

제5장 재하시험

5.1 개 요

5.2 재하시험 계획 및 실행

5.3 정적재하시험

5.4 동적주행시험

5.5 재하시험 결과분석

5.6 성능시험(진동 사용성 평가)

제5장 재하시험

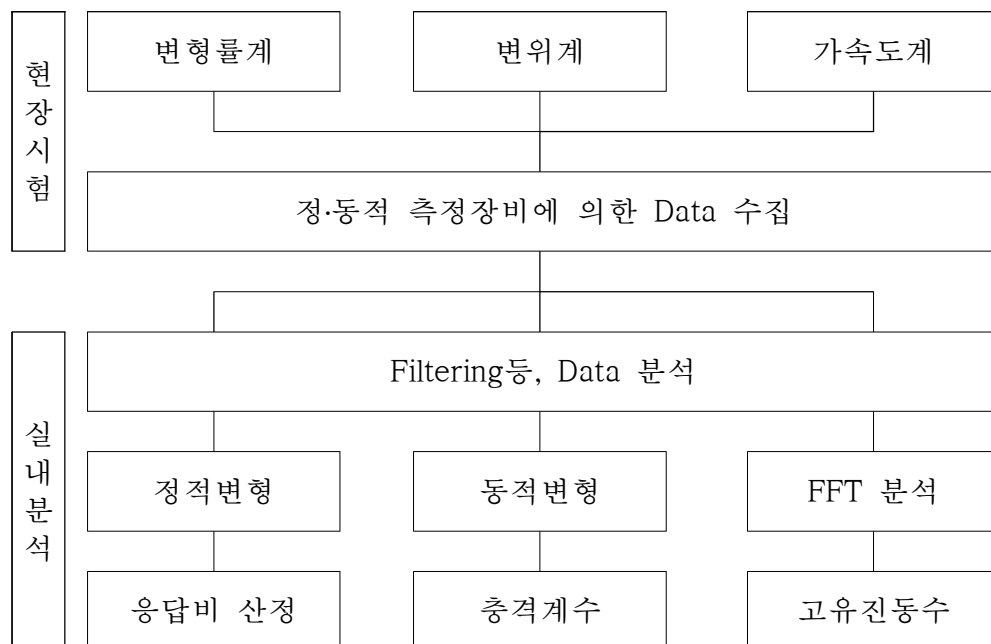
5.1 개 요

재하시험은 축중을 정한 시험차량의 재하에 따른 대상 구조물의 실거동을 측정함으로써 대상구조물의 정·동적 거동특성을 파악하고 공용 내하력을 평가하기 위하여 실시한다.

일반적으로 재하시험은 하중의 재하방법에 따라 정적재하시험 및 동적주행시험으로 대별된다.

정적재하시험은 정적재하시험과 동일하게 작용외력에 대한 대상교량의 정적거동특성을 파악하고 정적변형률 및 응력의 응답비 등 내하력평가를 위한 제반계수를 산정하기 위하여 실시하며, 동적주행시험은 기본적인 구조물의 동적거동을 조사·측정하기 위한 것으로 대상교량의 실충격계수와 실고유진동수 등을 측정·분석하여 교량의 동적거동특성을 파악하기 위하여 실시한다.

정·동적 재하시험의 측정체계는 <그림 5.1>과 같다.



<그림 5.1> 정·동적 재하시험 측정체계

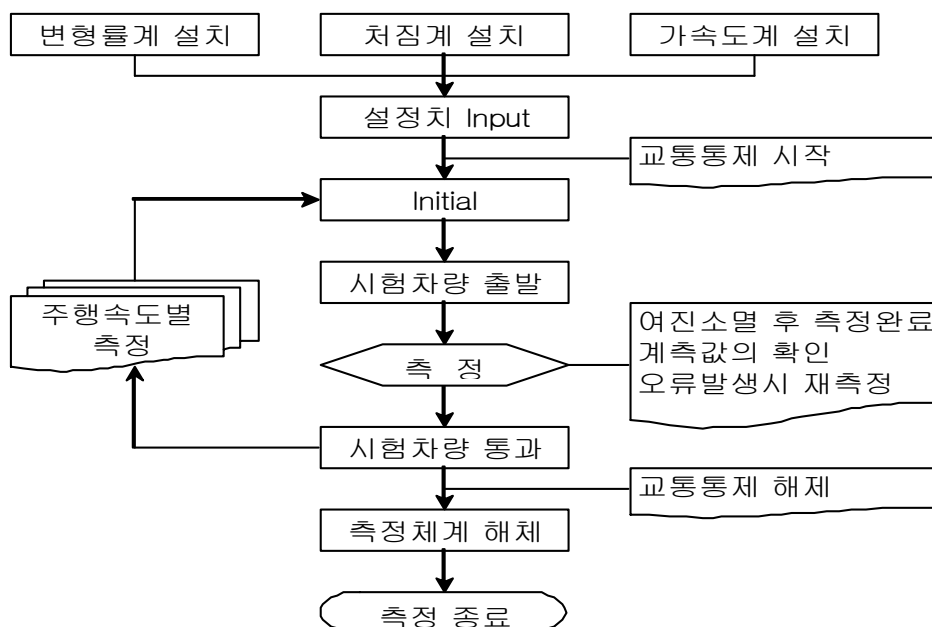
5.1.1 정적 재하시험

정적재하시험은 동적시험과 연계하여 수행할 수 있으며, 축중을 알고 있는 시험차량을 시험대상 공간에 저속으로 주행시키면서 계측한 후 응력파형상의 동적효과를 제거함으로써 정적효과를 얻을 수 있는 재하시험의 한 방법이다.

본 과업에서는 대상교량의 정적거동을 계측하기 위해 정적시험을 수행하여, 계측결과를 분석하여 대상교량의 정적거동특성 분석 및 내하력 평가시 응력보정을 위한 응답비를 구하기로 한다. 재하시험은 미리 선정된 지점에 측정하고자 하는 목적에 맞는 센서를 부착한 후, 시험차량을 임의의 위치를 기준으로 주행하여 교량의 변위, 부재의 변형률 등을 측정하여, 교량의 중·횡방향 정적거동을 파악한다. 이 때 각종 센서의 부착위치 및 시험차량의 재하위치는 전문기술자의 지식 및 경험에 의해 결정되며, 대개는 최대 응답 발생 부위가 된다.

