

ETCS Level 2 기반 열차제어시스템 성능 확보를 위한 LTE-R 성능 파라미터 분석에 관한 연구

A study on the Analysis of LTE-R Performance Parameter for Performance Achievement of ETCS Level 2 based Train Control System

이재홍*, 지정근*[†], 김창훈*, 박주훈**

Jaehong Lee*, Jeongkun Ji*[†], Changhun Kim*, Juhun Park**

Abstract Train Control in ETCS(European Train Control System) Application is operated by GSM-R(Global System for Mobile Communications–Railway) method, and interface methods between ETCS and GSM-R are described in ETCS Subset specification However, LTE-R(Long Term Evolution–Railway) network is recently being applied on behalf of GSM-R network for radio based communication method of train control in Korea and Foreign Country. In this paper, we analyzed interface method between ETCS and GSM-R described in ETCS subset specification and suggested LTE-R application method in ETCS Level 2 based train control system. Also, analysis of LTE-R performance parameter is performed in order to secure performance of train control system applied to LTE-R method.

Keywords : ETCS, GSM-R, LTE-R, Train Control System, Performance Parameter

초 록 유럽형 열차제어시스템(European Train Control System : ETCS)은 열차제어를 위해 사용하는 무선통신으로 GSM-R(Global System for Mobile Communications–Railway) 방식을 사용하고, ETCS Subset 사양에서는 ETCS와 GSM-R간의 인터페이스 방식을 언급한다. 그러나 최근 국·내외에서는 열차제어용 통신방식으로 GSM-R을 대신해서 LTE-R(Long Term Evolution–Railway) 방식을 적용하고 있는 추세이다. 본 논문에서는 ETCS Subset 사양에서 제시하고 있는 ETCS와 GSM-R 간의 인터페이스 방식을 분석하고, ETCS Level 2 기반 열차제어시스템에서 LTE-R 방식을 적용할 수 있는 방법을 제시하였다. 또한 LTE-R 방식이 적용된 열차제어시스템의 성능 확보를 위해서 LTE-R 파라미터에 대한 분석을 수행하였다.

주요어 : ETCS, GSM-R, LTE-R, 열차제어시스템, 성능 파라미터

1. 서론

유럽에서는 2000년대 초반부터 열차 운행의 상호호환성 및 운행효율을 개선하기 위해 철도 전용 무선통신 기술인 GSM-R을 채택하여 열차제어 분야에 적용하고 있다. 유럽의 철도교통관리시스템(ERTMS : European Railway Traffic Management System)은 열차제어시스템인 ETCS, 무선통신시스템인 GSM-R, 교통관리시스템인 ETML(European Traffic Management Layer)로 구성된다.

† 교신저자: 유경제어(주) 기술연구소(jkji@daum.net)

* 유경제어(주) 기술연구소

** 한국철도공사 기술연구처

ERA(European Railway Agency)에서는 ERTMS의 구성 항목 중에 하나인 ETCS에 대해서 Subset 사양을 정의하여 배포하고 있는데, Subset 037, 039등의 사양에서는 ETCS와 GSM-R 간 인터페이스 사양을 제시하여 ETCS Level 2 Application에서 GSM-R을 사용하기 위한 기술적 요구사항을 언급하고 있다. [1-2] 그러나 최근 유럽을 포함한 국내·외에서는 GSM-R을 대신하여 차세대 무선통신인 LTE-R을 ETCS Level 2 기반 열차제어시스템에 적용하기 위한 노력을 기울이고 있다. 따라서, GSM-R과 관련된 ETCS Subset 사양을 사전 분석하고, 사전 분석된 내용을 바탕으로 ETCS Level 2 시스템에 LTE-R 방식을 적용할 수 있는 방안을 도출할 필요가 있다.

