

제5장 용두천교

5.1 시설물의 개요

5.2 현장조사 및 시험

5.3 상태평가

5.4 교량 재하시험

5.5 안전성평가 및 내하력평가

5.6 종합평가 및 안전등급

5.7 종합결론

제5장 용두천교

5.1 시설물의 개요

5.1.1 교량개요

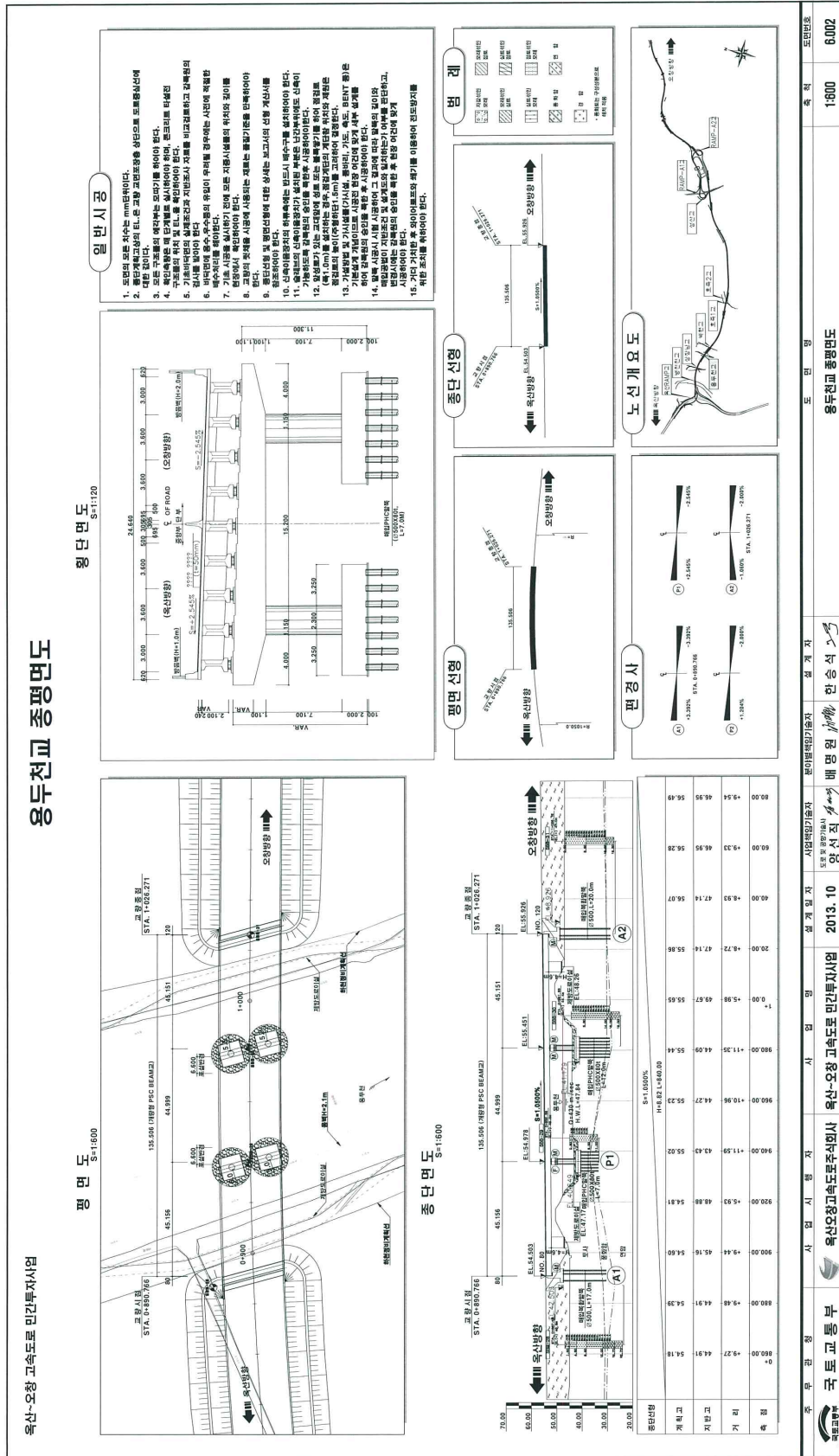
본 초기점검 대상 시설물인 용두천교에 대한 시설물 현황은 다음과 같다.

【표 2.5.1】 과업대상 시설물의 개요

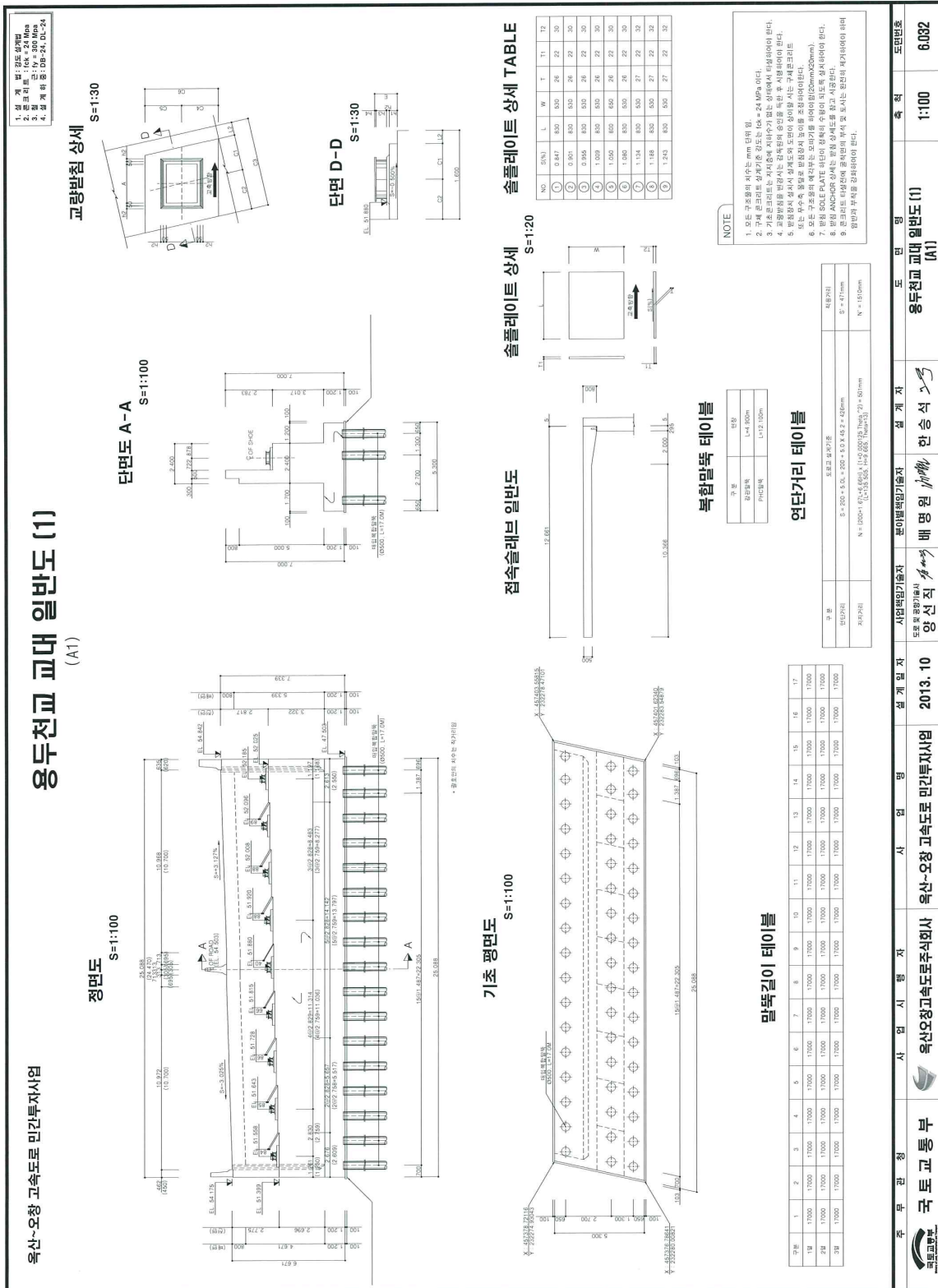
구 분		내 용		구 분		내 용	
시설물명		용두천교		시설물번호		-	
준공년월일		2018. 01. 13		관리번호		-	
시설물위치		충북 청주시 흥덕구 옥산면					
설계하중		DB, DL-24		노선명(이정)		아산청주고속도로(옥산-오창)	
제원	연장	L = 3@45.0 = 135.0m					
	폭	B = 24.470m					
구조 형식	상부	개량형 PSC BEAM(Bicon)		기초 형식	교대	말뚝기초	
	하부	교대:역T형, 교각:π형			교각	말뚝기초	
교량받침		탄성받침		신축이음		Finger Joint	
교차시설물		하천(용두천)		통과높이		-	
부착시설 (도로, 철도, 하천)		-					
기 타		-					

	
상면전경	측면전경

용두천교 증평면도

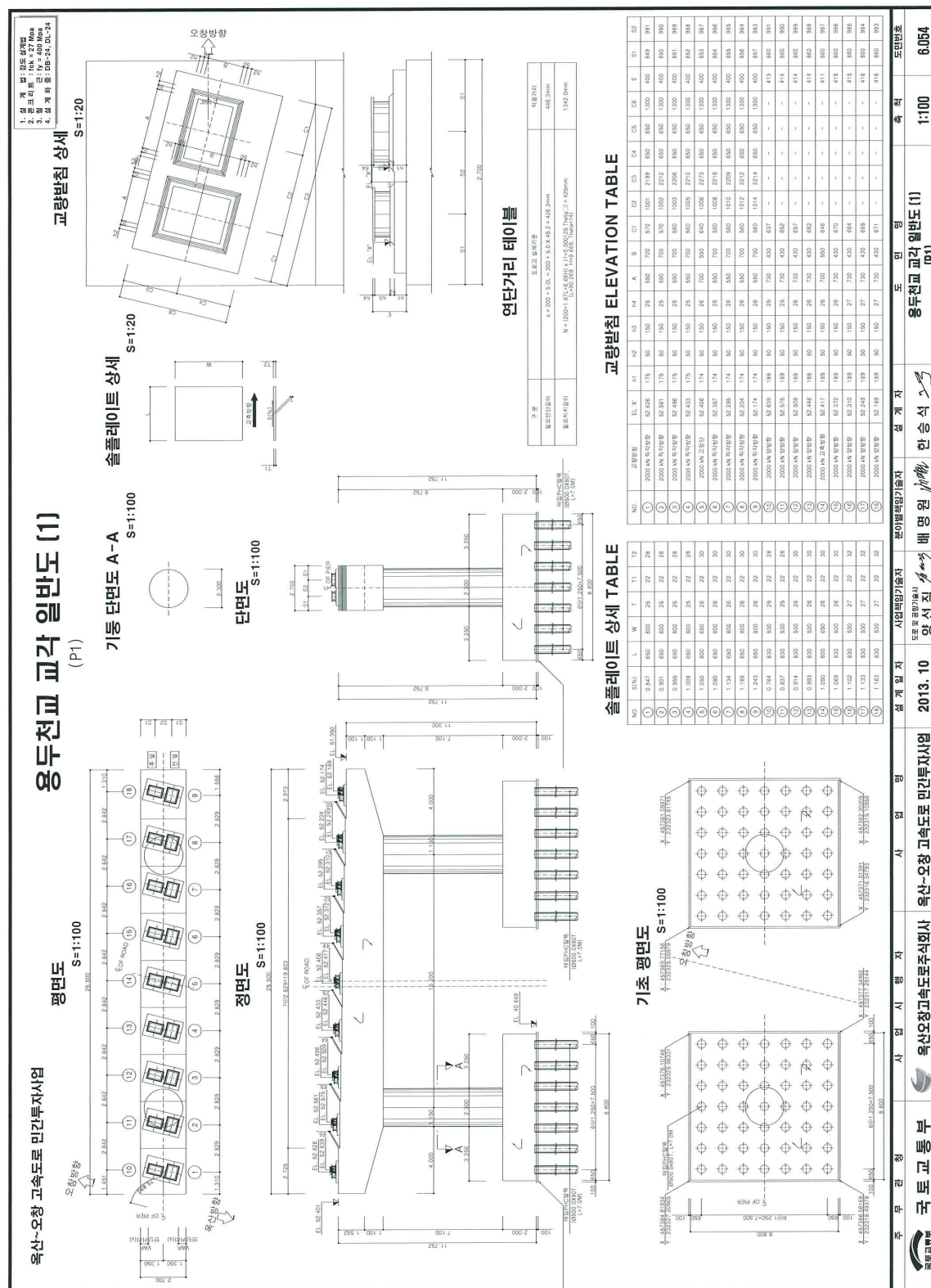


옥산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검



【그림 2.5.3】 교대(A1) 일반도

속산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점점



【그림 2.5.4】 교각(P1) 일반도

옥산~오창 고속도로 민간투자사업 초기점검

5.2 현장조사 및 시험

5.2.1 외관조사 결과

본 점검 대상 구조물인 용두천교에 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

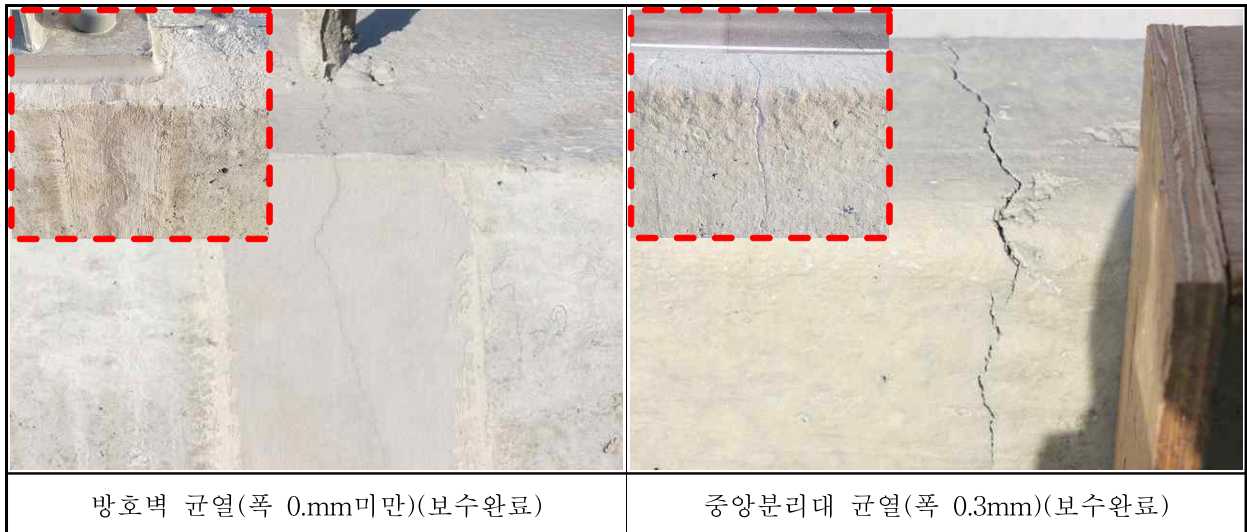
본 교량에 설치된 배수시설은 육교형 배수관(알루미늄 강관 Pipe)으로서, 설치된 배수구는 설계도면에 준하여 적정하게 시공된 것으로 확인되었으며, 배수시설의 설치상태 및 교면의 배수상태는 전반적으로 양호한 상태인 것으로 조사되었다.



