

고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(I) - 하드웨어 (Development of Measuring System for On-Line Test and Evaluation of High Speed Rail(I) - Hardware)

김석원* 김영국* 백광선* 김진환* 한영재*
Seogwon Kim Youngguk Kim Kwangsun Baik Jinhwan Kim Youngjae Han

ABSTRACT

In this paper, we introduce the hardware of the measuring system for on-line test and evaluation of high speed rail. It is composed of 6 DAMs(Data Aquisition modules), 2 monitoring modules and 1 main computer. Each of DAMs is connected many kinds of sensors, such as accelerometers, thermocouples, strain gauges, volt meters, current meter, odometer, and measures the signals from sensors, saves it and displays it on the displayer. Two monitoring modules monitor the major signals transferred from DAMs. A main computer controls 4 DAMs(DAM1, DAM2, DAM31 and DAM32) and 2 monitoring modules and also monitors the major signals transferred from DAMs.

1. 서론

300km/h(시속 300km)이상의 고속철도가 개발됨에 따라 세계적으로는 철도의 르네상스를 맞이하고 있다. 이와 함께 100년 이상의 철도 역사를 갖고 있는 국내의 경우도 철도를 한 단계 도약시키기 위해 2004년 4월에 개통을 목표로 300km/h 급의 고속열차를 프랑스로부터 도입하여 현재 시험선 구간에서 시운전시험 중에 있다. 또한, 이와는 별도로 국가의 전략적 사업으로 추진중인 선도기술개발(G7)사업 중의 하나인 고속전철기술개발사업에서는 최고운행속도 350km/h의 한국형 고속전철시스템을 개발하고 있으며, 개발사업의 마지막 해인 2002년 현재 경부고속철도의 시험선 구간에서 시운전시험을 진행중이다. 시운전시험평가는 개발된 한국형 고속전철의 기능과 성능이 설계 요구사항을 만족시키는 지를 판단하기 위해 필요하다. 시운전시험은 대략 16개의 성능(세부 시험 45개)을 확인하기 위해 차상(열차 내부, 11개 성능시험에 대해 31개 세부시험)과 지상(열차 외부, 5개 성능시험에 대해 14개 세부시험)시험으로 구분되며, 전체 계측항목은 약 80개이며 전체 측정채널수는 약 400개에 이른다. 이렇게 많은 항목을 효과적으로 측정 및 평가를 수행하기 위해서는 체계적이고 효율적인 시험계측시스템의 구축이 필수적이다.

2. 시제열차

고속전철의 기본편성인 20량 편성의 열차에 대한 기능과 성능을 확인하기 위하여 제작되는 시제열차는 7량 1편성이며, 차량배치 및 차량별 용도는 그림1 과 같다. 표1은 시제열차의 사양의 일부를 나타낸 것이다.

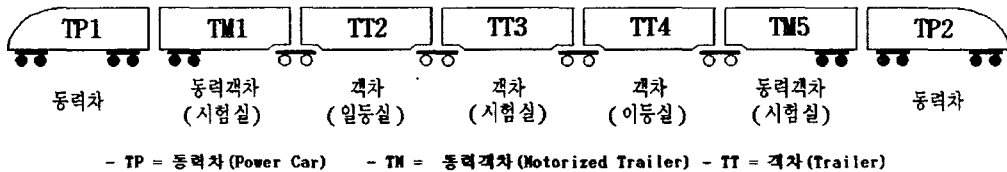


그림1 시제열차 차량배치 및 차량별 용도

* 한국철도기술연구원 고속전철기술개발사업단

표1 시제열차의 사양(일부)

항 목		내 용	항 목		내 용
열차 치수	열차길이(최대)	145 m	추진	전동기 수량	12 EA
	열차 폭(최대)	2.97 m		전동기 출력(1대)	1,100 kW
대차수량	동력대차	6 Sets	열차부계	W0	321.8 톤
	부수대차	4 Sets		W1	328.6 톤
차륜직경	신차륜	0.92m		W2	331.0 톤
	반마모	0.885m		W3	430.3 톤
	완전마모	0.85m	최대축중	17.0 톤	

3. 계측시스템의 요구사항

3.1 시운전 시험항목

시운전시험의 시험항목과 측정항목은 아래의 4개 사항을 검토하여 선정되었으며, 상세한 사항은 표2와 같다.

