

차세대 철도 통합무선망 기술 및 표준화 동향

Technologies and Standards of Future Railway Mobile Telecommunication

윤병식* · 김준식 · 이숙진 · 김경희 · 김용규 · 박덕규

Byungsik Yoon · Junsik Kim · Sukjin Lee · Kyung-Hee Kim · Yong-Kyu Kim · Duk-kyu Park

Abstract Mobile radio technologies have evolved in the railway industry offering seamless connectivity and various functionalities to improve railway service. Recently, advanced mobile communication technologies have enabled a new level of railway customer services with more efficient railway operation. Since the LTE mobile communication technology offers many benefits and better performance for new railway services, it is considered to be a strong candidate for the future railway mobile telecommunication. However, communication networks in the railway sector are critical for secure operation and have stringent requirements for reliability and safety. In this paper, we explain the requirements for the future railway mobile telecommunication. The LTE, which would be the future railway mobile technology, is analyzed against these requirements. We also introduce the current state of standardization for the future railway mobile telecommunication and its implementation plan.

Keywords : LTE-R, Railway communication, Railway signalling, GSM-R

초 록 무선 통신 기술 발전을 통하여 철도환경에서 안정적인 무선 접속과 다양한 통신 기능 제공이 가능함에 따라 철도서비스 고도화의 기반이 마련되었다. 특히, 최근의 무선 통신 기술은 향상된 철도 승객서비스뿐만 아니라 효율적이고 안전한 철도 운영을 가능하게 한다. LTE 기반의 무선통신 기술은 다양한 경제적 혜택과 높은 통신 성능을 철도 산업에 제공 가능함에 따라 세계적으로 차세대 철도 통신 시스템의 후보 기술로 각광받고 있다. 그러나 철도 통신은 열차의 안전한 운행을 위하여 매우 엄격한 철도 통신만의 요구 사항도 존재한다. 본 논문에서는 미래의 철도 통신이 반드시 갖추어야 할 요구사항과 기능을 설명한다. 또한 LTE 무선 통신 기술이 철도 분야의 통신 요구사항을 만족하는지에 대해서도 서술한다. 마지막으로 최근 진행되고 있는 차세대 철도 통합무선망의 국내외 표준화 동향과 구축일정에 대하여 설명한다.

주요어 : LTE-R, 철도 통신, 철도 통합무선망, 철도 신호, GSM-R

1. 서 론

최근 들어, 철도 산업에서 무선 통신이 차지하는 비중은 열차 신호 인프라와 융합되어 그 중요성이 더욱 크게 부각되고 있으며, 특히 철도 무선 통신의 광대역화 및 철도 신호와의 통합화는 철도운영의 안전성 강화와 철도 서비스의 고도화를 위하여 반드시 추진해야 할 당면한 과제로 인식되고 있다. 따라서 세계 각국의 정부와 기업들은 차세대 철도 통합무선망 선행 기술 개발과 표준화에 많은 노력을 기울이고 있으며, 특히 선진 철도 인프라를 구축한 유럽을 중심으로 Global System for Mobile-Railway(GSM-R)를 대체할 차세대 철도 통합무선망 연구가 활발히 진행되고 있다 [1].

차세대 철도 통합무선망을 국내 철도에 구축하였을 경우, 향후 얻을 수 있는 다양한 기대효과는 다음과 같다. 첫째, 무선 통신기반 이동폐색을 통하여 더욱 조밀한 열차운행이

가능함에 따라 향후 증가하는 여객 수요에 추가 노선 구축 없이 기존 노선으로 탄력적 대응이 가능하다. 둘째, 주행중인 열차 상태나 승객의 실시간 감시 및 진단을 통하여 사고 예방 및 장애 사전 차단을 수행함으로써 철도 운행의 안전성을 강화 할 수 있다. 셋째, 실시간 열차 운행 및 환승 정보 제공, 실시간 운영 및 유지 보수 제공, 열차 화물 추적 관리 등을 통한 열차 운행의 효율성 및 서비스 향상이 가능하다. 넷째, 관련 장비의 국내 자체 기술 개발을 통하여 외국산 장비에 의존하고 있는 국내 철도 산업이 해외 수출 경쟁력을 갖춘 고부가가치의 성장 동력으로 발전할 수 있도록 육성할 수 있다. 마지막으로 도로교통에 비하여 에너지 효율성이 14배 이상 높은 철도는 CO2 배출량도 8% 수준에 머물러 향후 2020년까지 30% 온실가스 감축하여야 하는 우리나라의 국가 비전에 적합할 뿐 아니라 미래의 녹색 성장과 환경보호에 선도적 역할을 수행 할 수 있다[1].

이러한 다양한 장점에도 불구하고 차세대 철도 통신 시스템 선정과 구축에는 많은 어려움이 존재한다. 차세대 철도 통신은 고속 열차의 빠른 이동성과 열차 운행의 안정성을 위하여 높은 네트워크 가용성, 신뢰성을 지원하여야 하며 다

*Corresponding author.

Tel.: +82-42-860-4973, E-mail : bsyoon@etri.re.kr

©The Korean Society for Railway 2013

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.6.519>

양한 철도 서비스 제공을 위하여 고용량의 데이터를 효율적으로 전송 가능하여야 한다. 또한 기존의 국내 철도 인프라뿐만 아니라 철도 산업의 글로벌화를 위하여 국외 철도 신호 및 통신 장비와 상호 호환이 가능하여야 한다. 무엇보다도 가장 큰 난관은 이러한 차세대 철도 통신이 사용 가능한 전용 주파수 획득이다. 주파수 특성이 뛰어난 주파수 대역(700MHz~2.6GHz)은 육상 항공 해상 통신용으로 많은 주파수 대역을 이미 사용하고 있어 차세대 철도 통합무선망에서 필요한 10MHz 이상의 주파수 대역폭 확보가 매우 힘든 실정이다. 철도전용 GSM-R 주파수를 이미 확보하고 있는 유럽의 경우도 차세대 철도 통합무선망을 위한 추가적인 주파수 확보를 추진하고 있으며, 미국이나 일본의 철도 운영사들도 오래 전부터 철도전용 주파수 확보에 많은 노력을 기울여 왔다. 한국의 국토교통부는 국내 철도전용 통합무선망 구축을 위하여 2012년부터 철도 통합무선망에 대한 기본 계획을 수립하고 구축에 대한 예비 타당성 조사, 국제 표준화 활동 등을 추진하고 있다. 이와 아울러 국토교통부는 2012년 방송통신위원회에 철도 전용으로 사용할 주파수 소요제기를 수행하였으며, 현재 철도 전용 주파수 확보를 위한 다양한 활동을 전개 중에 있다[2,3].