2. 본 론

2.1 ETCS Level 2 Application 및 인터페이스 사양

2.1.1 ETCS Level 2 Application

ETCS는 열차제어 방법 및 구성장비에 따라 Level 1, Level 2, Level 3로 구분된다. ETCS Level 1은 전방의 신호정보를 발리스를 통해 차상장치로 전송하여 열차를 제어하는 방식이고, ETCS Level 2는 전방의 신호정보를 무선폐색센터(Radio Block Center : RBC)에서 이동권한으로 생성하고 무선통신을 활용하여 연속적으로 열차를 제어하는 방식이며, ETCS Level 3는 Level 2와 구성이 동일하지만 고정폐색이 아닌 이동폐색을 적용하여 완전한 무선통신으로 열차를 제어하는 방식이다.[3] 무선통신 방식을 GSM-R로 사용하는 ETCS Level 2 구성도는 다음 Fig. 1과 같다. [4]

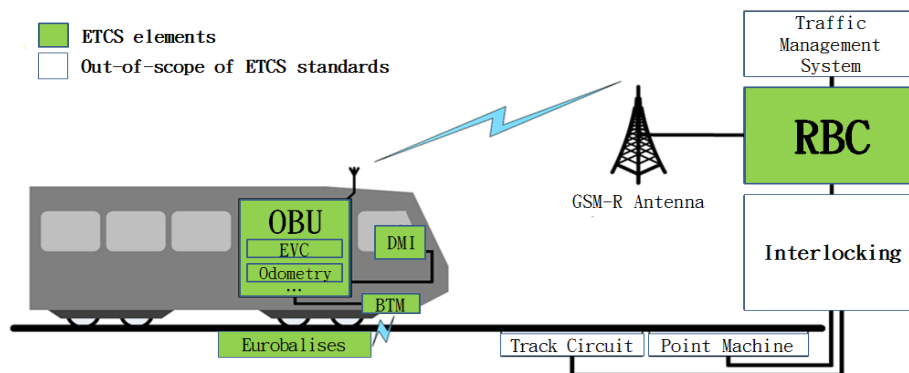


Fig. 1 Schematic overview of ETCS Level 2 architecture

위 Fig. 1에서와 같이 지상의 궤도회로(Track Circuit) 및 선로전환기(Point machine)를 통해서 생성된 열차 점유정보 및 진로정보는 신호기계실(Signalling equipment room)에 설치된 연동장치(Interlocking)로 전송되고 연동장치는 열차의 점유정보, 진로정보 등을 연산하여 무선폐색센터로 전송한다. 무선폐색센터는 연동장치로부터 수신된 정보와 철도교통관제시스템(Traffic Management System)에서 수신된 제어 명령, 기타 지리적 조건 등을 연산

하여 주행 중인 열차가 이동할 수 있는 거리인 이동권한(Movement Authority : MA) 정보를 생성한다. 이렇게 생성된 이동권한 정보는 GSM-R 무선 네트워크를 통해서 차상의 OBU(On-Board Unit)에 전송되고 OBU는 무선폐색센터로부터 수신된 이동권한 정보와 차량 고유의 특성정보, 지상의 유로발리스(Euro Balise)로부터 수신된 위치 정보, 지리적 정보 등을 연산하여 열차 속도를 제어한다.

2.1.2 ETCS Architecture에서의 인터페이스 사양

ETCS Subset 026 System Requirements Specification의 2장 Basic System Description에서는 아래의 Fig. 2와 같이 ETCS On-board의 EURORADIO와 GSM-R Mobile 간 인터페이스, ETCS Trackside의 RBC내 EURORADIO와 GSM-R network 간 인터페이스를 제시한다. [3]

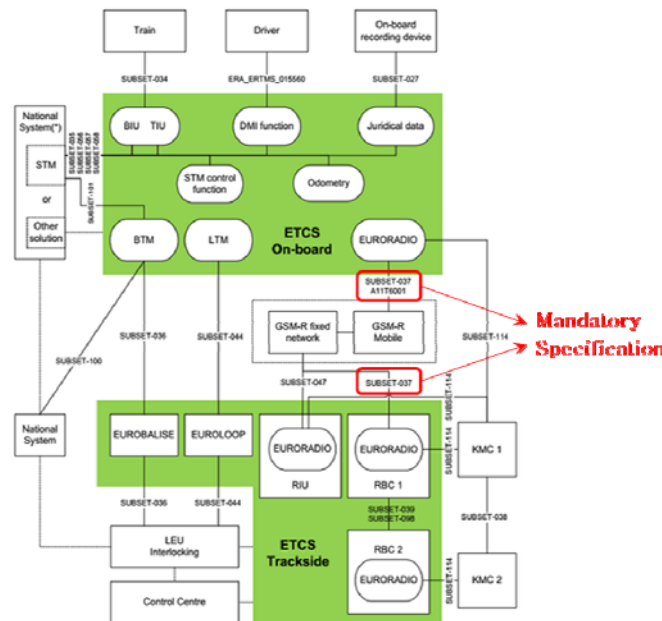


Fig. 2 ERTMS/ETCS system and its interfaces(Baseline 3)

