

견인제동 계측시스템 개발

김석원[†] · 한영재 · 최강윤 · 김영국 · 김종영 · 박태원*

Development of Measurement System for Traction and Braking

Seog-Won Kim[†], Young-Jae Han, Kang-Youn Choe, Young-Guk Kim,
Jong-Young Kim, and Tae-Won Park*

Abstract

In this paper, we introduce the software and hardware of the measuring system for on-line test and performances evaluation of traction and braking in KTX(Korea Train Express). The measuring system focuses on the verification of the performance and acquisition of test data. The hardware is connected many kinds of sensors, such as speed sensor, thermocouple. The software controls the hardware of the measuring system, performs the analysis and calculation of measurement data and acts as interface between users and the hardware. For this purpose, three programs, such as a measuring program, a back-up program and a analysis program, have developed.

Key Words : on-line test, traction and braking, KTX, measuring system

1. 서 론

최근 도로교통이 한계에 이르고 환경문제가 크게 대두되고 경의선과 경원선을 이용한 대륙횡단철도에 대한 관심이 높아짐에 따라 안전성, 신뢰성, 환경친화적인 철도에 대한 관심이 고조되고 있다. 그리고 300 km/h 이상의 고속 철도가 개발됨에 따라 세계적으로 철도의 르네상스를 맞이하고 있다^[1]. 이와 함께 100년 이상의 철도 역사를 갖고 있는 국내의 경우도 철도를 한 단계 도약시키기 위해 300 km/h 속도의 경부고속철도차량을 프랑스로부터 도입하여 2004년 4월 1일에 개통을 목표로 시험선 구간(천안~시목)에서 인수시험이 진행 중에 있으며, 이와는 별도로 기존선과 고속선을 연결하여 운행함에 따른 차량, 신호, 궤도, 전차선 및 변전소 등에서 이상 발생 여부 확인 및 기존선에서의 차량 성능과 영업운전을 대비한 통합시험이 철도청의 주관 하에 수행되고 있으며, 계측과 분석은 철도청과 함께 한국철도기술연구원에서 수행하고 있다.

본 논문에서는 경부고속철도차량의 견인제동 성능을 종합적이고 효율적으로 확인하기 위해 차량에 설치되어 상시 계측을 수행하는 견인제동 시험 계측시스템의 구축 내용에 대한 사항을 설명한다. 계측시스템은 한국철도기술연구원의 고속전철기술개발사업에서 구축한 경험을 토대로 구축되었으며, 계측 및 분석 프로그램의 경우는 고속전철기술개발사업에서와 동일한 프로그램을 이용하여 경부고속철도차량의 측정 항목과 특성에 맞게 일부 수정을 하였다^[2-6].

계측신호의 인출은 경부고속철도차량이 영업을 위한 차량이기에 차량에 설치된 구성품의 변경을 가져오지 않는 범위 내에서 수행하였다. 이러한 계측시스템은 실제로 신호를 계측하는데 필요한 하드웨어뿐만 아니라 하드웨어의 설정 및 제어, 인간과 기계간의 인터페이스(MMI) 등의 소프트웨어가 중요하게 된다^[7].

본 연구에서는 계측시스템의 성능을 극대화시키고 효과적으로 측정 및 평가를 수행할 수 있도록 견인제동 계측장비와 LabVIEW를 이용한 시험 계측프로그램으로 상시 계측시스템을 구축하였다^[3,8]. 이렇게 구성된 상시 계측시스템을 통하여 경부고속철도차량의 각 신호를 실시간으로 입력받아 데이터를 저장한 후, 분석 프로그램을 이용하여 차량의 견인제동 성능을 확인할 수 있었다.

한국철도기술연구원, 고속철도기술개발사업단(Korea Railroad Research Institute)

*아주대학교, 기계 및 산업공학부(Ajou University Mechanical Department)

[†]Corresponding author: swkim@krii.re.kr

(Received : February 9, 2004, Accepted : April 16, 2004)

2. 본 론

2.1. 시운전 시험의 요구사항

경부고속철도차량의 시운전은 견인제동과 관련하여 차량의 성능과 신뢰성을 확인하는 시험으로서 하중, 속도의 변화에 따라 차량의 가속, 견인 및 속도 추종성, 부품의 온도상승, 가속거리 등 제작된 고속열차가 가속과 주행을 하는 동안 여러 주행조건에서의 성능을 만족하는지 그리고 차량의 안전과 관련된 기능이 제대로 동작하는지를 확인하는 것이다. 따라서 기존선전철화 구간에서 시운전 시험시 측정하려는 시험항목과 고려해야 할 시험조건 및 방법을 적용하여 경부고속철도차량의 계측시스템을 구축하여야 한다.

