

열차제어시스템의 상호운영성 확인을 위한 통신 인터페이스 시험분석

백종현^{1*}, 이강미¹, 김용규¹
¹한국철도기술연구원

Analysis of Communication Interface Test for Interoperability Verification of Train Control System

Baek Jong Hyen^{1*}, Lee Kang Mi¹ and Kim Yong Kyu¹
¹Korea Railroad Research Institute

요약 본 논문에서는 세계적인 열차제어시스템의 발전 추세에 따라, 향후 국내 열차제어시스템의 개량 및 상호운영성을 확보하기 위한 목적으로 수도권 광역전철 중 하나인 분당선에 시범 설치된 무선통신기반 열차제어용 지상장치와 국가연구개발사업을 통해 개발한 무선통신기반 열차제어용 차상장치의 상호운영성을 확인하기 위한 통신인터페이스 시험의 결과에 대해 제시하고 있다. 개발된 무선통신기반 열차제어용 차상장치는 분당선 차량기지에서 설치 및 설치시험을 완료하였으며, 상호운영성 시험을 위해서는 분당선에 시범 설치된 지상장치와 인터페이스 시험을 하여야 한다. 그러나 안전이 최우선되는 철도시스템의 특성상 무선통신기반 열차제어용 차상장치를 실제 열차에 설치하고 지상장치가 설치된 구간에서 시험 운영하는 것은 안전에 대한 위험이 뒤따르기 때문에, 무선통신기반 열차제어시스템 모의시험환경을 구성하여, 상호운영을 위한 장치의 송수신 데이터 체계를 확인하고, 이를 개발된 열차제어용 차상장치에 적용하여, 상호운영성을 시험하였다.

Abstract In this paper, for the purpose of improving the future domestic train control systems and securing interoperability according to the global development trends of train control systems, we present the test results of communication interfaces to verify the interoperability between CBTC wayside units tentatively installed in Bundang line that is one of the metropolitan area rail transit systems, and the CBTC onboard units developed through the national R/D project. The CBTC onboard equipment developed, has finished its installation and trial tests in the Bundang shunting yard. For the interoperability test, we should make an interface test with wayside equipment tentatively installed in Bundang line. Due to the safety-critical characteristics of train systems, the site test in the section where the wayside equipment is installed, leads to a danger against safety. Therefore, by way of constructing a simulation environment of train control systems, we confirm the T/R data systems of the equipment for interoperability and test the interoperability by applying these systems to developed CBTC onboard equipment.

Key Words : CBTC(Communication Based Train Control), Interoperability, Communication Interface

1. 서론

국내 도시철도 전동차량은 국내기업들에 의해 자체 제

작되고 있으나 신속하고 안전한 승객수송을 책임지는 열차제어장치(ATC, ATO, TWC 등)의 경우, 시장의 특이성 및 수요의 가변성 등으로 인하여 다국적, 다품종의 외국

본 논문은 한국철도기술연구원 기본연구사업으로 수행되었음.

*교신저자: 백종현(jhbaek@krri.re.kr)

접수일 10년 07월 19일

수정일 (1차 10년 09월 17일, 2차 10년 10월 19일)

게재확정일 10년 11월 19일

제품을 도입하여 각 노선별로 상이한 시스템을 운용하고 있다. 이로 인해 동일 기능의 장치별 상호 호환성이 부족하여 운영의 어려움을 내포하고 있으며 또한 승객의 안전과 편의성에 영향을 주는 사고가 발생할 경우 정확한 사고원인 규명과 즉각적인 대응조치가 어려운 현실이다. 따라서 도시철도 열차제어시스템의 향후 기술발전 추세와 열차제어시스템의 개량을 대비하기 위해, 열차제어시스템의 국내 기술력을 확보하여, 동일기능을 갖는 장치간 상호호환성을 확보하는 것은 매우 중요하다[1-3].

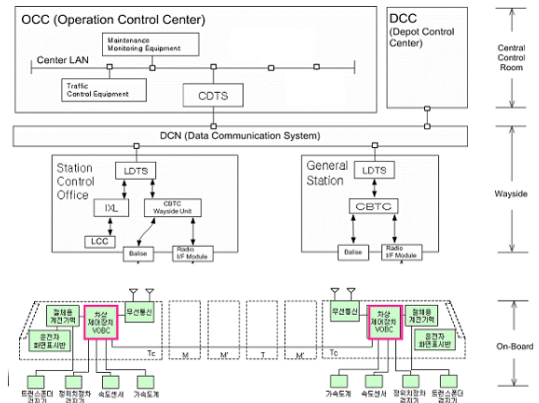
도시철도 열차제어시스템은 운용비용 절감 및 성능향상을 위해 궤도회로에 의한 고정폐색시스템에서 무선통신에 의한 이동폐색 시스템을 실현하는 무선통신기반 열차제어시스템(CBTC : Communication Based Train Control)으로 전환되어가는 추세이다[1-6].

