

경부선을 주행하는 두종류의 화차 대차프레임의 진동특성시험 및 진동증가 원인파악에 관한 연구

홍재성*(한국철도기술연구원), 함영삼(한국철도기술연구원), 백영남(경희대학교), 오택열(경희대학교)

Vibration characteristics test of two types bogie frame of a freight car on Kyeongbu line

J. S. Hong(KRRI), Y. S. Ham(KRRI), Y. M. Paik(Kyung-Hcc Univ.), T. Y Oh(Kyung-Hcc Univ.)

ABSTRACT

A bogie frame of welded type have some problems. Some end beam has cracked. The cracks have profound influence on the safe freight service. The bogie consists of a frame, suspensions, brakes and wheel sets. Various analyses including a numerical simulation using a finite element method, a static load test, a fatigue test, and running test should be carried out to design the bogie. However cracks have been found at some end beams of the bogies mounted on the freight cars running with the high speed. The cracks of the end beam results in deterioration of the brake performance and the running safety. Numerical simulations and dynamic tests are carried out to figure out the causes of cracks in the existing bogie, and the vibrational characteristics of the improved bogie are compared with those of the conventional one. In this reports, the vibration characteristics were dealt with the most pressing matters for the solution of the end beam crack.

Key Words : vibration characteristics

1. 서론

현재 운영중인 용접구조형 고속화차 대차의 일부 엔드빔에서 균열이 발생하고 있어 화차의 안전운행에 막대한 영향을 미치고 있다. 그 원인을 파악하기 위해 대차프레임 구조해석, 정하중시험, 스트레인 게이지 및 진동가속도계를 장착하여 주행안전성과 관련된 진동특성시험을 시행하였다. 본 논문은 장대화되어있는 선로인 경부선을 주행할 때 엔드빔에 적용되는 진동특성만을 다루었으며, 기존 균열이 발생한 엔드빔(화차번호 50205호)와 새로이 개선되어 보강된 엔드빔(화차번호 50157호)을 서로 비교하였다. 진동가속도계는 차체(상하 및 좌우방향) 및 대차(상하 및 좌우방향)를 공차상태에서 경부선 일부구간에서 측정하였다. 또한 대차프레임의 진동모드를 다루었으며 개선차의 진동증가 원인을 파악하기 위하여 개선차와 기존차의 운중 및 대차프레임의 변형도를 측정한 결과에 대해 다루었다.

이러한 결과를 토대로 대차의 엔드빔의 균열원인이 무엇인지를 추정하여 현재 문제가 되고있는 엔드빔의 개량작업시 적절하게 적용하여 안전한 대차프레임의 보강작업에 활용하고자 한다.

2. 실차 진동시험

2.1 실차 진동시험의 개요

화차가 주행할 때 대차에 걸리는 진동이 어떠한지 이 진동이 엔드빔에 어떤 영향을 끼치는지 알기 위해서 진동시험을 하였다.

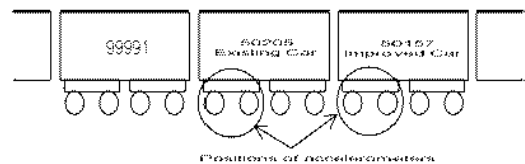


Fig. 1 Measuring positions of the test car

시험차량의 편성은 Fig. 1과 같으며 50205호 컨테이너 화차는 기존차량을, 50175호 컨테이너 화차는 개선된 엔드빔 차량을 나타내었다. 99991호는 시험과 관련된 모든 장비가 탑재되어 있는 차량으로 시험과 동시에 모니터링 할수 있다.

진동가속도 센서를 설치한 대차프레임의 모습을 Fig. 2에 나타내었다.

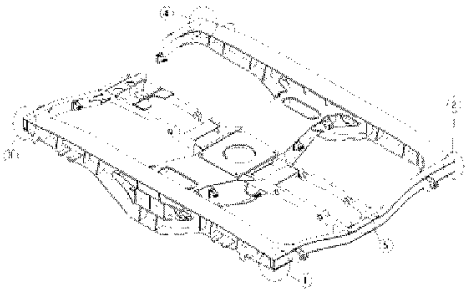


Fig. 2 Locations of the accelerometers

진동가속도 센서는 상하방향 진동만 측정하였다. 측정은 경부선 구간 중에서 김천-왜관을 측정구간으로 하여 왕복하여 시험하였으며 속도는 90km/h이며 차량상태는 공차상태로 하였다. 제동에 대한 영향을 알아보기 위하여 비상제동시험도 같이 실시하였다.

