고속열차 주행중 이상진동에 대한 시험적 평가
An Experimental Evaluation for an Abnormal Vibration on Running of the High Speed Train

양희주† 우관제* 손병구** 성재호***
Hee-Joo Yang Kwan-Je Woo Byoung-Gu Son Jae-Ho Seong

ABSTRACT

THE VIBRATION MODE OF RAILWAY VEHICLE IS DIFFICULT TO FIND OUT THE CHARACTERISTICS OF MOTION DURING THE OPERATION ON THE TRACK BECAUSE THESE HAPPEN TO INDEPENDENCE OR DUPLICATION MOTION CAUSED BY VEHICLE, WHEEL/RAIL INTERACTION, TRACK IRREGULARITY AND FAILURE OF THE SUSPENSION & POWER TRANSMISSION DEVICE ETC. IT IS NAMED AN ABNORMAL VIBRATION THAT THE VIBRATION, WHICH WAS PASSED THE PRIMARY AND SECONDARY SUSPENSION, IS AFFECTED TO THE PASSENGER OR DRIVER WITHOUT DAMPING.

THIS PAPER DESCRIBES AN EXPERIENCE EVALUATION TO FIND OUT THE CAUSE OF AN ABNORMAL VIBRATION WHICH WAS HAPPEN AT THE CAB OF POWER CAR IN KTX-SANCHEON TRAINSET WHEN ON RUNNING AT HIGH SPEED ZONE.

1. 서론

철도차량이 주행중 나타나는 진동은 차량, 차륜/레일, 궤도 불규칙도, 현가장치들의 고장, 동력전달장치 이상 등 각종 요인의 단독 또는 중복으로 일어나기 때문에 각각의 운동성분을 분석하기는 힘들다.

1차와 2차 현가장치를 통과한 진동이 감쇠되지 않고 승객이나 운전사에게 영향을 미치는 진동을 이상진동이라 한다.

본 논문은 KTX-산천 운전실에서 고속 주행 시 발생한 이상진동의 원인을 파악하기 위한 시험적 평가 방법으로서 운전실 바닥, 운전실 Desk, 모터 감속장치, 견인모터에서 측정된 진동 성분을 분석하여 이상진동 유발 인자를 규명하였다. 또한 이상진동 유발 인자 교체 전/후 차량과 정상 차량과의 진동 수준을 비교하여 나타내었다.

† 교신저자, 현대 로템(주) 기술연구소, 응용기술연구팀
E-mail : yanghj@hyundai-rotem.co.kr
‡ 현대 로템(주) 기술연구소, 응용기술연구팀
** 현대 로템(주) 기술연구소, 응용기술연구팀

2. 시험 조건 및 절차

2.1 하중 조건 및 대상 차량

본 시험은 공차 상태에서 실시하였으며, 대상 차량은 이상진동 차량과 정상진동 차량이다.

2.2 시험 장비

- Imc Cronos PL & Cansas system : Data acquisition device
- Notebook
- BNC 연결용 케이블
- 가속도계

2.3 측정 위치

차량의 이상 진동을 파악하기 위한 센서 설치 위치 및 측정항목별 측정위치는 도표 1과 그림 1에 나타내었다.

표 1. 측정 항목 별 측정 위치

측정 항목	측정 위치	비고
상하방향 진동	운전실 바닥	차체 진동
	운전실 데스크	차체 진동
	모터 감속장치 마운트측	회전체 진동
	모터 감속장치	회전체 진동
	견인 모터	회전체 진동