- ◆ 시운전시험과 관련된 각종 규격(JIS E 6004, IEC 1133, UIC 610 등)의 검토
- ◆ 고속철도 및 기존철도의 시운전 시험사례(경부고속철도, ICE-V, 동해도신간선, 일본 400계 EMU, 500계 신간선, 381전차, 국내 전동차 등)의 조사 검토
- ◆ 고속전철시스템 기본사양에 제시된 성능 요구사항 만족여부의 판단하기 위해 필요한지 검토
- ◆ 시운전시험을 통해 일부 개발부품에 대한 성능확인하기 위해 필요한지 검토

시운전시험에 대한 주요한 사항을 요약하면 다음과 같다.

- ◆ 각 시험항목을 각 성능시험별로 구분
- ◆ 차상에서 수행하는 성능시험(11개 성능시험으로 구분)
 - 주행성능, 대차주행성능, 차체진동, 제동성능, 유도장애(차상시험), 집전장치성능, 주행저항, 차내소음, 냉난방/환기성능, 제어 및 감시, ATC
- ◆ 지상에서 수행하는 성능시험(5개 성능시험으로 구분)
 - 유도장애(선로변시험, 변전소시험), 차외소음, 공력특성, 레도성능, 교량구조물성능
- ◆ 각 성능별로 세부시험항목
 - 총 45개 시험항목 (차상 시험항목 31개, 지상 시험항목 14개)
- ◆ 계측항목 및 측정채널수
 - 세부시험항목별 측정항목 및 측정채널에 대하여 정의
 - 약 80개의 측정항목 및 약 400개의 측정채널
 - 측정신호의 측정주파수는 수 Hz에서 수천 Hz까지로 다양

3.2 계측시스템 구성의 기본방향

시운전시험은 차상시험과 지상시험으로 나누어지며, 상시계측이 필요한 경우와 그렇지 않은 경우(특별한 경우에만 계측이 필요) 등 계측 조건이 다양하고 시험계측항목도 많기 때문에 1개의 계측시스템으로 모든 측정하는 것은 불가능하므로 아래와 같은 기본방향을 정해 계측시스템을 구성하도록 하였다.

- ◆ 지상시험은 차상시험과 별도의 계측시스템으로 지상에 설치하여 운영하도록 한다.
- ◆ 차상시험항목 중 상시 모니터링 및 계측이 필요한 시험(주행성능, 대차주행성능, 제동성능, 집전성능)의 계측장비는 시험차량에 탑재하여 시운전시험시 계속적으로 운용하며, 필요한 데이터를 연속적으로 측정하도록 한다.
- ◆ 상시 계측이 필요하지 않고 특정한 조건에서 계측이 필요한 성능시험은 별도의 계측시스템을 사용하는 것을 기본으로 한다.
- ◆ 계측된 Data의 보관 및 분석을 위하여 Tape Recorder 또는 CD-Writer 등의 별도 기록장치를 갖추도록 한다.

- ◆상시 계측장비(계측모듈)는 TM1, TT3 및 TM5에 설치되며 Network Line을 통해 상호 필요한 정보를 서로 공유하며, 각 계측장비에서 측정된 결과는 TT3에 설치된 Server로 전송되어 체계적으로 보관토록 한다.
- ◆상시 측정항목 중 안전, 제동성능 및 주행성능과 관련된 주요 계측항목은 별도의 모니터링 장치를 설치하여 TT3에서 계속적으로 모니터링을 할수 있도록 한다.
- ◆각기 분산된 계측모듈이 동기화되어 작동할 수 있도록 한다.
- ◆개발열차의 운행조건이 많은 전기적인 노이즈를 수반하므로 이에 대한 대비책을 갖도록 한다.
- ◆시운전시험 도중에 갑작스런 전원 차단으로 인해 계측데이터를 손실되지 않도록 한다.

