

해외 철도통신용 주파수 이용 동향과 시사점

이 상 윤*

최근 열차운행의 안전성 확보 및 수송용량 증대를 위한 무선 열차제어 시스템의 구축이 고려되고 있다. 유럽은 이미 2000년부터 GSM에 기반을 둔 GSM-R을 운용하고 있으며, 차세대 철도 무선망으로 LTE 방식의 적용을 검토하고 있다. 국내에서도 LTE 기반의 철도통합 무선망을 구축할 계획을 가지고 있으며, 이를 위한 주파수 대역의 선정이 필요한 상황이다. 그러나 최근 광대역 서비스의 확대로 주파수 부족 현상이 심화되고 있고, LTE 기반의 철도 무선망과 관련한 기술개발 및 표준화가 초기 단계에 있어 규모의 경제 등을 고려할 때 표준화 등을 통한 해외 주파수 규제기관 및 장비제조업체 등의 의견수렴이 선행되어야 할 것으로 판단된다. 그리고 주파수 이용 효율성 및 망구축 투자비용 절감을 위해 주파수 이용 및 망구축 방식으로서 공용망, 혼합망 활용 등 다양한 망구축 방안에 대한 검토가 필요하다.

목 차

- I. 서 론 / 56
- II. 해외 철도 무선망 운영·연구 동향 / 57
 - 1. 유럽(GSM-R) / 57
 - 2. 미국 / 59
 - 3. 일본·중국·호주 / 60

- 4. 차세대 철도 무선망 / 61
- III. 국내 철도용 주파수 분배를 위한 고려사항 및 후보대역 / 64
 - 1. 고려사항 / 64
 - 2. 후보대역 검토 / 67
- IV. 결 론 / 72

* 한국방송통신전파진흥원 전파지원개발센터 자원개발부 선임연구원, (02)2142-2163, sylee76@kca.kr

I. 서 론

고속철도 도입 이후 철도 차량 기술의 고도화로 차량 속도가 증가하고 있으며, 최근에는 이에 적합한 신호체계 기술 도입에 관한 관심이 증대하고 있다. 현재 국내 철도는 유선망으로 제어되는 철로변의 신호기를 통해 열차를 제어하는 방식을 사용하고 있으나, 앞으로는 이미 유럽을 중심으로 적용되고 있는 자동열차제어(ATC: Automatic Train Control) 방식으로 진화할 것으로 전망되고 있다. 특히 무선통신을 이용한 ATC의 경우, 철로변의 신호기 및 유선 통신망의 설치 없이 관제센터로부터 무선을 통한 실시간 열차운행의 제어가 가능하여 열차 배차간격을 조밀하게 유지할 수 있어 수송능력이 향상되고, 안전사고 방지 및 유선망 유지보수 등에 따른 비용이 절감되는 장점이 있다.

유럽의 경우 2세대 이동통신 기술인 GSM에 기반을 둔 철도 무선망 기술인 GSM-R (Railway)을 이용해 2000년부터 철도용 무선 서비스를 실시하고 있으며, ATC 방식으로서 ETCS(European Train Control System) 기술을 유럽 철도 노선에 적용하기 위해 노력하고 있다. 현재 유럽을 중심으로 GSM-R을 도입한 국가는 점차 확대되는 추세에 있으며, 최근 중국, 인도 등의 아시아 지역 일부 노선에도 GSM-R이 도입되었다. 한편, 무선통신을 기반으로 한 철도 서비스 고도화에 대한 요구의 증대로 LTE 등장에 따른 기존 GSM 방식의 기술수명이 위협을 받자, 국제철도연맹(UIC)을 중심으로 LTE-R 통신망의 상용화가 추진되고 있다.

이에 우리나라도 국토해양부 등 관련 주무부처를 중심으로 철도 운송능력 향상, 안전성 확보 및 차량 해외 수출 등을 위한 ‘철도통합 무선망’의 구축이 추진되고 있다. 철도통합 무선망은 열차제어뿐만 아니라, 최근 수요가 증대되고 있는 광대역 서비스(영상 및 데이터 서비스)도 통합적으로 제공하는 철도 전용 무선망이다(김경희 외, 2012). 그러나 우리나라를 포함한 전 세계적인 주파수 부족의 심화로 가용 주파수 확보가 어려워 장비 관련 규모의 경제, 해외 진출 등을 고려할 때 국제 표준 대역의 선정이 바람직하나, 현재 차세대 철도 무선망 관련 기술표준이 논의 중에 있어 국내의 주파수 대역 선정을 위해 종합적인 검토가 필요하다.

본고에서는 이미 철도 무선망을 운용하고 있는 유럽을 중심으로 한 해외 사례 분석을 통해 국내 철도 무선망 주파수 분배를 위한 고려사항 및 후보대역을 검토하고, 이에 따른 정책방안을 제안하고자 한다.

II. 해외 철도 무선망 운영·연구 동향

1. 유럽(GSM-R)

GSM-R(Railway)은 상용 이동통신 기술인 GSM에 기반을 둔 철도용 무선통신 기술이다. 이는 열차제어 및 음성/데이터 서비스의 통합제공을 가능하게 하며, 기존 케이블 및 아날로그 네트워크 대비 비용효율성, 상호운용성(interoperability) 및 안전성 등의 확보를 용이하게 한다. 이러한 장점에 따라 유럽은 해당 기술을 유럽철도교통관리시스템(ERTMS)의 표준으로 채택하여 약 38개국('10년 기준)에서 운용 중에 있다. 유럽은 핵심노선에 대한 망구축을 2020년까지 완료할 계획을 가지고 있으며, '16년까지 전 세계 56개국에서 GSM-R을 도입할 것으로 전망되고 있다(Kapsch Group, 2010).

