제14장 오창JCT Ramp-D교

14.1 시설물의 개요
14.2 현장조사 및 시험
14.3 상태평가
14.4 교량 재하시험
14.5 안전성평가 및 내하력평가
14.6 종합평가 및 안전등급
14.7 종합결론

제14장 오창JCT Ramp-D교

14.1 시설물의 개요

14.1.1 교량개요

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

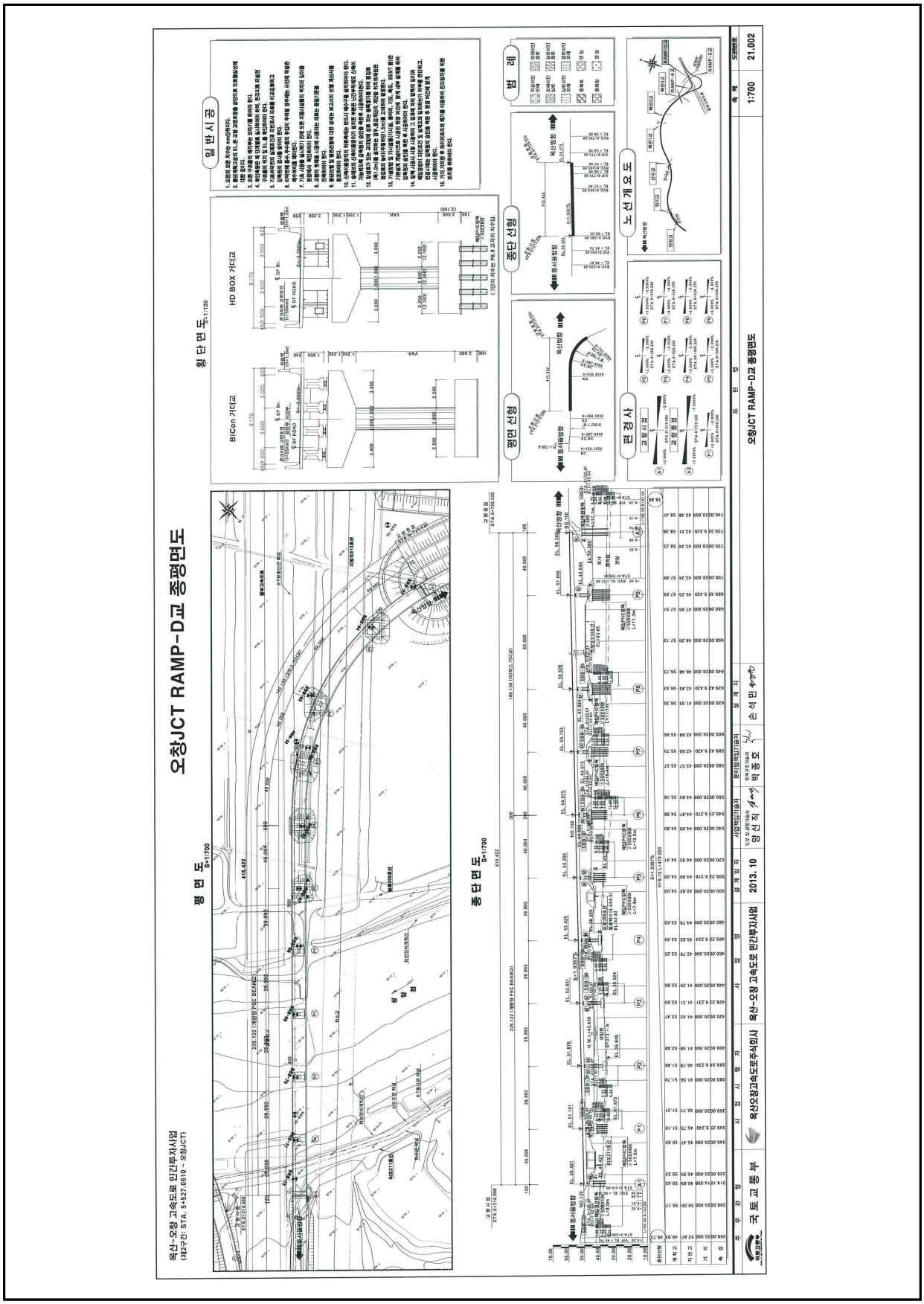
【표 2.14.1】 과업대상 시설물의 개요

<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th><th colspan="2">구 분</th><th>내 용</th></tr>
<tr><td colspan="2">시설물명</td><td>오창JCT Ramp-D교</td><td colspan="2">시설물번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">준공년월일</td><td>2018. 01. 13</td><td colspan="2">관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td colspan="2">시설물위치</td><td colspan="4">충북 청주시 청원구 오창읍</td></tr>
<tr><td colspan="2">설계하중</td><td>DB, DL-24</td><td colspan="2">노선명(이정)</td><td>아산청주고속도로(옥산-오창)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제원</td><td>연장</td><td colspan="4">L = (35.148+39.993+4@40.0)+(40.15+40.0+60.0+40.15) = 415.422m</td></tr>
<tr><td>폭</td><td colspan="4">B = 9.170m</td></tr>
<tr><td rowspan="2">구조형식</td><td>상부</td><td>개량형 PSC BEAM(Bicon)
+ STEEL BOX GIRDER(HD)</td><td rowspan="2">기초형식</td><td>교대</td><td>말뚝기초</td></tr>
<tr><td>하부</td><td>교대:역T형, 교각:T형</td><td>교각</td><td>말뚝기초(P1, P5~P9)
직접기초(P2~P4)</td></tr>
<tr><td colspan="2">교량받침</td><td>면진받침</td><td colspan="2">신축이음</td><td>Finger Joint</td></tr>
<tr><td colspan="2">교차시설물</td><td>도로(리도211호선, 농로308호선,
지방도510호선), 하천(성암천)</td><td colspan="2">통과높이</td><td>5.7m</td></tr>
<tr><td colspan="2">부착시설
(도로, 철도, 하천)</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">기 타</td><td colspan="4">-</td></tr>
</table>

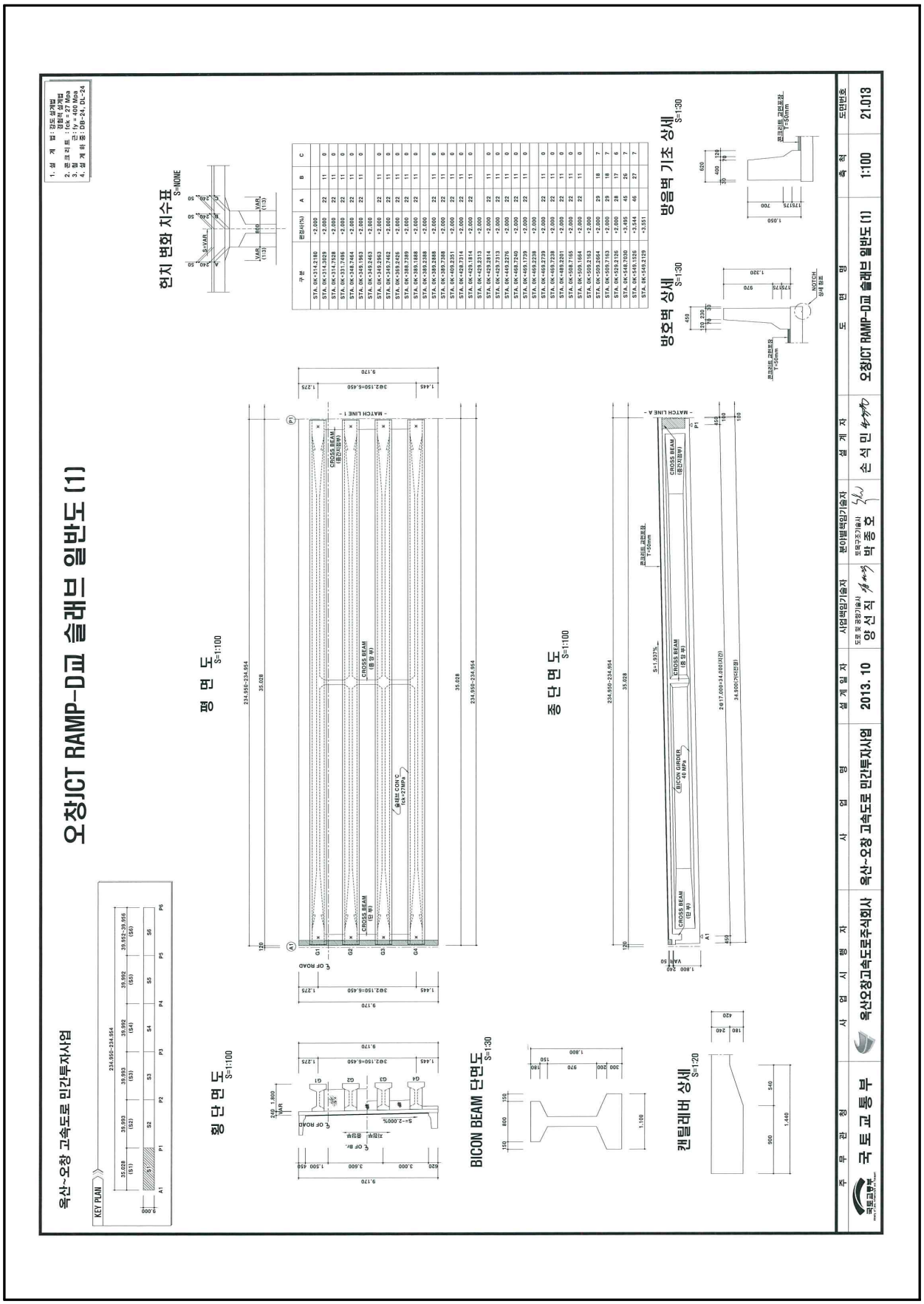
상면전경

측면전경

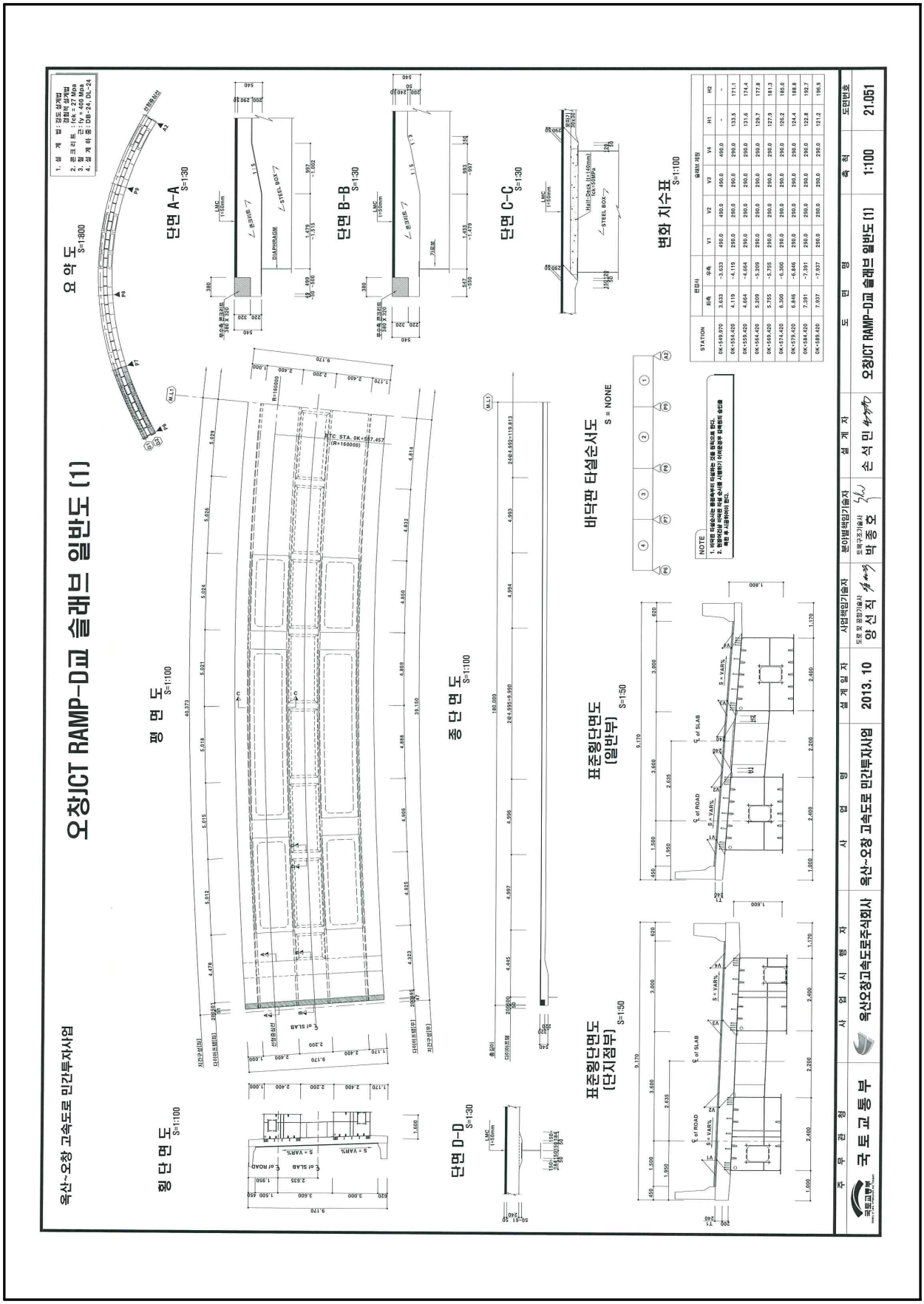
14.1.2 관련도면



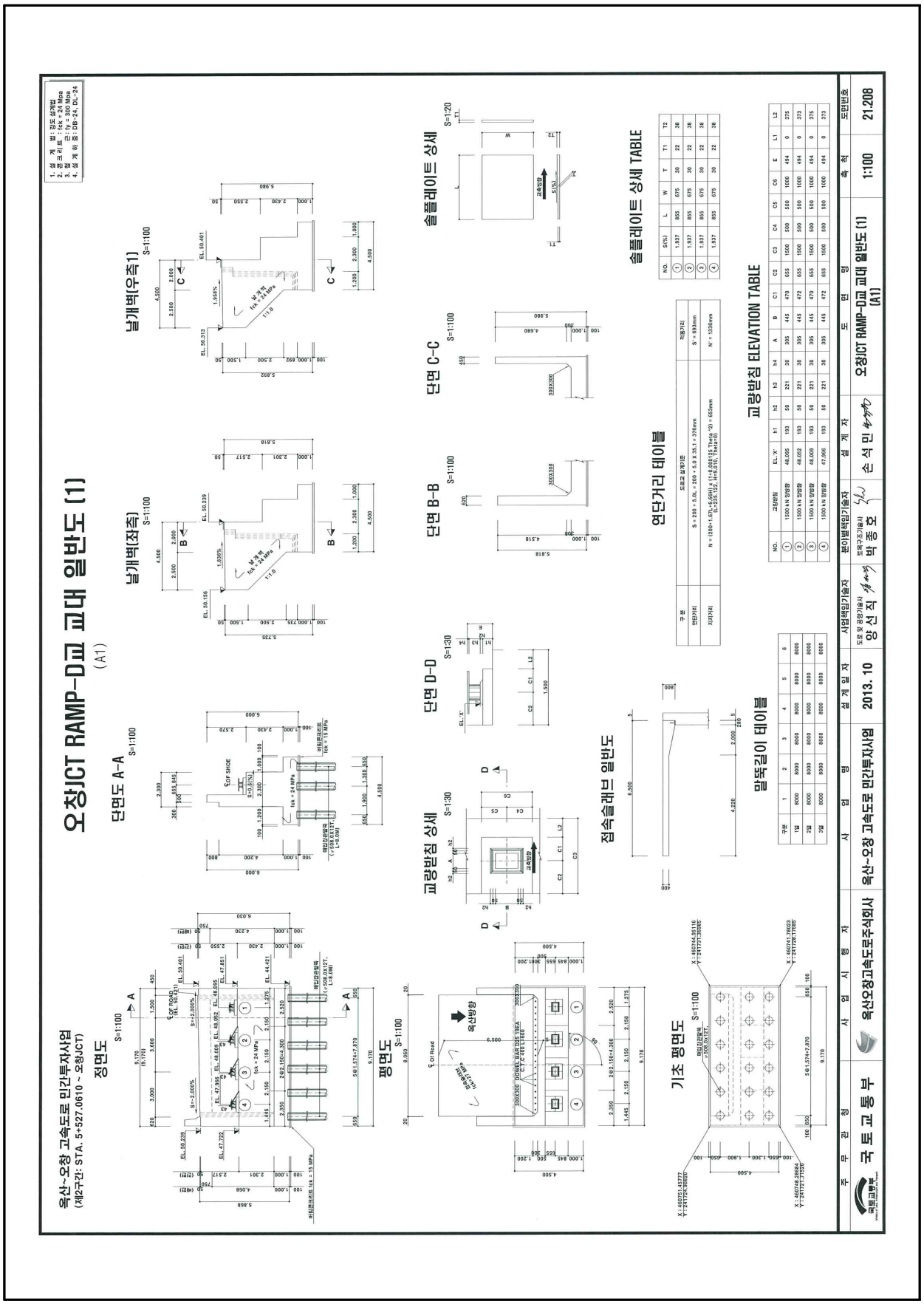
【그림 2.14.1】 종평면도



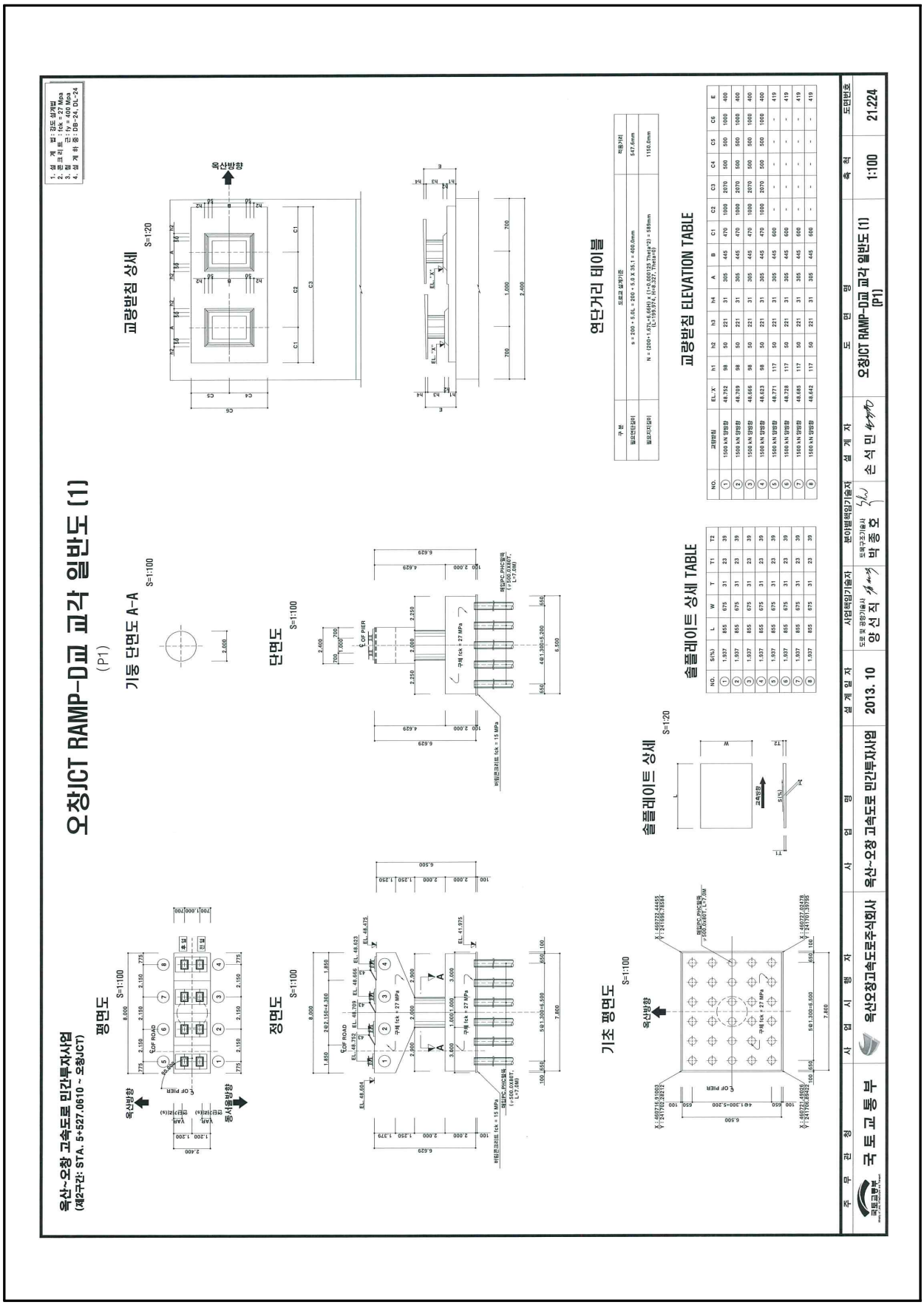
【그림 2.14.2】 슬래브 일반도(1)



【그림 2.14.3】 슬래브 일반도(2)



【그림 2.14.4】 교대(A1) 일반도



【그림 2.14.5】 교각(P1) 일반도

14.2 현장조사 및 시험

14.2.1 외관조사 결과

본 점검 대상 구조물인 오창JCT 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.

교면포장 상태양호	교면포장 상태양호

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.

배수구 상태양호	배수관 설치상태 양호

다. 난간 및 연석

본 교량의 좌·우측 방호벽은 콘크리트 구조로 시공되어있다. 방호벽에 대한 외관조사 결과, 백태 손상이 일부 조사되었으나, 준공 전 시공사측에서 보수조치를 실시하여 현재 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

구 분	손상상태	손상물량	비 고
방호벽	백태	0.16㎡/4ea	보수완료

방호벽 전경

방호벽 백태(보수완료)

라. 신축이음

본 교량의 신축이음장치는 총 3개소(A1, A2, P6)에 설치되어 있다. 신축이음장치에 대한 점검결과, 조인트 본체 및 후타재에 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었으며, 신축이음의 거동상태도 양호한 것으로 나타났다.

신축이음 상태양호(A1)

신축이음 상태양호(A2)

신축이음 상태양호(P6)

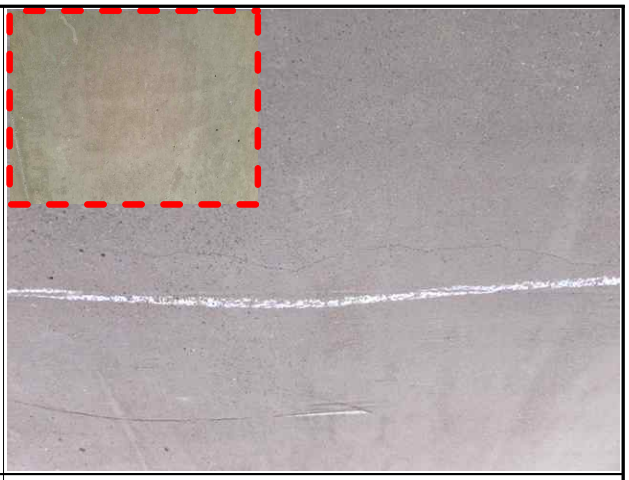
신축이음 상태양호(P6)

마. 바닥판 하면

바닥판은 철근콘크리트 구조로 시공되어 있다. 바닥판에 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
바닥판	균열(폭 0.3㎜미만)	7.6m/6ea	보수완료

바닥판 하면 전경



바닥판 하면 균열(폭 0.1mm)(보수완료)

바. 거더

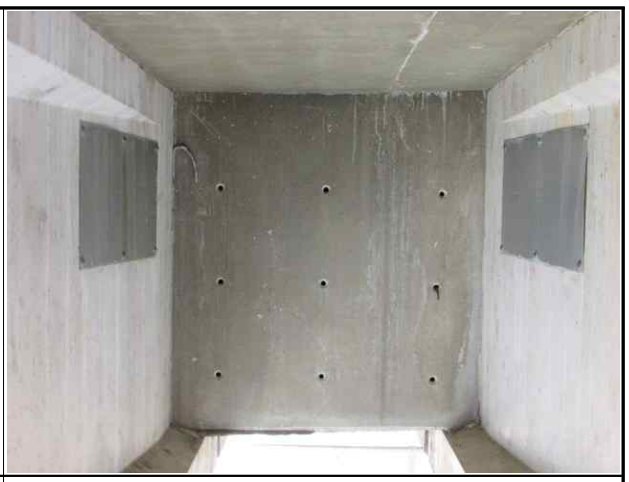
본 교량의 거더는 Bicon Girder + Steel Box Girder(HD)형식이며, 거더에 대한 외관조사 결과, 콘크리트 거더는 균열, 박리, 박락, 파손 등의 손상이 없는 양호한 상태이며, 강재 거더는 부식, 변형 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

Bicon 거더 상태양호	Bicon 거더 상태양호
강재 거더 상태양호	강재 거더 상태양호

사. 가로보

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

콘크리트 가로보 상태양호



콘크리트 가로보 상태양호

강재 가로보 상태양호

강재 가로보 상태양호

아. 교량받침

교량받침은 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조에 전달하는 기능을 갖는 장치로서 교량의 내구성, 안정관련된 중요한 구조요소이다. 또한 고정하중, 활하중 등에 의해서 상부구조에 발생되는 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 발생되는 하중에 저항할 수 있는 구조이다.

