

고속철도 전기제동 특성에 관한 연구

김석원*, 한영재*, 박찬경*, 김영국*, 김종영*
*한국철도기술연구원

A Study on Electric Braking Characteristic of High-Speed Train

Seog-Won Kim*, Young-Jae Han*, Chan-Kyoung Park*, Young-Guk Kim*, Jong-Young Kim*
*Korea Railroad Research Institute

Abstract - In this study, on-line measuring system were developed to verify performances and characteristics of electric braking system that is used in KTX(Korea Train eXpress) synthetically and efficiently. Because KTX is commercial vehicle, effective measurement and evaluation of measuring signals were performed beyond the range of change for equipment components. KRRI(Korea Railroad Research Institute) described about running-braking measuring program, running-braking backup program and running-braking analysis program that were developed using a software called LabVIEW in this paper. Also, we analyzed the characteristics comparing experimental values with design values about braking distance, braking time, negative acceleration and braking effort in rheostatic braking and regenerative braking. In result, main performances and characteristics for electric braking system in KTX were verified.

1. 서 론

경부고속전철(KTX)은 최고속도가 300km/h로 많은 최첨단 기술들이 총동원되어 안전성, 신뢰성, 정시성 등이 요구된다. 또한 경부고속전철은 계획된 속도 및 시간에 따라 운행해야 하므로 필요에 따라 감속할 필요가 있으며 정해진 위치 또는 비상시에 신속하고 완전한 제동을 할 수 있어야 한다. 경부고속전철의 대표적인 전기제동 방식에는 견인전동기를 발전기로 동작시켜서 얻어지는 에너지를 저항기에서 열로 발산시켜 제동력을 얻는 저항제동과 그 에너지를 가선을 통해 변전소 또는 다른 열차에 회기시켜 제동력을 얻는 회생제동이 있다.

본 연구에서는 경부고속전철에서 사용되는 전기제동시스템의 성능 및 특성을 종합적이고 효율적으로 확인하기 위해 차량 내에 상시 계측시스템을 구축하였으며, 계측 신호의 측정과 평가는 경부고속전철이 영업을 위한 차량이므로 구성품의 변경을 가져오지 않는 범위 내에서 수행하였다. 여기서는 경부고속전철에서 차량의 전기 신호를 계측하고 분석하기 위해 LabVIEW라는 소프트웨어를 이용하여 개발된 주행제동 시험프로그램, 주행제동 백업 프로그램 및 주행제동 분석 프로그램에 대하여 살펴보았다. 또한 저항제동과 회생제동시의 제동거리, 제동시간, 감속도와 제동력 등을 시운전 시험을 통해 계측된 실측값과 설계치를 서로 비교 분석하여 경부고속전철 전기제동시스템의 성능 및 특성을 확인하였다.

2. 본 론

2.1 계측 프로그램

경부고속철도차량의 전기제동 성능 및 특성을 확인하기 위해 LabVIEW로 개발된 프로그램은 주행제동 시험 프로그램, 주행제동 백업프로그램, 주행제동 분석프로그램으로서 계측시스템을 통해 시험데이터를 획득하고 신호처리를 이용하여 데이터를 분석한다.

2.1.1 주행제동 시험프로그램

주행제동 시험프로그램은 시간동기화 부분, 채널구성 부분, 시험진단 부분, 시험 부분, 채널엑셀포맷 부분으로 구성되어 있다.

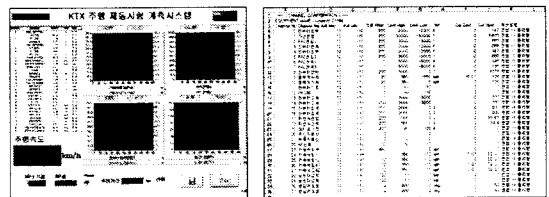
시간동기화 부분은 본 계측시스템에 별도의 계측장비가 추가적으로 연결될 경우 각 측정 신호의 시간동기화를 위하여 주행제동 계측프로그램에서 각 계측장비의 시스템 시간을 강제동 동기화 시키도록 구성되었다.

채널구성 부분은 계측할 채널의 정보를 입력 및 수정 관리하는 부분으로서 채널의 사용유무, 채널명 입력, 입력전압의 최대와 최소, 필터 적용, 입력신호의 제한범위, 영점(zero)과 전압에 대한 물리량 변환치(span) 등을 설정하고 조정할 수 있다.