〈표 1〉 유럽 GSM-R 시스템 도입 현황

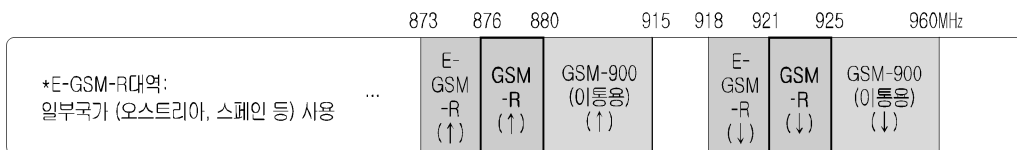
국 가	현 황
노르웨이	· 기존선로(3,000km) GSM-R 설치 완료('07년 4분기)
스웨덴	· 8,500km 노선 GSM-R 설치 완료('03년) · 나머지 1,500km 저속노선에 대한 전환 추진 중
독일	· 24,000km 노선 GSM-R 설치 완료('07년) · 추가적으로 5,000km 길이의 노선에 GSM-R 구축 중
이탈리아	· 7,500km 노선 GSM-R 도입 완료('07년)
핀란드	· 4,970km 노선 GSM-R 도입 완료('09년)
오스트리아, 벨기에, 불가리아, 체코, 그리스, 핀란드, 프랑스, 리투아니아, 슬로바키아, 스페인, 스위스, 영국	· GSM-R 도입 완료('11년 4월)
헝가리, 덴마크, 포르투갈	GSM-R 도입 단계
크로아티아, 폴란드, 루마니아, 슬로베니아	GSM-R 도입 준비 단계

자료: UIC

GSM-R은 GSM 무선 인터페이스 표준에 철도 관련 요구기능을 구현한 것으로서, 철도용 GSM 서비스로는 음성 서비스인 1:1통화, 긴급통화, 다중 사용자 통화, 그룹 통화, 방송통화 등과 철도 응용 서비스인 자동열차제어(ATC) 시스템 ETCS가 대표적이다. ETCS는 레벨 1, 2, 3으로 구분되는데, 레벨 1은 유선통신망과 신호기를 이용한 열차제어 방식으로서 현재 국내의 열차제어 방식은 레벨 1에 해당된다. 레벨 2부터 무선통신이 적용되어 레벨이 높아질수록 열차제어에 무선통신의 비중이 높아져 이상적인 무선통신 기반 열차제어 시스템에 근접하게 된다(정민우 외, 2012). ETCS 레벨 2에서는 열차 진행여부를 알려주는 MA(Moving Authority) 신호가 열차에 500ms단위로 무선으로 전송하는데, 만약 열차가 이 신호를 수신하지 못할 경우에는 열차가 자동으로 멈춘다. 따라서 철도 무선망에서는 높은 통신 신뢰성이 요구되며, 이를 위해 네트워크 장비 이중화, 무선 커버리지 이중화 등이 적용되고 있다.

GSM-R은 GSM 표준화를 담당했던 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)에서 음성/데이터 통신 및 VBS 등 음성응용 기능이 표준화되고, EIRENE(European Integrated Railway Radio Enhanced Network)에서 ATC 등 철도 응용 기능이 표준화된 것이다. GSM-R 표준화 작업은 1994년부터 시작되어 2000년에 완료되었으며, GSM-R 주파수 대역은 상용 GSM 장비 활용을 통한 저렴한 장비도입을 고려해 대부분의 유럽국가에서는 이동통신용으로 사용되는 900MHz 대역¹⁾에 인접한 876~880MHz/921~925MHz(총 8MHz 폭)를 핵심대역으로 사용하고 있으며, 오스트리아 등 일부 국가의 경우 GSM-R에서 확장된 E-GSM-R 대역(873~876MHz/918~921MHz, 총 6MHz 폭)을 사용하고 있다.

[그림 1] 유럽 철도용 주파수 분배 현황



1) 3GPP Band8: 880~915MHz(상향), 925~960MHz(하향)

한편, 최근 GSM-R 대역에 인접한 900MHz 대역에서의 UMTS, LTE 시스템 구축의 증가로 900MHz 대역의 상용망이 GSM-R 대역에 간섭을 주는 문제가 제기되고 있다.²⁾ 이에 따라 유럽우편전기통신청(CEPT)은 간섭 시나리오 분석을 통해 망구축, 하드웨어 기술, 주파수 측면에서의 해결방안을 제시하고 있다(ECC, 2011). 그리고 독일은 GSM-R 기지국 추가설치, 이동사와 협의 등을 통해, 핀란드와 스웨덴은 사업자 주파수 면허 부여 시 기술적 조건(불요방사출력, 최대출력 등)의 부과를 통해 간섭 발생을 방지하고 있다(UIC, 2011).

2. 미국

미국은 1980년에 미국, 캐나다가 개발한 철도제어무선통신시스템인 Advanced Train Control System(ATCS)을 구축해 열차제어 데이터, 원격장치 모니터링, 원격 실행 등의 용도로 사용하고 있다. ATCS용 주파수는 896~898MHz 및 935~937MHz 대역에서 각 6개의 협대역 채널을 사용하며, 채널당 9.6kbps 속도의 데이터 전송이 가능하다. 이외에 160MHz 대역을 VHF 음성통신용으로 사용하고, 도시철도용으로 2.4GHz 대역을 사용하고 있다.

미국은 기존 ATCS 시스템의 장비교체 시기 도래 등으로 PTC(Positive Train Control) 시스템으로의 전환을 통한 철도 무선망 고도화를 추진하고 있다. PTC는 유럽의 ETCS와 유사하게 무선망을 통해 열차를 감시 및 제동하는 충돌방지 시스템으로서 안전성, 보안성, 효율성, 정확성 등의 향상에 기여하는 통신, 정보 통합 시스템이다. 그리고 기존의 ATCS가 지상제어시스템(신호기, 건널목 등)의 제어에 국한된 데 비해 PTC는 차량제어까지 포함한다는 특징이 있다.

