

## 철도통합무선망(LTE-R)의 무선통신특성 분석

윤병식<sup>1\*</sup>, 이숙진<sup>1</sup>, 김동준<sup>2</sup>, 성동일<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국전자통신연구원 차량무선네트워크연구실, <sup>2</sup>한국철도시설공단 기술연구처

### Analysis on Radio Communication Characteristics of LTE Railway Network

Byungsik Yoon<sup>1\*</sup>, Sook-Jin Lee<sup>1</sup>, Dong Joon Kim<sup>2</sup>, Dong Il Sung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Moving Wireless Network Research Section, ETRI

<sup>2</sup>Technology Research Division, Korea Rail Network Authority

**요약** 국토교통부는 2012년부터 주요 철도 정책으로 철도전용의 통합무선망 기술 확산에 노력했다. 그 결과, 2017년 세계 최초로 LTE 기반 철도통합무선망(LTE-R)을 강릉선 KTX 노선에 (만중역-강릉역) 구축 완료하였으며, 현재 해당 구간에서 LTE-R 통신 시스템을 상용 운영 중이다. 안전하고 효율적인 열차 운영을 위하여 철도통합무선망은 그룹통화, 긴급통화, 철도전용 호처리, 무선통신 기반 열차제어를 수행함에 따라 통상적인 무선통신과 차별화된 철도전용의 통신 기능과 성능요구사항이 존재한다. 본 논문에서는 철도통합무선망이 갖춰야 하는 기능 및 성능 요구사항을 유럽 철도통합무선망의 분석을 통하여 제시하고, 아울러 강릉선 KTX에서 실제 측정된 LTE-R 무선통신의 특성과 성능을 기반으로 현재 구축된 통신망의 적정성과 안정성에 대한 분석을 수행하였다. 해당 노선의 평균적 전파품질이 열차제어를 위한 통신 요구사항을 만족하더라도 일부 구간에서 RLF(Radio Link Failure)와 같은 급격한 통신 성능저하를 확인하였다. 본 논문에서는 필드 테스트를 기반으로 하는 LTE-R 무선통신 분석을 바탕으로 향후 열차제어를 위한 네트워크 구축과 성능개선 방향을 제시한다.

**Abstract** The Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korea has been trying to spread integrated railway communication network technologies based on a major railway policy since 2012. As a result, the world's first commercial Long-Term Evolution - Railway (LTE-R) network was established on the Gangneung line (Manjong station - Gangneung station) and has been commercially operating as a railway communication system since 2017. Special function and performance requirements are needed for safe and efficient railway operations, such as group calls, emergency calls, functional addressing, and train control based on wireless communications. In this paper, we present functional and performance railway communications requirements that are based on European wireless railway communications systems. In addition, we measured communications characteristics and performance using a KTX field test on the Gangneung line to analyze the validity and reliability of the LTE-R network. Although the average Radio Frequency (RF) conditions were satisfied in the requirements, we found sudden communications quality degradation, such as Radio Link Failure (RLF) in some railway sections. We propose a way to improve performance and network installations based on in-depth analysis of LTE-R communications field-test results.

**Keywords** : LTE-R, Railway Communication, Train Communication, Wireless Train Control, GSM-R

본 논문은 국토교통부 철도기술연구사업의 "ETCS L3 열차제어시스템 (18RTRP-B145983-01)" 연구비 지원을 받아 작성 하였습니다.

\*Corresponding Author : Byungsik Yoon(ETRI)

email: bsyoon@etri.re.kr

Received July 20, 2020

Accepted September 4, 2020

Revised August 26, 2020

Published September 30, 2020

## 1. 서론

최근 들어, 철도에서 열차 관제를 위한 음성통화뿐만 아니라, 철도신호, 열차제어, 다양한 승객 서비스 등을 통합적으로 제공하는 철도통합무선망이 국내외에서 크게 주목받고 있다. 철도통합무선망을 도입할 경우, 일반적인 열차 관제통화뿐만 아니라 정밀한 열차제어를 통한 철도 수송용량 증대, 노선 간 연계 운행, 효율적 배차 관리 등의 다양한 편익을 가져다준다. 특히 기존 유선 기반 철도 신호 시스템을 철도통합무선망 기반으로 개량할 경우, 최대 42%의 수송용량 증대가 가능하다[1].

1990년에 세계 철도연맹(UIC: Union Internationale des Chemins de fer)은 세계 최초의 철도통합무선망인 GSM-R(Global System for Mobile Communications - Railway)을 출범시켰으나, 현재 유럽 연합, 중국, 인도, 호주 등 일부 국가에서만 한정적으로 운영 중이다. 다양한 장점에도 불구하고 철도통합무선망이 특정 국가에서만 한정적으로 운영되는 이유는 기존 노선에 막대한 통신 인프라 구축비용이 든다는 점이다. 또한, 주파수 효율성이 높으며 통신영역으로 특화된 넓은 대역폭의 황금 주파수를 철도용으로만 사용할 수 있도록 하는 전용 주파수 할당이 선행되어야 하는 이유도 철도통합무선망 도입에 난관이라 할 수 있다. 다양한 철도 서비스가 고도화되는 시점에 현재까지 철도통합무선망 구축을 위한 유일한 대안인 GSM-R이 2세대 이동통신 방식으로 낙후되어 있다는 사실도 여타 국가들이 신규 인프라 구축에 쉽게 나서지 못하는 이유이기도 하다.