본 교량의 받침장치는 면진받침 형식으로 총 28개소(6개소/교대A1,A2, 22개소/교각P1~P9)가 설치되어 있다. 교량받침에 대한 점검결과, 받침 본체 및 받침콘크리트에 손상이 없는 양호한 상태인 것으로 조사되었다.

교량받침 상태 양호	교량받침 상태 양호

자. 교대 및 교각

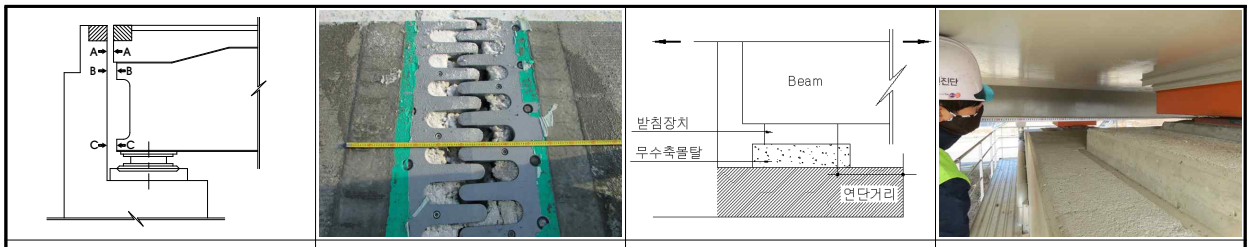
교대는 역T형으로 시공되어 있고, 교각은 π형으로 시공되어 있다. 외관조사결과 균열, 박락, 파손 등의 손상이 없는 양호한 상태로 조사되었다.

교대 A1 전경(상태양호)	교대 A2 전경(상태양호)
교각 P3 전경(상태양호)	교각 P7 전경(상태양호)

14.2.2 부재별 기능조사 결과

가. 개요

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



유간거리 측정방법	유간거리 측정전경	연단거리 측정방법	연단거리 측정전경

【그림 2.14.6】 부재별 기능상태 측정방법 및 전경

나. 유간거리 검토

1) 계산 신축량 산정

【표 2.14.2】 온도변화의 범위 및 선팽창 계수

측 정 일	2018년 1월 11일		
온도변화 범위	-15℃～+40℃(한냉지방)	선팽창 계수(α)	강교 : 1.2×10^{-5}
			콘크리트교 : 1.0×10^{-5}
점검시 기온	-9.3℃		
온도에 의한 신축량(ΔL_T)	$\Delta LT = \Delta T \times \alpha \times L$		
회전에 의한 이동량(ΔL_r)	$\Delta Lr = 2h/3 \times \Theta$ (강교=1/150, 콘크리트교=1/300)		
주형높이(h)	2,200m(강교), 1,800(콘크리트교)		
지간장(L)	35.0m(S1), 40.0m(S2～S8, S10), 60.0m(S9)		

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

-. 온도에 의한 신축량(Δlt) ; 한냉지방, 콘크리트교 : -10～+40℃ 적용

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

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

<콘크리트교> ☞ $\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times L$

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

α(선팽창계수) : 1.0×10^{-5}

L : 신축들보의 길이(L=35.0m, 40.0m)

{[A1지점] = 115.0m, [P6지점] = 120.0m}

▷ A1지점 = (56.7mm - 신장 / 6.56mm - 수축)

▷ P6지점 = (59.16mm - 신장 / 6.84mm - 수축)

<강교> ☞ $\Delta \ell t = \Delta T \times \alpha \times L$

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

α(선팽창계수) : 1.2×10^{-5}

L : 신축들보의 길이(L=40.0m, 60.0m)

{[P6지점, A2지점] = 90.0m}

▷ P6지점, A2지점 = (53.24mm - 신장 / 6.16mm - 수축)

☞ 신축여유량 : (기본 신축량 × 20%) + 10㎜ → 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 2.14.3】 유간거리 검토결과

위치		계산 신축량 (mm)			오창JCT Ramp-D교		
					측정유간 (mm)	판정	
		$\Delta \ell t$	여유량/2	합계		온도 이동량	합계 이동량
A1	신장	56.7	5.0	61.7	81.0	OK	OK
	수축	6.56	5.0	11.56	39.0	OK	OK
P6	신장	112.4	5.0	117.4	125.0	OK	OK
	수축	13.0	5.0	18.0	25.0	OK	OK
A2	신장	53.24	5.0	58.24	100.0	OK	OK
	수축	6.16	5.0	11.16	50.0	OK	OK

※ 신축이음 허용량(설계도면 확인) : A1=120㎜, P6=150㎜, A2=150㎜

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
  * 35.0m : S = 200 + (5 × 35.0) = 375.0(㎜)
  * 40.0m : S = 200 + (5 × 40.0) = 400.0(㎜)
  * 60.0m : S = 200 + (5 × 60.0) = 500.0(㎜)

2) 연단거리 측정결과

각 교량받침에 대한 연단거리를 측정한 결과, 실측 연단거리는 550㎜~1,010㎜로 도로교 설계기준(2010년) 상의 최소연단거리 375.0㎜~500.0㎜ 이상 확보한 것으로 조사되어 기준을 만족하는 것으로 검토되었다.

【표 2.14.4】 연단거리 측정결과

구 분			실측거리(㎜)	경간장 L(m)	최소연단거리 S(mm)	평 가
오창JCT Ramp-D교	A1		750	35	375	O.K
	P1	A1측	550~590	35	375	O.K
		A2측	560~590	40	400	O.K
	P2	A1측	550~580	40	400	O.K
		A2측	560~590	40	400	O.K
	P3	A1측	560~580	40	400	O.K
		A2측	570~590	40	400	O.K
	P4	A1측	560~570	40	400	O.K
		A2측	580~590	40	400	O.K
	P5	A1측	580~590	40	400	O.K
		A2측	560~570	40	400	O.K
	P6	A1측	650~660	40	400	O.K
		A2측	650~660	40	400	O.K
	P7		950~1000	40	400	O.K
	P8		950~1010	60	500	O.K
	P9		950~1010	60	500	O.K
	A2		700	40	400	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 2.14.5】 교량받침 이동량 측정결과

측정당시 온도		3.3℃ (2017년 11월 20일)		교량받침 종류	면진받침	
구분		가동단 변위량(mm)				허용이동량 (mm)
		SH1	SH2	SH3	SH4	
A1		↓ 30.0	↓ 30.0	↓ 30.0	↓ 30.0	±170
P1	A1측	↓ 20.0	↓ 20.0	↓ 20.0	↓ 20.0	±85
	A2측	↓ 30.0	↓ 30.0	↓ 20.0	↓ 20.0	±85
P2	A1측	↓ 10.0	↓ 10.0	↓ 10.0	↓ 10.0	±85
	A2측	↓ 5.0	↓ 5.0	↓ 3.0	↓ 3.0	±85
P3	A1측	0	0	0	0	±85
	A2측	0	0	0	0	±85
-		Fix				-
P4	A1측	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	↑ 5.0	±85
	A2측	0	0	0	0	±85
P5	A1측	↑ 10.0	↑ 10.0	↑ 10.0	↑ 10.0	±85
	A2측	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	↑ 15.0	±85
P6	A1측	↑ 25.0	↑ 25.0	↑ 25.0	↑ 25.0	±170
	A2측	↓ 10.0	↓ 10.0			±175
P7		0	0			±69
P8		↓ 10.0	↓ 10.0			±69
-		Fix				-
P9		↓ 10.0	↓ 20.0			±69
A2		0	0			±175

2) 교량받침 이동 여유량 계산

가동받침에서 이론적으로 산정된 교량받침의 이동량은 다음과 같다.

1) 조사시 온도 : 3.2℃(2017년 11월 27일)

2) 온도변화 : -5℃～35℃(콘크리트교, 보통지방), -10℃～40℃(강교, 보통지방)

3) 받침 이동량 산정

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

여기서, ΔT : 35℃-(3.2℃)=31.8℃(신장), 3.2℃-(-5℃)=8.2℃(수축)_콘크리트교

ΔT : 40℃-(3.2℃)=36.8℃(신장), 3.2℃-(-10℃)=13.2℃(수축)_강교

α(선팽창계수) : 1.0×10^{-5}(콘크리트교), 1.2×10^{-5}(강교)

L : 신축들보의 길이(L=117.5m, 90.0m, 82.5m, 77.5m, 50.0m, 42.5m, 37.5m, 10.0m, 2.5m)

위 치		신축길이(m)	이론신축량		비 고
			신장량(mm)	수축량(mm)	
A1		117.5	37.37	9.64	개량형 PSC BEAM (BICON)
P1(A1, A2측)		82.5	26.24	6.77	
P2(A1, A2측)		42.5	13.52	3.49	
P3(A1, A2측)		2.5	0.8	0.21	
P4(A1, A2측)		37.5	11.93	3.08	
P5(A1, A2측)		77.5	24.65	6.36	
P6	A1측	117.5	37.37	9.64	
	A2측	90.0	39.74	14.26	STEEL BOX GIRDER
P7		50.0	22.08	7.92	
P8		10.0	4.42	1.58	
P9		50.0	22.08	7.92	
A2		90.0	39.74	14.26	

【표 2.14.6】 교량 받침 이동량 검토

구 분		신축장 (mm)	이론신축량(mm)		신축여유량(mm)		판정
			신장	수축	신장	수축	
A1		117,500	37.37	9.64	200.00	140.00	O.K
P1	A1측	82,500	26.24	6.77	105	65	O.K
	A2측	82,500	26.24	6.77	105~115	55~65	O.K
P2	A1측	42,500	13.52	3.49	95	75	O.K
	A2측	42,500	13.52	3.49	88~90	80~82	O.K
P3	A1측	2,500	0.8	0.21	85	85	O.K
	A2측	2,500	0.8	0.21	85	85	O.K
-	-	-	-	-	-	-	Fix
P4	A1측	37,500	11.93	3.08	90	80	O.K
	A2측	37,500	11.93	3.08	85	85	O.K
P5	A1측	77,500	24.65	6.36	95	75	O.K
	A2측	77,500	24.65	6.36	100	70	O.K
P6	A1측	117,500	37.37	9.64	195	145	O.K
	A2측	90,000	39.74	14.26	185	165	O.K
P7		50,000	22.08	7.92	69	69	O.K
P8		10,000	4.42	1.58	79	59	O.K
-		-	-	-	-	-	-
P9		50,000	22.08	7.92	79~89	49~59	O.K
A2		90,000	39.74	14.26	175	175	O.K

※ 이론신축량 : 온도변화에 의한 신축량

▸검토결과 : 온도 3.2℃일 때의 가동받침의 신축여유량 검토 결과, 교량에 설치된 가동받침장치의 실측여유량이 이론신축량을 만족하는 것으로 평가되어 양호한 것으로 확인됨.

14.2.3 내구성조사

가. 반발경도시험

1) 반발경도시험 결과

반발경도시험은 바닥판, 교대, 교각의 총 8개소에서 실시하였으며, 시험결과 모든 부재에서 설계압축강도(바닥판 : 27.0㎫, 교대 : 24.0㎫, 교각 : 27.0㎫)를 상회하는 것으로 조사되었다.

【표 2.14.7】 반발경도시험 결과

구 분		설계압축강도(㎫)	반발경도법(㎫)	강도비(%)
상부구조	바닥판	27.0	28.2 ~ 30.3	104.4 ~ 112.2
하부구조	교 대	24.0	26.4	110.0
	교 각	27.0	28.4 ~ 29.3	105.2 ~ 108.5

2) 각 부재별 반발경도 시험결과

【표 2.14.8】 각 부재별 반발경도시험 결과

시 험 위 치		평균치 R	보정치 ΔR	기준경도 Ro	재령계수 an	추정압축강도 방법1	추정압축강도 방법2	평균강도 (㎫)	설계압축강도(㎫)
상부구조	S4 바닥판하면	50.4	-3.1	47.3	0.66	27.8	29.4	28.6	27.0
	S5 바닥판하면	50.9	-3.1	47.8	0.66	28.2	29.6	28.9	27.0
	S7 바닥판하면	49.2	-3.2	46.0	0.67	27.1	29.2	28.2	27.0
	S8 바닥판하면	52.1	-2.9	49.2	0.67	29.8	30.7	30.3	27.0
하부구조	교대 A2 구체	44.0	0.0	44.0	0.66	25.0	27.8	26.4	24.0
	교각 P1 기둥	49.1	0.0	49.1	0.65	28.8	29.8	29.3	27.0
	교각 P4 기둥	47.6	0.0	47.6	0.65	27.6	29.1	28.4	27.0
	교각 P8 기둥	48.4	0.0	48.4	0.65	28.3	29.5	28.9	27.0

주) • 추정압축강도(방법1) : 일본재료학회 추정식 (Fc = -18.0+1.27×Ro (㎫))
• 추정압축강도(방법2) : 일본건축학회 추정식 (Fc = (7.3×Ro + 100)×0.1 (㎫))

【그림 2.14.7】 콘크리트 강도시험 결과 그래프

나. 철근탐사시험

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

【표 2.14.9】 철근탐사시험 결과

탐사위치		배근종류	설계치(㎜)		측정치(㎜)	
			배근간격	피복두께	배근간격	피복두께
상부구조	S4 바닥판하면	주 철 근	@200	32	≒@200	≒40
		배력철근	@250	48	≒@250	≒50
	S5 바닥판하면 (지점부)	주 철 근	@200	32	≒@200	≒35
		배력철근	@125	48	≒@125	≒50
	S7 바닥판하면 (지점부)	주 철 근	@150	32	≒@150	≒35
		배력철근	@100	48	≒@100	≒50
	S8 캔틸레버 (지점부)	주 철 근	@150	32	≒@150	≒30
		배력철근	@100	48	≒@100	≒45
하부구조	교대 A2 구체	수직철근	@250	90.5	≒@250	≒100
		수평철근	@300	71.5	≒@300	≒80
	교각 P1 기둥	수직철근	@125	87.5	≒@125	≒85
		수평철근	@300	68.5	≒@300	≒65
	교각 P4 기둥	수직철근	@130	85.5	≒@130	≒95
		수평철근	@300	66.5	≒@300	≒70
	교각 P8 기둥	수직철근	@130	87.5	≒@130	≒95
		수평철근	@150	68.5	≒@150	≒75

14.3 상태평가

14.3.1 상태평가 결과

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

【표 2.14.10】 상태평가 결과

오창JCT Ramp-D교													
부재의 분류		상부구조		2차 부재	기타부재				받침	하부구조		내구성요소	
번호	구조형식	바닥판	거더	가로보	포장	배수	난간 연석	신축 이음	교량 받침	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	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
5	개량형 PSC BEAM	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
6	STB(HD)	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
7	STB(HD)	a	a	a	a	a	a	a	a	a	Q	a	a
8	STB(HD)	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
9	STB(HD)	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
10	STB(HD)	a	a	a	a	a	a	N/A	a	a	Q	a	a
11	STB(HD)	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 2.14.11】 상태평가 결과표

교 량 명	오창JCT Ramp-D교						
구성교량명	환산 결함도점수	상태평가 등급	연장(m)	차선	길이×차선	연장비	환산결함도점수 × 연장비
본교	0.100	A	415.0	1	415.0	1.000	0.100
합계(∑)			415.0		415.0	1.000	0.100
1. 평가지수 =							0.100
2. 상태평가 결과 =							A 등급

14.4 교량 재하시험

14.4.1 BiCon Girder구간(6경간)

가. 개 요

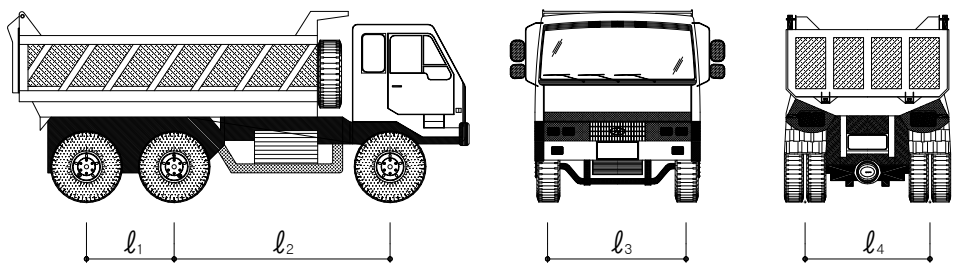
1) 현장시험의 개요

구 분		내 용
시험일자		2017. 12. 18
시험시간		PM 04:00 ~ PM 06:00
시험위치		S6(최대 정모멘트가 작용하는 지점)
재하시험차량 대수		1대
하중 경우 수	정적재하시험	Load Case 1~3 (3회)
	동적재하시험	10㎞/hr ~ 60㎞/hr

2) 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	계량증명서



계 량 확 인 서

공급받는자용

일 지	2017-12-18
차 량 번 호	5328
거 래 처	
품 명	공인계량
총 중 량	07시07분 26,910 kg
공 차 중 량	07시07분 18,930 kg
실 중 량	7,980 kg
감 율 / 감 량	0 kg
인 수 량	7,980 kg
단 가 / 총 액	0 원 / 0 원
계 량 자	
비 고	

상기와 같이 계량하였음을 확인함.

126-28-13456
삼손공인계량소 김은영
경기도 하남시 초이동 199-2
도 · 소 매 종합계량기업
저 울 즈 종합보험증

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

3) 교량 재하시험 사진

변형률계 설치 현황	처짐계 설치 현황
가속도계 설치 현황	재하시험 계측 전경
정적 재하시험 전경	동적 재하시험 전경

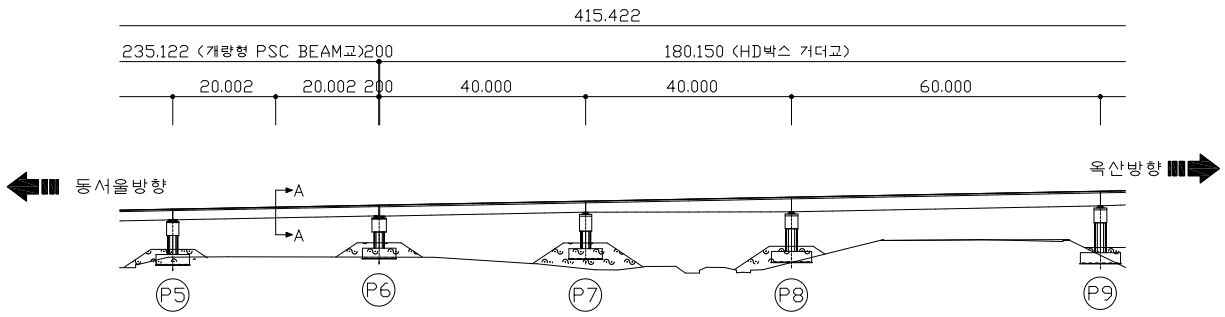
4) 계측센서 사양 및 수량

구분	센서명	모델명	사 양	수량(ea)
계측센서	콘크리트 변형률게이지	PL-60 -11-1L	• 범위 : 30000μstrain • 저항 :120.3±0.5Ω • 사용온도 범위 : -20～+80℃ • 형식 : 전기저항식	4
	처짐계	OU-30	• 범위 : ±30mm • 민감도: ($x10^{-6}$/mm) : 1000 • 허용온도범위 : 0～+60℃ • 형식 : 전기저항식	4
	가속도계	ARF-20A	• 용량 : 2.04g • 응답주파수 : 80hz • 고유주파수 : 150hz • 형식 : 전기저항식	1
소 계				9
측정장비	정, 동적 시험장비	DRA-30A	• 측정점수 : 30채널 • 측정대상 : Dynamic Strian, 전압 • 각 채널별 112k word 테이터메모리 탑재 (정적스트레인측정시 30000scans)	1
소 계				1

5) L/C별 재하시험 방법

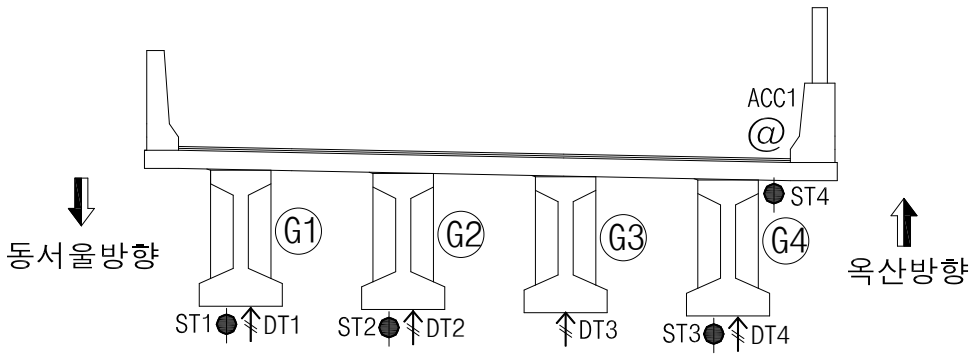
재하시험 위치	재하목적	비 고
외측경간(S6)	· 최대 정모멘트가 작용하는 지점	

6) 계측센서 설치도



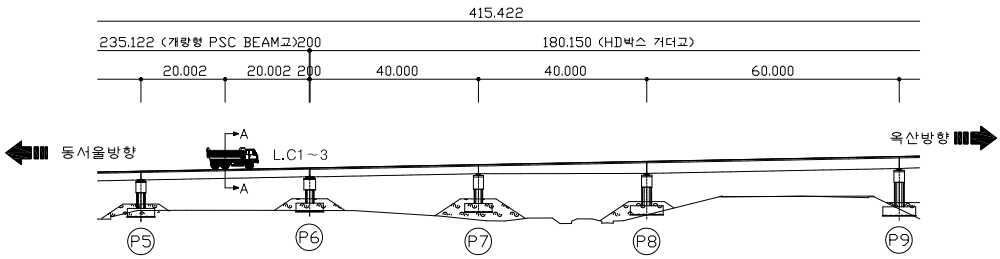
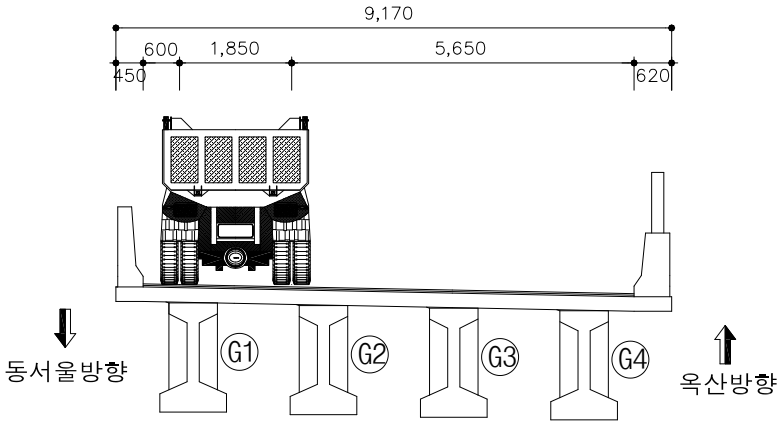
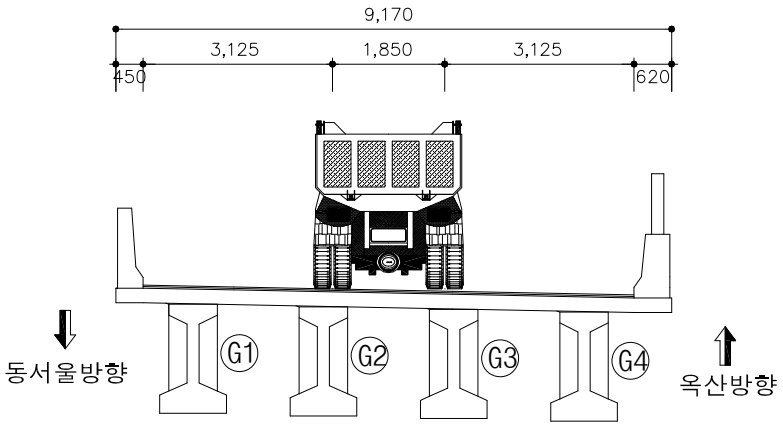
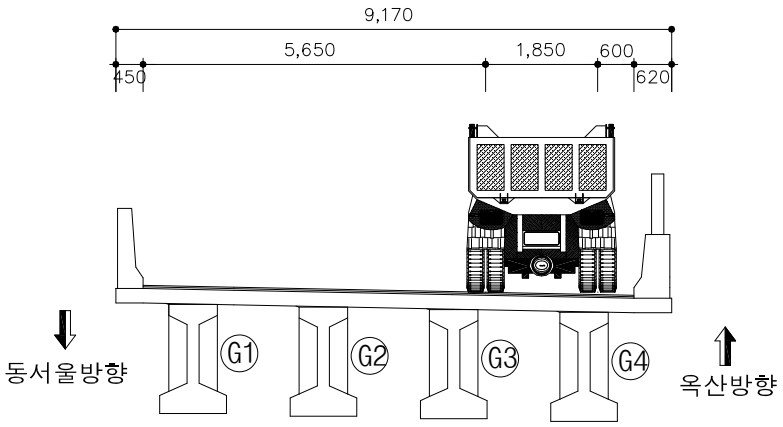
재하시험 경간