이러한 무선통신기반 열차제어시스템에 대해 외국회사들은 이미 상용화를 이루고 있으며, 수도권 광역전철 중 하나인 분당선에 시범 설치하여 적합성을 확인하였다. 국내에서도 기술개발을 통해 국산화를 추구하고 있으며, 우선적으로 무선통신기반 열차제어용 차상핵심장치를 개발하였다.

도시철도 성능시험기준에 따르면 열차제어시스템은 구성품시험, 완성차시험 및 본선시운전시험을 수행하여 기능 및 성능의 적합성을 확인하여야 한다. 이를 위해 개발된 차상핵심장치에 대해 구성품시험과 완성차시험을 수행하였다. 본선시운전시험은 차량에 설치된 차상핵심장치와 지상에 설치된 장치들과의 인터페이스를 확인하는 시험이지만 안전이 최우선되는 철도시스템의 특성상 사전 인터페이스 시험 없이 개발된 차상핵심장치를 실제 열차에 설치하고 지상장치가 설치된 구간에서 시험 운행하는 것은 안전에 대한 위험이 뒤따르기 때문에 모의시험환경을 구성하여 시험하였다[1-7].

2. 무선통신기반 열차제어시스템 개요

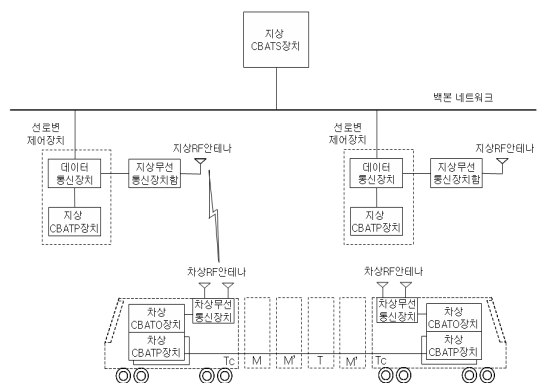
무선통신기반 열차제어시스템은 지상에 위치하는 컴퓨터가 각 열차로부터 위치와 속도를 주기적으로 수집하고, 선행열차와 속도 제한 지점까지의 거리를 열차로 전송하여, 차상의 제어장치가 열차성능에 맞는 최적의 속도 제어를 하는 방식으로, 지상과 차상간의 데이터 전송에 무선을 사용하는 그림 1과 같은 시스템을 말한다[1, 7].



[그림 1] 무선통신기반 열차제어시스템의 구성도

3. 열차제어장치 통신인터페이스 시험

국내에서는 분당선을 대상으로 하는 “지능형 열차제어시스템(MBS, Moving Block System) 시범구축 사업”을 통해, 무선통신기반 열차제어시스템을 시범 설치하여 사용가능성을 확인하였다. 이와 동시에 국가연구개발사업으로 무선통신기반 열차제어용 차상장치를 개발하였으며, 이의 기본적인 성능 및 기능을 확인하기 위해 분당선에 설치된 지상장치를 이용하여 무선통신기반 열차제어용 차상장치의 통신인터페이스 시험을 수행하였다[2, 7, 8].



[그림 2] 차상제어장치와 지상장치의 인터페이스

무선통신기반 열차제어용 차상장치의 상호운용성 확인을 위한 차상-지상장치 사이의 통신 인터페이스는 그림 2와 같이, 차상장치로는 열차자동제어 및 보호기능을 담당하는 CBATP, 열차자동운행 기능을 담당하는