2.2 시험장비의 구성

시험대상차량의 대차 프레임에 진동가속도계를 설치하여 얻어진 신호는 측정장비가 탑재된 시험차량에서 제어할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 차량이 주행할 때 발생하는 진동가속도는 Dynamic Strain Amplifier를 통하여 증폭한 후 Data Recorder에 저장하였으며, 현장의 데이터를 실험실에서 재생하면서 Signal Processor로 분석할 수 있도록 Fig. 3과 같이 측정시스템을 구성하였다.

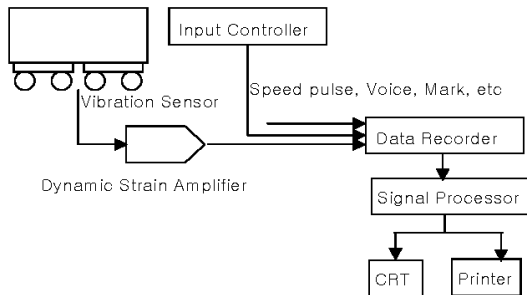


Fig. 3 A block diagram of the measuring system

2.3 윤중 및 대차의 변형측정

개선차의 진동 증가 원인을 파악하기 위하여 개선차 및 기존차의 윤중 및 대차프레임의 변형도를 측정하였다. Fig. 4에 대차프레임의 편평도를 측정하는 모습을 나타내었다.



Fig. 4. A flatness degree measurement of the bogie frame

3. 시험결과

3.1 모드해석 결과

실차 시험과의 비교검토를 위하여 상용 프로그램으로 모드해석을 실시한 결과, 강제운동을 하는 1~6차 모드에서는 엔드빔이 변형되지 않았으며 7~10차 모드에서 엔드빔의 변형을 발견할 수 있었다. Fig. 5와 같이 7차 모드는 약 5 Hz 대역에서 진동측정 결과와 유사하게 양쪽 사이드 프레임의 변형이 반대로 작용하는 모드를 나타냈다. 8~10차 모드는 5.8~6.4 Hz에서 센터빔과 엔드빔의 변형이 나타났다.

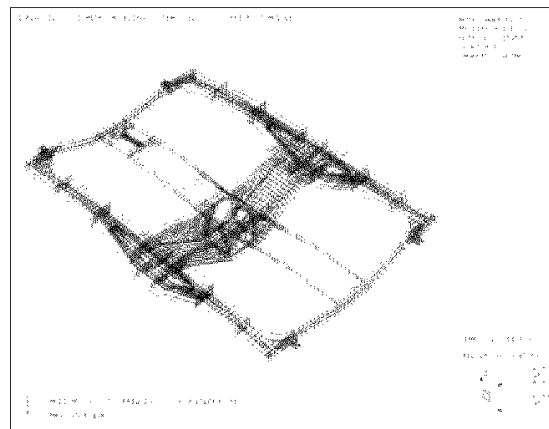


Fig. 5 A result of the modal analysis(mode no=7)

모드해석에서의 7차모드와 실차시험결과를 살펴보면 주행중에 대차 프레임 모서리에서의 상하방향 진동은 Fig. 6과 같이 엔드빔의 양 끝단에서 대각선으로 반대방향 파형이 나타나고 있어 이로 인한 비

틀림이 발생할 수 있을 것으로 판단된다.

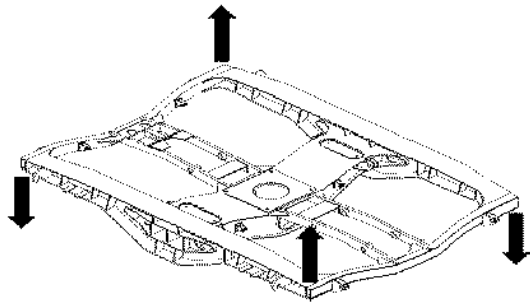


Fig. 6 A vibration mode of running

3.2 실차 진동시험 결과

시험결과는 왜관-사곡구간과 김천-아포구간에서의 진동 결과를 나타냈다. 왜관-사곡구간을 왕복운행하면서 끝단의 상하진동을 비교했을 때 RMS 값은 Table 1 과 같고 비상제동을 사용하면서 주행한 결과는 Table 2 와 같다. 기존차 보다는 개선차가 높게 나오고 있다. Fig. 7은 1초마다 RMS를 취한 것을 그래프로 나타낸 것으로 기존차의 왜관→사곡구간의 결과를 나타내었다.

