

# LTE 기반 철도통신 시스템 기술개발 동향

조한벽\* · 오현서\* · 최진규\*\*

## Trends of LTE based Railway Communication Systems

Han-Byeog Cho\* · Hyun-Seo Oh\* · Jin-Kyu Choi\*\*

### 요 약

국내 철도시스템은 2004년 KTX가 도입된 이래 최고의 안전성과 정확성을 유지하고 있다. 이를 뒷받침하기 위하여 철도 무선통신 시스템에 LTE를 도입하게 되었고 이에 대한 표준화가 추진되고 있다. 철도통신시스템은 재난안전통신망과 연계를 통하여 국가안전망의 일부로 활용될 것이며 이들 시스템간의 연동방안은 중요한 기술적 과제이다. 본 논문에서는 철도시스템의 주요 특징을 분석하고 국내에서 추진중인 LTE 기반 철도통신시스템의 개발 현황을 살펴본다. 국내 철도무선통신 체계를 구축에 있어 철도시스템 운영 효율을 높이기 위하여 향후 표준화를 추진하여야 할 내용을 검토한다.

### ABSTRACT

Since the KTX starts operation in 2004, Korean railway system has sustained the highest safety and accuracy. In order to keep this achievement, the LTE based wireless communication system has been introduced for mobile communications and signal transmission. railway, and activities for its standardization are on the way.

Railway communication system will be used as part of national safety net through interworking with safety network. This paper reviews the contents of standards and technologies in an LTE-based railway communication(LTE-R) system, and the items to be standardized to improve operational efficiency of the railway system by building a national railway radio communication system.

### 키워드

High Speed Railway Communication, LTE, LTE-R System, Standardization  
고속 철도 통신, LTE, 무선 통신 시스템, 표준화

## 1. 서 론

국내 철도시스템은 2004년 KTX가 도입된 이래 최고의 안전성과 정확성을 지속하고 있다. 국토교통부에서는 2015년에 제2차 국가철도망 구축계획

(2011~2020)을 수립하고 KTX 서비스의 전국 확대를 추진하고 있으며 한국철도시설공단에서는 이를 뒷받침하는 철도무선통신 시스템을 LTE-R로 선정하고 이에 대한 국내외 표준화를 추진하고 있다. 철도통신 시스템은 재난안전통신망과 연계를 통하여 국가안전

\* 한국전자통신연구원 책임연구원(hbcho@etri.re.kr)

\*\* 한국전자통신연구원 선임연구원(hsoh5@etri.re.kr)

\* 교신저자 : 한국전자통신연구원

• 접수일 : 2016. 03. 15

• 수정완료일 : 2016. 04. 13

• 게재확정일 : 2016. 04. 24

• Received : Mar. 15, 2016, Revised : Apr. 13, 2016, Accepted : Apr. 24, 2016

• Corresponding Author : Hanbyeog Cho

Electronics and Telecommunication Research Institute

Email : hbcho@etri.re.kr

망의 일부로 활용될 것이며 상호운용을 위한 다양한 기술적 검토가 이루어질 것이다.

현재 국내에서 추진하고 있는 철도통신시스템은 VHF(: Very High Frequency), ASTRO(: American Society for Radiation Oncology) 및 TETRA(: Terrestrial Trunked Radio)을 활용하고 있고 추가적으로 LTE 기반 철도무선 통신망(LTE-R)을 구축중이다[1,8,9]. 철도전용 통신망 구축에 따른 망의 안정성과 정확성을 확보하기 위하여 LTE-R의 설계시 전송 안정성 및 전송속도 향상 기술을 기반으로 350km/h 이상의 고속운행 환경에서 열차 이동권한 및 열차 긴급제어를 포함하는 열차제어 데이터 전송시에 높은 신뢰도를 보장하여야 한다. 본 논문에서는 LTE-R의 주요 특성을 분석하고 한국정보통신기술협회에서 추진중인 LTE-R의 표준화 현황을 살펴본다. 그리고 국내 철도무선통신 체계 구축시에 시스템 운영 효율을 높이기 위하여 표준화를 추진하여야 할 내용을 검토한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 철도통신시스템 특성에 대해서 소개하며 III장에서는 시스템 요구사항의 핵심 항목을 기술하고, IV장에서는 시스템 구조에 대해 논의하며, V장에서 결론을 제시한다.

