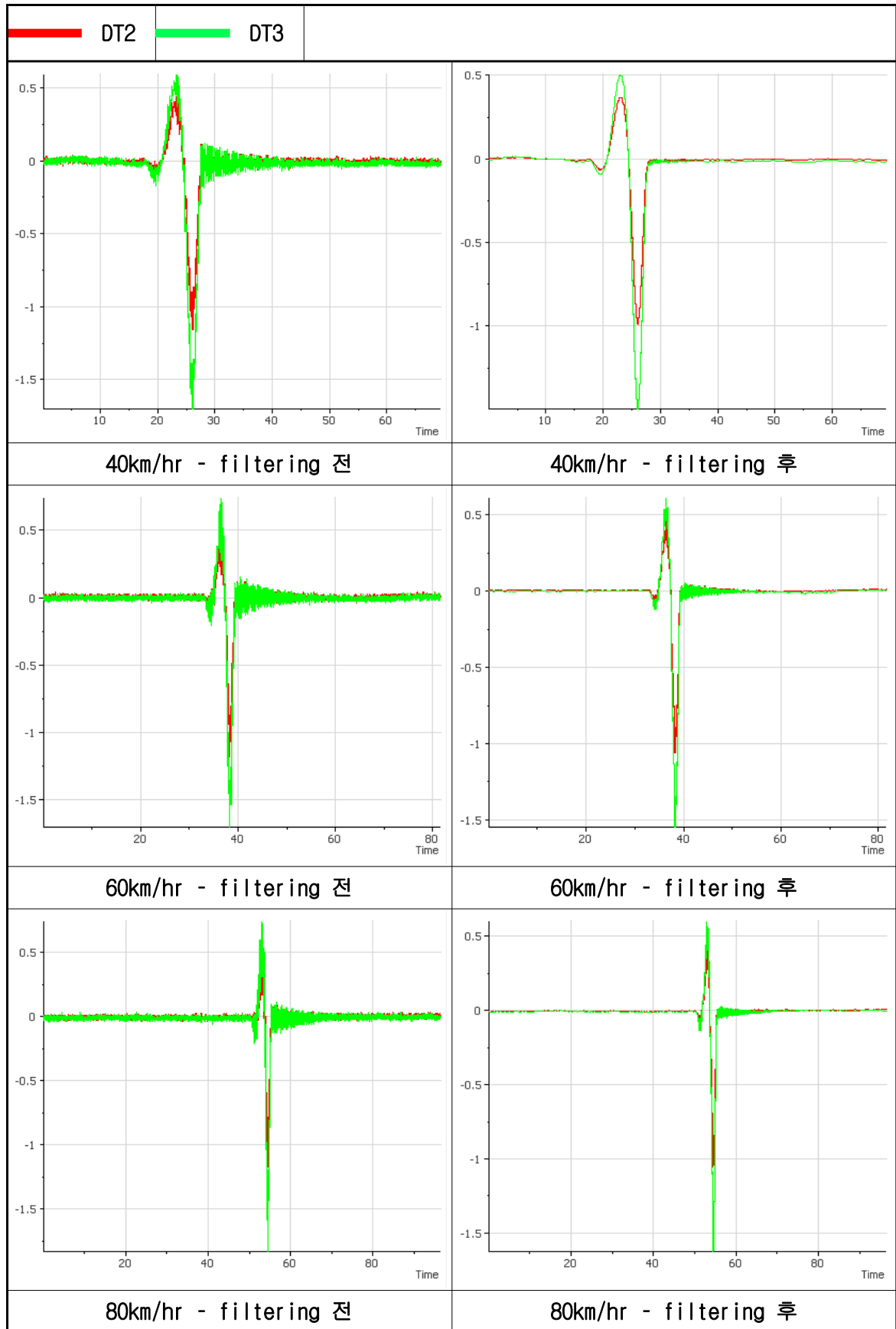
3) 충격계수 산정결과 및 분석

<표 2.7.7> 충격계수 산정결과 및 분석

구 분		DT2	DT3	비 고
10km/hr	D _{dyn}	-1.110	-1.567	
	D _{sta}	-1.063	-1.524	
	D.L.F	1.044	1.028	
	i	0.044	0.028	
20km/hr	D _{dyn}	-1.068	-1.555	
	D _{sta}	-1.029	-1.511	
	D.L.F	1.038	1.029	
	i	0.038	0.029	
30km/hr	D _{dyn}	-1.025	-1.550	
	D _{sta}	-0.985	-1.486	
	D.L.F	1.041	1.043	
	i	0.041	0.043	
40km/hr	D _{dyn}	-1.153	-1.703	
	D _{sta}	-0.988	-1.498	
	D.L.F	1.167	1.137	
	i	0.167	0.137	
60km/hr	D _{dyn}	-1.179	-1.703	
	D _{sta}	-1.057	-1.550	
	D.L.F	1.115	1.099	
	i	0.115	0.099	
80km/hr	D _{dyn}	-1.169	-1.834	
	D _{sta}	-1.056	-1.627	
	D.L.F	1.107	1.127	
	i	0.107	0.127	
최대 충격계수 산정 결과		◦ 주행시험에 의한 실측 최대 충격계수는 40km/hr 주행 시 DT2에서 0.167로 측정됨		



<그림 2.7.10> 충격계수 산정결과 및 분석



<그림 2.7.10> 충격계수 산정결과 및 분석 (계속)

교량의 노면상태 및 차량의 주행속도, 지간장, 고정하중과 활하중의 비, 구조적 특성 등 다양한 인자들에 의하여 정적하중보다 교량에 더 큰 영향을 줄 수 있는 활하중에 의한 충격영향 정도를 파악하기 위해 동적주행시험 시 측정된 처짐값을 이용하여 충격계수를 구하였다. 처짐값의 측정치가 작을 때는 노이즈의 영향이 크므로 차량 주행위치에 인접해 있는 처짐 게이지를 사용해 충격계수를 산정하였으며, 실측 최대충격계수는 이론 충격계수 산정값 이내로 확인되었다.

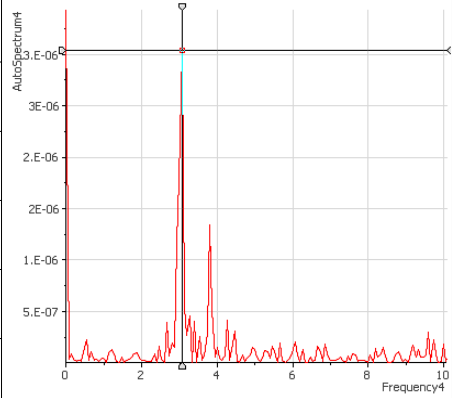
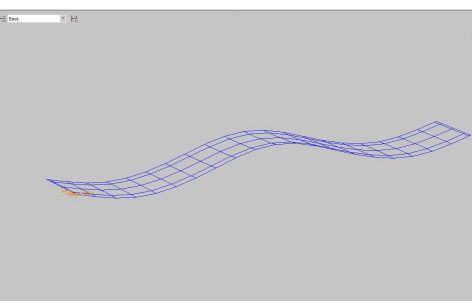
<표 2.7.8> 이론 충격계수(i)와의 비교

이론 충격계수 산정값	실측 충격계수 산정값	비 고
	S3	
$i = \frac{15}{40 + L} = \frac{15}{40 + 30.0} = 0.214$	0.167	$i_{\text{이론}} > i_{\text{실측}}$ (0.214 > 0.167)

4) 고유진동수 분석

진동데이터의 스펙트럼 해석이란 불규칙한 진동파형을 Fourier 변환하여 시간 영역의 데이터를 진동수 영역의 데이터로 바꾸고, 진동파형에 포함되어있는 진동수 성분의 강도(F.F.T)를 구하는 것을 말한다. 교량에 설치한 가속도계로부터 재하차량이 측정경간을 벗어나 영향을 주지 않는 자유진동상태의 가속도 응답곡선을 F.F.T분석을 실시한 후 고유진동수를 구하였다. 구조물의 진동특성은 구조물의 질량과 강성에 관계되나 해석 시 이상화된 해석모델과 달리 실제 구조물은 기하학적 형상이나 지지조건 및 부부재 등에 따라 매우 복잡한 진동을 하게 된다. 측정고유진동수 및 해석고유진동수를 비교한 결과 실제치와 이론치가 유사한 상태로서 구조물의 강성은 충분히 확보하고 있는 것으로 판단된다.

