

추진장치 성능측정 시스템에 관한 연구

한영재*, 김석원*, 김영국*, 박찬경*, 최종선**, 김정수**

A study on performance measurement system of traction equipment

Young-Jae Han*, Seog-Won Kim*, Young-Guk Kim*,

Chank-Kyoung Park*, Jong-Sun Choi**, and Jung-Su Kim**

요 약

한국형 고속철도차량(350km/h)은 7량 1편성으로 구성되어 있으며, 현재 오송기지에서 본선시운전 시험운행중에 있다. 이 차량에 취부된 여러 장치들의 성능을 확인하기 위해서 다양한 신호를 측정하기 위한 측정시스템이 구축되었다.

이 논문에서는 한국형 고속철도차량의 추진장치 성능측정 시스템에 대하여 서술하였다. 추진장치의 성능측정은 Motor Block의 성능확인에 초점을 맞추고 측정할 위치를 정하였다. 본선시운전 시험을 위해, 철도연에서 자체적으로 상시계측시스템을 개발하였으며, 이 시스템을 통해 추진시스템의 각종 전기신호를 입력받아 분석을 실시하였다. 이를 통해서 개발된 추진시스템의 성능을 확인할 수 있었다.

Abstract

The korean high speed train(350km/h), composed of 7cars that are 2 power cars, 2 motorized car and 3 trailer cars, has been developed and is under on-line test. To verify the design requirements about the functions and traction performances of this train, KRRRI(Korea Railroad Research Institute) decided to evaluate traction performances of the train during on-line test. For this purpose, such as torque, velocity, voltage and current, must be measured. KRRRI has developed the measurement system that can be measured vast and various signals effectively.

In this paper, we introduce traction performances of korean high speed train. The traction measurement items are focused on the verification of motor block performances. Motor block are consist of 2 motor. For this test, we verified traction performances of korean high speed train.

keyword : high speed train, traction, measurement, motor block

1. 서 론

철도차량의 안전성과 신뢰성 확보를 위해 가장 중요한 것은 각 전장품의 성능특성을 확인하는 것이며, 각 전장품의 성능 및 기능을 종합적이고 효

율적으로 확인하기 위해 관련 기업이나 연구소에 서는 많은 노력을 기울여왔다.

이 중에서도 추진장치는 차량의 안전과 성능을 좌우하는 핵심요소이기 때문에 철저하게 시험을 실시하고 있다. 현재, 추진장치에 대한 단품시험, 완성차시험을 실시한 후 오송기지에서 본선시운전 시험을 실시하고 있다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾

그러나, 지금까지는 추진장치 시험을 위해 대부분의 데이터들이 이날로그 값으로 기록되고 그래프 출력으로 끝나기 때문에, 자료를 분석할 때 애로점이 많았다. 이러한 것은 데이터분석의 정확성을 크

* 한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단 선임연구원

** 홍익대학교, 전자전기공학부, 교수
<접수일자 : 2003년 4월 20일>

게 떨어뜨리는 요인으로 작용하였다. 위와같은 단점을 보완하기 위해 한국형 고속철도차량 추진장치 성능측정 시스템을 구성하였다. 본 시스템은 제어기에서 나오는 신호들, 예를 들어 토크지령치, 토크실측치, DC Link전압 등을 그대로 이용하기 때문에, 계측장비의 설계가 간단하고 저렴한 가격으로 장비를 구축할 수 있게 되었다. 이와같이 구축된 측정시스템을 이용하여 추진장치에 대한 성능을 측정하였으며, 계측된 시험데이터를 바탕으로 하여 추진장치의 성능특성을 확인하였다.

