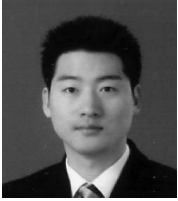


차세대고속열차 성능평가시험을 위한 계측시스템 개발 현황



| 류 상 현 |
한국철도공사
주임연구원



| 임 오 진 |
한국철도공사
처장

1. 서론

프랑스, 독일 및 일본 등 철도관련 분야의 해외 선진국에서는 고속열차의 독자적인 설계능력과 다양한 제작기술을 확보하고 있으며, 고속열차의 운영경험을 통하여 더욱 선진화된 고속철도시스템을 개발하기 위한 신기술 확보에 전념하고 있다. 최근 중국에서도 동력분산식 고속열차 개발과 더불어 열차의 성능평가 기술력 확보에 국가적으로 많은 투자와 철도기술 분야의 전문연구인력을 양성하여 활발한 연구를 진행 중에 있다. 우리나라에서도 이러한 신기술 경쟁사회에서 앞서려면 현재까지 확보된 350km/h급 고속철도기술개발에 대한 경험을 토대로 고속열차의 성능 개선 뿐만 아니라 차량시스템 및 구성품의 성능에 대한 평가기술 및 측정시스템 마련도 시급히 요구된다.

종합계측시스템의 구축은 현재 최고시험속도 430km/h의 차세대 동력분산식 고속철도 기술개발 사업의 일환으로 진행되었으며, 동력분산식 고속철도차량시스템 및 구성품의 성능검증을 통해 차세대 고속철도시스템의 안전성 확보 및 운영과정에서 발생할 수 있는 고장상황 등을 사전에 검증하여 실제 운행에 있어서의 위험요소감소를 목적으로 한다.^[1] 따라서 고속철도 차량시스템의 고속화 및 고성능화 추세에 따라 철도의 안전성 확보를 위한 방안과 이를 위해 각 요소별 설계, 제작 및 시험평가가 필요하며, 특히 각 구성요소별 정·동적 시험 및 통합시험을 통한 시스템 안전성 평가가 필수적이라 판단된다. 또한, 차세대 분산

형 시제차량시스템의 종합적인 시험체계구축과 차량시스템의 본선 시운전 시험계측을 통한 성능검증, 안전성, 신뢰성 평가 및 시험 데이터 관리체계 구축에 대한 연구가 필요하다고 판단된다. 본 글에서는 국가R&D사업으로 제작된 차세대고속열차 성능평가시험을 위한 종합계측시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 개발에 대한 내용을 서술하고자 한다.

2. 본문

2.1 계측시스템 국내·외 개발 사례

해외 철도 선진국들은 고속열차의 개발과 운영경험을 바탕으로 자국이 개발한 열차의 성능평가시험 체계와 기술을 보유하고 있다. 독일은 분산 배치된 하드웨어가 하나의 시스템으로 통합된 분산화 시스템을 기본으로 하였고, 계측데이터 수집을 동일시각에 각 채널에서 되도록 동기화 기능을 갖추도록 설계하였다. 아울러 계측상황을 분야별로 모니터링이 가능하도록 하였고 센서의 자동감지 및 교정이 가능하도록 하였다. 이와 같은 방식을 기본으로 하여 ICE3 시험차량에 적용한 사례가 있다. 이탈리아의 계측시스템도 PC와 Network에 근거한 분산식으로 구축하였고, 계측시험 시간을 최소화할 수 있는 시스템으로 설계하는 부분에 큰 비중을 두었다.^[2]

국내에서는 한국형고속열차(G7)와 한국형틸팅열차(TTX) 개발과 더불어 열차의 성능평가를 위한 계측시스

템 구축 사례가 있으며, 이를 통해 계측시스템 설계 및 열차의 성능평가 기술의 진보를 이루었다.

