

제5장

재하시험

- 5.1 개 요
- 5.2 재하시험 계획
- 5.3 재하시험 결과 분석

제 5 장 재하시험

5.1 개 요

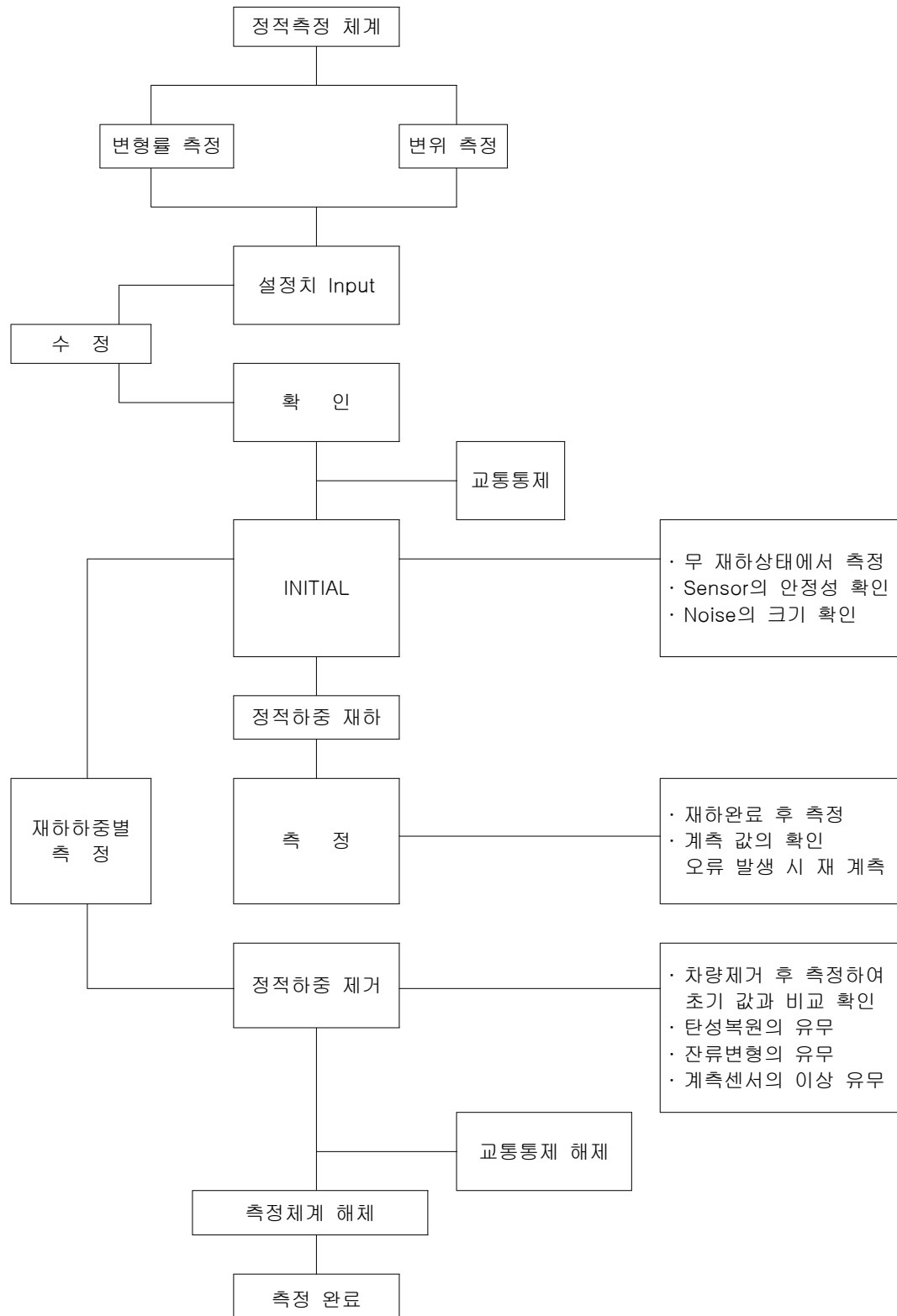
재하시험은 실험적인 방법으로 교량의 거동을 해석하는 방법으로서, 정해진 규정에 따라 교량의 탄성거동에 영향을 주지 않는 크기로 결정된 기지의 하중을 교량의 특정부위에 직접 재하 시켜 교량을 구성하는 주요 부재들의 실제거동을 관찰 및 계측하여 교량의 실제 내하력을 정량화시키기 위함이며, 현재 실시하고 있는 재하시험의 주요목적은 다음과 같다.

- 1) 교량의 실제 정적 및 동적거동 평가
- 2) 사용성 검토
- 3) 새로운 해석방법 및 설계기법의 검증
- 4) 교량의 결함원인의 분석 및 규명
- 5) 해석에 의한 내하력이 작은 경우 실제거동을 반영한 내하력을 결정하여 교량 유지관리의 경제성 향상
- 6) 보수·보강 효과 확인
- 7) 교량의 동특성(진동수, 진동모드 및 감쇠비)평가
- 8) 설계도서 및 보수·보강 이력자료가 미비한 교량의 내하력 평가

5.1.1 정적재하시험

정적재하시험은 작용외력에 대한 대상교량의 정적거동특성을 파악하고 내하력 평가를 위한 정적변위 및 응력의 응답비 등을 구하기 위해 실시한다. 시험측정은 재하차량을 사용하여 교통이 통제된 상태에서 휨모멘트에 의한 변형 및 처짐이 최대가 되는 지점에 차량을 재하시켜 교량의 정적거동을 측정한다.

가. 정적재하시험 절차



【그림 5.1】 정적재하시험 흐름도

1) 준비작업

부착된 센서에서 연장한 리드와이어들은 정적변형 측정기와 Switch Box에 센서의 종류별로 연결시키며, 측정기는 모두 지반에 접지 시킨다. 또한 리드와이어의 끝에서 저항을 기록한다.

2) 설정치 Input

부착한 센서들의 보정된 계수 값과 측정단위 등을 계측장비의 특성에 맞게 입력한다.

3) 확인 : 입력된 설정치의 이상 유무를 확인하고 수정한다.

4) Initial : 시험경간에 재하차량을 포함한 활하중이 일체 재하되지 않은 상태에서 처짐과 변형율의 초기 값을 측정기에서 설정한다.

5) 측정

시험차량은 최대 정·부모멘트, 최대 처짐 및 변형률이 발생할 수 있도록 계획된 Load Case 별로 변화시켜 가면서 측정한다.

이때, 시험차량의 재하 후 구조체의 응답시간을 고려하여 약 1분 이상의 측정대기 시간을 가진 후 1분 간격으로 측정을 실시한다.

6) 정적하중 제거

측정이 끝나면 시험차량을 측정대상 공간으로부터 벗어나 다음의 재하 경우를 준비한다.

7) 계측 값의 확인

획득한 측정 자료의 실측 응답 값과 선행구조해석 응답 값의 경향을 확인한다.

계측 값들이 상이하거나, 오류가 발생되었으면 원인을 파악·제거한 후 재측정을 한다.

8) 계측완료

계측된 Load Case 경우별 측정을 완료한다.

9) 교통통제 해제

통행차량의 교통통제를 해제한다.

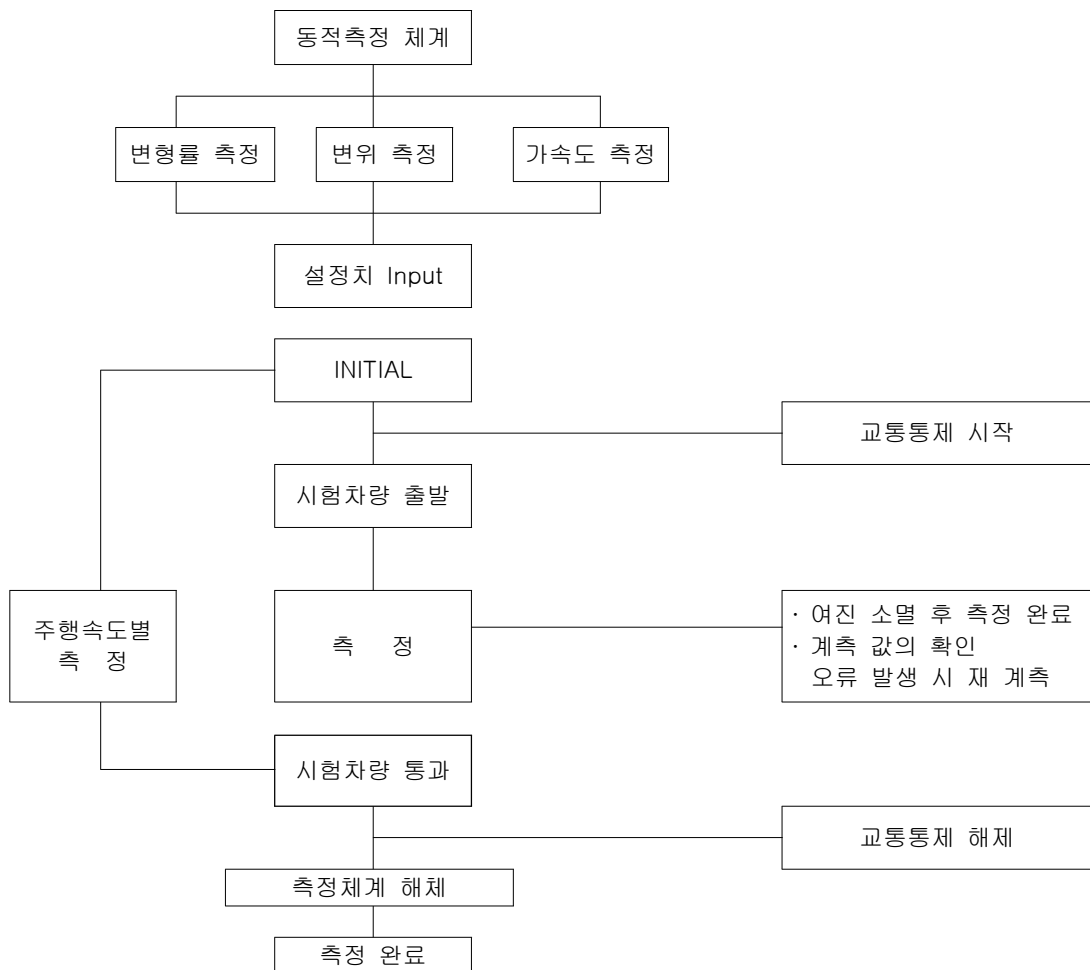
5.1.2 동적재하시험

동적 재하시험은 구조물의 동적 거동을 조사, 측정하기 위한 것으로 교량의 실충격계수와 실고유진동수 등의 동적 특성을 측정 기록하여 본 교량의 안전성을 검토하기 위한 기본 자료를 구하기 위해 실시한다.

재하차량의 주행은 주요위치의 동적거동과 진동을 기록할 수 있는 위치를 주행하며, 측정값의 일정한 패턴을 유지하고자 능숙한 운전자가 운행하도록 한다.

동적 재하시험은 주행차량에 의한 동적응답을 구하는 시험으로서, 주행속도는 10km/h부터 10~20km/h 씩 증가하면서 가능한 최고속도까지 속도별로 주행시킨다.

가. 동적재하시험 절차



【그림 5.2】 동적재하시험 흐름도

1) 준비작업

각 센서로부터 계측장소까지 연장한 리드와이어들은 동적장비에 연결시키며, 측정기는 모두지반에 접지 시킨다. 또한, 리드와이어의 끝에서 저항을 기록한다.

2) 설정치 input

센서의 특성을 동적 계측장비에 맞게 설정 값들을 입력한다.

3) Initial

시험경간에 재하차량을 포함한 활하중이 일체 재하 되지 않은 상태에서 처짐과 변형률의 초기 값을 측정기에서 설치한다.

4) 준비

시험차량의 주행속도를 10~20km/h씩 단계별로 증가하면서 최대속도까지 주행시험을 한다. 단, 점속도로의 선행, 노면상태, 차량통제 현황 등이 허락되지 않을 경우는 예외로 한다.

시험차량이 대상경간을 완전히 빠져나간 후에도 교량의 자유진동은 계속되므로 여진이 소멸 될 때까지 측정을 계속하고 Computer에 저장한다.

5) 시험차량의 주행상황 확인

계측 기술자가 시험차량의 주행 상황을 파악할 수 없을 때는 시험차량에 기술자가 동승하여 시험차량의 출발, 대상경간의 진입, 통과 등 일련의 상황을 통보한다.

6) 계측 값의 확인

획득한 데이터는 분석 프로그램인 SAS97을 이용하여 측정된 계측파형을 파악하여, 획득한 측정 자료의 실측 응답 값과 선행 구조해석 응답 값의 경향을 확인한다. 계측 값들이 상이하거나, 오류가 발생되었으면 원인을 파악·제거하여 재측정을 한다.

7) 교통통제 해제

모든 Case의 시험차량 주행을 끝내고 측정 완료되면 교통통제를 해제한다.

나. 실측충격계수 분석

측정된 동적재하시험의 결과로부터 실측충격계수를 구하는 방법으로 종래에는 시험차량의 5km/h 주행 시 측정된 계측치<D_{sta_max}>에 대한 동적 주행 시 속도별로 측정된 최대 계측치<D_{dyn_max}>의 비를 이용하여 구하는 방법과 측정된 동적 응답 계측치를 Low Pass Filtering하여 <D_{sta_max}>를 구한 후 이 값에 대한 동적 측정치 <D_{dyn_max}>의 비를

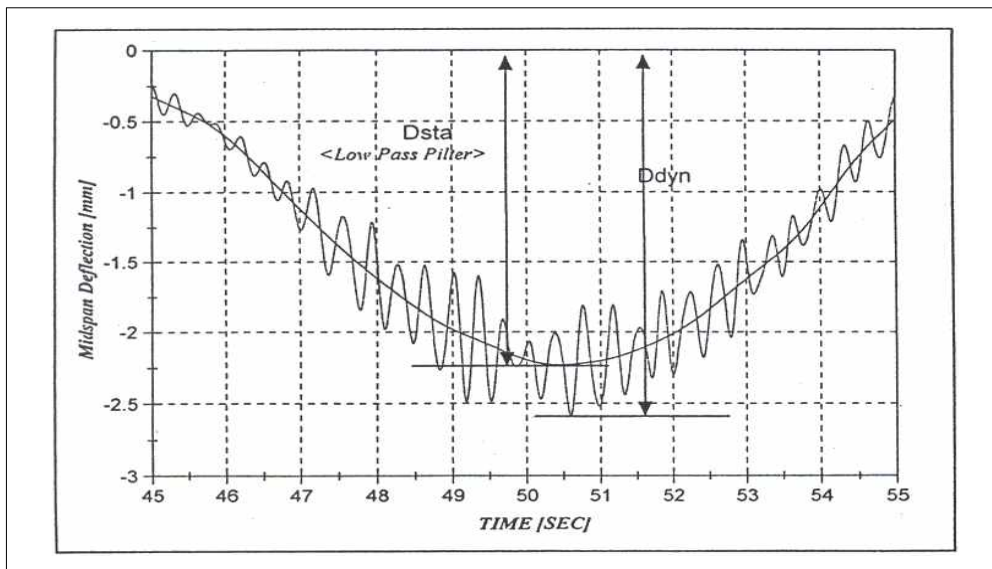
이용하는 방법이 있다.

