creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265202

2016年 2月
碩士學位論文

LTE-R網 基盤 次世代 鐵道 統合 無線網 構築에 關한 硏究

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

林 東 春

2016年 2月 碩士學位論文 LTE-R網 基盤 次世代 鐵道 統合 無線網 構築에 關한 硏究 林東春

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LTE-R網 基盤 次世代 鐵道 統合 無線網 構築에 關한 硏究

An Investigation on Construction of Next-Generation Railway Wireless Convergence Network by LTE-R Network

2016年 2月 25日

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

林 東 春

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LTE-R網 基盤 次世代 鐵道 統合 無線網 構築에 關한 硏究

指 導 敎 授　　金　南　勳

이 論文을 工學 碩士學位 申請論文으로 提出함.

2015年 10月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

電氣技術融合工學科

林 東 春

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

林東春의 碩士學位 論文을 認准함

委員長 朝鮮大學校 敎授 曺錦澔 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 金喆準 印

委 員 朝鮮大學校 敎授 金南勳 印

2015年 11月

朝鮮大學校 産業技術融合大學院

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Ⅰ. 서 론 · 1

Ⅱ. 이 론 · 2

A. 철도 무선망 기술 분석 ---------- 2

1. VHF ---------- 3

2. TRS ---------- 4

3. 철도 무선망의 문제점 분석 ---------- 8

B. 해외 철도 무선망 기술 분석 ---------- 10

1. 대만 고속철도 열차무선시스템 ---------- 11

2. 유럽철도 열차무선시스템 ---------- 12

Ⅲ. LTE-R망 기반 철도 무선망 기술 · · · · · · 16

A. LTE-R망 기반 철도 무선망 기술 분석 ---------- 16

1. LTE-R 특징 ---------- 16

2. LTE-R 기본 구성 ---------- 17

B. LTE-R 기반 철도 무선망 기술 적용 ---------- 21

1. 철도 무선망 기술 여건의 진화 및 환경 변화 ---------- 21

2. LTE-R 적용 필요성 ---------- 21

3. LTE-R 기반 철도 무선망 기술적 요구사항 ---------- 22

Ⅳ. LTE-R기반 철도 무선망 구축 방안 · · · · 24

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

A. LTE-R기반 철도 무선망 서비스 구축 효율화 ------- 24
1. LTE-R기반 철도 무선망 구축 설계 원칙 ---------- 24
2. LTE-R기반 Voice 서비스 구현 방안 ---------- 26
3. LTE-R기반 Data 통신 구현 방안 ---------- 28
4. LTE-R망 핸드오버 관리 방안 ---------- 31
B. LTE-R기반 철도 무선망 시스템 구축 효율화 ------- 33
1. LTE-R망 지상 구간 구축 방안 ---------- 33
2. LTE-R망 차상 시스템 구성 방안 ---------- 35

V. 결 론 · 37

참고문헌

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Tables

Table 1. Current state of use with a different channels in VHF · · · · · 3
Table 2. Operating state of TRS system in a high-speed railroad · · · · 4
Table 3. Comparison of ASTRO/TETRA TRS · · · · · · · · · · · · · · 7
Table 4. State and characteristics of railway wireless communication network in foreign countries · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 10
Table 5. Standard of TETRA in Taiwan · · · · · · · · · · · · · · · · · 11
Table 6. Standard of GSM-R in Europe · · · · · · · · · · · · · · · · · · · 15
Table 7. Technical specification of LTE-R · · · · · · · · · · · · · · · · 17
Table 8. Function requirements of railway communication system based of LTE-R · 22
Table 9. Performance requirement of railway communication system based of LTE-R · 23

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

List of Figures

Fig 1. Condition evolution of railway wireless communication technology · · · 2
Fig 2. Organization of TRS-ASTRO system in a high-speed railroad · · · 5
Fig 3. Organization of TRS-TETRA system in a high-speed railroad · · · 6
Fig 4. Concept of ERTMS · · · 12
Fig 5. Definition of ETCS: (a) Level 1, (b), Level 2, (c) Level 3 · · · 13
Fig 6. Conceptional drawing of LTE-R · · · 18
Fig 7. Block diagram of railway wireless communication network based on LTE-R · · · 18
Fig 8. LTE-R solution of Nokia Siemens Co. · · · 19
Fig 9. LTE-R solution of Huawei Co. · · · 20
Fig 10. LTE-R solution of Alcatel-Lucent Co. · · · 20
Fig. 11. Network block diagram of circuit switch (CS) fallback service · · · 26
Fig. 12. LTE features for supporting railway services: Voice service provision in LTE networks · · · 27
Fig. 13. Voice communication in LTE-R networks · · · 28
Fig. 14. Interworking protocol of GSM and LTE-R netwroks: control plane and user plane · · · 29
Fig. 15. LTE + EPC network elements and function · · · 30
Fig. 16. Bi-casting communication structures in high-speed train · · · 31
Fig. 17. Example of data path swtching scheme · · · 32
Fig. 18. Example of data packet forwarding scheme · · · 32

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 19. Ground components of LTE-R nework for Daebul-line · · · · 34
Fig. 20. Copy mode of optical repeater · · · · · · · · · · · · · · · · · · 35
Fig. 21. On board (train) equipment of LTE-R · · · · · · · · · · · · · · 36
Fig. 22. Software structure of TLCS · 36

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

An Investigation on Construction of Next-Generation Railway Wireless Convergence Network by LTE-R Network

Lim, Dong-Choon
Advisor: Prof. Kim, Nam-Hoon, Ph. D.
Department of Electrical Technology Convergence Engineering,
Graduate School of Industry Technology Convergence,
Chosun University

An increase of data traffic is required for a higher reliability of the communication system with a safety of passengers and trains. Global system for mobile communication-railway (GSM-R) network has been considerd as the most widely used commercial wireless network in the world. In case of the Korean railway wireless network, there is a critical problems in the simutaneous use of various wireless network systems, such as very high frequency (VHF), trunked radio system-ASTRO (TRS-ASTRO), terrestrial trunked radio (TRS-TETRA). A long term evoloution-railway (LTE-R) wireless communication based systems was recently introduced to overcome the limitations and problems of the conventional railway communication system in the operation and the maintenance.

This investigation reviewed some problems of domestic railway wireless network and latest technologies. This thesis also suggested several efficient gradual establishment methods of railway wireless convergence network based on LTE-R network for interworking with the conventional GSM-R network. The proposed suggestions in this thesis would realize the optimum construction of the next-generation railway wireless convergence network based on LTE-R network.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅰ. 서 론

철도 무선통신은 고속 이동 환경에서 신속성, 정확성, 안정성을 목표로 철도 운행 안전 및 유지 보수의 효율성 증진을 위한 시스템이다.[1] 호남고속철도 개통과 함께 고속철도의 광대역화가 실현되었고, 이에 따라 ICT 기술이 접목된 고신뢰도 차세대 철도 무선통신망의 도입이 요구되고 있다. 차세대 철도 무선통신망은 사고의 신속 대응뿐만 아니라 사고에 대한 예방 기능으로 대형 철도 사고 또는 테러 등에 대비한 철도 보안과 안전성의 강화, 열차 정시성 향상 및 고객 서비스의 고품질화 등을 위해 필수적이다.

하지만 현재 국내 철도 무선망은 기관사가 VHF(very high frequency), TRS-ASTRO™(trunked radio system-ASTRO™), TRS-TETRA(trunked radio system-terrestrial trunked radio)의 3개가 혼재되어 이용되는 비효율적인 운영이 발생한다. 상이한 통신망에 따라 노선 연계가 불가능하고, 철도 무선 통신 시스템 사이의 단절 및 불통 현상, 철도 무선 통신 시스템과 기존 상용망의 주파수 간섭과 혼신 등에 따른 철도 사고 발생 위험이 존재하기 때문에 하나로 통합된 차세대 철도 무선망의 필요성이 요구되고 있다.[2] 따라서 2012년 국내에서 차세대 무선 통신 시스템으로 LTE-R(long term evolution-railway)로 확정 되었고, 음성뿐만 아니라 영상 정보 전송까지 모두 지원하도록 2013년에 완료되어 대불선에 시험선이 운영 중에 있다.

본 논문에서는 차세대 철도 무선망을 구축하기 위하여 현재 철도 무선 통신망에 대한 기술 및 문제점을 분석하고, 해외 철도 무선망에 대한 구축 사례를 조사한다. LTE-R을 기반으로 한 차세대 철도 무선망의 기술 및 구축시 요구되는 지상 설비 및 차상 설비, 요구 사항을 분석한다. LTE-R을 기반으로 한 차세대 철도 무선망의 효율적 구축 방안을 연구하고, 그에 따른 문제점 및 대책을 연구하고자 한다. 본 논문을 통하여 서로 다른 기반으로 운영하던 철도 통신망을 하나의 시스템으로 통합하는 것에 기여하고자 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅱ. 이 론

A. 철도 무선망 기술 분석

정보통신정책연구원(KISDI)은「방송통신정책」에서 철도 무선 통신망의 구축과 관련한 국내외 현황과 문제점을 분석하고, 효율적인 철도 전용 통합 무선망 구축을 추진하기 위한 주요 시사점을 제시했다.[3]

1) 혼재된 철도 무선 통신의 구축에 따른 비효율적 열차 운행이 야기된다.
2) 기존 VHF 철도 무선 통신의 대부분은 내용 연수가 근접해 철도 무선 통신망 발전에 부적절한 VHF를 계속적으로 투자해야 하는지에 대한 면밀한 검토가 필요하다.
3) 현재의 제어 장비 및 통신 설비에 대한 핵심 설비와 기술은 전량 국산화가 이뤄지지 않아 산업 및 정책적으로 개선이 필요하다.
4) 국내 철도 무선 통신 시스템의 안전 기능이 부족하다.
5) 철도의 낮은 여객 및 화물 수송 분담률 문제로 중국, 미국, 유럽 등에 비해 철도 구축 거리에 대비한 화물 수송량이 낮은 수준이다.

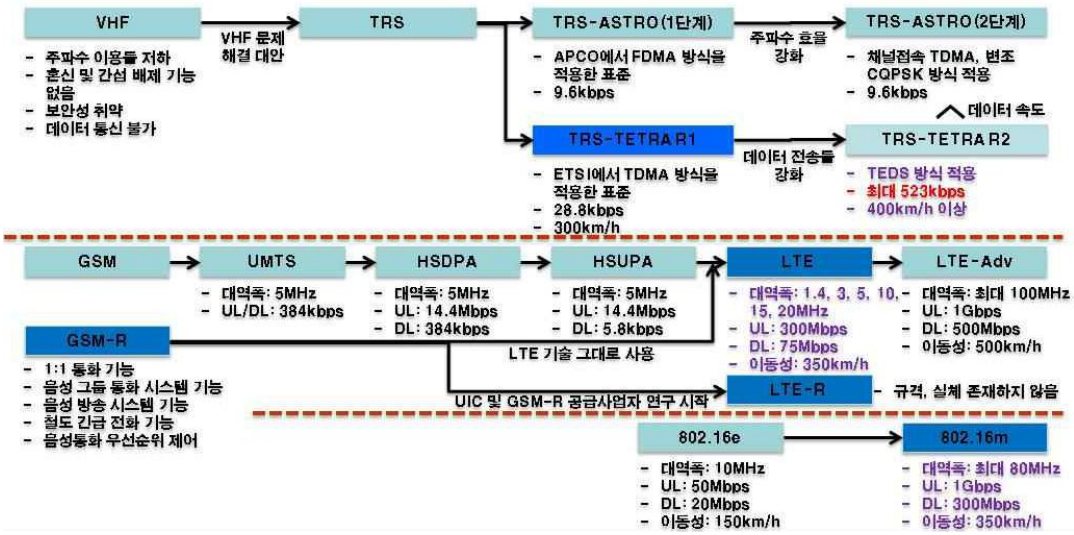


Fig. 1. Condition evolution of railway wireless communication technology [3]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. VHF

일반철도에서 운영 중인 VHF는 음성통화만 실시하고 데이터 통신이 불가능하며, 관제실, 기지국과 차량의 열차 승무원간 또는 휴대국 상호간의 통신을 하는 설비이다. 국내에서는 153Mhz 대역 point-to-point 통신 방식을 사용하고 있다. 기존의 VHF 통화 방식은 4채널을 채널간격 12.5kHz의 협대역 방식으로 사용하고 있다.

VHF 방식의 1채널은 전 구간에서 모든 무선국 상호간의 일반통화(관제 제외), 2채널은 전 구간에서 모든 무선국 상호간의 비상통화에 할당되었다. 3채널은 각 본부 관내에서 관제 및 열차 통신을 위한 관제통화, 4채널은 3채널과 지하철 관내에서 관제와 열차 통신을 위하여 할당 되었다.

