

스마트 철도 통신 표준화 동향과 지향점

김종기*

Smart Railway Communication Standardization Trend and Direction

Jong-Ki Kim*

요 약

철도 교통시스템은 최근 들어 각 구성 요소의 자동화 단계를 넘어 지능화를 추구하는 스마트 철도로 발전하고 있다. IoT(: Internet of Things), 빅데이터, 딥러닝, AI(: Artificial Intelligence), 블록체인 등 ICT(: Information & Communications Technology) 기술에 기반한 스마트 철도는 국내외 철도 기술에 많은 발전적 변화를 일으킬 것으로 예상된다. 본 논문에서는 이와 같은 스마트 철도 시스템(SRS: Smart Railway System)의 근간을 이루는 철도 통신 기술의 국내외 표준화 동향에 대해서 살펴보고 향후 우리나라 철도교통시스템에서의 열차제어 기술(CBTC)이 세계 철도산업에서의 선도 기술이 되기 위한 지향점(UBTC)에 관하여 논한다.

ABSTRACT

The rail transport system is developing into a smart railroad that pursues intelligence beyond the automation stage of each component in recent years. Smart railways based on ICT (: Information & Communications Technology) technologies such as IoT (: Internet of Things), big data, deep learning, AI (: Artificial Intelligence), and block chain are expected to cause many developmental changes in domestic and foreign railway technologies. In this paper, we look at the domestic and international standardization trends of railway communication technology, which forms the basis of such smart railway system, and discuss the direction for train control technology(CBTC) in Korea's railway transportation system to become a leading technology(UBTC) in the world railway industry in the future.

키워드

CBTC, LTE-R, ICT, Railway Communication, SRS
통신 기술 기반 열차 제어 시스템, 엘티이-알, 정보 통신 기술, 철도 통신, 스마트 철도 시스템

1. 서론

IoT(: Internet of Things) 기술은 M2M(: Machine to Machine) 기술로 기기 또는 장치를 인터넷으로 연결하여 시스템의 자동화 또는 지능화 추구를 지원하는 중요 기반 기술로 활용되고 있다.

철도 시스템에서도 IoT를 기반으로 빅데이터, 딥러

닝, AI(: Artificial Intelligence) 및 블록체인 등의 기술을 활용한 스마트 철도 시스템이 최근 들어 연구되고 있다. 대량 교통수단으로 CBTC(: Communication Based Train Control) 등과 같은 열차제어시스템의 자동화를 넘어 철도 시스템의 고도화를 이루기 위해서는 스마트 철도의 구축이 필수적이라 할 수 있다[1].

스마트 철도 구축을 위해서는 LTE-R(: Long

* 교신저자 : 동양대학교 철도전기융합학과
• 접수 일 : 2021. 12. 26
• 수정완료일 : 2022. 02. 20
• 게재확정일 : 2022. 04. 17

• Received : Dec. 26, 2021, Revised : Feb. 20, 2022, Accepted : Apr. 17, 2022
• Corresponding Author : Jong-Ki Kim
Dept. of Electric Railway Convergence Science
Email : jkikim1@dyu.ac.kr

Term Evolution - Railway) 또는 5G/B5G(5th Generation /Beyond 5th Generation) 이동통신을 비롯한 ICT(Information & Communications Technology) 기술의 활용이 필수적이다.

기존의 철도 시스템에 정보통신 기술을 접목하여 실시간으로 열차제어, 승객 편의 정보 등을 차량기지 및 관제센터에 전송함으로써 철도 시스템에 고장이 발생하기 전에 예측하고 적절한 조치를 취할 수 있다. 또한 선로 및 역 주변에 위험 요소가 발생했거나 관련 설비가 제대로 작동하지 않을 경우 통신망을 이용해 실시간으로 감시하거나 진단하여 정확한 고장 원인을 규명하는 것도 가능하다. 또한 정보통신 기술의 활용은 철도교통의 이용자가 열차표를 구입하는 일부 목적지에 도착할 때까지의 모든 일을 스마트폰으로 쉽게 처리하고 이용할 수 있게 된다. 버스나 택시 등 다른 교통수단과의 연계 정보를 활용함으로써 편리함뿐만 아니라 시간 활용 여유도 얻을 수 있다. 말하자면 승용차를 이용할 때 얻는 편리함과 시간 절약의 이점을 철도교통 시스템에서도 얼마든지 누릴 수 있게 되는 것이다. 이러한 ICT 기술을 접목한 SRS(Smart Railway System)는 우리들의 생활과 함께하고 있다. 고속화, 대형화 및 지능화되고 있는 SRS를 안정적으로 구축하고 운용하기 위해서는 표준화된 통신 기술의 활용이 매우 중요하다.

