

한국형 고속철도차량의 추진 및 제동 특성에 관한 연구

김석원*, 한영재*, 김진환*, 백광선*, 전영욱**, 노애숙***
 *한국철도기술연구원, **유진전기공업, ***ROTEM

A Study of Traction and Braking of Korean High Speed Rail Vehicle

SengWon Kim*, YoungJae Han*, Jinhwan Kim*, Kwangsun Baik*, YoungOok-Jeon**, Aesook Kno***
 *Korea Railroad Research Institute, **YUJIN, ***ROTEM

Abstract - In this paper, we studied for performance of traction and braking for on-line test and evaluation of korean high speed rail vehicle. It is composed of 6 DAMs(Data Acquisition Modules), 2 monitoring modules and 1 main computer. The software should set and control the hardware of the measuring system, perform the analysis and calculation of measuring data and interface between users and the measuring system. As a result, It has been shown a good performance of traction and braking for test vehicle.

1. 서 론

고속철도차량의 국내기술확보를 위해 선도기술개발(G7)사업 중의 하나로 최고운행속도 350km/h의 한국형 고속전철시스템을 개발하여 단품시험, 완성차시험, 공장시험 등을 통해 기본적인 성능을 확인한 후 현재는 본선시운전 시험이 진행중이다.

철도차량의 안전성과 신뢰성 확보를 위해 가장 중요한 것은 추진 및 제동장치와 관련된 성능이라고 할 수 있다. 추진 및 제동장치의 성능 및 기능을 종합적이고 효율적으로 확인하기 위해 고속철도 시운전시험시 상시 계측시스템을 이용하였다. 상시 계측시스템은 추진과 제동장치와 관련된 계측 신호를 수집, 저장 및 분석을 할 수 있으며, 그 외의 다른 신호들도 동시에 측정할 수 있다. 상시 계측시스템의 하드웨어는 National Instruments(NI)의 하드웨어를 사용하였고, 소프트웨어는 LabVIEW 6i를 이용하였다.

본 연구에서는 위와 같이 구성된 상시 계측시스템을 통하여 추진 및 제동장치와 관련된 각 신호를 실시간으로 입력받아 데이터를 저장한 후, 후처리 프로그램을 통해 필요한 정보를 얻을 수 있었다. 이를 통해 고속철도차량의 추진 및 제동장치의 성능 특성을 확인할 수 있었다.

2. 본 론

2.1 시제열차 편성

고속전철의 기본편성인 20량 편성의 열차에 대한 성능 확인을 위해 제작되는 시제열차는 7량 1편성이며, 차량배치 및 차량별 용도는 그림 1과 같다. 표 1은 시제열차의 사양의 일부를 나타낸 것이다.

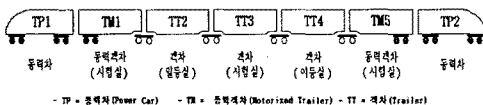


그림 1. 시제차량의 배치

표 1. 시제차량의 주요사양

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

2.2 시험계측시스템의 구성

시험계측시스템은 6개의 측정모듈과 2개의 모니터링 장치 및 Main server(안전 모니터링으로 이용)로 구성되며, 각 측정모듈 및 별도의 모니터링(제동, 주행) 장치에서 상시 모니터링할 수 있도록 되어있다. 그림 2는 시험계측시스템의 구성도를 나타낸다.

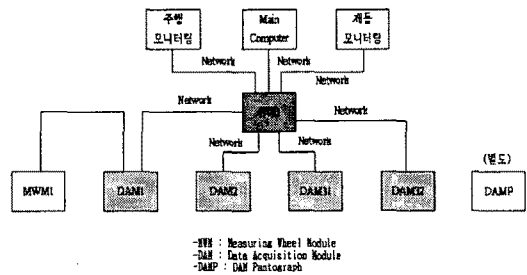


그림 2. 계측시스템 구성

4개의 계측모듈(DAM1, DAM2, DAM3, DAM4)과 2개의 모니터링 장치 및 Main server는 Network Line으로 연결되어 계측데이터를 공유하고 있으며, Main server에 의해 제어되도록 되어있다. 4개의 각 측정모듈에서 계측신호에 대해 항상 모니터링이 가능하며 별도의 모니터링(제동, 주행) 및 Main computer장치에서 상시 모니터링할 수 있도록 되어있다.