## II. 철도통신시스템 특성

### 2.1 철도통신시스템 개요

현재 세계적으로 가장 많이 활용되고 있는 열차제어시스템은 GSM(: Global System for Mobile Communications)-R 기반의 ERTMS(: European Railway Traffic Management System)이다. 그러나, 국내에는 GSM이 지원되지 않기 때문에 유럽이나 중국에서 사용하고 있는 GSM-R 시스템보다 성능이 우수한 LTE 기반 철도통신 시스템(LTE-R)을 고속철도용 무선통신시스템으로 도입하기로 하였다. 할당된 주파수는 통합공공망 주파수인 700MHz 대역의 상하향 10MHz이며, 철도통신망, 재난안전망, 그리고 해상통신망의 3가지 용도로 공동 사용한다[7].

표 1. 주요 철도 제어용 무선통신 방식

Table 1. Wireless communication for railway control

Access	LTE (OFDM)	GSM-R (TDMA)	WLAN (OFDM)
Freq. band MHz	718~728 ↑ 773~783 ↓	876~880 ↑ 921~925 ↓	2.4 GHz
BandwidthMHz	10 * 2	4 * 2	20 MHz
Commercialize	Test-bed	EURO rail	Shinbundang Las Vegas Montreal
Standards	3GPP LTE	ERTMS/E TCS	IEEE 802.11x
Adv.	High power High mobility Domestic Industry	Global market Wide area	Unlicensed Frequency Low cost
Disadv.	High cost	Low data rate (9.6 kbps)	Unfit for long range Intereference Low mobility

### 2.2 철도통신시스템 구성

국내 철도무선통신시스템 구성은 철도관제센터, 코어통신망, 무선 액세스망, 차상 장치, 선로 장치, 기타 통신망으로 이루어지고, 서비스시스템간 메시지를 송수신함으로써 사용자에게 서비스를 제공한다. 특히 사업자간 연동을 통하여 재난안전통신망과의 상호운영이 가능하도록 다양한 방식으로 검증을 수행할 필요가 있다.

철도관제센터에서 사용주체는 관제사이며 열차 모니터링과 관제를 수행하기 위한 관제사 장치, 철도관제설비, 전자연동장치, 무선폐색센터(RBC, Radio Block Center) 등으로 구성이 된다[2]. 코어망은 철도통신서비스를 제공하기 위한 서버와 코어 네트워크로 구성이 되며 유선망으로 이루어지며, 무선 액세스망과 연동이 되어 단말과 접속이 된다. 차상 장치는 열차에 탑재되는 단말로 승무원이 사용하는 휴대용 무선장치와 기관사가 사용하는 차량 이동국이 있다. 그리고 선로 장치는 차상 장치와 지상 장치간에 연동이 되어 열차를 안전하게 제어하게 한다. 이와 같이 시스템간

연동을 통하여 열차 제어 데이터, 음성 통화, 데이터 및 영상 통화 서비스를 제공한다.[3] 또한 국내 철도 통신망은 재난망과의 연계를 필요로 하며 그림 1.과 같은 구조로 연동방안을 고려할 수 있다.

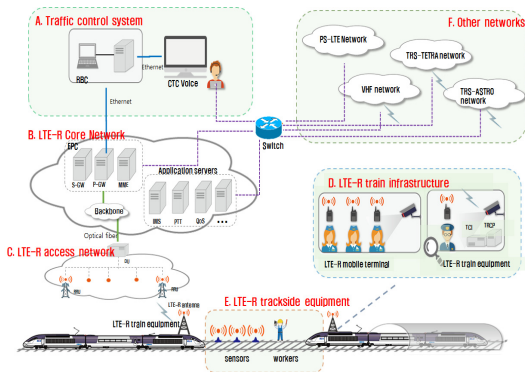


그림 1. 철도통신망 개념 모델  
Fig. 1 Conceptual model of railway communication network

### III. 시스템 요구사항

철도통신시스템은 음성 통화, 데이터 및 영상 통화, 그리고 열차 제어 데이터 전송 서비스를 제공해야 하며 각각의 서비스에 대한 QoS를 만족해야 하며 고속으로 이동하는 환경에서 핸드오버가 이루어져야 한다. 특히 LTE 기반 열차제어 데이터서비스는 요구되는 성능, 시스템의 가용성과 신뢰성을 보장해야 하는 서비스이므로 고속 핸드 오버와 시스템 이중화를 고려하여야 한다.

