

제3장 옥산JCT Ramp-D교

- 3.1 시설물의 개요
- 3.2 현장조사 및 시험
- 3.3 상태평가
- 3.4 교량 재하시험
- 3.5 안전성평가 및 내하력평가
- 3.6 종합평가 및 안전등급
- 3.7 종합결론

제3장 옥산JCT Ramp-D교

3.1 시설물의 개요

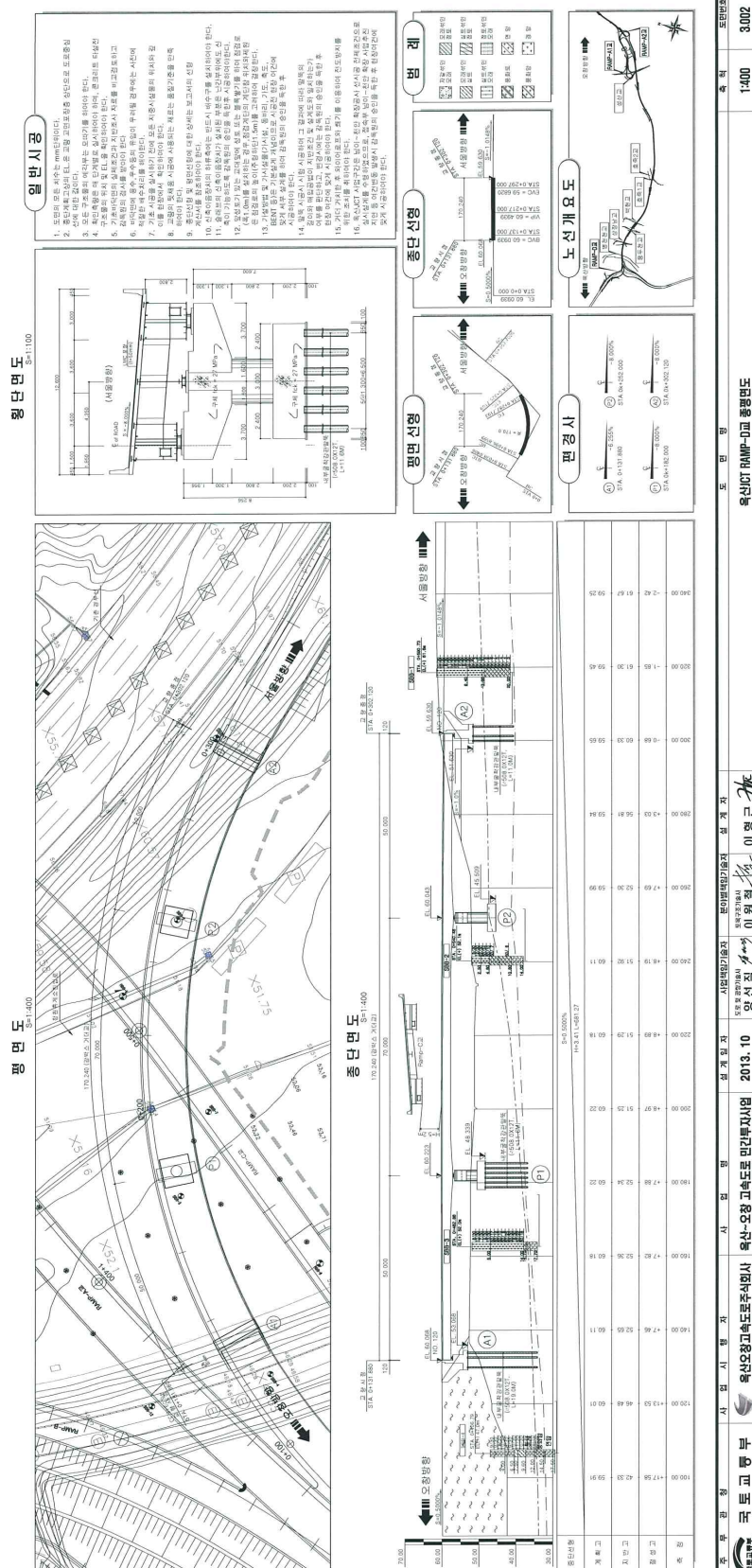
3.1.1 교량개요

본 초기점검 대상 시설물인 옥산JCT Ramp-D교에 대한 시설물 현황은 다음과 같다.

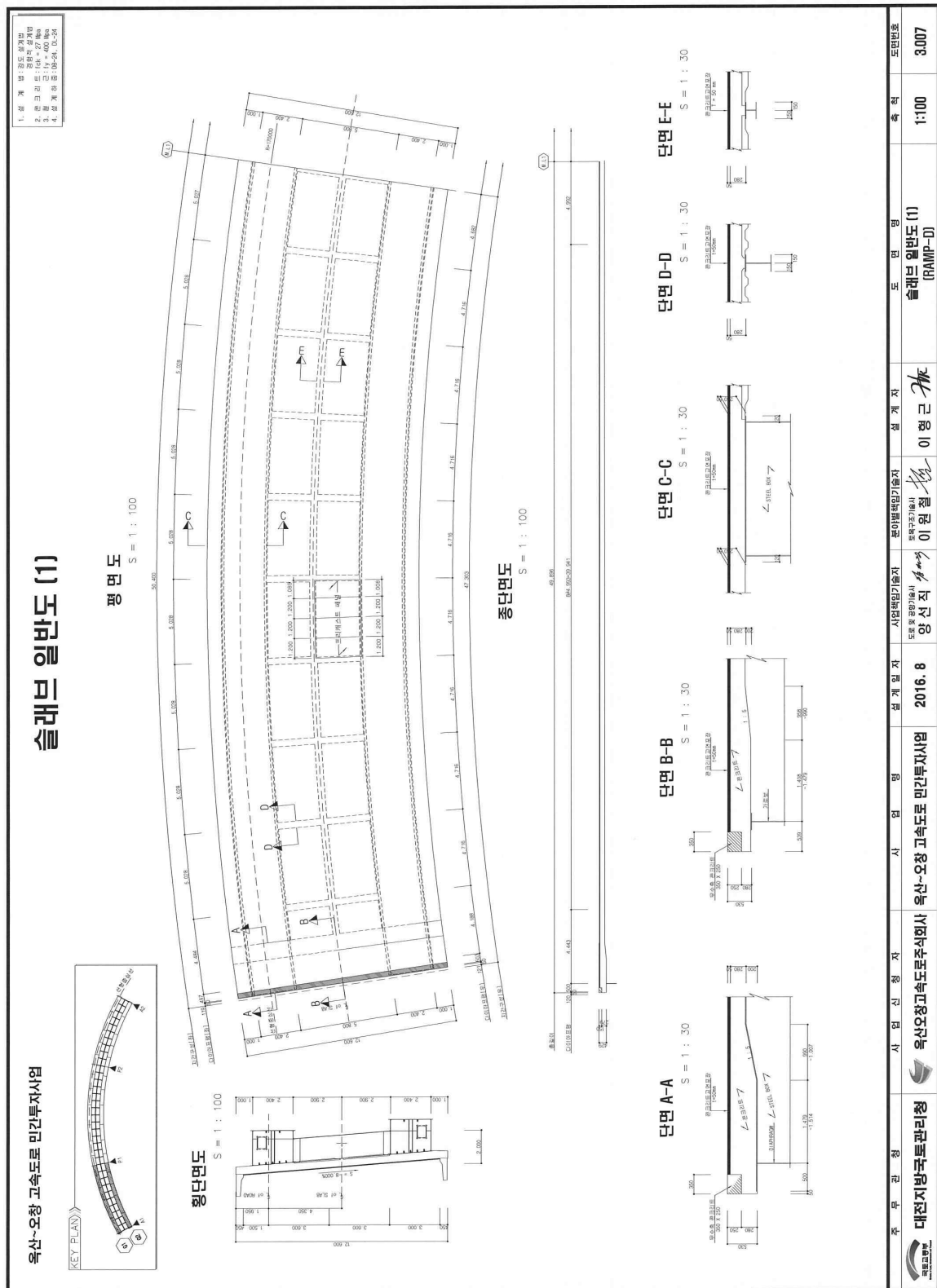
【표 2.3.1】 과업대상 시설물의 개요

구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		옥산JCT Ramp-D교		시설물번호		-	
준공년월일		2018. 01. 13		관리번호		-	
시설물위치		충북 청주시 흥덕구 옥산면					
설계하중		DB, DL-24		노선명(이정)		아산청주고속도로(옥산-오창)	
제원	연장	L = 50.12 + 70 + 50.12 = 170.24m					
	폭	B = 12.6m					
구조 형식	상부	SEB GIRDER교 (강재)		기초 형식	교대	말뚝기초(A1,A2)	
	하부	교대:역T형, 교각:T형			교각	말뚝기초(P1) 직접기초(P2)	
교량받침		에너지분산받침(EDS)		신축이음		Finger Joint	
교차시설물		-		통과높이		-	
부착시설 (도로, 철도, 하천)		-					
기 타		-					
							
