



# 도시철도용 비상방송시스템을 위한 무선통신 안테나 연구

정용선\*, 장수현\*\*

## A Study on the Wireless Communication Antenna for Emergency Broadcasting System in Metro Environments

Yong-Sun Jeong\*, Soo-Hyun Jang\*\*

---

이 논문은 2019년도 국토교통부 철도기술연구사업(19RTRP-B109166-05)의 연구비 지원에 의하여 연구되었음  
(This work was supported by the research grant of 19RTRP-B109166-05 in 2019)

---

### 요 약

본 논문에서는 도시철도 운행환경에서 사용되는 무선통신 기반의 비상방송시스템에 적합한 안테나를 설계하였다. 열차 운행환경이 열악하기 때문에 장치의 안정적인 성능을 위해서는 안테나 특성이 중요하다. 설계된 안테나는 실제 차량에 설치하여 통신시험을 진행하였다. 통신시험 결과 설계된 안테나는 불안정한 통신성능을 보였다. 이를 개선하기 위하여 안테나 높이와 기생소자를 개선하였다. 개선된 안테나는 실제 차량형상에 적용하여 초기 설계된 안테나와 시뮬레이션을 통해 비교하여 성능을 확인하였다. 개선된 안테나는 초기 설계된 안테나에서 발생한 차량 중앙 부근의 null point와 불안정한 이득패턴을 보완하였다. 개선된 안테나는 철도차량 환경에서 안정적인 무선통신망을 구축할 것으로 보인다.

### Abstract

This paper presents a suitable antenna for emergency broadcasting system based on wireless communication in metro environments. The antenna characteristics are important for stable performance of device due to the poor train operating environment. The designed antenna was installed in a real vehicle and the communication test was conducted. As a result of the communication test, the designed antenna showed unstable communication performance. In order to improve antenna performance, the antenna height and the parasitic element were improved. The improved antenna is applied to actual vehicle shape and compared with the initially designed antenna through simulation. The improved antenna compensates for the null point near the center of the vehicle and the unstable gain pattern from the initially designed antenna. The improved antenna is expected to establish a stable wireless communication network in the rail vehicle.

### Keywords

emergency broadcasting system, wireless communication, antenna, metro environments

---

\* (주) 우신산전  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2823-9518>  
\*\* (주) 전자부품연구원(교신저자)  
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2852-0318>

· Received: Aug. 28, 2019, Revised: Oct. 18, 2019, Accepted: Oct. 21, 2019:  
· Corresponding Author: Soo-Hyun Jang  
Dept. of Mobility Platform R&D Center, KETI, Korea  
Tel.: +82-31-789-7436, Email: [shjang@keti.re.kr](mailto:shjang@keti.re.kr)

## 1. 서 론

2016년 서울교통공사 4호선에서 전원장치 고장으로 인해 유선 방송장치가 제대로 동작하지 못해 안내방송 없이 승객들이 스스로 열차선로로 대피하는 사고가 발생하였다. 이에 열차 단선 및 단전 등과 같은 비상 시 기존 방송장치를 대체하여 안내방송을 하여 승객의 이동 간 2차 사고를 방지할 수 있도록 무선통신 기반의 무정전 비상방송시스템의 필요성이 증가하였다. 현재 국내 일부 도시철도 운영기관에서는 블루투스/지그비와 같은 근거리 통신기술 기반의 비상방송시스템을 사용하고 있고, 관련 안테나 개발이 진행되고 있다[1][2]. 하지만 굴곡이 심하고 지하 구간이 대부분인 터널구간에서 주로 운행되는 도시철도 운행환경에서는 사용하기에는 근거리 통신 기술은 통신성능 열화 및 통신거리에 제약적이다. 그리고 이러한 문제를 극복하기 위해서 중계방식을 기반으로 통신범위를 확장하여 안내방송을 하게 된다면 차량 중간의 일부 송/수신기가 동작하지 않을 경우에는 연결이 끊어져 뒷부분의 차량에서는 안내방송이 나오지 않게 될 수 있다. 그리고 ISM 주파수 대역을 사용할 경우에는 비상상황으로 인해 승객들이 동시에 휴대폰 등을 사용하여 트래픽이 증가할 경우 인접 주파수 간섭을 심하게 받아 정상적인 동작이 어렵게 된다[3][4].

