

## 전동차 제동장치제어기 국산화 개발을 위한 실용화 방안 연구 A Study on The Localization Development of Brake Controller in Electric Rail Car

고윤권\*†, 김영규\*, 김주태\*, 이상오\*, 배명곤\*\*, 윤태영\*\*\*

Yun-gwon Ko\*†, Young-kyu kim\*, Ju-tae kim\*, Sang-o Lee\*,

Myeong-gon Bae\*\*, Tea-young yun\*\*\*

**Abstract** Brake system is the most important component of electric rail car for safe operation. The Brake Controller of VVVF electric rail car of Hyundai, operating in line No. 1 and 4, is an analog control product manufactured with abroad technique. It is composed of 12 pieces of PCB panels and forms interface with various brake systems. Recently, there are difficulties in maintenance due to component deterioration, contact failure of connector, and suspension of abroad components. This paper will research and develop domestic product applied with electronic control system from existing analog control system, and study practical use method through final user validation and applicability to existing rolling stock.

**Keywords** : Brake Controller, Localization Development, Electronic Control, Reformation of Mechanical Structure

**초 록** 전동차에서 제동장치는 안전운행을 위하여 무엇보다도 우선되어야 할 중요한 장치이다. 서울메트로 1, 4호선에서 운용중인 현대 VVVF 전동차 제동장치제어기는 국외기술로 제작된 제품으로 12장의 PCB Panel로 구성되어 있으며 각종 제동장치와 인터페이스가 이루어지고 있다. 최근 장기사용에 따른 부품 노후화와 Connector 접속불량 및 외자부품 단종 등으로 유지보수에 많은 어려움을 겪고 있다. 본 논문에서는 국내 전동차 제작기술을 바탕으로 최신 전자식 제어방식이 적용된 국산화 제품을 연구개발하고 현재의 문제점 및 성능개선을 위한 실용화 방안 연구를 제시하고자 한다.

**주요어** : 제동장치제어기, 국산화 개발, 전자식 제어방식, 구조개선

### 1. 서 론

서울메트로 1, 4호선에서 운용중인 제동장치제어기는 20년 이상 장기사용에 따른 장치 노후화로 제어 PCB Panel의 부품 및 소자류에 특성 저하가 발생하고 있으며 제어 PCB Panel 일부 부품 단종과 외자재 수급 장기화로 PCB Panel 고장발생 증가, 열차종합정보장치 통신 불량 등 2차 고장발생이 증가되고 있다. 제동장치제어기의 마이크로 프로세서 제어기능은 각 차량의 제동작용장치와 활주방지장치의 안정성 확보가 목적이지만 사용자 요구에 탄력적으로 대응하기 어려우며 프로그램 된 매개 변수들의 동작에 대한 안전성을 확보하기 어려운 실정이다. 제동장치제어기의 자기진단 기능의 경우 2진수 코드에 의한 20mA Current

† 교신저자: 서울메트로 도시철도연구원 (rhdsbnjs@seoulmetro.co.kr)

\* 서울메트로 도시철도연구원

\*\* 서울메트로 창동차량사업소

\*\*\* 서울메트로 지축차량사업소

Loop 방식으로 자기진단 후 고장사항을 사용자에게 정확히 전달하지 못하며, 운행 중 이상이 발생할 경우 신속한 고장분석 및 조치가 어려운 실정이다. 제동장치제어기의 구조적 설계의 경우 설치위치가 객실의자 하부 안쪽에 고정 설치되어 있어 작업자의 작업이 어려운 상황이며, PCB Panel 점검 및 교환과 같은 유지보수 작업 시 작업자의 실수에 의한 2차 고장이 발생하여 유지보수 효율을 저하시키고 있다. 따라서 전동차의 유지보수 신뢰성 향상을 위해서는 첫째, 최신 전자식 제어방식이 적용된 마이크로 프로세서(16bit 이상)의 국산화 연구개발이 필요하다. 둘째, 제동장치제어기의 입·출력 제어신호를 모니터링 할 수 있는 기능과 모니터링 데이터를 실시간으로 통신 포트를 통해 출력할 수 있는 연구개발이 필요하다. 셋째, 기존장치와의 입·출력 호환성 유지(부분교체 가능)가 가능한 PCB 설계 제작과 현장 작업자의 편리성을 위해 제동장치제어기의 구조적 재 설계가 필요하다.