철도 통합무선망은 열차 운행에 관련된 여러 가지 특수 통신 기능을 수반하여야 하는데, 열차 관제를 위한 철도 전용 음성 통화 기능, 철도 전용 음성 호처리 기능, 열차 제어를 위한 망관리 기술 등이 그 예이다. 본론 2.1절에서는 차세대 철도 통신망이 갖추어야 할 기술적 특징에 대해서 설명한다. 또한 이러한 기능과 성능을 분석하여 현재 차세대 철도 통합무선망으로 거론되고 있는 Long-Term Evolution(LTE) 통신방식에서의 지원 가능성을 검토한다. 본론 2.2절에서는 차세대 철도 통합무선망 연구를 선도적으로 진행하고 있는 유럽을 중심으로 관련 통신 방식의 표준화 현황 및 구축 일정을 설명한다. 특히 세계 이동통신 표준화 단체인 3rd Generation Partnership Project(3GPP)와 세계 철도 표준화 단체인 International Union of Railway(UIC)에서 진행중인 연구 항목, 표준화 현황, 재난통신망과의 관계에 대해서 설명한다. 본론 2.3에서는 국내 철도 전용 주파수 선정에 있어서 고려사항을 저자의 의견으로 제시하고 마지막 결론에서는 2012년 방통위 철도 주파수 연구반에서 논의된 차세대 철도 통합 무선망 검토 결과와 국내 추진방안에 대하여 설명한다.

2. 본 론

2.1 철도 통합무선망 요구사항

철도 통합무선망은 열차의 사고예방, 응급 상황에서의 빠른 대처, 정시운행과 같은 특수 임무 수행(Mission Critical Operation) 위하여 독자적인 요구사항이 존재한다. 2.1.1 절에서는 차세대 철도 무선통신 방식 선정을 위하여 후보 무선통신 방식이 기본적으로 갖추어야 할 일반적 요구사항에 대하여 설명하고, 2.1.2 절에서는 선정된 무선 통신방식이 안전한 열차 운행을 위하여 추가로 반드시 갖추어야 하는 기

능적 요구사항에 대하여 언급한다

2.1.1 철도 통합무선망 일반적 요구사항

차세대 철도 통합무선망에서는 안전한 열차 운행뿐만 아니라 향후 제공예정인 고도화된 철도 서비스라는 목표를 동시에 달성하여야 한다. 따라서 다음과 같은 일반적인 통신 요구사항을 충족하여야 한다[4].

(1) 높은 이동 속도: 일반적으로 고속 열차의 최고 속도는 300km/h 이상이며 향후 미래에서는 500km/h 이상의 운행 속도에서도 안정된 무선 접속이 보장되어야 한다. 특히 마주 오는 열차간 직접통신을(Direct Mode Operation) 고려한다면 1000km/h 이상의 열차 이동성도(Mobility) 고려되어야 한다.

(2) 광대역 무선 전송기술: 미래 철도 통신에서는 다양한 승객 서비스뿐만 아니라, 무인 운전시 객실의 상황 등을 실시간 모니터링할 수 있는 영상 전송 기능이 포함될 예정이다. 따라서 대용량의 데이터를 실시간으로 전송할 수 있는 광대역 무선 전송기술이 요구된다.

(3) 짧은 통신 지연 시간: 유럽의 무선 열차제어 시스템인 European Train Control System(ETCS) 레벨 2의 경우 열차 제어를 위한 양단간 최대 통신 지연 시간을 500msec으로 규정하였다[5]. 향후 고속화될 열차 속도를 고려하면, 더욱 짧은 통신 지연 시간이 요구된다. 또한 긴급상황에서 음성 통화 연결시 1초 이내의 매우 짧은 음성 호설정 및 연결이 이루어져야 한다.

(4) 높은 신뢰성 및 가용성(Network Reliability and Availability): 철도 운행의 안전을 위하여 전송되는 데이터의 정보가 충분히 안정적으로 전달되어야 하는 통신 신뢰성과, 다양한 장애가 발생하더라도 계속적 사용이 가능한 통신 가용성이 철도 통합무선망에서 제공되어야 한다.

(5) Quality of Service(QoS) 지원 기능: 최근 개발된 무선 통신망은 서비스 혹은 트래픽의 종류에 따라 다양한 QoS를 지원한다. 철도 통합무선망은 열차 안전운행에 직결되는 열차 제어 정보와 일반적인 정보들이 혼재되어 있다. 따라서 차세대 철도 통합무선망에서 정교한 QoS제어가 지원되어야 더욱 안전하고 효율적인 무선자원 및 네트워크 관리가 가능하다.

(6) 독자 주파수 및 네트워크: 철도 무선통신망의 높은 신뢰성, 가용성, 안전성을 위하여 일반 상용통신망과 분리하여 단독으로 유무선 네트워크를 구성하여야 한다. 이는 상용통신망의 장애 혹은 외부로부터의 공격으로부터 열차 운행의 안전을 보호할 뿐만 아니라 철도만을 위한 높은 안전성의 망 운용 및 유지보수를 제공할 수 있다.

(7) 공개 표준(Open standard): 미래의 철도 통신이 공개 표준 무선 통신 규격 기반으로 구축하였을 경우, 다른 산업 분야에서 이미 검증된 장비나 시스템을 이용할 수 있어 높은 안정성을 기대할 수 있을 뿐 아니라, 대량 생산으로 인하여 네트워크 구축 비용을 줄일 수 있다. 또한 기술 수명이 길어 구축, 유지보수 등의 오랜기간 활용이 용이하며, 기존의 철도 통신망 혹은 타 분야의 통신 네트워크와 상호 호환이 가능하다.

2.1.2 철도 통합무선망 기능적 요구사항

철도 통합무선망은 일상적인 음성 영상 통화 혹은 단순한 무선 데이터를 전송하는 상용 통신망과는 달리 철도 통신만의 특별한 기능을 요구한다[6-8]. 이러한 기능은 열차 운행의 안전성, 정시성, 효율성, 고장 및 재난 시 긴급 대응과 긴밀한 관계가 있다. 본 절에서는 철도 통신 네트워크 구조, 철도 전용 음성 통화 기능, 철도 전용 음성 호처리 기능 등 철도 통신구축을 위하여 기본 통신 시스템에서 추가되어야 하는 기능들을 설명한다.

(1) 열차 제어를 위한 통신 기능: 운행중인 열차와 관제센터간 열차 위치 및 상태 정보, 운행 권한(Moving Authority) 정보를 교환하기 위하여 무선통신을 이용할 경우, 끊김 없는 데이터 송수신을 위하여 높은 무선 접속 가용성을 요구한다. 이러한 환경을 지원하기 위하여 GSM-R에서는 95%의 셀커버리지에 대하여 -90dBm 이상의 단말 수신감도를 필요로 한다. 또한 GSM-R에서 ETCS 열차 제어정보를 전송하기 위하여 무선통신에서 제공하여야 할 최소한의 QoS 요구사항을 Table 1에 정의하였다. 즉 열차 노선에 전송에러가 일어날 확률은 시간당 1% 미만이어야 하고 99%의 ETCS 데이터들이 0.5초 이하의 지연시간을 가져야한다[8].