2. 본 론

2-1. 주회로시스템의 구성 및 기본사양

철도차량의 추진장치 성능 특성을 파악하기 위해서는, 먼저 시스템의 일반사양과 핵심전장품인 주전력변환장치의 기본사양에 대해 살펴볼 필요가 있다. 본선시운전을 통한 추진장치 성능도 시스템과 각 장치들의 성능에 절대적으로 의존하고 있기 때문이다. 여기서는 G7 시제차량 시스템의 일반사양 및 성능과 주전력변환장치의 기본사양, 그리고 주회로시스템의 구성에 대해서만 간략하게 기술하였다.⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾

가. 시제차량의 편성 및 열차 특성

- 1) 시제차량의 편성 : 2P+2M+3T
- 2) 열차 중량
 - a) 짐착중량 : 204 Ton
 - b) 열차중량 : 332 Ton
- 3) 열차 축수
 - a) 구동축수 : 12개
 - b) 비구동축수 : 8개
- 4) 열차 길이 : 145m
- 5) 추진성능
 - a) 견인전동기 출력 : 1,100kW
 - b) 기어효율 : 0.975
 - c) 총출력 : 13,200kW
 - d) 350km/h에서 가속여력 : 0.218m/s

추진시스템은 컨버터 2대를 병렬운전하고 인버터 1대로 견인전동기 2대를 구동하는 구조를 한 MB(Motor Block)이며, 동력차의 경우는 3개의 MB로 구성된다. MB는 IGCT, Diode 각 2개씩으로 구성된 브릿지 1arm을 하나의 Stack으로 조립하여 컨버터용 4개 Stack, 인버터용 3개 Stack과 별도의 Chopper Stack 1개 등으로 구성되며 직류단 콘덴서, 각부의 전압, 전류검

지기 및 제어부가 포함된다.

컨버터 시스템은 직류 링크전압을 2,800V DC로 제어하고 컨버터 1대 용량은 약 1,238kVA로 하며 입력단 전압은 1,400V AC이다. 이런 형태의 컨버터를 사용함으로써 입력 역률이 1에 근접하도록 제어가 가능하고 회생제동시에 에너지를 입력측으로 환원할 수 있으며 입력전류를 정현파 형태로 할 수 있으며 병렬운전에 의해 입력측 고조파 성분을 대폭 줄일 수 있다.

2-2. 주전력변환장치의 기본사양

가. 컨버터부 기본사양

1) Electric Specification.

Item		Contents
Capacity		1,300kVA×2
Capacity	Rated Voltage	1,400VAC
	Rated Current	930A
Rated Voltage	Output Voltage	2,800VDC
	Output Current	884A

2) System Configuration.

Item	Contents
Input % Impedance	20%
Configuration	Converter 2EA
Semiconductor Device	IGCT
Control System	PWM
Switching Frequency	540Hz

나. 인버터부 기본사양

1) Electric Specification.

Item		Contents
Capacity(Max. Rate)		3,000kVA
Input	Rated Voltage	2,800VAC
	Rated Current	884A
Output	Output Voltage	AC 0~2,183V
	Output Current	7,474A
	Max. Frequency	143Hz

2) System Configuration.

Item	Contents
Configuration	1C2M
Semiconductor Device	IGCT
Control System	VVVF Adjustable Speed Control
Switching Frequency	540Hz
Input Filter(FC)	16,000uF

2-3. 계측시스템의 구성

추진장치의 주행 성능을 측정하기 위한 시험계측시스템은 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, 풀업 저항 회로, 전압 레벨 변환 회로가 장착되어 있다.

단자대는 센서, 전원공급기 및 변환기에 연결되는 선들이 전기적으로 연결될 수 있도록 하는 기능과, 시제차량이 분리될 경우 차량간에 길게 연결된 선들의 분리가 용이하게 하는 기능이 있다.

그림 1은 TP2에 설치되어 있는 단자대의 실제 외형이다. 그림 2는 대부분의 추진장치 신호들을 입력받아 처리하는 DAM31의 외형도이다.



그림 1. 단자대의 외형.

Fig. 1. Shape of terminal box.



그림 2. DAM31의 외형.

Fig. 2. Shape of DAM31.

2-4. 프로그램의 구성

모듈별 계측 프로그램은 Hardware configuration, Software configuration, Diagnosis 및 Test의 4개 중요한 기능으로 분리되며, 동일한 프로그램으로 Hardware/Software configuration을 수정하여 계측 모듈에서 사용할 수 있도록 하였다.