본 논문에서는 서울메트로 제동장치제어기의 유지보수 현황 및 고장발생 원인을 분석하여 근본적이고 안정적인 대책을 마련하고자 한다. 또한 신속한 유지보수 효율성 향상을 위해 현장 작업자의 애로사항 및 의견을 수렴하여 제어회로 개선, PCB 모듈 간소화(12장→7~8장), 고장운행 정보 저장, 제동장치제어기의 양·부 판단을 할 수 있는 모니터링 기능 구현 등 현재의 문제점 및 성능개선을 위한 실용화 방안 연구를 제시하고자 한다.

## 2. 본 론

### 2.1 제동장치제어기 현황

#### 2.1.1 유지보수 현황

전동차는 운행을 위한 장치로 주회로장치, 제동장치, 전원 공급장치, 보조 전원장치 등으로 구성되며, 승객의 안전과 서비스를 위한 신호장치 및 서비스장치가 장착되어 있다. 이런 장치들 중 제동장치는 승객의 안전과 승차감에 직접적인 영향을 미치며, 차량의 효율적 운행과 기능 유지 및 부품의 고장방지를 위해 주기적인 정비를 실시하고 있다. 서울메트로 1~4호선에서 운용되는 전동차는 총 200편성 1,954량으로 차량의 유지관리를 위해 5개 차량사업소에서 경수선(일상검사, 월상검사)과 중수선(중간검사, 전반검사)을 수행하고 있다. 그 중 4호선에서 운용중인 제동장치제어기는 47개 편성 중 30개 편성이 외자부품으로 제작되었으며 장기 사용(20년)에 따른 부품의 성능저하로 고장발생 빈도가 증가되고 있다.

#### 2.1.2 제동장치제어기 고장 현황 및 분석

서울메트로 4호선 제동장치제어기 운용 현황을 보면 Table. 1 과 같이 2009년 30건, 2010년 32건, 2011년 41건, 2012년 54건, 2013년 90건으로 고장발생 빈도가 증가되는 것을 알 수 있다. 2009년 이후 고장발생 증가에 따라 간이수리용 지그를 사용하였으며 2014년도 이후 현장 작업자가 자체적으로 제작한 시험기를 사용하여 제동장치제어기를 시험 및 점검하고 있다.

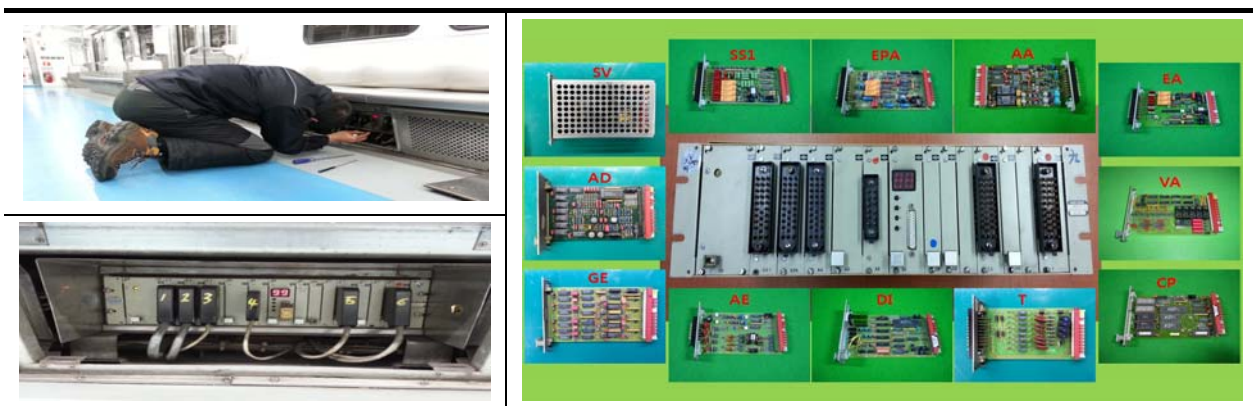
그러나 입·출력 신호선이 복잡하여 오 접속 및 혼축이 발생되어 고장분석이 쉽지 않은 상황이다. 또한 PCB Panel의 빈번한 수선으로 인하여 기판이 소손되고 단종 부품과의 특성 부조화로 인하여 제어신호 오동작 발생 빈도가 증가하고 있다

**Table. 1** Status of Failure in Brake Controller

구분	계	2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
발생건수	247	30	32	41	54	90
증·감(%)	-	-	2(7)	9(28)	13(32)	36(67)

