한국철도학회논문집
제14권 제6호(2011년 12월) pp. 484-488

HEMU-400X 종합계측시스템 개발에 관한 연구

A Study on Overall Measurement System Development of HEMU-400X

류상현† · 홍준희[1]
Sang Hyun Ryu · Jun Hee Hong

Abstract Technologically advanced railway countries had a unique ability to design, test and evaluation systems for development of High-speed train system. To evaluate the performance of the train system in Korea for the development of advanced measurement technology and systems are needed. In this study, the Overall Measuring System(OMS) is going to be established to efficiently verify the performance, stability and reliability of the train system and the components, and verify of the maximum speed though an on-line test. OMS consist of vehicle measuring system, pantograph measuring system, video monitoring system and monitoring room was constructed for the overall measuring system and monitoring system. The results of this study were expected to contribute to technical improvement for evaluation of train system.

Keywords : HEMU-400X, Dispersed power system, Overall measurement system, Train performance evaluation, Measurement system design

초 록 해외 철도 선진국들은 고속열차의 독자적인 설계능력, 시험평가체계와 평가기술을 보유하고 있다. 국내에서도 열차의 성능을 평가하기 위한 선진화된 계측기술 및 시스템 개발이 필요하다. 본 연구는 400km/h급 동력분산식 차세대고속열차 개발의 중요한 요소인 차량시스템 및 부품의 성능과 안전성 및 신뢰성 검증을 종합적이고 효율적으로 평가하기 위한 종합계측시스템 개발에 대한 연구이다. 종합계측시스템은 차량계측장치, 팬터계측장치 및 영상장치 등으로 구성되며, 계측시험에 대한 총괄 모니터링을 위해 종합계측실을 구성하였다. 본 연구는 향후 열차의 성능평가기술 향상에 이바지 할 것으로 판단된다.

주요어 : 차세대고속열차, 동력분산식, 종합계측시스템, 열차성능평가, 계측시스템

1. 서 론

시속 300km/h를 초과하는 경우 고속영역에서의 점착력 한계 및 궤도 유지보수비용 등에 따른 최근 고속열차 개발은 동력집중식에서 동력분산식으로 동력방식이 변화하는 추세이다.

동력집중식의 고속철도를 고수하던 독일(ICE3)과 프랑스(AGV)도 동력분산식의 동력방식을 적용하였고, 최근 중국에서도 동력분산식 고속열차 개발과 더불어 열차의 성능평가 기술력 확보에 국가적으로 많은 투자와 철도기술분야의 전문연구인력을 양성하여 활발한 연구를 진행 중에 있다.

국내에서도 차세대 고속철도 기술개발사업으로 최고시험속도 400km/h이상의 동력분산식 차세대고속열차(HEMU-400X : High-speed Electric Multi ple Unit-400km/h eXperiment) 개발이 진행 중이다.

동력분산식 차세대고속열차 개발과 더불어 중요한 요소 중 하나가 차량시스템 및 부품의 성능과 안전성, 신뢰성을 종합적이고 효율적으로 평가하는 것이며, 이를 위해 필요한 것이 종합계측시스템이다[1-2].

†교신저자 : 한국철도공사 연구원 연구개발처
E-mail : djguy2240@korail.com
[1]충남대학교 기계공학과

종합계측시스템은 열차의 성능평가시험을 위해 구성되는 계측장치를 총체적으로 표현한 것으로서 고속열차의 운영과정에서 발생 할 수 있는 고장상황 등을 사전에 검증하여 향후 실제 운행에 있어서의 위험감소를 목적으로 한다[3]. 종합계측시스템 구축을 위해 시험항목 및 계측항목의 선정, 계측을 위한 계측장치의 설계가 사전에 이루어져야 한다. 아울러 전체적인 계측시스템 설계 시 계측장치의 설치공간 선정, 계측센서와 계측장치 간의 계측선 이동경로, Junction box 설치 등 차량과의 인터페이스가 되어야 하는 사항에 대해서는 반드시 차량제작단계 이전에 설계완료가 요구된다.

따라서, 본 연구를 통해 차량계측장치, 팬터계측장치, 영상장치, 모니터링장치 등 종합계측시스템을 구성하는 각 장치들의 세부구성 및 기술사양을 살펴본다.