다. 난간 및 연석

본 교량의 외측 방호벽 및 중앙분리대는 철근콘크리트 구조로 시공되어있다. 방호벽 및 중앙분리대에 대한 외관조사 결과, 일부 구간에서 균열(폭 0.3mm미만 및 이상)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)	4.0m/2ea	보수완료
	균열(폭 0.3mm이상)	2.0m/1ea	보수완료
중앙분리대	균열(폭 0.3mm미만)	2.0m/1ea	보수완료
	균열(폭 0.3mm이상)	67.2m/50ea	보수완료



방호벽 균열(폭 0.3mm미만)(보수완료)

중앙분리대 균열(폭 0.3mm)(보수완료)

라. 신축이음

본 교량의 신축이음장치는 총 2개소(A1, A2)에 설치되어 있다. 신축이음장치에 대한 점검 결과, 조인트 본체 및 후타재에 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 신축이음의 거동 상태도 양호한 것으로 나타났다.



신축이음 상태양호(A1)



신축이음 상태양호(A2)

마. 바닥판 하면

바닥판 철근콘크리트 구조로 시공되어 있다. 바닥판에 대한 외관조사 결과, 균열부 백태의 손상이 일부 조사되었으나, 준공 전 시공사측에서 보수조치를 실시하여 현재 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

구 분	손상상태	손상물량	비 고
바닥판	균열부 백태	66.0m/33ea	보수완료



바닥판 하면 균열부 백태(보수완료)



바닥판 하면 균열부 백태(보수완료)

바. 거더

본 교량의 거더는 Bicon Girder형식이며, 거더에 대한 외관조사 결과, 특별한 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.



사. 가로보

본 교량의 가로보는 철근콘크리트로 시공되어 있다. 가로보에 대한 외관조사 결과 콘크리트의 균열, 파손 등의 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 구조

로 하거나 변위에 의해 발생하는 하중에 저항할 수 있는 구조이다.

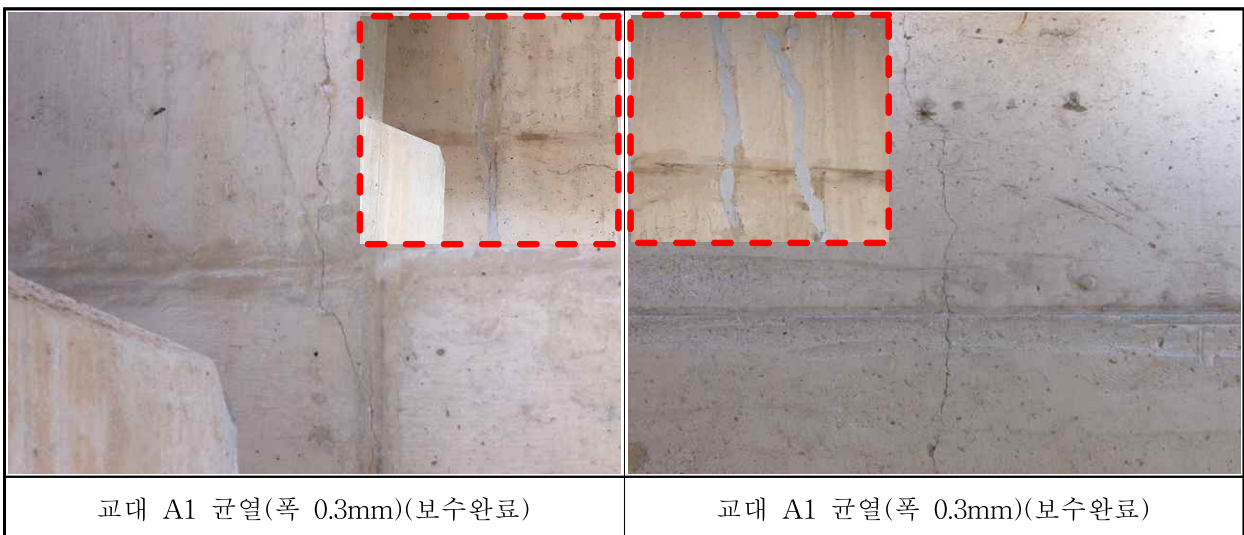
본 교량의 받침장치는 탄성받침 형식으로 총 54개소(9개소/교대 1EA당, 18개소/교각 1EA당)가 설치되어 있으며, P1에 고정단이 설치되어 있다. 교량받침에 대한 점검결과, 받침 본체 및 받침콘크리트에 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.



자. 교대

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

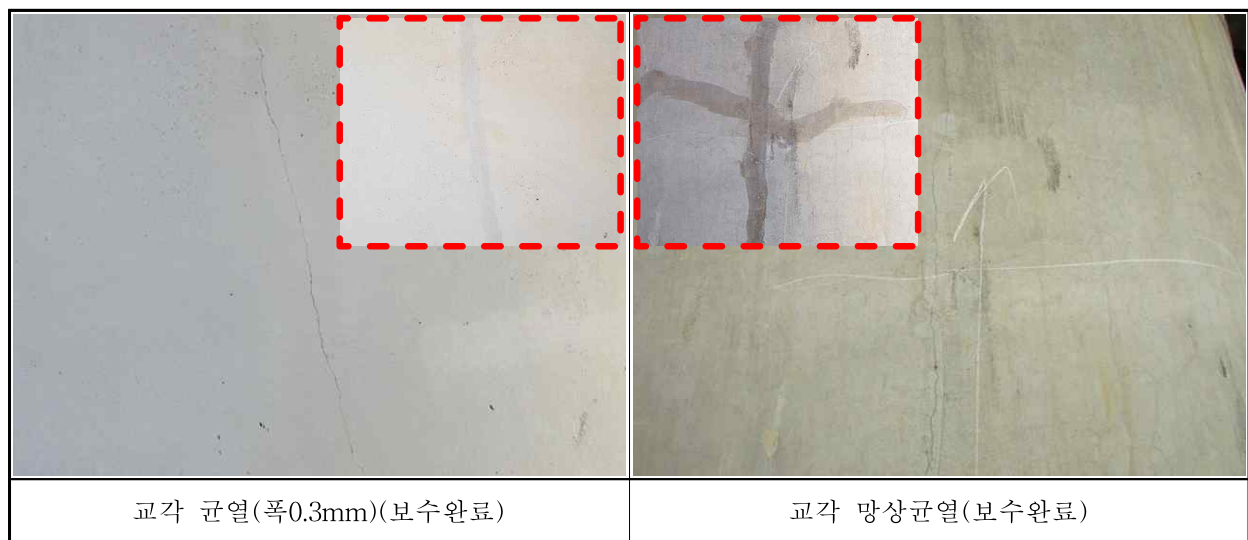
구 분	손상상태	손상물량	비 고
교대	균열(폭 0.3mm미만)	6.70m/10ea	보수완료
	균열(폭 0.3mm이상)	19.0m ² /8ea	보수완료



차. 교각

교각은 Ⅱ형식으로 시공되어 있다. 교각에 대한 외관조사결과, 균열(0.3mm미만 및 이상), 망상균열 등의 손상이 일부 조사되었으나, 준공 전 시공사측에서 보수조치를 실시하여 현재 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

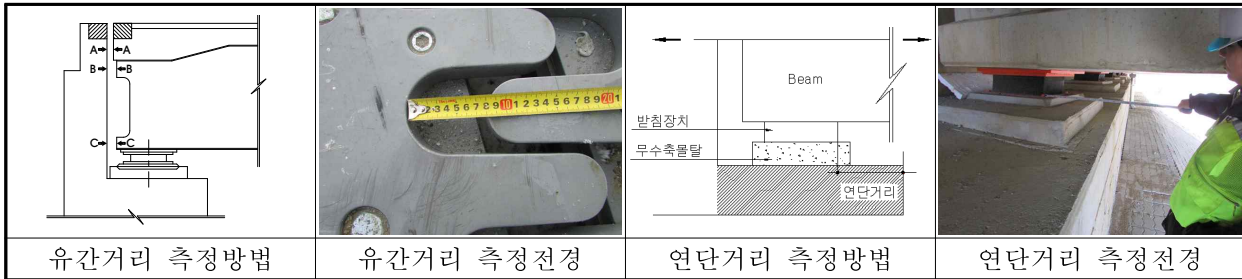
구 분	손상상태	손상물량	비 고
교각	균열(폭 0.3mm미만)	32.1m/43ea	보수완료
	균열(폭 0.3mm이상)	5.5m/2ea	보수완료
	망상균열	29.5㎡/7ea	보수완료



5.2.2 부재별 기능조사 결과

가. 개요

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



【그림 2.5.5】 부재별 기능상태 측정방법 및 전경

나. 유간거리 검토

1) 계산 신축량 산정

【표 2.5.2】 온도변화의 범위 및 선팽창 계수

측 정 일	2018년 1월 11일		
온도변화 범위	-15℃ ~ +40℃ (한냉지방)	선팽창 계수(α)	1.0×10 ⁻⁵
점검시 기온	-9.3℃		
온도에 의한 신축량(ΔLT)	ΔLT = ΔT × α × L		
회전에 의한 이동량(ΔLr)	ΔLr = 2h/3 × Θ (콘크리트교=1/300)		
주형높이(h)	2,100mm		
지간장(L)	45.0m(S1, S2, S3)		

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

- 온도에 의한 신축량(Δlt) ; 한냉지방, 콘크리트교 : -15~+40℃ 적용

※ 유간 측정일 기온이 온도변화 범위(보통지방)를 초과하여 한냉한지방의 온도범위로 적용함.

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

여기서, ΔT : 40℃ - (-9.3℃) = 49.3℃ (신장), -9.3℃ - (-15℃) = 5.7℃ (수축)

α(선팽창계수) : 1.0×10⁻⁵

L : 신축틀보의 길이(L=45.0m)

{[A1지점] = 45.0m, [A2지점] = 90.0m}

▷ A1지점 = (22.19mm - 신장 / 2.57mm - 수축)

▷ A2지점 = (44.37mm - 신장 / 5.13mm - 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 유간 측정치와 계산이동량 산정치를 비교 검토한 결과 전체 개소에서 현행 설계기준에 따른(도로교설계기준 해설, 2008) 부가여유량을 고려한 경우에도 상부구조의 신축거동을 수용할 수 있는 양호한 상태로 나타났다.

【표 2.5.3】 유간거리 검토결과

위치		계산 신축량 (mm)			용두천교		
					측정유간 (mm)	판정	
		$\Delta \ell t$	여유량/2	합계		온도 이동량	합계 이동량
A1	신장	22.19	5.0	27.19	60.0	OK	OK
	수축	2.57	5.0	7.57	20.0	OK	OK
A2	신장	44.37	5.0	49.37	82.0	OK	OK
	수축	5.13	5.0	10.13	38.0	OK	OK

※ 신축이음 허용량(설계도면 확인) : A1=80mm, A2=120mm

다. 연단거리 검토

1) 연단거리 계산

- 주형의 경간길이 100m 이하 연단거리(S) = 200 + 5 × L
 - 주형의 경간길이 100m 이상 연단거리(S) = 300 + 4 × L 여기서, L : 경간길이
 - 경간길이
- * 45.0m : S = 200 + (5 × 45.0) = 425.0(mm)

2) 연단거리 측정결과

각 교량받침에 대한 연단거리를 측정한 결과, 실측 연단거리는 470mm~550mm로 도로교 설계기준(2010년) 상의 최소연단거리 425.0mm 이상 확보한 것으로 조사되어 기준을 만족하는 것으로 검토되었다.

【표 2.5.4】 연단거리 측정결과

구 분		실측거리(mm)	경 간 장 L(m)	최소연단거리 S(mm)	평 가	
병 천 천 교	A1		500	45	425	O.K
	P1	A1측	480~500	45	425	O.K
		A2측	500~520	45	425	O.K
	P2	A1측	470~500	45	425	O.K
		A2측	480~500	45	425	O.K
	A2		550	45	425	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 2.5.5】 교량받침 이동량 측정결과

측정당시 온도		3.3℃ (2017년 11월 20일)					교량받침 종류		탄성받침		
구분		가동단 변위량(mm)									허용이동량 (mm)
		SH1	SH2	SH3	SH4	SH5	SH6	SH7	SH8	SH9	
A1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	±144
P1		Fix									-
P2	A1측	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	±72
	A2측	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	±72
A2		↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	±144

2) 교량받침 이동 여유량 계산

가동받침에서 이론적으로 산정된 교량받침의 이동량은 다음과 같다.