기존선전철화 구간에서 경부고속철도차량의 시운전 시험을 계획 및 수립하고 수행하기 위하여 관련된 각종 규격(IEC 1133, UIC 610 등)을 만족하는 시험항목을 결정하여야 한다. 시운전 시험은 모터블록(MB) 6대를 사용하는 정상 상태 시험, 모터블록 5대를 사용하는 디그레이디드(Degraded) 상태 시험과 모터블록 4대를 사용하는 디스에이블드(Disabled) 상태 시험으로 구별되며 정상 상태에서의 시험항목은 표 1과 같다. 또한 디그레이디드 상태 시험은 정상 상태 시험에서 역행 시험항목과 동일하고 디스에이블드 상태 시험은 디그레이디드 상태 시험과 구배기동 시험을 포함한다^[5,6].

2.2. 계측시스템의 구성

2.2.1. 계측장비

기존선 전철화 구간, 기존선과 고속선의 연결 구간 및 상업 시운전 시험을 위한 운행시에 경부고속철도차

표 1. 정상 상태에서의 시험항목

Table 1. Test items in stationary state

세부 항목	계측 항목
역행시험	속도 및 가속도, 견인력, 도달 시간 및 거리, 가선전압, 컨버터 출력 전류, 인버터 출력 전압, 전동기 입력 전류, 추진신호, 제어신호
휠 슬립시험	차축회전수, 모래 분사장치 기능, 속도 및 가속도, 견인력, 도달 시간 및 거리, 가선 전압, 컨버터 출력 전류, 인버터 출력 전압, 전동기 입력 전류, 제어신호
제동시험	제동거리, 제동시간, 주차 제동 성능, 제동 실린더 압력, 차축 회전수 속도
온도상승시험	주변압기 온도

표 2. 데이터 수집 및 저장 장치

Table 2. DAQ and storage device

장비 형식	주요 사양
Portable DAQ System	- CPU : P4 2.0 - RAM : 256 DDR - HDD : 40 GB - OS : WIN2000
DAQ Card	- 32 DI/64 SE - 12-Bit Resolution - 1.25 MS/S - 2 Counter/Timer
Digital I/O Card	- 24Ch Input/Output - Isolation

표 3. 신호조정 장치

Table 3. Signal conditioner

장비 형식	주요 사양
속도측정용 Conditioner	- Input : 0~5 KHz - Output : 0~5 V
전압측정용 Conditioner	- Input : ±20 V - Output : ±5 V
전류측정용 Conditioner	- Input : 4~20 mA - Output : 1~5 V
차량신호측정용 Conditioner	- Input : ±10 V - Output : ±5 V
온도측정용 Conditioner	- Input : -100 ~ 1350°C - Output : ±5 V

량의 견인제동과 관련된 성능과 신뢰성을 확인하기 위해 견인제동 계측장비가 사용되었다. 견인제동 계측장비는 크게 데이터 수집 및 저장 장치와 신호조정 장치로 나누어지고 그 사양은 각각 표 2 및 표 3과 같다.

또한 계측시스템으로 얻어지는 견인제동 관련 데이터를 백업하고 차후에 그 데이터를 분석하기 위해 별도의 백업 장비도 갖추고 있다.

경부고속철도차량에 설치된 계측시스템은 견인제동과 관련된 32채널의 신호를 입력받고 있다. 그 중에 9채널은 차량에 직접 센서를 설치하여 측정하고 있으며 나머지 23채널은 경부고속철도차량의 모터블록과 연결된 테스트(Test) 카드를 통하여 시험데이터를 획득하고 있다. 그림 1의 (a)는 경부고속철도차량에 설치된 계측장비의 외형을 보여주고 있고, 그림 1의 (b)는 경부고속철도차량으로부터 신호를 입력받는 테스트 카드가 모터블록의 제어대에 장착되어 신호를 측정하는 모습을 보여주고 있다.

