JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 10 : 1833~1839 Oct. 2017

통합공공망 주파수 공용 환경에서의 LTE-R 링크버짓 분석

원홍선[1] · 김성철[2*]

LTE-R LinkBudget Analysis for channels interference in the case of sharing the Integrated Public Network Frequency

Hong-sun Won[1] · Seong-cheol Kim[2*]

[1]Department of Electronic & Communication, Korea Railnetwork Authonity, Daejeon 34618, Korea
[2*]Department of Railload electrical system engineering, Woosong University, Daejeon 34606, Korea

요 약

2014년 12월 미래부(현 과학기술정보통신부)의 통합공공망주파수 할당을 시작으로 철도통합무선망(LTE-R)의 성능개선을 추진하고 있다. LTE-R은 기존 기술방식 대비 기술적 성숙도 및 성능측면, 표준화 기반에서의 진화의 용이성 등 많은 장점이 있으나, 국내 전파정책으로 통합공공망 사용기관(행정안전부 PS-LTE 및 해수부의 LTE-M)간 주파수 간섭과 2017년 상용화를 시작한 UHD TV와의 간섭 등 향후 전국철도망의 안정적 열차무선서비스 운용환경 마련을 위해서는 해결할 과제 또한 잔재되어 있다. 본 논문에서는 원주~강릉구간 철도통합무선망(LTE-R)을 추진함에 있어 시험선 구축을 통해 도출된 간섭요인에 따른 LTE-R 성능변화 및 간섭 해소를 위한 RAN-Sharing 구현 결과, 그리고 도출된 시험결과를 토대로 설계단계에서 계획된 링크버짓 변경사항 등을 분석하여 통합공공망 주파수 공용 환경에서의 향후 LTE-R 기지국 설계 추가될 기준 방안을 제시하고자 한다.

ABSTRACT

Korea Railway is enhancing the railway wireless communication system from VHF and TRS which have been used for 100 years to LTE-R starting with Ministry of Science and ICT's allocation of Integrated Public Network Frequency on December 2014. LTE-R has advantages on technology performance, also on ease of evolution based on standardization compared to existing technologies. However there are few problems that need to be solved to provide stable railway wireless services in the future. Due to national spectrum policy, LTE-R has frequency interference with Integrated Public Networks (PS-LTE , LTE-M) and UHD-TV which was commercialized in 2017. This paper introduces performance changes caused by interferences which were founded from the test bed in Wonju~Gangneung LTE-R project and the result of RAN-Sharing. In addition, this paper suggests the standard for LTE-R cell planning in the case of sharing the Integrated Public Network Frequency by analyzing the changes of designed link-budget factor based on the test result.

키워드 : LTE-R, 링크버짓, 주파수간섭, 셀플래닝

Key word : LTE-R, LinkBudget, Frequency Interference, Cell Planning

Received 06 September 2017, **Revised** 18 September 2017, **Accepted** 24 September 2017

* **Corresponding Author** Seong-Cheol Kim (E-mail: kmin@wsu.ac.kr, Tel:+82-42-630-9393)
Department of Railload electrical system engineering, Woosong University, Daejeon 34606, Korea

Open Access https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.10.1833 print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

ⓒThis is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/li-censes/ by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright Ⓒ The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

Ⅰ. 서 론

열차무선설비는 열차운전 및 시설유지보수 등 업무를 위하여 이동하는 열차와 지상간, 열차와 열차간 또는 지상상호간에 무선 또는 유・무선 결합으로 상호정보를 교환하는 시스템이다. 본 장에서는 기존 열차무선 방식인 VHF(Very High Frequency) 및 TRS(Trunked Radio System)를 LTE-R((LTE based Railway wireless communication system)로 변경하면서, 정부의 주파수 정책에 따라 700 MHz 대역을 공동 사용하는 통합공공망주파수(LTE-R, PS-LTE: Public Safety LTE, LTE-M: LTE Marine) 사용기관 간 상호간섭 최소화 방안 도출을 위해 원주~강릉구간에 시험선을 구축하고 도출된 시험 측정 결과를 토대로 무간섭 환경조건에서의 링크버짓 시험결과[1,2] 비교분석 및 간섭 최소화 방안중 하나인 RAN-Sharing 시행 결과 등을 통해 통합공공망 주파수 간섭환경에서의 향후 전국철도 LTE-R 기지국 설계 시행 시 고려사항을 제시하고자 한다.