- 1) 조사시 온도 : 3.3℃(2017년 11월 20일)
- 2) 온도변화 : -5℃~35℃(콘크리트교, 보통지방)
- 3) 받침 이동량 산정

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

여기서, ΔT : 35℃-(3.3℃)=31.7℃(신장), 3.3℃-(-5℃)=8.3℃(수축)

α (선팽창계수) : 1.0×10^{-5}

L : 신축들보의 길이(L=90.0m, 45.0m)

위 치	신축길이(m)	이론신축량		비 고
		신장량(mm)	수축량(mm)	
A1, P2	45.0	14.27	3.74	
A2	90.0	28.53	7.41	

【표 2.5.6】 교량 받침 이동량 검토

구 분		신축장 (mm)	이론신축량(mm)		신축여유량(mm)		판정
			신장	수축	신장	수축	
A1		45,000	14.27	3.74	144	144	O.K
P2	A1측	45,000	14.27	3.74	77	67	O.K
	A2측	45,000	14.27	3.74	77	67	O.K
A2		90,000	28.53	7.47	159	129	O.K
※ 이론신축량 : 온도변화에 의한 신축량 ▶ 검토결과 : 온도 3.3℃일 때의 가동받침의 신축여유량 검토 결과, 교량에 설치된 가동받침장치의 실축여유량이 이론신축량을 만족하는 것으로 평가되어 양호한 것으로 확인됨.							

5.2.3 내구성조사

가. 반발경도시험

1) 반발경도시험 결과

반발경도시험은 바닥판, 교대, 교각의 총 5개소에서 실시하였으며, 시험결과 모든 부재에서 설계압축강도(바닥판 : 27.0MPa, 교대 : 24.0MPa, 교각 : 27.0MPa)를 상회하는 것으로 조사되었다.

【표 2.5.7】 반발경도시험 결과

구 분		설계압축강도(MPa)	반발경도법(MPa)	강도비(%)
상부구조	바닥판	27.0	28.8 ~ 29.2	106.7 ~ 108.1
하부구조	교 대	24.0	25.5 ~ 26.0	106.3 ~ 108.3
	교 각	27.0	28.8	106.7

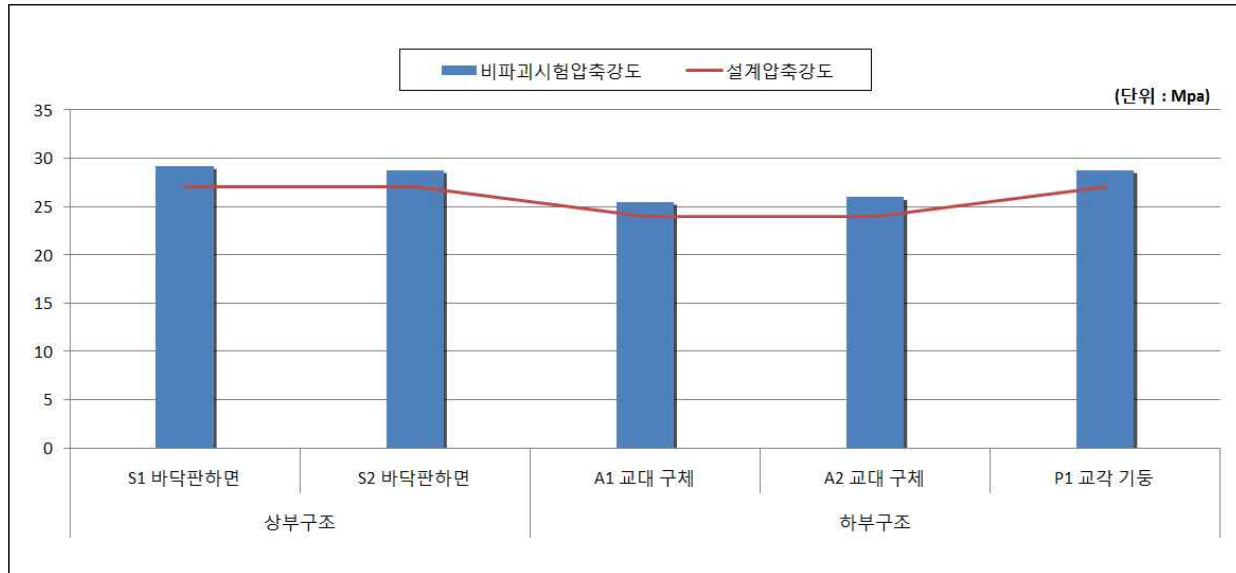
2) 각 부재별 반발경도 시험결과

【표 2.5.8】 각 부재별 반발경도시험 결과

시 험 위 치		평균치 R	보정치 ΔR	기준 강도 Ro	재령 계수 an	추정 압축강도 방법1	추정 압축강도 방법2	평균 강도 (MPa)	설계압축 강도(MPa)
상부 구조	S1 바닥판하면	50.7	-3.1	47.6	0.67	28.4	30.0	29.2	27.0
	S2 바닥판하면	50.1	-3.1	47.0	0.67	27.9	29.7	28.8	27.0
하부 구조	A1 교대 구체	42.6	0	42.6	0.66	23.8	27.1	25.5	24.0
	A2 교대 구체	43.4	0	43.4	0.66	24.5	27.5	26.0	24.0
	P1 교각 기둥	48.2	0	48.2	0.65	28.1	29.4	28.8	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 2.5.6】 콘크리트 강도시험 결과 그래프

나. 철근탐사시험

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

【표 2.5.9】 철근탐사시험 결과

탐사위치		배근종류	설계치(mm)		측정치(mm)	
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께
상부구조	S2 바닥판하면	주 철 근	@200	48	≒@200	≒45
		배력철근	@250	32	≒@250	≒30
	S3 바닥판하면	주 철 근	@200	48	≒@200	≒50
		배력철근	@250	32	≒@250	≒35
하부구조	교대 A1 구체	수직철근	@250	90.5	≒@250	≒90
		수평철근	@150	71.5	≒@150	≒70
	교대 A2 구체	수직철근	@250	90.5	≒@250	≒100
		수평철근	@300	71.5	≒@300	≒80
	P1 교각 기둥	수직철근	@125	87.5	≒@125	≒90
		수평철근	@300	65.5	≒@300	≒70

5.3 상태평가

5.3.1 상태평가 결과

본 용두천교에 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 2.5.10】 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	개량형 PSC BEAM	a	a	a	a	a	a	a	a	a	Q	a	a
2	개량형 PSC BEAM	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
3	개량형 PSC BEAM	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
4	개량형 PSC BEAM	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 2.5.11】 상태평가 결과표

교량명	용두천교						
구성교량명	환산결함도점수	상태평가등급	연장(m)	차선	길이×차선	연장비	환산결함도점수×연장비
본교	0.100	A	135.0	4	540.0	1.000	0.100
합계(Σ)			135.0		540.0	1.000	0.100
1. 평가지수 =							0.100
2. 상태평가 결과 =							A 등급

5.4 교량 재하시험

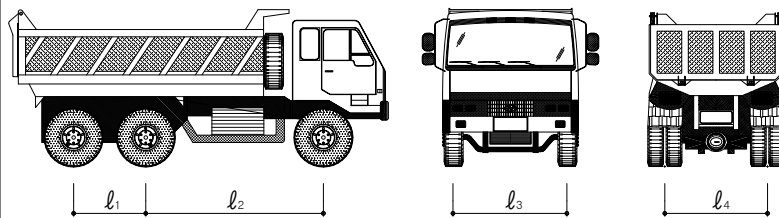
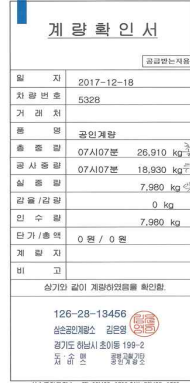
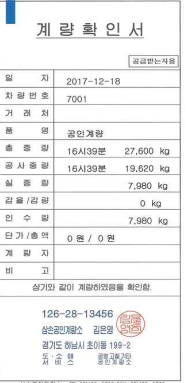
5.4.1 개 요

가. 현장시험의 개요

구 분		내 용
시험일자		2017. 12. 21
시험시간		PM 01:00 ~ PM 03:00
시험위치		S3(최대 정모멘트가 작용하는 지점)
재하시험차량 대수		2대
하중 경우 수	정적재하시험	Load Case 1~4 (4회)
	동적재하시험	10km/hr ~ 80km/hr

나. 재하시험 차량의 제원 및 하중

대상교량의 정적재하시험에는 설계하중의 약 62~64%에 해당하는 토사를 만재한 269.10kN, 276.00kN 트럭 2대를 사용하였으며, 재하차량의 제원 및 중량은 다음과 같다.

차 량 제 원		계 량 증 명 서			
					
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)	
1호차 - 덤프트럭 (5328)	269.10	79.80	94.65	94.65	
2호차 - 덤프트럭 (7001)	276.00	79.80	98.10	98.10	

다. 교량 재하시험 사진



변형률계 설치 현황



처짐계 설치 현황



가속도계 설치 현황



재하시험 계측 전경



정적 재하시험 전경



동적 재하시험 전경

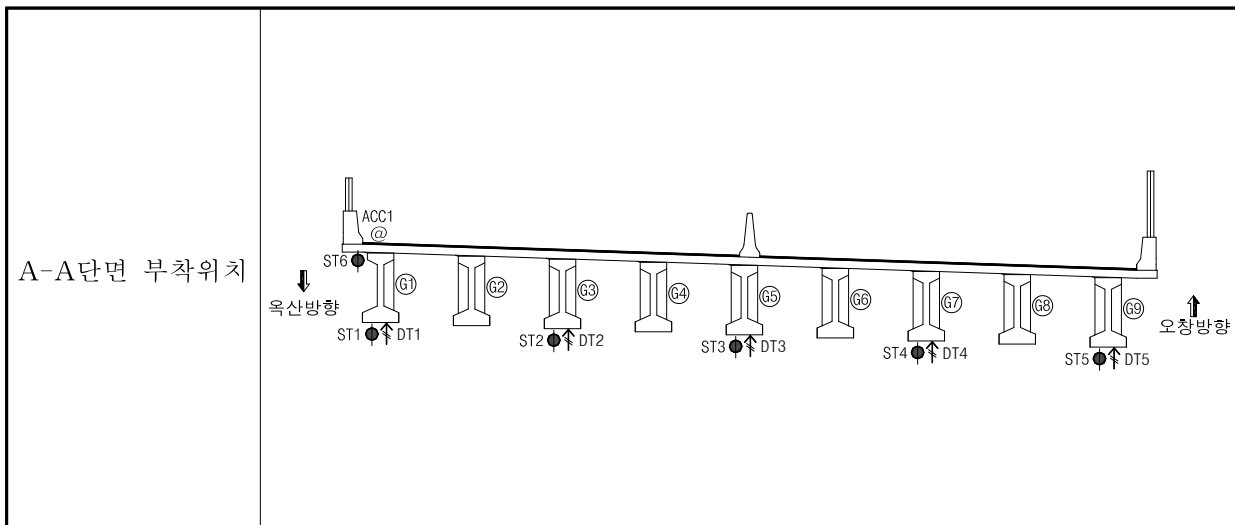
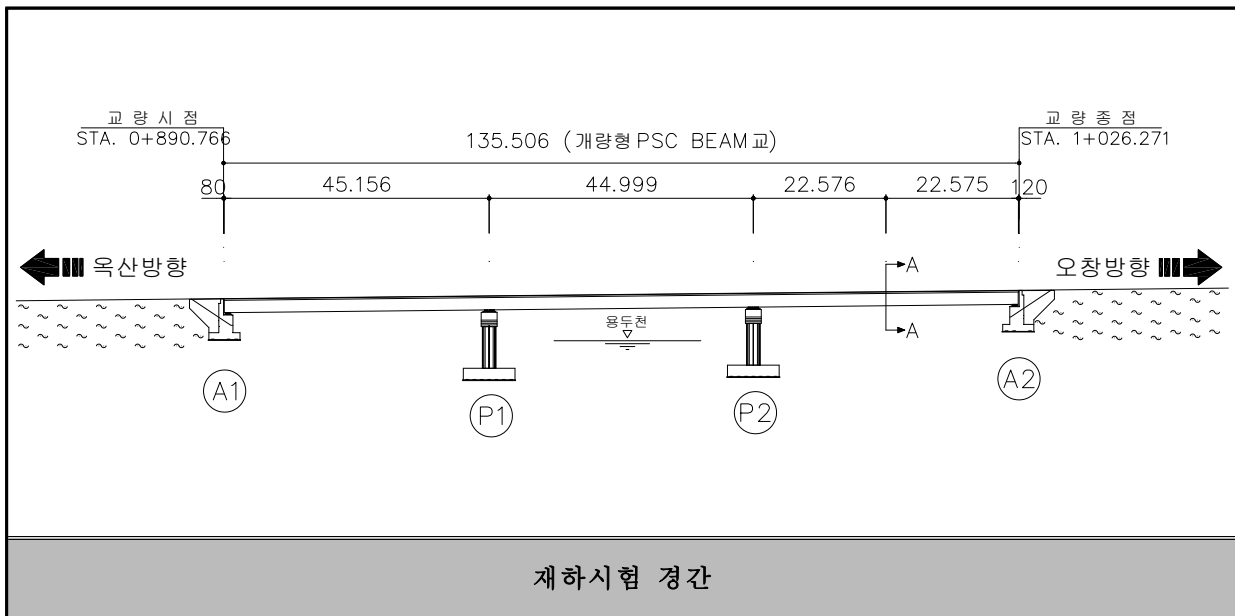
라. 계측센서 사양 및 수량

구분	센서명	모델명	사 양	수량(ea)
계 측 센 서	콘크리트 변형률게이지	PL-60 -11-1L	• 범위 : 30000μstrain • 저항 : 120.3$\pm$0.5Ω • 사용온도 범위 : -20$\sim$+80°C • 형식 : 전기저항식	6
	처짐계	OU-30	• 범위 : $\pm$30mm • 민감도: ($\times 10^{-6}$/mm) : 1000 • 허용온도범위 : 0$\sim$+60°C • 형식 : 전기저항식	5
	가속도계	ARF-20A	• 용량 : 2.04g • 응답주파수 : 80hz • 고유주파수 : 150hz • 형식 : 전기저항식	1
소 계				12
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