5.1.2 동적 재하시험

주행차량에 의한 교량의 동적거동을 파악하는 것은 실제 교량이 가지고 있는 저항능력, 강성 및 사용성의 한계를 평가하는데 매우 중요하다. 이와 같은 목적을 위해 실시되는 동적주행시험은 시험차량의 주행에 의해 유발되는 동적효과 및 제반 동특성을 추정하여 대상교량의 안전성 및 사용성 평가를 위한 기초자료를 도출하고자 실시한다. 동적재하시험은 동적거동특성을 파악하고자 하는 대상부재에 측정항목에 따른 센서를 부착하고 시험차량의 주행속도를 20km/hr부터 최고주행속도까지 단계적으로 증가하면서 주행하며, 이 때 측정 지점에 발생하는 변위, 변형률 및 가속도 등을 측정하여 교량의 동적거동상태를 파악하고자 한다.



〈그림 5.2〉 재하시험의 절차

5.2 재하시험 계획 및 실행

5.2.1 재하시험 장비

본 교량의 재하시험에 사용될 측정기기 및 센서의 종류는 아래의 <표 5.1> 및 <표 5.2>와 같다.

기 기 명	모 델 명	용 도	비 고
Strain Meter	STC-16NB	정·동적 변형률, 변위 및 가속도 측정기	한국, 삼연기술
Software	SAS97	데이터 획득 및 저장 프로그램	한국, 삼연기술
Notebook PC	Samsung Sens	데이터 저장 및 분석용 하드웨어	한국, 삼성

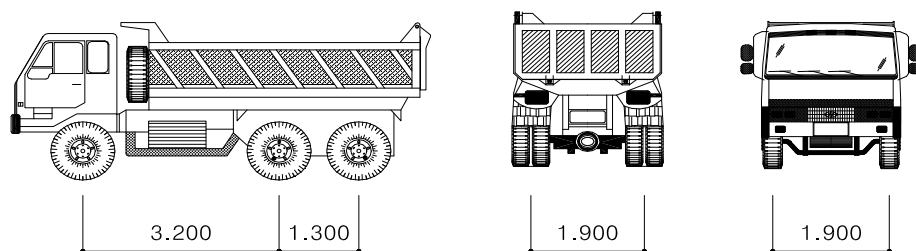
<표 5.1> 재하시험 측정기기

센 서 명	모 델 명	용 도	비 고
Strain Gauge	FLA-5-11-1L	강재 변형률 측정	일본, TML사
Displacement Meter	OU-30	정·동적 변위 측정	일본, TML사
Accelerometer	ARF-10A	가속도 측정 (1축)	일본, TML사

<표 5.2> 센서의 종류

5.2.2 시험차량 제원 및 축중

재하차량은 덤프트럭에 모래를 적재한 총중량 약 26.3톤의 덤프트럭 1대를 사용하였고, 시험에 이용된 시험트럭의 총중량은 설계하중의 약 61% 수준이다. <그림 5.3>, <표 5.3>에 재하차량의 제원 및 축중을 나타내었다.



<그림 5.3> 재하차량 제원

구 분	총중량 (tonf)	전륜 (tonf)	중륜 (tonf)	후륜 (tonf)	비 고
15ton 덤프트럭	26.300	6.740	9.780	9.780	

<표 5.3> 재하차량 제원

5.2.3 시험경간의 선정

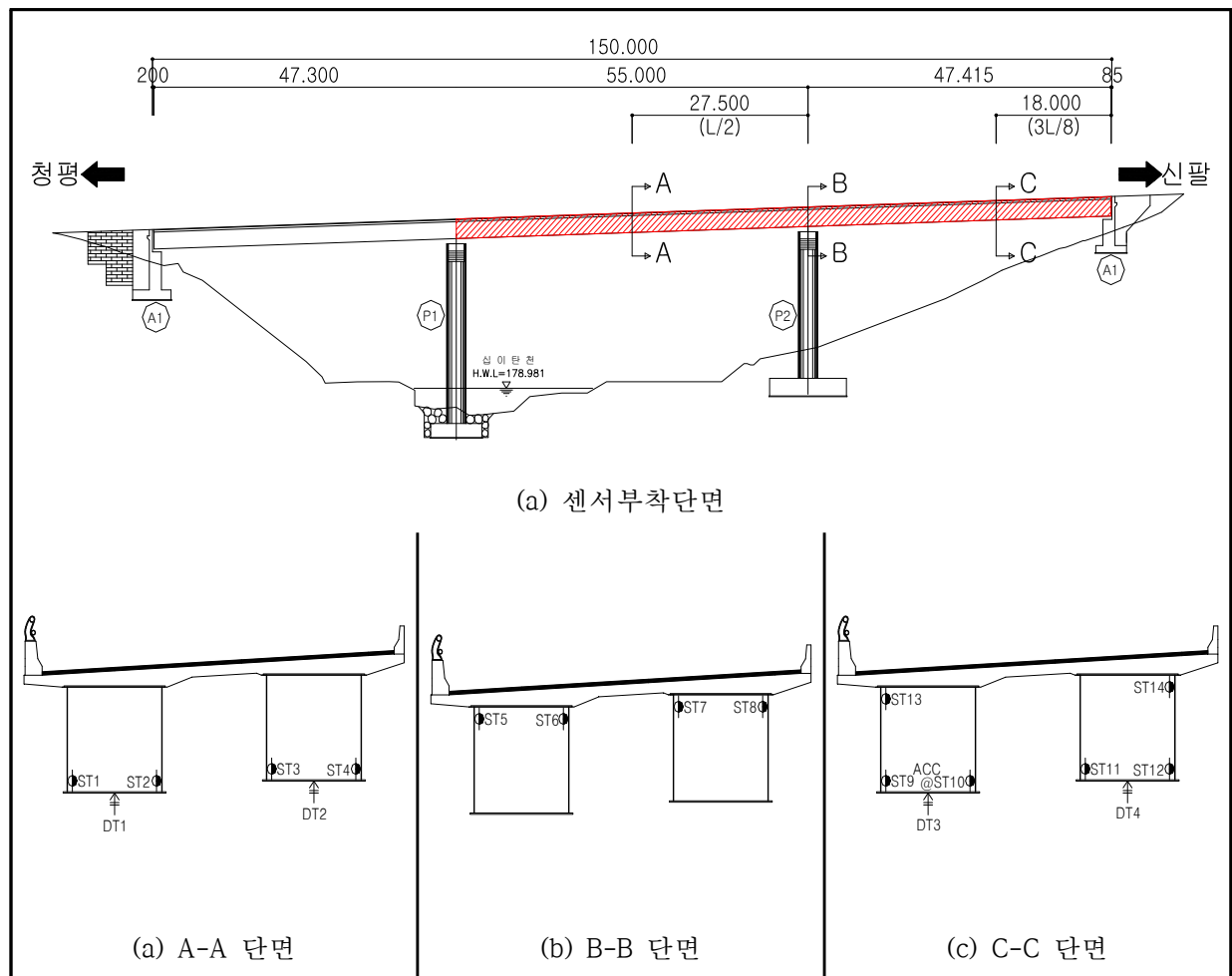
본 교량은 Steel Box Girder교 형식으로 이루어진 교량으로서 금회 정밀안전진단 재하 시험구간은 현장 조사 시 내하력 저하 등이 발생할 수 있는 손상은 발견되지 않아 최대 단면력의 발생 위치를 고려하여 <표 5.4>, <그림 5.4>와 같이 S2~S3구간을 선정하였다.

