

철도통합 무선망 구축을 위한 무선통신방식과 후보주파수대역 제안

Proposal of Wireless Communication Method and Candidate Frequency Band for Constructing the Integrated Radio Networks for Railroads

박덕규* · 이상윤 · 윤병식 · 김용규

Duk-Kyu Park · Sang-Yun Lee · Byungsik Yoon · Yong-Kyu Kim

Abstract These days, interest in radio networks for railways has increased both at home and abroad. In response to this trend, not only the existing radio networks which focus on railway control signals but also the next-generation integrated radio network that can send videos and manage mass storage data are actively being investigated. This paper proposes wireless communication methods to establish integrated radio networks for railways. The paper further suggests a candidate frequency band that could be allocated as the frequency band for railways among the frequency bands currently used in Korea. Based on this paper, we can expect that the domestic railroad will operate more efficiently and that security and convenience of the railroad will reach a superior level. In addition, the Korean integrated radio networks for railways, which cope with the changes in the global technology market, will be established.

Keywords : integrated radio network for railroad, wireless communication method, candidate frequency band, LTE-R

초 록 현재 국내외적으로 차세대 철도 무선망에 대한 관심이 높아지고 있으며, 지금까지 열차제어신호 중심의 철도무선망에서 영상 및 대용량 데이터를 전송하기 위한 철도통합 무선망에 대한 연구가 진행 중이다. 본 논문에서는 철도통합 무선망 구축을 위한 무선통신방식과 우리나라에서 사용하고 있는 주파수대역에서 철도 전용 주파수 대역으로 할당이 가능한 후보 주파수대역을 제안한다. 본 연구내용은 국내 철도의 열차 운행효율 향상은 물론 철도의 안전성과 편의성 최적화에 기여할 것이며, 세계 기술시장 변화에 대응하는 무선통신기반의 한국형 철도 통합무선망 구축을 실현 할 수 있을 것으로 예상된다.

주요어 : 철도통합무선망, 무선통신방식, 후보주파수대역, LTE-R

1. 서 론

우리나라 철도는 1899년 노량진과 제물포간 33.2km 구간에서 운행을 시작한 이후, 약 110년의 역사를 갖고 있다. 최근에는 외국의 기술을 우리나라 환경에 접목시킨 다양한 형태의 기관차와 차량을 제작하여 수입국에서 수출국으로 철도 기술발전에 새로운 전환점을 마련하고 있다. 특히 2012년 5월에는 우리나라 전 지역을 90분대로 운행할 수 있는 시속 430km의 차세대 고속열차 “해무”가 개발되어 세계 4번째의 고속철도 기술보유국으로 성장하였다.

그러나 이러한 철도차량에 대한 기술발전에도 불구하고 열차제어시스템은 여전히 국외에서 도입된 궤도회로(레일간의 전기회로)를 이용한 유선방식을 채택함으로써 철도운행의 한계를 나타내고 있다. 또한 우리나라에서 개발한 고속철도를 외국에 수출하는 경우에도 국산화된 선진적인 열차제어시스템의 기술을 보유하고 있지 않기 때문에, 수주국가에서 원하는 열차제어방식을 외국 업체를 통해 도입하여 수출함으

로써 차량 수출에 따른 시너지효과의 확보가 매우 어려운 상황이다. 최근에는 이러한 열차제어시스템 이외에도 장애를 사전에 차단할 수 있는 실시간 진단시스템, 다양한 종류의 사고 및 범죄를 예방하기 위한 차량 내부 실시간 모니터링, 지상 인프라시설에 대한 사고예방 및 장애시 신속한 조치 등과 같이 열차의 운행에서 나타나는 다양한 문제를 사전에 예방할 수 있는 종합적인 관리 체계 구축이 가능한 차세대 철도통합 무선망을 기반으로 하는 첨단 지능형 철도시스템 구축이 요구되고 있어 전세계적으로 이러한 요구에 대한 종합적인 검토와 구축이 검토되고 있는 상황이다[1]. 이러한 차세대 철도통합 무선망을 구축하기 위하여 가장 먼저 고려해야 할 내용은 무선통신망을 구축하기 위한 통신방식, 소용 주파수대역폭의 결정 및 전용 주파수 대역을 확보하는 것이다. 현재 전 세계는 유럽의 GSM-R(Global System for Mobile Communications-Railway)을 기반으로 하는 음성중심의 철도제어시스템이 구축되어 있으나, 이 방식은 차세대 철도통합 무선망에서 요구하는 고속의 데이터 전송, 영상, 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 적합하지 않은 방식으로 새로운 통신방식을 이용한 차세대 철도 통합무선망을 구축하기 노력이 진행되고 있다.

본 논문에서는 차세대 철도통합 무선망 구축을 위한 기존

*Corresponding author:

Tel.: +82-42-829-7672, E-mail : parkdk@mokwon.ac.kr

©The Korean Society for Railway 2013

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2013.16.6.510>

의 무선통신방식의 장단점을 비교 검토하고, 2012년 8월 국토해양부가 발표한『철도전용 통합무선망에 대한 기본계획』[2]에서 고려한 LTE-R(LTE-Railway)의 LTE-TDD/FDD무선통신방식을 비교하여 최적의 방식으로 LTE-FDD방식을 제안하였다. 또한 현재 우리나라에서 사용하고 있는 주파수대역에서 철도 전용주파수 대역을 할당이 가능한 후보 주파수대역을 검토하여 제안하였다. 여기에서 제시된 무선통신방식과 할당 가능 주파수대역은 향후 미래창조과학부의 검토 및 심의과정을 거쳐 국내 철도통합망 구축을 위한 주파수할당 기반자료로 활용될 예정이며, 이를 토대로 철도 전용 주파수가 할당되어 국토해양부에서 계획하고 있는「철도 통합무선망 구축기본계획」이 조기에 실현된다면, 본 연구는 국내 철도의 열차 운행효율 향상은 물론 철도의 안전성과 편의성 최적화에 기여할 것으로 예상되며, 세계 기술시장 변화에 대응한 무선통신기반의 한국형 철도 통합무선망 구축을 실현 할 수 있을 것으로 예상된다.

