한국산학기술학회논문지
Vol. 10, No. 5, pp. 935-941, 2009

무선통신기반 차상제어장치의 전동차 시험 분석

백종현[1*], 김용규[1], 이창구[2], 박재영[3]
[1]한국철도기술연구원, [2]전북대학교 전기전자컴퓨터공학부, [3]우송대학교 철도전기신호학과

Analysis of EMU Installation and Yard Test for Communication Based Train Control On-board Equipment

Baek, Jong Hyen[1*], Kim, Yong Kyu[1], Lee, Chang Goo[2] and Park Jae Young[3]
[1]Korea Railroad Research Institute,
[2]Division of Electric-Electronic-Computer, Chonbuk National University,
[3]Department of Railroad Electric & Signaling, Woosong University

요 약 본 논문에서는 철도의 운영효율을 향상시킬 수 있는 무선통신에 기반을 둔 열차제어기술에 대해 연구하였다. 현재 국내에서 사용되고 있는 신호시스템은 궤도회로 기반의 열차제어시스템으로서 열차의 이동성과 안정성을 고려하여 사용한 기술이다. 최근의 세계적 추세는 열차간격을 고밀도로 제어하기 위해 새로운 패러다임으로 떠오르고 있는 무선통신기반 열차제어시스템이다. 국내에서도 이에 대한 기술 확보가 요구되며, 이에 따른 무선통신기반 열차제어시스템의 연구개발을 추진하였다. 본 논문에서는 열차제어시스템의 구성 중 핵심적인 요소인 차상제어장치를 개발하였고, 이를 수도권 광역전철중의 하나인 분당선의 전동차에 설치하여 시험한 결과를 설명하고 있다.

Abstract In this paper, we study the communication based train control technology which has been improved for the railroad operation efficiency. All the signalling systems currently used in Korea are track circuit based train control systems, which train mobility and safety are considered on. When it comes to the recent abroad trend, development for communication based train control system, which arises new paradigm in the field of high density train separation, have been promoted. Considering the urgent necessity to develop the above mentioned technology, we would like to propose the research and development of communication based train control system and the present domestic and foreign statuses of on-board equipment development. In this paper, therefore, we had been developed localization on-board equipment of communication based train control system, which is the key construction of train control systems. For its verification, we accomplished installation and yard test on-board equipment of communication based train control system on Bundang-line's EMU(Electrical Multiple Unit).

Key Words : CBTC(Communication Based Train Control). Train Separation, Signalling System, EMU

1. 서론

철도시스템에서는 신속하고 안전한 승객운반을 위한 열차운행의 안전도 및 신뢰도 확보가 점차로 중요한 문제로 대두되고 있으며, 이에 따라 고도화된 열차제어시스템이 요구되고 있다.

현재 국내 지하철에 사용되는 전동차는 국내에서 자체 제작되고 있으나 핵심 신호제어장치(ATC, ATO, TWC, …)에 대해서는 그렇지 못한 실정이다[1,4,5].

특히 국내의 기술력 부족, 시장의 특이성 및 수요의 가변성 등으로 인하여 다국적, 다품종의 외국제품을 도입하여 각 노선별로 상이한 시스템을 운용하고 있다. 이로 인해 동일 기능별로 상호 호환성이 부족하여 운영 측면의 애로사항을 내포하고 있으며, 특히 승객의 안전과 편의성

본 논문은 국토해양부 "한국형 틸팅열차 신뢰성 평가 및 운용기술개발" 연구과제로 수행되었음.
*교신저자 : 백종현(jhbaek@krri.re.kr)
접수일 09년 01월 19일 수정일 09년 05월 12일 게재확정일 09년 05월 27일

에 영향을 주는 사고가 발생할 경우 정확한 사고원인 규명과 즉각적인 대응조치가 어려운 현실이다. 또한 해외기술 종속에 의한 기술경쟁력 약화로 차량제작사의 채산성 악화와 대외 수출경쟁력의 약화가 초래되고 있다. WTO 체제에 따라 기술 환경 측면에서 국내·외적으로 어려운 환경이며, 이에 국제경쟁력을 확보하기 위한 신호제어시스템의 설계 및 제작기술에 대한 기술자생력의 확보가 시급하다. 따라서 향후 기술발전 추세를 고려하고, 도시철도 신호시스템의 개량에 대한 대비를 위하여 신호시스템의 국내 기술력 및 제품간 호환성의 확보는 대단히 중요하다.