그러나 연방회계감사원(GAO)은 성능 검증 등의 이유로 2015년까지는 도입 완료 가 어려울 것으로 예상하고 있다. 또한 후보 대역으로 현재 220MHz 대역을 검토하

2) 독일의 경우 2006년에 58개 소, 2011년에 252개 소에서 간섭이 확인되었으며, 기타 EU 국가의 180개 소에서 간섭이 측정된 것으로 보고(UIC, 2011)

고 있으나, 주파수 이용권 확보 비용 등의 이유로 인해 충분한 대역폭의 확보가 어려운 것으로 파악되고 있다.

한편, PTC와 별개로 추진되고 있는 캘리포니아 고속철도의 경우 GSM-R 기반의 ETCS Level 2 기술을 후보 기술로 선정하였으며, 700MHz 대역이 적합한 것으로 판단하고 지속적인 주파수 확보를 추진 중에 있다.

3. 일본·중국·호주

일본은 음성통신용으로 VHF 대역(142~159MHz), UHF 대역(341~373MHz)을 이용하고 있으며, 고속철도(신간선)는 운전·여객지령 업무용으로 400MHz(412.025~414.475MHz) 대역의 전용 주파수를 분배·운영 중에 있다. 무선제어 방식은 일본에서 개발한 ATACS(Advanced Train Administration and Communications System)를 사용하고, 통신 방식은 별도의 방식으로 '11년부터 동일본 철도의 도시형 철도에 적용되었다. 그리고 JR East는 2013년~2018년 사이쿄선(埼京線)을 시작으로 2036년까지 수도권 모든 노선에 사용할 계획을 밝혔다. 일본은 열차운행제어시스템의 운용을 위하여 700MHz DTV 여유대역에서 715~725MHz(10MHz 폭)를 철도통합 무선망으로 분배해 줄 것을 요청 중에 있다.

중국은 2002년 중국형 열차제어시스템인 CTC³⁾ 개발을 시작으로 GSM-R을 무선 통신 기술로 채택하여 2005년부터 화웨이 장비로 대진(大秦)철도에 처음 구축한 바 있다. 그리고 '15년까지 개설 예정인 16,000km 철로에 대해 철도무선 통신망을 구축할 예정이며, GSM-R 및 철도 운영은 중국 철도부(China Ministry of Railway)가 담당하고 있다. 주파수 대역은 상용 900MHz GSM 대역 내에서 885~889MHz, 930~934MHz(2x4MHz 폭)를 철도용으로 분배하였다.

호주는 GSM-R 방식으로 철도전용 무선망을 구축하여 운용 중이며, 상용 1800MHz

3) CTC(Chinese Train Control System): CTC는 유럽 열차제어시스템인 ETCS와 유사한 방식으로, 중국 철도부는 CTC의 무선통신 방식으로 ETCS와 같은 GSM-R로 결정

GSM 대역 내에 총 2x15MHz 폭을 철도용으로 분배하여 망을 구축하여 운용 중에 있다.

〈표 2〉 호주 철도 GSM-R 방식 주파수 대역

구분	대역	계
상향	1.8225~1.8250GHz, 1.8550~1.8625GHz, 1.8650~1.8675GHz, 1.8775~1.8800GHz	15MHz
하향	1.7275~1.7300GHz, 1.7600~1.7675GHz, 1.7700~1.7725GHz, 1.7825~1.7850GHz	15MHz

4. 차세대 철도 무선망

유럽은 무선통신 기반 철도 서비스 고도화에 대한 요구 증대 및 LTE 등장에 따른 기존 GSM 방식의 기술 수명(Life cycle)에 대한 위협으로 UIC 중심으로 LTE-R 통신망의 상용화를 추진 중에 있다. UIC는 2008년에 이스탄불에서 개최된 UIC 총회를 기점으로 LTE 통신 방식의 철도 통신망 활용에 대한 논의를 시작했으며, 2010년에는 ERIG(European Radio Implementation Group) 운영을 통해 ‘The Future Railways Mobile Telecommunication System Study’를 연구 중에 있다.

UIC는 미래의 철도 무선 시스템이 중장기적으로 기존 음성통신 및 열차제어(ETCS) 서비스는 유지하며, 차량 내외부의 영상 모니터링과 함께 차량, 역사 등에서의 안전과 관련한 분야로 그 적용분야가 확대될 것으로 전망하고 있다.

그러나 망구축 방식에 있어 추가 주파수 확보의 어려움, 망구축 비용 절감 등으로 인해 상용망 활용방안을 검토하고 있는데, 이와 관련하여 전용망의 구축 없이 상용망을 임대하여 사용하거나, 전용망을 구축하되 일부 상용망을 사용하는 혼합망을 검토할 수 있다. UIC는 상용망 활용 방안으로 정부가 전용망을 구축하고 기지국 등 인프라 장비 또는 주파수를 공유하는 방식을 고려하고 있으며, 상용망은 임무 중요성이 낮은 용도 또는 대체망으로 활용하는 방안을 고려하고 있다.

〈표 3〉 국제철도연맹(UIC) 검토 망구축 시나리오

구축 방식	주요 내용
전용망	<ul style="list-style-type: none"> ○ 음성/데이터 및 광대역 서비스 제공 ○ 2018년 실현 가능성 불투명
상용망	<ul style="list-style-type: none"> ○ 그룹통화 등 음성 서비스 일부는 지원 불가능 가능성 존재 ○ 데이터 및 다른 서비스는 지원 가능
혼합망 (전용+상용)	<ul style="list-style-type: none"> ○ 일부 지역 또는 노선에 전용망, 이외에는 상용망 사용 ○ 전용망의 경우 다른 비상통신단체와 공유 가능

자료: Spaans, C.(2012)

차세대 철도 무선망의 후보 기술방식으로 4G 이동통신 기술인 LTE와 WiMax를 들 수 있다. 두 기술방식은 전송용량, 전송지연 측면에서 유사하거나 LTE가 다소 우수한 것으로 알려져 있으나(Aguado, 2011), 주요 장비공급업체들은 LTE가 이동통신 시장에서 기술방식으로 채택됨에 따라 장비수급 측면에서 유리한 LTE 방식이 적합한 것으로 판단하고 있다. 다만, 열차응용과 관련한 기술 표준화가 초기 단계에 있으며, 표준화 및 검증에 최소 5년 이상이 소요되는 점을 감안할 때 2020년 이후에야 상용화가 가능하다는 견해가 제시되고 있다. 따라서 GSM-R이 2025년까지 지원될 것임을 고려할 때 2020년 이후 상당기간 동안 두 기술방식이 공존할 것으로 전망되고 있다(Kuti, 2012).