상면전경				측면전경			

옥산JCT RAMP-D교 종평면도

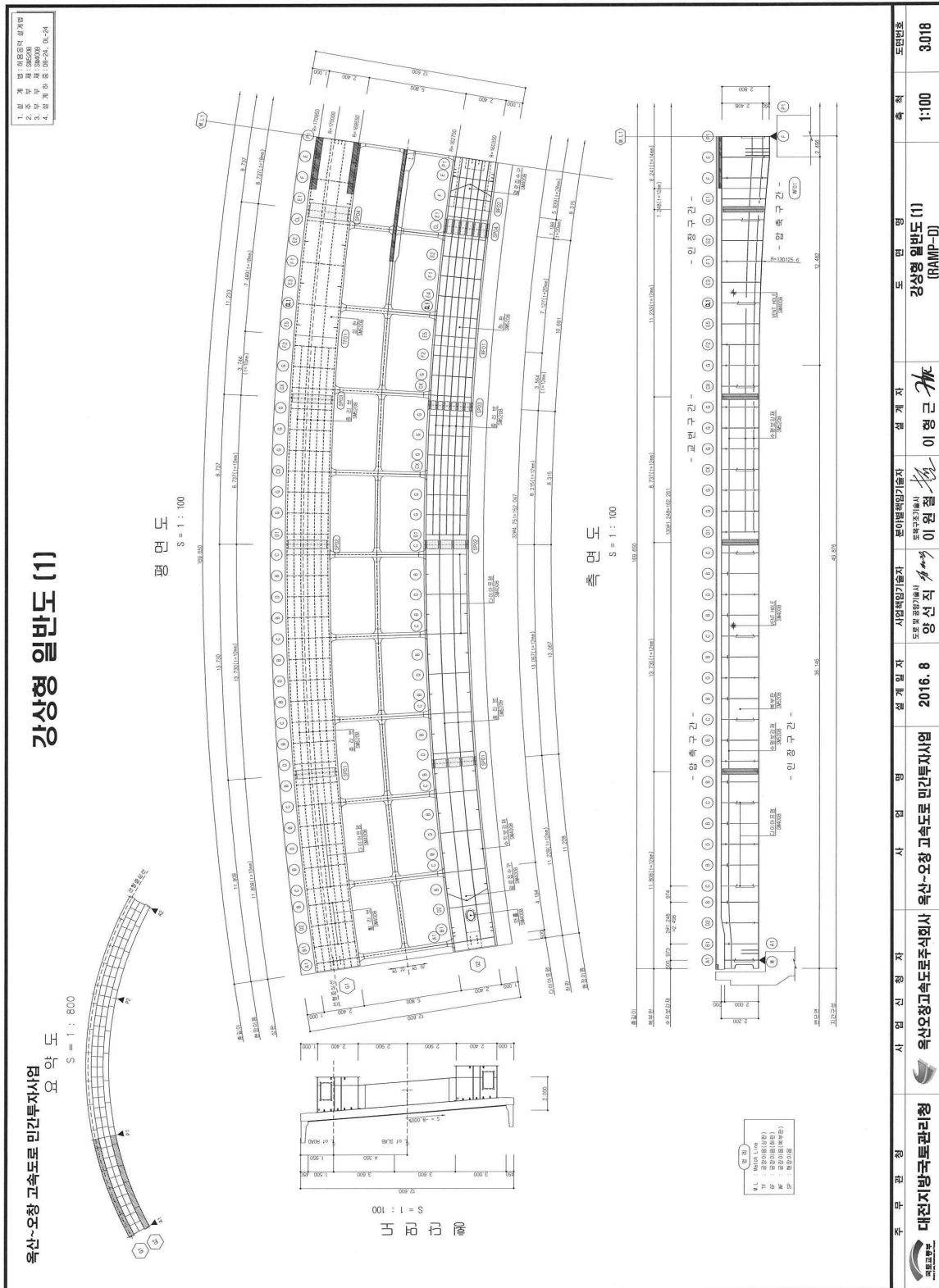


【그림 2.3.1】 종평면도

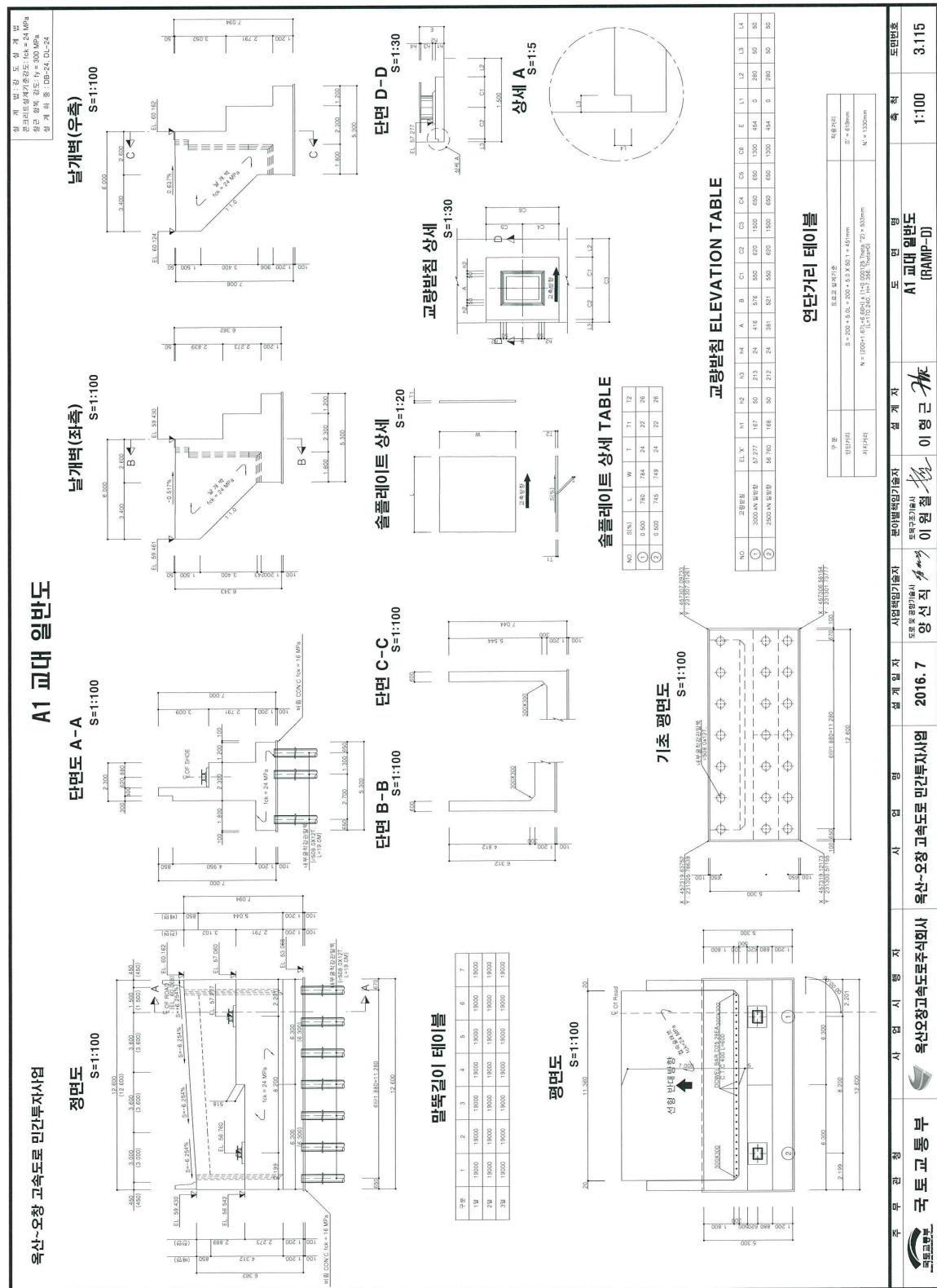


【그림 2.3.2】 슬래브 일반도

옥산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검

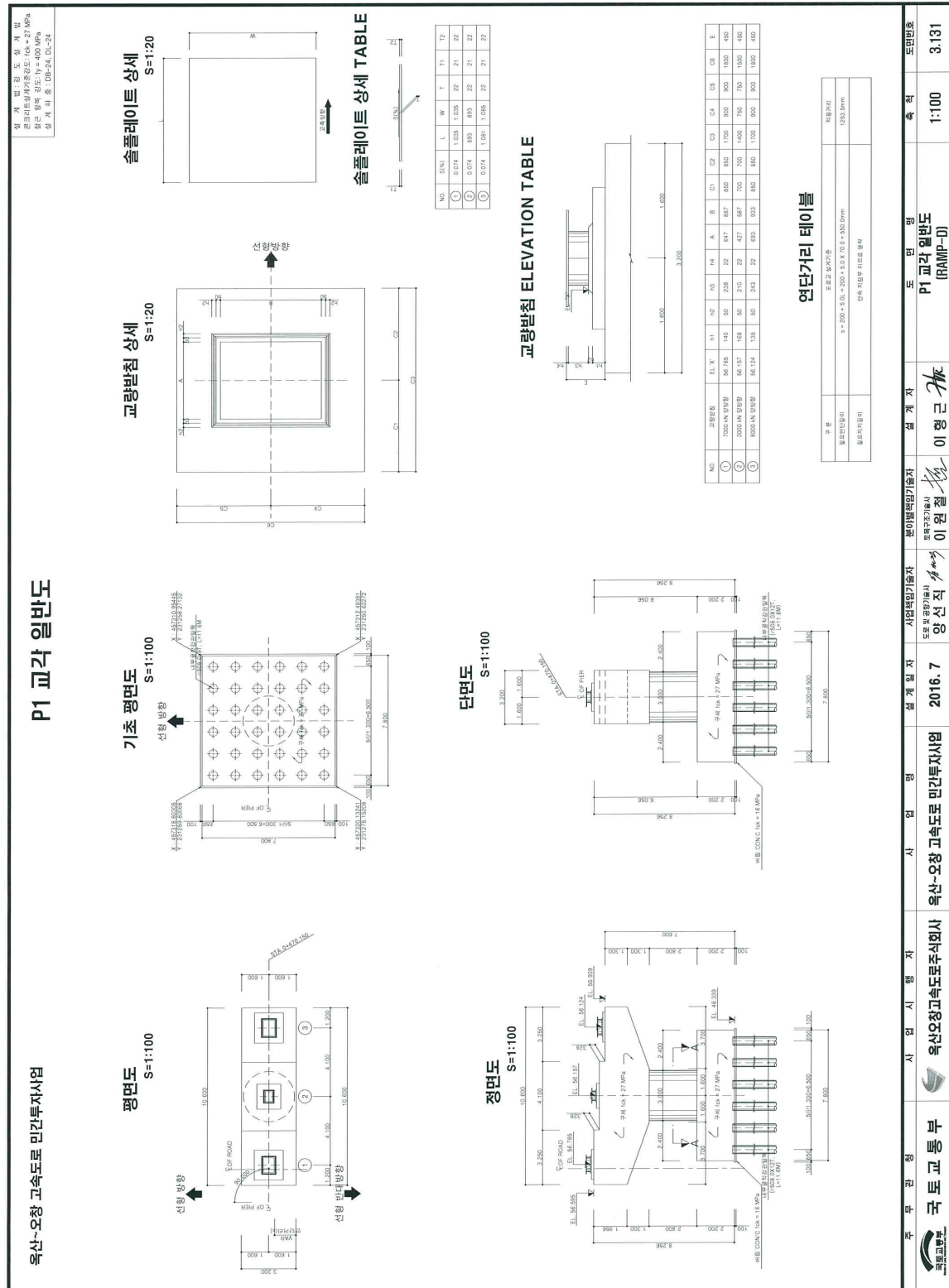


【그림 2.3.3】 강상자형 일반도



【그림 2.3.4】 교대A2 일반도

옥산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검



【그림 2.3.5】 교각(P1) 일반도

옥산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점점

3.2 현장조사 및 시험

3.2.1 외관조사 결과

본 점검 대상 구조물인 옥산JCT Ramp-D교에 대하여 각각 부재별로 외관조사를 실시하여 손상발생 현황에 대한 조사를 실시하였으며, 외관조사 결과는 다음과 같다.

가. 교면포장

교면포장은 콘크리트 포장으로 시공되어 있으며, 포장면에 대한 점검결과, 포장균열, 파손 등의 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.



나. 배수시설

본 교량에 설치된 배수시설은 육교형 배수관(알루미늄 강관 Pipe)으로서, 설치된 배수구는 설계도면에 준하여 적정하게 시공된 것으로 확인되었으며, 배수시설의 설치상태 및 교면의 배수상태는 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다.



다. 난간 및 연석

본 교량의 좌·우측 방호벽은 콘크리트 구조로 시공되어있다. 방호벽에 대한 외관조사 결과, 균열(폭 0.3mm미만)이 일부 조사되었으나, 준공 전 시공사측에서 보수조치를 실시하여 현재 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

구 분	손상상태	손상물량	비 고
방호벽	균열(폭 0.3mm미만)	1.8m/6ea	보수완료



방호벽 전경



방호벽 균열(폭 0.3mm미만)(보수완료)

라. 신축이음

본 교량의 신축이음장치는 총 2개소(A1, A2)에 설치되어 있으며, 모두 Finger형 조인트로 구성되어 있다. 신축이음장치에 대한 점검결과, 조인트 본체 및 후타재에 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 신축이음의 거동상태도 양호한 것으로 나타났다.



신축이음 상태양호(A1)



신축이음 상태양호(A2)

마. 바닥판 하면

바닥판의 캔틸레버부는 철근콘크리트 구조이며, 중앙부는 Rib Deck가 시공되어 있다. 바닥판에 대한 외관조사 결과 균열, 박리 및 박락, 재료분리, 파손 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.



바. 강재 거더

본 교량의 거더는 SEB 거더 형식이며, 거더 내·외부에 대한 용접상태, 도장상태, 부식상태, 변형여부 등에 대한 외관조사 결과 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.



사. 강재 가로보

본 교량의 가로보는 강재 가로보로 시공되어 있다. 가로보에 대한 점검결과, 구조적으로 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.



아. 교량받침

교량받침은 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하는 기능을 갖는 장치로서 교량의 내구성, 안정관련된 중요한 구조요소이다. 또한 고정하중, 활하중 등에 의해서 상부구조에 발생하는 변위뿐만 아니라 온도변화 및 크리프에 의해서도 교량의 변위, 변형이 발생하므로 상·하부 구조를 별개로 한 경우 이들의 접점에 있는 받침은 그 변위를 흡수하는 구조로 하거나 변위에 의해 발생하는 하중에 저항할 수 있는 구조이다.

본 교량의 받침장치는 에너지분산받침(EDS) 형식으로 총 10개소(2개소/교대 1EA당, 3개소/교각 1EA당)가 설치되어 있다. 교량받침에 대한 점검결과, 받침 본체 및 받침콘크리트에 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.



자. 교대

교대는 역T형으로 시공되어 있다. 외관조사 결과 건조수축에 의한 균열(폭 0.3mm미만 및 이상), 백태 손상이 일부 조사되었으나, 준공 전 시공사측에서 보수조치를 실시하여 현재 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

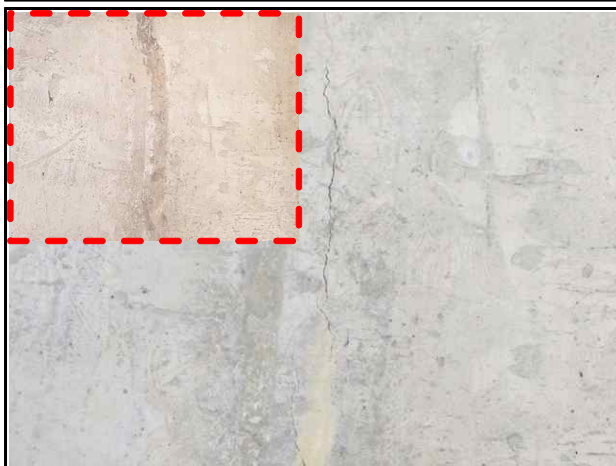
구 분	손상상태	손상물량	비 고
교대	균열(폭 0.3mm미만)	2.0m/3ea	보수완료
	균열(폭 0.3mm이상)	1.5m/1ea	보수완료
	백태	0.03m ² /1ea	보수완료



교대 A1 전경



교대 A2 전경



교대 A1 균열(폭 0.3mm)(보수완료)



교대 A2 백태(보수완료)

차. 교각

교각은 T형으로 시공되어 있다. 외관조사 결과 균열(폭 0.3mm미만)이 일부 조사되었으나, 준공 전 시공사측에서 보수조치를 실시하여 현재 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

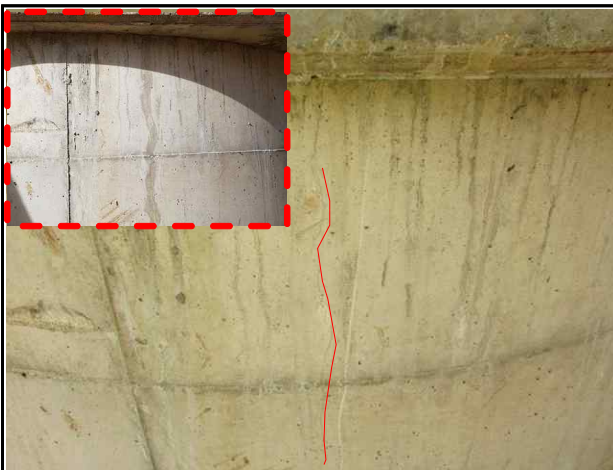
구 분	손상상태	손상물량	비 고
교각	균열(폭 0.3mm미만)	11.9m/14ea	보수완료



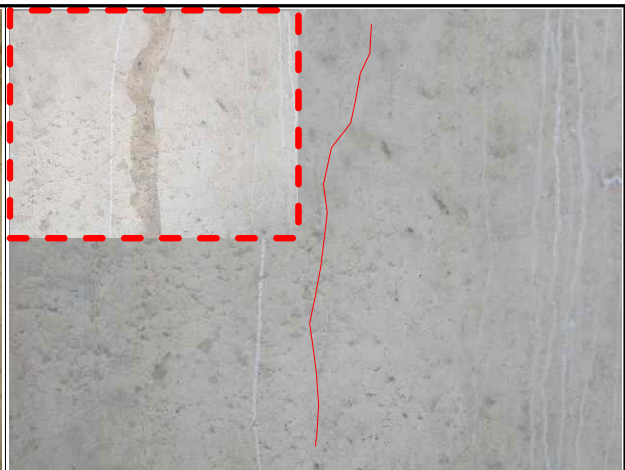
교각 P1 전경



교각 P2 전경



교각 P1 균열(폭 0.1mm)(보수완료)

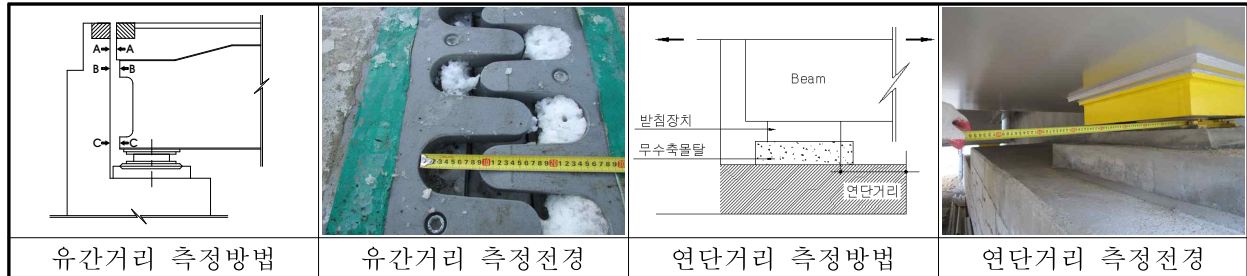


교각 P2 균열(폭 0.1mm)(보수완료)

3.2.2 부재별 기능조사 결과

가. 개요

부재별 기능조사는 유간거리 및 연단거리 측정을 실시하였으며, 측정현황은 다음과 같다.



【그림 2.3.6】 부재별 기능상태 측정방법 및 전경

나. 유간거리 검토

1) 계산 신축량 산정

【표 2.3.2】 온도변화의 범위 및 선팽창 계수

측 정 일	2018년 11월 11일		
온도변화 범위	-10℃ ~ +40℃ (보통지방)	선팽창 계수(α)	1.2×10 ⁻⁵
점검시 기온	-9.3℃		
온도에 의한 신축량(ΔL _T)	ΔLT = ΔT × α × L		
회전에 의한 이동량(ΔL _r)	ΔLr = 2h/3 × Θ (강교=1/150)		
주형높이(h)	2,200m		
지간장(L)	A1~P1, P2~A2 : 50.0m, P1~P2 : 70.0m		

▶ 설계 신축량 계산(조사일 : 2018년 1월 11일, 일평균기온 : -9.3℃)

- 온도에 의한 신축량(Δlt) ; 보통지방, 강교 : -10~+40℃ 적용

$$\Delta l_t = \Delta T \times \alpha \times L$$

여기서, ΔT : 40℃ - (-9.3℃) = 49.3℃ (신장), -9.3℃ - (-10℃) = 0.7℃ (수축)

$$\alpha (\text{선팽창계수}) : 1.2 \times 10^{-5}$$

L : 신축들보의 길이 (L=50.0m, 70.0m)

$$\{[A1, A2\text{지점}] = 85.0\text{m}\}$$

$$\triangleright A1, A2\text{지점} = (50.29\text{mm} - \text{신장} / 0.71\text{mm} - \text{수축})$$

☞ 신축여유량 : (기본 신축량 × 20%) + 10mm → 신축장 100m미만

→ 설치여유량 ($\Delta \ell t$)×20% : 본 교량은 시공이 완료된 상태이므로 여유량에서는 제외함.

→ 신장 및 신축에 대한 여유량은 각 경우에 대해 여유량의 1/2만큼을 적용함.

2) 유간거리 측정결과

신축이음의 유간과 바닥판의 유간 측정치와 계산이동량 산정치를 비교 검토한 결과 전체 개소에서 현행설계기준에 따른(도로교설계기준 해설, 2008) 부가여유량을 고려한 경우에도 상부구조의 신축거동을 수용할 수 있는 양호한 상태로 나타났다.

【표 2.3.3】 유간거리 검토결과

위치		계산 신축량 (mm)			옥산JCT Ramp-D교		
					측정유간 (mm)	판정	
		$\Delta \ell t$	여유량/2	합계		온도 이동량	합계 이동량
A1	신장	50.29	5.0	55.29	90.0	OK	OK
	수축	0.71	5.0	5.71	30.0	OK	OK
A2	신장	50.29	5.0	55.29	95.0	OK	OK
	수축	0.71	5.0	5.71	25.0	OK	OK

※ 신축이음 허용량(설계도면 확인) : A1=120mm, A2=120mm

다. 연단거리 검토

1) 연단거리 계산

- 주형의 경간길이 100m 이하 연단거리(S) = $200 + 5 \times L$
- 주형의 경간길이 100m 이상 연단거리(S) = $300 + 4 \times L$ 여기서, L : 경간길이
- 경간길이
 - * 50.0m : $S = 200 + (5 \times 50.0) = 450.0(\text{mm})$
 - * 70.0m : $S = 200 + (5 \times 70.0) = 550.0(\text{mm})$

2) 연단거리 측정결과

각 교량받침에 대한 연단거리를 측정한 결과, 실측 연단거리는 650mm~1,400mm로 도로교 설계기준(2010년) 상의 최소연단거리 450.0mm~550.0mm 이상 확보한 것으로 조사되어 기준을 만족하는 것으로 검토되었다.