한국형고속열차의 계측시스템은 동력집중식의 동력방식을 고려하여 계측케이블의 전장을 최소화하기 위해 동력객차의 객실부를 활용하였다. 아울러 중앙부 차량에 계측실을 별도로 구성하였고 계측모듈은 Network Hub를 통해 데이터를 상호 공유하도록 하였다.[3]

TTX의 계측시스템은 차량길이에 의한 전압강하와 외란(Noise)을 최소화하고 계측데이터의 실시간 저장 및 계측채널 확장의 유연성을 확보하여 계측시험의 효율성을 높이고자 하였다. 아울러 측정차량을 별도로 구성하고 계측시험에 대한 총괄 모니터링이 가능하도록 하였다. G7의 모니터링시스템은 2개의 차량에 분산설치 됨으로써 모니터링 인력의 분산, 종합적인 모니터링기능에 다소 아쉬운 부분이 있었으나, TTX에서 모니터링 기능을 향상시켰고 HEMU-430X에서는 모니터링 기능의 집중화뿐만 아니라 제어기능을 한층 업그레이드 하였다.

계측데이터 통신을 위해 사용되는 케이블을 비교해보면 G7은 구축 당시 광케이블의 성능 및 안전성이 검증되지 않아 광케이블 사용에 어려움이 있어서 와이어를 사용하였다. 와이어 사용에 있어 단선 및 파손에 따른 유지보수에 효과적이지 못한 부분이 있었다. HEMU-430X에서는 TTX와 같은 방식의 광케이블을 사용함과 더불어 멀티코어 형식을 사용함으로써 유지보수성을 높였다.

계측실의 구성은 G7과 TTX 차량의 장점을 활용하여 모니터링 공간과 회의용 공간으로 구성하여 공간의 활용도를 최대화하였다. 영상모니터링에 있어서 모든 대차에 영상모니터링 시스템을 설치하여 휠/레일의 거동뿐만 아니라 대차의 동적거동을 모니터링 할 수 있도록 모니터링 기능을 향상시키고 팬티그래프 영상모니터링도 상·하행시 모니터링이 가능하도록 해당 차량에 팬티그래프 영상카메라를 설치하였다.

영상데이터의 저장은 테이프 없이 디지털화시켜 하드디스크에 압축 및 저장이 가능한 DVR(Digital Video Recorder)에 한다. 여러 대의 카메라 영상을 분할하여 모니터링 할 수 있고 녹화된 영상을 HDD에 반영구적으로 저장 및 영상데이터 분석 시 녹화된 데이터를 순간 검색할 수 있

도록 하였다.

또한 계측시스템의 제어방식에 있어서도 기존의 윈도우 기반 시스템 제어방식에서 감시 및 트리거 기능을 사용하여 동기 시그널을 효과적으로 제어할 수 있는 RT 시스템 제어방식을 적용하였다. RT 시스템 제어방식은 윈도우 기반 시스템의 데이터측정이나 분석 등은 동일한 기능을 유지하고 계측데이터의 신뢰성 및 모든 시그널의 저장 시점 위상차를 최소화할 수 있으며, 분산되어 있는 계측시스템간의 동기화에 용이하다. 아울러 유저인터페이스가 필요 없이 전원제어만으로 원격 제어해야 하기 때문에 RT 시스템 제어방식을 사용하였다.

2.2 종합계측시스템 기본 구성

차세대고속열차의 종합계측시스템은 국·내외 계측시스템 구축사례를 살펴보았을 때 각 차량마다 계측장치를 분산화하여 데이터를 수집하고 전체적인 계측시험에 대해 총괄적으로 모니터링 및 제어할 수 있는 방식으로 구축하는 것이 시험의 효율성을 높일 수 있을 것으로 판단되어 다음과 같은 방식으로 구성하였다.[4-5]

종합계측시스템은 Fig. 1과 같이 차량계측장치, 팬티계측장치, 모니터링장치, 통신계측장치, 영상장치, 중앙제어장치, 전원제어장치, 차륜/궤도 작용력 계측장치로 구성된다. 종합계측시스템은 시제열차의 운영환경(속도, 진동, 온도, EMC 등)에서의 신뢰성 및 내구성을 가져야 하며 특



Fig. 1 종합계측시스템 구성

히 전기절연이 되어야 한다.