Table 1. Current state of use with a different channels in VHF

통화종류	사용채널	사용구간	통신상대방
일반통화	CH 1	전 구간	관제를 제외한 모든 무선국
비상통화	CH 2	전 구간	모든 무선국
관제통화	CH 3	각 본부 관내	관제와 열차
	CH 4	지하철관내	관제와 열차
작업통화	CH 3,4 (운전/작업)	통신가능 구역	무선국 상호
	CH 2,3,4 (입환)	입환작업장	작업장 내 무선국

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

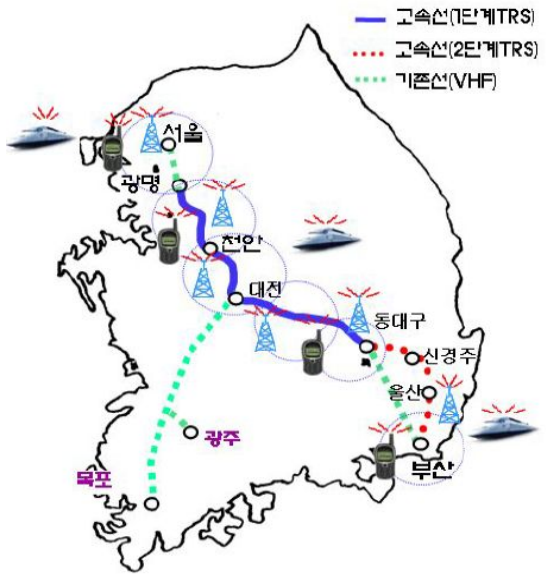
2. TRS

고속철도 구간은 2004년 경부고속선 도입 시점에서 표 2와 같이 1단계 고속철 구간은 TRS-ASTRO 방식을 사용하고, 2단계 구간과 호남선 구간, 수서-평택 구간을 TRS-TETRA 방식을 구축하여 운영하고 있다.

Table 2. Operating state of TRS system in a high-speed railroad

구분			VHF	TRS-ASTRO	TRS-TETRA
경부고속	1단계	서울-광명	◎		
		광명-대전		◎	
		대전 도심	◎		
		대전-동대구		◎	
		대구 도심	◎		
	2단계	동대구-부산			◎
호남고속		오송-광주			◎
		광주-목포	◎		
수도권고속		수서-평택			◎

열차무선시스템 계통도



Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2-1. TRS-ASTRO

APCO-25 표준을 사용하는 TRS-ASTRO 시스템은 고속철도 1단계 구간에 서비스 되며, FDMA(Frequency Division Multiple Access)를 다중접속으로 하는 시스템으로 핸드오버 및 주파수 재사용 등을 위하여 6개의 Subsystem으로 구분하여 운용중이다.

수신 806~811MHz 및 송신 851~856MHz를 사용하여 송·수신 주파수 간격은 45MHz로 21개 주파수를 Subsystem 단위로 구분하여 재사용하며, 5개의 음성채널과 열차의 고장정보 전송 및 열차제어를 위한 데이터 채널을 1개 운용한다.

- 중앙제어센터설비
- 중계기지국 장치(RS35개소)
- 난청해소설비(MU:28, RU:43, BDA:143)
- 차상설비
- 역용 무전기
- 휴대용 무전기

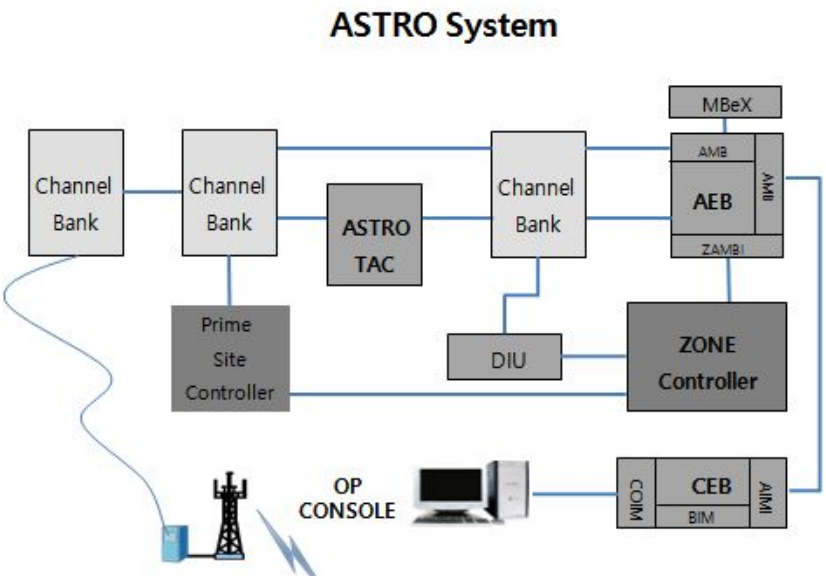


Fig 2. Organization of TRS-ASTRO system in a high-speed railroad

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2-2. TRS-TETRA

TRS-TETRA System은 고속철도 2단계 구간 및 호남선, 수서-평택 구간에 서비스되며, TDMA(Time Division Multiple Access)를 다중접속으로 하는 시스템으로 각 기지국마다 주파수를 달리하여 서비스 되고, 국가 통합망인 소방, 경찰 망에 인터페이스 되어 협약을 통해 상호 채널을 공유하여 운용한다.

경부2단계, 호남선, 수서-평택선에 운용되는 TETRA 시스템은 수신 806~811MHz 및 송신 851~856MHz를 사용하여 할당된 30개의 주파수 자원을 간섭을 고려한 할당과 4개의 주파수 Set을 이용하여 주파수를 재활용하여 기지국 단위 핸드오버 설계를 하였다. 시스템 용량은 동시 통화 및 열차 고정정보 전송 과 열차제어를 위해 12개의 음성, 데이터 채널을 상황에 맞게 운용 중이다.

- 중앙제어센터설비(주/예비운용)
- 중계기지국 장치(RS39개소)
- 난청해소설비(MU:59, RU:155, BDA:452)
- 차상설비
- 역용 무전기
- 휴대용 무전기

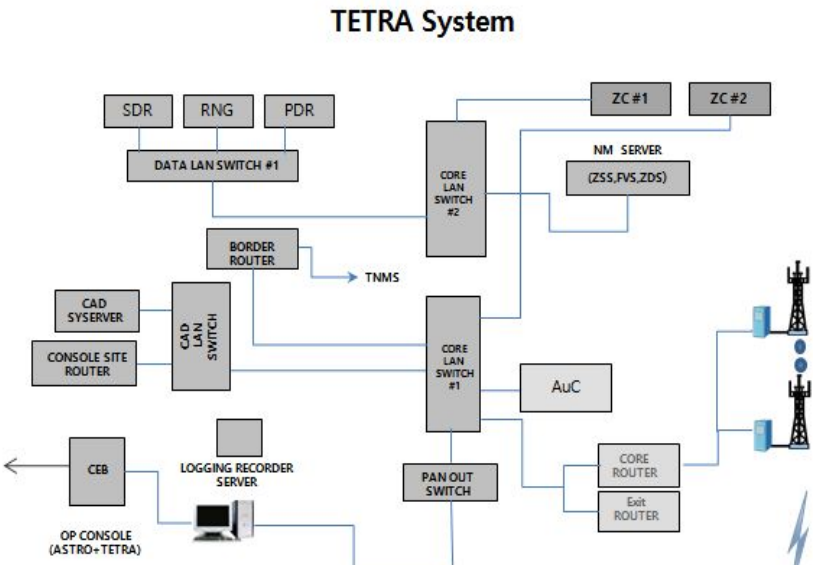


Fig 3. Organization of TRS-TETRA system in a high-speed railroad

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2-3. TRS 시스템 비교

국내 고속선에 사용하는 TRS 철도 무선통신은 ASTRO/TETRA 시스템이 구간을 달리하여 운용중이며, APCO-25 표준을 따르는 ASTRO 시스템은 FDMA 다중접속을 통해 주파수 사용 효율은 TETRA시스템에 비해 떨어지나 채널 점유를 통해 음성과 데이터를 서비스함으로 안정적인 철도 무선통신 서비스를 가능하게 한다.

Table 3. Comparison of ASTRO/TETRA TRS

항목	ASTRO	TETRA
기술방식/ 표준기관	APCO Project 25	TETRA/ETSI
사용주파수	806~856MHz	806~856MHz
접속방식	FDMA	TDMA
전파형식	20k0FIE,D	23k0D7W
채널대역폭	25kHz	25kHz
송수신 주파수 간격	45MHz	45MHz
변조방식	C4FM	π/4 DQPSK
전송속도	9.6kbps	28.8kbps
데이터시스템	별도 분리 사용	음성 및 데이터 동일 시스템 사용
채널 수	음성 5 ch 데이터 1 ch	음성+데이터 12 ch
핸드오버	Subsystem 단위	기지국 단위

TETRA 시스템은 유럽 TETRA 표준을 따르며, 4:1의 채널 활용성을 제공하여 기술적으로 타 무선 통신 기술과 비교할 때에 주파수 효율성이 뛰어나고, 1대1, 1대다수 통화뿐만 아니라 긴급 통화, 우선 순위 통화, 통화 내용 녹음, 동적 그룹 설정 기능 등의 특수 목적용 음성 기반 부가 서비스를 다양하게 제공

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

한다. 또한 통화 품질도 우수하기 때문에 안전성 및 신뢰성을 최우선 기준으로 설정하는 철도 무선 통신망에서의 활용 가치가 높다.[3] 하지만 경부1단계구간에 비해 상대적으로 많은 핸드오버로 인해 300Km/h이상의 속도로 운행하는 KTX에 열차무선 서비스를 제공하기 위해 망 설계의 고려와 충분한 최적화를 통해 열차무선 서비스가 제공되어야 한다.

3. 철도 무선망의 문제점 분석

현재 철도 무선망은 일반철도 및 광역철도는 VHF 방식으로 운영되고 있고, 경부고속철도 1단계 구간은 고속 주행(시속 350km)에도 통화의 연속성을 보장할 수 있도록 FDMA 방식의 TRS-ASTRO 시스템을 구축하여 운영하고 있다. 한편 경부고속철도 2단계 구간은 소방방재청의 국가통합지휘 무선 통신망과의 연동을 위해 TRS-TETRA(850MHz 대역) 시스템을 도입하여 운영하고 있다.

철도 차량에는 위험 상황 발생 시 무선 통신(400MHz 대역)으로 2~4km 인근 열차에 위급 상황을 알려주는 열차 무선 방호 설비를 운영하고 있다. 또한 대구지하철 화재 사건을 계기로 철도 운영 및 시설 기관에서는 무선 통신(18GHz 대역)을 할당받아 지상과 차상 사이에 무선으로 영상 데이터를 송수신하는 승강장 무선 영상 전송 설비를 구축하여, 승강장 및 열차의 객실을 실시간으로 감시함으로써 승객의 안전을 제고하고 있다. 용인경전철, 김해경전철 및 신분당선의 경우 ISM 밴드(2.4GHz 대역)를 이용하여 궤도 회로가 아닌 무선 통신 기반의 열차 제어 시스템을 운영하고 있다. 따라서 열차 안전 운행 강화와 철도 운영 서비스 고도화를 목적으로 국내 철도 무선 통신은 혼재되어 있는 무선 방식의 일원화 및 전용 주파수 확보가 시급하게 요구되고 있는 실정이다.

또한, VHF와 TRS시스템 간의 상호보완 및 차세대 철도 통신망 구축 시 혼용되어 사용되어 지고 있는 시스템 간의 통합이 문제점으로 떠오르고 있다. 이기종 철도 무선 통신을 시간 및 구간에 따라 운행하는 KTX는 통신 방식이 VHF, TRS-ASTRO, TRS-TETRA 등으로 열차 위치에 따라 변경되면서, KTX 기장은 경부고속선 서울에서 부산까지 운행 시 무전기 6회 전환, 열차승무팀장은 구간별로 휴대용무전기 3대를 운용 중이기 때문에 철도 무선 통신 이

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

용에 비효율성이 제기 되고 있다.

국내 철도 안전과 관련한 무선 통신 방식은 기존선, 고속선 구간에 따라 상이한 통신 방식을 사용하여 비효율적으로 운용되고 있으며, 기관사 및 승무원, 철도 무선 통신 이용자의 철도 무선 통신 이용에 혼선을 초래할 수 있어 대형 철도 사고 및 테러 등에 대한 철도 보안과 안전성 강화 및 고품질 여객서비스에 대한 고객 요구 만족에 문제점이 있다. 또한 향후 원강선에 LTE-R이 서비스가 된다면 승무원은 4가지(VHF, TRS-ASTRO, TRS-TETRA, LTE-R) 터미널을 동시에 운용하게 되어 비효율성은 더욱 커질 것이다.

- 상이한 철도 무선 통신 시스템 이용으로 터미널 운용 복잡
- 열차무선 이용 혼선 발생으로 업무 혼선
- 철도 사고 발생 및 운행 중단 위험 상존
- 무선통신 사용자의 혼선
- 비상상황 시 열차방송 이용의 신속한 대응 부재

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. 해외 철도 무선망 기술 분석

해외 철도 무선 통신망의 정책과 인프라 현황을 아시아, 미주, 유럽 등으로 구분하여 분석한 결과는 표 4와 같다.

