

한국형 고속전철의 주행시험을 통한 진동 모드 분석 연구

A Study on the Vehicle Vibration Mode through the On-line Test for Korean High Speed Train

박찬경* 김영국* 김석원* 김기환*
Chankyong Park Youngguk Kim Seogwon Kim Kihwan Kim

ABSTRACT

Korean High Speed Train (KHST) has been tested on high speed line in JungBu site since it was developed in 2002. The data acquisition system was used to test successfully the on-line test for proving the dynamic performance of KHST. The recognition of system vibration mode for railway vehicle is essential to understand the characteristics of design for dynamic system and diagnose the dynamic problems of vehicle system during test and operation. But, up to now, there are the efforts to know the system vibration mode within limit of theoretical field only, not experimental approach with systematic method. The theoretical results are too reliable to apply to real design problem, because it is theoretically based on the homogeneous linear system although the real system have the nonlinear characteristics and vary the environmental conditions. Therefore, in this paper, it is proposed the efficient method of vibration analysis for rail vehicle system and this method apply to KHST to recognize the vibration mode characteristics of it. The results show that this method is able to make the system vibration modes for KHST clear

1. 서 론

한국형 고속전철은 선도기술개발 사업의 일환으로 2002년에 개발을 완료하여 한국고속철도건설공단이 관리하고 있는 고속신선의 시험선에서 주행시험 중에 있다. 그러나 현재의 시험은 증속을 위한 시험위주로 수행되고 있어 학문적 연구개발을 목적으로 시험을 하기에는 많은 제약이 있다. 특히 설계에 대한 확인과 구조체 시험에서 수행하기 어려운 진동모드 분석 시험 등은 시설 등의 제약에 따라 초기에 수행될 수 없었다. 진동 모드 시험의 경우 조립상태에서 시스템의 진동모드 분석을 실시하는 것은 매우 어려우며 실제 이에 대해서는 이론적 해석에 의존할 수 밖에 없었다. 본 논문은 이러한 시스템 진동의 진동모드 분석을 시운전 시험을 통하여 수행될 수 있는 방법론을 제시하며 효율적인 분석을 통하여 한국형 고속전철의 시스템 진동을 규명 하고자 한다. 철도 차량과 같이 특히 관절대차로 연결된 시스템의 경우 기구학적 미케니즘이 복잡한 경우 시스템 진동을 이해하고 규명하기는 매우 어렵다. 일반적으로 Fig. 1과 같이 주행중의 모드는 Kinematic Mode와 고유모드가 결합되는 경향으로 알려져 있으며 차량의 형식에 따라 이러한 모드 특성들이 상이한 것으로 알려져 있다⁽¹⁾. 그러나 이러한 특성은 이론적 해석에 의존하여 일반론적으로 제시되었을 뿐 아직 특정한 차량 형식에 대해서 이에 대한 정확한 값을 시험을 통하여 제시한 문헌은 찾아 볼 수 없었으며 이에 대한 분석 또한 제시되어 발표된 경험이 없었다. 이러한 특성은 철도차량이 주행 시 나타나는 진동 현상을 규명하는 기본적인 분석으로서 진동에 대한 문제점이 나타나거나 이상진동에 대한 원인규명을 위해서 항상 인지되어야 한다. 따라서 본 논문은 이에 대한 효율적인 분석 방법론을 가속도 측정 데이터를 이용하여 제시코자 하며, 한국형 고속전철에 적용하여 300Km/h 시험 중에 측정된 데이터를 통한 시스템 진동을 규명하고자 하였다.