<표 2.7.9> 고유진동수 분석

구 분		측정 고유진동수(Hz)	해석 고유진동수(Hz)
속도	ACC		
10km/hr	2.865		
20km/hr	2.998		
30km/hr	2.931		
40km/hr	3.064		
60km/hr	3.064		
80km/hr	2.998		
2.865 ~ 3.064 Hz (평균 2.987 Hz)		2.734 Hz	

2.7.3 재하시험 결과고찰

수하3교 장호원방향의 3경간에 재하시험을 실시하였으며, 교량형식은 STEEL BOX GIRDER교로서 시험경간 선정은 대상교량의 구조적 특성 및 차량통제 등을 고려하여 구조적으로 불리하고 Gauge 부착 및 측정 장비의 설치, 시험차량의 가속거리 등의 현장여건을 종합적으로 고려하여 구간을 선정하였다.

정적재하시험 결과, 하향 처짐은 최대 -1.879mm로 측정되었으며, 변형을 측정결과는 최대 37.046 $\mu\text{m}/\text{m}$ 로 측정되었다.

또한, 대칭성분석결과 하중의 분배상태가 대칭적으로 나타나고 있어 횡방향에 대한 구조물의 거동은 양호한 것으로 평가되었다.

동적 재하시험 시 재하차량의 주행 방향은 시점(A1)에서 종점(A2)방향으로 주행토록 하였으며, 10km/hr에서부터 주행 가능한 최대속도(80km/hr)까지 측정하였다. 동적 재하시험 결과, 실측 최대충격계수는 이론 충격계수 산정값 이내로 확인되었으며, 측정고유진동수 및 해석고유진동수를 비교한 결과, 실제치와 이론치가 유사한 상태로서 구조물의 강성은 충분히 확보하고 있는 것으로 판단된다.

2.8 구조해석 및 내하력 평가

2.8.1 개요

가. 교량제원

- 1) 교량등급 : 1 등급 (DB-24 및 DL-24 적용)
- 2) 교량형식 : 합성형 STEEL BOX GIRDER 교
- 3) 교량연장 : $L = 50.000$ m
- 4) 교량폭원 : $B = 15.600$ m
- 5) 주형제원 : $B = 2.4000$ m , $H = 2.500$ m
- 6) 사 각 : 96.0°

나. 하중

1) 고정하중

- ① 철근 콘크리트 : $w_{c1} = 25.000 \text{ kN/m}^3$
 ② 무근 콘크리트 : $w_{c2} = 23.500 \text{ kN/m}^3$
 ③ 강 재 : $w_s = 78.500 \text{ kN/m}^3$
 ④ ASPHALT 포장 : $w_a = 23.000 \text{ kN/m}^3$

2) **활하중**

- $$\begin{aligned} \textcircled{1} \text{ D B - 2 4 : Pr} &= 96.000 \text{ kN} \\ &\text{: Pf} = 24.000 \text{ kN} \\ \textcircled{2} \text{ D L - 2 4 : WI} &= 12.700 \text{ kN/m} \\ &\text{: Pm} = 108.000 \text{ kN} \\ &\text{: Ps} = 156.000 \text{ kN} \\ \textcircled{3} \text{ 충격계수 : } I &= 15 / (40 + L) \leq 0.3 \end{aligned}$$

다. 사용재료

1) 콘크리트

설계기준강도 : $f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
탄성계수 : $E_c = 25000 \text{ MPa}$

2) 철근(SD40)

철근항복강도 : $f_y = 400 \text{ MPa}$ 탄성계수 : $E_s = 200000 \text{ MPa}$

3) 강재

주부재 : SM490B 사용 (상판, 하판, 복부판, 상부종리브, 하부종리브, 수평보강재, 지점부 다이아프램, 지점보강재, 솔플레이트)

부부재 : SM 400B 사용 (지점부외 다이아프램, 수직보강재, 횡리브, 세로보, 가로보)

탄성계수 : $E_s = 210000 \text{ MPa}$

라. 허용응력

1) 허용인장응력 (MPa)

강종 판두께(mm)	SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570	HSB 500
40 이하	140	190	210	260	220[260]
40 초과 75 이하	130	175(190)	200(210)	250(260)	
75 초과 100 이하			195(210)	245(260)	

2) 국부좌굴을 고려하지 않는 허용 축방향 압축응력 (MPa)

강종 판두께 (mm)	SS 400 SM 400 SMA 400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570	HSB 500
40 이하	$140 : \ell/r \leq 20$ $140-0.84(\ell/r-20) :$ $20 < \ell/r \leq 93$ $\frac{1200000}{6700+(\ell/r)^2}$ $93 < \ell/r$	$190 : \ell/r \leq 15$ $190-1.3(\ell/r-15) :$ $15 < \ell/r \leq 80$ $\frac{1200000}{5000+(\ell/r)^2}$ $80 < \ell/r$	$210 : \ell/r \leq 14$ $210-1.5(\ell/r-14) :$ $14 < \ell/r \leq 76$ $\frac{1200000}{4,500+(\ell/r)^2}$ $76 < \ell/r$	$260 : \ell/r \leq 18$ $260-2.2(\ell/r-18) :$ $18 < \ell/r \leq 67$ $\frac{1200000}{3500+(\ell/r)^2}$ $67 < \ell/r$	$220 : \ell/r \leq 15$ $220-1.6(\ell/r-15) :$ $15 < \ell/r \leq 74$ $\frac{1200000}{4200+(\ell/r)^2}$ $74 < \ell/r$
40 초과 75 이하	$130 : \ell/r \leq 20$ $130-0.75(\ell/r-20) :$ $20 < \ell/r \leq 97$ $\frac{1200000}{7300+(\ell/r)^2}$ $97 < \ell/r$	$175 : \ell/r \leq 15$ $175-1.1(\ell/r-15) :$ $15 < \ell/r \leq 83$ $\frac{1200000}{5300+(\ell/r)^2}$ $83 < \ell/r$	$200 : \ell/r \leq 14$ $200-1.4(\ell/r-14) :$ $14 < \ell/r \leq 78$ $\frac{1200000}{4700+(\ell/r)^2}$ $78 < \ell/r$	$250 : \ell/r \leq 18$ $250-2.1(\ell/r-18) :$ $18 < \ell/r \leq 69$ $\frac{1200000}{3600+(\ell/r)^2}$ $69 < \ell/r$	
75 초과 100 이하	$130-0.75(\ell/r-20) :$ $20 < \ell/r \leq 97$ $\frac{1200000}{7300+(\ell/r)^2}$ $97 < \ell/r$	$175-1.1(\ell/r-15) :$ $15 < \ell/r \leq 83$ $\frac{1200000}{5300+(\ell/r)^2}$ $83 < \ell/r$	$195 : \ell/r \leq 14$ $195-1.3(\ell/r-14) :$ $14 < \ell/r \leq 79$ $\frac{1200000}{4900+(\ell/r)^2}$ $79 < \ell/r$	$245 : \ell/r \leq 18$ $245-2.2(\ell/r-18) :$ $18 < \ell/r \leq 69$ $\frac{1200000}{3700+(\ell/r)^2}$ $69 < \ell/r$	
비 고	ℓ : 부재의 유효좌굴길이 (mm) r : 부재 종단면의 단면회전반경 (mm)				

3) 허용 휨압축응력 (MPa)

- ① 압축플랜지가 콘크리트상판 등에 직접 고정되어 있는 경우 및 상자형 단면,
 π 형 단면과 같이 황좌굴이 일어나기 어려운 경우

강종 판두께 (mm)	SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570	HSB 500
40 이하	140	190	210	260	220[260]
40 초과 75 이하	130	175	200(210)	250(260)	
75 초과 100 이하			195(210)	245(260)	