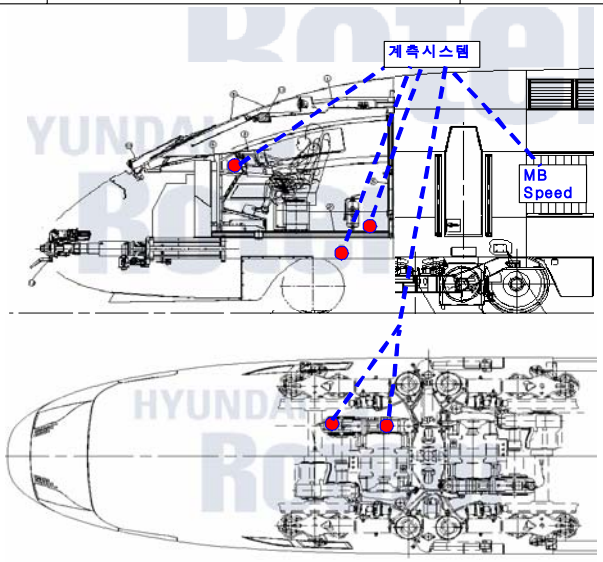

그림 1. 센서 설치 위치

2.4 감속장치 구성

감속 장치 조립체의 구성은 그림 2와 같이 모터 감속장치 (Motor Reduction Unit : MRU), 차축 감속 장치 (Axle Reduction Unit : ARU) 및 트라이포드 샤프트(TriPod Shaft)로 구성된다. MRU의 기어비는 1.8889이며, ARU의 기어비는 1.159이고 감속장치 조립체의 기어비는 2.19이다.

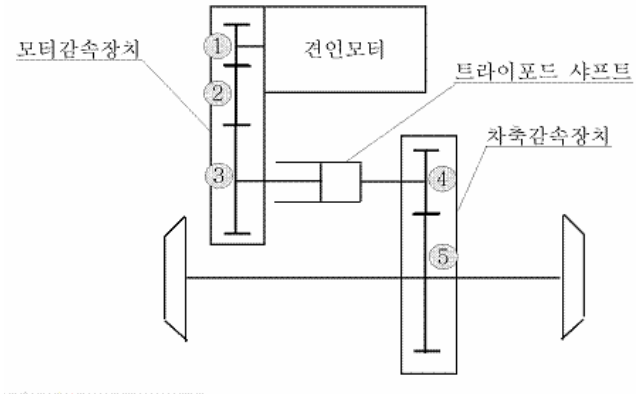

그림 2. 감속장치 조립체 구성

3. 시험 결과

운전실에서 감지된 이상진동의 원인을 찾기 위해 운전실 상부 바닥(차상)과 운전실 데스크, 모터 감속장치 마운트 측, 모터 감속장치, 견인 모터에서 진동가속도를 측정하였다. 이상진동 차량과 정상진동 차량에 대한 측정데이터는 그림 3~4에 나타내었으며, 속도별 주파수 분석 결과를 그림 5~10 나타내었다. 측정 데이터로부터 이상진동 차량은 운전실 바닥과 운전실 데스크에서 정상진동 차량과 차이가 있음을 발견하였다. 시험 분석 결과는 다음과 같다.

- 진동가속도 분석결과, 이상진동 차량의 진동 수준이 정상차량 보다 높은 레벨을 나타냈으며, 특히 운전실 데스크에서의 진동 rms값은 2배 이상 크게 나타났다.
- 차량 속도에 따라 차상의 주파수 성분이 변화하였으며, 25~35Hz대역에서 이상 진동 현상이 발견되었다. 이때의 주파수는 모터감속장치와 차축감속장치를 연결하는 트라이포드 주파수와 일치했음을 확인했다. 기어비에 따른 운행속도별 주파수를 표 2에 나타내었다.

표 2. 기어비에 따른 운행 속도별 주파수

Speed (Km/h)	240km/h	250km/h	260km/h	270km/h	280km/h
Wheel (1x)	23.1 Hz	24.0 Hz	25.0 Hz	25.9 Hz	26.9 Hz
ARU (1.159x)	26.7 Hz	27.8 Hz	29.0 Hz	30.1 Hz	31.2 Hz
MRU (1.89x)	43.6 Hz	45.4 Hz	47.2 Hz	49.0 Hz	50.9 Hz
TM (2.19x)	50.5 Hz	52.6 Hz	54.7 Hz	56.8 Hz	58.9 Hz

- 300km/h 주행 시, 이상진동 유발 인자인 트라이포드 교체 전/후 차량과 정상 차량의 진동 rms값을 표 3에 나타내었다.

표 3. 이상진동 차량과 정상 차량의 진동 rms값(g)

차량 상태		운전실 상부	운전실 데스크	MRU 마운트 측	MRU
이상진동 차량	트라이포드 교체 전	0.21	0.31	0.45	0.26
	트라이포드 교체 전 후	0.08	0.08	0.27	0.21
정상 진동 차량		0.08	0.08	0.21	0.21

4. 결론

동력차에서 발생한 이상진동의 원인을 파악하기 위해 운전실과 감속장치에서 진동가속도를 측정하였으며, 속도별로 주파수 분석을 실시하였다. 이상진동차량의 진동가속도 수준이 정상차량과 차이를 보였으며, 주파수 분석 결과 회전체에 의한 진동이 이상진동의 주요 원인으로 밝혀졌다. 이상진동의 원인 및 해결 방안을 아래와 같이 기술하였다 .