Table 1 왜관↔사곡구간 평균진동 수준(RMS)

	평균진동(m/s^2 , RMS)			
	왜관→사곡		사곡→왜관	
	기존차 (50205호)	개선차 (50157호)	기존차 (50205호)	개선차 (50157호)
①위치	4.83	5.58	5.88	6.08
②위치	4.69	6.39	5.36	7.23
③위치	5.82	6.41	7.01	7.46
④위치	5.59	6.16	6.88	7.07

Table 2 비상제동시 김천↔왜관구간 평균진동 수준(RMS)

	평균진동(m/s^2 , RMS)			
	김천→아포		왜관→사곡	
	기존차 (50205호)	개선차 (50157호)	기존차 (50205호)	개선차 (50157호)
①위치	5.09	5.99	4.64	5.10
②위치	5.18	7.39	4.33	6.45
③위치	6.29	7.15	5.96	6.29
④위치	6.32	7.19	5.69	5.81

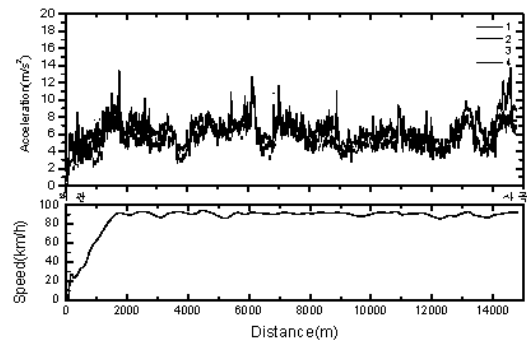


Fig. 7 The up-down vibration RMS level(A existing car) (Wekan→Sakog)

Fig. 8은 왜관-사곡구간에서 90km/h로 주행할 때의 개선화차의 진동신호이다. 이음매가 없어서 영동선과 같이 크게 튀는 부분은 없지만 주행속도가 높아서 영동선에서 이음매가 없는 부분을 통과할 때의 값보다는 높은 진동수준을 보이고 있다.

Fig. 9는 개선화차 B부분을 확대한 그림으로 이음매를 통과하는 영동선에서와 같이 큰 파형은 아니지만 양끝단에서 여전히 반대파형이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