【표 2.3.4】 연단거리 측정결과

구 분		실측거리(mm)	경간장 L(m)	최소연단거리 S(mm)	평 가
옥산JCT Ramp-D교	A1	650~680	50	450	O.K
	P1	1,400	70	550	O.K
	P2	1,300~1,400	70	550	O.K
	A2	650	50	450	O.K

라. 교량받침 이동 여유량 검토

1) 실측 이동량

가동받침은 상부구조의 신축거동에 대해 여유있는 구조로 하여야 하며, 본 절에서는 실제 측정된 가동받침의 이동량을 기준으로 교량받침의 이동 여유량을 검토하도록 한다.

【표 2.3.5】 교량받침 이동량 측정결과

측정당시 온도		3.3℃ (2017년 11월 20일)		교량받침 종류	에너지분산받침 (EDS)
구분	가동단 변위량(mm)			허용이동량 (mm)	
	SH1		SH2		
A1	0		0	±60	
P1	0		0	±60	
-	Fix			-	
P2	0		0	±60	
A2	↑ 5.0		↑ 5.0	±60	

2) 교량받침 이동 여유량 계산

가동받침에서 이론적으로 산정된 교량받침의 이동량은 다음과 같다.

- 1) 조사시 온도 : 3.3℃ (2017년 11월 20일)
- 2) 온도변화 : -10℃ ~ 40℃ (강교, 보통지방)

3) 받침 이동량 산정

온도에 의한 이동량($\Delta \ell t = \Delta T \cdot \alpha \cdot L$)

여기서, ΔT : $40^{\circ}\text{C} - (3.3^{\circ}\text{C}) = 36.7^{\circ}\text{C}$ (신장), $3.3^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C}) = 13.3^{\circ}\text{C}$ (수축)

α (선팽창계수) : 1.2×10^{-5}

L : 신축들보의 길이 (L=85.0m, 35.0m)

위 치	신축길이(m)	이론신축량		비 고
		신장량(mm)	수축량(mm)	
A1, A2	85.0	37.43	13.57	
P1, P2	35.0	15.41	5.59	

【표 2.3.6】 교량 받침 이동량 검토

구 분	신축장 (mm)	이론신축량(mm)		신축여유량(mm)		판정
		신장	수축	신장	수축	
A1	85,000	37.43	13.57	60	60	O.K
P1	35,000	15.41	5.59	60	60	O.K
-	-	-	-	-	-	Fix
P2	35,000	15.41	5.59	60	60	O.K
A2	85,000	37.43	13.57	65	55	O.K

※ 이론신축량 : 온도변화에 의한 신축량

▶ 검토결과 : 온도 3.3°C 일 때의 가동받침의 신축여유량 검토 결과, 교량에 설치된 가동받침장치의 실축여유량이 이론신축량을 만족하는 것으로 평가되어 양호한 것으로 확인됨.

3.2.3 내구성조사

가. 반발경도시험

1) 반발경도시험 결과

반발경도시험은 바닥판, 교대, 교각의 총 6개소에서 실시하였으며, 시험결과 모든 부재에서 설계압축강도(바닥판 : 27.0MPa, 교대 : 24.0MPa, 교각 : 27.0MPa)를 상회하는 것으로 조사되었다.

【표 2.3.7】 반발경도시험 결과

구 분		설계압축강도(MPa)	반발경도범(MPa)	강도비(%)
상부구조	바닥판	27.0	29.8 ~ 30.3	110.4 ~ 112.2
하부구조	교 대	24.0	26.7	110.0
	교 각	27.0	28.9 ~ 29.2	107.0 ~ 108.1

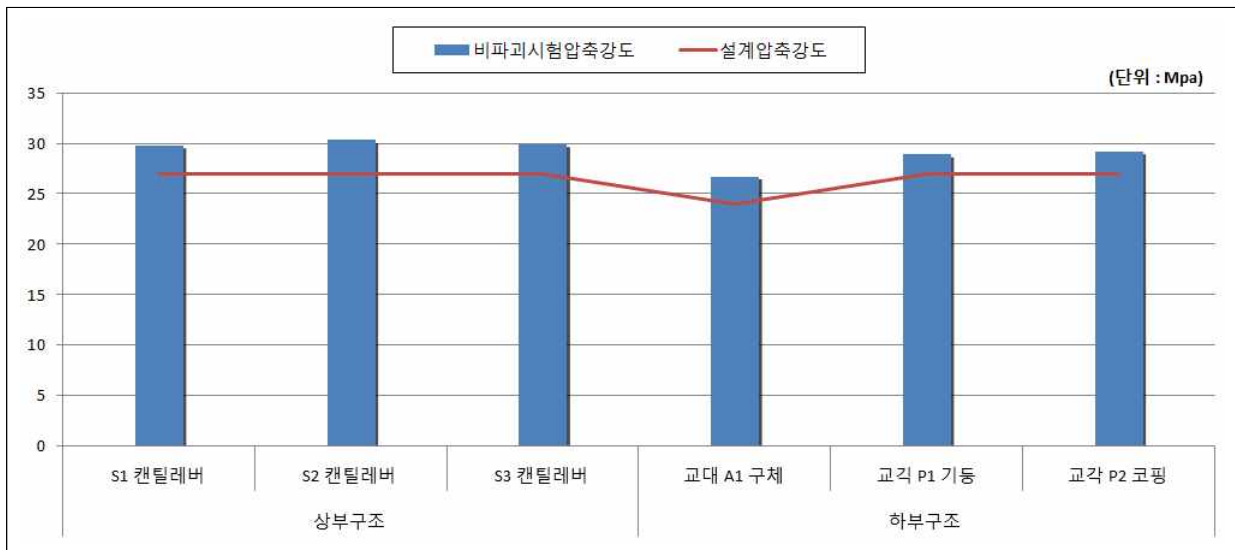
2) 각 부재별 반발경도 시험결과

【표 2.3.8】 각 부재별 반발경도시험 결과

시 험 위 치		평균치 R	보정치 ΔR	기준 경도 Ro	재령 계수 an	추정 압축강도 방법1	추정 압축강도 방법2	평균 강도 (MPa)	설계압축 강도(MPa)
상부 구조	S1 캔틸레버	48.1	-3.3	44.8	0.73	28.4	31.2	29.8	27.0
	S2 캔틸레버	48.8	-3.3	45.5	0.73	29.0	31.5	30.3	27.0
	S3 캔틸레버	48.2	-3.3	44.9	0.73	28.5	31.2	29.9	27.0
하부 구조	교대 A1 구체	42.2	0.0	42.2	0.7	24.9	28.5	26.7	24.0
	교각 P1 기둥	45.3	0.0	45.3	0.7	27.6	30.1	28.9	27.0
	교각 P2 코핑	45.7	0.0	45.7	0.7	28.0	30.3	29.2	27.0

주) • 추정압축강도(방법1) : 일본재료학회 추정식 ($F_c = -18.0 + 1.27 \times R_o$ (MPa))

• 추정압축강도(방법2) : 일본건축학회 추정식 ($F_c = (7.3 \times R_o + 100) \times 0.1$ (MPa))



【그림 2.3.7】 콘크리트 강도시험 결과 그래프

나. 철근탐사시험

철근탐사시험 결과, 철근배근간격 및 피복두께는 설계도면과 전반적으로 일치하는 것으로 조사되었다.

【표 2.3.9】 철근탐사시험 결과

탐사위치		배근종류	설계치(mm)		측정치(mm)	
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께
상부구조	S3 캔틸레버	주 철 근	@200	89	≒ @200	≒ 80
		배력철근	@125	105	≒ @125	≒ 100
하부구조	교대 A1 홍벽	수직철근	@250	70.5	≒ @250	≒ 65
		수평철근	@300	51.5	≒ @300	≒ 45
	P1 교각 기둥	수직철근	@125	87.5	≒ @125	≒ 110
		수평철근	@300	68.5	≒ @300	≒ 90
	P2 교각 코핑	수직철근	@200	87.5	≒ @200	≒ 90
		수평철근	@200	112.5	≒ @200	≒ 115

3.3 상태평가

3.3.1 상태평가 결과

본 옥산JCT Ramp-D교에 대해 경간별로 부재에 대한 최종 상태평가 결과 환산결함도 점수는 0.100으로 나타나, 결함도범위 $0.0 \leq x < 0.13$ 에 해당하는 『A등급』으로 평가되었다.

【표 2.3.10】 상태평가 결과

부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성요소	
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간연석	신축이음	교량받침	하부	기초	탄산화(상)	탄산화(하)
1	SEB	a	a	a	a	a	a	a	a	a	Q	a	a
2	SEB	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
3	SEB	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
4	SEB	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	a	a	a	Q	N/A	a
평균		0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100
가중치		18	20	5	7	3	2	9	9	20	N/A	4	3
(평균X가중치) /가중치합		0.018	0.020	0.005	0.007	0.003	0.002	0.009	0.009	0.020	0.000	0.004	0.003
1. 환산결함도 점수 =												0.100	
2. 상태평가 결과 =												a	

【표 2.3.11】 상태평가 결과표

교량명	옥산JCT Ramp-D교						
구성교량명	환산결함도점수	상태평가등급	연장(m)	차선	길이×차선	연장비	환산결함도점수×연장비
본 교	0.100	A	170.0	2	340.0	1.000	0.100
합계(Σ)			170.0		340.0	1.000	0.100
1. 평가지수 =							0.100
2. 상태평가 결과 =							A 등급

3.4 교량 재하시험

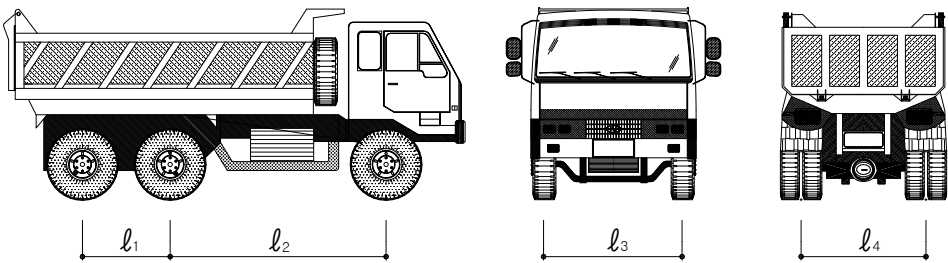
3.4.1 개 요

가. 현장시험의 개요

구 분		내 용
시험일자		2017. 12. 22
시험시간		PM 04:00 ~ PM 06:00
시험위치		S1, S2(최대 정모멘트가 작용하는 지점)
재하시험차량 대수		1대
하중 경우 수	정적재하시험	Load Case 1~6 (6회)
	동적재하시험	10km/hr ~ 70km/hr

나. 재하시험 차량의 제원 및 하중

대상교량의 정적재하시험에는 설계하중의 약 62%에 해당하는 토사를 만재한 269.10kN 트럭 1대를 사용하였으며, 재하차량의 제원 및 중량은 다음과 같다.

차 량 제 원		계 량 증 명 서		
		계 량 확 인 서 승인번호: 5328 일 지2017-12-18 차 량 번 호5328 거 래 차 종 목공인계량 출 동 일07.10.07분26,910 kg 공 시 주 환07.10.07분18,930 kg 실 종 환7,980 kg 공 환 / 원 환0 kg 인 수 환7,980 kg 단 가 / 총 액0 원 / 0 원 계 량 차 비 고 상기인 값이 계량어진것을 확인함 126-28-13456 상은공인계량소 김은영 공기도 형식시 초이월 199-2 지 공 전 공인계량소 대한공인계량소 TEL 02088-1728 FAX 02088-1729		
구 분	재하차량 제원(m)			
	l_1	l_2	l_3	l_4
15ton 덤프트럭	1.30	3.20	2.10	1.85
구 분	총 중 량 (kN)	전륜축중량 (kN)	중륜축중량 (kN)	후륜축중량 (kN)
덤프트럭 (5328)	269.10	79.80	94.65	94.65

다. 교량 재하시험 사진



변형률계 설치 현황



처짐계 설치 현황



가속도계 설치 현황



재하시험 계측 전경



정적 재하시험 전경



동적 재하시험 전경

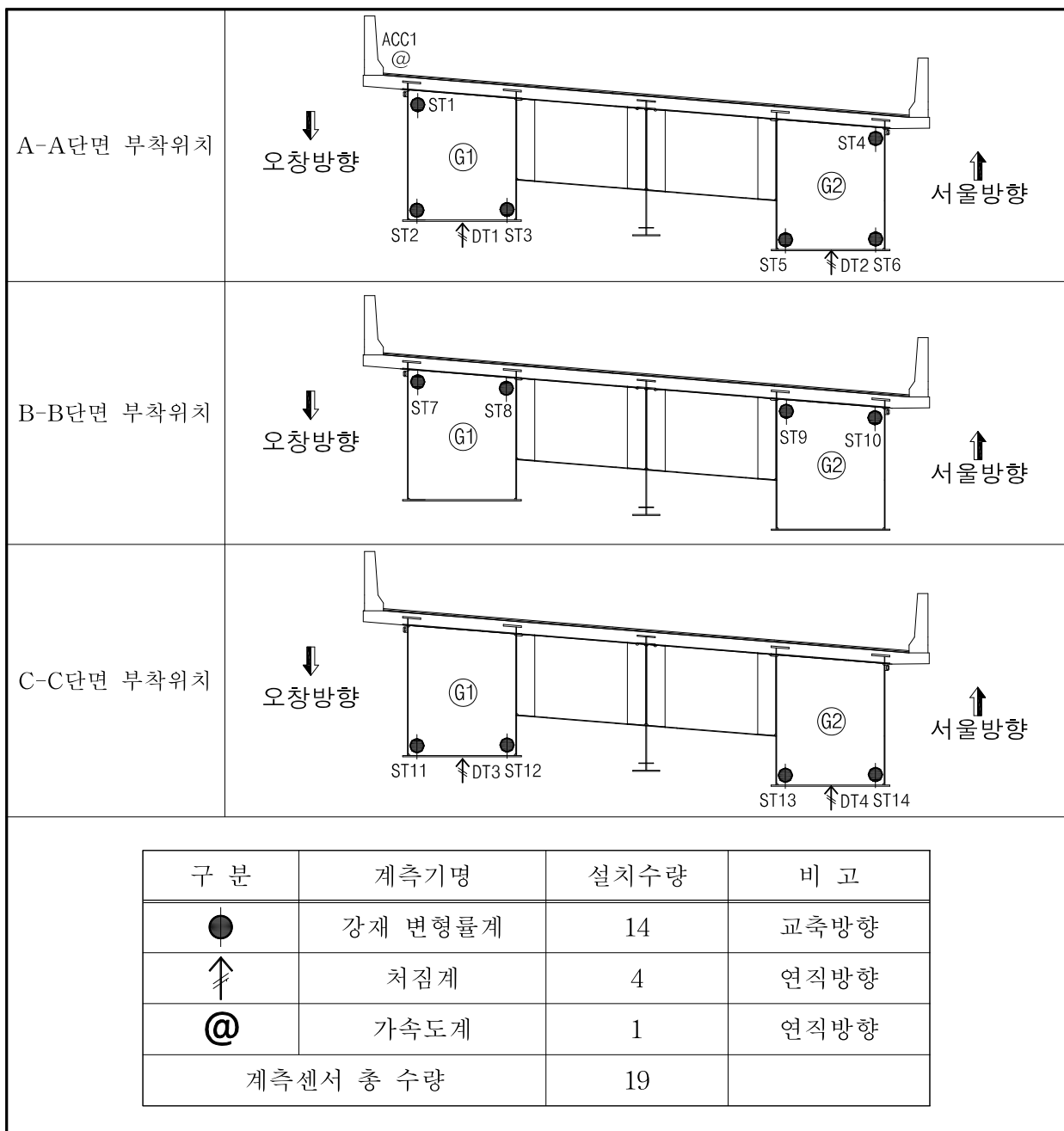
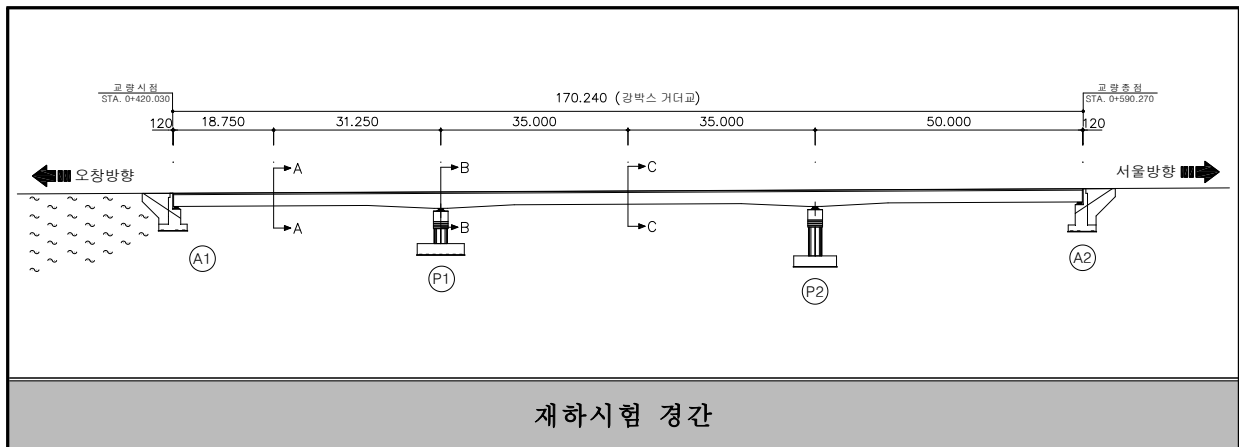
라. 계측센서 사양 및 수량