동력차(Power Car)에 있는 주변압기의 오일온도를

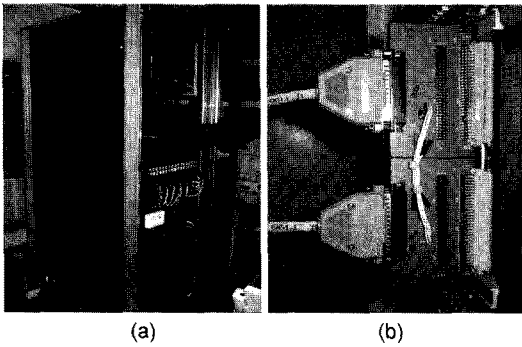


그림 1. (a) 계측장비, (b) 테스트 카드
Fig. 1. (a) measuring equipments and (b) test card.

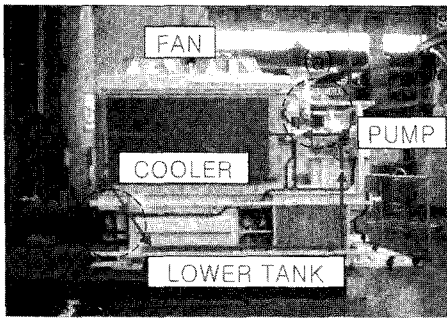


그림 2. 변압기 냉각을 위한 오일 흐름도
Fig. 2. Oil flow for transformer cooling.

측정하기 위해 냉각전과 냉각후에 온도센서를 설치하여 변압기 오일온도를 측정하였다. 그림 2는 변압기 냉각을 위한 오일의 흐름도로서 오일이 냉각기(Cooler) → 하부탱크(Lower Tank) → 펌프(Pump) → 냉각기(Cooler)로 계속해서 순환하는 구조로 되어있다.

변압기 온도를 측정하기 위해 오일이 냉각되기 전과 냉각된 후의 위치인 (a)와 (b)에 온도 센서를 설치하였으며, 실제 설치된 모습은 그림 3과 같다. 이를 통해서 변압기의 온도를 실시간으로 측정할 수 있게 되었다.

2.2.2. 계측프로그램

경부고속철도차량의 견인제동 성능을 확인하기 위해 LabVIEW로 개발된 프로그램은 주행제동 시험프로그램, 주행제동 백업프로그램, 주행제동 분석프로그램으로서 계측시스템을 통해 시험데이터를 획득하고 신호처리를 이용하여 데이터를 분석한다.

주행제동 계측프로그램은 견인제동 성능을 계측하기 위하여 LabVIEW 6i로 제작되었으며, 시간동기화 부분, 채널구성 부분, 시험진단 부분, 시험(Test) 부분, 채널의 셀포맷 부분으로 구성되어 있다. 시간동기화 부분은 본 계측시스템에 별도의 계측장비가 추가적으로 연결될

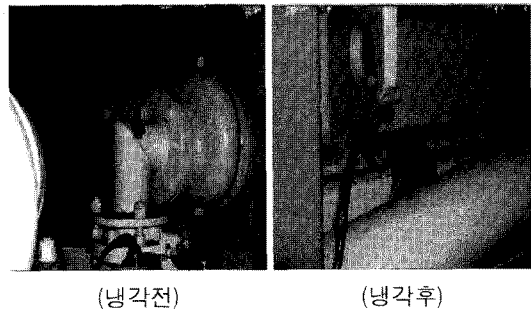


그림 3. 변압기 온도센서
Fig. 3. Sensor in transformer.

경우 각 측정 신호의 시간동기화를 위하여 주행제동 계측프로그램에서 각 계측장비의 시스템 시간을 강제로 동기화 시키도록 구성되었다.

채널구성 부분은 계측할 채널의 정보를 입력 및 수정 관리하는 부분으로서 채널의 사용유무, 채널명 입력, 입력 전압의 최대와 최소, 필터 적용, 입력 신호의 제한 범위, 영점(Zero)과 전압에 대한 물리량 변환치(Span) 등을 설정하고 조정할 수 있다. 시험진단 부분은 계측 상태를 2개의 그래프에 각각 2채널로 데이터를 측정하고 실시간으로 모니터링 할 수 있다.

