

# 한국형 고속전철의 진동가속도 시험 연구

## Analysis of the acceleration of KHST prototype on the high speed test line

박찬경\*                      김영국\*                      김석원\*  
Chankyong Park              Youngguk Kim              Seogwon 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 developed to accomplish successfully this on-line test for proving the dynamic performance of KHST. This system was consist of the personal computers based on National Instrument PXI modules and the test programs based on LabView 6i. This paper shows that this system is efficient to acquire the test data through the multi-channels connected the accelerometers which located in long distance places and flexible to change and add channels for data acquisition. The dynamic analysis of an on-line test is very complicate because the environmental conditions, as examples radius of curve, inclination of the track, tunnels, bridges, and so forth, and running conditions, as examples driving, braking, the number of working motors, and so forth, have an effect on the results. Therefor, the analysis method is important and this paper proposes the efficient procedure graphically, showing the proposed method simplify the accelerations of 5th bogie frame acquired during the on-line test for KHST.

### 1. 서론

한국형 고속전철은 선도기술개발 사업의 일환으로 2002년에 개발을 완료하여 한국고속철도건설공단이 관리하고 있는 고속신선의 시험선에서 2002년 8월부터 현재까지 주행시험 중에 있다. 본 논문은 한국형 고속철도차량에 대한 동역학 분야의 시운전 시험 현황과 시험 장비구성에 대하여 전반적으로 설명하고, 시운전 시험 중에 나타난 계측된 데이터의 특성을 시운전 시험 환경에 따라 분석하여 그 내용을 분석하는데 그 목적이 있다. 아울러 본 논문의 내용은 일련의 시험이 계속하여 수행되고 있기 때문에 완성도 있는 학술적 논문으로서의 발표목적 보다는 한국형 고속전철의 동적 주행시험이 어떻게 수행되고 있고 현재까지의 결과가 어떤 수준인가를 설명하는데 그 목적이 있다는 것을 서언에 미리 밝혀 두고자 한다. 고속철도차량의 동역학 이론 해석은 여러 문헌에 많이 발표되어 왔고<sup>(1,2)</sup>, 현재는 다물체 동역학 이론에 근간한 상용 프로그램 또는 단독 프로그램으로 널리 활용하고 있으나<sup>(3)</sup>, 국내에서는 아직까지 고속철도 차량에 대해 실제 시운전 시험에 의한 계측 데이터를 분석하여 발표되는 사례는 많지 않았다. 선도기술개발에 의해 개발된 한국형 고속전철의 동역학 시험은 국내에서는 대차 Roller Rig 시험으로 처음 발표되었으나<sup>(4)</sup> 실제 시운전을 통한 결과는 아직 발표되지 않았으며, 한국고속철도건설공단에서 주관하는 KTX 인수시험을 위해서 수행된 동적 특성시험이 계속되고 있지만 이 역시 구체적으로 계측결과가 발표되지는 않고 있다. 따라서 본 논문은 이에 대한 고찰로서 한국형 고속전철 시제차량에 대하여 가속도계를 이용한 열차 편성 전체의 동적 특성을 계측하기 위한 효율적인 시험장비 계측 시스템<sup>(5,6)</sup>과 계측된 데이터의 분석과정을 특정한 부위를 대상으로 시운전 시험시의 운전 상황(가속, 제동, 타행 등)과 궤도 구간특성(교량, 터널, 곡선 등)에 따라 분류하여 그 결과를 분석하였다.

## 2. 시험개요 및 시험계측시스템 구성

한국형 고속철도차량은 7량 1편성으로(기호는 Fig. 2 참조) 동력차(TP1) + 동력객차(TM1) + 객차(3대, TT2, TT3, TT4) + 동력 객차(TM2) + 동력차(TP2)로 구성되었으며, 대차는 동력차용 동력대차 (PMB, Power Motor Bogie, 1, 2, 9, 10번) 4대, 동력객차용 동력대차 (MTB, Motorized Trailer Bogie, 3, 8 번) 전후 2대 및 동력객차와 객차, 객차와 객차를 연결하는 관절대차 (ATB, Articulated Trailer Bogie, 4, 5, 6, 7번) 4대로 구성되어져 있다. 시운전 시험노선은 Fig. 1과 같이 한국고속철도공단의 중부사무소에서 관리하고 있는 57Km 구간의 시험선 KP 96Km~136Km 구간에서 시험이 수행되고 있으며, 이 구간에서는 대부분 터널과 교량 등으로 이루어져 있으며 선로 조건도 7000m 곡선반경과 상,하 구배 및 평탄 선로가 분포되어 있다.

