

신조 화차 주행특성에 관한 연구

A study on the dynamic characteristics of new freight car

허현무* 함영삼**
Hur, Hyun-Moo Ham, Young-Sam

ABSTRACT

Recently, freight cars for diverse purposes were developed to increase the speed of freight car in conventional line. The welded type bogies are applied to these vehicles like container car, gondola car, hopper car, etc. This study was focused on the dynamic characteristics and the stability of freight car to guarantee the running safety. We have conducted the running tests of freight cars in conventional line and described the test results in this paper.

1. 서론

현재, 영업최고속도 110km/h로 운용 중인 고속화차는 취약한 주행성능을 안고 있는 기존 barber형 주강대차의 주행성능을 향상시키기 위하여 개발되어 90년대 중반부터 적용되고 있다. 고속화차용 대차의 적용범위는 컨테이너차를 비롯하여 유개차, 무개차, 자갈차, 호퍼차, 코일수용용 화차 등 국내 화물수송을 위한 화차 전반에 적용되고 있으며, 최근 제작되는 화물차량은 전량 용접구조형 고속대차를 적용한 고속차량이다.

그러나, 고속철도의 상용화에 즈음하여 기존철도의 속도향상은 화차의 속도 향상 문제로 귀결되며 따라서 기존선 고속화 및 효율적 물류수송을 위한 화차 속도향상을 위한 노력이 활발히 전개되고 있는 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 화물차량의 고속 주행안전성 확보 및 안정된 화물수송을 위하여 신조 개발된 화물차량의 주행특성을 분석하고자 한다. 이를 위하여 개발 차량에 대한 실선로에서의 현차주행시험을 수행하였으며 제작사양의 성능조건과 비교하였다. 여기에선 현차주행시험결과를 중심으로 화차차종별 동적 특성에 대하여 논하고자 한다.

2. 고속화차용 대차

신조 고속화차에 적용되고 있는 대차는 최고속도 120km/h로 운용중인 유럽의 Y25대차를 기본 모델로 하고 있으며, 1990년대 초 국내 선로에 대한 적용과정을 거쳐 개발된 차량이다. 대차프레임은 1-piece형 용접구조이며, 1차현가장치는 코일스프링을 적용한 페데스탈 방식을 적용하고 있다. 차체지지장치는 접축식 사이드베어링과 구면형(spherical) 센터피봇을 적용하고 있으며, 제동시스템은 양압식 담면제동형식을 적용하고 있다.

1차현가장치는 한 쌍의 코일스프링으로 구성되어 있으며, 공차시엔 외측의 스프링이 작용하고 영차시엔 내·외측의 스프링이 동시에 작용하는 2중구조 형식을 취하고 있다. 액슬박스의 수직방향 운동면엔 Lenoir링크라 하는 건마찰기구가 장착되어 하중에 따른 마찰감쇠작용을 하고 있다. 2차현가장치는 없으며 차체지지는 구면형 센터피봇과 접축식 사이드베어링에 의한다. 사이드베어링은 차체를

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

지지할 뿐 아니라 물변위를 제한하며, 차체와 대차프레임간의 요운동에 의한 길이방향의 마찰감쇠 작용을 한다. 표1은 고속화차용 용접대차의 주요 제원 및 특징이며, Fig.1은 고속화차용 대차의 일반도이다.

표 1 고속화차용 용접대차 주요 제원

항 목	제 원
최고속도	120 km/h
중 량	4.5 ton
대차프레임 구조	1-piece형 용접구조
제동 방식	양압식 차륜담면제동
고정축거	1800 mm
차 륜 경	860 mm
차 륜 담면	1/20
차 축	D축
1차 현가장치	코일스프링 + 패데스탈 방식(Lenoir 링크적용)
사이드베어러	접촉식
센터피봇	spherical형식