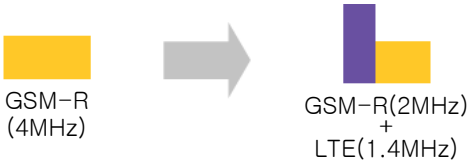
하지만 일부 국가에서는 이미 철도 통신망으로서 LTE 방식의 도입을 위한 준비를 진행하고 있다. 스페인의 경우 Huawei, Alcatel-Lucent 등의 장비 제조사가 참여해 LTE-R 연구개발의 일환으로 2011년부터 LTE-R 시험망 구축을 추진하고 있으며, 중국도 Huawei, ZTE와 함께 고속철도에서의 LTE 기술 테스트를 시작한 바 있다.


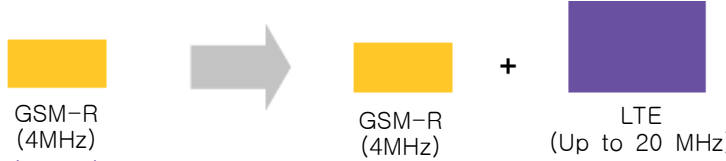
LTE 표준화를 담당하고 있는 3GPP에서는 철도용 통신 방식에 관한 표준화가 본격적으로 논의되지는 않고 있으나, 공공안전용 통신 표준화의 일환으로 철도용 무선 서비스의 일부 요구기능(단말 간 직접통신, 그룹통신 등)에 대한 표준화가 진행되고 있

으며, 이르면 '14년에 표준화 완료 가능성이 있을 것으로 전망된다.

주파수 대역은 현재 구체적인 논의가 이루어지지 않고 있으나, 현재 GSM-R 시스템을 운영 중인 유럽의 경우 GSM-R에서 LTE 등을 이용한 차세대 망으로의 이전 시나리오에 따라 후보 대역이 결정될 가능성이 크다. 유럽의 LTE 망으로의 이전 예상 시나리오는 아래의 네 가지 경우가 가능할 것으로 보인다. 이 중 기존 GSM-R 대역을 활용, 공유, 확장하는 시나리오는 기존 GSM-R의 900MHz 대역을 이용한다. 신규 전용대역을 사용하는 시나리오에서는 기존 LTE 표준대역을 이용하거나 신규 대역이 표준화될 수 있는데, UIC가 빠른 상용화, 저렴한 장비 도입 등을 위해 기존 LTE 기술규격의 변경 없이 철도 특화 기능만을 구현하는 방식을 선호한다는 점에서 기존 LTE 표준대역에서 선정될 가능성이 높은 것으로 예상된다.

〈표 4〉 유럽 차세대 철도 무선망(LTE 가정) 주파수 분배 예상 시나리오

시나리오	주요내용
GSM-R 대역 활용	 <p>GSM-R (4MHz) → LTE(3MHz)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ GSM-R 대역을 활용하는 방식 ○ GSM-R 사이트 재활용이 가능 ○ 좁은 대역폭으로 광대역 서비스가 어려우며, GSM-R 서비스를 유지한 상태에서 LTE로의 원활한 이전이 어려움
GSM-R 대역 공유	 <p>GSM-R (4MHz) → GSM-R(2MHz) + LTE(1.4MHz)</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 GSM-R 대역에 LTE를 수용하는 방식 ○ 사이트 재활용, 자연스러운 진화가 가능한 장점 ○ GSM-R/LTE 간 간섭문제 발생 가능, 주파수 부족으로 LTE 전송속도 저하 문제

시나리오	주요내용
GSM-R 대역 확장	 <ul style="list-style-type: none"> ○ 기존 GSM-R 대역을 확장하여 LTE를 수용하는 방식 ○ 사이트 재활용, 자연스러운 진화가 가능, LTE 속도 보장 ○ GSM-R/LTE 간 간섭문제 발생 가능, 신규 주파수 필요
신규 전용 대역 사용	 <ul style="list-style-type: none"> ○ 별도대역을 마련하는 방식 ○ GSM-R에 대한 영향이 없고, 고속 전송이 가능 ○ 별도 주파수 마련(전용대역 또는 상용망 임대)이 필요하고, 주파수 대역 차이가 클 경우 사이트 재활용 불가

자료: Andre(2010)

Ⅲ. 국내 철도용 주파수 분배를 위한 고려사항 및 후보대역

1. 고려사항

(1) 전파 특성

후보대역 선정 시 서비스 요구조건을 만족시킬 수 있는 특성을 가진 주파수 대역의 선정이 필요하다. 일반적으로 저대역일수록 회절성이 강하고, 감쇄가 덜해 동일한 출력 전력으로 먼 거리까지 신호를 보낼 수 있어 넓은 커버리지의 확보가 가능하다. 따라서 지상 이동통신 시스템의 경우 동일한 커버리지 확보를 위해 고대역에 비해 적은 수의 기지국으로 서비스 제공이 가능하여, 망구축 비용이 감소되는 장점으로 인해 저대역이 선호되는 경향이 있다.

이와 함께 철도 무선망 요구사항에 대한 적합성 검토가 필요하다. 예를 들어, 철도

무선망은 일반적인 이동통신 시스템과 달리 이동체의 속도가 350km/h 이상의 고속 환경에서도 안정적인 동작을 보장해야 하기 때문에 후보대역에 대하여 고속 이동으로 인한 도플러 효과에 따른 통신 성능저하 가능성을 검토할 필요가 있다. 이와 같은 요구사항을 만족시키는 기술적 검토 및 추가적인 서비스 요구사항에 대한 적합성 검토가 필요하다.