측정 경간		시험 항목	선정 사유
Steel Box Girder	S2~S3	- 정적 재하시험 - 동적 주행시험	- 초기점검과 동일위치 - 게이지 설치 용이

<표 5.4> 재하시험 대상경간

5.2.4 측정 센서의 부착위치

본 교량에서는 재하하중에 따른 단면력이 최대로 발생하는 내측경간(S2) 정모멘트부(단면 A-A)와 지점부(P2) 부모멘트부(단면 B-B) 및 외측경간(S3) 정모멘트부(단면C-C)를 측정단면으로 선정하여 휨변형, 변위 및 고유진동수를 얻을 수 있도록 하였다.



<그림 5.4> 게이지 부착위치

대상경간	Gauge No.	부착위치	계측목적
S2 정모멘트부 (단면 A-A)	ST1	G ₁ 좌측하연	교축방향 변형률
	ST2	G ₁ 우측하연	교축방향 변형률
	ST3	G ₂ 좌측하연	교축방향 변형률
	ST4	G ₂ 우측하연	교축방향 변형률
	DT1	G ₁ 중앙하연	변위
	DT2	G ₂ 중앙하연	변위
P2 부모멘트부 (단면 B-B)	ST5	G ₁ 좌측하연	교축방향 변형률
	ST6	G ₁ 좌측상연	교축방향 변형률
	ST7	G ₂ 좌측하연	교축방향 변형률
	ST8	G ₂ 좌측상연	교축방향 변형률
S3 정모멘트부 (단면 C-C)	ST9	G ₁ 좌측하연	교축방향 변형률
	ST10	G ₁ 우측하연	교축방향 변형률
	ST11	G ₂ 좌측하연	교축방향 변형률
	ST12	G ₂ 우측하연	교축방향 변형률
	ST13	G ₁ 좌측상연	교축방향 변형률
	ST14	G ₂ 우측상연	교축방향 변형률
	D3	G ₁ 중앙하연	변위
	D4	G ₂ 중앙하연	변위
	ACC	G ₁ 중앙하연	진동가속도

〈표 5.5〉 재하시험 구간 Gauge 번호, 부착위치 및 목적

5.3 정적재하시험

5.3.1 시험방법 및 결과

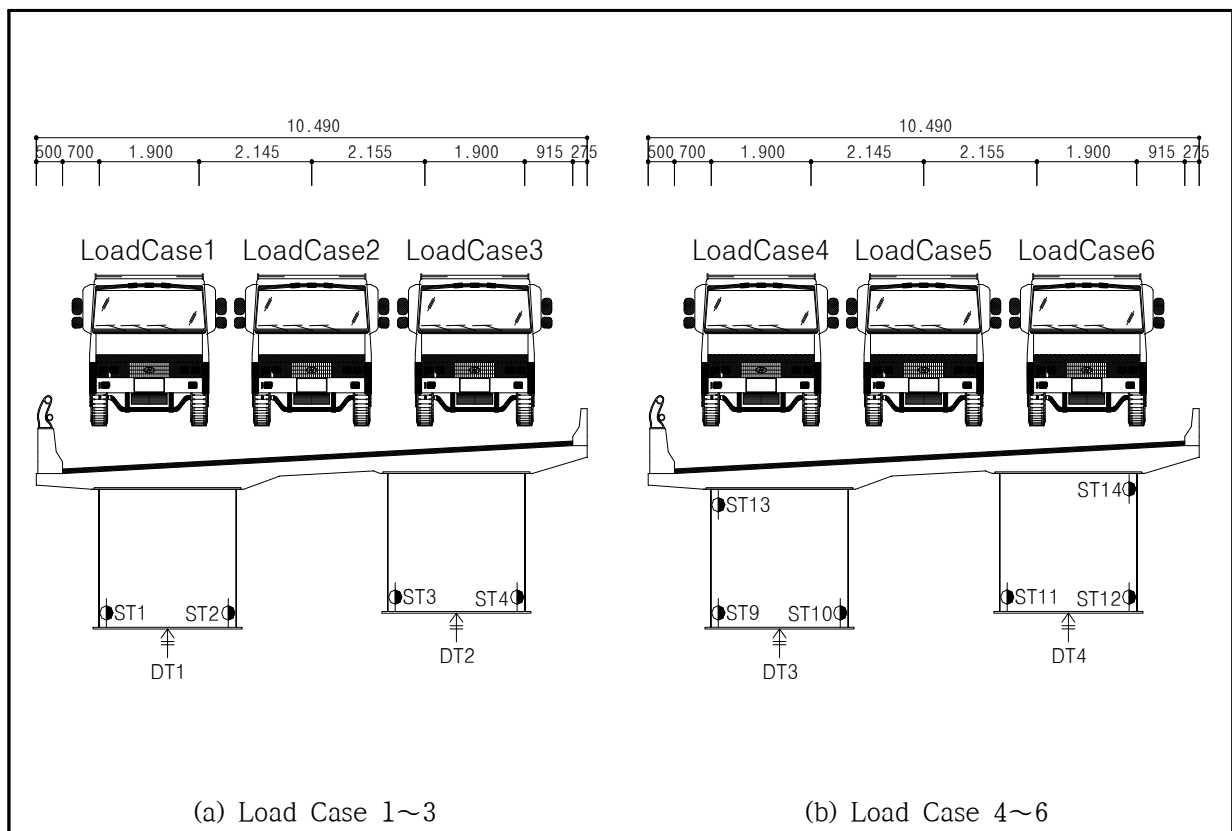
가. 시험방법

정적재하시험의 경우 1대의 재하차량을 이용하여 신팔(A2)에서 청평(A1)방향으로 진행하며 LC1 ~ LC 까지 총 6개의 하중조합으로 실시하였다.

정적재하시험의 재하경우는 다음 <표 5.6>과 같으며 <그림 5.5>은 차량 재하 방향 및 Load Case별 시험차량 위치를 나타내었다.

재하경우	주행방향	재하경간	비 고
LC1~LC3	신팔(A2) → 청평(A1)	S2	1대
LC4~LC6	신팔(A2) → 청평(A1)	S3	1대

<표 5.6> 정적재하시험 하중 재하 경우



<그림 5.5> Load Case별 재하위치

나. 정적재하시험 결과

본 교량에 대한 정적재하시험의 측정결과는 아래 <표 5.7>~<표 5.11>과 같다.