(2) 네트워크 및 커버리지 이중화 기능: 철도 통합무선망은 열차 위치, 열차 운행 제어 그리고 열차 운행 상태 모니터링과 같은 열차 안전에 중요한 정보를 송수신함에 따라서 무선통신 네트워크의 가용성이 일반 상용 통신보다 월등히 높아야 한다. 따라서 Fig. 1과 같이 유선 네트워크의 장비뿐

만 아니라 무선 커버리지도 이중화를 하여, 열차 단말은 항상 2개의 기지국으로부터 동시에 정보를 수신하는 자동 예비 시스템(Hot-Standby) 기능을 가지고 있어야 하며, 만약 특정 망 혹은 특정 기지국에서 장애가 발생하더라도 열차운행에 지장을 주지 않도록 설계되어야 한다[9,10].

(3) 영상 감시 기능: 객실 영상 실시간 감시 기능은 차세대 철도 통합무선망에서 반드시 필요한 열차 안전 운행 기능 중 하나이다. 또한 터널, 건널목 등 열차 선로 주요 시설에 대한 영상 전송 기능을 통하여 기관사는 사전에 주요 시설에 대한 영상 모니터링을 수행할 수 있어 더욱 안전한 열차 운전이 가능하다. 현재 유럽에서 운용중인 철도 전용 통합무선망인 GSM-R에서는 열차의 객실 영상을 감시하거나, 지상 주요 시설에 대한 영상을 기관사가 모니터링을 할 수 있는 기능은 낮은 무선 데이터 전송 능력으로 인하여 제공되지 못하고 있다.

(4) 철도전용 음성통화 기능: 안전하고 효율적인 열차 운행을 위해서는 철도 분야의 특성을 반영한 음성 통화 기능이 지원되어야 한다. 철도 전용 음성통화 기능으로는 열차 기관사와 관제소간의 관제 음성 통화, 열차 긴급상황을 위한 비상 통화, 특정 지역 내 혹은 특정 사용자간의 그룹 통화, 특정 지역 내 철도 종사자들을 위한 방송 등이 존재한다. 차세대 철도 통합무선망은 IP 기반으로 구축될 예정이므로 디지털 Voice over IP (VoIP) 기술이 도입될 예정이다. 이때 음성 코덱 양단간의 지연시간이 전체 음성 통화의 서비스 품질을 좌우하게 된다. 일반적으로 음성 코덱간 데이터 지연이 200msec 이하가 되어야 적절한 통화 품질을 유지할 수 있다.

(5) 철도전용 음성 호처리 기능: 열차운행 중 사고가 발생하거나 장애가 발생했을 경우 해당 기관사 혹은 관제사는 이에 즉시 대응할 수 있어야 한다. 따라서 매우 짧은 음성 호설정 시간과 철도 환경에 최적화된 호처리 기능이 필요하다. 예를 들어, GSM-R에서는 열차 응급 통화에 대한 호설정 시간을 1초 이하로 정하고 있으며, 열차 승무원간 긴급 그룹 통화 호설정 시간도 2초 이하로 정하고 있다. Table 2는 GSM-R에서 정의한 철도 음성 통화에 따른 호설정 요구 시간이다[8].

Table 1 QoS parameters for GSM-R (ETCS)

QoS parameters	Demand value
Call setup time	10s (100%)
Connection establish failure probability	< 1% (100%)
Data transmission delay	0.5s (99%)
Error rate	< 1%/h (100%)
Duration of transmission failures	< 1s (99%)

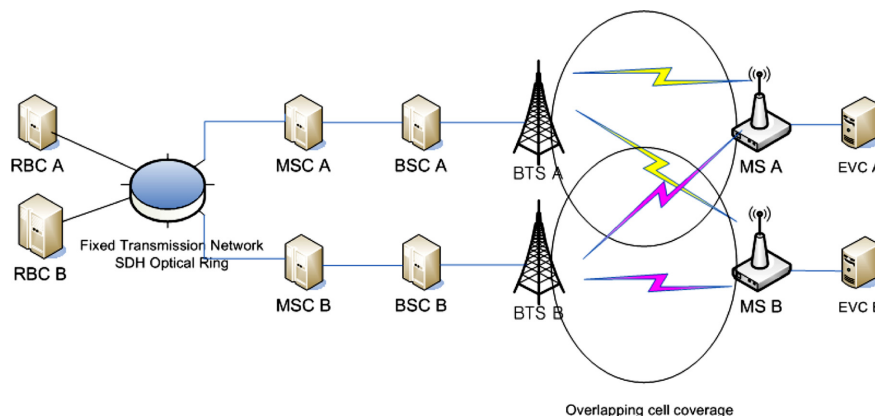


Fig. 1 Fully duplicated network with overlaid radio cell coverage for the GSM-R system

Table 2 Call setup time for GSM-R

Item	Communication Type	Demand value
Class I	Railway emergency call	1s
Class Ia	M to M urgent group call	2s
Class II	General operation call	5s
Class III	Low priority call	10s

열차 운행 중 긴급한 상황에서 일반통화를 강제로 종료하고 우선권이 높은 통화를 우선적으로 통화 연결 권한을 부여하는 우선 선취기능(Priority and Preemption)도 중요한 철도 전용 음성 호처리 기능 중 하나이다. 또한 오직 철도 분야에서만 사용하는 고유의 음성 호처리 방식도 존재한다. GSM-R에서 사용하고 있는 철도 음성 통화 호처리 주요 항목에는 Functional Addressing(FA), Location Dependent Addressing(LDA), Railway Emergency Call(REC) 등이 존재한다[11,12]. FA는 단말의 고유번호로 다이얼링하여 상대방을 호출하는 일반 전화 호출방식이 아닌, 관제사 혹은 기관사들이 특정 열차 기관사와 통화시 그 열차의 열차 운행번호로 상대방을 호출하는 기능이다. LDA는 현재 열차가 위치한 지역을 담당하는 관제사에게 특별한 다이얼링없이 원 버튼으로 바로 통화연결이 가능하게 하는 호처리 기능을 의미한다. REC는 비상 상황이 발생하였을 경우, 운전석에 있는 REC 버튼을 이용하여 그 지역 관제사와 그 지역을 운행중인 기관사들 사이에 그룹통화가 즉시 이루어질 수 있는 호처리 기능이다. Fig. 2에서는 FA, LDA, REC 음성 호처리 기능을 도식적으로 표현하였다.

