

제5장

재하시험

5.1 개 요

5.2 재하시험 계획

5.3 의사정적 재하시험

5.4 동적 주행시험

5.5 재하시험 결과 요약

5.6 전회차 진단 결과와의 비교

제5장 재하시험

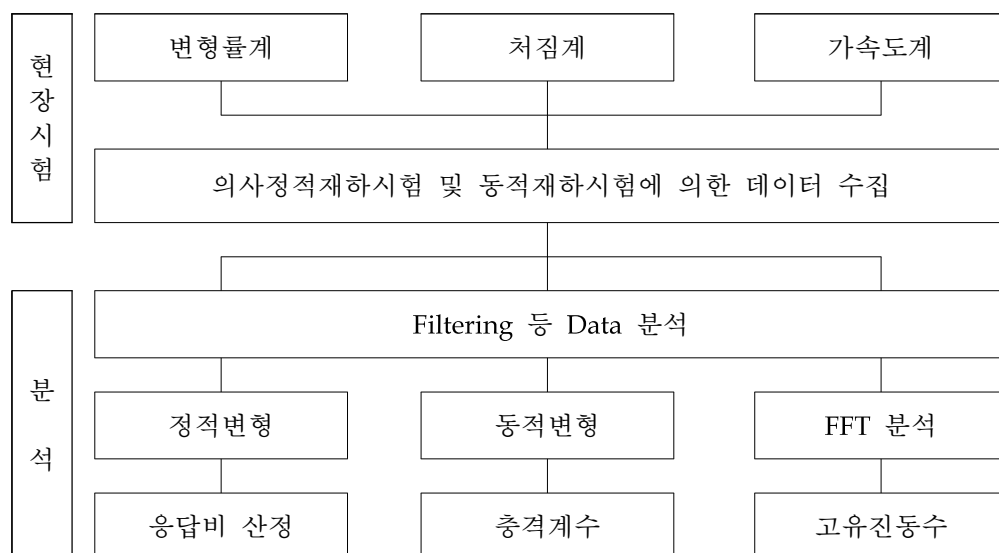
5.1 개 요

재하시험은 축중을 알고 있는 시험차량의 재하에 따른 대상구조물의 실 거동을 측정함으로써 대상구조물의 정·동적 거동특성을 파악하고 공용내하력을 평가하기 위하여 필요한 자료를 획득할 목적으로 실시한다. 따라서 구조형식에 따른 측정부위 및 재하방법의 선택이 중요하다.

현장 재하시험을 통한 대상 구조물의 실거동을 파악하여 안전도 및 내하력을 평가하기 위한 자료 획득을 목적으로 「시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침」에 의거하여 실시하며, 정모멘트부의 휨변형을 분포, 변위, 충격계수, 고유진동수 등을 각각의 재하 경우별로 측정 및 기록하였다.

재하시험은 하중의 재하방법에 따라 정적재하시험 및 동적주행시험으로 대별되며, 정적재하시험은 작용외력에 대한 대상교량의 정적거동특성을 파악하고 정적변위 및 응력의 응답비 등 내하력 평가를 위한 계계수를 산정하기 위하여 실시한다. 또한 동적재하시험은 기본적으로는 구조물의 동적거동을 조사·측정하기 위한 것으로 대상교량의 실충격계수와 실고유진동수 등의 동적특성을 측정·기록하여 교량의 안전성을 검토하기 위한 기본자료를 구하기 위하여 실시한다.

정·동적재하시험의 측정체계는 다음과 같다.



[그림 5.1] 의사정적 및 동적재하시험 측정체계

본 교량 재하시험의 주요 목적은 다음과 같다.

- ① 구조물의 정·동적 실 거동 분석
- ② 실측응답과 이론응답을 통한 응답비 비교 및 분석
- ③ 충격하중에 따른 구조물의 동적특성 파악
- ④ 내하력평가를 위한 응답보정계수 도출

본 과업대상 교량인 탄천교(하행-분당방향)은 교통량과 주변 환경을 고려하여 의사정적 재하시험과 동적주행시험을 실시하였으며, 의사정적재하시험은 작용외력에 대한 대상교량의 정적거동특성을 파악하고 정적변형률 및 처짐의 응답비 등 내하력평가를 위한 제반계수를 산정하기 위함이고, 동적주행시험은 기본적으로는 구조물의 동적거동을 조사·측정하기 위한 것으로 대상교량의 실 충격계수와 실 고유진동수 등을 측정·기록하여 교량의 동적거동특성을 파악하기 위하여 실시하였다.

5.2 재하시험 계획

5.2.1 재하시험 장비

본 교량 재하시험에 사용된 측정기기 및 계측기의 종류는 다음과 같다.

[표 5.1] 측정기기

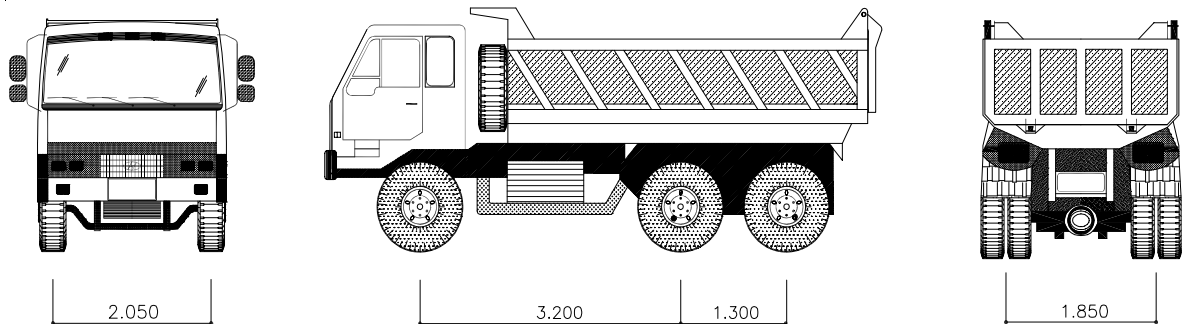
기 기 명	모 델 명	용 도	비 고
Data Logger	EDX-5000A	변형률, 처짐 및 가속도 측정기	KYOWA사(일본)
Software	DIADDEM	데이터 분석, 저장, 디스플레이	NI사(미국)

[표 5.2] 계측기의 종류

계 측 기 명	모 델 명	용 도	비 고
Strain Gauge	FLAB-5-11-1LJC-F	변형률 측정 (강재용)	TML사(일본)
Accelerometer	AS-1GB	가속도 측정	KYOWA사(일본)
Displacement Meter	OU-30	정적 및 동적 처짐 측정	TML사(일본)

5.2.2 시험차량

재하차량은 토사를 적재한 총중량 약 267 kN(설계하중 DB-24의 약 62.0 %)의 덤프트럭 2대를 사용하였으며, 다음에 재하차량의 제원 및 축중을 나타내었다.



[그림 5.2] 시험차량의 제원

[표 5.3] 재하차량의 제원과 축중

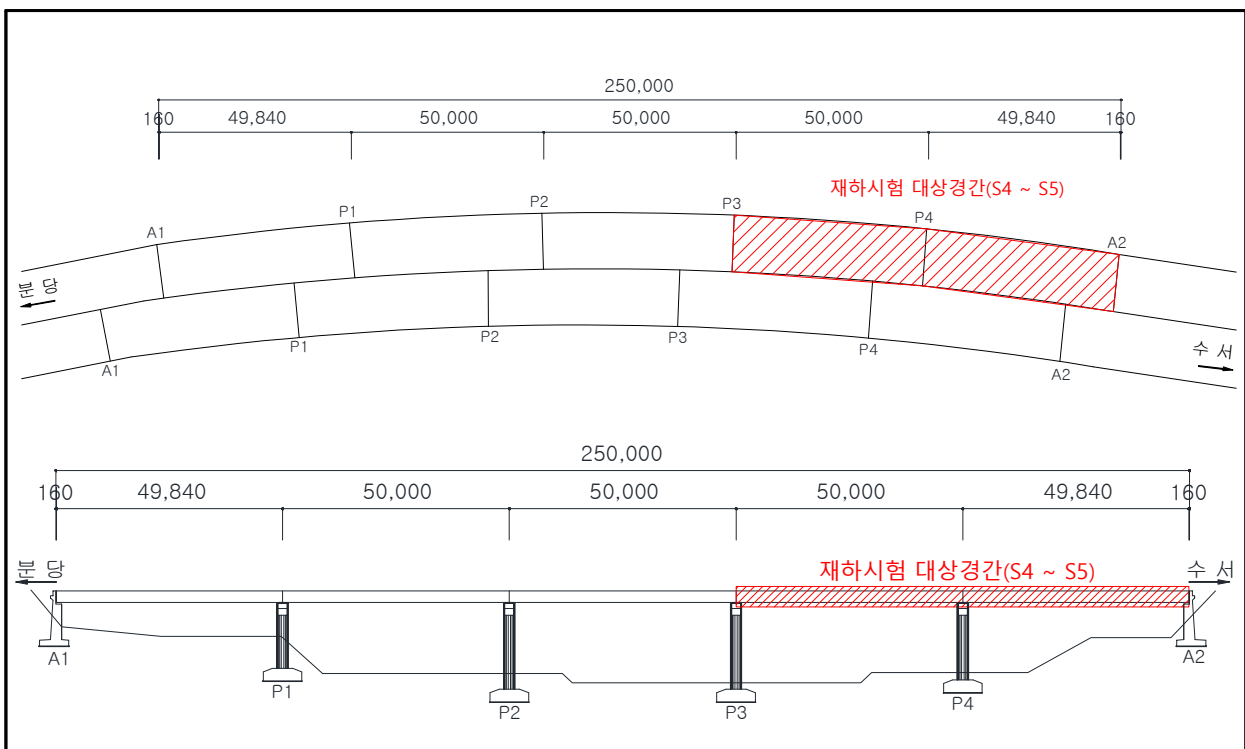
구 분	총중량(kN)	전륜(kN)	중, 후륜(kN)	비 고
15 ton 덤프(A)	267.90	76.80	191.10	ID 7655
15 ton 덤프(B)	266.20	74.30	191.90	ID 7651
 		 		
재하차량		계량확인서 공급자용 일 자 2023-11-28 차량번호 7655 거래처 품명 공인계량 총 중 량 15A132분 26,790 kg 공 차 중 량 16A132분 19,110 kg 실 중 량 7,680 kg 감률/감량 0 kg 인 수 량 7,680 kg 단가/총액 0 원 / 0 원 계량자 비 고 상기와 같이 계량하였음을 확인함. 126-28-13456 상승공인계량소 김문명 경기도 하남시 호미동 199-2 도·소재 공영고령기차 서비스 공인계량소 상승공인계량소 TEL: 020429-1735 FAX: 020429-1725 계량확인서 공급자용 일 자 2023-11-28 차량번호 7651 거래처 품명 공인계량 총 중 량 15A138분 26,620 kg 공 차 중 량 15A139분 19,190 kg 실 중 량 7,430 kg 감률/감량 0 kg 인 수 량 7,430 kg 단가/총액 0 원 / 0 원 계량자 비 고 상기와 같이 계량하였음을 확인함. 126-28-13456 상승공인계량소 김문명 경기도 하남시 호미동 199-2 도·소재 공영고령기차 서비스 공인계량소 상승공인계량소 TEL: 020429-1735 FAX: 020429-1725		
		계량증명서		

5.2.3 시험경간 선정

탄천교(하행-분당방향)는 분당~수서간 도시고속화도로상에 위치하며, 교폭 28.3m(상·하행분리: 14.155m+14.155m), 연장 249.68(49.84m+3@50.0m+49.84m=249.68m)의 5경간 연속교로서 교량의 상부구조는 강상자형(Steel Box Girder), 하부구조는 역T형 교대 및 T형 교각(강합성 T형)으로 이루어져 있다. 설계하중 DB-24로 1993년 8월에 준공되어 약 30년간 공용 중인 교량이다.