전자의 종래에 의한 방법은 주행시험에서 각 주행속도마다 운전자의 숙달, 습관 등에 의해서 시험차량은 정적 재하시험에 이용된 부착 게이지 상단으로 동일하게 주행하는 것은 어려운 상태이며, 의사정적 주행 시에도 노면의 요철 등의 원인으로 대상 교량에 가해지는 충격이 각 속도별로 다르게 나타내고 있는 상태로 이들을 정적응답이력곡선이 나, 동적응답 이력곡선으로 보아 실측충격계수로 산정하는 것은 문제점을 내포하고 있는 것으로 판단된다.

그러므로 계측된 변형률, 처짐 등의 파형으로부터 직접적으로 산출할 수 있는 후자의 방법이 실측충격계수의 분석에 안전한 값을 나타나게 한다.

충격계수의 평가는 시험차량이 주행한 위치에 있는 주형에서 분석된 값을 이용한다.

다음 【그림 5.3】에서 주행속도별로 계측된 변형률, 처짐 등의 동적 응답곡선 $\langle D_{dyn_max} \rangle$ 에 Low Pass Filtering의 범위를 0.6~1.0Hz로 필터링하여 구한 정적 응답곡선 $\langle D_{sta_max} \rangle$ 를 비교하여 실측충격계수를 분석한다.



【그림 5.3】 처짐 응답곡선

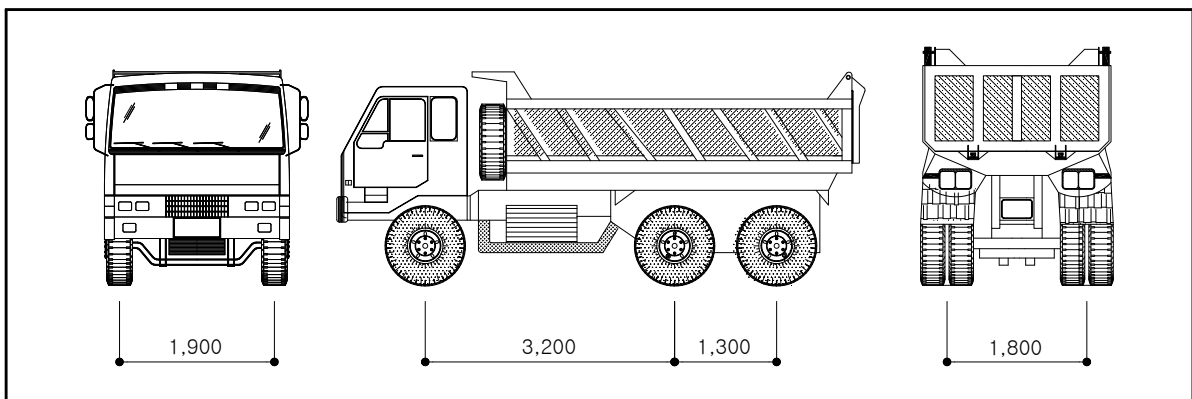
- 동적증폭율(Dynamic Load Factor : D.L.F = $\frac{D_{dyn_max}}{D_{st_max}}$
- 실측충격계수(Impact Factor), $i = D.L.F - 1$

5.2 재하시험 계획

5.2.1 시험 차량

재하시험에 사용된 시험차량은 교량의 설계하중 DB24 범위내로 15t 덤프트럭 2대를 사용하였으며, 사용된 시험 트럭의 중량은 설계하중 DB-24(43.2ton)의 약60~70%수준이다. 사용된 트럭의 제원 및 차륜하중은 다음과 같다.

가. 차량 제원



【그림 5.4】 재하시험 차량 제원

나. 차륜 하중

【표 5.1】 재하차량 차륜 하중

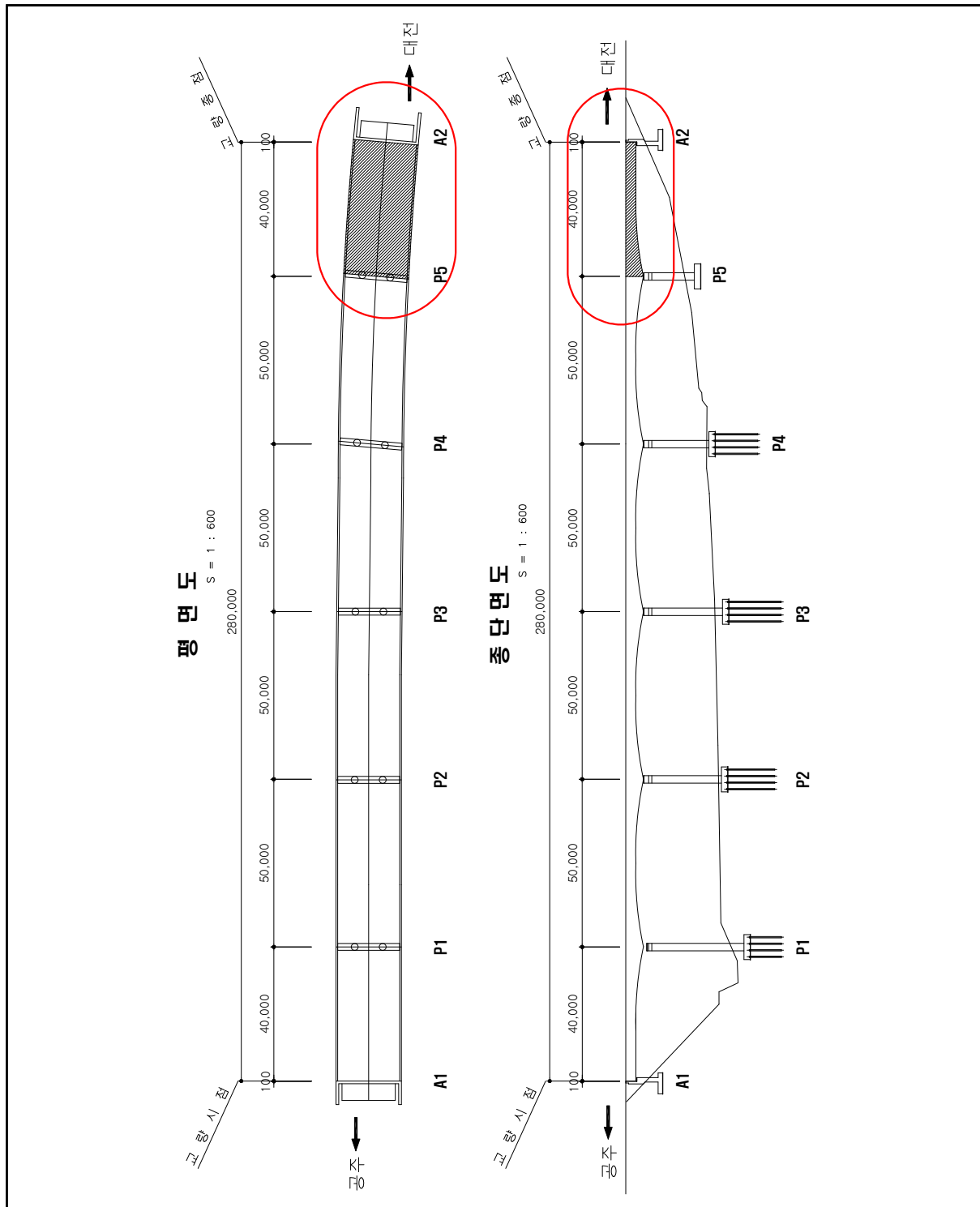
(단위 : kN)

구 분	차량 No.	전륜	중륜	후륜	총 중량	비 고
1호차	8176	58.8	103.0	103.0	264.8	
2호차	7362	70.6	119.85	119.85	310.3	
사 진						

* 부록 계량 증명서 참조

5.2.2 시험경간 선정

재하시험 대상경간은 구조해석 결과 및 외관상태, 현장여건 등을 감안하여 선정하였으며, 특히 전차년도와 비교 가능한 6경간을 시험대상으로 선정하였다.



【그림 5.5】 재하시험 대상경간

5.2.3 Gauge 설치

측정 항목별 Gauge는 대상구조물의 측정 대상구간 중에서 하중재하에 따른 단면력이 최대가 되는 위치에 처짐계, 변형률계 및 가속도계를 설치하였다.

가. 게이지 부착위치

1) 정모멘트부

【표 5.2】 정모멘트부 게이지 부착위치

측정게이지		부착위치		비 고
변위계	DT1	S6-G1하면 좌측	15.0m지점 (A2→P5)	[부착위치] 그림 참조
	DT2	S6-G1하면 우측		
	DT3	S6-G2하면 좌측		
	DT4	S6-G2하면 우측		
	DT5	S6-G3하면 좌측		
	DT6	S6-G3하면 우측		
변형률계	ST1	S6-G1 하부플랜지(좌측)		
	ST2	S6-G1 상부플랜지(좌측)		
	ST3	S6-G1 하부플랜지(우측)		
	ST4	S6-G1 상부플랜지(우측)		
	ST5	S6-G2 하부플랜지(좌측)		
	ST6	S6-G2 상부플랜지(좌측)		
	ST7	S6-G2 하부플랜지(우측)		
	ST8	S6-G2 상부플랜지(우측)		
	ST9	S6-G3 하부플랜지(좌측)		
	ST10	S6-G3 상부플랜지(좌측)		
	ST11	S6-G3 하부플랜지(우측)		
	ST12	S6-G3 상부플랜지(우측)		
	ST13	S6 좌측연석 하면		
	ST14	S6 좌측연석 상면		
	ST15	S6 우측연석 하면		
	ST16	S6 우측연석 상면		
가속도계	Acc1	S6-G3하면 좌측		
	Acc2	S6-G2하면 좌측		
계	변위계 - 6CH, 변형률계 - 16CH, 가속도계 - 2CH ⇒ 전체 24CH			

2) 부모멘트부

【표 5.3】 부모멘트부 게이지 부착위치

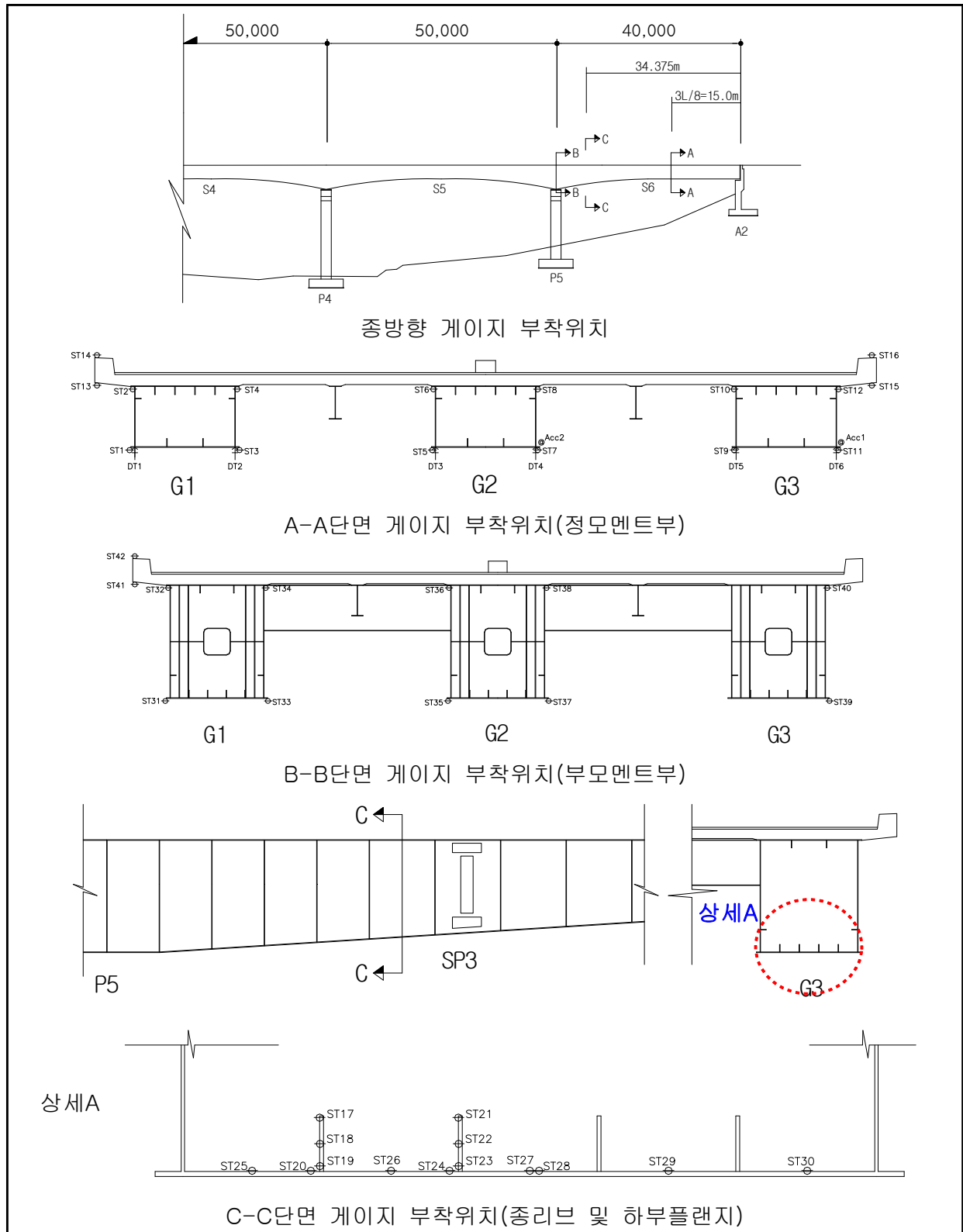
측정게이지		부착위치		비 고
변형률계	ST31	S6-G1 하부플랜지(좌측)	부모멘트부 (P5)	[부착위치] 그림 참조
	ST32	S6-G1 상부플랜지(좌측)		
	ST33	S6-G1 하부플랜지(우측)		
	ST34	S6-G1 상부플랜지(우측)		
	ST35	S6-G2 하부플랜지(좌측)		
	ST36	S6-G2 상부플랜지(좌측)		
	ST37	S6-G2 하부플랜지(우측)		
	ST38	S6-G2 상부플랜지(우측)		
	ST39	S6-G3 하부플랜지(우측)		
	ST40	S6-G3 상부플랜지(우측)		
	ST41	S6 좌측연석 하면		
	ST42	S6 좌측연석 상면		
계	변형률계 - 12CH ⇒ 전체 12CH			

3) 종리브 및 하부플랜지

【표 5.4】 종방향 리브 및 하부플랜지 게이지 부착위치

측정게이지		부착위치		비 고
변형률계	ST17	S6-G3 하면 리브1(상)	34.375m지점 (A2→P5)	[부착위치] 그림 참조
	ST18	S6-G3 하면 리브1(중)		
	ST19	S6-G3 하면 리브1(하)		
	ST20	S6-G3 하부플랜지 리브1		
	ST21	S6-G3 하면 리브2(상)		
	ST22	S6-G3 하면 리브2(중)		
	ST23	S6-G3 하면 리브2(하)		
	ST24	S6-G3 하부플랜지 리브2		
	ST25	S6-G3 하부플랜지 좌측 복부-리브1		
	ST26	S6-G3 하부플랜지 리브1-리브2		
	ST27	S6-G3 하부플랜지 리브2-리브3		
	ST28	S6-G3 하부플랜지 리브2-리브3		
	ST29	S6-G3 하부플랜지 리브3-리브4		
	ST30	S6-G3 하부플랜지 리브4-우측 복부		
계	변형률계 - 14CH ⇒ 전체 14CH			