Table 4. State and characteristics of railway wireless communication network in foreign countries [3]

구분	제어	통신	주파수	특징
유럽	ETCS Level 2	GSM-R	800 MHz	• 2015년까지 GSM-R이 핵심 노선에 의무 구축될 예정이며(기존 망 업그레이드 포함), 2020년까지 40,000Km에 도입 전망 • 영국: RSSB가 2020년까지 LTE-R 도입을 전망하며, 멀티 기술의 도입을 제안 • 스페인: LTE-R 개발 협력 추진 • 프랑스: PPP 방식 활용한 GSM-R 구축
중국	CTCS-3	GSM-R	900 MHz	• 2002년 GSM-R을 무선통신기술로 채택하고 CTCS 개발을 시작 • 2005년 화웨이 장비를 통해 GSM-R을 대진철도에 처음 구축 운영 • 고속철도에서의 LTE 기술 도입이 장비업자를 중심으로 검토 중
인도	ETCS Level 2	GSM-R	900 MHz	• 1 Indian 1 ATC 정책에 따라 2020년까지 GSM-R로 통합 예상
대만	D-ATC (유선)	TETRA	400 MHz	• 철도무선망을 TETRA로 구축한 최초의 사례 • 청화텔레콤이 고속철도에서 LTE 운영을 시험 검증
일본	ATACS	별도	400 MHz	• 동일본철도에 의해 2011년부터 도시형 철도에 적용되어 운행 시작 • 개발에서 기본 기능 운행까지 약 17년이 소요됨
사우디	ETCS Level 2	GSM-R		• 총 2,400km에 달하는 North-South 철도 프로젝트에 GSM-R 방식 채택
미국	PTC	별도	200 MHz	• 의무도입이 2015년까지 법제화 되었으나 기술 검증 등의 문제로 지연 예상 • 캘리포니아 고속철도 프로젝트는 다양한 주파수 후보군 및 기술 방식을 검토한 후 GSM-R 기반 ETCS Level 2를 선정하고 700MHz 대역 확보 추진
브라질	ETCS Level 2	GSM-R		• GSM-R 기반 ETCS Level 2를 고속철도 도입 결정, 구체적인 주파수 확보는 확인된 바 없음

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

1. 대만 고속철도 열차무선시스템

대만고속철도(THSR, Taiwan High Speed Rail)는 TRS-TETRA 방식을 고속 철도 무선 통신 시스템에 처음으로 채택하여 고속 철도 운영과 유지 보수 요원 사이에 음성 및 데이터 전송 및 제어 센타와 고속 철도 간 통신에 도입할 계획으로 2007년 3월 개통하여 운행 중에 있다.

대만고속철도는 380~400MHz 대역의 TETRA 시스템을 기반으로 CAD(computer aided dispatching) 및 trainborne subsystems, 무선 통신 시스템, 터널과 역사 내부 커버리지 확보 시스템, 안테나 및 UPS 등으로 철도 무선 지령 시스템을 구축하고 있다. 2002년 11월 Motorola이 구축 사업자로 선정되었으며, 2004년 11월 시험 철도망에서 검증이 이루어졌고, 주 선로 무선시스템에 대해서 2005년 12월에 개별테스트를 완료하였으며, 시속 315km의 속도에서 이루어졌다. 역사, 선로 및 차량 내 통신에서 TRS-TETRA 방식이 제공하는 기본 무선 통신 서비스가 이루어지며, 시설, 차량, 사고 통제 등에 적용되는 데이터 전송 시스템도 사용되고 있다.[3]

대만고속철도의 사례는 TETRA를 통해 음성 및 데이터 무선 통신 외에도 다양한 철도 응용 서비스가 제공될 수 있음을 확인할 수 있는 실증 사례를 제공하고 있다.

Table 5. Standard of TETRA in Taiwan

항목	TETRA
기술방식/표준기관	TETRA
사용주파수	390~400MHz(송신) 380~390MHz(수신)
송/수신주파수 이격	10MHz
채널대역폭	25KHz
접속방식	TDMA
핸드오버	기지국 단위

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 유럽철도 열차무선시스템

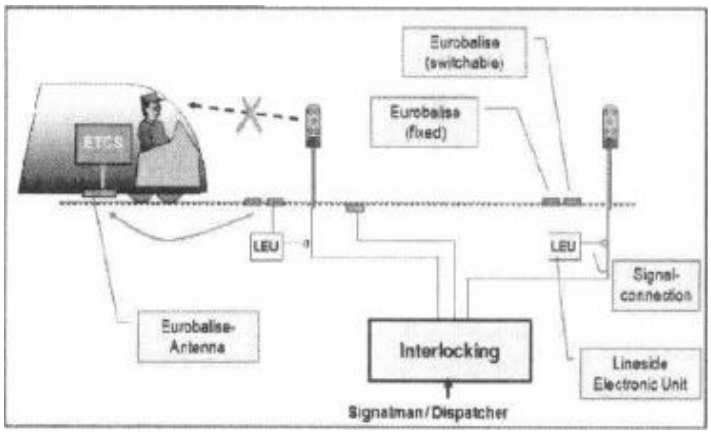
GSM-R(Global Standard for Mobile communications - Railway)은 철도통신 및 응용을 위한 국제적 무선 통신이다. 유럽 철도 교통 관리 시스템(ERTMS, European railway traffic management system)의 ETCS(European train control system) 등의 하위 시스템(subsystem)은 차량과 선로, 통제 센터 사이에서 통신을 위해 사용되어 진다. 이 시스템은 통신 손실 없이 시속 500km[310mph]까지의 속도 성능을 보장하는 GSM과 EIRENE-MORANE 사양서에 기반을 두고 있다.

- 자동 열차 제어/ETCS 및 ERTMS 등 제어 및 보호
- 기관사와 관제센터와의 통신
- 승무원과의 통신
- ETSC를 위한 정보 전송
- 열차역, 철도조차장 및 궤도 사이에서의 통신

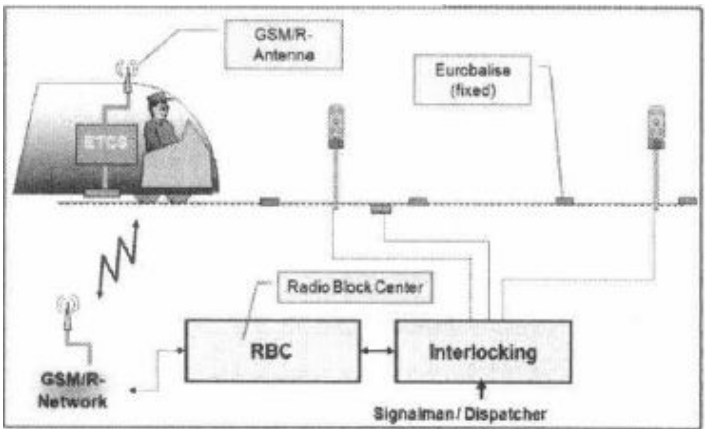
Fig. 4. Concept of ERTMS

Collection @ chosun

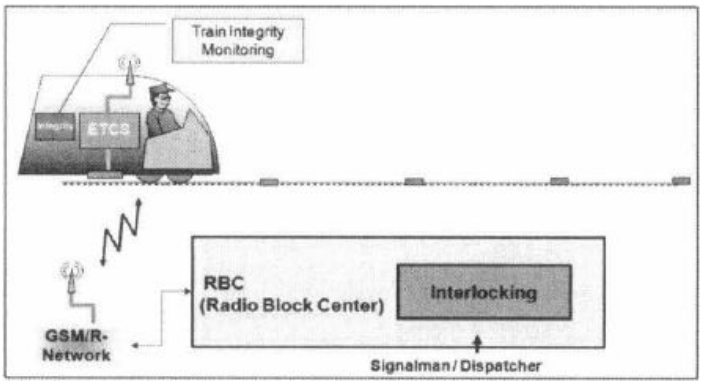
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. Definition of ETCS: (a) Level 1, (b), Level 2, (c) Level 3 [4]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ETCS 레벨 1은 고정 폐색 원리에 의하여 점유된 고정 폐색의 종단까지 이동 권한이 부여되는 차상 거리 연산 기능 방식이다. 열차 정보 전송 및 위치 검지를 위해 유로발리스를 사용하며, 폐색 구간 길이, 곡선 반경, 선로 구배, 정거장 위치, 분기기, 선행 열차의 위치와 속도 등을 전송한다. 기존에 궤도 회로 방식에서 주로 사용하던 선로 비점유 인식의 적용을 통하여 열차 위치를 조사하고, 고정 폐색을 활용하여 열차 사이의 안전 간격을 확보한다. 기타 통신 장비나 유로루프를 추가 설치하여 해당 유로발리스에 열차의 도착 전 신호현시 변화정보를 수신해 열차를 제어하게 된다.[2]

ETCS 레벨 2는 열차와 RBC(radio block center)간에 GSM-R 무선 통신을 사용하여 데이터 교환을 통해 양방향 열차 제어를 가능하게 하며, 유로발리스는 열차 위치 확인의 목적으로 한정하여 열차의 제한 속도를 감시하게 된다. 연동 장치는 열차 진로를 제어하는 대상의 상태를 무선 폐색 센터에 보고하고, 무선 폐색 센터는 구역의 다른 열차 간의 적절 한 이동 권한을 생성한다. 레벨 2는 선로변 신호기의 필요성이 없지만, 선로 점유 인식 설비를 갖춘 기존 폐색 제어기를 설치하여야 한다. ECTS 레벨 3는 차상 신호 장치로부터 RBC가 수신한 열차의 위치 및 상태 정보를 바탕으로 선로 점유 상태를 파악하고 중앙 제어에 의해 열차 간 안전 간격을 확보한다. 이 때 열차의 지상 검지 장치를 사용하지 않고 GSM-R과 유로발리스를 통해서만 데이터를 교환하며, 이동 폐색 방식을 통해 열차 사이의 간격을 감소시킴으로써 단위 구간 안에 더 많은 차량을 운행하게 함으로써 수송 용량 증대가 가능해진다.[2]

레벨 3는 레벨 2와 동일하게 양방향으로 열차 제어를 하며, 열차의 지리적 기준점으로 유로발리스가 사용되는 점은 레벨 1, 2와 동일하다. 하지만 완벽한 무선 통신을 사용하여 MBS(moving block system) 방식으로 선행 열차의 후방 종단까지 이동 권한이 부여되며, 기존 레벨 1, 2 방식과의 차이점은 궤도 회로가 불필요한 것이다. 하지만 아직 개발 단계이기 때문에 상용화에는 시간이 소요될 예정이다.[2]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 6. Standard of GSM-R in Europe

항목	GSM-R
기술방식/ 표준기관	3GPP TS 05.05 V8.20.0(2005-11)
사용주파수	876~880MHz(uplink) 921~925MHz(down link)
채널대역폭	200KHz
변조방식	GMSK(Gaussian Minimum Shift Keying)
접속방식	TDMA
핸드오버	기지국 단위

현재 철도 운영 환경 하에서 고속 데이터 전송은 타 시스템으로 보완하여 접근하고 있으며, 승객 서비스 등도 Wi-Fi와 상용망 등을 통하여 일부 이용 가능하기 때문에 철도 전용 통합 무선망의 고속 데이터 전송의 필요성이 현재 크게 부각되지 않고 있다. 따라서 전 세계적으로 상당 기간 철도 전용 통합 무선망으로 GSM-R이 활용될 것으로 전망되고 있으며, 주파수 효율성 문제를 해결하기 위해서 GPRS(general paacket radio service) 기술을 활용하여 GSM-R 기술을 보완하려는 'ETCS over GPRS' 움직임이 있다. 현재 ETCS Level 2는 열차와 제어 센터 간에 신호 및 제어 정보를 GSM-R 기반 회선 스위치 데이터를 사용하여 전송하고 있지만, 연결 기반의 회선 스위치 데이터는 혼잡한 철도 허브에서 적절한 수준의 우선권 및 음성/데이터 서비스의 동시 이용이 가능할 수 있도록 보장하지 못하는 단점이 있다.[3]

한편 스페인 국토개발부 산하 철도 인프라 관리 담당 국영기업인 ADIF (Administrador de Infrastructures Ferroviarias)는 Alcatel-Lucent사와 말라가주 철도기술센터에서 LTE-R 성능향상 및 표준화 연구, GSM-R over a single converged IP-MPLS 시험을 통한 보안성 향상, 승객 통신서비스 향상을 위한 통합 솔루션 연구 등을 수행하기로 하였다.[5]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅲ. LTE-R망 기반 철도 무선망 기술

A. LTE-R망 기반 철도 무선망 기술 분석

국내에서는 철도 전용 주파수의 확보 없이 노선마다 다른 방식으로 운용되고 있기 때문에 노선 간의 연계 운영이 불가능하다. VHF는 1세대 통신 방식으로 영상 정보 제공, 열차 신호 제어가 불가능하고 음성 통화만 가능하며, TRS는 2세대 통신 방식으로서 음성 정보 및 단문 데이터의 전송만을 지원하기 때문에 서비스 영역이 제한적이며, 노후 장비 수급의 애로사항, 과다한 장비 설치비 및 유지 보수비 등으로 새로운 무선 통신망의 도입이 요구된다. 새로운 무선 통신망으로 향후 기술 개발에 대한 논의가 활발히 진행되고 있는 LTE-R을 중심으로 기술 현황을 분석한다.

1. LTE-R 특징

철도에서 사용 중인 VHF, TRS(ASTRO, TETRA) 기술은 승객 서비스, 무선 영상 정보 등 고도화된 철도 서비스를 수용할 수 없는 한계를 가지고 있으므로 LTE-R 기반의 차세대 철도 무선망 구축이 대두되고 있다. LTE-R은 350km/h 이상의 고속 이동 시에도 자유롭게 활용이 가능하고, GSM-R에서 구현된 기능들도 동일 계열인 LTE-R에서 원활하게 수용될 가능성이 높다.