대상경간 선정은 과업내용과 대상교량의 구조적 특성을 고려하여 구조적으로 가장 불리하고 주요부재의 손상 상태, 보수·보강 이력, 계측기 부착 및 측정 장비의 설치, 시험차량의 가속거리 등의 현장여건을 종합적으로 고려하였다.

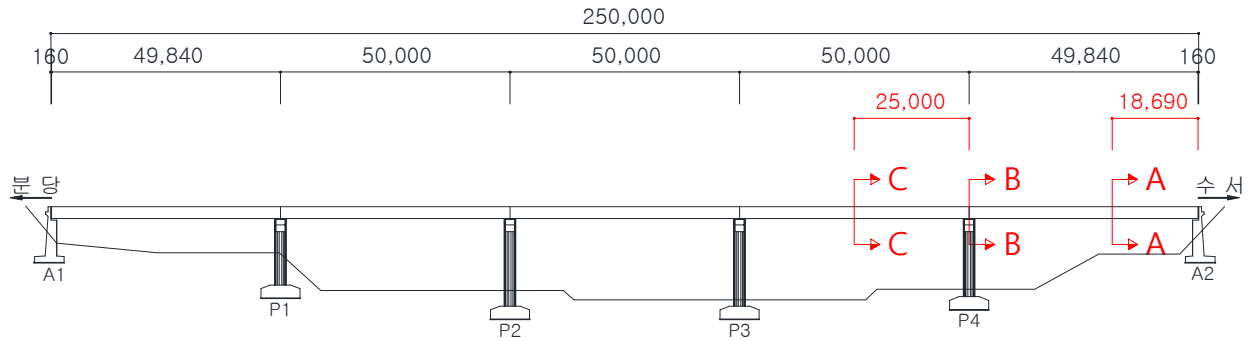
본 교량은 5경간 연속교로써 전차 진단 및 모든 계측기 설치가 가능한 구간인 S4~S5 및 P4 지점부를 대상구간으로 선정하였다.



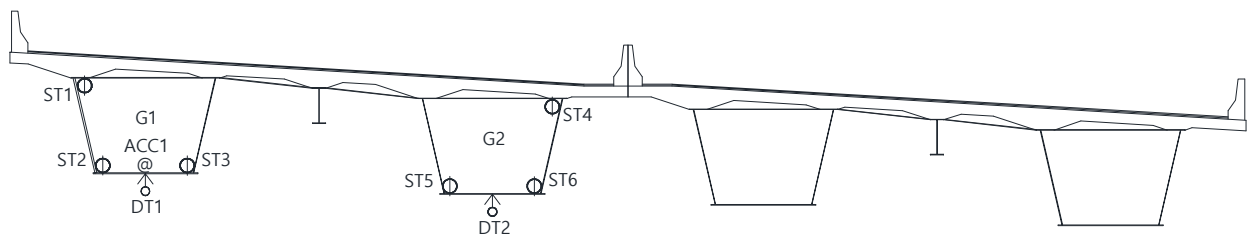
[그림 5.3] 재하시험 대상경간 및 계측기 설치 위치

5.2.4 계측기 설치 위치 및 수량

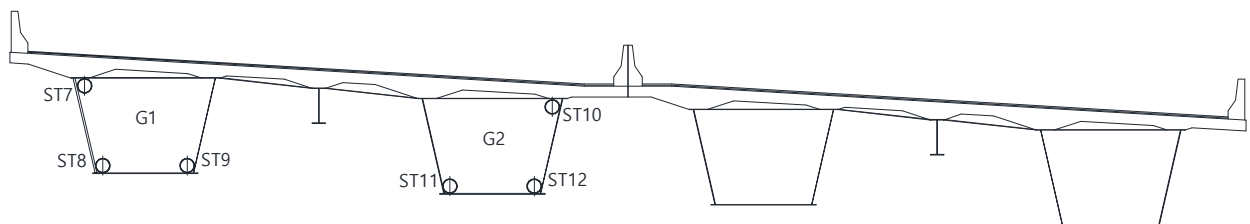
본 교량에서는 시험 대상 경간에서 최대응답을 얻을 수 있도록 S5의 3L/8지점, S4의 1L/2 지점 및 P4 지점부를 기준으로 측정 계측기의 부착위치와 부착방향을 선정하고 처짐계, 변형률계 및 가속도계를 다음 그림과 같이 설치하였다.



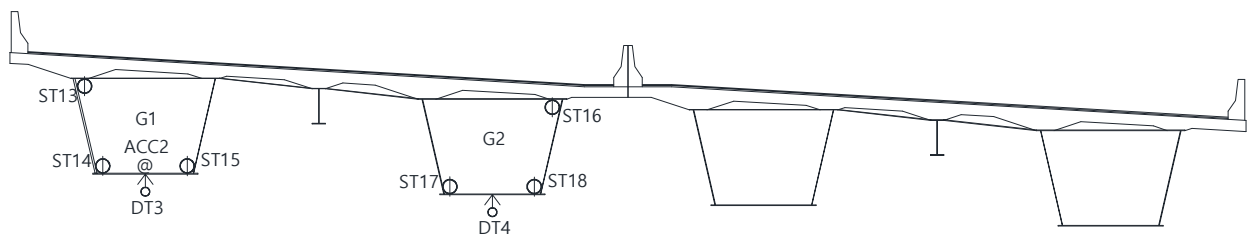
[그림 5.4] 계측기 부착 종단면 위치



<단면 A-A, A2→P4 18.690 m 이격>



<단면 B-B, P4→A2 0.1 m 이격>



<단면 C-C, P4→P3 25.0 m 이격>

[그림 5.5] 계측기 부착 횡단면 위치

[표 5.4] 계측기 부착 위치 및 수량

기 호	계측기 종류	모델명	용 도	수량	비고
ϕ ST	변형률계	FLAB-5-11-1LJC-F	변형률 측정	18EA	
$\uparrow$ DT	처짐계	OU-30	처짐 측정	4EA	
@ ACC	가속도계	AS-1GB	가속도 측정	2EA	
총계				24EA	



[그림 5.6] 계측기 설치 현황

[표 5.5] 재하시험 구간 Gauge 번호, 부착위치 및 목적

Gauge No.	Gauge 부착 위치	계측목적
ST1	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G1) 좌측상면	교축방향 변형률
ST2	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G1) 좌측하면	교축방향 변형률
ST3	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G1) 우측하면	교축방향 변형률
ST4	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G2) 우측상면	교축방향 변형률
ST5	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G2) 좌측하면	교축방향 변형률
ST6	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G2) 우측하면	교축방향 변형률
ST7	지점부 P4(P4→A2, 0.100 m) 단면 B-B 거더(G1) 좌측상면	교축방향 변형률
ST8	지점부 P4(P4→A2, 0.100 m) 단면 B-B 거더(G1) 좌측하면	교축방향 변형률
ST9	지점부 P4(P4→A2, 0.100 m) 단면 B-B 거더(G1) 우측하면	교축방향 변형률
ST10	지점부 P4(P4→A2, 0.100 m) 단면 B-B 거더(G2) 우측상면	교축방향 변형률
ST11	지점부 P4(P4→A2, 0.100 m) 단면 B-B 거더(G2) 좌측하면	교축방향 변형률
ST12	지점부 P4(P4→A2, 0.100 m) 단면 B-B 거더(G2) 우측하면	교축방향 변형률
ST13	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G1) 좌측상면	교축방향 변형률
ST14	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G1) 좌측하면	교축방향 변형률
ST15	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G1) 우측하면	교축방향 변형률
ST16	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G2) 우측상면	교축방향 변형률
ST17	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G2) 좌측하면	교축방향 변형률
ST18	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G2) 우측하면	교축방향 변형률
DT1	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G1) 하면	처짐
DT2	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G2) 하면	처짐
DT3	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G1) 하면	처짐
DT4	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G2) 하면	처짐
ACC1	경간 S5(A2→P4, 18.690 m) 단면 A-A 거더(G1) 하면	진동가속도
ACC2	경간 S4(P4→P3, 25.000 m) 단면 C-C 거더(G1) 하면	진동가속도

5.3 의사정적 재하시험

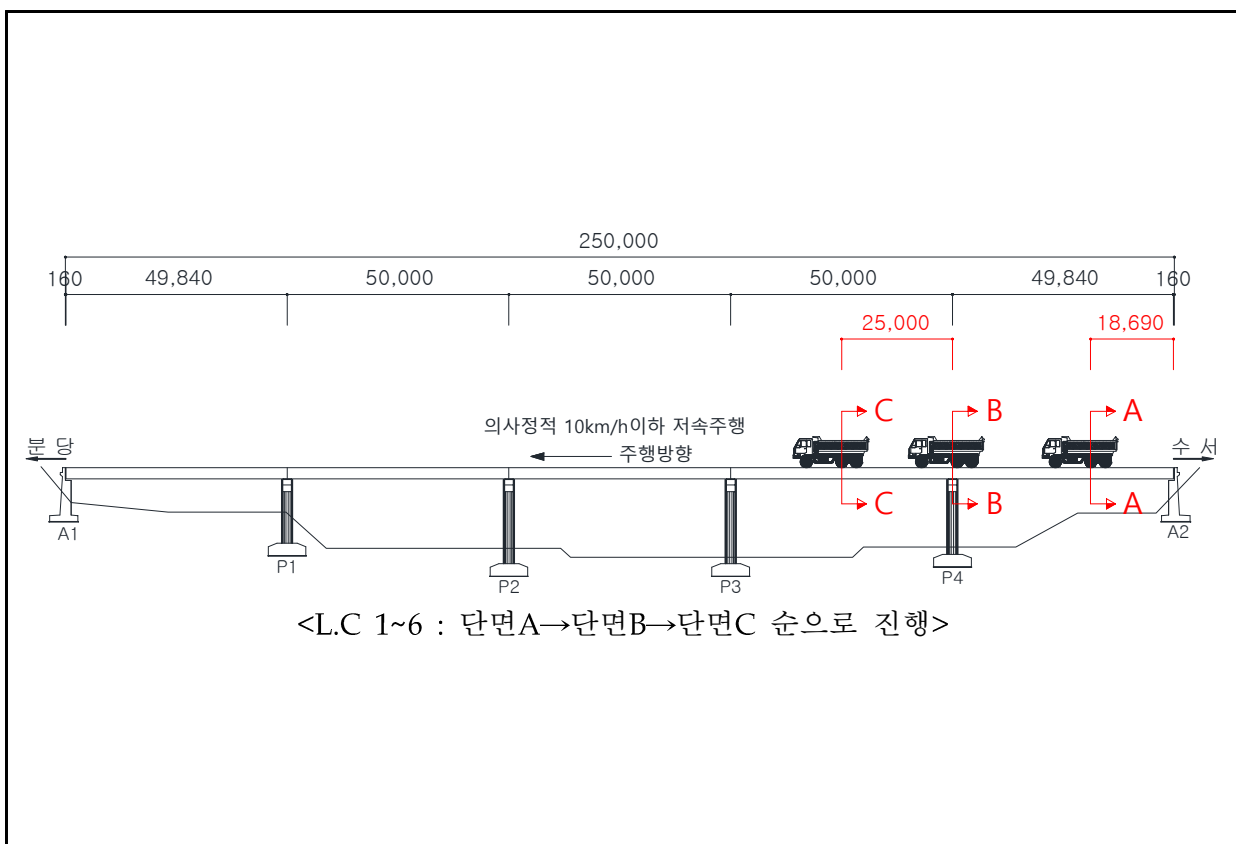
5.3.1 시험방법

의사정적 재하시험의 경우 1대 및 2대의 재하차량을 이용하여 L.C1~6까지 각각 대칭성과 중첩성을 가지도록 시험차량을 재하하였다.