이와 같은 문제를 보완하기 위해 비상방송시스템용 무선통신방식은 단일 송/수신기의 통신범위가 전체 차량(10량 1편성 기준 약 200m)을 포함해야 한다. 또한, 주파수 및 출력은 전파법 시행령 제 25 조(신고하지 아니하고 개설했을 수 있는 무선국) 및 미래창조과학부 고시(신고하지 아니하고 개설했을 수 있는 무선국용 무선기기)를 적용해야 한다. 이와 같은 조건을 만족하며 차량 내 무선통신 기기에 간섭이 최소화시키기 위해서는 안테나의 설치위치 및 안테나 성능이 중요하다. 안테나가 실내에 설치될 경우에는 내부구조와 승객과의 간섭으로 통신성능에 가장 큰 영향을 받는다[5]. 실내에 안테나가 설치될 경우에는 최대 통신거리는 약 70m로 연구되었고[6], 이는 비상상황 시 차량 전체를 통신범위로 만족할 수 없는 상황이 발생할 수 있다.

그렇기 때문에 비상방송시스템용 무선 안테나는

차량 외부에 설치해야 하며, RF 통신 케이블 길이가 길어지면서 발생하는 손실과 비용 발생 문제를 해결하기 위해서 통신모듈과 일체형이 가능한 형태로 안테나가 개발되어야 한다. 또한, 비상방송시스템에 사용하기 위한 안테나이기 때문에 장치를 사용할 경우 중 차량의 전복 및 단선으로 예측이 불가한 차량 상태와 위치에 대비하기 위하여 등방성 패턴을 가져야 한다.

본 논문에서는 5.9GHz 전용 주파수대역을 사용하며 추가적인 중계기 없이 200m 이상 단말 간 직접통신이 가능한 IEEE 802.11p 표준 기반의 WAVE 통신방식을 사용하여 안테나 설계를 진행하였다 [7]-[9]. WAVE 통신의 설계 규격은 표 1과 같다. 철도차량 옥상에 설치가 용이한 형태의 안테나를 설계하였고, 제작된 안테나는 실제 차량에 설치하여 통신 시험을 진행하여 통신성능을 확인하였다. 실제 열차차량에서 진행한 통신시험 결과를 바탕으로 최종적으로 안테나 성능을 개선하였다. 초기 안테나와 개선된 안테나는 차량형상에 적용하여 시뮬레이션을 통해 성능을 비교 검증하였고, 통신시험을 통해 성능을 확인하였다.

표 1. WAVE 통신 설계 규격

Table 1. Design specifications of the WAVE communication

Parameters	Values
Frequency	5.9GHz(ITS)
Transmission power	10mW
Transmission distance	Below 3km
International standard	802.11p
Channel bandwidth	10MHz
Modulation method	OFDM

## II. 안테나 설계

그림 1은 초기 설계된 안테나 구조이다.

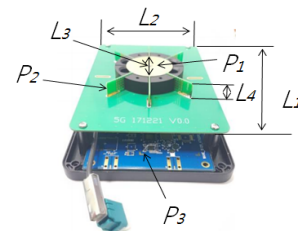


그림 1. 설계된 안테나 구조

Fig. 1. Structure of the designed antenna

그림 1과 같이 설계된 안테나는 유전체 기판 상단에 원형금속( $P_1$ )이 위치해 동축케이블을 통해 중앙에 급전된다. 원형 금속 주변에는 6개의 기생 소자( $P_2$ )를 배치하여 등방성 이득패턴을 구현하였다. 단일 기생 소자의 구조는 두께 1mm, 길이 10mm의 스트립 라인 7개가 1mm 간격으로 배열되어 있다. 설계된 안테나 하단에는 무선통신 모듈용 PCB( $P_3$ )를 배치하여 WAVE통신 모듈과 결합되도록 하였다. 이를 통해 차량 상단에 설치가 용이하고 RF 케이블 길이를 줄여 손실을 최소화시켰다. 설계된 안테나는 치수는  $L_1 = 143\text{mm}$ ,  $L_2 = 100\text{mm}$ ,  $L_3 = 37\text{mm}$ ,  $L_4 = 10\text{mm}$  이다.

