

무선기반 도시철도용 열차제어시스템(KRTCS)의 상호운영성 및 적용성 연구

A study on interoperability and applicability of the Korean Radio based Train Control System(KRTCS)

강 용 삼*
(Yong-Sam Kang)

Abstract - A TCS(Train Control System) is the core facility to ensure the safety and efficiency of train operations, it is difficult to have interoperability between the TCS suppliers. To ensure the interoperability between TCSs, there is a need for definition, validation and standardization on the system configuration, the functions of subsystems, the interface between subsystems and the system protocol. In this paper, we analyzed the completeness of the KRTCS(Korean Radio based Train Control System) specification, derived supplements what you need to apply the KRTCS specification to new urban lines.

Key Words : KRTCS, CBTC, Interoperability, Protocol

1. 서 론

열차제어시스템은 철도의 안전한 운영을 보장하는 설비로서 열차운행계획을 작성하고 관리하는 ATS(Automatic Train Supervision), 선행열차와 후속열차간 안전간격을 보장하는 ATP(Automatic Train Protection), 선로분기구간에서 열차의 안전한 진로를 보장하는 EI(Electronic Interlocking) 및 기타 장치로 구성된다. 열차제어시스템은 컴퓨터 기반의 제어시스템으로서 기능의 많은 부분에서 소프트웨어에 의존성이 계속해서 증가하고 있다 [1]. 또한 소프트웨어를 활용한 해외 저밀도 운행노선을 위한 차상중심의 열차제어시스템에는 ERTMS(European Railway Traffic Management System) Regional, FFB(Funk Fahr Betrieb)이 있으며, 국내에서도 무선통신을 활용하여 선로변 시설물을 열차에서 직접 제어하는 열차제어시스템을 개발하고 있다 [2].

철도운영기관은 선로에 설치되는 지상장치를 최소화하여 유지관리비용을 절감하면서 수송용량을 높여 열차운영효율을 향상할 수 있는 열차제어시스템을 요구하고 있으며, 열차제어시스템 제작사는 무선통신을 적용한 CBTC(Communications Based Train Control) 시스템을 개발하여 철도운영기관의 요구사항을 해결하고 있다.

CBTC 시스템은 궤도회로방식에 비하여 여객수송용량이 20% 정도 향상되고, 도시철도신호시장에서 차지하는 비율이 약 60% 정

도에 이르고 있으며, 계속 확대될 것으로 예상된다 [3]. 국내에도 무인운전을 지원하는 CBTC 시스템이 신분당선, 부산-김해경전철, 용인경전철에서 운영중에 있다. 철도운영기관은 CBTC 시스템을 도입함에 있어 상호운영성(또는 상호호환성) 확보에 많은 관심을 갖고 있으며, 뉴욕지하철의 CBTC 프로젝트와 파리지하철의 OCTYS(Open Control of Train Interchangeable & Integrated System) 프로젝트가 대표적이다. 또한 IEEE 1474.1(2004)과 같이 CBTC의 기능과 성능요구사항의 규격화를 추진하였다. CBTC 시스템이 상호운영성(또는 상호호환성)을 지원하기 위해서는 CBTC를 구성하는 하부시스템간 프로토콜이 명확히 규정되어야 하고, CBTC 시스템과 타시스템간 프로토콜도 명확히 규정되어야 한다. 그러나 현재까지 해외 철도운영기관은 자체의 CBTC의 프로토콜을 제작하여 관리하고 있으나, 표준화하지 않고 있다. 우리나라는 노선마다 다른 해외 신호시스템을 도입하면서 발생한 시스템유지비용증가, 장애발생시 신속한 대응 곤란 및 타 노선과의 연계시 상호운영성 불가 등 도출된 문제점을 해소하기 위해서 상호운영성을 지원하는 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS)에 대한 성능평가와 안전성평가를 완료하고, 영업노선에 적용하기 위해서 한국철도표준규격(KRS)을 제정·고시하였다 [4].

KRTCS는 표준화된 무선통신망(W-LAN 및 LTE-R)을 사용할 수 있으며, 무인운전을 지원한다. 또한 철도운영기관의 요구사항인 KRTCS의 지상설비와 차상설비간 상호운영성을 지원하는데, 이를 위해서 지상 ATP, 차상 ATP 및 차상 ATO(Automatic Train Operation)의 임무, 각 장치별 기능모듈, 각 기능모듈간 인터페이스 사양을 정의하는 일련의 과정을 거쳐서 그림 1과 같이 각 장치간 프로토콜 16종을 정의하였다 [5-7]. 이렇게 정의된 타 시스템간 프로토콜 인터페이스는 대불선에서 영업중인 열차를 대상으로 운