A-A단면 부착위치

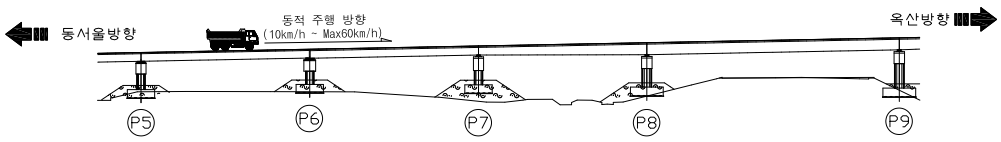
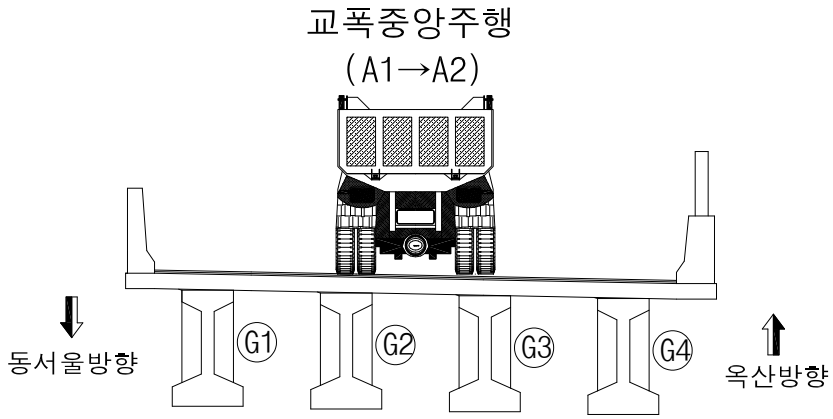


구 분	계측기명	설치수량	비 고
●	콘크리트 변형률계	4	교축방향
↑	처짐계	4	연직방향
@	가속도계	1	연직방향
계측센서 총 수량		9	

7) 정적 재하시험 LOAD CASE

종방향 재하위치	
L.C 1	
L.C 2	
L.C 3	

8) 동적 재하시험 LOAD CASE

차량주행방향	
주행위치	

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

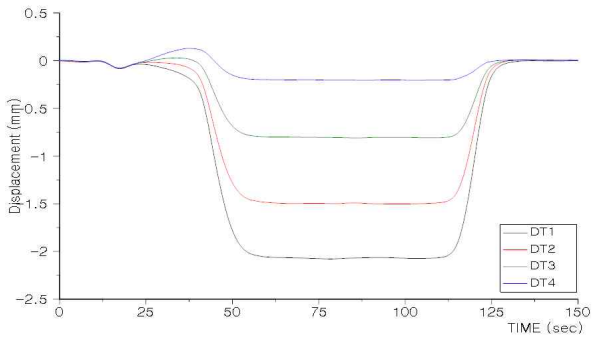
나. 정적 재하시험 결과

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

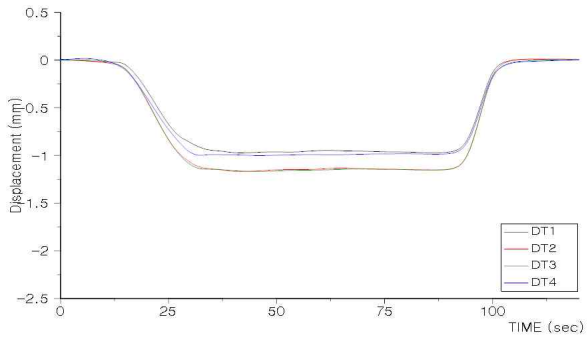
1) 재하시험에서 측정된 계측DATA

구 분	L.C1	L.C2	L.C3	비 고
ST1	23.92	11.29	1.94	단위 : με (-)압축 (+)인장
ST2	14.09	13.14	9.45	
ST3	1.63	10.29	21.11	
ST4	-1.90	-4.38	-3.09	
DT1	-2.064	-0.964	-0.217	단위 : ㎜ (-)하향변위 (+)상향변위
DT2	-1.501	-1.148	-0.867	
DT3	-0.805	-1.147	-1.387	
DT4	-0.204	-0.983	-1.930	

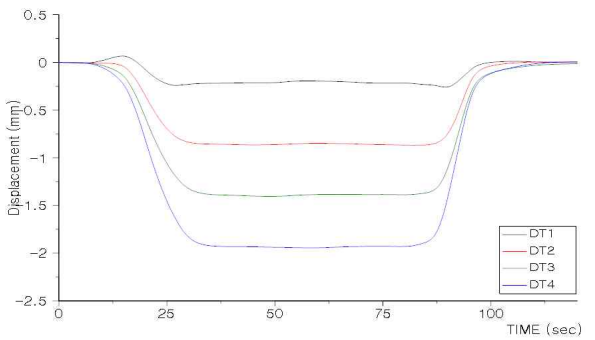
L.C1 처짐



L.C2 처짐



L.C3 처짐

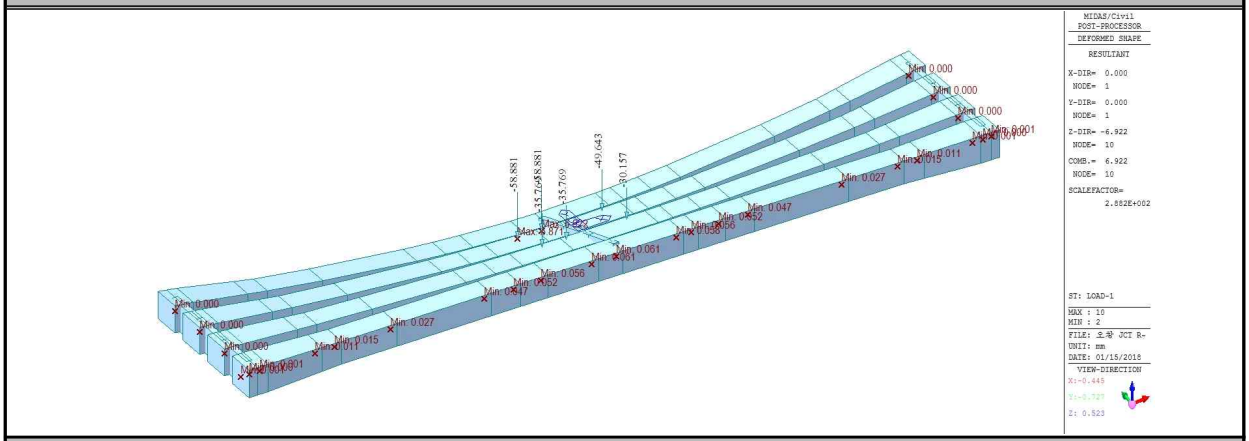


* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

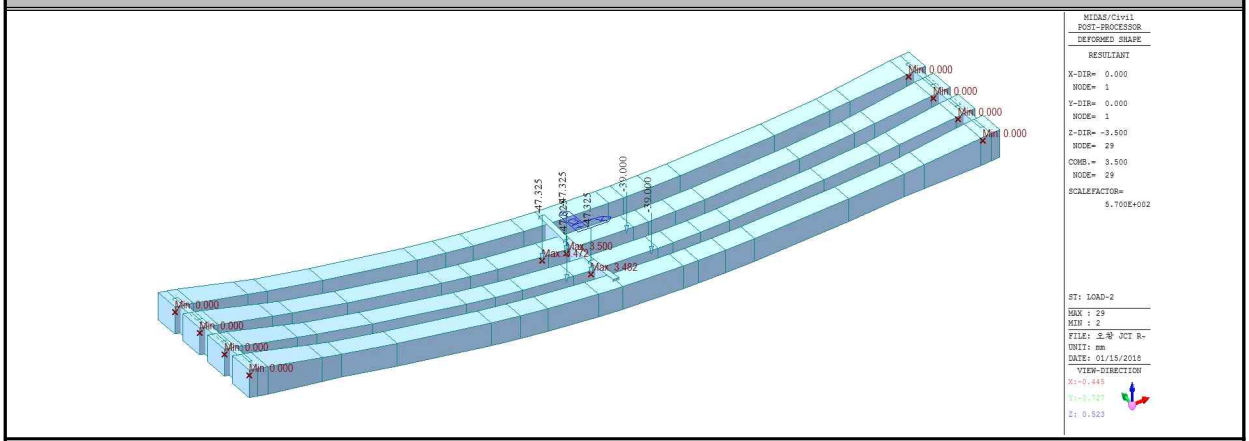
2) 구조해석에 의한 변위량

구 분	L.C1	L.C2	L.C3	비 고
G1(DT1)	-6.922	-3.257	0.048	단위 : mm (-)하향변위 (+)상향변위
G2(DT2)	-4.550	-3.500	-2.170	
G3(DT3)	-2.192	-3.482	-4.489	
G4(DT4)	0.061	-3.202	-6.816	

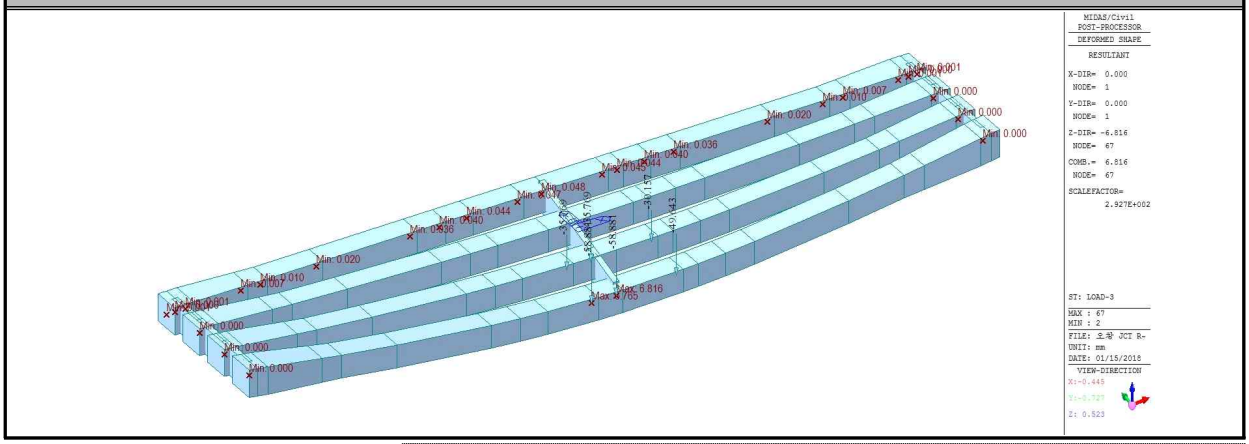
L.C1 하중재하 및 처짐



L.C2 하중재하 및 처짐

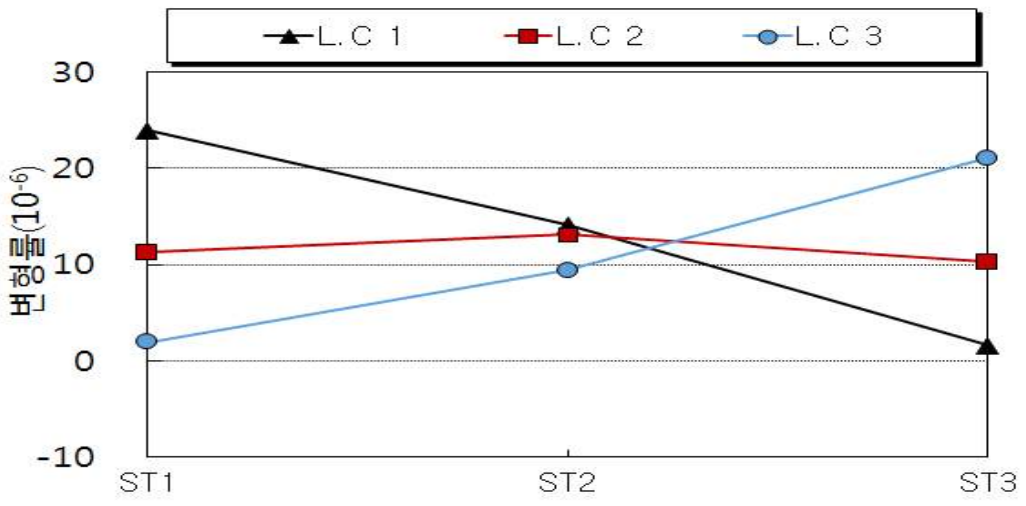


L.C3 하중재하 및 처짐

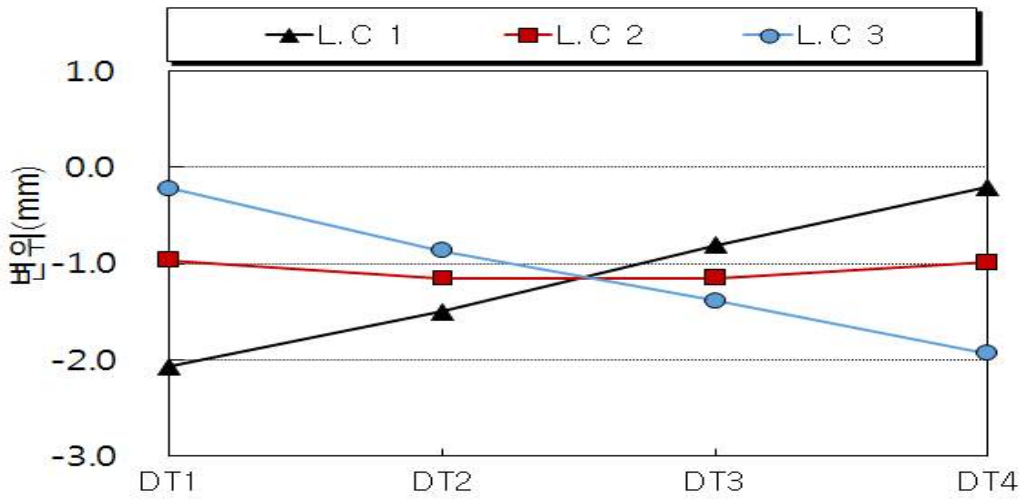


3) 하중 횡분배 검토 결과

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.



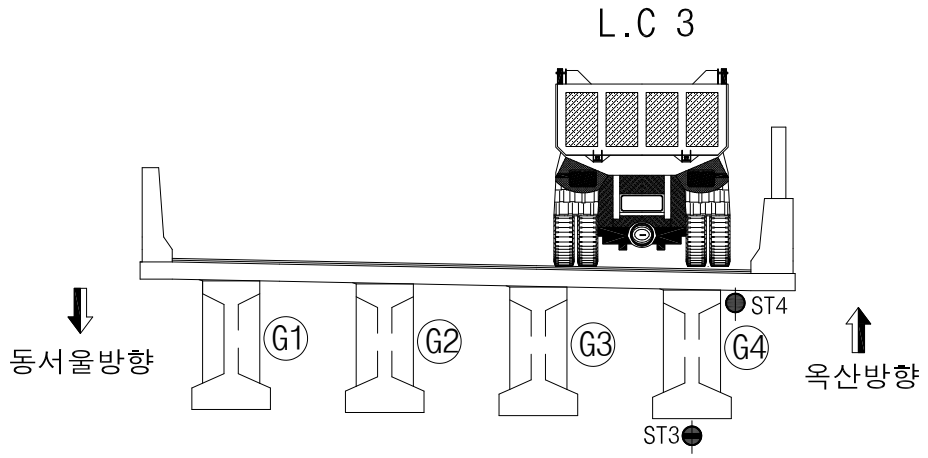
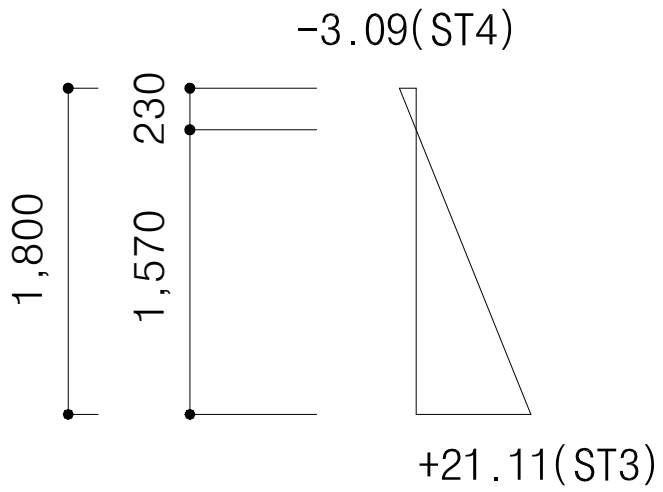
변형율 횡분배 현황



처짐 횡분배 현황

4) 중립축검토

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

<table>
<tr><th>구 분</th><th>L.C 3</th></tr>
<tr><td>재하위치</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">중립축</td><td>L.C 3(6경간 - G4)</td></tr>
<tr><td> 
</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><th>구분</th><th>이론중립축위치
(mm)</th><th>실측중립축위치
(mm)</th></tr>
<tr><td>6경간</td><td>1,166</td><td>1,570</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>검토 의견</td><td>* 실측중립축이 이론중립축 대비 0.2%의 수준으로 측정되어 대체로 건전한 거동을 보이는 것으로 검토됨.</td></tr>
</table>

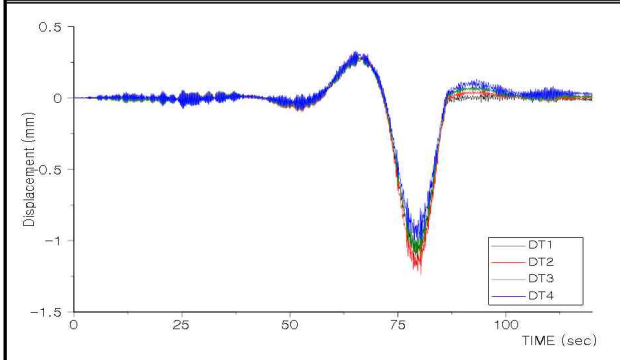
다. 동적 재하시험 결과

1) 동적처짐

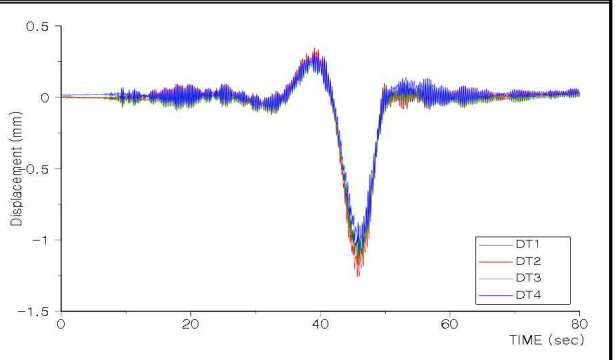
동적 그래프는 차량이 주행한 구간에 대하여 표시하였고, 각 주행속도에 따른 동적 최대값은 다음과 같다.

구 분		주행속도 (km/h)						비고
		10	20	30	40	50	60	
6경간	G1(DT1)	-1.176	-1.173	-1.161	-1.223	-1.089	-1.209	단위 : ㎜
	G2(DT2)	-1.241	-1.262	-1.248	-1.312	-1.179	-1.322	
	G3(DT3)	-1.119	-1.178	-1.109	-1.206	-1.060	-1.219	
	G4(DT4)	-1.002	-1.092	-1.003	-1.083	-0.949	-1.117	

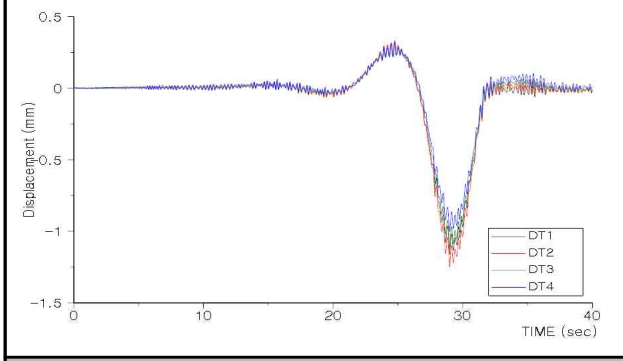
10km/hr



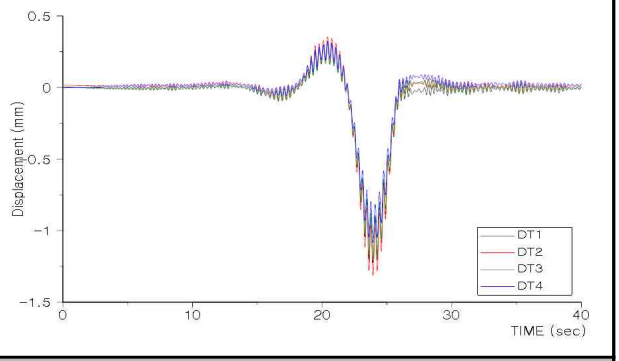
20km/hr



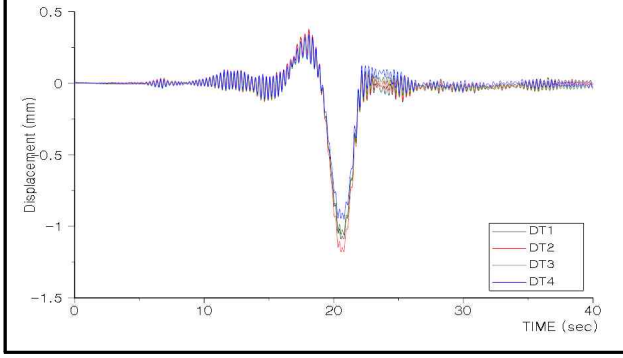
30km/hr



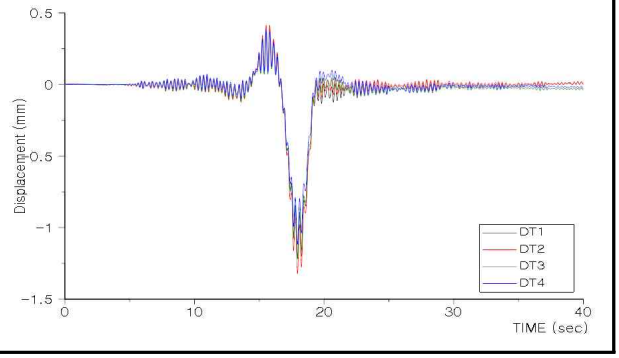
40km/hr



50km/hr



60km/hr



* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

2) 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.