따라서 본 논문에서는 통신 기술의 기반으로 구축된 SRS에서의 편리하고 다양한 서비스들을 조사 및 고찰하였으며, SRS를 위한 통신 기술에 관한 국내외의 표준화 동향을 살펴보고, 열차제어기술의 변천사를 조사 및 분석을 통하여 통신 기술 기반 열차제어 기술의 지향점에 대하여 논한다.

II. 스마트 철도 시스템

국가 운송 체계의 근간을 이루는 철도 시스템은 근래에 들어 CBTC와 같은 고도화된 제어 및 관제 시스템을 활용하여 급격하게 고속화, 대형화 및 정밀화되고 있다. 철도 시스템의 각 요소 기술의 발전에 따라 통합화된 고성능 관리체계 및 철도 승객 서비스의 고품질화 등의 철도 시스템에 대한 포괄적이고 다양한 서비스 요구가 최근 들어 등장하게 되었다.

이에 따라 철도 운송체계의 계획, 개발, 구현 및 운용의 전 단계를 통합한 완전한 새로운 생태계로서 철도 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다. 이를 위해 철도 시스템에 서비스 플랫폼, 모바일 기술 및 모바일 서비스를 통합한 새로운 형태의 철도 시스템을 스마트 철도라 한다[2].

스마트 철도 시스템은 IoT, 빅데이터, 딥러닝, AI, 블록체인, 클라우드 기술 및 GPS(Global Position System) 등의 ICT 기술을 활용한다. 이는 철도교통 시스템이 제공하는 일련의 차세대 이동 솔루션, 신속·정확·안전함의 서비스, 다양한 철도문화를 제공하는 첨단 수송기관으로 업그레이드된다. 그림 1은 LTE-R Network를 기반으로 한 스마트 철도 시스템에서 제공하는 다양한 서비스를 나타내고 있다[3]. LTE-R Network는 시속 350km 이상 달리는 열차에서도 데이터 이동통신이 가능하다[4-6].



그림 1. SRS에서의 다양한 서비스
Fig. 1 Various services in SRS

스마트 철도 시스템의 통신 요소를 살펴보면 그림 2와 같이 기본 통신으로서 열차 통신, 관리 통신 및 승객 통신 등이 있고 영역 간 크로스 통신 및 융합 응용 통신이 추가 될 수 있다[7].

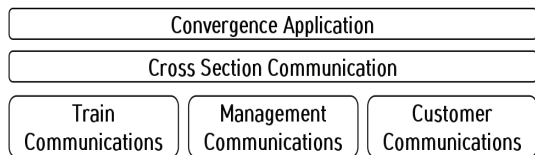


그림 2. 스마트 철도 시스템 통신 요소
Fig. 2 SRS communication elements

III. 스마트 철도 통신 표준화

스마트 철도와 관련한 통신 표준화는 철도 기술의 개발, 구축 및 운영을 위해 매우 중요하다. 이는 철도 통신이 철도통신 자체뿐 아니라 국가재난 안전통신 및 민간통신과의 원활한 작용이 요구되는 기본 통신 인프라 요소이기 때문이다.

스마트 철도 관련 표준화는 스마트 철도 플랫폼 표준화, 철도 서비스 플랫폼 표준화로 구분되며 각각 철도 이동통신 표준화 및 IoT 표준화와 연관된다[8].