* Corresponding Author : Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea

E-mail: dwookang1@korea.kr

Received : March 29, 2016; Accepted : April 26, 2016

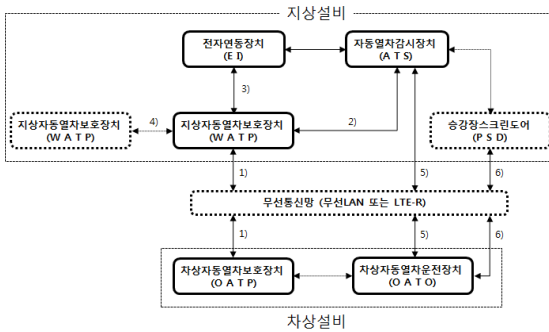


그림 1 KRTCS 하부장치간 정보전송도
 Fig. 1 Information transfer among KRTCS subsystems

영조건(열차 2편성, 임시모의역사, 단선 양방향 운전 등)하에서 제한적으로 검증이 이루어 졌다. 이에 본 논문에서는 KRS로 제정된 KRTCS 프로토콜의 작성과정을 분석하여 KRTCS가 상호운영성을 보장하고 있는지를 확인하고, KRTCS 프로토콜을 도시철도 신설노선과 개량노선에 적용함에 있어서 고려해야 할 사항을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 한국형 무선통신기반 열차제어시스템(KRTCS) 고찰

CBTC 시스템은 IEEE 1474.1(2004)로 규격화되어 있기 때문에 제작사가 다른 CBTC 시스템간에 상호호환되는 것으로 인식되고 있다. 그러나 IEEE 1474.1은 현재까지 무인운전을 지원하지 않고 있으며, CBTC 시스템의 하부장치간 프로토콜을 정의하고 있지 않기 때문에 CBTC 시스템간 상호호환성을 확보할 수 없다[8]. 따라서 프랑스 파리의 OCTYS CBTC 프로젝트처럼 도시철도운영기관이 자체적으로 상호호환성을 확보하는데 필요한 사항을 규정하고 있다. OCTYS 프로젝트는 파리의 철도운영사인 RATP가 수행한 프로젝트로서 파리지하철 5개 노선의 기존 신호시스템을 CBTC 시스템으로 개량하면서 상호호환성을 확보하는 것이 목적이다. 철도운영기관은 열차제어시스템의 상호운영성 확보를 통해서 제작사간 경쟁을 유도할 수 있어 시스템구축비용과 유지관리비용을 절감할 수 있고, 제작사는 표준화된 플랫폼과 확대된 시장을 확보할 수 있어서 규모의 경제를 구축할 수 있다[9]. RATP

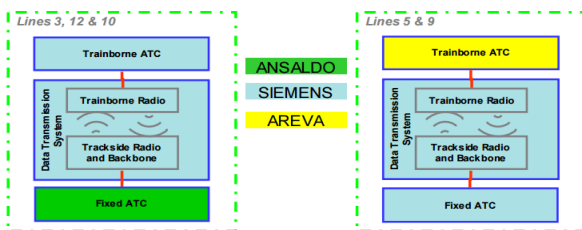


그림 2 OCTYS 프로젝트의 시스템장치 공급사
 Fig. 2 Train control system suppliers of OCTYS project

는 시스템 구조, 시스템 기능, 장치간 인터페이스, 프로토콜 등을 직접 규정하였고, 장치제작사로 ANSALDO, AREVA 및 SIEMENS를 선정하였으나, 국내의 KRS처럼 상호호환성 검증된 내용을 규격화하지 않았다.

KRTCS는 CBTC 시스템(IEEE 1474.1)에 적용되고 있지 않은 무인운전과 상호운영성을 지원할 수 있도록 하여 도시철도 신설선 및 개량선에 적용하는 것이 목적이며, 이를 위해서 SIL4 (Safety Integrity Level 4) 수준의 안전성을 인증 받는 표준규격을 제정하는 것이다. OCTYS CBTC 프로젝트와 달리 KRTCS의 상호운영성을 확보하는데 필요한 요구사항을 KRS규격으로 제정한 것이 큰 특징이다. 이를 위해서 표1과 같이 여러 제작사가 참여하여 각종 사양서를 공동으로 작성하였고, 3개 컨소시엄이 공동으로 작성된 사양서를 기준으로 지상에 설치되는 WATP와 차상에 설치되는 OATP/ATO를 독자적으로 제작하였다.

표 1 KRTCS 하부장치 공급사 현황

Table 1 KRTCS subsystem suppliers

KRTCS의 하부장치명	장치제작사(컨소시엄)
ATS	D사
전자연동장치(EI)	Y사, HS사
지상자동열차보호장치(WATP)	L사, H사, S사
차상자동열차보호장치(OATP)	L사, H사, P사
차상자동열차운전장치(OATO)	L사, H사, P사