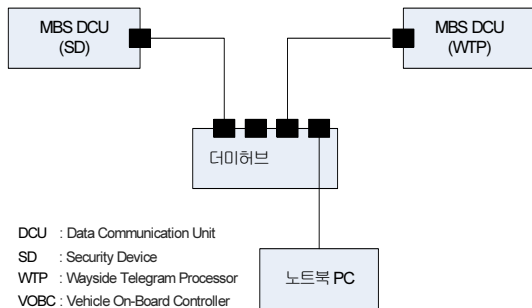
CBATO와 지상장치로는 열차진로, 자동제어 및 보호에 관련된 정보를 전송하는 WCU(Wayside Control Unit), 열차운행 감시를 위한 ATS (Automatic Train Supervision)로 구성되며, 이들 장치 사이의 데이터 송수신을 확인하여야 한다. 이를 위해서는 일반적으로 차상장치와 지상장치간 무선통신 암호화 방식 및 Key 값, 전송속도, 데이터 포맷 및 CRC 계산식, IP망 체계도에 대한 정보가 공유되어야 한다. 그러나 지상장치 제작사에서는 자사의 원천기술보호를 위해 위와 같은 데이터를 공유해주지 않기 때문에 확보된 차상-지상 송수신 데이터만으로 통신 인터페이스 시험을 진행하였다[7].

3.1 지상-차상간 송수신 데이터 확인

무선통신기반 열차제어시스템의 상호운용성 확인을 위해 표 1 및 그림 3과 같은 모의시험환경을 구성하여, 분당선에 시범 설치된 지상-차상간 송수신 데이터를 확인하였다.

[표 1] 모의시험 개요

시험기간	2007년 12월 17일 ~ 2007년 12월 18일
시험시간	매일 24:00시 ~ 04:00시
시험장소	분당선 오리역사 부근 선로
시험장비	분당선에 시범 설치된 지상장치 62편성 전동차(시범 설치된 차상장치 탑재)



[그림 3] 모의시험 구성

○ 절차 및 내용

- ① 지상장치를 기동시킨다.
- ② VOBC내 DCU와 WTP간 LAN 인터페이스부에 더미허브 및 모니터링 PC를 연결한다.
- ③ VOBC를 탑재한 차량(62편성)을 분당선 오리역 선로에서 주행하면서 모니터링 PC를 통해 차상ATP ⇔

지상WCU, 차상ATO ⇔ 지상ATS 데이터 송/수신이 구현되는지 확인한다.

- ④ Network Packet Monitoring 프로그램을 사용하여 지상열차제어장치와 VOBC간의 송/수신 데이터를 확보한다.

○ 결과

① 오류정정코드 확인

VOBC를 탑재한 차량을 주행함에 따라 차상ATP ⇔ 지상WCU, 차상ATO ⇔ 지상ATS간 정상적인 송/수신 데이터를 획득한 후, 확보한 데이터의 CRC32 값과 CRC32-IEEE802.3의 생성다항식을 적용하여 계산한 CRC 값을 비교한 결과, 불일치함을 확인하였다. 이는 일반화된 오류정정코드인 CRC32-IEEE802.3의 생성 다항식을 무선통신의 보안을 위해, 변경했을 가능성이 높다 [9].

② IP 체계 확인

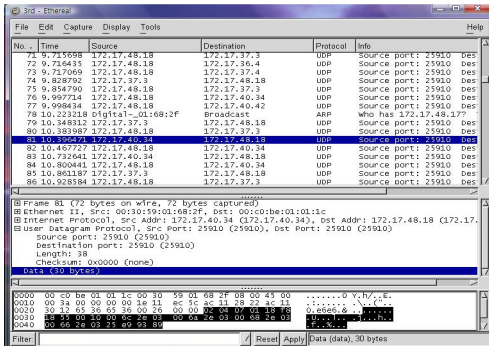
지상장치에서 차상장치 SD 및 차상장치 WTP에 Broadcasting하고, Network Packet Monitoring 프로그램을 이용하여 로그데이터를 분석한 결과, 아래와 같은 차상장치 DCU IP, 지상 WCU와 ATS IP로 네트워크 통신 연결됨을 확인하였다.

- VOBC DCU IP
: 172.17.48.18 (WTP), 172.17.48.17 (SD)
- WCU 및 ATS IP
: 172.17.40.34, 172.17.40.42(WCU)
: 172.17.37.3, 172.17.37.4, 172.17.36.3, 172.17.36.4 (ATS)