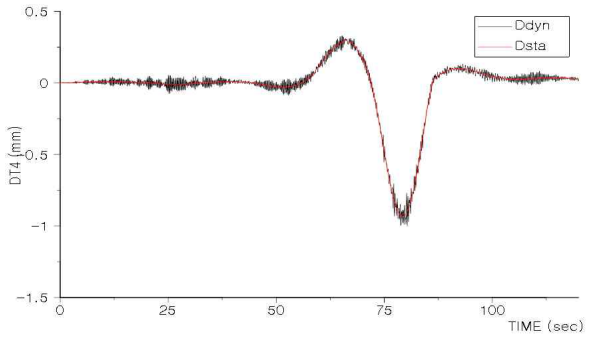
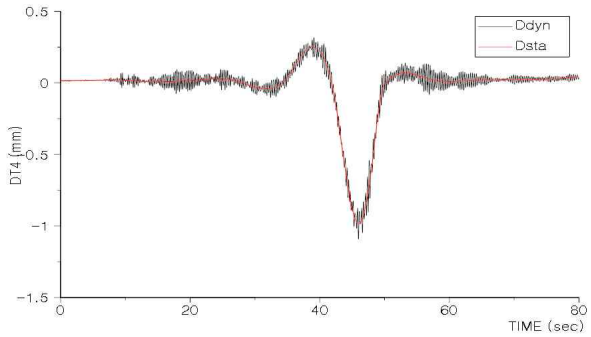
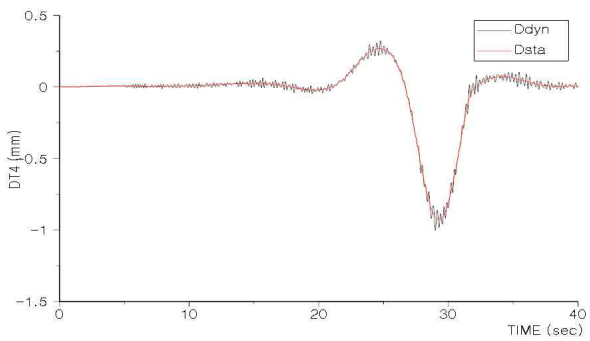
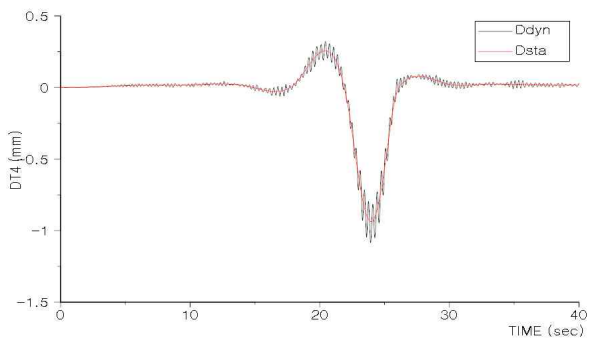
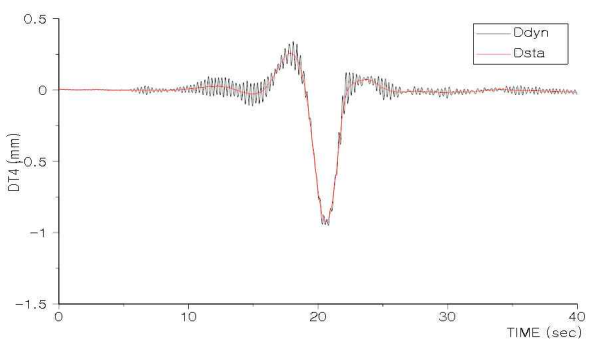
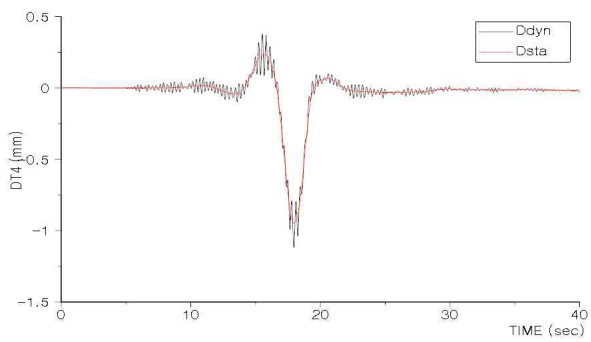
· 실측충격계수 i = (D−1)

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

구 분			주행속도 (km/h)						대표 충격계수
			10	20	30	40	50	60	
6경간	DT1	$\delta_{dyn(max)}$	-1.176	-1.173	-1.161	-1.223	-1.089	-1.209	0.159
		$\delta_{sta(max)}$	-1.064	-1.066	-1.084	-1.057	-1.078	-1.043	
		충격계수(i)	0.105	0.100	0.071	0.157	0.010	0.159	
	DT2	$\delta_{dyn(max)}$	-1.241	-1.262	-1.248	-1.312	-1.179	-1.322	0.158
		$\delta_{sta(max)}$	-1.149	-1.164	-1.167	-1.133	-1.163	-1.142	
		충격계수	0.080	0.084	0.069	0.158	0.014	0.158	
	DT3	$\delta_{dyn(max)}$	-1.119	-1.178	-1.109	-1.206	-1.060	-1.219	0.163
		$\delta_{sta(max)}$	-1.037	-1.086	-1.036	-1.038	-1.039	-1.048	
		충격계수	0.079	0.085	0.070	0.162	0.020	0.163	
	DT4	$\delta_{dyn(max)}$	-1.002	-1.092	-1.003	-1.083	-0.949	-1.117	0.177
		$\delta_{sta(max)}$	-0.935	-0.987	-0.927	-0.937	-0.923	-0.949	
		충격계수	0.072	0.106	0.082	0.156	0.028	0.177	
계측결과			• 계산충격계수 : i = 15/(40+L) = 0.187(6경간, L=40.004) • 실측충격계수 : 6경간-0.177(60km, DT4)						

② 산정 결과

동적 재하시험시 시험차량의 주행위치가 교폭중앙으로 주행하였으므로, 실측 충격계수 산정을 위한 유효범위의 계측값은 DT1, DT2, DT3, DT4(6경간)를 이용하였다. 분석결과, 본 대상 교량의 실측 충격계수는 0.177(6경간)로 가장 큰 값을 나타내었으며, 도로교설계기준 0.187(6경간)보다 작은 값으로 조사되어 차량 통행 시 충격에 의한 안전성에는 이상이 없는 것으로 판단된다.

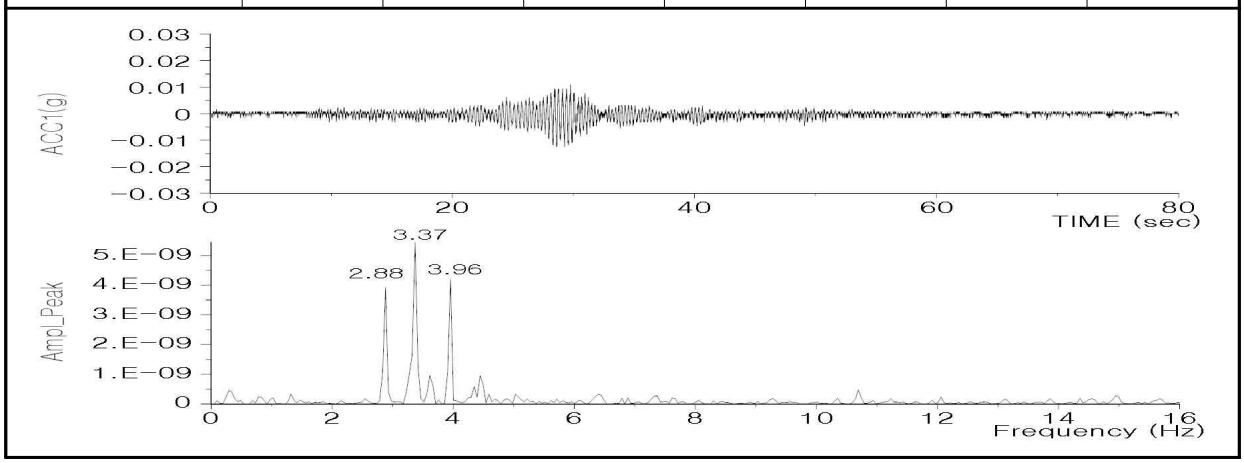
10km/hr, DT4	20km/hr, DT4
	
30km/hr, DT4	**40km/hr, DT4**
	
50km/hr, DT4	**60km/hr, DT4**
	

* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

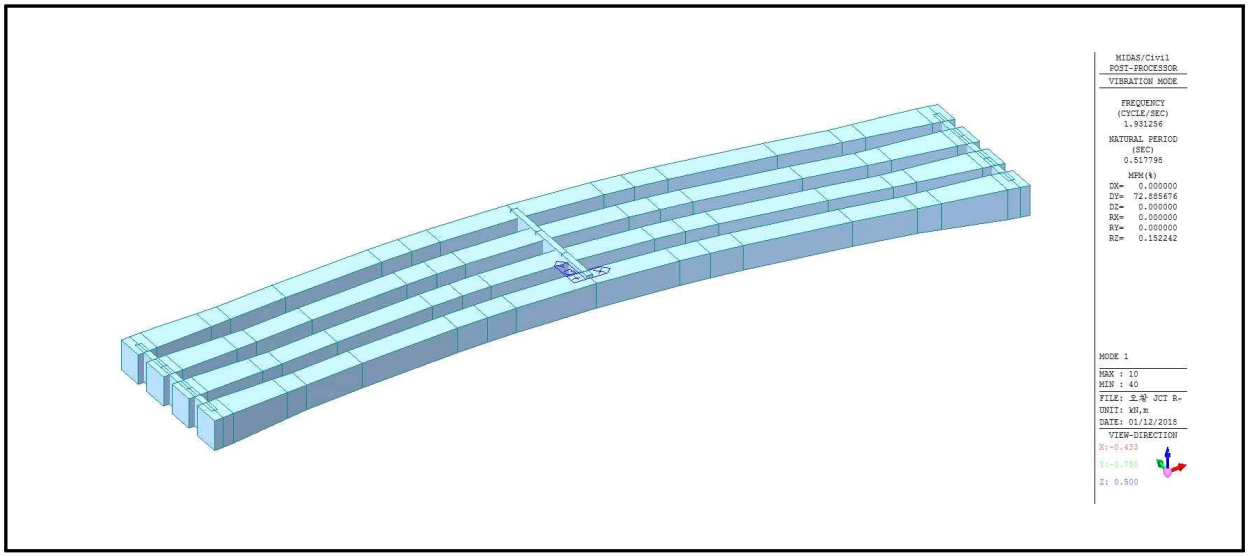
3) 고유진동수 산정 결과

① 재하시험에 의한 고유진동수 산정

구 분	10km	20km	30km	40km	50km	60km	비 고
고유진동수 (cycle/sec(Hz))	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	2.88	



② 구조해석에 의한 고유진동수 계산



③ 고유진동수 산정결과

동적 재하시험시 재하경간의 중앙부에 가속도계를 설치하여 고유진동수를 산정한 결과 실측 고유진동수는 2.88Hz로 구조해석에 의한 이론 고유진동수 1.931Hz보다 큰 것으로 나타나 교량의 강성은 양호한 것으로 판단된다.

4) 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.

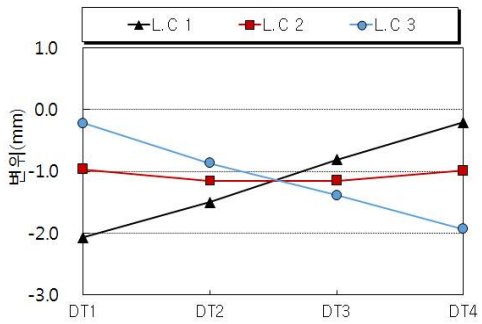
① 응답비 산정

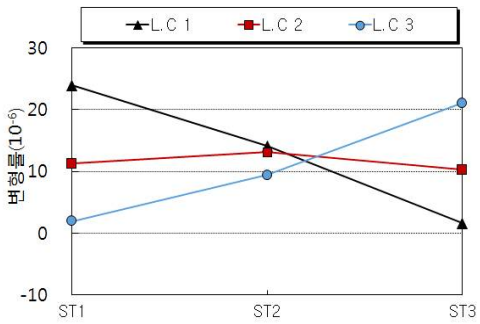
구 분		처 짐(㎜)			비고
		L.C1	L.C2	L.C3	
G1	계산처짐	-6.922	-3.257	-	DT1
	실측처짐	-2.064	-0.964	-	
	응답비	**3.354**	3.379	-	
G2	계산처짐	-4.550	-3.500	-2.170	DT2
	실측처짐	-1.501	-1.148	-0.867	
	응답비	3.031	3.049	**2.503**	
G3	계산처짐	-2.192	-3.482	-4.489	DT3
	실측처짐	-0.805	-1.147	-1.387	
	응답비	**2.723**	3.036	3.236	
G4	계산처짐	-	-3.202	-6.816	DT4
	실측처짐	-	-0.983	-1.930	
	응답비	-	**3.257**	3.532	

② 응답보정계수 산정

구 분		응답비	i(충격계수)		$\frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$	위치별 Ks
			계산	실측max		
응답 보정 계수	DT1(G1)	3.354	0.187	0.177	1.008	3.381
	DT2(G2)	2.503				2.523
	DT3(G3)	2.723				2.745
	DT4(G4)	3.257				3.283

라. 정·동적 재하시험 고찰

<table>
<tr><th colspan="2">분석항목</th><th>분석결과</th></tr>
<tr><td colspan="2">시험트럭</td><td>• 재하하중 : 설계하중의 약 62%
• 총 중 량 : 269.10kN</td></tr>
<tr><td rowspan="3">정적
재하
시험</td><td>최대
응답</td><td>• 처 짐 : -2.064 ㎜
• 변형률 : 23.92 με</td></tr>
<tr><td rowspan="3">횡방향
거동특성</td><td> 

처짐</td><td> 

변형률</td></tr>
<tr><td colspan="2">• 변형률 및 처짐에 의한 횡방향 거동특성 분석결과, 하중 경우에 따른 계측 DATA가 각 단면별로 재하위치에 따라 일정한 양상을 보이는 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">동적
재하
시험</td><td>충격
계수</td><td>• 충격계수 분석결과 실측충격계수의 최대값은 0.177(DT4)로 이론 충격계수 0.187보다 작게 나타나 이동하중에 대한 충격의 영향은 양호한 것으로 분석됨.</td></tr>
<tr><td>고유
진동수</td><td>• 실측고유진동수(2.88Hz)가 이론 고유진동수(1.931Hz)보다 크게 나타나고 있어 교량의 강성은 양호한 것으로 판단됨.</td></tr>
</table>

14.4.2 강박스 거더 구간(7, 8경간)

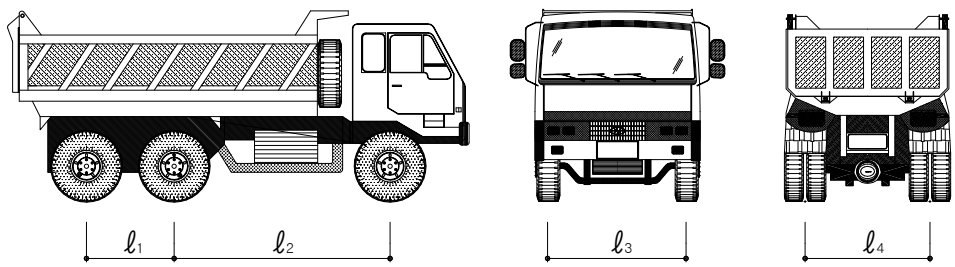
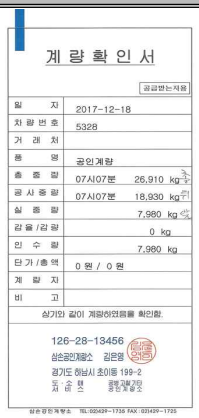
가. 개 요

1) 현장시험의 개요

구 분		내 용
시험일자		2017. 12. 18
시험시간		AM 09:00 ~ AM 11:00
시험위치		S7, S8(최대 정모멘트가 작용하는 지점)
재하시험차량 대수		1대
하중 경우 수	정적재하시험	Load Case 1~6 (6회)
	동적재하시험	10㎞/hr ~ 60㎞/hr

2) 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	계량증명서
	

계 량 확 인 서

공급받는자용

일 자	2017-12-18
차량번호	5328
거 래 처	
품 명	공인계량
총 중 량	07시07분 26,910 kg
공 차 중 량	07시07분 18,930 kg
실 중 량	7,980 kg
감 율 / 감 량	0 kg
인 수 량	7,980 kg
단 가 / 총 액	0 원 / 0 원
계 량 자	
비 고	

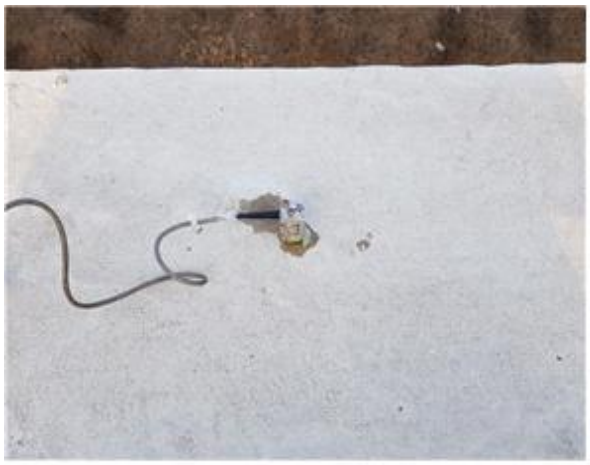
상기와 같이 계량하였음을 확인함.

126-28-13456
삼손공인계량소 김은영
경기도 이천시 초이동 199-2
동 송 탯 공항계량기원
서 명

삼손공인계량소 TEL:031429-1735 FAX:031429-1725

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

3) 교량 재하시험 사진

변형률계 설치 현황	처짐계 설치 현황
	
가속도계 설치 현황	재하시험 계측 전경
정적 재하시험 전경	동적 재하시험 전경

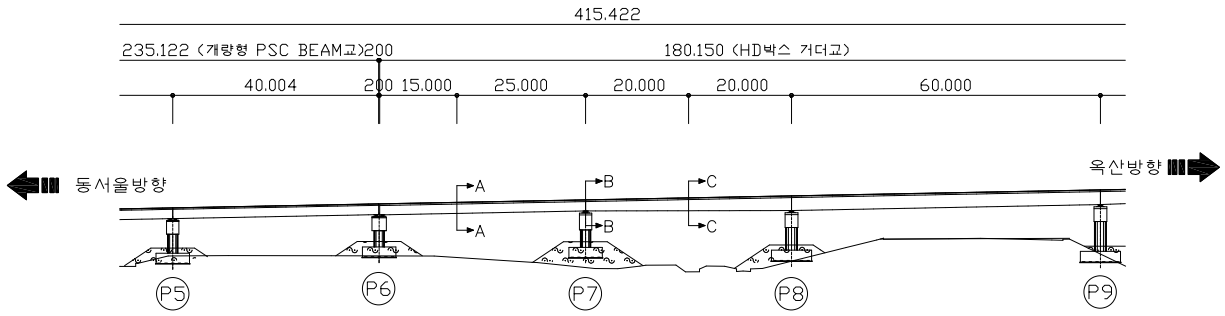
4) 계측센서 사양 및 수량

구분	센서명	모델명	사 양	수량(ea)
계측센서	강재 변형률게이지	FLA-5 -11-1L	• 범위 : 30000μstrain • 저항 :120.3±0.5Ω • 사용온도 범위 : -20～+80℃ • 형식 : 전기저항식	14
	처짐계	OU-30	• 범위 : ±30mm • 민감도: (x10^{-6}/mm) : 1000 • 허용온도범위 : 0～+60℃ • 형식 : 전기저항식	4
	가속도계	ARF-20A	• 용량 : 2.04g • 응답주파수 : 80hz • 고유주파수 : 150hz • 형식 : 전기저항식	1
소 계				19
측정장비	정, 동적 시험장비	DRA-30A	• 측정점수 : 30채널 • 측정대상 : Dynamic Strian, 전압 • 각 채널별 112k word 테이터메모리 탑재 (정적스트레인측정시 30000scans)	1
소 계				1

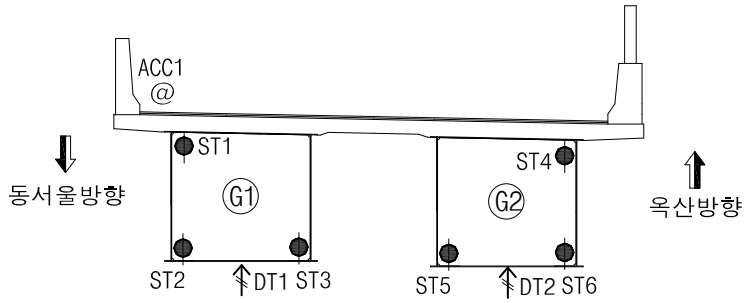
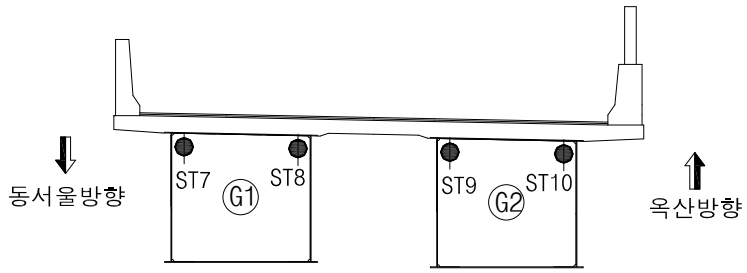
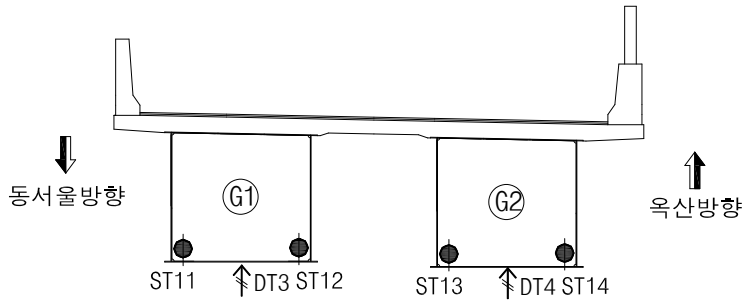
5) L/C별 재하시험 방법

재하시험 위치	재하목적	비 고
외측경간(S7)	· 최대 정·부모멘트가 작용하는 지점	
내측경간(S8)		

6) 계측센서 설치도

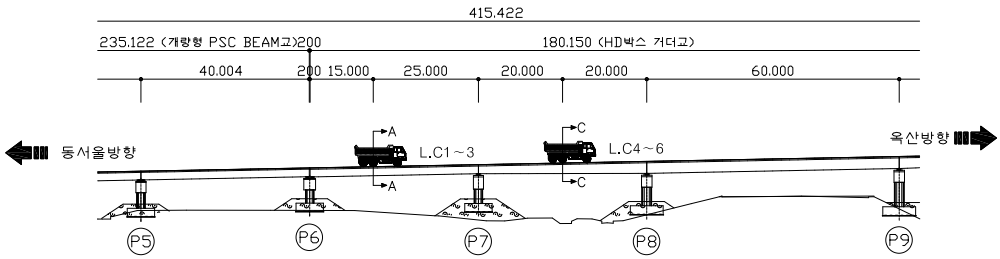
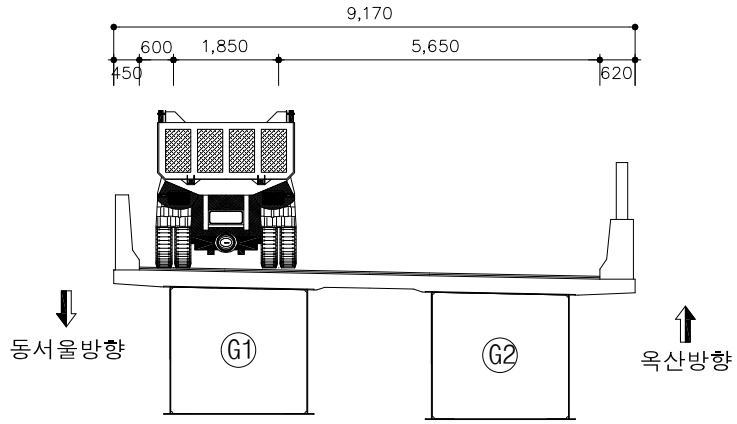
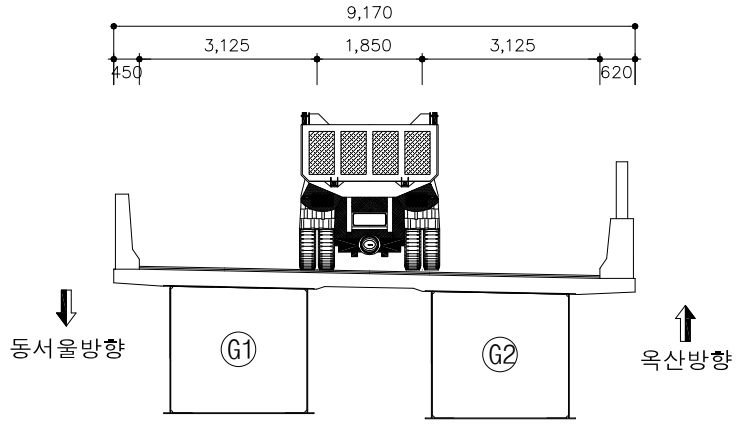
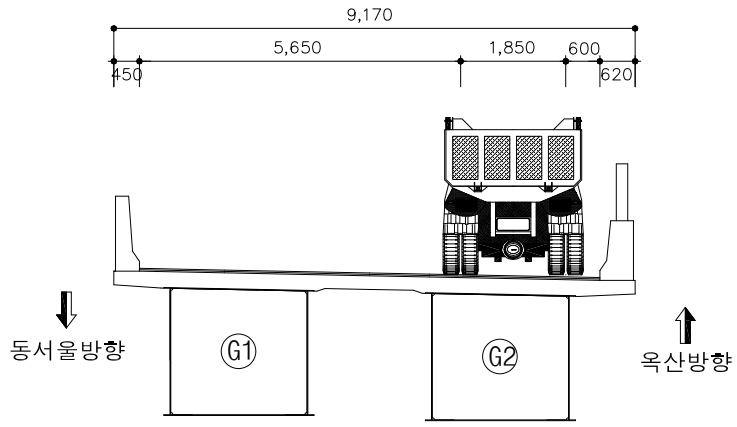


재하시험 경간

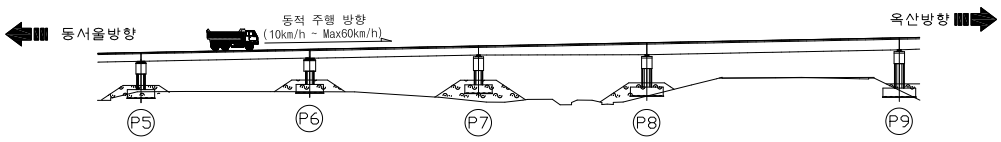
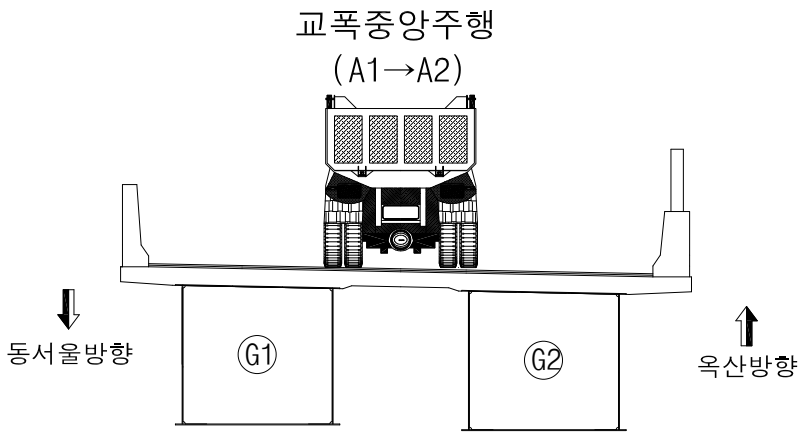
A-A단면 부착위치	
B-B단면 부착위치	
C-C단면 부착위치	

구 분	계측기명	설치수량	비 고
●	강재 변형률계	14	교축방향
↑	처짐계	4	연직방향
@	가속도계	1	연직방향
계측센서 총 수량		19	

7) 정적 재하시험 LOAD CASE

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

8) 동적 재하시험 LOAD CASE

차량주행방향	
주행위치	

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

나. 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.