스마트 철도 플랫폼 표준화는 철도통신망 관련 표준화로서 LTE-R, 5G 이동통신을 기반으로 IoT를 활용하여 플랫폼, 디바이스 및 운용관리에 대한 표준화이다. 철도 서비스 플랫폼 표준화는 스마트 철도 서비스 및 스마트 철도 플랫폼 정보 모델에 기반한 스마트 철도 애플리케이션 관련된 표준화로 IoT 표준화 영역과 관련이 있다. 이를 통하여 스마트 철도 디바이스, 스마트 철도 이동통신 시스템, 스마트 철도 서비스 모델 및 스마트 철도 디바이스 관리 기능 등의 표준화가 진행되고 있다. 스마트 철도 통신을 위한 표준화 활동은 국내외 여러 기관 및 표준화 단체에서 최근 들어 활발하게 전개하고 있다.

국내 ICT 표준화 기구 TTA(Telecommunication Technology Association)의 표준화 위원회 가운데 하나인 전파/무선통신 기술 위원회의 ITS/차량/철도/ICT 프로젝트 그룹 PG905의 철도통신시스템 실무반 WG 9051이 표준화 작업을 관리하고 있다. 네트워크-고속 이동 차량간 통신 기술 표준, 철도 서비스 기술 표준, 철도 IoT 서비스 표준 기술에 관한 표준화를 추진하고 있으며, 고속철도 이동통신 시스템 관련 철도 디바이스 정보 모델 관련 표준을 개발 중이다.

스마트 철도 표준화 포럼에서는 스마트 철도 관련 요구사항, 기술 구조의 정의, 플랫폼, 디바이스, T2T(Train to Train), T2I(Train to Infra) 통신 기술 규

격, 스마트 철도 사물 인터넷 관련 디바이스, 시스템, 서비스 연동 기술 규격 개발, 스마트 철도 관련 one2M2M, 3GPP, UIC 등의 표준기관과 관련한 활동을 하고 있다[9]. 이외에 한국철도기술연구원(KRRI)에서는 열차 자율주행 제어, 5G 기반 열차제어 서비스 등과 관련한 연구를 수행중이며, 국가철도공단은 ETCS L3급 열차제어시스템 관련 연구 활동에 참여하고 있다. ETRI에서도 열차 자율주행 제어 및 5G/B5G 기반 튜브열차 관련 통신 기술을 개발중이다. 특히 한국철도기술연구원의 5G 통신기반 열차 자율주행 제어시스템 기술개발은 SK텔레콤과 협력체계를 갖추고, 협력 기관의 기술협력을 통하여 5G 통신기반 스마트 철도통신 테스트베드를 함께 구축하였다. 연구원은 오송 철도종합시험선로에 2대의 시험 차량으로 열차의 위치만 고려하던 기존의 열차제어방식에서 벗어나 위치 및 속도, 제동거리 등 선형 열차의 주행 정보를 실시간으로 반영하여 열차 간 안전간격을 단축하는 “열차 간격 제어 기술”과 열차와 열차가 직접 통신하여 분기기를 제어하는 “선로 분기 제어 기술”에 대한 시험을 진행하였다. 열차 자율주행시스템은 열차와 열차가 직접 통신하여 열차의 경로, 정차역, 주행속도 등의 정보를 공유하고, 이를 통해 열차 스스로 주행 안전 확보, 주행 중 자유로운 편성 조성, 이례 상황을 실시간 인지 판단하고 제어하는 지능형 열차제어 기술을 기반으로 하고 있다. 열차 자율주행시스템 기술개발은 열차 운행의 효율성과 안전성을 획기적으로 개선하는 미래 철도교통 원천기술 확보에 초석이 될 것이다[10].

스마트 철도 통신 관련 국내 표준의 예는 표 1과 같다. 표 1의 스마트 철도 통신 표준은 주로 LTE-R과 관련되어 있다. 5G/B5G를 기반으로 하는 열차제어연구는 KRRI에서 진행 중이며, 표준화는 미흡하다. 따라서 5G/B5G와 관련한 스마트 철도 통신 표준화 활동의 가속화가 필요하다.