고속전철 시제차량 시험계측시스템의 구성 및 배치도를 그림 3에서 보여주고 있다. 그림 3에서 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.

추진 및 제동장치의 주행 성능을 측정하기 위한 시험 계측시스템은 메인이라고 할 수 있는 DAM이외에 변환기, 단자대, 전류/전압 센서, 온도센서, 가속도센서 등이 있다. 변환기는 DAM에 연결되는 각종 신호들 중 전기적 입력 조건이 맞지 않는 신호들을 전기적으로 변환시켜 주는 역할로서 내부적으로 전류/전압 변환 회로, 플업 저항 회로, 전압 레벨 변환 회로가 장착되어 있다.

단자대는 시험에 관련된 케이블에 대한 신호선들을 모아주고 분배해주는 역할을 하는 단자대로 이루어져 있다. 단자대는 센서, 전원공급기 및 변환기에 연결되는 선들이 전기적으로 연결될 수 있도록 하는 기능과, G7 시제차 차량이 분리될 경우 차량간에 길게 연결된 선들의 분리가 용이하게 하는 기능이 있다. 그림 4는 TP2에 설치되어 있는 단자대의 실제 외형이다.

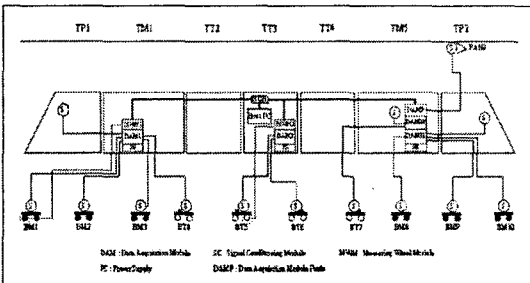


그림 3. 시험계측시스템의 구성 및 배치도



그림 4. TP2 단자대의 외형

2.3 프로그램 개발환경

LabVIEW는 가상 계측기(VI)라 불리는 소프트웨어 객체들을 그래픽으로 조합하는 프로그래밍 방법을 제공하고 있으며, LabVIEW를 이용하여 사용자들은 직관적인 그래픽 프론트 패널을 통해 시스템을 제어하고 결과를 표현할 수 있다.

기능을 규정하기 위해 사용자들은 블록 다이어그램을 직관적으로 조합하여 프로그램을 할 수 있다. GPIB, VXI, 시리얼 장치, PLC, 플러그-인 데이터 수집(DAQ) 보드 등을 포함하는 여러 장치로부터 데이터를 수집할 수 있으며 네트워크, 어플리케이션간의 통신, SQL데이터베이스 링크 등을 통하여 기타 데이터 소스를 이용할 수도 있다. 데이터를 수집한 후 LabVIEW의 강력한 데이터 분석 루틴을 사용하여 미 가공 데이터를 의미있는 결과로 전환할 수도 있어 프로그램 개발은 LabVIEW를 사용하여 개발하였다. 자세한 사항은 다음과 같다.

1) Operating System : Windows 2000 Professional

2) 계측 시스템 Platform : PXI/Compact PCI
3) Development Tool : LabVIEW 6i

2.3.1 계측프로그램 요구사항

먼저, 각각의 데이터 수집 및 처리 프로그램 작성하도록 하였다. 프로그램은 계측 물리량의 종류 및 계측 방법에 따라 효과적인 측정이 가능하도록 구성하며, 계측 항목의 변경이 있을 경우 이에 대한 손쉬운 변경이 이루어지도록 프로그램 모듈별 객체지향형 프로그램으로 작성하였다. 데이터 수집을 위한 초기 설정 단계에서 채널별 Configuration이 가능하도록 설계하였다.