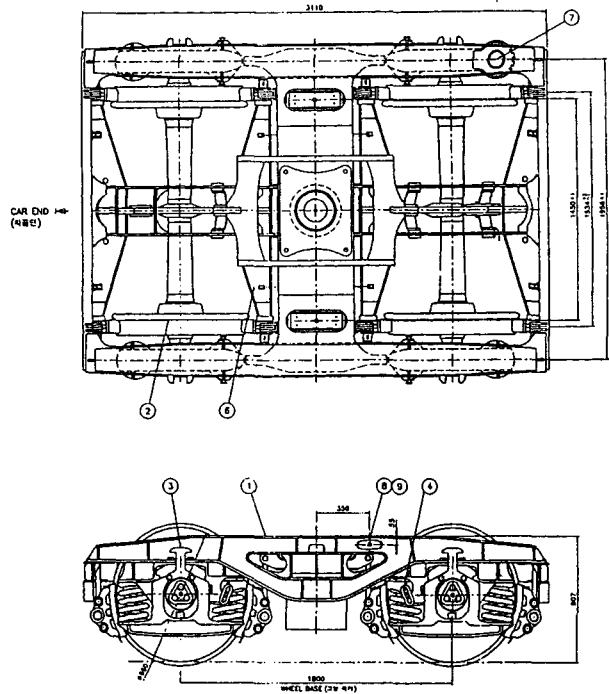


그림1. 고속화차용 대차의 일반도

3. 화차 진동특성 분석

3.1 현차 주행시험

신조 화차의 주행특성을 분석하기 위한 표 2와 같은 차종을 대상으로 현차주행시험을 수행하였다. 시험구간은 고속주행이 가능한 경부선 사상~삼랑진구간으로 하였으며, 차량의 동적성능을 파악하기 위하여 차체의 진동가속도를 측정하였다. 차체 진동측정 부위는 진행방향 후부대차 상부 차체중심으로 하였으며, 진동특성 분석은 화차 제작사양에 명시된 화차 진동시험기준을 준용하였다.(표 3)

표 2 차종별 주요 제원

구분	차종	자갈화차	냉연코일화차	무개차	호퍼차	컨테이너차
	하 중(ton)		50	52	54	50
자 중(ton)		25	23	21	25	20
용 적(m ³)		34	-	49	42	-
차체길이(엔드실간, mm)		13,000	12,000	13,040	11,400	12,500
대차중심간거리(mm)		9,055	8,200	9,240	7,100	8,700
차체높이(m)		2,839	3,670 이내	2,468	3,140	
차 체 폭(m)		3,100	2,800	2,887	3,200	2,500
대차프레임		용접구조형	←	←	←	←
최고속도(km/h)		100	100	120	120	120
제동 방식		KRF-3 (양압식)	KRF-3 (편압식)	KRF-3 (양압식)	KRF-3 (양압식)	KRF-3 (양압식)

표 3 화차 진동시험기준

(1)측정구간은 본선 시운전 구간으로 한다.
(2)차체진동에서 고주파 진동을 제거하기 위한 필터는 10Hz이다.
(3)진동 측정데이터는 측정구간을 100m단위로 나누어 이 구간 내에서 최대치의 진동 폭(Peak to Peak)을 취하여 그 때의 속도를 읽고 이를 5km/h단위의 같은 속도별로 모아서 평균한다.
(4)속도별 진동가속도의 기준은 다음과 같다.
-상하방향 : 40km/미만(0.35g), 80km/미만(0.5g), 120km/미만(0.55g)
-좌우방향 : 40km/미만(0.25g), 80km/미만(0.35g), 120km/미만(0.4g)

3.2 좌우 진동특성

화차의 좌우진동에 영향을 미치는 차량 구성부품 중 대차와 차체간 하중지지 역할을 하는 사이드베어링에 의한 영향이 크다고 할 수 있다. 따라서 사이드베어링 특성에 따른 주행특성을 분석을 위하여 무개화차를 대상으로 비교시험을 실시하였다. 사이드베어링은 그림2와 같이 접촉식 사이드베어링이 적용되어 왔으나 최근에는 그림3과 같은 접촉식 탄성사이드베어링이 적용되고 있다. 탄성사이드베어링은 몸체, 캡, 로울러, 탄성블록 등으로 구성되며 사이드베어링의 자유높이는 129mm, 차량에 설치시 높이는 118mm, 공차상태에서의 사이드베어링과 로울러의 유간은 5-8mm이다. 탄성사이드베어링의 제작 및 시험은 KRS규격(2240-2482)에 의한다.

