

지하철에서의 공용망을 이용한 TRS 망 설계 및 검증에 관한 연구

김학열, 김성철*

TRS Network Design and Inspection by Shared Network in Subway

hak-yeoul Kim, Seong-Cheol Kim*

요약 주파수공용통신시스템TRS(Trunked Radio System)은 개별통화, 그룹 통화뿐만 아니라 그룹에 속한 가입자는 동시에 호출할 수 있고, 통화시간을 조정함으로써 제한된 시간 내에 많은 이용자가 사용할 수 있다. 또한 지하철의 LCX 인프라망은 대부분 FM, 소방무선, 경찰청 TRS와 2005년에 구축된 지상파DMB 서비스가 공용으로 망에 연결되어 서비스 및 운영 하고 있으며, 본 논문은 지하철TRS의 효과적인 망 설계와 구축을 위하여 지하철의 복합통신 인프라와 연계하여 통화수신감도, 핸드오프, 타 신호간섭, 시간지연 등을 분석하고, 중계기의 출력별 수신 전계강도, 통화단말의 성공률 등의 테스트를 시행하고 테스트 결과를 분석하였다. 또한, 테스트결과에 의한 장비의 출력용량 및 서비스 커버리지에 의한 예측으로 TRS 셀 설계 및 망 구축에 도움을 줄 것이다.

Abstract In addition to individual calls and group calls, the Trunked Radio System (TRS), which belongs to a group, can make calls simultaneously, and many users can use it within a limited time by adjusting the call time. Also, the LCX infrastructure network of the subway Most of the FM, firefighting radio, TRS of the National Police Agency and the terrestrial DMB service built in 2005 are commonly connected to the network for service and operation. In connection with the analysis, call reception sensitivity, handoff, interference with other signals, time delay, etc. were analyzed, and tests such as reception field strength for each output of the repeater and the success rate of the call terminal were conducted and the test results were analyzed. In addition, it will help TRS cell design and network construction by predicting equipment output capacity and service coverage based on test results.

Key Words : LCX, TRS, Sshared Network, Mobile Communication Rate, Field Test

1. 서론

주파수공용통신시스템 TRS (Trunked Radio System)은 개별통화, 그룹 통화뿐만 아니라 그룹에 속한 가입자는 동시에 호출할 수 있고, 통화시간을 조정함으로써 제한된 시간 내에 많은 이용자가 사용할 수 있으며, 통화의 우선순위를 부여하여 긴급호출도 가능한 방식으로 한정된 주파수 자원을 제한 시간 내에서 다수에게 공용할 수 있는 방안에서는 가장 효율적인 통신방식이다.[1,2]

이에 대한 장점 때문에 상업용 서비스 일부 자가 통신망과 기간통신망 및 경찰청, 교통방송, 검찰청, 한전, 지하철 기관 등에서 광범위하게 업무용으로 TRS 망을 구축하여 활용하고 있다.

현재 공용주파수 사용대역은 380MHz대역에서 19.8MHz자가 통신망으로, 800MHz대역에서 32MHz대역에서 통합무선망용(806~811MHz) 및 통신사업용(811~822MHz)대역을 쓰고 있다.

특히, 폭탄테러, 지하철 화재, 지진, 가스 누출 등 예고되지 않는 재난 등에 대비한 효과적이고도 신속한

*Corresponding Author : Department of Railway Electrical Sytem Engineering Woosong University,
 Received June 25, 2021 Revised June 25, 2021 Accepted June 28, 2021

대처방안으로 국가통합지휘통신망(이하 통합무선망)이 필요하게 되었으며, 2003년 대구지하철 화재 참사 이후 소방방재청은 재난 및 안전관리기본법 제3조에 의한 재난 관리 책임기관, 긴급구조기관 및 긴급구조지원기관의 일원화된 지휘체계를 확보하여, 신속하고 정확한 의사결정 및 일사불란한 현장지휘체계 수행을 위해 재난 대응 통합지휘 무선망을 단계적으로 구축 중에 있다.[3.4]

또한 이는 재난현장에서 일사불란한 체계를 확보, 중요도 높은 정보전달을 원활하게 하여 인명을 보호하며 재난 현장 수습에도 큰 기여를 할 것이다.