시험 부분은 4개의 그래프에 각각 2채널씩 총 8개 채널을 실시간으로 분석할 수 있고 주행속도, 주행거리, 킬로미터 포스트(KP) 값 등을 모니터링 할 수 있다. 또한 본 계측시스템에서 입력되는 32채널뿐만 아니라 네트워크로 연결된 계측프로그램에 연동되어 시험데이터를 저장하는 기능을 제공한다.

채널엑셀포맷 부분은 교정 값을 엑셀 형식으로 저장, 관리해 놓을 수 있다. 비록 텍스트 형식으로 저장하지만 엑셀 확장자로 바뀌서 엑셀에서 읽어들이 수 있다. 그림 4와 5는 채널구성 부분과 시험 부분을 각각 보여 주고 있다.

그림 6의 주행제동 백업프로그램은 차량의 시운전 시험을 완료한 후에 주행제동 분석프로그램에서 데이터를 처리할 수 있도록 계측시스템에서 저장한 데이터를 각 채널로 나누어 저장하며 각 채널의 값을 읽어 계산 채널을 계산하고 저장한다.

그림 6의 (a)는 계측시스템에 저장된 파일을 채널명에 맞게 각각의 채널로 분리하는 과정으로 남은 시간, 백업을 하고 있는 파일의 용량 그리고 남은 용량을 보여준다. 그림 6의 (b)는 채널분리 후에 계산이 필요한 항목을 계산하여 처리하는 과정을 보여주고 있다. 백업 과정을 수행하기 전에 필요한 데이터 연산처리 항목만을 선택할 수 있고 이를 통해 하드 드라이브 용량 및

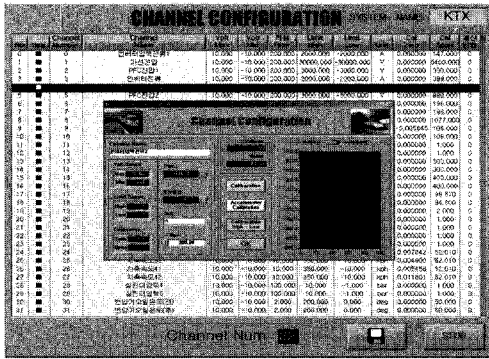


그림 4. 채널구성 부분
Fig. 4. Channel configuration part.

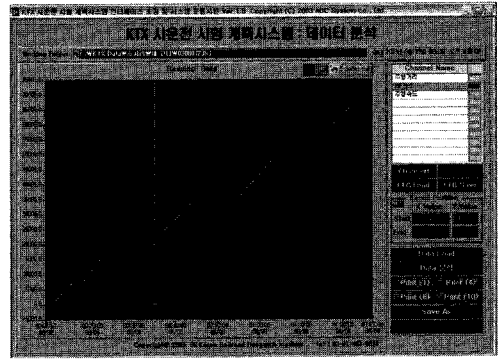


그림 7. 분석프로그램의 초기화면
Fig. 7. First screen of analysis program.

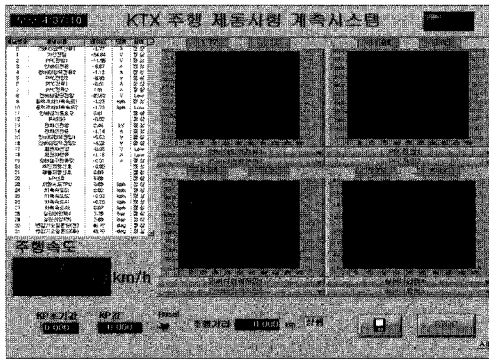


그림 5. 시험 부분
Fig. 5. Test part.