위 Fig. 2에서와 같이 ETCS On-board의 EURORADIO와 GSM-R Mobile 간 인터페이스는 Subset-037 사양과 A11T6001 사양을 제시하고, ETCS Trackside의 RBC내 EURORADIO와 GSM-R network 간 인터페이스는 Subset-037 사양을 제시한다. ETCS Application과 GSM-R 설비 간의 인터페이스 사양인 Subset-037 사양과 A11T6001 사양은 다음 Table 1과 같다.

Table 1 Subset-037 & A11T6001 specification(Baseline 3)

Reference	Title	Version
Subset-037	EuroRadio FIS	3.1.0
A11T6001	(MORANE) Radio Transmission FFFIS for EuroRadio	12.4

위 Table 1에서 제시하는 Subset-037 Euro Radio FIS(Functional Interface Specification)에서는 ETCS Level 2/3 Application에서 지상과 차상 간 안전-관련(Safety-related) 프로세스가 적용된 메시지 교환에 대한 내용을 언급한다. A11T6001 Radio Transmission FFFIS(Form Fit Functional Interface Specification) for Euro Radio에서는 Euro Radio와 GSM-R 네트워크 간의 인터페이스 요구사항, 물리적 또는 전기적 특성, 프로토콜 및 절차 등에 대한 내용을 언급한다. [5]

2.2 ETCS Application과 GSM-R 간의 인터페이스 요구사항 분석

2.1.2절에 언급된 Baseline 3 기반 Subset-037 & A11T6001 사양에서는 다음 Fig. 3과 같이 OBU와 RBC 간 통신에서 요구되는 GSM-R 인터페이스 및 프로토콜에 대해 정의한다. [5]

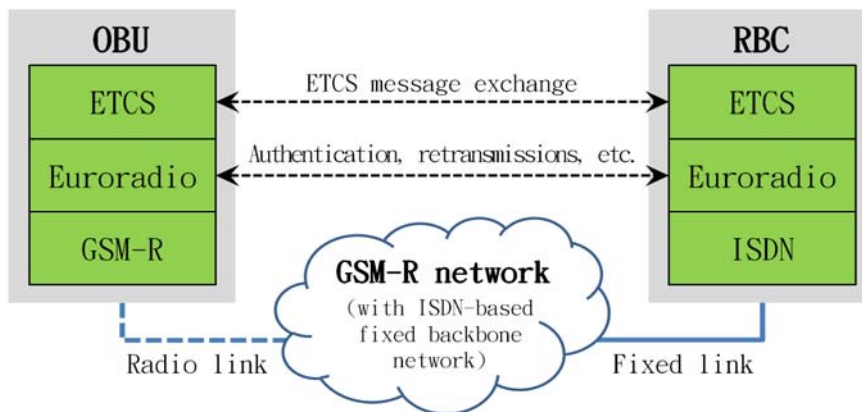


Fig. 3 OBU-RBC communication based on the GSM-R network

Fig.3에서와 같이, ETCS Application 계층과 GSM-R 계층 사이에는 Euroradio 프로토콜 계층이 존재한다. Euroradio 프로토콜 계층은 메시지의 인증, 데이터 영역화, 재조합, 에러-체크, 데이터 손실, 데이터 재전송 기능을 제공한다. 그러므로 Euroradio 프로토콜 계층은 무선 네트워크에서 발생하는 모든 에러에 대해서 신뢰성을 보장하는 데이터 전송 메커니즘을 포함해야 한다. OBU-RBC 간 인터페이스 사양은 GSM-R과 ISDN(Integrated Services Digital Network) 방식으로 정의되기 때문에 데이터 전송은 패킷 방식을 사용한다. [4]

2.3 ETCS Application에서의 LTE-R 방식의 적용 방안

현재의 GSM-R 기반 ETCS Application은 통신 프로토콜(Communication Protocol)을 OSI Open System Interconnection]을 사용한다. 그러나 LTE-R 방식에서 통신 프로토콜은 다음 Fig. 4와 같이 IP 프로토콜을 사용한다. [6]