차량계측장치와 모니터링장치와의 통신은 멀티코어 (Multi-Cored) 형식의 광케이블을 사용한다. 멀티코어 형식은 광케이블 코어의 단선 및 파손에 따른 유지보수를 용이하게 할 수 있을 것이라 판단된다. 계측선 및 통신선은 노이즈 등 외부 영향이 최소화 되도록 하며 연결부 및 단자대는 커넥팅방식으로 한다. 커넥팅방식은 열차의 분리 및 유지보수 시 배선분리에 유리 할 것으로 사료된다.[1]

2.3 하드웨어 구축 현황

Fig. 2는 차량별 계측장치 구성을 보여준다. 종합계측시

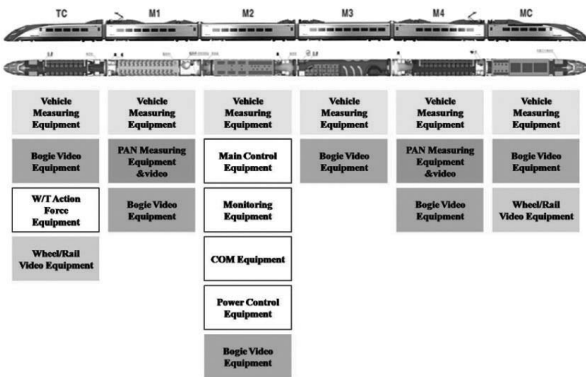


Fig. 2 차량별 계측장치 구성

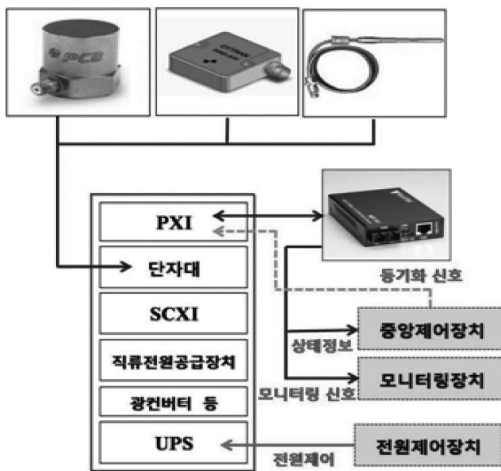


Fig. 3 차량계측장치 랙 구성

시스템을 구성하는 계측장치 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 차량계측장치이다. 차량계측장치는 차량마다 랙 형태로 설치가 되었고, 각 차량에서 측정되는 차체진행방향 속도, 대차가속도(상하 및 횡), 차축가속도, 축 디스크 온도, 축 패드 온도, 차축 베어링 온도 등의 계측데이터를 수집하는 장치로써 측정된 계측신호는 차량계측장치에 저장 이 되고 광케이블 및 스위칭 허브(Switching Hub)를 통해 모니터링장치로 전송하도록 하였다. 전원은 랙에 내장되어 있는 On-line type의 UPS를 이용하고, 개별제어 및 전원제어 장치의 On/Off 명령에 의해 제어가 가능하도록 하였다.

팬터계측장치는 M1 및 M4 차량에 설치가 되고 센서로부터 측정된 계측신호는 DAQ에 수집되며 무선송신기를 통해 무선수신기로 전송되어 광케이블을 통해 팬터모니터링부로 전송되어 모니터링이 가능하도록 하였다. 팬터그 래프의 성능평가를 위한 시험항목은 접촉력, 이선률측정, 상승/하강, 양력측정시험을 시행한다.