KRTCS의 성능과 상호운영성을 검증하기 위하여 그림 3과 같이 전남 목포 근방의 대불선(일로역~대불역, 11.25km)에 시스템을 구축하였다. 열차제어용 무선통신망으로 무선LAN과 LTE-R을 설치하였으며, 임시역사도 5개소를 간이로 설치하였다. 일로역에는 ATS, WATP, 전자연동장치를 설치하였고, 대불종점역에는 WATP, 전자연동장치, 선로전환기(신호기 포함) 및 PSD(Platform Screen Door)를 설치하였다. 대불종점역에서는 선로전환기를 직접 제어하여 진로제어기능을 검증하고, PSD를 직접 제어하여 무인운전기능을 검증할 수 있도록 하였다. 시험열차에는 편성2중계방식으로 OATP/ATO를 선두차량과 후미차량에 각각 1셋트를 설치하였다. KRTCS종합성능시험의 효과를 높이기 위하여 TCMS(Train Control & Monitoring System)이 설치된 4량 1편성의 열차를 사용하고자 하였으나, 철도운영기관이 제공할 수 있는 4량 1편성의 시험열차에는 TGIS(Train Graphic Information System)가 설치된 관계로 KRTCS가 장애시에 열차내 안전설비와 연계하여 안전측으로 동작하는 것을 검증하는 것은 매우 제한적으로 이루어 졌다. 선로상에는 OATP가 연산하는 열차위치정보의 오류를 보정하기 위해서 지상자를 설치하는데, 일반철도에 설치되는 ETCS용 지상자와의 연계를 고려하여 지상자 그룹(지상자 2개를 1개의 그룹으로 묶은 것)을 200m 간격으로 설치하였다.

KRTCS는 무인운전, 자동운전 및 수동운전을 지원하기 위해서 열차이동, 열차속도제어, 충돌방지, 승객의 승하차 관리, 열차운행 관리 및 장애(또는 사고) 검지와 대응과 같은 열차운전업무를 처리하며, IEC62290-1(2006)을 참조하여 정의하였다[10]. 열차의 안

전한 이동업무와 관련해서 안전한 진로확보, 열차간 안전간격 유지, 열차속도감시 등의 기능을 수행한다. 승객의 안전한 승하차관리 업무를 위해서 열차출입문제어, 열차출발조건 관리, 플랫폼에서의 승객관리 등의 기능을 수행한다. 장애발생에 대한 적절한 대응을 위해서는 열차진단, 화재, 연기, 탈선 탐지 등의 기능을 수행한다.

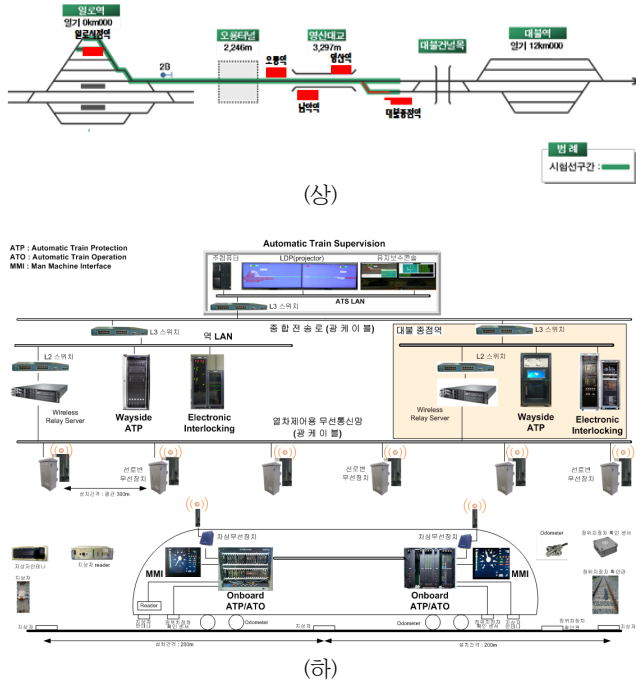


그림 3 KRTCS 시험선의 구성(상) 및 시스템 구축도(하)
 Fig. 3 KRTCS test track configuration(top) and system construction

KRTCS는 그림 1의 지상설비와 차량설비간 상호운영성을 보장하기 위해서 표 2를 토대로 장치별 임무설정, 장치별 기능배치, 장치간 인터페이스 정의 및 장치간 프로토콜을 설정하였다. KRTCS는 무인운전을 지원하기 때문에 그림 1과 같이 ATS와 EI 간 전송정보, ATS와 WATP 간 전송정보, WATP와 OATP 간 전송정보, ATS와 OATO 간 전송정보, PSD(Platform Screen Door)와 OATO 간 전송정보를 정의하였으며, 현재 영업노선에서 사용중인 ATS와 EI를 활용하기 위해서 WATP와 EI 간 전송정보, WATP와 ATS 간 전송정보를 정의하였다. 간선철도(일반선, 고속선)에 적용되고 있는 ETCS는 수동운전만을 지원하기 때문에 지상에 설치된 ATS와 EI 간 전송정보, ATS와 WATP 간 전송정보, WATP와 OATP 간 전송정보를 정의하고 있으며, 무인운전에 필요한 ATS와 OATO 간 전송정보, PSD(Platform Screen Door)와 OATO 간 전송정보는 정의하지 않고 있다.

기능정의, 전송정보정의 등의 과정을 거쳐 개발된 KRTCS를 대불선에 구축하여 단계별 기능점검(수동운전, 자동운전, 무인운전)을 완료한 후, ‘도시철도차량의 성능시험에 관한 기준’과 ‘도시철도시설 성능시험기준’을 적용하여 표 3과 같이 종합성능시험을 실시하였다.