2. 철도 통합무선망 추진경위 및 국외 구축현황

2.1 국내 추진경위

차세대 철도 통합무선망에 대한 요구가 대두되기 전인 2008년부터 건설교통평가원과 한국철도기술연구원이 중심이 되어 “철도전용 주파수 검토 연구반”에서 무선통신을 기반으로 하는 열차제어시스템 KRTCS (Korea Radio Train Control System) 도입을 위한 연구를 시작하였다[3]. 여기서 수행된 연구결과를 바탕으로 2009년에 방송통신위원회의 한국전파진흥협회가 수행한 “철도용 주파수 연구반”에서는 CBTC(Communication Based Train Control)를 중심으로 하는 철도제어용 주파수에 초점을 맞추어 소요주파수대역을 산출하여 철도전용 주파수를 요구하였으나, 주파수할당에 필요한 무선통신방식의 미결정과 철도전용 무선망 구축을 위한 투자재원의 미비로 그 당시 철도 전용주파수를 확보하지 못했다[4]. 그러나 2010년과 2011년에 국토해양부와 한국철도기술연구원이 수행한 “무선통신기반의 열차제어 시스템의 표준체계 구축 및 성능평가”의 연구내용을 바탕으로 제어용 철도주파수 뿐만 아니라 음성 및 영상신호를 전송할 수 있는 차세대 철도통합 무선망 구축을 위한 종합적인 연구가 수행되었다. 이 결과를 기초하여 2012년 3월부터 동년 12월까지 방송통신위원회의 한국방송통신전파진흥원이 주축이 되어 “차세대 철도 통합무선망 구축을 위한 철도 전용 주파수 할당 연구반”이 구성되어 소요주파수대역폭, 무선통신방식, 할당 예상 후보 주파수대역에 대한 전반적인 검토를 수행하였다[5]. 여기에서 연구된 결과를 바탕으로 미래창조과학부에서는 철도전용 주파수할당에 대한 검토가 진행 중이며, 2013년에는 무선통신방식의 결정과 주파수를 할당할 예정이다.

이러한 종합적인 차세대 철도 통합무선망구축을 위하여 국토해양부에서는 「제2차 국가철도망 구축계획(2011~2021)」을 발표하여 의욕적으로 낙후된 국내철도 시설의 선진화 및 철도운영의 효율화를 계획하고 있다. 특히 2012년 10월에

「철도 통합무선망 구축기본계획」을 수립하여 철도무선망에 대한 국가 R&D를 통해 관련 설비의 개발 및 성능 확인을 통한 상용화를 조기에 확보하고, 국내제조사 및 국내기술력을 기반으로 철도통신·신호·관제 관련 기술의 산업화를 지원할 예정이다. 이러한 계획과 병행하여 국내표준규격의 제정뿐만 아니라 국제표준규격 제정에도 선도적으로 참여함으로써 철도관련 국제시장의 지배력을 강화하기 위한 계획을 수립하였다. 여기에는 철도통합무선망 구축 사업을 포함한 기존선로 개량 및 신 선로 구축 사업에 2021년까지 19조원의 예산을 마련하여 국비, 지방비, 지자체 예산으로 투입할 계획을 수립하였다.

2.2 국외 철도통신망 구축 현황

현재 해외에서 구축되거나 예정되고 있는 주요 철도 무선통신망 구축현황 및 계획을 정리하면 Table 1과 같다[5]. 우선 대만, 일본, 미국 등을 제외한 대부분의 국가에서 GSM-R이 중장기적으로 구축이 지속될 것으로 전망된다. 이러한 GSM-R 도입이 지속적으로 수행되고 있음에도 불구하고 현재의 통신방식들은 열차제어를 중심으로 하는 음성통신을 중심으로 서비스를 제공하고 있어 무인철도와 다양한 종류의 사고와 범죄를 예방하기 위한 차량내부 실시간 모니터링, 장애를 사전에 차단할 수 있는 실시간 진단시스템, 열차의 운행에서 나타나는 다양한 문제를 사전에 예방 있는 종합적인 관리 체계가 가능한 차세대 철도통합망에 대한 진화도 지속적으로 논의되고 있는 상황이다.

유럽의 ERTMS(European Rail Traffic Management System) 확대 구축 계획에도 불구하고 영국은 이기중 망간 게이트웨이 연동을 통한 범 유럽 철도 무선통신망 구축을 제안한 바 있으며, 프랑스는 GSM-R에 회선 스위칭 데이터의 주파수 효율성을 해결하기 위한 GPRS(General Packet Radio Service) 도입을 고려하고 GSM-R 구축에 있어서도 민간 파트너 방식을 사용하는 PPP(Public-Private-Partnership)방식을 도입하였으며, 스페인에서 LTE-R 기술 개발을 위한 협력 사업을 시작하였다. 또한 선도 기술 도입에 적극적인 중국도 이러한 차세대 철도 무선통신망 기술 개발에 적극적으로 참여할 것으로 예상된다. 반면 대만의 THSR의 TETRA 구축 사례는 유럽 ERTMS에 근접한 철도 통신망 구축이 GSM-R 외에도 타 무선 음성데이터 통신 솔루션을 통해 가능하여 관련 제조업자 및 이해관계자를 중심으로 철도 응용 시장에서의 진입을 지속적으로 모색될 것으로 예상된다.

