

# 대차 현가계 구성요소 진단방법에 관한 연구

## A Study on Diagnostic Method for Suspension Elements of Bogie

허현무\*  
Hur, Hyun-Moo

최경진\*\*  
Choi, Kyung-Jin

---

### ABSTRACT

Like other vehicles, the suspension elements of railway rolling stock have influence on running stability and ride quality. Thus, faults detection for suspension elements is important to prevent an accidents of train and to ensure safety against derailment. This study was started to grasp the feasibility of diagnostic method for the suspension elements of bogie without disassembling. Through several tests by running test rig, we found that fault detection for suspension elements was possible. Here, we describe some results.

---

#### 1. 서론

철도차량의 현가계는 대차시스템을 구성하며 윤축과 차체를 연결하는 요소로 차량의 주행안전성과 승객의 승차감 확보 측면에서 중요한 역할을 한다. 따라서, 차량설계시 현가계 요소에 대한 물성치 선정과 더불어 차량운용시는 정상적인 차량운행을 보장할 수 있는 검수 및 진단기술이 확보되어야 한다. 최근, 해외 철도기관에선 진단기술의 발달로 인한 자동검사기술, 정밀측정 및 품질균일관리등을 통하여 차량부품 및 차량시스템을 최적상태로 관리하고 있다.

그러나, 국내 실정을 살펴보면, 차량의 검수시설 및 검수기법은 단편적으로 구성되어 간단한 보조기계설비를 이용한 수작업에 의존하고 있는 비중이 크므로, 차량검수의 효율성 저하와 차량진단의 신뢰성이 낮은 실정이다. 특히, 차량운행의 안전과 관련된 검사항목을 인간의 오감으로 판단하기에는 한계가 있으며, 객차의 경우 시운전을 대체하기 위한 주행시험대에 의한 차량 주행상태에 대한 진단기술은 중요한 의미가 있다. 주행시험대에 의한 차량진단은 차량 구성요소 각 부에 대한 검수 후, 차량조립체에 대한 종합적인 상태를 파악하기 위한 과정으로 차량 구성요소 각 부에서 발견치 못한 현가계요소 물성치 결함, 검수 불량등을 파악할 수 있는 과정이라 할 수 있다. 그러나, 현재, 국내에선 주행시험대에 대한 결함 발견은 주로 청각, 시각, 촉각에 의한 촉상베어링 발열, 이상음 및 이상 진동 감지등에 국한되어 그 효율성이 제한되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구는 국내에서 활용되고 있는 간이 주행시험대를 이용하여 검수효율성 증대와 진단기법 제고를 위하여 시작되었다. 차량부품 검수시 파악되지 못한 스프링, 댐퍼와 같은 대차현가계 요소에 대한 결함 진단기법을 개발함으로써 차량검수의 효율성 및 신뢰도 제고, 이로 인한 차량운용시 안전성 확보에 기여하고자 한다.

---

\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

## 2. 진단기법 적용시험

### 2.1 시험목적

차량주행시험대를 이용하여, 공기스프링, 축상 1차댐퍼, 2차댐퍼와 같은 대차현가계 구성요소에 대한 이상유무를 식별할 수 있는 진단가능성을 파악하고, 일부 목적으로 국한되고 있는 차량주행 시험대에 의한 검수 효율성 제고에 그 목적이 있다.

### 2.2 시험장치

국내에 설치되어 있는 객차 주행시험대는 철도청 3개 정비본부에 설치되어 있으며, 외국의 대차 시험기를 모방하여 국내에서 자체기술로 제작된 시험대로 노후화되어 있다. 본 시험에서 사용한 주행시험대는 철도청 대전정비본부에 설치된 주행시험대를 사용하였으며, 주요 제원 및 형상은 표 1 및 그림1과 같다.

표1 객차 주행시험대 주요 제원

항목	제작년	최고주행속도 (km/h)	고정축거 이동범위 (mm)	동력 전달방식	구동륜 직경(mm)	시험방법	검사방법
내용	1980	40~120km/h (370~850rpm)	2,100~2,450	TM2대(V벨트 6개구동)	500	대차별 회전검사	시각, 촉각, 청각

### 2.3 시험차량

시험차량은 1차현가계가 세브론고무 축상 스프링, 1차 축상댐퍼, 2차현가계가 공기스프링, 2차 상하, 좌우댐퍼로 구성된 볼스터리스형 대차를 적용한 최고속도 150km/h급 무궁화객차를 대상으로 하였다. 표2 및 그림2는 무궁화객차의 주요 제원 및 대차형상을 나타낸다.