구분	센서명	모델명	사 양	수량(ea)
계 측 센 서	강재 변형률게이지	FLA-5 -11-1L	- 범위 : 30000μstrain - 저항 : 120.3$\pm$0.5Ω - 사용온도 범위 : -20$\sim$+80°C - 형식 : 전기저항식	14
	처짐계	OU-30	- 범위 : $\pm$30mm - 민감도: ($\times 10^{-6}$/mm) : 1000 - 허용온도범위 : 0$\sim$+60°C - 형식 : 전기저항식	4
	가속도계	ARF-20A	- 용량 : 2.04g - 응답주파수 : 80hz - 고유주파수 : 150hz - 형식 : 전기저항식	1
소 계				19
측 정 장 비	정, 동적 시험장비	DRA-30A	- 측정점수 : 30채널 - 측정대상 : Dynamic Strian, 전압 - 각 채널별 112k word 데이터메모리 탑재 (정적스트레인측정시 30000scans)	1
소 계				1

마. L/C별 재하시험 방법

재하시험 위치	재하목적	비 고
외측경간(S1)	· 최대 정·부모멘트가 작용하는 지점	
내측경간(S2)		

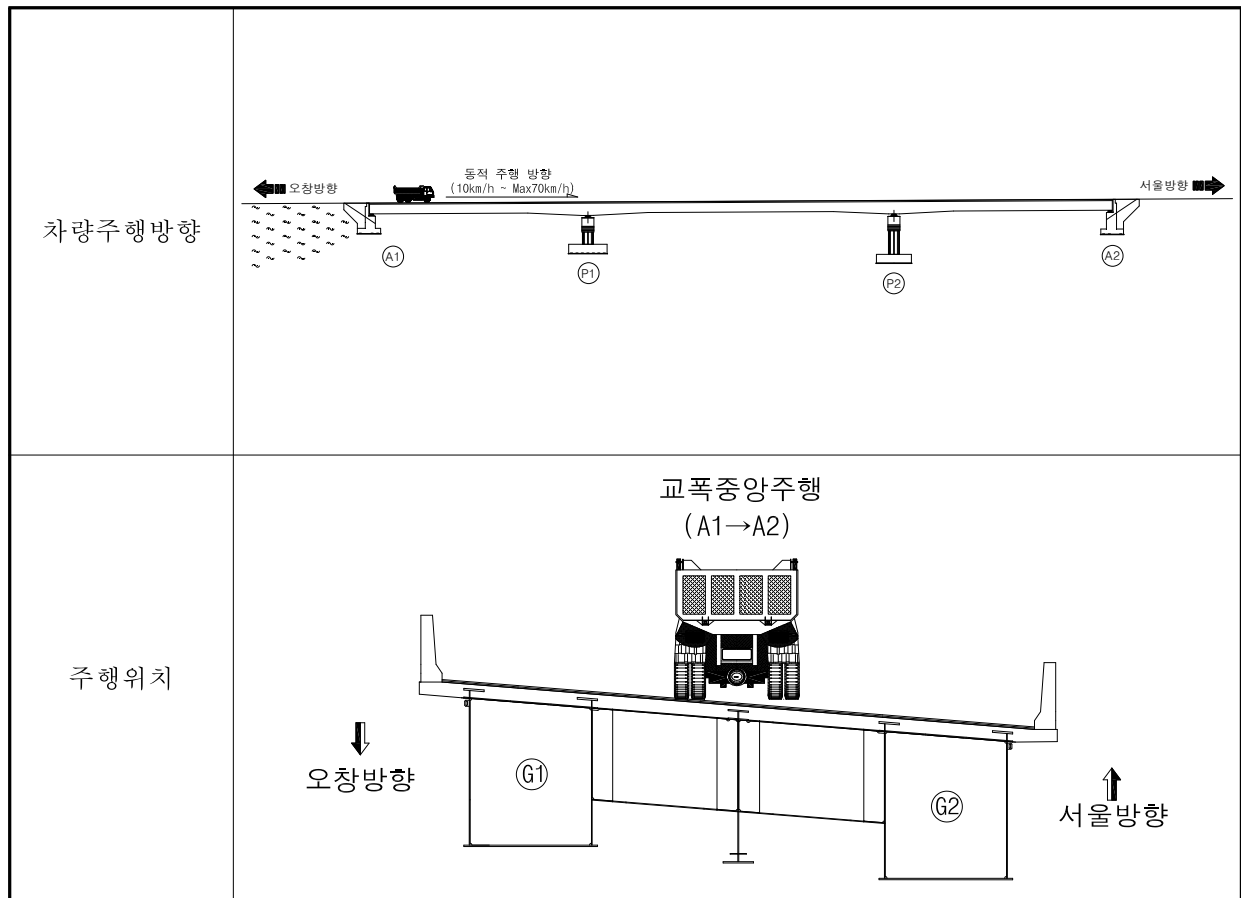
바. 계측센서 설치도



사. 정적 재하시험 LOAD CASE

중방향 재하위치	
L.C 1, 4	
L.C 2, 5	
L.C 3, 6	

아. 동적 재하시험 LOAD CASE



재하경우	주행방향	주행위치	비 고
10km/hr	시점→종점	교폭중앙	재하차량 1대
20km/hr	시점→종점	교폭중앙	재하차량 1대
30km/hr	시점→종점	교폭중앙	재하차량 1대
40km/hr	시점→종점	교폭중앙	재하차량 1대
50km/hr	시점→종점	교폭중앙	재하차량 1대
60km/hr	시점→종점	교폭중앙	재하차량 1대
70km/hr	시점→종점	교폭중앙	재하차량 1대

3.4.2 정적 재하시험 결과

정적재하시험에 의한 응답비는 재하시험에서 측정된 변위량과 구조해석에서 계산된 변위량을 비교하여 산정하였고, 작용하중은 재하시험에 이용한 차량하중을 적용하였으며, 재하시험과 관련된 계측 Data는 부록에 수록하였다.

가. 재하시험에서 측정된 계측DATA

1) 1경간

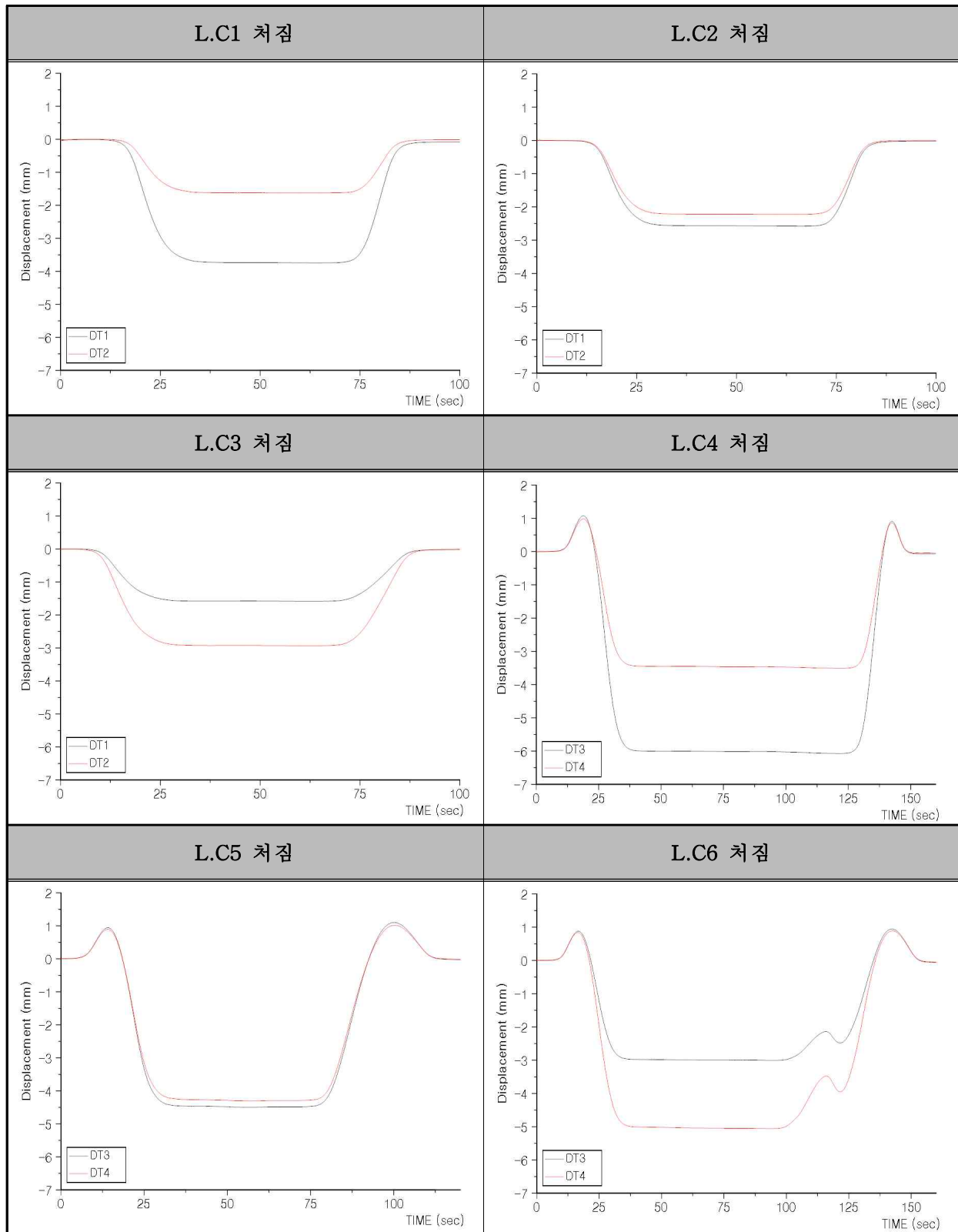
구 분	L.C1	L.C2	L.C3	비 고
ST1	-1.93	-1.85	-1.21	단위 : $\mu\epsilon$ (-)압축 (+)인장
ST2	48.26	31.93	19.22	
ST3	47.52	32.54	17.12	
ST4	-1.31	-1.30	-1.69	
ST5	16.82	30.41	45.13	
ST6	15.96	28.39	41.86	
DT1	-3.739	-2.570	-1.578	단위 : mm (-)하향변위 (+)상향변위
DT2	-1.627	-2.219	-2.926	

2) 2경간

구 분	L.C4	L.C5	L.C6	비 고
ST11	45.28	37.26	22.58	단위 : $\mu\epsilon$ (-)압축 (+)인장
ST12	44.55	30.16	15.97	
ST13	14.89	31.40	44.85	
ST14	18.18	30.75	39.65	
DT3	-6.013	-4.483	-2.995	단위 : mm (-)하향변위 (+)상향변위
DT4	-3.467	-4.291	-5.046	

3) P1 지점

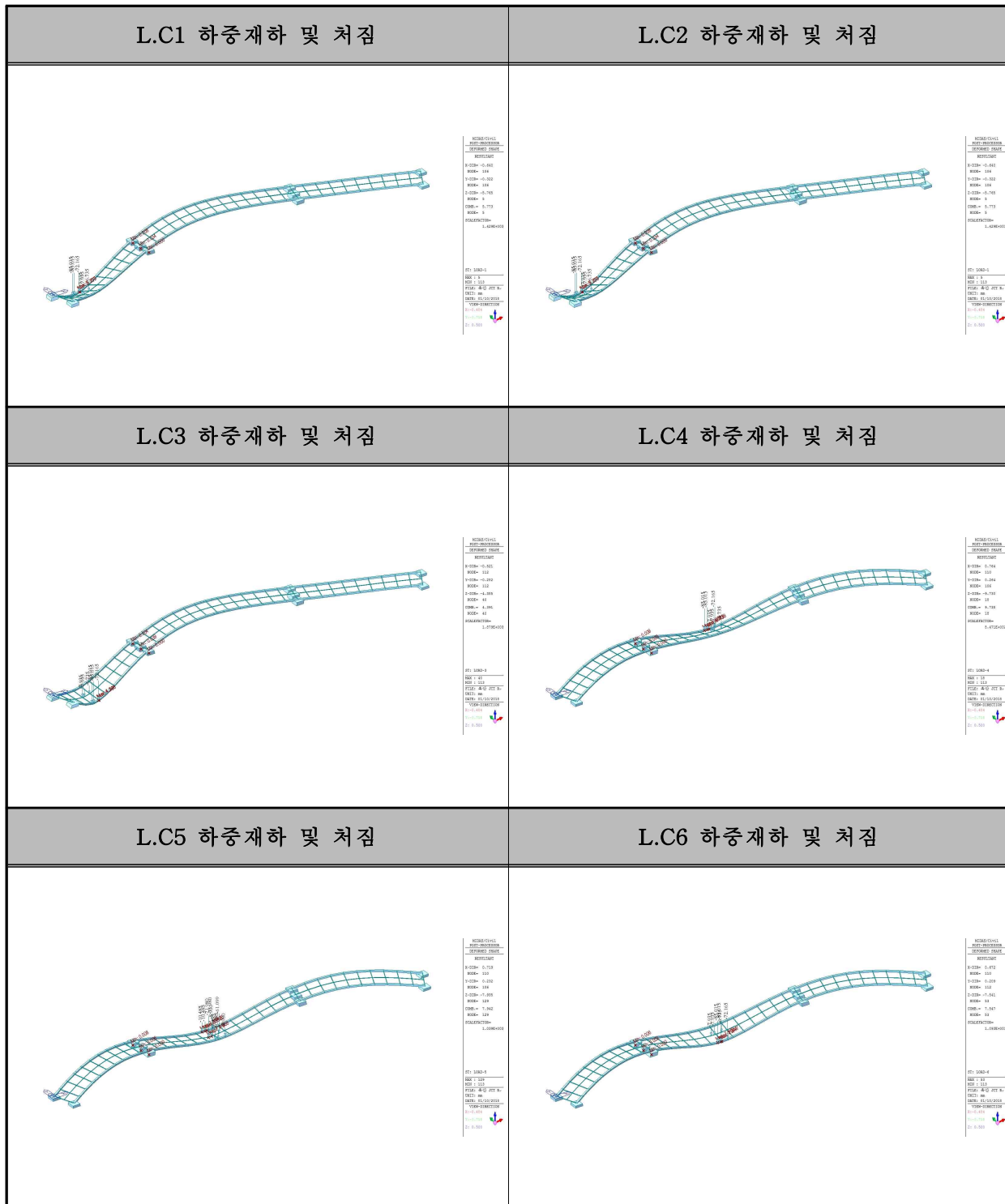
구 분	L.C1	L.C2	L.C3	비 고
ST7	2.61	1.52	0.57	단위 : $\mu\epsilon$ (-)압축 (+)인장
ST8	0.46	0.39	0.52	
ST9	0.85	0.76	0.35	
ST10	0.23	1.97	2.20	



* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

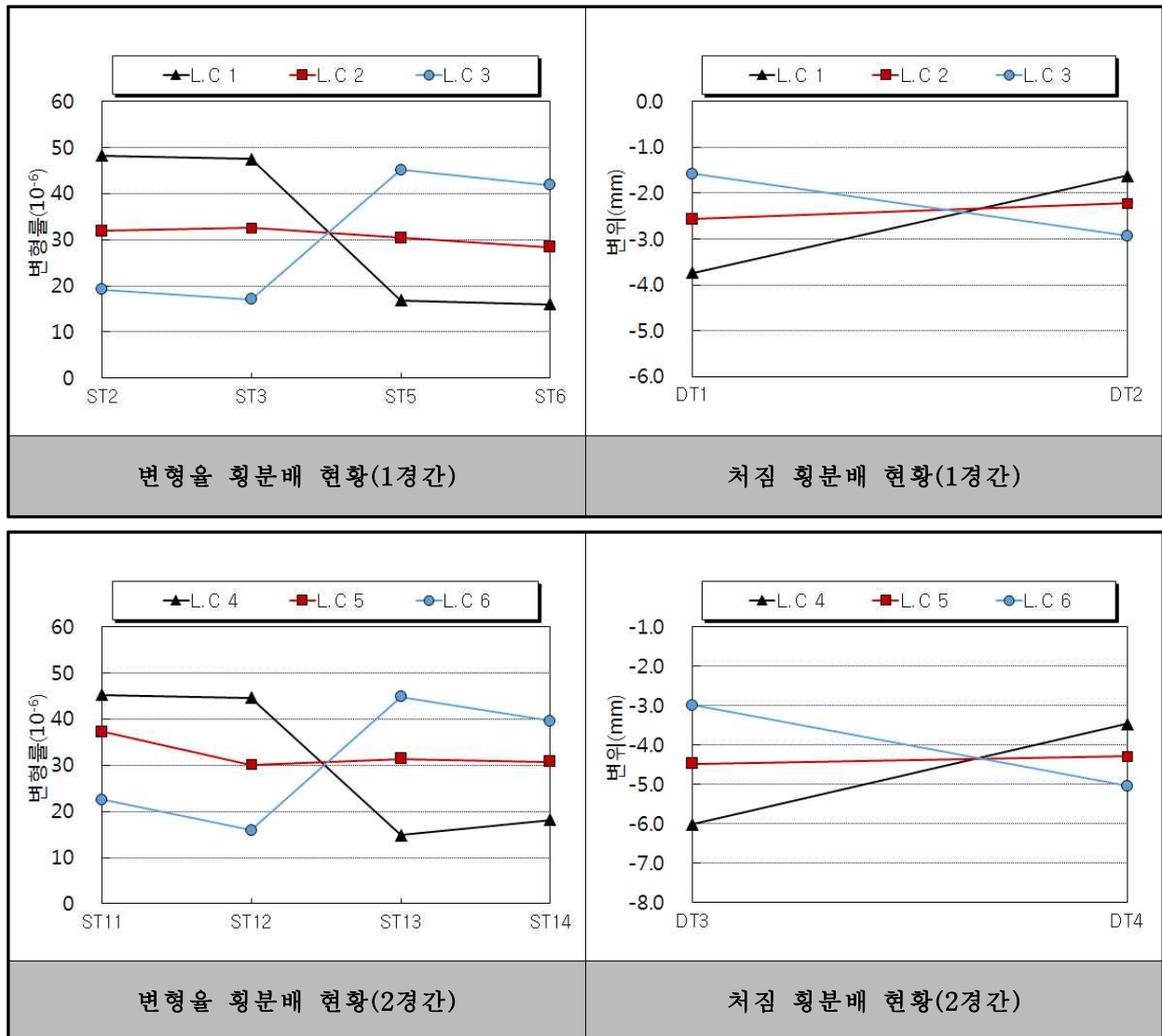
나. 구조해석에 의한 변위량

구 분	L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	L.C5	L.C6	비 고
G1(DT1)	-5.765	-4.419	-3.149	-	-	-	단위 : mm (-)하향변위 (+)상향변위
G2(DT2)	-3.109	-3.764	-4.385	-	-	-	
G1(DT3)	-	-	-	-9.730	-7.919	-6.179	
G2(DT4)	-	-	-	-6.095	-6.840	-7.541	



다. 하중 횡분배 검토 결과

거시적 관점의 교량응답을 확인할 수 있는 처짐 계측치 및 단면응력에 의한 변형률을 이용하여 하중 횡분배 상태를 검토한 결과, 곡선교로서 좌, 우측 경간장이 상이하여 약간의 차이는 있으나 하중 횡분배는 대체로 대칭성을 보이고 있는 양호한 것으로 평가되었다.



라. 중립축검토

정적재하시험을 통해 산출된 변형률 데이터를 토대로 거더의 실측 중립축을 계산하였다. 그 결과는 다음의 그림과 같으며 중립축의 위치는 거더 하면으로부터의 거리로 표기하였다.

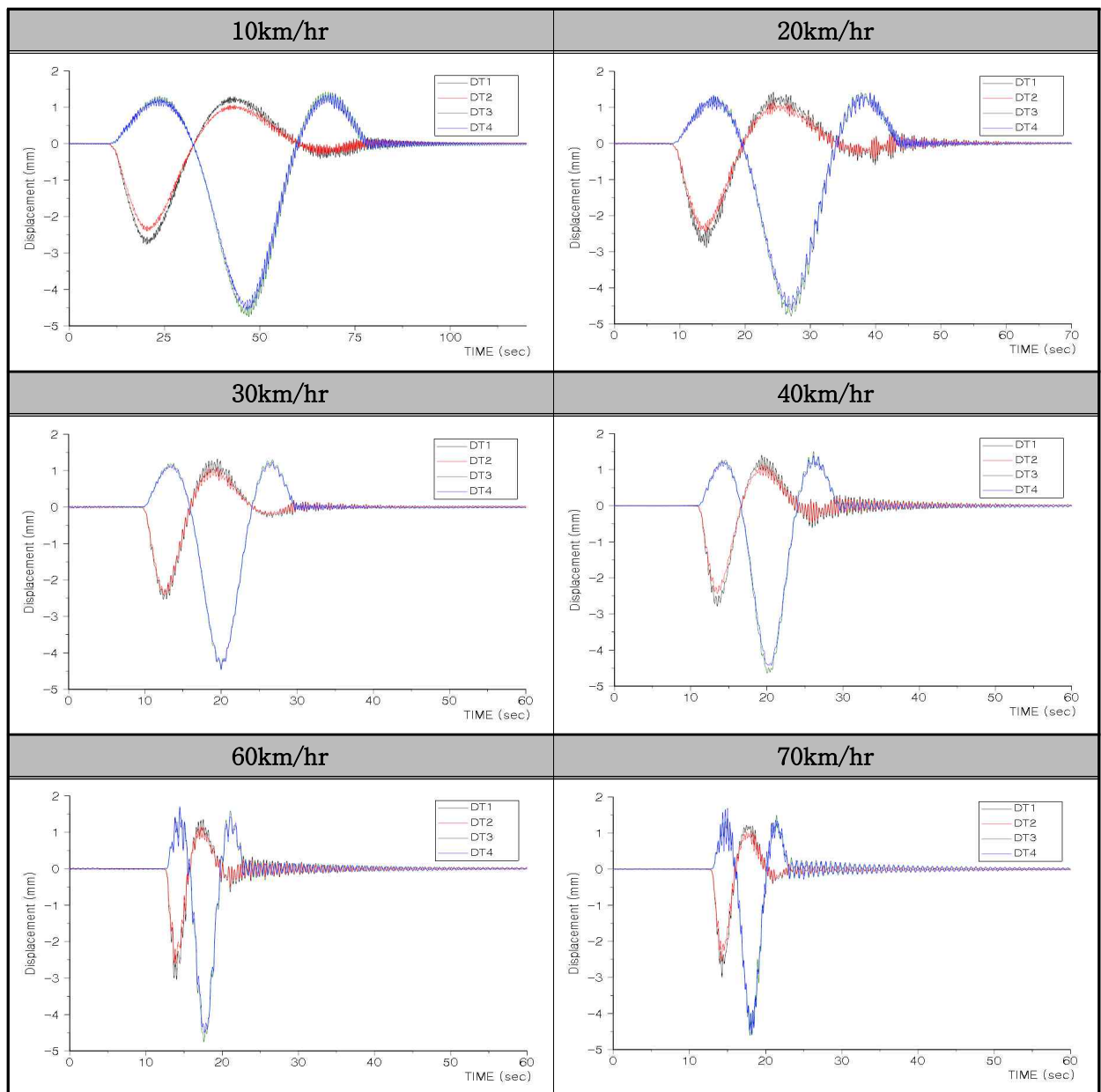
구 분	L.C 1/L.C 3																	
재하위치																		
중립축	L.C 1(1경간 - G1)		L.C 3(1경간 - G2)															
	<table><tr><th>구분</th><th colspan="2">이론중립축위치 (mm)</th><th colspan="2">실측중립축위치 (mm)</th></tr><tr><td rowspan="2">1경간</td><td>G1</td><td>G2</td><td>G1</td><td>G2</td></tr><tr><td>1,954</td><td>1,954</td><td>2,208</td><td>2,022</td></tr></table>					구분	이론중립축위치 (mm)		실측중립축위치 (mm)		1경간	G1	G2	G1	G2	1,954	1,954	2,208
구분	이론중립축위치 (mm)		실측중립축위치 (mm)															
1경간	G1	G2	G1	G2														
	1,954	1,954	2,208	2,022														
검토 의견	* 실측중립축이 이론중립축 대비 대체로 건전한 거동을 보이는 것으로 검토됨.																	

3.4.3 동적 재하시험 결과

가. 동적처짐

동적 그래프는 차량이 주행한 구간에 대하여 표시하였고, 각 주행속도에 따른 동적 최대값은 다음과 같다.

구 분		주행속도 (km/h)							비 고
		10	20	30	40	50	60	70	
1경간	G1(DT1)	-2.758	-2.884	-2.532	-2.790	-2.931	-3.037	-3.002	단 위 : mm
	G2(DT2)	-2.399	-2.459	-2.421	-2.438	-2.571	-2.594	-2.571	
2경간	G1(DT3)	-4.755	-4.788	-4.465	-4.639	-4.544	-4.750	-4.610	
	G2(DT4)	-4.571	-4.616	-4.433	-4.425	-4.498	-4.493	-4.592	



* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

나. 충격계수 산정 결과

1) 충격계수 산정

동적측정결과를 Low Pass Filter를 하여 동적효과를 제거한 정적 응답결과에 대한 동적측정 결과와 비로써 각 속도별 충격계수를 구하는 방법을 사용하였다.

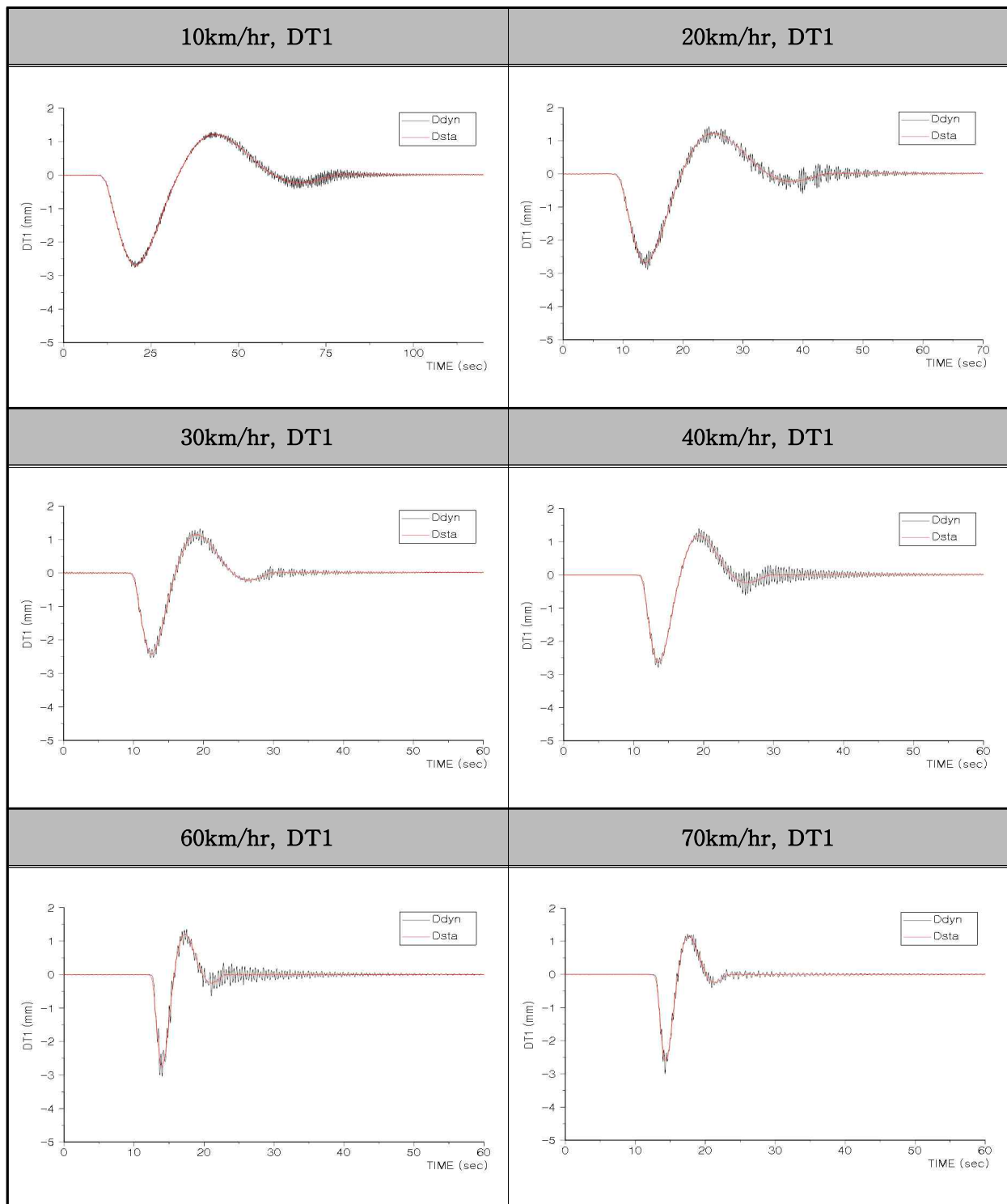
$$\cdot \text{실측충격계수 } i = (D - 1)$$

$$\text{여기서, } D = (\delta_{\text{dynamic}})_{\text{max}} / (\delta_{\text{static}})_{\text{max}}$$

구 분			주행속도 (km/h)							대표 충격계수
			10	20	30	40	50	60	70	
1경 간	DT1	$\delta_{\text{dyn(max)}}$	-2.758	-2.884	-2.532	-2.790	-2.931	-3.037	-3.002	0.154
		$\delta_{\text{sta(max)}}$	-2.693	-2.674	-2.414	-2.640	-2.576	-2.723	-2.600	
		충격 계수(i)	0.024	0.078	0.049	0.057	0.138	0.115	0.154	
	DT2	$\delta_{\text{dyn(max)}}$	-2.399	-2.459	-2.421	-2.438	-2.571	-2.594	-2.571	0.124
		$\delta_{\text{sta(max)}}$	-2.355	-2.349	-2.327	-2.342	-2.324	-2.386	-2.288	
		충격 계수	0.019	0.047	0.040	0.041	0.106	0.087	0.124	
2경 간	DT3	$\delta_{\text{dyn(max)}}$	-4.755	-4.788	-4.465	-4.639	-4.544	-4.750	-4.610	0.077
		$\delta_{\text{sta(max)}}$	-4.646	-4.621	-4.297	-4.541	-4.318	-4.500	-4.278	
		충격 계수	0.023	0.036	0.039	0.021	0.052	0.056	0.077	
	DT4	$\delta_{\text{dyn(max)}}$	-4.571	-4.616	-4.433	-4.425	-4.498	-4.493	-4.592	0.076
		$\delta_{\text{sta(max)}}$	-4.462	-4.412	-4.287	-4.379	-4.210	-4.313	-4.270	
		충격 계수	0.024	0.046	0.034	0.010	0.068	0.042	0.076	
계측 결과			• 계산충격계수 : $i = 15/(40+L) =$ 0.167(1경 간, $L=50.00$), 0.136(2경 간, $L=70.00$) • 실측충격계수 : 1경 간-0.154(70km, DT1), 2경 간 - 0.077(70km, DT3)							