나. 정적재하시험 시 게이지 부착위치도



【그림 5.6】 정적재하시험 시 Gauge 부착 위치도

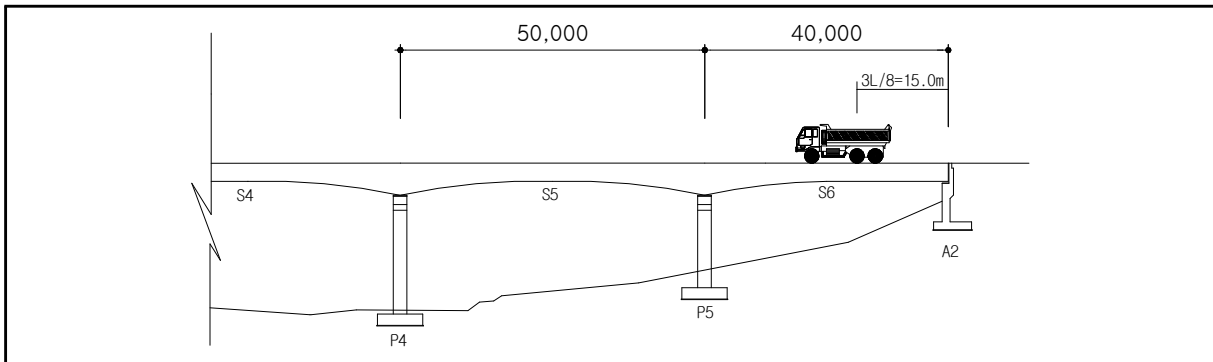
5.2.4 Load Case

가. 정적재하시험

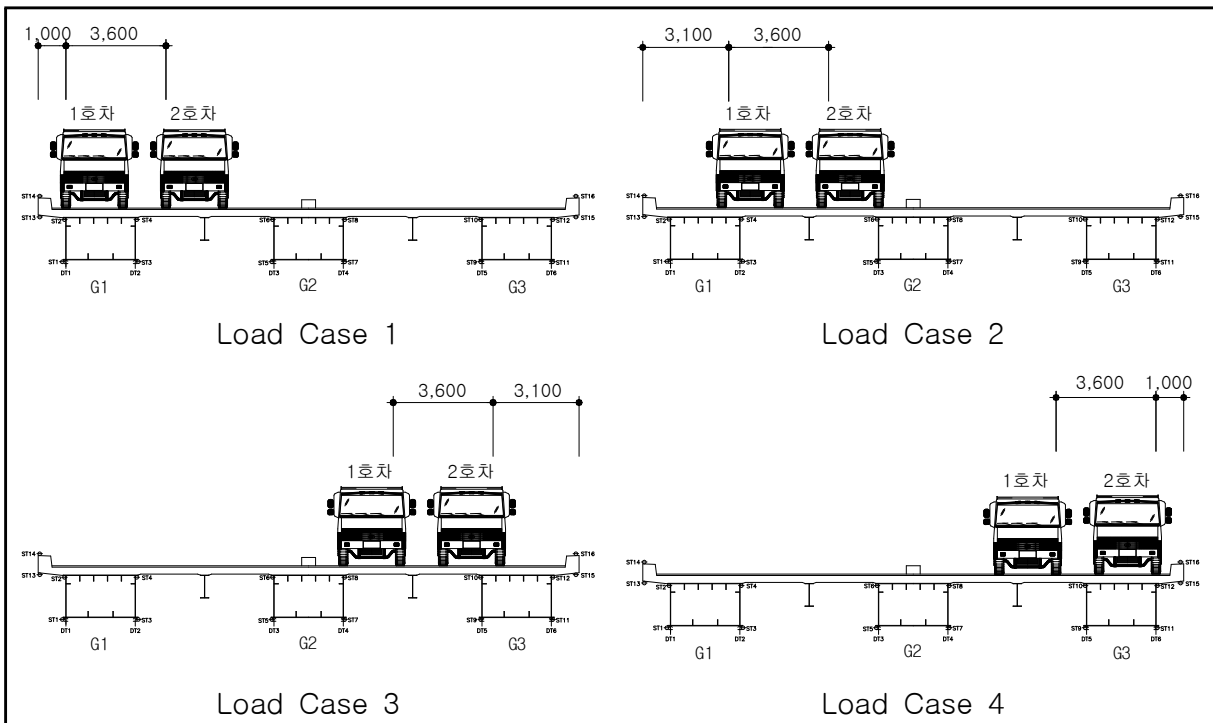
1) 정모멘트부

【표 5.5】 Load Case별 재하위치(정모멘트부)

순서	Load Case	내 용	비 고
1	LC 1	G1 상부 재하	15.0m (A2→P5) 그림참조
2	LC 2	G1,G2 상부 재하	
3	LC 3	G2,G3 상부 재하	
4	LC 4	G3 상부 재하	



【그림 5.7】 정적재하시험 종방향 재하위치도(정모멘트부)

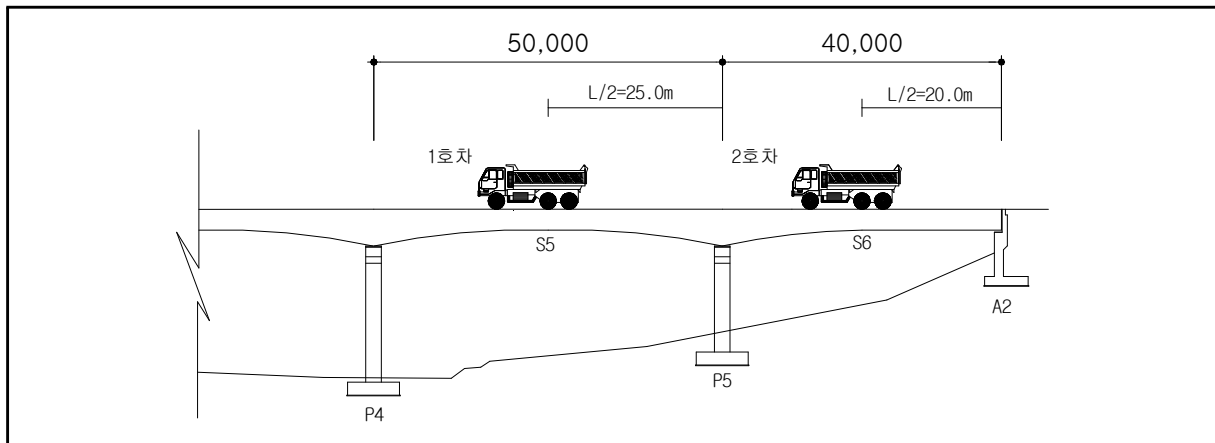


【그림 5.8】 정적재하시험 횡방향 재하위치도(정모멘트부)

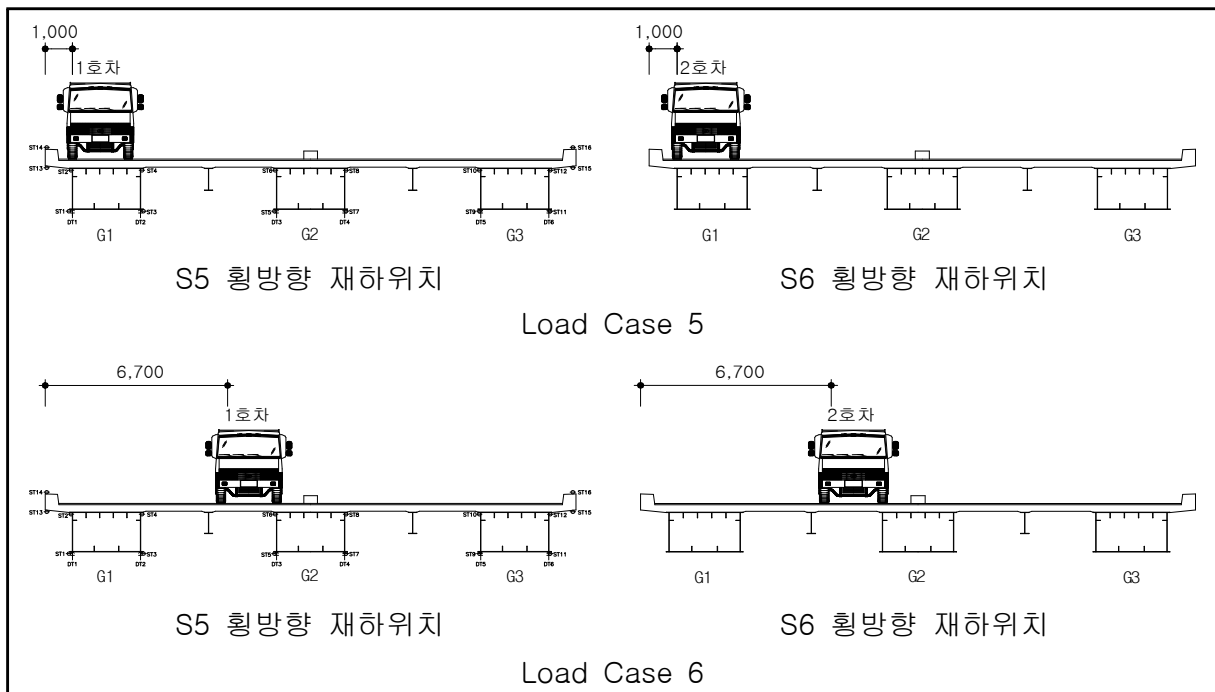
2) 부모멘트부

【표 5.6】 Load Case별 재하위치(부모멘트부)

순서	Load Case	내 용		비 고
1	LC 5	G1 상부 재하	S5 - 25.0m(P5→P4) S6 - 20.0m(A2→P5)	그림참조
2	LC 6	G2 상부 재하	S5 - 25.0m(P5→P4) S6 - 20.0m(A2→P5)	



【그림 5.9】 정적재하시험 종방향 재하위치도(부모멘트부)

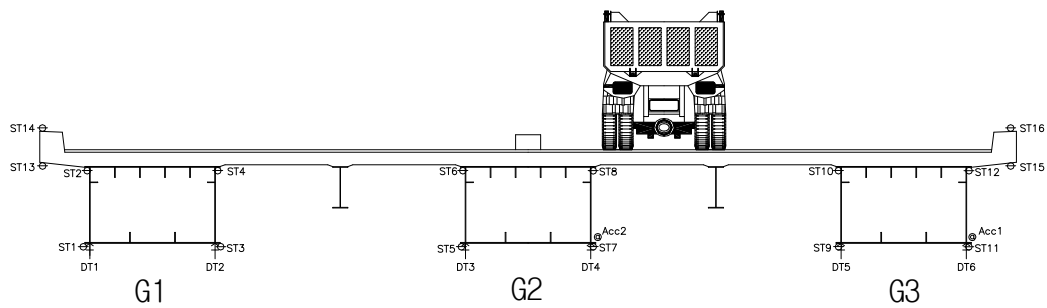


【그림 5.10】 정적재하시험 횡방향 재하위치도(부모멘트부)

나. 동적재하시험

【표 5.7】 동적재하시험 순서

순서	내 용	비 고
1	10km/h 속도 주행	(A1) ⇒ (A2) 방향 진행
2	20km/h 속도 주행	
3	30km/h 속도 주행	
4	40km/h 속도 주행	
5	50km/h 속도 주행	
6	60km/h 속도 주행	
7	70km/h 속도 주행	
8	80km/h 속도 주행	



【그림 5.11】 동적재하시험 위치도

5.3 재하시험 결과 분석

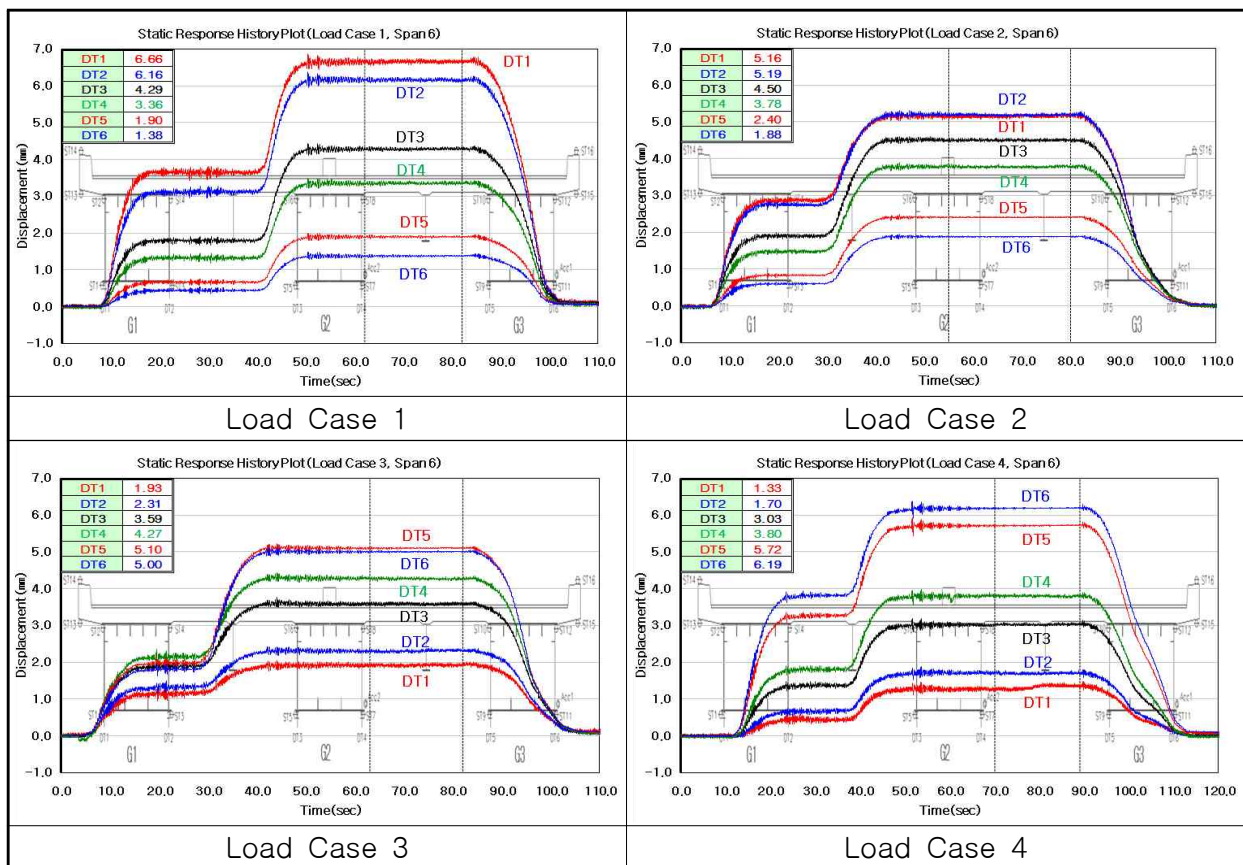
5.3.1 정적재하시험

가. 정모멘트부

1) 변위 계측 결과

【표 5.8】 Load Case별 처짐(mm)

구 분		L.C 1	L.C 2	L.C 3	L.C 4	비 고
G1	DT1	6.66	5.16	1.93	1.33	
	DT2	6.16	5.19	2.31	1.70	
	평균	6.41	5.18	2.12	1.52	
G2	DT3	4.29	4.50	3.59	3.03	
	DT4	3.36	3.78	4.27	3.80	
	평균	3.83	4.14	3.93	3.42	
G3	DT5	1.90	2.40	5.10	5.72	
	DT6	1.38	1.88	5.00	6.19	
	평균	1.64	2.14	5.05	5.96	