표 1. 스마트 철도 통신 관련 국내 표준
Table 1. Domestic standards related to smart railway communication

Agency	Number	Standard Designation	Year
TTA PG905	TTAK.KO-06.0507/R1	SRS Device Requirements - Information Model	2020
	TTAK.KO-06.0508/R1	SRS Platform Requirements - Information Model	2020
	TTAK.KO-06.0533	SRS Device information model	2020
	TTAK.KO-06.0247	SRS Convergence Use Case (Technical Report)	2021
	TTAK.KO-06.0561	TIDS Communication Requirements (Cargo Train)	2021
	TTAK.KO-06.0562	PSD Interworking between devices in the system	2021
smart ailway standardizati on forum	SRF.TS.02-0001.KR	SRS Platform Requirements	2021
	SRF.TS.02-0002.KR	SRS platform structure	2021

한편, 스마트 철도 통신 관련 국제 표준화는 철도 IoT 관련 철도통신 시스템 요구 사항 규격 및 정보 모델 기술 규격과 관련하여 이루어지고 있는데 주로 3GPP SA1/SA6, oneM2M RMD WG 및 UIC 등이 중심이 되고 있다

3GPP SA1에서는 서비스 및 철도 시스템 관련 장치를 포함한 요구 사항을 정의하고 있으며, 철도 스마트 스테이션에 관한 표준 작업을 진행 중에 있다. oneM2M은 철도 IoT 분야 정보 모델을 정의 중에 있으며, UIC에서는 사용자 요구 사항 및 철도 디바이스 관련 정보 요구 사항을 규격화 하고 있다[8].

철도 IoT 서비스 관련 표준은 유럽을 중심으로 고속철도통신 서비스 기술 개발이 진행중이며 지멘스, 노키아, UIC에서는 유럽 철도통신 시스템 기술 규격 및 개발과 관련한 논의가 진행 중이며, 화웨이는 중국 철도의 스마트 스테이션 관련 서비스 제공 기술에 관심을 보인다. 이외에 프랑스와 독일에서도 노키아와 협력하여 철도 운영 및 고객 서비스에 대해 5G 이동 통신망 및 IoT 도입을 연구 중이다[9].

스마트 철도 통신 관련 국제 표준의 예는 표 2와 같다[9].

표 2. 스마트 철도 통신 관련 국제 표준
Table 2. International standards for smart rail communication

Agency	Number	Standard Designation	Year
3GPP SA1	TR22.989	Study on Future Railway Mobile Communication System	2021
	TR22.990	Study on off-network for rail	2021
	TR22.890	Supporting of Railway Smart Station Service	2020
	TR22.889	Future Railway Mobile Communication System	2019
	TS22.289	Mobile Communication System for Railways	2019
3GPP SA6	TR23.796	Application Architecture for the Future Railway Mobile Communication System Phase2	2019
oneM2M RDM WG	TR-0058	Railway Domain Enablements	2020

IV. 스마트철도 통신과 CBTC의 지향점

스마트 철도 시스템에서의 열차제어는 통신 기술을 기반으로 한다는 의미를 갖고 있다. 열차제어 기술은 열차 간 간격 제어 기술과 역(Station)에서의 열차 진로 제어 기술로 대별된다. 또한 간격 제어 기술과 진로 제어 기술은 선로 주변에 설치되는 열차의 감지 기술, 분기기 제어 기술, 제한속도 전송 기술 등이 연계되어 있다. 열차 간격 제어 기술은 선행 열차와 이를 따르는 후속 열차간의 상호 안전거리를 유지하면서 최적의 운행이 되도록 하는 기술이다. 철도교통 초기에는 시간간격법에 의한 열차 간격 제어 기술이 점차 제어 기술이 발전되면서 자동열차정지장치 기술, 자동폐색장치 기술, 자동열차제어장치 기술, 자동열차운전장치 기술, 자동열차방호장치 기술로 발전하여 통신 기술을 기반으로 하는 무인 열차 간격 제어 기술에 이르고 있다. 열차 진로 제어 기술은 열차가 진행하여야 할 진로 위에 있는 분기기를 진행하는 방향으로 전환하여 열차나 차량이 완전히 통과할 때까지 분기기를 쇄정하는 기술이다. 또한 동일한 진로에 다른 차량(또는 열차)이 진입하는 일이 없도록 정차장 내의 안전을 확보하고 열차 운전 업무의 효율을 높이기도 하는 기술이다.