2.2 철도 통합무선망 표준화 동향

철도 통합무선망 구축에서 가장 중요한 요소 중 하나는 장비 업체간 혹은 철도 운영기관간 철도 장비의 상호 호환성을 확보하는 것이다. 이를 위하여 상호 호환성 참조 모델 규격 설계와 세부 기술에 대한 표준 정립이 반드시 필요하다. 국내 철도 통신 및 신호 시스템은 외산 장비에 의존성이 크며 노선별, 차량별 특성에 따라 장비간 호환성이 낮은 편이

다. 또한 도입시기 및 구축 노선에 따라 상이한 장비로 인하여 각각의 운영 및 유지 보수 효율도 매우 낮다고 할 수 있다. 현재 글로벌 철도 시장은 몇몇의 국외 메이저 철도 장비 업체 의하여 독과점적으로 운용되고 있으며, 이러한 업체들은 높은 시장 지배력과 빠른 장비 확산력을 무기로 세계 철도 시장을 점유하고 있다. 이러한 환경을 극복하기 위해서는 차세대 철도 통신 분야의 국제 표준 기술 선도가 필요하다. 본 절에서는 현재 진행되고 있는 차세대 철도 통신망의 기술 및 표준화 동향에 대해서 서술한다.

2.2.1 세계 이동통신 표준화(3GPP) 동향

3GPP는 일본, 중국, 유럽, 미국 한국 등 각 나라의 통신 표준화 단체로 구성되어 세계 이동통신 규격을 제정하는 3세대 파트너쉽 프로젝트를 의미한다. 초기의 3GPP 업무 영역은 GSM 코어 네트워크와 GSM 무선 접속 기술을 기초로 하여 Wideband Code Division Multiple Access(WCDMA)와 같은 3세대 이동 통신 시스템의 기술 규격과 기술 보고서를 제정하는 것이었다. 현재는 차세대 이동통신 규격인 LTE, LTE-Advanced 시스템의 기술 규격과 기술 보고서를 작성하고 발전시키는 표준화 작업을 진행 중에 있다. 현재 3GPP 표준화 기구의 조직도는 Fig. 3과 같다.

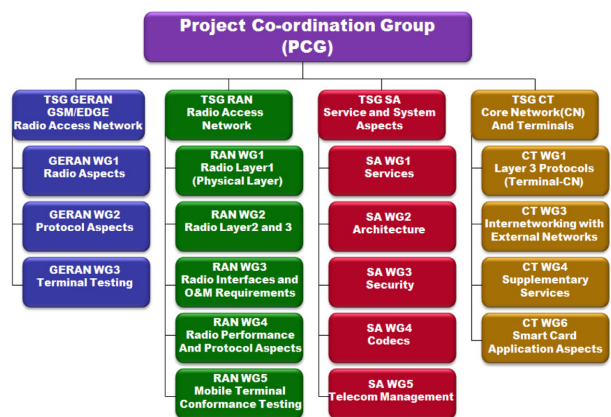


Fig. 3 3GPP Organization chart

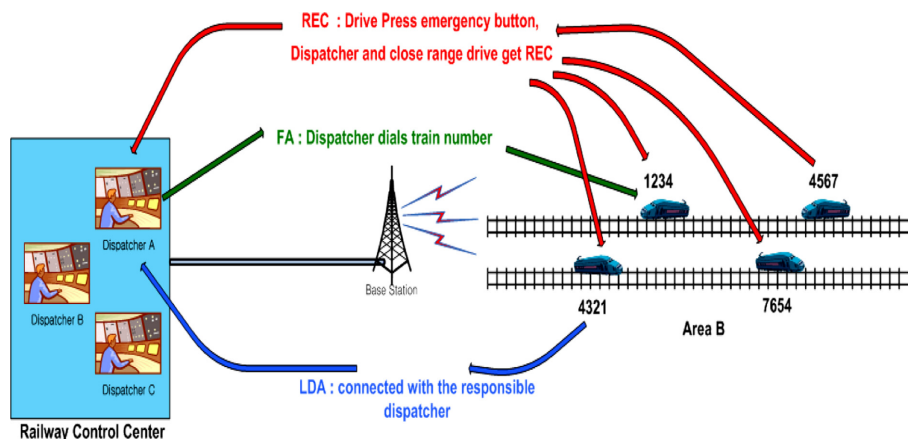


Fig. 2 Railway specific call processing features

일반적으로 3GPP의 표준화 규격 제정은 단계별로 이루어지며, Stage 1 단계로 Service and System Aspects(SA) Working Group 1(WG1)에서 요구 사항을 정의하고, 이에 대한 타당성 검토가 이루어지면, Stage 2 단계로써 SA WG2에서 시스템의 전체적인 구조를 설계한다. 이렇게 정의된 시스템 구조에 대한 세부적인 규격 제정은 각각의 TSG WG 역할에 따라 분배되어 논의된다.

최근 유럽을 중심으로 LTE 통신방식을 기반으로 하는 차세대 철도 통합무선망 표준화 및 시스템 연구가 진행 중에 있다. 특히 철도 통신망의 요구사항과 유사하고, 정부가 지원하는 특수 목적의 자가통신망이라는 특징을 가지고 있는 재난통신망(Public Safety Network)과 연계하여 LTE 기반의 차세대 철도 통신 표준화가 진행 중에 있다. 현재 3GPP에서 표준화가 진행 중인 항목들 중 철도 통신과 관련된 기능은 다음과 같다.

(1) 그룹통화 기능: 철도통신망 혹은 재난통신망과 같은 특수 임무 통신 시스템에서 다자간 동시 통화 기능은 매우 중요하다. 또한 높은 호 접속율과 매우 짧은 호설정 시간이 필요하다. 3GPP에서는 이러한 요구사항을 수용하는 LTE 기반 그룹콜(GCSE_LTE: Group Communication System Enabler for LTE) 규격을 현재 제정 중에 있다. 이 규격은 2014년까지 완성될 3GPP Rel-12 규격에 포함될 예정이다[13].

(2) 단말간 직접통신 기능: 단말과 단말간 직접 통화 기능은 철도통신망과 재난통신망에서 필요한 중요한 특수 임무 통신 규격 중 하나이다. 3GPP에서는 근접통신(ProSe: Proximity-based Services) 개념으로 단말간 직접 통신 규격을 제정하고 있다. 그러나 단말간 직접 통신을 위한 무선 접속 규격까지 변경할 경우, 2014년까지 마무리하여야 하는 3GPP Rel-12 기간 내에 규격이 마무리 되기 어려울 수도 있다[14].

(3) PTT(Push to Talk) 기능: 현재의 PTT over Cellular 규격으로는 LTE 통신망에서 특수 임무 통신을 지원하기 미흡한 점이 많다. 따라서 철도 통신망 혹은 재난통신망에 활용 가능하도록 PTT 규격 변경이 이루어질 예정이다 [15].

(4) 고속 열차를 위한 모바일 릴레이 기능: 3GPP에서는 300km/h 이상의 고속으로 이동하는 대규모 열차 승객의 원활한 핸드오버와 각종 승객 서비스를 위한 Mobile Relay for Train 규격 연구가 진행 중에 있다. 현재는 활용사례 연구, 요구사항 연구 등 기초적인 연구가 진행 중이다[16].