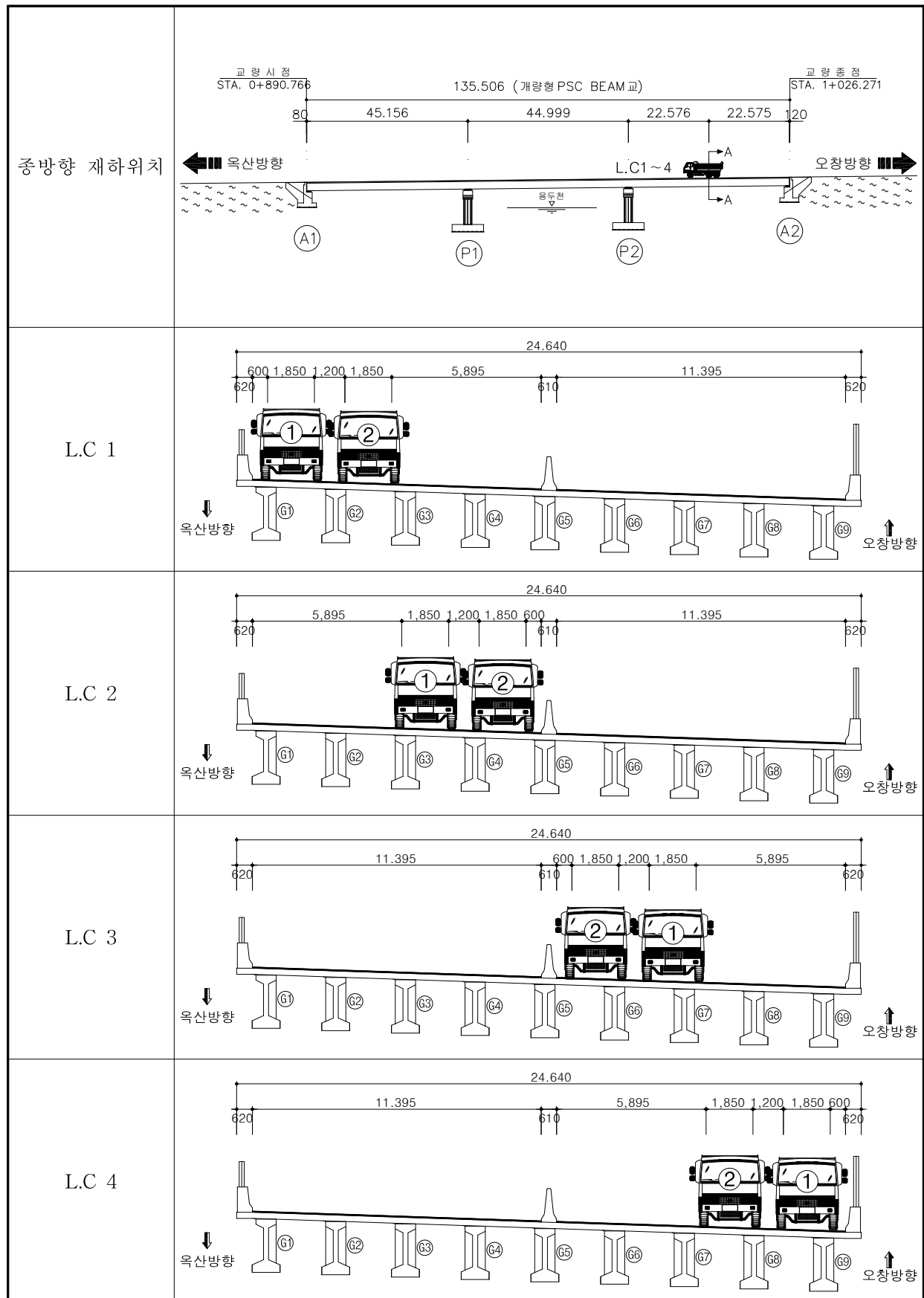
재하시험 위치	재하목적	비 고
외측경간(S3)	• 최대 정모멘트가 작용하는 지점	

바. 계측센서 설치도

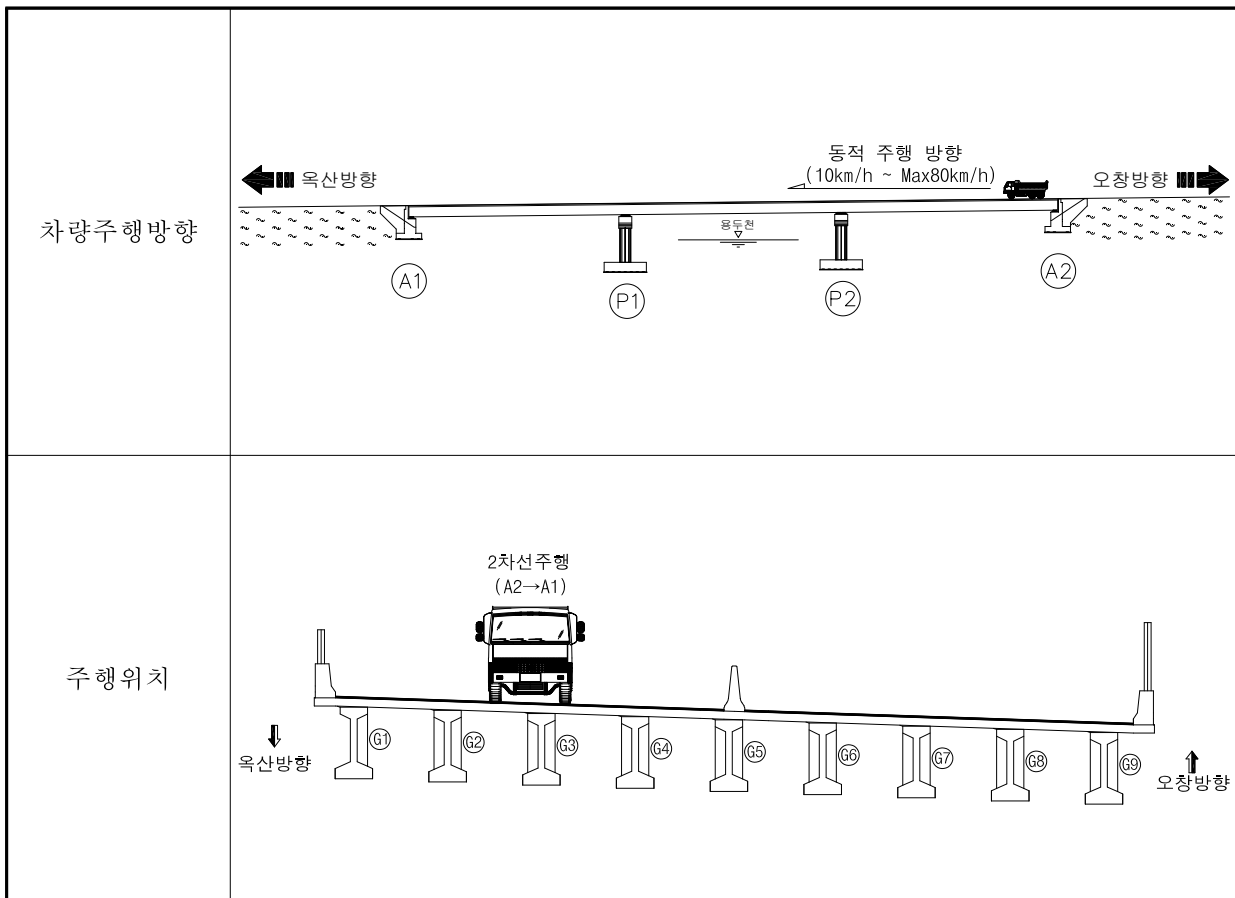


구 분	계측기명	설치수량	비 고
●	콘크리트 변형률계	6	교축방향
↑	처짐계	5	연직방향
@	가속도계	1	연직방향
계측센서 총 수량		12	

사. 정적 재하시험 LOAD CASE



아. 동적 재하시험 LOAD CASE



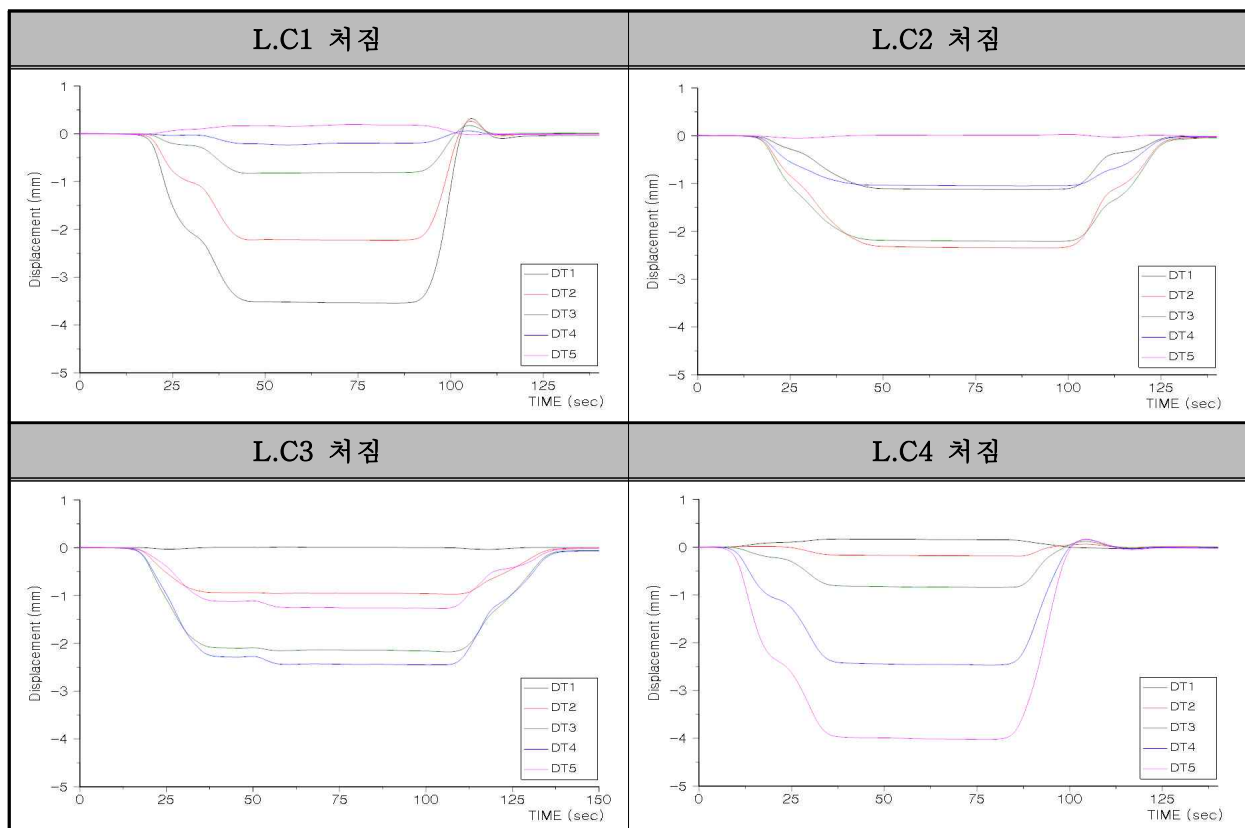
재하경우	주행방향	주행위치	비고
10km/hr	중점→시점	옥산방향 2차선	재하차량 1대
20km/hr	중점→시점	옥산방향 2차선	재하차량 1대
30km/hr	중점→시점	옥산방향 2차선	재하차량 1대
40km/hr	중점→시점	옥산방향 2차선	재하차량 1대
50km/hr	중점→시점	옥산방향 2차선	재하차량 1대
60km/hr	중점→시점	옥산방향 2차선	재하차량 1대
80km/hr	중점→시점	옥산방향 2차선	재하차량 1대