3. 무선통신방식

3.1 통신방식 타당성 검토

3.1.1 WiFi 통신 방식

미국 등 일부 국가에서 WiFi를 이용하여 열차 무선통신으로 사용하고 있으나, 속도의 제약 사항 (120km 이하), 작은 커버리지 문제, 전용 음성 통화 기능 부재, ISM(Industrial Scientific and Medical) 밴드를 사용함에 따라 혼선, 안전성

Table 1 The current situations of foreign countries and their plans for wireless railroad telecommunication

Classification	Control method	Communication method	Frequency	Main contents
Europe	ETCS Level2	GSM-R	800 MHz	<ul style="list-style-type: none"> Plans to build GSM-R compulsorily in core lanes by 2015 (including upgrade of existing network), and expect to reach 40,000 Km by 2020 United Kingdom: RSSB expects to introduce LTE-R in 2020. Suggests to introduce multi technology Spain: Promotes cooperation on developing LTE-R France: Utilizes PPP method for establishing GSM-R
China	CTCS-3	GSM-R	900 MHz	<ul style="list-style-type: none"> Started to develop CTCS in 2002 and adopted GSM-R as wireless communication technology In 2005, built and operated GSM-R on Daqin Railway with Huawei equipment for the first time With equipment suppliers as the center, considers to introduce LTE technology in high-speed railway
India	ETCS Level2	GSM-R	900 MHz	<ul style="list-style-type: none"> By One Indian One ATC policy, expects integrate method with GSM-R
Taiwan	D-ATC	TETRA	400 MHz	<ul style="list-style-type: none"> The first case that built wireless railway network with TETRA Chunghwa Telecom, the largest telecommunication company in Taiwan, examines operation of LTE in high-speed railway
Japan	ATACS	Special	400 MHz	<ul style="list-style-type: none"> From 2011, East Japan Railway Company began to use the method applying to urban railway took about 17 years from development to operation with basic functions
Saudi Arabia	ETCS Level2	GSM-R		<ul style="list-style-type: none"> Adopted GSM-R method for total 2,400 km North South Railway Project
United States	PTC	Specail	200 MHz	<ul style="list-style-type: none"> Legislated to introduce the method obligatorily by 2015, but expects the delay due to verification on technology After examining various technology methods and frequency candidates, California High-Speed Rail Project adopts ETCS Level2 based on GSM-R and promotes securing 700MHz broadband
Brazil	ETCS Level2	GSM-R		<ul style="list-style-type: none"> Decided to introduce ETCS Level2 based on GSM-R in high-speed railway, and definite activities for obtaining frequency is not confirmed

문제 등으로 인하여 지하철 혹은 도시철도 영역에서만 한정적인 용도로 적용하고 있다. 따라서 고속 혹은 간선 철도에서 WiFi 통신 시스템 활용은 매우 힘들 것이라고 판단된다.

3.1.2 GSM-R 통신 방식

GSM-R 통신방식은 현재 유럽 각국에서 통합 철도 통신망 용도로 사용하고 있으며 열차 전용 음성통화 기능 및 ETCS(European Train Control System) 열차 제어 기능 등을 GSM-R 네트워크로 사용하고 있다. 그러나 20년전에 규격화된 2세대 통신 방식이라는 한계로 인하여 주파수 이용 효율성이 떨어지고 향후 철도 서비스 고도화를 위한 각종 어플리케이션 적용이 불가능함에 따라 미래 철도 통신 방식으로 부적합하다고 할 수 있다.

3.1.3 TRS(Tetra)통신 방식

TRS 통신 방식은 철도 전용 음성 통화로는 많은 부분에서 활용이 가능하고 실제 사용하고 있으나, 철도 신호 제어에는 심각한 문제점이 존재한다. 열차 제어 신호는 450msec

이내의 지연시간을 요구하는데, TRS의 경우 열차제어 신호를 전송하기 위하여 멀티 프레임을 구성할 경우 지연 시간이 크게 늘어나는 단점이 있다. 또한 고속 데이터 전송이 불가능하고 2세대 이동통신 시스템이라는 한계로 인하여 주파수 이용 효율성이 떨어지고 시스템의 기술 수명도 종료시점에 가까워 향후 미래가 불투명하다.

3.1.4 WiBro 철도전용 통신방식

WiBro 통신 방식은 4세대 이동통신 시스템으로 자리잡아 미래 철도 통신으로 활용하는데 기술적 부족함은 없다. 그러나 LTE와 비교하여 통신 및 장비 사업자의 선호도가 크게 떨어져서 향후 시장이 불투명할 뿐 아니라, 철도 시장을 주도하고 있는 유럽의 장비 업체 및 철도 운영사들도 LTE를 선호한다.

3.1.5 LTE 상용망 방식

LTE 상용망은 현재 전국망 구축 단계에 있으며 최신 이동 통신 규격으로 향후 가장 폭넓은 이동통신 방식으로 자

리 잡을 것으로 예측된다. 그러나 높은 안정성과 신뢰성을 요구하는 철도 통합 무선망은 상용망을 이용하여 구축한 사례가 없고 반드시 자가망을 구성하여 구축해왔다. 이는 상용망에서 지원하지 못하는 네트워크 및 커버리지 이중화, 높은 보안성, 철도 전용 음성 통화 규격 등의 철도 전용 특성의 미비로 인함이다. 따라서 LTE 상용망을 철도 통합망으로 활용하기는 매우 힘들 것으로 예측된다.

3.1.6 LTE 철도 전용 통신 방식(LTE-R)

4세대 이동통신 기반의 철도통신 시스템으로 가장 주목받고 있는 시스템이다. UIC(Union Internationale des Chemins de Fer, International Union of railway), 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 등에서도 차세대 철도 통신방식으로 LTE를 선호하고 있다. 다만 철도의 요구사항을 모두 만족하기 위해서는 추가적인 규격 개발이 필요하고 가장 최신 시스템이기 때문에 기술적 성숙도가 다른 통신방식에 비해 떨어진다.