계측 데이터의 수집이 원활하도록 하며, 필요한 연산 코딩의 알고리즘이 포함되도록 작성하였고, 계측신호의 시그널 컨디셔닝에 대하여 사용자가 정의할 수 있도록 하였다. 측정 데이터 및 연산 결과에 대한 저장에 효과적으로 이루어져야 하기 때문에, 시간, 속도 등의 기준이 되는 파라미터 값들과 각각의 모듈에 대한 신호 데이터가 동시에 기록되도록 하여 분석시 데이터의 동기화가 가능하도록 시스템 통합 고려하여 설계하였다.

모든 계측데이터는 저장파일이 효율적인 관리 저장되도록 하였고, 일부 항목에 대한 시험 계측 과정에서 데이터의 수집, 저장과 디스플레이 되도록 시스템을 구성하고 인터페이스 설계하였다.

2.4 후처리 프로그램

4개의 계측모듈에서 계측된 모든 채널의 데이터를 동기시간과 함께 이진수로 저장을 한다. 시운전시험동안 1시간의 시험을 했을 경우에 약 4.5GB의 용량을 가지며, 실제 계측은 2시간 이상이 필요한 경우도 많기 때문에 가능하면 데이터의 저장용량을 줄이기 위해 이진수로 저장을 하도록 하였다. 각 모듈에 저장된 데이터는 그림 5의 계측데이터 처리 흐름도에서 볼 수 있듯이 외장 Hard Disk에 백업되며, 후처리 프로그램을 통해 시험 결과를 분석할 수 있다.

후처리 프로그램은 분리/계산과 분석의 2과정으로 나누어진다. 분리/계산과정은 저장된 모든 채널의 데이터를 동기시간에 대하여 각 채널별로 분리시키고 동시에 특정한 목적에 필요한 계산을 수행한다. 이 과정에서 채널별로 분리된 데이터 및 계산데이터는 각 채널이름 및 계산에 사용된 이름으로 각각 저장된다. 예를 들면, 계측채널이 100개이고, 필요 계산값의 종류가 50개이면 150개의 파일이 생성된다.

본 연구에서 얻은 결과도 계측을 통해 얻은 자료들을 후처리를 실행한 뒤에 얻은 시험결과이다.

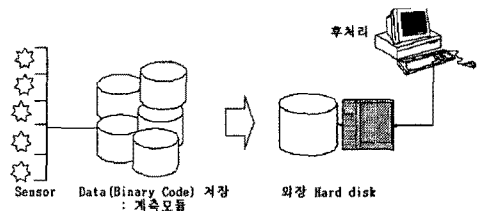


그림 5. 계측데이터 처리 흐름도

3. 시험결과

그림 6은 차량이 운행한 전체 구간에서의 추진가속신호, 제동가속신호 및 제동패턴에 대한 변화파형을 나타낸다. 추진가속신호가 출력된 후에 역행이 시작되고, 제동가속신호를 내보낸 후에 제동이 시작됨을 알 수 있다. 또한 제동패턴(PWM패턴)에 따라 속도의 기울기에 차이가 나타남을 볼 수 있다.

그림 7은 속도변화에 따른 토크지령치와 토크실측치의 변화를 비교한 결과이다. 토크지령치를 토크실측치가 추종함을 확인할 수 있다. 또한 토크지령치보다 토크실측치가 약간 늦게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