2) 산정 결과

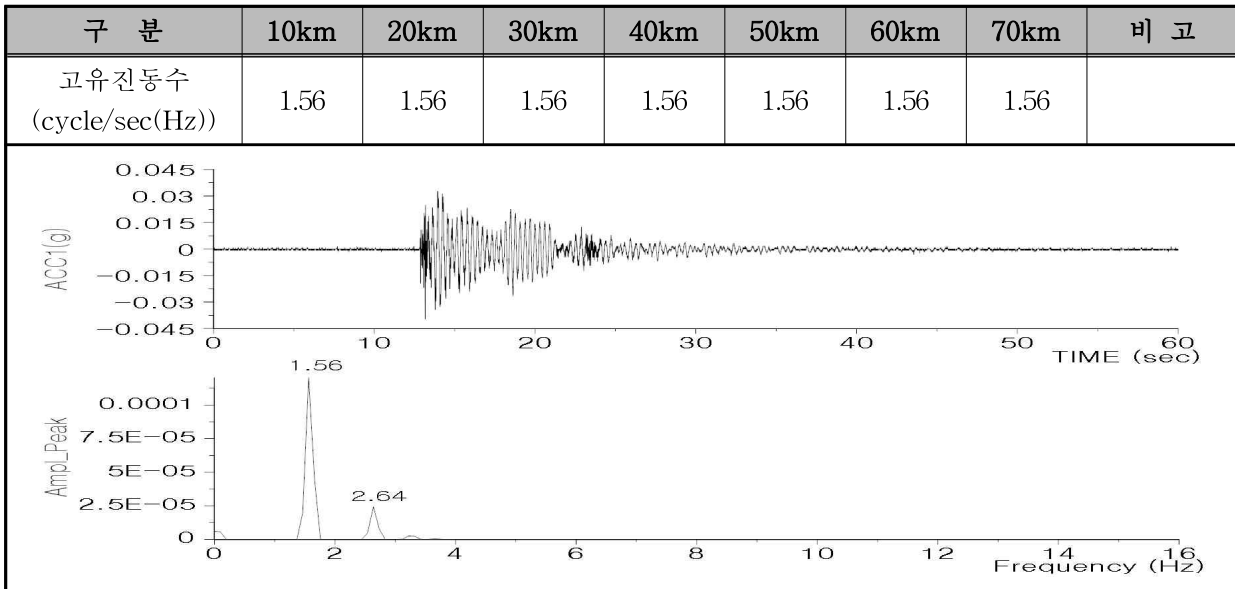
동적 재하시험시 시험차량의 주행위치가 교폭중앙으로 주행하였으므로, 실측 충격계수 산정을 위한 유효범위의 계측값은 DT1, DT2(1경 간), DT3, DT4(2경 간)를 이용하였다. 분석결과, 본 대상 교량의 실측 충격계수는 0.154(1경 간), 0.077(2경 간)으로 가장 큰 값을 나타내었으며, 도로교설계기준 0.167(1경 간), 0.136(2경 간)보다 작은 값으로 조사되어 차량 통행 시 충격에 의한 안전성에는 이상이 없는 것으로 판단된다.



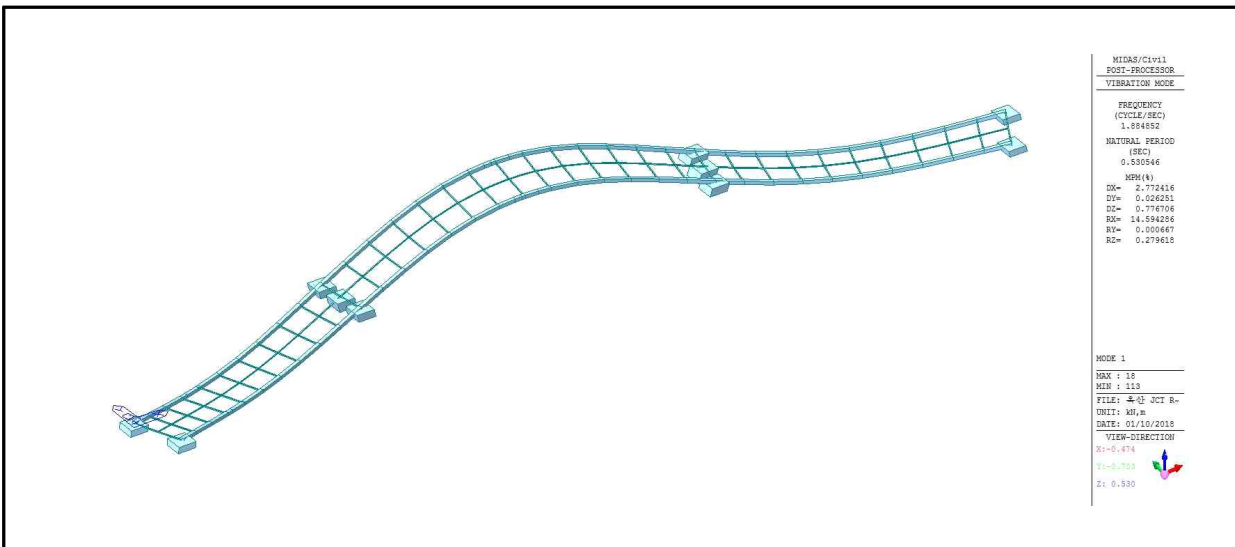
* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

다. 고유진동수 산정 결과

1) 재하시험에 의한 고유진동수 산정



2) 구조해석에 의한 고유진동수 계산



3) 고유진동수 산정결과

동적 재하시험시 재하경간의 중앙부에 가속도계를 설치하여 고유진동수를 산정한 결과 실측 고유진동수는 1.56Hz로 구조해석에 의한 이론 고유진동수 1.885Hz와 비슷하게 해석되어 해석모델이 대상교량의 거동을 합리적으로 표현하고 있는 것을 알 수 있다.

라. 응력보정계수 산정

응답비 산정은 교량의 전체적인 거동특성을 반영하고 데이터의 신뢰성이 높은 처짐에 대하여 응답비를 산출하였으며 측정지점과의 거리가 멀어 편차가 심한 계산치에 대해서는 응답비 산정에서 제외하였다.

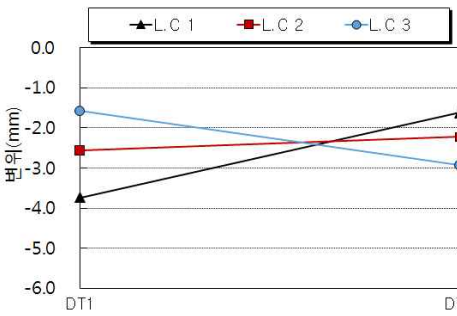
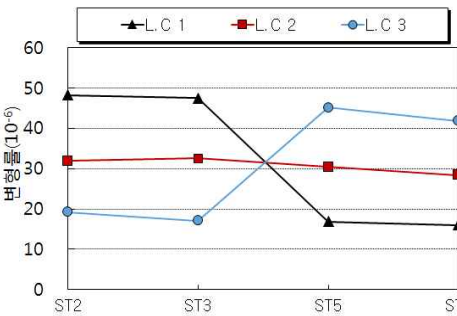
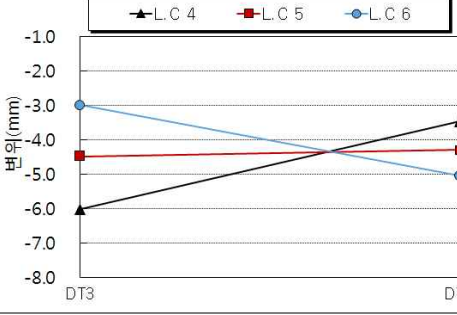
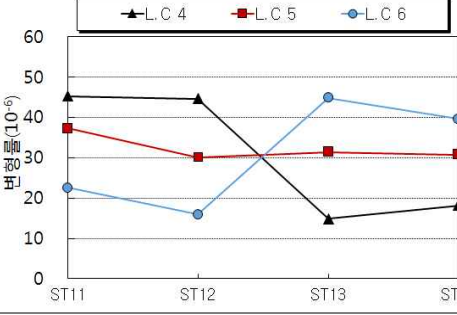
1) 응답비 산정

구 분		처 짐(㎜)						비 고
		1경 간			2경 간			
		L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	L.C5	L.C6	
G1	계산처짐	-5.765	-4.419	-3.149	-9.730	-7.919	-6.179	DT1 / DT3
	실측처짐	-3.739	-2.570	-1.578	-6.013	-4.483	-2.995	
	응답비	1.542	1.719	1.996	1.618	1.766	2.063	
G2	계산처짐	-3.109	-3.764	-4.385	-6.095	-6.840	-7.541	DT2 / DT4
	실측처짐	-1.627	-2.219	-2.926	-3.467	-4.291	-5.046	
	응답비	1.911	1.696	1.499	1.758	1.594	1.494	

2) 응답보정계수 산정

구 분		응답비	i(충격계수)		$\frac{1+i_{\text{계산}}}{1+i_{\text{실측}}}$	위치별 Ks
			계산	실측max		
응답 보정 계수	DT1(G1)	1.542	0.167	0.154	1.011	1.559
	DT2(G2)	1.499				1.515
	DT3(G1)	1.618	0.136	0.077	1.055	1.636
	DT4(G2)	1.494				1.510

3.4.4 정·동적 재하시험 고찰

분석항목		분석결과
시험트럭		- 재하하중 : 설계하중의 약 62% - 총 중 량 : 269.10kN
정적 재하 시험	최대 응답	- 처 짐 : -3.739 mm(1경간), -6.013 mm(2경간) - 변형률 : 48.26 $\mu\epsilon$(1경간), 45.28 $\mu\epsilon$(2경간)
	횡방향 거동특성	
		
		
		
		변형률 및 처짐에 의한 횡방향 거동특성 분석결과, 하중 경우에 따른 계측 DATA가 각 단면별로 재하위치에 따라 일정한 양상을 보이는 것으로 분석됨.
동적 재하 시험	충격 계수	충격계수 분석결과 실측충격계수의 최대값은 0.154(1경간), 0.077(2경간)로 이론 충격계수 0.167(1경간), 0.136(2경간)보다 작게 나타나 이동하중에 대한 충격의 영향은 양호한 것으로 분석됨.
	고유 진동수	실측고유진동수(1.56Hz)와 이론 고유진동수(1.885Hz)의 해석치가 비슷하게 산정되어 해석모델이 대상교량의 거동을 합리적으로 표현함.

3.5 안전성평가 및 내하력평가

3.5.1 구조해석 방법 및 개요

옥산JCT Ramp-D교는 연장 170.300m, 총폭 12.600m, 설계활하중 DB, DL-24의 1등교로서 평면선형은 사각이 90.000°이며 평면 선형 R=170m 인 곡선교 이다. 상부구조는 SEB 거터로 이루어져 있으며, 하부구조는 역T형의 교대와 T형 교각으로 구성되어 있다.

대상교량은 활하중합성 교량으로서 상부구조의 안전성은 구조형식별로 도로교설계기준 및 콘크리트구조설계기준 등의 적용기준에 의거, 구조계가 변화하는 각 시공단계별 하중이력에 대한 응력검토를 수행하였다.

안전성평가를 위한 구조해석은 3차원 해석과 활하중 이동재하가 가능한 범용구조해석 프로그램 Midas Civil을 이용하였다.

3.5.2 검토 조건

가. 기본 사항

- 1) 형 식 : SEB거터
- 2) 연 장 : 170.300m
- 3) 교 폭 : B = 12.600m
- 4) 거터높이 : H = 2.200m
- 5) 거터간격 : 3.000m
- 6) 사 각 : 90000°
- 7) 교량등급 : 1등급 (DB-24, DL-24)
- 8) 단위중량
 - 철근 콘크리트 : $W_{c1} = 2500.0\text{kg/m}^3$
 - 무근 콘크리트 : $W_{c2} = 2350.0\text{kg/m}^3$
 - 아 스 팔 트 : $W_a = 2300.0\text{kg/m}^3$
- 9) 사용 프로그램 : MIDAS CIVIL 2016
- 10) 구조 검토방식 : 강도설계법+경험적설계법(바닥판), 허용응력설계법/강도설계법(거터)
- 11) 참고문헌
 - ① 도로교 설계기준(2010)
 - ② 콘크리트 구조설계기준(2007), 콘크리트 구조기준(2012)
 - ③ 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침(교량편-2013)

나. 사용재료 및 허용응력

1) 콘크리트

- 설계기준강도(f_{ck}) : 27.0MPa
- 탄성계수(E_c) : 28,693MPa
- 전단탄성계수(G_c) : 12,297MPa

2) 철근(SD400)

- 항복강도(f_y) : 400.0MPa
- 탄성계수(E_s) : 200,000MPa

3) 강재

- 주부재 : SM520B
- 부부재 : SM400B
- 탄성계수(E_{st}) : 205,000MPa
- 전단탄성계수(G_{st}) : 79,000MPa
- 허용축방향인장응력 및 허용휨인장응력(MPa)

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40이하	140	190	210	260
40초과 75이하	130	175	200	250
75초과 100이하			195	245

- 허용축방향압축응력(MPa)

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM 570 SMA 58
40이하	140 : $\ell/r \leq 20$	190 : $\ell/r \leq 15.0$	210 : $\ell/r \leq 14$	260 : $\ell/r \leq 18$
	140-0.84($\ell/r-20$) :	190-1.3($\ell/r-15.0$):	210-1.3($\ell/r-14$):	260-2.2($\ell/r-18$):
	20 < $\ell/r \leq 93$	15.0 < $\ell/r \leq 80$	15 < $\ell/r \leq 76$	18 < $\ell/r \leq 67$
	1,200,000 6,700+(ℓ/r) ² : 93 < ℓ/r	1,200,000 5,000+(ℓ/r) ² : 80 < ℓ/r	1,200,000 4,500+(ℓ/r) ² : 76 < ℓ/r	1,200,000 3,500+(ℓ/r) ² : 67 < ℓ/r
40초과 75이하	130 : $\ell/r \leq 2$	175 : $\ell/r \leq 15$	200 : $\ell/r \leq 14$	250 : $\ell/r \leq 18$
	130-0.75($\ell/r-20$) :	175-1.1($\ell/r-15$) :	200-1.40($\ell/r-14$):	250-2.1($\ell/r-18$) :
	14 < $\ell/r \leq 78$	14 < $\ell/r \leq 78$	14 < $\ell/r \leq 78$	18 < $\ell/r \leq 69$
	1,200,000 4,700+(ℓ/r) ² : 78 < ℓ/r	1,200,000 5,300+(ℓ/r) ² : 83 < ℓ/r	1,200,000 4,900+(ℓ/r) ² : 79 < ℓ/r	1,200,000 3,700+(ℓ/r) ² : 69 < ℓ/r
75초과 100이하	20 < $\ell/r \leq 97$	15 < $\ell/r \leq 83$	195 : $\ell/r \leq 14$	245 : $\ell/r \leq 18$
	195-1.3($\ell/r-14$):	195-1.3($\ell/r-14$):	195-1.3($\ell/r-14$):	245-2.2($\ell/r-18$) :
	14 < $\ell/r \leq 79$	14 < $\ell/r \leq 79$	14 < $\ell/r \leq 79$	18 < $\ell/r \leq 69$
	1,200,000 7,300+(ℓ/r) ² : 97 < ℓ/r	1,200,000 5,300+(ℓ/r) ² : 83 < ℓ/r	1,200,000 4,900+(ℓ/r) ² : 79 < ℓ/r	1,200,000 3,700+(ℓ/r) ² : 69 < ℓ/r