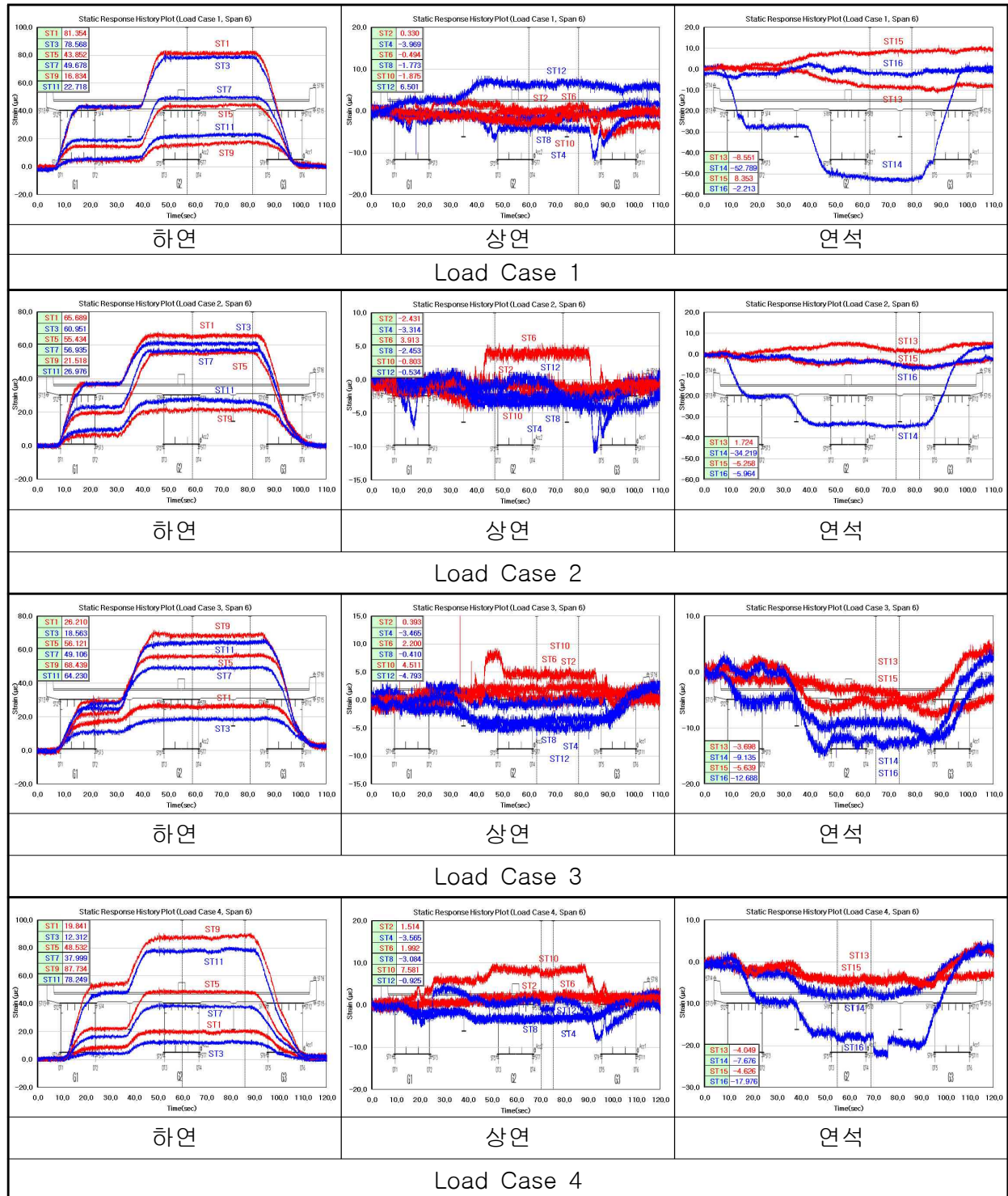
【그림 5.12】 정적재하시험 정모멘트부 변위-시간 이력곡선

2) 변형률 계측 결과

【표 5.9】 Load Case별 변형률 및 응력

구 분				L.C 1	L.C 2	L.C 3	L.C 4	비 고
G1	하 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST1	81.354	65.689	26.210	19.841	
			ST3	78.568	60.951	18.563	12.312	
			평균	79.961	63.320	22.386	16.076	
		응력(MPa)		15.992	12.664	4.477	3.215	
	상 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST2	0.330	-2.431	0.393	1.514	
			ST4	-3.969	-3.314	-3.465	-3.565	
			평균	-1.819	-2.873	-1.536	-1.026	
		응력(MPa)		-0.364	-0.575	-0.307	-0.205	
G2	하 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST5	43.852	55.434	56.121	48.532	
			ST7	49.678	56.935	49.106	37.999	
			평균	46.765	56.185	52.614	43.266	
		응력(MPa)		9.353	11.237	10.523	8.653	
	상 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST6	-0.494	3.913	2.200	1.992	
			ST8	-1.773	-2.453	-0.410	-3.084	
			평균	-1.134	0.730	0.895	-0.546	
		응력(MPa)		-0.227	0.146	0.179	-0.109	
G3	하 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST9	16.834	21.518	68.439	87.734	
			ST11	22.718	26.976	64.230	78.249	
			평균	19.776	24.247	66.334	82.992	
		응력(MPa)		3.955	4.849	13.267	16.598	
	상 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST10	-1.875	-0.803	4.511	7.581	
			ST12	6.501	-0.534	-4.793	-0.925	
			평균	2.313	-0.669	-0.141	3.328	
		응력(MPa)		0.463	-0.134	-0.028	0.666	
좌측 연석	ST13	변형률($\mu\epsilon$)		-8.551	1.724	-3.698	-4.049	
		응력(MPa)		-0.218	0.044	-0.094	-0.103	
	ST14	변형률($\mu\epsilon$)		-52.789	-34.219	-9.135	-7.676	
		응력(MPa)		-1.346	-0.873	-0.233	-0.196	
우측 연석	ST15	변형률($\mu\epsilon$)		8.353	-5.258	-5.639	-4.626	
		응력(MPa)		0.213	-0.134	-0.144	-0.118	
	ST16	변형률($\mu\epsilon$)		-2.213	-5.964	-12.688	-17.976	
		응력(MPa)		-0.056	-0.152	-0.324	-0.458	

* 응력 산정 : 변형률 x 탄성계수(E_s , E_c)



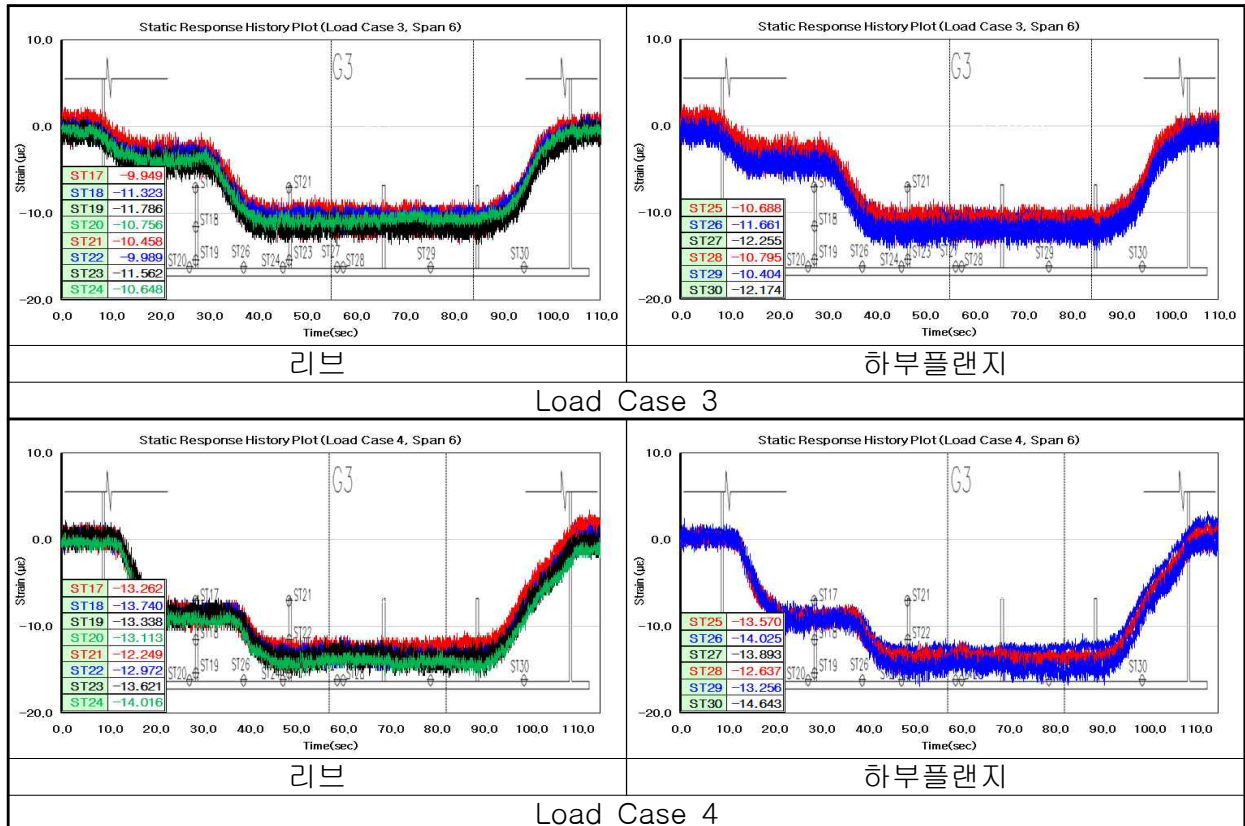
【그림 5.13】 정적재하시험 정모멘트부 변형률-시간 이력곡선

나. 종리브 및 하부플랜지(G3)

1) 변형률 계측 결과

【표 5.10】 Load Case별 변형률 및 응력

구 분		L.C 3				L.C 4				비 고
		변형률 ($\mu\epsilon$)	응력(MPa)			변형률 ($\mu\epsilon$)	응력(MPa)			
			실측	해석	비율		실측	해석	비율	
리브 1	ST17	-9.949	-1.990	-2.721	73%	-13.262	-2.652	-3.692	72%	해석응력 이내
	ST18	-11.323	-2.265	-2.858	79%	-13.740	-2.748	-3.878	71%	"
	ST19	-11.786	-2.357	-2.994	79%	-13.338	-2.668	-4.063	66%	"
	ST20	-10.756	-2.151	-3.131	69%	-13.113	-2.623	-4.249	62%	"
리브 2	ST21	-10.458	-2.092	-2.721	77%	-12.249	-2.450	-3.692	66%	"
	ST22	-9.989	-1.998	-2.858	70%	-12.972	-2.594	-3.878	67%	"
	ST23	-11.562	-2.312	-2.994	77%	-13.621	-2.724	-4.063	67%	"
	ST24	-10.648	-2.130	-3.131	68%	-14.016	-2.803	-4.249	66%	"
하부 플랜지	ST25	-10.688	-2.138	-3.131	68%	-13.570	-2.714	-4.249	64%	"
	ST26	-11.661	-2.332		74%	-14.025	-2.805		66%	
	ST27	-12.255	-2.451		78%	-13.893	-2.779		65%	
	ST28	-10.795	-2.159		69%	-12.637	-2.527		59%	
	ST29	-10.404	-2.081		66%	-13.256	-2.651		62%	
	ST30	-12.174	-2.435		78%	-14.643	-2.929		69%	



【그림 5.14】 정적재하시험 종리브 및 하부플랜지(G3) 변형률-시간 이력곡선

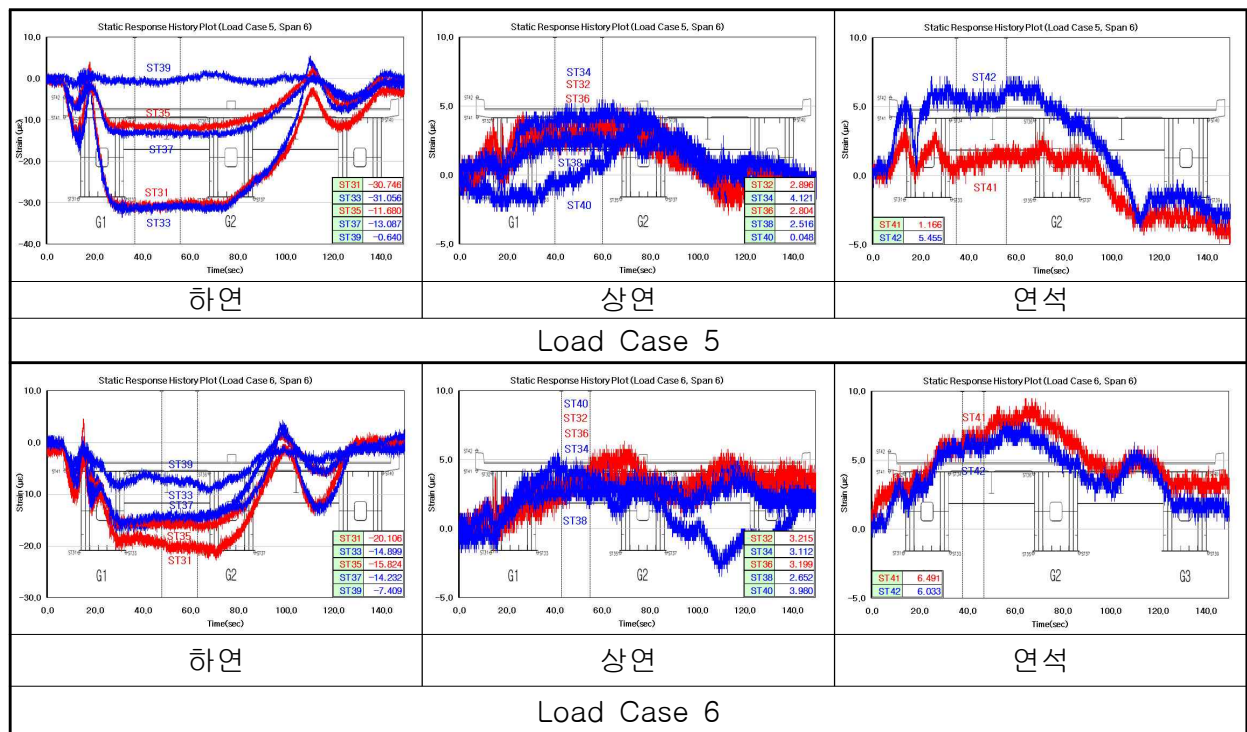
다. 부모멘트부

1) 변형률 계측 결과

【표 5.11】 Load Case별 변형률 및 응력

구 분				L.C 5	L.C 6	비 고
G1	하 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST31	-30.746	-20.106	
			ST33	-31.056	-14.899	
			평균	-30.901	-17.503	
		응력(MPa)		-6.180	-3.501	
	상 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST32	2.896	3.215	
			ST34	4.121	3.112	
			평균	3.509	3.164	
		응력(MPa)		0.702	0.633	
G2	하 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST35	-11.680	-15.824	
			ST37	-13.087	-14.232	
			평균	-12.384	-15.028	
		응력(MPa)		-2.477	-3.006	
	상 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST36	2.804	3.199	
			ST38	2.516	2.652	
			평균	2.660	2.926	
		응력(MPa)		0.532	0.585	
G3	하 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST39	-0.640	-7.409	
		응력(MPa)		-0.128	-1.482	
	상 연	변형률($\mu\epsilon$)	ST40	0.048	3.980	
		응력(MPa)		0.010	0.796	
좌 측 연 석	ST41	변형률($\mu\epsilon$)		1.166	6.491	
		응력(MPa)		0.030	0.166	
	ST42	변형률($\mu\epsilon$)		5.455	6.033	
		응력(MPa)		0.139	0.154	

* 응력 산정 : 변형률 x 탄성계수(E_s , E_c)



【그림 5.15】 정적재하시험 부모멘트부 변형률-시간 이력곡선

5.3.2 동적재하시험

동적재하시험은 대상교량의 충격계수와 고유진동수 등의 동적특성을 파악하기 위하여 실시하였다. 가속도계는 정모멘트부 G2, G3에 부착하였다.