- 정보화 시대 사용자는 유선 광대역 네트워크와 동일한 멀티미디어 서비스를 요구
- 스마트폰 확산과 더불어 다양한 멀티미디어 서비스 제공 요구
- 대용량의 데이터 처리 기반 무선 인프라 요구
- 기하급수적으로 늘어나는 무선 데이터 트래픽의 부하 문제점 대안으로 선택
- 3차원 영상, 초고화질(HD/UHD급), 모바일 개인방송 등 서비스 요구
- 클라우딩 컴퓨팅 서비스기반 성공적인 요소로서 LTE-R 기술 선택, 실시간 기반 대용량 이동서비스 가능

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 7. Technical specification of LTE-R [6]

항목		구체적 사양
최대전송속도	하향	300Mbps
	상향	150Mbps
다중접속방식	하향	Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)
	상향	Single Carrier (SC)-FDMA
사용대역폭		Multiple Input Multiple Output (MIMO) 1.25~20MHz
Full Duplex Mode		기본 FDD (TDD도 활용)
지연시간		전송지연 <5ms 제어지연 <100ms Handoff <50ms
Modulation		OFDA Based QPSK~64QAM
Mobility		Upto 350km/h
BandWidth Profile		1.4, 3, 5, 10, 15, 20 MHz
VoIP		80user/sector/MHz
Coverage		5km

2. LTE-R 기본 구성

LTE-R의 접속망은 E-UTRAN으로 이루어져 있는 구조이고, eNodeB에서는 기존 GSM-R의 BSC, BTS에서 수행하던 무선 인터페이스를 사용한 송수신, 이동성 관리, 동적 무선자원 관리 외에 네트워크 신호 정보 보안, 패킷 헤더 압축 및 암호화 등의 기능을 수행하게 된다.

S-GW는 E-UTRAN과 EPC 사이의 데이터 전달 및 핸드오버 시 단말 측의 앵커 역할을 담당한다. P-GW에서는 외부망인 PDN과 EPC 사이의 패킷 전달을 담당하며, 단말에 IP 주소를 할당한다. All-IP 기반 EPC는 GSM-R과 비교할 때, 수평적 망을 구성함으로써 개발과 유지 보수 과정을 간소화할 수 있다.

LTE-R은 LTE의 물리적 계층을 큰 수정 없이 사용하게 될 것으로 판단된다. LTE는 OFDM 기술을 사용하여 주파수 대역을 좁게 나눈 서브채널을 상호간에 직교 구성함으로써 다중 경로에 의한 ISI가 발생하지 않도록 한다. 그리고 MIMO(multiple input multiple output)를 사용하여 높은 주파수 효율 및 고속의

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

데이터 전송을 제공한다.

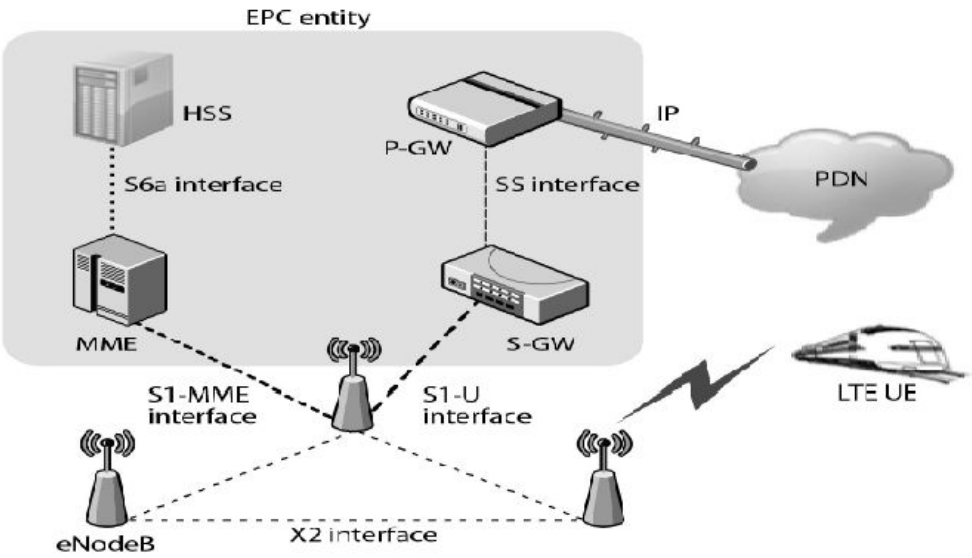


Fig 6. Conceptional drawing of LTE-R

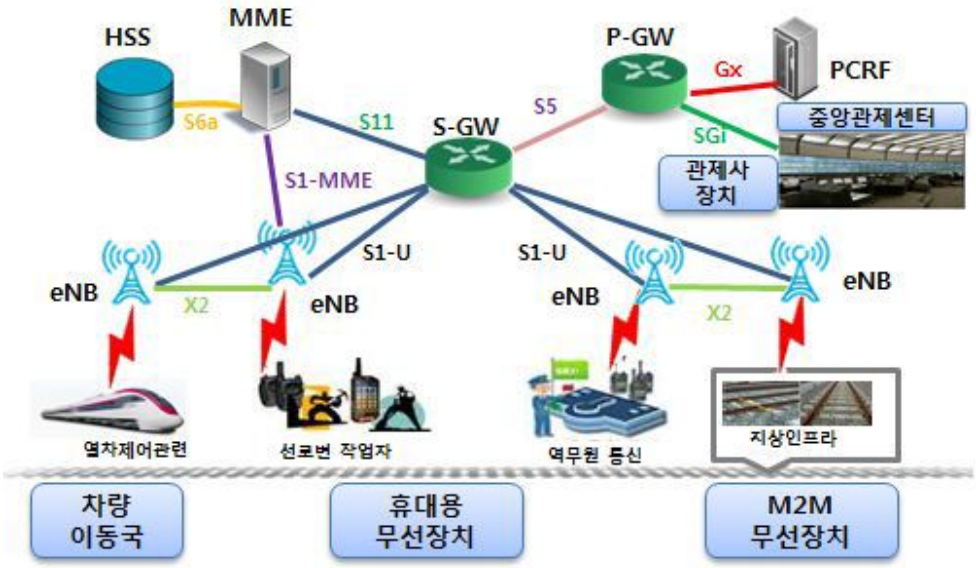


Fig 7. Block diagram of railway wireless communication network based on LTE-R [6]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

현재 철도 무선 통신 업체 중에서 Nokia Siemens는 차상에 모바일 접근 라우터(mobile access router)를 설치하여 지상의 GSM/GPRS, WLAN, HSDPA, LTE 등 다양한 백홀(backhaul) 망 접속을 통하여 객차 내에 WiFi 연결을 제공하는 형태의 LTE-R 솔루션을 추진하고 있다. Huawei는 20MHz 대역폭과 2X2 MIMO 기술을 통하여 최대 100Mbps를 제공할 수 있는 LTE 솔루션을 최대 시속 430km 속도의 고속 열차에서 시험하고 있다고 발표했으며, Alcatel Lucent는 열차와 선로변의 기지국까지의 무선 접속을 LTE 무선 액세스 망으로 구성하고, 백홀은 IP/MPLS 망으로 구성하는 비전을 제시하고 있다.[7]

국내에서는 LTE 기반 철도 무선 통신망에 700MHz, 1.8GHz, 2.6GHz 등의 대역이 후보로 거론되었으나, 국토부에서 일반 및 시속 350km 이상의 고속 열차에서 안정적인 철도 통신 서비스를 제공하는 것을 목표로 국가재난안전통신망 및 해상통신망과 함께 700MHz 대역에서 통합 및 연계하는 것으로 결정하였다.[8]

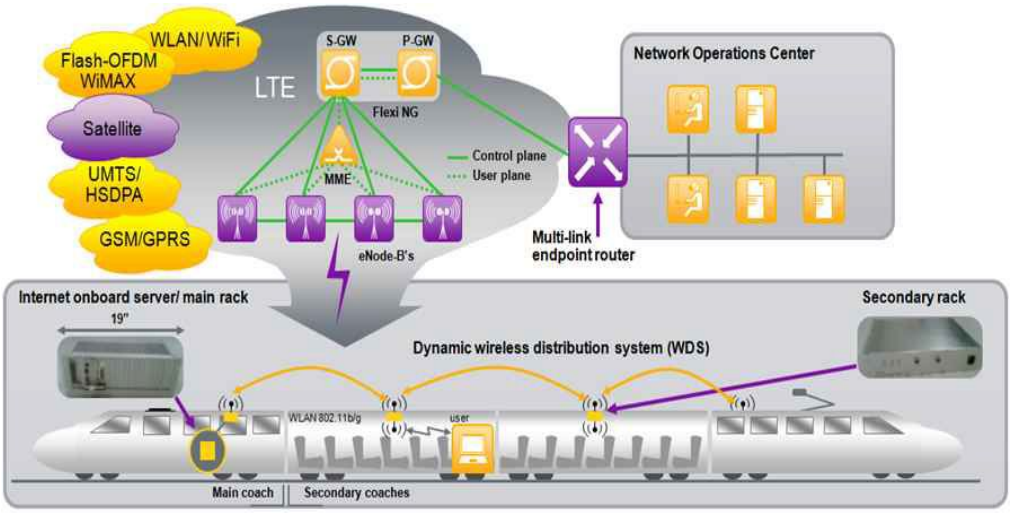


Fig. 8. LTE-R solution of Nokia Siemens Co. [9]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

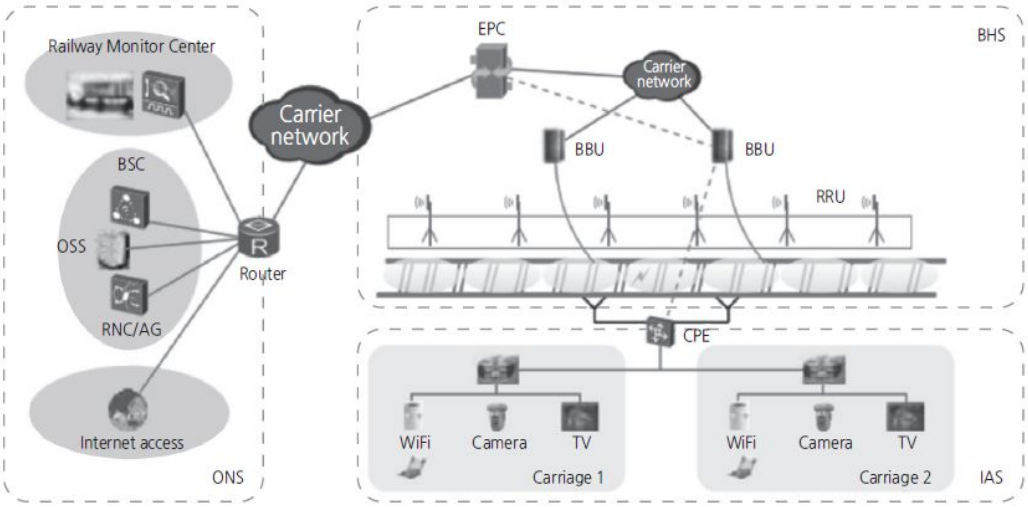


Fig. 9. LTE-R solution of Huawei Co. [10]

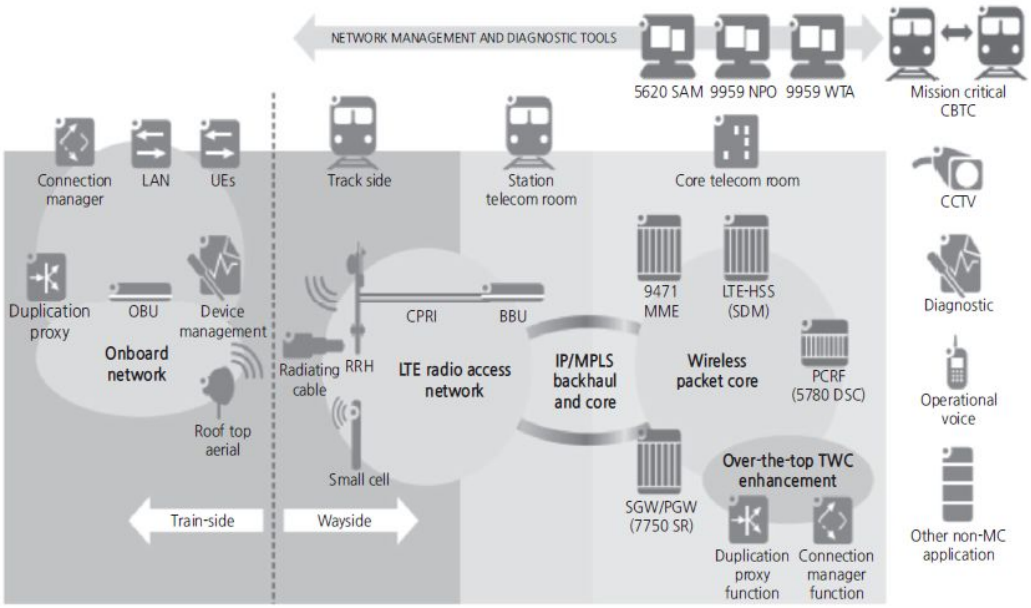


Fig. 10. LTE-R solution of Alcatel-Lucent Co. [11]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

B. LTE-R 기반 철도 무선망 기술 적용

1. 철도 무선망 기술 여건의 진화 및 환경 변화

철도 무선망은 VHF 문제 해결 대안으로 TRS를 도입하였으나 멀티미디어 등의 고용량 데이터 전송을 할 수 없는 실정이다. 한편 TRS는 음성 위주의 통신이므로 유럽의 GSM-R과 같이 열차 제어를 위한 제어 데이터 등을 전송할 수 없다. 열차 제어를 위해서는 KTX 속도에 상응하여 데이터를 송수신할 수 있어야 한다. 영상 서비스 등의 데이터를 전송하기에는 전송 속도가 현저히 낮기 때문에 TRS 방식 이외의 방식을 사용하여 통신해야 하는 경우도 발생할 수 있다.