국내 철도통신은 관제통화만을 위한 음성 통신서비스를 제공해왔으며, 노선에 따라 VHF(Very High Frequency), TRS(Trunked Radio System)-ASTRO, TRS-TETRA와 같은 상이한 무선통신 방식을 적용해왔다. 이는 서로 다른 망간의 연계뿐만 아니라 망의 증설, 대체, 유지보수의 어려움을 가져왔고, 대부분이 외산 장비임에 따라 통신과 신호 장비의 국외 의존도를 심화하여왔다. 이에 국토부는 2012년 철도통합무선망 구축을 위한 기본계획을 수립하였고, 철도 주파수 연구반을 구성하여 철도전용 주파수 확보를 추진하였다. 그 결과, 4세대 이동통신 시스템인 LTE (Long Term Evolution)를 철도통합무선통신 방식으로 선정하였고, 철도통신주파수로는 700MHz 대역 (상향 718~728 MHz, 하향 773~783 MHz), 대역폭 20MHz를 할당받았다. 할당받은 주파수 대역은 재난 발생 시 재난 관련 기관의 지휘통제를 위한 국가재난안전통신망의 주파수와 동일한 주파수 대역이다. 철도통신주

파수는 철도 노선에만 활용되는 특성상 해당 지역 주파수 간섭에 대한 기술적 문제를 극복할 경우, 철도통합무선망을 독립적으로 운영하는데 특별한 어려움은 없을 것으로 판단하였다. 2017년 강릉선 KTX 노선에 (만중역 - 강릉역, 120Km 구간) 세계 최초로 고속철도급 LTE-R (LTE-Railway) 인프라 구축을 완료하여 상용 운영을 시작하였다. 도시철도 분야는 2017년에 부산지하철 1호선에 LTE-R 통신망 구축을 시작으로 인천 공항 철도, 김포 도시철도, 서울 지하철 2호선, 서울 지하철 5호선 등 각 지자체의 도시철도에서도 LTE-R 구축을 완료하였거나 구축계획수립을 완료하였다. 2018년, 국토교통부는 국가 연구개발과제를 통하여 개발한 LTE 기반 철도 통합무선 통신시스템을 이용하여 2027년까지 5,600Km 길이의 일반-고속철도 전 노선에 총 1조 1천억 원을 투입하는 LTE-R 구축계획을 수립하였다[2][3][4].

## 2. 철도통합무선망 요구사항

철도통합무선망은 철도전용 관제통화, 철도전용 호처리, 사고 시 긴급통화, 무선통신기반 열차제어, 건물목제어 등과 같은 특수 통신 기능을 수행함에 따라, 일반적인 무선통신과 차별화된 특수한 통신 요구사항이 존재한다. 본 절에서는 철도통합무선망이 갖춰야 할 기능 및 성능 요구사항에 대하여 설명한다.

### 2.1 기능 요구사항

열차 통화 관련 주요 기능으로는 철도운행을 위한 철도전용 음성 통신서비스가 필요하다. 통신망은 철도 관제사와 열차 기관사, 인접 열차 기관사 간의 개별 혹은 그룹 통화를 지원해야 한다. 또한, 비상사태 시 철도 긴급통화를 통하여 특정 지역 내 모든 단말에 그 상황을 즉시 전달해야 한다. 철도통합무선망은 일반 전화번호와 달리 기능과 위치에 따라 장비에 할당된 번호를 사용하는 어드레싱 체계가 제공되어야 한다. 이는 기능 어드레싱 (Functional Addressing)이라고 불리며, 주 용도는 철도 관제사가 운행 중인 열차의 번호를 이용하여 해당 열차 기관사와 통화 설정을 할 수 있게 한다.

열차 운행 관련 주요 기능은 열차의 위치, 상태, 속도, 이동 권한 등을 철도통합무선망을 통하여 안정적이고 신뢰성 있게 전달할 수 있어야 한다. 이를 위하여 통신 시스템은 양방향 데이터 통신이 지원되어야 하며, 열차가 고속으로 이동하는 환경에서도 전체 선로에 대해서 강건

한 통신 상태를 유지할 수 있어야 한다. 아울러 열차의 제어를 위하여 송수신되는 데이터 전달시간은 고속으로 이동하는 열차의 특성을 고려하여 매우 짧아야 한다.