현재 철도신호체계는 궤도회로에 의한 고정폐색시스템을 차상과 지상간의 연속적인 양방향 통신에 의해 제어함으로서 이동폐색 시스템을 실현하는 무선통신기반 열차제어시스템(CBTC: Communication Based Train Control)으로 전환되어가는 추세이며, 다음과 같은 프로젝트들이 국내외에서 진행 중에 있다[1-6].

[표 1] 무선통신기반 열차제어시스템 프로젝트 현황

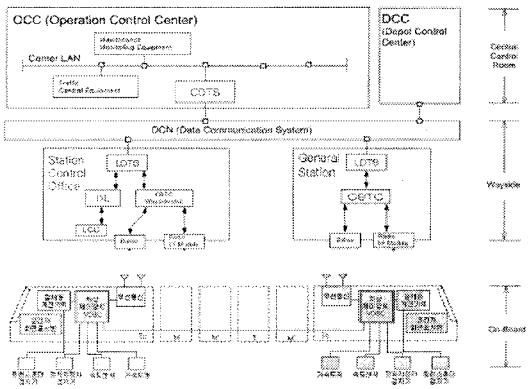
지역	프로젝트 현황
북미	- 뉴욕 : Canarsie Line - 샌프란시스코 : SF BART, Airport People Mover - 필라델피아 : SEPTA Light Rail Tunnel - 라스베가스 : Monorail
유럽	- 영국 런던 : Jubilee Line Extension - 프랑스 파리 : Line 13 - 스페인 바르셀로나 : Line 9
아시아	- 홍콩 : Penny's Bay Line - 싱가포르 : North East Line - 대만 : Neihu Line - 대한민국 : 분당선

특히, IEEE 802.11 표준을 기반으로 TCP/IP 서비스를 활용한 시스템이 라스베가스의 Monorail 및 홍콩의 Penny's Bay Line에 적용되어 운행 중이다.

1970년대에 개통하여 오늘에 이르고 있는 도시철도 신호시스템은 개량에 대비하여야 할 때이다. 현재 철도 선진국에서는 무선통신기반 열차제어시스템의 상용화가 이루어지고 있는 실정이며, 근시일내에 국내에서도 적용될 것이다. 이러한 필요성으로 인하여 한국철도기술연구원에서는 국토해양부의 국가연구개발사업을 통해 (주)로템과 무선통신기반 열차제어시스템의 차상제어장치를 개발하였다. 본 논문에서는 개발된 차상제어장치의 성능 확인을 위하여 수도권 광역전철 중의 하나인 분당선 전동차 56편성에 설치하였으며, 이에 대한 설치 시험 및 기지 시험 결과에 대해 설명하고 있다.

2. 무선통신기반 열차제어시스템 개요

무선통신기반 열차제어시스템은 지상의 거점에 위치하는 컴퓨터가 각 열차로부터 위치와 속도를 주기적으로 수집하고, 선행열차와 속도 제한 지점까지의 거리를 열차로 전송하고, 차상의 제어장치가 열차성능에 맞는 최적의 속도제어를 하는 것으로, 지상과 차상간의 데이터 전송에 무선을 사용하는 그림 1과 같은 시스템을 말한다.