3GPP 진영에서는 이동 통신 방식을 채널 용량의 확보를 위하여 2세대 TDMA에서 3세대 WCDMA로 진화하였다. 하지만 WCDMA도 CDMA 기술의 한계 때문에 데이터 속도가 느린 예전의 시스템에서는 유리하였지만 초고속 전송 속도를 지원하는 시스템에서는 OFDM 방식으로의 기술적 전환이 필수적인 요소가 되고 있다. LTE에서 WCDMA의 기술적 한계를 극복하기 위해서 OFDM 및 MIMO 기술이 채택되었다. LTE 기술은 다양한 대역폭이 지원될 수 있을 뿐만 아니라, 최대 100MHz 대역의 지원이 가능함으로써 고정 시에는 다운로드 최고 전송속도 1Gbps, 최고 속도 시속 500km 이상 이동 속도에서도 최대 500Mbps를 지원할 예정이다.

철도 전용 기능 및 환경적 요소의 적합성을 비교하여 평가한 결과 향후 철도 무선 통신망으로 가장 적합한 통신 방식은 LTE-R 방식으로 판단되며, 발전 가능성이 가장 높을 것으로 사료된다.

철도 무선망은 외부 환경의 변화로 인해 비용 효율성 증대 및 차세대 네트워크 고도화 요구가 증대되고 있다. 비용 효율성 증대 측면으로는 운영의 집중화, 민간 부문과의 비용 경쟁 측면이 있고, 차세대 네트워크 고도화 측면으로는 IP 도입, 노후된 장비의 교체 시점이 도래하고 있다.

2. LTE-R 적용 필요성

첫째, 철도 무선 통신망 성능 향상이 가능하다. 현재의 무선통신은 1960대부

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

터 사용해 온 VHF 기술 및 고속 철도에 도입된 TRS 기술이기 때문에 최근의 첨단 IT 열차의 고속화 및 자동화 운영에 적용하기에는 한계가 있다. 두 번째, 철도 통신 서비스 영역이 확대될 수 있다. 현재 대부분의 무선 통신은 음성 통신만 가능하지만, 향후에는 영상 및 데이터 전송, 열차 제어까지 서비스 영역의 확대가 필요하다. 세 번째, 철도 무선 통신 방식의 단일화가 가능하다. 노선별로 상이한 무선 통신 방식을 통합하여 운용 및 유지 보수성 향상이 필요하다. 마지막으로 열차 운행 선로 용량이 증대된다. 무선 기반 열차 제어의 도입으로 선로 용량이 16.7% 증대되는 효과가 있어서 국가의 비용 절감 효과가 있다.

3. LTE-R 기반 철도 무선망 기술적 요구사항

철도 무선 통신망을 구축하기 위한 요구 사항은 다음과 같다.

Table 8. Function requirements of railway communication system based of LTE-R [7][12]

서비스 종류	세부 서비스
음성	개별 음성 통화, 그룹 음성통화, 다자 간 음성통화, 공공 긴급전화, 방송 음성통화,
데이터	일반 데이터 서비스, 멀티미디어 메시지 서비스, 열차 제어 서비스
영상	개별 영상통화, 그룹 영상통화, 영상 정보전송
통화 관련	착신/발신 사용자의 표시 제한, 착신/발신 사용자의 ID 표시, 우선 순위 및 선점권, 착신 전환, 통화 보류, 통화 제한, 통화 대기, 폐쇄형 사용자 그룹, 자동응답 서비스, 과금 정보, 모든 음성/영상 통화 녹취
철도 특화	기능 어드레싱, 위치기반 어드레싱, 철도 긴급전화, 입환모드, 직접통신

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table 9. Performance requirement of railway communication system based of LTE-R [7][13]

항목	내용
커버리지 및 성능	커버리지는 시간적 및 공간적으로 연속적이어야 하며, 안정성 보장을 위하여 시간적 및 공간적 범위는 외부 안테나가 설치 차량 기준으로 98% 이상. 네트워크는 철도 통신용 이동 단말 수용 가능. 시스템은 선로 제한 속도 또는 시속 500km 중 상대적으로 낮은 속도로 이동할 때 통신 제공.
통화 설정 시간	- 방송/그룹통화 < 1초/90% 및 < 2.5초/100% - 철도긴급통화 < 1초/90% 및 < 2초/100% - 상기 사항 외의 모든 음성/영상 통화 < 3.5초/90% 및 < 5초/100%
핸드오버 성공률	끊김 없이 데이터 전송 가능한 네트워크, 핸드오버 성공률 > 99%
호접속 성공률	통화 호 접속 성공률은 99% 이상
장시간 접속 절단율	장시간 통화 시 절단율 < 0.01회/시간 보장
열차제어 데이터 전송	열차 제어용 데이터 전송을 위해 데이터 신뢰성 > 99% 보장 네트워크 및 열차 제어를 위한 데이터는 가장 높은 수준의 우선 순위 확보
네트워크 이중화	코어 장비, 서버, 기지국 장비 등의 네트워크는 가용성 및 안정성을 위해 이중화
방송 및 그룹통화 구역	규정된 구역 내의 무선 설비는 방송 및 그룹 통화에 참여 가능하고, 통화 중 방송 및 그룹 통화 구역을 이탈하는 무선 설비는 통화에서 제외

- 최대 시속 500km에서 안정적 송수신
- 악의적 해킹 또는 테러 방지를 위한 보안 강화
- Radio Coverage 이중화
- 핸드오버 성공률 99.9%
- 95% 커버리지에서 수신 전력 -90dBm 이상
- 비상시 Call Setup Time < 1초
- 데이터 전송실패율 < 10-4/h
- 최대 전송 실패 시간 1초 이내
- 최대 데이터 지연시간 450ms

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅳ. LTE-R기반 철도 무선망 구축 방안

A. LTE-R기반 철도 무선망 서비스 구축 효율화

1. LTE-R기반 철도 무선망 구축 설계 원칙

무선 통신망의 구축은 상당한 투자를 필요로 하는 사업이므로 무선 통신망을 구축하기 전에 무선망 관리 및 투자비 등 여러 가지 복잡한 상황에 대한 고려가 필요하다. 특히 열차 제어 데이터는 지연 또는 손실되는 경우 대형 열차 사고로 이어질 수 있으므로 망 신뢰성 확보가 필요하다. 생존성을 지니는 망의 설계는 고장에 따른 영향을 완화 가능한 전략을 구체화하는 것을 의미하고, 무선 통신망의 생존성을 향상시키기 위해서 예방 기술, 트래픽 관리 및 복구, 망 설계 및 용량 할당 등의 전략으로 분류할 수 있다.[14]

첫째, 예방 기술은 시스템과 구성 요소의 신뢰성의 향상에 초점을 맞추고 있으며, 백업 전원의 사용 및 결함/허용 구조의 망 교환기 등이 이에 해당한다.

둘째, 트래픽 관리 및 복구는 망 부하를 조절을 통하여 고장의 발생에 따른 영향을 최소화하도록 하며, 고장에 따르는 연결을 복구하는 동안 통신망을 안정된 상태로 유지하는 것으로서, 고장 발생 시 남아있는 용량을 활용하게 되는 능동 결함 복구 라우팅 알고리즘이 적절한 예이다.

셋째, 망 설계 및 용량 할당은 통신망의 토폴로지를 구성함에 있어서 다이버시티와 용량을 적절하게 활용하여 링크 손실과 같은 시스템 수준의 고장 등을 완화시키는 방안이다. 따라서 철도 무선 통신망 설계 방안을 다음과 같이 제시한다.

1) 교환 시스템 이원화 구성
- 평상 시 철도 교통 관제 센터에서 업무 수행(구로)
- 유사 시 예비 관제실에서 업무 수행(대전)

2) 망 신뢰성 확보
- LTE 특성과 철도 환경 고려 시 독립적인 망의 이중화는 기술적 및 경제

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

적으로 불리하므로 장애 발생 시 파급 효과가 큰 주요 장비 및 현장 장비의 이중화, 커버리지의 중첩 설계를 통하여 신뢰성이 확보되어야 한다.

- 핸드오버의 최소화를 위하여 기지국 장비 부하 분담, 광 중계기 그룹화 고려해야 한다.

3) 기본 인프라 활용 극대화

- 철도 개량에 따라서 선로 변 기존 관로의 활용이 불가할 시 전차 선주 활용과 터널 내 열차 무선 방사형 케이블 안테나의 활용을 통하여 경제적인 구축을 필요로 한다.
- 철도 전용 무선 통신망 구축은 한국형 LTE-R 기술 개발을 통하여 기존 철도 무선 통신 시스템의 단계적 마이그레이션(migration) 계획으로 볼 수 있으며, 현재 열차 무선에서 운용중인 이기종 망에 대한 연동 기술을 통해 철도 전용 무선 통신망(LTE-R)으로 단계적 전환 기반을 마련하여 기존 시스템의 매몰 비용 및 중복 투자를 방지할 필요가 있다.

4) 차상 단말기 추가 도입 및 열차 내 정보 손실에 대한 효과적인 대처 방안 고려

- 한시적으로 VHF/ASTRO/TETRA/LTE-R 철도 무선 시스템이 공존해야 하는 상황에서 승무원은 4개의 터미널을 동시에 운용하여야 한다. 때문에 차량 내 승객 서비스 강화와 승무원에 대한 원활한 서비스 제공을 위하여 단일 장치 사용자 환경 구성을 통하여 열차 안전 운행 저해 및 인적 오류 우려에 대한 검토가 필요하다.
- 고속 열차는 100% 밀폐 구조이고, 금속 재질의 차량 외관에 따른 전송 손실의 극복을 위해서 기지국 수신기가 높은 감도 또는 강력한 출력을 제공하여야 하기 때문에 열차 내 인빌딩 시스템 구축을 고려하여야 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. LTE-R기반 Voice 서비스 구현 방안

철도 통신 기술에서 음성 통신은 일반 상용 통신과 같이 point-to-point 통신 방식의 개별 음성통화 뿐만 아니라, 철도 통신만의 특수한 그룹 음성통화, 방송 음성통화, 공공 긴급통화, 다자 간 음성통화 등을 제공한다.[15][16]. 따라서 음성 통신은 여전히 철도 통신에서 매우 중요한 통신 서비스이지만, 현재 LTE 규격에서는 상기의 기능을 지원하지 않기 때문에 LTE를 철도 통신망에 적용하려면 철도 전용 음성 통화 기능의 규격화가 반드시 필요하다.

세계적으로 유럽을 비롯하여 사우디아라비아, 아랍에미레이트연합, 알제리, 리비아, 모로코, 남아프리카공화국, 중국, 인도, 호주, 러시아 등의 많은 나라에서 GSM-R 통신 방식을 철도 통신 방식으로 활용 중이다. 하지만 최근 LTE의 상용화가 이루어진 이후 GSM 관련 장비의 생산이 축소되거나 중지될 개연성이 커지고, GSM-R의 장비 공급을 2025년까지 보장을 하고 있기 때문에 국내 철도 통합 무선망을 구축하는 경우에는 향후 GSM-R 장비 역시 조달과 유지 보수에서 문제가 될 수 있다.