5.4.2 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

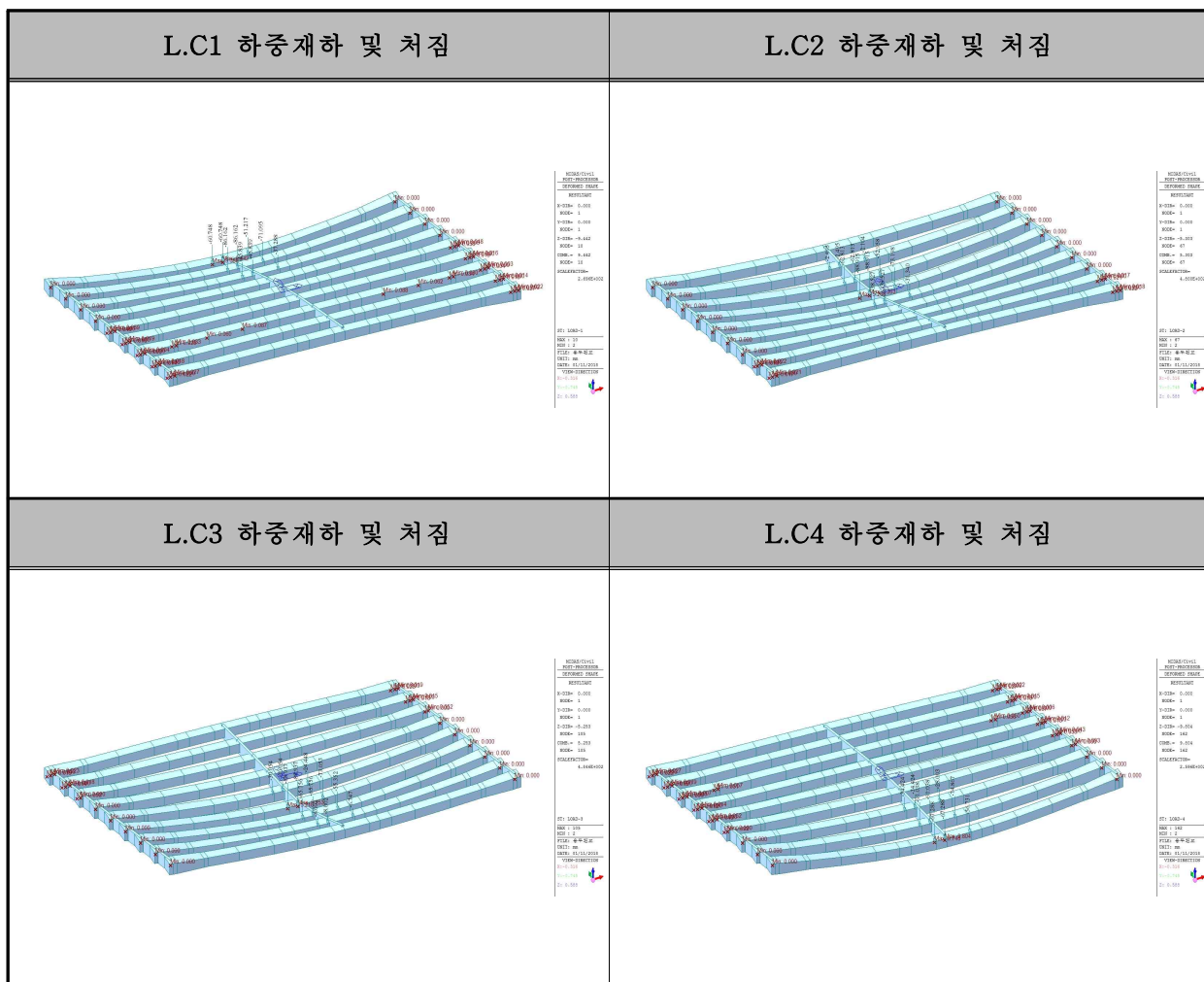
구 분	L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	비 고
ST1	38.95	10.45	-1.90	-1.92	단위 : $\mu\epsilon$ (-)압축 (+)인장
ST2	22.80	21.85	9.50	1.91	
ST3	7.60	20.90	19.95	7.40	
ST4	3.80	9.50	20.88	18.05	
ST5	-2.85	-1.90	9.62	40.85	
ST6	-7.60	-4.75	0.00	0.12	
DT1	-3.536	-1.123	0.010	0.154	단위 : mm (-)하향변위 (+)상향변위
DT2	-2.223	-2.340	-0.953	-0.182	
DT3	-0.813	-2.203	-2.140	-0.838	
DT4	-0.197	-1.047	-2.440	-2.460	
DT5	0.189	0.014	-1.259	-4.011	



* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

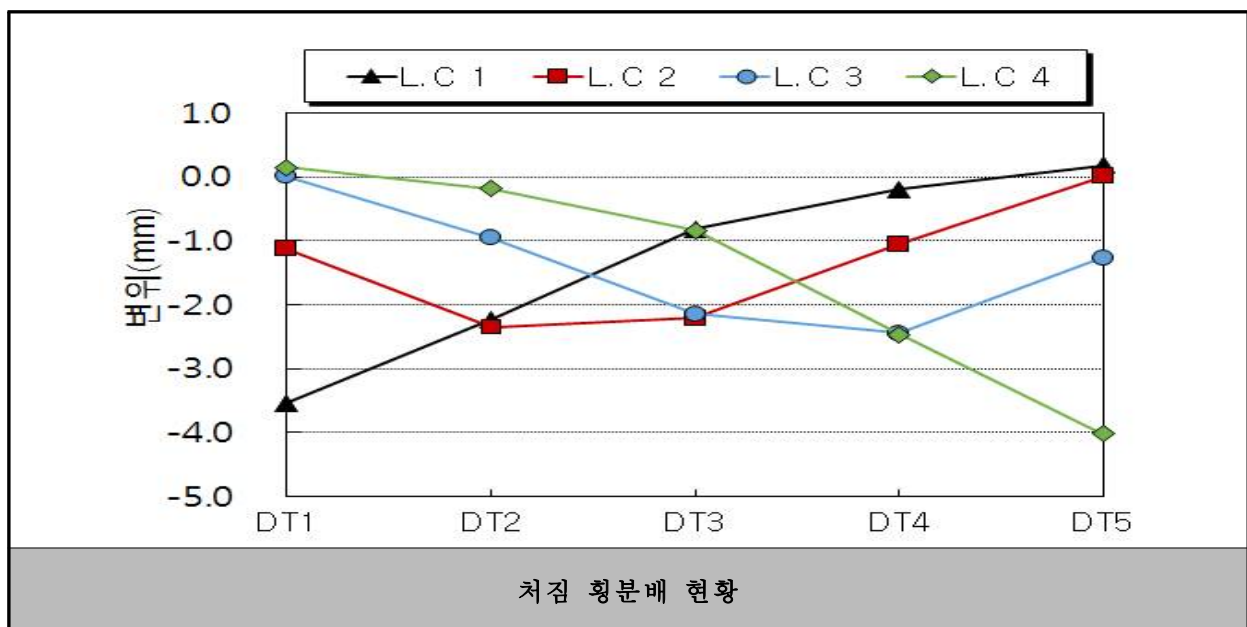
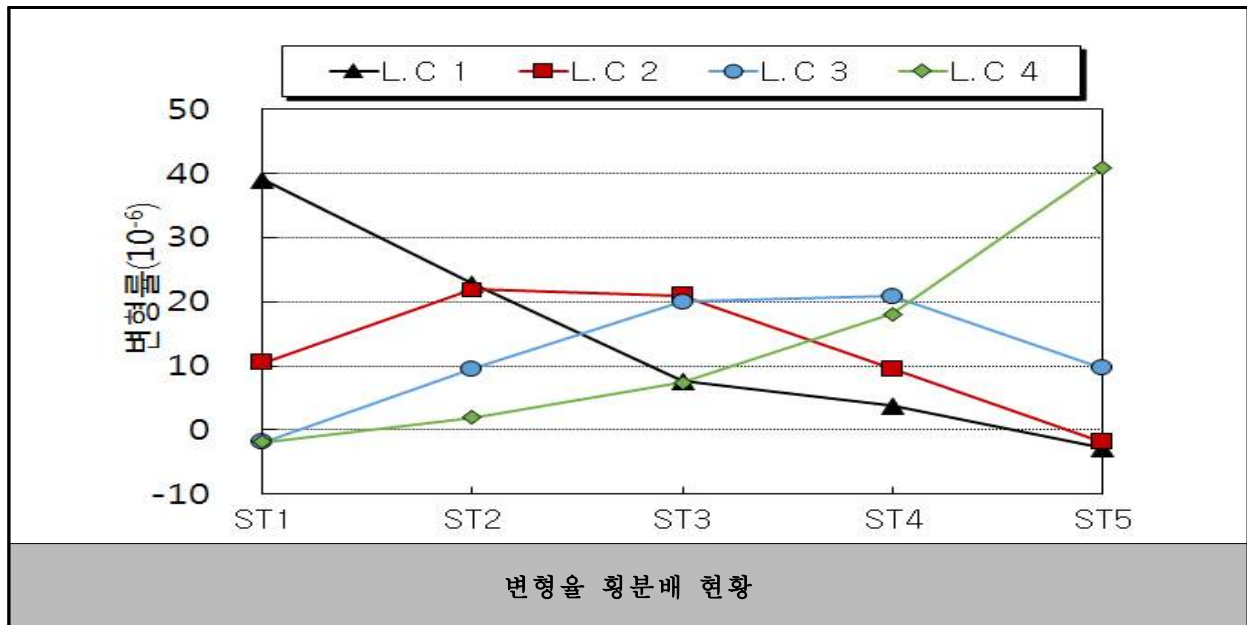
나. 구조해석에 의한 변위량

구 분	L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	비 고
G1(DT1)	-9.442	-2.294	0.622	0.717	단위 : mm (-)하향변위 (+)상향변위
G3(DT2)	-5.241	-4.954	-1.690	0.187	
G5(DT3)	-1.554	-4.571	-4.414	-1.397	
G7(DT4)	0.112	-1.829	-5.047	-5.152	
G9(DT5)	0.724	0.582	-2.592	-9.804	



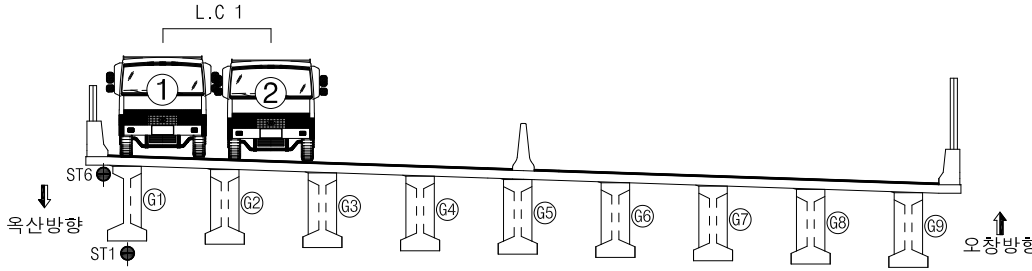
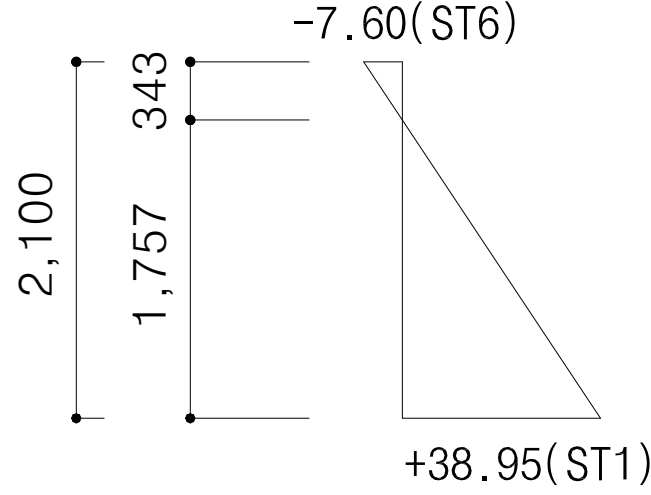
다. 하중 횡분배 검토 결과

거시적 관점의 교량응답을 확인할 수 있는 처짐 계측치 및 단면응력에 의한 변형률을 이용하여 하중 횡분배 상태를 검토한 결과, 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.

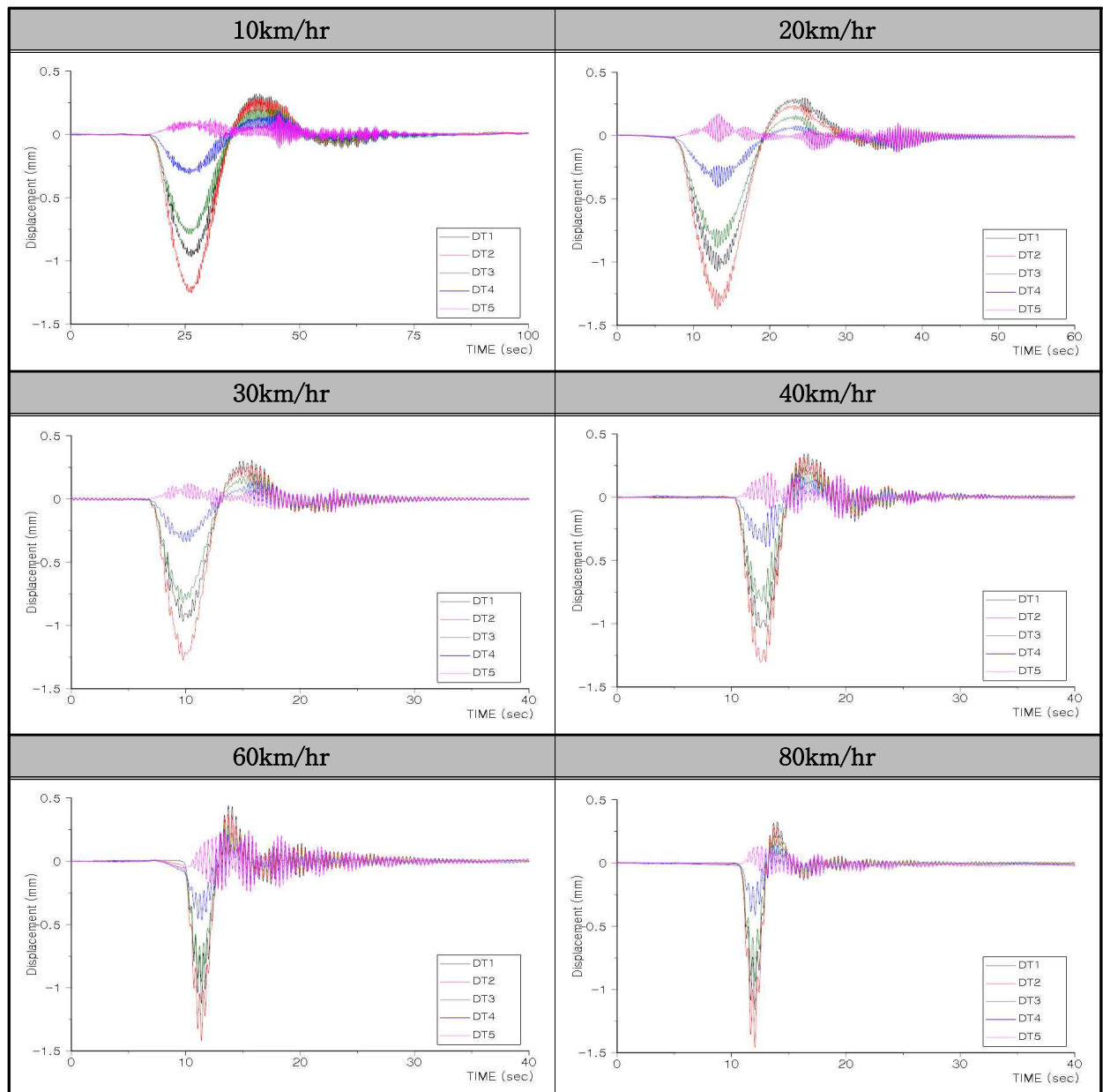
구 분	L.C 1					
재하위치						
중립축	L.C 1(3경간 - G1) 					
	<table><tr><th>구분</th><th>이론중립축위치 (mm)</th><th>실측중립축위치 (mm)</th></tr><tr><td>3경간</td><td>1,374</td><td>1,757</td></tr></table>	구분	이론중립축위치 (mm)	실측중립축위치 (mm)	3경간	1,374
구분	이론중립축위치 (mm)	실측중립축위치 (mm)				
3경간	1,374	1,757				
검토 의견	* 실측중립축이 이론중립축 대비 대체로 건전한 거동을 보이는 것으로 검토됨.					