- ② ①이외의 경우

강종 판두께 (mm)	SS400 SM400 SMA400	SM490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA570
Aw/Ac ≤2	40 이하 140 : $\ell/b \leq 4.5$ 140-2.4($\ell/b-4.5$): 4.5 < $\ell/r \leq 30$	190 : $\ell/b \leq 4.0$ 190-3.8($\ell/b-4.0$): 4.0 < $\ell/b \leq 30$	210 : $\ell/b \leq 3.5$ 210-4.4($\ell/b-3.5$): 3.5 < $\ell/b \leq 27$	260 : $\ell/b \leq 5.0$ 260-6.6($\ell/b-5.0$): 5.0 < $\ell/b \leq 25$
	40 초과 70 이하 130 : $\ell/b \leq 5.0$	175 : $\ell/b \leq 4.0$	200 : $\ell/b \leq 4.0$ 200-4.2($\ell/b-4.0$): 4.0 < $\ell/b \leq 27$	250 : $\ell/b \leq 5.0$ 250-6.2($\ell/b-5.0$): 5.0 < $\ell/b \leq 25$
	75 초과 100 이하 130-2.2($\ell/b-5.0$): 5.0 < $\ell/b \leq 30$	175-3.5($\ell/b-4.0$): 4.0 < $\ell/b \leq 30$	195 : $\ell/b \leq 4.0$ 195-4.0($\ell/b-4.0$): 4.0 < $\ell/b \leq 27$	245 : $\ell/b \leq 5.0$ 245-6.0($\ell/b-5.0$): 5.0 < $\ell/b \leq 25$
Aw/Ac >2	40 이하 140 : $\ell/b \leq 9/k$ 140-1.2($k\ell/b-9$): 9/k < $\ell/b \leq 30$	190 : $\ell/b \leq 8/k$ 190-1.9($k\ell/b-8$): 8/k < $\ell/b \leq 30$	210 : $\ell/b \leq 7/k$ 210-2.2($k\ell/b-7$): 7/k < $\ell/b \leq 27$	260 : $\ell/b \leq 10/k$ 260-3.3($k\ell/b-10$): 10/k < $\ell/b \leq 25$
	40 초과 75 이하 130 : $\ell/b \leq 10/k$	175 : $\ell/b \leq 8/k$	200 : $\ell/b \leq 8/k$ 200-2.1($k\ell/b-8$): 8/k < $\ell/b \leq 27$	250 : $\ell/b \leq 10/k$ 250-3.1($\ell/b-10$): 10/k < $\ell/b \leq 25$
	75 초과 100 이하 130-11($k\ell/b-10$): 10/k < $\ell/b \leq 30$	175-1.75($k\ell/b-8$): 8/k < $\ell/b \leq 30$	195 : $\ell/b \leq 8/k$ 195-2.0($k\ell/b-8$): 8/k < $\ell/b \leq 27$	245 : $\ell/b \leq 10/k$ 245-3.0($k\ell/b-10$): 10/k < $\ell/b \leq 25$
비 고	Aw : 복부판의 총 단면적 (mm ²) Ac : 압축플랜지의 총 단면적 (mm ²) ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리 (mm) b : 압축플랜지의 폭 (mm) K : $\sqrt{[3 + Aw/(2 \cdot Ac)]}$			

4) 허용전단응력 (MPa)

강종 판두께 (mm)	SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570	HSB 500
40 이하	80	110	120	150	130[150]
40 초과 75 이하	75	100(110)	115(120)	145(145)	
75 초과 100 이하			110(120)	140(145)	

5) 항복응력 (MPa)

강종 판두께 (mm)	SS 400 SM 400 SMA 400	SM 490	SM490Y SM520 SMA490	SM 570 SMA 570	HSB 500
40 이하	240	320	360	460	380[460]
40 초과 75 이하	220	300(320)	340(360)	440(460)	
75 초과 100 이하			330(360)	430(460)	