표2 시제열차의 시운전 시험항목(안)

성능	세부시험항목	계측항목	성능	세부시험항목	계측항목
주행성능	• 가속성능	거리, 속도, 가속도, 총동, 역률 공전상태:차속회전수, 전인력, 전차선 전압, 전차선 전류, 모터블록 전압, 모터블록 전류 전동기 전압, 전동기 전류	유도 장에 시험	• 유도장에 차상시험	전차선전압/전류, 전계/ 자계 강도
	• 주행성능	속도/운전시간, 트랜스포머 온도상승, 모터블록 온도상승, 보조블록 온도상승, 전동기 온도상승, 소비전력량, 공기압축기 가동율		• 유도장에 선로변 시험	전기장, 자기장
	• Preset Speed	설정속도, 실제속도, 역행 및 제동모드 변환	• 변전소 유도장에	고조파전압, 임피던스, 역률	
	• 최고속도시험	전압, 전류, 역율, 거리, 속도, 가속도, 시간	• 점속력(정적)		
대차 주행 성능	• 차륜/궤도 작용 력	윤증, 횡압, 탈선계수	집전 장치 성능	• 이선물	아크발생수, 아크지속시간
	• 대차진동특성	상하방향, 좌우방향, 전후방향 진동가속도		• 판토그래프의 동특성	점속력, 집전관 수직변위, 비디오 모니터링/레코딩
	• 대차강도	주요부위 용력	차내 소음	• 객실소음	소음레벨, 주파수분석
	• 베어링 온도상승	윤축베어링, 감속구동장치 베어링 온도		• 운전실소음	소음레벨, 주파수분석
차체 진동 특성 시험	• 승차감	승차감	냉난 방/ 환기 성능	• 객실/운전실 HVAC	외기온도, 차내온도, 신선공기량, 순환공기량, 차내풍속분포
	• 차체진동특성	상하방향, 좌우방향, 전후방향 진동가속도, 롤링		• 객실/운전실 압력변동	압력
	• 차체사이의 작용력	차체사이의 작용력	제어 및 감시	SCU 및 TCN 설계후 항목조정.	
제동 성능 시험	• 제동성능	감속도, 속도, 총동, 제동시간, 공주시간, 제동거리, 활주상태(Wheel Slide) : 차속회전수, 전동기 전압, 전동기 전류, 제동실린더 압력	차외 소음		소음레벨, 주파수분석
	• 제동력	전기제동력, 공기제동력, 와전류제동력, 와전류제동장치 공급전압/전류/수직변위		공력 특성	• 터널 입/출구 내부압력특성
	• 온도상승	디스크/패드, 와전류제동장치, 레일	궤도 성능		• 방음벽에서의 공력특성
	• 추차제동	기능검사		• 정차장에서의 공력특성	압력, 풍속
주행 저항		속도, 감속도	교량 구조 불 성능	• 성토구간에서	Rail, 침목 및 체결구, 도상, 콘크 리트 Slab 등에서의 굽힘용력, 변 위, 가속도 및 동특성
				• 교량에서	
			교량 구조 불 성능	• 터널에서	Rail, 침목 및 체결구, 도상, 콘크 리트 Slab 등에서의 굽힘용력, 변 위, 가속도 및 동특성
				• 장기적인 궤도성능평가	
			교량 구조 불 성능	• PC Box 교	진동가속도, 교량 단부 격임각 및 면롤림, 교량 각부력, 신/제동시 거동, 충격계수
				• 라멘교	
			교량 구조 불 성능	• RC Slab	진동가속도, 교량 단부 격임각 및 면롤림, 교량 각부력, 신/제동시 거동, 충격계수
				• PC Beam	
			ATC		제한속도현시, 비상자동제동, 제동 거리