아울러 각 계측장치의 상태를 모니터링을 하기 위한 모니터링장치, 차량제어신호를 실시간으로 모니터링하여 차량상태를 확인하기 위한 통신계측장치, 랙 전원을 원격으로 제어하기 위한 전원제어장치가 설치되어있다.

영상장치는 팬터영상카메라 2대, 휠/레일영상 카메라 4대, 대차영상카메라 10대로 총 16대의 영상카메라가 설치 되어있다. 팬터영상과 휠/레일 영상은 영상합성장치를 이용하여 차량의 속도, KP 신호 등을 합성한 영상이 모니터링 화면에 현시가능 하도록 하였다.

중앙제어장치는 차량계측장치, 팬터계측장치, 모니터링장치, 통신계측장치, 영상장치에 대해 계측 시 계측시작



Fig. 4 종합계측실(M2차량)

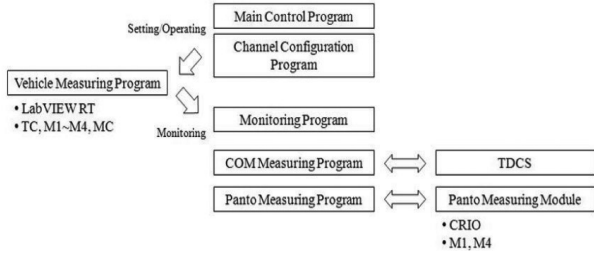


Fig. 5 차세대고속열차 계측프로그램 구성

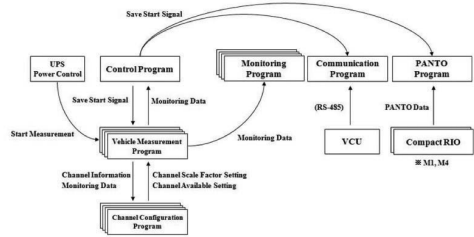


Fig. 6 계측데이터 흐름

(Start), 저장(Save), 저장종료(Stop) 각 시점을 동일하게 제어하며, 차량계측장치, 팬터계측장치, 통신계측장치에 대한 정상작동여부를 현시되도록 하고, 차량계측장치에서 측정되는 데이터를 차량계측장비별로 선택하여 모니터링이 가능하도록 하였다. 이러한 장치들은 모두 M2차량에 설치된 종합계측실에 설치되어 모니터링 및 제어가 가능하다.

2.4 계측프로그램 기본 구성

차세대고속열차 성능시험을 위한 프로그램은 National Instrument사의 LabVIEW를 기반으로 개발하였다. 각 차량에 설치된 PXI-RT 기반의 차량계측프로그램은 220V 전원이 인가되면 자동으로 기동되며 가속도, 온도, 전압, 압력 등의 센서로부터 물리전신호를 계측하고 저장하는 기능을 수행한다. 또한, 계측과 동시에 네트워크를 통해 전송하는 계측신호를 종합계측실에서 총괄모니터링 가능하다. 종합계측실에서 계측하는 프로그램은 모니터링프로그램(3분할/6분할/소음진동 등)과 차량계측장치의 상태를 모니터링하는 차량계측 모니터링 프로그램, 계측데이터 저장 기능을 동기화시키는 중앙제어프로그램, 각 채널을 설정하고 보정하는 채널설정 프로그램, 차량제어신호를 계측하는 통신계측 프로그램, 팬터그래프의 진동 및 접촉력 등을 계측하는 팬터계측 프로그램으로 구분하였다. [6]

2.5 계측프로그램 개발 방향

국내에서 시제차량의 성능평가시험을 위한 계측시스템 및 계측프로그램은 오랜 기간 동안 시행착오를 거치면서 많은 발전을 해왔다. 차세대고속열차의 성능평가를 위한

계측시스템 개발을 위해서 과거 사례를 바탕으로 사용자 편의성과 시스템을 안정적으로 계측할 수 있는 프로그램을 개발하고자 하였다. 이를 위해서 각 차량에 설치되어 있는 차량계측시스템을 윈도우 기반이 아닌 임베디드 리얼타임(Embedded Real-Time) 시스템으로 구축을 했다. 리얼타임 시스템은 윈도우에 비해 외부 인터럽트에 영향을 받지 않고 원하는 태스크만을 안정적으로 구동할 수 있다는 장점이 있다. 리얼타임 시스템을 잘 사용하기 위해서는 임베디드 프로그램으로 구현할 필요가 있다. NI사의 LabVIEW Real-Time 모듈은 윈도우에서 지원하는 모든 기능의 측정 및 인터페이스 기능을 가진다.