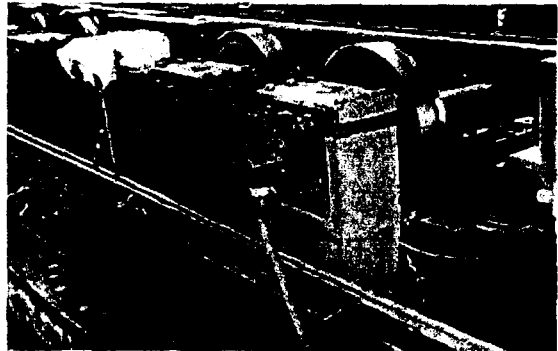


그림1 객차 주행시험대

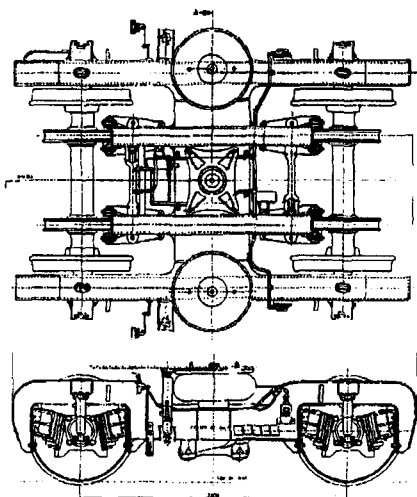


그림2 무궁화객차 대차

표2 무궁화객차 주요 제원

항목	제원 및 형식	비고
차체 길이	23.5 m	
차체 중량	28 ton	공차시
고정 축거	2.3 m	
대차중심간 거리	15.9 m	
최고 속도	150 km/h	
제동 방식	차축디스크형	
대차형식	볼스터리스	
1차 현가계	세브론고무스프링 1차 축상댐퍼	
2차 현가계	공기스프링 2차 수직, 수평댐퍼	

## 2.4 시험방법

정상상태로 원형정비된 차량을 대상으로 댐퍼, 에어스프링 각부에 표3과 같이 결합요소를 차례로 부여한 후, 주행시험대상에서 구동시켜 시험하여 데이터를 취득하였다. 정상상태 시험은 원형정비된 대차를 대상으로 실시하였으며(구분1), 1차 및 2차댐퍼 결합 재현은 댐퍼고장을 가정하여 각 현가계에서 1차, 2차 수직댐퍼를 탈거한 후 시험하였다(구분2~4). 2차 공기스프링 결합 재현은 공기스프링의 공기압이 강하되었을 경우를 가정하여 공기압을 강하시켜 시험하였다.(구분5)

표3 이상차량 재현시험을 위한 결합요소(×는 결합요소)

구분	1차 수직댐퍼	2차 수직댐퍼	에어스프링	비고
1				정상상태
2	×			1차 수직댐퍼 결합(좌측)
3		×		2차 수직댐퍼 결합(좌측)
4	×	×		1차, 2차수직댐퍼 결합(좌측)
5			×	2차 스프링 결합

## 2.5 데이터 취득

차량 결합진단기법 적용을 위하여 진동가속도 신호를 데이터로 취득하였다. 취득 위치는 그림3과 같이 주행시험대 용도상 상하계로 한정하여, 축상(좌,우측), 대차(좌,우측), 차체(좌,우측)의 상하방향 진동과 시험차량의 주행속도를 측정하였다.