이것은 선로 주변의 신호기 기술, 선로전환기 기술, 궤도회로 기술 등을 연동장치 기술이 총괄 제어를 하는 동시에 제어 결과를 표시하는 구조로 되어 있다. 열차 간격 제어 기술과 열차 진로 제어 기술은 다양한 운전보안 기술과 정보화 기술로 부터 열차제어정보를 제공받고 있다. 선로 변의 안전 설비들이 다양한 센서를 통하여 제어정보를 제공한다.

이러한 열차제어 기술은 철도교통 시스템의 태동기 부터 기술 발전에 따라 MBTC, TBTC, CBTC에 이르고 있다.

MBTC(: Man Based Train Control)는 철도교통 초기 열차제어방식으로 기마수가 말을 타고 열차에 앞서가서 열차 진로의 이상 유무를 알려주는 방식으로 열차를 제어하는 방식이다.

TBTC(: Track_circuit Based Train Control)는 1872년 윌리엄 로빈슨에 의해 레일을 전기회로의 일부로 사용하여 궤도회로(Track_circuit)장치를 개발하여 열차제어에 활용하는 열차제어 기술이며, 현재까지도

사용하고 있다. 고정 폐색 기술과 함께하는 기술이다.

CBTC는 궤도회로를 사용하지 않는 것을 기본 전제로 지상 설비와 차상에 설치된 설비 간의 인터페이스를 통신 기술을 기반으로 하여 열차제어정보를 송수신하며 열차를 제어하는 방식이다. 이동 폐색 기술과 함께하는 기술이다.

이동 폐색 기술은 고정 폐색 기술에 비하여 선행 열차와 후속 열차 간 간격 조절을 안전 제동 거리 계산에 의한 열차 운행으로 간격을 최소화함으로써 물리적인 공간을 확보하여 열차를 제어하는 관계로 2~3분대의 운전시격(선행 열차와 후속 열차간의 간격)을 갖는 고정 폐색 방식에 비하여 1~1.5분대로 운전시격을 단축할 수 있어 제한된 선로의 이용율을 200%대로 향상할 수 있다. 또한 고정 폐색 방식은 선로 변에 운전이 필요한 열차제어설비 과다로 현장, 실내 설비 간 인터페이스가 복잡하지만, 이동 폐색 방식은 선로 변에 있는 열차제어설비의 단순화로 현장 설비 축소 및 인터페이스가 복잡하지 않은 장점이 있다.

고정 폐색 방식은 지상의 폐색 분할과 선행 열차의 점유구간을 기준으로 후속 열차에 속도 패턴에 따른 제한속도 명령을 전송하는 방식이나, 이동 폐색 방식은 열차에 설치된 차상 컴퓨터를 통해 선행 열차와의 안전거리를 계산하고 선로 제한속도에 근거해 최적의 운행속도를 제시함으로써 열차 운영 효율을 높일 수 있는 장점을 갖고 있다.

현재 CBTC는 하나의 선로에서만 사용되고 있다. 예를 들면 신분당선 CBTC는 신분당선 노선에서만 사용되고, 신림선 CBTC는 신림선 노선에서만 사용되고 있다. 이러한 열차제어 기술은 해당한 노선에서 이동성, 안전성, 철도 운영기관의 효율성을 보장한다. 하지만 스마트 철도 시스템은 유비쿼터스 사회 환경에서의 운영이 예상된다. 유비쿼터스의 환경은 주위의 모든 사물이(열차포함) 컴퓨팅 기능과 센서를 갖게 되고, 유무선 네트워크들이 통합되어 언제 어디서나 간단하게 사용자와 사물(단말)들이 상호 작용할 수 있는 환경을 말한다. 유비쿼터스 사회 환경에서 사용되는 열차제어 기술은 UBTC(: Ubiquitous computing Based Train Control)로 지향하여야 한다. 추후 이 분야에 대한 개념 연구와 타 교통 시스템과의 연계 등 많은 연구가 필요하다.