Ⅱ. 연구 시험환경 시험

간섭영향 분석을 위한 시험은 크게 실험실 환경에서의연구 시험환경 시험과 원주~강릉구간 간섭환경에서의 현장시험으로 나누어 진행하였다. 연구 시험환경 시험은 원주~강릉구간 사업자인 KT 연구개발센터에서 LTE-R과 PS-LTE간 전파간섭에 따른 음성, 영상, 정보량 등 무선통신 품질시험을 시행하였다.

2.1. 시험 개요

연구 시험환경 시험(2016.10월~11월 약 2개월) 시행을 위한 구성 및 절차는 그림 1 및 표 1 에서와 같이 챔버룸에는 각 PS-LTE 기지국 안테나와 LTE-R 안테나를

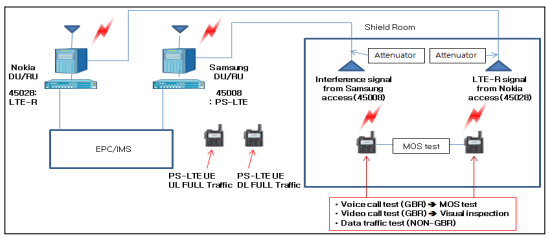

Fig. 1 LAB Test Configuration

Table. 1 LAB Test Procedure

1) Keep DU Output 40 W
2) Test 2 cases of LTE-R signals received at UE
[RSRP : -60/-110 dBm] * Reference Signals Received Power
3) Drive UL·DL full traffic to PS-LTE UE
4) Set ATTEN(Attenuator) of PS-LTE signal in 5 dB steps
5) Measure voice, video and throughput by cases

설치하여 기지국에서 PS-LTE의 간섭신호를 단계별로 조정하면서 간섭영향 테스트를 시행하였다.

2.2. 시험 결과

LTE-R RSRP를 -110 dBm으로 고정 후 PS-LTE 신호 세기별 무부하 및 부하 시 LTE-R 음성 및 영상 시험을 시행하였다.

Table. 2 Voice and Video test result

RSRP		No traffic GBR		RSRP		Full traffic GBR	
LTE-R (dBm)	PS-LTE (dBm)	Voice	Video	LTE-R (dBm)	PS-LTE (dBm)	Voice	Video
-110	-82	Call drop	Call drop	-110	-90	-	-
	-88	Packet delay	Packet delay		-95	-	-
	-100	3.6	-		-100	Call drop	Call drop
	-105	3.7	-		-105	3.6	-
	-110	3.5	-		-110	3.7	-

시험결과 표 2와 같이 무부하 조건에서는 PS-LTE 신호가 LTE-R 신호에 비해 22 dB 높을 경우 음성 및 영상 데이터가 손실되기 시작하였고, 28 dB이상인 경우에는 Call-Drop이 발생하였다. 부하 조건에서는 PS-LTE 신호가 LTE-R 신호보다 10 dB 높을 경우 Call-Drop이 발생했다. 이러한 간섭현상은 LTE-R 신호가 강전계인 경우에도 유사하게 도출되었다. LTE-R 전파세기 가변 시 정보량에 대해 간섭환경별 LTE-R 전파 세기를 강전계(-60 dBm), 약전계(-110 dBm)로 구분하여 시험을 시행하였다. LTE-R 전파세기를 –60 dBm으로 고정하고 PS-LTE 전파세기를 단계별 가변하며 무부하 시험을 시행한 결과, 그림 2과 같이 LTE-R 전파세기와 PS-LTE 전파 세기가 동일한 경우 전송속도는 22 Mbps가 측정되었다. 또한 LTE-R 신호가 PS-LTE 신호보다 30 dB

낮을 경우 전송이 중단되었다.