각 차량계측 프로그램들은 UI(User Interface)가 없이 부팅되는 순간부터 자체적으로 데이터를 측정하고 모니터링을 위해 네트워크로 데이터를 전송하기 시작하며 중앙제어에서 저장명령이 전송되면 모든 장비가 하드웨어 트리거로 동작을 해서 저장을 시작하게 된다. 기존에 사용했던 계측 프로그램들은 윈도우 기반으로 각 차량에서 계측신호들의 채널설정 및 캘리브레이션 작업을 수행했었으나 이번에 개발한 리얼타임 OS기반의 솔루션은 종합계측실에서 네트워크를 통하여 모든 차량의 채널설정 및 캘리브레이션을 가능하게 하였다. 또한 중앙제어 프로그램에서는 시스템의 안정적인 구동을 위하여 각 차량계측 시스템의 하드웨어 용량 및 계측상태를 모니터링 함으로써 긴급상태에 대비할 수 있도록 하였다.

2.6 계측프로그램별 간략 소개

Fig.7에서 보여주는 중앙제어 프로그램은 모든 차량계측장치의 저장동기화신호를 제어하고 KP설정, 계측장치들의 상

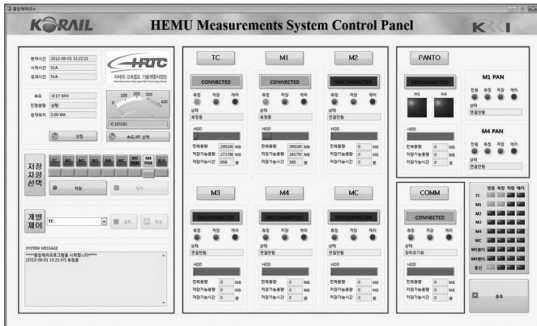


Fig. 7 중앙제어 프로그램

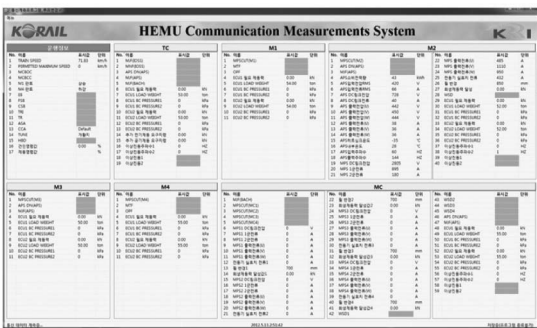


Fig. 8 통신계측 프로그램

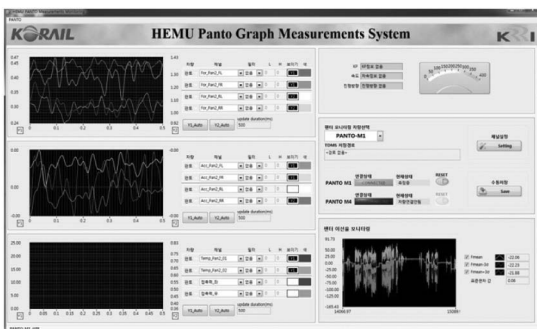


Fig. 9 팬터계측 프로그램

태모니터링 및 고장진단과 개별적으로 리셋기능을 가진다.

통신계측 프로그램은 차량진단 및 제어장치로부터 전송되는 차량상태 데이터를 모니터링하고 중앙제어 장비

로부터 동기화 신호를 수신하여 저장을 시작한다. Fig. 8은 통신계측프로그램 화면을 보여준다.