표 2 KRTCS의 열차운전업무 및 주요 기능

Table 2 Train operation missions and basic functions of KRTCS

열차운전업무	주요 기능
열차이동	안전한 진로보장 선행열차와 후속열차간 안전간격 보장 열차제한속도 감시
열차속도제어	열차의 가속과 감속 제어
충돌방지 (선로감시)	열차와 장애물간 충돌방지 열차와 사람간 충돌방지
승객의 승하차관리	출입문제어 열차출입문과 PSD간 장애물 감지 안전한 열차출발 보장
열차운행관리	열차운행투입 및 열차운행종료 열차운행상태 감시
장애검지 및 대응	열차진단, 연기/화재 감지, 탈선감지, 비상사태 조치(탈출, 호출, 감시)

표 3 KRTCS의 종합성능시험항목

Table 3 Comprehensive performance test lists of KRTCS

구분	시험항목
지상설비 연계동작 시험	정상상태시험(4개 항목)
	운영시험(6개 항목)
	비정상상태시험(4개 항목)
	출입문개방상태에서의 출발시험
	출입문동작상태 확인시험
차지상인터페이스 시험	연동기능확인시험(2개 항목)
	열차보호기능확인시험(2개 항목)
	자동열차감시장치운영시험(5개 항목)
	자동열차감시장치동작확인시험(11개 항목)
	무선통신지속성시험(3개 항목)

2.2 KRTCS 프로토콜 구조

일반적으로 신뢰성과 안전성이 높은 vital한 설비는 장치간 인터페이스 링크구성에 TCP/IP를 사용하고 있으나, KRTCS는 실시간성이 매우 중요하기 때문에 UDP/IP를 사용하였다. KRTCS는 UDP/IP의 신뢰성과 안전성을 보완하기 위해서 수신측 장치에서 통신중단 또는 데이터지연이 발생할 경우, 안전측(fail-safe)으로 동작하도록 설계되었다. 예를 들어 열차이동권한이 1.5[sec]동안 WATP에서 OATP로 전송되지 않을 경우, 차상장치는 상용전제동을 인가하여 열차를 정차시키며, 열차위치정보가 1.5[sec]동안 OATP에서 WATP로 전송되지 않을 경우, WATP는 제어영역에서 운영중인 해당 열차에게 비상제동을 명령하고, 후속열차가 해당 열차에게 접근하지 못하도록 열차이동권한을 갱신하지 않는다. 또한 KRTCS는 UDP/IP를 사용하기 때문에 표 4와 같이 주기적

인 메시지 10종과 비주기적인 메시지 37종을 전송할 수 있다. KRTCS의 주기적인 메시지는 선형열차와 후속열차간 열차안전간격제어와 분기구간에서 열차진로제어를 수행하는데 필요한 열차 위치정보와 열차이동권한을 전송하는 것으로 무인운전모드, 자동운전모드 및 수동운전모드에서 사용된다. 주기적인 메시지의 전송주기시간이 0.5[sec]이고, 차상의 OATP가 지상의 WATP로 전송하는 열차위치정보를 포함한 ATP Onboard Message와 WATP가 OATP로 전송하는 열차이동권한을 포함한 ATP Wayside Message 등이 대표적이다. KRTCS의 비주기적인 메시지는 ATS에서 열차운행상태를 실시간으로 감시하면서 확인된 장애를 원격으로 조치하는데 필요한 정보를 전송하는 것으로서 무인운전을 지원하기 위해서 정의되었다.

표 4 KRTCS의 장치간 메시지 구성

Table 4 Message configuration among subsystems

송신 장치명	수신 장치명	메시지명	비고
WATP	OATP	1) ATP Wayside Message	주기 비주기
		2) Acknowledgement of Validated Train Data	비주기
		3) Acknowledgement of Initiation of Communication Session	비주기
		4) Acknowledgement of termination of a communication session	비주기
		5) Handover Preannouncement	비주기
OATP	WATP	1) ATP Onboard Message	주기 비주기 비주기
		2) Validated Train Data	비주기
		3) Initiation of a Communication Session	비주기
		4) Termination of a Communication Session	비주기
WATP	ATS	1) ATP Wayside Report Message	주기
ATS	WATP	1) Temporary Speed Restriction Command	비주기
		2) Protect Zone Command	비주기 비주기
		3) Emergency Brake Set/Reset Command	비주기
		4) Traffic Direction Reversal Command	비주기
ATS	WATP	5) Door Open Interlock Override Command	비주기
		6) Departure Interlock Override Command	비주기 비주기
		7) Emergency Brake Release Command	비주기
		8) Train Deletion Command	주기 비주기
		9) Master Clock	비주기
		10) Door Open Command	비주기 비주기
11) Onboard ATP Switch Command	비주기		
WATP	EI	1) Trains Position Report Message	주기
EI	WATP	1) Interlocked Routes Report Message	주기
WATP	인접 WATP	1) Handover MA request	비주기