부하시험 시행결과, 그림 3과 같이 LTE-R 전파세기가 PS-LTE 전파 세기보다 4 dB 이상 높을 경우 속도는 27 Mbps가 측정되었고, LTE-R 신호가 PS-LTE 신호보다 13 dB 이상 낮을 경우 전송이 중단되었다.

LTE-R 약전계(- 110 dBm)시 PS-LTE 전파세기 가변 시험결과 무부하 시험 시행결과는 그림 4와 같이 LTE-R 전파세기가 PS-LTE 전파 세기보다 10 dB 이상 낮지 않을 경우 속도는 23 Mbps 이상 측정되었다. 또한 LTE-R 신호가 PS-LTE 신호보다 30 dB 이상 낮을 경우 전송이 중단되었다. 부하시험 시행결과는 그림 5과 같이 LTE-R 전파세기가 PS-LTE 전파 세기보다 10 dB 이상 낮지 않을 경우 속도는 22 Mbps 이상 측정되었다.

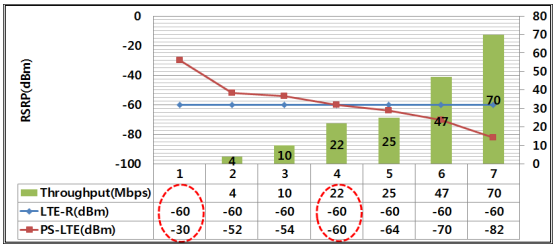

Fig. 2 LTE-R RSRP -60 dBm fixed, PS-LTE RSRP variation test(No traffic)

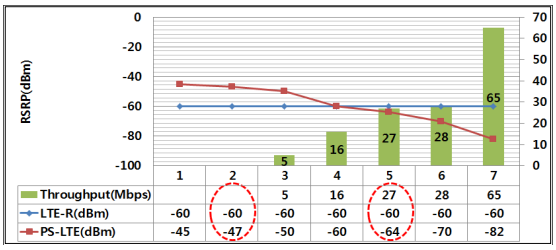

Fig. 3 LTE-R RSRP -60 dBm fixed, PS-LTE RSRP variation test(Full traffic)

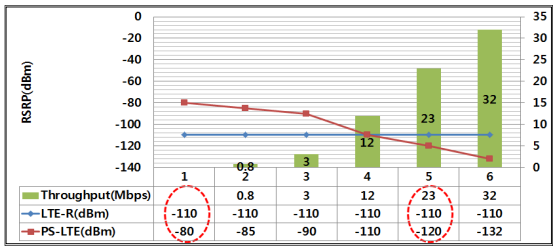

Fig. 4 LTE-R RSRP -110 dBm fixed, PS-LTE RSRP variation test(No traffic)

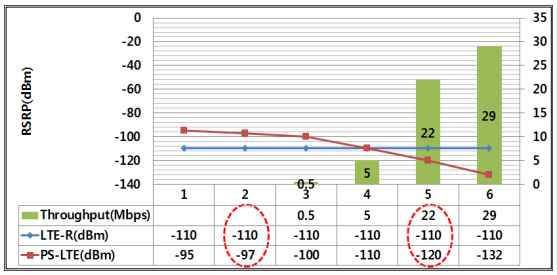

Fig. 5 LTE-R RSRP -110 dBm fixed, PS-LTE RSRP variation test(Full traffic)

또한 LTE-R 신호가 PS-LTE 신호보다 13 dB 이상 낮을 경우 전송이 중단되었다. Packet Delay 시험결과는 위 시험조건을 기준으로 음성 및 영상이 깨지지 않는 조건에서의 지연시간을 측정한 결과 10~100 ms를 유지하여 설계품질 요구조건인 300 ms이하를 만족하였다. LTE-R 음성 및 영상 품질확보를 위해서는 PS-LTE 최대 부하 기준 대비 LTE-R 신호세기가 10 dB 보다 작지 않아야 하며 정보량 시험에서는 하향(DL: Down Link) 속도 기준 20 Mbps 이상을 유지하기 위해서는 PS-LTE 최대 부하 기준대비 LTE-R 신호세기가 4 dB가 커야함을 알 수 있었다.