3.2 통신방식 종합 비교

Table 2와 Table 3에서는 각 통신방식에 대한 철도 전용 기능과 환경적 요소의 적합성을 비교하였다. 특히 Table 3에서는 철도에서 요구되는 기술적 항목에 대한 점수를 좋음, 보통, 나쁨, 적용 불가능으로 표시하여 평가하였다. Table 3에서 요구되는 여러 기능 가운데 주요기능에 대한 설명은 다음과 같다. 셀영역 이중화(Duplicated cell coverage)는 열차 제어신호의 높은 네트워크 가용성과 신뢰성을 확보하기 위해 2개의 기지국에서 전송되는 열차제어신호를 동시에 수신할 수 있는 기능을 말하며, 고장대처기능(Fall-back support)은 가동하는 시스템 일부에서 장애가 발생하였을 때 시스템 전체를 정지하지 않고 시스템을 복원시킬 수 있는 능력이다. 또한 Railway ASCI(Advanced Speech Call Items)는 유럽의

GSM-R규격에서 사용하는 철도전용 음성통신기능을 나타낸다.

평가결과를 종합하면 향후 미래 철도 통합 무선망으로 가장 적합한 통신방식은 LTE-R 방식으로 사료되며, 향후 발전가능성이 가장 높을 것으로 예상된다. 그러나 현시점에 LTE-R 기술의 시장 성숙도가 미비하고 현재 철도 통합망으로 초기 연구가 시작되는 시점이므로 철도분야의 요구사항이 반영된 추가적인 LTE-R 표준 규격 제정과 실제 필드에서 Pilot 시스템에 대한 운행시험을 수행하여 철도 통합망에 대한 적합성 검증을 수행하여야 한다.

3.3. 고속 환경에서의 LTE-FDD/TDD 비교

통신시스템에서 기지국과 단말간 상/하향 링크를 구분하는 이중화(duplexing)는 일반적으로 주파수 대역으로 구분하는 주파수분할이중화(Frequency Division Duplex(FDD))방식과 시간으로 구분하는 시분할이중화(Time Division Duplex(TDD)) 방식이 있다.

LTE-R에 대한 표준은 아직은 제정되어 있지 않으나, 기존의 LTE 표준의 이중화를 지원 할 것으로 예상된다. LTE 표준은 FDD/TDD 두 가지의 이중화 방식을 모두 지원하며, LTE-FDD와 LTE-TDD의 비교는 Table 4와 같다.

FDD와 TDD방식에 동일한 주파수 대역폭이 할당되었을 때, FDD방식은 상향과 하향링크 사이에 이격을 위해 Guard Band를 설치하여야 하며, 상·하향링크의 트래픽이 비대칭의 경우에도 주파수의 대역폭을 조정할 수 없다. TDD방식은 연속된 단일 주파수 대역을 사용하므로 Guard Band가 필요 없으며, 상·하향링크에 동일한 주파수대역을 사용하기 때문에 상·하향 트래픽 양이 비대칭적인 경우에는 사용하는 Time Slot의 시간을 조정하여 트래픽을 분산시킬 수 있어 효율적인 주파수이용이 가능한 장점이 있다. 그러나 TDD

Table 2 Comparison of wireless communication methods

Candidate network	Advantage	Disadvantage	Note
WiFi	Unlicensed frequency (ISM broadband)	Limitation on speed narrow coverage	Slower than 120 km/h
GSM-R	Approved system as an exclusive network for railway in europe and other countries	Closing stage of technology life span exclusive frequency is necessary	2 nd Generation
TRS(Tetra)	Approved system exclusively for voice	Closing stage of technology life span non-existence of railway control function exclusive frequency is necessary	2 nd Generation
WiBro exclusive network for railway	Intellectual property technology of 4 th generation domestic communication	Uncertainty for future market verification for technology is necessary	Non-existence of railway communication based on WiBro
Commercial LTE network	Utilization of existing network and frequency	Lack of railway communication requirement	Never utilized as a commercial network in the world previously
LTE exclusive network for railway	4 th generation communication Future generation railway communication	Verification for technology is necessary exclusive frequency is necessary	Ongoing standardizing process in UIC, 3GPP

Table 3 Conformance test for the major railroad functions

		Dedicated Railway Radio					Public Radio
		WiFi	GSM-R	TRS (Tetra)	WiBro (802.16e)	LTE-R (Rel.8)	LTE (Rel.8)
Railway requirement (Technical requirement)	High speed veh. Support (up 350 Km)	NA	○	○	△	◎	◎
	Low latency	◎	◎	△	◎	◎	○
	Wide coverage	NA	◎	◎	◎	◎	◎
	Duplicated cell coverage	◎	◎	◎	◎	◎	NA
	Fall-back support	NA	◎	NA	◎	◎	NA
	Security	◎	◎	◎	◎	◎	
	QoS support	◎	○	○	◎	◎	○
	Railway ASCI (Emergency, Group, PtoP, Broadcast call, LDA, FA)	△	◎	◎	◎	◎	△
	Disaster recovery support (Network recovery)	◎	◎	◎	◎	◎	△
	Advanced railway services (CCTV, online ticketing, etc)	◎	△	△	◎	◎	◎
Non-technical environment	Technical & Market maturity	◎	△	△	○	◎	◎
	Cost	◎	△	△	○	○	◎
	Railway global standardization	○	◎	○	NA	◎	NA
	Subscriber limitation	◎	◎	◎	◎	◎	△
	Operator preference	△	△	○	△	◎	△

Score : Good : ◎ , Normal : ○ , Poor : △ , NA : Not applicable

Table 4 Comparison of LTE-TDD and LTE-FDD

Item	LTE-TDD	LTE-FDD
Spectrum efficiency	High efficiency for using same up/down link spectrum band	Low efficiency for using separate up/down link spectrum band
Capacity balance	Flexible up/down link capacity	Fixed up/down link capacity
Up/down link separation	Guard time	Guard band
Latency	High due to time sharing between up/down link	Low
Synchronization	Maintaining of frame synch. among adjacent cells is required to prevent interference	Not required
Cell range	Relatively small	Relatively large
H/W Implementation	Relatively hard	Relatively easy

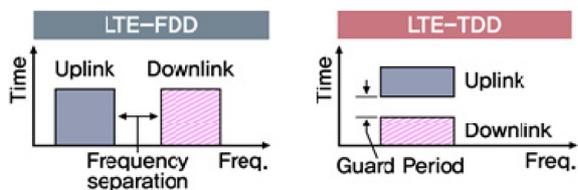


Fig. 1 LTE-FDD and LTE-TDD

방식은 전력제한에 따른 셀 반경 제한, 고속환경에서의 성능저하 등의 문제점이 있다.