V. 결론

본 논문에서는 최근 들어 연구가 활발하게 진행 중인 스마트 철도 시스템을 위한 통신 기술과 관련한 국내외 표준화 동향에 대하여 조사 및 고찰하였다.

국내의 스마트 철도 통신 표준화 활동이 국제 활동에 비하여 비교적 활발하게 진행 중임을 확인할 수 있었다.

반면에 국내 표준화 활동이 ICT 관련 전문 기관을 중심으로 진행 중에 있었는데 스마트 철도를 위한 통신 기술의 표준화가 일반 통신과 밀접한 관련이 있음을 감안 하더라도 연구 및 개발 역량을 갖춘 철도 전문기관들의 참여 확대 또는 ICT 관련 기관과의 협력 강화가 필요하다.

컴퓨터화된 고속철도 운영 시스템 및 관제 시스템의 운영 소프트웨어 개발 등을 고려하면 스마트 철도 통신 시스템의 표준화에 있어 통신 표준과 운영 시스템의 표준은 매우 밀접한 관련이 있으므로 향후 이를 고려한 스마트 철도 시스템 표준화가 요구된다.

그뿐만 아니라 스마트 철도 관련 5G/B5G, 스마트 철도 관련 응용 서비스의 개발 및 구축에 관한 선제적 국내 표준화 활동이 필요하다.

또한 국내외적으로 검토되고 있는 다양한 통신규격을 기반으로 열차제어 기술을 발전시킬 필요가 있다. 즉, 열차제어 기술이 한 개의 노선에서만 활용되는 CBTC 방식을 광역시 전체 철도교통제어체계를 통합으로 적용 가능한 UBTC 방식으로서의 개념 정립과 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 2021년도 추계학술대회 우수 논문(제 2021-39호)임.

References

[1] S. Pyo, "A Study on the Establishment of Redundancy for Stable Operation of Integrated Railway Network (LTE-R)," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society* vol. 20, no. 2, 2019, pp. 51-58.

[2] S. Lin, Y. Jia, and S. Xia, "Research and Analysis on the Top Design of Smart Railway," *Journal of Physics Conference Series* 1187(5), Beijing, China, Apr. 2019. pp. 1-7.

[3] Korea Railroad Research Institute, "Airplane High-Speed Rail that runs on land," *Report*, 2015.

[4] KORAIL, "Development & Evaluation to Wireless Communication System for Railway of R&D Report," *Report*, 2019.

[5] Y. Kim, "Transmission Performance of Sensor Network based on LTE-R," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 3, 2020, pp. 473-478.

[6] Y. Kim, "Handover Performance Improvement for LTE-R Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences.*, vol. 15, no. 6, 2020, pp. 1017-1022.

[7] Y. Kim, "Communication Structure for Smart Railway Network," *The Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Kunsan, Korea, May 2021.

[8] M. Han, "Standard Technology for Smart Railway Platform in the Internet of Things and 5G Environment," *Telecommunication Technology Association Journal*, vol. 189, 2020, pp.56-63.

[9] *Telecommunication Technology Association*, "ICT Standardization Strategy Map ver. 2021," *Report*, 2020.

[10] R. Jeong, "Autonomous train, commercialized 'in front' of 5G technology," *Newspaper*, 2021.

저자 소개

김종기(Jong-Ki Kim)



1982년 광운대학교 전자재료공학과 졸업(공학사)

1991년 인하대학교 산업기술대학원 제어공학전공, 졸업(공학석사)

2006년 광운대학교 대학원 계측제어공학과 졸업(공학박사)

1994년~2020.6 한국철도기술연구원 철도신호연구 2020.9~현재 동양대학교 철도전기융합학과 교수

※ 관심분야: 통신기술기반열차제어기술, 철도전기 기술융합, LTE-R, KTCS-M, 시뮬레이션, ICT 융합 등