1) 재하시험에서 측정된 계측DATA

① 7경간

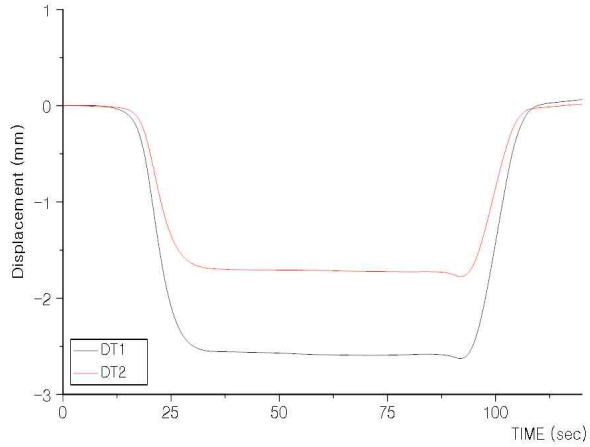
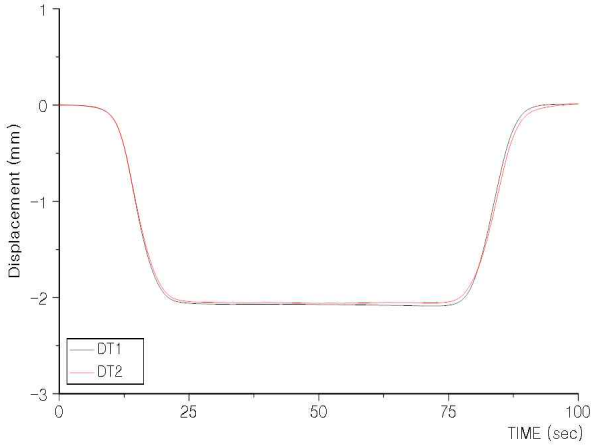
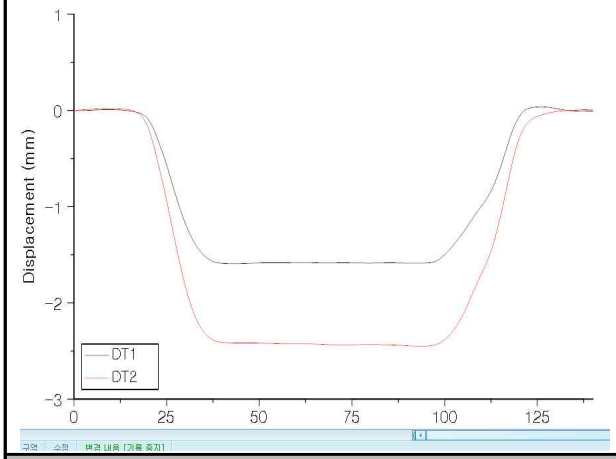
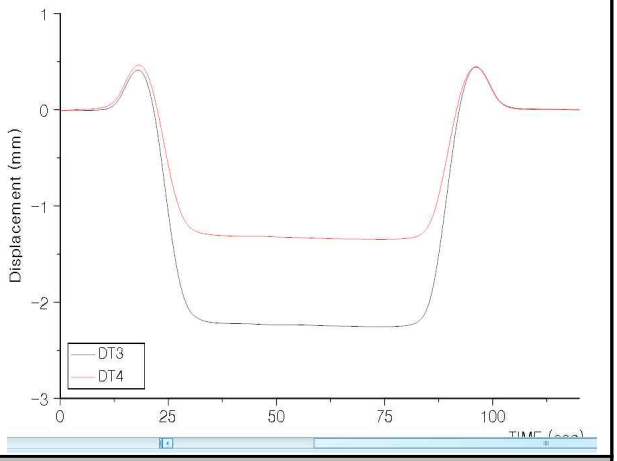
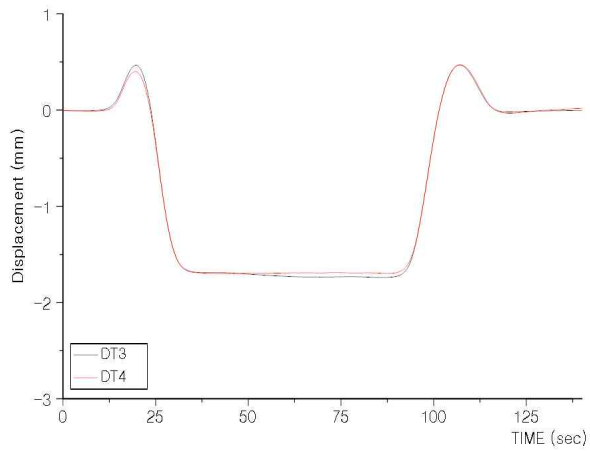
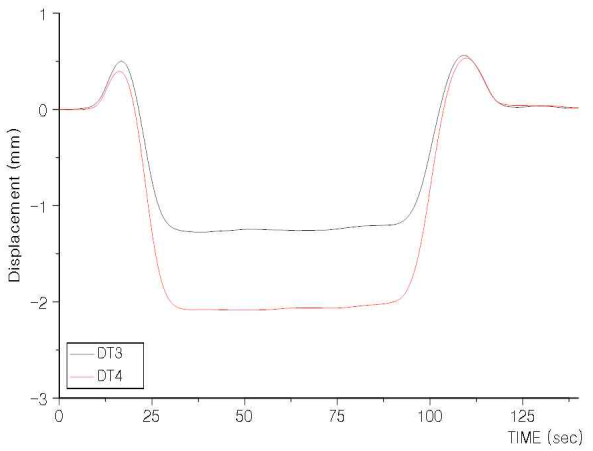
구 분	L.C1	L.C2	L.C3	비 고
ST1	-0.67	-0.87	-1.75	단위 : με (-)압축 (+)인장
ST2	42.63	35.36	27.04	
ST3	44.04	29.72	21.33	
ST4	-1.27	-1.15	-1.01	
ST5	22.74	31.23	45.84	
ST6	25.78	37.40	40.79	
DT1	-2.590	-2.069	-1.584	단위 : ㎜ (-)하향변위 (+)상향변위
DT2	-1.716	-2.056	-2.428	

② 8경간

구 분	L.C4	L.C5	L.C6	비 고
ST11	32.87	27.97	18.75	단위 : με (-)압축 (+)인장
ST12	33.96	25.44	17.26	
ST13	17.25	24.37	31.37	
ST14	19.56	26.52	30.55	
DT3	-2.245	-1.735	-1.255	단위 : ㎜ (-)하향변위 (+)상향변위
DT4	-1.339	-1.692	-2.084	

③ P7 지점

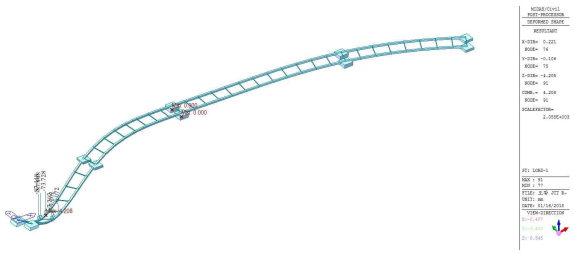
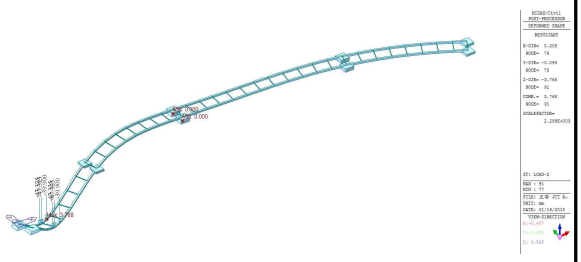
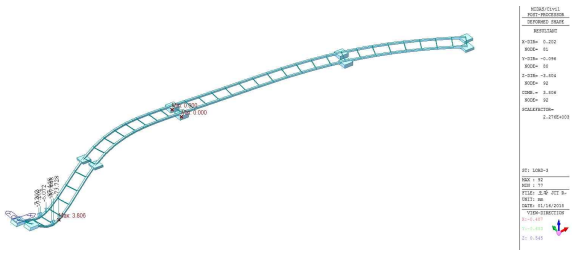
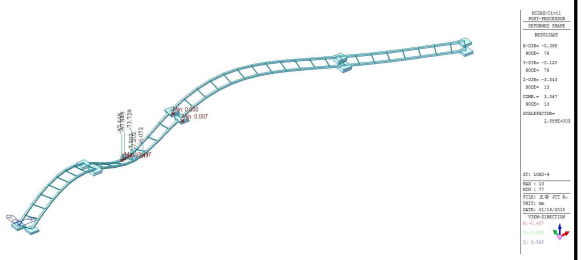
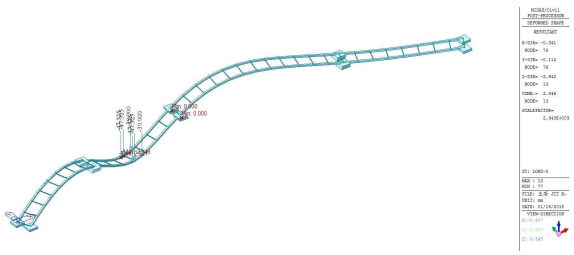
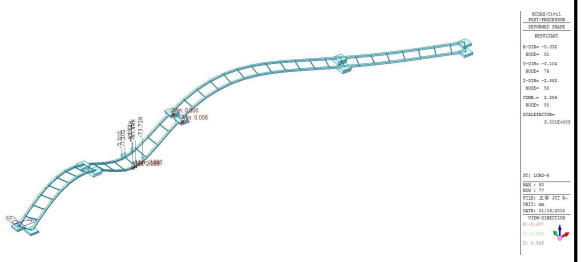
구 분	L.C1	L.C2	L.C3	비 고
ST7	3.82	2.04	0.36	단위 : με (-)압축 (+)인장
ST8	1.60	2.17	1.04	
ST9	0.17	1.46	1.59	
ST10	0.15	1.19	1.69	

L.C1 처짐	L.C2 처짐
	
L.C3 처짐	**L.C4 처짐**
	
L.C5 처짐	**L.C6 처짐**
	

* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

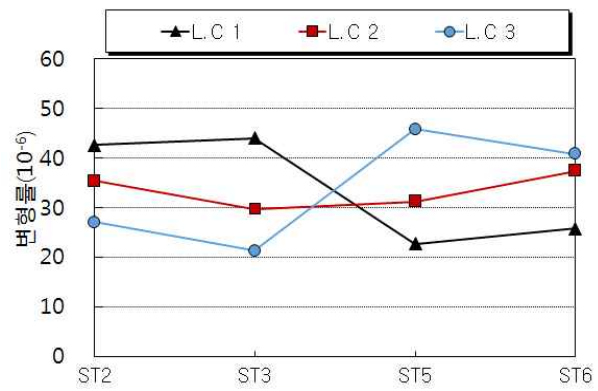
2) 구조해석에 의한 변위량

구 분	L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	L.C5	L.C6	비 고
G1(DT1)	-4.205	-3.765	-3.325	-	-	-	단위 : ㎜ (-)하향변위 (+)상향변위
G2(DT2)	-3.290	-3.547	-3.804	-	-	-	
G1(DT3)	-	-	-	-3.343	-2.942	-2.540	
G2(DT4)	-	-	-	-2.505	-2.694	-2.882	

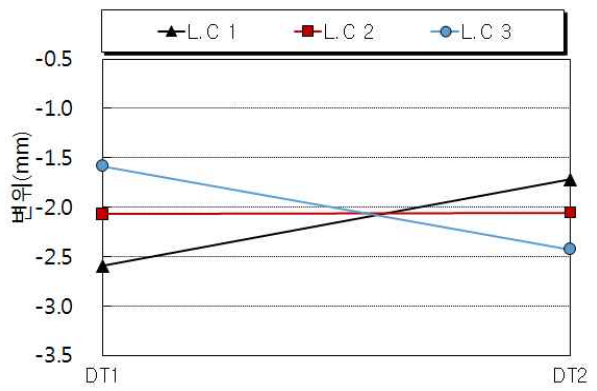
L.C1 하중재하 및 처짐	L.C2 하중재하 및 처짐
	
L.C3 하중재하 및 처짐	**L.C4 하중재하 및 처짐**
	
L.C5 하중재하 및 처짐	**L.C6 하중재하 및 처짐**
	

3) 하중 횡분배 검토 결과

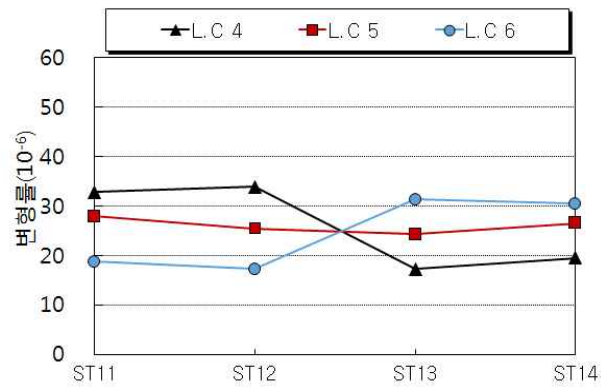
거시적 관점의 교량응답을 확인할 수 있는 처짐 계측치 및 단면응력에 의한 변형률을 이용하여 하중 횡분배 상태를 검토한 결과, 하중 횡분배는 대체로 대칭성을 보이고 있는 양호한 것으로 평가되었다.



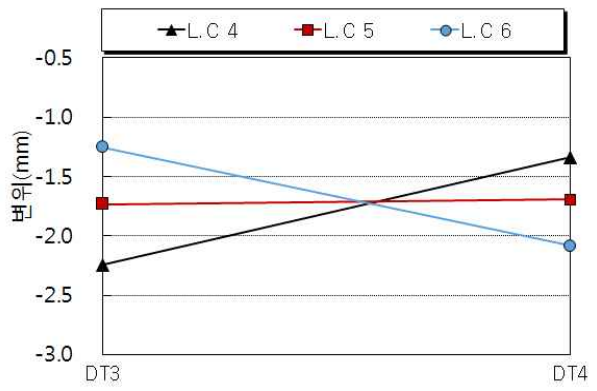
변형율 횡분배 현황(7경간)



처짐 횡분배 현황(7경간)



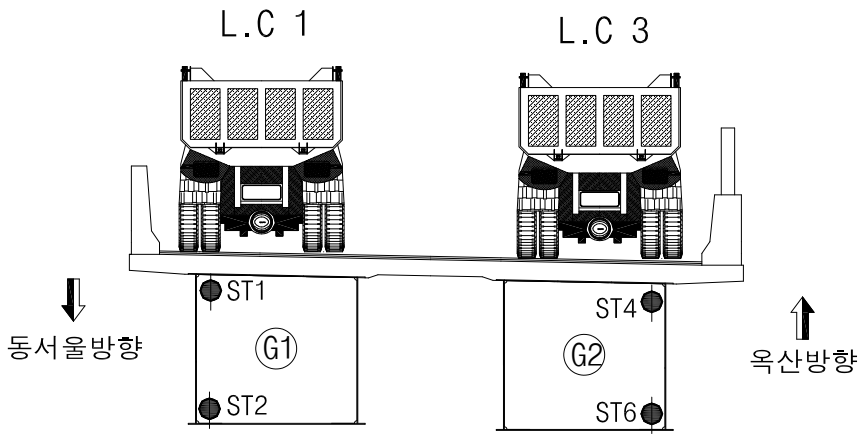
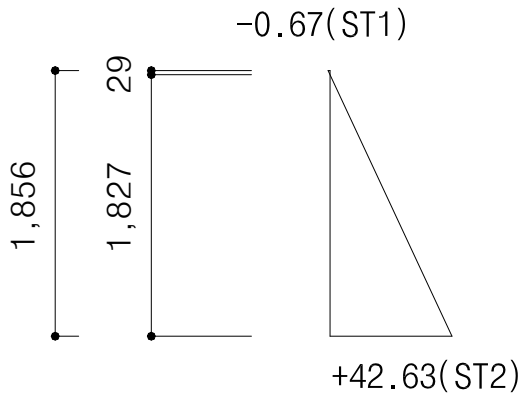
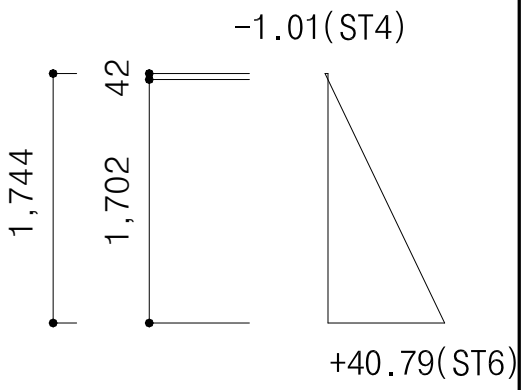
변형율 횡분배 현황(8경간)



처짐 횡분배 현황(8경간)

4) 중립축검토

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

<table>
<tr><th>구 분</th><th colspan="2">L.C 1/L.C 3</th></tr>
<tr><td>재하위치</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">중립축</td><td>L.C 1(7경간 - G1)</td><td>L.C 3(7경간 - G2)</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2"><table>
<tr><td rowspan="2">구분</td><td colspan="2">이론중립축위치
(mm)</td><td colspan="2">실측중립축위치
(mm)</td></tr>
<tr><td>G1</td><td>G2</td><td>G1</td><td>G2</td></tr>
<tr><td>7경간</td><td>1,532</td><td>1,507</td><td>1,827</td><td>1,702</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>검토 의견</td><td colspan="2">* 실측중립축이 이론중립축 대비 대체로 건전한 거동을 보이는 것으로 검토됨.</td></tr>
</table>

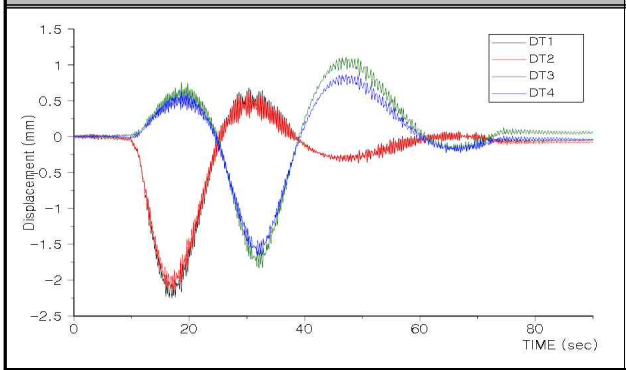
다. 동적 재하시험 결과

1) 동적처짐

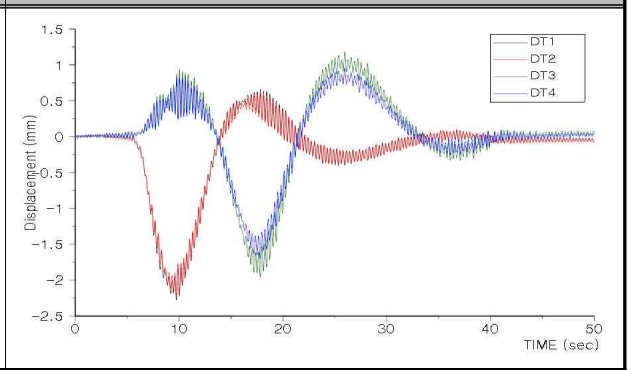
동적 그래프는 차량이 주행한 구간에 대하여 표시하였고, 각 주행속도에 따른 동적 최대값은 다음과 같다.

구 분		주행속도 (km/h)						비고
		10	20	30	40	50	60	
7경간	G1(DT1)	-2.253	-2.277	-2.160	-2.413	-2.206	-2.478	단위 : ㎜
	G2(DT2)	-2.127	-2.226	-2.061	-2.236	-2.060	-2.232	
8경간	G1(DT3)	-1.830	-1.957	-1.865	-2.027	-1.879	-1.896	
	G2(DT4)	-1.657	-1.699	-1.637	-1.710	-1.561	-1.517	

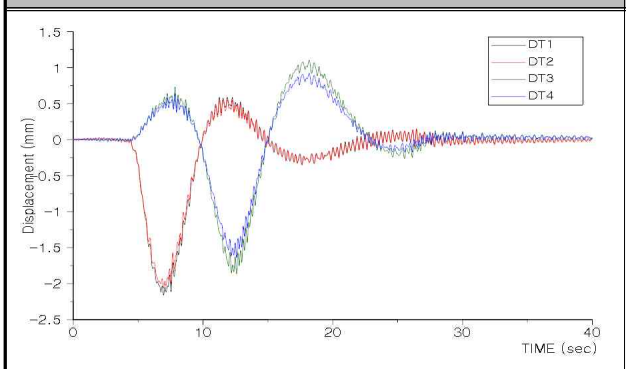
10km/hr



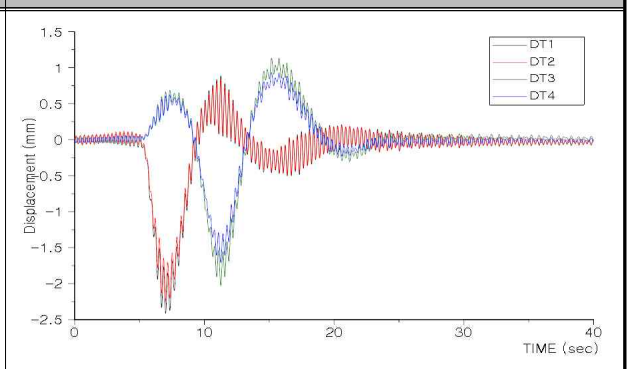
20km/hr



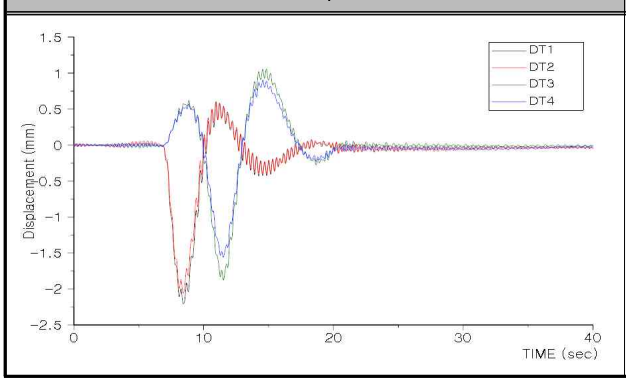
30km/hr



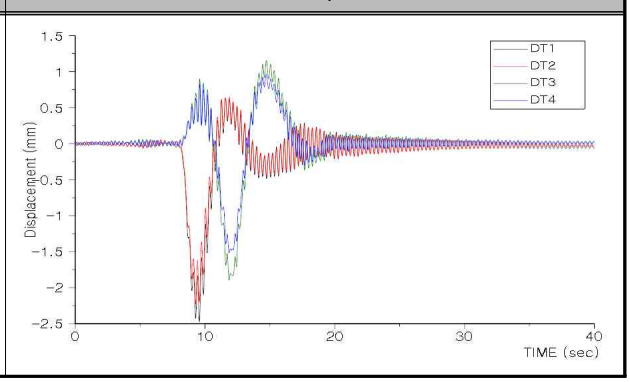
40km/hr



50km/hr



60km/hr



* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

2) 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.