한국형 고속전철 차량의 시운전 시험 시 차량의 동적 특성을 계측하기 위하여 Fig. 2과 같이 가속도계를 열차의 차체와 대차 및 엑셀박스에 장착하였다.

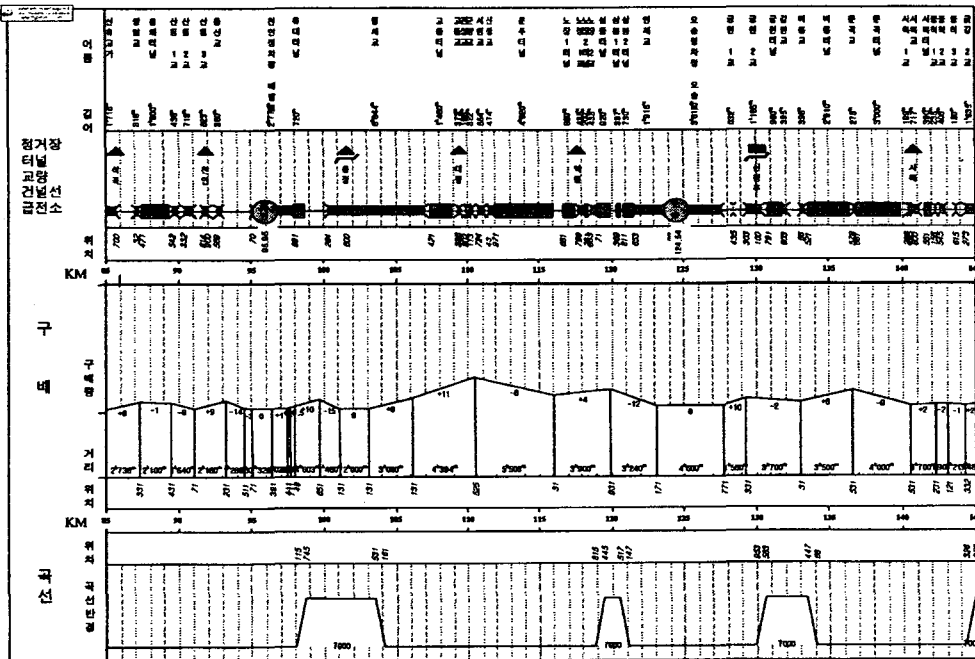


Fig. 1 Diagram of high speed test line in JungBu site

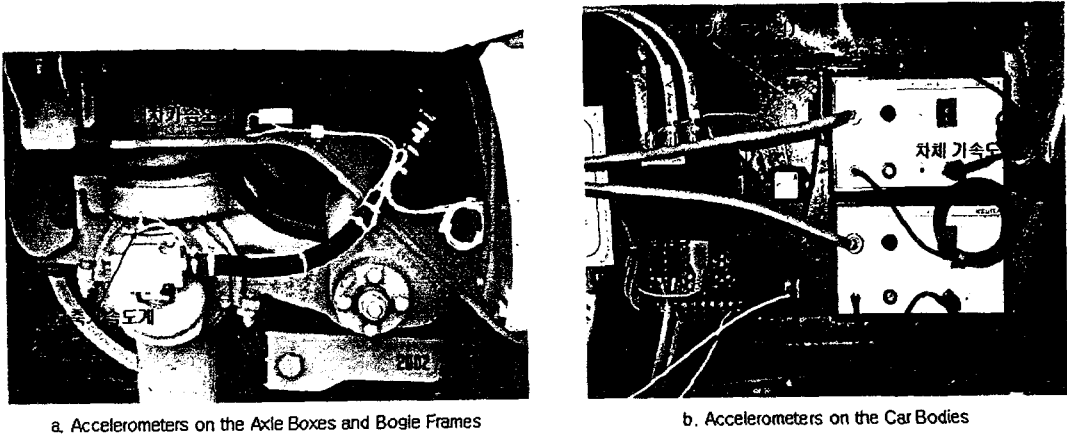


Fig. 2 Photos of the accelerometers mounted on the test train.