먼저 셀 반경 제한의 경우 TDD방식은 시간축에서 비연

속적으로 신호가 전송되므로, FDD와 동일한 전송율 및 동일한 송신전력을 가정할 때 TDD의 신호 에너지가 줄어들므로 셀 반경이 제한된다. 예를 들어 1초에 1개의 심볼을 전송하는 경우를 가정할 때, FDD에서는 1초를 모두 사용하지만 TDD의 경우 상향 0.5초 하향 0.5초를 나눠 사용하게 되고 이 경우 동일 송신전력에서 TDD의 시간이 FDD에 비해 1/2로 줄어들기 때문에 TDD 신호의 심볼 에너지는 FDD의 1/2로 감소하게 되며, 이로 인해 동일한 성능을 내기 위한 셀 반경도 감소하게 된다. 또한 TDD에서 상하향 링크 전환은 가드 타임 구간 내에서 이루어져야 하는데 이 경우 셀 반경이 길어질수록 전환시간도 길어지게 되므로 셀 반경 늘

리는데 제한을 받게 된다. 2.5GHz대역에서 상향링크 64kbps 시스템에서 부도심 지역의 셀 반경은 LTE-FDD가 약 1.4km 이나 TDD의 경우 약 0.7km로 약 2배 정도의 차이를 보인다[7]. 또한 TDD에서는 고속열차와 같은 고속 이동환경에서는 채널 추정이 어려워 성능 열화가 FDD에 비해 두드러질 가능성이 높다.

먼저, 여러 단말로부터 송신된 프레임의 기지국에서 동시에 수신할 수 있도록 하는 타이밍 어드밴스(timing advance) 수행 시 고속 이동에 따른 성능열화 가능성이 있다. LTE 시스템에서는 서로 다른 단말로부터 수신되는 신호가 서로 간섭 없이 수신하도록 각 단말로부터 수신되는 프레임들 간의 시간 동기를 맞추는 것이 필요한데, 타이밍 어드밴스란 단말이 기지국으로부터 서로 다른 거리에 있는 점을 고려해 멀리 있는 단말은 가까이 있는 단말보다 먼저 신호를 송신함으로써 기지국 수신 시 프레임 동기가 맞춰지도록 하는 것을 의미한다. 이러한 타이밍 어드밴스는 FDD/TDD방식에서 모두 수행되나, 고속 이동환경에서는 채널 추정의 어려움으로 타이밍 어드밴스 오류가 발생할 가능성이 높으며, 특히 TDD의 경우 타이밍 어드밴스 오류로 상향 송신 시간 구간과 하향 송신 시간 구간이 중첩될 경우 시스템 성능에 심각한 영향을 줄 수 있다.

제어, 동기화 관련 정보를 담고 있는 Special Subframe의 수신 감도에 대한 영향이 예상된다. LTE-TDD 방식에서 한 프레임의 시간 구간은 10ms로 1ms 단위의 subframe 10개로 구성(0번~9번)되어 있으며, 이중 1번 subframe이 하향→상향 전환 지점이며, 6번 subframe이 상향→하향 전환 지점이다. 1번 subframe의 경우 3개 구간으로 구분되는데, 하향 말단 구간에 Downlink Pilot Time Slot(DwPTS)가 있으며, 전환 시점에 Guard Period(GP), 상향 시점 구간에 Uplink Pilot Time Slot(UpPTS)이 있다. 여기서 DwPTS는 제어정보, 동기 정보 등을 포함하고 있으며, UpPTS는 채널 추정 등의 역할을 수행한다. 이러한 Special Subframe을 구성하는 프레임들의 길이는 일반 subframe 구간보다 짧아 고속 주행환경에서 채널환경 악화 시 Special Subframe의 감도가 악화될 가능성이 있고, 이 경우 동기, 제어, 채널 추정 등에 오류가 생겨 시스템 성능에 영향을 미칠 가능성이 높아지게 된다.

3.4 소 결

여기에서는 철도 전용 주파수할당을 위해 반드시 필요한

무선통신방식에 대해서는 기존의 이동통신 기반 무선통신방식을 중심으로 검토하였다. WiFi, GSM-R, TRS(Tetra), WiBro, LTE, LTE-R의 무선통신방식을 비교 평가하였다. 다양한 방법으로 해당 무선통신방식의 철도 기능적합성을 평가하였으며, 그 결과 LTE 방식을 철도 통합무선망에 가장 적합한 무선통신방식으로 결정하였다. 특히 LTE 방식은 현재 이동통신에 적용중인 최신 무선통신방식이며, 이를 기반으로 철도 환경에 대응하기 위하여 필요한 추가기능을 포함한 LTE-R(rail)방식을 검토하였으며, 향후 철도분야에서 필요로 하는 요구사항을 국내 첨단 통신기술을 반영한 표준화 활동과 연계함으로써 LTE-R이 GSM-R과 같이 철도분야의 국제 표준으로 사용될 수 있도록 추가적인 조치를 필요로 한다.