구 분 하중경우	S2 정모멘트부 [단위: $\mu \varepsilon$]				비 고
	ST1	ST2	ST3	ST4	
LC1	33.032	28.901	19.559	18.925	
LC2	23.352	22.333	27.820	24.062	
LC3	18.255	15.654	33.176	32.678	

<표 5.7> 내측 경간(S2)의 정모멘트부 측정 결과 - 변형률

구 분 하중경우	S2 정모멘트부 [단위: $\mu \varepsilon$]						비 고
	ST9	ST10	ST11	ST12	ST13	ST14	
LC4	30.216	33.456	16.478	19.168	-5.904	-3.783	
LC5	22.736	31.399	31.376	27.898	-4.025	-4.844	
LC6	17.463	19.230	33.996	36.617	-2.848	-6.161	

<표 5.8> 외측 경간(S3)의 정모멘트부 측정 결과 - 변형률

구 분 하중경우	P2 부모멘트부 [단위: $\mu \varepsilon$]				비 고
	ST5	ST6	ST7	ST8	
LC1	4.557	2.456	3.104	1.924	
LC2	1.007	2.558	2.747	1.125	
LC3	1.235	2.107	4.694	2.398	
LC4	2.863	2.252	1.424	1.894	
LC5	1.410	3.226	2.380	2.087	
LC6	0.492	1.123	1.918	3.241	

<표 5.9> P2의 부모멘트부 측정 결과 - 변형률

구 분 하중경우	S2 정모멘트부 [단위:mm]		비 고
	DT1	DT2	
LC1	2.093	1.549	
LC2	1.854	2.007	
LC3	1.394	2.221	

〈표 5.10〉 내측 경간(S2)의 정모멘트부 측정 결과 - 변위

구 분 하중경우	S3 정모멘트부 [단위:mm]		비 고
	DT3	DT4	
LC4	2.282	1.577	
LC5	1.923	2.100	
LC6	1.635	2.489	

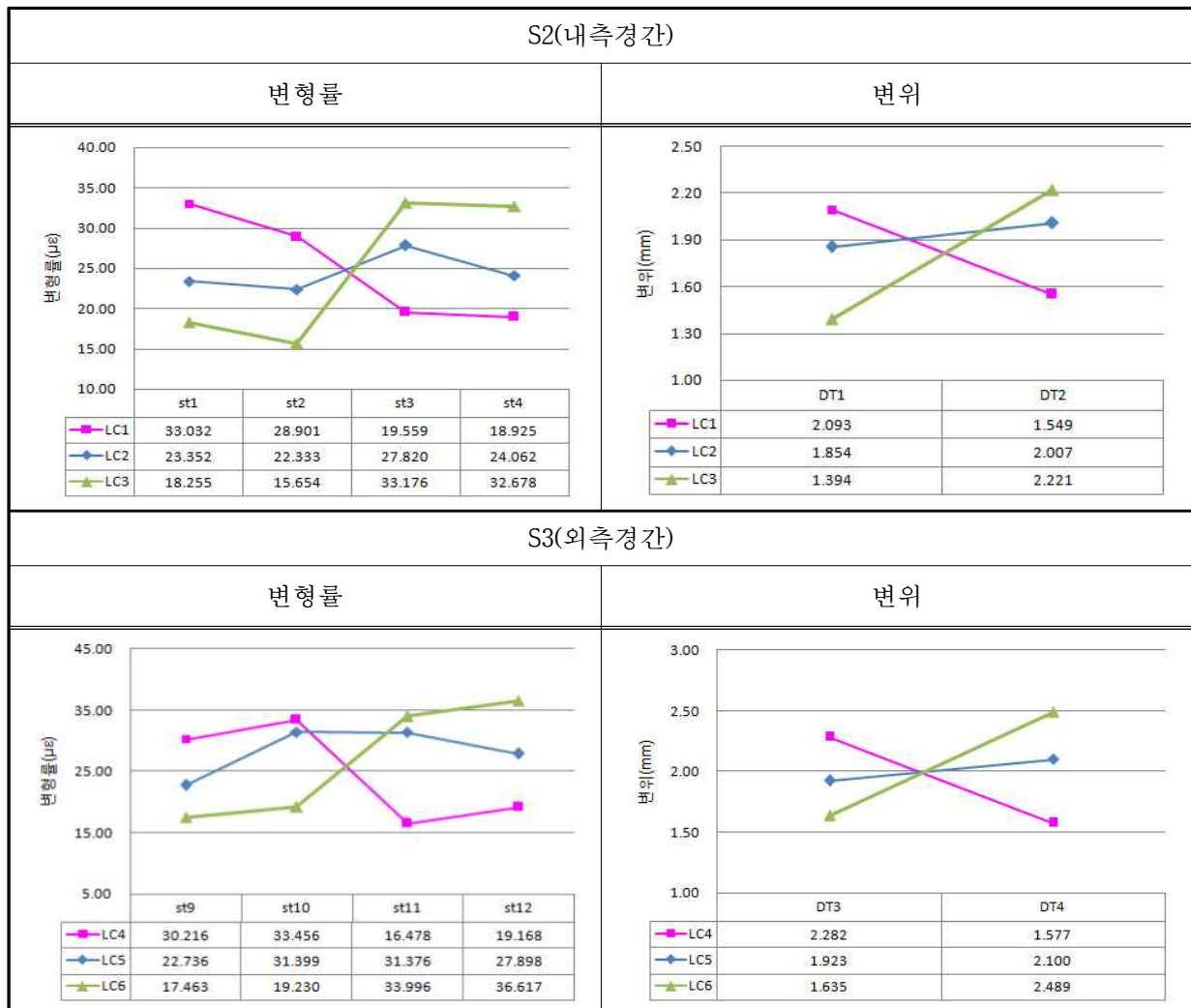
〈표 5.11〉 외측 경간(S3)의 정모멘트부 측정 결과 - 변위

정적재하시험을 실시한 결과, 내측 경간(S2) 정모멘트부의 최대 변형률 및 최대 변위는 $33.176 \mu \varepsilon$ (인장), 2.221mm로 나타났으며 지점부(P2)에서의 최대변형률은 $4.694 \mu \varepsilon$ (인장), 외측 경간(S3) 정모멘트부의 최대 변형률 및 최대 변위는 $36.617 \mu \varepsilon$ (인장), 2.489mm로 측정되었다.