#### 3.1 고속 핸드오버

셀간 핸드오버(HO)는 RRU(: Remote Radio Unit)간 이루어지는 핸드오버를 말한다. RRU를 2km 간격으로 설치하고 350km/h 이동하는 경우 셀간 핸드오버는 약20초(2x3600/350)마다 이루어지므로 빈번한 핸드오버로 인한 통신 성능 저하와 핸드오버 처리 메시지 증가로 인한 통신 자원 낭비가 있으므로 가능한 핸드오버 횟수를 줄이는 기술이 필요하며, 고속 철도의 고속 이동성을 고려하여 다수의 셀을 하나의 셀로 묶어 동일한 Cell ID를 적용하고 각각의 RRU는 PCI(: Physical-layer Cell

Identity)를 할당하여 인지하는 Copy Cell 형태로 구성하여 핸드오버 횟수를 줄일 수 있다.

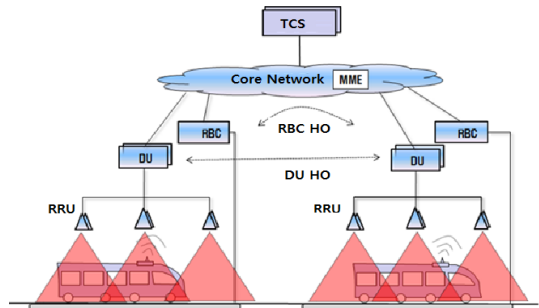


그림 2. 무선망의 핸드오버 개념  
Fig. 2 Handover concept of wireless networks

DU(: Digital Unit)간 핸드오버는 코어망의 제어에 의해 DU간에 이루어지는 X2 핸드오버를 말하며 동일 주파수를 사용하는 DU간 핸드오버 절차는 DU 간 직접 핸드오버 절차 메시지를 송수신하여 핸드오버 절차 시간을 줄일 수 있다. 350km/h 이상의 고속운행 환경에서 LTE 기반의 무선통신망을 통하여 열차 이동권한 및 열차 긴급제어를 포함하는 열차제어 데이터를 전송함에 있어서 신뢰도와 안정성을 확보하기 위한 고속열차 전용의 무손실 핸드오버 지원 방안, 핸드오버 지연(delay) 방지대책, 그리고 실제 운행중인 고속열차에서 핸드오버 성공률을 측정할 수 있는 방안의 도출이 필요하다. 고속핸드오버 최적화를 위해 다음의 3가지 단계의 절차를 사용할 수 있다.

- 핸드오버 정보수집단계: 핸드오버의 필요성과 수행 방안 및 시기를 결정위한 정보 수집
- 핸드오버 결정단계: 가장 적절한 접속망을 선택함으로써 핸드오버를 언제 어떻게 수행할지에 대한 결정을 내리는 알고리즘 기반으로 핸드오버 실행결정을 내리는 단계
- 핸드오버 실행단계: 채널 및 네트워크를 변경하는 핸드오버를 직접 수행하는 단계

특히, 핸드오버 최적화의 중요한 목표로 3GPP TR 36.902에서는 핸드오버 실패(failure)를 정의하고 있다. 핸드오버 실패는 지연 핸드오버 실패(Late HO Failure), 조기 핸드오버 실패(Early HO Failure), 오

류 셀 핸드오버 실패(Wrong Cell HO Failure)의 3가지로 구분하고 그림 3.에 있다[4].