현재 철도통신망으로는 유럽에서 사용되는 제2세대 이동통신방식인 GSM-R 방식이 많이 사용되고 있으나, 제4세대 이동통신방식인 LTE의 등장으로 GSM방식의 기술수명(Life Cycle)이 심각하게 위협받고 있다. 따라서 유럽의 일부국가와 3GPP 표준화 단체에서는 차세대 철도 무선통신기술로 LTE-R방식을 검토하고 있어, 국내에서 LTE-R방식을 적용한 철도 통합무선망을 구축한다면 국제적으로 차세대 철도 무선통신기술을 선점할 수 있는 좋은 기회라고 생각된다. LTE 방식에는 LTE-TDD방식과 LTE-FDD방식으로 분류되며, 고속으로 이동하는 철도의 경우, Timing 동기 등을 고려할 때 LTE-FDD방식이 적합한 방식으로 분석되었다.

4. 철도 통합무선망 후보주파수 대역

여기에서는 철도통합 무선망은 LTE방식 사용이 고려되고 있으므로 LTE기술 적용이 가능한 700/800/900MHz 및 2.1/2.3/2.6GHz 대역을 중심으로 후보대역을 검토한다[5-7].

4.1 700MHz 대역

DTV(Digital TV) 여유대역인 700MHz대역은 국제적으로 이동통신용 활용의 수요가 높은 대역으로 미국의 경우 이미 이동통신용으로 할당하여 서비스가 제공 중에 있으며, 이 중 34MHz폭을 공공안전용(public safety)으로 분배한 바 있다. 철도 무선망 관련해 700MHz대역 활용 계획이 밝혀진 바는 없으나 700MHz대역에서의 LTE-R 서비스를 고려한다면 공공 안전 대역을 활용하는 방안을 예상할 수 있다. 유럽의 경우 2012년도 국제전파통신회의(WRC-12)에서 2015년부터 제1

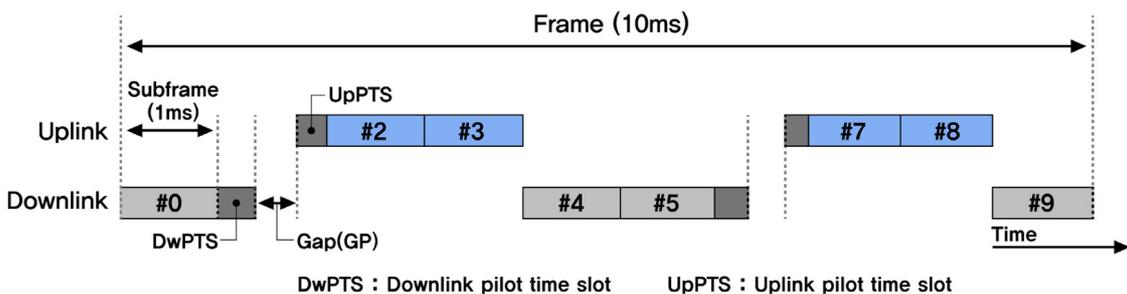


Fig. 2 LTE-TDD Frame Structure

698	728	748	758	783	803	806 MHz
Undecided (30MHz)	Communication ↑ (20MHz)	Guard band (10MHz)	Undecided (25MHz)	Communication ↓ (20MHz)	Guard band (10MHz)	

Fig. 3 700MHz candidate frequency band

851	856	862	864	869	884	894	898	900	905	915	923.5	924.5MHz
Commercial TRS (↓)	GB	Mobile Communication (↓)			Guard band	Wire less data (↑)	Public	IMT(↑)	RFID /USN	Two- way Radio Paging		
		KT	SKT	LGU				KT				

Fig. 4 800MHz candidate frequency band

지역(유럽, 아프리카)에서 기존 방송업무용인 700MHz대역에 이동업무를 추가 분배함에 따라 이동통신 등 다양한 용도 활용이 가능해져 철도용 활용도 전망될 수 있으나, 최근 유럽 위원회(European Commission)는 이동통신, 공공안전채난통신, 무선마이크 등 방송보조용 활용을 검토하도록 하고 있어 철도용으로 활용될 가능성은 낮은 것으로 판단된다[9].

국내의 경우 DTW 전환에 따라 2013년 이후 활용 가능한 대역으로서 주파수 회수 및 재배치가 필요 없고, 전파특성이 우수해 망 구축 비용 측면에서 유리한 대역이라 할 수 있다. 그러나 현재 상하향 40MHz폭만 통신용으로 활용하도록 계획하고 있으며, 기타 대역의 활용 용도는 미정인 상태이다. 통신용 대역의 경우 이동통신사를 중심으로 주파수 수요가 높을 것으로 예상되며, 용도 미정인 55MHz폭에 대해서도 통신, 방송 등의 다른 용도의 수요가 많아 활용 정책에 대한 논의가 필요한 상황이다.

4.2 800MHz 대역

800MHz대역은 CDMA(Code Division Multiple Access) 및 GSM 등 2세대 이동통신 및 GSM-R용으로 활용되고 있는 대역이다. 유럽은 GSM-R에서 LTE-R로의 진화를 고려하고 있으나, 최근 광대역 주파수 부족에 따라 철도용 신규 대역 확보의 어려움을 고려할 때 기존 GSM-R 대역을 활용할 가능성이 있어 동 대역에 대한 검토가 필요하다.

동 대역은 3GPP Band 5 대역(824~849/869~894MHz)으로 국내에서 CDMA/LTE 등의 이동 통신용으로 할당되어 사용되고 있다. 최근 3GPP에서 Band 26 대역(814~849/859~894MHz)과 Band 27 대역(806~824/851~869MHz)을 신규로 표준화 함에 따라 동 대역에서 이동통신 활용 가능대역이 확대되고 있는 상황이며, 국내에서도 Band 26 대역 일부(819~824/864~869MHz)를 작년에 신규 할당한 바 있다. 따라서 유럽이 GSM-R대역을 LTE-R 대역으로 사용하더라도 국내에서 동 대역을 단기간 내에 활용하는 것은 현실적으로 불가능할 것으로 판단된다.

4.3 900MHz 대역

900MHz대역은 세계적으로 GSM 방식으로 사용되는 대역

으로서 유럽에서 철도용 대역으로 활용될 가능성이 높지 않으나, 1GHz 이하의 저대역으로 LTE 표준 대역(3GPP Band 8: 880~915MHz/925~960MHz)이라는 장점이 있어 후보대역으로 고려할 수 있다.