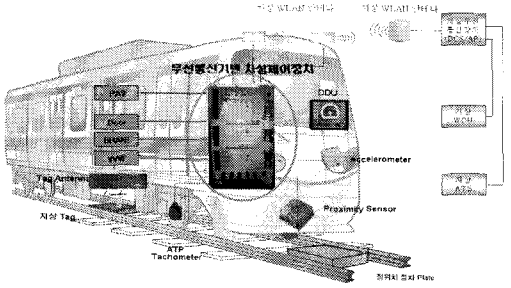


[그림 1] 무선통신기반 열차제어시스템의 구성도

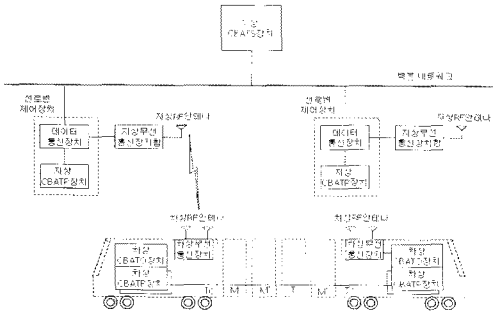
3. 무선통신기반 차상제어장치 개발

개발된 차상제어장치는 열차자동제어 및 보호기능을 담당하는 CBATP 장치, 열차자동운행 기능을 담당하는 CBATO 장치 및 차상/지상간 무선통신 기능을 담당하는 차상무선통신장치로 크게 나눌 수 있으며 전동차에는 다음의 그림 2와 같이 설치되고, 그림 3과 같이 지상장치들과 인터페이스 된다. 차상 CBATP 장치는 차상무선통신장치 및 지상무선통신 설비와 인터페이스 되어 차상 설비 자체의 결함 또는 지상의 제한속도에 대해 운전자가 적합하게 대처하지 못했을 경우 등의 위협 조건으로부터 열차와 승객을 보호하는 기능을 수행하게 된다. 최상의 안전 기능을 보장하기 위해, 차상 CBATP 장치는 자동절체 방식의 2중계로 구성하였다. 차상 CBATO 장치는 차상 CBATP 장치로 부터 수신되는 지상 Tag ID 정보 및 지상으로부터 수신하는 제한속도 정보에 따른 유연한 가속 및 감속, 제어 목표 속도의 유지, 정위치 정차센서에 의한 역 승강장 내의 정위치 정차, 열차 출입문 제어 등 운전자가 수행하는 일반적인 기능들을 자동으로 수행한다. 차상무선통신장치는 Wireless LAN 안테나 및 지상 AP(Access Point) 시스템과 결합하여 열차와 지상 무선설

비간의 무선통신에 의해 종합사령실 시스템과의 연계를 통한 자동열차 주행 진로 확인, 정차 시분 제어, 차량속도 조절 및 차량 상태 등의 정보표시 등 열차 운행 관리 기능을 수행한다[1].

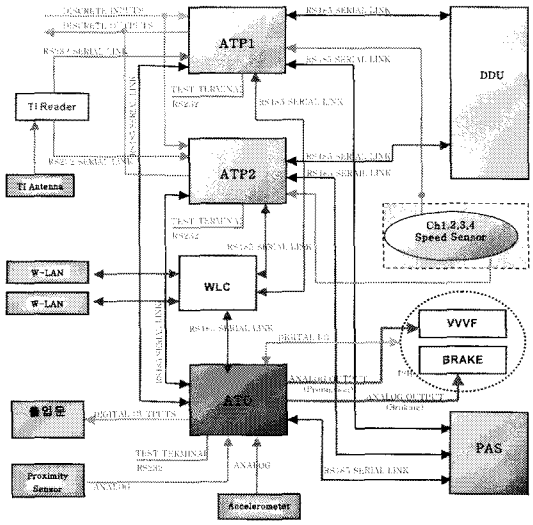


[그림 2] 무선통신기반 차상제어장치의 구성도



[그림 3] 차상제어장치와 지상장치의 인터페이스

무선통신기반 차상제어장치는 시스템 내의 특정 장애 혹은 오동작이 발생할 경우 어떠한 불안전한 조건이 발생하지 않도록 하고 그러한 불안전한 조건의 발생 가능성이 안전상의 허용 가능할 정도로 충분히 작아지도록 하여야 한다. 무선통신기반 차상제어장치는 하위 시스템 3가지 및 주변장치 5가지로 구분할 수 있다. 하위 시스템은 자동 열차 제어 및 보호 기능의 CBATP 장치, 자동 열차 운행 기능의 CBATO 장치 및 차상-지상 간 무선통신 기능의 WLC 장치이며, 주변장치로서는 승무원에게 전동차의 실제 주행 속도 및 지상신호설비로부터 수신된 제한속도 정보를 현시하는 운전자표시장치(DDU : Driver Display Unit), 지상 Tag ID 정보를 수신하는 Tag Reader 및 Tag Antenna, 레일 사이에 설치된 정위치 정차용 지상 근접 Plate를 검출하는데 사용되는 정위치 근접센서, CBATP 열차 속도를 생성하는 CBATP Tachometer 및 운전모드를 선택하는 운전모드 선택스위치로 구분된다. 이러한 무선통신기반 차상제어장치가 차량에 탑재되어 기능을 구현하기 위해서는 CBATP 장치, CBATO 장치, WLC 장치, Tag Reader, Mechanism Rack, Vital Relay, Accelerometer, Power Supply, Main Power Switch, Test Switch, I/O Connector 등을 포함하여 DDU장치, W-LAN 안테나, 정위치 정차용 근접센서, Tag 안테나, CBATP Tachometer, 운전모드 선택스위치 장치를 필요로 하며 전체 구성은 그림 4와 같다[1].