Hardware configuration은 각 계측모듈에 사용된 NI제품인 Hardware를 정의하는 부분으로 각 모듈에 실제 사용된 chassis no., module no. 및 model no.를 NI에서 제공하는 Driver를 이용하여 Hardware의 설정을 행한다.⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾

Software configuration은 Hardware적으로 설정된 채널에 대해 채널의 사용여부 판단, Calibration, 실제 물리량으로의 변환, 최대/최소값 설정, 계측제한범위 설정, 통합 모니터링 모듈로의 전송여부 판단 등을 하는 부분이다.

Diagnosis는 시운전 시험계측 전에 계측 신호의 이상여부를 확인하기 위하여 구성된 모듈로서 각 모듈별 계측 담당자는 계측 장비의 전원인가 후 각 채널의 이상 여부를 확인하여 시험계측 전에 원인 규명과 해결을 수행하기 위하여 구성하였다.

Test는 실제로 계측된 신호의 현시, 저장 및 이 신호를 이용하여 계산된 값을 저장하는 것이다. 계측의 시작/끝, 데이터의 저장은 Main computer의 지령에 따라 수행되며, 계측신호는 그림 3에서 볼 수 있는 바와 같이 각 모듈의 모든 신호의 현시와 이상여부의 확인이 가능하며, 선택적으로 일부 신호를 그래프로 모니터링할 수도 있도록 되어있다.

Software configuration은 Hardware적으로 설정된 채널에 대해 채널의 사용여부 판단, Calibration, 실제 물리량으로의 변환, 최대/최소값 설정, 계측제한범위 설정, 통합 모니터링 모듈로의 전송여부 판단 등을 하는 부분이다.

계측모듈에서 계측된 채널의 데이터를 동기시간과 함께 이진수로 저장을 한다. 시운전시험이 2시간 이상이 필요한 경우도 많기 때문에 가능하면 데이터의 저장용량을 줄이기 위해 이진수로 저장을 하도록 하였다. 각 모듈에 저장된 데이터는 그림 4의 계측데이터 처리 흐름도에서 볼 수 있듯이 외장 Hard Disk에 백업되며, 후처리 프로그램을 통해 시험결과를 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.

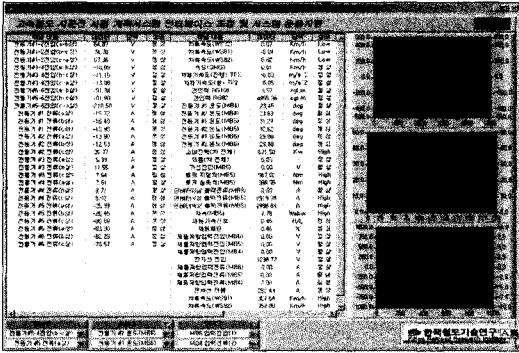


그림 3. Test 화면.
Fig. 3. Test picture.

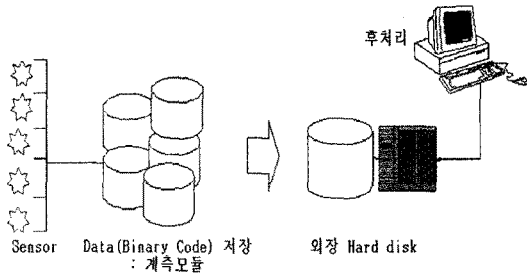


그림 4. 계측데이터 처리 흐름도.
Fig. 4. The process flow of measurement data.

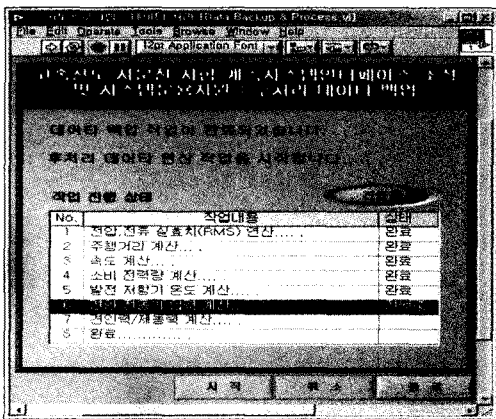


그림 5. 계산 상태.
Fig. 5. Calculation State.

그림 5는 분리/계산과정중 계산을 진행하고 있는 상태를 나타내며, 실제 계측시간이 1시간인 경우에 분리/계산과정은 약 30분 정도가 소요된다.