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

시험진단 부분은 계측상태를 2개의 그래프에 각각 2채널로 데이터를 측정하고 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 채널엑셀포맷 부분은 교정(calibration)값을 엑셀 형식으로 저장, 관리해 놓을 수 있다. 비록 텍스트 형식으로 저장하지만 엑셀 확장자로 바뀌어 엑셀에서 읽어들이 수 있다.

그림 1에서 (a)는 시험 부분을 보여주고 있고 (b)는 채널엑셀포맷 부분에서 채널설정을 저장한 후 엑셀에서 읽어들이는 화면으로 채널명, 전압의 최대와 최소, 필터, 입력신호의 제한범위, 영점과 전압에 대한 물리량 변환치를 보여주고 있다.



(a) (b)
그림 1. 주행제동 시험프로그램

2.1.2 주행제동 백업프로그램

주행제동 백업프로그램은 차량의 시운전 시험을 완료

한 후에 주행제동 분석프로그램에서 데이터를 처리할 수 있도록 계측시스템에서 저장한 데이터를 각 채널로 나누어 저장하며 각 채널값을 이용하여 필요한 연산을 수행하여 계산 채널을 생성하고 저장한다.

그림 2에서 (a)는 백업프로그램의 초기화면으로 보고서 출력시 같이 출력되도록 시험구분, 시험방법, 견인조건, 시험구간, 특기사항 및 시험일자를 입력할 수 있다. (b)는 계측에 저장된 파일을 채널명에 맞게 각각의 채널로 분리하는 과정으로 남은 시간, 백업을 하고 있는 파일의 용량 그리고 남은 용량을 보여준다. (c)는 채널분리 후에 계산이 필요한 항목을 계산하여 처리하는 과정을 보여주고 있으며, 연산처리 항목에는 전압/전류/실효치 연산, 주행거리, 주행속도, 견인력/제동력, 킬로미터 포스트, 저크(jerk) 계산 등이 있다.

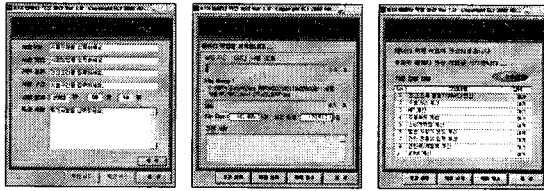


그림 2. 주행제동 백업프로그램

2.1.3 주행제동 분석프로그램

주행제동 분석프로그램은 본선시운전 시험을 통해 획득한 계측데이터를 신호처리하고 비교 및 분석을 수행한다. 분석프로그램을 처음에 실행하면 그림 3의 (a)와 같은 초기화면이 나타나며, 백업프로그램을 통해 처리된 파일이 있는 디렉토리의 설정 파일을 선택함으로써 주행제동 분석프로그램을 시작한다. 분석프로그램의 초기화면에서 분석할 채널을 추가 및 삭제하고 그렇게 설정된 채널은 파일로 저장할 수 있다. 또한 계측데이터에 대한 그래프를 확대 및 축소할 수 있으며 원하는 부분만 선택하여 데이터를 분석할 수 있다. 그림 3의 (b)는 지정한 시간동안의 계측데이터를 신호처리하고 분석하는 메인 화면을 보여주고 있으며 데이터 필터링, 주파수 분석, 시간축정, 최대/최소/평균/실효치(RMS)값을 분석한다.

주파수 분석은 그림 3의 (c)와 같이 그래프로 표현되는 주파수 스펙트럼을 통해 계측데이터의 주파수 특성을 분석할 수 있도록 도와준다. 또한 계측데이터를 그림 3의 (d)와 같이 X-Y 그래프로도 분석할 수 있다.

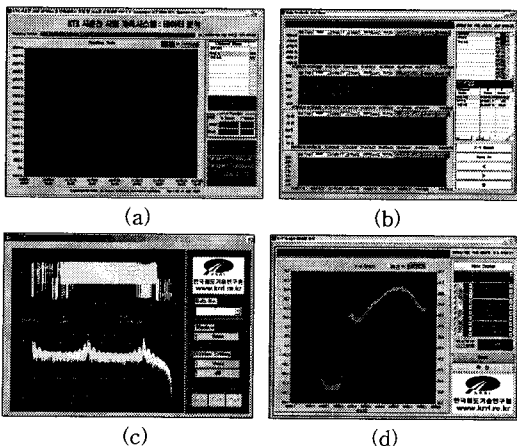


그림 3. 주행제동 분석프로그램

2.2 전기제동 성능

경부고속전철의 전기제동과 관련된 제동력과 제동거

리, 제동시간을 검토하기 위해 시뮬레이션을 통해 얻은 설계치를 이용하여 실제 시운전 시험에서 얻은 실측값과 비교 분석하였다.