### 2.1.3 제동장치제어기 설치 구조 현황 및 분석

제동장치제어기는 전동차의 각 량 마다 장착되어 1편성 당 10Set가 설치되어 운용중이다. 설치구조는 제동장치제어기 내에 12장의 PCB Panel이 장착되어 있으며 전동차 객실의자 하부 안쪽에 고정 취부되어있다. 설치 구조상 문제점으로 Fig,1과 같이 작업자의 편리성을 고려하지 않은 설계로 제동장치제어기 취거, 취부 시 Connector 접속불량, 객실 난방배선 및 객실의자 간섭에 의한 시스템 오 동작 등 유지보수 효율을 저하시키고 있다. 또한 일부 수선된 PCB Panel의 현차 취부 시험으로 작업능률이 저하되고 있으며 이로 인해 차량고장 범위가 증가하고 있다. 따라서 제동장치제어기 구조는 제동장치제어기 내의 PCB Panel을 쉽게 취거, 취부할 수 있도록 제작되어야 한다. 그러기 위해서는 전면 Connector 와 PCB Panel를 분리하여 전기적 접속이 이루어 지도록 설계해야 하고 PCB Panel 전용 Rack을 개발하여 PCB Panel 교환과 같은 유지보수 작업 시 작업자의 편리성을 극대화 시키고 불량발생을 최소화 하도록 설계 되어야 한다.



**Fig. 1** Status of Maintrace in Brake Controller

### 2.1.4 제동장치제어기 시스템 현황 및 분석

제동장치제어기는 각 차량의 제동작용장치와 활주방지장치의 제어를 행한다. 제동력 제어는 제동기준신호에 의해 제동작용장치의 전공변환변에서 제어압력(Cv)을 생성시켜

중계면에서 제어압력에 상당하는 제동통 압력을 출력한다. 활주방지장치는 제동작용장치의 제어와는 별개로 활주방지변(Dump Valve)에 의해 활주가 발생하는 대차당 제동통압력을 최적의 슬립 범위내로 유지하도록 신속하게 제동압력을 낮추어 줌으로 낮은 점착조건하에서 제동거리를 최소화하여 줄 수 있다.