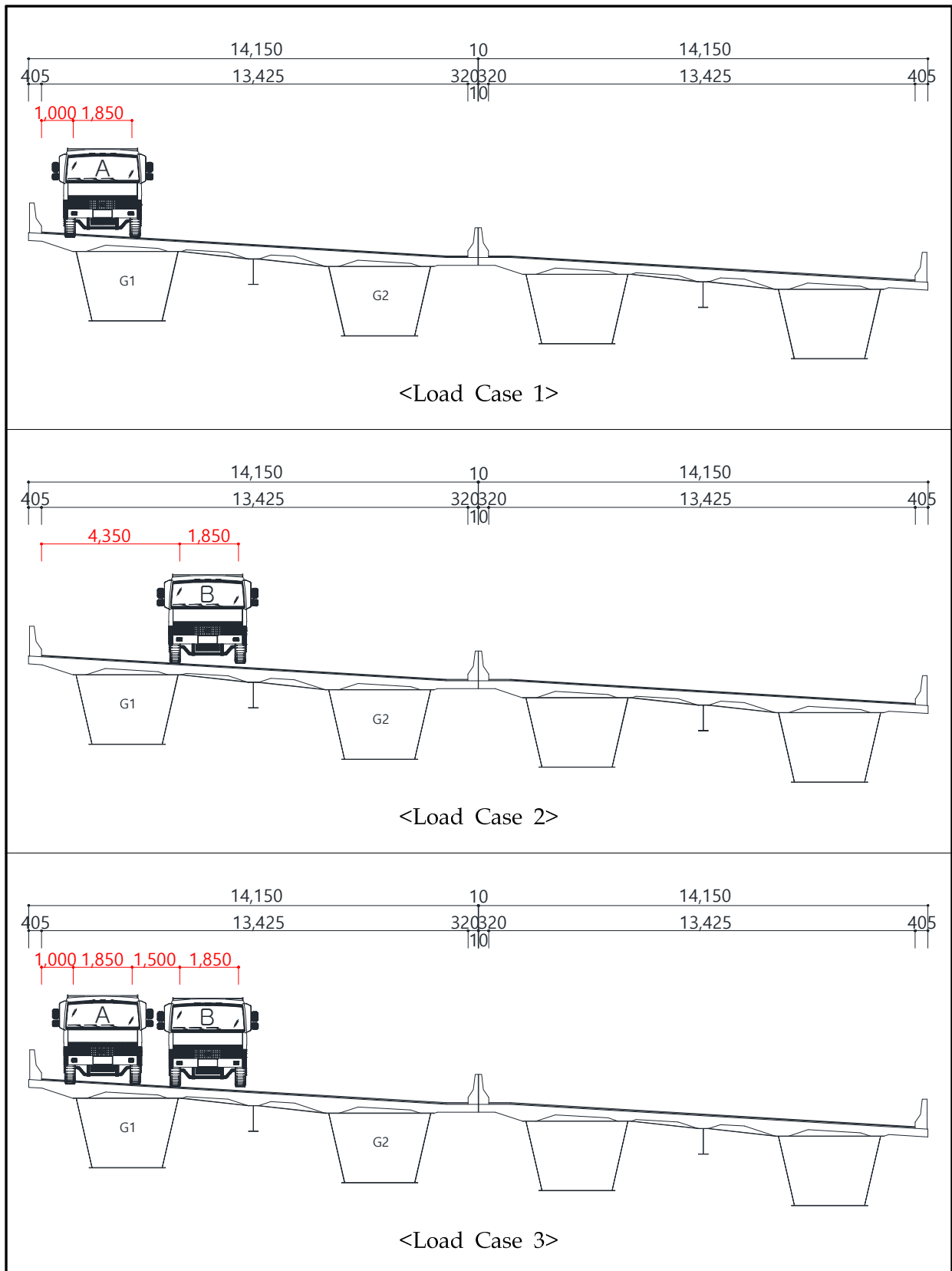
각 재하의 경우 및 Load Case별 시험차량 위치를 다음에 나타내었다.

[표 5.6] 의사정적재하시험 하중 재하경우

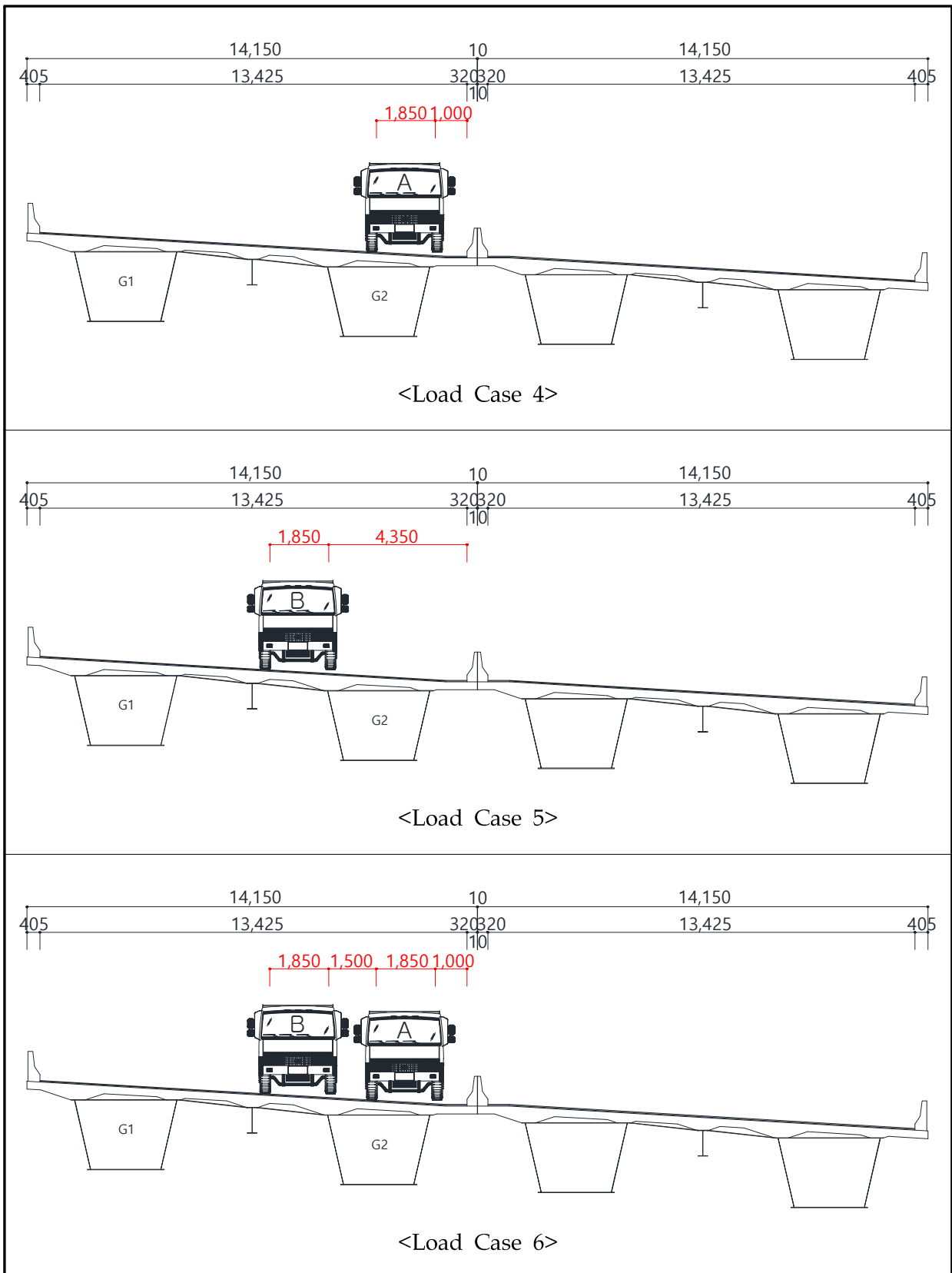
재하경우	재하위치	비고
L.C 1	G1 차량 1대 재하	정모멘트부 처짐 및 변형률 측정, 부모멘트부 변형률 측정
L.C 2	G1 차량 1대 재하	정모멘트부 처짐 및 변형률 측정, 부모멘트부 변형률 측정
L.C 3	G1 차량 2대 동시재하	정모멘트부 처짐 및 변형률 측정, 부모멘트부 변형률 측정
L.C 4	G2 차량 1대 재하	정모멘트부 처짐 및 변형률 측정, 부모멘트부 변형률 측정
L.C 5	G2 차량 1대 재하	정모멘트부 처짐 및 변형률 측정, 부모멘트부 변형률 측정
L.C 6	G2 차량 2대 동시재하	정모멘트부 처짐 및 변형률 측정, 부모멘트부 변형률 측정



[그림 5.7] 의사정적재하시험 시험차량 재하위치



[그림 5.8] Load Case별 시험차량 재하위치 (1)



[그림 5.9] Load Case별 시험차량 재하위치 (2)

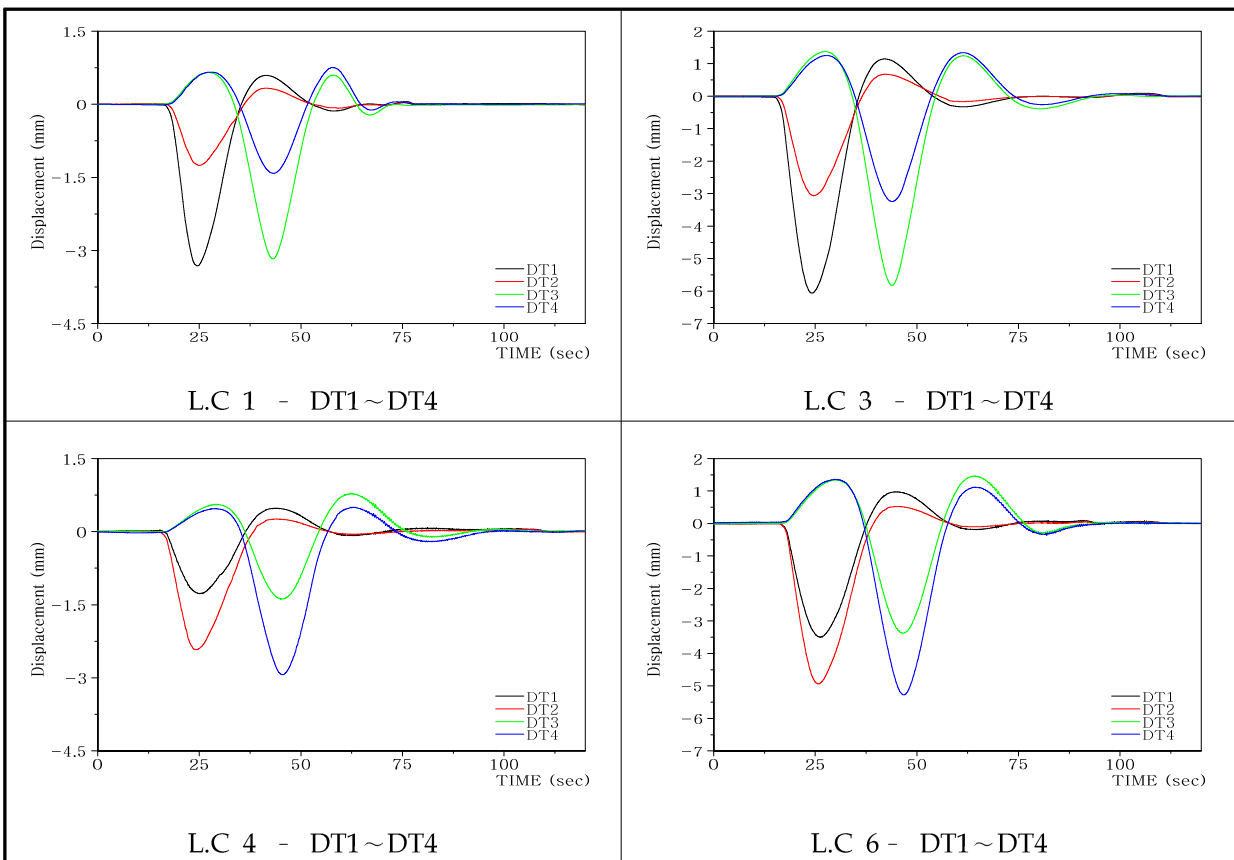
5.3.2 의사정적재하시험 결과

본 교량의 정적재하시험의 측정결과는 다음과 같으며, 변형률의 경우 인장은 (+), 변위의 경우 (-)의 값은 하향의 처짐을 나타낸다.