[그림 4] 차상제어장치의 인터페이스 구성도

한국철도기술연구원에서 국토해양부의 국가연구개발사업으로 개발한 차상 CBATP 장치와 CBATO 장치는 무선통신기술을 기반으로 한 열차제어시스템에서 가장 핵심이 되는 요소로 기존 도시철도 신호시스템의 개량 또는 신설되는 도시철도 신호시스템에 적용될 수 있을 것이다.

4. 차상제어장치의 전동차 시험

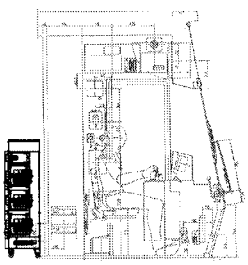
4.1 차상제어장치의 전동차 설치

한국철도공사에서는 분당선을 대상으로 하는 "지능형 열차제어시스템(MBS : Moving Block System) 시범구축사업"을 삼성 SDS와 계약하여 추진하였다. 이 사업에서 분당선에 설치한 시스템은 탈레스(구 알카텔)의 무선통신기반 열차제어시스템으로서 본 연구에서 개발된 차상제어장치의 기본적인 성능 및 기능을 확인하기 위해서는 분당선에 설치된 무선통신기반 열차제어시스템의 지상장치를 이용하는 것이 가장 적합하다고 판단되어 한국철도공사와 협약을 맺어 표 2와 같은 세부장치들을 그림 5와 같이 분당선의 56호 편성 열차에 설치하여 시험하였다[1,7].

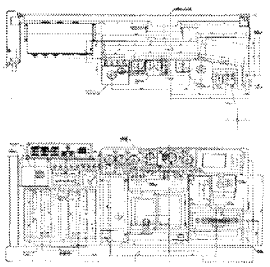
[표 2] 차상제어장치의 전동차 설치 항목

순번	항 목	수량
1	CBATP/CBATO 차상장치	2sets
2	신규 수동조작반(NMCP)	2sets
3	DDU(Driver Display Unit)	2sets
4	차상 무선랜 안테나	2sets
5	Tag Antenna	2sets
6	Proximity Sensor	2sets
7	속도센서(도플러 센서) 및 Junction Box	2sets
8	신규 T/B	2sets
9	Wiring Box 커버	2sets
10	인통선 연결용 전선 롤러	2sets

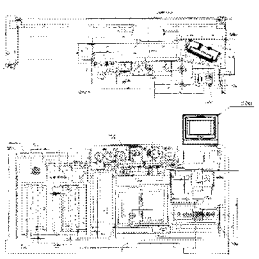
1) CBATP/CBATO 차상장치 : TC-CAR 객실 벽면 바닥에 설치하였다.
2) 신규 수동조작반 : TC-CAR의 운전실 데스크 상단 좌측에 설치하였다.
3) DDU : TC-CAR의 운전실 데스크 상단 우측에(모니터 위 측)에 설치하였다.
4) 차상 무선랜 안테나 : 운전대 상단의 좌우 운전자 시야에 방해가 되지 않는 곳에 설치하였다.
5) Tag Antenna 및 Proximity Sensor : Tag Antenna의 설치용 Bracket는 #6, #7 크로스 빔 중앙 Under Frame에, Proximity Sensor의 설치용 Bracket는 #10, #11 크로스 빔 중앙 Under Frame에 설치하였다.
6) 속도센서(Doppler Sensor) : 속도센서 설치용 Bracket은 진동 등에 의해 취부 위치가 변동되지 않도록 TC-Car 완충기 아래에 설치하였다.
7) 신규 TB(Terminal Block) : TC-CAR 운전실내 기존 배전반이 설치된 장소에 TB를 설치하고 RACK, 신규 수동조작반, DDU 등에 연결되는 케이블을 커넥터를 이용하여 설치하였다. 또한 인버터 제어신호(PWM)용 케이블은 외부잡음에 대비하여 쉴드 케이블을 사용하였다.