## 2.2 성능 요구사항

철도통합무선망은 350Km/h의 열차 이동속도에서도 안정적이고 신뢰성 높은 통신 환경을 지속적으로 제공해야 한다. 특히 열차제어를 위한 높은 수준의 성능 요구사항이 필요한데, 이는 여타의 무선통신 시스템과 차별화되는 핵심 요구사항으로써 본 논문에서는 유럽의 열차제어 통신 시스템을 분석 정리하여 그 내용을 표 1에 담았다.

Table 1. Requirements of radio based train control communication system

Requirements	Target values	Probability (%)
Connection establishment delay	< 8.5 sec	95
	≤ 10 sec	100
Connection establishment error ratio	< 10 <sup>-2</sup>	-
Transfer delay	≤ 0.5 sec	99
Network registration delay	≤ 30 sec	95
	≤ 35 sec	99
Received Signal Power (RSRP)	≥ - 95 dBm	98
	≥ - 110 dBm	
Handover success rate	> 99.5%	-
Transmission interference period	< 0.8 sec	95
	< 1 sec	99
Error free period	≥ 20 sec	95
	≥ 7 sec	99
Connection loss rate	< 10 <sup>-2</sup> /h	-
Network availability	≥ 99.9984%	-

연결 설정 지연 시간(Connection establishment delay)은 차상 단말이 무선 네트워크에 열차제어를 위한 데이터 연결 설정을 요청하고 연결 설정이 완료될 때까지의 시간을 의미한다. 일반적으로 10초 이내 모든 연결 설정이 마무리되어야 한다. 연결 설정 오류율(Connection establishment error ratio)은 전체 연결 설정시도에 대한 실패율을 의미하며, 10<sup>-2</sup> 이내여야 한다. ETCS(European Train Control System)에서 열차제어를 위한 데이터 전달 지연 시간(Transfer delay)은 전체 경로에 대하여 0.5초보다 작아야 하며, 등록지연시간(Network registration delay)은 차상 단말이 철도통합무선망에 자신의 단말을 네트워크에 등록하고 등록을 허가하는 응답을 성공적으로 수신하였을 때까지의 시간을 의미하며, 35초 이내에 모든 절차를 마무리하여야 한

다[5].

후대단말 참조신호 수신전력 RSRP(Reference Signal Received Power)은 98% 이상의 기지국 커버리지에 대하여 -110 dBm 이상의 전계 강도가 제공되어야 하며, 차상장치의 경우 -95 dBm 이상의 전계 강도가 제공되어야 한다[6]. 또한, 핸드오버 성공률은 99.5% 이상 되어야 한다[7]. 전송간섭시간(Transmission interference period)은 무선 네트워크로 인하여 열차제어 메시지의 전체 혹은 일부가 손실되어 데이터 전송에 장애가 발생하는 시간을 의미하며, 일반적으로 1초 이상 장애가 지속되지 않아야 한다. 에러 미발생시간(Error free period)은 전송 장애가 발생한 후, 에러 없는 데이터 전송을 재개하기 위하여 최소한의 에러 없는 시간이 보장되어야 함을 의미한다. 한번 장애가 발생하면, 일반적으로 7초 이상의 에러가 발생하지 않은 시간이 보장해야 한다. 접속 손실률(Connection loss rate)은 열차제어를 위한 통신 경로가 설정되면, 열차 운행을 완료할 때까지 지속적으로 네트워크와 연결되어 있어야 하는데, 의도하지 않게 연결이 끊어지는 비율을 의미한다[5][8]. 네트워크 가용성(Network availability)은 열차제어를 위한 통신 시스템이 장애 없이 운영될 수 있는 시간의 비율을 의미하며, 철도통합무선망의 경우 네트워크 가용성은 Five Nines 시스템(99.999%)이 요구된다[9].

## 3. 무선통신 품질 측정 환경

그림 1에 보이는 바와 같이 철도통합무선망(LTE-R)은 철도교통 관제센터와 철도교통 예비관제센터로 이루어진 LTE-R 중앙제어센터, 광 전송망, DU(Digital Unit)와 RRU(Remote Radio Unit)로 구성된 지상 장치, 운전실에 설치된 차상 장치 및 승무원용 휴대 단말기 등으로 구성된다. 그림 2는 강릉선 KTX에 LTE-R 차상 장치로 이용되는 TCI(Train Control Interface)와, TRCP(Train Radio Control Panel)를 보여준다.

KTX 기제실에 설치된 TCI에는 LTE-R 모뎀이 설치되어 지상과 차상 간의 무선통신을 지원하고, 운전실에 설치된 TRCP를 통하여 KTX 운전자는 그룹통화, 비상통화, 기능 어드레싱 등과 같은 열차 관제 음성통화서비스를 이용할 수 있다.