철도통신망과 재난통신망은 특수 임무 통신이라는 관점에서 현재 3GPP에서 진행 중인 그룹통화, 단말 직접통화 규격은 양쪽 모두 공용으로 사용이 가능하리라 판단된다. 그러나 열차 제어를 위한 신뢰성 있는 데이터 전송 및 다양한 철도 서비스를 위한 QoS 관리 등은 UIC 자체 규격으로 진행할 가능성이 높다. 그러나 UIC는 차세대 철도통신망 표준화와 관련하여 3GPP 규격을 벗어나는 새로운 철도 통신망만의 규격제정에는 대체로 부정적이다. 이는 GSM-R과 같이 새로운 철도 통신규격을 제정하였을 경우, 장비 제조 비용 및 유지 보수 비용 상승 등으로 인하여 철도 사업자들이 통신망 구축에 부정적이었던 전례를 피하기 위함이다.

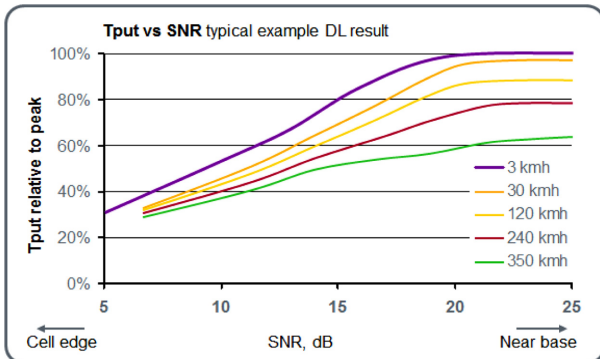
2.2.2 세계철도연맹(UIC) 표준화 현황

2008년 이스탄불에서 개최된 UIC 총회에서는 GSM 기술이 LTE 통신 방식의 등장으로 인하여 기술 수명(Life-cycle) 위협받고 있고, 향후 GSM-R 장비의 지속적 보급과 유지보수에 타격이 예상된다고 발표했다. 이에 대한 대응 방안으로 2009년 UIC 기술 보고서를 통하여 LTE 통신 방식이 철도 통합무선망에 적용 가능한지를 검토한 결과를 발표하였다. 주요 내용은 LTE 방식이 미래의 철도 통신방식에 비교적 적합하며 철도에서 요구되는 다양한 요구 조건을 만족하지만 철도 통신만을 위한 추가적인 연구가 필요함을 언급하였다. 특히 철도 전용 음성 통화 기능, 열차 제어를 위한 QoS 제어, 350km/h 이상의 고속 이동에서의 무선통신 성능 등에 대한 검토가 필요하다고 언급하였다. 이에 따라 UIC에서는 차세대 철도 통신 시스템(Future Railways Telecommunication System) 연구를 2010년부터 진행하였으며, “미래 철도 무선 통신 시스템에 대한 사용자 요구사항 버전 1.0”을 발간하였다[17-19].

2013년 UIC는 차세대 철도 통신 솔루션 개발을 목표로 하는 Future Railway Mobile Telecommunication System (FRMTS) 프로젝트를 정식으로 출범시켰다[20]. 이 프로젝트에서 4개의 소분과를 조직하여 새로운 무선 통신 시스템 요구사항 정의, 주파수 재분배, 철도 전용 추가 기능에 대한 규격, 새로운 철도 통신 네트워크 구조, GSM-R로부터의 효율적인 전환 배치 연구, 패킷 기반 철도 신호 전송 등의 연구를 추진할 예정이다. 특히 UIC에서는 2013년부터 3GPP 표준화 단체와 더욱 협력 강화하여 차세대 철도 통합무선망 요구사항을 LTE 기반의 통신 규격에 반영할 수 있도록 노력할 예정이다. 또한 UIC에서는 2012년 새로이 결성된 Critical Communication Broadband Group(CCBG) 표준화 단체와도 협력을 강화할 예정이다. CCBG는 철도, 재난, 전력, 교통, 군통신과 같은 특수 목적 자가 통신망의 차세대 통신 규격 제정을 목표로 결성되었다. LTE 기반의 차세대 철도 통합무선망을 도입하는데 있어서 가장 핵심적으로 논의 중인 사항은 다음과 같다.

(1) LTE 네트워크 가용성 및 신뢰성: 차세대 철도 통신망에서는 승객의 안전과 수송의 정시성을 기반으로 하는 열차 제어기능을 포함함에 따라 무선 네트워크의 가용성과 신뢰성이 매우 중요하다. 여기서 네트워크의 가용성은 다양한 장애가 발생하더라도 네트워크가 계속적으로 사용 가능하여야 한다는 의미이고 신뢰성은 전송되는 데이터의 정보가 충분히 안전하고 신뢰성있게 전달이 가능하여야 한다는 의미이다. 알카텔 루슨트 벨 연구소에서는 LTE의 네트워크 가용성과 신뢰성에 대한 분석을 하였으며, 그 결과 GSM-R 보다 높은 네트워크 가용성과 신뢰성을 보장한다고 발표하였다[21].

(2) 철도전용 음성 통화 기능: 현재 LTE 규격에는 우선 선취, 그룹콜, 철도용 방송통화, 빠른 호설정 기능과 같은 철도 특성을 반영한 음성통화 및 호처리 기능을 지원하지 않는다. 따라서 LTE규격을 철도 통신망으로 사용하려면 철도 전용 음성 통화 기능이 반드시 지원되어야 한다. 이러한 기



Example results shown similar behavior observed for SM MIMO. Source: LSTI, February 2009 SIMO and SFBC and UL SIMO

Fig. 4 LTE throughput performance versus train speed [24]

능을 코어 네트워크 내에 위치한 IMS(IP Multimedia Sub-system)에서 지원할 가능성이 높다 [21]. 따라서 LTE의 무선 접속 규격과 코어 네트워크의 대규모 변화 없이 IMS에서 각종 음성 통화 서비스가 지원될 것으로 예측된다.

(3) 고속 이동속도에서 무선 통신 기능: LTE에서는 최대 350km/h의 이동성을 지원할 수 있도록 무선 접속 규격이 설계되어있다. GSM-R의 망 설계 규격인 최소 20dB의 SNR 환경으로 셀커버리지를 구축된다는 가정을 할 경우, Fig. 4와 같이 350km/h의 이동속도 시 정지상태와 비교하여 약 40%의 데이터 손실이 발생한다. 향후 열차의 최고 속도는 우리나라의 경우만 보더라도 430km/h 속도의 KTX-해무 상용화를 앞두고 있고 500km/h 속도가 넘는 자기 부상 열차의 실용화 가능성도 높음에 따라서 차세대 철도 통신에서는 500km/h 이상의 이동속도에서도 안정적인 무선 접속과 성능이 검증되어야 한다. LTE는 낮은 주파수 대역에서 최대 500km/h의 무선 접속을 보장한다고 하나 다양한 이동속도 및 주파수 변화에 따른 무선링크 성능을 검증할 필요가 있다[22-23].