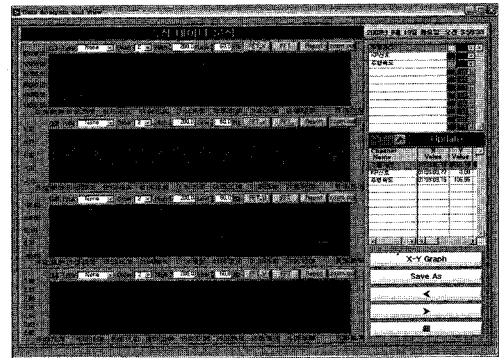


그림 8. 데이터분석 화면
Fig. 8. Data analysis screen.

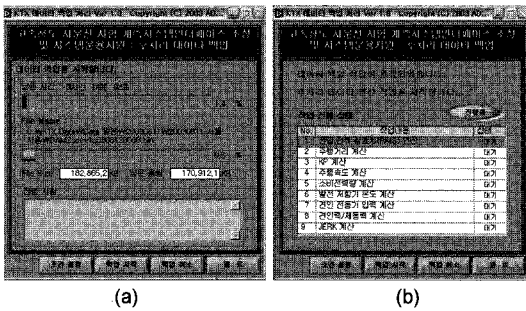


그림 6. 주행제동 백업프로그램
Fig. 6. Back-up program for traction & braking measurement.

처리속도를 줄일 수 있다.

연산처리 항목에는 전압/전류/실효치(RMS) 연산, 주행거리, 주행속도, 견인력/제동력, 킬로미터 포스트, 저크(Jerk) 계산 등이 있다.

주행제동 분석프로그램은 본선시운전 시험을 통해 획득한 시험데이터를 신호처리하고 비교 및 분석을 수행한다. 분석프로그램을 처음에 실행하면 그림 7과 같

은 초기화면이 나타나며, 백업프로그램을 통해 처리된 파일이 있는 디렉토리의 설정 파일을 선택함으로써 주행제동 분석프로그램을 시작한다.

초기화면에서 분석할 채널을 추가 및 삭제하고 그렇게 설정된 채널은 파일로 저장할 수 있다. 또한 시험데이터에 대한 그래프를 확대 및 축소할 수 있으며 원하는 부분만 선택하여 데이터를 분석할 수 있다.

그림 8은 지정한 시간동안의 시험데이터를 신호처리하고 분석하는 메인 화면을 보여주고 있으며 데이터 필터링, 주파수 분석, 시간 측정, 최대/최소/평균/실효치를 분석한다. 그림 9는 주파수 분석 결과로 시험데이터의 주파수 특성을 분석할 수 있도록 도와준다.

3. 결과 및 고찰

그림 10은 경부고속철도차량 내에 취부된 총 6대의 모터블록 중에서 각각 4대, 5대 및 6대를 기동하면서 차량이 일정한 속도에 도달할 때까지 주행한 거리를

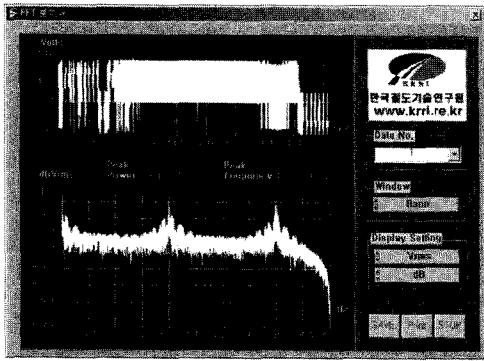


그림 9. 주파수 분석 화면
Fig. 9. Frequency analysis screen.

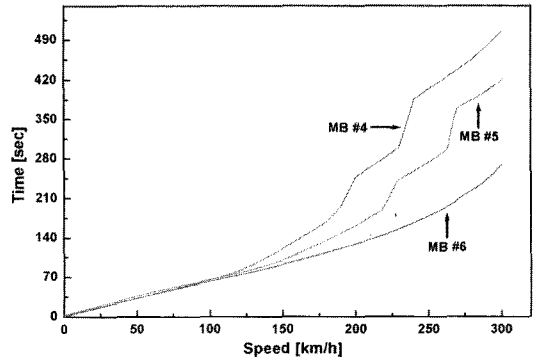


그림 11. 모터블록 대수에 따른 주행시간
Fig. 11. Running time according to MB number.