(a) 지연 핸드오버 실패: 핸드오버 조건이 엄격한 경우로 핸드오버 오프셋 파라미터가 너무 작고, TTT(Time-To-Trigger) 값이 너무 큰 경우에 발생하는 문제이다. 현행 RRU가 핸드오버 결정을 내린 후 핸드오버 명령 메시지를 단말에 전송하여 핸드오버를 진행하는데, 핸드오버 결정이 너무 늦어져서 단말이 이미 현행 셀로부터 너무 멀어져 신호 세기가 약해져 핸드오버 메시지를 수신하지 못하는 경우

(b) 조기 핸드오버 실패: 핸드오버 조건이 느슨한 경우로 핸드오버 오프셋 파라미터는 너무 크고, TTT 값이 너무 작은 경우에 발생하는 문제로 잦은 핸드오버 및 핑퐁효과(ping-pong effect)를 유발하는 문제가 있다. 핸드오버 결정이 이루어지고, 현행 RRU로부터 핸드오버 명령을 수신한 단말은 현행 RRU와의 연결을 끊고 목표 RRU와의 동기화를 시도한다. 그러나 핸드오버 결정이 지나치게 빨리 이루어져 단말이 목표 RRU의 동기화 신호를 감지하지 못하는 경우

(c) 오류 셀 핸드오버 실패: 핸드오버 도중 혹은 핸드오버 결정 이후 목표 RBC로부터 링크오류가 발생하여 단말이 현행 RRU와 목표 RRU가 아닌 다른 RRU로 연결재설정을 수행하는 경우

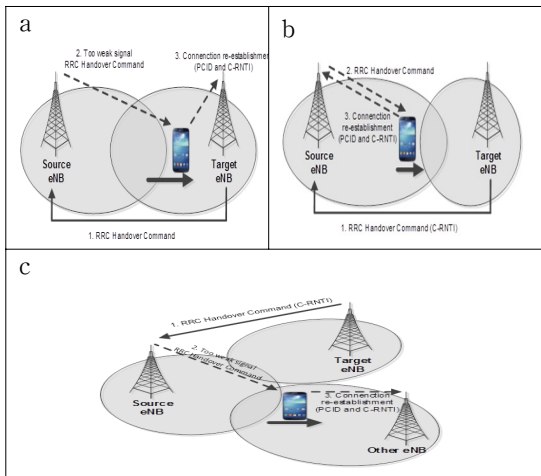


그림 3. 3GPP의 핸드오버 실패 분석  
Fig. 3 Analysis of handover failures

이러한 핸드오버 실패는 핸드오버 발생지점(HO Operating Point)이 올바르게 형성되지 않아 발생하는 문제로, 핸드오버 실패를 방지하기 위해 핸드오버지점을 올바르게 형성하는 것이 중요하다. 핸드오버지점 형성에 영향을 미치는 파라미터와 대표적인 핸드오버 상황이 3GPP에서 정의하고 있으며, 이벤트시작지점(Event trigger point)와 핸드오버 발생지점 사이의 최적화된 TTT(Time to Trigger)점을 찾는 기법을 연구하고 있으며, 이 지점은 핸드오버 성능을 좌우하는 중요한 파라미터임을 그림 4에 나타내었다.[6]

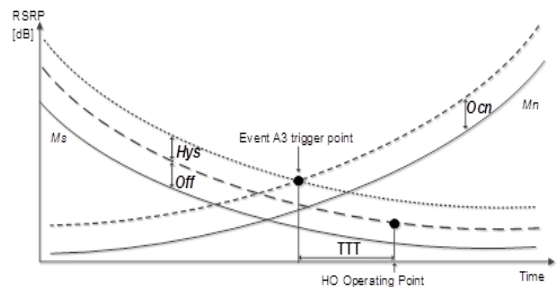


그림 4. 핸드오버 발생지점  
Fig. 4 Handover operating point

무선망은 하나의 DU와 다수의 RRU가 유선으로 연결되어 있고 해당 RRU의 안테나 방사 패턴에 의해 통신영역이 형성되며 셀 가장자리에서 중첩되어 있으므로 그림 5.에서처럼 셀간 핸드오버에 의해서 단말과 DU간 통신이 끊김없이 이루어 지도록 해야 한다. 따라서 무선망에서는 셀간 핸드오버, DU간 핸드오버가 이루지고 핸드오버에 의해 소요되는 핸드오버 스위칭 시간이 최소화되어야 한다[5].