그림 2는 설계된 안테나를 제작하여 측정 챔버에서 시험한 결과이다. 안테나 시험에는 Vector Network Analyzer(E8363B)를 사용하여 반사계수를 측정하였고, Anechoic chamber(8x4x4)와 Standard Gain Horn(SGH23)을 이용하여 이득 패턴을 측정하였다. 단품 시험 결과 설계된 안테나는 일정한 등방성 패턴을 보였다. 그림 2의 이득 패턴은 안테나가 차량에 설치될 경우를 기준으로 차량 윗면, 정면, 옆면 방향 순으로 나열하였다. 그림 3은 제작된 안테나의 측정된 반사계수로서 중간 주파수 5.9GHz에서 -20dB 이하의 값을 보였다.

제작된 안테나는 WAVE 통신모듈과 연결하여 그림 4와 같이 차량 검수고 내에서 통신 시험을 하였다. 차량의 시험 조건은 표 2와 같다. 10량 1편성(약 200m 길이) 실제 차량의 양단 끝 운전실 상단에 설치하여 통신기능 시험을 수행하였다. 옥상에 설치된 장치는 실내에 설치된 시험용 PC와 이더넷

케이블을 이용하여 연결하였다. 옥상 양단의 단말기는 WSM 패킷을 데이터 레이트 및 패킷 길이를 가변하면서 주기적으로 브로드 캐스트 송신하며, 패킷 수신 시 로그를 파일로 저장한다. 시험 후 로그 분석을 통해 원형패치 안테나와 폴타입 형태의 안테나의 수신감도를 비교하였다.

표 2. 시험 조건  
Table 2. Test conditions

Parameter	Values
Vehicle condition	Stop
Test range	Straight section
Vehicle speed	0
Metric	Receive sensitivity

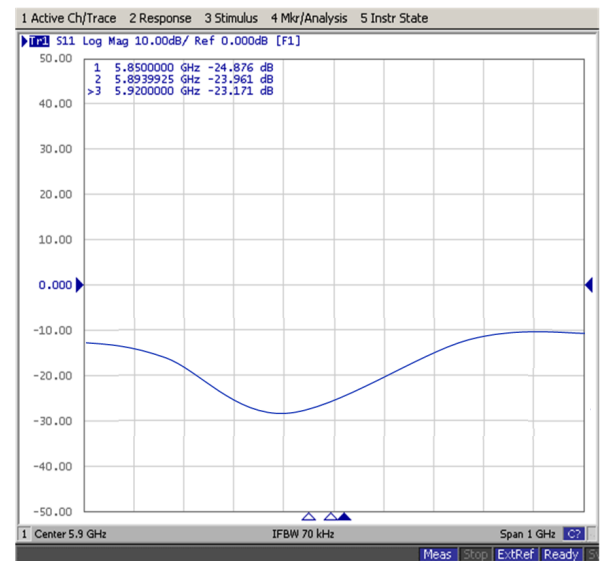
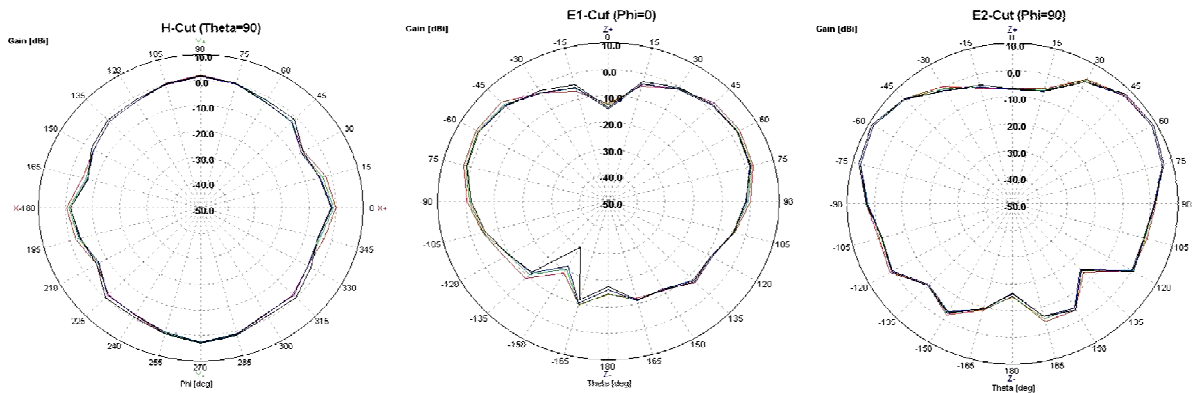