5.4.3 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	80	
3경 간	G1(DT1)	-0.970	-1.074	-0.968	-1.034	-1.061	-1.124	-1.161	단 위 : mm
	G3(DT2)	-1.255	-1.373	-1.275	-1.305	-1.341	-1.420	-1.457	
	G5(DT3)	-0.788	-0.890	-0.822	-0.846	-0.874	-0.954	-0.938	
	G7(DT4)	-0.314	-0.412	-0.338	-0.396	-0.375	-0.466	-0.413	
	G9(DT5)	-0.114	-0.125	-0.103	-0.173	-0.220	-0.242	-0.103	



* 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.

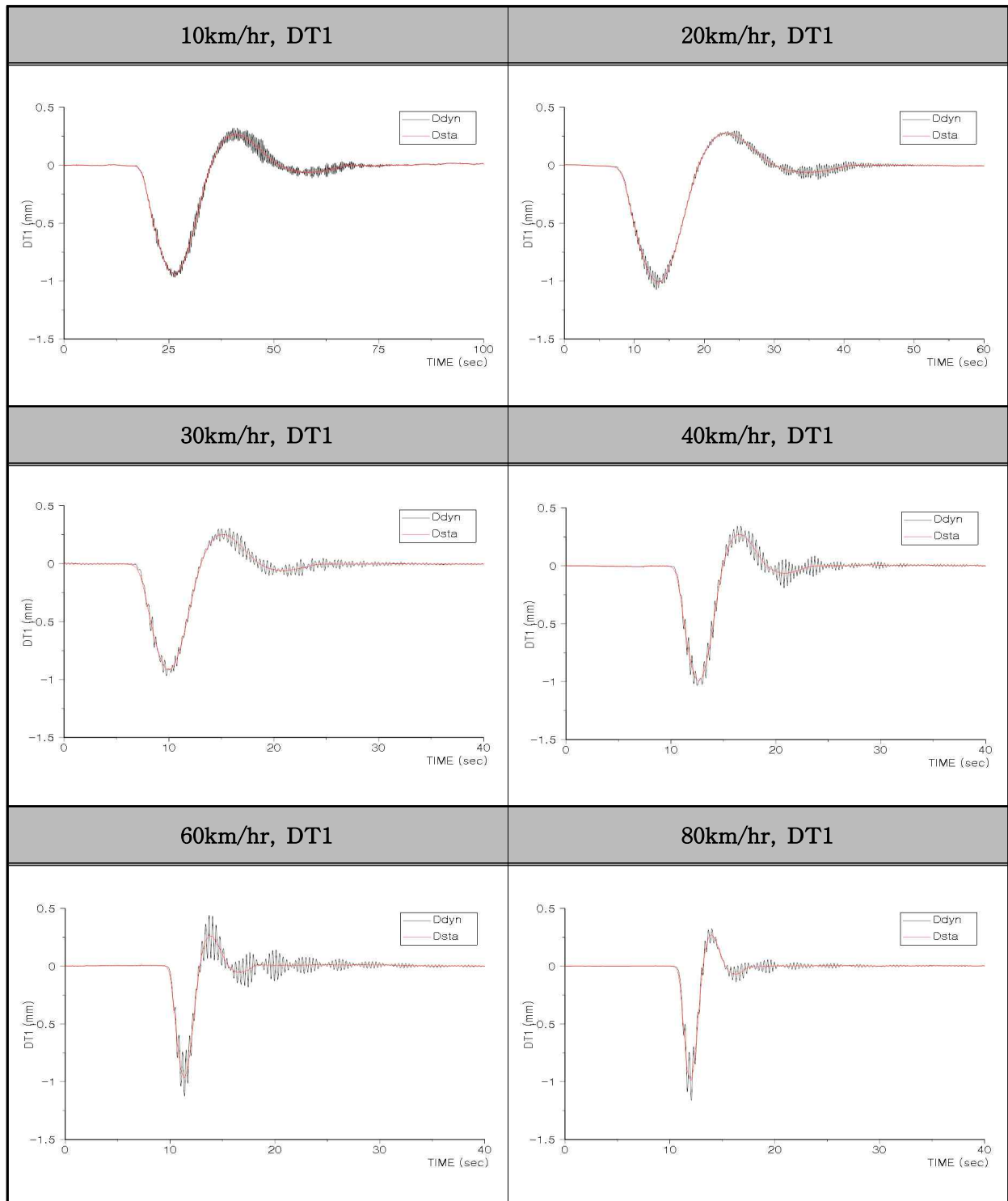
$$\cdot \text{실측충격계수 } i = (D - 1)$$

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

구 분			주행속도 (km/h)							대표 충격계수
			10	20	30	40	50	60	80	
3경 간	DT1	$\delta_{\text{dyn(max)}}$	-0.970	-1.074	-0.968	-1.034	-1.061	-1.124	-1.161	0.173
		$\delta_{\text{sta(max)}}$	-0.936	-1.009	-0.916	-0.992	-0.945	-0.966	-0.989	
		충격 계수(i)	0.036	0.064	0.057	0.043	0.123	0.164	0.173	
	DT2	$\delta_{\text{dyn(max)}}$	-1.255	-1.373	-1.275	-1.305	-1.341	-1.420	-1.457	0.159
		$\delta_{\text{sta(max)}}$	-1.223	-1.305	-1.217	-1.260	-1.243	-1.248	-1.257	
		충격 계수	0.026	0.052	0.047	0.036	0.079	0.138	0.159	
	DT3	$\delta_{\text{dyn(max)}}$	-0.788	-0.890	-0.822	-0.846	-0.874	-0.954	-0.938	0.172
		$\delta_{\text{sta(max)}}$	-0.764	-0.818	-0.773	-0.776	-0.783	-0.824	-0.801	
		충격 계수	0.031	0.088	0.063	0.090	0.115	0.159	0.172	
계측 결과			• 계산충격계수 : $i = 15/(40+L) = 0.176$ (3경간, $L=45.151$) • 실측충격계수 : 3경간-0.173(80km, DT1)							

2) 산정 결과

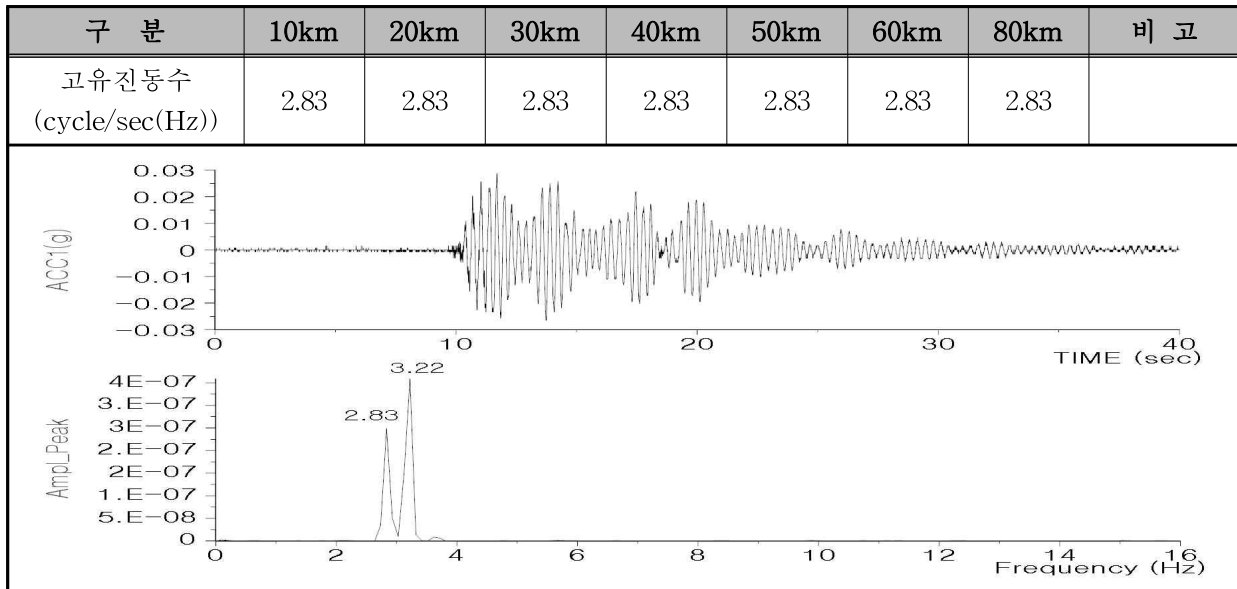
동적 재하시험시 시험차량의 주행위치가 G1~G5의 상부를 주행하였으므로, 실측 충격계수 산정을 위한 유효범위의 계측값은 DT1, DT2, DT3(3경간)을 이용하였다. 분석결과, 본 대상 교량의 실측 충격계수는 0.173으로 가장 큰 값을 나타내었으며, 도로교설계기준 0.176보다 작은 값으로 조사되어 차량 통행 시 충격에 의한 안전성에는 이상이 없는 것으로 판단된다.



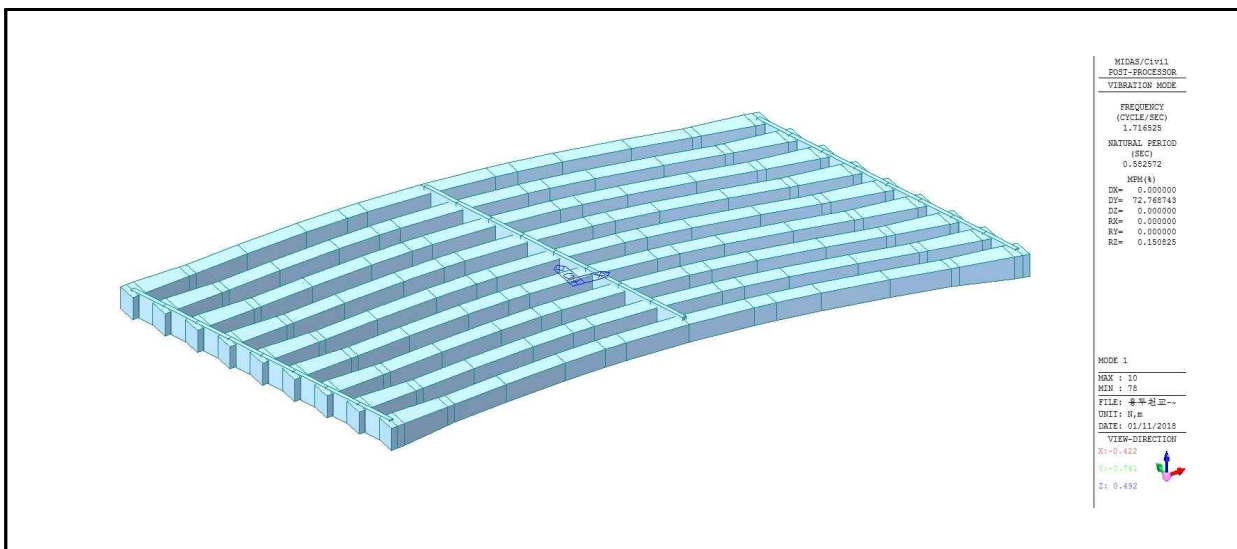
* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

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 2.83Hz로 구조해석에 의한 이론 고유진동수 1.716Hz보다 큰 것으로 나타나 교량의 강성은 양호한 것으로 판단된다.

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.

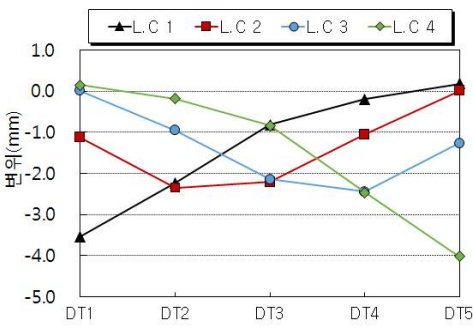
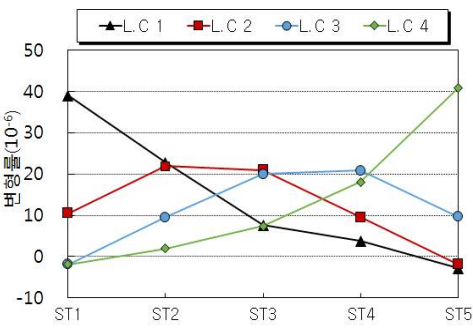
1) 응답비 산정

구 분		처 짐(mm)				비고
		L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	
G1	계산처짐	-9.442	-2.294	0.622	0.717	DT1
	실측처짐	-3.536	-1.123	0.010	0.154	
	응답비	2.670	2.043	62.200	4.656	
G3	계산처짐	-5.241	-4.954	-1.690	-	DT2
	실측처짐	-2.223	-2.340	-0.953	-	
	응답비	2.358	2.117	1.773	-	
G5	계산처짐	-1.554	-4.571	-4.414	-1.397	DT3
	실측처짐	-0.813	-2.203	-2.140	-0.838	
	응답비	1.911	2.075	2.063	1.667	
G7	계산처짐	-	-1.829	-5.047	-5.152	DT4
	실측처짐	-	-1.047	-2.440	-2.460	
	응답비	-	1.747	2.068	2.094	
G9	계산처짐	0.724	0.582	-2.592	-9.804	DT5
	실측처짐	0.189	0.014	-1.259	-4.011	
	응답비	3.831	41.571	2.059	2.444	

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)	2.043	0.176	0.173	1.003	2.049
	DT2(G3)	1.773				1.778
	DT3(G5)	1.667				1.672
	DT4(G7)	1.747				1.752
	DT5(G9)	2.059				2.065

5.4.4 정·동적 재하시험 고찰

분석항목		분석결과
시험트럭		- 재하하중 : 설계하중의 약 62~64% - 총 중 량 : 269.10kN(1호차), 276.00kN(2호차)
정적 재하 시험	최대 응답	- 처 짐 : -4.011 mm - 변형률 : 40.85 $\mu\epsilon$
	횡방향 거동특성	 처 짐  변형률 • 변형률 및 처짐에 의한 횡방향 거동특성 분석결과, 하중 경우에 따른 계측 DATA가 각 단면별로 재하위치에 따라 일정한 양상을 보이는 것으로 분석됨.
	충격 계수	충격계수 분석결과 실측충격계수의 최대값은 0.173(DT1)으로 이론 충격계수 0.176보다 작게 나타나 이동하중에 대한 충격의 영향은 양호한 것으로 분석됨.
동적 재하 시험	고유 진동수	실측고유진동수(2.83Hz)가 이론 고유진동수(1.716Hz)보다 크게 나타나고 있어 교량의 강성은 양호한 것으로 판단됨.