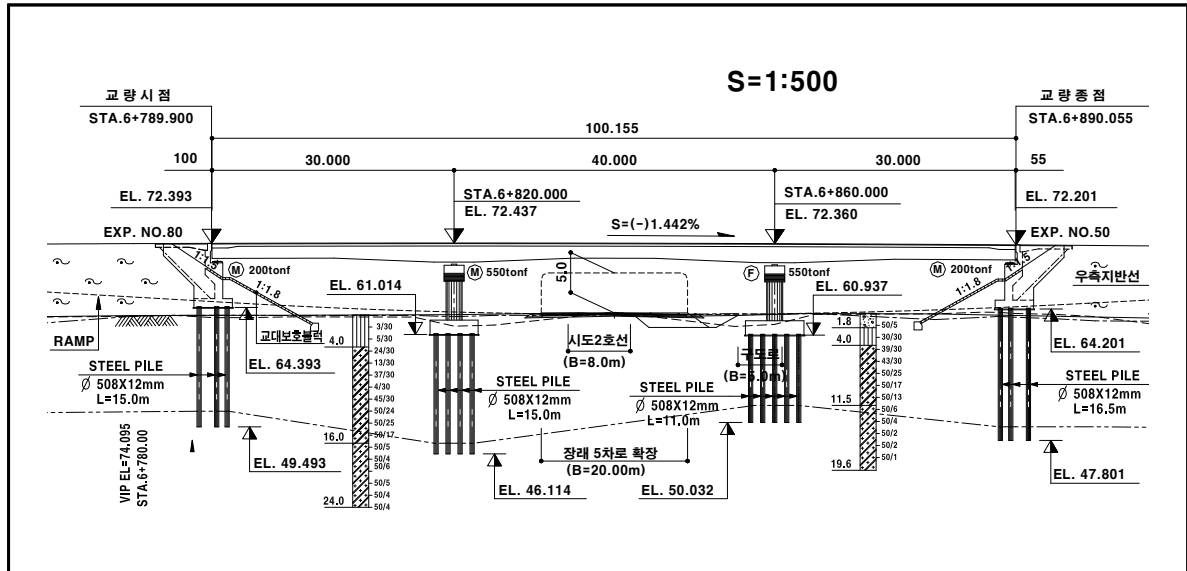
마. 설계방법

- 1) 바 닥 판 : 극한강도 설계법
- 2) Steel Box Girder : 허용응력 설계법

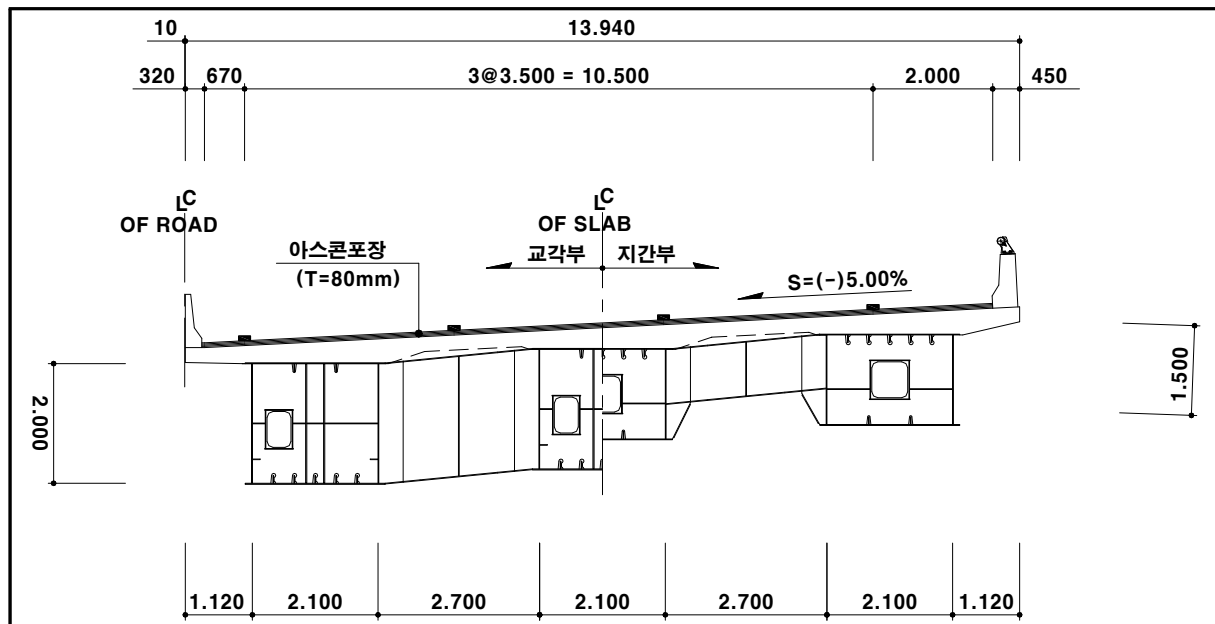
2.8.2 구조해석

가. 검토단면

1) 종단면도

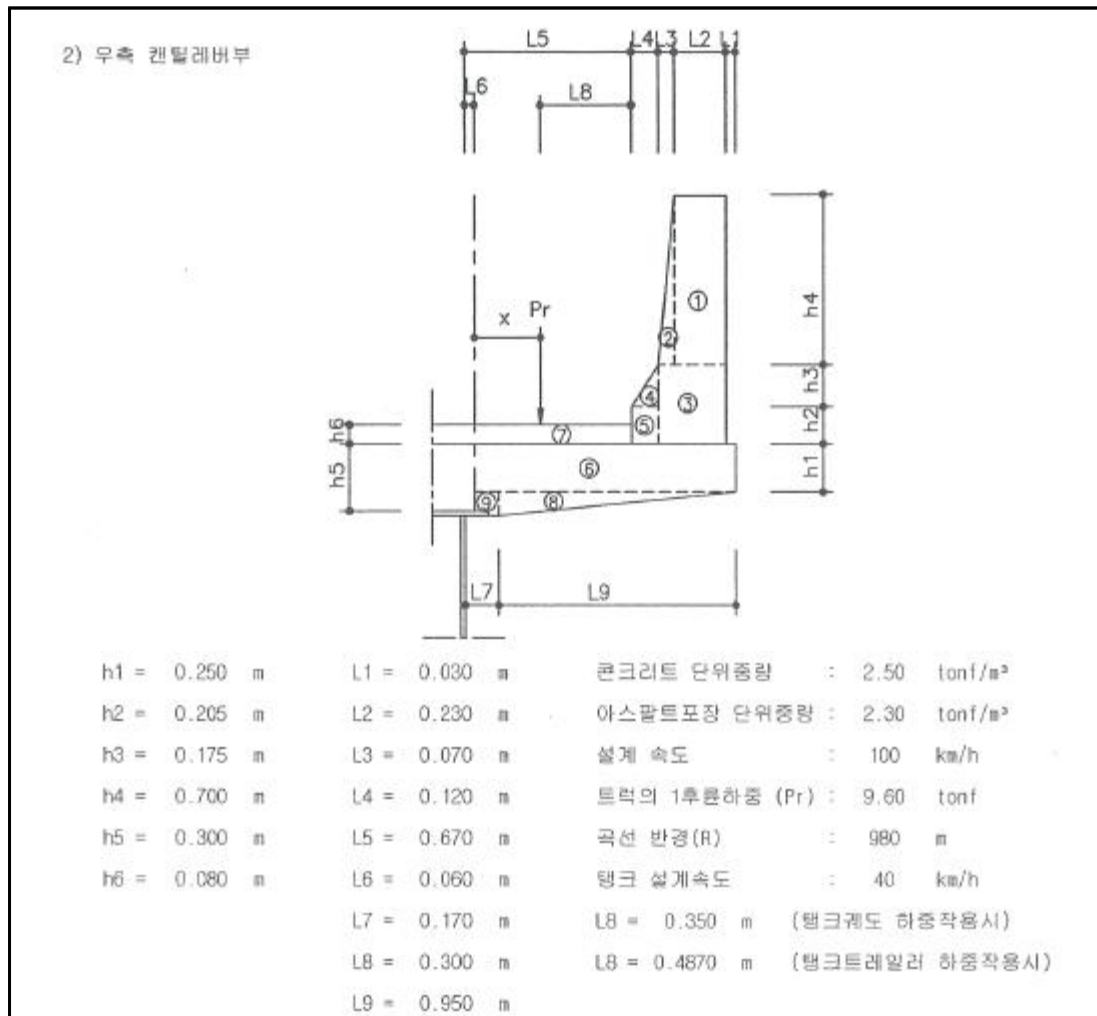


2) 횡단면도



나. 바닥판 검토

1) 캔틸레버부



① 고정하중

NO.	산 식			거리 (m)	모멘트 (tf · m)
1	$0.23 \times 0.7 \times 2.5$	=	0.403	0.915	0.369
2	$\frac{1}{2} \times 0.07 \times 0.7 \times 2.5$	=	0.061	0.777	0.047
3	$0.3 \times 0.38 \times 2.5$	=	0.285	0.8880	0.251
4	$\frac{1}{2} \times 0.12 \times 0.175 \times 2.5$	=	0.026	0.690	0.018
5	$0.12 \times 0.205 \times 2.5$	=	0.062	0.670	0.042
6	$1.06 \times 0.25 \times 2.5$	=	0.663	0.530	0.351
7	$0.61 \times 0.08 \times 2.3$	=	0.112	0.305	0.034
8	$\frac{1}{2} \times 0.95 \times 0.05 \times 2.5$	=	0.059	0.427	0.025
9	$0.11 \times 0.05 \times 2.5$	=	0.014	0.055	0.0008
계				1.685	1.138

$$\therefore Md = 11.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96 \text{ kN}$)

- 윤하중 분포폭

$$E = 0.8 \cdot X + 1.14 = 0.8 \cdot 0.31 + 1.14 = 1.388$$

여기서, $X = 0.310\text{m}$

- 충격계수

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 0.31) = 0.372 > 0.3$$

$$\therefore i = 0.3$$

$$M(l+i) = P_r / E \cdot X \cdot (1 + i)$$

$$= (96 / 1.388) \times 0.31 \times (1 + 0.3) = 27.87 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

③ 차량 충돌 하중

㉠ 수평충돌력 H가 노면상 1m 높이에 교축을 따라 1m마다 작용시)

$$H = (V / 60)^2 \times 7500 + 2500$$

$$= (100 / 60)^2 \times 7500 + 2500 = 23.3\text{kN/m}$$

작용높이 $h = 1.08 \text{ m}$

$$M_{co} = 23.3 \times 1.08 = 25.20 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

④ 탱크케도 하중 (탱크 총중량 : $W = 600\text{kN}$) 케도 접지 길이 = 4.50 m 여기서 $X = 0.260 \text{ m}$

$$P_r = (W / 2) / L = (60 / 2) / 4.5 = 66.67 \text{ KN/M}$$

충격계수=0.15 (충격계수는 활하중의 15%를 고려한다.)

$$Ml+i = P_r \cdot X \cdot (1 + i)$$

$$= 6.667 \times 0.26 \times 1.2384 \times (1 + 0.15) = 19.93\text{KN} \cdot \text{M/M}$$

⑤ 탱크 트레일러 하중 (700 KN : $P_r = 90 \text{ KN}$)

윤하중 분포 폭

$$E = 0.8 \cdot X + 1.14 = 0.8 \times 0.123 + 1.14 = 1.238\text{m}$$

여기서 $X = 0.1230 \text{ m}$

$$Ml+i = P_r \times X / (1 + i)$$

$$= 9 \times 0.123 / 1.2384 \times (1 + 0.15) = 10.28\text{KN} \cdot \text{M/M}$$

⑥ 원심하중 - 활하중 재하위치에서 연직으로 작용

(a) 일반 활하중 작용시

$$CF = 0.79 \times (V^2 / R) (\%) = 0.79 \times (100 \times 60 / 980) (\%) = 8.061 (\%)$$

$$Pcf = (Pr / E) \times 8.061 / 100 = 5.58 \text{ kN/m}$$

$$Mcf = 5.58 \times 0.31 = 1.730 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(b) 탱크 하중 작용시

$$CF = 0.79 \times (V^2 / R) (\%) = 0.79 \times (60 \times 60 / 980) (\%) = 1.290 (\%)$$

$$Pcf = Pr \times 1.29 / 100 = 0.860 \text{ kN/m}$$

$$Mcf = 0.86 \times 0.26 = 0.22 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

(c) 탱크트레일러 하중 작용시

$$CF = 0.79 \times (V^2 / R) (\%) = 0.79 \times (60 \times 60 / 980) (\%) = 1.290 (\%)$$

$$Pcf = Pr / E \times 1.29 / 100 = 0.94 \text{ kN/m}$$

$$Mcf = 0.94 \times 0.123 = 0.120 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

⑦ 풍하중

$$\text{교량 폭원} = 13.940 \text{ m}$$

$$\text{교량 총높이 } D = 3.380 \text{ m}$$

$$B/D = 4.124 < 8 \text{ 이므로}$$

$$Pw = [400 - 20 (B/D)]D = 343 \text{ kg/m}$$

$$Mw = 3.430 \text{ kN/m} \times 0.690 \text{ m} = 2.37 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

⑧ 하중조합(MAX)

$$Mu1 = 1.3 Md + 2.15 MI+i + 1.3 Mcf \text{ (일반 활하중 작용시)}$$

$$= 1.3 \times 1.138 + 1.3 \times 2.787 + 1.3 \times 0.173$$

$$= 76.96 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$Mu2 = 1.3 Md + 1.3 MI+i + 1.3 Mcf + 1.3 Mco \text{ (일반 활하중 작용시)}$$

$$= 1.3 \times 1.138 + 1.3 \times 2.787 + 1.3 \times 0.173 + 1.3 \times 2.52$$

$$= 86.03 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$Mu3 = 1.3 Md + 1.3 MI+i + 1.3 Mcf + 0.65 Mco \text{ (일반 활하중 작용시)}$$

$$= 1.3 \times 1.138 + 1.3 \times 2.787 + 1.3 \times 0.173 + 0.65 \times 0.237$$

$$= 54.81 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$Mu4 = 1.2 Md + 1.2 Mw + 1.2 Mco$$

$$= 1.2 \times 1.138 + 1.2 \times 0.237 + 1.2 \times 2.52$$

$$= 46.74 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$Mu5 = 1.3 Md + 1.3 MI+i + 1.3 Mcf$$

$$= 1.3 \times 1.138 + 1.3 \times 1.993 + 1.3 \times 0.022$$

$$= 40.99 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

$$Mu6 = 1.3 Md + 1.3 MI+i + 1.3 Mcf$$

$$= 1.3 \times 1.138 + 1.3 \times 1.028 + 1.3 \times 0.012$$

$$= 28.31 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

⑨ 바닥판의 최소두께 ($X \leq 0.25$ 인 경우)

$$h_{min} = (8 \cdot L + 23) = \{(8 \times 0.31) + 23\} = 255\text{mm} > 220 \rightarrow 300\text{mm 사용}$$