그림 3. 설계된 안테나 반사계수  
Fig. 3. Reflection coefficients of the designed Antenna



(a) Theta = 90°

(b) Phi = 0°

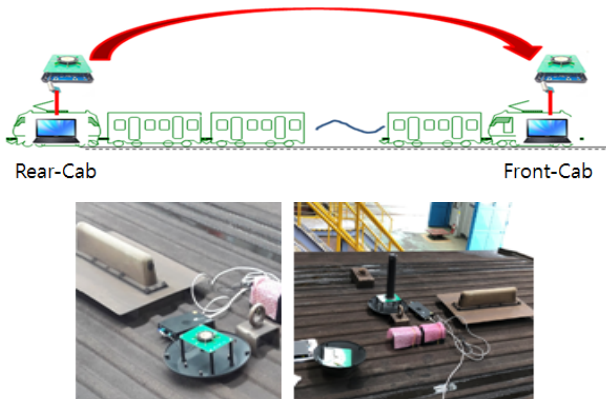
(c) Phi = 90°

그림 2. 설계된 안테나 이득패턴  
Fig. 2. Gain patterns of the designed antenna

WAVE 통신기술의 경우 AWGN(가산성 백색 가우시안 잡음) 채널 환경에서 최소 -98dBm 까지의 수신 신호를 정상적으로 복구할 수 있다. 다만, 검수고 내에서 통신환경은 실제 열차의 운행환경과 비교하여 매우 안정적이기 때문에 실제 열차가 운행할 경우 최소 -85dBm 이상의 신호세기로 수신된다면 정상적으로 신호를 복구할 수 있다.



(a) 시험 환경  
(a) Test environment



(b) 시험 구성  
(b) Test configuration  
그림 4. 통신 기능 시험

Fig. 4. Communication function test

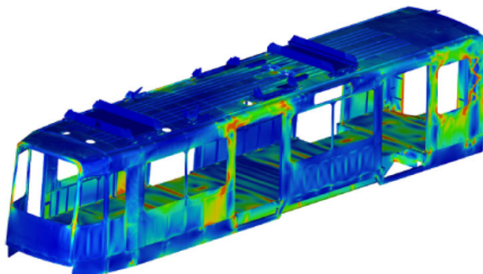


그림 5. 열차 환경 시뮬레이션  
Fig. 5. Simulation of train environment

통신 시험 결과 설계된 안테나의 경우 대략 -85 ~ -87dBm 정도로 수신되었고, 실제 차량 운행환경에서는 특성이 더욱 나빠질 것으로 판단된다. 그리고 PER 평균이 90%이상일 경우 데이터 통신이 정상으로 판단되나 검수고 시험 결과 PER 평균이 91% 정도로 측정되었다. 철도차량 운행환경에서는 지하구간과 굴곡률이 심한 터널이 많기 때문에 좀 더 개선된 성능의 안테나가 필요하다 판단하였다.