본 논문에서는 지하공간의 지하철에서의 TRS망을 기존 공용인프라를 이용하여 경제적이고 효율적으로 구축하는 망 설계를 소개하며, 이에 대한 필드테스트를 통하여 장비의 출력에 따른 수신 전계강도, 통화품질 테스트에 의한 품질기준과 장비의 출력을 정의하고자 한다.

2.지하철 인프라를 활용한 TRS 서비스

지하철의 통신 인프라망은 기존 FM, 소방무선, 경찰청TRS, 지상파DMB를 아래 그림 1 과 같이 공용으로 사용하고 있다.

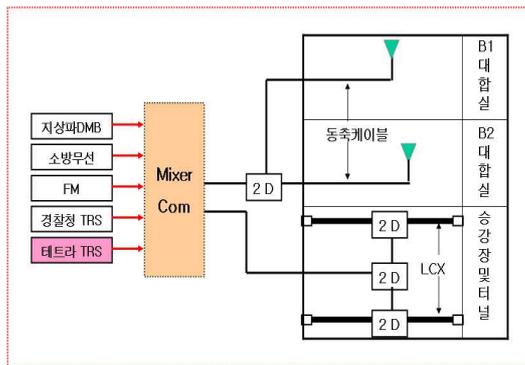


그림 1. 공용망의 TRS 장비 연결망 구성
Fig. 1. TRS device connection network configuration of public network

각 FM, 소방무선, 경찰청TRS, 지상파DMB 증계기는 통합 믹서 콤파이너로 하나의 신호로 통합되어 단

일화된 인프라 망으로 연결된다.그러므로 기존의 공용화된 인프라망에 테트라TRS를 수용할 수 있는 복합 콤파이너를 개발 및 교체하고, 테트라TRS 증계기를 입력하여 기존 공용 인프라망을 통하여 서비스한다.

기존 인프라망의 안테나, 분배기, LCX케이블, 동축케이블 등은 광대역으로 FM부터 TRS까지 수용이 가능하므로 기존인프라이용에 문제가 없다.

3.지하철 TRS 필드테스트

3.1 필드테스트

기존의 지하철 공용 인프라망을 아래와 같이 2개 역사를 구성한다.

서울메트로구간의 1호선 종각~종로3가 구간을 선정하여 기존에 구축되어있는 22D/42D LCX망과 지상파DMB 광케이블을 이용하여 출력별/LCX 종류별로 각각 단말품질, 수신 전계강도 등을 측정 분석하였다.

- 1) 신호입력 : 종각역에 외부수신안테나를 설치하여 남산 TRS 기지국의 신호를 수신하여 MR에 신호를 입력
- 2) 외부신호 전송: 남산 TRS 기지국의신호를 MR (Main Repeater)에서 받아 종로3가에 설치된 SR(Sub Repeater)에 전송
- 3) 서비스 인프라 구성
 - 42D 지상파DMB 망 : 기존 지상파DMB 서비스를 위하여 구성된 42D LCX 및 동축케이블 등의 지상파DMB 인프라와 TRS 장비를 연결하여 테스트
 - 22D서울 메트로 복합통신망 : 기존 서울 메트로에서 소유하고 FM 서비스를 하고 있는 22D LCX 및 동축케이블 등의 복합통신망 인프라와 TRS 장비를 연결하여 테스트을 하고자 한다.

SR(Slave Repeater)와 CB(Cable Booster)를 같은 지역에서 동시에 방사 하여 상호간의 간섭 및 시간지연문제여부를 확인

2) 품질 테스트 결과를 표1. 에 나타내었다.