(4) LTE/LTE-R 기능비교: LTE-R은 현재까지 구체적인 표준 규격이 완성되어 있지 않고 UIC 표준화 단체에서 사용자 요구 사항 정립과 같은 초창기 표준화 과정을 전개 중이다. 따라서 구체적인 규격 비교는 불가능하지만 현재까지 기술 및 표준화 동향과 과거 GSM-R 표준 규격 분석을 기반으로 향후 LTE-R의 규격을 예상하면 Table 3과 같이 발전할 것으로 예상된다.

LTE-R 표준화 및 유럽의 LTE-R 구축 일정은 Fig. 5와 같

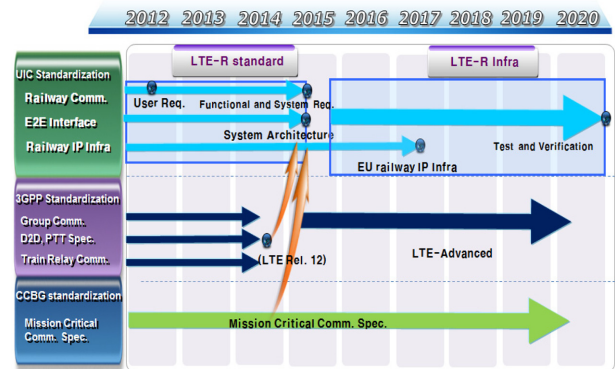


Fig. 5 LTE-R project plan

다. UIC는 2013년부터 3GPP와 협력을 더욱 강화하여 2014년까지 마무리될 LTE Rel-12 규격 제정에 적극 참여할 예정이다. LTE Rel-12에서는 철도 통신에서 활용 가능한 LTE 기반 그룹 통신 규격, 직접 통신 규격 등이 포함될 예정이다. 향후, 2014년 마무리될 3GPP LTE Rel. 12 규격과 UIC에서는 현재 진행 중인 미래 철도 무선 통신 시스템 연구를 기반으로 2015년까지 차세대 철도 통신망 구조 결정, 차세대 철도 통신 규격 완료, 범 유럽용 철도 주파수 선정을 완료할 예정이다. 또한 UIC는 2017년까지 현재 유럽에 구축되어 있는 TDM(Time Division Multiplexing) 기반의 철도 통신 인프라를 IP 기반으로 전환 및 구축 완료할 예정이다. UIC는 CCBG 표준화 단체와 협력하여 CCBG에서 진행 중인 특수 목적의 자가통신망 표준 규격의 각종 기능을 참조하여 차세대 철도 통신 규격에 반영할 예정이다. 최종적으로 UIC에서는 2020년까지 LTE-R에 대한 실현 가능성 검증(Feasibility test), 기존 시스템 및 장비와 차세대 철도 통신 시스템간 상호호환성 검증(Interoperation test), 차세대 철도 인프라 구축(Implementation)을 완료하고, GSM-R에서 LTE-R로 미래 철도 통신 시스템 진화 작업을(Migration) 추진한다는 방침이다.

2.3 국내 철도 전용 주파수 선정시 고려사항

저대역 주파일수록 주파수 회절성이 강하고 자유공간 손실과 감쇠가 적어 동일한 출력으로 먼거리까지 송출 신호 도달이 가능하여 넓은 셀커버리지 확보가 가능하다. 특히, 도시 외곽이나 농어촌 지역에서 셀커버리지 확보를 위

Table 3 Function and performance comparison for LTE/LTE-R

Function/Performance	LTE	LTE-R	Note
Speed	350 km/h	500 km/h	
Railway voice service	Not available	Group call, Broadcast call, Railway Emergency call	IMS based
Railway call process	Not available	FA, LDA, Fast call setup	IMS based
Network	Public network	Dedicated network	IP based
Duplicate cell coverage	Not available	LTE based duplicated cell coverage scheme	
QoS for mission critical application	Not available	QoS control for railway application	

한 기지국수를 대폭 감소시킬 수 있어, 철도 통신망의 구축비와 시설 유지비 모두 감소시킬 수 있다.

또한 300Km/h 이상의 고속으로 이동하는 열차의 무선채널은 도플러 주파수의 변이가 높아짐에 따라 훨씬 열악한 페이딩 환경을 겪게 된다. 이로 인한 철도 무선통신 성능저하는 열차운행의 안정성과 정시성에 심각한 문제를 야기할 수 있으므로 가능한 저대역 주파수를 확보하는 것이 유리하다. 그러나 승무원 단말의 안테나, 대규모 생산에 따른 장비 공급 경제성 등을 고려하여 이동통신용 주파수 밴드내에서 저대역 영역으로 선정되는 것이 바람직하다.

LTE 무선통신은 기지국과 단말기 사이의 Uplink 및 Downlink 접속을 이격거리가 충분히 떨어진 각각의 주파수 밴드를 이용하는 Frequency Division Duplex(FDD) 방식과 하나의 주파수 밴드만을 이용하지만 Uplink 및 Downlink 접속을 서로 다른 전송 시간으로 구분하는 Time Division Duplex(TDD) 방식을 모두 지원한다. TDD 방식은 시간축에서 비연속적으로 신호가 전송되므로 FDD와 동일한 전송효율을 가지기 위해서는 대역폭이 충분히 넓어져야 한다. 그러므로 TDD 방식의 전파 송출 Power Density가 FDD 방식과 비교하여 감소됨에 따라 동일한 전파 송출 파워에서 TDD 방식은 FDD 방식에 비하여 셀커버리지가 줄어들게 된다. 또한 TDD 방식은 고속 이동환경에서 채널 추정 어려움으로 인하여 단말의 송수신 타이밍 에러, 송수신 전환을 위한 스페셜 프레임 에러가 증가한다. 그 결과 동일한셀내 다른 사용자간 간섭이 커지고 시스템 성능이 저하될 수 있다. 결론적으로 LTE 기반의 철도통신에서 FDD 방식이 TDD 방식보다 유리하다고 할 수 있다.