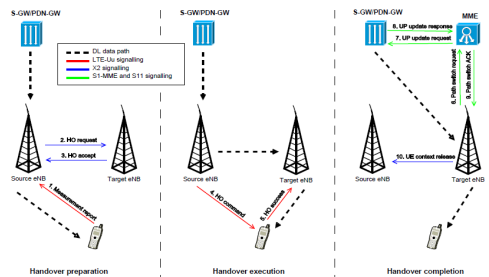


그림 5. 동일주파수내에서의 X2 기반 핸드오버  
Fig. 5 X2 based handover with same frequency

향후 연구과제는 고속이동환경에서 COMP 기반의 LTE 시스템이 구축된 경우에 핸드오버 알고리즘 개발 및 해당 기술의 실질적인 적용 방법을 구현하는 기술개발이 될 것이다.

### 3.2 기타 통신망 인터페이스

국내에서 현재 운용중인 철도무선통신시스템은 VHF, ASTRO TRS(: Trunked Radio System), 그리고 TETRA TRS이며, 정해진 구간에서 각 시스템에 해당하는 단말기를 사용하고 있다. 열차 승무원과 기관사가 인터페이스 기능이 탑재된 통합단말기 한대로 관제실과의 지령과 통신을 수행하는 것은 열차승무원의 편의성 증진과 업무효율 향상에 도움이 될 것이다. 이를 위하여 두가지 방안을 검토하고 있으며, 상호연동장치의 운용을 센터인터페이스와 단말인터페이스로 구분할 수 있다. 관제센터에 설치된 센터장비에 인터페이스 기능을 부가하여 상호연동장치를 통한 열차무선 구간별로 해당 열차무선 단말을 이용하고 있으나 다른 열차무선 구간과 통화를 위하여 별도의 통화그룹 설정 후에 지역별 LTE-R과 VHF, ASTRO, TETRA를 통합하는 단일 열차무선 단말기 사용이 가능하다. 비상시에는 상시 열차무선 전체를 단일 지령장치 또는 단말에서 비상채널로 일체통화가 가능하여야 하므로 상호연동장치 구축을 통하여 열차무선 서비스를 LTE-R과 연동시키고, 이기종 망에 대한 상호운용성을 제공하며 철도 통신시스템 운영의 효율성을 향상시키고 사고예방 및 신속대응 체계를 마련할 수 있을 것이다.

## IV. 시스템 구조

### 4.1 시스템 이중화

LTE 기반 철도통신시스템은 관제 센터와 백본망, EPC(: Evolved Packet Core), DU, 및 RRU 로 구성이 되며 이중화를 통하여 시스템의 가용성과 신뢰성을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. 이중화를 통하여 하나의 노드로 구성된 시스템의 가용성이 99.98% 인 경우 DU와 RRU 단을 이중화하는 경우는 가용성이 99.999%, 그리고 EPC와 철도관제센터까지 모두 이중화하는 경우 99.9999% 가용성을 만족할 수 있음을 확

인하였다. 따라서 LTE 기반 철도통신망은 가용성을 만족하기 위하여 선택적으로 철도 관제 센터와 백본망, 무선망과 단말까지 이중화 구성이 가능하여야 한다.

시스템 이중화는 유선망 구간과 무선망 구간으로 구분하여 설명할 수 있다. 유선망 구간은 철도관제센터, EPC를 의미하고 무선 액세스 망은 DU, RRU 그리고 단말을 포함하는 구간을 의미한다. 실제로 이 무선 액세스 망에서 오류가 발생할 가능성이 높으므로 무선 액세스 망의 이중화 구성이 가능하여야 한다. DU와 RRU 장비를 Active/Standby 방식으로 동작을 하고 장비가 오동작하는 경우에 Standby 장비로 절체하는 방식으로 이중화를 할 수 있으며 시스템의 가용성을 개선할 수 있다.