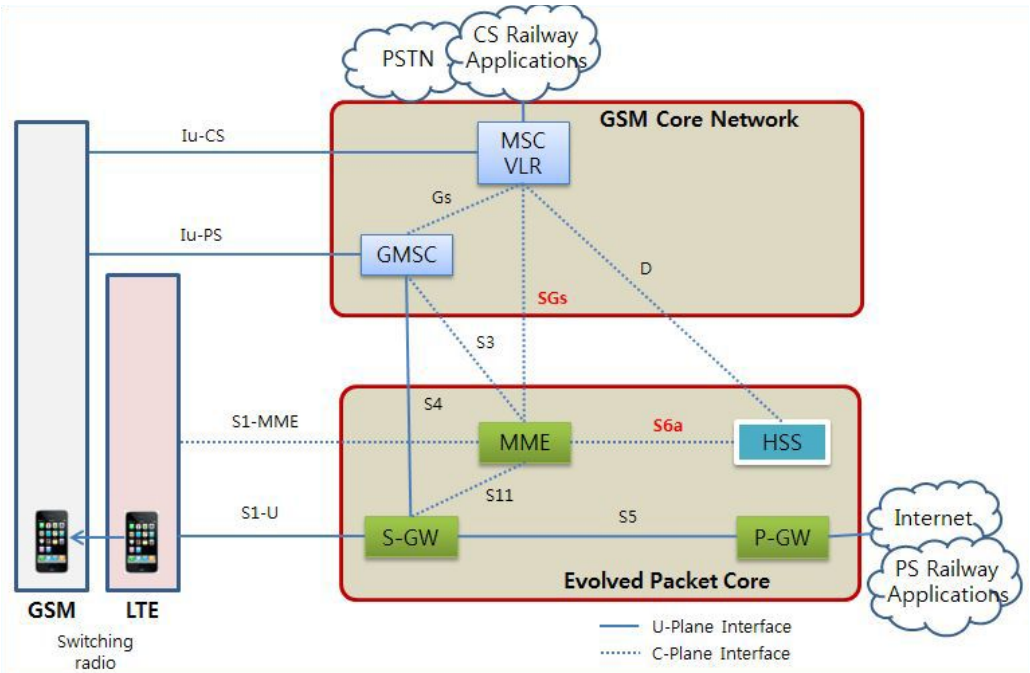


Fig. 11. Network block diagram of circuit switch (CS) fallback service.[6]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

일부에서는 GSM-R이 구축 면에서는 성공적이었지만, 특화 용도로 개발되어서 장비 가격의 하락을 유도하지 못한 이유로 철도기관의 비용 부담을 증가시킨다는 이유로 LTE-R을 특화 용도의 신규 시스템으로 개발할 필요성이 있는지에 대한 의문도 제시되고 있다.[17] LTE-R이 GSM-R의 대안으로 적합하다는 일부의 공감 의견과 LTE 수준의 철도 전용 서비스가 필요하지 않다는 일부의 반론 및 LTE를 타 철도 전용 무선 통신망과 동시에 활용하여 구축 가능하다는 대안론이 공존하는 상황이다.[18] 따라서 GSM-R 무선 통신망을 진화 대체할 수 있는 LTE-R 무선 통신망 도입을 위하여 일정 기간 공존망을 구성하여 점차적인 천이가 가능하도록 하는 방안이 필요하다.

LTE-R 무선 통신망에서 Voice 서비스의 구현 방식으로는 Circuit Switch (CS) Fallback 방식, IP Multimedia Subsystem (IMS) 방식, Voice over LTE via Generic Access (VoLGA) 방식 등이 제안되고 있다.

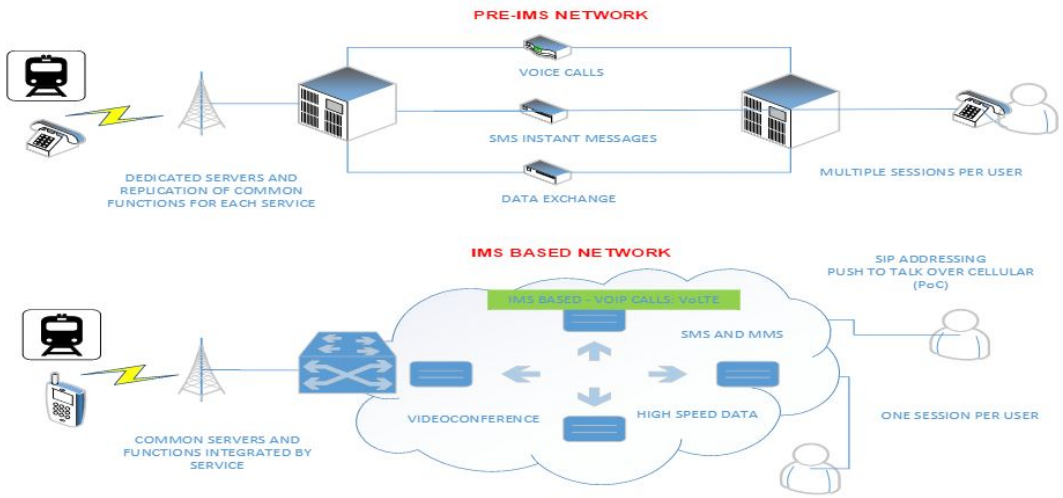


Fig. 12. LTE features for supporting railway services: Voice service provision in LTE networks.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

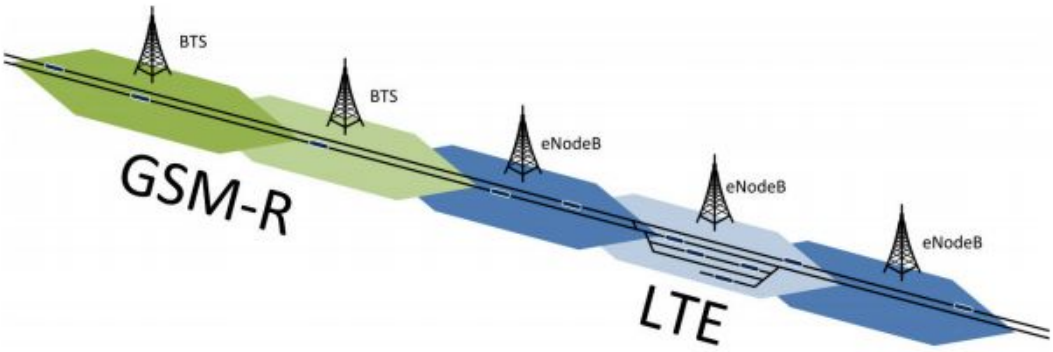


Fig. 13. Voice communication in LTE-R networks.

LTE-R의 접속망 구조에서 eNodeB가 기존 GSM-R의 BTS, BSC에서 수행하던 무선 인터페이스를 통한 송수신 등의 기능을 수행할 수 있다. LTE-R에서는 주파수축 상의 싱크 함수의 채널과 피크의 위치에 대한 특성을 이용하여 기존의 FDMA에서 발생하는 부반송파 사이의 주파수 이격에 의한 주파수 효율 저하를 방지하면서 매우 조밀하게 부반송파들을 주파수 축 상에 배열할 수 있는 OFDM 기술을 사용하여 주파수 대역을 협대역 서브채널을 상호 직교(orthogonal)하게 구성함으로써 다중경로로 인한 ISI가 생기지 않도록 한다. 다만 부반송파를 한 주기 동안 다수 전송함에 따라서 신호의 PAR(peak-to-average-ratio)가 커서 파워앰프의 효율이 떨어지는 문제를 개선하기 위하여, OFDM 기술을 대신하여 단말기에서 SC-FDMA 방식을 채택할 수도 있다.

그리고 다수의 안테나를 사용하여 데이터를 송수신하여 데이터 송수신율이 증가하는 무선 통신 다중 안테나 신호 처리 기술인 MIMO의 사용을 통하여 높은 주파수 효율을 바탕으로 고속의 음성 데이터 전송을 제공할 수 있다.

3. LTE-R기반 Data 통신 구현 방안

기존 GSM-R 망과 LTE-R 망의 데이터 신호 처리를 위한 연동 무선 프로토콜(protocol) 구조는 무선 자원 제어(radio resource control, RRC) 프로토콜이 무선망과 기지국 사이에 교환되는 메시지를 기록하는 Control plane과 user

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

datagram protocol (UDP), transmission control protocol (TCP) 및 IP와 같은 프로토콜에 의해 처리되는 데이터 패킷을 생성하는 user plane의 구조로 분리되어 있다.

MAG(mobile access gateway)는 단말(UE)을 대신하여 mobile IP 프로토콜을 수행하는 노드이고, LMA(local mobility anchor)는 mobile IPv4에서의 HA(home agent)와 같이 IP anchoring을 하는 노드이다. UE와 eNodeB 사이에 있는 user plane 프로토콜 스택의 경우는 무선 링크 제어 (RLC), 패킷 데이터 수렴 프로토콜 (PDCP), 매체 접근 제어 (media access control, MAC) Sub-layer로 구성되어 있다.

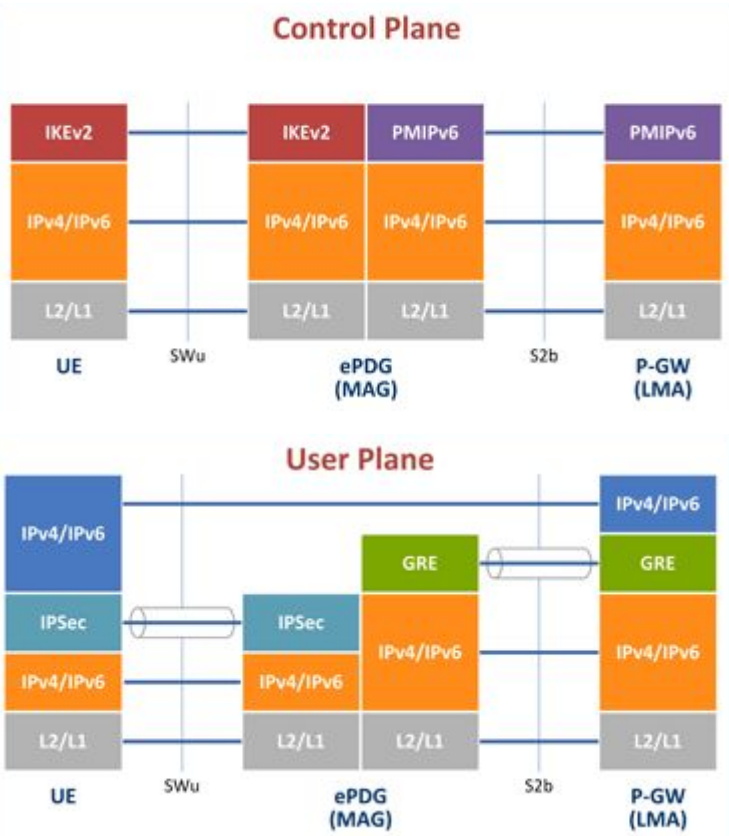


Fig. 14. Interworking protocol of GSM and LTE-R netwroks: control plane and user plane.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Radio access network인 LTE-R이나 evolved packet core network인 EPC는 4세대 통신으로서 두 단말 사용자간에 완벽한 IP 통신이 가능하도록 하는 역할을 한다. 즉, EPC는 eNodeB와 PDN 사이에서 무선 인터페이스의 control signaling 및 베어러(bearer) 트래픽을 처리하며, PDN과 정합하여 과금, 인증, IP QoS 등의 기능을 수행한다.[19] 무선 단말이 접근할 수 있는 IP 기반의 응용 서비스는 무선 관리 장치가 제공하거나 IP 기반 네트워크에서 인터넷을 통해 접근 할 수 있다.

하위 계층의 물리적 연결 및 개방형 시스템 간 상호 접속(OSI) 7 Layer의 전 계층에서 사용될 수 있는 게이트웨이로 LTE 망과 GSM 망을 연결함으로써 네트워크 인터페이스가 형성되고, 이를 통해 GSM 망 MS와 LTE 망 UE가 상호 연결되어 데이터의 상호 교환이 가능하다.[20]

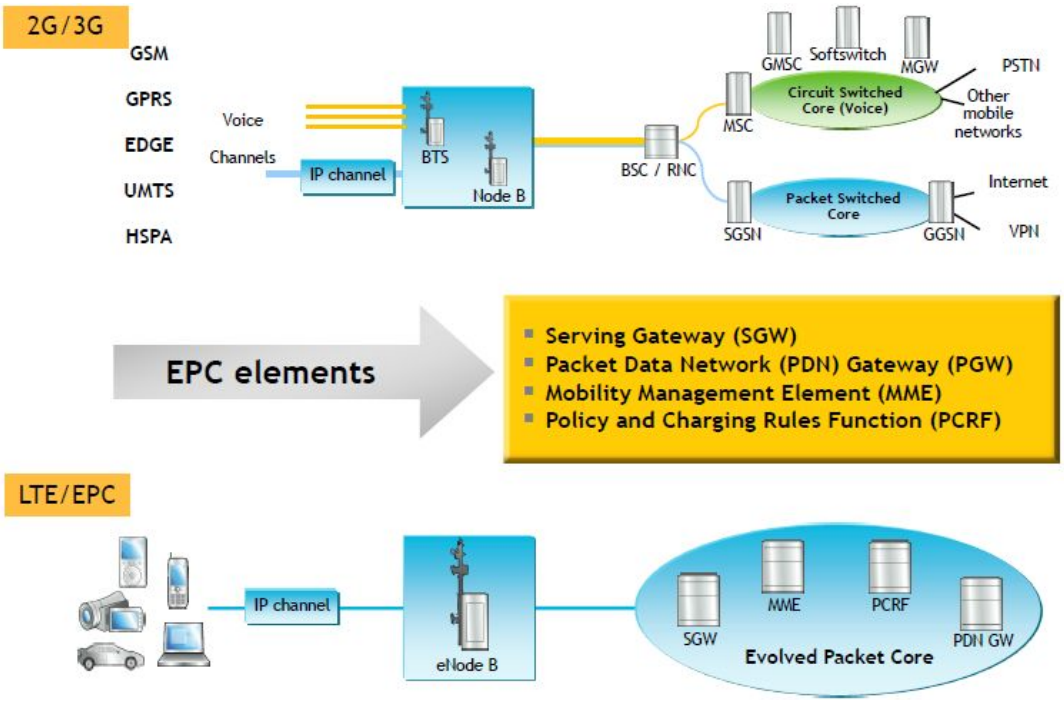


Fig. 15. LTE + EPC network elements and function.[20]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4. LTE-R망 핸드오버 관리 방안

LTE 망 내부 또는 LTE 망과 이종 망 사이의 통신 상태인 이동 단말(UE)이 기지국 서비스 지역(cell boundary)을 이탈하여 인접한 기지국 서비스 지역으로 이동하게 되면 단말이 자동으로 인접 기지국의 새로운 통화 채널에 동조되어 지속적인 통화 유지 상태가 되도록 하는 기능을 핸드오버라고 한다.[6]

LTE-R에서 핸드오버는 망의 효율성 등도 중요하지만 데이터의 유실이나 누락이 없는 구조이어야 하므로 저손실 패킷 관리를 요구하고 있으며, Bi-casting 방식, Do-Nothing 방식, Packet Forwarding 방식, Combined 방식 등의 4가지가 해법으로 제안되었다.