가. 처짐 측정결과

[표 5.7] 처짐(mm) 측정 결과

구분	S5, 단면 A-A		S4, 단면 C-C		비고
	G1	G2	G1	G2	
	DT1	DT2	DT3	DT4	
L.C 1	-3.316	-1.255	-3.174	-1.416	G1 재하
L.C 2	-2.691	-1.787	-2.566	-1.872	G1 재하
L.C 3	-6.060	-3.062	-5.822	-3.241	G1 재하
L.C 4	-1.273	-2.425	-1.390	-2.936	G2 재하
L.C 5	-2.090	-2.482	-1.901	-2.463	G2 재하
L.C 6	-3.504	-4.938	-3.378	-5.273	G2 재하



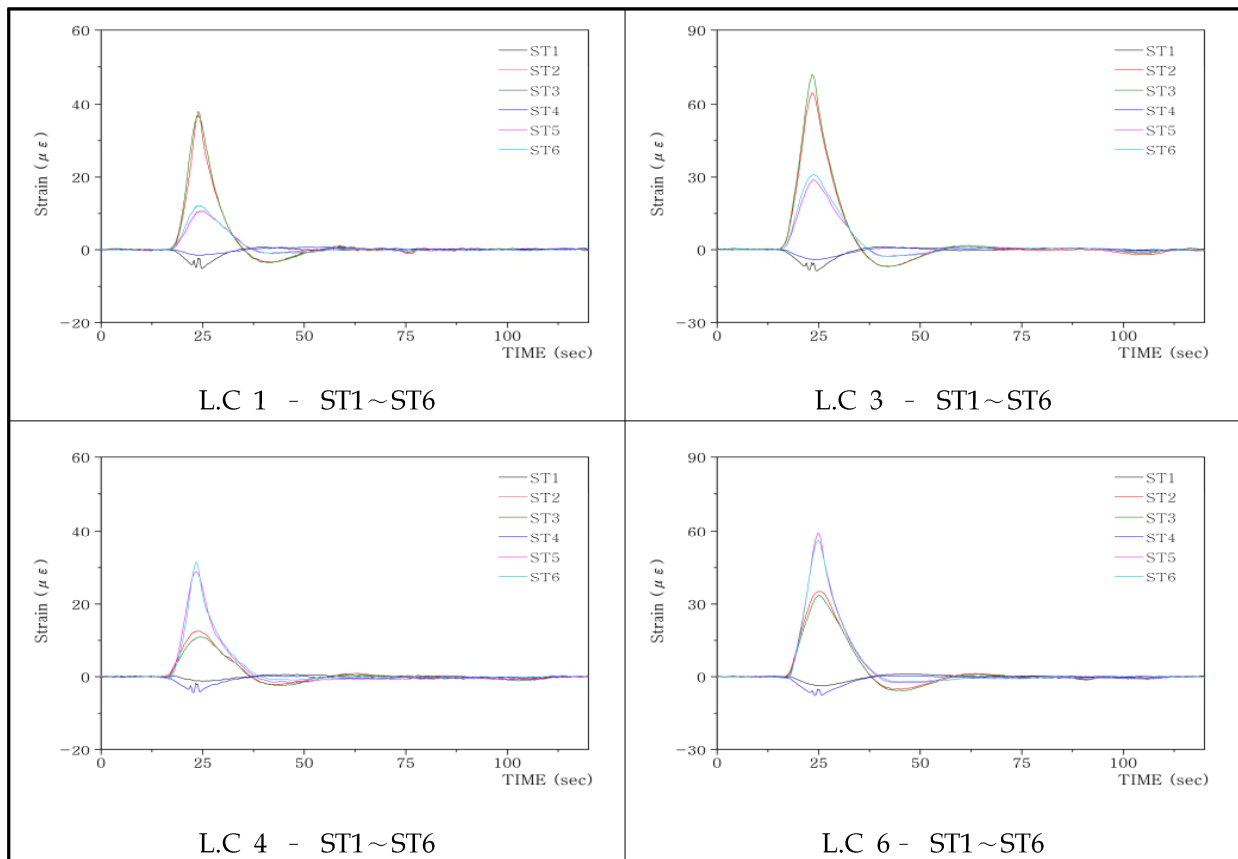
※미기재 그래프는 부록편 참조

[그림 5.10] 처짐 정적 응답 Graph일례

나. 변형률 측정결과

[표 5.8] 변형률($\mu\epsilon$) 측정 결과(S5, 단면 A-A)

구분	S5, 단면 A-A						비고
	G1			G2			
	ST1	ST2	ST3	ST4	ST5	ST6	
L.C 1	-5.02	37.95	36.84	-1.52	10.65	12.16	G1 재하
L.C 2	-3.59	25.39	34.05	-1.52	17.34	17.84	G1 재하
L.C 3	-8.46	64.67	71.92	-3.90	28.88	30.99	G1 재하
L.C 4	-1.20	12.57	10.99	-4.23	28.92	31.48	G2 재하
L.C 5	-2.39	19.48	20.14	-2.74	31.61	25.29	G2 재하
L.C 6	-3.70	35.11	33.64	-7.48	59.37	56.18	G2 재하

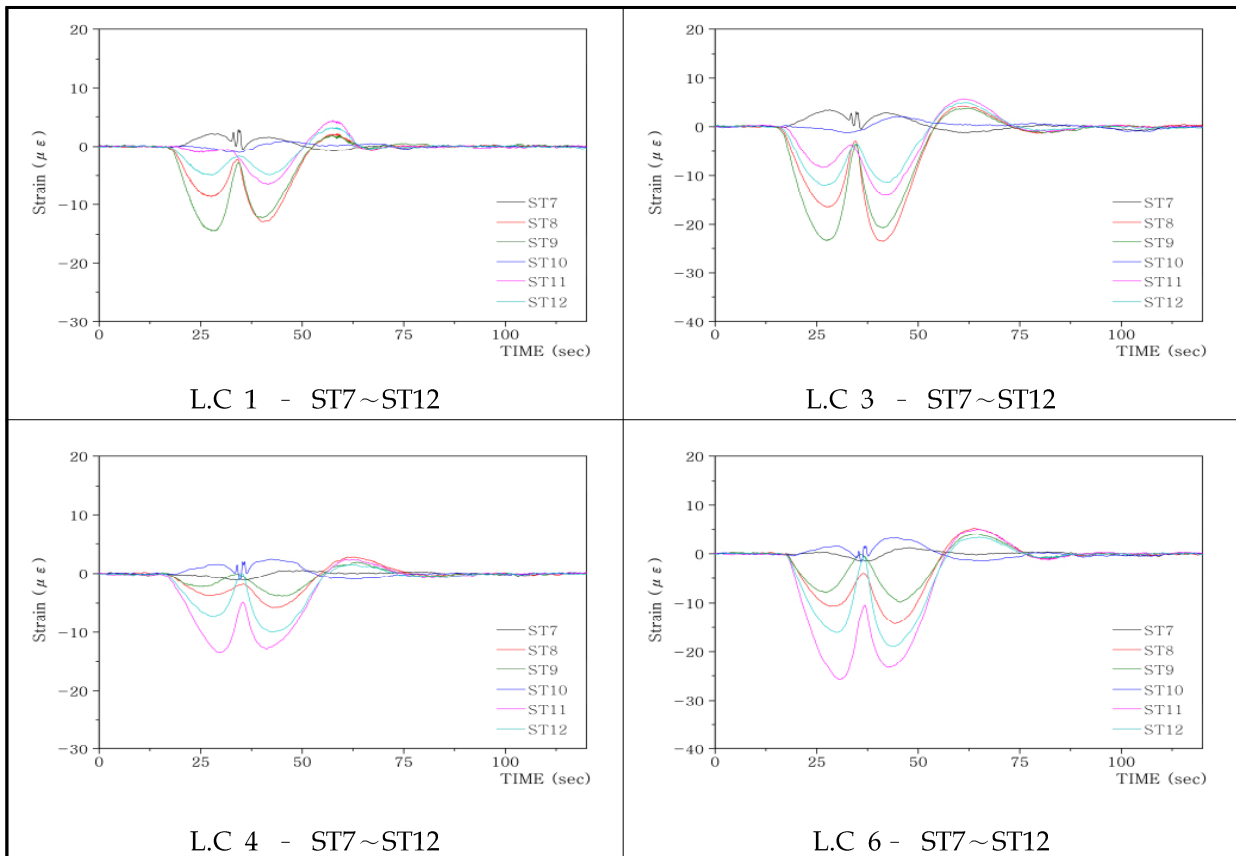


※미기재 그래프는 부록편 참조

[그림 5.11] 변형률 정적 응답 Graph일레(S5, 단면 A-A)

[표 5.9] 변형률($\mu\epsilon$) 측정 결과(P4, 단면 B-B)

구분	P4, 단면 B-B						비고
	G1			G2			
	ST7	ST8	ST9	ST10	ST11	ST12	
L.C 1	2.16	-12.90	-14.45	0.94	-6.51	-4.94	G1 재하
L.C 2	0.76	-11.02	-9.82	1.78	-10.66	-7.75	G1 재하
L.C 3	3.39	-23.58	-23.45	2.04	-14.13	-12.03	G1 재하
L.C 4	0.55	-5.78	-3.85	2.45	-13.47	-9.99	G2 재하
L.C 5	0.74	-8.72	-6.57	1.93	-13.83	-10.51	G2 재하
L.C 6	1.22	-14.22	-9.83	3.23	-25.78	-18.96	G2 재하