<원인>

- 운전실에서 발생한 이상진동의 주요 주파수는 모터감속장치와 차축감속장치를 연결하는 트라이포드 축 회전 진동 성분(윤축 회전주파수의 1.159배)에서 크게 발생하였음을 확인하였으며, 이 장치가 이상진동의 주요 원인이었다.

<해결 방안 및 결과>

- 이상진동 차량의 트라이포드를 신제품으로 교체 후 시험하였으며, 교체 후 진동가속도 레벨은 정상차량과 유사한 진동레벨을 나타내었다.
- 이상진동 유발인자를 확인/교체함으로써 이상진동이 더 이상 발생하지 않았다.
- 교체된 트라이포드를 성능시험하였으며, 시험결과 트라이포드에 결함이 있었음을 확인하였다.

참고문헌

1. 양보식, “기계설비의 진동상태 감시 및 진단,” 2006.
2. Simon Iwnicki, "Handbook of Railway Vehicle Dynamics"
3. DeltaRail, "Introduction to Railway Vehicle Dynamics"
4. Vijay Garg, “Dynamics of Railway Vehicle System”

<Appendix A. 측정 데이터>

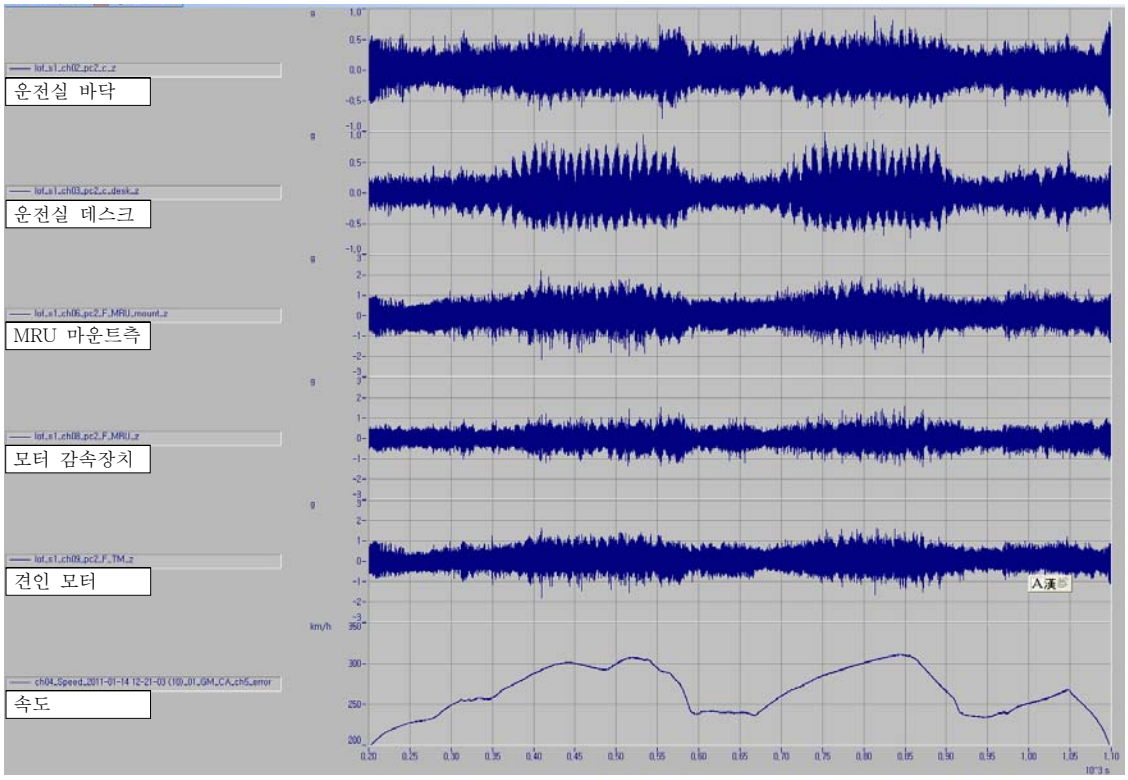

그림 3. 진동 가속도 (이상진동차량)