분석과정은 각 채널별로 분리 및 계산이 완료된 후에 진행된다. 이 과정에서는 전 시험구간 및 특정구간의 계측데이터의 분석, 보고서 양식으로 플롯트 및 특정구간 데이터의 저장 등을 수행할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

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

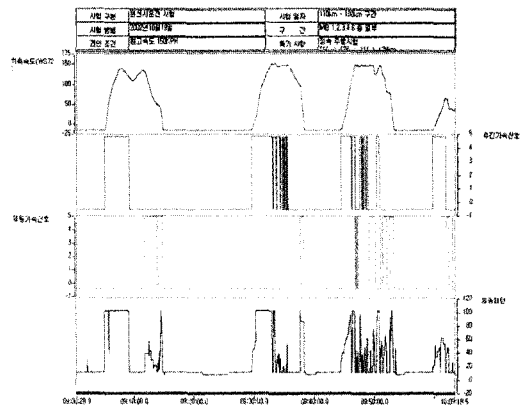


그림 6. 전체구간에서의 신호 파형.
Fig. 6. Signal waves in all section.

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 8은 고속철도차량을 운행하면서 MB 5호기의 인버터 출력전류를 측정된 결과이다. 각 상전류가 120°의 위상차를 갖고 스위칭을 하고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 역행하다가 제동으로 Mascon을 변화할 때의 추진가속신호와 제동가속신호를 비교한 시험결과이다. 추진가속신호를 출력한 뒤에 역행을 시작하고 제동가속신호가 나온 뒤에 제동이 시

작됨을 알 수 있다.

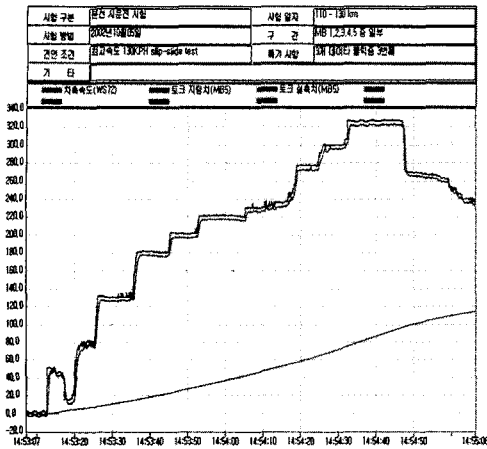


그림 7. 토크지령치와 토크실측치.
Fig. 7. Reference torque and actual torque.

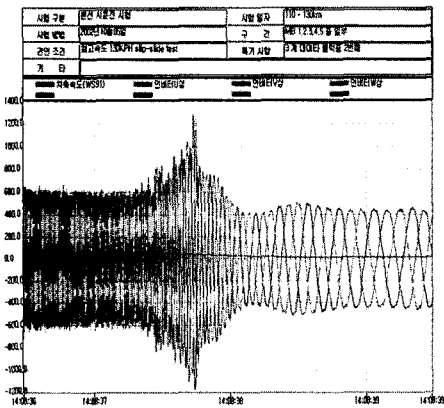


그림 8. 인버터 출력전류(U,V,W).
Fig. 8. Output current of Inverter(U,V,W).

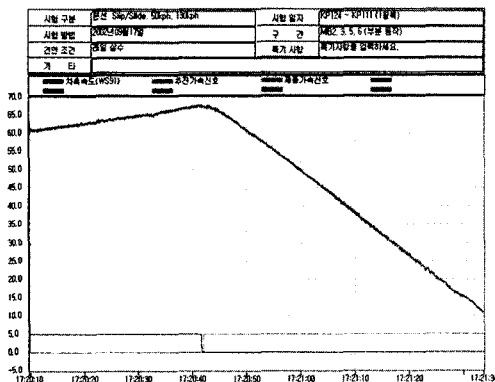


그림 9. 역행과 제동시의 신호.

Fig. 9. Signal of powering and braking.