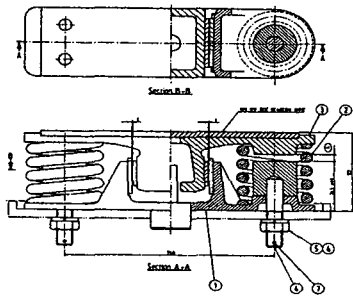


그림2. 접촉식 사이드베어링(구형)

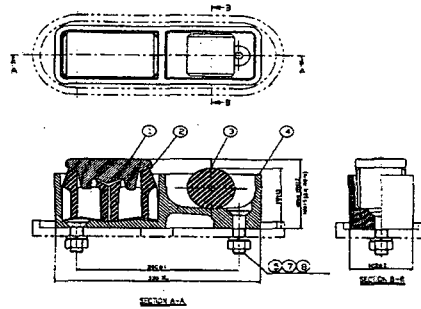


그림3. 접촉식 탄성사이드베어링(신형)

그림4~그림5는 영차시험조건에서 구형 사이드베어링과 신형 탄성사이드베어링 적용시의 대차 및 차체 좌우진동특성을 분석한 선도이다. 구형 사이드베어링인 경우 110km/h 초과 주행시 대차 및 차체진동의 최대값 및 평균값이 크게 증가하여 불안정한 진동특성을 보이고 있음을 알 수 있다.

그림6~그림7은 공차조건에서의 차체진동특성을 분석한 선도이다. 영차조건과 유사하게 공차조건에서도 주행속도 110km/h를 초과하여 주행할 경우, 차체진동의 최대값 및 평균값이 크게 증가함을 알 수 있다. 반면, 신형 탄성사이드베어링을 적용한 차량에서는 영공차조건 모두 안정된 주행특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 따라서, 화차 영업최고속도인 110km/h까지의 영역에서 보면 구형 사이드베어링 적용차량의 주행특성은 적합하다고 할 수 있다. 그러나 120km/h 이상의 고속주행을 위해선 탄성사이드베어링을 적용함이 안정성측면에서 우수한 주행성능을 나타낸다고 할 수 있다.

그림8은 사상~삼랑진구간에서 공차조건으로 현차주행시험을 수행하여 차종별로 차체진동특성을 비교한 선도이다. 전차종 모두 탄성사이드베어링을 적용한 용접구조형 대차를 적용하고 있으며 차종 및 크기는 표 2와 같다. 시험결과 차종별로 속도별 진동특성이 다소 상이하기는 하나 모든 차종에서 기준치 이내의 안정된 주행특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 현차주행시험시 운전조건, 궤도 조건이 상이함, 그리고 차종별 제원이 다소 상이하기 때문에 비롯된 결과로 사료된다. 따라서, 탄성사이드베어링을 적용한 차량인 경우 차종별 화차의 설계속도 범위내에선 영공차 조건 모두 기준치를 충족하고 안정된 주행특성을 나타내고 있다고 할 수 있다.