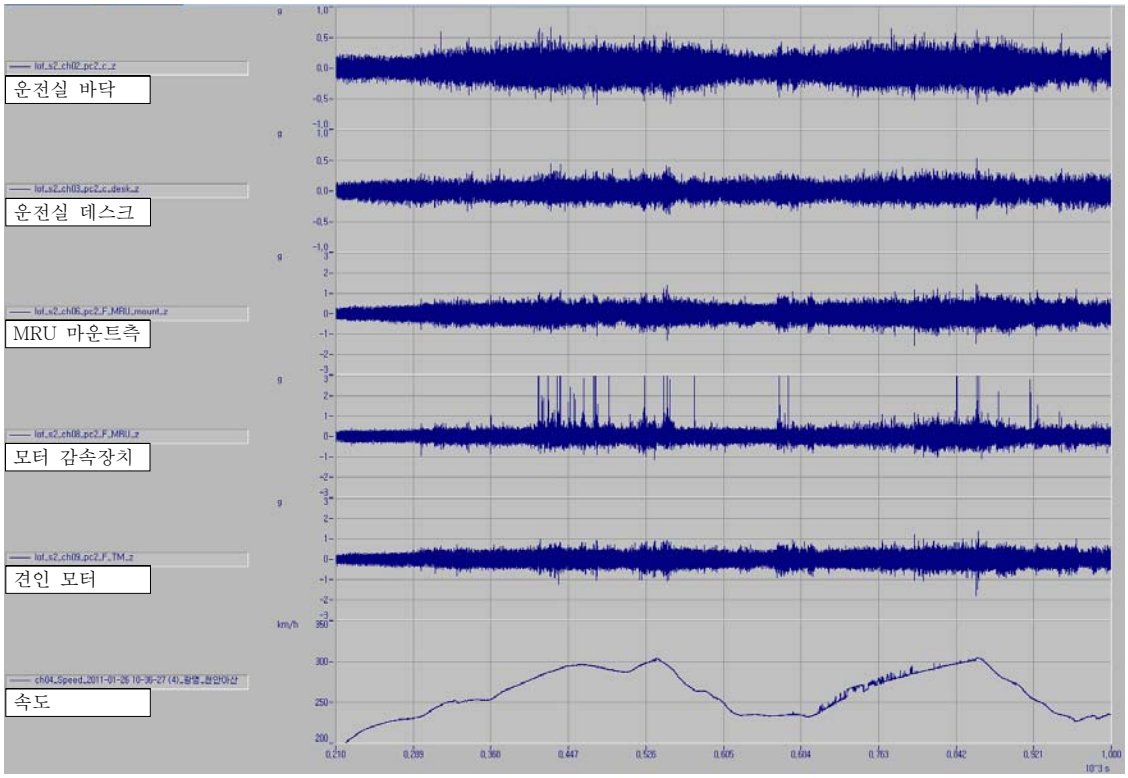

그림 4. 진동 가속도 (정상진동차량)

<Appendix B. 주파수 분석결과>

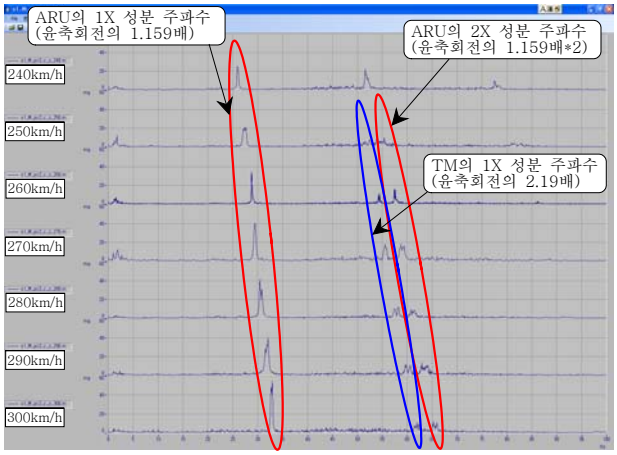

그림 5. 운전실 바닥 상부 (이상진동차량)

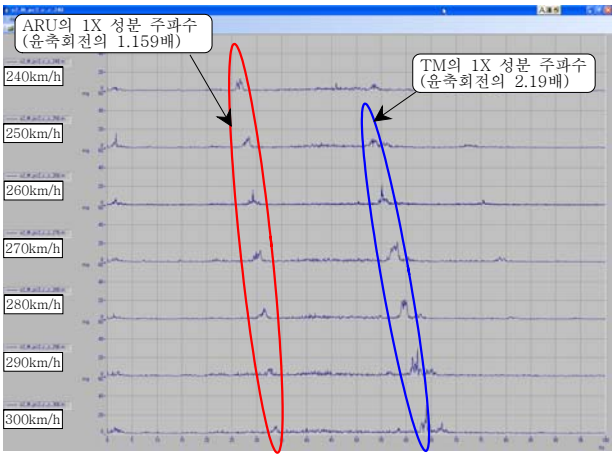

그림 8. 운전실 바닥 상부 (정상진동차량)