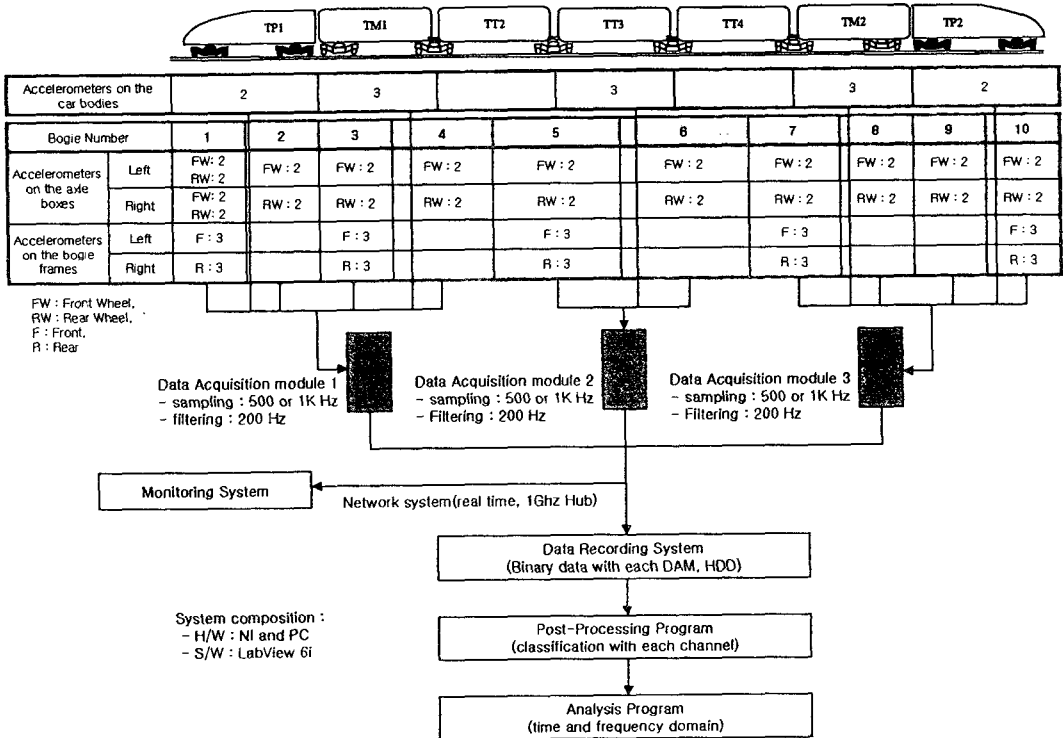


Fig. 3 The composition of the data acquisition systems for KHST dynamics

장착된 가속도계는 Fig. 3과 같이 차체에는 Kistler사의 저주파용 Charge type 가속도계를 총 13개 장착하였으며, 대차와 차축 엑슬박스에도 Kistler 사의 큰 영역의 가속도 계측이 가능한 ICP type 가속도계를 총 74개 장착하였다.

가속도계에 의해 계측된 신호는 신호 케이블의 Noise 방지와 유지보수의 효율성을 위하여 장착 위치에 따라 구분하여 계측시스템에 연결하였으며, TP1, TM1 차체 및 1, 2, 3, 4번 대차에 장착된 가속도계 신호의 경우는 TM1에 장착된 계측모듈(DAM1)에, TT3 차체 및 5, 6번 대차에 장착된 가속도계의 경우는 TT3에 장착된 계측모듈(DAM2)에, TM2, TP2 차체 및 7, 8, 9, 10번 대차에

장착된 가속도계의 경우 TM2에 장착된 계측모듈(DAM3)에 연결하였다. 또한 각 모듈은 모니터링 시스템과 인트라 네트워크로 구성하여 계측신호를 공유토록 하여 시험 중에 실시간으로 데이터를 관측토록 하였다. 가속도계에서 계측된 신호는 각 모듈의 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.