③ 송수신 데이터 분석

CRC는 메시지 Structure의 Header영역(수신자 클래스, 수신자 ID, 송신자 클래스, 송신자 ID, 수신자 Sequence Number, 송신자 Sequence Number, Data Length 필드)과 Data영역(Data 필드)의 모든 바이트에서 수행된다. 이것은 특정 CRC 다항식을 이용해 Data를 modulo-two 분할한 이후의 나머지며, Data는 연속된 바이트 대신, 연속된 비트로 취급된다. Most significant Bit는 첫 바이트의 High Bit이고, Least significant Bit는 마지막 바이트의 Low Bit이다. CRC의 생성은 전송되는 정보의 무결성을 검사하기 위해 사용되며, 전송순서는 Low Byte 에서 High Byte 순서로 이루어지며, 지능형열차제어시스템의 생성다항식은 $x^{32}+x^{26}+x^{23}+x^{22}+x^{16}+x^{12}+x^{11}+x^{10}+x^8+x^7+x^5+x^4+x^2+x+1$ 이다[9].

○ WCU → 차상ATP 송신 데이터

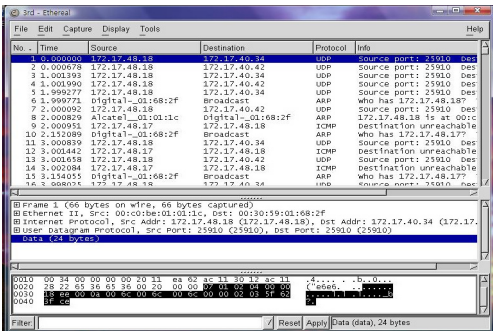


* Source IP : 172.17.40.34 (WCU)
 * Destination IP : 172.17.48.18 (Cab ATP)
 02 04 07 01 18 f8 18 53 00 10 00 6c 2e 03 00 6a 2e 03 00 68
 2e 03 00 66 2e 03 25 e9 93 89

02 수신자 클래스: 차상 ATP 04 수신자 ID : 0x04
 07 송신자 클래스: 지상 ATP 01 송신자 ID : 0x01
 18 18 수신자 Sequence No 18 55 송신자 Sequence No
 00 10 데이터 길이 : 18byte WCU 송신데이터
 25 e9 93 89 CRC 32bit 값

- 전송한 열차정보데이터 : 00 6c(108블록), 00 6a(106블록), 00 68(104블록), 00 66 (102블록) 등 4개의 PMA(Permitted Movement Authority) 블록
- 전송한 CRC32 값 : 25 e9 93 89
- 계산한 CRC32 값 : b4 53 c1 bd

○ 차상 ATP → WCU 송신 데이터

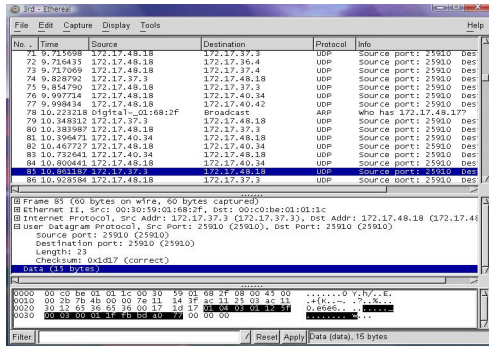


* Source IP : 172.17.48.18 (Cab ATP)
 * Destination IP : 172.17.40.34 (WCU)
 07 02 03 04 00 00 18 e8 00 0a 00 6c 00 6c 00 6c 00 00 02 03
 5f 62 3f ce

07 수신자 클래스: 지상 ATP 02 수신자 ID : 0x01
 02 송신자 클래스: 차상 ATP 04 송신자 ID : 0x04
 00 00 수신자 Sequence No 18 e8 송신자 Sequence No
 00 0a 데이터 길이 : 10byte WCU 송신데이터
 5f 62 3f ce CRC 32bit 값

- 전송한 열차위치정보 : 00 6c(108블록)
- 전송한 CRC32 값 : 5f 62 3f ce
- 계산한 CRC32 값 : ad 28 85 78

○ 지상 ATS → 차상 ATO 송신 데이터

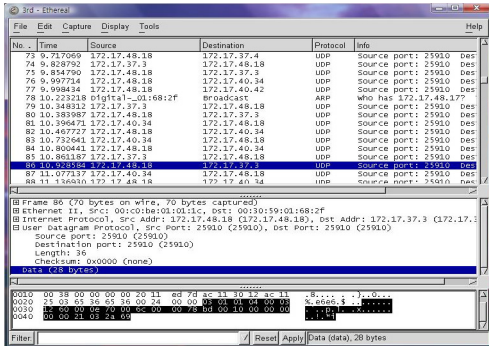


* Source IP : 172.17.37.3 (ATS)
 * Destination IP : 172.17.48.18 (Cab ATO)
 01 04 03 01 12 5f 00 03 00 01 1f fb bd a0 77