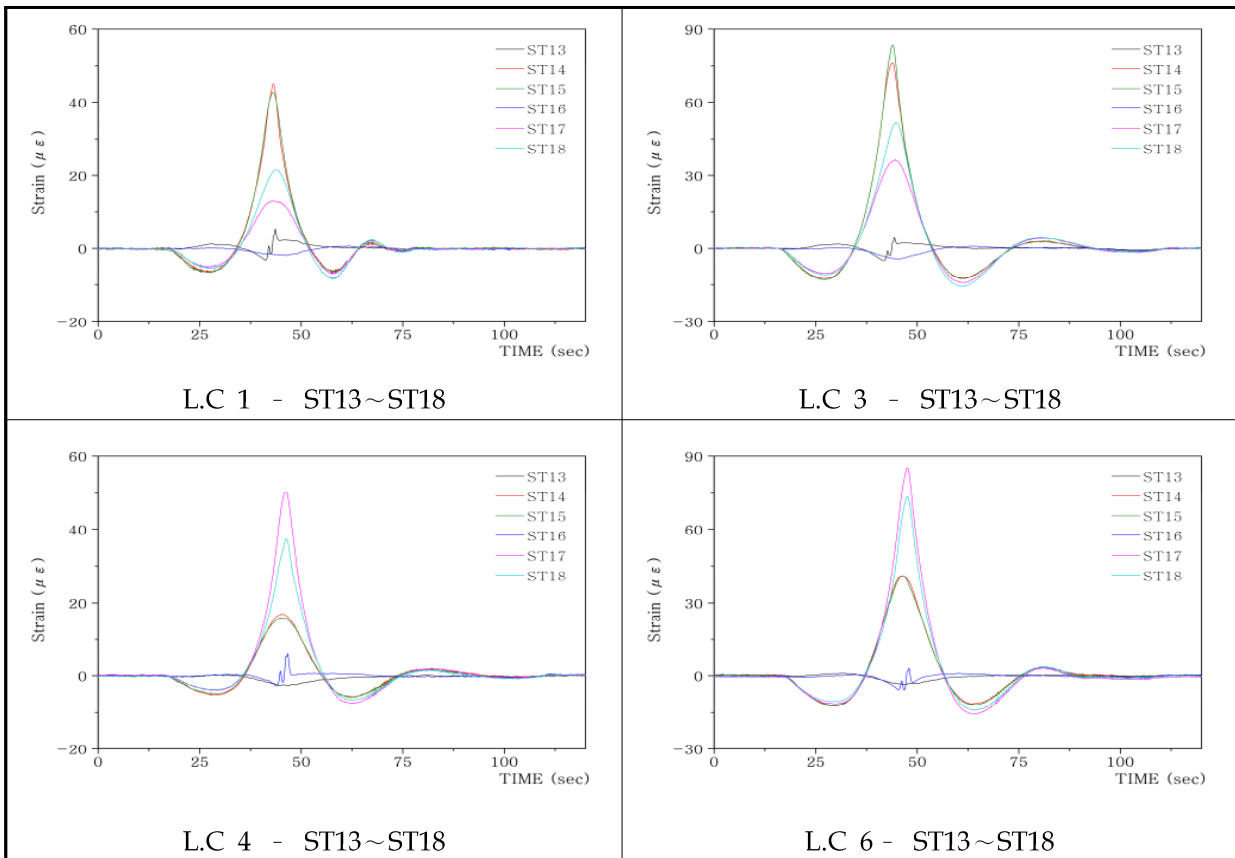


※미기재 그래프는 부록편 참조

[그림 5.12] 변형률 정적 응답 Graph일례(P4, 단면 B-B)

[표 5.10] 변형률($\mu\epsilon$) 측정 결과(S4, 단면 C-C)

구분	S3, 단면 C-C						비고
	G1			G3			
	ST13	ST14	ST15	ST16	ST17	ST18	
L.C 1	-3.22	45.08	42.84	-1.95	12.91	21.62	G1 재하
L.C 2	-1.45	31.57	39.30	-2.54	20.64	28.15	G1 재하
L.C 3	-5.00	76.45	83.61	-4.31	36.44	51.68	G1 재하
L.C 4	-2.64	17.01	16.01	-2.75	50.42	37.37	G2 재하
L.C 5	-1.41	23.40	24.23	-3.92	34.90	36.33	G2 재하
L.C 6	-3.53	41.12	41.17	-5.74	85.27	73.57	G2 재하



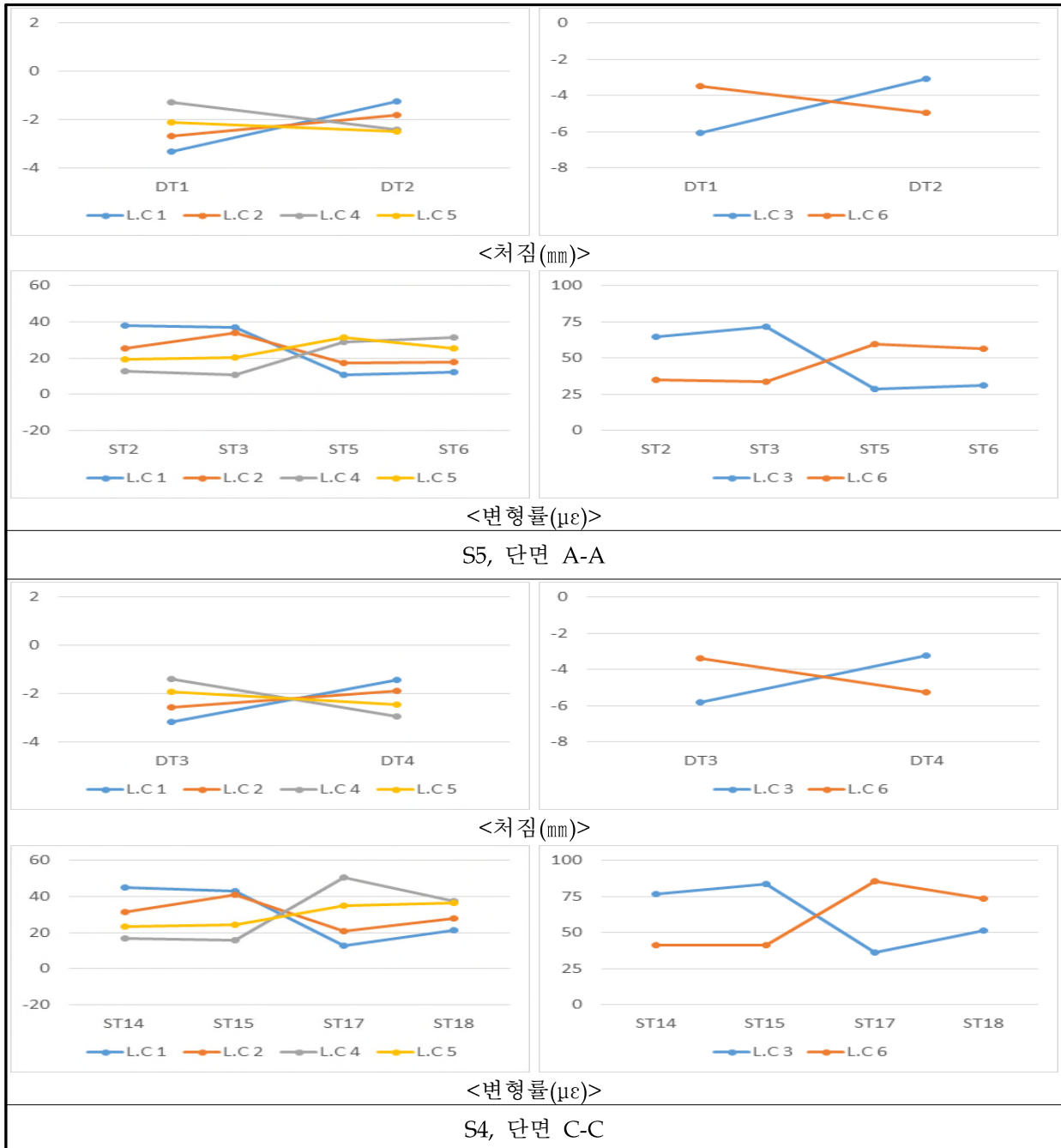
※미기재 그래프는 부록편 참조

[그림 5.13] 변형률 정적 응답 Graph일레(S4, 단면 C-C)

다. 계측결과 분석

1) 횡방향 거동 특성

처짐 및 변형률에 따른 횡분배 분석 결과를 다음에 나타내었으며, 중분대측이 다소 작게 발생한 것으로 나타났으나 이는 인접교량(탄천교_수서방면)에 의한 간섭효과가 발생하여 나타난 결과로 판단되며, 각 재하경우에 따라 일정한 양상을 띠는 것으로 보아 특이한 구조거동은 없는 것으로 판단된다.

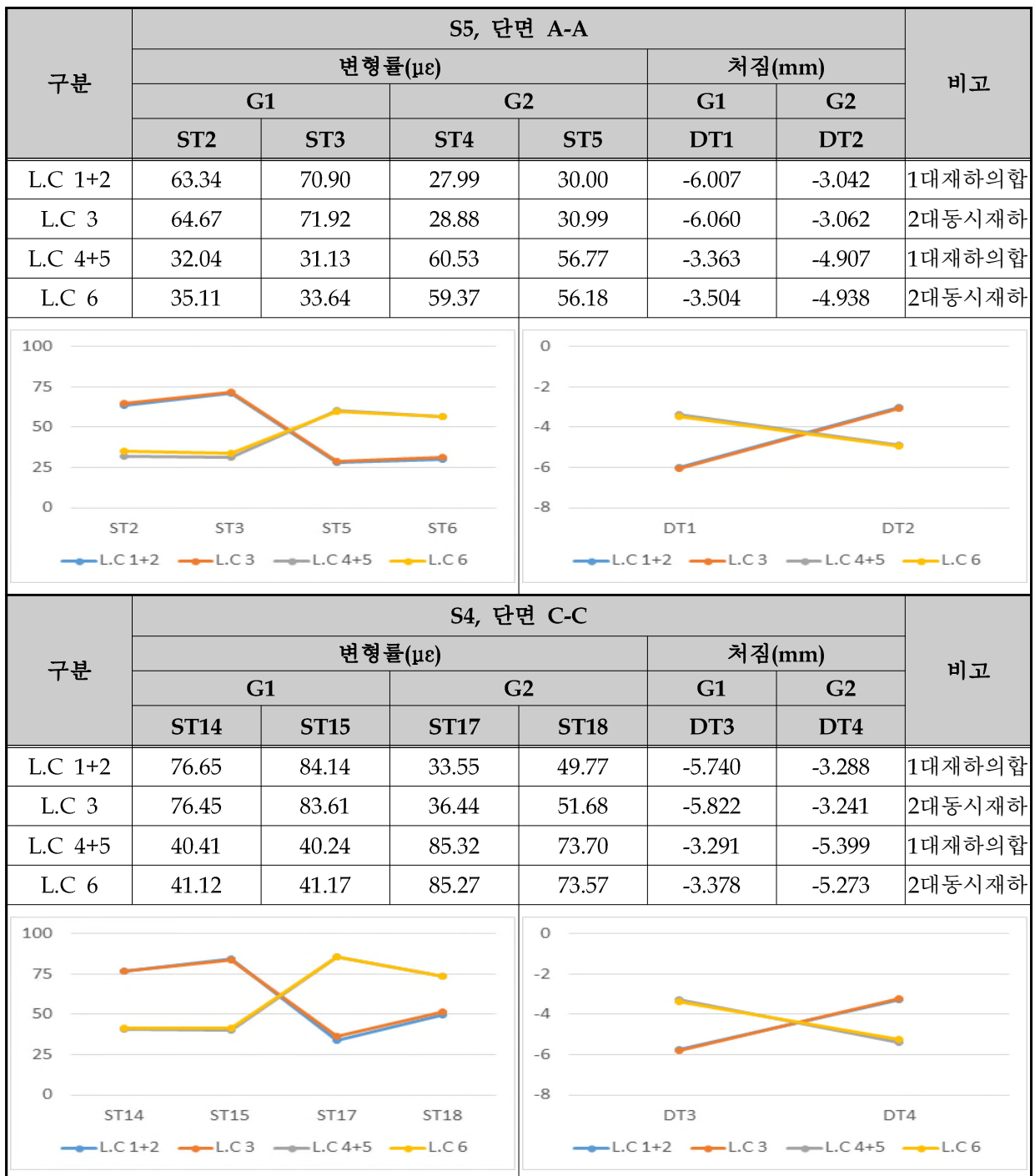


[그림 5.14] 횡방향 거동특성

2) 중첩성 분석

중첩성이란 각각의 하중재하경우를 도식화하면 중첩이 되는데 이는 측정결과의 신뢰성 등을 뒷받침하는 자료가 된다.