국내의 경우 KT가 905~915MHz/950~960MHz대역을 할당 받은 상태로 방송중계용 등으로 사용 중인 하단 5MHz 폭을 활용하는 방안을 고려해볼 수 있으나, 가용 대역폭이 적고, 회수·재배치에 따른 이슈(기존 사용자(방송사 등)와의 협의, 타 대역 이전방안 마련 등) 및 인접 800MHz 이동통신 대역과의 간섭 가능성 등에 관한 이슈가 있어 활용 가능성은 낮은 것으로 판단된다.

4.4 1.8GHz 대역

현재 유럽 등에서 주로 GSM(2G)용으로 사용 중이며 향후 LTE핵심 대역으로 활용될 것으로 전망되는 1.8GHz대역(3GPP Band 3: 1710~1785MHz/1805~1880MHz)은 저렴한 장비수급, 상용망 로밍 등의 장점이 있다. LTE-R 후보대역으로서 800MHz대역이 사용되지 않았다면 GSM인접 대역을 사용한 GSM-R 사례에서 미루어 볼 때 LTE 핵심대역으로 활용 가능성이 높은 1.8GHz대역에 LTE-R대역을 배치할 가능성도 있을 것으로 예상된다.

국내의 경우도 LTE핵심 대역으로서 이동통신용 수요가 많아 경매를 통한 60MHz폭을 할당하는 방안을 검토하고 있어 철도용 할당은 어려울 것으로 예상되며[10], 1GHz이상의 비교적 고대역에 따라 고속 이동에 따른 통신품질 유지 가능성에 대한 기술적 검토도 필요하다.

4.5 2.1GHz 대역

2.1GHz 대역은 위성/지상 IMT(International Mobile Telecommunications)용으로 분배된 대역이나, 현재 국내에서는 미사용 중인 대역으로 확보가 용이한 대역으로 미표준화 대역으로서 장비 수급이 어렵고, 일본의 위성 발사 시 전파간섭 발생 가능성이 있는 문제가 있다.

표준화의 경우 3GPP에서 2012년부터 추진 중에 있으며, 일본 위성 발사 시 전파간섭 방지를 위해 양국간 주파수 조정협상을 통해 구체적인 밴드플랜 및 이용가능 시점이 정해

900	905	915	923.5	924.5	932	938	940	945	950	960MHz
Public	IMT(↑)	RFID/USN	Two-way Radio Paging	Wireless Microphone	Public	Wireless data (↓)	Broadcasting Relay	IMT(↓)	KT	
	KT									

Fig. 5 900MHz candidate frequency band

1,710	1,745	1,785	1,805	1,840	1,880(MHz)	
Public, 35 MHz	Mobile Communication (↑), 40MHz			Public, 35 MHz	Mobile Communication (↓), 40MHz	
	KT	SKT	5MHz LGU+ 5MHz		KT	SKT

Fig. 6 1800MHz candidate frequency band

1920	1980	2010	2110	2170	2200(MHz)
Mobile Communication (↑), 60MHz		Satellite/Ground IMT(↑) 30 MHz	Mobile Communication (↓), 60MHz		Satellite/Ground IMT(↓) 30 MHz
LGU+(10MHz)	SKT(30MHz) KT(20MHz)		LGU+(10MHz)	SKT(30MHz) KT(20MHz)	

Fig. 7 2100MHz candidate frequency band

1920	1980	2010	2110	2170	2200(MHz)
Mobile Communication (↑), 60MHz		Satellite/Ground IMT(↑) 30 MHz	Mobile Communication (↓), 60MHz		Satellite/Ground IMT(↓) 30 MHz
LGU+(10MHz)	SKT(30MHz) KT(20MHz)		LGU+(10MHz)	SKT(30MHz) KT(20MHz)	

Fig. 8 2500/2600MHz candidate frequency band

질 수 있을 것으로 예상되어 단기간 내 활용은 어려울 것으로 판단된다.

4.6 2.3/2.5(2.6)GHz 대역

2.3GHz 대역의 경우 TDD대역으로 현재 WiBro용 대역으로 활용되고 있으며 2.5GHz/2.6GHz대역은 FDD/TDD 대역이 공존하고 있는 대역으로서 FDD의 경우 Band 7(2500~2570MHz/2620~2690MHz), TDD의 경우 Band 38(2570~2620MHz)이 사용 가능하다.

먼저 2.3GHz대역은 미 할당 대역 활용 시 주파수 확보의 어려움은 크지 않을 것으로 보인다. 그러나 TDD대역으로서 TDD기술 사용에 따른 문제점(간섭에 대한 취약, 셀 커버리지 한계 등) 고려가 필요하며, WiBro 서비스용 대역으로 향후 WiBro정책과 연계한 활용방안 마련이 필요하다.

2.5GHz/2.6GHz 대역의 경우 위성DMB(Digital Multimedia Broadcasting) 서비스 중단 등으로 이용이 저조해 주파수 확보를 위한 회수·재배치 부담은 적은 편이며, 유럽을 중심으로 Band 7 대역을 이동통신용으로 할당하여 LTE서비스(계획)중으로 장비 수급도 용이한 장점이 있다. 이에 우리나라도 금년에 Band 7 대역 중 80MHz폭을 이동통신용으로 경매하는 방안을 검토 중에 있다[10]. 한편 동대역도 1GHz 이상 고대역 이용에 따른 망 구축비용 증가, 고속이동체 지원가능 여부검토 필요 등에 관한 문제점이 수반된다.