팬터계측 프로그램은 팬터계측장치로부터 측정, 저장 및 모니터링을 수행하며 실시간으로 이선율에 대해 실시간 모니터링이 가능하도록 하였다. Fig. 9는 팬터계측 프로그램 화면을 보여준다.

모니터링프로그램은 실시간으로 계측데이터를 모니터링하고 모든 차량에서 측정되는 계측신호를 사용자가 선택하여 모니터링이 가능하도록 하였다. 모니터링프로그램은 기본모니터링과 6분할 그래프 프로그램으로 나뉜다.

아울러, 측정한계를 지정하여 한계 값 이상신호일 때 경고램프가 현시되어 사용자가 실시간 확인기능을 가진 상한 값 모니터링프로그램과 대차 및 차체에서 발생하는 소음·진동 모니터링을 위한 소음·진동모니터링 프로그램이 있다.

3. 결론

본 글에서는 최고시험속도 430km/h의 동력분산식 차세대고속열차의 성능을 평가하고 고장을 진단하기 위한 종합계측시스템의 하드웨어 및 계측프로그램 개발에 관하여 서술하였다. 종합계측시스템은 각 차량에서 측정되는 계측결과를 한곳에서 총괄 모니터링 및 제어가 가능하도록 구축하는 것을 원칙으로 하였고 이에 대응할 수 있는 계측프로그램을 개발하였다. 특히, 사용자 중심의 편의성을 향상시켰고 측정 중 하드웨어 손상 등으로 인한 위급한 상황에 대처 가능하도록 프로그램 상으로 계측데이터 저장 기능이 가능하도록 개발하였다. 특히 각 차량의 계측시스템은 리얼타임 OS기반의 시스템으로 구동을 시키고 종합계측실에서 모든 채널들의 설정 및 캘리브레이션이 가능하게 함으로써 다수의 채널을 관리하고 사용자가 업그레이드 시간을 최소화 할 수 있도록 구형하였다.

현재 차세대고속열차는 단계별 증속시험이 진행 중이다. 증속시험 과정 중 중요요소인 계측시스템이 안정적으로 기능이 발휘될 수 있도록 성능에 대한 세부적인 검증절차 및 시험이 이루어져야 할 것이다. 아울러, 시험 과정 중

크고 작은 문제점들의 발생가능성은 충분히 있기에 이상 발생 시 신속한 대응을 할 수 있는 보완 대책 마련도 철저히 해야 할 것으로 판단된다. 향후 개발된 종합계측시스템을 이용하여 시제열차에 대한 성능평가가 최종적으로 이루어질 예정이다. ☺

♣ 참고 문헌

1. Y.Y Lee, S.H. Ryu, J.O. Lee (2009) A Study on Overall Measurement System of HEMU, Proceedings of the KSR Conference, pp. 3095-3102.
2. S.W. Kim, Y.J. Han, S.S. Kim, Y.G. Kim et al. (2006) A study Overall System Development of Tilting Train Express, Journal of the Korean Society for railway, 9(6), pp. 671-676.
3. Y.Y Lee, S.H. Ryu, J.O. Lee (2009) A Study on Overall Measurement System of HEMU, Proceedings of the KSR Conference, pp. 3095-3102.
4. Y. J. Han et al. (2004), "A study on running characteristic of high speed train", APAP, pp.581-583.
5. S.W. Kim, Y.J. Han, K.Y Choe, Y.G. Kim et al. (2004) Development of measurement System for Traction and Braking, Journal of the Korean Sensor Society, 13(4), pp. 115-121.
6. S.W. Kim, J.H. Kim, K.Y. Choi, C.K. Park et al. (2002) Development of Measuring System for On-Line Test and Evaluation of High Speed Rail(II-Software, Proceeding of the KSR Conference, pp. 174-181