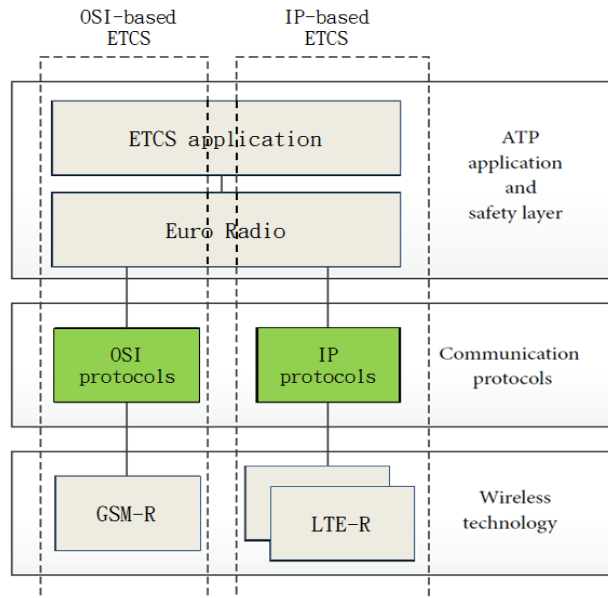


Fig. 4 ETCS over GSM-R & LTE communication technologies

ETCS Application에 LTE-R을 적용하기 위한 하부장치들로는 크게 User Equipment(UE), E-UTRAN NodeB(eNodeB), EPC(Evolved Packet Core)로 구성된다. UE는 철도 시스템에서 열차에 설치된 무선모듈을 제어하는 장치이고, eNodeB는 무선 커버리지를 제공하고, 무선자원을 관리하며 패킷을 스케줄링하는 기지국이다. 마지막으로 EPC는 LTE-R 망에서 코어 장비로써 높은 데이터 전송률과 낮은 지연 시간을 갖는 액세스 망을 지원하는 장비이다. EPC는 S-GW(Serving Gateway), P-GW(PDN Gateway), MME(Mobility Management Entity), HSS(Home Subscriber Server)로 구성되는데, S-GW는 데이터 패킷을 전송하고 eNodeB간 또는 LTE 망과 다른 3GPP망간의 핸드오버 시 기준점(anchor point)을 제공하고, P-GW는 단말과 외부 데이터 망사이의 연결성(connectivity)를 제공하며 LTE 망과 non-3GPP 망간의 핸드오버 시 기준점을 제공한다. 이러한 LTE-R 하부장치를 활용하여 ETCS Level 2 기반 OBU-RBC 간 통신 구성(안)은 다음과 같다. [7-9]