여기서, ℓ : 부재의 유효좌굴길이(mm)

r : 부재 종단면의 단면회전반경(mm)

- 허용휨압축응력(MPa)

㉠ 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, π 형 단면과 같이 횡좌굴이 일어나기 어려운 경우

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40이하	140	190	210	260
40초과 75이하	130	175	200	250
75초과 100이하			195	245

- ㉡ ㉠에 규정한 이외의 경우

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
$\frac{A_w}{A_c} \leq 2$	40이하 $140 : \ell/b \leq 4.5$ $140-2.4(\ell/b-4.5) :$ $4.5 < \ell/b \leq 30$	$190 : \ell/b \leq 4.0$ $190-3.8(\ell/b-4.0) :$ $4.0 < \ell/b \leq 30$	$210 : \ell/b \leq 3.5$ $210-4.4(\ell/b-3.5) :$ $3.5 < \ell/b \leq 27$	$260 : \ell/b \leq 5.0$ $260-6.6(\ell/b-5.0) :$ $5.0 < \ell/b \leq 25$
	40초과 75이하 $130 : \ell/b \leq 5.0$	$175 : \ell/b \leq 4.0$	$200 : \ell/b \leq 4.0$ $200-4.2(\ell/b-4.0) :$ $4.0 < \ell/b \leq 27$	$260 : \ell/b \leq 3.4$ $260-6.25(\ell/b-3.4) :$ $3.4 < \ell/b \leq 25$
	75초과 100이하 $130-2.2(\ell/b-5.0) :$ $5.0 < \ell/b \leq 30$	$175-3.5(\ell/b-4.0) :$ $4.0 < \ell/b \leq 30$	$195 : \ell/b \leq 4.0$ $195-4.0(\ell/b-4.0) :$ $4.0 < \ell/b \leq 27$	$250 : \ell/b \leq 5.0$ $250-6.0(\ell/b-5.0) :$ $5.0 < \ell/b \leq 25$
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	40이하 $140 : \ell/b \leq 9/K$ $140-1.2(K\ell/b-9) :$ $9/K < \ell/b \leq 30$	$190 : \ell/b \leq 8.0/K$ $190-1.9(K\ell/b-8) :$ $8/K < \ell/b \leq 30$	$210 : \ell/b \leq 7/K$ $210-2.2(K\ell/b-7) :$ $7/K < \ell/b \leq 27$	$260 : \ell/b \leq 10/K$ $260-3.3(K\ell/b-10) :$ $10/K < \ell/b \leq 25$
	40초과 75이하 $130 : \ell/b \leq 10/K$	$175 : \ell/b \leq 8/K$	$200 : \ell/b \leq 8/K$ $200-2.1(K\ell/b-8) :$ $8/K < \ell/b \leq 27$	$250 : \ell/b \leq 10/K$ $250-3.1(K\ell/b-1) :$ $10/K < \ell/b \leq 25$
	75초과 100이하 $130-1.1(K\ell/b-10) :$ $10/K < \ell/b \leq 30$	$175-1.75(K\ell/b-8) :$ $8/K < \ell/b \leq 30$	$195 : \ell/b \leq 8/K$ $195-2.0(K\ell/b-8) :$ $8/K < \ell/b \leq 27$	$245 : \ell/b \leq 10/K$ $245-3(K\ell/b-10) :$ $10/K < \ell/b \leq 25$
비 고	A_w : 복부판의 총 단면적(mm ²) A_c : 압축플랜지의 총 단면적(mm ²) ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리(mm) b : 압축플랜지의 폭(mm) $K : \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$			

- 허용전단응력(MPa)

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40이하	80	110	120	150
40초과 75이하	75	100	115	145
75초과 100이하			110	140

- 항복응력(MPa)

강종 판두께(mm)	SS400 SM400 SMA41	SM490	SM490Y SM520 SMA50	SM570 SMA58
40이하	240	320	360	460
40초과 75이하	220	300	340	440
75초과 100이하			330	430

- 강재 주거더의 허용응력 증가율

하중의 조합			증가율(%)	
			정의 휨모멘트를 받는 부분	부의 휨모멘트를 받는 부분
1	크리프의 영향과 건조수축의 영향을 제외한 주하중		0	0
2	주하중	압축연	15	0
		인장연	0	0
3	주하중+바닥판 콘크리트와 강재 주거더와의 온도차	압축연	30	15
		인장연	15	15
4	가설시 하중	압축연	25	25
		인장연	25	25

3.5.3 구조해석

가. 바닥판 검토

1) 개요

옥산JCT Ramp-C교의 바닥판은 설계당시 도로교설계기준 등의 적용기준에 따라 캔틸레버부는 강도설계법으로 설계하고, 중앙부는 경험적 설계방법으로 설계된 것으로 확인되었다.

2) 경험적 설계법에 의한 바닥판 슬래브 계산

㉠ 설계조건

- 지지부재 : 강재 주거더
- 주거더 플랜지부의 헌치와 같이 국부적으로 두껍게 한 곳을 제외한 상태에서 전체적으로 바닥판의 두께가 일정함
- 바닥판 두께에 대한 유효지간의 비가 6이상 15이하
- 바닥판의 상부와 하부에 배근된 철근의 외측면 사이의 두께가 150mm 이상
- 유효지간이 표준차선평폭 3.6m이하
- 바닥판의 흙집, 마모면, 그리고 보호덮개층을 제외한 바닥판의 최소두께가 240mm
- 캔틸레버부의 길이가 내측바닥판 두께의 5배 이상이거나, 캔틸레버부의 길이가 내측바닥판 두께의 3배 이상이고 구조적으로 연속적인 콘크리트 방호책과 합성이 된 경우
- 콘크리트의 28일 압축강도는 27MPa이상
- 철근 콘크리트 바닥판은 바닥판을 지지하는 구조부재들과 완전합성거동

㉡ 철근배근량

- 지간방향 : 하부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.4% 이상
상부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.3%이상
- 지간방향에 직각방향 : 하부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.3% 이상
상부철근량 - 콘크리트 바닥판 단면의 0.3%이상

㉔ 사용철근량

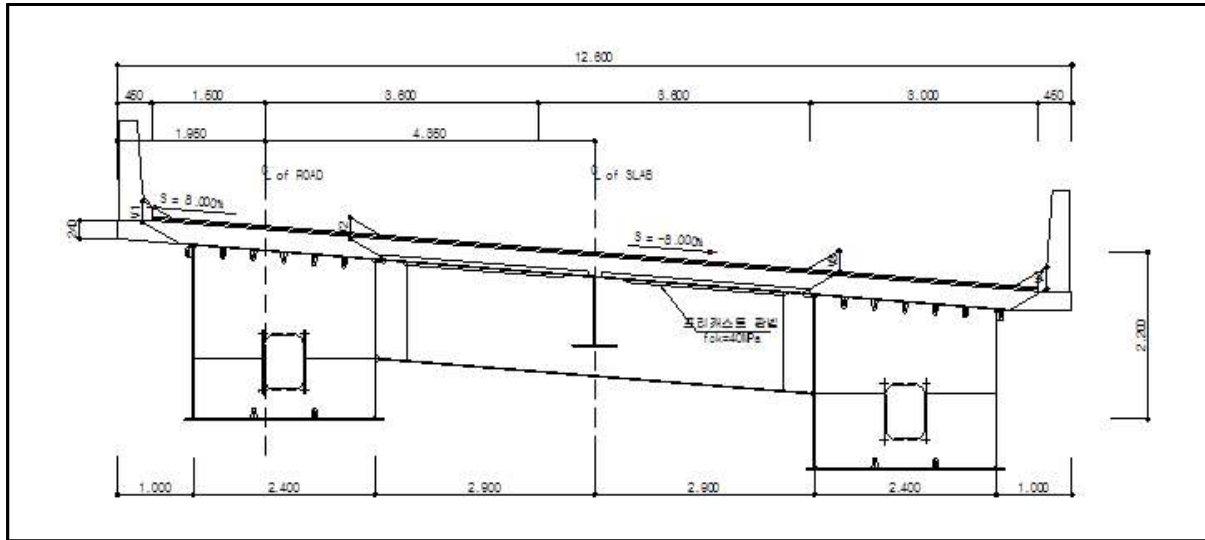
구 분			산 정 식			검 토
주철근	하면철근	필요철근량	264,000mm × 0.4%	=	1,056.0mm ²	o.k
		1 Cycle	H16@400	=	496.5mm ²	
		프리캐스트	H13@120	=	1,055.8mm ²	
	상면철근	필요철근량	264,000mm × 0.3%	=	792.0mm ²	o.k
		1 Cycle	H16@400	=	496.5mm ²	
		2 Cycle	H16@400	=	496.5mm ²	
배력 철근	하면철근	필요철근량	264,000mm × 0.3%	=	792.0mm ²	o.k
		사용철근량	H16@250	=	794.4mm ²	
	상면철근	필요철근량	264,000mm × 0.3%	=	792.0mm ²	o.k
		사용철근량	H16@250	=	794.4mm ²	
• 바닥판 슬래브 단면적 = 1,000mm × 264mm = 264,000mm ²						

3) 바닥판 슬래브 검토결과

옥산JCT Ramp-A교의 바닥판슬래브는 경험적 설계방법으로 설계 시공된 상태로, 현장 조사 및 관련자료를 검토한 결과 철근배근간격 및 철근량이 적정하게 시공된 것으로 조사되었다.

나. 거더 검토

1) 해석단면

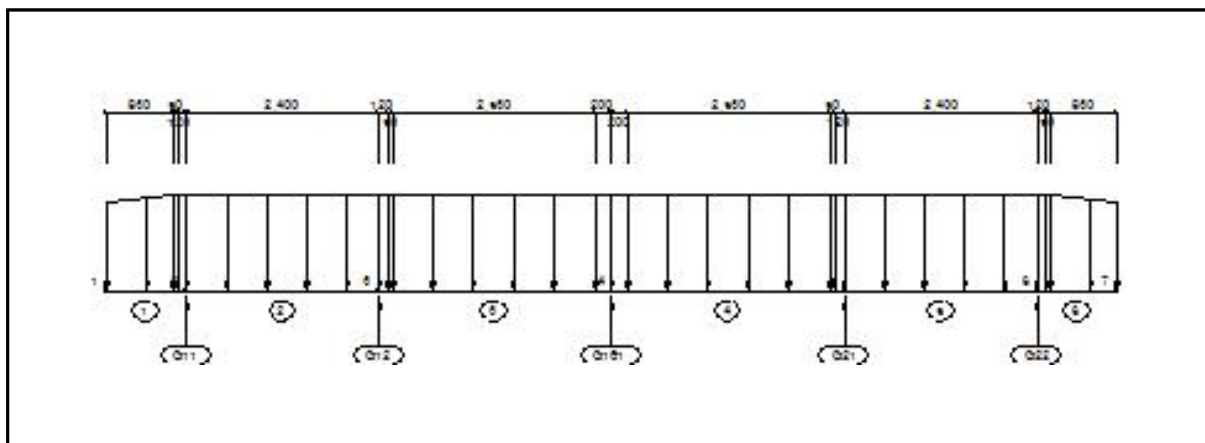


【그림 2.3.8】 해석단면

2) 하중산정

① 합성전 고정하중

- 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려
- 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 34.000% 할증 적용
- 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 6133.309kN / 4577.096kN = 1.34000
- 바닥판 자중
- 횡방향 하중분배(STA. 0k+420.700)



【그림 2.3.9】 바닥판 자중 횡방향 하중분배

하 중 명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		비 고
		위치(m)	하중(kN/m ²)	위치(m)	하중(kN/m ²)	
W1	1	0.000	-11.000	0.830	-12.000	분포하중
W2	1	0.830	-12.000	0.880	-12.000	분포하중
W3	1	0.880	-12.000	1.000	-12.000	분포하중
W4	2	0.000	-12.000	2.400	-12.000	분포하중
W5	3	0.000	-12.000	0.120	-12.000	분포하중
W6	3	0.120	-12.000	0.170	-12.000	분포하중
W7	3	0.170	-12.000	2.700	-12.000	분포하중
W8	3	2.700	-12.000	2.900	-12.000	분포하중
W9	4	0.000	-12.000	0.200	-12.000	분포하중
W10	4	0.200	-12.000	2.730	-12.000	분포하중
W11	4	2.730	-12.000	2.780	-12.000	분포하중
W12	4	2.780	-12.000	2.900	-12.000	분포하중
W13	5	0.000	-12.000	2.400	-12.000	분포하중
W14	6	0.000	-12.000	0.120	-12.000	분포하중
W15	6	0.120	-12.000	0.170	-12.000	분포하중
W16	6	0.170	-12.000	1.000	-11.000	분포하중

- 거더별 작용하중(Sta. 0+420.70)

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN · m)	
G1	2.400	25.426	31.654	57.080	7.474	
G2	2.400	31.654	25.426	57.080	-7.474	
ST1		36.209		36.209		

【그림 2.3.10】 합성전 고정하중(바닥판 자중) 재하도

② 합성후 고정하중

- 거더별 작용하중(Sta. 0+420.70)

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN · m)	
G1	2.400	17.281	-2.455	14.826	-23.683	
G2	2.400	-2.455	17.281	14.826	23.683	
ST1	2.400	5.773		5.773		

③ 활하중

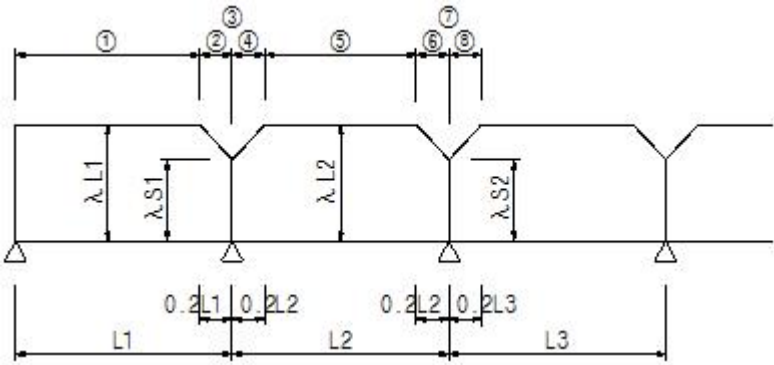
구 분	활 하 중
• 교 폭	• 12.600m
• 지간장(L)	• 50.150m+70.000m+50.150m
• 연석간 교폭(W_c)	• 11.700m
• 설계 차로수(N)	• $9.1 \leq W_c < 12.8 \text{ m}$ $\therefore$ 3차로 재하
• 설계 차로폭(W)	• $11.700\text{m} / 3 = 3.900\text{m} > 3.600\text{m}$ 이므로, $\therefore W = 3.600\text{m}$ → 설계차로폭 $W=3.0\text{m}$
• 충격계수(i)	• 제1지간 $15 / (40+49.450) = 0.168 < 0.3$ $\therefore i = 0.168$ 적용
	• 제2지간 $15 / (40+70.000) = 0.136 < 0.3$ $\therefore i = 0.136$ 적용
	• 제3지간 $15 / (40+49.450) = 0.168 < 0.3$ $\therefore i = 0.168$ 적용
	• 제1 내부지점 $15 / \{40+(49.450+70.000)/2\} = 0.150 < 0.3$ $\therefore i = 0.150$ 적용
	• 제2 내부지점 $15 / \{40+(70.000+49.450)/2\} = 0.150 < 0.3$ $\therefore i = 0.150$ 적용
• 활하중 크기	표준차로하중(DL-24)
	P_m 36.0kN
	P_s 52.0kN
	W_ℓ 4.23kN/m
• 재하방법	표준트럭하중(DB-24)
	P_f 24 kN
	P_r 96 kN
	- 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용 - DB-24, DL-24 - DB-24, DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~3개 차로에 경간별로 가장 불리한 부재력이 산출되도록 재하 - 각 CASE별 하중재하도 및 각 거더별 작용하중은 부록 참조.