4.7 소 결

위에서 언급한 후보 주파수대역에 대한 검토를 기반으로 본 논문에서는 700MHz, 1.8GHz, 2.5/2.6GHz 대역이 차세대 철도 통합무선망 구축을 위한 적절한 후보주파수 대역으로 제안한다. 700MHz의 경우 DTV전환에 따른 여유 대역으로 2013년 이후 활용이 가능할 것으로 예상되며, 후보대역 가운데 가장 낮은 주파수대역으로 전파특성이 우수하다는 장점이 있다. 1.8GHz대역은 유럽의 LTE 핵심대역으로 활용되고 있어 장비수급이 용이하다는 장점을 갖는다. 2.5/2.6GHz대역은 1.8GHz과 동일하게 유럽의 LTE 핵심대역으로 활용되고 있어 장비수급이 용이하다는 장점과 국내에서는 아직 이용이 저조하여 주파수 확보가 용이하다는 장점을 갖는다. 이러한 주파수대역들의 특성을 고려할 때, 700MHz 대역이 고속철도에서 나타나는 Doppler Frequency의 영향과 동일전력에 대한 낮은 주파수대역의 전파특성이 우수하다는 장점을 갖는다. 따라서 700MHz대역은 높은 주파수대역(1.8GHz, 2.5/2.6GHz)과 비교할 때 망 구축비용이 크게 절감되는 장점을 갖게 되므로 철도 통합무선망구축을 위한 최적의 주파수 대역이라고 할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 차세대 철도 통합무선망 구축을 위하여 무선통신방식과 후보주파수대역을 제안하였다. 무선통신방식

으로는 국토해양부가 『철도전용 통합무선망에 대한 기본계획』에서 고려하고 있는 LTE-R방식 중 셀 반경 제한과 고속 환경에서의 성능저하 등의 문제점이 적은 LTE-FDD방식을 최적의 무선통신방식으로 제안하였다. 또한 주파수 할당 예상 후보 주파수대역으로는 700MHz, 800MHz, 900MHz, 1.8GHz, 2.1GHz, 2.3GHz, 2.5/2.6GHz 대역에 대해 검토하였으며, 700MHz, 1.8GHz, 2.5/2.6GHz대역이 할당 후보 주파수 대역으로 제안하였다. 여기에서 고속철도에서 나타나는 Doppler Frequency의 영향과 전파특성을 고려할 때, 검토한 주파수대역 가운데 낮은 주파수대역 일수록 전송데이터의 에러를 줄일 수 있으며 망 구축비용도 크게 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 현재 이 주파수대역에 대한 주파수계획이 아직 확정되지 않는 상태이며, 이동통신주파수의 추가할당, 방송용, 공공안전 등을 위한 추가 주파수할당이 필요한 상태이므로 종합적인 검토를 필요로 한다. 방송통신위원회에서도 다양한 측면으로 철도 주파수의 할당을 검토하고 있으나, 다수의 공공기관에서 주파수 할당에 대한 요구가 증가되고 있어 결정이 어려운 상황이다. 국토교통부에서는 호남고속선, GTX(Great Train Express) 노선, 평창 올림픽 노선 등 신설 노선에 대해 할당 받은 주파수를 이용하여 철도 무선통신망을 구축하려는 계획을 추진함으로써 가능한 한 조기에 철도 전용 주파수의 할당을 받을 수 있도록 요구하고 있다. 현재 전 세계적으로 부족한 주파수 요구를 충족하기 위하여 동일 주파수대역의 공동사용을 통한 주파수효율을 증가 시키려는 노력이 진행되고 있다. 따라서 다양한 분야와 다수의 공공기관에서 필요한 주파수의 요구를 검토하여, 해당 주파수대역을 공동으로 사용할 수 있도록 주파수를 할당하는 것도 고려될 수 있을 것으로 예상된다.

후 기

본 연구는 국토교통부 “미래도시철도기술개발사업” 연구비지원(10PURT-B056851-01), 한국전자통신연구원(ETRI)의 “철도전용 주파수 할당 예상주파수 대역의 전파전파특성 분석에 관한 연구”(EA20124751) 및 미래창조과학부의 방송통신정책연구센터 운영지원사업의 연구 결과(KCA-2013-001)에 의하여 수행되었습니다.

References

- [1] Ministry of Land, Translation and Maritime Affairs (2011) The Second Plan for the Construction of National railway network (2011-2021), http://www.molit.go.kr/USR/I0204/m_45/dtl.jsp?idx=8132.

- [2] Ministry of Land, Translation and Maritime Affairs (2012) The Master Plan of Integrated Radio Network for Railway.
- [3] Research team of the exclusive frequency for railway, Korea Railroad Research Institute (2008) The Research report on the Allocation Method of the Exclusive Frequency for Railway.
- [4] Korea Communications Commission, Korea Radio Promotion Association(2009) The Research Report on Railway Frequency.
- [5] Korea Communication Agency (2012) Research paper on Allocation of Exclusive Railway Frequency : to Establish Next Generation Integrated Radio Network for Railway.
- [6] Korea Radio Promotion Association(2010) “Frequency Allocation Table of Korea.
- [7] H. Holma and A. Toskala (2009) *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, Wiley, Chichester, U.K., pp. 386-387.
- [8] Sang-Yun Lee (2012) Implication and Trend on the Frequency of Railway Communication in foreign country, *Communication Policy*, 24(22), pp. 55-75
- [9] European Commission (2013) Mandate to CEPT to develop harmonized technical conditions for the 649-790MHz(‘700MHz’) frequency band in the EU for the provision of wireless broadband electronic communications services and other uses in support of EU spectrum policy priorities, Ref. Ares (2013) 317781.
- [10] Korea Communications Commission (2013) An Open Forum on Frequency Allocation Plan for Mobile Communication, February.

접수일(2013년 6월 4일), 수정일(2013년 7월 18일),
게재확정일(2013년 7월 26일)

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

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

Sang-Yun Lee: sylee76@kca.kr

Korea Communications Agency, 135 Jungdaero, Songpa-Gu, Seoul 138-950, Korea

Byung-sik Yoon: bsyoon@etri.re.kr

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

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

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