⑩ 단면 검토

$$f_{ck} = 27\text{MPa}, f_y = 400\text{MPa}$$

$$Mu = 86.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$b = 1000\text{mm}, h = 300\text{mm}$$

$$d' = 60\text{mm}, d = 240\text{mm}$$

$$\Phi_f = 0.85$$

$$M_{max}. c = 0.75 \times 6000 / (6000 + f_y) \times d = 10.8\text{cm} > c = a / 0.85 = 3.258\text{cm}$$

$$M_{max}. a = 0.85 \times c, 9.18\text{cm} > a = f_y \times A_s / 0.85 \times f_{ck} \times b = 2.769\text{cm}$$

$$jd = d - a/2 = 22.62\text{cm}$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 635.5\text{kN}, T = A_s \times f_y = 635.5\text{kN}$$

$$\therefore \Phi M_n = \Phi f_y \times A_s \times jd = 122.22 \text{ kN} \cdot \text{m} > Mu = 86.0 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ ---OK}$$

2) 지간 중앙부

① 고정하중

$$\text{-철근콘크리트} : 0.250 \text{ m} \times 25.000 \text{ kN/m}^3 = 6.250 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{-아스팔트포장} : 0.080 \text{ m} \times 23.000 \text{ kN/m}^3 = 1.840 \text{ kN/m}^2$$

$$W_d = 8.090 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{계산지간 } L = 2.580 \text{ m} \text{ 바닥판 지점의 수 } n = 6$$

$$M_d = (1/10) \cdot W_d \cdot L^2 = (1/10) \times 8.090 \times 2.580^2 = 5.390 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 활하중(DB-24 : $P_r = 96 \text{ kN}$)

- 충격계수

$$i = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 2.580) = 0.352 > 0.3$$

$$\therefore i = 0.3$$

$$M(l+i) = ((L+0.6) / 9.6) \cdot P_r \cdot (1 + i)$$

$$= ((2.58/0 + 0.6) / 9.6) \times 96 \times (1 + 0.3) = 41.34 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

- 연속바닥판이므로

$$M(l+i) = 0.8 \times 41.34 = 33.07 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

③ 탱크케도 하중 (탱크 총중량 : $W = 600\text{KN}$) 케도 접지 길이 = 4.50 m

$$P_r = (W / 2) / L = (60 / 2) / 4.5 = 66.67 \text{ KN/M}$$

충격계수=0.15 (충격계수는 활하중의 15%를 고려한다.)

$$Ml+i = P_r \cdot ((L+0.6)/9.6) \cdot (1 + i)$$

$$= 6.667 \times ((2.58+0.6)/9.6) \times (1 + 0.15) = 25.40\text{KN} \cdot \text{M/M}$$

- 연속바닥판이므로

$$M(l+i) = 0.8 \times 25.40 = 20.32 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

③ 탱크 트레일러 하중 (700 KN : $P_r = 90 \text{ KN}$)

충격계수 $i=0.15$

$$Ml+i = P_r \cdot ((L+0.6)/9.6) \cdot (1 + i)$$

$$= 9 \times ((2.58+0.6)/9.6) \times (1 + 0.15) = 34.28\text{KN} \cdot \text{M/M}$$

- 연속바닥판이므로

$$M(l+i) = 0.8 \times 34.28 = 27.42 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

③ 원심하중

일반 활하중 작용 시

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} \% = 0.79 \frac{100^2}{980} \% = 8.061\%$$

$$(P / E) L / 4 = (L + 0.6) P / 9.6$$

$$\therefore E = 2.4L / (L + 60) = 1.777$$

$$P_{cf} = P_r \times 8.06 / 100 = 7.740 \text{ kN/m}$$

$$M_{cf} = ((2.58 + 0.6) / 9.6) \times 0.774 = 2.560 \text{ m/m}$$

- 연속바닥판이므로

$$M(l+i) = 0.8 \times 0.256 = 2.05 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

탱크하중 작용시

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} \% = 0.79 \frac{40^2}{980} \% = 1.290\%$$

$$P_{cf} = P_r \times 1.290 / 100 = 0.860 \text{ kN/m}$$

$$M_{cf} = ((2.58 + 0.6) / 9.6) \times 0.086 = 0.280 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

- 연속바닥판이므로

$$M(l+i) = 0.8 \times 0.280 = 0.220 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

탱크레일러 하중 작용시

$$CF = 0.79 \frac{V^2}{R} \% = 0.79 \frac{40^2}{980} \% = 1.290\%$$

$$P_{cf} = (P_r / E) \times 1.290 / 100 = 1.160 \text{ kN/m}$$

$$M_{cf} = ((2.58 + 0.6) / 9.6) \times 1.16 = 0.380 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

- 연속바닥판이므로

$$M(l+i) = 0.8 \times 0.380 = 0.300 \text{ kN} \cdot \text{m/m}$$

④ 하중조합(MAX)

$$\begin{aligned} Mu1 &= 1.3 M_d + 2.15 M_{l+i} + 1.3 M_{cf} \\ &= 80.77 \text{ kN} \cdot \text{m/m} \end{aligned}$$

⑤ 바닥판의 최소두께 ($X \leq 0.25$ 인 경우)

$$h_{min} = (30 \cdot L + 130) = 207\text{mm} > 220\text{ mm} \rightarrow 250\text{mm 사용}$$

⑥ 단면 검토

$$f_{ck} = 27\text{MPa} , f_y = 400\text{MPa}$$

$$M_u = 80.77 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$b = 1000\text{mm}, h = 250\text{mm}$$

$$d' = 40\text{mm}, d = 210\text{mm}$$

$$\Phi_f = 0.85$$

$$M_{max.} \quad c = 0.75 \times 6000 / (6000 + f_y) \times d = 9.45\text{cm} > c = a / 0.85 = 3.258\text{cm}$$

$$M_{max.} \quad a = 0.85 \times c, \quad 8.03\text{cm} > a = f_y \times A_s / 0.85 \times f_{ck} \times b = 2.769\text{cm}$$

$$j d = d - a / 2 = 19.62\text{cm}$$

$$C = 0.85 \times f_{ck} \times a \times b = 635.5\text{kN}, T = A_s \times f_y = 635.5\text{kN}$$

$$\therefore \Phi M_n = \Phi f_y \times A_s \times j d = 106.00\text{kN} \cdot \text{m} > M_u = 80.8 \text{ kN} \cdot \text{m} \text{ --- O.K}$$

다. Steel Box Girder 검토(장호원) 단면4

1) 작용하중 산정

① 합성전 고정하중(슬래브자중)

② 합성후 고정하중(방호벽, 중분대, 아스콘)

③ 활하중 : DB-24(운하중), DL-24 (차선하중)

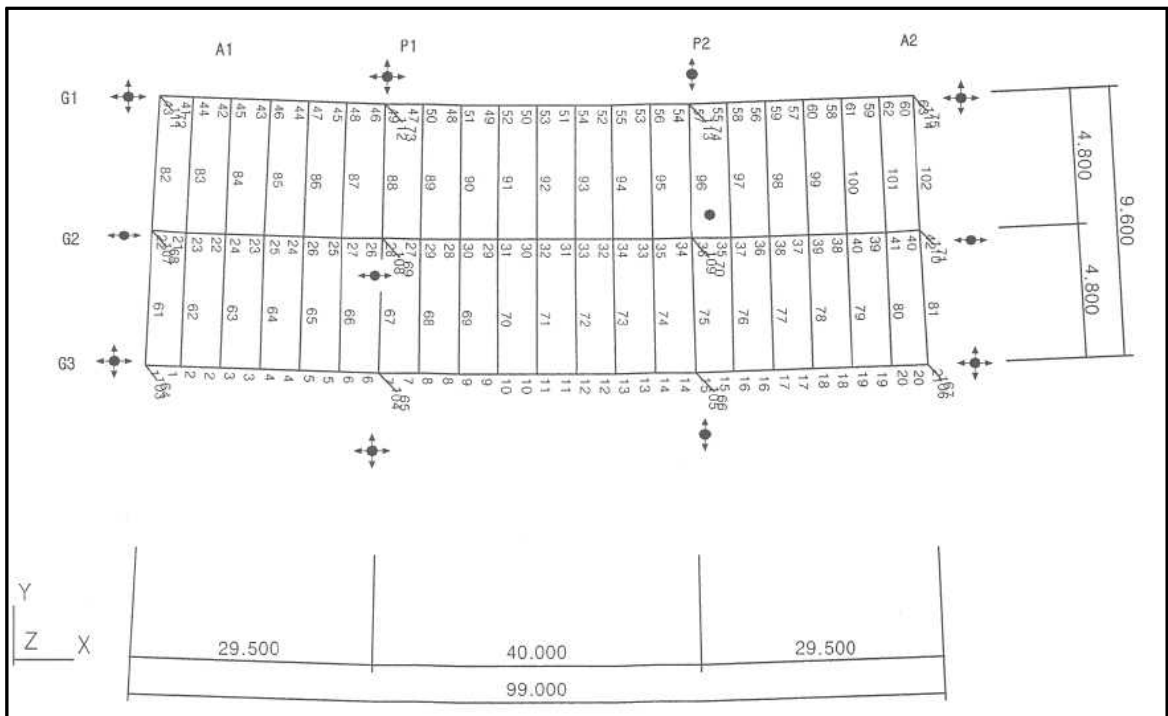
④ 충격계수 : $i = \frac{15}{40+L} \leq 0.3 \rightarrow \frac{15}{40+29.5} = 0.216$