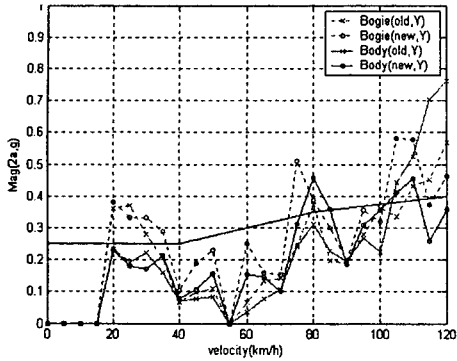


그림4. 영차시 좌우 진동특성(p-p max)

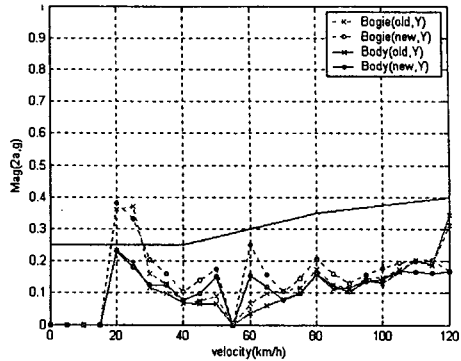


그림5. 영차시 좌우 진동특성(p-p mean)

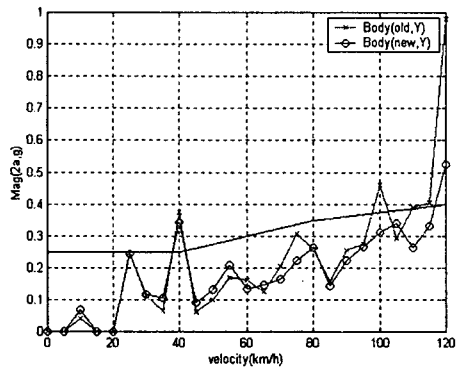


그림6. 공차시 좌우 진동특성(p-p max)

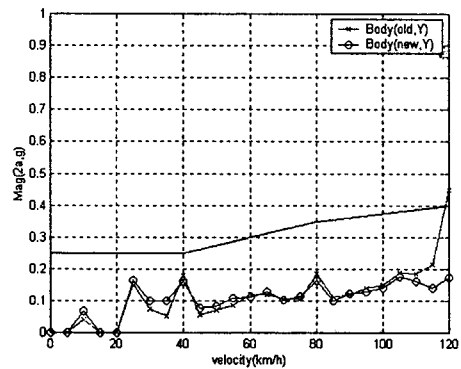


그림7. 공차시 좌우 진동특성(p-p mean)

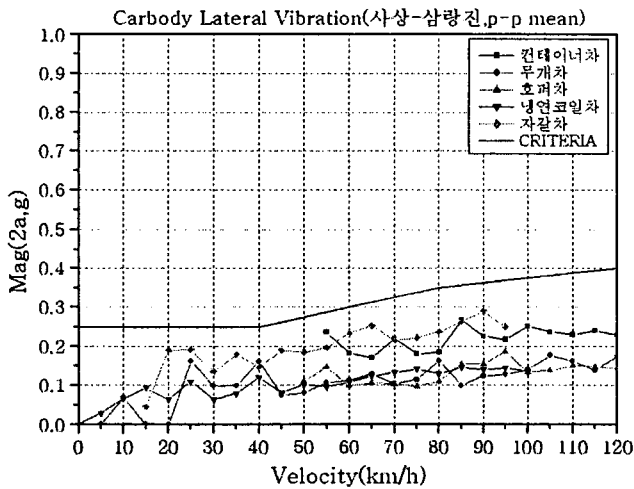


그림8. 차종별 차체 좌우진동특성(공차, p-p mean)

3.3 상하 진동특성

그림9~10은 영차 및 공차시험조건에서 구형 사이드베어링과 신형 탄성사이드베어링 적용시의 차체 상하진동특성을 분석한 선도이다. 좌우 진동과는 상이하게 100km/h이상 주행시 탄성사이드베어링 적용차량의 상하진동은 구형사이드베어링 적용차량에 비하여 다소 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이는 구형 사이드베어링 스프링 상수가 1개당 58.3kg/mm임에 비하여 탄성사이드베어링의 탄성블록의 스프링상수는 220.5kg/mm로 탄성사이드베어링의 상수가 큼에 기인한다고 사료된다.