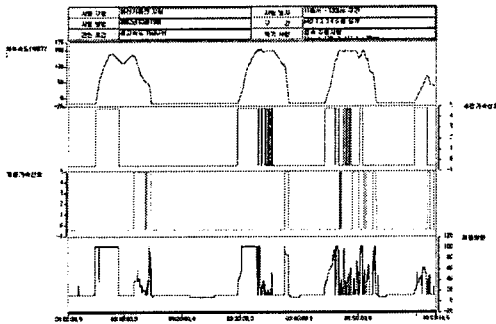


그림 6. 전체구간에서의 각종 신호 비교

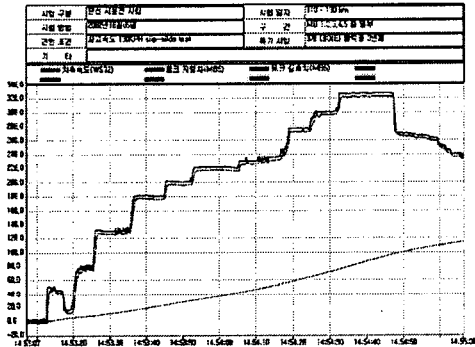


그림 7. 토크지령치와 토크실측치 비교

공기제동력 측정을 위하여 별도의 스트레인게이지를 장착한 캘리퍼와 행거를 제작 설치하였으며, 그 설치 위치는 다음과 같다.

- 1) 객차대차 : 2개소(DBU413, DBU521)
- 2) 동력객차 동력대차 : 1개소(WDBU81)

객차대차인 5번 대차에서의 측정결과는 그림 8과 같으며, 이를 이용하여 계산한 마찰계수는 그림 9와 같다. 수직력은 약 820kg, 마찰력은 약 270kg이 작용하였으며, 5번 대차 제동실린더 압력의 변화와 동일하게 작용함을 확인하였다. 실린더 압력은 3.3 bar가 작용하였는데, 이때 작용하는 수직력은 계산상 730kg 이어야 하기 때문에, 충분한 제동력이 작용함을 확인할 수 있었다.

마찰계수는 수직력과 마찰력을 이용하여 산정하였다. 제동 인가전 및 초기는 마찰계수의 산정이 수직력/마찰력이므로 미세 변동에 의한 값의 크기 변화가 커서 신뢰할 수 없어, 제동이 완전히 체결된 후의 값을 산정하였다. 그림 9와 같이 마찰계수는 속도가 감소함에 따라 미세하나 증가하는 현상을 보였으며, 마찰계수는 0.3~0.4의 범위내에 존재하며, 속도가 감소함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

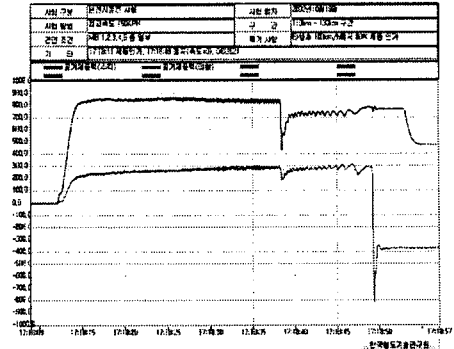


그림 8. 수직력과 마찰력의 비교

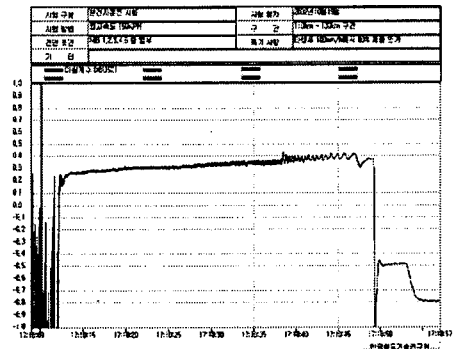


그림 9. 속도변화에 따른 마찰계수 변화

4. 결 론

본 논문에서는 오송기지에서의 본선시운전 시험을 통해, 철도차량의 핵심전장품인 추진장치와 제동장치의 성능을 살펴보았다. 각 장치의 성능을 확인하기 위해 고속철도 시운전시험을 위한 상시 계측시스템을 이용하였다. 상시 계측시스템은 추진과 제동장치와 관련된 계속 신호를 수집, 저장 및 분석을 할 수 있으며, 다른 장소에서 계측된 신호를 동시에 측정이 가능하다.

이와같이 구성된 시험계측시스템을 통해 한국형 고속철도차량의 추진장치와 제동장치와 관련된 여러 신호들을 입력받아 저장한 후, 후처리 프로그램을 통해 데이터를 분석하였다. 이를 통해서 한국형 고속철도차량의 추진장치와 제동장치의 성능특성을 확인할 수 있었다.

(참 고 문 헌)

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