2. 본 론

2.1 차세대고속열차

차세대고속열차의 시제편성은 Fig. 1과 같이 6량 1편성이며, TC차량은 운전실과 특실로 이루어져 있고, M1차량은 특실, M2차량은 일반실이나 시제편성에선 열차성능시험을 위해 종합계측실로 활용된다. M3차량은 일반실과 스넥바, M4차량은 일반실, MC차량은 운전실과 동기전동기 기동을 위

Fig. 1 Configuration of HEMU-400X

한 주변압기와 주전력변환장치 등이 설치된 기기실로 구성된다.

2.2 계측시스템 구축사례

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 최소화 할 수 있는 시스템으로 설계하는 부분에 큰 비중을 두었다[4].

국내에서는 한국형고속열차(G7)와 한국형틸팅열차(TTX) 개발과 더불어 열차의 성능평가를 위한 계측시스템 구축 사례가 있으며, 이를 통해 계측시스템 구축 및 열차의 성능평가 기술의 진보를 이루었다.

한국형고속열차의 계측시스템은 동력집중식의 동력방식을 고려하여 계측케이블의 전장을 최소화하기 위해 동력객차의 객실부를 활용하였다. 아울러 중앙부 차량에 계측실을 별도로 구성하였고 Fig. 2와 같이 계측모듈은 Network Hub를 통해 데이터를 상호 공유하도록 하였다[3].

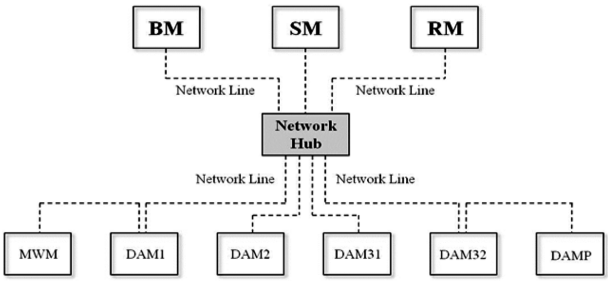

Fig. 2 Measurement system concept of G7

TTX의 계측시스템은 차량길이에 의한 전압강하와 외란(Noise)을 최소화하고 계측데이터의 실시간 저장 및 계측채널 확장의 유연성을 확보하여 계측시험의 효율성을 높이고자 하였다. 아울러 측정차량을 별도로 구성하여 계측시험에 대한 총괄 제어가 가능하도록 하였다.

2.3 계측시스템 특징비교

Table 1은 국내계측시스템 구축 사례에 따른 특징을 비교한 것이다.

G7의 모니터링시스템은 2개의 차량에 분산설치 됨으로써 모니터링 인력의 분산 및 종합적인 모니터링이 불가능하였으나, TTX에서 모니터링 기능을 향상시켰고 HEMU-400X에서는 모니터링 기능의 집중화뿐만 아니라 제어 및 장치구성을 TTX보다 효율적으로 구성하였다.

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 유지보수성에 미흡한 부분이 있었다. HEMU-400X에서는 TTX와 같은 방식의 광케이블을 사용함과 더불어 멀티코어 형식을 사용함으로써 유지보수성을 높였다.

계측실의 구성은 G7과 TTX차량의 장점을 활용하여 모니터링 공간과 회의용 공간으로 구성하여 공간의 활용도를 최대화하였다. 영상모니터링에 있어서 모든 대차에 영상모니터링 시스템을 설치하여 휠/레일의 거동뿐만 아니라 대차의 동적거동을 모니터링할 수 있도록 모니터링 기능을 향상시키고 팬터그래프 영상모니터링도 상하행시 모니터링이 가능하도록 전후방의 차량에 팬터그래프 모니터링장치를 설치하여 G7과 TTX 보다 많은 총 16대의 영상장치를 설치하였다. 이와함께 영상데이터의 저장은 테이프 없이 디지털화시켜 하드디스크(HDD)에 압축 및 저장이 가능한 Digital Video Recorder를 활용하여 여러대의 카메라 영상을 분할하여 모니터링할 수 있고 녹화된 영상을 HDD에 반영구적으로 저장 및 영상데이터 분석시 녹화된 데이터를 순간 검색할 수 있도록 하였다.