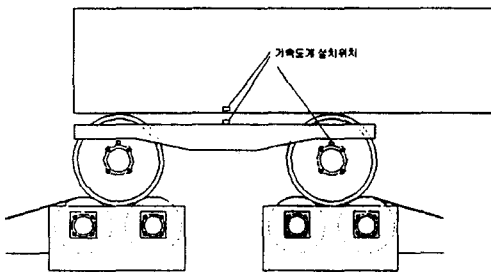


그림3 시험차량의 진동가속도계 부착위치

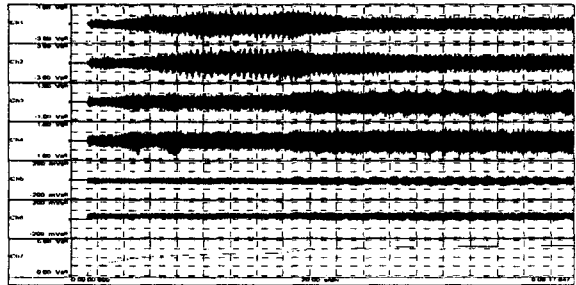


그림4 2차 수직댐퍼 결합시의 취득 데이터 파형

## 3. 진단시험 결과분석

### 3.1 분석방법

정상차량에 대한 결합요소가 부여된 비정상차량에 대한 이상유무를 판별하기 위하여, 주행시험 대상의 시험차량을 80km/h 정속으로 주행할 때의 데이터를 대상으로 분석하였다. 레벨관리측면에서의 이상진동을 판별하기 위하여 진동가속도 신호의 진폭해석을 수행하였다. 진폭해석은 취득데이터 구간에 대한 전진폭(peak to peak)에 대한 최대값, 전진폭에 대한 평균값, 그리고 RMS(root mean square)을 구하여 정상차량에 대한 이상차량의 패턴을 비교하였다. 또한 정밀분석을 위하여 주파수분석을 행하였고 200, 30, 10Hz로 로우패스필터링한 데이터를 대상으로 진폭해석을 수행하였다.

### 3.2 시험결과

#### 3.2.1 2차 수직댐퍼 결합

그림4는 2차 수직댐퍼 결합시의 축상, 대차, 차체 좌우측의 진동가속도와 시험차량의 속도신호 데이터를 나타낸다. 취득데이터 중 80km/h 정속으로 주행할 때의 구간에 대하여 진폭해석을 수행한 결과가 표4이다. 그림5 및 그림6은 각각 200Hz, 10Hz로 필터링한 축상 진동가속도 데이터에 대한 주파수 분석결과와 파형을 나타내며, 그림7은 10Hz로 필터링한 대차 진동가속도 데이터에 대한 주파수 분석결과와 파형을 나타내고 있다. 그림8은 축상 및 대차에 대한 진동가속도 분포를 나타낸다.

2차 수직댐퍼 결합시의 진동특성을 분석하면 축상스프링은 주파수 200Hz 대역에선 정상차량에 비하여 전반적으로 감소하는 경향을 보이고 있는 반면, 10Hz대역에선 축상진동의 전진폭 평균이 크게 증가하는 특성을 보이고 있다. 대차진동은 10Hz대역에서 전진폭 최대값, 평균값, RMS값은 크게 증가하는 특성을 보이고 있다. 차체진동은 크기가 매우 작으나 비정상차량이 미소하게 증가하는 경향을 보이고 있다.

표4 2차 수직댐퍼 결합시의 분석결과

주파수 (Hz)	결과	축 상				대 차				차 체			
		정상	비정상	증분(%)	비교	정상	비정상	증분(%)	비교	정상	비정상	증분(%)	비교
200	max	5.46	4.13	-24.4	>	0.34	0.50	47.1	<	0.024	0.033	37.5	<
	mean	1.70	1.31	-22.9	>	0.10	0.17	70.0	<	0.006	0.006	0.0	=
	r.m.s	0.89	0.69	-22.5	>	0.07	0.10	42.9	<	0.005	0.007	40.0	<
30	max	1.01	0.92	-8.9	>	0.19	0.25	31.6	<	0.022	0.030	36.4	<
	mean	0.33	0.30	-9.1	>	0.11	0.13	18.2	<	0.008	0.013	62.5	<
	r.m.s	0.25	0.19	-24.0	>	0.04	0.06	50.0	<	0.004	0.006	50.0	<
10	max	0.60	0.60	0.0	=	0.09	0.18	100.0	<<	0.005	0.008	60.0	<
	mean	0.09	0.28	211.1	<<	0.06	0.13	116.7	<<	0.003	0.005	66.7	<
	r.m.s	0.18	0.14	-22.2	>	0.02	0.05	150.0	<<	0.001	0.002	100.0	<<