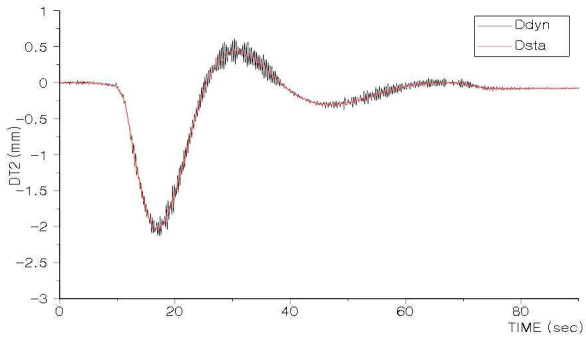
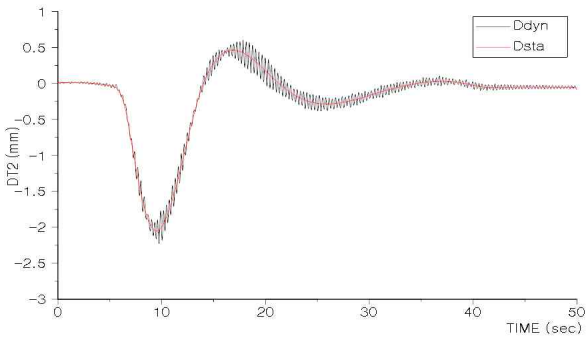
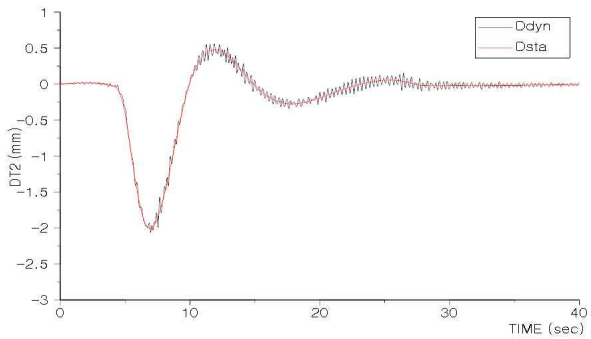
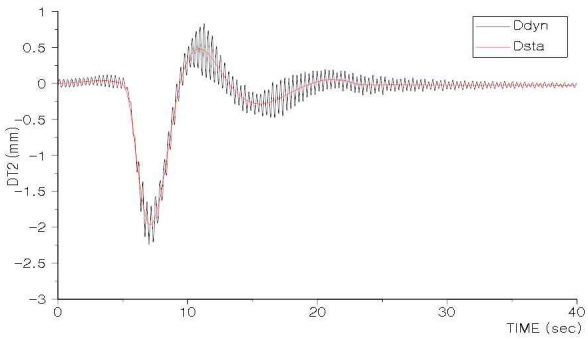
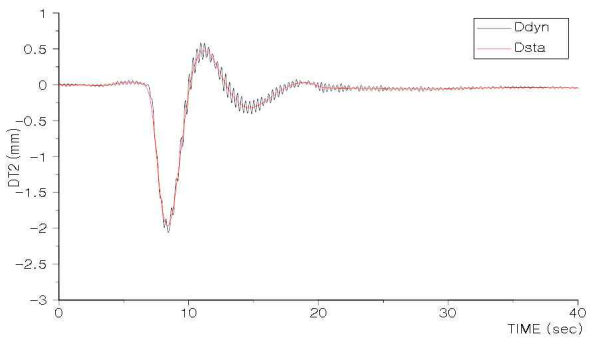
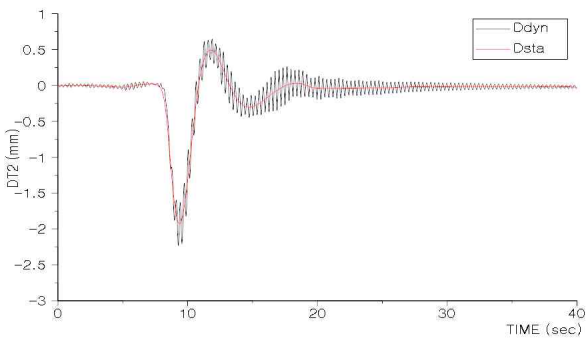
· 실측충격계수 i = (D−1)

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

구 분			주행속도 (km/h)						대표 충격계수
			10	20	30	40	50	60	
7경간	DT1	$\delta_{dyn(max)}$	-2.253	-2.277	-2.160	-2.413	-2.206	-2.478	0.155
		$\delta_{sta(max)}$	-2.157	-2.095	-2.104	-2.111	-2.115	-2.146	
		충격계수(i)	0.045	0.087	0.027	0.143	0.043	0.155	
	DT2	$\delta_{dyn(max)}$	-2.127	-2.226	-2.061	-2.236	-2.060	-2.232	0.159
		$\delta_{sta(max)}$	-2.024	-2.054	-2.010	-1.963	-1.967	-1.926	
		충격계수	0.051	0.084	0.025	0.139	0.047	0.159	
8경간	DT3	$\delta_{dyn(max)}$	-1.830	-1.957	-1.865	-2.027	-1.879	-1.896	0.138
		$\delta_{sta(max)}$	-1.722	-1.781	-1.793	-1.781	-1.805	-1.844	
		충격계수	0.063	0.099	0.040	0.138	0.041	0.028	
	DT4	$\delta_{dyn(max)}$	-1.657	-1.699	-1.637	-1.710	-1.561	-1.517	0.142
		$\delta_{sta(max)}$	-1.566	-1.531	-1.554	-1.498	-1.518	-1.493	
		충격계수	0.058	0.110	0.053	0.142	0.028	0.016	
계측결과			• 계산충격계수 : i = 15/(40+L) = 0.188(7경간, L=40.00), 0.188(8경간, L=40.00) • 실측충격계수 : 7경간-0.159(60km, DT2), 8경간 - 0.142(40km, DT4)						

3) 산정 결과

동적 재하시험시 시험차량의 주행위치가 교폭중앙으로 주행하였으므로, 실측 충격계수 산정을 위한 유효범위의 계측값은 DT1, DT2(7경간), DT3, DT4(8경간)를 이용하였다. 분석결과, 본 대상 교량의 실측 충격계수는 0.159(7경간), 0.142(8경간)로 가장 큰 값을 나타내었으며, 도로교설계기준 0.188(7경간), 0.188(8경간)보다 작은 값으로 조사되어 차량 통행시 충격에 의한 안전성에는 이상이 없는 것으로 판단된다.

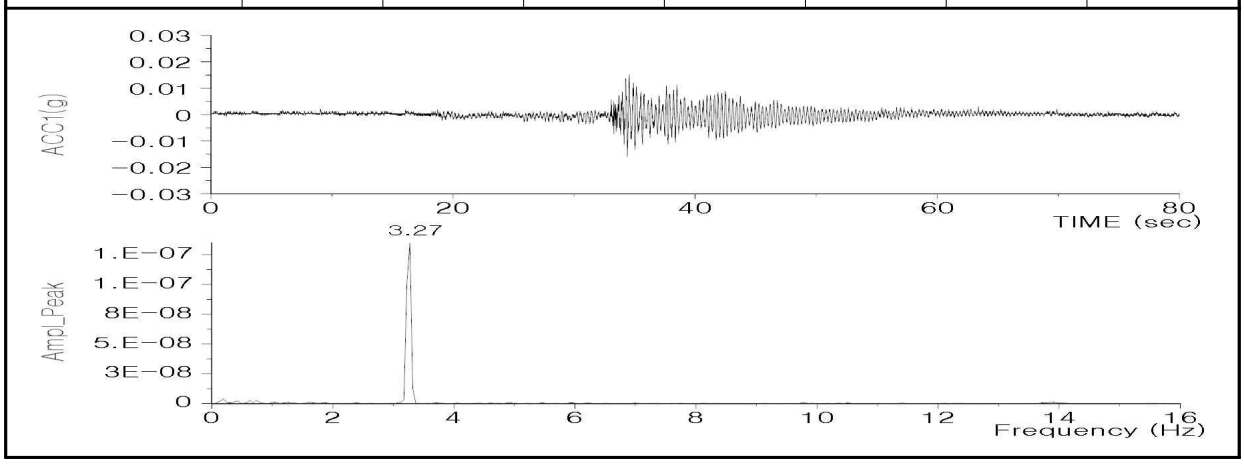
10km/hr, DT2	20km/hr, DT2
	
30km/hr, DT2	**40km/hr, DT2**
	
50km/hr, DT2	**60km/hr, DT2**
	

* 미 기재 그래프는 부록편 참조.

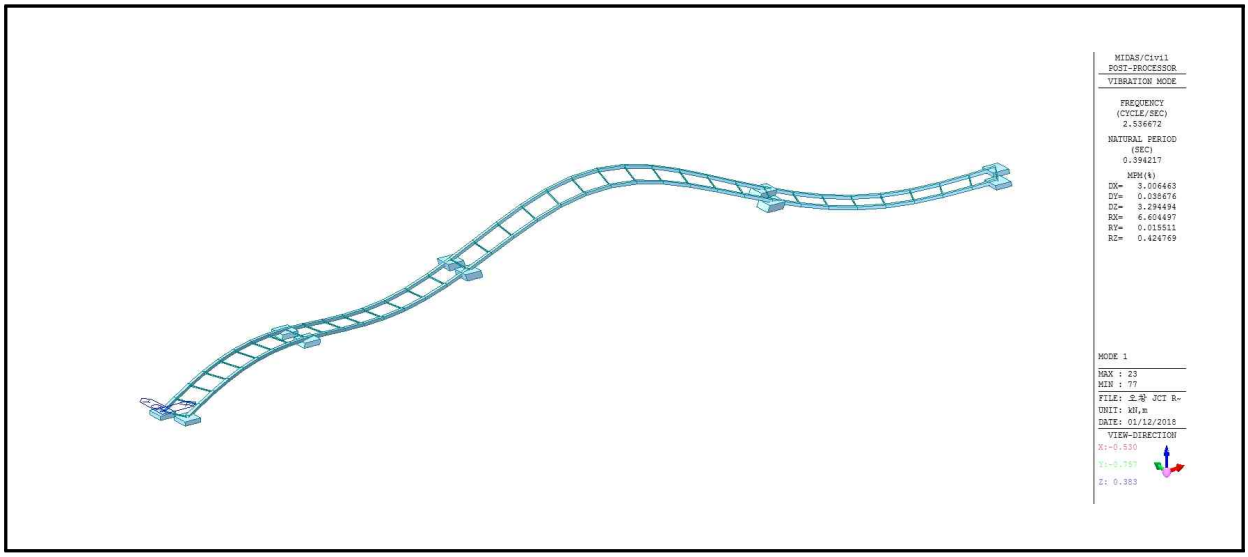
4) 고유진동수 산정 결과

① 재하시험에 의한 고유진동수 산정

구 분	10km	20km	30km	40km	50km	60km	비 고
고유진동수 (cycle/sec(Hz))	3.27	3.27	3.22	3.27	3.27	3.22	



② 구조해석에 의한 고유진동수 계산



③ 고유진동수 산정결과

동적 재하시험시 재하경간의 중앙부에 가속도계를 설치하여 고유진동수를 산정한 결과 실측 고유진동수는 3.22~3.27Hz로 구조해석에 의한 이론 고유진동수 2.537Hz보다 큰 것으로 나타나 교량의 강성은 양호한 것으로 판단된다.

5) 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.

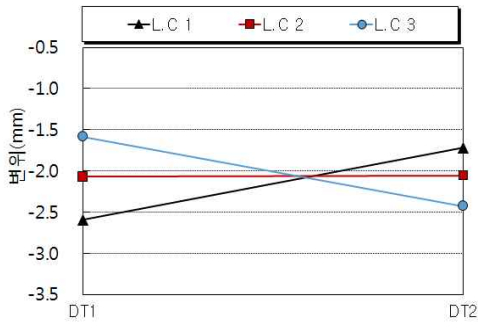
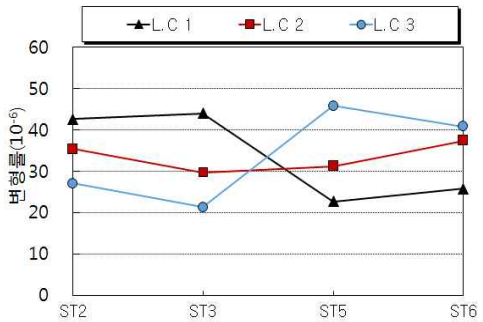
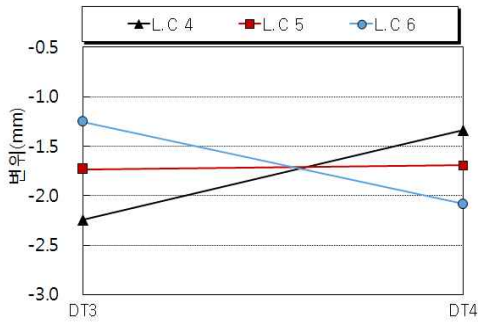
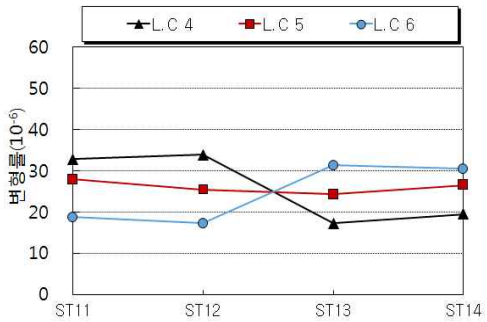
① 응답비 산정

구 분		처 짐(㎜)						비고
		7경간			8경간			
		L.C1	L.C2	L.C3	L.C4	L.C5	L.C6	
G1	계산처짐	-4.205	-3.765	-3.325	-3.343	-2.942	-2.540	DT1 / DT3
	실측처짐	-2.590	-2.069	-1.584	-2.245	-1.735	-1.255	
	응답비	**1.624**	1.820	2.099	**1.489**	1.696	2.024	
G2	계산처짐	-3.290	-3.547	-3.804	-2.505	-2.694	-2.882	DT2 / DT4
	실측처짐	-1.716	-2.056	-2.428	-1.339	-1.692	-2.084	
	응답비	1.917	1.725	**1.567**	1.871	1.592	**1.383**	

② 응답보정계수 산정

구 분		응답비	i(충격계수)		$\frac{1+i_{계산}}{1+i_{실측}}$	위치별 Ks
			계산	실측max		
응답 보정 계수	DT1(G1)	1.624	0.188	0.159	1.025	1.665
	DT2(G2)	1.567				1.606
	DT3(G1)	1.489	0.188	0.142	1.040	1.526
	DT4(G2)	1.383				1.418

라. 정·동적 재하시험 고찰

분석항목		분석결과
시험트럭		• 재하하중 : 설계하중의 약 62% • 총 중 량 : 269.10kN
정적 재하 시험	최대 응답	• 처 짐 : -2.590 ㎜(7경간), -2.245 ㎜(8경간) • 변형률 : 45.84 με(7경간), 33.96 με(8경간)
	횡방향 거동특성	 처짐(7경간)  변형률(7경간)  처짐(8경간)  변형률(8경간) • 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 0.159(7경간), 0.142(8경간)로 이론 충격계수 0.188(7경간), 0.188(8경간)보다 작게 나타나 이동하중에 대한 충격의 영향은 양호한 것으로 분석됨.
	고유 진동수	• 실측고유진동수(3.22~3.27Hz)가 이론 고유진동수(2.537Hz)보다 크게 나타나고 있어 교량의 강성은 양호한 것으로 판단됨.

14.5 안전성평가 및 내하력평가

14.5.1 BiCon Girder구간

오창JCT Ramp-D교는 연장 415.422m, 총폭 9.170m, 설계활하중 DB, DL-24의 1등교로서 평면선형은 사각이 90.000°이며 평면 선형 R=160m 인 직선~곡선교 이다. 상부구조는 Bicon+강박스(HD)로 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.

14.5.2 검토 조건

가. 기본 사항

1) 형　　식 : Bicon+강박스(HD) 거더
2) 연　　장 : 415.422m
3) 교　　폭 : B = 9.170m
4) 거더높이 : H = 2.500m
5) 거더간격 : 2.200m
6) 사　　각 : 90.000°
7) 교량등급 : 1등급 (DB-24, DL-24)
8) 단위중량
   - 철근 콘크리트 : W_{c1} = 2500.0kg/m³
   - 무근 콘크리트 : W_{c2} = 2350.0kg/m³
9) 사용 프로그램 : SAP2000
10) 구조 검토방식 : 강도설계법(바닥판), 허용응력설계법(거더)
11) 참고문헌
   ① 도로교 설계기준(2010)
   ② 콘크리 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 2.14.12】 콘크리트의 설계기준강도 및 탄성계수(단위 : ㎫)

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

② 허용응력

【표 2.14.13】 프리스트레스트 콘크리트의 허용응력(f_{ck} = 40 ㎫일 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

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

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

긴장력 및 강선에 대한 계수값 들은 도면에 표기된 값을 사용하였다.

① 극한강도 : f_{put} = 1900.0㎫

② 항복강도 : f_{pyt} = 1600.0㎫

③ 탄성계수 : Ep = 200,000㎫

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

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

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

3) PS 강봉(KS D 3505, 저릴렉세이션 강재)

① 극한강도 : f_{puc} = 1050.0㎫

② 항복강도 : f_{pyc} = 950.0㎫

③ 탄성계수 : Ep = 200,000㎫

④ 긴장시 최대응력 : MIN(0.94×f_{pyc}, 0.8×f_{puc}) = 840㎫

⑤ 정착 후 정착부에서의 허용응력 : MIN(0.74×f_{pyc}, 0.82×f_{puc}) = 777㎫

⑥ 사용하중 상태에서의 허용응력 : MIN(0.74×f_{pyc}, 0.82×f_{puc}) = 777㎫

4) 포스트텐션 긴장재 배치를 위한 쉬스 규격

구 분	단 위	강 연 선						강봉
PS강재 개수	개, ㎜	7	10	11	13	16	19	40
쉬스관 내경	㎜	65	75	75	85	85	100	50
쉬스관 외경	㎟	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

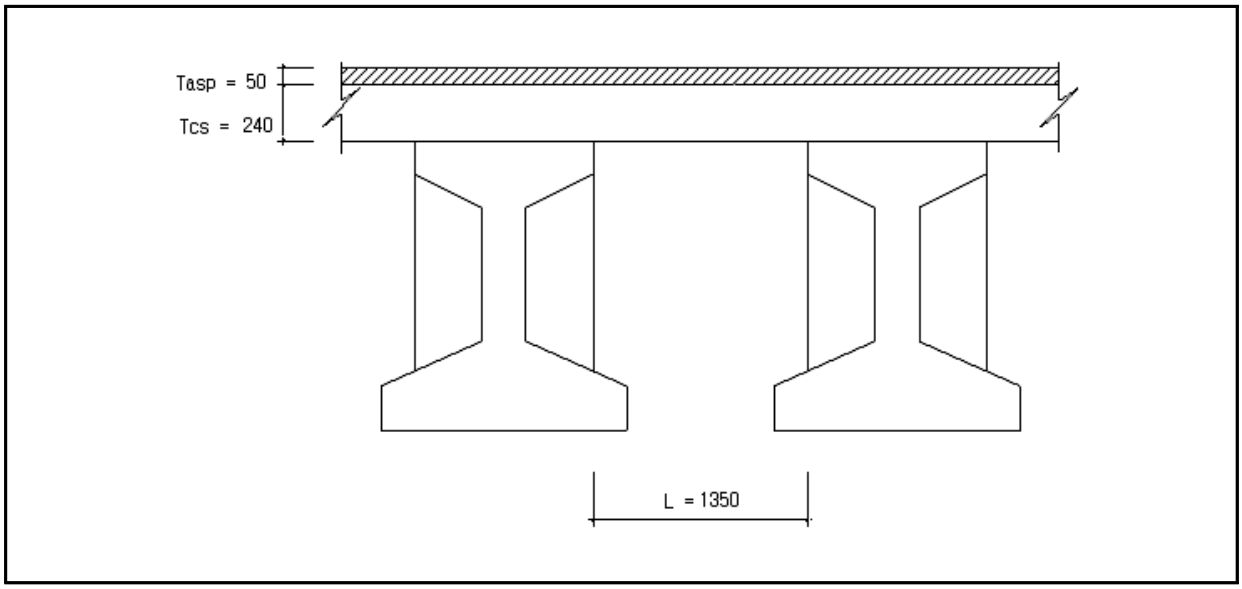
5) 철근

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

14.5.3 구조해석

가. 바닥판 검토

1) 단면제원



2) 좌측 켄틸레버부

① 검토조건

단위중량(콘크리트)	단위중량(아스팔트)	설계속도	후륜하중(Pr)	곡선 반경(R)	비 고
25.000kN/㎥	23.500kN/㎥	100.0㎞/hr	96.000kN	160	

② 하중산정

㉠ 고정하중

구 분	면적 (m2)	단위중량 (kN/m3)	하중 (kN)	작용거리 (m)	휨모멘트 (kN·m)
방호벽	0.394	25.000	9.850	0.690	6.797
바닥판	0.210	25.000	5.250	0.438	2.297
포 장	0.021	23.500	0.499	0.213	0.106
방음판			0.000	0.730	0.000
합 계			15.599		9.200

㉡ 차량충돌하중

구 분	h	H	M_{co} = H×h	곡선반경	적용 M_{co}
Case1	1.000m	10.000kN/m	10.000kN·m/m	R=160 ≤ 200m	11.700kN·m/m
Case2	1.170m	10.000kN/m	11.700kN·m/m		

※ Case1 : 수평충돌력 H가 노면상 1m 높이에 교축을 따라 1m 마다 작용시, 여기서 $H=(V/60)^2\times7500+2500$
Case2 : 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10kN/m의 수평하중 재하시

㉢ 풍하중

각 형 부 재	풍상측 부재(MPa)	재하위치(mm)	휨모멘트(kN·m)
활하중 재하시	0.0015	1500	2.970
활하중 비재하시	0.0030	805	3.188

㉣ 하중조합(도.설 2.2.3.2)

하중경우	고정하중	활 하 중	풍 하 중	원심하중	충돌하중	합 계(kN·m/m)
Case 1	1.30	2.15		1.30		4.75
Case 2	1.30		1.30			2.6
Case 3	1.30	1.30	0.65	1.30		4.55
Case 4	1.30	1.30		1.30		3.9
Case 5	1.25	1.25	0.625	1.25		4.375
Case 6	1.30	1.30		1.30	1.30	5.2
Case 7	1.20		1.20		1.20	3.6

③ 단면력 검토

㉠ 검토조건

콘크리트 설계기준강도	f_{ck} = 27.0㎫	철 근 의 항 복 강 도	f_y = 400.0㎫
설 계 모 멘 트	M_u = 43.525kN·m	휨 강 도 감 소 계 수	Φ_f = 0.85
부 재 높 이	h = 240.0㎜	부 재 폭	b = 1000.0㎜
인 장 피 복	d′ = 60.0㎜	유 효 높 이	d = 180.0㎜

㉡ 검토결과

구 분	폭(㎜)	높이(㎜)	피복(㎜)	사용철근량(㎟)	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	결과
휨 검 토	1000.0	240.0	60.0	H19@200 = 1,432.0	43.525	81.589	O.K S.F=1.875

사 용 성 검 토	M_{max}	허용최대중심간격	최대중심간격	결과
	33.481kN·m/m	419.707㎜	200㎜	O.K

바 닥 판 최소두께	h_{min} = (280L+180)	최소h	적용h	결과
	231.80㎜	220.0㎜	240.0㎜	O.K

3) 중앙부

① 검토조건

단위중량(콘크리트)	단위중량(아스팔트)	설계속도	후륜하중(Pr)	곡선 반경(R)	비 고
25.000kN/㎥	23.500kN/㎥	100.0㎞/hr	96.000kN	160	

② 하중산정

㉠ 고정하중

구 분	작용하중 (kN/㎡)	M_d = (1/10)×W_d×L^2
철근콘크리트	Wc × Tcs × 1m = 6.0	1.308kN·m
포장	Wasp × Tasp × 1m = 1.175	

㉡ 활하중

i = 15/(40+L)	M_{l+i} = (L+0.6)/9.6×P_r×(1+i)	연속바닥판 Ml+i
0.363>0.300 ∴ i = 0.300	25.350kN·m/m	20.280 kN·m/m

③ 하중조합

하중경우	수식	합 계(kN·m/m)
극한하중	$1.3M_d$ × $2.15M_l$	45.302
사용하중	M_d × M_l	21.588

④ 단면력 검토

㉠ 검토조건

콘크리트 설계기준강도	f_{ck} = 27.0㎫	철근의 항복강도	f_y = 400.0㎫
설계모멘트	M_u = 45.302kN·m	휨강도 감소계수	Φ_f = 0.85
부재높이	h = 240.0㎜	부재폭	b = 1000.0㎜
인장피복	d′ = 40.0㎜	유효높이	d = 200.0㎜

㉡ 검토결과

구 분	폭(㎜)	높이(㎜)	피복(㎜)	사용철근량(㎟)	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	결과
휨검토	1000.0	240.0	40.0	H16@200 = 993.000	45.302	64.602	O.K S.F=1.426

사용성 검토	M_{max}	허용최대중심간격	최대중심간격	결과
	21.588kN·m/m	532.585㎜	200㎜	O.K

바닥판 최소두께	h_{min} = (30L+130)	최소h	적용h	결과
	220.0㎜	220.0㎜	240.0㎜	O.K

4) 바닥판 검토결과

【표 2.14.14】 바닥판 검토결과

구 분	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	안전율	최소안전율
좌측 켄틸레버부	43.525	81.589	1.875	1.426
중앙부	45.302	64.602	1.426	

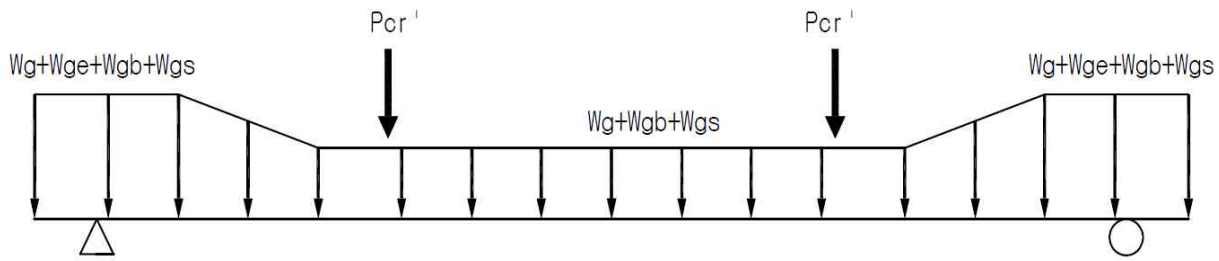
나. 거더 검토

1) 거더 자중

① 하중산정

구 분	산 출 근 거										
거더본체 (Wg)	Anet×wgc	=	0.838	×	25000					=	20961 N/m
단부보강 (Wge)	Avar×wgc	=	0.667	×	25000					=	16675 N/m
가 로 보 (Pcr')	Avar×Lcr×wgc×ea	=	0.667	×	1	×	25000	×	1 EA	=	10005 N
강 봉 (Wgb)	w1cm×Cea	=	102.1	×	2 EA					=	204 N/m
T1 강연선 (Wgs1)	w1tm×Tea	=	11.01	×	7 EA					=	77 N/m
T2~T4 강연선 (Wgs2)	w2tm×Tea	=	11.01	×	3 EA	×	17 EA			=	562 N/m