데이터 계측 및 저장은 Fig. 4와 같이 계측의 유연성이 높은 NI(National Instrument)사의 PXI 장비를 기반으로 구성하였으며, 사용된 프로그램은 Fig. 5와 같이 LabView 6i를 기반으로 자체 개발하여 사용하였다.

각 모듈별로 저장된 데이터는 용량이 매우 크므로 HDD에 binary 형태의 모듈별 통합파일로 생성하였으며 시험종료 후 후처리 프로그램에 의하여 계측 채널별로 분류하고 속도, 시간, 거리 등의 공유 정보를 담도록 하였다. 데이터의 분석은 시간 및 주파수 영역에서 분석 가능토록 하였으며 이를 위한 전체적인 프로그램 역시 LabView 6i를 이용하여 자체 개발하여 사용하였다.

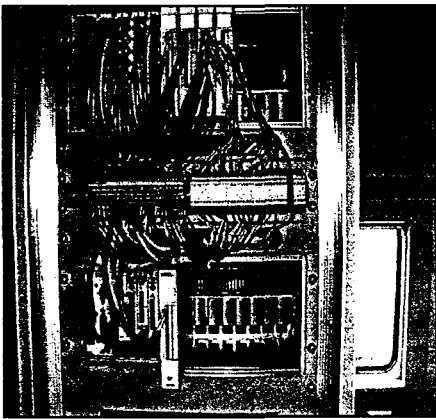


Fig. 4 Data Acquisition system (based on NI PXI system)

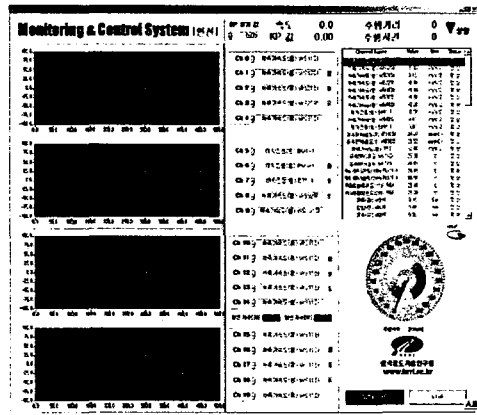


Fig. 5 Data Acquisition Program (based on LabView 6i)

### 3. 시험결과 및 분석

한국형 고속철도차량의 시운전 시험은 현재 260Km/h 까지 주행시험을 수행하였으며, 본 논문은 이들 시험주행 중에서 2003년 4월 24일에 수행한 결과만을 분석하여 보여줄 것이다. 이 주행은 처음에는 KP 134.48Km 지점에서 시작하여 KP 96.15Km 지점까지 최고속도 200Km/h로 주행하였다. 본 연구에서는 주행속도에 따라 매 10Km/h 단위로 주행한 기록을 5번 대차의 가속도를 기준으로 rms값을 계산하여 속도에 대한 변화경향을 살펴보았다. 가속도는 5번 대차 전방에 장착한 3축방향의 가속도계를 이용하였으며 주행구간의 특성과 차량의 견인 및 제동조건을 동시에 분석하여 Fig. 6에 나타내었다. 여기서 추진 및 제동상태는 +방향이 가속의 경우이며 -방향이 제동을 나타내고 있으며 그 크기는 운전자에 의한 가속 및 제동 비율을 의미한다. 또한 곡선상태의 경우 1의 경우 본곡선율, 0.5의 경우는 완화곡선상의 주행상태를 나타내며 역시 매 10Km/h의 속도구간의 주행정보를 나타내고 있다.