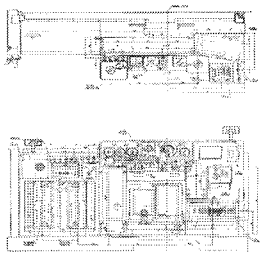
CBATP/CBATO 설치



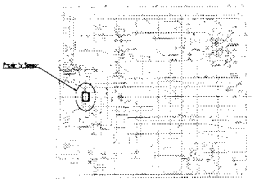
신규 수동조작반 설치



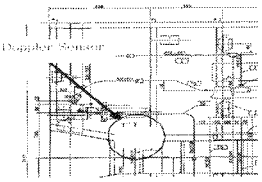
DDU 장치 설치도



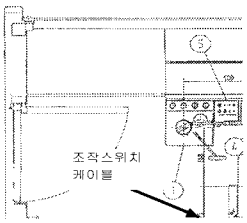
차상 무선랜 안테나 설치

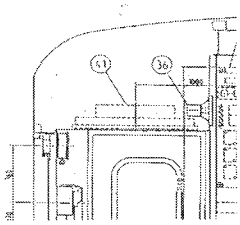


Proximity 센서 설치



속도센서 설치





신규 TB 설치

[그림 5] 차상제어장치의 전동차 설치도면

4.2 차상제어장치의 전동차 시험

4.1절에서 설명한 바와 같이 분당선 56호 편성에 개발된 차상제어장치를 설치하였으며, 설치한 결과에 대한 설치시험과 기지 구내시험을 실시하였다. 각각의 시험에 대한 항목은 다음과 같다.

4.2.1 설치시험

차상제어장치 구성품의 설치상태 및 배/결선 상태와 입/출력 결선의 상태를 확인하였다.

- 차상제어장치 및 주변장치 설치 확인
- 차상제어장치와 차량간 결선상태 확인
- 차상제어장치 전원입력 및 접지상태 확인
- 바이탈 입/출력 신호, PWM 출력 신호 확인
- TAG / Proximity 센서 수신 확인

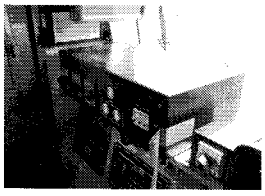
4.2.2 기지 구내시험

차상제어장치가 설치된 전동차에 대한 입/출력 확인 시험 및 각 운전모드 설정에 따른 입/출력 상태와 추진 및 제동장치, 출입문 제어장치와의 인터페이스, CBATP 절체 등을 확인하였다.

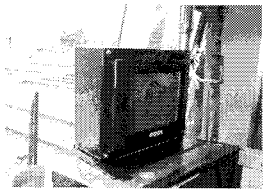
- 정지상태 시험
- 차상↔지상 인터페이스 확인 시험
- 기지 모드 주행시험
- 수동 모드 주행시험
- 자동 모드 주행시험
- 완전자동 모드 주행시험
- 비 정상상태 시험

4.2.3 차상제어장치 전동차 시험 결과

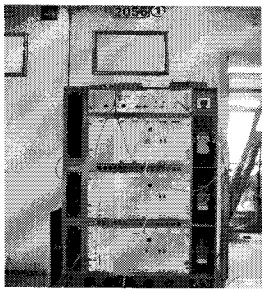
설치시험 및 기지 구내시험 모두 각각의 시험항목별로 적합하게 결과가 나오는 것을 확인할 수 있었다. 다음 그림 6의 사진들은 차상제어장치의 전동차 설치 및 시험을 하는 과정들이며, 그림 7은 정적설치시험에 대한 시험 결과서이다.



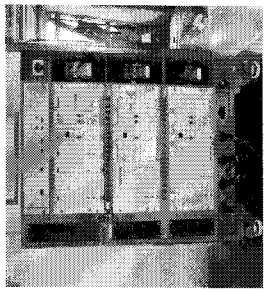
수동조작반



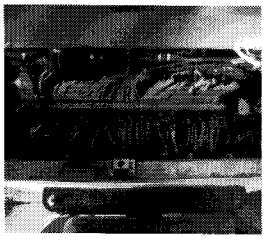
운전자 화면(DDU)