시험방법은 정적재하시험과 동일한 차량을 이용하여 10km/h로부터 현장 여건을 고려하여 최대 80km/h까지 속도별 변위, 변형률 및 가속도를 측정하였다.

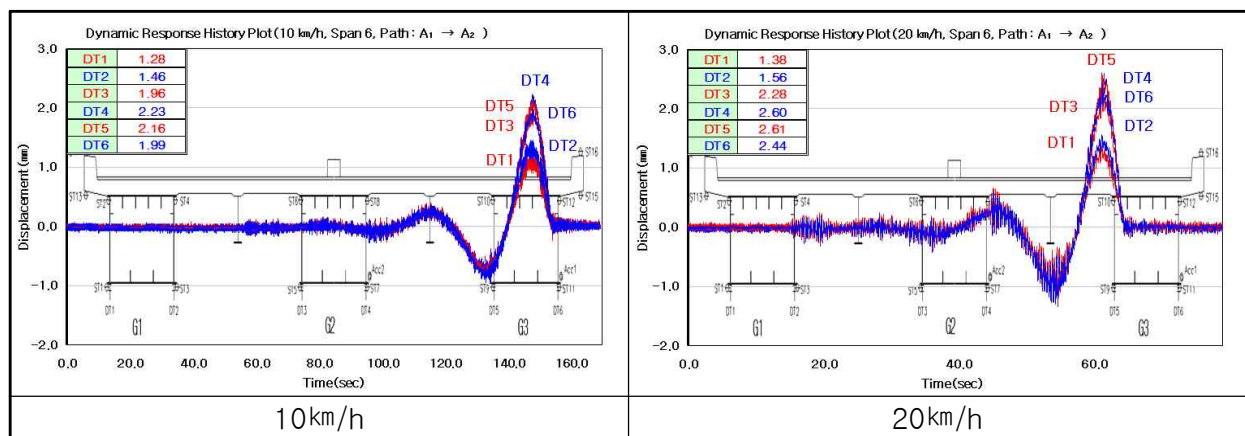
가. 동적 계측 결과

1) 변위 계측 결과

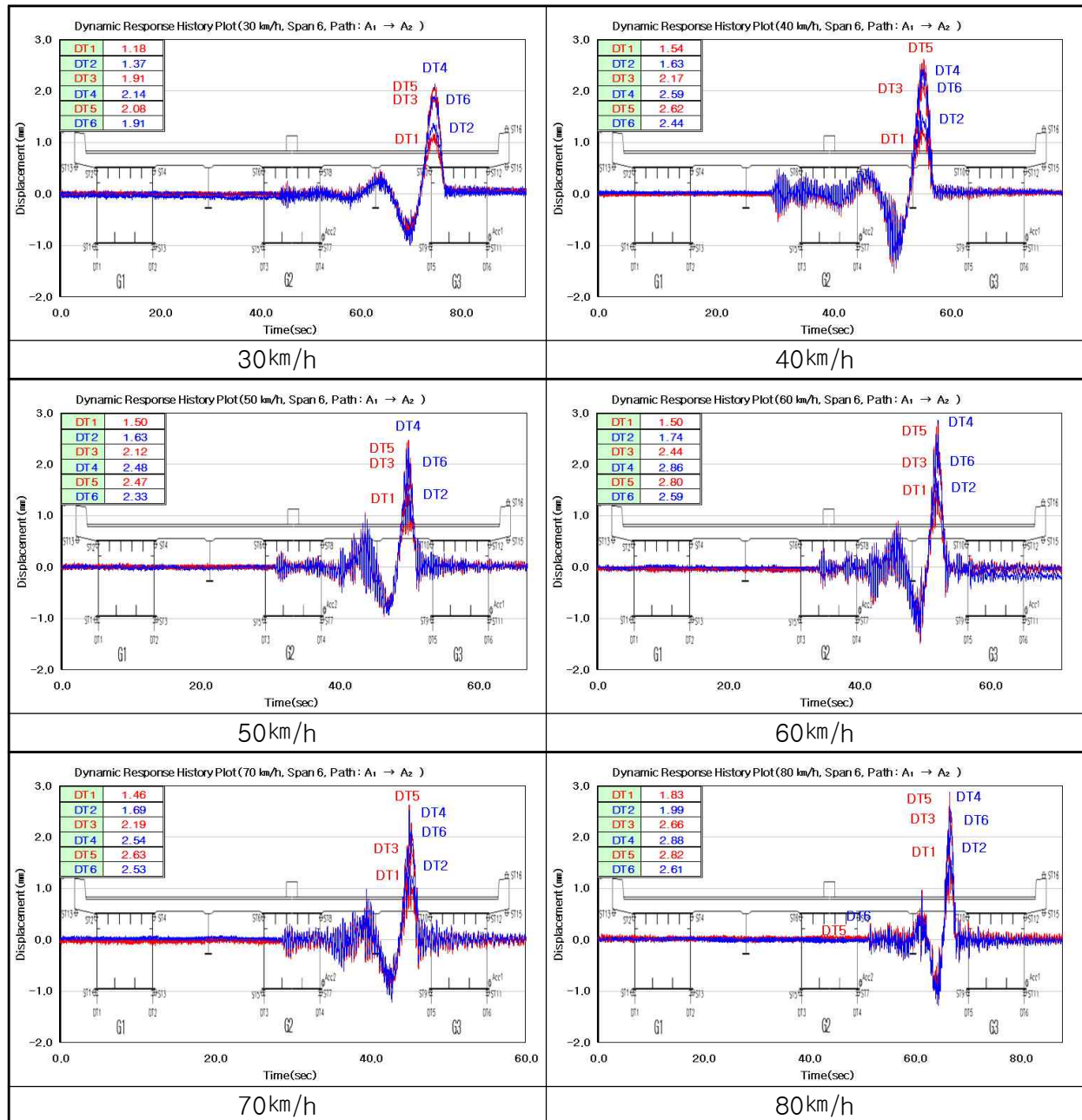
【표 5.12】 주행 속도별 실측 변위 계측 결과

(단위 : mm)

구 분	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	70km/h	80km/h
DT1	1.28	1.38	1.18	1.54	1.50	1.50	1.46	1.83
DT2	1.46	1.56	1.37	1.63	1.63	1.74	1.69	1.99
DT3	1.96	2.28	1.91	2.17	2.12	2.44	2.19	2.66
DT4	2.23	2.60	2.14	2.59	2.48	2.86	2.54	2.88
DT5	2.16	2.61	2.08	2.62	2.47	2.80	2.63	2.82
DT6	1.99	2.44	1.91	2.44	2.33	2.59	2.53	2.61



【그림 5.16】 주행속도별 시간-변위 이력곡선 - 1



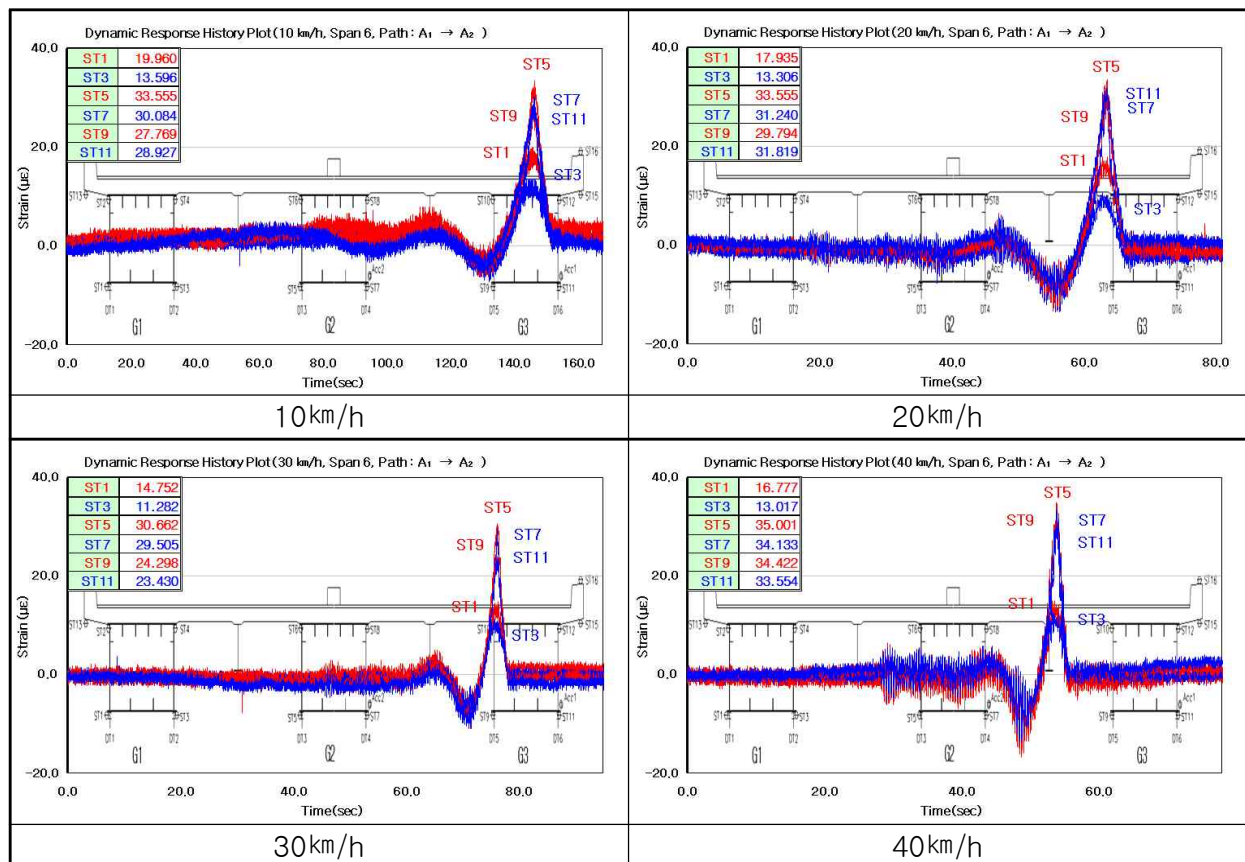
【그림 5.16】 주행속도별 시간-변위 이력곡선 - 2

2) 변형을 계측 결과

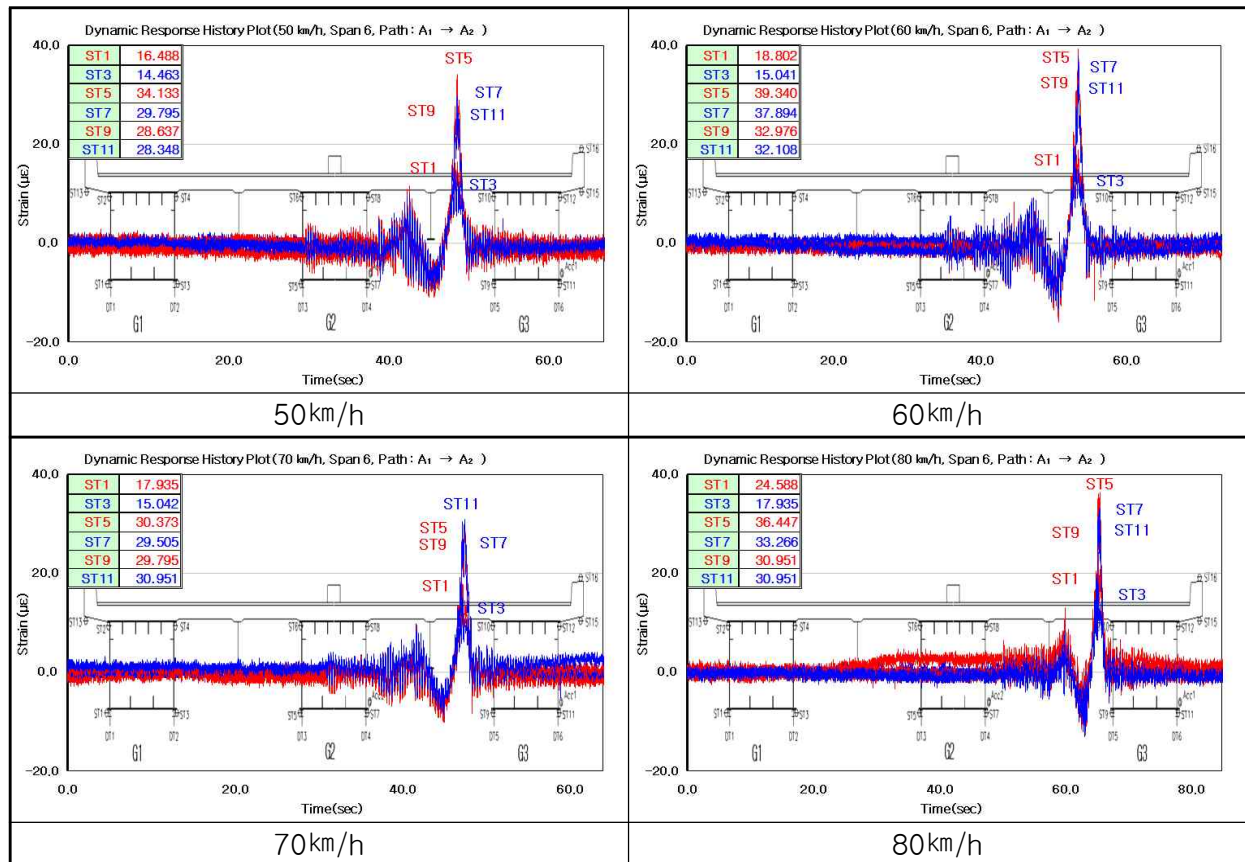
【표 5.13】 주행 속도별 실측 변형을 계측 결과

(단위 : $\mu\epsilon$)

구 분	10km/h	20km/h	30km/h	40km/h	50km/h	60km/h	70km/h	80km/h
ST1	19.960	17.935	14.752	16.777	16.488	18.802	17.935	24.588
ST3	13.596	13.306	11.282	13.017	14.463	15.041	15.042	17.935
ST5	33.555	33.555	30.662	35.001	34.133	39.340	30.373	36.447
ST7	30.084	31.240	29.505	34.133	29.795	37.894	29.505	33.266
ST9	27.769	29.794	24.298	34.422	28.637	32.976	29.795	30.951
ST11	28.927	31.819	23.430	33.554	28.348	32.108	30.951	30.951