Bi-casting 방식은 Core 네트워크의 게이트웨이(S-GW/P-GW)에서 Source/Target 두 기지국으로 동시 Bi-casting하는 기술이다. Bi-casting 시점의 결정이 어려운 이유로 데이터 유실의 가능성이 있다는 단점이 있다. Do-Nothing 방식은 Core 네트워크의 게이트웨이에서 통신 path를 Source 셀에서 Target 셀로 단순 스위칭 시키는 2G/3G의 저속 데이터 전송 기술로서 데이터의 유실 가능성이 있다는 단점이 있다.

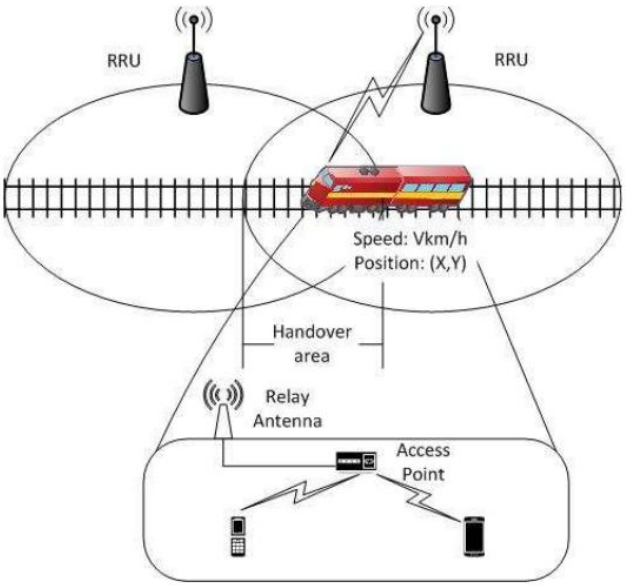


Fig. 16. Bi-casting communication structures in high-speed train.[21]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

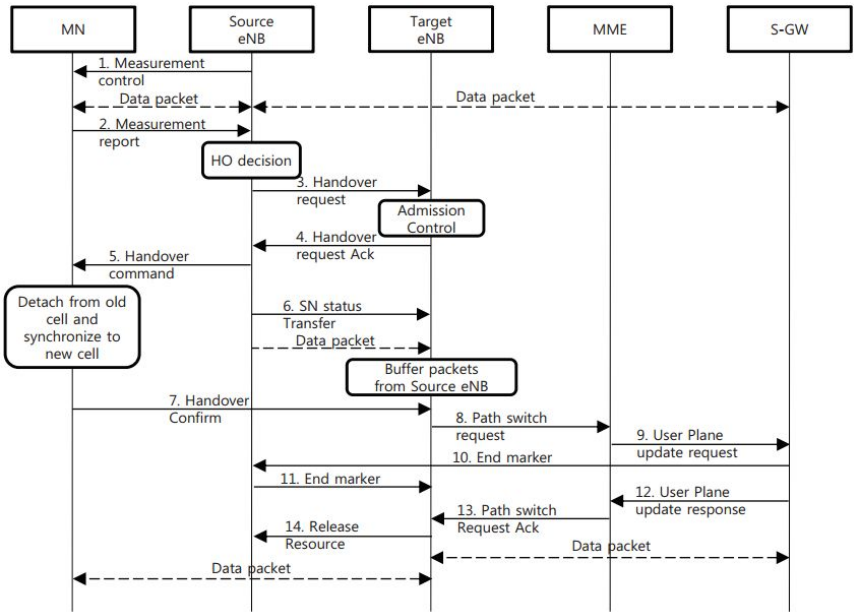


Fig. 17. Example of data path swtching scheme.[22]

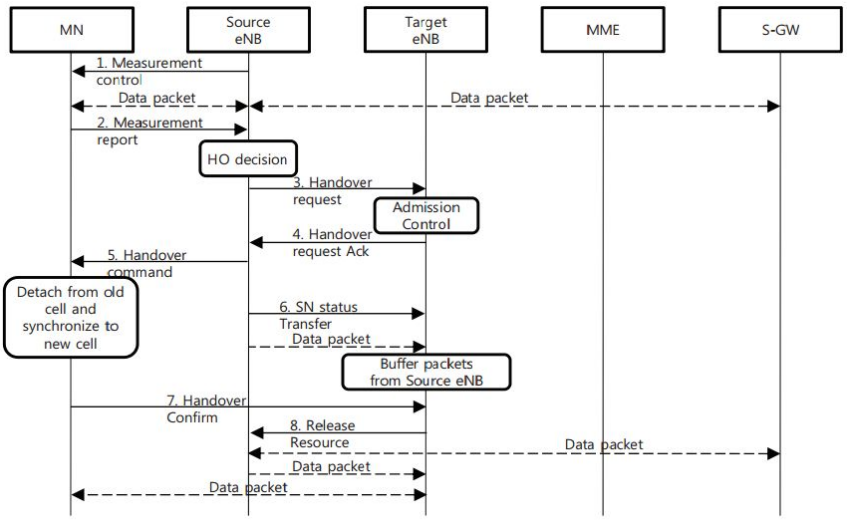


Fig. 18. Example of data packet forwarding scheme.[22]

Packet Forwarding 방식은 Source 셀에서 패킷 데이터를 버퍼링한 후 Target 셀로 포워딩하는 기술로서 데이터 유실이 작아 대부분 이 방법을 선호

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

한다. Combined 방식은 서비스의 특성에 따라서 복잡하고 실시간 QoS가 보장되지는 않지만, 데이터 유실이 적고 비실시간 서비스인 Data Forwarding 방식 및 단순하고 실시간 QoS가 보장은 되지만 데이터 유실이 발생할 수 있는 실시간 서비스인 Do-Nothing 방식을 함께 사용하는 방안이다.[6]

일반적인 상용 무선망에서의 안테나 빔이 형성하는 원형태의 셀 경계를 보완하기 위해 다수의 셀을 벌집 형태로 구성하는 것과는 다르게, LTE-R 망에서의 주단말기는 열차이며 안테나의 빔이 열차의 이동 경로인 철도를 따라 셀을 형성하기 때문에 사슬 형태가 된다. 열차는 항상 일정한 방향으로 이동하고, 모든 셀을 상시 점유하고 있지는 않는 이유로 상용 망과 같은 핸드오버 시 패킷 손실 산출 방법과는 상이하게 철도 이동 단말의 이동에 따른 핸드오버 때에 패킷 손실을 최소화하는 시간 및 전송 지연 시간을 반영한 셀 중복 구간을 산정하여 구축해야 한다.[6]

B. LTE-R기반 철도 무선망 시스템 구축 효율화

1. LTE-R망 지상 구간 구축 방안

지상 무선망은 EPC, eNodeB, MME(mobility management entity), S-GW, P-GW, LSM(LTE system manager), HSS(home subscriber server) 등의 장비로 구성된다.

EPC는 PDN(packet data network)과 기계실 eNodeB(DU) 사이에 위치하는 시스템으로 MME, S-GW, P-GW로 구성된다. MME는 eNodeB와 signaling 프로토콜을 통해 제어 메시지를 처리하고, 철도 전용 휴대용 단말에 대한 이동성 관리 등을 담당한다. S-GW는 상/하향링크 데이터의 패킷 전송 계층을 관리하며, P-GW는 단말에 IP Address를 할당하고, LTE-R 시스템 및 non-3GPP 접근 시스템 간의 이동성을 위한 anchor 역할 및 서비스 수준에 따른 전송률을 관리한다. eNodeB는 철도 전용 단말기(UE)와 EPC 사이에 위치하는 시스템으로서 LTE Air 규격에 따라서 UE와 무선 접속하여 패킷 호를 처리한다. eNodeB는 패킷 트래픽에 대한 변복조 기능, 무선 신호의 송수신 기능, 무선 자

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

원을 효율적 사용을 위한 패킷 스케줄링 기능 등을 수행하며, EPC와 연동하여 핸드오버를 처리한다. LSM은 EPC와 eNodeB를 관리하는 통계 및 제어 하는 역할을 하며, HSS는 망에 등록된 열차 이동의 파라미터 및 위치 정보를 저장하고 관리하는 데이터베이스(database) 관리 시스템이다.[19]

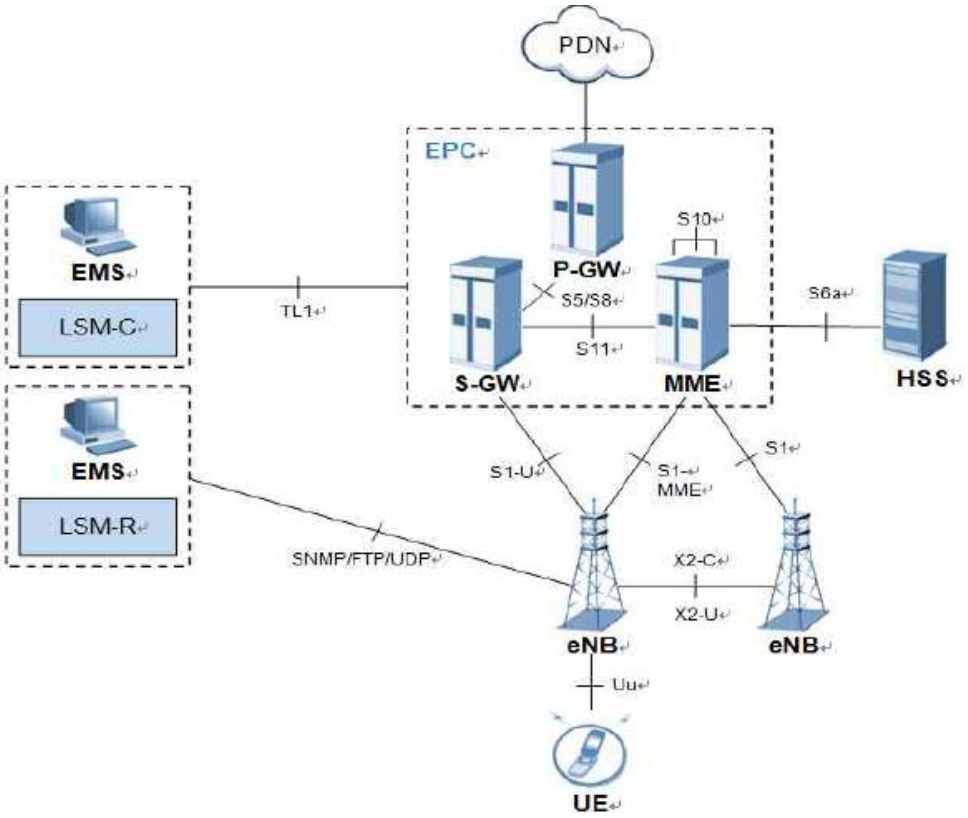


Fig. 19. Ground components of LTE-R nework for Daebul-line.[23]

LTE 시스템에서의 현장 설치는 기지국 설비인 DU(digital unit)와 선로변 중계기인 RRU(remote radio unit)로 구성되며, 장비 벤더에 따라 1개의 DU에 6개에서 12개의 RRU로 구성되어 진다.[14]

LTE 시스템은 복잡성 및 전략상 등의 이유로 하드 핸드오버 기술의 채택을 통하여 패킷 손실이 발생하게 되고, 셀 간섭 및 핸드오버를 최소화 하기 위해

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

서는 광중계기를 그룹화(Copy Mode)하여야 한다.

(a) Handover (b) Copy Mode

Fig. 20. Copy mode of optical repeater.[14]

2. LTE-R망 차상 시스템 구성 방안

차상 시스템은 크게 차상 단말 장치, 휴대용 단말, 철도 전용 서비스 등의 3가지로 구분할 수 있다. LTE-R 차상 시스템은 차상 단말 장치를 대불 시험선 무선통신 열차 제어 시스템(KRTCS, Korea Radio-based Train Control System) 시험 차량의 전두부와 후두부에 각 1대씩 설치하였고, 안테나를 열차 전두부, 후두부 지붕에 설치하였다. 또한 지상에는 차상 단말 장치와 통신하기 위한 관제사용 지령 단말 장치를 설치하였다. 차상 단말 장치는 차상용 조작반(train radio control panel, TRCP), 차상용 LTE 통신 장치(train LTE control system, TLCS), 차상 인터페이스 장치(train interface control system, TICS), 차상용 영상장치(train video control system, TVCS)로 구성되어 있다.