*. 정희원, 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

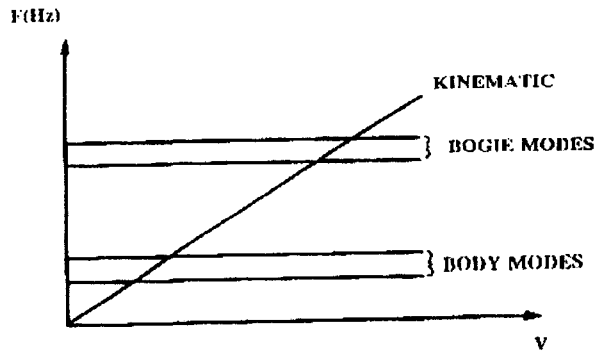


Fig. 1 Graph of relation between kinematic modes and vehicle modes

2. 주행시험 개요

시운전 시험노선은 Fig. 6과 같이 한국고속철도공단의 중부사무소에서 관리하고 있는 57Km 구간의 시험선 KP 96Km~136Km 구간에서 시험이 수행되고 있으며, 차량의 동적 특성을 계측하기 위하여 Fig. 6과 같이 가속도계를 열차의 차체와 대차 및 액셀박스에 장착하였다. 차체에는 Kisler사의 저주파용 Charge type 가속도계를 총 13개 장착하였으며, 대차와 차축 액셀박스에도 Kisler 사의 큰 영역의 가속도 계측이 가능한 ICP type 가속도계를 총 74개 장착하였다⁽²⁾. 가속도계에 의해 계측된 신호는 장착된 계측모듈(DAM1, 2, 3)에 설치된 신호 증폭기(Amplifier)와 A/D converter 및 필터를 통하여 디지털 데이터로 저장되며 저장을 위한 sampling frequency는 계측 모듈의 특성에 따라 500Hz와 1Kz로 구분하였고 디지털 필터는 200Hz를 사용하였다⁽³⁾⁽⁴⁾.