또한 계측시스템의 제어방식에 있어서도 기존의 윈도우기반 시스템 제어방식에서 감시 및 트리거 기능을 사용하여 동

Table 1 Characteristic comparison of measurement system

구 분	HEMU-400X	TTX	G7
계측시스템 설치 기본방향	모니터링 기능 집중화	모니터링 기능 집중화	모니터링 기능 분산
설치형태	차량별 분산 설치	차량별 분산 설치	측정성능별 분산 설치
통신케이블	멀티코어 광케이블 사용	싱글코어 광케이블 사용	와이어 사용
종합계측실 활용	모니터링 및 회의용	모니터링 전용	모니터링 및 회의용
영상모니터링	팬터2, 휠/레일4, 대차10	팬터2, 휠/레일3	팬터1, 휠/레일2
영상저장	DVR저장	VTR저장	VTR저장
제어방식	RT(Real-time)시스템	윈도우(Window)기반 시스템	윈도우(Window)기반 시스템

기 시그널을 효과적으로 제어할 수 있는 RT 시스템 제어방식을 적용하였다. TR 시스템 제어방식은 윈도우기반 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 사용하는 것이 효율적이다. 이와 같이, HEMU-400X의 종합계측시스템은 G7과 TTX의 계측시스템 구축 경험을 활용하여 각 계측시스템의 장점을 적용하여 향상된 계측시스템으로 구성하였다.

2.4 차세대고속열차 종합계측시스템 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 위와 같은 방식으로 구성하였다[5-6].

종합계측시스템은 Fig. 3과 같이 차량계측장치, 팬터계측장치, 모니터링장치, 통신계측장치, 영상장치, 중앙제어장치, 전원제어장치, 차륜/궤도 작용력 계측장치로 구성된다. 종합계측시스템은 시제열차의 운영환경(속도, 진동, 온도, EMC 등)에서의 신뢰성 및 내구성을 가져야 하며 특히 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 커넥팅 방식으로 한다. 커넥팅 방식은 열차의 분리 및 유지보수 시 배선분리에 유리할 것으로 사료된다[3].

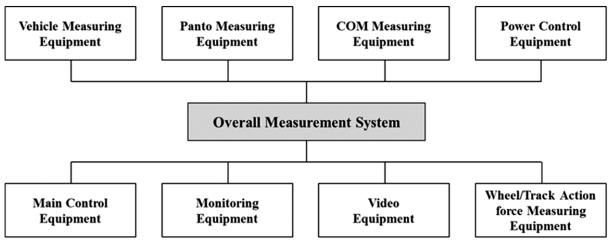

Fig. 3 Overall measurement system concept of HEMU-400X

2.4.1 차량계측장치

차량계측장치는 각 차량에서 측정되는 차체진행방향 가속도, 대차가속도(상하 및 횡), 차축가속, 축 디스크 온도, 축 패드 온도, 차축 베어링 온도 등의 계측데이터를 수집하는 장치로써 측정된 계측신호는 차량계측장치에 저장이 되고 광케이블 및 스위칭 허브(Switching Hub)를 통해 모니터링장치로 전송하도록 하였다.

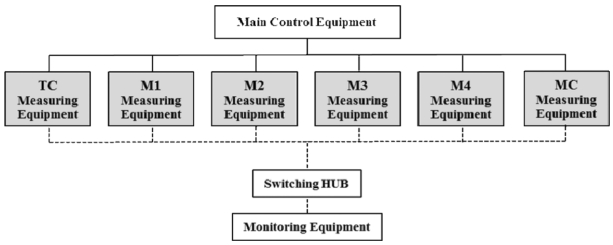

Fig. 4 Block diagram of vehicle measurement equipment

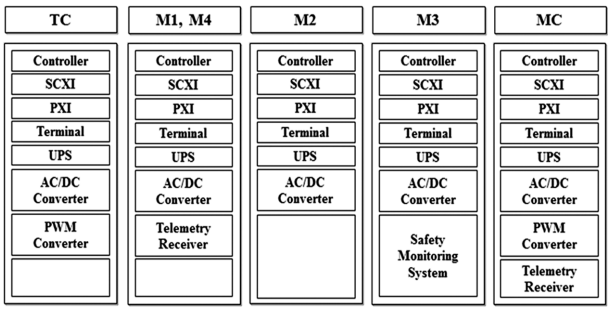

Fig. 5 Composition of vehicle measurement equipment rack

차량계측을 위한 신호는 가속도, 온도, 전압 및 전류 등으로 총 계측채널 수는 579개의 채널이다. 이러한 차량계측장치는 Fig. 4와 같이 각 차량(TC, M1, M2, M3, M4, MC)마다 랙(RACK)으로 구성하였다. 랙의 기본구성은 Fig. 5와 같이 컨트롤러(Controller)와 PXI, SCXI 및 UPS(Uninterruptible Power Supply) 등으로 구성하며, 센서 등 각종 입·출력신호는 단자대(Terminal)를 통하여 각 장치로 전송한다. M1차량 및 M4차량의 차량계측장치에는 팬터계측 신호를 무선으로 수신하기 위한 팬터계측용 텔레메트리수신기(Telemetry Receiver)를 내장하도록 하였다.