다. 계측결과의 분석

1) 횡방향 거동 특성

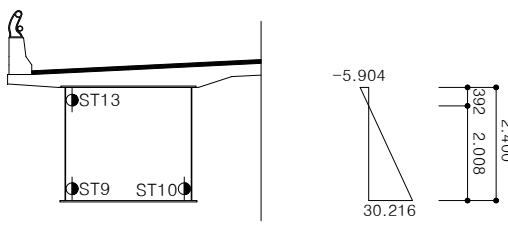
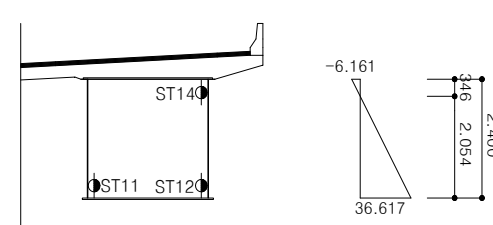
정적재하시험결과를 바탕으로 본 교량의 횡방향 거동 특성을 파악하기 위해 변형률 및 변위의 분포를 분석한 결과, 각 재하 하중위치에 따른 변형률 및 변위의 횡방향 거동은 양호하게 나타나 특이한 구조거동은 없는 것으로 판단된다.



<표 5.12> 횡방향 거동분포

2) 중립축 위치분석

재하시험 결과 산정된 중립축의 위치는 이론적인 방법으로 구한 중립축보다 다소 상향으로 평가되었다. 이는 이론적인 방법으로 중립축 산정시 고려되지 않은 연석, 포장, 난간 등이 실제로는 상부구조와 일체적인 거동을 하기 때문에 이론 중립축보다 다소 상향으로 평가되었으며, 중립축의 전반적인 경향은 양호한 상태로 판단된다.

구분		중립축		비고
3경간	ST9-ST13 (LC4) (G1)	하연으로부터의 중립축 위치 = 2.008		이론 : 1.988
	ST12-ST14 (LC6) (G2)	하연으로부터의 중립축 위치 = 2.054		이론 : 1.987

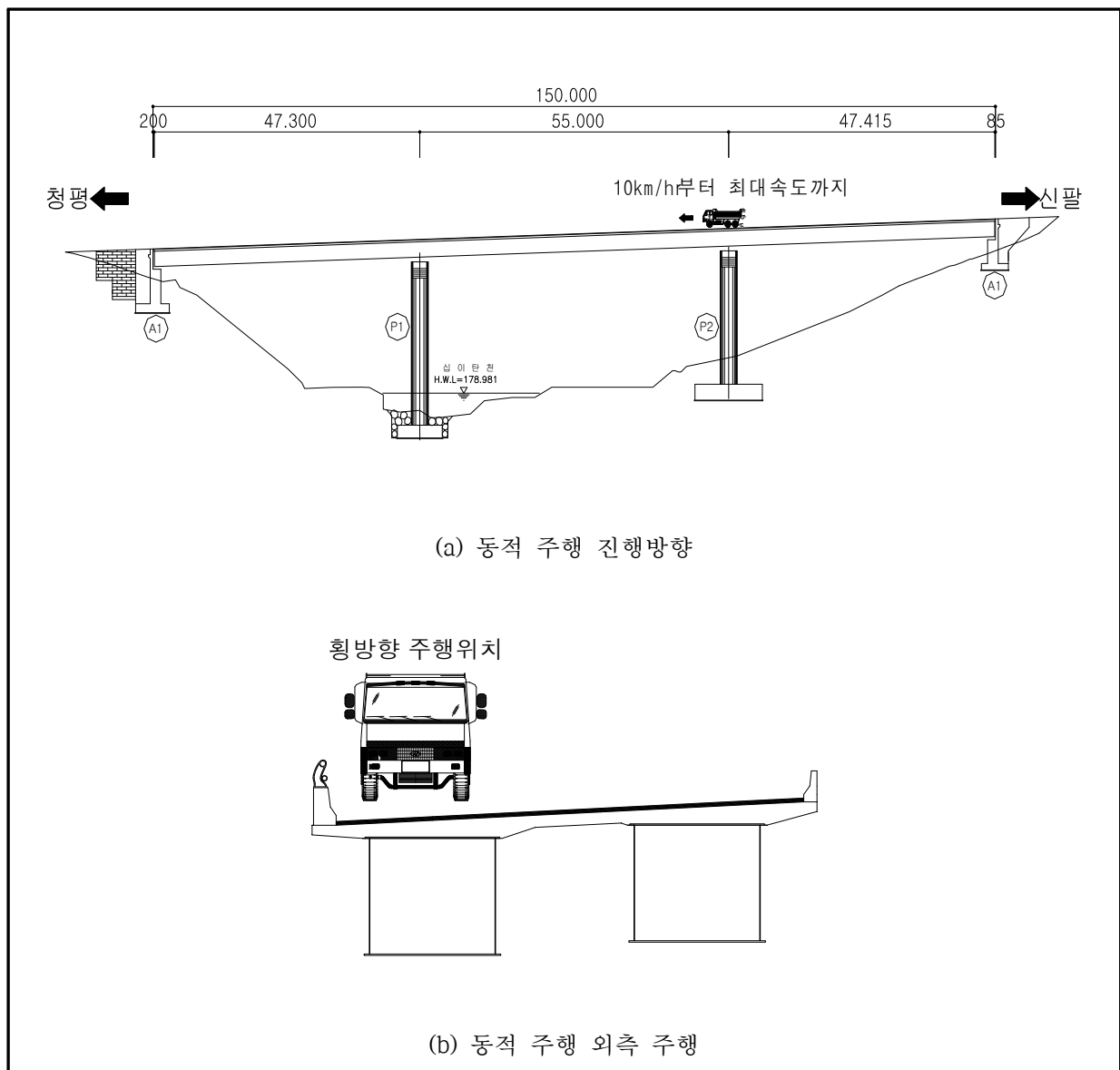
<그림 5.6> 중립축 위치분석

5.4 동적주행시험

5.4.1 시험방법 및 결과

가. 주행시험 및 재하 경우

동적재하시험은 충격계수와 고유진동수 측정을 위하여 실시하였으며, 재하차량을 이용하여 10km/h에서 주행 가능한 최대속도 80km/h까지 속도를 증가하여 측정하였으며, 주행속도 및 주행방법은 <그림 5.7>에 나타내었다.