표 1. 22D/42D LCX 수신전계강도 측정 결과
Table 1. 22D/42D LCX Received Field Strength Measurement Results

구분	증계기 출력	방향	구간평균				변화폭
			22D	출력 평균	42D	출력 평균	
22D&42D 전계강도	44dBm	종각→종로3가	-71.49	-70.91	-62.25	-61.32	9.24
		종로3가→종각	-70.34	-70.91	-60.40	-61.32	9.94
	40dBm	종각→종로3가	-71.85	-72.76	-60.91	-63.43	10.94
		종로3가→종각	-73.67	-72.76	-65.95	-63.43	7.71
	38dBm	종각→종로3가	-72.41	-72.65	-67.58	-66.83	4.82
		종로3가→종각	-72.89	-72.65	-66.09	-66.83	6.80
	33dBm	종각→종로3가	-74.11	-76.30	-69.85	-71.71	4.27
		종로3가→종각	-78.48	-76.30	-73.57	-71.71	4.91
	27dBm	종각→종로3가	-80.47	-80.99	-78.22	-79.82	2.25
		종로3가→종각	-81.51	-80.99	-81.41	-79.82	0.10
	전체 평균			-74.72		-68.62	

· 전계강도를 그림6,그림7에 나타내었다.

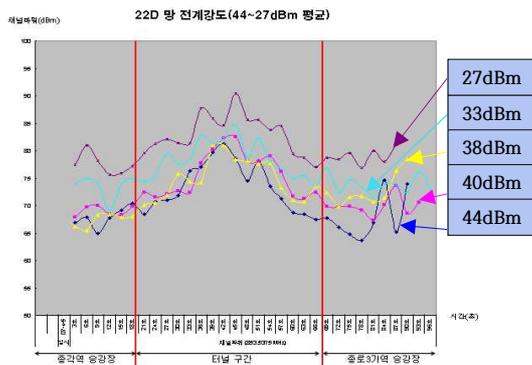


그림 6. 22D LCX 전계강도
Fig. 6. 22D LCX field strength

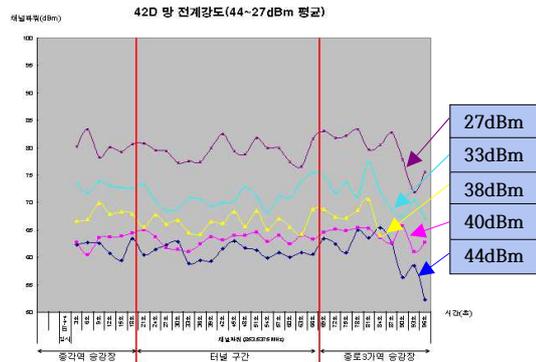


그림 7. 42D LCX 전계강도
Fig. 7. 42D LCX field strength

또한 22D/42D LCX망은 증계기의 30~44dBm/total출력시 평균적으로 -90dBm이상으로 나타나고 있으나, 27dBm/total 출력시는 -90dBm 이상전체 측정회수 환산시 94%로 98%이상기준에는 적합하지 않고, 또한, 42d LCX망이 22d LCX 전계강도 보다 5~6dB 더 높은 결과치를 보였다.

- 단말기 시험
- 시험방법 : 2대의 단말기로 고정/이동간의 통화품질 측정을 시행하여, 통화불량(호걸림/접속불량)/측정회수를 불량률로 환산하여 백분율로 통화성공률을 환산한다.
- 시험결과 : 42D LCX망에서는 38dBm/total 출력이상에서 통화성공을 95%이상이 측정되었으며, 22D LCX 망에서는 수신전계강도와 상관없이 현저하게 통화 성공률이 42d LCX망에 비하여 떨어지고 있다. 그결과를 표2에 나타내었다. .