2.2.1 전기제동의 설계치

그림 4는 경부고속전철의 전기제동력 곡선을 보여주고 있다. 가선전압이 19kV~29kV일 경우에는 전동기에 의한 회생제동을 사용하고 저항제동은 가선조건에 관계없이 사용하고 있다. 저항제동력은 230km/h에서 56km/h 부근까지는 175kN을 가지고 있고, 회생제동력은 160km/h에서 16km/h까지는 300kN을 가지는 것으로 계산되었다.

그림 5에서는 회생제동과 저항제동시의 제동거리를 보여준다. 회생제동과 디스크제동을 사용할 경우에는 제동거리가 3,049m로, 저항제동과 디스크제동을 사용하는 경우에는 제동거리가 3,090m로 나타났다. 이와 같이 여러 조건에 따른 경부고속전철의 전기제동 성능을 시뮬레이션을 통해 설계치를 구하였다.

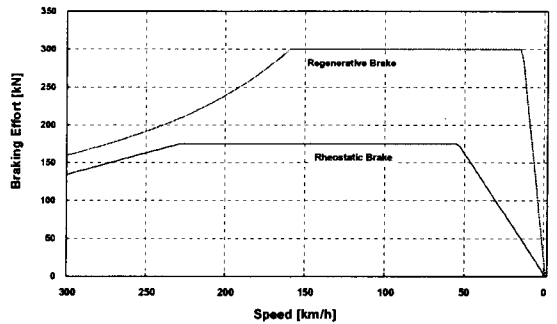


그림 4. 전기제동력 설계치

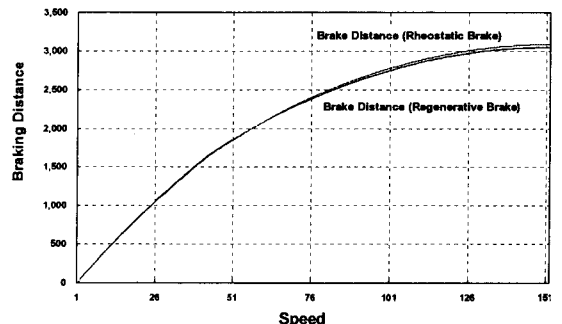


그림 5. 제동거리 설계치

2.2.2 전기제동의 비교 분석

그림 6과 그림 7은 모터블록(motor block) 6대를 기동하면서 VCB(Vacuum Circuit Breaker)를 차단하여 저항제동과 디스크 제동을 이용한 경우의 제동거리와 제동시간을 실측한 자료이다. 제동거리 설계치와 실측값은 각각 3,090m와 3,362m로 나타났고, 제동시간의 설계치와 실측값은 각각 71.91초와 74.14초로 확인되었다.

그림 8과 그림 9는 회생제동과 디스크제동을 이용하는 경우의 제동거리와 제동시간을 측정된 결과이다. 제동거리의 설계치와 실측값은 각각 3,049m와 2,919m로 나타났고, 제동시간의 설계치와 실측값은 각각 70.02초와 64.07초로 확인되었다.