【그림 5.17】 주행속도별 시간-변형을 이력곡선 - 1



【그림 5.17】 주행속도별 시간-변형률 이력곡선 - 2

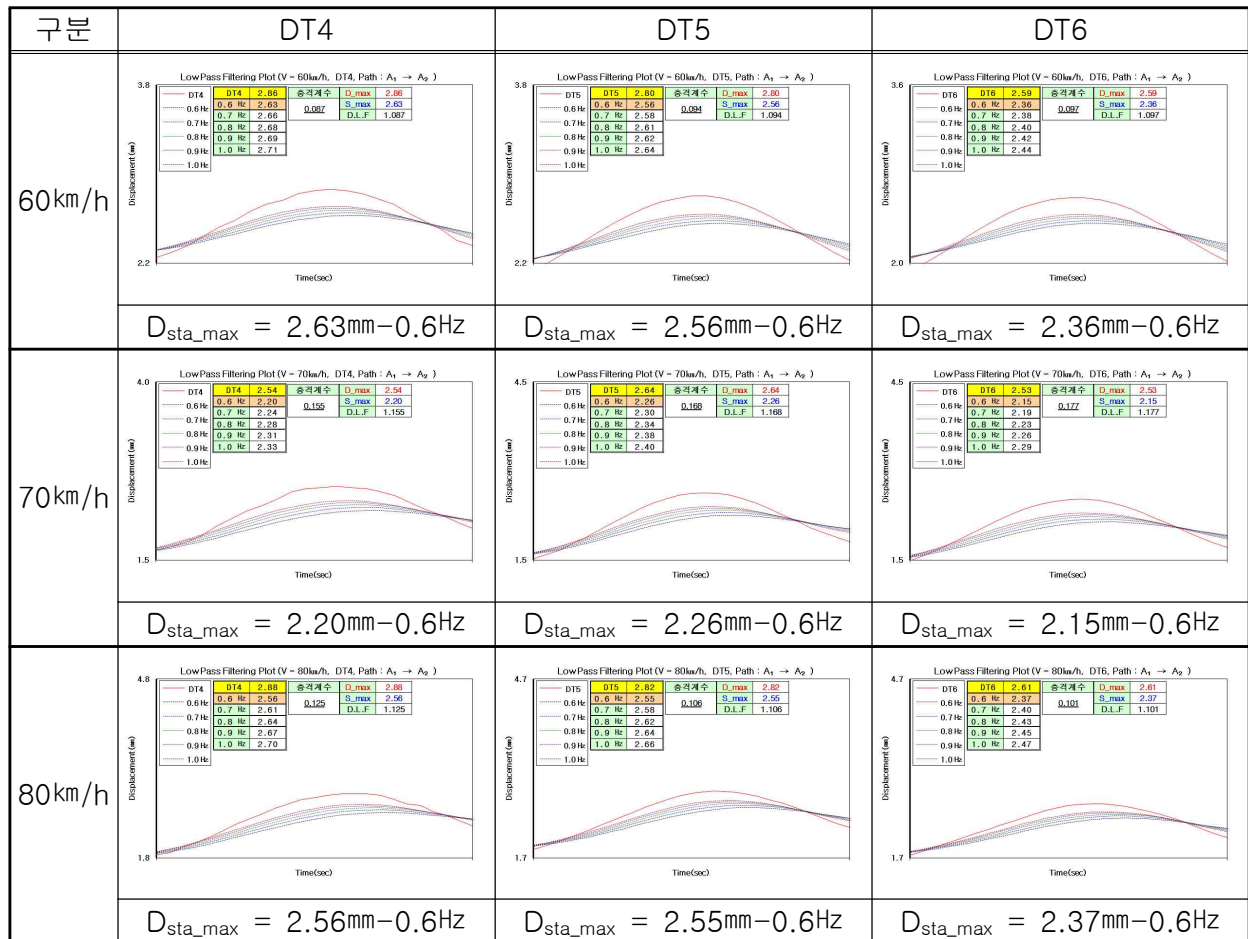
나. 충격계수 산정

각 주행속도별 최대 변위, 변형률 및 충격계수 산정에 있어서 신뢰성 확보를 위하여 주행경로로부터 하중의 영향이 가장 크게 작용한 계측치만을 고려하기로 한다. 주행속도별 획득된 변위 및 변형률의 동적응답곡선<D(S)dyn_max>과 이를 0.6~1.0Hz 범위에서 Low Pass 필터링하여 구한 정적응답곡선<D(S)sta_max>중 최소치와의 비율로 동적증폭계수를 산정하고, 충격계수를 구하면 다음과 같다.

1) 변위 필터링

구분	DT4	DT5	DT6
10km/h	LowPass Filtering Plot (V = 10km/h, DT4, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.16mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 10km/h, DT5, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.09mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 10km/h, DT6, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 1.93mm-0.6Hz
20km/h	LowPass Filtering Plot (V = 20km/h, DT4, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.49mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 20km/h, DT5, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.47mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 20km/h, DT6, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.30mm-0.6Hz
30km/h	LowPass Filtering Plot (V = 30km/h, DT4, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.09mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 30km/h, DT5, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.05mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 30km/h, DT6, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 1.88mm-0.6Hz
40km/h	LowPass Filtering Plot (V = 40km/h, DT4, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.50mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 40km/h, DT5, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.54mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 40km/h, DT6, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.36mm-0.6Hz
50km/h	LowPass Filtering Plot (V = 50km/h, DT4, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.25mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 50km/h, DT5, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.23mm-0.6Hz	LowPass Filtering Plot (V = 50km/h, DT6, Path : A₁ → A₉) Dsta_max = 2.09mm-0.6Hz

【그림 5.18】 주행속도별 변위 Low Pass 필터링 - 1



【그림 5.18】 주행속도별 변위 Low Pass 필터링 - 2

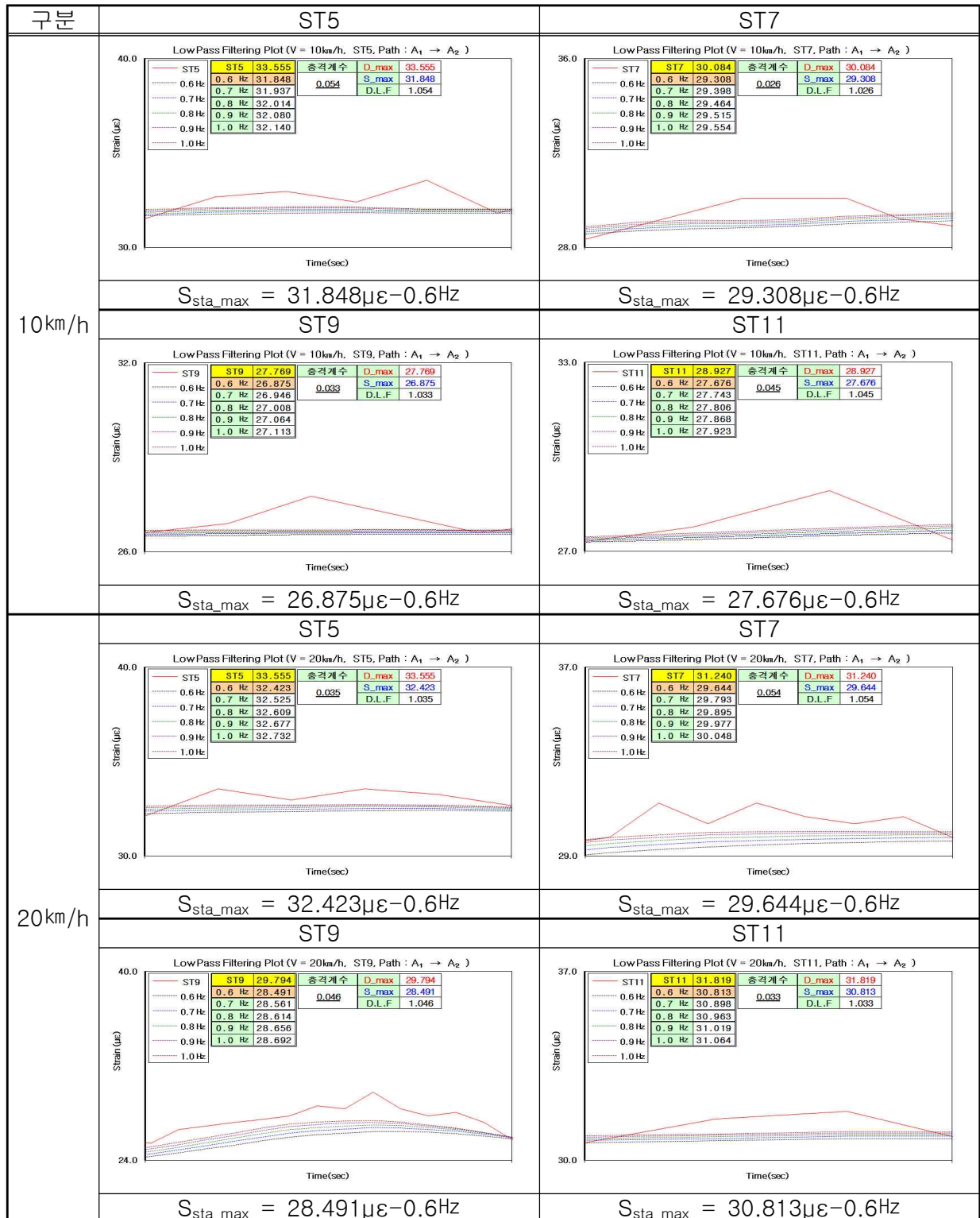
【표 5.14】 주행 속도별 충격계수 산정(변위)

(단위 : mm)

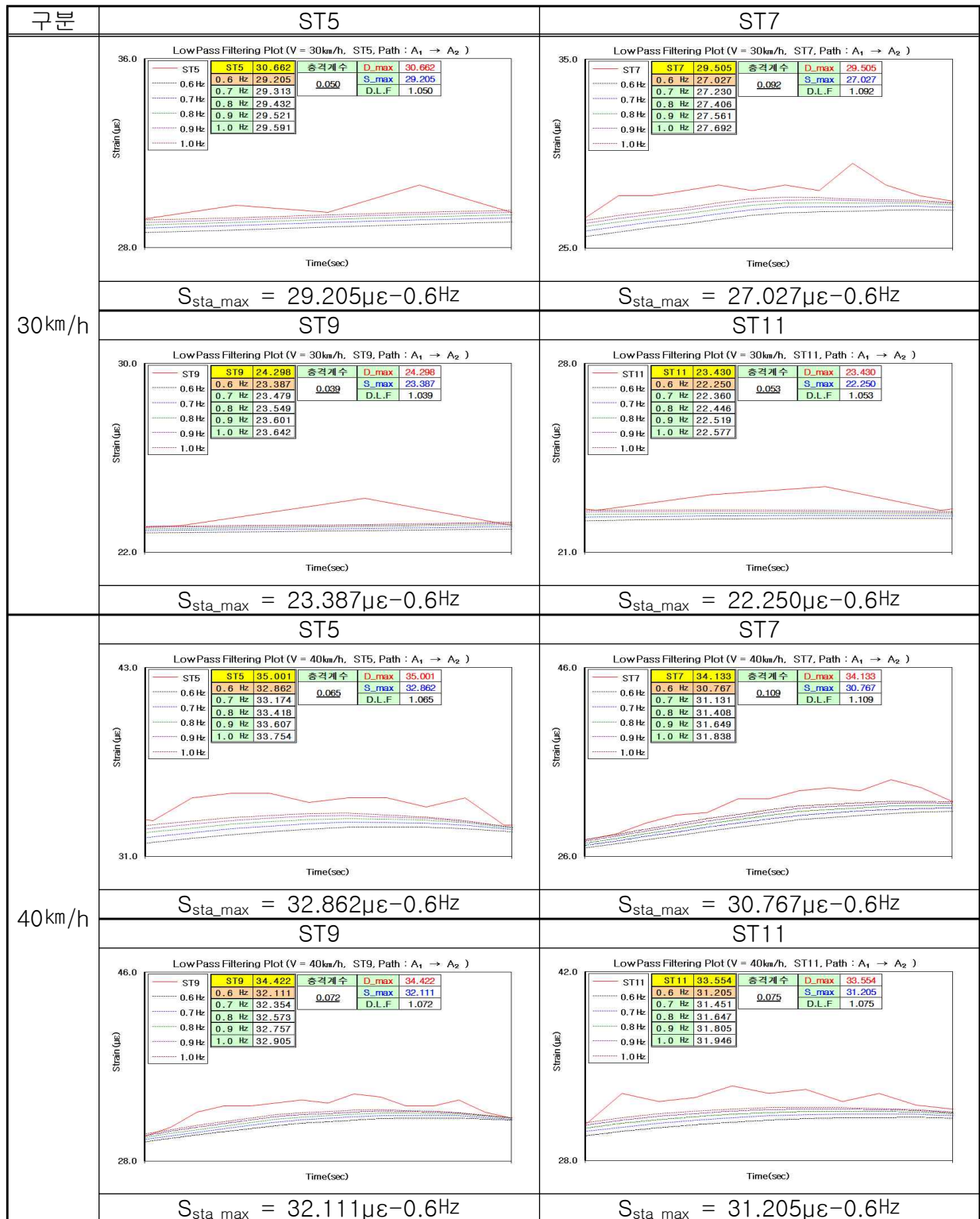
속도	항목	동적처짐 (Ddynamic_max)			정적처짐 (Dstaic_max)			동적충격계수 (D.L.F)			충격계수 (ie)			적용 충격계수 (ie)
		DT4	DT5	DT6	DT4	DT5	DT6	DT4	DT5	DT6	DT4	DT5	DT6	
10km/h		2.23	2.16	1.99	2.16	2.09	1.93	1.032	1.033	1.031	0.032	0.033	0.031	0.177
20km/h		2.60	2.61	2.44	2.49	2.47	2.30	1.044	1.057	1.061	0.044	0.057	0.061	
30km/h		2.14	2.08	1.91	2.09	2.05	1.88	1.024	1.015	1.016	0.024	0.015	0.016	
40km/h		2.59	2.62	2.44	2.50	2.54	2.36	1.036	1.031	1.034	0.036	0.031	0.034	
50km/h		2.48	2.47	2.33	2.25	2.23	2.09	1.102	1.108	1.115	0.102	0.108	0.115	
60km/h		2.86	2.80	2.59	2.63	2.56	2.36	1.087	1.094	1.097	0.087	0.094	0.097	
70km/h		2.54	2.64	2.53	2.20	2.26	2.15	1.155	1.168	1.177	0.155	0.168	0.177	
80km/h		2.88	2.82	2.61	2.56	2.55	2.37	1.125	1.106	1.101	0.125	0.106	0.101	

변위에 대한 실측 충격계수의 분석결과 70km/hr 주행 시 DT6에서 0.177로 산정되었으며, 이론적인 충격계수(0.188) 보다 다소 작은 것으로 확인되었다.