Ⅲ. 전파간섭 환경에서의 현장시험 시행결과

3.1. 시험 개요

시험선은 그림 6과 같이 강원도 지역 PS-LTE 기지국(면온기지국)과 원주~강릉 LTE-R기지국이 인접하여 전파간섭이 예상되는 구간(진조터널출구~면온터널 입구)을 선정하여 표 3의 장비를 적용하여 현장시험을 시행(2016.12월~2017.4월 약 4개월)하였다.

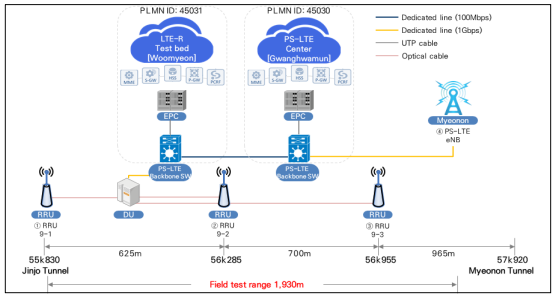

Fig. 6 Field Test Configuration

Table. 3 Equipment specification

1) DU (Samsung) : FDD 10 MHz 2T2R 12 cell
2) RRU(Samsung) : Output Power - 40 W/2path
3) UE : 4 Smartphone type devices - PTT(Rel10)
4) Antenna

Category	65° Sector Antenna	35° Beam width Antenna
Frequency	718~783 MHz	718~783 MHz
Gain	14 dBi	13 dBi
Horizontal/Vertical beam width	65°/15°	35°/35°

3.2. 시험 결과

음성 및 영상 시험결과는 현장시험의 경우 측정 가능한 신호세기의 범위에 제약이 있으므로 강전계(-60 dBm) 약전계(-110 dBm)로 나누어 시험한 연구 시험환경 시험과는 달리 원주~강릉 구간 시험선에서 측정 가능한 RSRP 범위에서 시험을 진행하였다. LTE-R과 PS-LTE의 전파세기차를 기준으로 원주~강릉 구간 시험선 및 연구 시험환경 시험 시행결과 상호 비교를 통해 실제 전파간섭 환경을 고려한 간섭마진을 예측할 수 있는 의미 있는 결과 값을 도출할 수 있었다.

Table. 4 Voice and Video test result

Category	Quality degradation threshold (LTE-R>PS-LTE difference)	
	Field test result	LAB test result
-60 ~ -90 dBm	0 dB	-10 dB

표 4와 같이 시험결과 연구 시험환경 품질저하 임계값(LTE-R과 PS-LTE 신호 세기차)인 10 dB와는 다르게 0 dB부터 음성 및 영상 데이터가 손실되기 시작하였다. 또한 원주~강릉구간에서 PS-LTE 기지국이 LTE-R에 미치는 간섭환경별 정보량 시험을 시행한 결과, 표 5와 같이 하향(DL: Down Link) 정보량 시험에서는 LTE-R 전계강도가 PS-LTE의 +3 dB이하일 경우 하향(DL: Down Link) 전송속도 저하 현상이 현저하게 발생함을 알 수 있었다. 상향(UL: Up Link) 정보량 시험에서는 표 6과 같이 LTE-R 전계강도가 PS-LTE 간섭신호보다 5 dB 이상 작지 않으면 20 Mbps전송속도를 유지하였고, 그 이상의 간섭 신호차가 발생할 경우 전송속도가 0으로 현저하게 저하됨을 알 수 있었다

Table. 5 DL Throughput test result

RSRP (dBm)			Downlink		
LTE-R	PS-LTE	LTE-R>PS-LTE difference	Throughput (Mbps)	Reduction ratio	Notes
-82.70	-89.50	7	41.822	3.6%	
-80.25	-86.03	6	41.505	4.3%	
-79.50	-84.38	5	41.637	4%	
-79.78	-83.73	4	42.235	2.7%	
-80.31	-83.25	3	40.697	6.2%	Reduction
-81.13	-83.13	2	39.855	8.1%	
-82.88	-83.79	1	38.226	11.9%	
-83.79	-83.75	0	37.854	12.8%	