인접 WATP	WATP	메시지명	비고
ATS	OATO	1) ATP Wayside Message	비주기
		1) Departure Command	비주기
		2) Restart Command	비주기
		3) Departure Message Modification Command	비주기
		4) Holding Command	비주기
		5) Holding Release Command	비주기
		6) Inching Command	비주기
		7) Acknowledgement to Onboard ATO	비주기
		8) Awake Command	비주기
		9) Sleep Command	비주기
		10) Door Open Command	비주기
		11) Door Close Command	비주기
		12) Master Clock	주기
13) Train Number	비주기		
OATO	ATS	1) Inching Request	비주기
		2) Overrun Judgement Request	비주기
		3) Acknowledgement to ATS	비주기
		4) Awake Status	비주기
		5) Sleep Status	비주기
		6) ATO Status Report	주기
		7) Train Number Request	비주기
OATO	PSD	1) PSD Open/Close Command	주기
PSD	OATO	1) PSD Open/Closed Status	주기

표 5 KRTCS와 ETCS간 사용되는 패킷수량 비교

Table 5 Packets comparison between KRTCS and ETCS

구분		패킷수량	
송신	수신	KRTCS	ETCS
지상	차상	1) 지상ATP → 차상ATP : 8개 2) ATS → 차상ATO : 2개	49개
차상	수신	1) 차상ATP → 지상ATP : 4개 2) 차상ATO → ATS : 2개	8개
기타		16개	1개
총계		32개	58

WATP와 OATP간에 주기적인 메시지와 비주기적인 메시지를 전송하는 KRTCS와 달리, ETCS는 이벤트가 발생할 때 마다 데이터를 비주기적으로 전송하며, 열차에서 지상으로 전송하는 메시지의 종류는 14종, 지상에서 차량으로 전송하는 메시지의 종류는 21종이다. ETCS는 차상과 지상간 통신방식은 GSM-R을 사용하고 있는데, GSM-R은 KRTCS에서 사용한 무선LAN 또는 LTE-R과 달리 데이터통신지연시간이 길다. ETCS는 GSM-R이 갖고 있는 통신특성 때문에 메시지를 이벤트적으로 보내는 방식을 선택했으며, 메시지의 종류가 KRTCS보다 많다. 일반철도와 고속철도에 적용되는 ETCS의 통신방식에 LTE를 적용할 것으로 예상되고 있기 때문에, KRTCS와 같이 주기적인 메시지와 비주기적인 메시지를 사용할 것으로 예상된다.

KRTCS는 항 후에 ETCS와의 연계를 용이하게 하기 위해서 ETCS를 참조하여 변수를 구성하였다. KRTCS는 주기적으로 메시지를 전송하기 때문에, 메시지는 여러 개의 패킷과 변수로

Ethernet Header	IP Header	UDP Header	장치간 송수신 데이터 (Application data)	Ethernet Footer
-----------------	-----------	------------	--------------------------------	-----------------

그림 4 KRTCS의 데이터패킷 구성

Fig. 4 Data packet configuration of KRTCS

표 6 장치간 송수신데이터 구성

Table 6 Data transfer configuration among subsystems

구분	길이 (byte)	내용
STX	1	데이터의 시작, STX=0XFE(16진수)
SEQ	1	데이터 보내는 순서에 따라 순차적으로 증가 SEQ=0X00~0XFF(16진수). 단 0XFE(16진수)는 사용하지 않음
MESSAGE	N	실제 데이터 내용(가변길이)
CRC32	4	STX부터 MESSAGE까지 CRC 연산값

표 7 메시지구성 예(ATP Wayside Message)

Table 7 Message configuration example(ATP Wayside Message)

Field 번호	변수/패킷	내용
1	NID_MESSAGE	메시지 ID
2	L_MESSAGE	전체 메시지 길이
3	T_MASTERCLOCK	표준시간
4	NID_LRTG	LRTG ID
5	Q_REF	LRTG(0번 태그)를 기준으로 LRTG 기준점의 방향
6	D_REF	LRTG(0번 태그)를 기준으로 LRTG 기준점의 거리
7	NID_TRAIN	차량편성번호
8	NID_WAYSIDE	지상자동열차보호장치의 Identity (Zone ID)
9	Q_EBRelease	비상제동 전체 해제명령
10	Q_PSD	PSD Enable/Disable 제어를 위한 상태
11	M_PSDSTATUS	PSD 열림/닫힘 상태
12	Q_DS	현재역 출입문 허가 방향
13	Packet 21	열차이동권한
14	Packet 22	MRSP(Most Restrictive Speed Profile)
15	Packet 23	선로구배 프로파일
16	Packet 24	태그 그룹 링킹 정보
17	Packet 25	연동 오버라이드
18	Packet 26	열차진행방향 전환
19	Packet 27	비상제동 설정/해제
20	Packet 28	자동열차감시장치로부터 수신한 캡 절체 명령 정보

구성되도록 하였다. 비주기적으로 메시지를 전송하는 ETCS의 메시지는 패킷으로만 구성되어 있다. KRTCS에서 사용하는 패킷의 종류와 ETCS에서 사용하는 패킷의 종류는 표 5와 같다.

KRTCS에서 장치간에 전송되는 데이터 패킷의 형태는 그림 4와 같이 구성되며, 장치간 송수신되는 데이터는 표 6과 같이 'STX', 'SEQ', 'MESSAGE', 'CRC32'로 구성되며, 'MESSAGE'는 전송정보의 양에 따라 가변된다. KRTCS의 데이터 패킷의 장치간 송수신데이터에 포함되는 메시지는 표 7과 같이 변수와 패킷의 순으로 구성하였다. 표 7의 메시지는 지상장치인 WATP에서 차상장치인 OATP로 전송되는 ATP Wayside Message로서, 메시지의 기본적인 정보(메시지 ID, 전체 메시지 길이), 열차운행에 필요한 변수(10종), 패킷(8종)으로 구성된다.