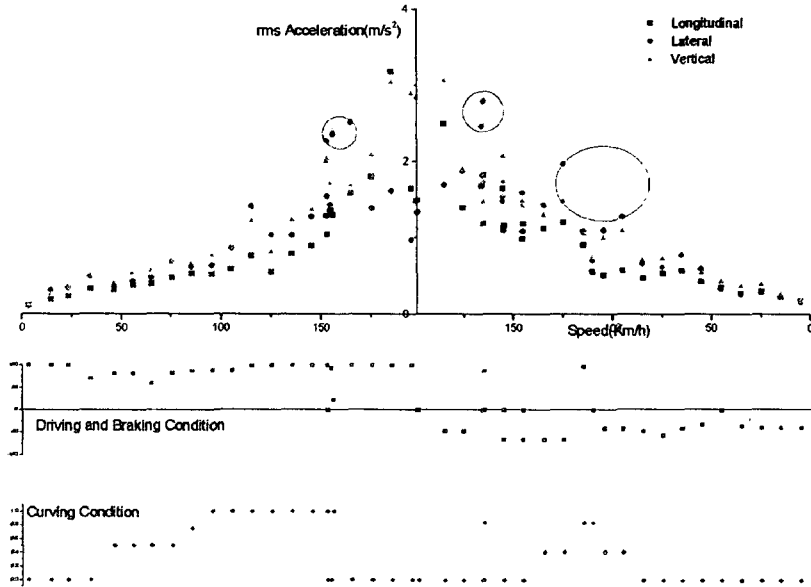


Fig. 6 Acceleration of the 5th Boie frame and running condition at the 1st run

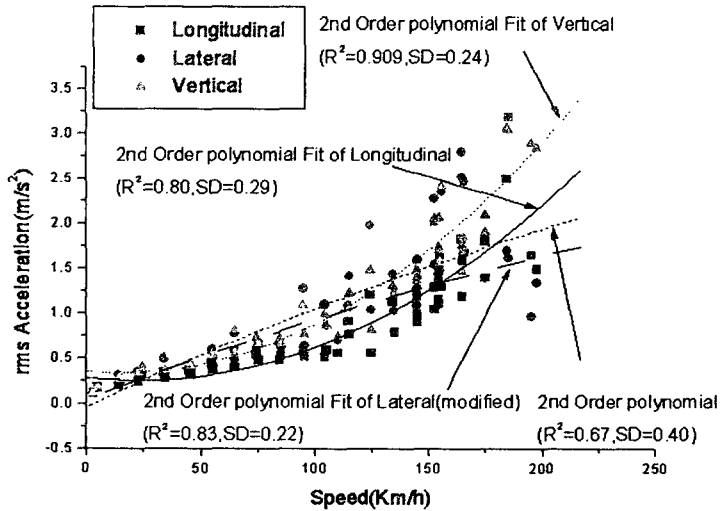


Fig. 7 Polynomial fit curve of each acceleration for the 5th boie

또한, 각 속도대역에 대한 rms 가속도값의 경향을 살펴보기 위하여 2차식으로 근사화 시키면 Fig. 7과 같이 나타낼 수 있으며, 상하방향의 경우 적합성은 90%수준으로 속도에 따른 가속도의 변화가 뚜렷하게 나타나는 반면, 횡방향의 경우는 67%수준으로서 고속으로 갈수록 적합성이 현저히 떨어지고 있다. Fig. 6 및 7에서 보듯이 속도증가에 따라 전체적인 가속도는 증가하고 있으며 상하방향이 가장 크게 나타나고 있고, 150Km/h 이상의 경우 전후방향, 횡방향 순으로 나타나고 있다. 전후방향이 횡방향 보다 크게 나타나는 이유는 시험 시 가속 및 제동이 급격하게 변환되기 때문인 것으로 판단되며, 횡방향의 2차 근사식 적합성이 떨어지는 것은 주행상태의 불균일성에 영향을 많이 받은 것으로 판단된다. 특히 Fig. 6의 원호로 표시된 횡 방향의 가속도는 전체 경향과

많은 차이를 나타내고 있으며, 주행상태는 곡선주행 시에 모두 나타나고 있다. 따라서 이들 가속도를 제외시키고 2차식으로 적합 시키면(modified) Fig.7에서 보는바와 같이 그 적합성이 0.83으로 속도에 대한 경향이 잘 나타나는 것을 알 수 있었다.