5.5 안전성평가 및 내하력평가

5.5.1 구조해석 방법 및 개요

용두천교는 연장 135.00m, 총폭 24.470m, 설계활하중 DB, DL-24의 1등교로서 평면선형은 사각이 13°이며 평면 선형 R=1,050m 인 곡선교 이다. 상부구조는 Bicon GIRDER로 이루어져 있으며, 하부구조는 풍화암 위에 직접기초인 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.

5.5.2 검토 조건

가. 기본 사항

- 1) 형 식 : Bicon교
- 2) 연 장 : 45.000m
- 3) 교 폭 : B = 24.470m
- 4) 거더높이 : H = 2.600m
- 5) 거더간격 : 2.560m
- 6) 사 각 : 0~5°
- 7) 교량등급 : 1등급 (DB-24, DL-24)
- 8) 단위중량
 - 철근 콘크리트 : $W_{c1} = 2500.0\text{kg/m}^3$
 - 무근 콘크리트 : $W_{c2} = 2350.0\text{kg/m}^3$
- 9) 사용 프로그램 : SAP2000
- 10) 구조 검토방식 : 강도설계법(바닥판), 허용응력설계법(거더)
- 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

① 압축강도(f_{ck}) 및 탄성계수

【표 2.5.12】 콘크리트의 설계기준강도 및 탄성계수(단위 : MPa)

구 분	설계기준강도	탄성계수 추정식	적용 탄성계수
거 더	40	$0.85 \times \sqrt{(f_{ck} + 8)^{1/3}}$	30,891
바닥판	27	$0.85 \times \sqrt{(f_{ck} + 8)^{1/3}}$	27,804

② 허용응력

【표 2.5.13】 프리스트레스트 콘크리트의 허용응력($f_{ck} = 40$ MPa일 경우)

응력의 발생시기	응력구분	설계기준	허용응력
프리스트레스 도입 시	압축강도	$f_{ci}' = 0.8f_{ck}$	32.000
크리프와 건조수축에 의한 손실이 일어나기 전의 일시적 응력	압축응력(Posttensioning)	$0.60f_{ci}'$	19.200
	부착된 철근이 없는 인장응력	$0.25 \sqrt{f_{ci}'}$	1.414
모든 손실이 일어난 후 사용하중 상태에서의 응력	압축응력	$0.45f_{ck}$	18.000
	부착된 철근이 있는 인장응력	$0.50 \sqrt{f_{ck}}$	3.16
	부착된 철근이 없는 인장응력	0	0
	균열응력	$0.63 \sqrt{f_{ck}}$	3.98

③ 바닥판

$$\text{허용휨압축응력} : 0.4 \times f_{ck} = 0.4 \times 27 = 10.800 \text{ MPa}$$

2) PS 강연선(KS D 7002 SWPC 7B, 저릴렉세이션 강재)

긴장력 및 강선에 대한 계수값 들은 도면에 표기된 값을 사용하였다.

$$\text{① 극한강도} : f_{put} = 1900.0 \text{ MPa}$$

$$\text{② 항복강도} : f_{pyt} = 1600.0 \text{ MPa}$$

$$\text{③ 탄성계수} : E_p = 200,000 \text{ MPa}$$

$$\text{④ 긴장시 최대응력} : \text{MIN}(0.94 \times f_{pyt}, 0.8 \times f_{put}) = 1,504 \text{ MPa}$$

$$\text{⑤ 정착 후 정착부에서의 허용응력} : \text{MIN}(0.74 \times f_{pyt}, 0.82 \times f_{put}) = 1,312 \text{ MPa}$$

$$\text{⑥ 사용하중 상태에서의 허용응력} : \text{MIN}(0.74 \times f_{pyt}, 0.82 \times f_{put}) = 1,312 \text{ MPa}$$

3) PS 강봉(KS D 3505, 저릴렉세이션 강재)

$$\text{① 극한강도} : f_{puc} = 1050.0 \text{ MPa}$$

- ② 항복강도 : $f_{pyc} = 950.0\text{MPa}$
- ③ 탄성계수 : $E_p = 200,000\text{MPa}$
- ④ 긴장시 최대응력 : $\text{MIN}(0.94 \times f_{pyc}, 0.8 \times f_{puc}) = 840\text{MPa}$
- ⑤ 정착 후 정착부에서의 허용응력 : $\text{MIN}(0.74 \times f_{pyc}, 0.82 \times f_{puc}) = 777\text{MPa}$
- ⑥ 사용하중 상태에서의 허용응력 : $\text{MIN}(0.74 \times f_{pyc}, 0.82 \times f_{puc}) = 777\text{MPa}$

4) 포스트텐션 긴장재 배치에 위한 쉬스 규격

구 분	단 위	강 연 선						강 봉
PS강재 개수	개, mm	7	10	11	13	16	19	40
쉬스관 내경	mm	65	75	75	85	85	100	50
쉬스관 외경	mm ²	70	80	80	90	90	105	55
곡률마찰계수 μ	1/rad	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	-
파상마찰계수 κ	1/m	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.005	0.008

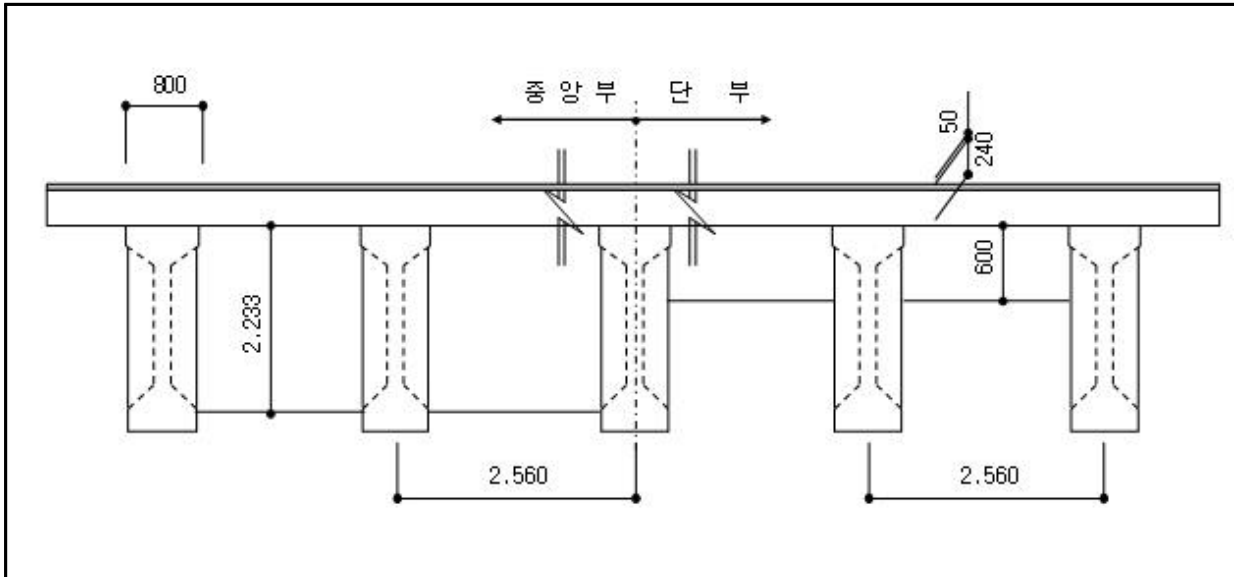
5) 철근

구 분	항복강도(f_y)	탄성계수(E_s)	허용인장응력(f_{ta})	비고
바닥판	400MPa	200,000	180MPa	SD400
거더	300MPa	200,000		SD300

5.5.3 구조해석

가. 바닥판 검토

1) 단면제원



2) 좌측 캔틸레버부

① 검토조건

단위중량(콘크리트)	단위중량(아스팔트)	설계속도	후륜하중(Pr)	곡선 반경(R)	비 고
25.000kN/m ³	23.500kN/m ³	100.0km/hr	96.000kN	1,050	

② 하중산정

㉠ 고정하중

구 분	면적 (m ²)	단위중량 (kN/m ³)	하중 (kN)	작용거리 (m)	휨모멘트 (kN·m)
방호벽	0.501	25.000	12.525	0.693	8.680
바닥판	0.232	25.000	5.800	0.483	2.801
포 장	0.017	23.500	0.407	0.173	0.070
방음판			2.000	0.736	1.472
합 계			20.732		13.023

㉠ 차량충돌하중

구 분	h	H	$M_{co} = H \times h$	곡선반경	적용 M_{co}
Case1	1.000m	23.333kN/m	23.333kN·m/m	R=1,050 > 200m	23.333kN·m/m
Case2	1.170m	10.000kN/m	11.700kN·m/m		

※ Case1 : 수평충돌력 H가 노면상 1m 높이에 교축을 따라 1m 마다 작용시, 여기서 $H=(V/60)^2 \times 7500 + 2500$
Case2 : 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10kN/m의 수평하중 재하시

㉡ 원심하중(도.설.해 2.1.17)

곡선반경(R)	$CF = 0.79 \times V^2 / R$	$P_{cf} = P_r / E \times CF / 100$	$M_{cf} = P_{cf} \times 1.8$
1050	7.5%	5.608 kN/m	10.094kN·m

※ 원심하중은 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

㉢ 풍하중

각 형 부 재	풍상측 부재(MPa)	재하위치(mm)	휨모멘트(kN·m)
활하중 재하시	0.0015	1500	6.863
활하중 비재하시	0.0030	805	15.281

㉣ 하중조합(도.설 2.2.3.2)

하중경우	고정하중	활 하 중	차량충돌하중	원심하중	풍 하 중	합 계(kN·m/m)
Case 1	1.30	2.15		1.30		17.901
Case 2	1.30		1.30			28.304
Case 3	1.30	1.30	0.65	1.30		24.764
Case 4	1.30	1.30		1.30		17.901
Case 5	1.25	1.25	0.625	1.25		24.764
Case 6	1.30	1.30		1.30	1.30	41.234
Case 7	1.20		1.20		1.20	51.637

③ 단면력 검토

㉠ 검토조건

콘크리트 설계기준강도	$f_{ck} = 27.0\text{MPa}$	철근의 항복강도	$f_y = 400.0\text{MPa}$
설계 모멘트	$M_u = 61.964\text{kN·m}$	휨강도 감소계수	$\Phi_f = 0.85$
부재 높이	$h = 240.0\text{mm}$	부재 폭	$b = 1000.0\text{mm}$
인장 피복	$d' = 60.0\text{mm}$	유효 높이	$d = 180.0\text{mm}$

㉔ 검토결과

구 분	폭(mm)	높이(mm)	피복(mm)	사용철근량(㎡)	$M_u(kN \cdot m)$	$\Phi M_n(kN \cdot m)$	결 과
휨 검 토	1000.0	240.0	60.0	H16@200 = 993.00 H13@200 = 633.50	61.964	91.703	O.K S.F=1.480
사 용 성 검 토	M_{max}		허용최대중심간격		최대중심간격		결 과
	196.979kN·m/m		269.8mm		100mm		O.K
바 닥 판 최소두께	$h_{min} = (280L+180)$		최소h		적용h		결 과
	192.88mm		220.0mm		240.0mm		O.K

3) 중앙부

① 검토조건

- 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

구 분			산 정 식			검 토
주철근	하면철근	필요철근량	240,000mm × 0.4% = 960.0mm ²			o.k
		1 Cycle	H16@400 = 496.5mm ²			
		2 Cycle	H16@400 = 496.5mm ²			
	상면철근	필요철근량	240,000mm × 0.3% = 720.0mm ²			o.k
		1 Cycle	H16@400 = 496.5mm ²			
		2 Cycle	H16@400 = 496.5mm ²			
배력 철근	하면철근	필요철근량	240,000mm × 0.3% = 720.0mm ²			o.k
		사용철근량	H16@250 = 794.4mm ²			
	상면철근	필요철근량	240,000mm × 0.3% = 720.0mm ²			o.k
		사용철근량	H16@250 = 794.4mm ²			
㉓ • 여기서 바닥판 슬래브 단면적 = 1,000mm × 240mm = 240,000mm ²						