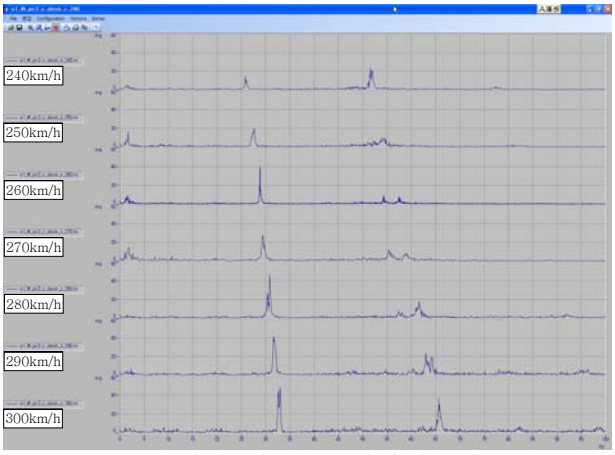

그림 6. 운전실 데스크 (이상진동차량)

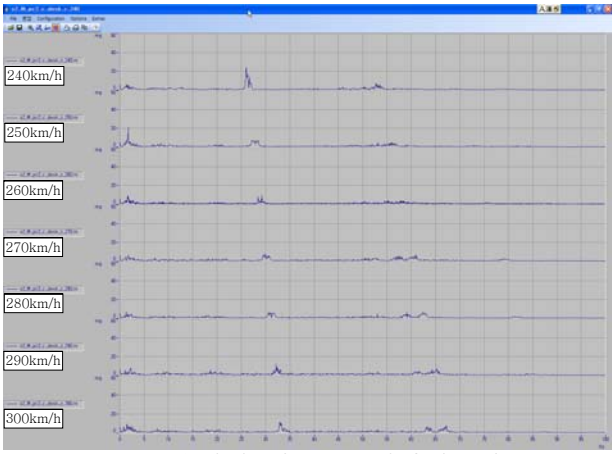

그림 9. 운전실 데스크 (정상진동차량)

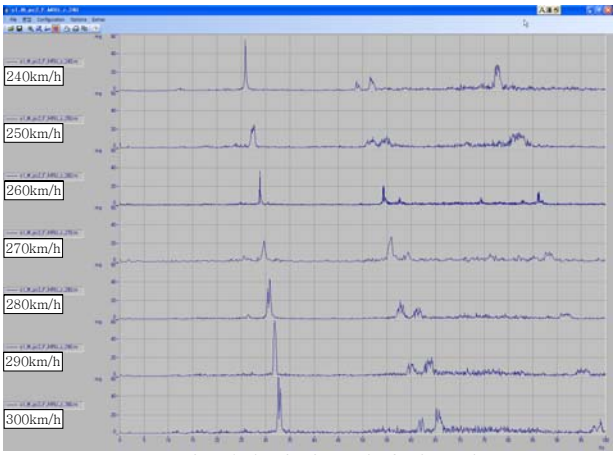

그림 7. 모터 감속장치 (이상진동차량)

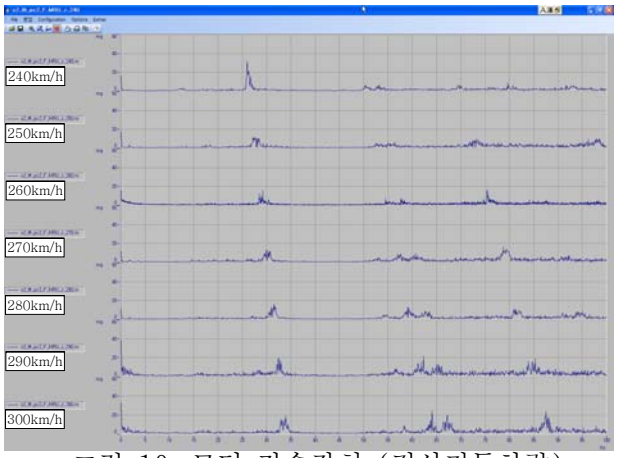

그림 10. 모터 감속장치 (정상진동차량)