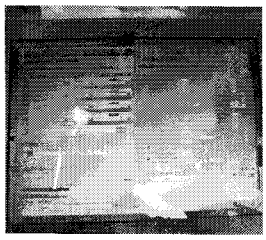
2056호 차상제어장치



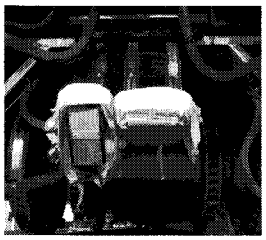
2156호 차상제어장치



신규 TB



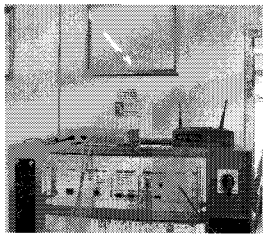
WLC 시험화면



도플러/Proximity 센서

TAG 안테나

WLAN 안테나

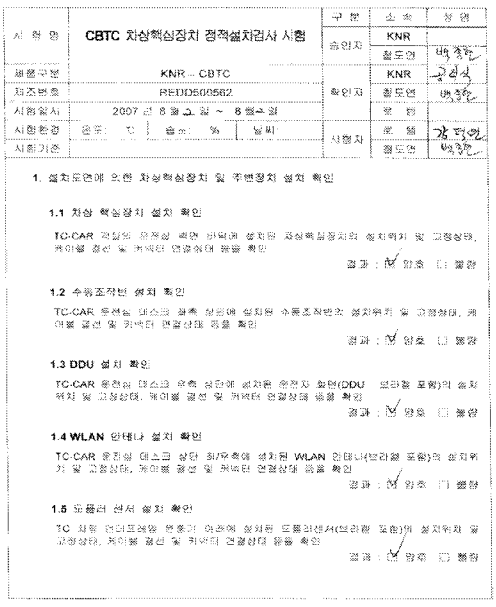


AP 및 암호화 모듈

기지/수동 모드 주행시험

자동/완전자동 모드 주행시험

[그림 6] 차상제어장치의 전동차 시험 장면[1]



시험명	CBTC 차상핵심장치 정적설치검사 시험	구분	소속	성명
		승인자	KNR	
			철도연	백경원
제품구분	KNR – CBTC	확인자	KNR	권석식
제조번호	REDD500562		철도연	백경원
시험일시	2007 년 8 월 그 일 ~ 8 월 그 일		로 템	
시험환경	온도: ℃ 습도: % 날씨	시험자	로 템	강덕연
시험기준			철도연	백경원

1. 설치도면에 의한 차상핵심장치 및 주변장치 설치 확인

1.1 차상 핵심장치 설치 확인

TC-CAR 각실의 운전실 확인 바닥에 설치된 차상핵심장치의 설치위치 및 고정상태, 케이블 결선 및 커넥터 연결상태 등을 확인

결과 : ☑ 양호 ☐ 불량

1.2 수동조작반 설치 확인

TC-CAR 운전실 데스크 좌측 상단에 설치된 수동조작반의 설치위치 및 고정상태, 케이블 결선 및 커넥터 연결상태 등을 확인

결과 : ☑ 양호 ☐ 불량

1.3 DDU 설치 확인

TC-CAR 운전실 데스크 우측 상단에 설치된 운전자 화면(DDU 보라점 포함)의 설치위치 및 고정상태, 케이블 결선 및 커넥터 연결상태 등을 확인

결과 : ☑ 양호 ☐ 불량

1.4 WLAN 안테나 설치 확인

TC-CAR 운전실 데스크 상단 좌/우측에 설치된 WLAN 안테나(보라점 포함)의 설치위치 및 고정상태, 케이블 결선 및 커넥터 연결상태 등을 확인