표 2. 통화품질특징 결과
Table 2. Call quality specific results

구분	출력 (dBm)	방향	22D			42D			
			통화횟수	호접속 실패수	통화 성공률	통화횟수	호접속 실패수	통화 성공률	
통화 품질	44	종각-종로3가	72	2	92%	65	0	99%	
		종로3가→종각	142	10		132	1		
	40	종각-종로3가	74	6	81%	73	2	99%	
		종로3가→종각	146	22		143	0		
	38	종각-종로3가	68	16	75%	56	2	96%	
		종로3가→종각	139	19		109	2		
	33	종각-종로3가	67	7	80%	65	7	94%	
		종로3가→종각	132	20		129	1		
	27	종각-종로3가	67	26	71%	66	4	89%	
		종로3가→종각	133	12		133	10		
	총합계			692	140	80%	646	29	95%

- 핸드오프 테스트
- 테스트 구성
- 종로3가의 환승통로 1호선/3호선에서 기존 경찰청 증계기와 신규 TRS 장비의 핸드오프 중첩구간에서 단말기 통화시험으로 테스트 진행 하였다.
- 기존 사용하고 있던 6번 기지국에서 D번 기지국으로 전환하였다.
- 3호선 종로3가역(기존경찰청 TRS 장비서비스 지역)에서 6번 또는 D번 기지국으로 서비스하고
- 3호선 종로3가역의 기존경찰청 TRS 장비서비스 off시에는 환승구간 및 3호선 승강장 서비스 불안정하게 되고 있었다. 그내용을 그림.8에 나타내었다.

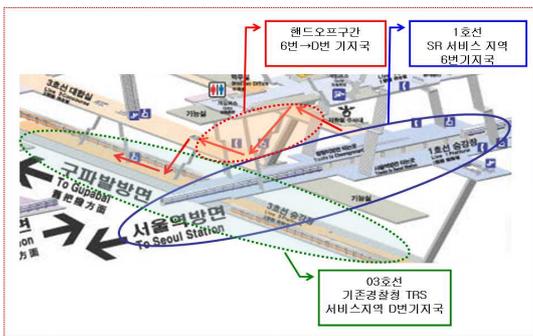


그림 8. 핸드오프 테스트 구성
Fig. 8. Handoff test configuration

- 테스트 결과
- 핸드오프 구간 통화품질 시험 기준경찰청 TRS 장비와 신규 TRS 장비의 중첩구간 통화시 핸드오프 통화시험 결과를 표#에 나타내었다.

표 3. 핸드오프 통화시험 결과
Table 3. Handoff call test results

구분	서비스	통화시험						
		장비	기지국	1회	2회	3회	4회	5회
1호선 TRS SR(on)	1호선 종로3가역 승강장 (대합실 지하1층)	SR 장비	6번	양호	양호	양호	양호	양호
	1-3호선 종로3가역 환승구간 (에스컬레이터 앞)	장비	6번	양호	양호	양호	양호	양호
3호선 경찰청 TRS(on)	1-3호선 종로3가역 환승구간 (에스컬레이터 구간)	경찰청 장비	D번	양호	약간 깨짐	양호	양호	양호
	1-3호선 종로3가역 환승구간 (3호선 계단)	장비	D번	양호	양호	양호	양호	양호
1호선 TRS SR(off)	1호선 종로3가역 승강장 (대합실 지하1층)	SR 장비	6번	양호	양호	양호	양호	양호
	1-3호선 종로3가역 환승구간 (에스컬레이터 앞)	장비	6번	양호	양호	양호	양호	양호
3호선 경찰청 TRS(off)	1-3호선 종로3가역 환승구간 (에스컬레이터 구간)	없음	없음	X	X	X	X	X
	1-3호선 종로3가역 환승구간 (3호선 계단)	없음	없음	X	X	X	X	X
3호선 종로3가역 승강장	3호선 종로3가역 승강장	없음	없음	X	X	X	X	X

- ③ 상호 혼신시험 ON시 FM대역과 OFF FM대역
- 시험방법 : TRS 장비의 정격 출력 44dBm/ total 을 동작시키고, 타 주파수에 영향을 주는지의 여부 확인을 그림 9, 그림10 에 나타내었다.