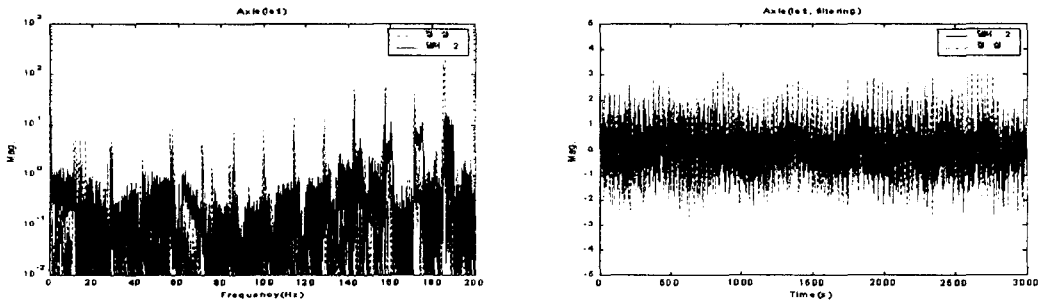


그림5 2차 수직댐퍼 결합시의 축상 진동가속도 신호(200Hz, filtering)

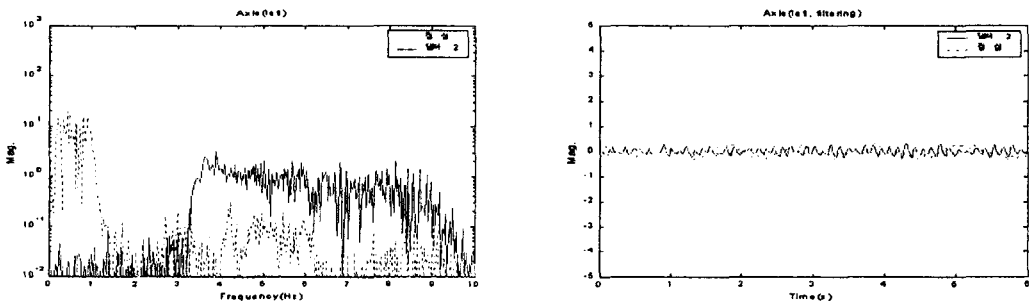


그림6 2차 수직댐퍼 결합시의 축상 진동가속도 신호(10Hz, filtering)

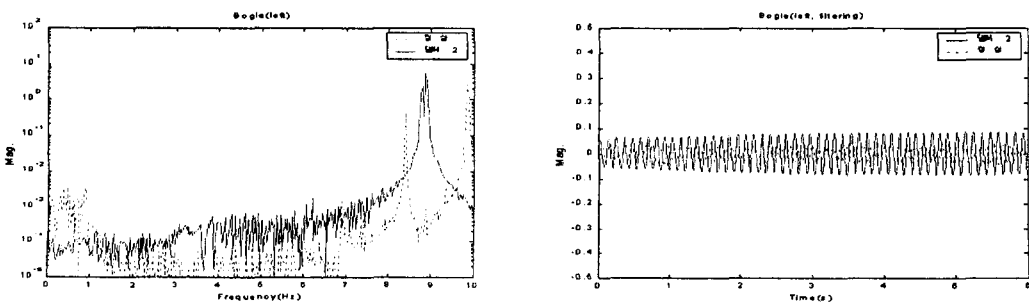
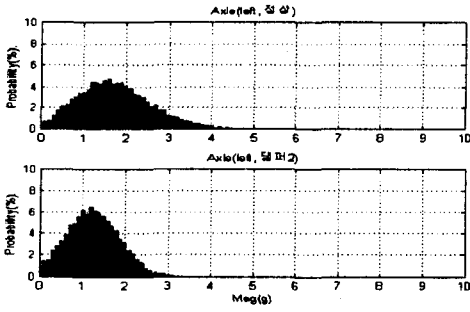
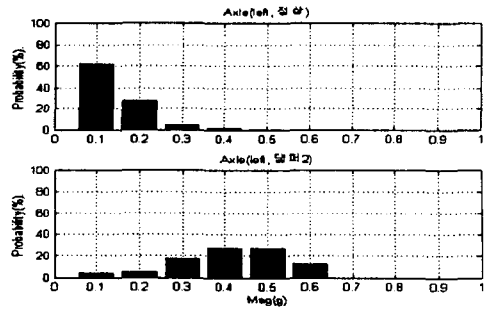


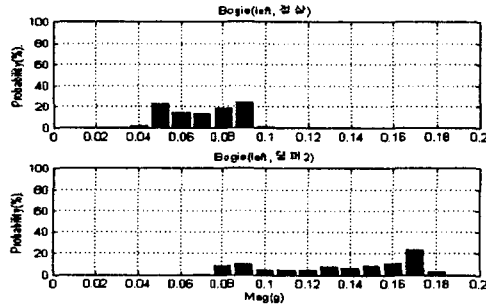
그림7 2차 수직댐퍼 결합시의 대차 진동가속도 신호(10Hz, filtering)