열차 제어 신호는 높은 네트워크 가용성 및 신뢰성을 요구함에 따라 열차의 단말은 2개의 서로 다른 기지국에서 전송되는 열차 제어 신호를 동시에 수신하는 자동 예비(Hot-standby) 시스템 구조를 가져야 한다. 그러기 위해서는 셀커버리지를 이중화하여야 하는데, Time Division Multiple Access(TDMA) 통신방식인 GSM-R의 경우 전체 4MHz 주파수에서 1MHz씩 할당하여 4개의 셀을 구성하고(Frequency reuse factor=4) 할당된 1MHz 주파수내의 서브채널을 이용하여 각 셀에서의 통신을 수행함에 따라 인접 기지국간 간섭이 없이 이중화된 셀커버리지를 구성할 수 있지만, Orthogonal Frequency Division Multiple Access(OFDMA) 통신방식인 LTE의 경우 각 셀은 동일한 주파수의 전체 대역폭을 각 셀커버리지에서 통합적으로 사용함에 따라 철도통신에서 필요한 중첩된 셀을 구성하였을 경우, 인접 셀 간 간섭이 발생한다. 따라서 Fig. 6과 같이 인접 기지국과 다른 주파수밴드를 사용하여 이중화하여야 한다[25,26].

그러나 셀커버리지를 이중화하는 목적이 열차 운행에 핵심적인 열차 제어 신호를 신뢰성 있게 전송하기 위함이고 비교적 작은 데이터의 열차 제어 신호를 전송하기 위하여 전체 주파수를 이중화하는 것은 주파수 활용 측면에서 매우 비효율적이기 때문에 이 분야에 대한 연구가 진행되어야 한다. 최근 들어 LTE 통신에서 인접 기지국의 서브 캐리어 주파수의 간섭을 줄이기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔으며 이

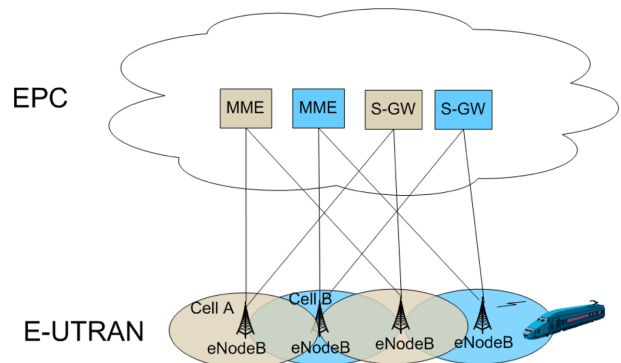


Fig. 6 Duplicated cell coverage for LTE-R

를 기반으로 하나의 주파수를 이용하여 이중화 할 수 있는 가능성은 열려 있다. 그러나 셀 가장자리에서 인접 기지국에서 송수신되는 서브 캐리어 주파수 간섭이 아닌 완전히 중첩된 철도 셀커버리지 구조에서 주파수 간섭 제어는 다양한 시뮬레이션과 필드 테스트를 통하여 충분히 연구하고 검증되어야 한다.

현재, 국내 3GHz 이하의 이동통신용 주파수밴드는 폭발적인 무선 통신 수요로 인하여 철도 통신에서 필요한 크기의 주파수 대역폭을 확보하기가 쉽지 않다. 차세대 철도 통신에 사용 가능한 후보 주파수 검토 결과는 다음과 같다. DTV 전환에 따른 여유 대역으로 전파의 특성이 우수하고 망구축에 강점이 있는 700MHz 대역이 철도 전용 후보 주파수로 가장 유리하나, 방송 이동통신 등의 다양한 수요가 높아 철도 주파수로 선정되기 위해서는 공공의 목적으로 이 대역을 활용하는 정책적 판단이 가장 중요하다. 800MHz, 900MHz 대역은 국내에서 이미 주파수 할당이 완료되어 철도 통신에서 필요한 충분한 대역폭을 확보하기가 불가능하다. 1.8GHz 대역은 2013년까지 70MHz 대역폭이 추가로 확보되지만, 전세계적으로 이동통신용으로 선호도가 가장 높기 때문에 이동통신용으로 활용될 가능성이 매우 높다. 2.1GHz 대역은 위성/지상용 IMT-2000용으로 분배되었으나 현재 국내에서는 미사용 대역으로 주파수 확보가 용이하지만, 일본에서 위성통신망 활용에 이용할 경우 위성과의 간섭이 예상된다. 2.3GHz 대역은 WiBro 서비스용으로 사용 중이며, 현재 일부 대역이 미 할당 상태로 주파수 확보가 용이하나, TDD 주파수 대역임에 따라 고속이동 환경의 철도 통신에 적합하지 않다. 2.5GHz/2.6GHz 대역은 유럽을 중심으로 LTE 핵심대역으로 자리 잡아 장비 수급이 유리하고 현재 미 할당된 대역으로 주파수 확보가 유리하나 현재 일본에서 2.5GHz 대역을 위성 서비스로 사용하고 있어 이 대역을 국내 지상망으로 활용할 경우 일본 위성파 간섭이 발생하고 고속이동환경에서 통신성능 문제와 망 구축비용 증가에 대한 검토가 필요하다.

3. 결 론

현재, 국내의 철도통신시스템은 대부분 유선망으로 구축

되어 있고 특정 장비의 경우 사용기한이 도래하여 새로운 시스템으로 변경하여야 할 시점이며, 무선 통신시스템의 경우에도 여러 종류의 무선통신방식을 혼용하여 사용함에 따라 안정성과 운용의 효율성이 매우 떨어진다. 최근 들어 무선 통신의 고도화 및 광대역화로 인하여 세계는 낙후된 유무선 통신 기술에서 탈피하여 더욱 안전하고 효율적인 새로운 철도 무선 통신 시스템 도입을 준비 중에 있다. 유럽에서는 LTE 통신 시스템을 높은 안정성과 신뢰성을 요구하는 철도라는 특수한 환경에 맞게 이미 최적화 작업을 진행 중에 있고, 글로벌 시장 개척 및 철도 기술 선도라는 관점에서 많은 철도 통신 및 장비업체가 차세대 철도 통합무선망을 국제적 표준으로 확대하기 위한 노력을 기울이고 있다.

2012년 국토교통부는 “국가 철도망 구축 기본 계획”을 수립하여 LTE 기반의 차세대 철도 통신망 구축 안을 제시하였으며, 이에 대한 철도 전용 주파수 소요제기를 방통위에 신청하였다. 이에 따라 방통위는 현재 음성 영상뿐만 아니라 열차 제어와 각종 데이터를 전송하는 철도 통합무선망의 전용 주파수 타당성을 검토하였으며, 방통위 철도 전용 주파수 연구반에서는 다음과 같은 결론을 도출하였다. 첫째, 철도 통합무선망을 위한 무선통신 방식은 철도 환경에 대응 가능하고 향후 글로벌 철도 표준화가 예상되는 LTE 무선 통신 방식을 제안하였다. 둘째, 철도 통합무선망 구축을 위한 주파수 대역폭은 상·하향 각각 5MHz의 대역폭으로 검토되었다. 셋째, 후보 주파수 대역으로는 현재 국내 주파수 점유 현황을 바탕으로 700MHz, 1.8GHz, 2.5/2.6GHz 대역이 적절한 것으로 판단하였고, 고속으로 이동하는 철도 환경을 고려하여 도플러 주파수 변이의 영향이 적은, 가능한 낮은 주파수 대역을 권고하였다. 이러한 제안을 바탕으로 2012년 하반기부터 2.6GHz 대역의 시험주파수 10MHz 대역을 방통위로부터 임시로 할당을 받아 일로역~대불역간 11km 구간에서 LTE 기반 철도 통합무선망의 각종 기능들에 대한 시험을 진행 중에 있다.