(제1지간)

⑤ 주형별 작용하중

강재자중 : 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재자중을
35% 할증 적용

2) 모델링



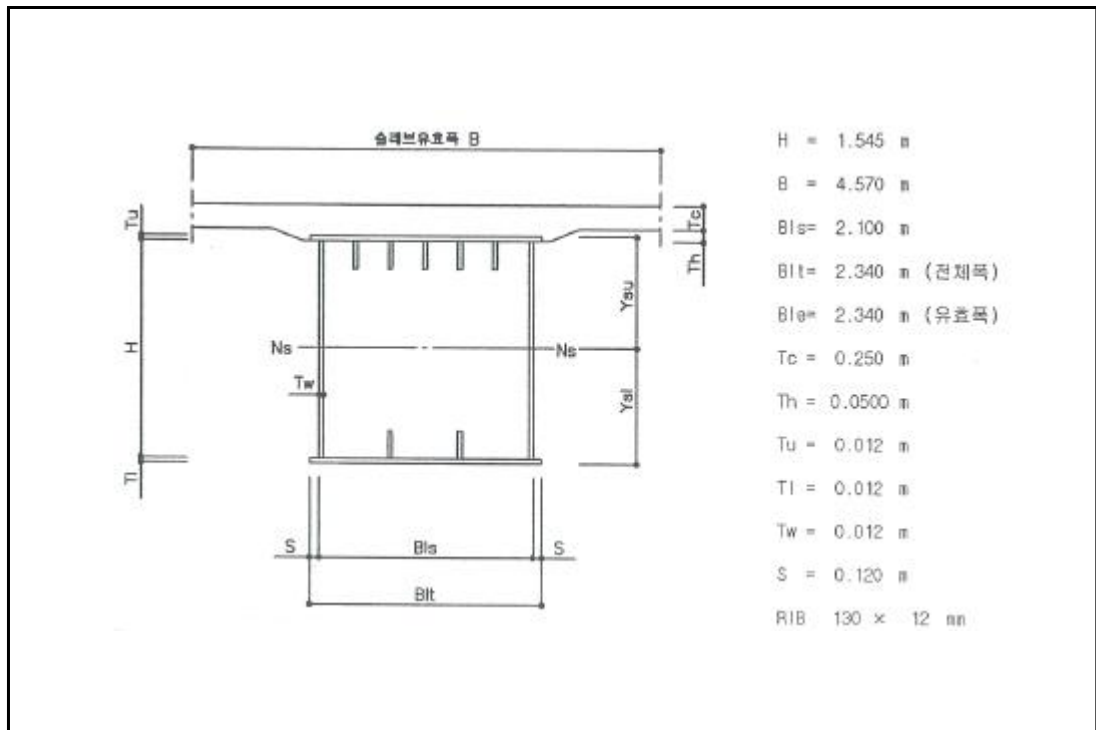
3) 부재력 요약

① 단면-4

부재력	거더 번호	합성전	고정하중	합성후 고정하중	활하중	지점침하	합 계	위 치
		Steel	Concrete					
모멘트 (kN · m)	G1	399.2	1219.8	427.1	2738.72	113.5	5919.9	절점46에서 1.25M
	G2	405.8	1245.5	420.5	2578.2	114.7	5797.2	절점25에서 1.26M
	G3	403.5	1267.1	552.5	2719.9	113.3	6076.1	절점 4에서 1.27M
전단력 (kN)	G1	74.1	225.1	76.9	355.61	73.1	804.8	절점46에서 1.25M
	G2	73.7	225.2	88.0	329.53	72.5	788.9	절점25에서 1.26M
	G3	73.8	228.4	90.1	347.23	70.0	810.12	절점 4에서 1.27M
비틀림 (kN · m)	G1	-9.3	-23.5	8.11	-277.7	-7.1	-309.5	절점46에서 1.25M
	G2	-4.1	-24.0	-33.5	-401.2	-9.0	-471.76	절점25에서 1.26M
	G3	0.7	-18.7	-54.5	-309.4	-6.9	-388.79	절점 4에서 1.27M

4) 응력검토

① 단면(4)



② 단면 제원 및 특성

구 분	B(mm)	H(mm)	A(mm)	y(mm)	A*y(mm3)	A*y2(mm4)	I x(mm4)
1-UPPER FLANGE	2340.0	12.0	28080	778.50	21860300	170182280000	337000
5-UPPER RIB	12.0	130.0	7800	707.5	5518500	3904339000	10985000
WEB	12.0	1545.0	37080	0.00	0	0	7375907000
2-LOWER RIB	14.0	130.0	7800	-707.5	-5518500	390439000	10985000
1-LOWER FLANGE	2600.0	28.0	28080	-778.5	-21860300	17018228000	337000
강단면 합계			108840		0	41845133000	7398551000
1-RC SLAB	4570.0	250.0	1142500	947.5	1082518800	1025686516000	5950521000

* $A_s=108840 \text{ mm}^2$, $A_c=1142500 \text{ mm}^2$

구 분	합성전	구 분	합성후
Is' (mm ⁴)	49243685000	Av(mm ²)	251652.5
		Ic/n(mm ⁴)	743815000
δs(mm)	0	dv(mm)	947.50
		dvc(mm)	409.79
Is(mm ⁴)	49243685000	dvs(mm)	537.71
		Yvcu(mm)	284.79
Ysu(mm)	784.50	Yvcl(mm)	284.79
		Yvsu(mm)	246.79
Ysl(mm)	-784.50	Yvsl(mm)	-1322.21
		Iv(mm ⁴)	105438827000
F(mm ²)	3288384.0		

5) 검토결과

① 전단 및 비틀림

$$\begin{aligned} u &= (S_s + S_v) / A_w + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 \cdot F_v \cdot T_w) \\ &= 26.774 \text{ MPa} < u_a = 110 \text{ MPa} \text{ ----- } 0.K \end{aligned}$$

② 조합응력의 검토

- 하중1 : 합성전 - 하중2 : 합성후
- 하중3 : 크리프 - 하중4 : 건조수축
- 하중5 : 온도차 - 하중6 : 활하중

하중 조합	Steel			
	작용응력(MPa)		허용 응력(MPa)	
	상연	하연	상연	하연
1	26.614	-26.614	169.850	190.000
1+2	36.925	-81.859	169.850	190.000
1+2+3	38.965	-81.113	195.328	190.000
1+2+3+4	53.550	-76.278	195.328	190.000
1+2+3+4+5	69.2832	-69.652	220.805	190.000
1+2-3+4-5+6	37.816	-82.904	220.805	190.000
1+2+3+4+5+6	87.576	-146.115	220.805	190.000
1+2-3-4+5+6	70.952	-151.696	220.805	190.000

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

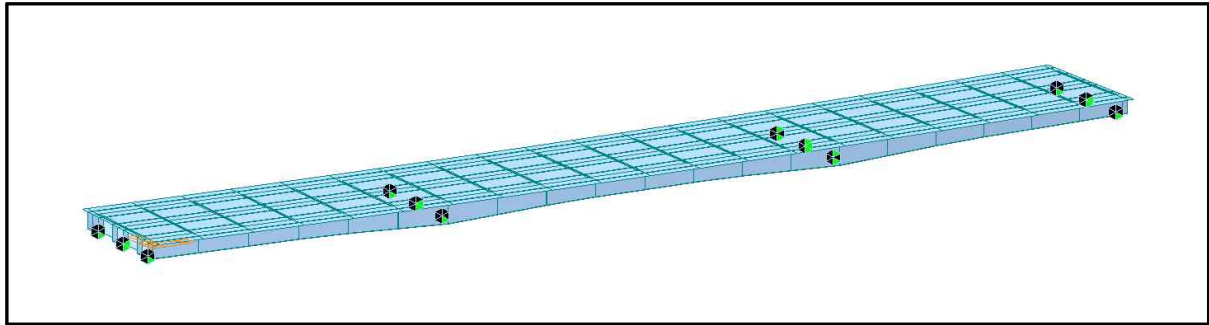
③ 합성응력의 검토

$$\begin{aligned} (\text{상 연}) \quad & \left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{87.576}{220.805} \right]^2 + \left[\frac{26.774}{110.000} \right]^2 \\ & = 0.1502 + 0.059 = 0.2092 < 1.2 \text{ ----- } 0.K \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{하 연}) \quad & \left[\frac{f}{f_a} \right]^2 + \left[\frac{v}{v_a} \right]^2 = \left[\frac{-151.696}{190} \right]^2 + \left[\frac{27.378}{110.000} \right]^2 \\ & = 0.637 + 0.062 = 0.699 < 1.2 \text{ ----- } 0.K \end{aligned}$$