안테나 성능을 개선시키기 위해서 그림 5와 같이 실제 열차 차량 Full modeling을 적용하여 전자파 환경 분석을 하였다. 분석 결과를 바탕으로 안테나 개선 방향을 두가지로 선정하였다. 첫 번째로 열차 차량의 옥상에 설치되는 Pantograph와 HVAC와 같은 대형 구조물들에 의해 전파간섭이나 장애를 최소화하기 위하여 안테나 장착 높이를 조절하였다. 그리고 설계된 안테나의 Beam Peak 방향이 수평 60~90°로 주로 설계되었으나 안테나 Director를 수정하여 Beam width를 넓혀 성능을 개선하기로 하였다.

### III. 안테나 성능 개선

안테나 성능을 개선하기 위해 그림 6과 같이 안테나를 설계하여 제작하였다. 개선된 안테나는 그림 1과 같이 설계된 안테나의 원형금속( $P_1$ ) 위치를 40mm 상승( $L_3$ )시켜 총 안테나의 높이를 105mm로 하여 차량 구조물 및 설치된 안테나의 주변 간섭을 감소시켰다. 안테나 높이는 설치 공간 및 주변 금속 구조물에 영향을 고려하여 선정하였다. 또한, 원형 금속 주변에 배치된 기생소자의 금속패턴 수를 7개에서 11개로 증가시켜 방사패턴 특성을 개선하였다. 개선된 안테나의 측정 이득패턴은 그림 7과 같다.