차량계측장치의 랙 크기는 TC, M1, M2, M4 및 MC용은 W:600×L:800×H:1,500mm, M3용은 안전성모니터링시스템 설치를 고려하여 랙 높이를 300mm 높여 W:600×L:800×H:1,800mm로 하였다.

차량계측장치의 전원은 랙에 내장되어 있는 On-line type의 UPS(AC220V, 15A)를 이용하고, 개별제어 및 전원제어장치의 On/Off 명령에 의해 제어가 가능하도록 하였다.

G7에서는 주요 계측이 동력차와 동력객차에 집중되는 동력집중식 차량임을 감안하여 2량의 동력객차에 주요 측정항목에 따라 차량계측장치를 설치하고 열차편성의 중앙에 종합계측실을 설치하여 종합 모니터링이 가능하도록 하였으며, TTX의 경우에는 HEMU-400X와 같이 각 차량에 해당 차량계측장치를 설치하였다.

2.4.2 팬터계측장치

팬터계측장치는 팬터그래프가 설치된 M1차량과 M4차량 옥상부에 전기절연이 완전하게 되도록 하여 각각 구성하였다. 팬터계측장치의 구성은 Fig. 6과 같이 데이터수집장치(DAQ)와 무선송신기, 무선수신기 및 DAQ 전원공급장치로 구성한다. 센서로부터 측정된 계측신호는 DAQ에 수집되고

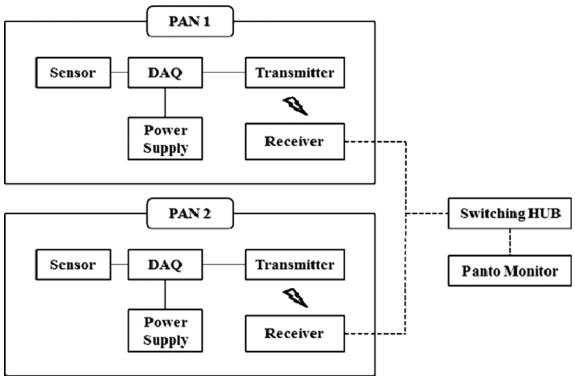

Fig. 6 Block diagram of pantograph measurement equipment

무선송신기를 통해 무선수신기로 전송되어 광케이블을 통해 팬터모니터링부로 전송되어 모니터링이 가능하도록 하였다. 팬터그래프의 성능평가를 위한 시험항목은 접촉력, 이선률 측정, 상승/하강, 양력측정시험이며, 계측항목은 펜헤드 가속도, 집전판온도, 접촉력 등 샘플링은 1KHz이다. 팬터계측을 위한 계측채널수는 14패널로써 M1차량(PAN1) 및 M4차량(PAN2) 총합 28채널이 소요된다.

G7과 TTX에서는 1대의 팬터그래프를 계측하였으나, 본 연구에서는 2대의 팬터그래프를 모두 계측 및 모니터링이 가능하도록 구축하여 상·하행시 모두 집전장치의 성능시험이 가능하도록 하였다.

2.4.3 모니터링장치

모니터링장치는 Fig. 7과 같이 추진성능, 차량온도, 주행성능, 대차제동, 팬터, 통신계측모니터링부로 분류한다. 각 차량계측장치에서 수집된 계측데이터는 광케이블을 통하여 각 모니터링부로 전송되어 현시되고 통신계측모니터링 및 차륜/궤도 작용력 계측모니터링은 별도로 현시되도록 구성하였다.