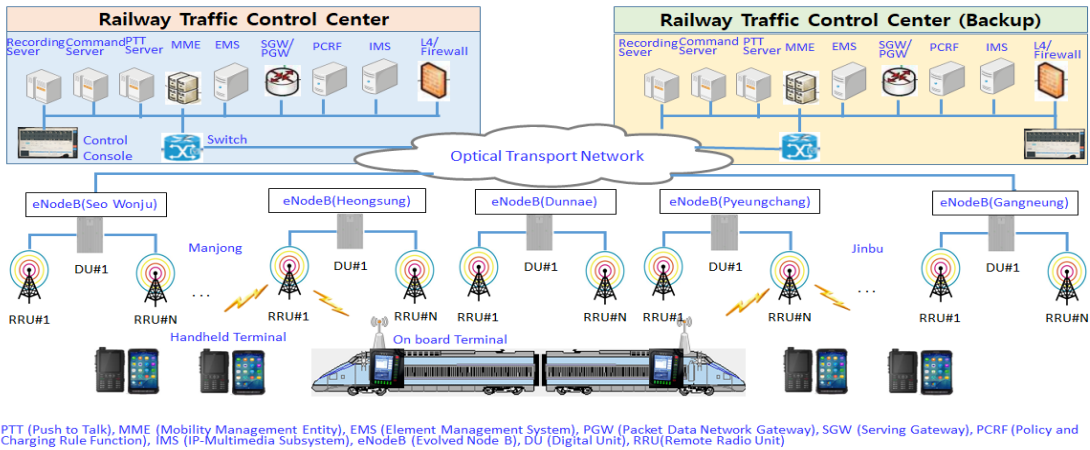


Fig. 1. LTE-R network architecture (The Gangneung line)



Fig. 2. On board units of LTE-R  
(a) TCI (b) TRCP

현재 강릉선에는 LTE-R을 활용하여 실시간으로 열차를 제어하는 무선통신 기반 열차제어 서비스를 수행하지 않고 관제 음성통화 서비스만을 이용하고 있다. 본 연구의 목적은 현재 강릉선의 LTE-R 무선통신특성이 높은 성능을 요구하는 열차제어서비스를 수용할 수 있을지를 검증하는 데 있다. 이를 위하여 KTX 차상 장치를 통하여 무선특성과 관련된 각종 데이터를 수집해야 한다. 또한, 단말과 기지국에 남아 있는 통신기록을 면밀히 분석하는 것도 중요하다. 그러나 현재 많은 승객이 이용하고 있는 강릉선 KTX 차상 장치에 각종 검측 장비를 설치하여 열차 운행에 지장 없이 무선특성을 분석하기에는 큰 난관이 존재한다. 무선통신특성을 분석할 때 기지국에서 수집한 통신 로그 기록도 동시에 검토하여야 하는데, 이를 LTE-R 운영사로부터 제공받는 것도 현실적 어려움이 크다.

본 논문에서는 현실적인 제약사항과 차상 장치가 휴대단말보다 고성능임을 고려하여 차선책으로 LTE-R 휴대단말을 통하여 무선통신특성과 관련된 데이터를 수집하였다. LTE-R 휴대단말은 삼성전자에서 제작한 SM-G888NO

단말기를 이용하였다. LTE-R 망이 폐쇄망임에 따라 코어망의 특정서버에 접속하거나 혹은 외부망과 연동된 통신서비스를 이용하는 것은 불가능하다. 따라서 단말의 지속적 양방향 데이터 통신 설정을 위하여 LTE-R 단말 2대를 VoLTE(Voice over LTE) 기반 고화질 비디오 통신으로 연결한 후 관련 데이터를 수집하였다. 무선통신특성을 연구하기 위한 데이터 수집 및 분석장치는 네티마이저(Netimizer)를 활용하였다. 해당 장비를 통해 단말이 수신하고 있는 각종 무선통신특성 데이터를 USB 단자를 통하여 노트북으로 수집하고 분석할 수 있다. 강릉선에 설치된 LTE-R 지상 장치는 선로변 기계실에 DU가 위치하고 RRU와 안테나는 철도 선로옆 전차선 기둥에 설치되어 있다. RRU간 간격은 1Km 정도의 거리를 두고 있고, RF 안테나와 선로 간 직선거리는 5m, 전차선 기둥에 설치된 안테나는 지상으로부터 3m 높이에 설치되어 있다. 그림 3은 KTX 객실에서 실시간으로 무선특성 데이터를 수집 중인 LTE-R 단말들과 강릉선 선로에 설치된 RRU와 RF 안테나를 보여준다.

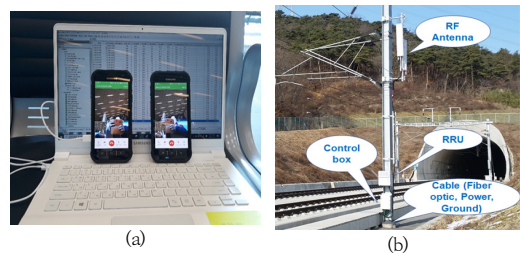


Fig. 3. Field test for LTE-R  
(a) Data measurement (b) LTE-R RRU and RF antenna

### 4. 무선통신 품질 측정 결과 및 분석

성능 요구사항 항목 중 연결 설정 지연 시간, 연결 설정 오류율, 데이터 전달 지연 시간, 등록 지연 시간은 서킷스위칭 시스템인 2세대 이동통신 방식의 GSM-R 기준으로 규격이 제정되어 있어 패킷 스위칭 시스템인 LTE-R 에서는 해당 요구사항을 쉽게 만족함을 선행 연구를 통하여 확인하였다[2]. 따라서 본 논문에서는 해당 요구사항들의 분석을 생략한다.