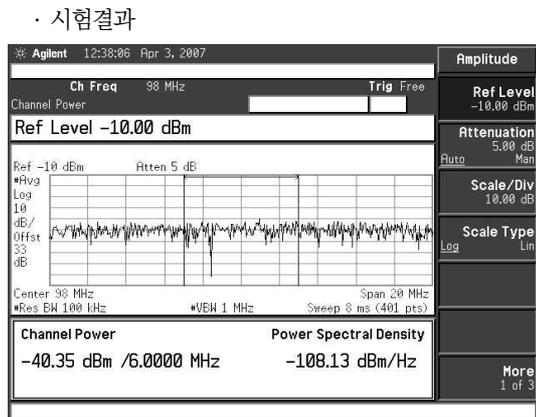


그림 9. TRS 장비 ON시 FM대역
Fig. 9. FM band when TRS equipment is ON

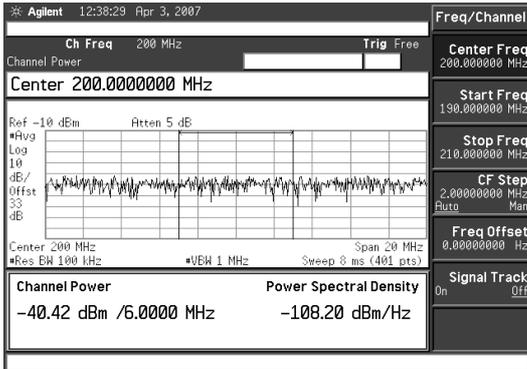


그림 10. TRS 장비 OFF시 FM대역
Fig. 10. FM band when TRS equipment is OFF

TRS의 장비를 정격 44dBm/total 출력으로 동작시에 FM 주파수/셀룰라 주파수 대역에서의 TRS에서 생기는 혼신 및 불요파는 생기지 않고 있다.

⇒ 셀룰라 단말 및 FM 단말기로 동시에 통화/시청시 혼신 없었다. 그측정 포인트를 그림11에 고 혼신 시험 결과를 표4에 나타내었다.

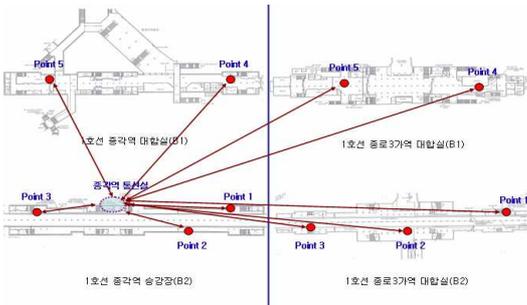


그림 11. 측정 포인트
Fig. 11. Measuring point

표 4. 혼신 시험 결과
Table 4. Interference test results

장비 출력	역사	통화품질					역사	통화품질				
		1point	2point	3point	4point	5point		1point	2point	3point	4point	5point
44dBm	종각	양호	양호	양호	양호	양호	종로3가	양호	양호	양호	양호	양호
40dBm		양호	양호	양호	양호	양호		양호	양호	양호	양호	양호
38dBm		양호	양호	양호	양호	양호		양호	양호	양호	양호	양호
33dBm		양호	양호	양호	양호	양호		양호	양호	양호	양호	양호
27dBm		양호	양호	양호	양호	양호		양호	양호	양호	양호	양호

- ④ 신호간섭 및 시간지연 시험
· 시험방법 : 종로3가에 설치된 TRS 장비 SR의 출

력을 가변하여 동작시키면서, 동시에 SR에 광 케이블로 연결된 CB를 2W/total로 출력을 방사하여 단말기의 통화상태를 확인

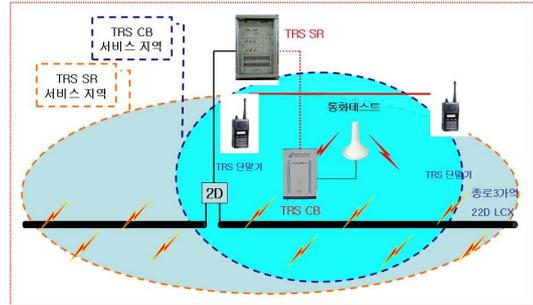


그림 12. 시간지연 및 혼신시험 구성
Fig. 12. Time delay and interference test configuration

- 시험결과
신호 간섭 및 시간지연 시험을 표5에 나타내었다.