결과 : ☑ 양호 ☐ 불량

1.5 도플러 센서 설치 확인

TC 차량 인터프레임 연동기 아래에 설치된 도플러센서(보라점 포함)의 설치위치 및 고정상태, 케이블 결선 및 커넥터 연결상태 등을 확인

결과 : ☑ 양호 ☐ 불량

[그림 7] 정적설치검사 시험결과서

5. 결론

본 논문에서는 국토해양부 국가연구개발사업을 통해 개발된 무선통신기반 차상제어장치를 수도권 광역전철 중 하나인 분당선의 56호 편성을 개조하여 설치하고, 설치시험 및 기지 구내시험을 수행한 결과를 보여주었다. 분당선의 기존 열차에는 ATC(Automatic Train Control) 장치가 사용되고 있었다. 따라서 기존 ATC 장치와 무선통신기반 차상제어장치와의 전원을 완전히 분리하여 영업운전 시에는 기존 ATC 장치에 의해 열차를 운행하고, 기지 구내시험 중에는 무선통신기반 차상제어장치로 시험운행 하도록 차량개조를 완료하였다. 그리고 한국철도공사의 입회하에 전동차 설치시험 및 도시철도차량 성능시험기준에 따른 완성차시험(정지상태 및 주행상태 시험)을 분당선 기지 구내시험을 통해 완료하였다. 국토해양부에서 고시한 도시철도차량 성능시험기준에는 구성품시험, 완성차시험 및 본선시운전시험을 모두 통과하여야 하도록 되어 있기 때문에 개발된 무선통신기반 차상제어장치의 적합한 성능 및 기능을 입증하기 위해서 본 연구에서 설명된 내용과 같은 완성차시험 이후에 본선시운전시험을 실시하여야 한다. 그러나 한국철도공사에서 분당선에 시범적으로 실시하고 있는 무선통신기반의 "지능형 열차제어시스템 시범구축 사업"의 제품 공급업체인 탈레스의 무선통신에 대한 보안과 프로토콜에 대한 정보 등 적극적인 지원이 없이는 차상제어장치와 지상장치 사이의 인터페이스는 거의 불가능하다. 따라서 무선통신기반 차상제어장치가 설치된 전동차를 분당선 본선에 투입하여 본선시운전시험을 하기에는 너무 큰 위험요소가 많았다. 이러한 부분을 보완하기 위해 본선시운전시험 대신 상호운영성 확인을 위한 통신인터페이스시험으로 대체하여 시험을 진행하기로 하였다[1,7].

참고문헌

[1] 김종기, 백종현외, "도시철도 신호시스템 표준화 연구개발사업" 한국철도기술연구원 도시철도 신호시스템 표준화 연구개발 최종보고서(국토해양부), 2008.

[2] 김용규, 윤용기, 백종현외, "열차제어 핵심요소기술개발" 한국철도기술연구원 기본연구사업보고서, 2008.

[3] 윤용기, 김용규외, "무선통신을 이용한 열차제어시스템" 한국철도 학회지, 제7권 제2호. pp.22-28, 2004.

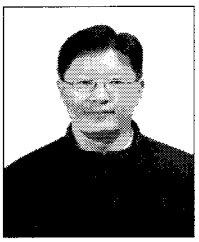
[4] 김영태, "신호제어시스템" 테크노미디어, 2003. pp.446-469.

[5] 철도청, 한국철도신호기술협회, "철도신호용어편람", 2004.

[6] 건설교통부, "MBS를 이용한 열차 교통 정책", 2003

[7] 삼성 SDS, 철도청, "분당선 지능형 열차제어시스템 시범구축사업 최종보고서", 2008.

백 종 현(Jong-Hyen Baek) **[정회원]**



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

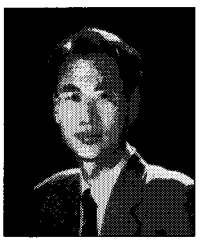
<관심분야>
현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링

김 용 규(Yongkyu Kim) **[정회원]**

- 1987년 2월 : 단국대학교 전자공학과 석사
- 1997년 7월 : Ph.D in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France
- 1997년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실장

<관심분야>
자동제어, 지능형시스템, 제어계측

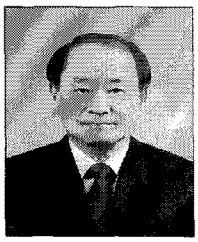
이 창 구(Changgoo Lee) **[정회원]**



- 1981년 2월 : 전북대학교 전기공학과 학사
- 1983 1월 ~ 1991년 12월: 한국전자통신연구원 선임연구원
- 1991년 2월 : 전북대학교 전기공학과 박사
- 1992년 2월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자정보공학부 교수

<관심분야>
현대제어, 퍼지제어, 지능형시스템

박 재 영(Jaeyoung Park) **[정회원]**



- 1989년 2월 : 서울산업대학교 전기공학과 학사
- 1996년 8월 : 고려대학교 산업대학원 전기공학과 석사
- 2007년 2월 : 서울산업대학교 철도전문대학원 철도전기신호공학과 박사
- 1970년 2월 ~ 2007년 3월 : 한국철도공사 오송고속철도전기사무소장
- 2007년 3월 ~ 현재 : 우송대학교 철도전기신호공학과 교수

<관심분야>
자동제어, 지능형시스템, 제어계측