강릉선 LTE-R 무선통신특성을 분석하기 위하여 다음과 같은 데이터를 LTE-R 단말로부터 수집하였다. RSRP는 단말이 기지국으로부터 수신하는 참조 무선신호의 수신전력을 나타낸다. RSRQ(Reference Signal Received Quality)는 수신한 참조 무선신호의 품질을 나타내는 지표이다. RSSI(Received Signal Strength Indicator)는 단말이 수신하는 모든 신호의 수신전력을 나타내며, SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)은 신호대 잡음 및 간섭 비율을 나타낸다. PDSCH BLER(Physical Downlink Shared Channel Block Error Rate)은 하향링크의 데이터 전송 품질을 결정하는 지표이며, PUSCH BLER(Physical Uplink Shared Channel Block Error Rate)은 상향링크의 데이터 전송 품질을 결정하는 지표이다.

측정횟수가 많을수록 신뢰성 높은 데이터 분석이 가능하나, 제반 여건 미비로 인하여 본 연구에서는 1회 측정 결과를 기반으로 분석하였다. 그림 4는 강릉역에서 만중역까지 KTX 열차를 타고 왕복하면서 측정한 무선통신특성 데이터의 평균값 (Average)와 표준편차 (Standard deviation)을 표시한다.

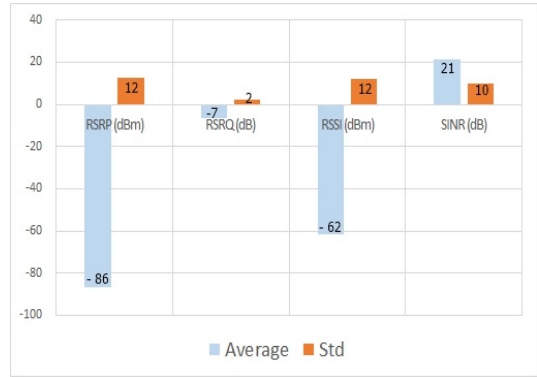


Fig. 4. Average and standard deviation of RF parameters

Table 2. The classification RF conditions per RF parameters

Conditions	RSRP (dBm)	RSRQ (dB)	SINR (dB)
Excellent	$\geq -80$	$\geq -10$	$\geq 20$
Good	$-80 \sim -90$	$-10 \sim -15$	$13 \sim 20$
Mid Cell	$-90 \sim -100$	$-15 \sim -20$	$0 \sim 13$
Cell Edge	$\leq -100$	$< -20$	$\leq 0$

휴대단말 기준 참조신호 수신전력 (RSRP)의 평균값은 - 86 dBm 이며, 98% 커버리지에 대하여 참조 신호 수신전력이 - 110 dBm 보다 값이 큰 것을 확인했으므로 전계 강도에 해당하는 요구사항을 만족한다. 무선품질에 따른 셀 설계의 적정성은 표 2와 같이 표시될 수 있는데 [10], 강릉선 LTE-R 셀 RF 등급은 RSRQ, SINR 기준으로는 매우 우수 (Excellent), RSRP 기준으로는 우수 (Good) 수준에 해당함을 확인하였다. RSRP 신호의 표준편차는 약 12 dBm으로, 수신 신호의 변동성은 조금 큰 것으로 파악된다. 핸드오버는 왕복 측정구간에서 총

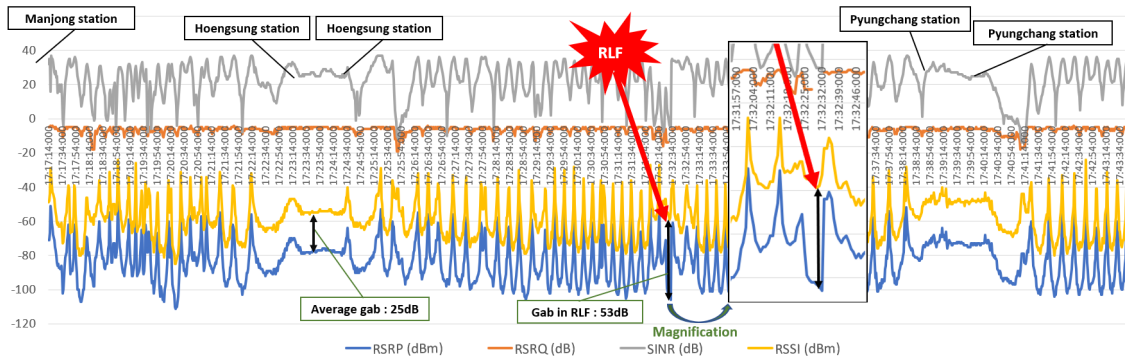


Fig. 5. Variation of the measured RF parameters in the Gangneung line

212번의 핸드오버를 수행하였으며, 핸드오버 성공률은 100%임을 확인하였다.