(2) 표준대역 여부

ITU, 3GPP 등 표준화 기구를 통한 표준화가 완료된 대역은 규모의 경제로 인해 장비 및 단말 공급이 용이해 장비 단가를 낮출 수 있다는 장점이 있고, 국제 공통대역으로 사용될 경우 국내에서 사용하는 단말로 해외에서도 사용 가능한 국제로밍 서비스의 제공이 가능하다는 장점이 있다.

하지만 최근 4세대 진화의 초기 단계에 있는 이동통신의 경우, 2.1GHz 대역이 국제 공통으로 사용되고 있는 3세대 시스템과 달리 이동통신 시장 상황, 주파수 이용 현황, 진화 시나리오 등의 요인으로 인해 국가별로 다양한 대역이 사용되는 파편화(fragmentation) 현상이 심화되고 있어, 국제 공통대역 사용에 따른 이점이 다소 감소되는 경향을 보이고 있다.

물론, 최근 여러 대역에서 이용할 수 있는 Carrier Aggregation 등 멀티밴드 기술의 발전으로 주파수 대역 파편화에 따른 문제가 일정 부분 해결되고 있으나, 원활한 장비 공급, 경제적인 망구축, 상용망 활용 가능성 확대 등을 위해서 표준대역의 활용은 여전히 필수적인 사항이라 할 수 있다.

(3) 국제 공통대역 활용 가능성

국내 철도 무선망 기술이 LTE-R의 국제 표준으로 자리 잡기 위해서는 국내 선정 대역이 국제 공통으로 선정되는 것이 바람직하며, 이를 위해서는 유럽 등 세계 주요국에서 국내 선정대역에 대해 공통대역 활용 가능성 여부와 관련한 검토가 실행될 필요가 있다.

LTE-R 대역은 각 국가별 주파수 이용 현황 및 정책에 따른 확보 가능성, LTE-R

시장 상황에 따른 신규대역 필요성 여부 등에 따라 결정되므로, LTE-R용으로 국제 공통대역이 선정되는 것은 사실상 불가능할 것으로 예상된다. 예를 들어, 이미 800MHz 대역에서 GSM-R을 운용하고 있는 유럽의 경우, 최근의 주파수 부족 현상을 고려할 때 기존의 800MHz을 선호할 가능성이 있다. 이에 따라 800MHz 대역이 LTE-R 대역으로 선정될 경우, 동 대역을 이동통신용으로 사용하고 있는 국내에서는 해당 대역의 확보가 어려울 가능성이 있다. 따라서 재난안전통신(PPDR)의 사례에서와 같이 지역별로 대역이 정해질 가능성이 높으며, 국내 대역 선정 시 국제적으로 LTE-R 대역으로 선정될 가능성이 있는 대역을 선정하는 것이 장비수급, 로밍, 해외 시장 진출 등의 측면에서 유리할 것이다.

한편, LTE-R 시장이 일정 규모 이상으로 커지지 않을 경우, 신규대역용 장비개발의 비용 절감을 위해 LTE-R 전용 신규대역이 아닌 기존에 사용되고 있는 LTE 표준 대역이 선호될 가능성도 존재한다.

(4) 회수·재배치 가능성 및 중장기 주파수 정책과의 부합

국내 이용 현황에 따른 회수·재배치 가능성은 주파수 확보 가능성 평가에 중요한 기준이 된다. 현재 후보대역이 사업용으로 할당되어 서비스가 활발히 제공되고 있는 경우, 사실상 주파수 확보가 어려울 수 있다. 또한 위성 시스템 등과 같이 무선국의 기술적 특성상 타 대역으로의 재배치가 불가능한 경우가 발생할 수 있으며, 주파수 이전에 기술적 문제가 없다고 하더라도 기존 서비스 품질과 동등한 수준의 서비스 제공이 가능한 이전 대역을 추가로 발굴해야 하는 문제가 있을 수 있다. 한편, 회수·재배치 시 기존 무선국의 손실보상에 필요한 재원의 마련을 위한 방안도 준비해야 한다.

최근 주파수 부족 현상이 전 세계적으로 부각되면서 주파수 정책은 크게 신규 모바일 광대역의 주파수 공급과 효율적 이용을 위한 주파수 공유 확대라는 두 가지로 요약될 수 있다. 국내 주파수 정책도 이와 같은 세계적 추세를 따를 것으로 예상되는데, 신규 주파수 공급 정책의 경우 '12년 1월에서 2020년까지 약 600MHz 폭의 신규 주파수 공급을 주요 골자로 하는 중장기 계획을 수립한 바 있다. 그리고 최근 무선통신

기술의 발전으로 주파수의 유연한 사용이 가능해짐에 따라 주파수 공유 정책을 지속적으로 확대할 것으로 예상된다. 따라서 주파수 대역 선정 시 이와 같은 기술 발전, 정책 환경의 중장기적 변화 추세에 대한 고려가 필요하다.

2. 후보대역

(1) 700MHz 대역

DTV 여유대역인 700MHz 대역은 국제적인 높은 수요로 이동통신용 활용이 예상된다. 미국의 경우 이미 이동통신용으로 할당하여 현재 서비스를 제공하고 있다. 다만, 미국은 공공안전 서비스의 중요성을 감안해 동 대역의 34MHz 폭을 공공안전용으로 분배한 바 있는데, 미국의 동 대역에서의 철도 무선망 서비스의 제공 계획은 밝혀진 바 없으나 700MHz 대역에서의 LTE-R 서비스를 고려할 경우 공공안전 대역을 활용하는 방안을 예상할 수 있다.⁴⁾

유럽의 경우 DTV 여유대역이 800MHz 대역이므로 단기적으로 700MHz 대역이 철도 무선망용으로 활용될 가능성은 낮다고 할 수 있다. 하지만 2012년도 국제전파통신회의(WRC-12)에서 2015년 이후 유럽, 아프리카 지역인 1지역에서 700MHz 대역도 이동업무용으로 분배할 계획임을 밝힌 바 있어, 향후 중장기적으로 유럽에서의 활용 가능성은 다소 존재한다고 할 수 있다.