(a) 축상 진동가속도 분포(200Hz Filtering)



(b) 축상 진동가속도 분포(10Hz Filtering)



(c) 대차 진동가속도 분포(10Hz Filtering)

그림8 2차 수직댐퍼 결합시의 진동가속도 분포

### 3.2.2 1차 수직댐퍼 결합

축상 1차 수직댐퍼 결합시의 진동특성은 전반적으로 정상차량과 거의 유사하게 나타난다고 할 수 있다. 축상진동은 200Hz대역에서 전반적으로 증가하는 경향을 보이고 있으며, 10Hz대역에서의 전진폭 평균이 크게 증가하는 경향을 보이고 있다. 대차진동은 10Hz대역에서 미소하게 증가하는 하나 전반적으로 정상차량과 등가수준을 보이고 있다. 차체진동은 그 크기가 매우 미소한 수준으로 정상차량과 유사한 특성을 보이고 있다.

표5 1차 수직댐퍼 결합시의 분석결과

주파수 (Hz)	결과	축 상				대 차				차 체			
		정상	비정상	중분(%)	비교	정상	비정상	중분(%)	비교	정상	비정상	중분(%)	비교
200	max	5.46	6.85	25.5	<	0.34	0.34	0.0	=	0.024	0.022	-8.3	>
	mean	1.70	2.20	29.4	<	0.10	0.09	-10.0	>	0.006	0.006	0.0	=
	r.m.s	0.89	1.12	25.8	<	0.07	0.06	-14.3	>	0.005	0.005	0.0	=
30	max	1.01	1.06	5.0	=	0.19	0.17	-10.5	>	0.022	0.022	0.0	=
	mean	0.33	0.32	-3.0	=	0.11	0.11	0.0	=	0.008	0.008	0.0	=
	r.m.s	0.25	0.22	-12.0	>	0.04	0.04	0.0	=	0.004	0.004	0.0	=
10	max	0.60	0.86	43.3	<	0.09	0.10	11.1	<	0.005	0.007	40.0	<
	mean	0.09	0.44	388.9	<<	0.06	0.07	16.7	<	0.003	0.004	33.3	<
	r.m.s	0.18	0.19	5.6	<	0.02	0.03	50.0	<	0.001	0.001	0.0	=

### 3.2.3 1차, 2차 수직댐퍼 결합

1차, 2차댐퍼 결합시, 축상진동은 200Hz대역에서 전진폭 최대, 평균, RMS값 모두 증가하는 경향을 보이고 있으며, 10Hz대역에서의 전진폭 평균은 크게 증가한다. 대차진동은 전반적으로 증가하며 10Hz대역에서 전진폭 최대, 평균, RMS값 모두 크게 증가하는 특성을 보이고 있다. 차체진동은 크기가 매우 작으나 비정상차량이 정상차량에 비하여 미소하게 증가하는 경향을 보이고 있다.

표6 1차, 2차 수직댐퍼 결합시의 분석결과

주파수 (Hz)	결과	축 상				대 차				차 체			
		정상	비정상	중분(%)	비교	정상	비정상	중분(%)	비교	정상	비정상	중분(%)	비교
200	max	5.46	6.48	18.7	<	0.34	0.39	14.7	<	0.024	0.027	12.5	<
	mean	1.70	2.15	26.5	<	0.10	0.11	10.0	<	0.006	0.006	0.0	=
	r.m.s	0.89	1.10	23.6	<	0.07	0.07	0.0	=	0.005	0.006	20.0	<
30	max	1.01	1.00	-1.0	=	0.19	0.22	15.8	<	0.022	0.025	13.6	<
	mean	0.33	0.32	-3.0	=	0.11	0.12	9.1	<	0.008	0.010	25.0	<
	r.m.s	0.25	0.21	-16.0	>	0.04	0.05	25.0	<	0.004	0.005	25.0	<
10	max	0.60	0.61	1.7	=	0.09	0.15	66.7	<	0.005	0.006	20.0	<
	mean	0.09	0.43	377.8	<<	0.06	0.09	50.0	<	0.003	0.003	0.0	=
	r.m.s	0.18	0.16	-11.1	>	0.02	0.04	100.0	<<	0.001	0.001	0.0	=