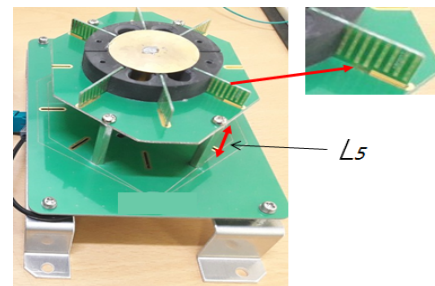


그림 6. 개선된 안테나 구조  
Fig. 6. Structure of the improved antenna

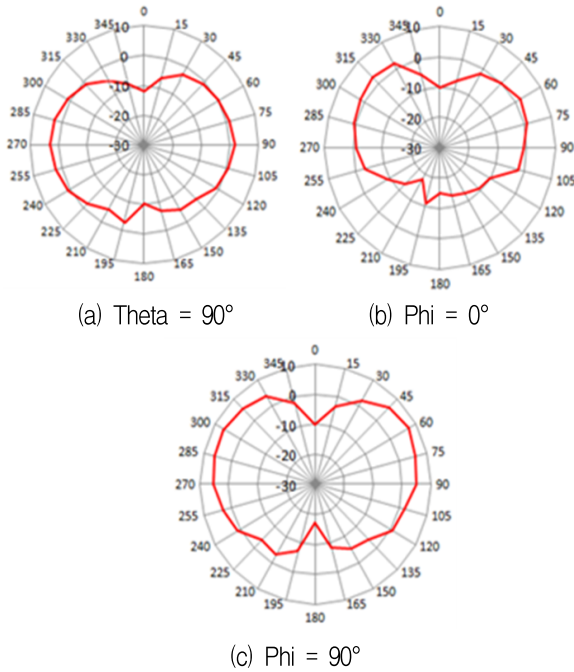


그림 7. 개선된 안테나 이득패턴  
Fig. 7. Gain patterns of the improved antenna

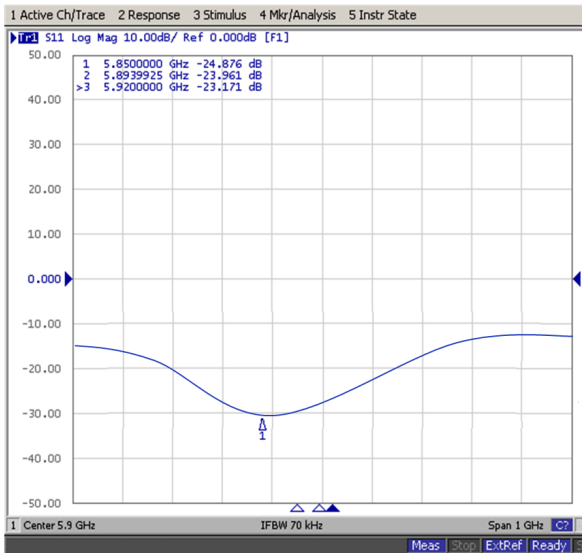


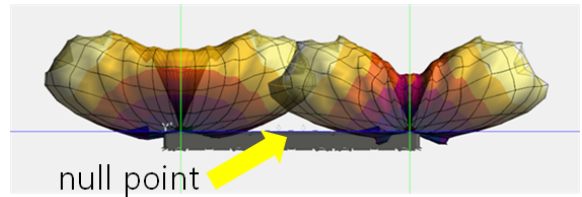
그림 8. 개선된 안테나 반사계수  
Fig. 8. Reflection coefficients of the improved antenna

금속패턴 수를 증가하여 안테나 특성은 Beam width를 18°에서 31°로 개선하였고, Beam peak의 각도를 45°에서 60°로 변경하였다. 또한, Cross polarization의 total efficiency를 12%에서 30%로 향상시켜 교차편파 특성을 개선하였다. 개선된 안테나의 반사계수는 그림 8과 같이 중심 주파수 5.9GHz에서 -20dB이하의 특성을 보였다. 표 3은 기존 안테나와 개선된 안테나의 특성을 비교한 것이다.

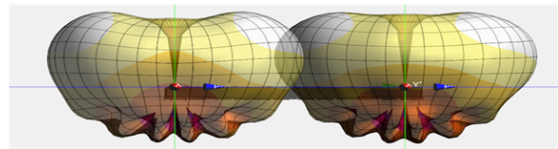
표 3. 안테나 특성 비교(5.9GHz)

Table 3. Antenna characteristic comparison(5.9GHz)

Parameter	Initial antenna		improved antenna	
$S_{11}$ [dB]	-28dB		-31dB	
Eff.[%]	The-Pol(H)	Phi-Pol(V)	The-Pol(H)	Phi-Pol(V)
	93.1%	11.9%	97.2%	52.7%
Avg.[dBi]	The-Pol(H)	Phi-Pol(V)	The-Pol(H)	Phi-Pol(V)
	-0.3	-9.2	-0.1	-2.7
Peak[dBi]	The-Pol(H)	Phi-Pol(V)	The-Pol(H)	Phi-Pol(V)
	8.2	7.6	-0.4	-0.5



(a) 초기 안테나  
(a) Initial antenna



(b) 개선된 안테나  
(b) Improved antenna

그림 9. 방사패턴 성능비교

Fig. 9. Comparison of radiation pattern performance

개선된 안테나의 성능을 확인하기 위해 차량 모형에 적용하여 시뮬레이션을 통해 결과를 비교해 보았다. 개선 전 안테나는 그림 9(a)와 같이 차량 중앙 부근에 통신 null point가 발생하며 안테나 설치위치 인근의 차량 구조물 영향으로 일그러진 이득패턴 형상을 보인다. 개선된 안테나가 적용된 그림 9(b)는 차량 중앙 부근의 통신 null point를 개선하였고, 초기 설계된 안테나와 비교하여 안정적인 이득패턴을 보였다. 시뮬레이션 비교 결과 개선된 안테나가 적용된 비상방송시스템에서 좀 더 안정적인 통신성능을 보일 것으로 판단되었다.

개선된 안테나는 그림 4와 같이 동일한 조건으로 실제 열차 차량에 적용하여 시험을 하여 결과를 확인하였다. 개선된 안테나의 통신 시험 결과는 대략 -82 ~ -83dBm 정도의 수신감도가 측정되었고, PER 평균이 94% 정도로 측정되어 개선된 모습을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 무선통신방식 기반의 도시철도용 비상방송시스템을 위한 안테나를 설계 연구하였다. 열악한 열차 운행환경에서 안정적인 무선통신 성능을 보이는 안테나를 설계 제작하였고, 이를 실제 차량에 적용하여 통신시험을 통해 성능을 확인 하였다. 초기 설계된 안테나를 제작하여 실제 차량에 설치하여 통신 시험을 하였고, 차량 모델링 전파 시뮬레이션을 통해 안테나 개선 방향을 확인하였다. 안테나 구조를 개선하여 동일한 조건에서 통신 시험을 통해 결과를 확인하였다. 개선된 안테나는 초기 설계된 안테나와 비교하여 약 5dB 이상의 수신감도가 증가하였고, 약 3% 증가된 PER 성능을 보였다. 개선된 안테나는 열차 운행환경에서 비상방송장치 시스템으로 충분히 활용 가능할 것으로 보인다.