2.3 KRTCS 프로토콜의 상호운영성 분석

KRTCS 목적인 상호운영성을 확보하기 위해서 장치별 임무설정, 장치별 기능배치, 장치간 인터페이스 정의 및 장치간 프로토콜을 설정하였고, 이를 검증하기 위해서 표 3의 종합성능시험항목 중에서 상호운영성 검증에 필요한 성능시험항목을 표 8과 같이 설정하고, 표 9와 같이 상호운영성 시험조합을 작성하였다. 표 8의 성능시험항목은 표 3의 종합성능시험항목중 지상설비와 차상

표 8 KRTCS 상호운영성시험을 위한 성능시험항목

Table 8 KRTCS interoperability performance test list

시험종류	시험항목
지상-차상신호 및 열차제어설비간 연계동작시험	가. 지상제어장치(지상ATP+연동장치) 운행시험 -열차이동추적 동작확인시험 -비상정지 동작확인시험
	나. 자동열차감시장치 운행시험 -열차 정지 및 출발 명령 확인시험 -속도제어 명령 확인시험 -비상제동 초기화 명령 확인시험 -역 대기 기능 확인시험 -역 개방 및 폐쇄 기능 확인시험 -회차명령 확인시험 -열차 출입문 개방 및 폐쇄 확인시험
지상설비 연계동작시험	가. ATC 정지상태시험 - 속도코드 등 각종 지령코드 검지시험 - 운전모드 선택 검사
	나. ATO 정지상태시험 - SOM(열차등록)시험
	다. ATC 운행시험 - 열차주행방향검지시험 - 수동운전모드에서의 열차위치 확인시험 - 무인자동운전모드에서의 과속시험
	라. ATO 운행시험 - 무인자동운전모드 운행시험
	마. 비정상상태 시험 - 주/보조 ATC 자동절체시험
	바. 오동작시험 - 열차 이동권한 상실 검지 시험

설비가 연계되는 항목을 선정하였다. 표 9의 시험조합은 인접제어 영역의 제어장치(WATP)와의 열차제어권 이관(handover)를 같이 확인할 수 있도록 하였다. 성능시험항목(18개)에 대한 시험조합(12회)을 적용한 결과 상호운영성확보를 확인하였다.

2.4 KRTCS 적용성 검증

2.4.1 신설선에 대한 적용성 검증

종합성능과 상호운영성이 검증된 KRTCS를 도시철도노선에 사용

표 9 KRTCS 상호운영성시험을 위한 시험조합

Table 9 Test combination on KRTCS interoperability performance test

		OATP/OATO(차상설비)			
		L사	P사	H사	
지상 설비	ATS	D사	만족	만족	만족
	EI/WATP	Y사/L사 (일로역)	해당사항 없음	만족	만족
		Y사/S사 (일로역)	만족	해당사항 없음	만족
		Y사/H사 (일로역)	만족	만족	해당사항 없음
		HS사/L사 (대불역)	해당사항 없음	만족	만족
		HS사/S사 (대불역)	만족	해당사항 없음	만족
HS사/H사 (대불역)	만족	만족	해당사항 없음		

하는데 있어서 보완사항을 점검하기 위해서 실시설계중인 신림경전철을 대상으로 적용성을 점검하였다. 신림경전철은 선로길이가 7.76km, 차량형식 고무차륜, 설계최소운전시각 2분이며, 무인자동운전을 지원한다. 신림경전철의 신호분야 설계보고서의 시스템구성에 의하면, 열차제어시스템의 구성장치와 연계되는 설비는 표 10과 같다.

신림경전철의 열차제어시스템은 종합관제실, 실내설비, 차상 신호설비 및 실외설비로 구성되며, KRTCS의 하부시스템과 구성품을 모두 포함하고 있는 것을 표 5에서 알 수 있다. 종합관제실의 supervisor설비는 관제요원이 운전관제설비, 전력관제설비 등을 취급하는 콘솔장치로서 KRTCS의 ATS콘솔을 포함된다. 신림경전철은 승강장에서의 승객추락방지와 추락 시 열차진입을 금지하기 위해서 PSD와 승강장 비상정지버튼 등 안전설비를 설치한다. KRTCS는 PSD 제어·감시를 위한 OAPO와 PSD간 프로토콜을 정의하였으며, 승강장 비상정지신호는 KRTCS의 WATP구성품인 정거장제어장치와 연계할 수 있어 비상시 열차의 승강장진입을 금지할 수 있다. KRTCS의 시스템구성, 인터페이스사항 및 프로토콜 등의 변경이나 보완없이 신림경전철에 적용하는 것이 가능하다.