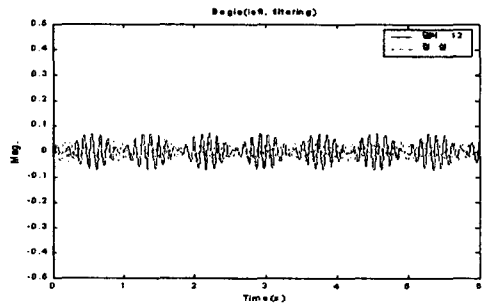
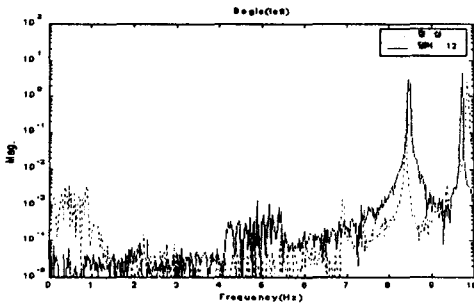
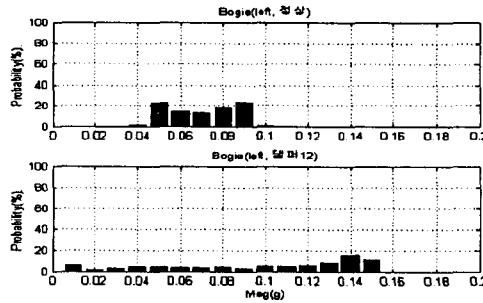
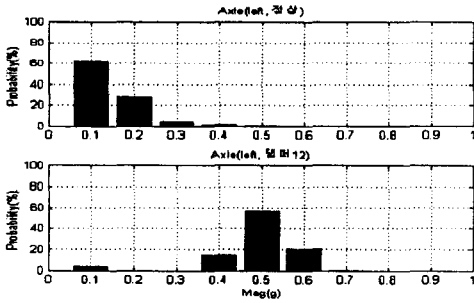


그림9 1차, 2차 수직댐퍼 결합시의 대차 진동가속도 신호(10Hz, filtering)



(a)축상 진동가속도 분포(10Hz Filtering)

(b)대차 진동가속도 분포(10Hz Filtering)

그림10 1차, 2차 수직댐퍼 결합시의 대차 진동가속도 분포

### 3.2.4 에어스프링 결합

표7 에어스프링 결합시의 분석결과

주파수 (Hz)	결과	축 상				대 차				차 체			
		정상	비정상	중분(%)	비교	정상	비정상	중분(%)	비교	정상	비정상	중분(%)	비교
200	max	5.46	4.93	-9.7	>	0.34	0.35	2.9	=	0.024	0.059	145.8	<<
	mean	1.70	1.69	-0.6	=	0.10	0.11	10.0	<	0.006	0.013	116.7	<<
	r.m.s	0.89	0.88	-1.1	=	0.07	0.06	-14.3	>	0.005	0.011	120.0	<<
30	max	1.01	0.99	-2.0	=	0.19	0.06	-68.4	>>	0.022	0.046	109.1	<<
	mean	0.33	0.31	-6.1	>	0.11	0.02	-81.8	>>	0.008	0.015	87.5	<
	r.m.s	0.25	0.24	-4.0	=	0.04	0.01	-75.0	>>	0.004	0.007	75.0	<
10	max	0.60	0.70	16.7	<	0.09	0.01	-88.9	>>	0.005	0.006	20.0	<
	mean	0.09	0.28	211.1	<<	0.06	-	-100.0	>>	0.003	0.004	33.3	<
	r.m.s	0.18	0.19	5.6	<	0.02	-	-100.0	>>	0.001	0.001	0.0	=

에어스프링 결합시의 진동특성은 정상차량에 비하여 매우 뚜렷한 특성을 보이고 있다. 축상진동은 정상차량과 거의 유사한 수준이나 10Hz대역에서의 전진폭 평균은 크게 증가하고 있다. 대차진동은 30Hz대역에서 감소하고 있으며 10Hz대역 부근에서 크게 감소하고 있다. 차체진동은 전반적으로 증가하고 있으며 200Hz대역에서 전진폭 최대, 평균, RMS값 모두 크게 증가하고 있다.