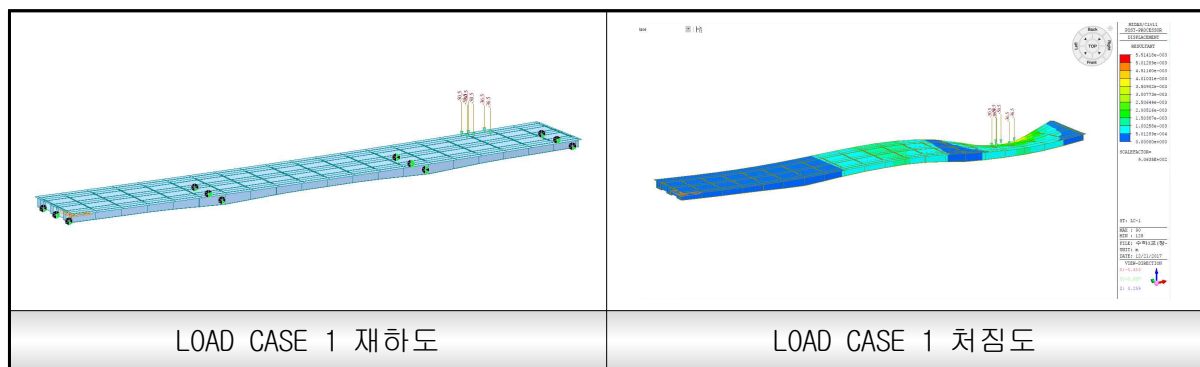
라. 시험차량에 의한 처짐해석

시험차량에 의한 구조해석은 이론적인 계산 처짐값과 현장 재하시험에서 측정된 실측 처짐값을 비교하여 응답비를 산출하기 위해 범용 프로그램인 MIDAS/Civil을 이용하여 모델링을 하였으며, 각각의 LOAD CASE별 처짐치와 실측치를 비교하였다.

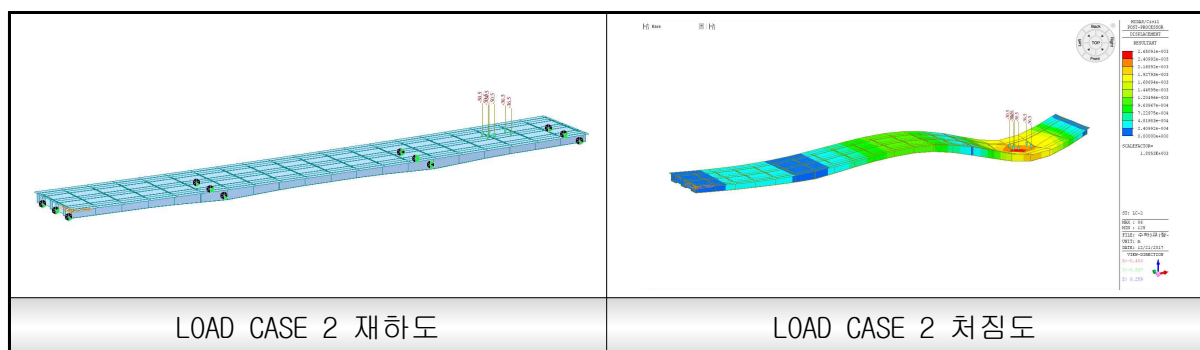


1) CASE별 하중 재하도 및 처짐도

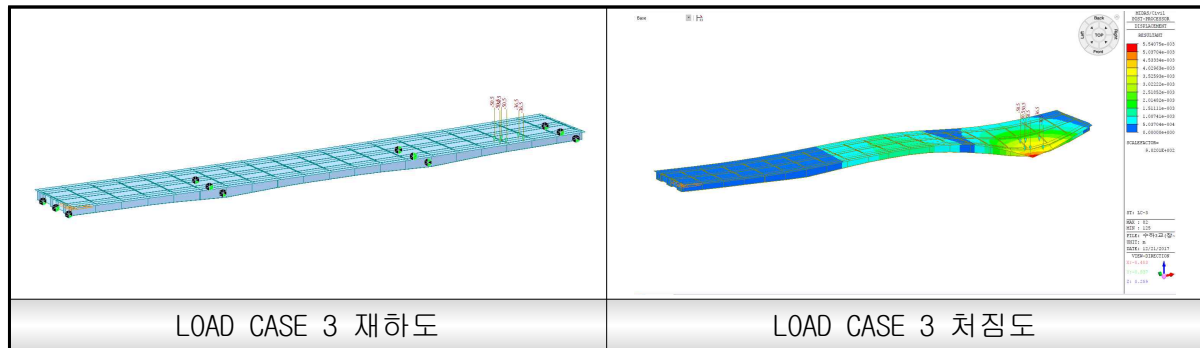
① LOAD CASE 1



② LOAD CASE 2



③ LOAD CASE 3



2) Load Case별 응력보정계수 산정

재하시험 결과로부터 산출한 실측 및 이론적인 응력 값의 관계 및 실측 처짐과 재하 경우별 구조해석에 의한 이론적인 처짐의 관계를 비교하여 응답비를 산출하였다.

구 분 (mm)			DT1	DT2	DT3
S1	Load Case 1	실측치	-1.808	-0.899	-0.345
		이론치	-3.723	-2.060	-1.076
		응답비	2.059	2.291	3.119
	Load Case 2	실측치	-0.825	-1.121	-0.918
		이론치	-1.954	-2.651	-2.017
		응답비	2.368	2.365	2.197
	Load Case 3	실측치	-0.401	-0.951	-1.879
		이론치	-1.059	-2.080	-3.810
		응답비	2.641	2.187	2.028

3) 응력보정계수

내하력 평가시 응력보정계수 적용은 재하시험 차량의 후륜축과 동일한 위치에서의 이론적인 처짐 값과 실측된 처짐 값이 실제 거동과 유사한 지점에서의 응답비를 적용하였으며, 응답비 및 충격계수를 고려한 처짐 보정계수(K_s)를 적용하였다. 응력보정계수는 변형률의 실측치와 계산치로 구하는 것이 일반적이지만, 처짐에 비해 변형률의 측정값에 포함된 오차가 크며, 여러 가지 요인에 의하여 국부적인 응력의 변동이 크게 발행하는 경우가 있으므로 교량의 전반적인 거동을 나타내는 처짐으로 구할 수도 있다.

본 과업에 해당되는 교량의 경우 변형률 측정결과에 비해 처짐의 측정결과가 신뢰성이 높은 것으로 판단되어 처짐으로 응답보정계수(K_s)를 구하였으며, 하중 CASE에 따른 응답비중 최소값을 적용하였다.

$$\begin{aligned} \bigcirc K_s : \text{응력보정계수} &= \frac{\delta_{\text{계산}}(\epsilon_{\text{계산}})}{\delta_{\text{실측}}(\epsilon_{\text{실측}})} \cdot \frac{1+i(\text{계산})}{1+i(\text{실측})} \\ &= 2.028 \times \frac{1+0.214}{1+0.167} = 2.110 \end{aligned}$$

2.8.3 내하력 평가

가) 허용응력법에 의한 내하력 평가

1) 내하율 평가

허용 응력법에 의한 교량부재의 내하율 산정시에 하중조합으로는 DL(1+i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.0이 된다. 사용재료의 허용응력은 강재의 경우 사용재료에 따라 항복응력, 콘크리트의 경우 실제 압축강도를 사용하여 도로교 표준시방서 규정에 의거 부재종류에 따라 결정한다.