철도운영기관은 도시철도 및 경량전철 운영효율화를 위해서 무인 운전인 DTO(Driverless Train Operation) 또는 UTO (Unattended Train Operation)방식을 대부분 도입하고 있으며, 이를 지원하기 위한 안전설비와 보안설비는 다양화 될 것으로 예상된다. KRTCS는 WATP의 구성품인 정거장제어장치를 이용하여 안전설비 또는 보안설비와 직접 연계하는 것이 가능하다. 이를 통하여 KRTCS의 WATP가 안전설비 또는 보안설비와 바로 연계하면 사고시 대응이 신속할 수 있으나, 안전설비 또는 보안설비의 추가 또는 변경시 WATP도 변경될 수 있어 KRTCS기능을 체계적 관리에 어려움이 예상되기 때문에 추가적인 시스템 관리방안 마련이 필요하다고 하겠다.

표 10 신림경전철 신호분야 실시보고서의 시스템 구성

Table 10 Signaling system configuration on Shin-lim LRT line's detailed design report

구분	설비 또는 시스템	기능	비고
종합 관제실	Supervisor설비	종합사령실 통제 및 관리(콘솔장치)	KRTCS의 ATS 포함
	운전관제설비	사령업무 통합운영, 배차관리	KRTCS의 ATS
	설비관제설비	PSD, 승강기 등 설비 감시 및 제어	-
	전력관제설비	전력계통 감시 및 제어	-
	지원통신설비	CCTV, 유무선통신 지휘통신	-
실내 설비	지상ATP장치	제어영역의 열차이동 감시 및 제어	KRTCS의 WATP
	연동장치	선로전환기 및 신호기 제어	KRTCS의 EI
	정거장제어장치	PSD인터페이스 및 승강장 비상정지버튼 인터페이스	KRTCS의 WATP 구성품
차상 신호 설비	차상ATP/ATO장치	열차이동 감시 및 제어	KRTCS의 OATP/ATO 구성품
	태그 리더/안테나	-	KRTCS의 OATP/ATO 구성품
	정위치정차확인센서	-	KRTCS의 OATP/ATO 구성품
	속도센서	-	KRTCS의 OATP/ATO 구성품
	MMI장치	운전자에게 열차운전정보 현시	KRTCS의 OATP/ATO 구성품
	차상무선통신장치	KRTCS용 무선장치	-
실외 설비	태그	-	KRTCS의 WATP 구성품
	정위치정차 근접판	-	KRTCS의 WATP 구성품
	지상무선통신장치	KRTCS용 무선장치	-
	신호기	연동장치에서 감시 및 제어	-
	선로전환기	연동장치에서 감시 및 제어	-

또한 철도운영기관은 열차의 감속과정에서 생성되는 회생전력의 활용도를 높이는데 관심이 집중되고 있다. 예를 들어 감속하는 열차에서 발생된 회생에너지를 가속하는 열차가 이를 사용할 수 있도록 하거나 장시간 정차할 열차에 공급되는 전력을 차단하는 등이 대표적이며, 이를 위해서는 전력관제설비(SCADA)와 KRTCS 간 긴밀한 연계가 요구된다.

신림경전철의 설계보고서를 토대로 KRTCS 프로토콜의 적용성 분석에 한계가 있으나, 신림경전철의 열차제어시스템 구조가 KRTCS구조와 동일하고, 타시스템과의 인터페이스가 매우 유사한 것을 확인하였기 때문에 KRTCS 프로토콜을 적용하는데 문제가 없을 것으로 판단된다. 향후에도 KRTCS의 상호운영성을 보장하기 위해서는 안전설비와 보완설비를 추가로 규정하고, 이를 토대로 프로토콜을 포함한 인터페이스사양을 마련하여야 한다. 또한 전력에너지효율성을 높이기 위한 전력관제설비와 KRTCS간 프로토콜을 규정해야 한다.

2.4.2 개량노선에 대한 적용성 검증

국내 도시철도의 신호시스템은 내용연수를 초과하여 운영하고 있으며, 승객수송용량을 높이는데 한계가 있기 때문에 노후신호설비를 KRTCS로 교체하는 것이 요구된다. KRTCS는 궤도회로를 사용하지 않고 지상에 설치하는 장치가 단순하기 때문에 기존신호설비에 의한 열차운행을 지속하면서 KRTCS설치작업을 신속히 완료할 수 있다. 단지 KRTCS 차상장치의 설치가 완료될 때까지 기존 신호설비와 KRTCS 시스템을 혼용(또는 절제)하는 과정을 거친 후 완전한 KRTCS 시스템으로 전환할 때까지 과도적인 기간이 발생하며, 차량설치작업이 충분히 지원되는 경우 2년 내에 개량사업이 완료된 사례가 있다. 현재까지 노후신호설비를 KRTCS(또는 CBTC)로 개량한 국내 사례가 없는 관계로 적용성을 분석하는 것에는 한계가 있으나, 과도기간 동안에 KRTCS 차상장치와 개량대상 신호설비의 지상설비와 연계할 수 있도록 추가로 인터페이스 모듈을 KRTCS 차상장치에 설치해야 할 것으로 판단된다.