4. 결론

본 논문에서는 한국형 고속전철에 취부되는 추진장치의 성능특성에 대하여 서술하였다. 오송기지에서 실시하고 있는 본선시운전 시험을 위해 철도연에서 자체적으로 상시계측시스템을 개발하였으며, 이 시스템을 통해 추진시스템의 각종 전기신호를 입력받아 분석을 실시하였다.

이를 통해서 한국형 고속전철용으로 개발된 추진시스템의 성능을 확인할 수 있었다. 향후에는 보다 고속에서, 그리고 제동장치와의 인터페이스 부분에 대해, 그리고 추진성능에 따른 실제 주행거리 등에 대한 깊이있는 연구가 필요하다고 여겨진다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부에서 시행한 고속철도개발사업의 기술결과임을 밝힌다.

참고 문헌

- [1] Paolo Masini and Giovanni Puliatti, "Virtual Acquisition Systems for Global Analysis (VASGA) in Experimentation", WCRR, pp. 279-286, 1997.
- [2] 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2000), 전교부, 통산부, 과기처
- [3] 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2001), 전교부, 산자부, 과기처
- [4] 고속전철기술개발사업 시험평가 종합계획(안), 1999, 한국철도기술연구원
- [5] 고속전철시스템 기본사양, 1998. 3, 한국철도기술연구원
- [6] 김석원, 한영재, 김진환, 백광선, 전영욱, 노애숙, "한국형 고속철도차량의 추진 및 제동 특성에 관한 연구", 전기학회 추계학술대회, pp. 372-374, 2002.
- [7] 주전력장치개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2000), 전교부, 산자부, 과기처

- (8) The Measurement and Automation catalog, 2001, National Instruments
 (9) Measurements Manual, 2000, National Instruments

- 센서
 (10) User Manual, 2000, National Instruments

著 者 紹 介

한 영 재

1969년 5월 9일생
 1994년 2월 홍익대학교 전기제어공학과 졸업(학사)
 1996년 2월 동대학원 전기제어공학과 졸업(석사).
 1995년 12월~현재 한국철도기술연구원 선임연구원
 주관심 분야 : 제어계측, 인터페이스, 차량 속도 및 온도 센서

김 석 원

1964년 12월 10일생
 1987년 2월 서울대학교 조선공학 졸업(학사).
 1989년 8월 동대학원 조선공학 졸업(석사).
 1987년 2월~1994년 3월 대우중공업(주) 대리.
 1994년 3월~1997년 2월 삼성중공업(주) 공장.
 1997년 2월~현재 한국철도기술연구원 선임연구원
 주관심 분야 : 제어계측, 인터페이스, 제동장치 온도 및 압력 센서

김 영 국

1961년 3월 23일생.
 1984년 2월 아주대학교 기계공학과 졸업(학사).
 1986년 8월 한국과학기술원 생산공학과 졸업(석사).
 1986년 6월 ~ 1996년 3월 대우중공업(주)중앙연구소 선임연구원.
 1996년 4월 ~ 1997년 12월 한국고속철도건설공단 선임연구원.
 1997년 12월 ~ 현재 한국철도기술연구원 선임연구원.
 주관심 분야 : 제어계측, 인터페이스, 차체 진동

박 찬 경

1964년 10월 29일생.
 1987년 2월 한양대학교 기계설계학과 졸업(학사).
 1989년 2월 동대학원 기계설계학과 졸업(석사).
 1989년 2월~1995년 1월 국방과학연구소
 1995년 2월~현재 한국철도기술연구원 선임연구원.
 주관심 분야 : 제어계측, 인터페이스, 대차진동 센서

최 종 선

1957년 8월 14일생.
 1983년 서울대학교 금속공학과 졸업(학사).
 1983년 8월~1985년 4월 오하이오 주립대학 전기공학과(재학).
 1985년~1987년 6월 University of California, San Diego(석사)
 1987년~1992년 9월 Purdue University(박사)
 1992년~1994년 8월 현대전자 TFT-LCD 팀장
 1992년~현재 홍익대학교 전자전기공학부 부교수

김 정 수

1936년 3월 28일생.
 1960년 연세대학교 전기공학과 졸업(학사).
 1974년 홍익대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사).
 1985년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사).
 1980년 9월 ~ 2001년 8월 홍익대학교 전자전기공학부 교수