재하시험 결과 도출된 계측값으로 중첩성 분석을 실시하였으며, 재하차량의 각 1대 재하 경우(L.C 1,2,4,5)시 계측값의 합과 동시 2대 재하 경우(L.C 3,6)시의 계측값을 비교 분석한 결과, 본 재하시험의 계측결과는 대체로 양호한 것으로 판단된다.

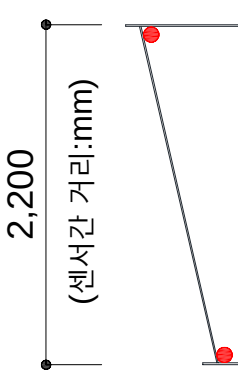
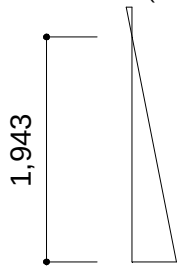
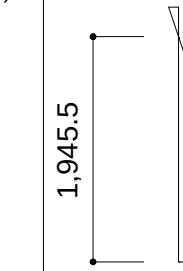
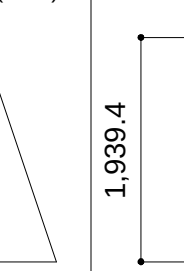
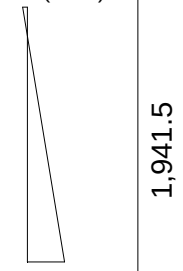
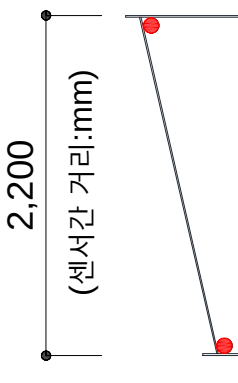
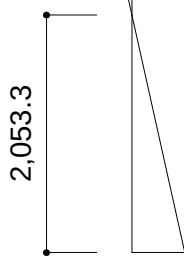
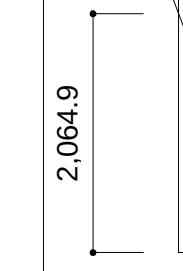
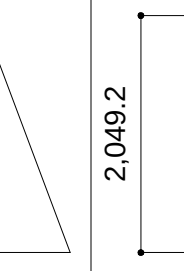
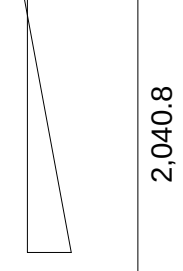


[그림 5.15] 중첩성 분석

3) 중립축 분석

대상교량의 거더 상·하플랜지 변형률 분포를 이용하여 실측 중립축 위치를 산정하였으며, 이를 구조검토에 의한 이론상의 중립축 위치와 비교·평가하여 다음에 나타내었다.

[표 5.11] 중립축 분석 결과

구 분		S5, 단면 A-A			
		G1		G2	
		L.C 1	L.C 3	L.C 4	L.C 6
 2,200 (센서간 거리:mm)		$\epsilon = -5.02(\text{ST1})$  1,943 $\epsilon = +37.95(\text{ST2})$	$\epsilon = -8.46(\text{ST1})$  1,945.5 $\epsilon = +64.67(\text{ST2})$	$\epsilon = -4.23(\text{ST4})$  1,939.4 $\epsilon = +31.48(\text{ST6})$	$\epsilon = -7.48(\text{ST4})$  1,941.5 $\epsilon = +56.18(\text{ST6})$
중립축 (mm)	실측치	1,943.0	1,945.5	1,939.4	1,941.5
	이론치	1,796.7	1,796.7	1,796.7	1,796.7
구 분		S4, 단면 C-C			
		G1		G2	
		L.C 1	L.C 3	L.C 4	L.C 6
 2,200 (센서간 거리:mm)		$\epsilon = -3.22(\text{ST13})$  2,053.3 $\epsilon = +45.08(\text{ST14})$	$\epsilon = -5.00(\text{ST13})$  2,064.9 $\epsilon = +76.45(\text{ST14})$	$\epsilon = -2.75(\text{ST16})$  2,049.2 $\epsilon = +37.37(\text{ST18})$	$\epsilon = -5.74(\text{ST16})$  2,040.8 $\epsilon = +73.57(\text{ST18})$
중립축 (mm)	실측치	2,053.3	2,064.9	2,049.2	2,040.8
	이론치	1,890.2	1,890.2	1,890.2	1,890.2

실측 중립축 위치는 거더 하단에서의 거리를 나타내며 S5(단면 A-A)에서 1,939.4~1,945.5 mm, S4(단면 C-C)에서 2,040.8~2,064.9 mm로 분석되었으며, 이론 중립축보다 높게 위치하는 것으로 나타나 재하하중에 대하여 단면이 양호한 합성거동을 하는 것으로 판단된다.

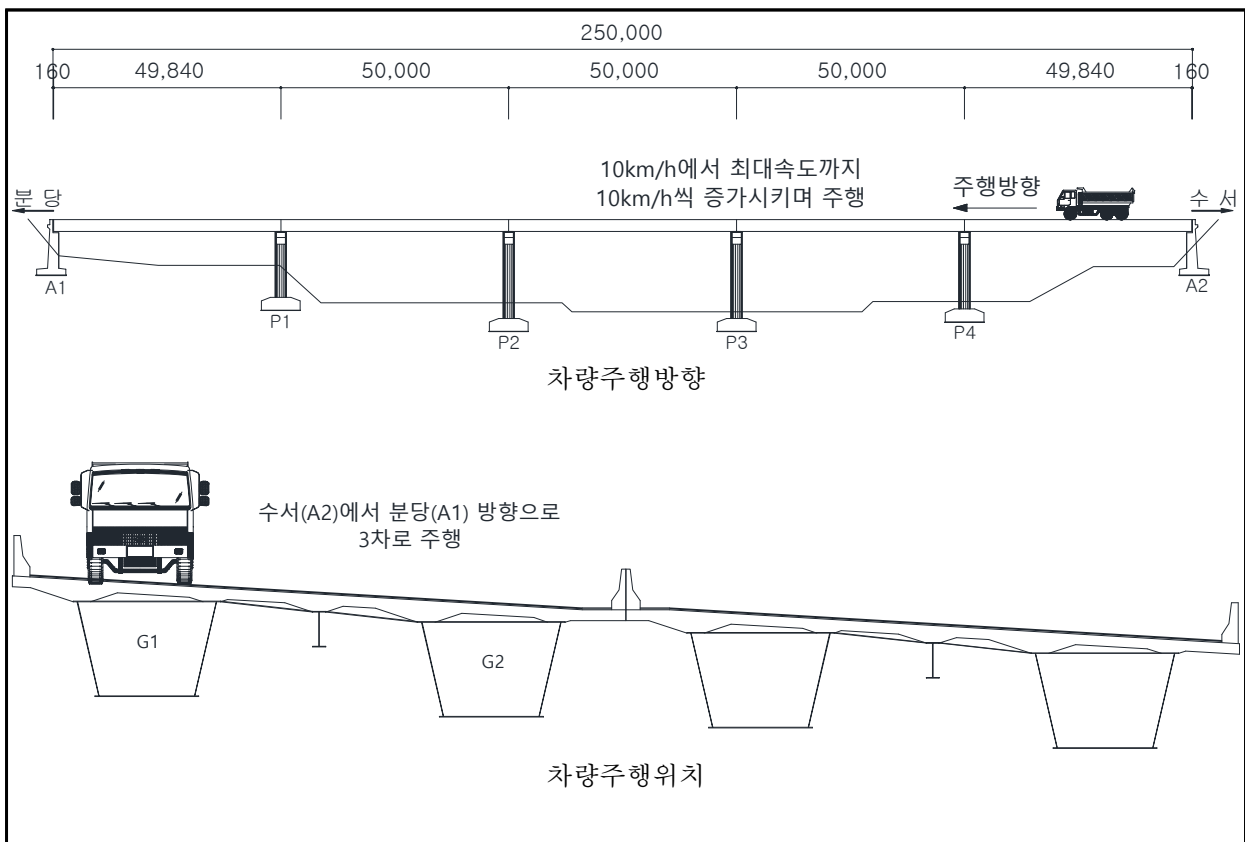
5.4 동적 주행시험

5.4.1 시험방법

동적 재하시험은 충격계수와 고유진동수 측정을 위하여 실시하였으며 재하차량을 이용하여 각 방향별로 10 km/h에서 주행 가능한 최대속도 80 km/h까지 측정하였으며, 각 속도별 주행방향 및 주행위치를 다음에 나타내었다.

[표 5.12] 동적 재하시험 주행속도별 차량 진행 방향

재하경우	주행방향	주행위치	주행속도	비고
L.C 1	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	10 km/h	G1위치
L.C 2	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	20 km/h	G1위치
L.C 3	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	30 km/h	G1위치
L.C 4	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	40 km/h	G1위치
L.C 5	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	50 km/h	G1위치
L.C 6	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	60 km/h	G1위치
L.C 7	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	70 km/h	G1위치
L.C 8	A2(수서) → A1(분당)	분당방향 3차로	80 km/h	G1위치



[그림 5.16] 동적주행시험 시험차량 주행위치

5.4.2 동적주행시험 결과

가. 충격계수

충격계수 산정 시 5~10 km정도의 서행에 의한 응답을 정적응답치로 간주하고 이 값을 기준으로 속도별 응답치를 이용하여 충격계수를 산정하는 방법이 일반적으로 사용되나, 최초 서행 시와 매 속도마다의 응답은 운전자의 숙달, 습관, 주행위치 이격 등으로 달라질 수 있다. 따라서, 각 속도별 동적응답을 1 Hz이하의 Low Pass Filter로 필터링하여 의사정적 응답곡선을 구하고 필터링 전후의 값을 이용하여 각 속도별 충격계수를 구하는 방법을 사용하였다.

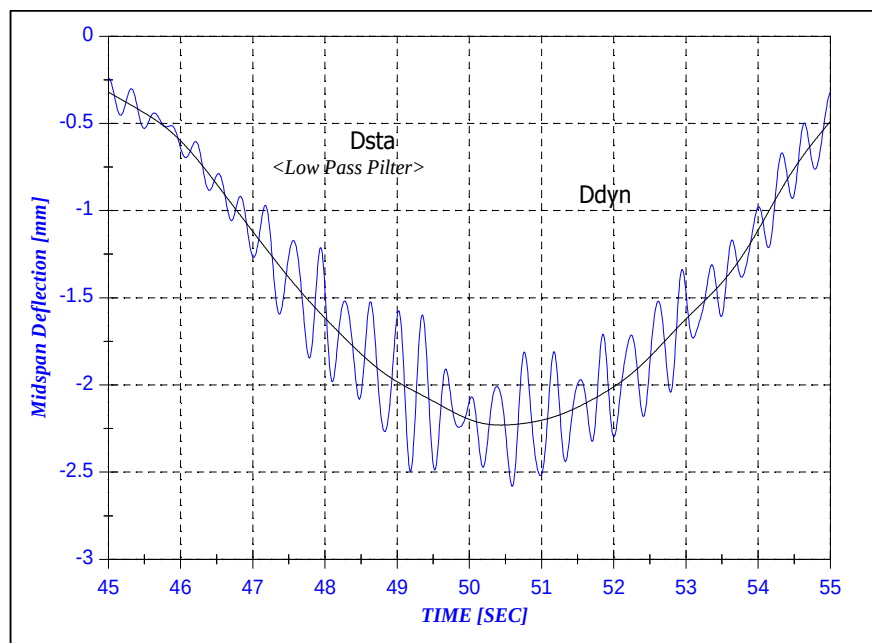
산정방법은 다음과 같이 동적주행 시험의 각 속도별의 동적응답 곡선을 Low Pass Filter에 의해서 필터링한 최대정적응답<Dsta(max)> 곡선을 기준으로 계측 최대동적응답치<Ddyn(max)>와 비교하여 실측충격계수를 산정한다.