국내의 경우 700MHz 대역은 DTV 전환에 따라 2013년 이후 미사용 상태가 되는 대역으로서 주파수 회수·재배치에 대한 부담이 적고, 전파특성이 우수해 망구축 비용 측면에서 유리한 대역이라 할 수 있다. 그러나 현재 상·하향 40MHz 폭만 통신용으로 활용하도록 계획하고 있으며, 기타 대역의 활용 용도는 미정인 상태이다. 통신용 대역은 이동통신사를 중심으로 주파수 수요가 높을 것으로 예상되며, 용도 미정인 55MHz 폭에 대해서는 방송 등 다른 용도에서의 수요가 많아 활용 용도에 대한 정책적인 판단이 필요한 상황이다.

4) 캘리포니아 고속철도 프로젝트에서 700MHz 대역을 철도 무선망 후보대역으로 권고

[그림 2] 700MHz 여유대역 이용 계획

698	728	748	758	783	803	806
미정(30MHz)	통신 ↑ (20MHz)	보호 대역 (10MHz)	미정(25MHz)	통신 ↓ (20MHz)	보호 대역 (3MHz)	

(2) 800MHz 대역

800MHz 대역은 CDMA 및 GSM 등 2세대 이동통신 및 GSM-R용으로 활용되고 있다. 유럽은 GSM-R에서 LTE-R로의 진화를 고려하고 있으나, 최근 광대역 주파수 부족에 따라 철도용 신규대역 확보의 어려움을 고려할 때 기존 GSM-R 대역을 활용할 가능성이 있어 동 대역에 대한 검토가 필요하다.

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

[그림 3] 800MHz 대역 이용 현황 및 후보대역

851	862	864	869	884	894	898	900	905	915	923.5	924.5	
주파수공용통신 (↓)	GB	이동통신(↓)			GB	무선 데이터 (↑)	...	IMT(↑)	...	무선 호출		
		KT	SKT	LGU				KT				
			GSM-R (↑)							GSM-R (↓)		
			876	880							921	925MHz

(3) 900MHz 대역

900MHz 대역은 세계적으로 GSM 방식에 사용되는 대역으로서 유럽에서는 동 대

역이 GSM-R 대역으로 활용될 가능성이 높지 않으나, 1GHz 이하의 저대역으로 LTE 표준대역(3GPP Band 8: 880~915MHz/925~960MHz)이라는 장점이 있어 후보대역으로 고려할 수 있다.

국내의 경우 KT가 905~915MHz/950~960MHz 대역을 할당받은 상태로서, 현재 방송중계용 등으로 사용 중인 하단 5MHz 폭을 활용하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 하지만 900MHz 대역을 철도용으로 활용하기 위해서는 회수·재배치에 따른 이슈(기존 사용자(방송사 등)와의 협의, 타 대역 이전방안 마련 등) 및 인접 800MHz 이동통신 대역과의 간섭 가능성 등에 관한 검토가 필요하다.

[그림 4] 900MHz 대역 이용 현황 및 후보대역

900	905	915	923.5	924.5	932	938	940	945	950	960MHz
공공	IMT(↑)	...	무선호출	무선마이크	...	무선데이터(↓)	방송중계	방송중계	IMT(↓)	KT
	KT								KT	

(4) 1.8GHz 대역

현재 유럽 등에서 주로 GSM(2G)용으로 사용 중이며, 향후 LTE 핵심대역으로 활용될 것으로 전망되는 1.8GHz 대역(3GPP Band 3: 1710~1785MHz/1805~1880MHz)은 저렴한 장비수급, 상용망 로밍 등의 장점이 있다. LTE-R 후보대역으로 800MHz 대역이 사용되지 않을 경우 GSM 인접대역을 사용한 GSM-R 사례에서 미루어 볼 때, LTE 핵심대역으로 활용 가능성이 높은 1.8GHz 대역에 LTE-R 대역을 배치할 가능성이 있을 것으로 예상된다.

국내의 경우 모바일 광개토 플랜에 따라 '13년까지 동 대역에서 70MHz 폭을 확보하는 방안을 추진 중에 있으며, 이의 일환으로 기존 공공 이용자의 회수·재배치 등을 통한 주파수 확보가 논의되고 있다. 그러나 1.8GHz 대역은 유럽을 중심으로 LTE 대역으로서의 선호도가 높아 모바일 브로드밴드용으로 활용될 가능성이 높아, 철도용으로

로 활용하기 위해서는 정책적인 결정이 필요한 상황이다. 또한 회수·재배치가 어려울 경우 기존 공공용과 지역적 공유를 통해 활용할 수 있는데, 이 경우 안정적인 통신성을 보장하기 위한 주파수 이용 및 망구축 등 관련 기술적 부담이 높아질 수 있다. 그리고 1GHz 이상의 비교적 고대역임에 따라 고속 이동에 따른 통신품질 유지 가능성에 대한 기술적 검토도 필요하다.

[그림 5] 1.8GHz 대역 이용 현황 및 후보대역

1710	1745		1785	1805		1840	1880MHz				
공공용, 35MHz		이동통신(↑), 40MHz				공공용, 35MHz		이동통신(↓), 40MHz			
		KT	SKT	5MHz	LGU+	5MHz	KT	SKT	LGU+	10MHz

(5) 2.1GHz 대역

2.1GHz 대역은 위성/지상 IMT용으로 분배된 대역이나 현재 국내에서는 미사용 중인 대역으로 확보가 용이하며, 모바일 광개토 플랜에서는 '13년까지 확보를 목표로 하고 있다. 동 대역은 현재 미표준 대역으로서 장비수급이 어려운 단점이 있고, 일본에서 위성망 활용을 위해 위성을 발사할 경우 전파간섭이 발생할 가능성이 있다. 표준화는 3GPP에서 '12년부터 시작해 '13년 중반에 완료될 전망임에 따라 표준화 이후 장비수급이 용이해질 것으로 보인다. 일본 위성망 간섭 이슈는 현재 위성 발사 계획이 확정되어 있지 않아 우리나라가 먼저 지상용으로 활용할 수 있을 것으로 예상된다.