Table. 6 UL Throughput test result

RSRP (dBm)			Uplink	
LTE-R	PS-LTE	LTE-R>PS-LTE difference	Throughput (Mbps)	Notes
-87.39	-83.41	-4	22.029	
-88.72	-83.77	-5	21.959	
-89.56	-83.60	-6	21.975	Event occurrence(UL 0)
-90.67	-83.64	-7	21.848	Event occurrence(UL 0)
-91.55	-83.59	-8	20.761	Event occurrence(UL 0)
-92.66	-83.83	-9	16.326	Event occurrence(UL 0)
-93.36	-83.33	-10	20.194	Event occurrence(UL 0)
-93.50	-82.69	-11	18.768	Event occurrence(UL 0)

RAN-Sharing은 기지국 공유기술로 통합공공망 주파수 공동사용에 따른 상호 주파수 간섭 최소화 방안으로 제안되었으며, 실제 구현 및 전파간섭 시험은 원주~강릉 시험선에서 처음 구현되었다. 구현방안은 MOCN (Multi Operator Core Network) 방식으로 구성하였으며, 동적 자원할당(Resource Block) 시험 및 구현 전·후 품질결과 분석을 시행하였다. PS-LTE 면온 기지국과 LTE-R 기지국간RAN-Sharing을 구성하여 전·후 성능 변화를 측정한 결과 그림 7과 같이 LTE-R 성능향상 뿐 아니라, PS-LTE에 비해 상대적으로 강전계인 LTE-R 간섭으로 인한 PS-LTE 품질저하 현상도 크게 개선되어 정보량의 경우 약 10배(4.1 Mbps→46.1 Mbps) 향상되었고, RSRP 및 SINR도 현저히 개선되었다.

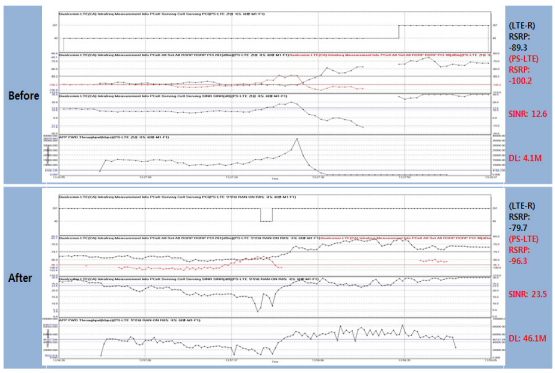

Fig. 7 PS-LTE quality comparison before/after

LTE-R 음성 및 영상 품질을 확보하고 하향(DL: Down Link) 및 상향(UL: Up Link) 속도 기준인 20 Mbps 이상 정보량 확보를 위해서는 연구 시험환경 시험에서 도출된 PS-LTE 최대 부하 기준대비 LTE-R 신호세기가 4 dB이상 확보되어야 함을 알 수 있었다.

Ⅳ. 전파간섭을 고려한 링크버짓 재산출

4.1. 링크버짓 주요 항목

링크버짓 산정을 위한 요구사항[3-6]을 기준으로 도출된 원주~강릉 구간 LTE-R 링크버짓 기준은 표 7 및 표 8과 같으며 국가 연구과제로 추진한 “철도 전용 무선통신시스템 기술개발 및 성능평가” 결과를 토대로 철도 선로변 개활지 및 터널 내 기지국 간격은 1 km로 산정하였으며, 통합 공공망 주파수 상호간섭 영향은 배제되었다[7]. 본 연구결과를 반영한 통합공공망간 전파간섭 환경에서의 링크버짓 재산출 결과 원주~강릉구간 LTE-R 설계기준인 철도 선로변개활지 및 터널내 기지국 간격 1 km는 간섭여유도 4 dB를 고려 할 경우 표 9와 같이 다운링크의 경우 커버리지가 당초 1 km에서 540 m로 약 50% 감소하고, 표 10과 같이 업링크의 경우는 330 m로 약 70% 감소하는 등 현저한 성능저하 예측값이 도출되었다. 연구 시험환경 시험 및 현장시험 시행결과 통합 공공망 주파수를 공동 사용하는 LTE-R과 PS-LTE 전파간섭 영향 여유도를 4 dB로 정의할 경우 설계단계부터 개정된 LTE-R 링크버짓 적용이 필요할 수 있다.