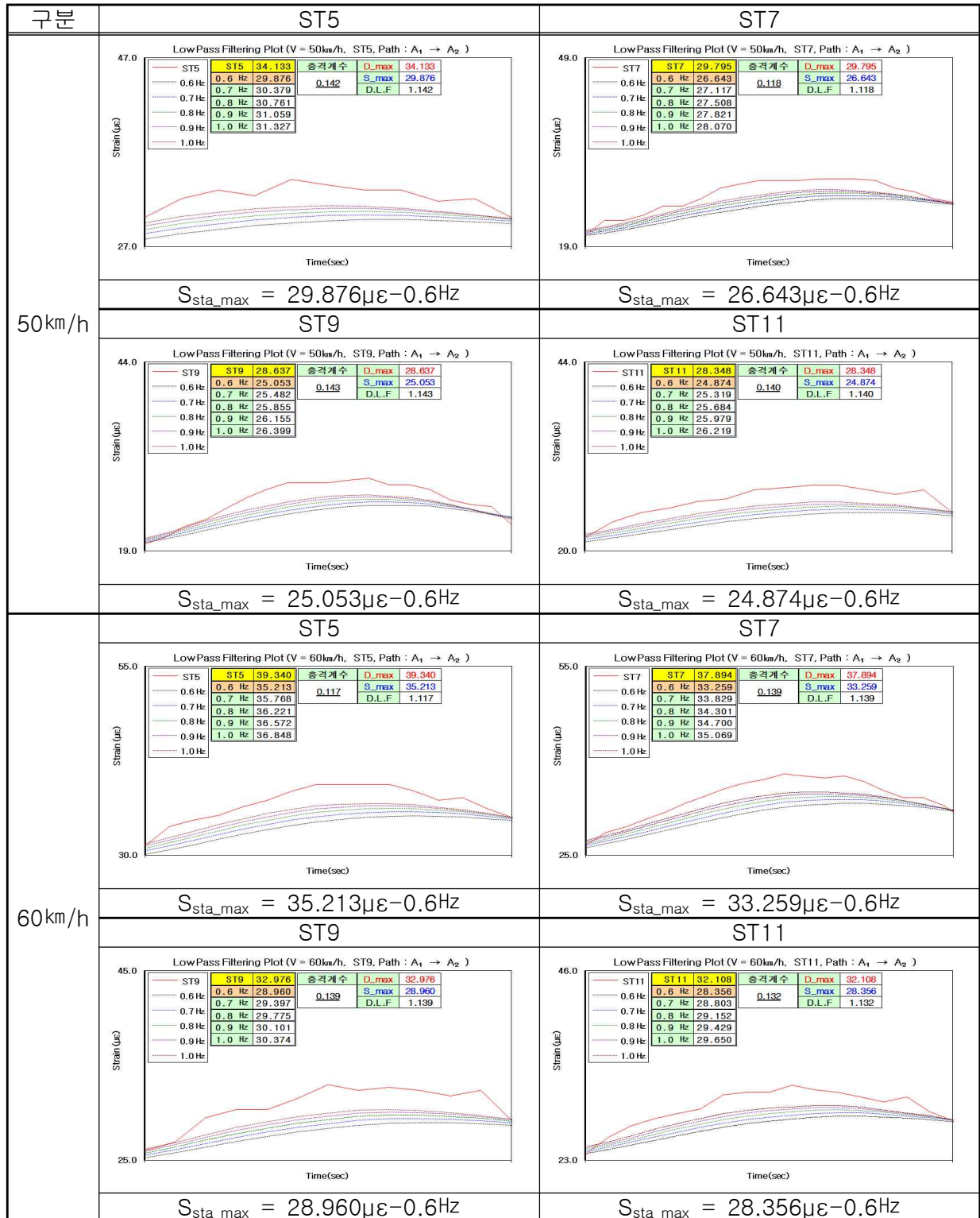
2) 변형을 필터링



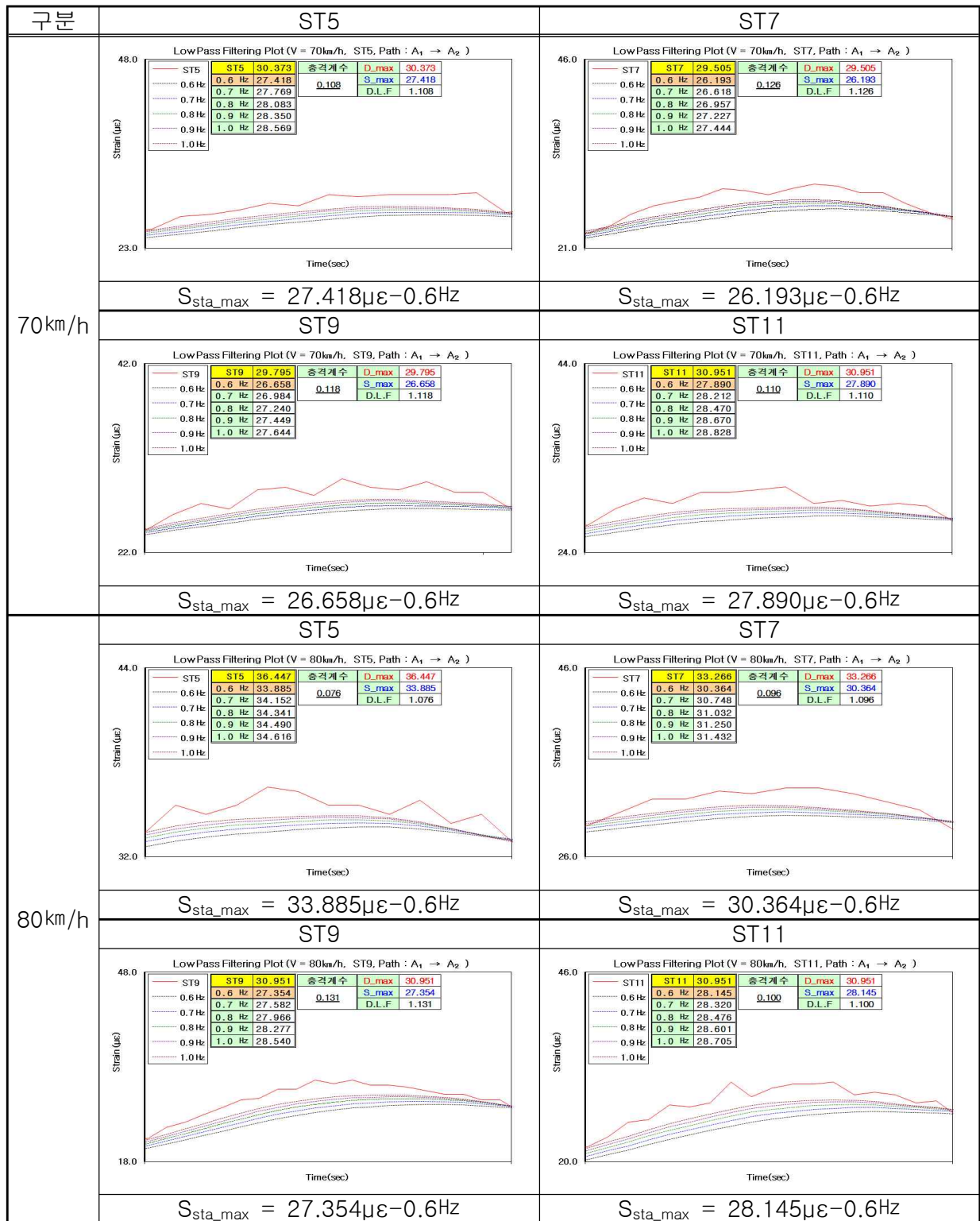
【그림 5.19】 주행속도별 변형을 Low Pass 필터링 - 1



【그림 5.19】 주행속도별 변형률 Low Pass 필터링 - 2



【그림 5.19】 주행속도별 변형을 Low Pass 필터링 - 3



【그림 5.19】 주행속도별 변형을 Low Pass 필터링 - 4

【표 5.15】 주행 속도별 충격계수 산정(변형률)

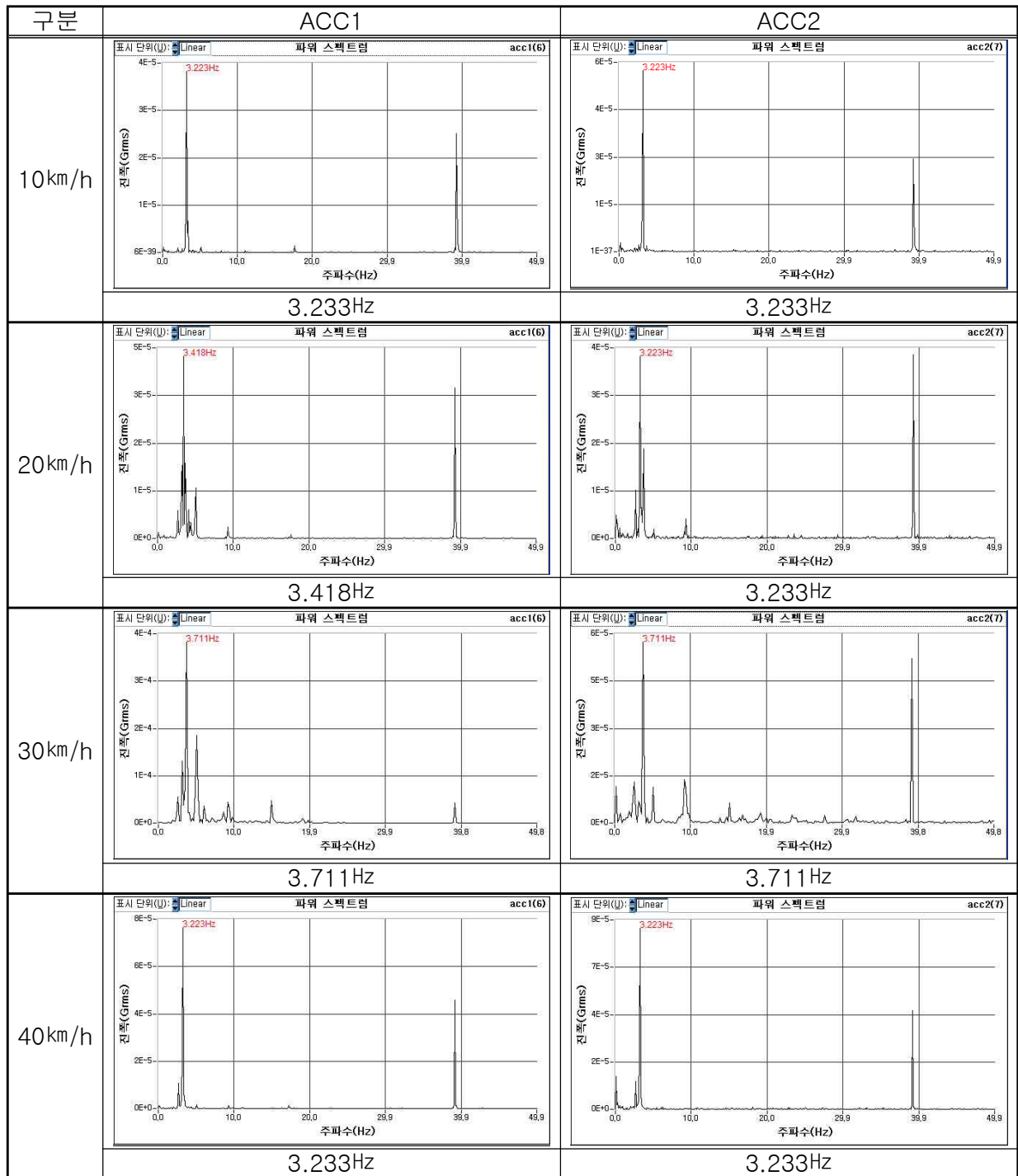
(단위 : $\mu\epsilon$)

항목 속도	동적변형률 (Sdynamic_max)				정적변형률 (Sstaic_max)				동적증폭계수 (D.L.F)				충격계수 (ie)				적용 충격계수 (ie)
	ST5	ST7	ST9	ST11	ST5	ST7	ST9	ST11	ST5	ST7	ST9	ST11	ST5	ST7	ST9	ST11	
10km/h	33.555	30.084	27.769	28.927	31.848	29.308	26.875	27.676	1.054	1.026	1.033	1.045	0.054	0.026	0.033	0.045	0.143
20km/h	33.555	31.240	29.794	31.819	32.423	29.644	28.491	30.813	1.035	1.054	1.046	1.033	0.035	0.054	0.046	0.033	
30km/h	30.662	29.505	24.298	23.430	29.205	27.027	23.387	22.250	1.050	1.092	1.039	1.053	0.050	0.092	0.039	0.053	
40km/h	35.001	34.133	34.422	33.554	32.862	30.767	32.111	31.205	1.065	1.109	1.072	1.075	0.065	0.109	0.072	0.075	
50km/h	34.133	29.795	28.637	28.348	29.876	26.643	25.053	24.874	1.142	1.118	1.143	1.140	0.142	0.118	0.143	0.140	
60km/h	39.340	37.894	32.976	32.108	35.213	33.259	28.960	28.356	1.117	1.139	1.139	1.132	0.117	0.139	0.139	0.132	
70km/h	30.373	29.505	29.795	30.951	27.418	26.193	26.658	27.890	1.108	1.126	1.118	1.110	0.108	0.126	0.118	0.110	
80km/h	36.447	33.266	30.951	30.951	33.885	30.364	27.354	28.145	1.076	1.096	1.131	1.100	0.076	0.096	0.131	0.100	

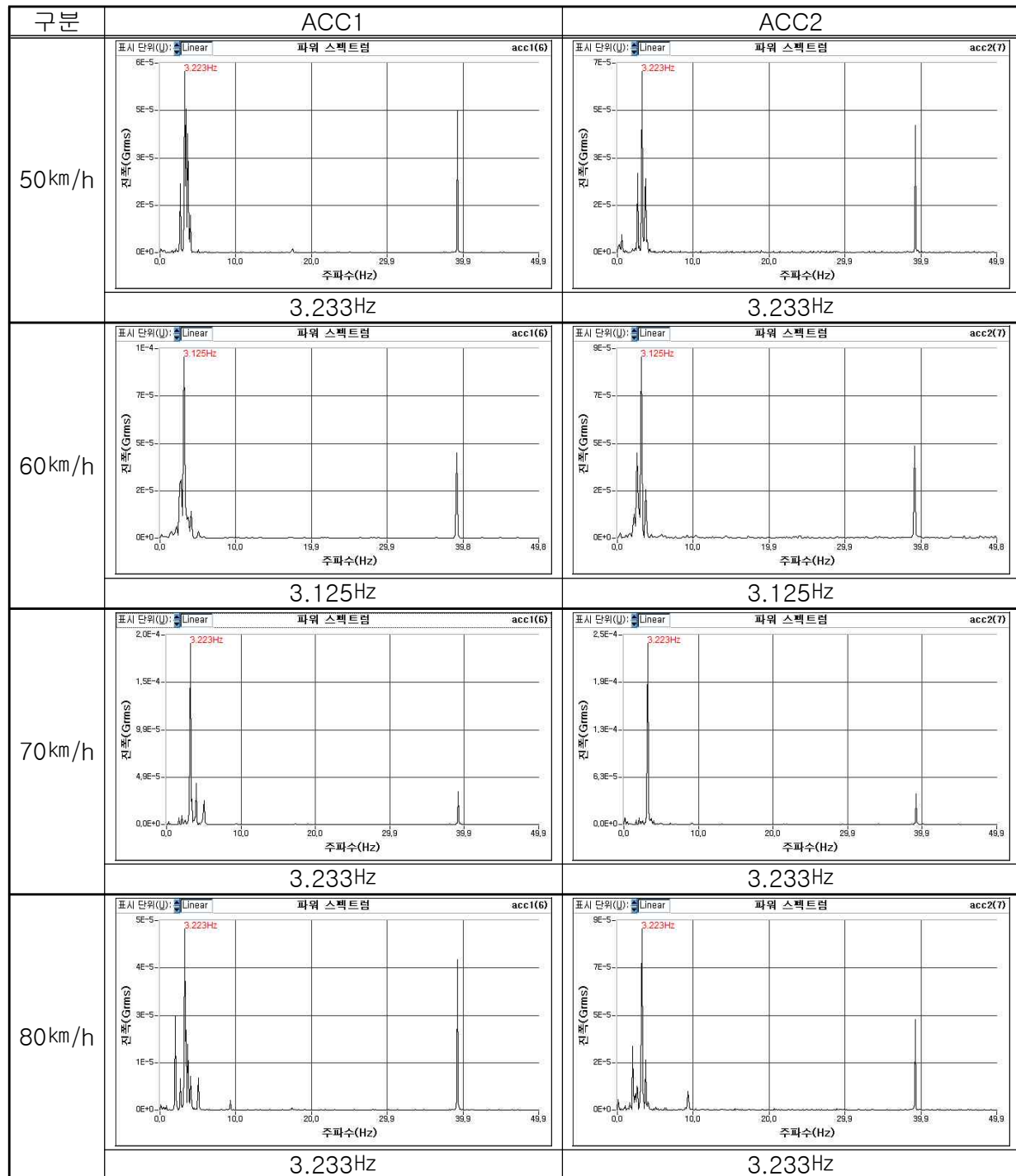
변형률에 대한 실측 충격계수의 분석결과 50km/hr 주행 시 ST9에서 0.143로 산정되었으며, 이론적인 충격계수(0.188) 보다 다소 작은 것으로 확인되었다.

다. 고유진동수 분석

고유주파수 산정은 속도별 가속도 계측 값 중 비감쇠자유진동(Undamped Free Vibration) 구간을 선택하여 FFT한 탁월 주파수로 분석하였다.