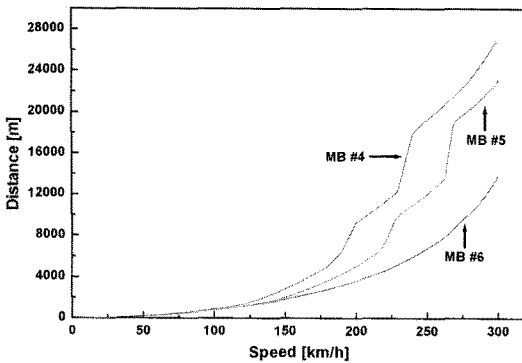


그림 10. 모터블록 대수에 따른 주행거리
Fig. 10. Running distance according to MB number.

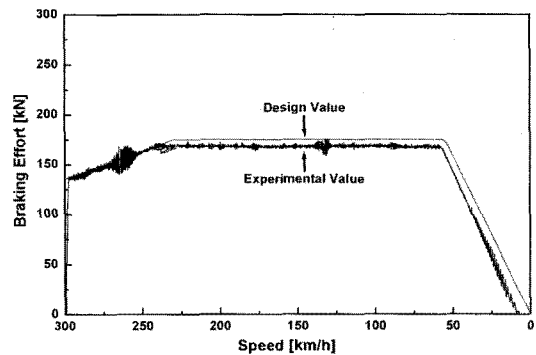


그림 12. 저항제동력(모터블록 6대)
Fig. 12. Rheostatic braking effort (MB 6).

서로 비교한 것이다. 기동한 모터블록의 수에 따라 차량이 300 km/h까지 도달하는데 주행한 거리를 살펴보면 4대일 때는 26,915 m, 5대일 때는 22,817 m, 그리고 6대일 때는 13,681 m로 확인되었다.

그림 11은 그림 10과 동일한 조건하에서 차량이 일정한 속도에 도달할 때까지 걸리는 시간을 측정할 결과이다. 그림 10과 마찬가지로 300 km/h까지 도달하는데 걸리는 시간을 살펴보면 4대일 때는 504.29초, 5대일 때는 414.40초, 그리고 6대일 때는 268.52초로 나타났다. 또한 모터블록을 4대, 5대 및 6대로 기동했을 때, 차량의 평균가속도는 각각 0.17 m/s², 0.20 m/s², 0.31 m/s²의 값을 갖는다.

그림 11에서 100 km/h까지 도달하는데 걸리는 시간을 살펴보면 모터블록 4대, 5대 및 6대로 기동했을 때 걸리는 시간은 각각 65.3초, 65.8초, 62.8초로 나타나 시간의 차이가 거의 없다. 또한 150 km/h 이후, 차량의 주행시간과 주행거리는 모터블록의 기동 대수에 거의 비례하여 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 주행저항이 속도제곱에 비례하므로 가속을 위한 건인력의 여력이

고속 영역으로 갈수록 급격히 감소되므로 모터블록의 기동 대수에 민감한 영향을 받는 것을 알 수 있다.

차량 내의 모터블록을 각각 4대와 5대로 기동했을 때에는 6대로 기동했을 때와는 다르게 급격한 변화를 일으키는 속도 영역이 포함되어 있음을 볼 수 있다. 이러한 결과는 시운전 시험 사정으로 모터블록을 각각 4대와 5대로 기동한 시운전 시험은 선로상에 구배와 곡선이 포함된 구간에서 수행되었고, 모터블록을 6대로 기동한 시운전 시험은 평지에서 수행되었기 때문이다.

그림 12와 그림 13은 경부고속철도차량에서 모터블록 6대를 기동하면서 각각 저항제동력과 회생제동력에 대한 설계치와 시운전 시험을 통해 측정된 실측값을 서로 비교한 결과이다.