Table. 7 DL link budget change factors

Down link item	Old value	Unit	New value	Unit	Notes
BS Tx Power	41.8	dBm	46	dBm	Based on Wonju~Gangneung
BS Tx Cable Loss	1	dB	4	dB	2-way applied
UE Noise Figure	3	dB	8	dB	Based on commercial network
SINR Requirement	2	dB	2	dB	Based on Wonju~Gangneung access
Fading Margin	15	dB	11.6	dB	Based on commercial network
Interference Margin	-	dB	4	dB	Newly inserted
Penetration Loss	-	dB	15	dB	Train penetration loss

Table. 8 UL link budget change factors

Up link item	Old value	Unit	New value	Unit	Notes
UE Tx Antena Gain	3.15	dBm	-1	dBm	Based on Wonju~Gangneung access
UE Tx Cable Loss	1	dB	0	dB	Based on commercial network
BS Nois Figure	-	dB	3	dB	Based on commercial network
BS Rx Antenna Gain	-	dBi	15	dBi	Based on Wonju~Gangneung access
SINR Requirement	2	dB	0.7	dB	Based on Wonju~Gangneung access
Fading Margin	15	dB	11.6	dB	Based on commercial network
Interference Margin	-	dB	4	dB	Newly inserted
Penetration Loss	-	dB	15	dB	Train penetration loss

Table. 9 DL link budget re-calculation

No	Down link item	Value	Unit	Notes
0	Target Data Rate	2	Mbps	
1	BS Tx Power	46.0	dBm	Output 40W
2	BS Tx Antenna Gain	15.0	dBi	
3	BS Tx Cable Loss	4.0	dB	
4	BS Tx EIRP	57.0	dBm	[1]+[2]-[3]
5	Subcarrier Spacing	15.0	kHz	
6	Used RB	50		
7	Used BW	9.0	MHz	
8	Thermal Noise Density	-174.0	dBm	KTB=1.38*10-23* (273+temperature)
9	Thermal Noise Power	-104.5	dBm	
10	UE Noise Figure	8.0	dB	
11	UE Noise Floor	-96.5	dBm	Noise Figure + Thermal noise
12	SINR Requirement	2.0	dB	
13	Sensitivity	-94.5	dBm	[11]+[12]
14	UE Rx Antenna Gain	-1.0	dB	
15	Fading Margin	11.6	dB	
16	Interference Margin	4	dB	4dB or 10dB
17	Penetration Loss	15	dB	Assume in-train use
18	Max Allowable Path Loss	119.9	dB	[4]-[13]+[14]-[15]-[16]-[17]
19	Frequency	700	MHz	
20	BSAntennaHeight (HB)	5	m	
21	UEAntennaHeight (hU)	3	m	
22	Antenna Height Correction Factor	3.7		Medium sized cities and suburbs
23	Coverage	0.54	Km	Okumura-HATA Model applied

Table. 10 UL link budget re-calculation

No	Up link item	Value	Unit	Notes
0	Target Data Rate	1	Mbps	
1	UE Tx Power	23.0	dBm	200mW for UE
2	UE Tx Antenna Gain	-1.0	dBi	
3	UE Tx Cable Loss	0.0	dB	
4	UE Tx EIRP	22.0	dBm	[1]+[2]-[3]
5	Used RB	15		
6	Used BW	2.7	MHz	
7	ThermalNoise Density	-174.0	dBm	KTB=1.38*10-23* (273+temperature)
8	Thermal Noise Power	-109.7	dBm	Thermal Noise Density * BW
9	BS Noise Figure	3.0	dB	
10	BS Noise Floor	-106.7	dBm	Noise Figure + Thermal noise
11	SINR Requirement	0.7	dB	
12	Sensitivity	-106.0	dBm	[10]+[11]
13	BS Rx Antenna Gain	15.0	dBi	
14	BS Tx Cable Loss	1.0	dB	
15	Fading Margin	11.6	dB	
16	Interference Margin	4	dB	4dB or 10dB
17	Penetration Loss	15	dB	Assume in-train use
18	Max Allowable Path Loss	111.4	dB	[4]-[12]+[13]-[14] -[15]-[16]-[17]
19	Frequency	700	MHz	
20	BSAntennaHeight (HB)	5	m	
21	UEAntenna Height(hU)	3	m	
22	Antenna Height Correction Factor	3.7		Medium sized cities and suburbs
23	Coverage	0.33	Km	Okumura-HATA Model applied