차상용 조작반은 차상 단말 장치를 조작하기 위한 장치로,차상 인터페이스 장치 및 차상용 영상 장치를 제어하고 차상용 LTE 통신 장치를 통하여 VoIP 및 PTT 음성 통화를 실행한다. 즉, 열차에 설치되어 차상 및 지상 간 LTE 네트워크를 이용한 무선 통신용 장치로 객차 내 CCTV 영상 전송, VoIP 및 PTT 음성 통화 기능을 지원하며, TCMS, 방송, 표시기 등의 타 설비와의 인터페이스를 제공한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 21. On board equipment of LTE-R.[24]

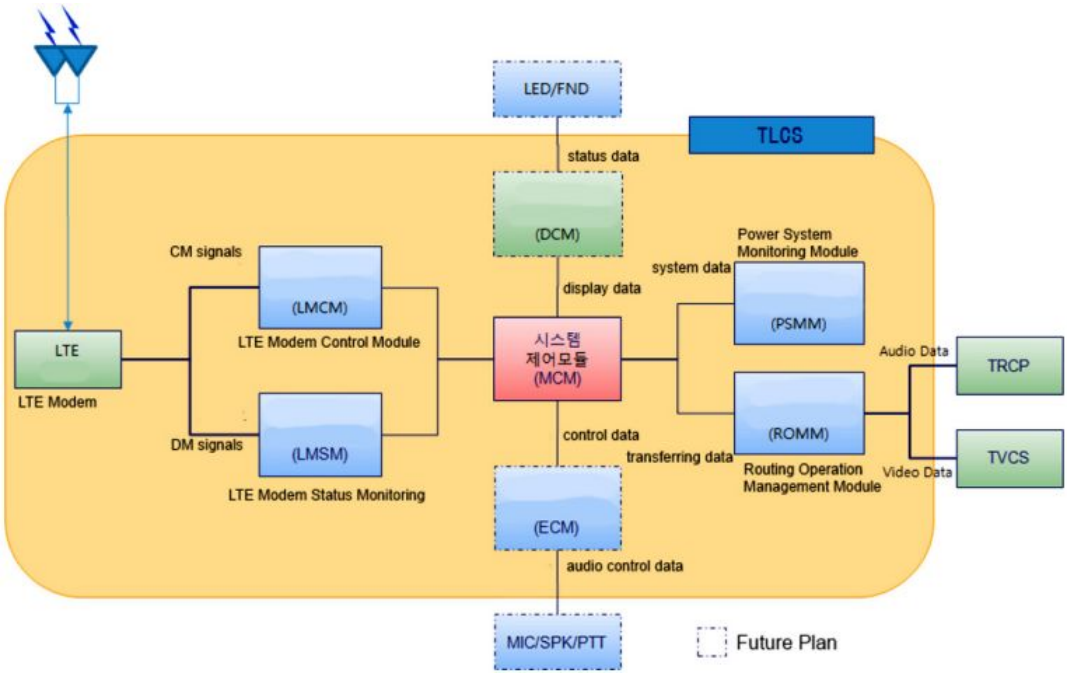


Fig. 22. Software structure of TLCS.[24]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Ⅴ. 결 론

국내에 철도 무선 통신을 이용하는 시스템으로는 열차 방호, 열차 무선, 승강장 무선 영상 전송 및 무선 통신 기반 열차 제어 등이 있지만, 각각 다른 다양한 통신 방식이 이용되고 있다. 이를 운용하기 위한 철도 무선 통신망을 여러 번 절체 하여야 하며, 인근 노선과의 호환성 문제 등의 비효율성이 상존한다.

최근 유럽 중심으로 GSM-R 기술 이후의 차세대 철도 무선 통신망에 대하여 논의되고 있고, 일부 국가에서는 4세대 이동 통신 기술 적용의 철도 무선 통신망 연구가 수행되고 있다. GSM-R은 20여년 전에 규격화된 2세대 통신 방식이기 때문에 전송 속도 및 주파수 대역폭의 한계로 인한 고품질의 멀티미디어 및 영상 서비스 등 철도 서비스 고도화를 위한 각종 어플리케이션 적용하기에 어려움이 있으며, TRS-TETRA 방식은 철도 전용 음성 통화로의 적용에는 많은 부분에서 활용이 가능하며 실제로 사용하고 있지만, 열차 제어를 위해서는 반드시 별도의 시스템 도입이 필요하다. 따라서 철도 무선 통신망으로 4세대 이동 통신 기술을 적용할 경우에 기존 음성 및 열차 제어 기능만이 아니라, 다양한 고객 편의 서비스가 가능하다는 장점이 있다.

LTE 무선 방식은 TETRA, GSM-R, IEEE 802.11 무선랜 방식 등에 비해 매우 낮은 지연 시간, 다양한 대역폭, 높은 주파수 효율성 등의 장점을 가지고 있으며, 특히 철도 무선 통신망으로 점진적 또는 단계별로 LTE 기술에 철도 특화 서비스를 접목한 LTE-R 시스템을 구축하여야 한다. 이를 위해서는 경제적이고 효율적인 구축 방안이 모색되어야 한다.

본 논문에서 제안한 LTE-R을 기반으로 하는 철도 무선망은 실시간 열차 제어 및 철도 이용 고객에게 다양한 서비스의 제공이 가능하며, 효율적인 철도망 관리를 수행할 수 있게 할 것이다. 또한 철도 전용 주파수가 여전히 확보되지 않은 상황이지만, 현장 시스템 측면에서 LTE 기반 철도 무선 통신망의 효율적인 구축 방안을 제안하였다. 철도 무선 통신망의 기술 개발 및 적용을 위해서는 철도 전용 주파수의 확보가 중요하고, 주파수 확보 이후에는 LTE-R을 적용한 철도 무선 통신망 기술 개발에 대한 체계적인 연구가 필요하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

<참 고 문 헌>

[1] 김대연, 이재홍, 한정석, 김태환, 이병곤, 이헌수, 유인식, 김덕수, “고속철도 무선통신 검측모듈 개발에 관한 연구”, 한국통신학회, 2014년도 동계종합학술발표회, 초록집, pp. 218~221, 2014.

[2] 박성근, “철도 통신 채널을 위한 MIMO 시스템 적용에 관한 연구”, 서울과학기술대학교 철도전문대학원, 석사학위논문, 2015.

[3] 김사혁, “철도무선통신망 구축 국내외 현황 및 시사점”, 방송통신정책, 25권, 9호, pp. 1~44, 2013.

[4] 김용규, “철도신호통신 현황과 발전방향”, 한국정보통신설비학회, 2014 정보통신설비 추계세미나, 2014.

[5] Olivier Andre (Alcatel-Lucent), “Revolutionizing railway communications with LTE”, Railway Technology International, Vol. 2, pp. 2~3, 2013.

[6] 문재욱, “LTE-R망 구성방안에 관한 연구”, 한국교통대학교 교통대학원, 석사학위 논문, 2015.

[7] 최진규, 조한벽, 오현서, “LTE기반 철도 무선통신망 기술과 표준화 동향”, 한국정보통신기술협회, TTA Journal, pp. 80~86, 2015.

[8] 조한벽, 최진규, 오현서, 김경호, 윤학선, "철도전용 무선통신망 표준화 연구", 한국통신학회, 2015년 하계종합학술발표회 논문집, pp. 93~94, 2015.

[9] http://networks.nokia.com

[10] http://www.huawei.com

[11] http://www.alcatel-lucent.com

[12] TTAK.KO-06.0369, LTE 기반 철도 통신 기능 요구사항, 2014.

[13] TTAK.KO-06.0370, LTE 기반 철도 사용자 요구사항, 2014.

[14] 신이섭, “LTE 기반 철도무선통신망 효율적 구축방안에 관한 연구”, 우송대학교 철도대학원, 석사학위 논문, 2013.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[15] P. Winter, “Compendium on ERTMS: European Rail Traffic Management System”, Eurailpress, 2009.

[16] I. Ljubic, D. Simunic, "Advanced Speech Call Items for GSM-Railway", 1st International Conference on Wireless Communication, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems Technology (Wireless VITAE) 2009, pp. 131~136 2009.

[17] M. Liem, V. B. Mendiratta, "Mission critical communication networks for railways", Bell Labs Technical Journal, Special Issue: Vertical Markets, Vol. 16, Iss. 3, pp. 29~46, 2011.

[18] 손상영, 김사혁, 이호영, 최상훈, 김재홍, "국가 철도전용 통합무선망 구축 방안 및 효과 분석", 국토해양부 보고서, 2012.

[19] 최준영, “LTE 기반 철도전용 통합무선망 최적화 연구”, 우송대학교 일반대학원, 박사학위 논문, 2014.

[20] K. Sridhar, “Introduction to Evolved Packet Core (EPC): EPC Elements, protocols and procedures”, Alcatel-Lucent Inc., 2012.

[21] W. LI, M. Wu, H. Wang, Y. Zhang, “An Optimized Location-based Handover Scheme for High-speed Railway LTE Networks”, Journal of Computational Information Systems, Vol. 10, No. 15, pp. 6643~6652, 2014.

[22] H. Ko, G. Lee, D. Suh, S. Pack, X. S. Shen, “An Optimized and Distributed Data Packet Forwarding Scheme in LTE/LTE-A Networks”, 2014 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 2502~2507, 2014.

[23] 정우석, 송용수, 김용규, “LTE 기반 철도 무선망 개발”, 2014년도 의용시스템 및 스마트케어 학술대회, 대한전기학회 학술대회 논문집, pp. 121~124, 2014.

[24] 송용수, 김용규, 백종현, “철도전용 통합무선망 개발”, 한국철도학회논문집, 16권, 6호, pp. 551~557, 2013.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

감사의 글

조선대학교와 대학원 과정 개설 MOU를 체결하고 늦은 나이지만 부족한 자신을 채우기 위해 용기를 내어 입학을 하였지만 막막하기만 하였는데 벌써 이렇게 논문을 작성하고 수료를 눈앞에 두고 있다는 게 믿기지 않습니다.

늦게나마 학업을 이어간다고 할 때 묵묵히 지켜봐 주고 수료할 수 있도록 응원해준 아내 송미자, 딸 지영, 지선 아들 용섭이와 고향에 계신 노모님에게도 이글을 통해서나마 감사를 드립니다.

또한 광주, 순천 간 먼 길을 마다하지 않고 매주 장거리를 오셔서 열정적인 강의와 지도를 해주시고 본 논문이 완성되기까지 모든 일에 자신의 일처럼 도움을 아끼지 않으신 이우선 교수님, 조금배 교수님, 김남훈 교수님, 최효상 교수님, 서길모 교수님께 다시금 진심으로 감사의 말씀을 올립니다.

더불어 학사일정관리 및 불편한 점이 없도록 관심가져 주시고 도움주신 교학팀 정현숙 선생님 외 조선대학교 직원 분들께도 감사드립니다. 또한, 항상 긍정적인 마인드와 열정으로 학업을 이어갈 수 있도록 용기를 주신 박채옥 소장님께도 깊은 감사를 드립니다.

끝으로 그 동안 도움주신 모든 분들의 기대에 어긋나지 않도록 여기서 멈추지 않고 보다 더 발전할 수 있도록 더욱 매진하고 꾸준히 노력하여 보다 나은 모습 보여드릴 것을 약속합니다. 모든 분들의 건강과 가정의 행복, 하시는 일 성취하시기를 기원합니다.

2015년 12월

임동춘 배상

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

저작물 이용 허락서

본인이 저작한 학위논문에 대하여 다음과 같은 방법 및 조건하에 대학교에 저작권을 위임할 것을 서약합니다.

1. 인터넷 및 온라인 서비스와 아카이빙을 위하여 저작물의 내용을 변경하지 않는 편집상 혹은 포맷상의 변경을 통한 복제를 허락함
2. 저작물의 DB 구축과 인터넷을 포함한 정보통신망에 공개하여 논문 일부 또는 전부의 복제·배포 및 전송을 허락함
3. 저작물에 대한 이용 기간은 3년으로 하고 계약 종료 2개월 이내에 별도의 의사표시가 없는 경우 기간을 계속 연장함
4. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판 허락을 하였을 경우 1개월 이내에 소속 대학에 통보함
5. 배포, 전송된 학위논문은 이용자가 다시 복제 및 전송할 수 없으며 이용자가 연구 목적이 아닌 상업적 용도로 사용하는 것을 금함
6. 소속대학은 학위논문 위임 서약 이후 해당 저작물로 인한 타인의 권리 침해에 관하여 일체의 법적 책임을 지지 않을 것을 확인함
7. 소속대학의 협약기관 및 한국교육학술정보원에 논문 제공을 허락함

동의여부 : 동의(O) 조건부 동의( ) 반대( )

※ 조건부 동의 및 반대인 경우 사유 및 조건을 기재하여 주시기 바랍니다.

사유 :

조건 :

저작자 성명 : 임 동 춘

주소 : 전남 순천시 해룡면 좌야로 135 609동 503호

(중흥S-클래스 메가타운) (연락처 : 010-3606-2497)

2015년 12월 일

이름 : 임 동 춘 (인)

조선대학교 총장 귀하

Collection @ chosun