2.4.4 통신계측장치

통신계측장치는 차량제어용 신호를 계측하는 장치로써 사전에 선택한 네트워크 신호를 VCU(Vehicle Control Unit)에서 RS-485로 전송하고 통신계측프로그램을 통해 통신계측

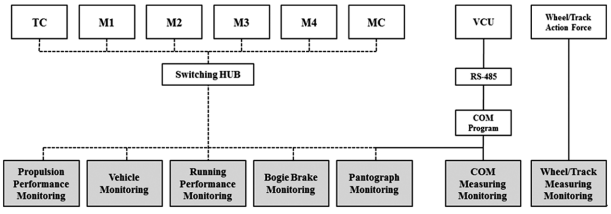

Fig. 7 Block diagram of monitoring equipment

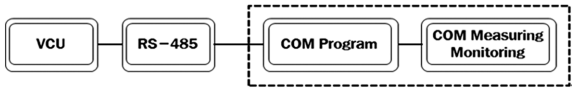

Fig. 8 Block diagram of communication measuring equipment

모니터링부에서 모니터링 및 저장이 가능하도록 하였다. Fig. 8은 통신계측장치의 구성도이다.

2.4.5 영상장치

영상장치는 Fig. 9와 같이 팬터, 휠/레일 및 대차영상장치로 구성되며 이에 따른 영상카메라는 팬터영상부 2대, 휠/레일영상부 4대, 대차영상부 10대로 총 16대가 소요된다.

영상장치의 조명은 LED를 이용하고, 조명 고정을 위한 브라켓은 주행 중 진동 및 충격에 의해 파손될 상황을 대비하여 견고히 고정해야 할 것으로 사료된다. 영상장치의 전원은 각 차량에 설치된 차량계측장치의 UPS 전원을 이용하고 측정된 영상은 종합계측실 랙에 설치되는 DVR(Digital Video Recorder)에 저장되도록 하였다. 각 영상장치의 주요사항은 다음과 같다.

팬터영상장치는 팬터그래프(Pantograph)가 설치된 M1차량과 M4차량에 각각 구성하였다. 팬터영상은 Fig. 10과 같이 선택스위치에 의해 팬터1 또는 팬터2를 선택 가능하도록 하였고, 팬터영상과 차량의 속도, KP신호 등을 합성한 영상이 현시가능 하도록 구성하였다.

휠/레일영상용 카메라는 TC차량과 MC차량에 각각 2개씩 설치하고, 실시간영상합성장치를 이용하여 휠/레일영상과 차량의 속도, KP신호 등을 합성한 영상을 팬터영상장치와 동일한 방식으로 휠/레일모니터링 부에서 모니터링이 가능하도록 구성하였다.

대차영상용 카메라는 TC차량 MC차량에 각각 1개씩 설치하고 M1, M2, M3, M4차량에 각각 2개씩 총 10개의 영상카메라를 설치하여 대차의 영상을 실시간으로 모니터링이 가능하도록 구성하였다.

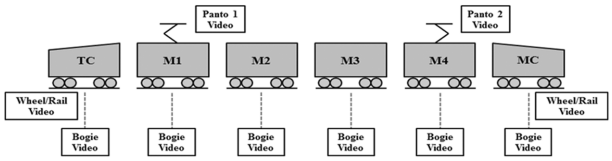

Fig. 9 Block diagram of video equipment

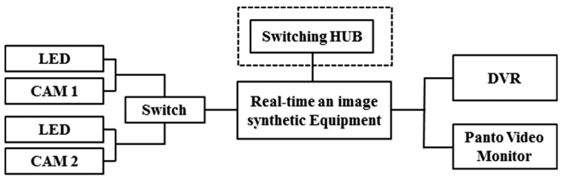

Fig. 10 Block diagram of pantograph video equipment

2.4.6 중앙제어 및 전원제어장치

중앙제어장치는 차량계측장치, 팬터계측장치, 모니터링장치, 통신계측장치, 영상장치에 대해 계측 시 계측시작(Start), 저장(Save), 저장종료(Stop) 각 시점을 동일하게 제어하며, 차량계측장치, 팬터계측장치, 통신계측장치에 대한 정상작동여부를 현시되도록 하고, 차량계측장치에서 측정되는 데이터를 차량계측장비별로 선택하여 모니터링이 가능하도록 하였다.