4. 계측시스템의 구성

4.1 Hardware 인터페이스

Hardware적인 인터페이스는 계측을 위해 사용되는 센서와 각 계측모듈과의 연결 및 계측모듈과 모니터링장치 및 Main Server간의 연결에 필요한 것이다. 많은 센서들은 센서와 각 계측모듈간의 거리가 먼 차량 외부나 고전류/고전압이 걸리는 전장품에 장착되기 때문에 계측신호의 잡음(noise)문제가 발생되기 쉽기 때문에 신호선의 적절한 선정 및 전기적인 절연(isolation) 등이 중요하게 된다. 아래의 기준으로 Hardware적인 인터페이스를 수행한다.

◆ 센서와 차량 관통 신호선의 연결

- 케이블의 설치가 단차 조립 과정에서 수행되고 센서의 설치는 센서의 보호 및 설치 위치의 확정을 위하여 편성 조립 단계 및 조립 완료 후에 수행
- 센서로부터의 Lead Wire와 차량 관통 케이블과는 Connector를 이용하여 연결
- 신호선은 차폐연선(Twist shield pair cable), 이중 차폐동축선(Double shield cable)을 사용하여 신호선의 길이에 따른 잡음을 최소화

◆ Amplifier 사용

- 데이터 수집 모듈 이전에 Signal Conditioner가 필요한 경우는 Amplifier를 사용하며, 이 경우 차량 관통 케이블의 배선은 Amplifier 까지만 수행하고 Amplifier에서 계측모듈까지의 배선은 계측모듈 설치시 수행
- 시운전시험 환경은 전자장 환경이 열악하므로 미세 신호를 측정하는 신호 중에서 스트레인 게이지 및 RTD로부터 측정되는 신호에 대하여 전처리함.
- Signal Conditioner가 필요 없는 경우에는 차량 관통 케이블을 계측모듈까지 연장하여 배선
- 가능한 한 계측모듈은 전기적 절연된 모듈을 사용하는 것을 원칙으로 하며, 그렇지 못한 경우에는 Isolator를 사용하여 전원과 신호선을 절연시킴
- 스트레인게이지는 6 wire-Full bridge Amp.를 이용하여 Exciting voltage(+10V)의 전압강하가 발생하지 않도록 함
- 일부 Thermocouple의 경우는 운모를 사용하여 절연시킴

◆ 차량 내부에서의 배선

- 차량 내부에서는 연결통로를 통하여 배선
- 동력차에서 동력객차까지 배선이 필요한 경우 동력차와 동력객차 사이의 연결 부위에 별도의 Connector를 설치하여 차량이 분리될 경우 및 피계측장비의 분리에 대비

◆ 계측모듈의 전원

시제차에서 공급되는 AC220V의 전원은 변조된 전원이 공급되므로 UPS를 설치하고, UPS의 출력전원을 측정모듈에 공급. 또한 시운전시험 도중에 갑작스런 전원의 차단(사구간 통과, 이선발생 등)에 따른 대응책으로 UPS에서 30분 이상의 전원을 출력하도록 함

4.2 상시 계측시스템의 구성

상시 계측시스템은 그림2에서 볼 수 있듯이 6개의 계측모듈과 2개의 모니터링 장치 및 Main server(안전 모니터링으로 이용)로 구성되며, 이들에게서 계측되는 내용은 표3과 같다. 4개의 계측모듈(DAM1, DAM2, DAM31, DAM32)과 2개의 모니터링 장치 및 Main server는 Network Line으로 연결되어 계측데이터를 공유하고 있으며, Main server에 의해 제어되도록 되어있다. 4개의 각 계측모듈에서 계측신호에 대해 항상 모니터링이 가능하며 별도의 모니터링(제동, 주행) 및 Main computer장치에서 상시 모니터링할 수 있도록 되어있다.