$$\cdot \text{동적증폭율(D.L.F)} = \frac{D_{dyn}}{D_{sta(max)}}, \quad \cdot \text{실측충격계수 } i = D.L.F - 1$$

$$\cdot \text{이론충격계수} : \frac{15}{40+L}$$

여기서, L = 경간장

$$\text{이론충격계수} : i = \frac{15}{40+49.4} = 0.168 \text{ (S5)}, \quad i = \frac{15}{40+50.0} = 0.167 \text{ (S4)}$$



[그림 5.17] 동적응답 이력곡선

[표 5.13] 속도별 충격계수 (1)

구 분		S5, 단면 A-A		S4, 단면 C-C		비고
		G1	G2	G1	G2	
		DT1	DT2	DT3	DT4	
L.C 1 (10 Km/h)	Ddyn	-3.512	-1.334	-3.209	-1.459	
	Dsta	-3.316	-1.255	-3.174	-1.416	
	D.L.F	1.059	1.063	1.011	1.030	
	충격계수(i)	0.059	0.063	0.011	0.030	
L.C 2 (20 Km/h)	Ddyn	-3.108	-1.438	-3.056	-1.681	
	Dsta	-2.972	-1.350	-2.966	-1.610	
	D.L.F	1.046	1.065	1.030	1.044	
	충격계수(i)	0.046	0.065	0.030	0.044	
L.C 3 (30 Km/h)	Ddyn	-3.032	-1.463	-2.970	-1.612	
	Dsta	-2.899	-1.384	-2.872	-1.549	
	D.L.F	1.046	1.057	1.034	1.041	
	충격계수(i)	0.046	0.057	0.034	0.041	
L.C 4 (40 Km/h)	Ddyn	-3.143	-1.629	-3.011	-1.751	
	Dsta	-2.987	-1.508	-2.851	-1.636	
	D.L.F	1.052	1.080	1.056	1.070	
	충격계수(i)	0.052	0.080	0.056	0.070	
L.C 5 (50 Km/h)	Ddyn	-3.216	-1.687	-2.976	-1.666	
	Dsta	-2.968	-1.540	-2.898	-1.575	
	D.L.F	1.084	1.095	1.027	1.058	
	충격계수(i)	0.084	0.095	0.027	0.058	
L.C 6 (60 Km/h)	Ddyn	-3.441	-1.806	-3.218	-1.824	
	Dsta	-3.100	-1.608	-2.896	-1.624	
	D.L.F	1.110	1.123	1.111	1.123	
	충격계수(i)	0.110	0.123	0.111	0.123	

[표 5.14] 속도별 충격계수 (2)

구 분		S5, 단면 A-A		S4, 단면 C-C		비고
		G1	G2	G1	G2	
		DT1	DT2	DT3	DT4	
L.C 7 (70 Km/h)	Ddyn	-3.462	-1.855	-2.955	-1.692	
	Dsta	-3.029	-1.605	-2.886	-1.621	
	D.L.F	1.143	1.156	1.024	1.044	
	충격계수(i)	0.143	0.156	0.024	0.044	
L.C 8 (80 Km/h)	Ddyn	-3.203	-1.565	-3.311	-1.761	
	Dsta	-3.031	-1.475	-2.916	-1.543	
	D.L.F	1.057	1.061	1.135	1.141	
	충격계수(i)	0.057	0.061	0.135	0.141	
최대충격계수(i)		0.156		0.141		

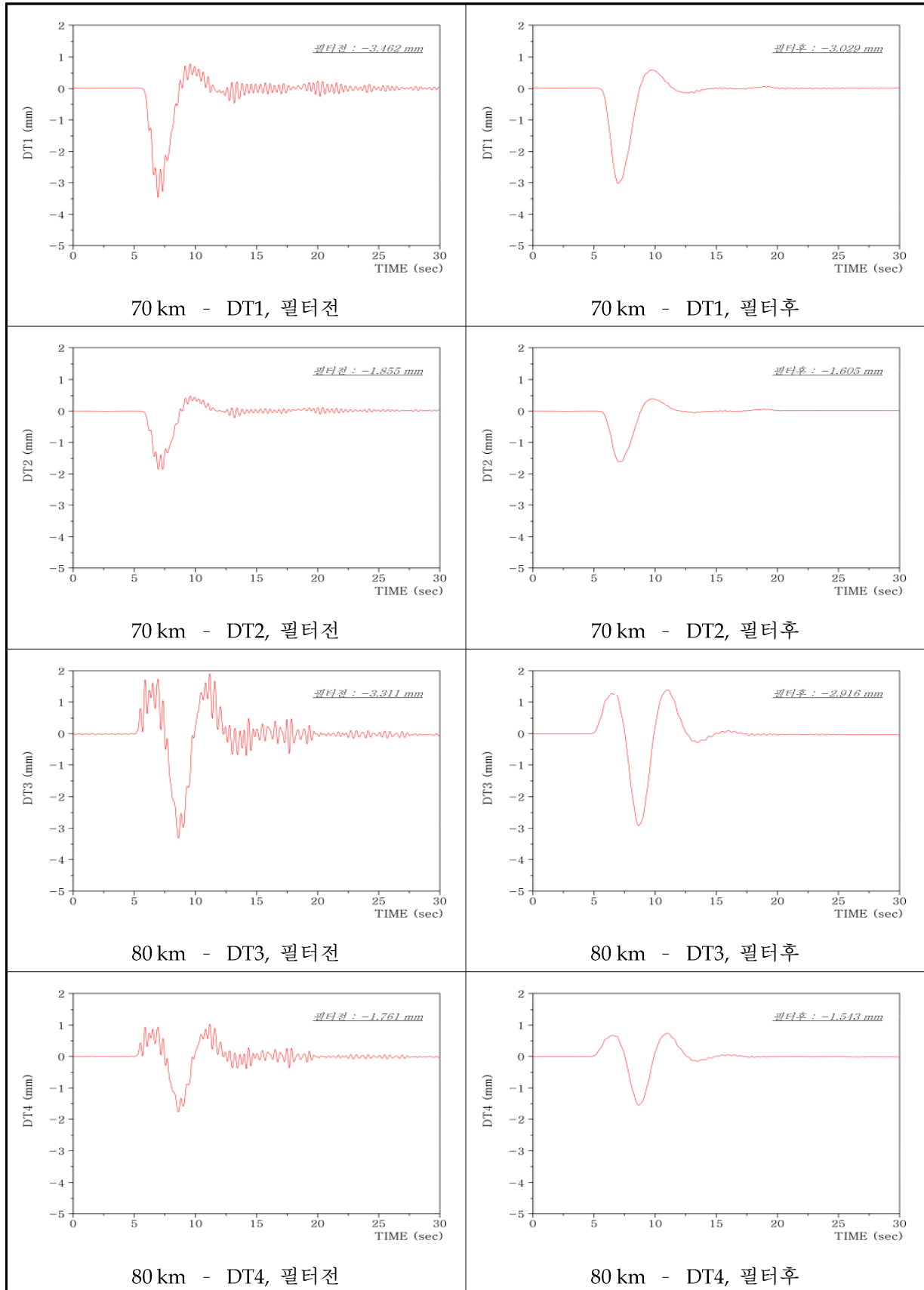
외측경간(S5) 충격계수

S5, 단면 A-A

내측경간(S4) 충격계수

S4, 단면 C-C

최대 충격계수의 선정은 교량의 전반적인 거동을 대변하는 처짐을 이용하였다. 실측충격계수 분석 결과 70km/h 주행 시 0.156(S5), 80km/h 주행시 0.141(S4)로 분석되어 도로교설계기준에서 제시하는 이론충격계수(0.168, 0.167)보다 작게 나타나 이동 하중에 대한 영향은 양호한 것으로 판단된다.



※ 미기재 그래프는 부록편 참조

[그림 5.18] 필터링 전후 동적 응답그래프 일례

나. 고유진동수

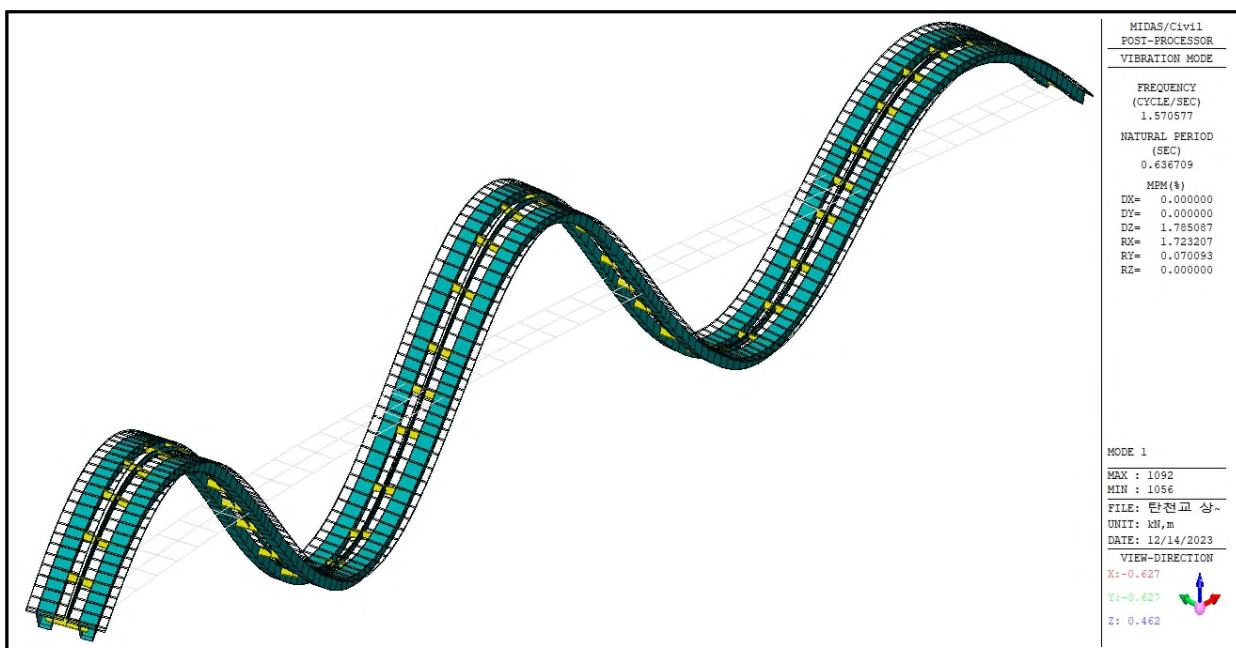
진동데이터의 스펙트럼 해석이란 불규칙한 진동파형을 Fourier 변환하여 시간영역의 데이터를 진동수 영역의 데이터로 바꾸고, 진동파형에 포함되어있는 진동수 성분의 강도(F.F.T)를 구하는 것을 말한다.

Window Function의 Hanning Type을 이용하여 교량에 설치한 가속도계로부터 재하 차량이 측정경간을 벗어나 영향을 주지 않는 자유진동상태의 가속도 응답곡선을 F.F.T분석을 실시한 후 고유진동수를 구하였다. 구조물의 진동특성은 구조물의 질량과 강성에 관계되나 해석 시 이상화된 해석모델과 달리 실제 구조물은 기하학적 형상이나 지지조건 및 부재 등에 따라 매우 복잡한 진동을 하게 된다.