그림 5는 만종역에서 평창역간 무선특성을 파악하기 위하여 수집된 파라미터들의 변동을 보여준다. 특히 주목할만한 사실은 횡성역과 평창역 중간지점에서 LTE-R 단말은 RRC(Radio Resource Control) Connection Reestablishment 절차를 수행하였는데, 해당 메시지를 분석한 결과 Random access 문제로 인한 RLF(Radio Link Failure)가 발생되었음을 확인하였다. 이 구간의 무선통신특성을 분석하면, 단말에서 수신한 RSSI값과 RSRP값의 편차(53dB)가 다른지역 편차(평균 25dB)와 비교하여 큰 변화가 있었음을 알 수 있다.

RSSI신호는 트래픽 신호, 간섭 신호, 잡음 신호 모두를 포함하기 때문에 이 구간에서 간섭 혹은 잡음이 발생하여 RSRP값과 비교하여 큰 편차가 발생하였고 이로 인하여 SINR값이 크게 저하되었으리라 유추된다. 또한, 해당 구간 상/하향 BLER을 분석해보면, 그림 6과 같이 하향링크의 BLER에 비하여 상향링크 BLER이 70%까지 증가함을 알 수 있었다. 이는 해당 시점에 상향링크의 무선통신특성이 급격히 악화하였음을 알 수 있다.

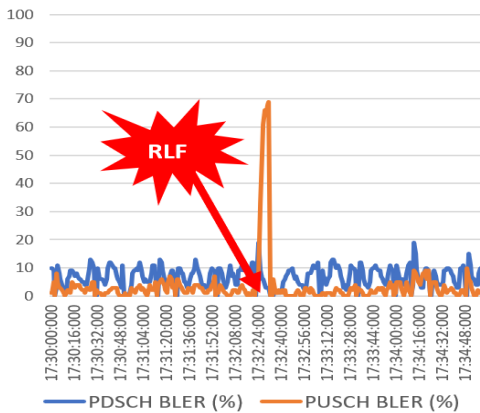


Fig. 6. Variation of the measured BLER

이번 강릉선 필드 테스트에서 모두 4번의 RLF를 확인하였는데, 모두 동일하게 하향링크 SINR은 감소하고 상향링크의 BLER은 증가함을 알 수 있었다. 이 구간 무선채널의 품질이 악화된 구체적인 원인을 파악하기 위해서는 기지국 통신 로그 기록 분석, 전파 페이딩 분석, 재난통신망과의 전파 간섭 등에 관한 추가적인 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

Table 3. The Transmission interference period and the error free period

RLF #	Transmission interference period	Error free period
RLF #1	329 msec	32 min 26 sec
RLF #2	1944 msec	
RLF #3	725 msec	25 min 36 sec
RLF #4	471 msec	

RLF #1, RLF #2 는 강릉역에서 만종역으로 이동 시 발생하였고, RLF #3, RLF #4는 만종역에서 강릉역으로 이동 시 발생하였다. 통신장애가 발생하고 다시 무선통신이 재개할 때까지 소요된 시간 (전송간섭시간), RLF가 발생하고 다음 RLF가 발생할 때 시간 (에러 미발생시간)을 확인하기 위하여 필드 테스트 로그 분석을 통하여 도출한 내용을 표 3에 정리하였다. 0.8 초 이상의 전송간섭이 일어난 경우는 RLF #2 에서만 확인되고, 나머지의 RLF에서는 모두 0.8 초 이내에 간섭을 극복한 것으로 파악된다. 그러나 RLF #2에서 발생한 2초 정도의 전송간섭은 0.5초 간격으로 지상에서 송신되는 열차제어 메시지를 단말에서 3번 이상 수신하지 못할 경우, 비상제동을 수행하는 ETCS 열차제어시스템에 큰 영향을 줄 수 있으므로 빠른 시간 내에 전송간섭을 극복하지 못한 원인 분석이 필요하다. 에러 미발생시간과 관련하여 RLF가 20초 이내에 연속적으로 발생하지 않았음을 확인하였다. 그러나 전송장애와 관련된 수집사례가 너무 적음에 따라 전송간섭시간과 에러 미발생시간과 관련되는 요구사항의 만족 여부는 장시간 테스트에 따른 추가적 관련 자료가 수집되어야 판단할 수 있다.