그림 12에서 300 km/h부터 231 km/h까지 저항제동력이 서서히 증가하다가 231 km/h부터 55 km/h까지 175 kN을 유지하고, 55 km/h부터 0 km/h까지는 거의 직선에 가깝게 저항제동력이 감소하는 것을 볼 수 있다. 실측값은 약 234 km/h부터 168 kN을 유지하다가 55 km/h부터 7 km/h까지 거의 선형적으로 저항제동력

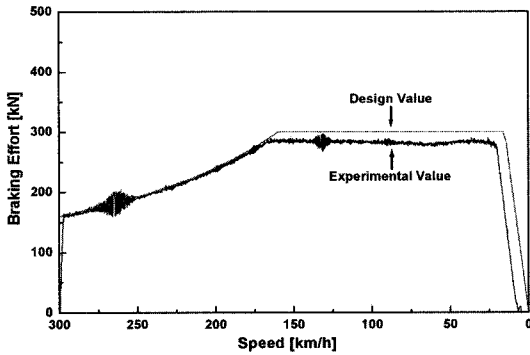


그림 13. 회생제동력(모터블록 6대)
Fig. 13. Regenerative braking effort (MB 6).

이 떨어지는 것을 확인하였다.

그림 13에서 회생제동력은 300 km/h부터 160 km/h 까지 서서히 증가하다가 160 km/h부터 20 km/h까지 300 kN를 갖도록 되어있다. 20 km/h이내의 저속에서는 거의 선형으로 회생제동력을 줄이고 있다. 실제 측정된 결과, 156 km/h부터 22 km/h까지 약 287 kN을 유지하는 것을 확인할 수 있었고, 60.4 km/h 근처에서 277.7 kN를 나타내 설계치와는 차이가 있음을 알 수 있다. 이는 실제 전동기의 제어 및 차량 전체에 대한 제동 성능 관점에서 차량이 정지하기 직전의 저속에서는 전기제동보다 공기제동의 효율이 높기 때문에 이를 이용하고 공기제동과 전기제동의 혼합제동 과정에서 전체 제동 성능의 효율성을 높이기 위하여 조정된 것으로 판단된다.

그림 14는 주변압기의 오일온도를 측정하기 위해 냉각전과 냉각후에 온도센서를 취부하여 실제로 온도를 측정된 결과이다. 기준온도가 130°C인데, 냉각전의 오일 최고온도가 77.91°C, 냉각후의 오일 최고온도가 67.59°C로 나타났다. 이것을 통해 변압기의 온도가 기준값 이내로 제어가 잘 이루어지고 있음을 확인할 수

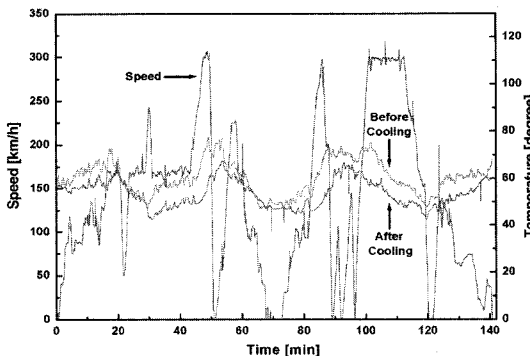


그림 14. 주변압기의 오일온도
Fig. 14. Oil temperature of main transformer.

있었다. 냉각전과 냉각후의 온도 차이가 같은 시간대에서 약 5~10°C 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

4. 결 론

본 논문에서는 경부고속철도차량의 견인제동 성능용 계측시스템에 대하여 연구하였다. 또한 시운전 시험의 요구사항, 계측시스템의 구성에 대하여 기술하였다. 차량의 견인제동 성능 확인을 위한 계측시스템의 하드웨어 개발과 병행하여 하드웨어의 제어, 계측, 분석 및 인간과 기계간의 인터페이스를 위한 소프트웨어 개발을 완료하여 경부선 시운전 시험에 활용하고 있다.

이렇게 체계적인 계측시스템의 구축으로 본격적인 시운전 시험을 통해 열차 성능을 판단하는 시험기술이 한층 더 향상되리라고 판단되며 이렇게 구축된 계측시스템과 시험기술은 다른 철도시스템의 개발에도 활용할 수 있다고 본다.

향후에는 계측시스템을 이용한 시운전시험 데이터 분석에 보다 많은 연구역량이 집중되어야 할 것으로 되며, 제동 장치와 관련된 성능을 동시에 측정해야 더욱 정확하게 견인제동 성능을 파악할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

본 내용은 철도청에서 시행한 고속철도 운영을 위한 철도시설정비사업 및 기존선 전철화사업의 기술결과임을 밝힌다.