국가 철도 통합무선망 구축은 국내 철도 수송용량을 극대화하고 안정성을 강화하며 낙후된 국내 철도 신호 및 통신 기술을 고도화할 수 있는 가장 빠른 지름길이다. 또한 국외 통신 및 철도 장비 업체들의 높은 시장 지배력과 빠른 시장 확산력을 견제하기 위해서 차세대 철도 통신 분야의 국제 기술 선도가 반드시 필요하다. 이러한 다양한 국내외 환경을 고려할 때, 새로운 국가 철도 통합무선망의 개발 및 구축은 조속히 추진해야 할 국가적 과제라고 할 수 있다. 이러한 국가적 과제를 원활히 수행하기 위해서는 국내 철도 통합무선망의 주파수 분배가 신속히 이루어져 국내의 철도 통합무선망 구축을 성공리에 완수하여야 한다

후 기

본 연구는 국토교통부 미래도시철도기술개발사업 연구비 지원(10PUR1-B056851-01)에 의하여 수행되었습니다.

References

- [1] S.-H. Kim (2012) The scheme of next generation national railway communication and its benefits, KISDI Report.
- [2] D.-K. Park (2012) The study of frequency spectrum allocation for next generation national railway communication, KCA Report.
- [3] Marc Laperrouza (2008) Transferring Standards: lessons from GSM-R in the railway sector, *19th European Regional ITS Conference*, Rome, pp. 1-14.
- [4] M. Aguado, E. Jacob, M.V. Higuero, P. Saiz and Marion Berbineau (2009) *Broadband communication in the high mobility scenario: the WiMAX opportunity*, WiMAX New Developments, Croatia, pp. 429-441.
- [5] D.G. Fisher (2009) *Requirements on the GSM-R Network for ETCS Support*, Banedanmark.
- [6] UIC Spec. (2010) *UIC Project EIRENE Functional Requirements Specification*, UIC.
- [7] A.F. Neele, S.T.G. Wootton (2007) *GSM-R Procurement guide*, UIC.
- [8] Wolfgang Hillenbrand (1999) *GSM-R The Railways Integration Mobile Communication System*, SIEMENS.
- [9] D. G. Fisher (2008) *Boundaries between ETCS and the GSM-R Network*, Banedanmark.
- [10] Xu Li, Rong Liu, Zhengrong Liu, Ying Liu (2010) Analysis of GSM-R Dual-Layer Network Coverage Technology, *Proc. Int. Conf. on WiCOM*, Chengdu, pp. 1-4.
- [11] UIC Spec. (2007) *FFFS for Location Dependent Addressing*, UIC.
- [12] UIC Spec. (2007) *FFFS for Functional Addressing*, UIC.
- [13] 3GPP Spec. (2013) *3GPP TS 22.468 Group Communication System Enabler for LTE (GCSE-LTE)*, 3GPP.
- [14] 3GPP Spec. (2013) *3GPP TR 22.803 Feasibility study for Proximity Services (ProSe)*, 3GPP.
- [15] http://www.pscr.gov/projects/broadband/700mhz_demo_net/meetings/stakeholder_mtg_062013/slides/day_2/Jun5-Devine-PSBB-Req-PTT.pdf.
- [16] <http://www.cwc oulu.fi/researchseminar2012/Handouts/Scott.pdf>.
- [17] Dan Mandoc (2011) Future Railway Telecommunications system, *ERA GSM-R Conference*, France, pp. 1-21.
- [18] Marina Aguado, Ivan Lledo Samper, Marion Berbineau, Eduardo Jacob (2011) 4G Communication Technologies for Train to Ground Communication Services : LTE versus WiMAX, a simulation study, *9th World Congress on Railway Research*, Lille, pp. 1-10.
- [19] UIC Spec. (2010) *Railway Mobile Communication System User Requirement Specification*, UIC.
- [20] Chiel Spaans (2013) UIC Future Railways Mobile Telecommunication Systems Solutions upcoming Project, *UIC Global Signalling & Telecom Conference*, India, pp. 1-23.
- [21] Michael Liem, Veena B. Mendiratta (2011) Mission Critical Communication networks for Railways, *Bell Labs Technical Journal*, pp. 29-46.
- [22] http://www.ngmn.org/fileadmin/user_upload/News/Partner_News/

Latest_Results_from_the_LSTI.pdf.

- [23] Gao Tingting, Sun Bin (2010) A High-speed Rail Mobile Communication System Based on LTE, *ICEIE 2010*, Cebu, 1, pp. 414-417.
- [24] <http://www.atiss.org/lte/documents/Does%20LTE%20Do%20What%20It%20Says%20on%20the%20Box.pdf>.
- [25] Wantuan Luo, Ruiqiang Zhang, Xuming Fang (2012) A CoMP soft handover scheme for LTE systems in high speed railway, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Vol. 196, pp. 1-9.
- [26] J.-Y. Zhang, Z.-H. Tan, Z.-D. Zong, Y. Kong (2010) A Multi-Mode Muti-Band and Multi-System-Based Access Architecture for High-speed Railways, *IEEE 72nd Vehicular Technology Conference Fall*, Ottawa, pp. 1-5.

접수일(2013년 6월 4일), 수정일(2013년 7월 18일),
게재확정일(2013년 8월 6일)

Byungsik Yoon : bsyoon@etri.re.kr

Wireless Access Control Research Section, ETRI, 161 Gajeong-Dong, Yusong-gu, Daejeon 305-350, Korea

Junsik Kim : junsik@etri.re.kr

Wireless Access Control Research Section, ETRI, 161 Gajeong-Dong, Yusong-gu, Daejeon 305-350, Korea

Sukjin Lee : sjlee@etri.re.kr

Wireless Access Control Research Section, ETRI, 161 Gajeong-Dong, Yusong-gu, Daejeon 305-350, Korea

Kyung-hee Kim : kimkh@krri.re.kr

Wireless Train Control Section, KRRI, 176, Cheoldo Bangmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi-do 437-757, Korea

Yong-kyu Kim : ygkim@krri.re.kr

Wireless Train Control Section, KRRI, 176, Cheoldo Bangmulgwan-ro, Uiwang, Gyeonggi-do 437-757, Korea

Duk-kyu Park : parkdk@mokwon.ac.kr

Dept. of Information Comm. Eng., 21, Mokwon Univ., 21 Mokwongil, Seo-gu, Daejeon 302-729, Korea