관측한 RLF에서 특히 주목할만한 점은 모든 RLF에서도 VoLTE 기반 고품질 영상 통화서비스의 통화 단절은 없었다는 점이다. 이는 향후 LTE-R 통신망에서 상위 통신 어플리케이션 서비스로 운영될 열차제어 통신서비스에서도 RLF 발생 시 열차제어 통신서비스가 끊어지지 않을 수 있음을 시사한다. 즉 RLF가 반드시 통신의 접속 손실을 의미하지 않는다. 철도통합무선망의 접속손실률은 열차제어 측면에서는 손실을 고려하여야 하므로 추후 LTE-R 통신망에 열차제어 통신서비스를 적용한 후 통신 접속손실률을 추가로 분석할 필요가 있다.

열차제어에 대한 LTE-R 네트워크 가용성을 측정하기 위해서는 무선통신 기반 열차제어 장비를 LTE-R에 탑재하고 열차를 장시간 운행하면서 테스트를 수행하여 결과를 도출해야 한다. 따라서 네트워크 가용성에 대한 요구사항 만족 여부도 향후 연구과제로 남긴다. 다만, 무선통



신 기반 열차제어를 위해서 Five Nines 수준의 네트워크 가용성이 필요하다[11]. 4세대 이동통신 시스템이 큰 기술적 진보를 이루었다 하더라도 LTE-R 통신망 단독으로 유선 수준의 네트워크 가용성을 제공하기 힘들 것으로 판단된다.

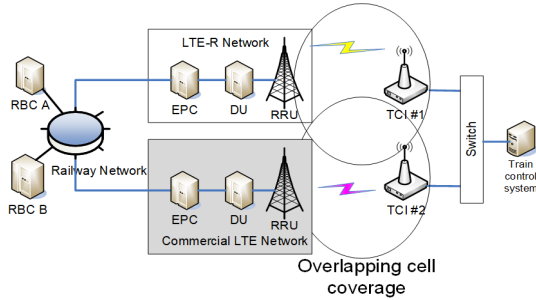


Fig. 7. Fully Duplicated Networks for Train control

그림 7은 LTE-R 망과 상용 LTE를 혼용하여 열차제어 인프라를 이중으로 구축하여 네트워크 가용성을 높인 예를 보여준다. 열차제어를 수행하는 RBC(Radio Block Center)에서 TCI까지 모든 장비를 이중화하여 통신 경로상에 장비 혹은 무선채널 장애가 발생하더라도 예비 장비로 즉각 전환되어 다양한 유형의 장애에도 대처할 수 있다. 이와 관련하여, 네트워크 가용성을 극대화하기 위하여 LTE-R망과 상용 LTE망 간 효율적 이중화 방안을 위한 후속 연구를 현재 진행 중이다.

### 5. 결론

본 연구에서는 LTE-R 시험선이 아닌 세계 최초로 상용 운행되는 강릉선 LTE-R을 기준으로 무선통신 특성을 수집하였고, 유럽 열차제어 무선통신시스템 연구를 통하여 도출된 성능 요구사항의 만족 여부를 측정된 LTE 무선 파라미터와 제어 메시지 분석을 통하여 수행하였다. 수집된 LTE-R의 평균적 전파특성은 양호 혹은 매우 양호한 것으로 나타났으며, 수신 전계 강도는 철도통합무선망의 요구사항을 만족하는 것으로 판단된다. 또한, 100% 핸드오버 성공률이 확인되어 핸드오버 관련된 요구사항도 충족함을 확인하였다.

평균적인 전파환경이 좋다 하더라도 측정 중 4건의 RLF가 발생하였으며, 이때 상향 및 하향 무선통신특성이 급격히 악화됨을 확인하였다. 전송간섭 시간, 에러 미발

생시간, 접속손실률, 네트워크 가용성과 관련된 철도통신망 요구사항 충족 여부는 장애 관련 수집사례가 너무 적고 열차제어통신 측면에서 고려해야 할 사항 등이 많은 관계로 향후 연구과제로 남긴다.

향후 연구에서는 차선책으로 선택한 휴대용 단말이 아닌 이보다 무선 수신 성능이 뛰어난 차상 장치에 각종 검측 장비를 설치한 후 열차제어 통신서비스에 대한 장시간 무선통신특성 필드 테스트를 수행하여 통신장애요인을 선제적으로 파악하고 제거할 필요가 있다. 또한, 불가피하게 장애가 발생하더라도 추가적 무선망을 활용하여 전송경로를 효율적으로 이중화하여 장애를 극복할 수 있는 연구도 진행해야 한다.

이 결과를 바탕으로 LTE-R 통신망의 안정성을 높이고 가용성을 향상한다면 빠르고 효율적이며 안전한 철도 운송 인프라 구축에 기여할 수 있으리라 판단된다.