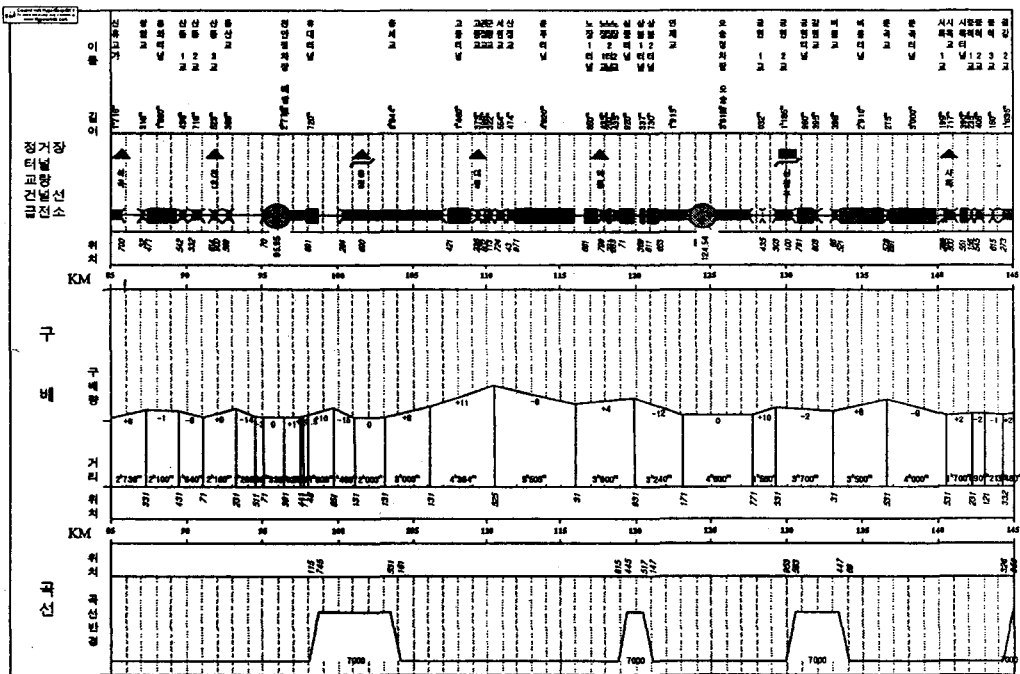


Fig. 2 Diagram of high speed test line in JungBu site

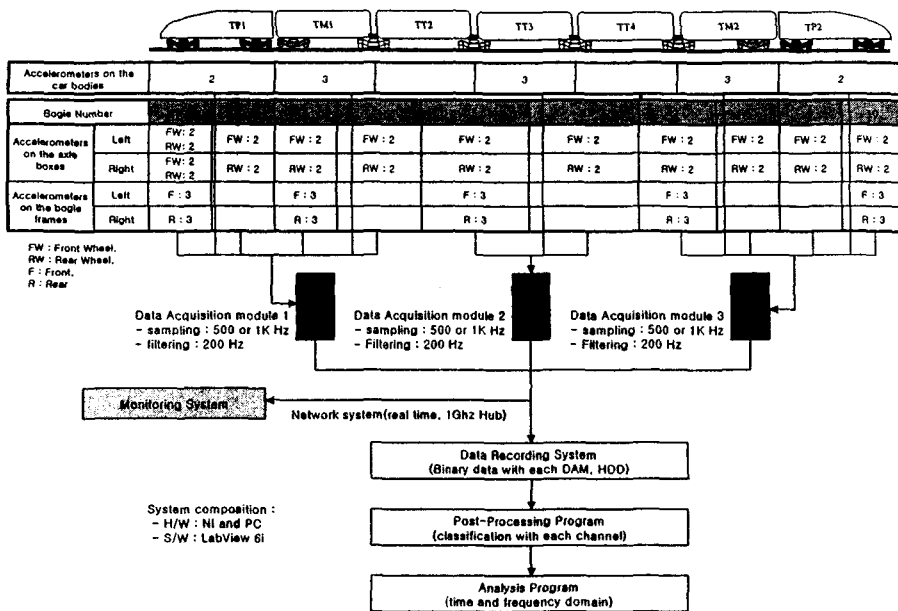


Fig. 3 The composition of the data acquisition systems for KHST dynamics

3. 주파수 분석을 통한 동적 모드 분석

주파수 분석을 통한 동적 특성 분석 방법은 시험노선에서 0~300km/h의 주행속도로 측정된 엑셀박스, 대차 및 차체의 가속도 계측 결과를 속도에 따른 가속도 측정결과로 표현하고 이를 일정 구간으로 나누어 주파수 영역으로 변환하였다⁽⁶⁾. 수행된 한가지 예를 Fig. 4의 (a)에 도시하였으며 속도변화에 따라 일정 구간에서 변환된 주파수 특성을 볼 수 있으며 Labview 6i를 이용하여 프로그램을 개발하였다. 모든 구간에 대한 가속도 주파수 특성을 평균속도와 주파수 및 각 주파수의 상대적인 크기로 3차원 그래프를 이용하여 도시할 수 있다. 이에 대한 결과를 중간대차(TT3), 관절대차(BT5) 및 엑셀박스(WS51)의 횡 및 상하 가속도에 대하여 Fig. 4의 (b)와 같이 300km/h의 속도로 주행한 경우에 대해서 살펴보면 Fig. 5 ~ 7과 같다. Fig. 4의 (b)에는 차체 roll각에 의한 곡선 주행 상태를 알 수 있으며 차량의 추진 및 제동정도를 파악할 수 있는 PWM신호와 제동 및 추진가속 신호에 의하여 차량의 주행 상태를 확인할 수 있다.