[그림 6] 2.1GHz 대역 이용 현황 및 후보대역

1920		1980		2010	2110		2170	2200(MHz)
이동통신(↑), 60MHz			위성/지상 IMT(↑) 30MHz	...	이동통신(↓), 60MHz			위성/지상 IMT(↓) 30MHz
LGU+(10MHz)	SKT(30MHz)	KT(20MHz)			LGU+(10MHz)	SKT(30MHz)	KT(20MHz)	

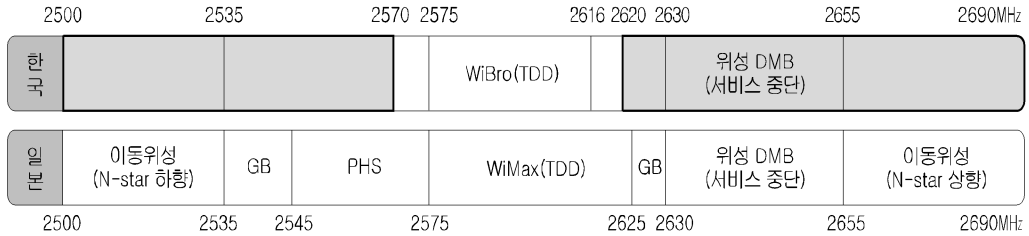
그러나 일본이 위성을 발사할 경우 전파간섭 방지를 위한 한·일 간 주파수 조정협상이 필요하며, 협상결과에 따라 구체적인 밴드플랜 및 이용가능 시점이 정해질 수 있을 것으로 보인다.

(6) 2.3/2.6GHz 대역

2.3GHz 대역의 경우 TDD 대역으로서 현재 WiBro용으로 활용되고 있으나, LTE 용으로도 사용 가능하다. 또한 최근 국제적으로 주요 WiMax 사업자의 TD-LTE로의 전환이 고려되고 있어 LTE 장비수급도 용이할 것으로 보인다. 2.6GHz 대역은 FDD/TDD 대역이 공존하는 대역으로 FDD의 경우 Band 7(2500~2570MHz/2620~2690MHz), TDD의 경우 Band 38(2570~2620MHz) 사용을 고려할 수 있다.

먼저, 2.3GHz 대역은 미할당 대역이 존재해 기존 사용자에 대한 회수재배치가 필요 없어 용이한 주파수 확보가 가능하다는 장점이 있다. 그러나 TDD 대역으로서 TDD 기술 사용에 따른 문제점(간섭에 대한 취약, 셀 커버리지 한계 등)에 대한 고려가 필요하며, 현재 WiBro용으로 사용 중인 대역으로 WiBro 정책과 연계한 검토가 필요하다. 2.6GHz 대역의 경우 위성 DMB 서비스 중단 등으로 주파수 확보를 위한 회수·재배치 부담이 적은 편이며, 유럽을 중심으로 Band 7대역을 이동통신용으로 할당하여 LTE 서비스에 사용(계획) 중임에 따라 장비수급이 용이하다는 장점이 있다. 이러한 이유로 모바일 광개토 플랜을 통해 모바일 브로드밴드용으로 '16년까지 동 대역에서 30MHz 폭을 확보하는 계획을 밝힌 바 있으나, 구체적인 대역은 정해지지 않은 상황이다. 그 이유는 2.6GHz 대역을 현재 일본이 위성 서비스용으로 사용하고 있어 국내에서 지상망 시스템을 사용할 경우 상호 간에 간섭 영향을 줄 우려가 있기 때문으로, 한·일 간 주파수 조정협의를 통해 가용 주파수 대역 및 사용 가능 시점이 구체화될 것으로 예상된다. 한편, 동 대역도 1GHz 이상의 여타 대역과 마찬가지로 고대역 이용에 따른 망구축 비용 증가, 고속이동체 지원 가능 여부에 대한 검토 필요 등에 관한 문제점을 수반한다.

[그림 7] 한·일 2.6GHz 대역 이용 현황 및 후보대역



IV. 결 론

철도 무선망으로 4G 등 광대역 기술을 적용할 경우 기존 음성 및 열차제어 기능뿐만 아니라, 고객 편의를 위한 다양한 서비스가 가능하다는 장점이 있어 최근 유럽을 중심으로 GSM-R 이후 차세대 철도 무선망에 대한 논의가 시작되었다. 또한 일부 국가에서는 4G 이동통신 기술을 이용한 철도 무선망 연구가 진행되고 있다.

현재 우리나라의 경우 철도용 무선통신은 음성통신용으로 국한되어 있을 뿐만 아니라, 통신 방식도 동일 노선 내에서 VHF, TRS 등 다양한 방식이 사용되고 있어 구간별로 단말기를 변경해야 하는 등 운영상의 비효율성이 존재하고 있다. 이에 우리나라는 국토해양부 등 관련 부처를 중심으로 광대역 이동통신 기술을 활용한 철도용 무선망 구축을 추진하고 있는데, 이와 같은 무선망을 통해 이미 유럽 등에서 운용 중에 있는 무선열차제어뿐만 아니라 음성, 영상, 데이터 등의 통합 서비스가 가능하다.

그러나 국제적으로 아직까지는 주파수 대역을 포함한 차세대 철도 무선망에 대한 논의가 활발하지 않은 상태이며, 국내에서 철도 무선망용 주파수를 선정하는 것은 다소 부담이 따르는 상황이다. 즉, 신규 주파수 대역 선정 시 규모의 경제를 고려해 국제 공통대역으로 선정하는 것이 바람직하나, GSM-R 이후 차세대 철도 무선망에 대한 논의가 현재 UIC에서 사용자의 요구사항을 논의하는 단계에 있으며, 기술방식도 일부 장비업체 등을 중심으로 LTE 방식의 철도적용 연구가 이루어지고 있어 아직은 초기 단계에 머무르고 있다고 할 수 있다.