② 모델링



2) 합성전 고정하중

① 바닥판 콘크리트(Wsc)

㉠ G1 거더 : 0.24 × 2.350 × 25000 = 14100 N/m

㉡ G2 ~ G3 거더 : 0.24 × 2.150 × 25000 = 12900 N/m

㉢ G4 거더 : 0.24 × 2.520 × 25000 = 15120 N/m

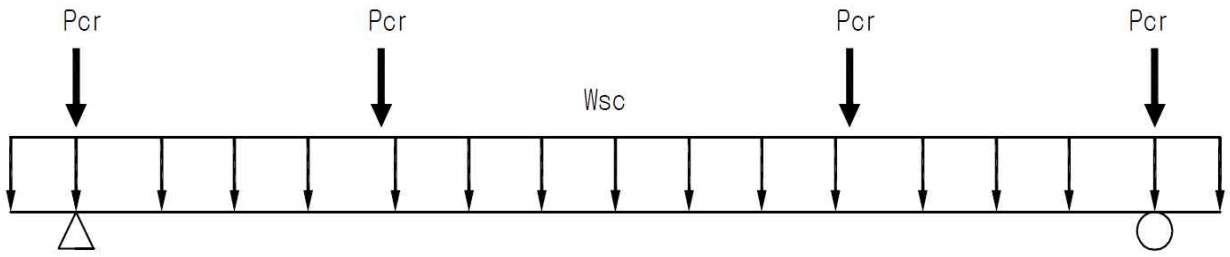
② 가로보 콘크리트(Pcr)

㉠ G1 거더 : 0.300 × 1.433 × 1.08 × 25000 = 11556 N

㉡ G2 ~ G3 거더 : 0.300 × 1.433 × 2.15 × 25000 = 23113 N

㉢ G4 거더 : 0.300 × 1.433 × 1.08 × 25000 = 11556 N

③ 모델링



3) 합성후 고정하중

① 좌측 캔틸레버 하중

- 방호벽 (좌) : A × w = 0.394 × 25000 = 9839 N/m

② 우측 캔틸레버 하중

- 중분대 (우) : A × w = 0.501 × 25000 = 12513 N/m

③ 중앙부 하중

- 콘크리트 포장 : t × w = 0.050 × 23500 = 1175 N/m^2

④ 기타 하중

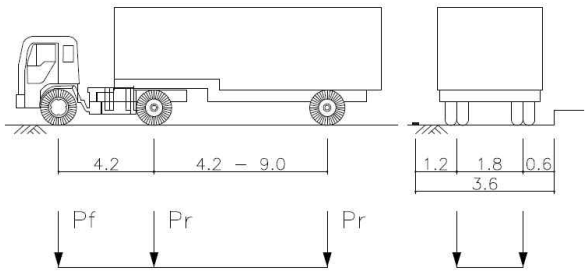
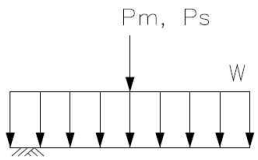
- 난간(좌) : 1000 N/m
- 난간(우) : 1000 N/m

4) 활하중

① 차로수 : 2 차로

② 차로폭 : 3.0m

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~G3	G4	저 항 단 면	비 고
거더 자중	4340.1	4340.1	4340.1	순 단 면	
합성전 고정하중	2792.0	2676.7	2985.8	PS강재 환산단면	
합성후 고정하중	1529.0	1773.7	2044.8	바닥판 합성단면	
DB 활하중	3017.0	2339.8	3011.6		
DL 활하중	2817.1	2160.1	2812.4		
군중하중	0.0	0.0	0.0		
MAX	3017.0	2339.8	3011.6		
합 계	11678.1	11130.3	12382.3		

② 지간지점부의 전단력 집계(kN)

구 분	G1	G2~G3	G4	저 항 단 면	비 고
거더 자중	475.8	475.8	475.8	순 단 면	
합성전 고정하중	280.7	263.1	300.6	PS강재 환산단면	
합성후 고정하중	165.0	165.1	237.8	바닥판 합성단면	
DB 활하중	371.1	347.8	365.6		
DL 활하중	346.2	306.8	341.3		
군중하중	0.0	0.0	0.0		
MAX	371.1	347.8	365.6		
합 계	1292.6	1251.8	1379.7		

6) 응력검토

① G1거더 응력산출

㉠ G1거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.840

하중 단계		바닥판		거더		PS 강재		비고
		상연	하연	상연	하연	강봉	강선	
1	fsw			13.510	-9.963	0.000	0.000	
2	fps			-11.538	26.874	408.169	-1229.171	
계				1.972	16.911	408.169	-1229.171	
응력 검토				-1.410	±19.200	±777.00	±1312.00	
				O.K	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	0.000	0.000	8.046	-5.678	45.918	-29.694	
4	fal	1.469	1.066	1.184	-2.180	6.152	-12.382	
5	fll	2.899	2.102	2.336	-4.301	12.139	-24.431	
6	fsh	0.102	0.023	0.025	-0.634	-0.135	3.767	
7	fcr	0.399	0.088	0.098	-2.493	-0.529	14.805	
8	frgb	-0.039	-0.034	-0.038	0.001	-0.230	-0.016	
9	frgs	0.047	0.010	0.012	-0.292	-0.062	1.733	
계		4.877	3.255	13.634	1.333	471.424	-1275.389	
응력 검토		10.800	-2.598	18.000	-3.162	±777.00	±1312.00	
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	

(+):압축, (-):인장

㉡ PS 강재 긴장시 응력검토

구 분		C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5
강선수	(EA)			7	17	17	17	0
P_{CT}	(kN)	-513.069	-513.069	1008.031	3039.025	2840.285	3000.846	±0.000
A_P	(m^2)	0.00126	0.00126	0.00097	0.00236	0.00236	0.00236	±0.0000
fps	(MPa)	-408.169	-408.169	1038.244	1288.869	1204.582	1272.677	0.000000
응 력 검 토		±777.00	±777.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	-
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	-

② G2~G6거더 응력산출

㉠ G2~G3거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.841

하중 단계		바닥판		거더		PS 강재		비고
		상연	하연	상연	하연	강봉	강선	
1	fsw			13.510	-9.963	0.000	0.000	
2	fps			-11.538	26.874	408.169	-1229.171	
계				1.972	16.911	408.169	-1229.171	
응력 검토				-1.410	19.200	±777.00	±1312.00	
				O.K	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	0.000	0.000	7.713	-5.443	44.022	-28.468	
4	fal	1.807	1.324	1.471	-2.557	7.710	-14.482	
5	fll	2.384	1.746	1.940	-3.373	10.171	-19.104	
6	fsh	0.113	0.031	0.035	-0.646	-0.080	3.829	
7	fcr	0.440	0.122	0.136	-2.514	-0.311	14.911	
8	frgb	-0.041	-0.036	-0.040	0.000	-0.240	-0.020	
9	frgs	0.052	0.015	0.016	-0.298	-0.037	1.769	
계		4.756	3.202	13.243	2.080	469.405	-1270.735	
응력 검토		10.800	-2.598	18.000	-3.162	±777.00	±1312.00	
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	

(+):압축, (-):인장

㉡ 내측거더 강선 응력검토

구 분		C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5
강선수	(EA)			7	17	17	17	0
P_{CT}	(kN)	-513.069	-513.069	1008.031	3039.025	2840.285	3000.846	0.000
A_P	(m^2)	0.00126	0.00126	0.00097	0.00236	0.00236	0.00236	0.00000
fps	(MPa)	-408.169	-408.169	1038.244	1288.869	1204.582	1272.677	0.00000
응 력 검 토		±777.00	±777.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	-
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	-

③ G4거더 응력산출

㉠ G4거더 중앙부 응력검토

▷ 유효율 : 0.845

하중 단계		바닥판		거더		PS 강재		비고
		상연	하연	상연	하연	강봉	강선	
1	fsw			13.510	-9.963	0.000	0.000	
2	fps			-11.538	26.874	408.169	-1229.171	
계				1.972	16.911	408.169	-1229.171	
응력 검토				-1.410	19.200	±777.00	±1312.00	
				O.K	O.K	O.K	O.K	
3	fbl	0.000	0.000	8.604	-6.072	49.106	-31.755	
4	fal	1.875	1.348	1.498	-2.891	7.726	-16.455	
5	fll	2.761	1.986	2.206	-4.257	11.378	-24.235	
6	fsh	0.093	0.016	0.018	-0.625	-0.174	3.718	
7	fcr	0.350	0.060	0.067	-2.350	-0.654	13.968	
8	frgb	-0.038	-0.034	-0.037	0.001	-0.224	-0.013	
9	frgs	0.044	0.007	0.008	-0.293	-0.082	1.743	
계		5.085	3.384	14.336	0.424	475.244	-1282.201	
응력 검토		10.800	-2.598	18.000	-3.162	±777.00	±1312.00	
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	

(+):압축, (-):인장

㉡ 내측거더 강선 응력검토

구 분		C1	C2	T1	T2	T3	T4	T5
강선수	(EA)			7	17	17	17	0
P_{CT}	(kN)	-513.069	-513.069	1008.031	3039.025	2840.285	3000.846	0.000
A_P	(m^2)	0.00126	0.00126	0.00097	0.00236	0.00236	0.00236	0.00000
fps	(MPa)	-408.169	-408.169	1038.244	1288.869	1204.582	1272.677	0.000000
응 력 검 토		±777.00	±777.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	±1312.00	-
		O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	O.K	-

7) 거더 안전성평가 결과

【표 2.14.15】 거더 안전성평가 결과

구 분		거더 응력 검토					
		바닥판		거더		PS강재	
		상연	하연	상연	하연	상연	하연
G1	응력	4.877	3.255	13.634	1.333	471.424	-1275.389
	허용응력	10.800	-	18.000	-	777.00	-
	안전율	2.214		1.320		1.648	
G2~G3	응력	4.756	3.202	13.243	2.080	469.405	-1270.735
	허용응력	10.800	-	18.000	-	777.00	
	안전율	2.271		1.359		1.655	
G4	응력	5.085	3.384	14.336	0.424	475.244	-1282.201
	허용응력	10.800	-	18.000	-	777.00	
	안전율	2.124		1.256		1.635	

다. 안전성평가 결과

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

【표 2.14.16】 안전성 평가 결과

	구 분	켄틸레버부		중앙부
바닥판	안전율	1.875		1.426
	최소안전율	S.F = 1.426		
거 더	구 분	G1	G2~G3	G4
	안전율	1.320	1.359	1.256
	최소안전율	S.F = 1.256		

14.5.4 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 2.14.17】 바닥판 기본내하율(극한강도설계법) 산정결과

구 분		ϕMn(kN·m)	M_d(kN·m)	M_l(1+i)(kN·m)	기본내하율(RF)
바닥판	-	-	-	-	-
	중앙부	64.602	45.302	20.280	53.854

【표 2.14.18】 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	11.298	2.336	2.869	
	하연	-3.162	5.634	-4.301	2.045	
G2~G3	상연	18.000	11.303	1.940	3.452	
	하연	-3.162	5.453	-3.373	2.554	
G4	상연	18.000	12.13	2.206	2.661	
	하연	-3.162	4.681	-4.257	1.842	

다. 내하력평가 결과

【표 2.14.19】 공용내하력 산정결과

구 분		응답보정계수 (Ks)	기본내하율 (RF)	공용내하율 (Ks×RF)	공용내하력 (P)
바닥판	켄틸레버	-	-	-	DB, DL-24 이상
	중 앙 부	-	53.854	-	DB, DL-24 이상
거 더	G1	3.381	2.045	6.914	DB, DL-24 이상
	G2~G3	2.523	2.554	6.444	DB, DL-24 이상
	G4	3.283	1.842	6.047	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			

14.5.5 강박스 거더 구간

오창JCT Ramp-D교는 연장 415.422m, 총폭 9.170m, 설계활하중 DB, DL-24의 1등교로서 평면선형은 사각이 90.000°이며 평면 선형 R=160m 인 직선~곡선교 이다. 상부구조는 Bicon+강박스 거더로 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.

14.5.6 검토 조건

가. 기본 사항

1) 형　　식 : Bicon+강박스 거더
2) 연　　장 : 415.422m
3) 교　　폭 : B = 9.170m
4) 거더높이 : H = 2.500m
5) 거더간격 : 2.200m
6) 사　　각 : 90.000°
7) 교량등급 : 1등급 (DB-24, DL-24)
8) 단위중량
   - 철근 콘크리트 : W_{c1} = 2500.0kg/㎥
   - 무근 콘크리트 : W_{c2} = 2350.0kg/㎥
   - 아 스 팔 트 : W_a = 2350.0kg/㎥
9) 사용 프로그램 : MIDAS CIVIL 2016
10) 구조 검토방식 : 강도설계법(바닥판), 허용응력설계법(거더)
11) 참고문헌
   ① 도로교 설계기준(2010)
   ② 콘크리 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) : 27,804MPa
- 전단탄성계수(G_c) : 11,916MPa

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 : $\ell/r \le 20$ 140-0.84(ℓ/r-20) : $20 < \ell/r \le 93$ $\frac{1,200,000}{6,700+(\ell/r)^2}$: $93 < \ell/r$	190 : $\ell/r \le 15.0$ 190-1.3(ℓ/r-15.0): $15.0 < \ell/r \le 80$ $\frac{1,200,000}{5,000+(\ell/r)^2}$: $80 < \ell/r$	210 : $\ell/r \le 14$ 210-1.3(ℓ/r-14): $15 < \ell/r \le 76$ $\frac{1,200,000}{4,500+(\ell/r)^2}$: $76 < \ell/r$	260 : $\ell/r \le 18$ 260-2.2(ℓ/r-18): $18 < \ell/r \le 67$ $\frac{1,200,000}{3,500+(\ell/r)^2}$: $67 < \ell/r$
40초과 75이하	130 : $\ell/r \le 2$ 130-0.75(ℓ/r-20) : $20 < \ell/r \le 97$	175 : $\ell/r \le 15$ 175-1.1(ℓ/r-15) : $15 < \ell/r \le 83$	200 : $\ell/r \le 14$ 200-1.40(ℓ/r-14): $14 < \ell/r \le 78$ $\frac{1,200,000}{4,700+(\ell/r)^2}$: $78 < \ell/r$	250 : $\ell/r \le 18$ 250-2.1(ℓ/r-18) : $18 < \ell/r \le 69$ $\frac{1,200,000}{3,600+(\ell/r)^2}$: $69 < \ell/r$
75초과 100이하	$\frac{1,200,000}{7,300+(\ell/r)^2}$: $97 < \ell/r$	$\frac{1,200,000}{5,300+(\ell/r)^2}$: $83 < \ell/r$	195 : $\ell/r \le 14$ 195-1.3(ℓ/r-14): $14 < \ell/r \le 79$ $\frac{1,200,000}{4,900+(\ell/r)^2}$: $79 < \ell/r$	245 : $\ell/r \le 18$ 245-2.2(ℓ/r-18) : $18 < \ell/r \le 69$ $\frac{1,200,000}{3,700+(\ell/r)^2}$: $69 < \ell/r$

여기서, ℓ : 부재의 유효좌굴길이(mm)

r : 부재 총단면의 단면회전반경(mm)

• 허용휨압축응력(MPa)

ⓐ 압축플랜지가 콘크리트 바닥판 등에 직접 고정되어 있는 경우, 상자형 단면, π형 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
$\frac{A_w}{A_c} \le 2$	40이하	140 : $\ell/b \le 4.5$ 140-2.4(ℓ/b-4.5) : $4.5 < \ell/b \le 30$	190 : $\ell/b \le 4.0$ 190-3.8(ℓ/b-4.0) : $4.0 < \ell/b \le 30$	210 : $\ell/b \le 3.5$ 210-4.4(ℓ/b-3.5): $3.5 < \ell/b \le 27$	260 : $\ell/b \le 5.0$ 260-6.6(ℓ/b-5.0): $5.0 < \ell/b \le 25$
	40초과 75이하	130 : $\ell/b \le 5.0$ 130-2.2(ℓ/b-5.0): $5.0 < \ell/b \le 30$	175 : $\ell/b \le 4.0$ 175-3.5(ℓ/b-4.0): $4.0 < \ell/b \le 30$	200 : $\ell/b \le 4.0$ 200-4.2(ℓ/b-4.0): $4.0 < \ell/b \le 27$	260 : $\ell/b \le 3.4$ 260-6.25(ℓ/b-3.4): $3.4 < \ell/b \le 25$
	75초과 100이하			195 : $\ell/b \le 4.0$ 195-4.0(ℓ/b-4.0): $4.0 < \ell/b \le 27$	250 : $\ell/b \le 5.0$ 250-6.0(ℓ/b-5.0): $5.0 < \ell/b \le 25$
$\frac{A_w}{A_c} > 2$	40이하	140 : $\ell/b \le 9/K$ 140-1.2(Kℓ/b-9): $9/K < \ell/b \le 30$	190 : $\ell/b \le 8.0/K$ 190-1.9(Kℓ/b-8): $8/K < \ell/b \le 30$	210 : $\ell/b \le 7/K$ 210-2.2(Kℓ/b-7): $7/K < \ell/b \le 27$	260 : $\ell/b \le 10/K$ 260-3.3(Kℓ/b-10): $10/K < \ell/b \le 25$
	40초과 75이하	130 : $\ell/b \le 10/K$ 130-1.1(Kℓ/b-10): $10/K < \ell/b \le 30$	175 : $\ell/b \le 8/K$ 175-1.75(Kℓ/b-8): $8/K < \ell/b \le 30$	200 : $\ell/b \le 8/K$ 200-2.1(Kℓ/b-8): $8/K < \ell/b \le 27$	250 : $\ell/b \le 10/K$ 250-3.1(Kℓ/b-1): $10/K < \ell/b \le 25$
	75초과 100이하			195 : $\ell/b \le 8/K$ 195-2.0(Kℓ/b-8): $8/K < \ell/b \le 27$	245 : $\ell/b \le 10/K$ 245-3(Kℓ/b-10): $10/K < \ell/b \le 25$
비 고		A_w : 복부판의 총 단면적(㎟) A_c : 압축플랜지의 총 단면적(㎟) ℓ : 압축플랜지의 고정점간의 거리(㎜) b : 압축플랜지의 폭(㎜)		$K : \sqrt{3 + \frac{A_w}{2A_c}}$	

- 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

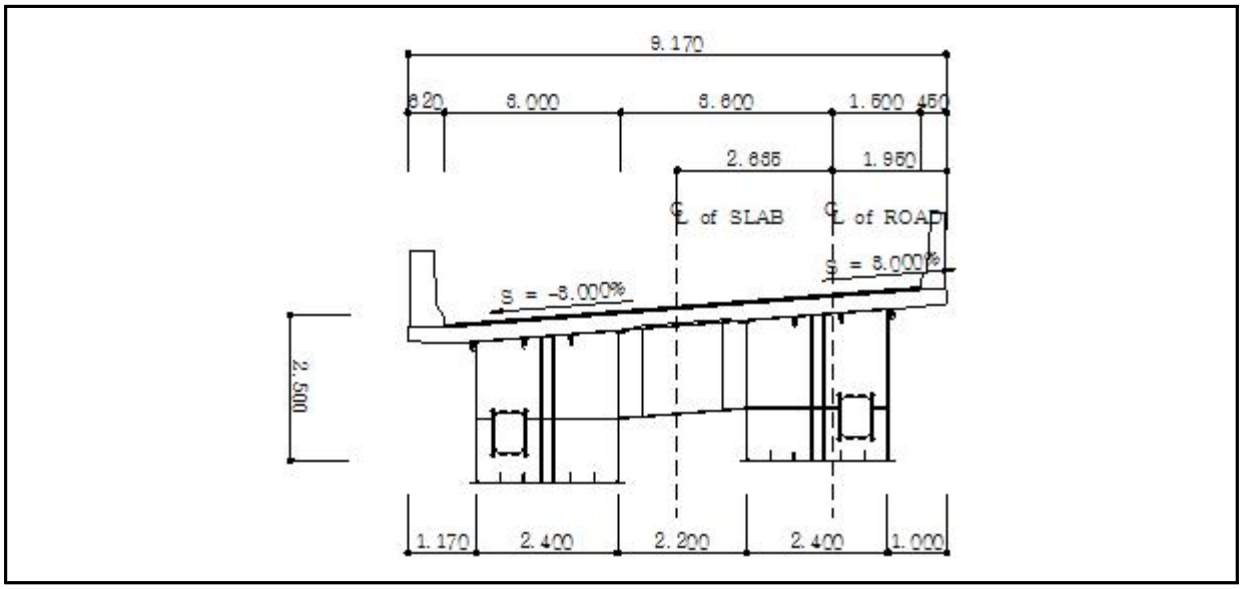
- 강재 주거더의 허용응력 증가율

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

구조해석

다. 바닥판 검토

1) 단면제원



2) 좌측 켄틸레버부

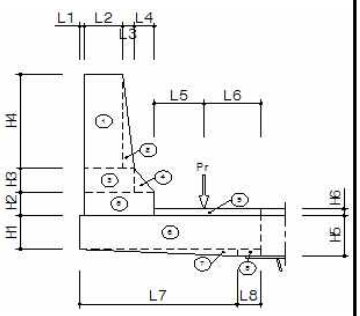
① 검토조건

단위중량(콘크리트)	단위중량(무근콘크리트)	설계속도	후륜하중(Pr)	곡선 반경(R)	비 고
25.000kN/㎥	23.500kN/㎥	60.0㎞/hr	96.000kN	160.000m	

② 하중산정

㉠ 고정하중

NO.	산식	작용하중 (kN)	작용거리 (m)	모멘트 (kN·m)
1	0.230 × 0.970 × 25.0	5.578	0.795	4.434
2	0.070 × 0.970 × 1/2 × 25.0	0.849	0.657	0.557
3	0.175 × 0.300 × 25.0	1.313	0.760	0.998
4	0.175 × 0.120 × 1/2 × 25.0	0.263	0.570	0.150
5	0.175 × 0.420 × 25.0	1.838	0.700	1.286
6	0.240 × 0.940 × 25.0	5.640	0.470	2.651
7	0.830 × 0.050 × 1/2 × 25.0	0.519	0.387	0.201
8	0.110 × 0.050 × 25.0	0.138	0.055	0.008
9	0.490 × 0.050 × 23.5	0.576	0.245	0.141
합계		16.711		10.425



㉡ 차량충돌하중

구 분	h	H	M_{co} = H×h	곡선반경	적용 M_{co}
Case1	1.195m	10.000kN/m	11.950kN·m/m	R=160 ≤ 200m	29.300kN·m/m
Case2	1.465m	10.000kN/m	14.650kN·m/m		

※ Case1 : 수평충돌력 H가 노면상 1m 높이에 교축을 따라 1m 마다 작용시, 여기서 $H=(V/60)^2\times7500+2500$
Case2 : 방호벽 상단에 횡방향으로 H = 10kN/m의 수평하중 재하시

㉢ 원심하중(도.설.해 2.1.17)

곡선반경(R)	CF = $0.79\times V^2/R$	Pcf = Pr/E×CF/100	Mcf = Pcf×1.995
160	17.775 %	13.207 kN/m	26.349kN·m

※ 원심하중은 교면상 1.8m 높이에 작용하는 것으로 한다.