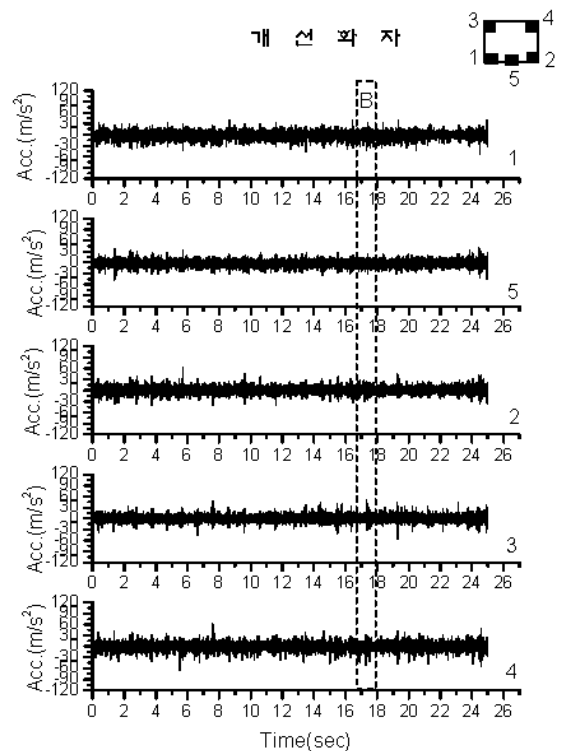


Fig. 8 A acceleration response of the improved car at 90km/h

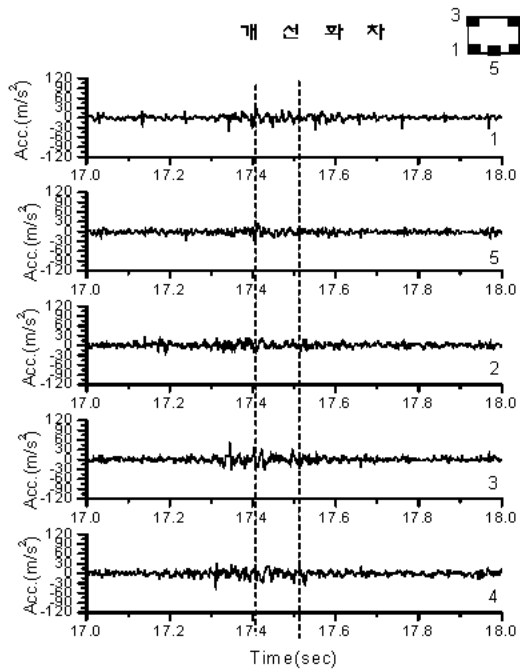


Fig. 9 A acceleration response of the improved car passing the joint of the rails at 90km/h

3.3 운중 및 대차의 변형측정 결과

경부선 주행 시 기존차 및 개선차에 대하여 진동 가속도를 측정 결과 개선차의 진동이 전반적으로 크게 발생하였다. Fig. 9서는 차종별 운중측정 위치를 나타내었고 Table 3에서는 운중측정 결과를 나타내었다.

운중 측정 결과 기존차의 경우에는 1위와 2위 차륜, 3위와 4위 차륜의 운중에서 차이가 발생하였고, 개선차의 경우에는 1위와 2위 차륜에서도 차이가 발생하였다. 이러한 차이는 하중의 적재 상태에 따라서 변화 될 수 있다.

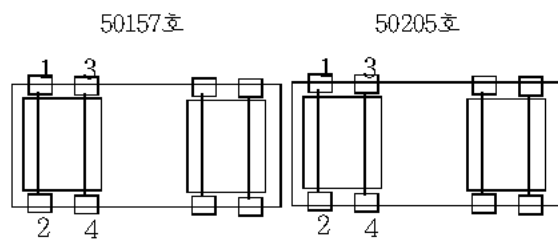


Fig 9. The measurement positions of wheel load

운중이 조립되는 축상부 4지점의 높이 차이를 기존차 및 개선차에 대하여 측정한 결과 기존차는 0.4 mm이고 개선차는 1.3 mm이었다. 이러한 결과로부

터, 축상부의 평탄도와 대차 조립시 스프링의 높이 차이가 복합적으로 작용하면서 대차 프레임의 변형과 차량의 진동에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

Table 3. The result of wheel load measurement

하중상태	차호	측정차륜 위치	측정 평균 운중 (ton)	평균 운중 (ton)	비고	
공차	50157호 (개선)	①위	7.22	6.669	칸트가 없는 곡선위치이며 측정대차 위에 화물적재 상태	
		②위	5.415			
		③위	7.41			
		④위	6.63			
	50205호 (기존)	①위	2.89	2.856		칸트가 없는 곡선위치
		②위	2.975			
		③위	2.665			
		④위	2.895			
영차	50157호 (개선)	①위	10.34	10.26	직선 위치	
		②위	9.395			
		③위	10.61			
		④위	10.695			
	50205호 (기존)	①위	9.45	9.795		직선 위치
		②위	9.25			
		③위	10.24			
		④위	10.24			

4. 결론

용접구조대차 엔드빔의 균열원인은 계동하중보다는 주행중의 진동이 지배적이었으며, 특히 레일 이음매를 통과하면서 충격 및 비틀림이 발생하여 진동과 응력이 큰 폭으로 증가하였다.

또한 용접불량 등 제작결함으로 대차 프레임이 변형될 수 있으며, 대차 조립시 스프링 높이 차이에 의한 하중 불균형으로 진동과 응력이 증가할 수 있으므로 제작시 철저한 관리가 요구된다.

참고문헌

- (1) 용접구조 대차 엔드빔의 균열원인 규명, 한국철도학회 춘계학술대회 2004.06.03. 홍재성 외
- (2) 태백선을 주행하는 화차 엔드빔의 진동특성에 관한 연구 한국소음진동공학회 춘계학술대회 2004.05, 함영삼 외
- (3) 철도기술연구소, 철도차량의 진동측정방법, 철도기술연구보 VOL23 NO1, pp.190 ~ 195, 1989
- (4) 화차용 용접구조대차의 주행안전성 향상방안 연구보고서, 2004. 6. 한국철도기술연구원