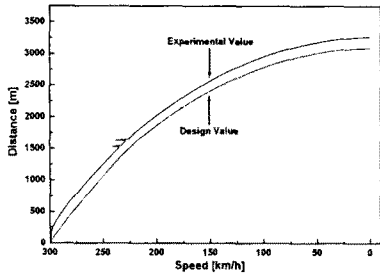


그림 6. 저항제동시의 제동거리

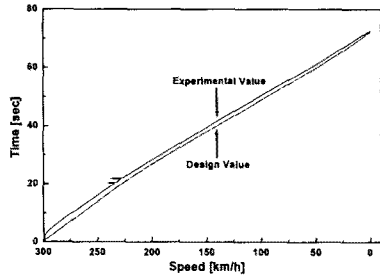


그림 7. 저항제동시의 제동시간

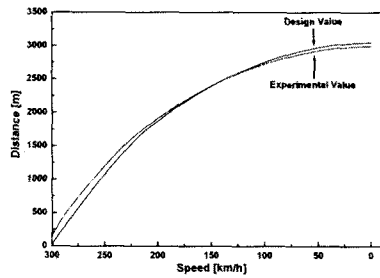


그림 8. 회생제동시의 제동거리

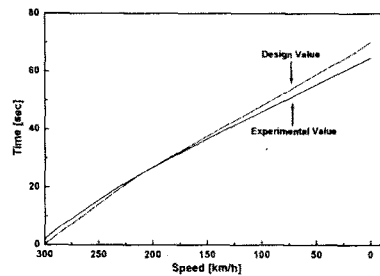


그림 9. 회생제동시의 제동시간

제동거리와 제동시간에서 실측값과 설계치가 차이를 보이는 것은 설계치의 경우에는 선로상의 구배와 곡선을 고려하지 않고 평지에서의 제동거리와 제동시간을 계산하였으나 실측값은 선로의 사정으로 인해 모든 시험을 평지에서 수행할 수 없었고, 설계치는 승객 1,000명이 탑승한 것을 전제로 계산하였으나 실측시에는 시험인원 외에는 거의 탑승하지 않았기 때문에 약간의 차이가 발생한 것으로 판단된다.

그림 10과 그림 11은 경부고속전철에서 모터블록 6대를 기동하면서 각각 저항제동력과 회생제동력에 대한 설계치와 실측값을 서로 비교한 결과이다.

저항제동력의 실측값은 약 234km/h부터 168kN을 유지하다가 55km/h부터 7km/h까지 거의 선형적으로 저항제동력이 떨어지는 것을 확인하였고, 회생제동력의 실측

값은 156km/h부터 22km/h까지 약 287kN을 유지하는 것을 확인할 수 있었다.

저항제동력과 회생제동력에서 실측값이 설계치와 차이가 있는 것은 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. 또한 초기에 두 값의 차이가 크게 발생한 것은 전기제동력을 이용할 때, 제동지령이 발생한 뒤에 바로 전기제동력이 투입되는 것이 아니라, 여러 경로를 거치면서 약간의 시간이 흐른 뒤에 전기제동력이 실제로 발생하기 때문에 일어난 것으로 보여진다.

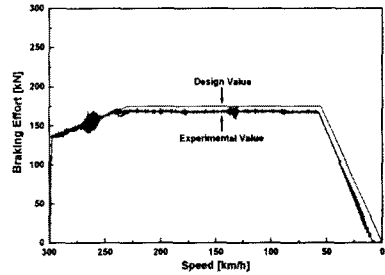


그림 10. 저항제동력(모터블록 6대)

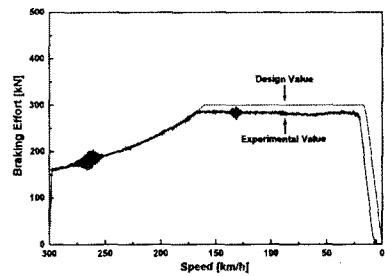


그림 11. 회생제동력(모터블록 6대)

3. 결 론

300km/h의 속도로 주행하는 고속전철에서 전기제동시스템은 승객의 안전과 편의에 영향을 미치는 전장품들 중에 하나이며, 고속전철의 안전성 및 신뢰성 확보를 위해 전기제동시스템의 성능과 특성을 파악하는 것은 중요하다. 따라서 본 연구에서는 경부고속전철 시운전 시험을 통해 획득한 시험 데이터를 계속 및 분석프로그램을 이용하여 전기제동시스템의 저항제동과 회생제동시의 제동거리와 제동시간을 설계치와 비교, 분석하였다. 또한 저항제동력과 회생제동력의 특성을 파악하였다. 향후에는 설계상의 조건과 시운전 시험조건을 통일하여 경부고속전철의 전기제동시스템의 성능 및 특성을 파악할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김석원, 한영재, 김영국, 박찬경, 최강윤, 김종영, "KTX 건인, 제동성능용 계속시스템 구축", 한국철도학회 추계학술대회, 2003.
- [2] 김석원, 한영재, 최강윤, 박찬경, 김종영, 오병일, 최성균, "건인제동 계속시스템 개발(1) - 소프트웨어", 한국선사학회 추계학술대회, 2003.
- [3] 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2001),交通部, 산자부, 과거치.
- [4] 고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발, 고속전철기술개발사업연차보고서(2002),交通部, 산자부, 과거치.