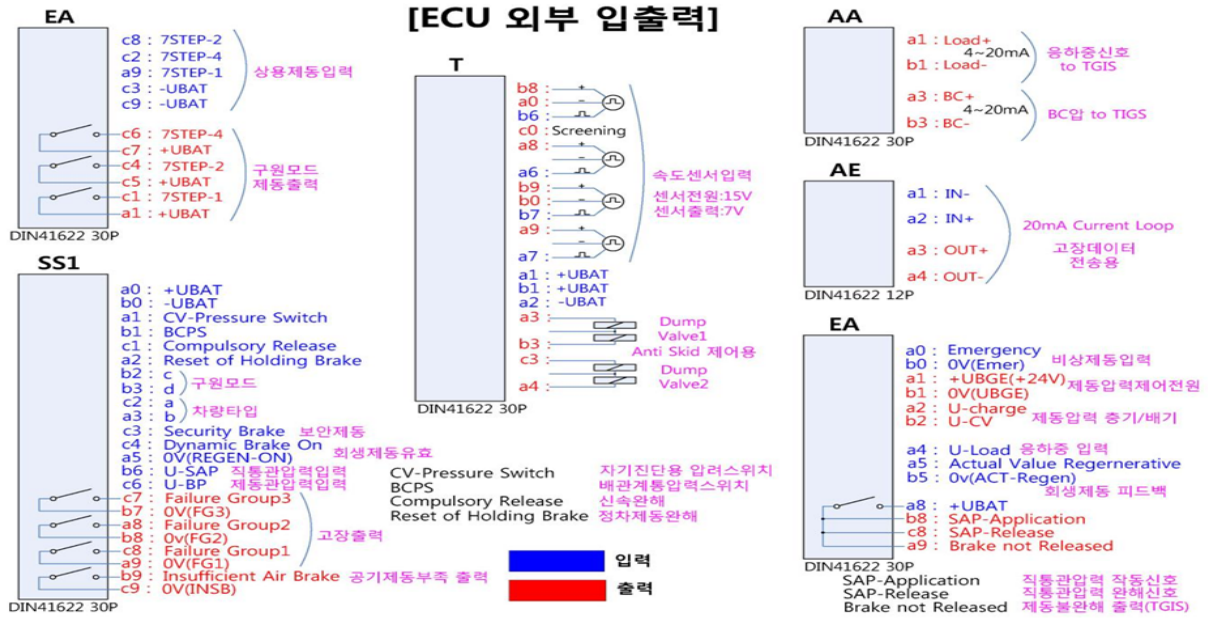


Fig. 2 Input and Output Interface of Brake Controller

하지만 제동작용장치와 활주방지장치의 안정성 확보를 위한 마이크로프로세서 제어기능은 Fig.2 와 같이 외부 장치와의 연속적인 인터페이스로 인해 특정 부품 성능저하가 발생되고 있으며 이로 인해 사용자 요구에 탄력적으로 대응하기 어려운 실정이다. 제동장치제어기의 자기진단 기능의 경우도 2진수 코드에 의한 20mA Current Loop 방식으로 자기진단 기능이 현저히 떨어지며 고장사항에 대한 자기진단 후 사용자에게 정확히 전달하지 못하여 운행 중 이상이 발생할 경우 신속한 고장분석 및 조치가 어려운 실정이다. 따라서 신규 개발하는 제동장치제어기는 최신 마이크로 프로세서(16 bit 이상)를 적용하여 사용자의 요구에 탄력적으로 대응 가능하고 최신 전자식 제어방식이 적용된 모듈화 및 부품 간소화 기술이 요구 되도록 설계해야 하며 고장운행기록 모니터링 기능과 분석 소프트웨어 기능등 신호의 흐름 파악을 쉽게 작업자에게 전달함으로써 작업 편리성과 유지보수 효율성 향상이 용이하도록 제작되어야 한다.

## 2.2 제동장치제어기 연구개발

### 2.2.1 연구 개발 방향 설정

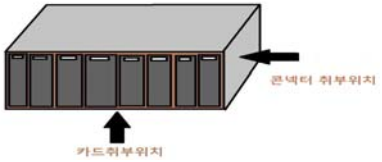
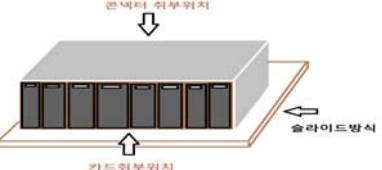
신규 개발하는 제동장치제어기는 제동장치제어기 내의 PCB Panel를 쉽게 취거, 취부할 수 있도록 제작되어야 하며, PCB Panel 전용 Rack을 개발하여 PCB Panel 교환과 같은 유지보수 작업 시 작업자의 편리성을 극대화 시키고 불량발생을 최소화 하도록 제작 되어야

한다. 따라서 제동장치제어기의 연구개발을 위한 기초 구조물 방식 선정에 2개의 안(1안, 2안)을 제시하였으며 안정성과 유지보수 효율성이 높은 설계안을 선정하고자 한다.

### 2.2.2 기초 구조물 방식 선정

제동장치제어기의 기초 구조물 방식 선정에 제시된 Table. 2 의 1안의 경우 기존 구조에서 마더보드를 신설하고 전면의 Connector 위치를 우측으로 이동 장착하여 전용 Rack이 쉽게 분리되는 구조이다. 2안의 경우 기존 구조에서 마더보드를 신설하고 전면의 Connector 위치를 뒤쪽으로 이동 장착하여 전용 Rack이 분리되는 구조이며 슬라이드 방식을 추가 적용하여 전용 Rack을 쉽게 취거, 취부할 수 있는 구조이다. 2개의 안(1안, 2안)에 대해 1차로 현장 작업자의 의견을 수렴하였으며 의견수렴의 결과를 바탕으로 시뮬레이터 및 정밀분석을 시행하였다. 최종 분석 결과 1안의 경우 PCB Panel 교환 시 외부 이물질 침투에 대한 우려가 없고 PCB Panel 및 Connector 취급 시 작업자 편리성 및 유지보수 효율성이 향상되는 구조로 평가되었으며 차량 운행 시 진동에 대해 안정적으로 평가 되었다. 2안의 경우 PCB Panel 교환 시 외부 이물질 침투에 대한 우려가 없고 슬라이드 방식 추가 적용으로 PCB Panel 및 Connector 취급 시 작업자 편리성 및 유지보수 효율성이 좀더 향상되는 구조로 평가되었으나 구조물 제작의 어려움이 있으며, 복잡한 구조물 설계로 불량 개소가 증가되어 차량 진동에 취약한 구조로 평가되었다. 따라서 안전성과 유지보수 효율성이 높은 1안이 채택되었다.