### References

- [1] K.H. Kim, Y.K. Kim, D.K. Park, "A study on the Problem Analysis and Improvement Plan for the Korean Railways Communication Networks", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 16, No. 6 pp.534-539, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.6.534>
- [2] Y. Song, Y.K. Kim, J.H. Baek, "Development of Interated Wireless Network for Railway", Journal of the Korean Society for Railway, Vol. 16, No. 6 pp.551-557, 2013.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.6.551>
- [3] H.S. Yoon, J.W. Park, Y.S. Yoo, D.I. Sung, "The Plan for implementation and establishment of LTE-R", Information and communication magazine, Vol. 33, No. 3, pp.66-73, 2016, Available From: <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail/article/articleSe archResultDetail.do?cn=JAKO201608949924784> (accessed July. 13, 2020)
- [4] Press Release, "Establishment of LTE railway communication system", The Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korea, 2018, Available From: [http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m\\_71/dtl.jsp?lcms page=1&id=95080188](http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcms page=1&id=95080188) (accessed July. 13, 2020)
- [5] ERTMS/ETCS - Class 1 "GSM-R interface Class 1 Requirements", SUBSET-093, Available From: [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activitie s/docs/subset-093\\_v230\\_en.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/activitie s/docs/subset-093_v230_en.pdf) (accessed July. 13, 2020)
- [6] TTAR-06.0205, "Configuration of base station for LTE-R system of railway communications (Technical

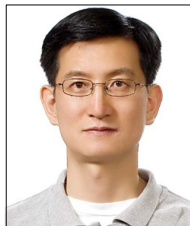
Report”, Telecommunications Technology Association, Available From:

[http://www.tta.or.kr/data/ttas\\_view.jsp?rn=3&rn1=Y&rn2=&rn3=Y&nowpage=1&pk\\_num=TTAR-06.0205&standard\\_no=&kor\\_standard=%C3%B6%B5%B5&publish\\_date=&section\\_code=&order=publish\\_date&by=desc&nowSu=6&totalSu=16&acode1=&acode2=&scode1=&scode2](http://www.tta.or.kr/data/ttas_view.jsp?rn=3&rn1=Y&rn2=&rn3=Y&nowpage=1&pk_num=TTAR-06.0205&standard_no=&kor_standard=%C3%B6%B5%B5&publish_date=&section_code=&order=publish_date&by=desc&nowSu=6&totalSu=16&acode1=&acode2=&scode1=&scode2) (accessed July. 13, 2020)

- [7] ETSI TR 103 134 Railway Telecommunications (RT): GSM-R in support of EC Mandate M/486 EN on Urban Rail, Available From: [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_tr/103100\\_103199/103134/01.01.01\\_60/tr\\_103134v010101p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103100_103199/103134/01.01.01_60/tr_103134v010101p.pdf) (accessed July. 13, 2020)
- [8] B.S. Yoon, M.S. Choi, D.J. Kim, O.W. Oh, D.I. Sung, “Study on technologies of mobile communication based train control and its radio communication requirements”, Annual Conference of KIICE, pp.457-460, Jeju, 2018, Available From: <http://www.ndsl.kr/ndsl/search/detail%20/article/articleSearchResultDetail.do?cn=NPAP12895617> (accessed July. 13, 2020)
- [9] ERTMS/ETCS - RAMS Requirements Specification: EEIG: 96S126, Available From: [https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs\\_tsi\\_application\\_guide\\_-\\_informative\\_specifications/set\\_of\\_specifications\\_1\\_etcs\\_b2\\_gsm-r\\_b1/index001\\_-\\_02s1266\\_v6.pdf](https://www.era.europa.eu/sites/default/files/filesystem/ertms/ccs_tsi_application_guide_-_informative_specifications/set_of_specifications_1_etcs_b2_gsm-r_b1/index001_-_02s1266_v6.pdf) (accessed July. 13, 2020)
- [10] B.J. Kim, “The measurement-based analysis of the effect of CQI and BLER on the transmission rate of a LTE system”, JKIECS, Vol. 9, No. 12, pp.1365- 1372, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2014.9.12.1365>
- [11] S.H. Pyo, “A Study on the Establishment of redundancy for stable operation of integrated railway network (LTE-R)”, KAIS, Vol. 20, Issue 2, pp.51-58, 2019. DOI : <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.2.51>

**윤 병 식(Byungsik Yoon)**

[정회원]



- 1990년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 1992년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2012년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1992년 1월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야>

이동통신, 철도통신

**이 속 진(Sook-Jin Lee)**

[정회원]



- 1990년 2월 : 경북대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
- 2000년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1990년 2월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원

<관심분야>

이동통신, 철도통신

**김 등 준(Dong Joon Kim)**

[정회원]



- 1996년 2월 : 동의대학교 공과대학 전자통신공학과 (공학사)
- 1996년 7월 ~ 현재 : 한국철도시설공단 선임연구원

<관심분야>

이동통신, 철도통신

**성 등 일(Dong Il Sung)**

[정회원]



- 1996년 2월 : 조선대학교 공과대학 전기공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 우송대학교 철도대학원 철도공학과 (공학석사)
- 1995년 7월 ~ 현재 : 한국철도시설공단 책임연구원

<관심분야>

정보경영, 정보통신