01 수신자 클래스: 차상 ATO 04 수신자 ID : 0x04
 03 송신자 클래스: 지상 ATS 01 송신자 ID : 0x01
 12 5f 수신자 Sequence No 00 03 송신자 Sequence No
 00 01 데이터 길이 : 1byte 1f ATS Polling 데이터
 fb bd a0 77 CRC 32bit 값

- 전송한 CRC32 값 : fb bd a0 77
- 계산한 CRC32 값 : dd fa 56 92

○ 차상 ATO → 지상 ATS 송신 데이터



* Source IP : 172.17.48.18 (Cab ATO)
 * Destination IP : 172.17.37.3 (ATS)
 00 06 00 00 21 03 2a 69

03 수신자 클래스: 지상 ATS 04 수신자 ID : 0x04
 01 송신자 클래스: 차상 ATP 01 송신자 ID : 0x01
 00 06 수신자 Sequence No 12 60 송신자 Sequence No
 00 0a 데이터 길이 : 12byte 송신데이터
 21 03 2a 69 CRC 32bit 값

- 전송한 열차위치데이터 : 00 6c(108블록)
- 전송한 CRC32 값 : 21 03 2a 69
- 계산한 CRC32 값 : b1 a3 25 02

3.2 통신인터페이스 시험

지상-차상간 송수신 데이터 확인을 통해 확보한 차지상 무선인터페이스 장치의 IP와 데이터 포맷을 동일하게

유지하여 분당선에 시범 설치된 지상장치와 개발된 차상 핵심장치와의 상호운용성 확인을 위한 시험을 표 2 및 그림 4와 같이 수행하였다.

[표 2] 통신인터페이스 시험 개요

시험기간	2008년 1월 7일 ~ 2008년 1월 10일
시험시간	매일 24:00시 ~04:00시
시험장소	분당선 오리역사 내 플랫폼
시험장비	분당선에 시범 설치된 지상장치 개발된 차상핵심장치



[그림 4] 차상장치 시험구성

○ 시험 절차 및 내용

- ① 차상핵심장치를 오리역사내에 설치한다.
- ② 차상핵심장치에는 탈레스의 DCU 장치를 설치하고 안테나를 연결한다.
- ③ 차상핵심장치 및 DCU의 전원을 연결하고 동작시킨 후 지상장치와 통신을 시도한다.
- ④ 차상핵심장치의 WLC(Wireless LAN Controller, Fake WTP)에서 확보한 데이터를 이용하여 지상장치와의 통신을 시도한다.
- ⑤ DCU와 차상핵심장치의 WLC간 LAN 인터페이스부에 터미허브를 연결하고 Network Packet Monitoring 프로그램을 사용하여 지상장치와의 송수신 데이터를 확보한다.

○ 시험 결과

- ① 지상 ATS ⇔ 차상 ATO 간 송수신 시험

확보한 데이터를 이용하여 지상 ATS와 차상 ATO 간 IP 주소 및 데이터 포맷은 동일하게 설정하고 통신연결 시험 및 응답시험을 실시하였다. 차상핵심장치에서 수신자 Sequence No를 00 00으로 전송하였을 때 통신이 연결되었고 지상 ATS로부터 Poll Message (0x1f)로 응답하는 것을 확인하였다.

- 송신데이터
: 03 01 01 04 00 00 01 f7 00 0e c0 00 6c 00 00 f8 00 00 10 00 00 00 00 00 22 ce ea e0
- 수신데이터
: 01 04 03 01 01 f7 00 0b 00 01 1f 21 15 af 48

그러나 수신자 Sequence No 를 확보한 데이터 00 3c 으로 전송하자 다음과 같이 수신데이터를 확인할 수 없었다.

- 송신데이터
: 03 01 01 04 00 3c 00 94 00 0e c0 00 6a 00 00 f8 00 00 10 00 00 00 00 00 05 bd f9 28
- 수신데이터 : 없음

② 지상 WCU ⇔ 차상 ATP 간 송수신 시험

확보한 데이터를 이용하여 지상 WCU와 차상 ATP 간 IP 주소 및 데이터 포맷은 동일하게 설정하고 통신연결 시험 및 응답시험을 실시하였다. 차상핵심장치에서 수신자 Sequence No를 ATS와 같이 00 00으로 전송하자 지상 WCU로부터 응답 없음을 확인하였다.