허용 응력법에 의한 교량부재의 내하율은 다음 식으로 계산한다.

$$\bullet R.F = \frac{f_a - f_d}{f_l(1+i)}$$

여기서, f_a = 재료의 허용응력

f_d = 설계 사하중 응력(활하중 이외의 응력)

f_l = 설계 활하중 응력

i = 실측 충격계수

구 분		f_a	f_d	$f_l(1+i)$	$R.F$
ST.BOX Girder	상연	220.805	69.283	18.293	8.28
	하연	-190.0	-82.044	-48.317	2.23

2) 기본 내하력 산정

$$P_o = R.F \times P_r$$

여기서, P_r : 설계하중

구 분		내하율	설계하중	기본내하력
ST.BOX Girder	상연	8.28	DB-24	198.7
	하연	2.23	DB-24	53.6

3) 공용 내하력 산정

$$P = P_o \times K_s$$

$$\text{여기서, } K_s = \frac{\delta_{\text{계산}}}{\delta_{\text{실측}}} \times \frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$$

구 분		내하율	응력보정계수(K_s)	기본내하력 (=24 x RF)	공용내하력
ST.BOX Girder	상연	8.28	1.134	198.7	53.6
	하연	2.23		53.6	

나. 강도설계법에 의한 내하력 평가

1) 내하율 평가

강도 설계법에 의한 교량부재의 내하율 산정 시 하중조합으로는 1.3D + 2.15L (1.0 + i)를 사용하므로 하중계수는 각각 1.3, 2.15가 된다. 단면강도는 단면의 현재 상태, 즉 재료강도와 단면손실 등을 고려하여 도로교 표준시방서의 공칭강도와 강도감소계수에 따라 계산한다. 사하중과 활하중에 의한 단면력은 현재 적용하고 있는 사하중과 현행 도로교 표준시방서의 설계 활하중(DB 또는 DL 하중)을 사용하여 구조해석을 수행한 후 구한다.

강도 설계법에 의한 내하율은 다음과 같다.

$$\bullet P = P_r \times R.F \times K_s \quad P_r = \text{설계하중}$$

$$\bullet R.F = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_l M_l}$$

여기서, ϕ = 강도 감소계수 (= 0.85)

γ_d = 사하중 계수 (= 1.3)

γ_l = 활하중 계수 (= 2.15)

M_n = 공칭 모멘트

M_d = 사하중 모멘트

M_l = 활하중 모멘트(실측 충격계수 고려)

구 분	ϕM_n	M_d	$M_l(1+i)$	$R.F$
캔틸레버부(우측)	122.22	11.38	27.87	1.793
지간중앙부	106.0	5.390	33.07	1.392

2) 기본 내하력 산정

구 분	내하율	설계하중	기본내하력
캔틸레버부(우측)	1.793	DB-24	43.0
지간중앙부	1.392	DB-24	33.4

다. 내하력 평가결과

구 분		내하율	응답보정계수	기본내하력	공용내하력
ST.BOX Girder	상연	8.28	2.11	198.7	53.6
	하연	2.23		53.6	
바닥판	캔틸레버부(우측)	1.793	-	43.0	33.4
	지간중앙부	1.392		33.4	

내하력 평가 결 과	수하3교(장호원방향)에 대한 허용응력 설계법에 의한 주형 부재의 공용 내하력을 산정한 결과, 주형 모두 DB-24 이상으로 통과하중에 대한 여유를 확보하고 있는 것으로 산출되었으며, 강도 설계법에 의한 바닥판의 내하력 평가도 설계하중인 DB-24 이상으로 통과하중에 대한 여유를 확보하고 있는 것으로 평가되었다.
---------------	--

라. 안전성 평가

구조물의 안전성 평가는 주요 구조부재의 정밀육안검사, 비파괴 현장시험 및 재료시험의 결과를 토대로 종합적으로 이루어져야 한다. 현재 도로교와 철도교는 강교의 경우 허용응력설계법, 콘크리트교는 강도설계법으로 설계되고 있다. 안전성 검토는 대상 교량의 설계개념을 따라 일관성이 유지되도록 평가하는 것을 원칙으로 한다.

1) 안전성평가 기준

등급	안전성평가 기준	비 고
A	$SF > 1.0$	· 허용응력 설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{허용응력}}{\text{발생응력}} = \frac{fa}{f_{d+1}}$ · 강도설계법 $SF(\text{안전율}) = \frac{\text{설계강도}}{\text{소요강도}} = \frac{\Phi Mn}{Mu}$
B	$0.9 \leq SF < 1$ 이나, 공용내하력이 설계하중보다 크게 평가된 경우	
C	$0.9 \leq SF < 1$	
D	$0.75 \leq SF < 0.9$	
E	$SF < 0.75$	

※ 안전성평가등급은 통합시설물까지는 소문자(a, b, c, d)로 표기하고 전체시설물에 대해서만 (A, B, C, D, E)로 표기함.

2) 안전성평가 결과

① 주형

구 분		fa(허용응력) (MPa)	fs(발생응력) (MPa)	최소 안전율(SF)	안전성 평가등급
ST.BOX Girder	상연	220.805	87.576	2.521	A
	하연	-190.0	-151.696	1.252	A
평 가 결 과					
· 수하3교(장호원방향)에 대한 안전성평가 결과 주형의 안전율(SF)이 1.00이상으로서 구조적으로 안전한 것으로 평가되었다.					

② 바닥판

구 분	ΦM_n (설계강도) (kN · m)	M_u (소요강도) (kN · m)	최소 안전율(SF)	안전성 평가등급
캔틸레버부(우측)	122.2	86.0	1.421	A
지간중앙부	106.0	80.8	1.311	A
평 가 결 과				
· 수하3교(장호원방향)에 대한 안전성평가 결과 바닥판의 안전율(SF)이 1.00이상으로서 구조적으로 안전한 것으로 평가되었다.				

2.9 종합평가 및 안전등급 지정

2.9.1 종합평가

시설물의 종합평가는 상태평가만 실시한 경우에는 상태평가결과에 의해 부여된 상태평가등급이 그 시설물에 대한 종합평가등급으로 결정되며, 상태평가와 안전성평가를 동시에 실시한 경우에는 각각의 결과로 부여된 상태평가결과와 안전성평가결과를 비교하여 최저평가결과를 종합평가 결과로 결정한다.

$$\text{종합평가등급} = \text{Min}(\text{상태평가등급}, \text{안전성평가등급})$$

평가구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태평가	0.093	A	
안전성 평가	1.252	A	
종합평가	-	A	
종합평가 결과	수하3교(장호원방향)의 종합평가 결과 “A등급”		

2.9.2 안전등급

수하3교(장호원방향)에 대한 종합평가 결과 전체 시설물에 대한 안전등급은 문제점이 없는 최상의 상태인 “A등급”인 것으로 판정되었다.

안전등급	시설물의 상태
A(우수)	문제점이 없는 최상의 상태
B(양호)	보조부재에 경미한 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수가 필요한 상태
C(보통)	주요부재에 경미한 결함 또는 보조부재에 광범위한 결함이 발생하였으나 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 주요부재에 내구성, 기능성 저하 방지를 위한 보수가 필요하거나 보조부재에 간단한 보강이 필요한 상태
D(미흡)	주요부재에 결함이 발생하여 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정하여야 하는 상태
E(불량)	주요부재에 발생한 심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 상태

2.10 종합결론

- 가. 본 시설물은 경기도 이천시 신둔면 도암리에 위치한 STEEL BOX GIRDER교 교량으로서 총연장은 100.0m(30+40+30)이고 양방향 중 장호원방향 폭은 13.94m(편도 3차로)의 시설물로 안전관리에 관한 특별법상 2종 시설물에 해당되며, 각 부재에 대한 정밀 외관조사 및 재료시험 등을 실시하였다.
- 나. 과업대상 부재에 대한 정밀 외관조사 결과, 일부 부재에 균열, 망상균열, 백태, 도장들뜸 등이 조사되었으나, 기 발생한 손상에 대하여 보수가 완료된 것으로 확인되었다.
- 다. 점검대상 교량인 수하3교(장호원방향)에 대하여 “안전점검 및 정밀안전진단 세부지침”에 의거 현재 교량의 상태를 판단한 결과, 외관상태는 안전성을 저해할 만한 손상이 없는 양호한 상태이며, 비파괴시험 결과 콘크리트 압축강도, 철근배근 상태 등은 설계치를 만족하는 것으로 확인되었다.
- 라. 교량의 받침장치에 대한 이동량 및 연단거리를 측정한 결과 수축·신장에 따른 여유량과 충분한 연단거리를 확보하고 있는 것으로 검토되었다.
- 마. 상태평가 결과를 토대로 한 종합평가 등급은 “A등급”으로 분석되어 수하3교(장호원방향)은 “문제점이 없는 최상의 상태”인 것으로 평가되었다.
- 바. 향후 교량의 양호한 상태를 지속적으로 유지시킬 수 있도록 관리주체의 지속적인 유지관리가 요구된다.

구분	균열폭	보수방안	비고
균열 및 백태	0.3mm미만	표면보수	
망상균열	-	표면처리	
도장탈락	-	재도장	
실란트 열화	-	재시공	