### 4.2. 무선폐색센터 연동

열차제어 데이터서비스는 무선폐색센터(RBC)에서 생성한 지상 신호제어 시스템과 차량 이동국간 열차제어권 정보를 무선망을 통해 전송함으로써 이루어진다. 그러므로 지상 신호제어 시스템과 차량 이동국에서 무선망과 연동이 필요하며 LTE-R 망과의 연동을 고려해야 한다.

## V. 결 론

본 논문에서는 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 개발을 위하여 LTE 기반 철도통신(LTE-R) 시스템 기술개발 현황 및 표준화 검토사항에 대해 살펴보았다. LTE-R 시스템은 재난안전통신망 및 해상안전통신망과 연계하여 국가공공안전통신망의 주요한 구성요소이지만 철도통신망의 안정적 구축이 이상과제이고 이를 해결하기 위하여 LTE-R 시스템 표준화 과제를 추진 중이다. LTE-R 시스템은 통합공공망 주파수를 공동 사용하고 국가재난안전통신망 사업이 추진되면서 연동을 위한 기술적인 문제를 검토할 필요가 있다. 또한 향후 진행될 철도무선통신에 관한 표준화는 국가철도통신시스템의 확고한 구축과 수출기반을 다지는 중요한 연구가 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 및 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받은 철도기술연구사업 (15RTRP-B089552-02)의 일환으로 수행하였음.

References

- [1] J. Choi, H. Cho, and H. Oh, "Standardization Trends of Requirements for LTE-based Railway Communication System," *Telecommunications Technology Association*, vol. 158, 2015, pp. 80-86.
- [2] TTA.KO-06.0407, LTE based railway communication System requirements, *Telecommunications Technology Association*, 2015, 12.
- [3] TTA.KO-06.0369, LTE based railway communication Functional requirements, TTA, 2014 12
- [4] 3GPP TR 36.902, V9.3.1, 3GPP, Mar. 2011.
- [5] 3GPP TS 36.300, V13.2.0, 3GPP, Dec. 2015.
- [6] D. Han, S. Shin, H. Cho, J. Chung, D. Ok, and I. Hwang, "Measurement and Stochastic Modeling of Handover Delay and Interruption Time of Smartphone Real-Time Applications on LTE Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol. 9, no. 7, March 2015, pp. 173-181.
- [7] J. Choi, H. Cho, H. Oh, K. Kim, and H. Ryu, Challenges of LTE High-Speed Railway Network to Coexist with LTE Public Safety Network, *17th International Conference on Advanced Communication Technology*, Jul., 2015, pp. 543 - 547.
- [8] H. Cho, J. Choi, H. Oh, K. Kim, and H. Yun, "A Study on the Standardization of Radio Communication Networks for Conventional & High Speed Railways," *Korea Information System of Criminal Justice Services Summer conference 2015*, pp. 93-94.
- [9] W. Cho, H. Choi, and H. Cho, "A Study on Integration Scheme of Wireless Communications in Railway Wireless Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 6, 2015, pp.659-664.

저자 소개



**조한벽(Han-Byeog Cho)**

1981년 아주대학교 산업공학과 졸업(공학사)  
1983년 한양대학교 산업공학과 졸업(공학석사)

1992년 한양대학교 산업공학과 졸업(공학박사)  
1984년 3월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원  
※ 관심분야 C-ITS 서비스 및 표준화, 차량간/차량-인프라 통신기술, 철도무선통신기술표준



**오현서(Hyun-Seo Oh)**

1982년 숭실대학교 전자공학과 졸업(공학사)  
1984년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사)

1998년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학박사)  
1982년 3월~현재 한국전자통신연구원 책임연구원  
※ 관심분야 차세대 고속차량통신기술, 차량간 통신기술, 차량-인프라통신기술, 텔레매틱스/ITS, 협력주행기술, 철도무선통신기술



**최진규(Jin-Kyu Choi)**

1999년 2월 : 한양대학교 전자 공학과 졸업(공학사)  
2001년 2월 : 한양대학교 전자 통신전파공학과 졸업(공학석사)

2001년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원  
※ 관심분야 : MIMO-OFDM, 3GPP LTE, SDR, e-Navigation, LTE-R