- 송신데이터
: 07 01 02 04 00 00 01 4e 00 0a 00 6c 00 6c 00 6c 00 00 02 00 87 5f f4 c4
- 수신데이터 : 없음

또한, 수신자 Sequence No를 ATS와 같이 36 d4 로 전송하여도 지상 WCU로부터 응답 없음을 확인하였다.

- 송신데이터
: 07 01 02 04 36 d4 00 53 00 0a 00 6c 00 6c 00 6c 00 00 01 00 03 e1 bb 01 a3
- 수신데이터 : 없음

4. 통신인터페이스 시험 결과 분석

분당선에 시범 설치된 지상-차상간 송수신 데이터 확

인을 통해 차상 ATP \Leftrightarrow 지상 WCU간, 차상 ATO \Leftrightarrow 지상 ATS간 정상적인 송/수신 데이터를 획득하였으며, 확보한 데이터의 CRC32 값과 CRC32- IEEE802.3의 생성 다항식을 적용하여 계산한 CRC 32값이 상이함을 확인할 수 있었다. 이는 ATP \Leftrightarrow 지상 WCU 간, 차상 ATO \Leftrightarrow 지상 ATS간 통신시 데이터 오류 검사를 하는 CRC32 생성 다항식을 변경하였을 확률이 높다. 이는 열차 운행 관련 데이터의 안전성 및 해킹 방지를 위한 보안체계 설계 방식에 의한 데이터의 처리 방법이 변경된 것으로 추정된다. 즉 열차 운행 관련 데이터는 기능을 실현하기 위한 단순한 유형의 데이터가 아닌 안전 및 해킹 방지를 위한 복잡한 유형의 데이터로 해석될 수 있다.

지상 ATS \Leftrightarrow 차상 ATO 간 송수신 시험결과, CBTC 차상핵심장치에서 수신자 Sequence No를 00 00으로 전송시 통신이 연결 되고, MBS ATS로부터 Poll Message (0x1f)로 응답됨을 확인하였다. 그러나 수신자 Sequence No를 확보된 데이터인 00 3c로 전송시 응답이 없었다. 이는 차상시스템과 지상 ATS 시스템의 통신개시 후에는 지상 ATS가 Polling Message를 차상으로 500ms주기로 송신하며, 이에 대한 응답으로 차상장치에서는 Sequence No를 순차적으로 증가시켜 데이터 및 CRC32 계산 값을 전송한다. 지상 ATS에서는 수신된 데이터의 Sequence No의 순차적인 변화를 검사하고 수신된 CRC 32 값과 수신된 데이터로 자체적으로 계산한 CRC 32값이 동일한 경우에만, 안전성 및 해킹 방지 측면에서 정상적인 응답을 통해 상호 통신이 이루어는 것으로 추정된다.

지상 WCU \Leftrightarrow 차상 ATP 간 송수신 시험 결과, MBS WCU 시스템의 경우 MBS 차량 주행으로 수집한 열차위치 블록(108블록) [00 6c] 데이터 및 수신자 Sequence No가 [00 00] 및 [36 d4]인 데이터를 송신하더라도 응답이 없음을 확인하였다. 이는 차상시스템이 지상 WCU에서 응답할 수 있는 동일조건인 데이터를 송신하더라도 응답하지 않는다는 것은 지상 WCU 시스템이 내부적으로 차상으로부터 데이터 수신 후 자체적으로 안전성 및 해킹 방지 측면에서 다른 조건의 검사에 의해 응답 처리 하는 것으로 추측할 수 있다. 이러한 시험에 있어서 가장 중요한 사항은 열차의 운영을 위한 정보 데이터를 안전하게 수신한 후, 이를 실제로 차상장치에서 열차 제어에 활용하는 것과 이러한 일련의 프로세서가 지상장치로 안전하게 통보되는 것이 필요하며, 이종 설비간의 정보 데이터 일관성 및 일치성이 정확하게 구현되어야만 상호운영성을 만족할 수 있다는 것이다.

결론적으로, 이번시험에서는 ATS 제어 명령, WCU의 PMA 제어 명령 등 CBATO와 ATS의 통신 및 CBATP와 WCU의 통신이 정상적으로 성립되어 열차를 제어하기

위해서는 지상의 ATS 및 WCU에 공통 적용되는 검증된 CRC-32 값 계산 방식 등 지상장치 공급업체와의 상세한 인터페이스가 실현되어야만 가능한 것을 확인할 수 있었다.