2.4.3 적용성 검증에 따른 제어

KRTCS를 신설선과 개량선에 적용성을 검증하였으나 국내 여건으로 인하여 한계를 갖고 있으나, 향후 보완해야 할 몇 가지 사항을 도출하였다. KRTCS가 안전한 무인운전을 보장하기 위해서는 다양한 안전설비 및 보완설비와 연계를 해야 한다. 안전설비와 보완설비를 통합관리하는 설비를 정의하고 KRTCS와 연계하기 위한 프로토콜을 규정하는 것이 요구된다. 또한 전력에너지효율성을 높이기 위한 전력관제설비와 KRTCS간 프로토콜을 규정해야 한다. 마지막으로 개량노선에서 과도기간 동안 KRTCS 차상장치와 개량대상 신호설비의 지상장치와 연계할 수 있는 인터페이스 모듈이 요구된다. 인터페이스 모듈은 KRTCS를 변경하지 않도록 지원되어야 한다.

3. 결 론

철도표준규격(KRS)로 고시된 한국형 열차제어시스템인 KRTCS

의 프로토콜 개발과정, 상호운영성 검증 및 신설노선과 개량노선에 대한 적용성을 분석하였다. 무선통신방식을 적용한 CBTC 시스템은 궤도회로방식에 비해서 시스템구성이 단순하지만, 열차제어시스템이 상호운영성을 지원하기 위해서는 서브시스템간 프로토콜을 정의하여야 하고, 이를 규격화하여 시스템의 적용성을 지원하여야 한다. 열차제어시스템의 상호운영성 확보를 통하여 철도운영기관은 제작사간 경쟁을 유도할 수 있어 시스템구축비용과 유지관리비용을 절감할 수 있고, 제작사는 표준화된 플랫폼과 확대된 시장을 확보할 수 있어서 규모의 경제를 구축할 수 있다. 시험열차에 설치된 TGIS(Train Graphic & Information System)로 인하여 KRTCS의 종합성능시험에 제한이 있었으나, KRTCS프로토콜에 적용된 UDP/IP방식이 수동운전, 자동운전 및 무인운전을 지원하는데 충분한 것을 확인하였다. 또한 3개 컨소시엄이 독자적으로 제작한 지상설비와 차상설비간 상호운영성 시험을 통하여 KRTCS프로토콜의 완성도를 검증하였다. 특히 경량전철의 신호분야 실시설계서를 토대로 KRTCS프로토콜을 영업선에 적용할 수 있음을 확인하였다.

KRTCS의 자동화수준(수동운전, 자동운전 및 무인운전)별 상호운영성 지원에 목적을 두고 개발된 KRTCS프로토콜을 신설선과 개량노선에 적용할 수 있는 것을 확인하였으나, KRTCS를 중심으로 도시철도운영효율성과 가용성을 보다 높이기 위해서는 KRTCS와 전력관제설비(SCADA), 안전설비·보완설비 등과 연계하기 위한 프로토콜 보완 연구가 필요한 것을 확인하였으며, 기존선의 노후신호설비를 개량할 경우, KRTCS 프로토콜의 변경이 없도록 하기 위해서 차상에 KRTCS와 연계하기 위한 인터페이스 모듈의 추가를 제안하였다.

References

- [1] Jong-Gyu Hwang, Hyun-Jeong Jo, Rak-Gyo Jeong, 'Analysis on Software Static Testing Results of Railway Signaling System', The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 62P, No. 1, pp.30 ~ 35, 2013
- [2] Jong-Hyen Baek, 'Communication Consecutive Test of Train Oriented Control System for Wayside Equipment Control', The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers Vol. 63, No. 5, pp.703 ~ 712, 2014
- [3] 'CBTC extends its reach', IRJ February 2013 pp.37-38
- [4] 'Korean Radio based Train Control System for urban rapid transit', KRS SG 0069, 2015
- [5] Min-soo Kim, Seh-chan Oh, Yong-ki Yoon, Yong-kyu Kim, 'Study on the Communication Method of the Korean Radio-based Train Control System', Proceedings of the KIEE Conference, 2014
- [6] Min-soo Kim, Yong-ki Yoon, Seh-chan Oh, Yong-kyu Kim, 'Study on Automatic Train Supervision of the Korean Radio-based Train Control System', Proceedings of the 12th International Conference on CIRCUITS,

SYSTEMS, ELECTRONICS, CONTROL & SIGNAL
PROCESSING, 2013

- [7] Min-soo Kim, Yong-ki Yoon, Seh-chan Oh, Yong-kyu Kim, 'Design and Function Allocation of the Automatic Train Operation of the Korean Radio-based Train Control System', Proceedings of the 17th International Conference on Systems, 2013
- [8] IEEE(2004) 'IEEE Standard for Communications Based Train Control (CBTC) Performance and Functional Requirements'
- [9] Mr. Rodrigo Alvarez, Mr Juan Roman, 'ETCS L2 and CBTC over LTE - Convergence of the radio layer in advanced Train Control System', IRSE Australasia Technical Meeting, 2013
- [10] IEC 62290-1 'Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts' 2006

저 자 소 개



강 용 삼 Yong-Sam Kang)

1961년 3월 17일생
2012년 서울과학기술대학교 졸업(공학박사)
2016년 현재 국토교통부 근무
Tel : 044-201-4601
Fax : 044-201-5671
E-mail : dwookang1@korea.kr