Table. 2 The Structure Analysis of Brake Controller

구분	구조물 방식	평가	결과
1안		<ul style="list-style-type: none"> <li>· 안전성이 높으며 PCB Panel 교환 및 Connector 취급이 용이</li> <li>· 유지보수 효율성 향상</li> <li>· 차량 진동에 안정</li> </ul>	채택
2안		<ul style="list-style-type: none"> <li>· PCB Panel 교환 및 Connector 취급이 용이</li> <li>· 불량 개소 증가 및 차량 진동에 취약</li> <li>· 기존 Connector 배선길이 조정필요</li> </ul>	불가

### 3. 결론

전동차 제동장치제어기 실용화 방안 연구로 서울메트로 제동장치제어기의 유지보수 현황 및 고장발생에 대한 원인을 분석하였으며, 신속한 유지보수 효율성 향상을 위해 현장 작업자의 애로사항 및 의견을 수렴, 분석하여 현재의 문제점을 성능개선 하기 위한 실용화 방안을 제시하였다. 유지보수 현황분석 결과 전동차 제동장치제어기의 외자부품 장기사용에 따른 부품의 성능저하로 고장발생 빈도가 증가되고 있으며 빈번한 수선으로 인하여 PCB Panel 기판이 소손되어 외주수선으로 인한 수선비용이 증가되고 있다. 제동장치제어기 설치구조는

작업자의 편리성을 고려하지 않은 설계 구조이며 제동장치제어기 시스템은 외부장치와의 연속적인 인터페이스로 인해 특정부품 성능저하가 발생되고 있으며 이로 인해 사용자 요구에 탄력적으로 대응하기 어려운 실정임을 알 수 있었다. 따라서 본 연구의 실용화 방안 연구결과를 통해 제동장치제어기의 성능을 효과적으로 분석하고 시제품 연구개발 및 관련 핵심기술을 확보할 수 있을 것이다. 향후 시제품 제작 시 제동장치제어기 내의 PCB Panel을 쉽게 취거, 취부할 수 있도록 제작하고 내부 버스라인과 외부 인터페이스의 간섭이 없도록 회로구성 설계, 기존장치와의 인터페이스 호환성 유지, 내진동·내충격에 대해 안정성 확보등 최적화된 설계로 시제품을 제작하고자 한다. 또한 최신 전자식 제어방식이 적용된 마이크로 프로세스(16 bit이상) 개발을 바탕으로 제동장치제어기의 입·출력 제어신호를 모니터링 할 수 있는 기능과 모니터링 데이터를 실시간으로 통신 포트를 통해 출력할 수 있는 PCB 모듈 간소화(12장→7~8장) 연구개발을 진행하고자 한다. 최종적으로 기존 제동장치제어기와 연구개발된 제동장치제어기 시제품을 충분히 비교 시험할 수 있도록 종합시험기를 제작하고 전동차의 현차적용시험을 통해 4호선 현대 VVVF 전동차에 시범적으로 적용하고자 한다.

## 후 기

본 논문은 중소기업기술정보진흥원에서 지원한 위탁연구과제 “제동장치제어기(ECU) 실용화 방안 연구” 에 의해 수행 되었습니다.

## 참고문헌

- [1] H.K.Back, (2011) A Study on the Improvement of Regenerative Brake System of Urban Railway Vehicle, Master' s Thesis, Graduate School of the City University.
- [2] <http://www.knorr-bremse.co.kr/ko/railvehicles/products/brakingsystems/brakecontrol/bc.jsp>.
- [3] Yoon, P., “Technology Trends and Perspectives of Brake-by-Wire System,” Journal of the Korea Society.
- [4] Wilke, R. and Korthaus, H., “Motor-Driven Brake System, Especially for Rail Vehicles,” US Patent, Paper No. 4805740, 1989.
- [5] Kim, M.-S., Oh, S.-C, Choi, M.-W., Yoo, H.-K., and Lee, H.-S., “Survey on Electro Mechanical Brake System for the Railroad Vehicle,” Proc. of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society of Autumn Conference, 2015.
- [6].<http://www.tuv-sud.cn/cn-en/activity/focus-topics/functional-safety/functional-safety-certification-services/rolling-stock>.
- [7] Seoul Metro (1995) Maintenance Instruction Manual for Line#1 VVVF Hyundai Rotem ADV.
- [8] Seoul Metro Driving Management Regulation Code.
- [9] Seoul Metro Rolling Stocks Regulation Code.