V. 결 론

통합 공공망 주파수를 공동 사용하는 국내 전파환경 특수성을 고려할 때 LTE-R을 적용한 향후 전국 철도에 안정적인 철도무선통신망 서비스를 제공하기 위해서는 무엇보다 LTE-R과 PS-LTE 및 LTE-M간 상호 전파간섭 해소가 우선시 되어야 한다. 이를 위해 원주~강릉 시험선 구축 및 간섭시험 결과를 통해 링크버짓에 영향을 미칠 수 있는 “간섭여유도” 항목을 도출하였다. 그러나 전파간섭으로 인한 LTE-R 서비스 커버리지 감소 등 기지국 증가에 따른 예산 증가 및 전파간섭 해소방안인 RAN-Sharing 구현 시 기관 간 자원할당 분배방안, 특히 UHD TV의 주파수 간섭 추가 등 통합 공공망 주파수를 공용하는 LTE-R, PS-LTE 및 LTE-M 운영기관 간 안전한 시스템 성능 확보를 위한 긴밀한 협업 절차가 필요

하다.

본 연구결과를 토대로 향후 250km/h 고속철도급 운영환경을 고려한 LTE-R 셀 최적화 방안 수립 및 기지국 이중화시 고려할 기준치 수립 등의 추가적인 연구가 필요하며 국내 축적된 기술자료 등을 토대로 3GPP에서 추진중인 stage1 work item인 MONASTERY2의 기술규격에 국내 기술구현 기준을 반영하기 위한 노력도 추진하여야 할 것으로 생각된다.

REFERENCES

[1] Y. S. Song, “A Study on the Design and Evaluation of Control Wireless Network Based on Railway,” Ph. D. dissertation, Yonsei University, Seoul, Republic of Korea, 2016.

[2] J. Y. Choi, “A Study on the Optimization of LTE based Railroad Wireless Communication Net work in Korea,” Ph. D. dissertation, Woo-Song University, Daejeon, Republic of Korea, 2014.

[3] TTAK.KO-06.0437, *LTE based Railway Communi cation System Requirements (Conventional and High Speed Railway)*, TTA, Seongnam, Republic of Korea, 2016.

[4] TTAK.KO-06.0369, *Functional Requirements for LTE based Railway Communication System*, TTA, Seongnam, Republic of Korea, 2014.

[5] TTAK.KO-06.0370, *User Requirements for LTE based Railway Communication System*, TTA, Seongnam, Republic of Korea, 2014.

[6] 3GPP TS 23.203, *Policy and charging control architectur*e, 3GPP, Sophia Antipolis, France, 2017.

[7] “Technical Development and Performance Test of Wireless Communication System for Railway (Performance Test Result at the Speeds of 250Km/h),” KORAIL: Daejeon, Republic of Korea, 2016.

원홍선(Won-Hong Sun)

1997년 원광대학교 전자공학과 학사
2007년 충남대학교 전자정보통신공학과 석사
1996년~현재 한국철도시설공단 전자통신처 무선통신부 차장
※관심분야 : 무선통신, 철도시스템, IoT
E-mail : wonhongs@kr.or.kr

김성철(Seong-cheol Kim)

1987년 고려대학교 전자공학과 학사
1989년 고려대학교 전자공학과 석사
1989년 ~ 1994년: 삼성전자(주) 근무
1997년 고려대학교 전자공학과 박사
1997년 ~ 현재: 우송대학교 철도전기시스템학과 부교수
※관심분야 : 광대역 무선멀티미디어 통신, 통신이론, 철도통신
E-mail : kmin@wsu.ac.kr