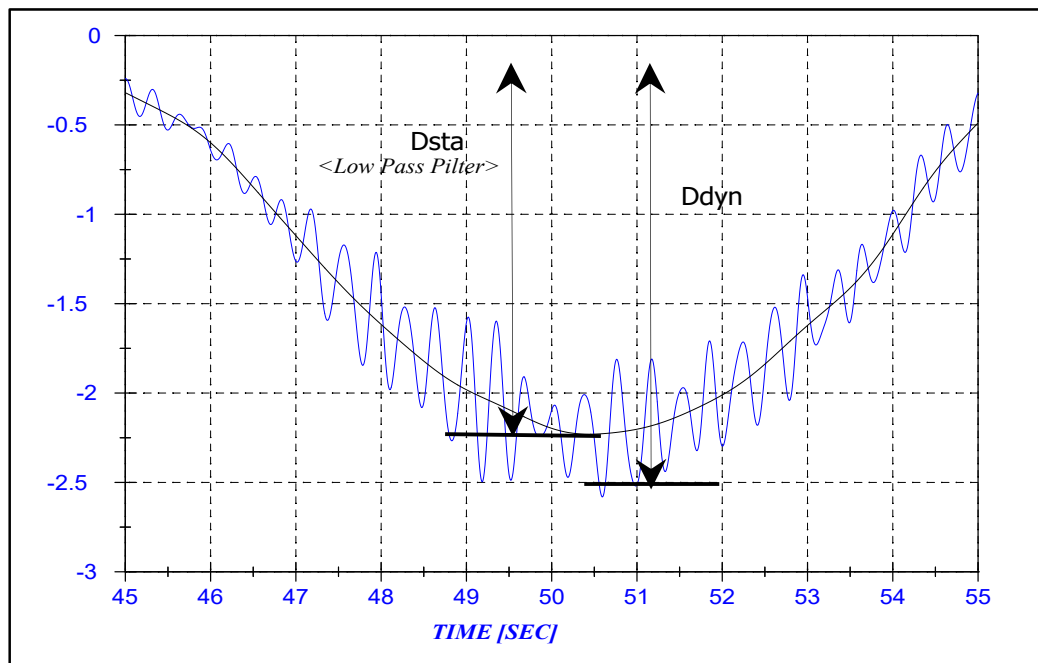
<그림 5.7> 동적 주행 방향 및 위치

나. 실측충격계수 분석

충격계수 산정시 5~10km 정도의 서행에 의한 응답을 정적응답치로 간주하고 이 값을 기준으로 속도별 응답치를 이용하여 충격계수를 산정하는 방법이 일반적으로 사용되나, 최초 서행시와 매 속도마다의 응답은 운전자의 숙달, 습관, 주행위치 이격 등으로 달라질 수 있다. 따라서 각 속도별 동적응답을 1.0Hz이하의 Low Pass Filter로 필터링하여 정적응답곡선을 구하고 필터링 전후의 값을 이용하여 각 속도별 충격계수를 구하는 방법을 사용하였다.

산정방법은 <그림 5.8>와 같이 동적주행 시험의 각 속도별의 동적응답 곡선을 Low Pass Filter에 의해서 필터링한 최대정적응답 <Dsta(max)> 곡선을 기준으로 계측 최대 동적응답치<Ddyn(max)> 와 비교하여 실측충격계수를 산정한다.

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



<그림 5.8> 응답 이력곡선

다. 동적재하시험 결과

1) 주행속도별 변위 측정결과

동적재하시험 결과 시험차량에 의해 발생된 최대 변위는 내측경간 2.270mm(40km/h 주행시 DT1), 외측경간 2.441mm(70km/h 주행시 DT3)으로 나타났다.

구 분 주행속도	S2 정모멘트부 [단위:mm]		S3 정모멘트부 [단위:mm]		비 고
	DT1	DT2	DT3	DT4	
10km/h	2.030	1.763	2.285	1.855	
20km/h	2.031	1.765	2.355	1.930	
30km/h	2.076	1.939	2.238	1.903	
40km/h	2.270	1.943	2.366	2.004	
50km/h	2.225	1.922	2.297	1.966	
60km/h	2.017	1.853	2.351	2.092	
70km/h	1.933	1.624	2.441	2.136	
80km/h	2.077	1.893	2.357	2.068	

〈표 5.13〉 속도별 변위 측정결과

2) 내측경간(S2) 주행속도별 충격계수 분석

하중재하경우		내측 경간(S2)	
		DT1	DT2
10km/h	Ddyn	2.030	1.763
	Dsta	1.990	1.708
	충격계수(i)	0.020	0.032
20km/h	Ddyn	2.031	1.765
	Dsta	1.971	1.660
	충격계수(i)	0.030	0.063
30km/h	Ddyn	2.076	1.939
	Dsta	1.994	1.820
	충격계수(i)	0.041	0.065
40km/h	Ddyn	2.270	1.943
	Dsta	2.160	1.793
	충격계수(i)	0.051	0.084
50km/h	Ddyn	2.225	1.922
	Dsta	2.115	1.768
	충격계수(i)	0.052	0.087
60km/h	Ddyn	2.017	1.853
	Dsta	1.937	1.787
	충격계수(i)	0.041	0.037
70km/h	Ddyn	1.933	1.624
	Dsta	1.734	1.449
	충격계수(i)	0.115	0.121
80km/h	Ddyn	2.077	1.893
	Dsta	1.865	1.691
	충격계수(i)	0.114	0.119
최대충격계수		0.121	
이론충격계수		0.157	

<표 5.14> 내측 경간(S2) 실측 충격계수

3) 외측경간(S3) 주행속도별 충격계수 분석

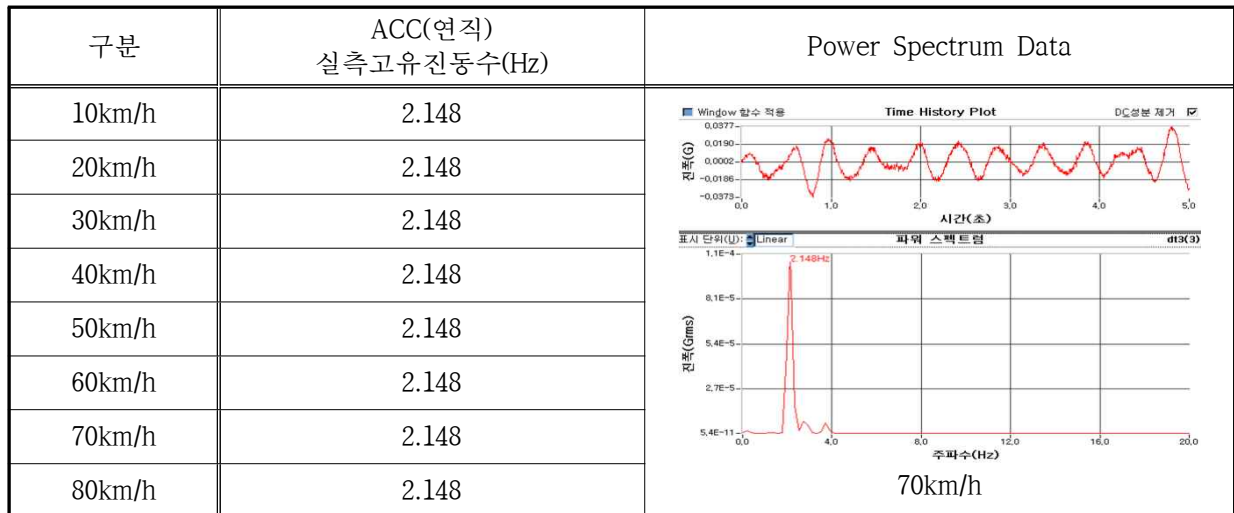
하중재하경우		외측 경간(S3)	
		DT3	DT4
10km/h	Ddyn	2.285	1.855
	Dsta	2.198	1.725
	충격계수(i)	0.040	0.075
20km/h	Ddyn	2.355	1.930
	Dsta	2.261	1.777
	충격계수(i)	0.042	0.086
30km/h	Ddyn	2.238	1.903
	Dsta	2.196	1.781
	충격계수(i)	0.019	0.069
40km/h	Ddyn	2.366	2.004
	Dsta	2.260	1.834
	충격계수(i)	0.047	0.093
50km/h	Ddyn	2.297	1.966
	Dsta	2.191	1.794
	충격계수(i)	0.048	0.096
60km/h	Ddyn	2.351	2.092
	Dsta	2.189	1.889
	충격계수(i)	0.074	0.107
70km/h	Ddyn	2.441	2.136
	Dsta	2.191	1.890
	충격계수(i)	0.114	0.130
80km/h	Ddyn	2.357	2.068
	Dsta	2.183	1.820
	충격계수(i)	0.080	0.136
최대충격계수		0.136	
이론충격계수		0.171	