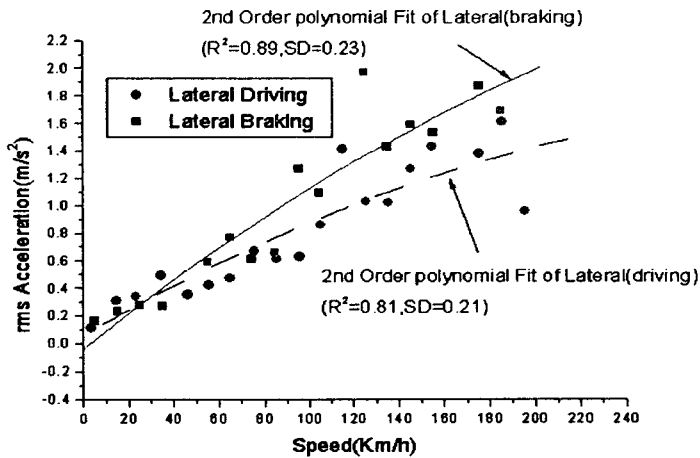


Fig. 8 Comparison with the lateral acceleration in driving and braking condition

또한, 가속 시와 제동 시의 가속도 변화 경향을 살펴보았으며, 상하방향이나 진행방향의 경우는 뚜렷한 차이를 나타내지 않는 반면 Fig. 8에서 보는 것과 같이 좌우 방향의 경우 제동 시에 좀더 크게 나타나는 경향을 나타내고 있다. 타행 시와 가속 또는 제동의 경우와 비교해서 그 경향을 살펴해보아야 하는 전후방향 가속도는 현재 이를 비교할 수 있는 데이터가 많이 축적되어 있지 않아 본 연구에서는 수행하지 못하였으며, 전체적으로 현재까지의 주행시험이 최고속도 달성을 목표로 수행되었기 때문에 각 경우를 모두 고려한 연구목적의 주행시험은 이루어지지 않고 있는 상태이다. 따라서 향후 이에 대한 심도있는 연구목적의 주행시험이 이루어질 예정에 있으며 이를 통하여 좀더 완성도 있는 주행시험 결과가 도출 될 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

현재까지 한국형 고속철도차량의 주행시험은 성공적으로 진행되고 있으며, 동력학적 특성검토를 위한 시험 또한 주행시험 시에 병행하여 수행되고 있다. 향후 이러한 일련의 시험은 계속적으로 좀더 심도있게 수행 될 예정에 있으며, 본 연구에서 다루었던 이에 대한 개략적인 내용을 종합하면 다음과 같다.

먼저 고속철도차량의 동특성 시험을 위한 전체 열차 편성에 대한 종합 계측 시스템을 구축하였으며, 계측거리가 최대 150m에 약 80채널이 분포되어 있어 Network 기반의 시스템을 이용하여 효율적인 분산계측을 성공적으로 수행하고 있다.

또한, 계측 데이터 분석은 지금까지 수행한 결과 일반적인 가속도값 자체에 의한 분석으로 완전한 분석이 이루어 질 수 없음을 인식하였으며, 제동이나 가속과 같은 차량 주행 상태와 궤도환경 등이 종합적으로 고려되어 분석되어야 그 경향을 살펴볼 수 있는 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 분석과정을 한가지 시험 경우에 대해 그 결과를 제시하였으며 향후 좀더 많은 데이터의 축적으로 이러한 분석 방법론을 구축할 예정에 있다.

#### 후기

본 내용은 건설교통부에서 시행하는 고속철도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

#### 참고문헌

- 1 Vijay K., Grag, Rao V. Dukkipati, 1984, Dynamics of Railway Vehicle System, Academic Press.
2. Rao V. Dukkipati, Joseph R. Amyot, 1988, Computer-Aided Simulation in Railway Dynamics, Marcel Dekker Inc.
3. E.H. Law and N.K. Cooperrider, 1974, A Survey of railway vehicle dynamics research, J. D 수. Sys., Meas. Control, Ser.G, pp 132-146
4. 김진태 외 2인, 2002, 주행 시험대에서의 고속전철 개발대차의 주행안정성 평가, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 835-844.
5. 김석원 외 4인, 2002, 고속전철 시운전 시험 및 평가용 측정시스템 개발(I)-하드웨어, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 169-173.
6. 김석원 외 4인, 2002, 고속전철 시운전 시험 및 평가용 측정시스템 개발(II)-소프트웨어, 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp 174-181.