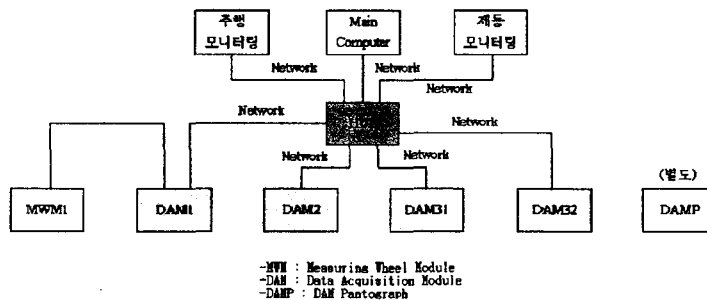


그림2 시험계측시스템 구성

DAMP는 집전장치성능시험용으로 별도로 계측 및 모니터링되도록 되어 있다. MWM1은 대차주행 성능을 확인하기 위한 장치로 별도의 운용이 가능하며 DAM1과 연결시켜 일부 중요 출력신호를 DAM1 및 Main computer와 공유할 수 있도록 되어 있다.

표3 시험계측 모듈별 주요 계측 내용 및 구성 방법

구분	주요 측정 내용	시스템 구성
MWM1	- 주행안전성 측정 - 측정차륜의 운동, 횡압, 탈선계수	- 별도 전용장비 - 철도연 보유
DAMP	- 집전성능 측정	- VXI 모듈로 구성
DAM1	- 대차 및 차축가속도 측정 - 감속 구동장치 온도 측정 - 동력차의 기계적인 특성 측정	- PXI/SCXI 모듈로 구성
DAM2	- 공기계동성능 측정 - 와전류계동성능 측정 - BC압력, 공기계동력 측정 - 와전류계동력, 전자식 온도	- PXI/SCXI 모듈로 구성
DAM31	- 주행성능 관련 측정 - 주전력변환장치 등 차량의 전기적인 특성 측정 - 견인전동기 특성 측정	- PXI/SCXI 모듈로 구성
DAM32	- 주행성능 및 제동성능 관련 측정	- PXI/SCXI 모듈로 구성
Main Server	- 분산된 계측 모듈의 관리 - 각 모듈에서의 계측결과 저장 및 필요 사항 연산 - 안전 관련 사항 모니터링	- Server 구성
모니터링	- 제동성능 및 주행성능 주요 계측항목 모니터링 - 필요사항 일부 연산	- PC로 구성

그림3은 시험계측 모듈이 시제차량에 탑재된 배치도를 나타내며, 그림3에서 볼 수 있는 바와 같이 TM1에 MWM1과 DAM1이, TT3에 DAM2, 모니터링(제동, 주행)과 Main server가, TM5에 DAM31, DAM32와 DAMP가 설치되어 있으며, TT3에서 중요한 계측신호의 모니터링이 가능하다.