<표 5.15> 외측 경간(S3) 실측 충격계수

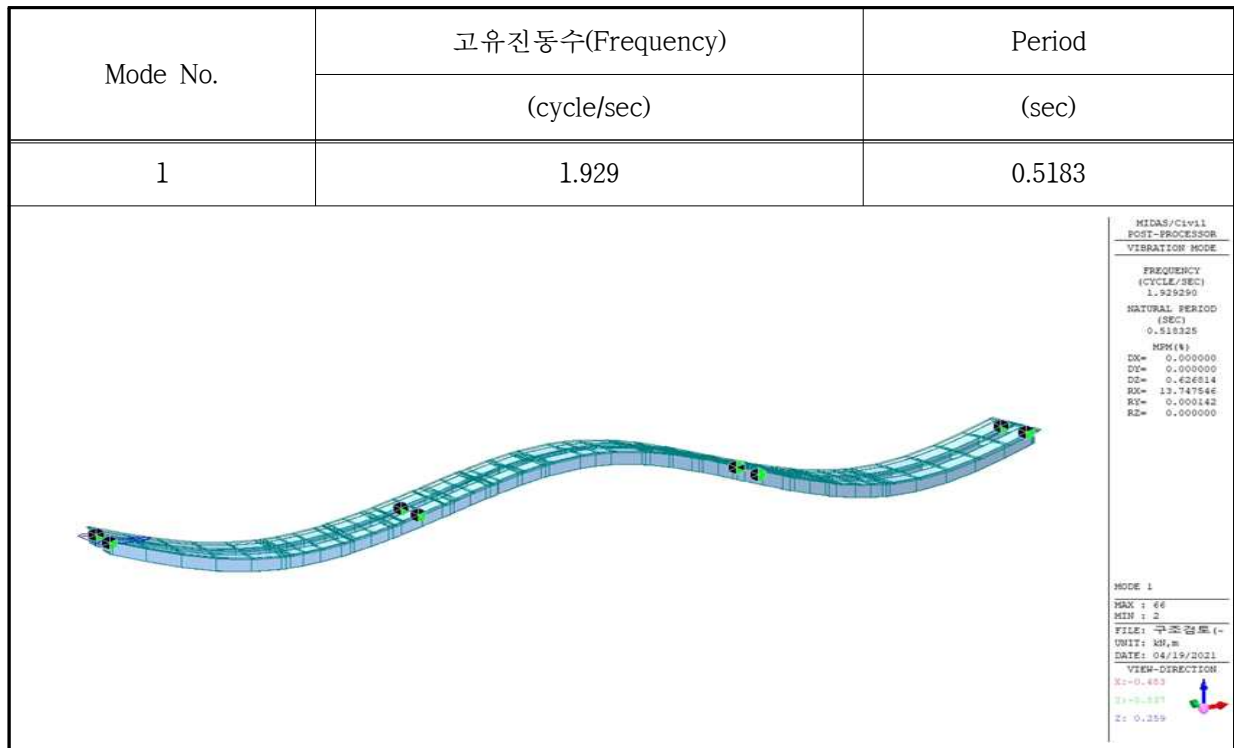
동적 주행시험결과 실측충격계수 최대값은 내측 경간(S2)의 경우 70km/h 주행시 DT2에서 0.121, 외측 경간(S3)의 경우 80km/h 주행시 DT4에서 0.136로 도로교 설계기준에서 제시하는 이론충격계수(S2:0.157, S3:0.171)보다 작게 분석되어 이동하중에 대한 영향은 양호한 것으로 판단된다.

다. 고유진동수

대상교량의 고유진동수를 평가하기 위하여 외측 경간(S3) 정모멘트부에 가속도계를 1축 (연직방향)으로 부착하여 주행속도별로 진동가속도를 측정하였고 재하차량이 측정경간을 벗어나서 영향을 주지 않는 자유진동상태에서의 응답곡선으로 FFT 분석을 실시하였다. 분석결과 대상교량의 주행 속도에 따른 측정 고유진동수는 2.148Hz로 나타나 해석고유진동수(1.929Hz)와 비슷하게 나타났다.



<표 5.16> 실측 고유진동수



<그림 5.9> 해석 고유진동수

5.5 재하시험 결과분석

5.5.1 재하시험 결과

물곡2교(상, 청평방향)에 대한 재하시험 결과를 요약정리하면 다음과 같다.

시험구분	측정항목	Gauge No.	측정치	측정최대치	비 고
정적 재하시험	2경간 변형률 ($\mu\epsilon$)	ST1	33.032	33.176	
		ST2	28.901		
		ST3	33.176		
		ST4	32.678		
	3경간 변형률 ($\mu\epsilon$)	ST9	30.216	36.617	
		ST10	33.456		
		ST11	33.996		
		ST12	36.617		
	2경간 변위 (mm)	DT1	2.093	2.221	
		DT2	2.221		
	3경간 변위 (mm)	DT3	2.282	2.489	
		DT4	2.489		
동적 재하시험	2경간 변위 (mm)	DT1	2.270	2.270	
		DT2	1.943		
	3경간 변위 (mm)	DT3	2.441	2.441	
		DT4	2.136		
	2경간 충격계수	DT1	0.115	0.121	
		DT2	0.121		
	3경간 충격계수	DT3	0.114	0.136	
		DT4	0.136		
	고유진동수	ACC	2.148	2.148	