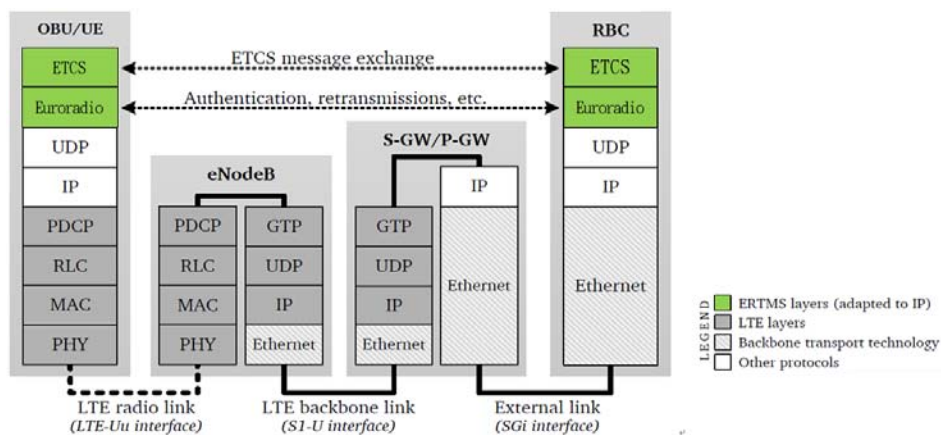


Fig. 5 Proposed OBU-RBC communication based on the LTE network

Fig. 5에서는 OBU-RBC 간 LTE-R 방식의 통신을 위해 새로운 프로토콜 스택(Protocol Stack)을 적용하였다. OBU/UE의 프로토콜 스택 및 RBC의 프로토콜 스택에서 UDP(User Datagram Protocol)을 적용하였는데, UDP 방식은 TCP(Transmission Control Protocol)에 비해 열차의 운용이 빈번한 ETCS Application 노선에서 유용하게 사용된다. LTE-Uu는 UE와 eNodeB 간 인터페이스이며 Packet Data Convergence Protocol(PDCP), Radio Link Control(RLC), Medium Access Control(MAC), Physical Layer(PHY)의 프로토콜을 사용한다. S1-U는 eNodeB와 S-GW/P-GW 간 인터페이스이며 프로토콜 스택은 GTP(GPRS Tunnelling Protocol), UDP, IP로 구성된다. SGI는 S-GW/P-GW와 RBC 간 외부 인터페이스이며 Ethernet 통신을 사용한다. [7-9]

2.4 ETCS 전송 요구사항에 따른 LTE-R 성능 파라미터 분석

ETCS 전송 요구사항은 크게 무선 커버리지(Radio coverage), 사용자 속도(User speed), 전송 지연(Transfer delay), 통신 두절(Communication disruption), 통신 설정(communication establishment) 등의 요소를 고려하여 수립된다. 이러한 5가지 ETCS의 전송 요구사항 중의 하나인 무선 커버리지에 대한 요구사항은 ETCS Subset-093에서 Table 2와 같이 제시한다. [10]

Table 2 Minimum received signal power of ETCS transmission requirement

Parameter	Value
Minimum received signal power	-92dB

Table 2에서와 같이 ETCS 전송 요구사항 중 무선 커버리지와 관련된 최소수신신호파워(Minimum received signal power)로서 -92dB를 요구하고 있다. 이러한 요구사항을 LTE-R 방식에 적용하기 위해서는 eNodeB의 수신파워(received power)에 대한 파라미터를 분석해야 한다. eNodeB의 송신파워(Transmission power)를 P_t , eNodeB 송신기의 안테나 이득을 G_{enb} , 송신기의 급전선 손실을 L_{enb} , UE 수신기의 안테나 이득을 G_{ue} , 침투손실(Penetration loss)에 의한 수신기 파워 손실의 합을 L_{ue} , 간섭 및 페이딩을 위한 마진을 M , 신호경로손실(Signal path loss)을 L 이라고 하면 eNodeB의 수신파워 P_r 은 다음 식 (1)과 같다. [4]

$$P_r[dBm] = P_t + G_{enb} - L_{enb} + G_{ue} - L_{ue} - M - L \quad (1)$$

식 (1)에서 신호경로손실인 L 의 산출은 다양한 모델이 적용되어 산출되지만, 본 논문에서는 COST231 Hata 모델을 적용하면 다음 식 (2)와 같다. [11]

$$\begin{aligned}
L[dBm] = & [44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(h_{enb})] \cdot \log_{10}\left(\frac{d}{1000}\right) \\
& + 45.5 + (35.46 - 1.1 \cdot h_{enb}) \cdot \log_{10}(f_c) \\
& - 13.82 \cdot \log_{10}(h_{ue}) + 0.7 \cdot h_{ue} + C
\end{aligned} \tag{2}$$

식 (2)에서 d 는 eNodeB와 UE 간 거리[m]이고, H_{enb} 는 eNodeB 안테나의 높이[m], H_{ue} 는 UE 안테나의 높이[m], f_c 는 캐리어 주파수[MHz], C 는 도심구간에서는 3dB, 교외 구간에서는 0dB가 적용되는 상수 인자(Constant factor)이다. eNodeB의 수신파워 P_r 가 eNodeB의 최소수신파워 P_{min} 라고 가정하면, 셀 범위(Cell range)는 eNodeB와 UE 간 거리인 d_r 에 의해 평가된다. 따라서 P_{min} 은 식 (3)과 같이 계산되고, 셀 범위 d_r 은 식 (5)의 결과 값(x)을 반영하여 식 (4)와 같이 계산된다. [4]

$$P_{min} [dBm] = P_r - L \tag{3}$$

$$d_r [m] = 10^{\left(3 + \frac{x}{44.9 - 6.55 \cdot \log_{10}(h_{enb})}\right)} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}
x = & P_t + G_{enb} - L_{enb} + G_{ue} - L_{ue} - M \\
& - 45.5 + (35.46 - 1.1 \cdot h_{ue}) \cdot \log_{10}(f_c) \\
& + 13.82 \cdot \log_{10}(h_{ue}) - 0.7 \cdot h_{ue} - C
\end{aligned} \tag{5}$$