표 5. 신호간섭 및 시간지연 시험
Table 5. Signal interference and time delay test

구분		통화시험				
		1회	2회	3회	4회	5회
44dBm	종로3가 대합실	양호	양호	양호	양호	양호
	종로3가 승강장	양호	양호	양호	양호	양호
27dBm	종로3가 대합실	양호	양호	양호	양호	양호
	종로3가 승강장	양호	양호	양호	양호	양호

시험결과분석을 표6에 나타내었다.

1) 42D LCX/22D LCX 망 품질비교

표 6. 수신 전계강도
Table 6. Received field strength

구분	출력	방향	구간평균				변화폭
			22D	평균	42D	평균	
22D&42D 전계강도	44dBm	종각→종로3가	-71.49	-70.91	-62.25	-61.32	9.24
		종로3가→종각	-70.34		-60.40		0.94
	40dBm	종각→종로3가	-71.85	-72.76	-60.91	-63.43	10.94
		종로3가→종각	-73.67		-65.95		7.71
	38dBm	종각→종로3가	-72.41	-72.65	-67.58	-66.83	4.82
		종로3가→종각	-72.89		-66.09		6.80
	33dBm	종각→종로3가	-74.11	-76.30	-69.85	-71.71	4.27
		종로3가→종각	-78.48		-73.57		4.91
	27dBm	종각→종로3가	-80.47	-80.99	-78.22	-79.82	2.25
		종로3가→종각	-81.51		-81.41		0.10

표6에서 44dBm/total 출력시 수신 전계강도는 22D/ 42D LCX의 수신전계강도 차이는 9~10dB 정도이며, 22D/42D LCX의 인프라 구성이 상이하여 인프라 구성의 오차(동축 케이블 손실)를 보상하면 5~6dB 정도 42D LCX가 수신전계강도가 높은 것으로 나타남.

2) 단말품질

⇒ 22D LCX인프라를 연결하여 서비스 테스트시 수신 전계 강도와 상관없이 통화 성공률이 95%를 넘지 못하였으며, 기존 22D LCX의 시설물 이 양호하지 못하여 품질에 영향을 주는 것으로 판단됨.

⇒ 42D LCX인프라를 연결하여 서비스 테스트시에는 38dBm/total 이상 시에 단말의 통화품질이 95%이상의 결과가 나타남.

⇒ 단말의 통화품질은 시설물의 상태 및 규격 에 따라 더욱 민감한 결과를 나타내었음.

3) 이론/실측시의 비교

① 비교기준

22D LCX/42D LCX 망의 실제 설계도를 근거로 하여 최종단 터미로드 지점에서의 수신전계강도를 이론적으로 환산하고 실제 스펙트럼 아날라이저에 의한 수신전계강도를 측정 하였을 때의 오차를 비교함

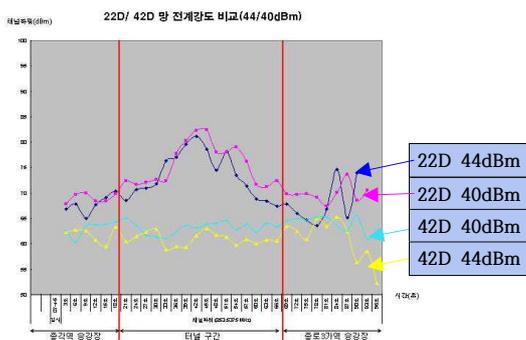


그림 13. 22D/ 42D 전계강도 비교
Fig. 13. 22D/42D electric field strength comparison

② 결과

이론치보다 실제 측정시 6~10dB정도 전계 강도가 더 높게 데이터가 측정되었으며, 차량 차폐의 손실은

10~14dB정도로 측정되었음.

42D LCX망 이용시에는 최소1W/ch (38dBm/total)출력시 -90dBm이상을 나타내었음.