참고 문헌

- [1] 고속철도 차량시스템 엔지니어링(I), 한국고속철도.
- [2] 김석원, 김영국, 백광선, 김진환, 한영재, “고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(1)-하드웨어”, 철도학회 추계학술대회, pp. 168-173, 2002.
- [3] 김석원, 김영국, 백광선, 김진환, 한영재, “고속철도 시운전시험 및 평가용 측정시스템 개발(2)-소프트웨어”, 철도학회 추계학술대회, pp. 174-181, 2002.
- [4] 김석원, 한영재, 김진환, 백광선, 전영욱, 노애숙, “한국형 고속철도차량의 추진 및 제동 특성에 관한 연구”, 전기학회 추계학술대회, pp. 372-374, 2002.
- [5] 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2001), 권교부, 산자부, 과기처.
- [6] 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2002), 권교부, 산자부, 과기처.

[7] Paolo Masini and Giovanni Puliatti, "Virtual acquisition systems for global analysis (VASGA) in

experimentation", WCRR, pp. 279-286, 1997.

[8] Measurements Manual, 2000, National Instruments.

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) 과장
- 1997년 2월 ~ 현재 한국철도기술연구원 선임연구원
- 주관심분야 : 제어계측, 인터페이스, 계동장치 온도 및 압력 센서

한 영 재

- 1969년 5월 9일생
- 1994년 2월 홍익대학교 전기제어공학과 졸업(학사)
- 1996년 2월 동대학원 전기제어공학과 졸업(석사)
- 2004년 2월 동대학원 전기정보제어공학과 졸업(박사)
- 1995년 12월 ~ 현재 한국철도기술연구원 선임연구원
- 주관심분야 : 제어계측, 인터페이스, 전압, 전류, 온도 센서

최 강 윤

- 1957년 10월 28일생
- 1979년 2월 서울대학교 기계설계학과 졸업(학사)
- 1984년 5월 New Jersey 주립 Rutgers 대학교 기계공학과 졸업(석사)
- 1990년 5월 동대학원 기계공학과 졸업(박사)
- 1979년 3월 ~ 1984년 5월 국방과학연구소 연구원
- 1985년 1월 ~ 1990년 6월 New Jersey 주립 Rutgers 대학교 조교
- 1990년 6월 ~ 1992년 7월 한국기계연구소 수송기계시스템실 선임연구원
- 1992년 8월 ~ 1995년 10월 한국고속철도건설공단 차량연구실 연구총괄팀장
- 1996년 11월 ~ 1997년 11월 한국고속철도건설공단 차량연구실장
- 1997년 12월 ~ 현재 한국철도기술연구원 책임연구원
- 주관심분야 : 차량 인터페이스, 소음 및 압력센서

김 영 국

- 1961년 3월 23일생
- 1984년 2월 아주대학교 기계공학과 졸업(학사)
- 1986년 8월 한국과학기술원 생산공학과 졸업(석사)
- 2003년 8월 아주대학교 기계공학과 졸업(박사)
- 1986년 6월 ~ 1996년 3월 대우중공업(주)중앙연구소 선임연구원
- 1996년 4월 ~ 1997년 12월 한국고속철도건설공단 선임연구원
- 1997년 12월 ~ 현재 한국철도기술연구원 책임연구원
- 주관심분야 : 제어계측, 인터페이스, 차체 진동 센서

김 종 영

- 1975년 5월 20일생
- 2001년 2월 강원대학교 제어계측공학과 졸업(학사)
- 2003년 2월 동대학원 제어계측공학과 졸업(석사)
- 2003년 6월 ~ 현재 한국철도기술연구원 연구원
- 주관심분야 : 제어계측, 인터페이스, 차량전기 및 센서

박 태 원

- 1955년 5월 1일생
- 1977년 2월 서울대학교 기계설계학과 졸업(학사)
- 1982년 2월 University of Iowa 기계공학과 졸업(석사)
- 1985년 2월 동대학원 기계공학과 졸업(박사)
- 1983년 3월 ~ 1990년 2월 Computer Aided Design Software Inc. Director
- 1986년 1월 ~ 1987년 7월 University of Iowa Guest lecturer
- 1990년 3월 ~ 현재 아주대학교 기계 및 산업공학부 교수