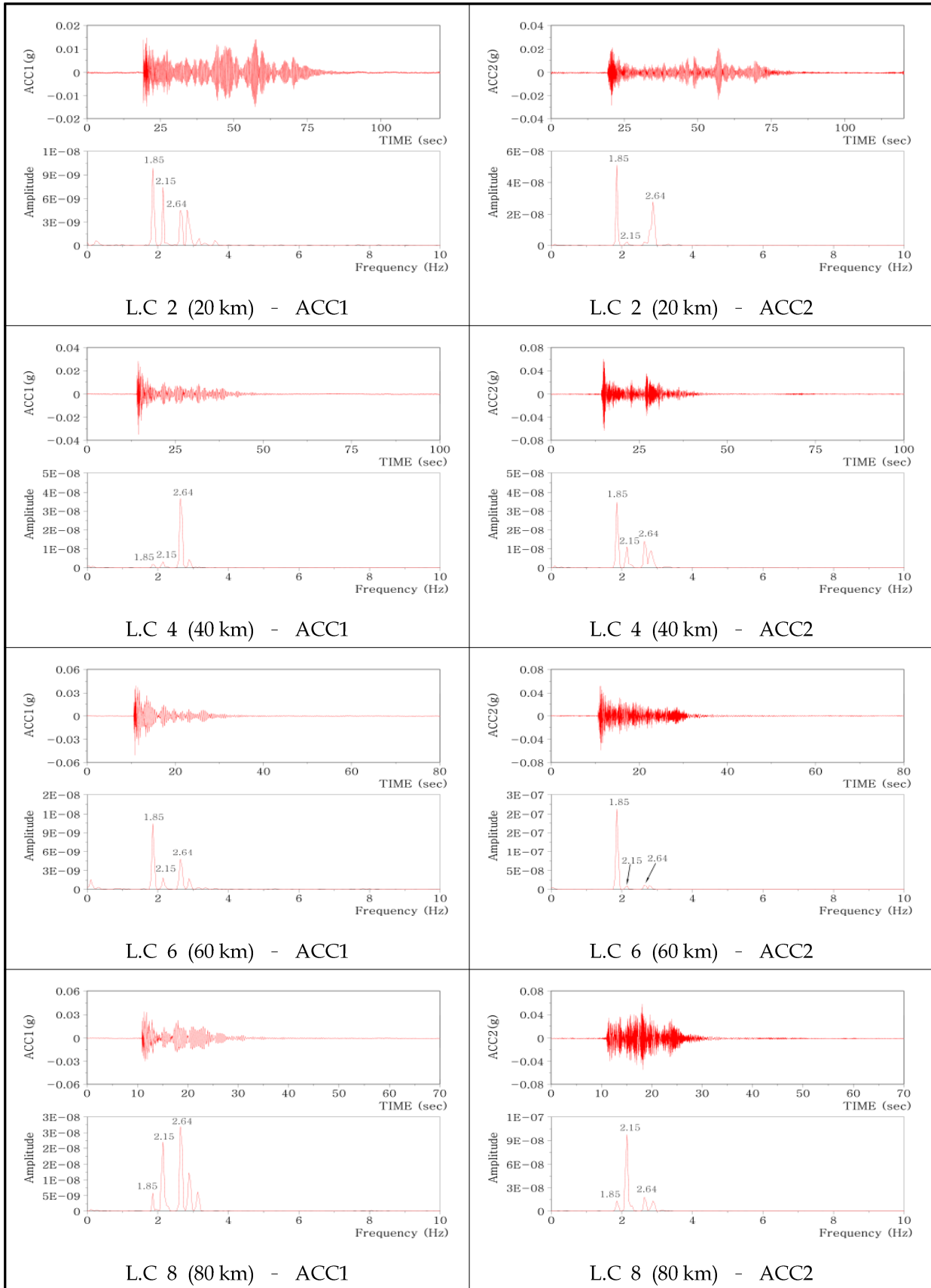
교량의 실측 고유진동수를 다음과 같이 나타냈으며 해석치와 비교하여 합리적인 것으로 분석된다.

[표 5.15] 동적 재하시험 주행속도별 실측고유진동수

재하경우	주행방향	주행속도	실측 고유진동수(Hz)		비고
			S5	S4	
L.C 1	A2(수서) → A1(분당)	10 km/h	1.85	1.85	해석 고유진동수 1.571 Hz
L.C 2	A2(수서) → A1(분당)	20 km/h	1.85	1.85	
L.C 3	A2(수서) → A1(분당)	30 km/h	1.85	1.85	
L.C 4	A2(수서) → A1(분당)	40 km/h	1.85	1.85	
L.C 5	A2(수서) → A1(분당)	50 km/h	1.85	1.85	
L.C 6	A2(수서) → A1(분당)	60 km/h	1.85	1.85	
L.C 7	A2(수서) → A1(분당)	70 km/h	1.85	1.85	
L.C 8	A2(수서) → A1(분당)	80 km/h	1.85	1.85	



[그림 5.19] 1차 Mode 형상

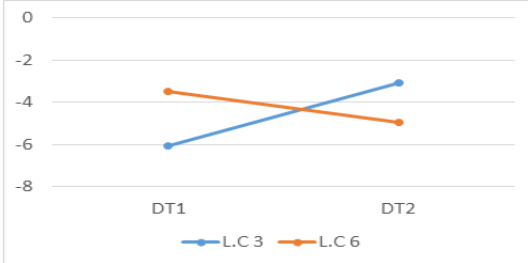
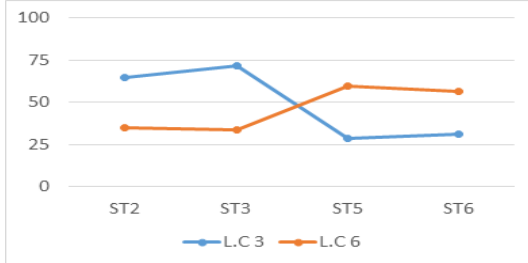
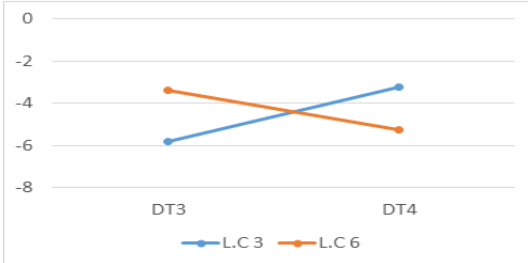
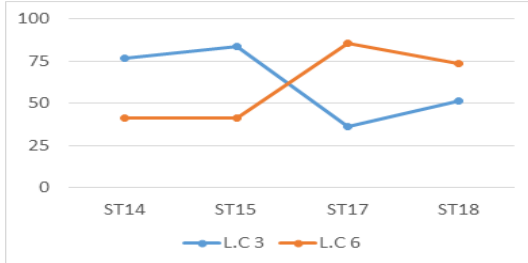


※미기재 그래프는 부록편 참조

[그림 5.20] 가속도 응답곡선에 대한 F.F.T 분석 결과

5.5 재하시험 결과 요약

[표 5.16] 재하시험 결과요약

구분	분 석 결 과					
정적시험 최대변위 및 변형률	• 트럭하중 : A차량-267.90 kN, B차량-266.20 kN(설계하중 DB-24의 약 62.0%, 61.6%)					
	구 분	S5		P4	S4	
		처짐(mm)	변형률(με)	변형률(με)	처짐(mm)	변형률(με)
		1대 재하	-3.316	37.95	-14.45	-3.174
	2대 재하	-6.060	71.92	-25.78	-5.822	85.27
변형률(με) : (+)인장, 처짐(mm) : (-)하향변위						
하중 횡분배						
	처짐(mm)					
	변형률(με)					
	S5(단면 A-A), 2대 재하					
하중 횡분배						
	처짐(mm)					
	변형률(με)					
	S4(단면 C-C), 2대 재하					
• Load Case별로 측정된 값을 횡분배한 결과, 중분대측이 다소 작게 나타났으나 이는 인접교량(탄천교_수서방면)의 간섭효과가 발생하여 나타난 결과로 판단되며, 각 재하경우에 따라 일정한 양상을 띠고 있는 것으로 나타나 특이한 구조거동은 없는 것으로 판단됨.						
충격 계수	• 이론충격계수 : 0.168(S4), 0.167(S4) • 실측충격계수 : 0.156(S5), 0.141(S4) ⇒ 측정된 충격계수는 이론값보다 적게 측정되어 이동하중에 의한 영향은 양호한 것으로 분석됨.					
고유 진동수	• 해석진동수 : 1.571 Hz • 실측진동수 : 1.85 Hz(1차) ⇒ 측정된 실측진동수는 모델링을 통한 해석진동수와 유사하게 분석됨.					

5.6 전회차 진단 결과와의 비교

[표 5.17] 전회차 진단 결과와의 비교

구분		전회 정밀안전진단 (2009년)	전회 정밀안전진단 (2013년)	금회 정밀안전진단 (2023년)
개요	시험구간	• S5 3L/8, P4, S4 L/2	• S5 3L/8, P4, S4 L/2	• S5 3L/8, P4, S4 L/2
	시험하중 (kN)	• 2대 : 270.99 kN, 256.9 kN (DB-24의 약 61.1% 수준)	• 2대 : 247.00 kN, 258.90 kN (DB-24의 약 58.6% 수준)	• 2대 : 267.90 kN, 266.20 kN (DB-24의 약 62.0% 수준)
	센서수량 (EA)	• 변형률 : 11 • 처짐 : 4 • 가속도 : 1	• 변형률 : 10 • 처짐 : 4 • 가속도 : 1	• 변형률 : 18 • 처짐 : 4 • 가속도 : 2
	비교 및 분석	• 재하하중은 전회(2013년) 대비 약 5.6%증가함(2대 평균). • 시험구간 및 센서 설치 단면은 전회와 동일함.		
정적 재하 시험	최대변형률 ($\mu\epsilon$)	• S5 : 64.258(2대) • S4 : 71.970(2대)	• S5 : 74.94(2대) • S4 : 79.86(2대)	• S5 : 71.92(2대) • S4 : 85.27(2대)
	최대처짐 (mm)	• S5 : -6.181(2대) • S4 : -5.491(2대)	• S5 : -8.361(2대) • S4 : -8.835(2대)	• S5 : -6.060(2대) • S4 : -5.822(2대)
	횡방향 거동특성	• 양호	• 양호	• 양호
	비교 및 분석	• 전회는 정적, 금회는 의사정적으로 수행함. • 변형률은 2013년과 유사하게 나타났으며, 처짐의 경우 전회(2013년)대비 약 28~35%감소한 것으로 분석됨. • 횡방향거동은 양호한 것으로 분석됨.		
동적 재하 시험	주행속도 (km/h)	• 10~90 (10km/h씩 증가시키며 분당방향으로 주행)	• 10~60 (10km/h씩 증가시키며 분당방향으로 주행)	• 10~80 (10km/h씩 증가시키며 분당방향으로 주행)
	최대충격계수	• 실측 : 0.164(S5), 0.151(S4) • 이론 : 0.167(S4, S5)	• 실측 : 0.162(S5), 0.159(S4) • 이론 : 0.167(S4, S5)	• 실측 : 0.156(S5), 0.141(S4) • 이론 : 0.168(S4), 0.167(S4)
	고유진동수 (Hz)	• 실측 : 2.637~6.738 • 해석 : 3.510	• 실측 : 3.252~4.160 • 해석 : 4.088	• 실측 : 1.85 • 해석 : 1.571
	비교 및 분석	• 실측충격계수 : 전회와 유사하게 나타났으며, 도로교 설계기준에서 제시하는 이론충격계수보다 작게 분석되어 이동하중에 대한 영향은 양호한 것으로 판단됨. • 고유진동수 : 전회와 차이가 있으나, 금회 실측치와 해석치를 비교 시 합리적으로 나타나 교량의 강성은 양호한 것으로 판단됨.		