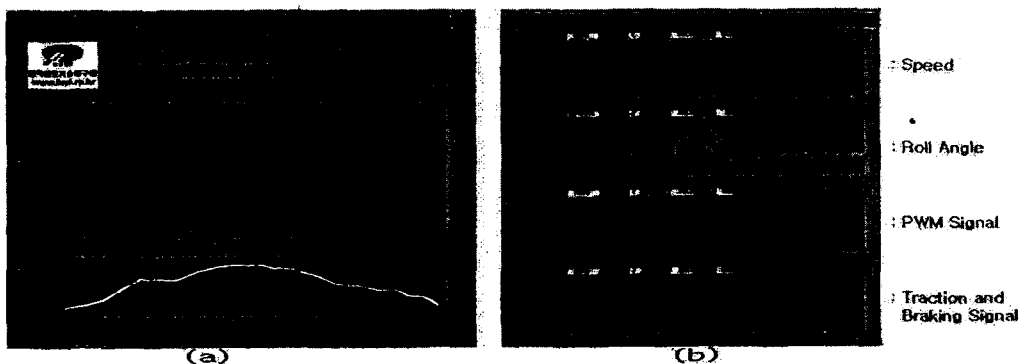
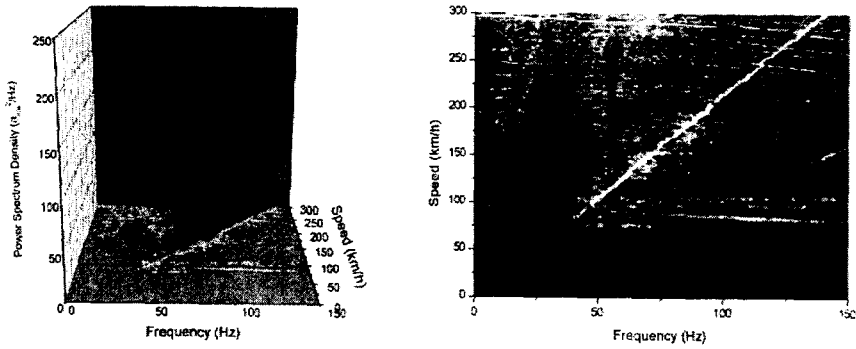
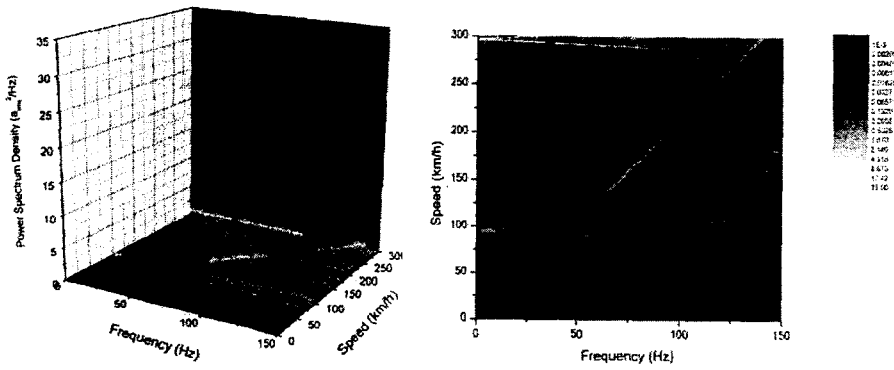


Fig. 4 (a) Graph of mean speed profile vs. frequency of acceleration in selected data set for example, (b)Speed, curve, traction and braking condition for test.

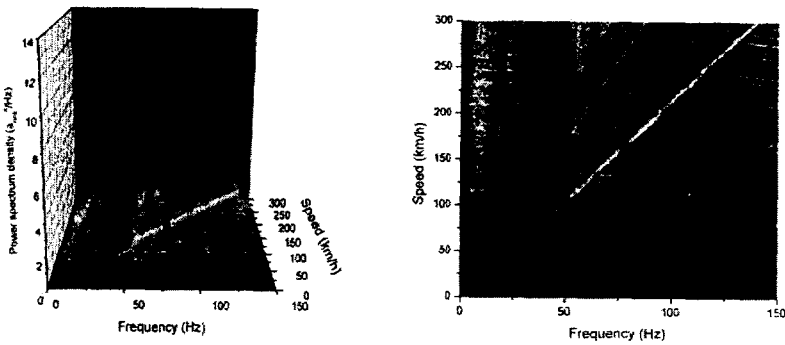


(a)



(b)

Fig. 5 3D Map surface plot and contour curve of speed vs. frequency for axle box(ws51) acceleration. (a)vertical, (b)lateral



(a)