2.5 성능 파라미터의 시뮬레이션

2.4절의 식 (2)를 활용하여 경로손실 L 에 대한 시뮬레이션을 수행하였고, 식 (1)을 활용하여 eNodeB의 수신파워 P_r 에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 수행하기 전 식 (1) 및 식 (2)에서 사용된 파라미터들은 다음 Table 3과 같이 가정하였다. [4]

Table 3 Parameters and assumptions used in the simulations

Parameter	Value
f_c	2110 MHz
G_{enb}	15 dBi
L_{enb}	-9 dB
H_{enb}	45 m
G_{ue}	0 dBi
L_{ue}	-2 dB
H_{ue}	4 m
M	8 dB
C	0 dB

Table 3의 파라미터 가정 값을 적용하여 eNodeB와 UE 간 거리 d 에 따른 경로손실 L 의 시뮬레이션 결과는 Fig. 6과 같고, 셀 범위 d_r 에 따른 eNodeB의 수신파워 P_r 의 시뮬레이션 결과는 Fig. 7과 같다.

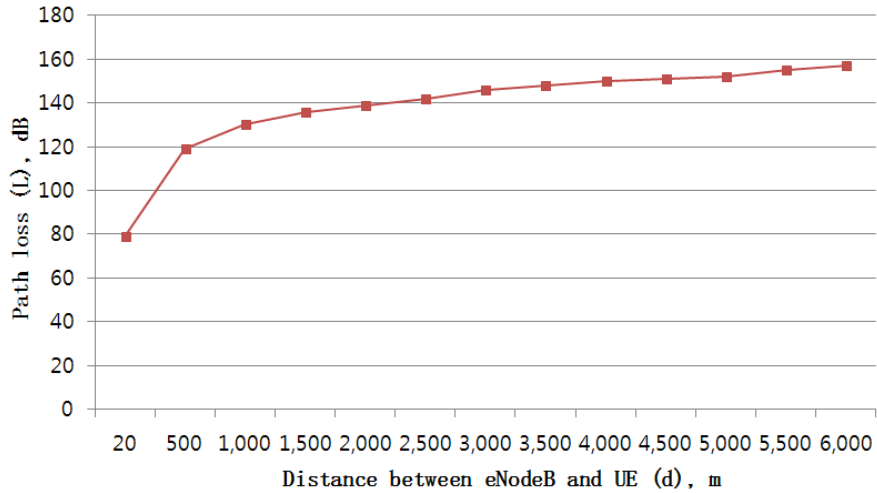


Fig. 6 Signal path loss in relation to the distance from the eNodeB

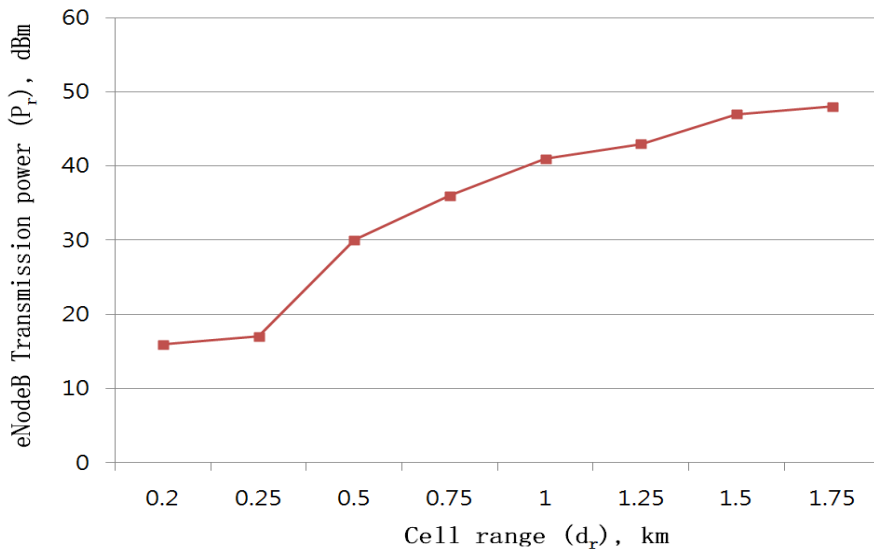


Fig. 7 eNodeB transmission power in relation to the Cell range

Fig. 6에서의 경로손실 L 의 시뮬레이션 결과 값을 활용하여 Fig. 7의 eNodeB의 수신파워 P_r 의 시뮬레이션에 적용하였다. Fig. 7에서와 같이 셀 범위 d_r 에 따른 eNodeB의 수신파워 P_r 의 결과 값은 d_r 이 1.75km에서 최대 48dBm까지 도출되었다. 이러한 결과 값은 1대의 eNodeB의 결과 값이며, 이러한 결과 값을 활용하여 특정 노선에서의 N대의 eNodeB의 수신파워 P_r 값을 ETCS 전송 요구사항인 -92dB 이상으로 설정해야 한다.

3. 결 론

본 논문은 ETCS Level 2 기반 열차제어시스템에서 LTE-R 방식을 적용할 수 있는 방안을 제시하였다. 또한 ETCS Subset 사양에서 제시하는 성능 요구사항을 LTE-R 방식에서 구현하기 위해서, ETCS 성능 요구사항 중의 하나인 최소수신과위에 대한 요구사항을 LTE-R의 하부장치인 eNodeB에서의 최소수신과위 P_r 로 입증할 수 있는 파라미터의 분석 방법을 제시하였다. 향후 ETCS 성능 요구사항 중의 하나인 최소수신과위 이외에도 사용자 속도, 전송 지연, 통신 두절, 통신 설정 등에 대한 파라미터도 추가로 분석되어야 하며 ETCS Level 2 Application과 LTE-R 설비가 구축된 특정 노선에서 이러한 파라미터에서 제시하는 인자들의 실제 값을 적용하여 시뮬레이션을 수행해야 할 것이다.

후 기

본 논문은 국토교통부에서 지원한 철도기술연구사업인 「일반 및 고속철도용 무선통신 및 제어시스템 실용화」 과제 수행의 일환으로 작성되었습니다.

참고문헌