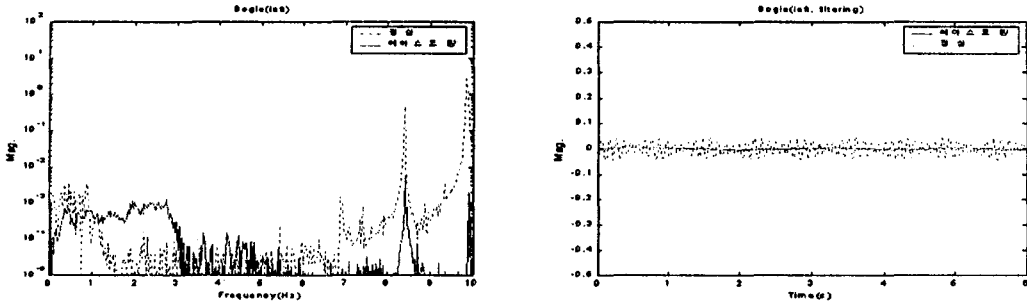


그림11 에어스프링 결합시의 대차 진동가속도 신호(10Hz, filtering)

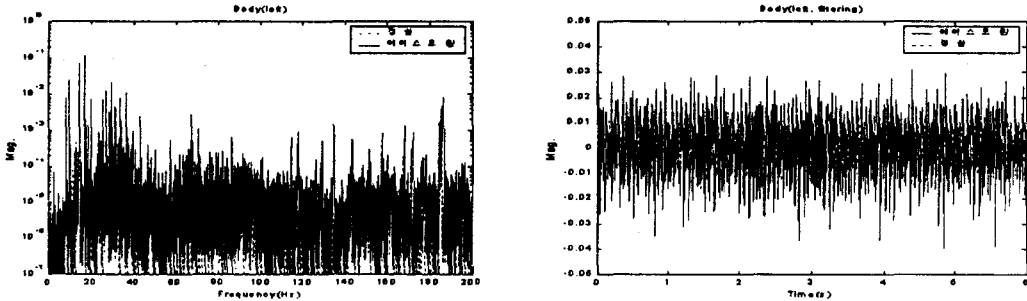
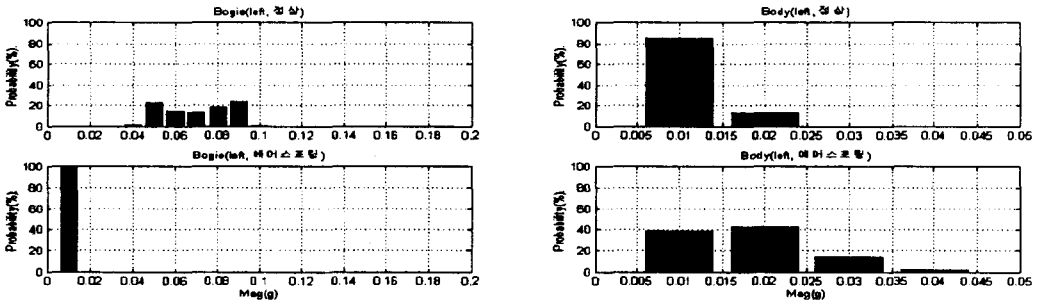


그림12 에어스프링 결합시의 차체 진동가속도 신호(200Hz, filtering)



(a)대차 진동가속도 분포(10Hz Filtering)

(b)차체 진동가속도 분포(200Hz Filtering)

그림13 에어스프링 결합시의 대차 진동가속도 분포

### 3.3 결과 분석

대차 현가계 구성요소 각부의 결합을 가정한 시험결과를 볼 때, 정상차량과 다른 각각의 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 각각의 진동특성에 대한 타당성을 비교하여 보기 위하여 시험대상차를 모델로 결합요소를 부여하고 속도 80km/h로 주행할 경우를 가정하여 해석을 수행하였다.

해석결과 2차 수직댐퍼 결합시의 대차 진동은 그림14와 같이 대차 상하 진동모드 대역인 8Hz 부근에서 정상차량에 비하여 증가함을 보이고 있다. 또한, 그림15에서와 같이 1차, 2차 수직댐퍼 결합시에도 대차 상하 진동모드 대역인 8Hz 부근에서 정상차량에 비하여 증가함을 알 수 있다. 에어스프링 결합시의 해석결과도 정상차량에 비하여 대차 상하 진동모드 대역에서 크게 감소함을 보이고 있으며, 차체 진동은 전영역에서 크게 증가함을 보이고 있다. 따라서, 해석결과와 시험결과가 비교적 잘 부합함을 알 수 있었으며, 이로 인하여 현재 차량 검수시 제한적으로 활용하고 있는

간이 주행시험대에 의한 대차 현가계 구성요소에 대한 결합진단은 충분한 가능성을 내포하고 있다고 사료된다.