3) 플랜지 및 바닥판의 유효폭 계산

전단지연(Shear Lag) 현상의 영향으로 인한 플랜지 및 바닥판의 유효폭은 다음과 같으며, 단면응력 검토 시 적용하였다.(상세한 계산과정은 부록 참조)

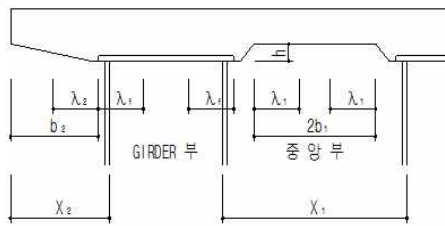
① 플랜지 유효폭

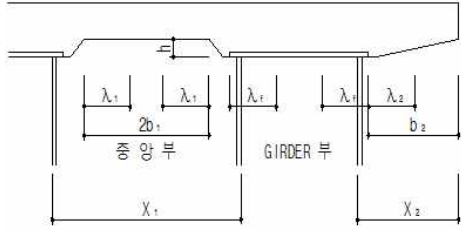
【표 2.3.12】 플랜지의 유효폭 산정

구 분	플랜지(m)		비 고
	상부	하부	
제1지간 중앙부	2.640	2.640	 상부 : 복부간격 $2b = 2.400\text{m}$, 플랜지돌출폭 $b_e = 0.120\text{m}$ 하부 : 복부간격 $2b = 2.40\text{m}$, 플랜지돌출폭 $b_e = 0.120\text{m}$ $L1 = 49.450\text{m}$, $L2 = 70.000\text{m}$, $L3 = 49.450\text{m}$
제1중간 지점부	2.425	2.425	
제2지간 중앙부	2.640	2.640	
제2중간 지점부	2.425	2.425	
제3지간 중앙부	2.640	2.640	

② 바닥판 유효폭

【표 2.3.13】 바닥판의 유효폭 산정

구 분	바닥판(m)	
	G1	
개 요	 $X_1 = 5.800\text{m}$, $X_2 = 1.000\text{m}$, $h = 0.000\text{m}$, $b_e = 0.120\text{m}$	
제1지간 중앙부	6.187	
제1중간 지점부	5.341	
제2지간 중앙부	6.210	
제2중간 지점부	5.341	
제3지간 중앙부	6.187	

구 분	바닥판(m)
	G2
개 요	 $X_1=5.800\text{m}$, $X_2=1.000\text{m}$, $h=0.000\text{m}$, $b_e=0.120\text{m}$
제1지간 중앙부	6.187
제1중 간 지점부	5.341
제2지간 중앙부	6.210
제2중 간 지점부	5.341
제3지간 중앙부	6.187

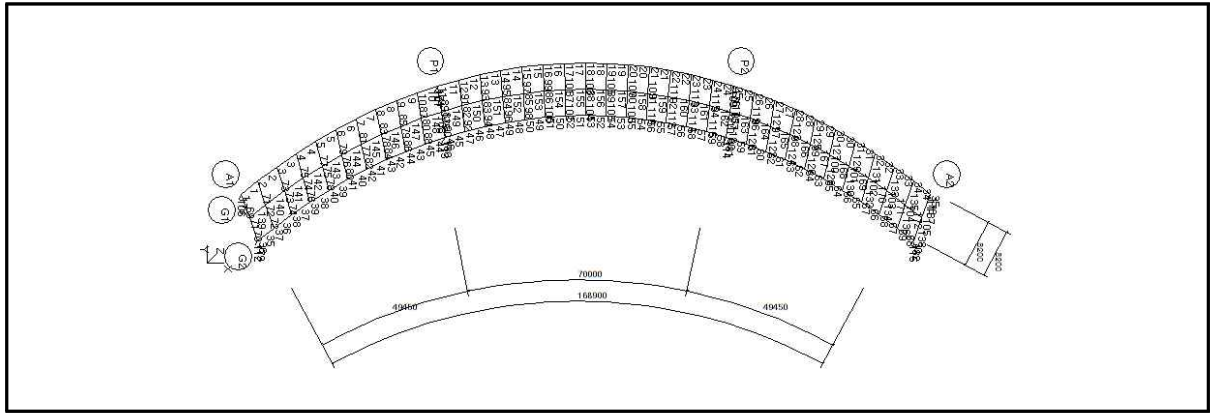
4) 모델링 및 단면 제정수

① 모델링

본 교량의 구조해석은 시공단계를 고려하기 위해 구조해석 모델을 합성전과 합성후로 구분하여 실시하였다. 합성전 모델링시 강박스 거더와 세로보 및 가로보는 보요소(Frame Element)를 사용한 격자형태로 모델링하였으며, 강재(강박스 거더, 세로보 및 가로보) 및 바닥판의 자중을 하중으로 고려하였다.

합성후 모델링은 바닥판 상부에 작용하는 하중을 실제 교량의 하중조건과 비교적 정확히 모사하기 위해 강박스 거더와 세로보 및 가로보는 보요소(Frame Element)로, 바닥판은 판요소(Plate Element)를 사용하여 3차원으로 모델링하였으며, 바닥판과 강재(강박스 거더, 세로보 및 가로보)의 도심 사이를 강체요소(Rigid Element)로 연결하였다. 또한, 시공단계별로 대상교량의 실제 강성과 최대한 근접할 수 있도록 모델링하였으며, 기타 세부내용은 다음과 같다.

- 합성전 모델링 시 바닥판 콘크리트는 단면의 강성에 기여하는 바 없이 고정하중만을 추가시키는 역할만을 함으로 바닥판에 의한 횡분배 효과는 고려하지 않는 것으로 하였다. 활하중은 해석프로그램 내의 이동하중해석 기능을 사용하였으며 도로교 설계기준을 참조하여 가장 불리한 하중조합이 되도록 설정하였다.
- 경계조건은 현장조사 시 확인된 각 지점의 가동, 고정 상태를 고려하여 설정하였다.



【그림 2.3.11】 해석모델링(상부구조)

5) 구조해석 결과

① 단면력 산정결과

판요소와 보요소를 합성시킨 합성후 모델(합성후 고정하중, 활하중 등)에서 산출된 휨모멘트는 해당 휨모멘트 발생시 동시에 발생하는 축력(우력모멘트)을 고려한 값이며, 아래 표와 같다.

㉠ 중앙부 정모멘트부

【표 2.3.14】 중앙부 정모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
G1	휨모멘트(kN · m)	10119.974	3099.234	8235.218	2145.43
	전단력(kN)	-28.986	-6.969	-431.606	-467.561
	비틀림모멘트(kN · m)	131.115	-7.449	719.343	843.009

㉡ 지점부 부모멘트부

【표 2.3.15】 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
G1	휨모멘트(kN · m)	-15309.134	-4691.668	-9938.089	-29938.9
	전단력(kN)	-1384.928	-442.087	-944.876	-2771.89
	비틀림모멘트(kN · m)	-251.776	-353.760	-1087.760	-1693.3

6) 강박스 거더의 응력 검토

강박스 거더에 대한 응력검토는 내·외측경간 최대 정모멘트부 및 지점부 최대 부모멘트부 단면에 대하여 실시하였으며, 이에 대한 상세 검토결과는 부록에 첨부하였다.

하중종류1	합성전 고정하중	하중종류5	크리프
하중종류2	합성후 고정하중	하중종류6	건조수축
하중종류3	활하중	하중종류7	온도차

① 중앙부 정모멘트부

㉠ G1(단면-9)

- 휨응력

【표 2.3.16】 외측경간 정모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력								안전율	
	작용응력(MPa)				허용응력(MPa)					
	Concrete		Steel		Concrete		Steel			
	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연
1			96.307	-87.851			166.433	215.000	1.728	2.447
1+2+3	3.429	1.928	112.243	-167.481	10.800	10.800	215.000	215.000	1.915	1.284
1+2+3+5	2.773	1.696	116.967	-161.017	10.800	10.800	247.250	215.000	2.114	1.335
1+2+3+5+6	1.134	0.094	133.833	-137.013	10.800	10.800	247.250	215.000	1.847	1.569
1+2+3+5+6+7	-0.576	-1.548	148.213	-118.331	2.174	2.174	279.500	247.250	1.886	2.089
1+2+3+5+6+7	2.845	1.737	119.452	-155.694	12.420	12.420	279.500	247.250	2.340	1.588

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

- 전단 및 비틀림

$$\nu = (S_s + S_{sc} + S_v) / A_w + M_{st} / (2 F t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 F_v t_w)$$

$$= 15.505 \text{ MPa} < \nu_a = 125.000 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}$$

- 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{96.307}{166.433}\right)^2 + \left(\frac{15.505}{125.000}\right)^2 = 0.335 + 0.015 = 0.350 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-167.481}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{15.505}{125.000}\right)^2 = 0.607 + 0.015 = 0.622 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

② 지점부 부모멘트부

㉠ G-1 (단면-8)

- 휨응력

【표 2.3.17】 지점부 부모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력							안 전 율	
	작용응력(MPa)				허용응력(MPa)				
	RE-BAR		Steel		RE-BAR	Steel			
	상 연	하 연	상 연	하 연		상 연	하 연	상 연	하 연
1			-103.648	89.993		215.000	215.000	2.074	2.389
1+2+3	-72.223	-62.237	-164.665	169.444	160.000	215.000	215.000	1.306	1.269
1+2+3+5	-80.384	-70.478	-172.915	160.068	160.000	215.000	215.000	1.243	1.343
1+2+3+5+6	-63.607	-53.511	-155.926	179.727	160.000	215.000	215.000	1.379	1.196
1+2+3+5+6+7	-65.175	-54.918	-132.712	205.210	184.000	247.250	247.250	1.863	1.205
1+2+3+5+6+7	-62.039	-52.105	-179.139	154.244	184.000	247.250	247.250	1.380	1.603

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

- 전단 및 비틀림

$$\begin{aligned}\nu &= (S_s + S_{sc} + S_v) / A_w + M_{st} / (2 F t_w) + (M_{sct} + M_{vt}) / (2 F_v t_w) \\ &= 58.432 \text{ MPa} < \nu_a = 125.000 \text{ MPa} \quad \therefore \text{O.K}\end{aligned}$$

- 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-172.915}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{58.432}{125.000}\right)^2 = 0.647 + 0.219 = 0.865 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{179.727}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{58.432}{125.000}\right)^2 = 0.699 + 0.219 = 0.917 < 1.2 \quad \therefore \text{O.K}$$

7) 강박스 거더의 안전성 검토결과

① 휨응력

【표 2.3.18】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

구 분		휨 응 력				안전을		검토 결과
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
G1	중앙부 정모멘트부	96.307	-87.851	166.433	215.000	1.728	1.284	O.K
	지점부 부모멘트부	-172.915	179.727	215.000	215.000	1.243	1.196	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 2.3.19】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

구 분		전 단 응 력		안 전 율	검 토 결 과
		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
G1	중앙부 정모멘트부	15.505	125.000	8.062	O.K
	지점부 부모멘트부	58.432	125.000	2.139	O.K

허용응력법에 의한 강박스 거더의 응력 검토결과, 거더 상·하연에 발생하는 최대응력은 허용응력 이내로 검토되었으며, 강박스 거더는 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

다. 안전성평가 결과

1) 바닥판

바닥판 슬래브는 경험적 설계방법으로 설계 시공된 상태로 현장조사 및 관련자료를 검토한 결과, 철근배근간격 및 철근량이 적정하게 시공된 것으로 조사되었다.

2) 거더

허용응력설계법 및 강도설계법에 의한 안전성 검토결과, 전체적으로 안전율이 1.0을 상회하는 것으로 분석되어 본 교량의 안전성 평가 결과는 “A”로 검토되었다.

【표 2.3.20】 거더의 안전성 평가 결과

구 분		계산식	판정	비고
강박스 거더	휨응력	$\frac{f_a}{f} = \frac{215.000}{179.727} = 1.196$	O.K	MPa
	전단응력	$\frac{f_a}{f} = \frac{125.000}{58.432} = 2.139$	O.K	MPa
	합성응력	$\left(\frac{179.727}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{58.432}{125.000}\right)^2 = 0.917 < 1.2$	O.K	

3.5.4 내하력 평가

현재 도로교설계기준을 토대로 거더의 경우 허용응력설계법, 바닥판의 경우 극한강도설계법을 적용하여 내하력평가를 실시하였으며, 기본내하력 계산에서는 설계하중인 DB-24, DL-24 하중을 적용하였다.

가. 개요

1) 강도설계법에 의한 내하력평가

① 기본내하율(RF) 산정방법

$$RF = \frac{\phi M_n - \gamma_d M_d}{\gamma_\ell M_{\ell(1+i)}}$$

여기서, ϕM_n = 설계휨강도 M_d = 고정하중모멘트

$M_{\ell(1+i)}$ = 설계활하중에 의한 모멘트

γ_d = 고정하중 계수 (1.30) γ_ℓ = 활하중 계수 (2.15)

② 공용내하력(P) 산정방법

$$P = K_s \times RF \times P_\ell$$

여기서, K_s = 응력 보정계수 P_ℓ = 설계 활하중 (DB-24)

2) 허용응력설계법에 의한 내하력평가

① 기본내하율(RF) 산정방법

$$RF = \frac{f_a - f_d}{f_\ell}$$

여기서, f_ℓ = 충격을 포함한 설계 활하중 응력

f_a = 재료의 허용응력 f_d = 고정하중 응력

② 공용내하력(P) 산정방법

$$P = K_s \times RF \times P_\ell$$

여기서, K_s = 응력 보정계수

P_ℓ = 설계 활하중 (DB-24, DL-24)

나. 기본내하율 산정

【표 2.3.21】 강박스 거더 기본내하율(허용응력법) 산정결과

구 분		정모멘트부				부모멘트부(내측경간)				비 고
		허용 응력	고정하중 응력	활하중 응력	내하율 (R.F)	허용 응력	고정하중 응력	활하중 응력	내하율 (R.F)	
G1	상연	166.433	100.774	11.578	5.671	215.000	124.499	41.449	2.183	
	하연	215.000	110.172	57.856	1.812	215.000	117.144	53.971	1.813	

다. 내하력평가 결과

【표 2.3.22】 강박스 거더의 공용내하력(허용응력법) 산정결과

구 분		기본내하율 (R.F)	응답보정계수 (K_s)	공용내하율 ($K_s \times RF$)	공용내하력
외측거더(G1)	상연	2.183	1.515	3.307	DB-24 이상
	하연	1.812	1.510	2.736	DB-24 이상
결 과 분석		• 내하력평가 결과, 공용내하력이 설계내하력(DB, DL-24) 보다 큰 것으로 나타나 본 구조물의 공용내하력은 양호한 상태로 평가됨.			

3.6 종합평가 및 안전등급

3.6.1 종합평가 결과

대상 구조물의 종합평가는 『시설물의 안전점검 및 정밀안전진단 실시 등에 관한 지침(국토교통부 2016. 12.)』에 의거 상태평가등급과 안전성평가등급을 비교하여 등급 중 낮은 등급을 시설물의 종합평가등급으로 결정하였다.

옥산JCT Ramp-D교의 상태평가등급은 “A”, 안전성평가 등급은 “A”로 평가되어 본 시설물의 종합평가 결과, 종합평가등급은 “A(우수)등급”으로 평가되었다.

【표 2.3.23】 종합평가 결과

평가구분	결합지수	평가등급	비 고
상태평가	F = 0.100	A	
안전성평가	S.F = 1.0이상	A	설계내하력 이상확보
종합평가 결과	A등급		

3.6.2 안전등급 지정

옥산JCT Ramp-D교에 대한 외관조사 및 구조안전성평가결과 시설물의 상태는 『문제점이 없는 최상의 상태』로 안전등급 A등급으로 평가되었다.

【표 2.3.24】 옥산JCT Ramp-D교 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	옥산JCT Ramp-D교	A등급(우수)

3.7 종합결론

옥산JCT Ramp-D교는 외관조사 및 시험결과를 토대로 한 시설물의 상태평가 결과와 구조검토 및 안전성평가 결과를 종합적으로 분석, 평가한 결과 종합평가 등급 및 안전등급은 문제점이 없는 최상의 상태인 “A등급”으로 평가되었다. 일부 국부적으로 손상이 조사되었으나 내구성 및 기능성 향상을 위해 보수를 실시하였으며 공용 기간 증대에 따른 손상이 발생할 수 있으므로 지속적인 점검을 통한 유지관리가 필요하다.