5. 결론

지상 열차제어시스템 공급업체로부터 상호운영성 시험을 위한 기본적인 인터페이스를 협조 받아 지상 WCU 및 ATS 장치와 CBTC 차상핵심장치의 상호운영성 시험을 진행하였다. 시험 결과, 통신을 위한 무선통신 암호화 방식 및 Key 값, 전송속도, 데이터 포맷 및 CRC 계산식, IP망 체계 등 모든 정보의 공유 없이는 지상/차상장치의 공급자가 상이한 경우, 상호운영성의 실현이 불가능함을 확인할 수 있었다. 즉, 정보 및 통신 데이터 구성 논리는 안전성 및 신뢰성 측면에서 제작사 고유의 원천 기술로 예상됨에 따라 상이한 종류의 신호시스템의 상호운영성은 매우 어려운 문제점으로 예상된다. 단순히 주어진 주파수 범위 내에서 동일한 정보 전송 방식에 의해 송신 전파가 수신되었다는 것으로 상호 무선 통신이 확립되었다는 것은 열차의 상호운영성에 있어서 중요한 기술적 의미를 갖지 않음을 확인하였다.

따라서 열차의 운영을 위한 정보 데이터를 안전하게 수신한 후, 이를 실제로 차상장치에서 열차 제어에 활용하는 것과, 이러한 일련의 프로세서가 지상 시스템으로 안전하게 통보되는 것이 필요하며, 이종 설비간의 정보 데이터 일관성 및 일치성이 정확하게 구현되어야만 상호운영성을 만족할 수 있다는 것이다. 이를 위해서는 지금과 같이 차상장치에 국한하지 않고 차상 및 지상의 통합된 열차제어시스템 국산화가 필요하며, 지속적인 시험 및 시운전 시험을 통해 안전성과 신뢰성을 확보해야만 한다. 따라서 국가연구개발사업을 통해 상호운영성이 확보된 무선통신기반 열차제어시스템의 기술 개발이 추진되어야 하며, 향후 개발된 시스템의 시운전 시험을 위한 전용 시험선로의 확보가 우선적으로 요구된다.

참고문헌

- [1] 김종기, 백종현의, “도시철도 신호시스템 표준화 연구 개발사업” 한국철도기술연구원 2005년 연구개발보고서(건설교통부), 2005.
- [2] 김영태, “신호제어시스템” 테크노미디어, pp.446-469, 2003.

- [3] 철도청, 한국철도신호기술협회, “철도신호용어편람”, 2004.
- [4] 김종기, 백종현외, “도시철도 신호시스템 표준화 연구 개발사업” 한국철도기술연구원 도시철도 신호시스템 표준화 연구개발 최종보고서(건설교통부), 2006.
- [5] 윤용기, 김용규외, “무선통신을 이용한 열차제어시스템” 한국철도 학회지, 제7권 제2호. pp.22-28, 2004.
- [6] 건설교통부, “MBS를 이용한 열차 교통 정책”, 2003.
- [7] 백종현, 김용규 외, “무선통신기반 차상제어장치의 전동차 시험 분석” 한국산학기술학회논문지 제10권 제5호. pp.935-941, 2009.
- [8] 삼성 SDS, 철도청, “분당선 지능형 열차제어시스템 시범구축사업 최종보고서”, 2008.
- [9] Peterson, W. W, Brown, D. T. “Cyclic Codes for Error Detection.” Proceedings of the IRE, pp.228-235, 1961.

김 용 규(Yongkyu Kim)

[정회원]



- 1987년 2월 : 단국대학교 전자공학과 석사
- 1993년 9월 : DEA in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France
- 1997년 7월 : Ph.D in Control Engineering from Institute National Polytechnique de Lorraine, France
- 1997년 12월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실장

<관심분야>

자동제어, 지능형시스템, 제어계측

백 종 현(Jong-Hyen Back)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사
- 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사
- 2009년 8월 : 전북대학교 메카트로닉스공학과 박사
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

<관심분야>

현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링

이 강 미(Kang-Mi Lee)

[정회원]



- 2003년 2월 : 충북대학교 전기전자공학부 학사
- 2005년 2월 : 충북대학교 전자공학과 석사
- 2005년 8월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 주임연구원

<관심분야>

전자통신, 자동제어, 시스템엔지니어링