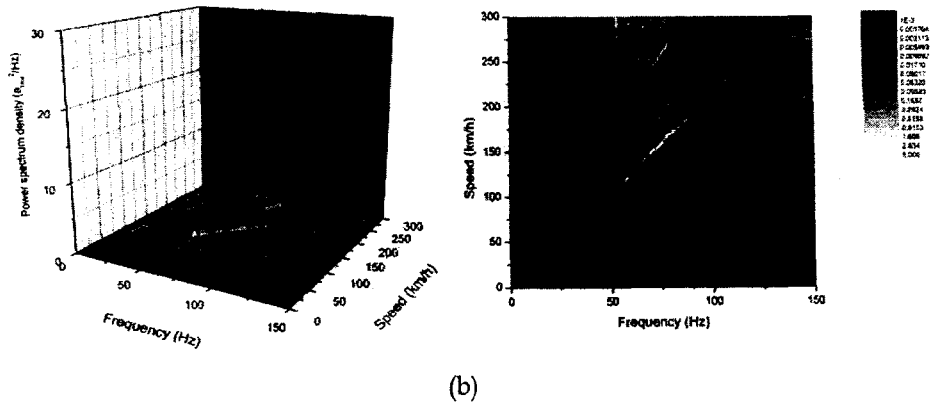


Fig. 6 3D Map surface plot and contour curve of speed vs. frequency for bogie(bt51) acceleration. (a) vertical, (b) lateral

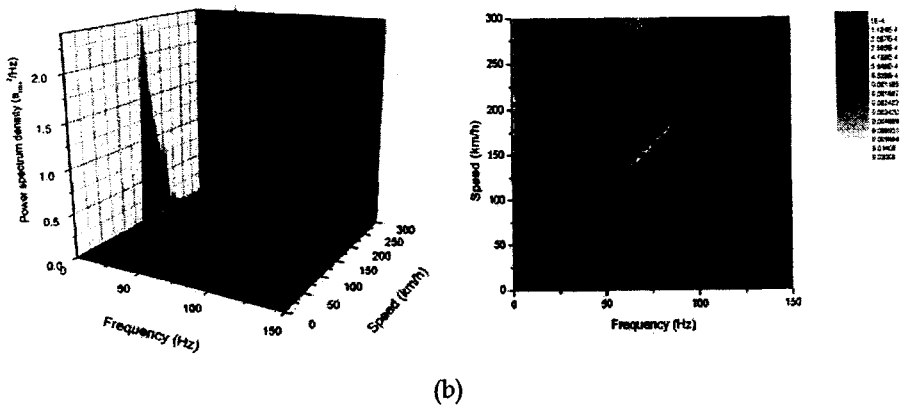
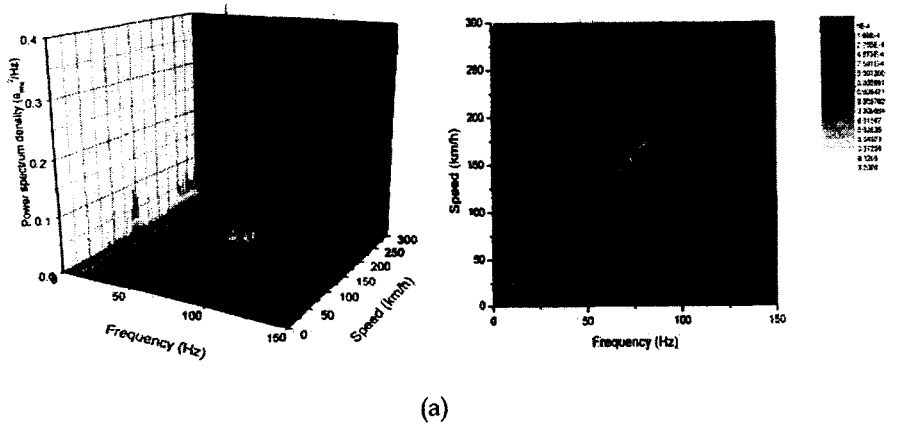


Fig. 7 3D Map surface plot and contour curve of speed vs. frequency for bogie(TT3) acceleration. (a) vertical, (b) lateral