따라서 국내 주파수 대역 선정 시 원활한 장비수급, 해외 시장 확대 및 망운용 편의성 등의 측면에 대한 종합적인 고려가 필요하며, 특히 전파특성, 표준대역 여부, 철도망 표준대역 선정 가능성, 회수재배치 등과 같은 확보 가능성에 대한 검토가 필요하다. 이와 관련하여 본고에서 이동통신 표준대역 등을 중심으로 철도 무선망용으로 고려할 수 있는 7개 후보대역을 검토한 결과 700MHz, 1.8GHz, 2.6GHz 대역이 적절한 대역으로 판단된다.

이러한 점에서 향후 주파수 대역 선정 시, 차세대 철도 무선망 기술 선점 및 해외 시장 확대를 고려할 때, 국제 표준화 단체 등을 통한 각국 규제기관 및 장비 제조업체 등을 대상으로 한 의견수렴 또는 의견일치가 필수적으로 선행되어야 한다. 그러나 최근 광대역 주파수 수요가 증가하고 있고, 국가별 주파수 이용 현황 및 정책 방향이 상이하여 단일 국제 공통대역의 선정은 현실적으로 불가능할 것으로 판단된다. GSM 대역의 인접대역을 사용한 GSM-R 경우 국제적으로 사용되는 표준대역을 사용해 국제적 조화가 용이했으나, 4G에 이르러서는 2G/3G와 달리 다양한 주파수 대역이 사용되는 파편화가 심화되는 경향을 보이고 있어 공통대역의 선정이 어려울 것으로 보인다. 따라서 각 지역별 또는 국가별 주파수 이용 현황 등을 반영해 지역에 따른 3~4개 대역이 활용될 가능성이 높을 것으로 예상된다.⁵⁾

망구축 방식에 있어 전용대역에 전용망을 구축할 경우, 주파수 이용 및 망구축 비용 측면에서 비효율성이 예상되므로 공용망 또는 전용망 및 공용망을 혼용하는 혼합망 사용에 대한 검토가 필요하다. 공용망이란, 특정 용도의 사용자가 아닌 다양한 이용자 또는 기관이 사용하는 망으로서 상업용 이동통신망 또는 공공기관이 공동으로 사용하는 망을 예로 들 수 있다. 공용망은 다수의 이용자(이용기관)가 사용하므로 주파수를 효율적으로 이용할 수 있고 망구축 비용을 절감할 수 있는 장점이 있으나, 모든 이용자(이용기관)의 요구사항을 만족시키기 어렵다는 단점이 있다. 따라서 공용망의 장점을 활용하되, 특정 요구사항에 대해서는 전용망(또는 전용대역)으로 보완하는 혼합망

5) ITU-R은 공공안전 및 재난구조(PPDR)용 대역으로 지역별로 대역을 권고(ITU-R(2003))

의 이용을 고려할 수 있다. 예를 들어, 인명·안전 등의 측면에서 중요성은 낮지만 광대역 폭이 소요되는 서비스의 경우 공용망을 활용함으로써 주파수 이용 효율성을 제고하거나, 트래픽 수요가 많지 않은 지역에 대해 공용망을 활용함으로써 망구축 비용을 절감하는 방안 등을 고려할 수 있다.

최근 광대역 서비스 확대에 따른 주파수 부족이 심화되고 있으며, 이용기관별 전용망 구축에 따른 중복투자 문제를 고려할 때, 전용망보다 공용망 또는 혼합망의 이용방안에 대해 보다 적극적으로 검토할 필요가 있는 것으로 판단된다. 특히 주파수 부족 문제는 국내뿐만이 아니라, 해외 주요국에서도 대두되고 있다는 점에서 국내에서 이를 해결하기 위한 방안으로서 공용망 또는 혼합망을 이용한 철도 무선망 모델을 제시할 경우 해외 진출 시 유리한 요소로 작용할 가능성이 큰 것으로 판단된다.

참고문헌

- 김경희 외 (2012), “철도전용 통합무선망 활용방안 연구”, 《2012년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집》.
- 김사혁 (2012), “철도 통합무선망 해외사례 및 시사점”, 《철도전용통합무선망 구축 방안 정책 세미나 자료집》.
- 방송통신위원회 (2011), “모바일 광개토플랜 정책방안”, 《2011 전파산업 진흥주간 자료집》.
- _____ (2012. 1. 20), “보도자료-방통위, 모바일 광개토플랜 의결”.
- 이상윤 외 (2012), “차세대 철도무선망용 주파수 분배를 위한 고려사항”, 《한국통신학회 하계학술대회 논문집》.
- 정민우 외 (2012), “무선통신 기반 열차제어시스템 기술동향”, 《전자통신동향분석》, 27(2), pp.41~50.
- 최준영 외 (2012), “철도전용 통합무선망 국내외 동향”, 《2012년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집》.

- Aguado, M. et al. (2011). “4G Communication technologies for train to ground communication services: LTE versus WiMax, a simulation study”. in *Proc. of 9th World Congress of Railway Research*. May.
- Andre, O. (2010). “LTE and its applications in railways”. in *Proc. of Network and the Economy*. Nov.
- ECC (2011). *Report 162: Practical mechanism to improve the compatibility between GSM-R and public mobile networks and guidance on practical coordination*. May.
- ITU-R (2003). *Resolution 646: Public protection and disaster relief*, WRC-03.
- Kapsch Group (2010). “GSM for Railways”. May.
- Kuti, D (2012). “Rail network solutions 2012: The future of interoperable railway communications”. Feb.
- Spaans, C. (2012). “The future of Railway Mobile Communications”. in *Proc. of Workshop Broadband Critical Communication*, Barcelona. Feb.
- UIC (2011). “Interferences into GSM-R due to public mobile radio networks”. Mar.
- Yoon, B, et al. (2011). “Bandwidth estimation for radio based train control and communication system”. in *Proc. of The 2011 International Conference on Wireless Networks*.