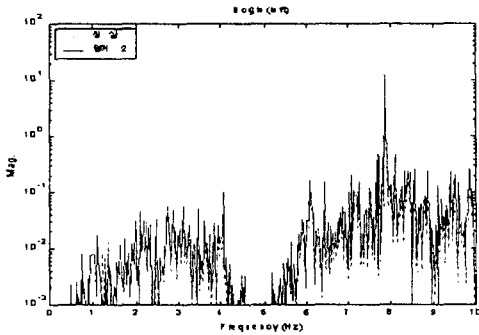


그림14 2차 수직댐퍼 결합시의 주행동특성 해석결과(대차진동가속도)

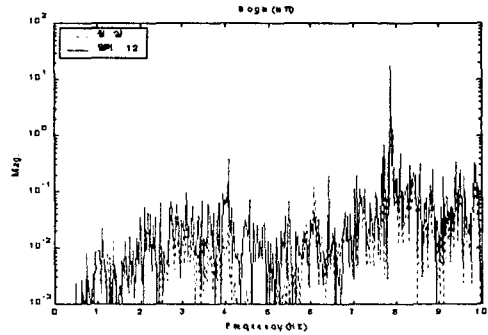
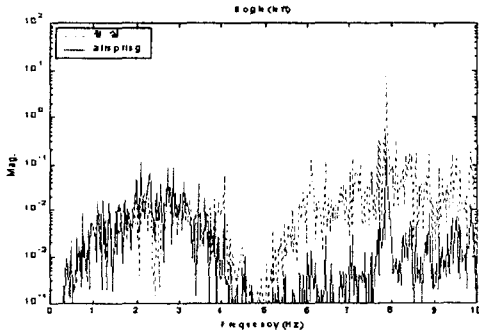
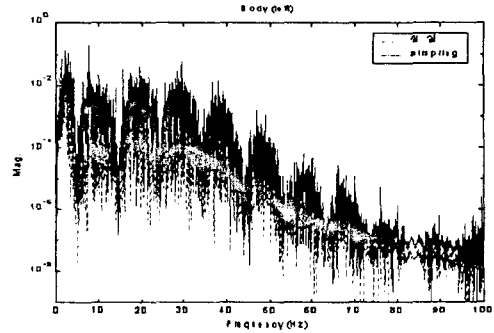


그림15 1차,2차 수직댐퍼 결합시의 주행동특성 해석결과(대차진동가속도)



(a)대차진동가속도



(b)차체 진동가속도

그림16 에어스프링 결합시의 주행동특성해석 결과

#### 4. 결론

본 연구는 차량 검수시 시운전을 대체하기 위하여 활용되고 있는 간이 주행시험대를 이용하여, 대차 현가계 구성요소에 대한 결합진단 가능성을 파악하기 위하여 시작되었다. 대차현가계 구성요소에 고장을 가정한 각각의 결합요소를 부여한 진단기법 적용시험이 수행되었으며, 정상차량과 비정상차량간의 진동특성을 비교하였다.

그 결과, 정상차량과 결합요소가 부여된 비정상차량간의 진동특성이 상이함을 보였고, 이로 인한 현가계 구성요소에 대한 결합판별 가능성을 확인 할 수 있었다. 따라서, 현재 오감에 의하여 검수차량의 상태검사에 국한되고 있는 간이형 주행시험대의 활용도를 확대하고 차량검수의 신뢰도 향상을 통한 안정된 주행성능 확보에 기여할 수 있으리라 사료된다. 그러나, 본 연구는 한 차량에 대한 연구로 현재 국내에서 운용되고 있는 다양한 철도차량에 대하여 적용하기 위해선 각 차량에 대한 특성연구와 취득데이터 DB화를 통한 지속적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

#### 참고문헌

1. Vijay K. Garg and Rao V. Dukkipati, "Dynamics of Railway Vehicle Systems", Academic Press, 1984
2. "일본기계학회편, 철도차량의 동역학", 전기차연구회(주), 1996
3. D.E. Newland and R J Cassidy, "Suspension and Structure", IMechE 1974 외