- [1] UNISIG (2015) ERTMS/ETCS Subset-037 EuroRadio FIS version 3.2.0, pp. 5-89.
- [2] UNISIG (2015) ERTMS/ETCS Subset-039 FIS for the RBC/RBC handover 3.1.0, pp. 23-57.
- [3] UNISIG (2014) ERTMS/ETCS Subset-026 System Requirements Specification, Chapter 2 Basic System Description. 3.4.0, pp. 5-24
- [4] Sniady, Aleksander; Soler, José; Dittmann, Lars. (2015) Communication Technologies Support to Railway Infrastructure and Operations, *Technical University of Denmark*, pp. 10-150.
- [5] EuroRadio Interface Group (2003) Radio Transmission FFFIS for EuroRadio, pp. 3-45
- [6] Christian Pinedo, Marina Aguado, Igor Lopez (2015) Modelling and Simulation of ERTMS for Current and Future Mobile Technologies, *International Journal of Vehicular Technology Volume 2015*, pp. 1-4
- [7] D. Taylor, N. Lofmark, and M. McKavanagh (2014) “Survey on operational communications (study for the evolution of the railway communications system),” Final report for the European Railway Agency 37760-496v04, Analysys Mason, pp. 47-52.
- [8] P. Stanley, ed.(2011) ETCS for Engineers. Germany: Eurailpress, first ed., ISBN 978-3-7771-0416-4. pp. 2-164.
- [9] I. Lopez, M. Aguado, and E. Jacob (2014) “End-to-End Multipath Technology: Enhancing Availability and Reliability in Next-Generation Packet-Switched Train Signaling Systems,” *IEEE Vehicular Technology Magazine*, vol. 9(1), pp. 28–35
- [10] UNISIG (2003) ERTMS/ETCS Subset-093 GSM-R Interfaces 2.2.6, pp. 1-20.
- [11] 3GPP(2008) “Spatial channel model for Multiple Input Multiple Output (MIMO) simulations,” TS 25.996, v 8.0.0, pp. 1-29.