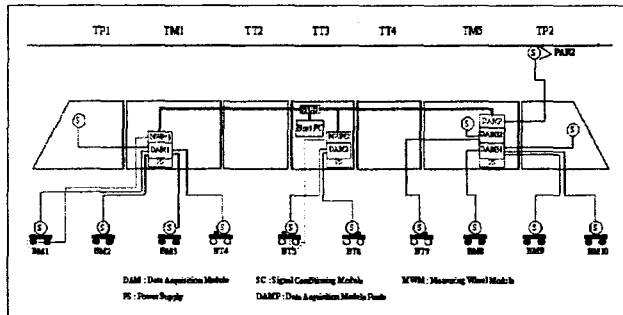


그림3 고속전철 시제차량 시험계측시스템 구성 및 배치도

또한, 이와 별도로 시제차의 첫째 차륜과 마지막 차륜과 레일과의 상호 움직임을 관찰하기 위한 화상장치가 TT3에 설치되어 있고, 가선과 팬도그래프의 움직임을 관찰하기 위한 화상장치가 TM5에 설치되어 있다. 그림4는 계측모듈(DAM1, DAM2, DAM31, DAM32)별 계측시스템의 구성 예를 상세히 나타낸 것이며, 표4는 DAM1 계측모듈에 대해 National Instruments사 장비와 주요사양을 나타낸 것이다. 계측모듈과 연결되는 센서는 가속도계(ICP, K-beam), Thermocouple(J, K, RTD), 스트레인게이지, 압력계, 전압계, 전류계, 경사계, 비접촉 온도센서 등 다양한 종류가 사용되고 있다.

9. 맺음말

고속전철기술개발사업에 의해 개발되는 시제차의 종합적인 성능확인을 위한 시운전시험이 현재 경부고속철도 시험선 구간에서 진행중에 있다. 400개의 계측항목에 대해 효율적으로 측정 및 평가를 위해 종합적인 계측시스템의 구축이 필요하며, 이를 위해 상시 계측시스템과 비상시 계측시스

템으로 나누어 계측시스템을 구축하였다. 상시 계측시스템은 Network을 기반의 계측, 저장 및 모니터링이 가능한 시스템으로 구축하였고, 비상시 계측시스템은 필요할 때마다 계측을 원하는 연구기관에서 보유하고 있는 기존 장비를 이용하도록 하였다. 많은 시행오차를 거친 후에 안정화된 상시 계측시스템이 구축되어 시제차의 종합적인 성능평가에 활용되고 있다.

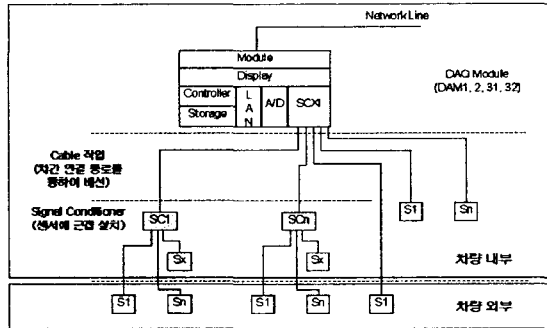


그림4 모듈별 계측시스템 구성 상세도

표4 DAM1의 장비 및 주요 사양

구분	주요 사양	수량
PXI1010	PXI/Compact PCI Chassis with Integrated SCXI, PXI/SCXI : 8slot/4slot	1
PXI170	Embedded controller, 800MHz, 256MB DRAM	1
PXI6070E	Multifunction I/O, Analog Input : 16SE/8DI, Sample Rate : 1.25MS/s	2
PXI8210	Fast Ethernet and Wide Ultra SCXI Interface	1
SCXI1001	SCXI Chassis, 12 SCXI slot	1
SCXI102C	32ch Analog Input Module, 333kS/s, Low Pass Filter per channel : 10kHz	2
SCXI120	8ch Isolation Amplifier, 333kS/s, 300Vrms Working Isolation per ch.	1
SCXI1531	8ch Accelerometer Input Module, ICP Compatible Accelerometer, BNC	6
SCXI180	Feedthrough Panel	2
SCXI320	SCXI120 Terminal Block	1
SCXI303	SCXI102C Terminal Block	2
SH6868R1	Chassis Connecting Cable	1

후기

본 내용은 건설교통부와 산업자원부 및 과학기술부에서 시행한 선도기술개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

참고문헌

1. 고속전철시스템 기본사양, 1998. 3, 한국철도기술연구원
2. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(1999), 건교부, 통산부, 과기처
3. 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2000), 건교부, 산자부, 과기처
4. 한국형 고속전철 차량시스템 열차편성 및 기본 설계기준, 1999, 한국생산기술연구원
5. 고속전철기술개발사업 시험평가 종합계획(안), 1999, 한국철도기술연구원
6. The Measurement and Automation catalog, 2001, National Instruments