㉣ 풍하중

방호벽 높이	P_w = 방호벽 높이×3.0	M_w = P_w×작용높이
1.270m	3.810kN/m	3.162kN·m/m

㉤ 하중조합(도.설 2.2.3.2)

하중경우	고정하중	활 하 중	차량충돌하중	풍 하 중	원심하중	합 계(kN·m/m)
Case 1	1.30	2.15			1.30	4.75
Case 2	1.30	1.30	1.30		1.30	5.2
Case 3	1.30	1.30		0.65	1.30	4.55
Case 4	1.20		1.20	1.20		3.6
Case 5	1.30			1.30		2.6
Case 6	1.00	1.00		0.30	0.00	2.3
Case 7	1.00	1.00	0.00		0.00	2.0

③ 단면력 검토

㉠ 검토조건

콘크리트 설계기준강도	f_{ck} = 27.0㎫	철 근 의 항 복 강 도	f_y = 400.0㎫
설 계 모 멘 트	M_u = 109.8kN·m	휨 강 도 감 소 계 수	Φ_f = 0.85
부 재 높 이	h = 290.0㎜	부 재 폭	b = 1000.0㎜
인 장 피 복	d′ = 60.0㎜	유 효 높 이	d = 230.0㎜

㉡ 검토결과

구 분	폭(㎜)	높이(㎜)	피복(㎜)	사용철근량(㎟)	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	결과
휨 검 토	1000.0	290.0	60.0	H16@300 = 662.00 H19@300 = 955.00	109.8	118.702	O.K S.F=1.081
사 용 성 검 토	허용최대중심간격			최대중심간격			결과
	717.7㎜			150㎜			O.K

3) 중앙부

① 검토조건

단위중량(콘크리트)	단위중량(무근콘크리트)	설계속도	후륜하중(Pr)	곡선 반경(R)	비 고
25.000kN/㎥	23.500kN/㎥	60.0㎞/hr	96.000kN	160.000m	

② 하중산정

㉠ 고정하중

구 분	작용하중 (kN/㎡)	계산지간(L)	바닥판 지점수(n)	M_d = (1/10)×W_d×L^2
철근콘크리트	0.290 × 25.000 = 7.250	2.400m	4	4.853kN·m
포장	0.050 × 23.500 = 1.175			

㉡ 활하중(도.설 2.1.4)

i = 15/(40+L)	M_{l+i} = (L+0.6)/9.6×P_r×(1+i)	연속바닥판 Ml+i
0.354>0.300 ∴ i = 0.300	39.000kN·m/m	31.200 kN·m/m

③ 하중조합(도,설 2.2.3.2)

하중경우	고정하중	활 하 중	풍 하 중	원심하중	합 계(kN·m/m)
Case 1	1.30	2.15		1.30	4.75
Case 2	1.30	1.30		1.30	3.9
Case 3	1.30		1.30		2.6
Case 4	1.00	1.00	0.00	0.00	2.0

④ 단면력 검토

㉠ 검토조건

콘크리트 설계기준강도	f_{ck} = 27.0MPa	철근의 항복강도	f_y = 400.0MPa
설계모멘트	M_u = 73.4kN·m	휨강도 감소계수	Φ_f = 0.85
부재높이	h = 290.0㎜	부재폭	b = 1000.0㎜
인장피복	d′ = 50.0㎜	유효높이	d = 240.0㎜

㉡ 검토결과

구 분	폭(㎜)	높이(㎜)	피복(㎜)	사용철근량(㎟)	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	결과
휨검토	1000.0	290.0	50.0	H16@150 = 1,324.00	73.4	102.844	O.K S.F=1.401

사용성 검토	허용최대중심간격	최대중심간격	결과
	510.5㎜	150㎜	O.K

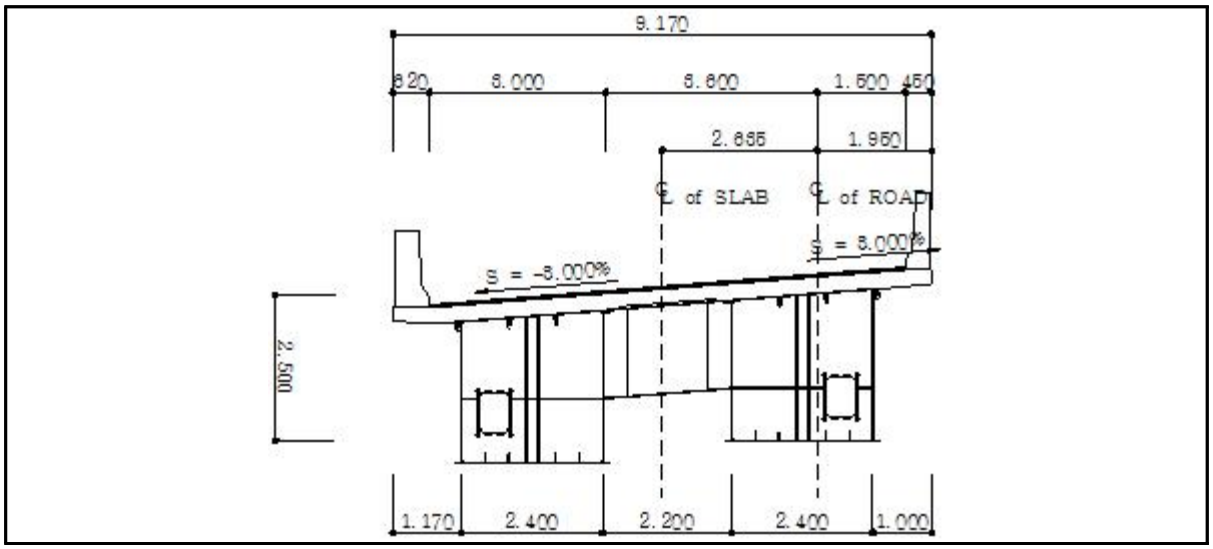
4) 바닥판 검토결과

【표 2.14.20】 바닥판 검토결과

구 분	M_u(kN·m)	ΦM_n(kN·m)	안전율	최소안전율
좌측 켄틸레버부	109.8	118.702	1.081	1.081
중앙부	73.4	102.844	1.401	

라. 거더 검토

1) 해석단면

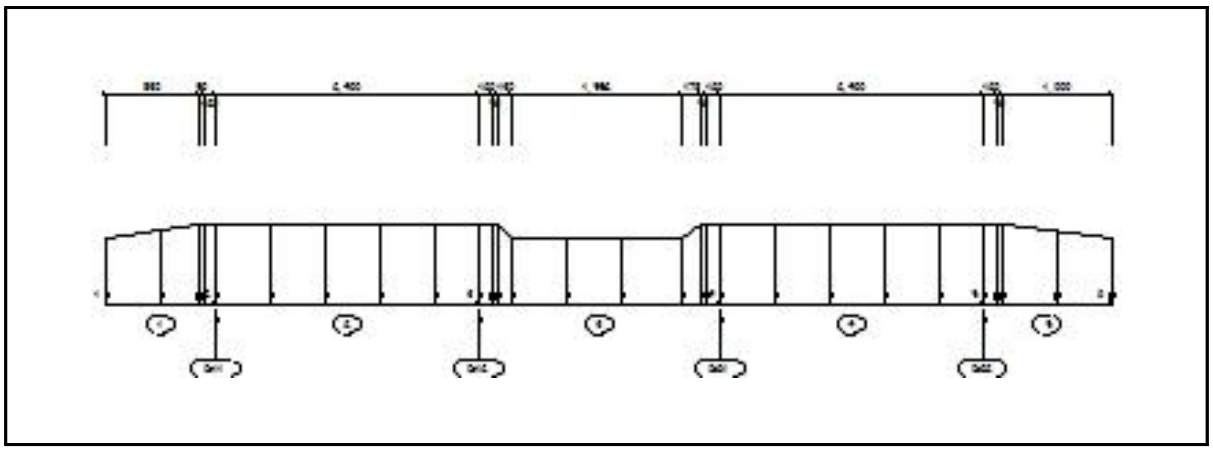


【그림 2.14.8】 해석단면

2) 하중산정

① 합성전 고정하중

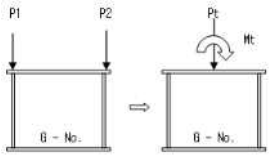
- 강재 자중 : 프로그램 내에서 자동 고려
  - 각종 보강재 및 현장이음재 등의 부부재 하중으로 주부재 자중을 42.708% 할증 적용
  - 총 강재중량 / 모델링 강재중량 = 5212.760kN / 3652.750kN = 1.42708
- 바닥판 자중
  - 횡방향 하중분배(STA. 0k+564.420)



【그림 2.14.9】 바닥판 자중 횡방향 하중분배

하 중 명	재하부재	작용하중 좌측 제원		작용하중 우측 제원		비 고
		위치(m)	하중(kN/m²)	위치(m)	하중(kN/m²)	
W1	1	0.000	-6.000	0.830	-7.250	분포하중
W2	1	0.830	-7.250	0.880	-7.250	분포하중
W3	1	0.880	-7.250	1.000	-7.250	분포하중
W4	2	0.000	-7.250	2.400	-7.250	분포하중
W5	3	0.000	-7.250	0.120	-7.250	분포하중
W6	3	0.120	-7.250	0.170	-7.250	분포하중
W7	3	0.170	-7.250	0.300	-6.000	분포하중
W8	3	0.300	-6.000	1.852	-6.000	분포하중
W9	3	1.852	-6.000	2.030	-7.250	분포하중
W10	3	2.030	-7.250	2.080	-7.250	분포하중
W11	3	2.080	-7.250	2.200	-7.250	분포하중
W12	4	0.000	-7.250	2.400	-7.250	분포하중
W13	5	0.000	-7.250	0.120	-7.250	분포하중
W14	5	0.120	-7.250	0.170	-7.250	분포하중
W15	5	0.170	-7.250	1.170	-6.000	분포하중

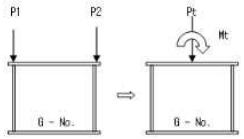
- 거더별 작용하중(Sta. 0+549.97)

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN・m)	
G1	2.400	26.536	28.391	54.927	2.226	
G2	2.400	26.575	29.686	56.261	3.733	

【그림 2.14.10】 합성전 고정하중(바닥판 자중) 재하도

② 합성후 고정하중

- 거더별 작용하중(Sta. 0+549.97)

구 분	거더폭 (m)	바닥판 자중				기호 정의
		P1 (kN/m)	P2 (kN/m)	Pt (kN/m)	Mt (kN・m)	
G1	2.400	15.647	-0.420	15.227	-19.280	
G2	2.400	-3.984	21.625	17.641	30.731	

③ 활하중

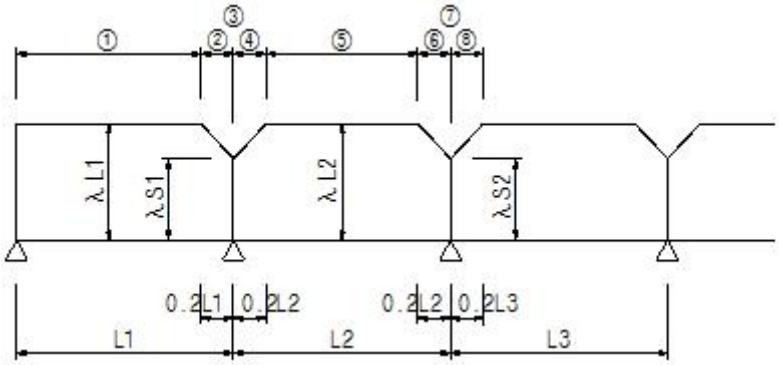
구 분	활 하 중			
• 교 폭	• 9.170m			
• 지간장(L)	• 39.450m+40.000m+60.000m+39.450m			
• 연석간 교폭(W_c)	• 8.100m			
• 설계 차로수(N)	• 6.0 ≤ W_c < 9.1 m ∴ 2차로 재하			
• 설계 차로폭(W)	• 8.100m / 2 = 4.050m > 3.600m 이므로, ∴ W = 3.600m → 설계차로폭 W=3.0m			
• 충격계수(i)	• 제1지간 15 / (40+40.200) = 0.189 < 0.3 ∴ i = 0.189 적용			
	• 제2지간 15 / (40+40.000) = 0.188 < 0.3 ∴ i = 0.188 적용			
	• 제3지간 15 / (40+60.000) = 0.150 < 0.3 ∴ i = 0.150 적용			
	• 제4지간 15 / (40+40.100) = 0.189 < 0.3 ∴ i = 0.189 적용			
• 활하중 크기	표준차로하중(DL-24)		표준트럭하중(DB-24)	
	P_m	36.0kN	P_f	24 kN
	P_s	52.0kN	P_r	96 kN
	W_ℓ	4.23kN/m		
• 재하방법	• 해석프로그램의 이동하중해석 기능을 사용 • DB-24, DL-24 • DB-24, DL-24하중에 대하여 독립적으로 1~2개 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)

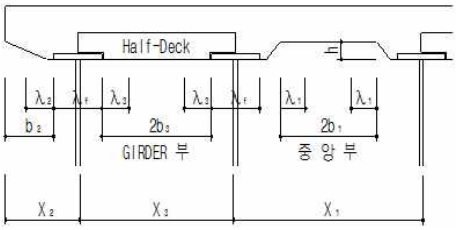
① 플랜지 유효폭

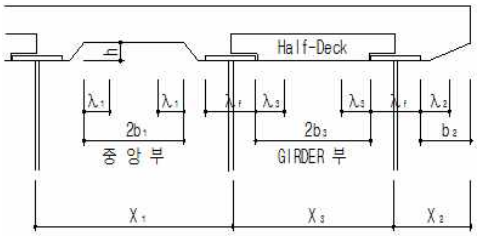
【표 2.14.21】 플랜지의 유효폭 산정

구 분	플랜지(m)		비 고
	상부	하부	
제1지간 중앙부	2.640	2.640	
제1중간 지점부	2.266	2.266	
제2지간 중앙부	2.640	2.640	
제2중간 지점부	2.362	2.362	
제3지간 중앙부	2.640	2.640	
제3중간 지점부	2.360	2.360	상부 : 복부간격 2b = 2.400m , 플랜지돌출폭 be = 0.120m 하부 : 복부간격 2b = 2.400m , 플랜지돌출폭 be = 0.120m L1 = 39.450m, L2 = 40.000m, L3 = 60.000m, L4 = 39.450m
제4지간 중앙부	2.640	2.640	

② 바닥판 유효폭

【표 2.14.22】 바닥판의 유효폭 산정

구 분	바닥판(m)
	G1
개 요	 X_1=2.200m, X_2=1.000m, h=0.050m, b_e=0.120m
제1지간 중앙부	4.500
제1중간 지점부	3.931
제2지간 중앙부	4.500
제2중간 지점부	4.085
제3지간 중앙부	4.500
제3중간 지점부	4.082
제4지간 중앙부	4.500

구 분	바닥판(m)
	G2
개 요	 X_1=2.200m, X_2=1.170m, h=0.000m, b_e=0.120m
제1지간 중앙부	4.670
제1중간 지점부	4.053
제2지간 중앙부	4.670
제2중간 지점부	4.218
제3지간 중앙부	4.670
제3중간 지점부	4.215
제4지간 중앙부	4.670

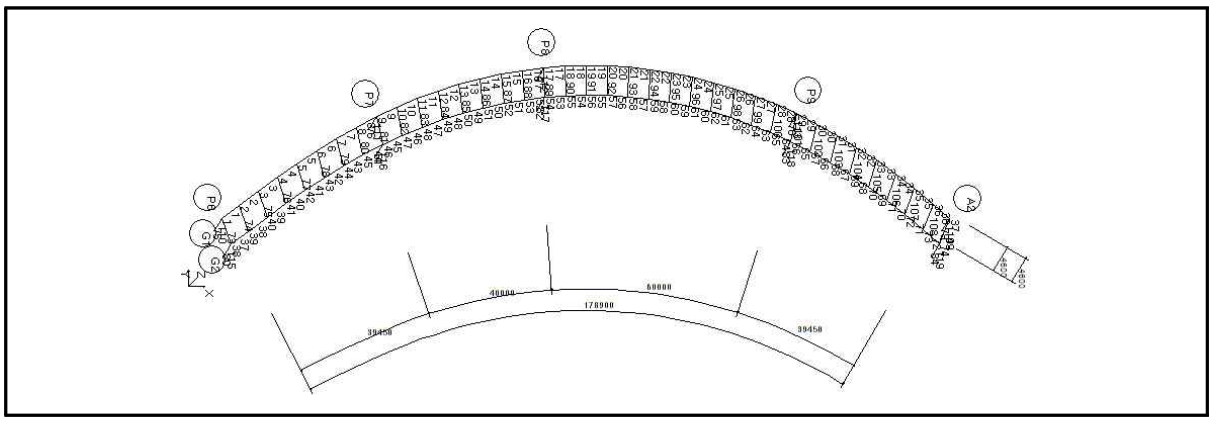
4) 모델링 및 단면 제정수

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 2.14.11】 해석모델링(상부구조)

5) 구조해석 결과

① 단면력 산정결과

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

㉠ 중앙부 정모멘트부

【표 2.14.23】 중앙부 정모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
G1	휨모멘트(kN・m)	1,699.410	662.729	1,382.770	3,744.909
	전단력(kN)	-607.712	-244.143	-563.475	-1,415.330
	비틀림모멘트(kN・m)	-224.516	-24.272	-587.356	-836.144
G2	휨모멘트(kN・m)	2,698.590	987.299	3,351.790	7,037.679
	전단력(kN)	625.040	265.467	515.187	1,405.694
	비틀림모멘트(kN・m)	482.504	46.769	852.959	1,382.232

㉡ 지점부 부모멘트부

【표 2.14.24】 지점부 부모멘트부 단면력 산정결과

구 분		합 성 전 고정하중	합 성 후 고정하중	활하중 (충격포함)	합 계
G1	휨모멘트(kN・m)	-3,216.420	-1,622.240	-4,175.450	-9,014.110
	전단력(kN)	594.186	236.267	582.416	1,412.869
	비틀림모멘트(kN・m)	-67.572	-113.917	-455.220	-636.709
G2	휨모멘트(kN・m)	-3,526.680	-1,589.480	-3,639.330	-8,755.490
	전단력(kN)	952.620	430.484	731.332	2,114.436
	비틀림모멘트(kN・m)	184.786	34.406	682.539	901.731

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-1)

- 휨응력

【표 2.14.25】 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			23.659	-25.742			208.042	215.000	8.793	8.352
1+2+3	1.025	0.155	24.215	-47.662	10.800	10.800	215.000	215.000	8.879	4.511
1+2+3+5	0.860	0.232	25.956	-47.992	10.800	10.800	247.250	215.000	9.526	4.480
1+2+3+5+6	0.319	-0.814	58.423	-54.617	10.800	1.890	247.250	215.000	4.232	3.937
1+2+3+5+6+7	0.438	-1.504	76.458	-57.484	12.420	2.174	279.500	247.250	3.656	4.301
1+2+3+5+6-7	0.200	-0.124	40.388	-51.750	12.420	2.174	279.500	247.250	6.920	4.778

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

- 전단 및 비틀림

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

$$= 45.7\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 125.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

- 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{76.458}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{45.693}{125.000}\right)^2 = 0.075 + 0.134 = 0.208 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-54.617}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{45.693}{125.000}\right)^2 = 0.065 + 0.134 = 0.198 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

㉡ G2(단면-13)

- 휨응력

【표 2.14.26】 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			30.756	-26.503			208.042	215.000	6.764	8.112
1+2+3	2.191	1.380	39.514	-61.025	10.800	10.800	215.000	215.000	5.441	3.523
1+2+3+5	1.819	1.199	41.389	-58.463	10.800	10.800	247.250	215.000	5.974	3.678
1+2+3+5+6	-0.221	-0.806	54.754	-39.423	1.890	1.890	247.250	215.000	4.516	5.454
1+2+3+5+6+7	-1.854	-2.371	67.230	-23.332	2.174	2.174	279.500	247.250	4.157	10.597
1+2+3+5+6-7	1.412	0.759	42.279	-55.515	12.420	12.420	279.500	247.250	6.611	4.454

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

- 전단 및 비틀림

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

$$= 45.6\,\mathrm{MPa} \quad < \quad \nu_a = 125.000\,\mathrm{MPa} \quad \therefore \text{ O.K}$$

- 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{67.230}{279.500}\right)^2 + \left(\frac{45.622}{125.000}\right)^2 = 0.058 + 0.133 = 0.191 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-61.025}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{45.622}{125.000}\right)^2 = 0.081 + 0.133 = 0.214 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore \text{ O.K}$$

② 지점부 부모멘트부

㉠ G-1 (단면-7)

• 휨응력

【표 2.14.27】 지점부 부모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력								안전율	
	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	상 연	하 연
1			-39.562	33.377			215.000	188.814	5.435	5.657
1+2+3	-53.759	-46.564	-82.117	87.903	160.000	160.000	215.000	188.814	2.618	2.148
1+2+3+5	-59.582	-52.341	-87.868	82.778	160.000	160.000	215.000	188.814	2.447	2.281
1+2+3+5+6	-39.741	-32.678	-68.305	99.925	160.000	160.000	215.000	188.814	3.148	1.890
1+2+3+5+6+7	-38.535	-31.624	-42.736	123.446	184.000	184.000	247.250	217.136	5.786	1.759
1+2+3+5+6-7	-40.946	-33.732	-93.875	76.403	184.000	184.000	247.250	217.136	2.634	2.842

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

• 전단 및 비틀림

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

$$= 37.4\,\text{MPa} \quad < \quad \nu_a = 125.000\,\text{MPa} \quad \therefore\ \text{O.K}$$

• 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-87.868}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{37.415}{125.000}\right)^2 = 0.167 + 0.090 = 0.257 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore\ \text{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{123.446}{217.136}\right)^2 + \left(\frac{37.415}{125.000}\right)^2 = 0.323 + 0.090 = 0.413 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore\ \text{O.K}$$

㉡ G-2 (단면-5)

- 휨응력

【표 2.14.28】 지점부 부모멘트부 휨응력 검토결과

하중조합	휨 응 력								안전율	
	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	상 연	하 연
1			-43.468	40.391			215.000	188.814	4.946	4.675
1+2+3	-51.003	-43.772	-83.212	94.958	160.000	160.000	215.000	188.814	2.584	1.988
1+2+3+5	-55.270	-48.230	-87.776	87.905	160.000	160.000	215.000	188.814	2.449	2.148
1+2+3+5+6	-42.293	-34.562	-73.723	110.976	160.000	160.000	215.000	188.814	2.916	1.701
1+2+3+5+6+7	-47.268	-38.944	-53.175	139.252	184.000	184.000	247.250	217.136	4.650	1.559
1+2+3+5+6-7	-37.318	-30.179	-94.270	82.699	184.000	184.000	247.250	217.136	2.623	2.626

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

- 전단 및 비틀림

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

$$= 58.0\,\text{MPa} \quad < \quad \nu_a = 125.000\,\text{MPa} \quad \therefore\ \text{O.K}$$

- 합성응력의 검토

- 상연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{-87.776}{215.000}\right)^2 + \left(\frac{57.951}{125.000}\right)^2 = 0.167 + 0.215 = 0.382 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore\ \text{O.K}$$

- 하연

$$\left(\frac{f}{f_a}\right)^2 + \left(\frac{\nu}{\nu_a}\right)^2 = \left(\frac{139.252}{217.136}\right)^2 + \left(\frac{57.951}{125.000}\right)^2 = 0.411 + 0.215 = 0.626 \quad < \quad 1.2 \quad \therefore\ \text{O.K}$$

7) 강박스 거더의 안전성 검토결과

① 휨응력

【표 2.14.29】 강박스 거더의 휨응력 검토결과

구 분		휨 응 력				안전율		검토 결과
		작용응력(MPa)		허용응력(MPa)				
		상 연	하 연	상 연	하 연	상 연	하 연	
중앙부 정모멘트부	G1	76.458	-54.617	279.500	215.000	3.656	3.937	O.K
	G2	67.230	-61.025	279.500	215.000	4.157	3.523	O.K
지점부 부모멘트부	G1	-87.868	123.446	215.000	217.136	2.447	1.759	O.K
	G2	-87.776	139.252	215.000	217.136	2.449	1.559	O.K

주) 압축응력을 정(+), 인장응력을 부(-)로 하였음.

② 전단응력

【표 2.14.30】 강박스 거더의 전단응력 검토결과

구 분		전 단 응 력		안전율	검토결과
		작용응력(MPa)	허용응력(MPa)		
중앙부 정모멘트부	G1	45.7	125.000	2.735	O.K
	G2	45.6	125.000	2.741	O.K
지점부 부모멘트부	G1	37.4	125.000	3.342	O.K
	G2	58.0	125.000	2.155	O.K

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

마. 안전성평가 결과

1) 바닥판

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

구 분		φMn(kN · m)	Mu(kN · m)	계산식	판정
바닥판	켄틸레버	118.702	109.8	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{118.702}{109.8} = 1.081$	O.K
	중 앙 부	102.844	73.4	$\frac{\Phi M_n}{M_u} = \frac{102.844}{73.4} = 1.401$	O.K

2) 거더

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

【표 2.14.31】 거더의 안전성 평가 결과

구 분		계산식	판정	비고
강박스 거더	휨응력	$\frac{f_a}{f} = \frac{217.136}{139.252} = 1.559$	O.K	MPa
	전단응력	$\frac{f_a}{f} = \frac{125.000}{58.000} = 2.155$	O.K	MPa
	합성응력	$\left(\frac{139.252}{217.136}\right)^2 + \left(\frac{58.000}{125.000}\right)^2 = 0.627 < 1.2$	O.K	

14.5.7 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 2.14.32】 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	208.042	23.860	0.376	489.846	215.000	51.962	30.648	5.320	
	하연	215.000	33.654	14.818	12.238	188.814	49.266	39.269	3.554	
G2	상연	208.042	32.827	6.765	25.900	215.000	56.279	27.662	5.738	
	하연	215.000	34.668	26.667	6.762	188.814	57.980	37.979	3.445	

다. 내하력평가 결과

【표 2.14.33】 강박스 거더의 공용내하력(허용응력법) 산정결과

구 분		기본내하율 (R.F)	응답보정계수 (K_s)	공용내하율 (K_s×RF)	공용내하력
외측거더 (G1)	상연	5.320	1.526	8.118	DB-24 이상
	하연	3.554	1.526	5.423	DB-24 이상
외측거더 (G2)	상연	5.738	1.418	8.136	DB-24 이상
	하연	3.445	1.418	4.885	DB-24 이상
결 과 분석		• 내하력평가 결과, 공용내하력이 설계내하력(DB, DL-24) 보다 큰 것으로 나타나 본 구조물의 공용내하력은 양호한 상태로 평가됨.			

14.6 종합평가 및 안전등급

14.6.1 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.

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

【표 2.14.34】종합평가 결과

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

14.6.2 안전등급 지정

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

【표 2.14.35】오창JCT Ramp-D교 안전등급 지정

안전등급	구조물명	안전등급
	오창JCT Ramp-D교	A등급(우수)

14.7 종합결론

오창JCT 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.