2.4.7 차륜/궤도 작용력 계측장치

차륜/궤도 작용력 계측 이전에 응력포인트 색출을 위한 구조해석과 윤축제작 및 정하중시험이 요구된다. 측정용 윤축은 차량특성에 의한 영향이 가장 큰 TC차량 전부에 장착하도록 하였다. 측정용 윤축의 스트레인게이지 출력은 Fig. 11과 같이 회전체에서 고정체로의 신호전송장치를 통해 Data Recorder에 저장하고 모니터링 및 제어가 가능하도록 하였다.

계측 시 대차와 차체간의 상호변위를 고려하여 견고히 고정하고 단락에 주의하며, 계측선은 유도장애가 발생되지 않도록 쉴드(Shield)선을 이용한다. 전원은 종합계측실의 UPS 전원을 사용하고 전원제어장치의 On/Off 명령에 의해 제어가 가능하도록 구성하였다.

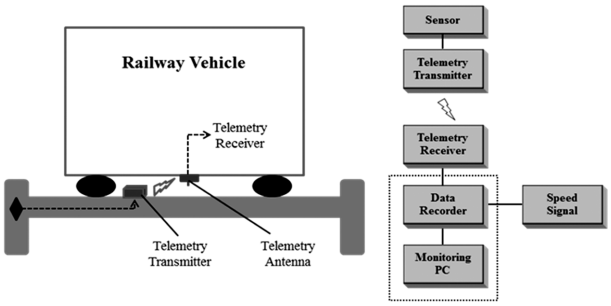

Fig. 11 Block diagram of wheel/track action force measuring equipment

2.4.8 종합계측실

계측시험에 대한 총괄 모니터링을 위한 종합계측실은 Fig. 12와 같이 계측시험 모니터링 부와 회의용 공간 등으로 구성하였다[7]. 모니터링부 좌·우측엔 모니터링용 PC, 영장저장을 위한 DVR, 전원제어장치, 위치검측시스템, 전원제어장치, UPS(AC220V, 30A), 스위칭허브 및 차륜/궤도 작용력 계측을 위한 텔레메트리 수신기가 내장될 수 있도록 랙을 구성하였다.

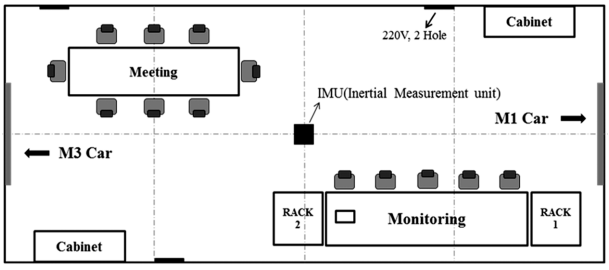

Fig. 12 Composition of overall measuring room

3. 결 론

본 논문에서는 최고시험속도 400km/h이상인 동력분산식 HEMU-400X의 성능을 평가하고 고장을 진단하기 위한 종합계측시스템 개발에 관하여 연구하였다. 종합계측시스템은 각 차량에서 측정되는 계측결과를 한 곳에서 총괄 모니터링 및 제어가 가능하도록 구성하는 것을 원칙으로 하였다. 이와 같이 구성된 종합계측시스템은 HEMU-400X의 안전성과 신뢰성 및 열차성능평가기술 향상에 이바지 할 것으로 판단된다. 현재 종합계측시스템 설계 보완을 위한 연구가 진행중이며 향후에는 종합계측시스템 하드웨어 및 소프트웨어 구축을 완료하여 본선시운전을 통한 열차성능평가시험에 집중적인 연구를 수행 할 예정이다.

후 기

본 연구는 국토해양부 미래철도개발사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Paolo Masini and Giovanni Puliatti (1997) Virtual Acquisition System for Global Analysis (VSGA) in Experimentation, WCRR, pp. 279-286.

[2] S.W. Kim, Y.J. Han, Y.G. Kim, S.I. Seo et al. (2004) A Study on Performance Test and Evaluation Technology of Tilting Vehicle, Proceeding of the KIEE Conference, pp. 272-274.

[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] 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.

[5] Y. J. Han et al. (2004), “A study on running characteristic of high speed train”, APAP, pp. 581-583.

[6] 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.

[7] Y.Y. Lee, S.H. Ryu, B.R. Kim, K.T. Kim (2010) A Study on Overall Measurement System design of HEMU, *Proceedings of the KSR Conference*, pp. 331-331.

접수일(2011년 4월 5일), 수정일(2011년 7월 12일),
게재확정일(2011년 11월 3일)