【그림 5.20】 주행 속도별 고유진동수 분석 결과 - 1



【그림 5.20】 주행 속도별 고유진동수 분석 결과 - 2

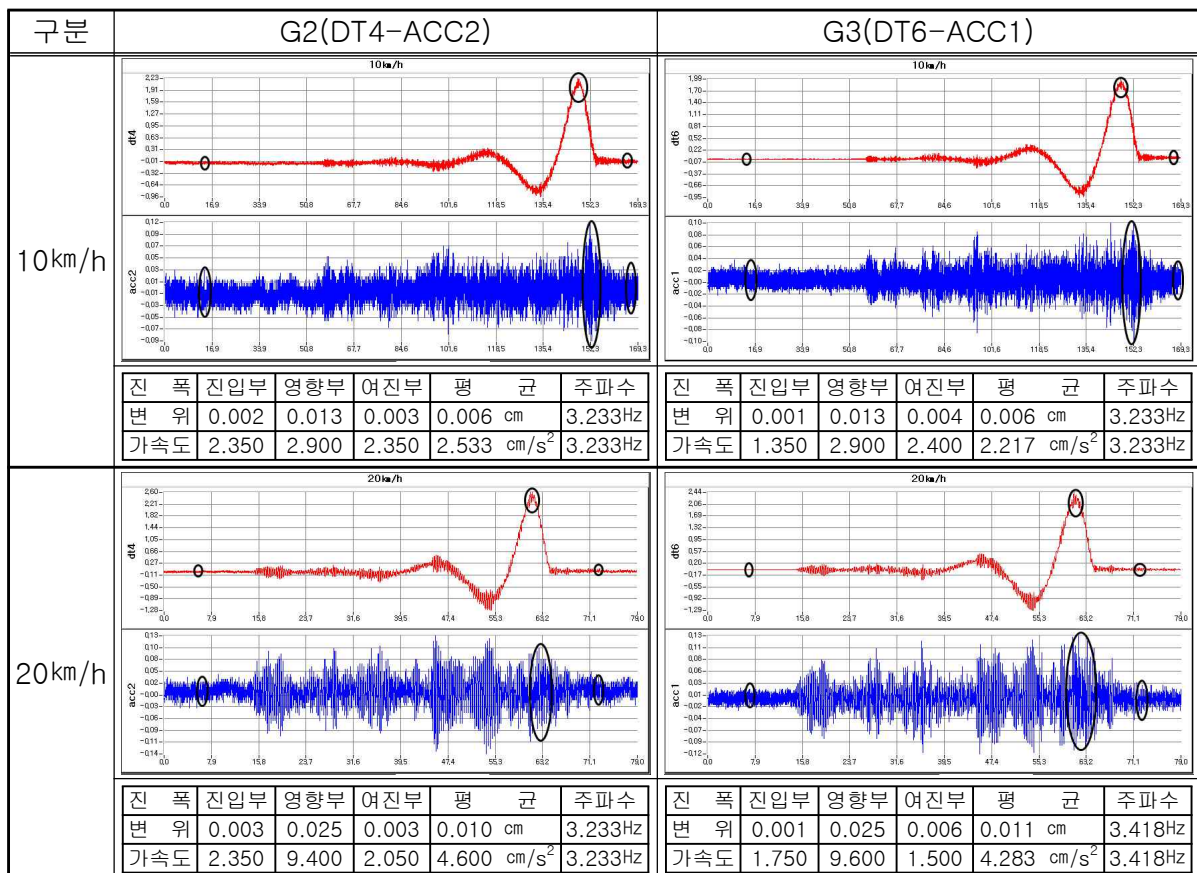
【표 5.16】주행속도별 고유진동수 분석결과

속도\항목	타월주파수(Hz)		비 고
	ACC1	ACC2	
10km/h	3.233	3.233	• 최 소 : 3.125Hz • 최 대 : 3.711Hz • 빈도 최대 : 3.233Hz (69%) • 전체 평균 : 3.291Hz • 적 용 : 3.233Hz
20km/h	3.418	3.233	
30km/h	3.711	3.711	
40km/h	3.233	3.233	
50km/h	3.233	3.233	
60km/h	3.125	3.125	
70km/h	3.233	3.233	
80km/h	3.233	3.233	

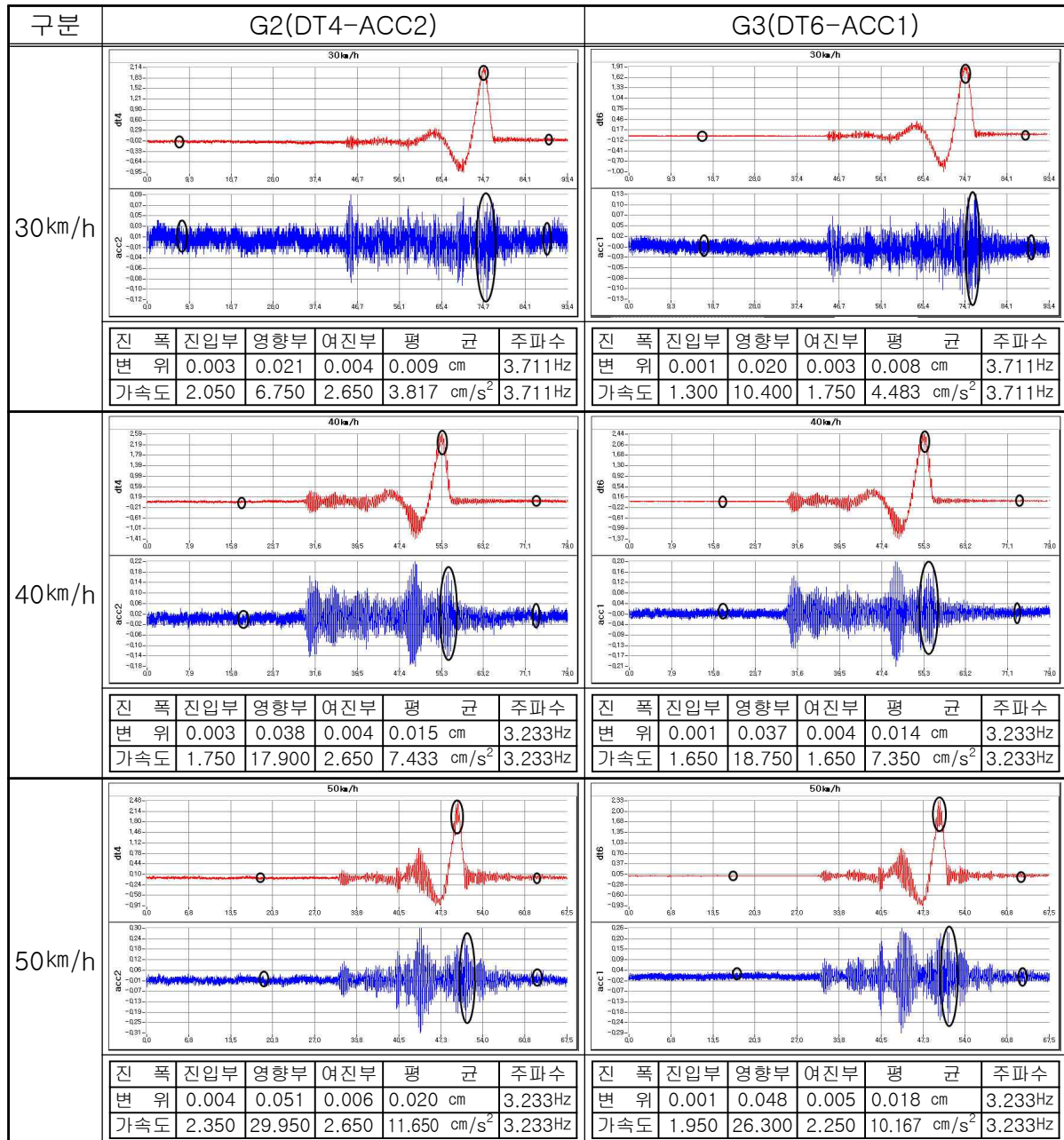
라. 진동 사용성 평가

1) 진동폭 산정

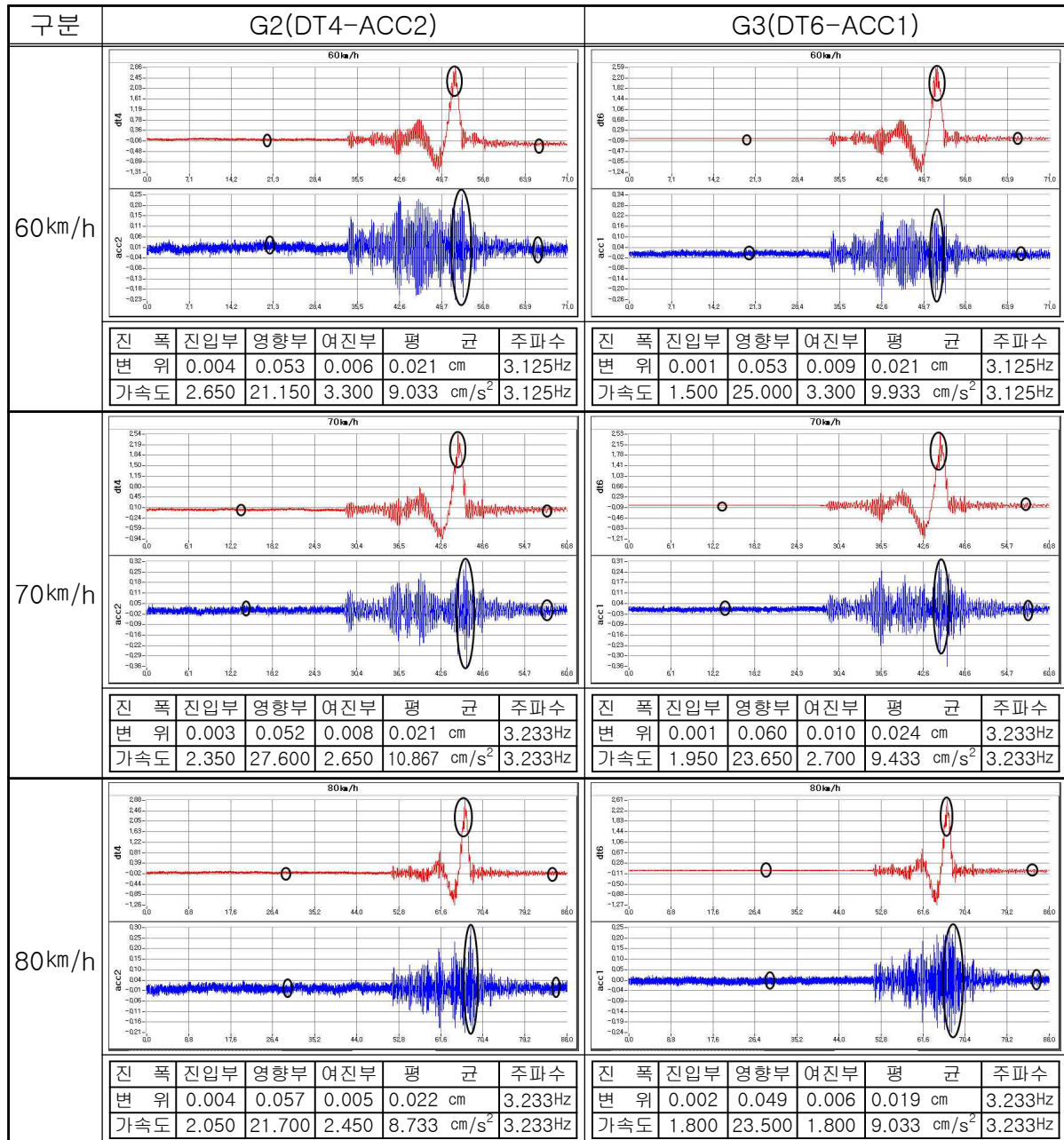
가속도와 변위 이력곡선으로부터 진입부, 주요 영향부, 여진 발생부의 3부분으로 나누어서 반 진폭의 최대값을 활용하여 진동 등급을 산정하였다.



【그림 5.21】진동 폭 산정 - 1



【그림 5.21】진동 폭 산정 - 2

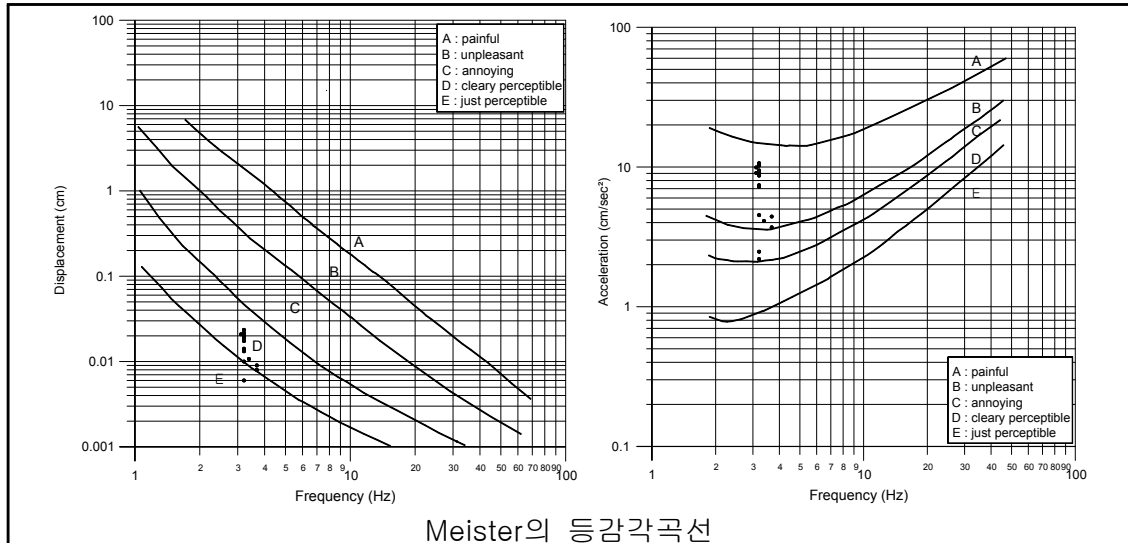


【그림 5.21】진동 폭 산정 - 3

2) 진동 등급의 결정

【표 5.17】 속도별 등감각곡선 값

구 분	변 위(cm)		가속도(cm/s^2)		주파수(Hz)	
	G2(DT4)	G3(DT6)	G2(ACC2)	G3(ACC1)	G2(ACC2)	G3(ACC1)
10km/h	0.006	0.006	2.533	2.217	3.233	3.233
20km/h	0.010	0.011	4.600	4.283	3.233	3.418
30km/h	0.009	0.008	3.817	4.483	3.711	3.711
40km/h	0.015	0.014	7.433	7.350	3.233	3.233
50km/h	0.020	0.018	11.650	10.167	3.233	3.233
60km/h	0.021	0.021	9.033	9.933	3.125	3.125
70km/h	0.021	0.024	10.867	9.433	3.233	3.233
80km/h	0.022	0.019	8.733	9.033	3.233	3.233



진동성 평가 결과 비교적 장시간 구조이므로 불쾌감을 느낄 정도인 B등급으로 평가된다.

구 분	변위등급		가속도등급		최종등급		비 고
	G2	G3	G2	G3	G2	G3	
10km/h	E	E	C	C	C	C	
20km/h	D	D	B	B	B	B	
30km/h	D	D	B	B	B	B	
40km/h	D	D	B	B	B	B	
50km/h	D	D	B	B	B	B	
60km/h	D	D	B	B	B	B	
70km/h	D	D	B	B	B	B	
80km/h	D	D	B	B	B	B	
평 가	clearly perceptible		unpleasant		unpleasant		