#### References

[1] Mu-Hyun Seo, Li-Jian Jhang, and Bierng-Chearl Ahn, "A Patch Antenna for Railway ZigBee Communication", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 8, pp. 47-53, Aug. 2016.

[2] Ki-Pyo Hong, Jae-Woo Noh, Mu-Hyun Seo, and Bierng-Chearl Ahn, "Optimum Design and Implementation of a Circularly-Polarized Patch Antenna for 2.4-GHz ZigBee Applications", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 8, pp. 55-62, Aug. 2016.

[3] Soo-Hyun Jang, Dae-Kyo Shin, Sang-Hyn Yoon, Han-Gyun Jung, Seong-Keun Jin, and Ki-Taeg Lim, "A Study on the Wireless Communication Method for Emergency Broadcasting System in Metro Environments", The Journal of Korea Institute of Intelligent Transport Systems, Vol. 17, No. 6, pp. 202-210, Dec. 2018.

[4] Timothy Plass, Ronald Jacksha, Joseph Waynert, and Chenming Zhou, "Measurement of RF Propagation in Tunnels", 2013 IEEE Antenna and Propagation Society International Symposium,

Orlando, FL, USA, pp. 1604-1065, Jul. 2013

[5] U. Paul, P. Stephan, S. Stephan, S. Mohammad, J. Thomas, A. Aitor, V. Inaki, C. Cristina, M. Juan, P. Juan, R. Carlos, B. Marion, E. Enoko, and B. Imanol, "A Survey of Channel Measurements and models for Current and Future Railway Communication Systems", Hindawi Publicshing Coporation, Vol. 2016, Article ID 7308604, 14 pages, Jun. 2016.

[6] S. Mohammad, U. Paul, and G. Damini, "First analysis of inside Train communication with ITS-G5 measurement data", 2016 International Symposium on Wireless Communication Systems (ISWCS), Poznan, Poland, pp. 451-455, Sep. 2016.

[7] Joo-Young choi, Kang-Hee Yoo, and Cheon Mun, "MMSE Channel Estimation Scheme using Virtual Pilot Signal for IEEE 802.11p", Journal of KIIT, Vol. 14, No. 6, pp 51-57, Jun. 2016.

[8] E. C. Neira, J. Carlsson, K. Karlsson, E. G. Strom, "Combined LTE and IEEE 802.11p Antenna for Vehicular Applications", 2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Lisbon, Portugal, pp. 1-5, Apr. 2015.

[9] Mohammed E. Eltayeb, Juni Choi, Tareq Y. AI-Naffouri, and Robert W. Heath, "Enhancing Secrecy With Multiantenna Transmission in Millimeter Wave Vehicular Communication Systems", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 66, No. 9, pp. 8139-8151, Sep. 2017.

#### 저자소개

정 용 선 (Yong-Sun Jeong)



2013년 2월 : 충북대학교  
정보통신공학과(공학사)  
2015년 2월 : 충북대학교  
전파공학과(석사)  
2015년 7월 ~ 현재 : (주)우진산전  
주임 연구원  
관심분야 : 안테나 설계,

방송표시기 회로

장 수 현 (Soo-Hyun Jang)



2009년 2월 : 한국항공대학교

전자공학과(학사)

2011년 2월 : 한국항공대학교

전자공학과(석사)

2015년 8월 : 한국항공대학교

전자공학과(박사)

2015년 9월 ~ 현재 :

전자부품연구원 선임 연구원

관심분야 : 모뎀SoC설계, 무선방송기술, 보안SoC설계