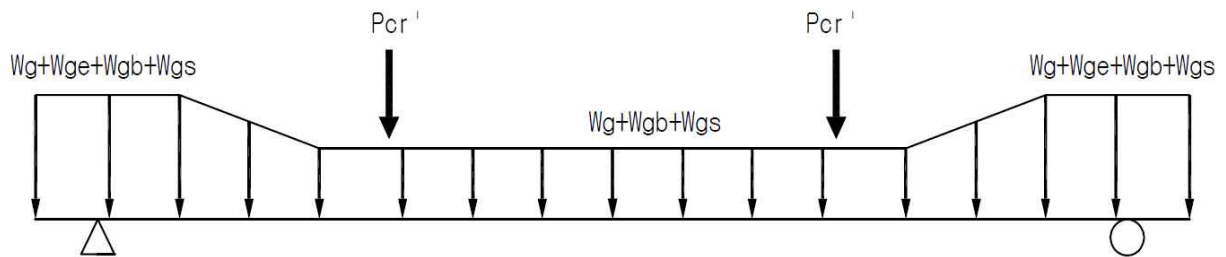
나. 거더 검토

1) 거더 자중

① 하중산정

구 분	산 출 근 거
거더본체 (Wg)	$A_{net} \times w_{gc} = 0.911 \times 25000 = 22774 \text{ N/m}$
단부보강 (Wge)	$A_{var} \times w_{gc} = 0.835 \times 25000 = 20875 \text{ N/m}$
가 로 보 (Pcr')	$A_{var} \times L_{cr} \times w_{gc} \times e_a = 0.835 \times 1 \times 25000 \times 1 \text{ EA} = 12525 \text{ N}$
강 봉 (Wgb)	$w_{1cm} \times C_{ea} = 102.1 \times 2 \text{ EA} = 204 \text{ N/m}$
T1 강연선 (Wgs1)	$w_{1tm} \times T_{ea} = 11.01 \times 7 \text{ EA} = 77 \text{ N/m}$
T2~T5 강연선 (Wgs2)	$w_{2tm} \times T_{ea} = 11.01 \times 4 \text{ EA} \times 15 \text{ EA} = 661 \text{ N/m}$

② 모델링



2) 합성전 고정하중

① 바닥판 콘크리트(Wsc)

$$\text{㉠ G1 거더} : 0.24 \times 2.692 \times 25000 = 16152 \text{ N/m}$$

$$\text{㉡ G2 ~ G8 거더} : 0.24 \times 2.750 \times 25000 = 16500 \text{ N/m}$$

$$\text{㉢ G9 거더} : 0.24 \times 2.528 \times 25000 = 15168 \text{ N/m}$$

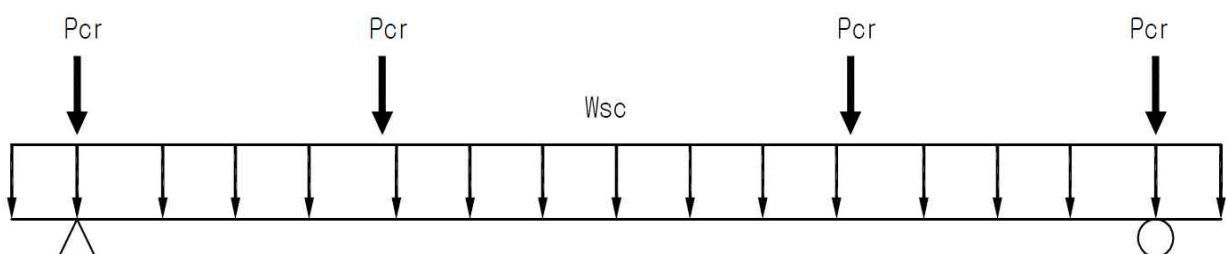
② 가로보 콘크리트(Pcr)

$$\text{㉠ G1 거더} : 0.300 \times 1.733 \times 1.38 \times 25000 = 17875 \text{ N}$$

$$\text{㉡ G2 ~ G8 거더} : 0.300 \times 1.733 \times 2.75 \times 25000 = 35750 \text{ N}$$

$$\text{㉢ G9 거더} : 0.300 \times 1.733 \times 1.38 \times 25000 = 17875 \text{ N}$$

③ 모델링



3) 합성후 고정하중

① 좌측 캔틸레버 하중

- 방호벽 (좌) : $A \times w = 0.618 \times 25000 = 15449 \text{ N/m}$

② 우측 캔틸레버 하중

- 중분대 (우) : $A \times w = 0.394 \times 25000 = 9839 \text{ N/m}$

③ 중앙부 하중

- 콘크리트 포장 : $t \times w = 0.050 \times 23500 = 1175 \text{ N/m}^2$

4) 활하중

① 차로수 : 6 차로

② 차로폭 : 3.6m

③ 적용하중 (1등급)

DB하중	DL하중

㉠ DB-24 : DBr = 96.00 kN

DBf = 24.00 kN

㉡ DL-24 : DLw = 12.70 kN/m

DLm = 108.00 kN

DLs = 156.00 kN

5) 단면력 집계표

① 지간중앙부의 휨모멘트 집계(kN·m)

구 분	G1	G2~G8	G9	저 항 단 면	비 고
거더 자중	5979.5	5979.5	5979.5	순 단 면	
합성전 고정하중	4103.8	4384.6	3865.7	PS강재 환산단면	
합성후 고정하중	2679.0	2412.1	1690.0	바닥판 합성단면	
DB 활하중	3472.3	3015.2	3460.9		
DL 활하중	3488.4	2925.8	3472.5		
균중하중	0.0	0.0	0.0		
MAX	3488.4	3015.2	3472.5		
합 계	16250.7	15791.4	15007.7		

② 지간지점부의 전단력 집계(kN)

구 분	G1	G2~G8	G9	저 항 단 면	비 고
거더 자중	583.2	583.2	583.2	순 단 면	
합성전 고정하중	364.3	380.9	342.6	PS강재 환산단면	
합성후 고정하중	309.0	199.8	184.2	바닥판 합성단면	
DB 활하중	393.8	387.1	389.0		
DL 활하중	371.1	359.8	375.3		
균중하중	0.0	0.0	0.0		
MAX	393.8	387.1	389.0		
합 계	1650.2	1550.9	1498.9		

6) 응력검토

① G1거더 응력산출

㉠ G1거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.831

하중 단계		바닥판		거더		PS 강재		비고
		상연	하연	상연	하연	강봉	강선	
1	fsw			14.101	-10.687	0.000	0.000	
2	fps			-12.640	29.532	450.098	-1234.401	
계				1.461	18.845	450.098	-1234.401	
응력 검토				-1.410	±19.200	±777.00	±1312.00	
				0.K	0.K	0.K	0.K	
3	fbl	0.000	0.000	8.957	-6.403	52.070	-35.582	
4	fal	1.901	1.429	1.588	-3.003	8.509	-17.687	
5	fil	2.475	1.861	2.067	-3.910	11.080	-23.031	
6	fsh	0.106	0.031	0.035	-0.689	-0.053	4.187	
7	fcr	0.455	0.135	0.150	-2.960	-0.228	17.974	
8	frgb	-0.039	-0.034	-0.038	0.001	-0.232	-0.006	
9	frgs	0.046	0.014	0.015	-0.298	-0.023	1.811	
10	f2	2.649	2.764	-6.209	1.706	-5.576	1.464	
계		7.593	6.199	8.025	3.288	515.645	-1285.272	
응력 검토		10.800	-2.598	18.000	-3.162	±777.00	±1312.00	
		0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	

(+) : 압축, (-) : 인장

㉡ PS 강재 긴장시 응력검토

구 분		C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5
강선수	(EA)			7	15	15	15	15
P _{CT}	(kN)	-565.773	-565.773	1105.451	2682.897	2443.926	2560.553	±2678.337
A _p	(m ²)	0.00126	0.00126	0.00097	0.00208	0.00208	0.00208	±0.0021
fps	(MPa)	-450.098	-450.098	1138.584	1289.544	1174.682	1230.739	±1287.353
응 력 검 토		±777.00	±777.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	±1312.000
		0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K

② G2~G8거더 응력산출

㉠ G2~G8거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.832

하중 단계		바닥판		거더		PS 강재		비고
		상연	하연	상연	하연	강봉	강선	
1	fsw			14.101	-10.687	0.000	0.000	
2	fps			-12.640	29.532	450.098	-1234.401	
계				1.461	18.845	450.098	-1234.401	
응력 검토				-1.410	19.200	±777.00	±1312.00	
				0.K	0.K	0.K	0.K	
3	fbl	0.000	0.000	9.570	-6.841	55.633	-38.017	
4	fal	1.687	1.265	1.406	-2.697	7.521	-15.895	
5	fil	2.109	1.582	1.758	-3.372	9.402	-19.869	
6	fsh	0.103	0.029	0.033	-0.687	-0.067	4.171	
7	fcr	0.441	0.125	0.139	-2.936	-0.285	17.834	
8	frgb	-0.038	-0.034	-0.038	0.002	-0.231	-0.005	
9	frgs	0.045	0.013	0.014	-0.298	-0.029	1.808	
10	f2	2.951	3.009	-6.422	1.765	-5.766	1.515	
계		7.299	5.989	7.920	3.781	516.276	-1282.859	
응력 검토		10.800	-2.598	18.000	-3.162	±777.00	±1312.00	
		0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	

(+) : 압축, (-) : 인장

㉡ PS 강재 긴장시 응력검토

구 분		C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5
강선수	(EA)			7	15	15	15	15
P _{CT}	(kN)	-565.773	-565.773	1105.451	2682.897	2443.926	2560.553	2678.337
A _p	(m ²)	0.00126	0.00126	0.00097	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208
fps	(MPa)	-450.098	-450.098	1138.584	1289.544	1174.682	1230.739	1287.353
응 력 검 토		±777.00	±777.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00
		0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K

③ G9거더 응력산출

㉠ G9거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.824

하중 단계		바닥판		거더		PS 강재		비고
		상연	하연	상연	하연	강봉	강선	
1	fsw			14.101	-10.687	0.000	0.000	
2	fps			-12.640	29.532	450.098	-1234.401	
계				1.461	18.845	450.098	-1234.401	
응력 검토				-1.410	19.200	± 777.00	± 1312.00	
				0.K	0.K	0.K	0.K	
3	fbl	0.000	0.000	8.438	-6.031	49.049	-33.518	
4	fal	1.250	0.946	1.051	-1.908	5.663	-11.223	
5	fil	2.569	1.943	2.159	-3.921	11.636	-23.059	
6	fsh	0.114	0.038	0.042	-0.698	-0.011	4.235	
7	fcr	0.519	0.173	0.192	-3.169	-0.052	19.232	
8	frgb	-0.039	-0.035	-0.039	0.001	-0.237	-0.009	
9	frgs	0.048	0.016	0.018	-0.293	-0.005	1.780	
10	f2	2.634	2.763	-5.813	1.597	-5.220	1.371	
계		7.094	5.844	7.508	4.422	510.921	-1275.592	
응력 검토		10.800	-2.598	18.000	-3.162	± 777.00	± 1312.00	
		0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	

(+) : 압축, (-) : 인장

㉡ PS 강재 긴장시 응력검토

구 분		C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5
강선수	(EA)			7	15	15	15	15
P _{CT}	(kN)	-565.773	-565.773	1105.451	2682.897	2443.926	2560.553	2678.337
A _p	(m ²)	0.00126	0.00126	0.00097	0.00208	0.00208	0.00208	0.00208
fps	(MPa)	-450.098	-450.098	1138.584	1289.544	1174.682	1230.739	1287.353
응 력 검 토		± 777.00	± 777.00	± 1312.00	± 1312.00	± 1312.00	± 1312.00	± 1312.00
		0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K	0.K

7) 거더 안전성평가 결과

【표 2.5.14】 거더 안전성평가 결과

구 분		거더 응력 검토					
		바닥판		거더		PS강재	
		상연	하연	상연	하연	상연	하연
G1	응력	7.593	6.199	8.025	3.288	515.645	-1285.272
	허용응력	10.800	-	18.000	-	777.00	-
	안전율	1.422		2.243		1.507	
G2~G8	응력	7.299	5.989	7.920	3.781	516.276	-1282.859
	허용응력	10.800	-	18.000	-	777.00	
	안전율	1.480		2.273		1.505	
G9	응력	7.094	5.844	7.508	4.422	510.921	-1275.592
	허용응력	10.800	-	18.000	-	777.00	
	안전율	1.522		2.397		1.521	

다. 안전성평가 결과

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

【표 2.5.15】 안전성 평가 결과

바닥판	구 분	켄틸레머부		중양부	
	안전율	1.480		-	
	최소안전율	S.F = 1.480			
거 더	구 분	G1	G2~G8		G9
	안전율	1.422	1.480		1.521
	최소안전율	S.F = 1.422			

5.5.4 내하력평가

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 2.5.16】 바닥판 기본내하율(극한강도설계법) 산정결과

구 분		$\phi M_n(kN \cdot m)$	$M_d(kN \cdot m)$	$M_l(1+i)(kN \cdot m)$	기본내하율(RF)
바닥판	켄틸레버	91.703	13.023	4.878	7.130
	-	-	-	-	-

【표 2.5.17】 거더 기본내하율(허용응력설계법) 산정결과

구 분		허용응력 (f_a)(MPa)	고정하중응력 (f_d)(MPa)	활하중응력 (f_l)(MPa)	기본내하율 (RF)	비고
G1	상연	18.000	5.958	2.067	5.826	
	하연	-3.162	7.198	-3.910	2.650	
G2~G8	상연	18.000	6.162	1.758	6.734	
	하연	-3.162	7.153	-3.372	3.059	
G9	상연	18.000	5.349	2.159	5.860	
	하연	-3.162	8.343	-3.921	2.934	

다. 내하력평가 결과

【표 2.5.18】 공용내하력 산정결과

구 분		응답보정계수 (K_s)	기본내하율 (RF)	공용내하율 ($K_s \times RF$)	공용내하력 (P)
거 더	G1	1.672	2.650	4.431	DB, DL-24 이상
	G2~G8	1.672	3.059	5.115	DB, DL-24 이상
	G9	1.672	2.934	4.906	DB, DL-24 이상
결 과 분 석		• 내하력평가 결과, 공용내하력이 설계내하력(DB, DL-24) 보다 큰 것으로 나타나 본 구조물의 공용내하력은 양호한 상태로 평가됨			

5.6 종합평가 및 안전등급

5.6.1 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.

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

【표 2.5.19】 종합평가 결과

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

5.6.2 안전등급 지정

용두천교에 대한 외관조사 및 구조안전성평가결과 시설물의 상태는 『문제점이 없는 최상의 상태』로 안전등급 A등급으로 평가되었다.

【표 2.5.20】 용두천교 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	용두천교	A등급(우수)

5.7 종합결론

용두천교는 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.