Fig. 5~7의 그래프들은 차량의 고유한 동적 성능을 파악하고 주행 중에 일어나는 동적 특성 변화를 파악하는데 매우 유용하며 동적 시스템을 이해하는데 도움을 줄 수 있다. 먼저 Fig. 5의 엑셀박스에 대한 가속도 분석 그래프에서는 주행중의 동적변화 주파수(Kinematic mode)를 주요하게 확인할 수 있다. 이는 속도변화에 따라 주파수 변화가 뚜렷하게 나타나는 경우로 2개의 동적변화 주파수 특성을 갖는 것으로 나타나고 있다. 그중 하나는 궤도에 부설되어있는 0.6m 간격의 침목에 의한 주행 주파수 변화로서 휠반경 0.46m를 고려할 때 속도가 300Km/h까지 주행 시에 선형적으로 약 140Hz 까지 변하는 것으로 알 수 있다. 다른 한가지 주행속도에 따라 변화하는 주파수는 휠 회전에 의한 주파수로서 300Km/h 주행속도까지 변할 때 29Hz 까지 선형적으로 변화는 모드로서 휠 회전에 따라 변화하게 된다. 이러한 휠 회전에 의한 주파수특성은 추진계통의 특성이 반영되어 나타날 수 있으며 이러한 주파수의 배수로 나타나는 모드분석을 통하여 추진계통의 이상여부를 확인할 수 있다. 또한 Fig. 4의 (b)에서 확인된 곡선 구간 통과 시에는 궤도 침목에 의한 주파수가 크게 가진 되는 것을 알 수 있으며 곡선 구간 통과 시의 동적특성 변화에 주요하게 영향을 미침을 알 수 있다. Fig. 6은 대차 가속도에 대한 주파수 특성을 나타내고 있으며 앞에서 언급된 Fig. 5의 엑셀박스에서 나타나는 동적 주행모드들도 나타날 뿐만 아니라 고유하게 갖고있는 고유주파수 특성도 뚜렷하게 나타나고 있다. 이는 속도에 따라 주파수 대역이 변화하지 않고 유지되는 주파수로서 10, 30, 50, 80, 110Hz 대역이 나타나고 있으며 이러한 주파수 대역은 속도에 따라 변화는 주파수 대역과 교차 시 공진에 의해 상대적으로 크게 가진 되고 있음을 확인할 수 있다. Fig. 7은 차체에 대한 주파수 특성을 나타낸 그래프로서 앞의 차체와 대차의 주행 주파수 특성이 약하게 나타나는 반면 저 주파수 대역에서 상대적으로 큰 값으로 나타나고 있다. 이는 차체 자체의 동적 고유 주파수가 낮으며 이 주파수 대역에서는 상하방향의 경우 속도의 증가에 따라 크기도 증가하고 있으며, 횡 방향의 경우는 곡선구간 통과시 상대적으로 매우 큰 값이 나타남을 알 수 있다. 이는 곡선 통과 시 차체가 받는 영향은 저주파이며 이러한 주파수가 차체의 고유주파수와 유사하게 되어 큰 영향을 받는 것으로 판단할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서 다루었던 시험계측을 통한 모드분석을 종합하면 다음과 같다.

전체적으로 볼 때 상하방향이나 횡 방향 모두 주파수 특성은 유사하게 나타나고 있으며 궤도 침목 간격에 의한 kinematic mode가 가장 뚜렷하게 나타나고 곡선 구간 통과 시에 상대적인 크기를 크게 유발시킴을 알 수 있다. 또한 주행특성에 의한 이러한 주파수 변화 특성과 크기에 영향을 미치는 요인들은 고유 특성치와 동일한 주파수 대역에서 상대적으로 큰 값을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 고찰은 이론적으로 Fig 1에 나타난 개념적 그래프와 매우 유사한 내용을 갖고 있으며, 본 논문에서는 시험을 통하여 이러한 사실을 확인하였으며 한국형 고속전철에 대하여 적용하여 그 동적 진동 주파수 특성을 살펴보았다.

후기

본 내용은 건설교통부에서 시행하는 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

참고문헌

- 1 British Rail Research, "Railway Vehicle Dynamic Course", Report No. RR-DYN-95-165, 1995.
2. 박찬경 외 2인, "한국형 고속전철의 진동가속도 시험 연구", 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, 2003.
3. 김석원 외 4인, 2002, 고속전철 시운전 시험 및 평가용 측정시스템 개발(I)-하드웨어, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 169-173.
4. 김석원 외 4인, 2002, 고속전철 시운전 시험 및 평가용 측정시스템 개발(II)-소프트웨어, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 174-181.
5. William H. Press, et. al, " Numerical Recipes", Cambridge University Press, 1986.