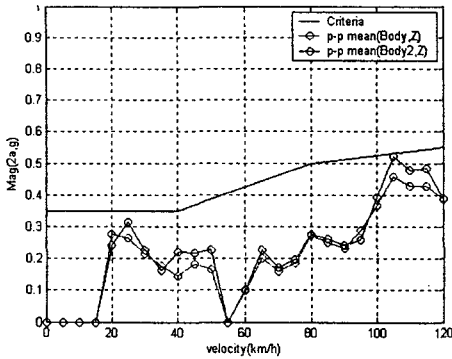


그림9. 영차시 상하 진동특성(p-p mean)

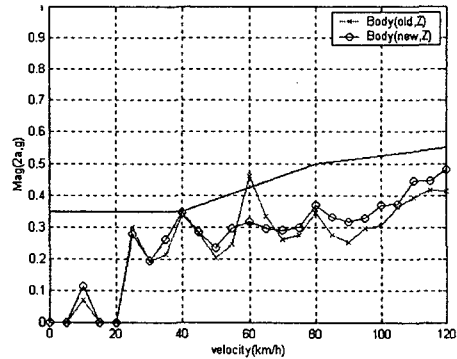


그림10 공차시 상하 진동특성(p-p mean)

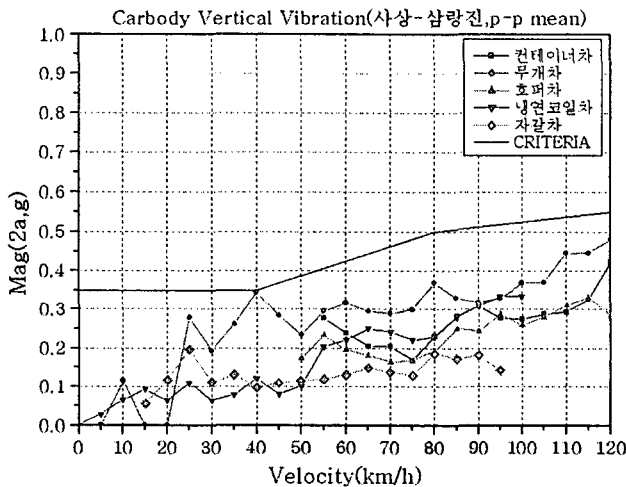


그림11. 차종별 차체 상하진동특성(공차, p-p mean)

그림11은 사상~삼랑진구간을 대상으로 공차조건에서 현차주행시험을 실시하여 차종별로 차체상하 진동특성을 비교한 선도이다. 전차종 모두 탄성사이드베어를 적용한 용접구조형 대차를 적용하고 있다.

시험결과 차종별로 속도별 진동특성이 다소 상이하기는 하나 전차종 모두 기준치 이내의 안정된 주행특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 차종별로 다소 상이한 결과를 나타내고 있음은 앞서 언급한 바와 같이 차종별 제원, 시험조건 상이함에 기인한 결과로 사료된다.

따라서, 탄성사이드베어가 적용된 용접대차를 적용한 차량인 경우 차종별 화차의 설계속도 범위내에선 영공차 조건 모두 기준치를 충족하고 안정된 주행특성을 나타내고 있다고 할 수 있다.

4. 결론

최근 국내에서 개발되고 있는 용접구조용 고속대차를 적용한 화차의 주행특성을 분석하고자 실험적 연구를 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 고속주행시 사이드베어러 특성에 따라 차량의 좌우진동특성에 크게 영향을 미치고 있으며 120km/h 이상의 고속주행차량인 경우 탄성사이드베어러를 적용함이 고속주행 안정성측면에서 양호함을 알 수 있다.
- 차종별 차체 좌우 및 상하진동은 탄성사이드베어러가 적용된 용접대차를 적용한 차량인 경우 차종별 화차의 설계속도 범위내에선 영공차 조건 모두 안정된 주행특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

참고문헌

1. Vijay K. Garg, and Rao V. Dukkipati, "Dynamics of Railway Vehicle Systems", Academic Press, 1984
2. 일본기계학회편, "鐵道車輛のグイナミクス", 전기차연구회(주), 1996