표 7. 이론/실측 시의 비교

Table 7. Comparison between theory and measurement

구분	분배 손실	동축 손실	결합 손실	차폐 손실	커플링 손실	전송 손실	케이블 거리	출력대비수신레벨 (dBm/ch)					비고	
								36	32	30	25	19		
이론	22D	7	9.24	15	20	70	45	517	-95.0	-99.0	-103.0	-107.0	-111.0	종단 지점
	42D	7	4.62	15	20	72	29	600	-86.5	-90.5	-94.5	-98.5	-102.5	
실측	22D	이론과 동일하다는 조건으로 가정							-90.4	-91.4	90.8	92.2	92.8	WO RST
	42D	이론과 동일하다는 조건으로 가정							-77.9	-78	-88.6	-93.1	-94.9	
오차	22D	이론과 동일하다는 조건으로 가정							-4.6	-7.6	-12.2	-14.8	-18.2	
	42D	이론과 동일하다는 조건으로 가정							-8.6	-12.5	-7.9	-5.4	-7.6	

4. 결 론

지하철은 가장 밀집도가 높은 가장대표적인 대중교통 수단으로 승객의 안전대책이 더욱더 중요한 곳이기도 하다. 또한 가장 우선적으로 TRS통신망 구축으로 자가망 이외에 재난망으로 활용 할 수 있도록 해야 한다.

한가지 주지해야 할 사실은 재해재난망으로도 공중망을 활용하고 있다는 점이다. 자가망을 재해재난망으로 채택하고 있는 나라의 경우 공중망이 전혀 없는 유럽국가가 대부분이다. 일부는 공중망이 초기 시작단계라 어쩔 수 없이 자가망을 재해, 재난망으로 활용하는 경우도 있다.

본 논문에서는 지하철에서의 기존 통신망과 연동하여 인프라 구성이 가능하고, 기존 통신시설과의 타 신호의 간섭 및 통화시간지연, 핸드오프의 성공할 수 있다는 것을 검증여부를 검증하였다.

REFERENCES

[1] Ministry of Information and Communication, 2007
 [2]Yeungnam University Graduate School of Industry 2008.2
 [3] Korea Radio Station Research Center, 2007
 [4] Digital Frequency Common Communication Technology Trend and Market Status (Korea

Electronics Research Institute), 2005

[5] Digital TRS concept and technology trend (Korea Electronics Research Institute), 2006

[6] TRS frequency maintenance plan study, 2005 (Korea Radio Promotion Association)

[7] W. Chen, I. Ahmad, and K. H. Chang, "Co-channel interference management using eICIC/FeICIC with coordinated scheduling for the coexistence of PS-LTE and LTE-R networks," *EURASIP Journal on Wireless Communications*, vol.2017, no. 34, pp. 1-14, Dec. 2017.

[8] L. Shi, I. Ahmad, Y. He, and K. H. Chang, "Hidden Markov model-based drone sound recognition using MFCC technique in practical noisy environments", *Journal of Communication and Networks*, Vol. 20, No. 5, pp. 509-518, Oct.2018.

[9] I. Ahmad, K. H. Chang, "Effective SNR mapping and link adaptation strategy for next-generation underwater acoustic communications networks: a crosslayer approach," *IEEE Access*, Vol. 7, pp. 44150-44164, Apr. 2019.5.

김성철(kim seong cheol)

[일반회원]



- 1989년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사)
- 1997년 : 고려대학교 대학원 졸업(공학박사)
- 현재 : 우송대학교 철도전기시스템학과 교수

〈관심분야〉

무선 통신망

저자약력

김학열 (kim hak yeoul)

[일반회원]



- 1992년 : 한밭대학교 전기공학과 졸업
- 2017년 : 우송대학교 대학원 철도전기시스템학과 졸업
- 2019년 : 국가철도공단 통신처장
- 현재 : 우송대학교 대학원 철도전기시스템학과(박사과정) 재학 중
- 현재 : 국토교통부 철도안전감독관 재직 중

〈관심분야〉

무선 통신망