<표 5.17> 재하시험 결과분석

5.5.2 결과 고찰

- 1) 정적재하시험 결과 최대 휨모멘트 발생 구간에 대하여 변위를 측정 한 결과 최대 변위는 2경간(LC3-DT2에서 2.221mm), 3경간(LC6-DT4에서 2.489mm)가 발생했으며, 최대변형률은 2경간(LC3-ST3에서 $33.176 \mu \varepsilon$), 3경간(LC6-ST12에서 $36.617 \mu \varepsilon$)가 발생하였다.
- 2) 변형률 및 변위에 의한 하중의 횡분배 거동은 양호한 것으로 나타났으며, 거더와 바닥판의 합성 정도를 파악하기 위하여 실시한 중립축 분석결과 역시 양호한 것으로 나타났다.
- 3) 동적재하시험 결과 시험차량에 의해 발생된 최대 변위는 2경간(40km/h 주행시 DT1에서 2.270mm), 3경간(70km/h 주행시 DT3에서 2.441mm)로 측정되었으며, 실측 충격계수는 2경간(0.121), 3경간(0.136)로 측정되어 시방서에서 규정하고 있는 설계 충격계수에 대한 기준치인 2경간(0.157), 3경간(0.171) 이내로 조사되었다.
- 4) 실측 고유진동수는 2.148Hz로 측정되어 해석 고유진동수인 1.929Hz 와 유사한 것으로 나타나 공용기간 경과로 인한 구조물의 강성 저하는 없는 것으로 판단된다.

5.6 성능시험(진동 사용성 평가)

5.6.1 개요

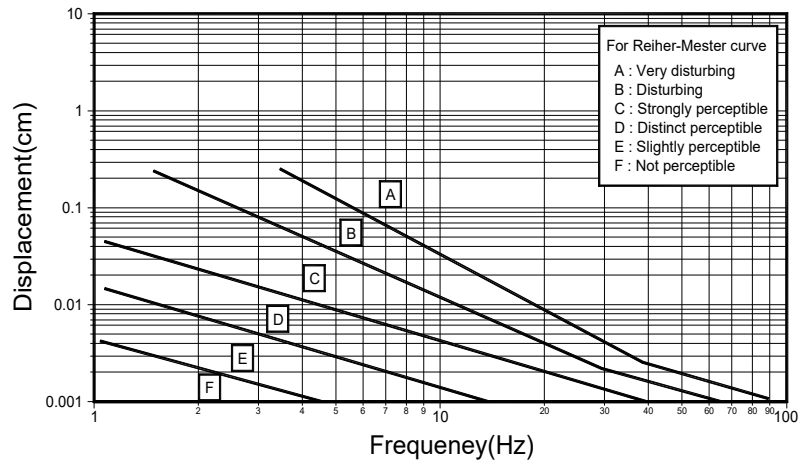
교량의 강성에 따라 교량을 보행자나 통행차량에 의해 쉽게 진동이 발생할 수 있으며, 고유진동수가 보행자 및 차량 운행자가 느끼는 공진으로 인한 불안정한 진동이 발생한다. 인체진동이란 인체에 미치는 기계적 진동효과로 정의되는데 인체에 영향을 미치는 진동의 요인으로서는 진폭, 주파수, 방향, 파형, 폭로시간 등을 들 수 있다. 인체가 느끼는 진동은 특별히 큰 한개의 진폭보다는 일정한 노출시간동안의 진폭에 더 영향을 받는다. 인체도 일종의 진동체이기 때문에 고유한 진동수를 가지며 외부로부터 가진되어지면 공진하기 때문에 진동에 관한 인체 감각에 대해서 오래 전부터 연구되어 왔다. 전신진동에 대한 인체의 진동감각 특성은 가진 주파수 대역에 따라서 상이하게 반응하는데 인체의 전신이 진동하는 것은 1~90Hz의 범위이고 그 이상 높은 주파수에서는 국부적으로 진동하는 것으로 알려져 있으며 2~8Hz범위의 진동을 인체가 가장 민감하게 느끼는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 진동 사용성 평가는 고유진동수 대역별 변위(처짐) 진폭 및 가속도 진폭에 대한 Reiher-Meister의 허용곡선을 평가기준으로 채택할 것을 추천하고 있다.

5.6.2 진동 사용성 등급 결정

진동사용성의 성능평가 기준은 다음과 같다.

평가기준	평가내용	비 고
a	E, F구간 : 인지할 수 없거나 거의 인지할 수 없는 상태	
b	D구간 : 약간 인지할 수 있는 상태	
c	C구간 : 강하게 인지할 수 있는 상태	
d	B구간 : 불안감이 조성되는 상태	
e	A구간 : 매우 불안감이 조성되는 상태	

<표 5.18> 진동 사용성의 성능평가 기준



【Reiher-Meister(1931)의 허용곡선】

5.6.3 진동 사용성 측정방법

진동사용성 평가를 위하여 재하시험 시 획득한 데이터를 분석하였으며, 사용된 계이지는 경간 정모멘트부에 변위 및 가속도 계이지를 이용하였다.

1) 측정방법

- 측정일자 : 2021년 04월 14일(수)
- 계이지 설치위치 : 재하시험 측정경간으로 계측기 설치 및 측정이 용이하고, 변위가 크게 발생될 수 있는 2, 3경간을 선정하였으며, 처짐계이지는 거더하면, 가속도 계이지는 거더 내부에 부착
- 데이터 수집·저장 : 현장에서 측정한 DATA를 확인하여 가능한 최대 변위가 발생하는 중 차량에 대한 데이터를 수집함

5.6.4 측정결과

진동 사용성 평가를 위하여 동적 재하시험에 측정된 데이터를 분석한 결과는 다음과 같다.

측정결과, 변위의 최대값은 2.366mm로 측정되었으며, 고유진동수 최대값은 2.148Hz로 분석되어 B구간으로 분석되었다. 따라서 본 구조물의 진동 사용성 평가 등급은 “d” (불안감이 조성되는 상태)로 평가되었다.

구분	측정센서별 측정 최대값					비 고
	변위1 (mm)	변위2 (mm)	변위3 (mm)	변위4 (mm)	고유진동수 (Hz)	
case 1 (10km/hr)	2.030	1.763	2.285	1.855	2.148	
case 2 (20km/hr)	2.031	1.765	2.355	1.930	2.148	
case 3 (30km/hr)	2.076	1.939	2.238	1.903	2.148	
case 4 (40km/hr)	2.270	1.943	2.366	2.004	2.148	
case 5 (50km/hr)	2.225	1.922	2.297	1.966	2.148	
case 6 (60km/hr)	2.017	1.853	2.351	2.092	2.148	
case 7 (70km/hr)	1.933	1.624	2.441	2.136	2.148	
case 8 (80km/hr)	2.077	1.893	2.357	2.068	2.148	

<표 5.19> 측정 결과표

