

자율주행자동차를 위한 이중대역 평판 모노폴 안테나

윤용현*

Dual-band Planar Monopole Antenna for Autonomous Vehicle

Yonghyun Yoon*

요약 본 논문에서는 자율주행자동차를 지원하기 위한 전방향성 특성의 이중대역 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 4G/LTE 대역 (1,710~2,170MHz)과 5G/NR 대역 (3,400~3,700MHz)을 동시에 지원하기 위한 50Ω의 단일급전이 이용된 새로운 구조의 이중대역 평판 모노폴(Dual-band Planar Monopole) 안테나의 특징을 가진다. 이중대역 특성을 위해 평판 모노폴 안테나에 측면 방사체를 추가 한 후 슬릿을 통하여 목표 성능에 최적화 되었다. 평판 모노폴 구조는 LTE 대역에서 동작하며, 동일 급전을 사용하는 모노폴 구조에 추가된 측면 방사체와 함께 5G NR 대역에서 동작을 한다. 제안된 안테나는 96.0mm의 지름을 갖는 접지면 위에 $38.5 \times 36.0 \times 1.0$ [mm³]의 크기로 설계되었다. 제작과 측정결과로부터 LTE 대역의 1,710~2,170MHz와 5G NR 대역의 3,400~3,700MHz에 대하여 VSWR 2:1 이하를 만족하였으며, 해당 주파수 대역에서 각각 1,480~2,260MHz와 3,310~3,930MHz의 넓은 임피던스 대역폭을 얻을 수 있었다. 또한 무반사 챔버의 측정결과로부터 제안된 평판 모노폴 안테나의 이득과 전방향성 방사패턴(Omni-directional Radiation Pattern)을 확인하였다.

Abstract In this paper, a dual-band antenna is proposed for the autonomous vehicle as well as omni-directional. The proposed antenna operates in the 4G/LTE band (1,710~2,170MHz) and 5G/NR band (3,400~3,700MHz). In order to obtain the dual-band operation, the planar monopole antenna is proposed as the novel structure with single port of the 50ohm. To give the properties of dual-band, an additional antenna element with slit was added to the planar monopole antenna, and then a structural adjustment parameter was optimized for achieving the target performance in bands. The planar monopole antenna in the LTE band acts as the coupled feed for the added parasitic radiator in the 5G NR band. The proposed antenna has $38.5 \times 36.0 \times 1.0$ [mm³] on a ground with diameter of 96mm. From the fabrication and measurement results, the impedance bandwidth (VSWR(2)) of the proposed antenna covers 1,480~2,260MHz (LTE band: 1,710~2,170MHz) and 3,310~3,930MHz (5G NR band: 3,400~3,700MHz). The proposed planar monopole antenna also obtained the measured gain and radiation pattern of omni-directional radiation pattern in the anechoic chamber.

Key Words : Autonomous Vehicle, Dual-band, Planar Monopole, Omni-directional Antenna, 4G LTE, 5G NR

1. 서론

최근 자율주행자동차에서 5G 무선통신은 인포테인먼트(Infotainment)를 제공하는 역할을 넘어 차량사물통신(V2X, Vehicle to Everything), 실시간 이동측위(RTK, Real Time Kinematic) 등의 자율주행 핵심 기술로서 다방면으로 활용되고 있다. 또한 자율주행자동차의 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems), 카메라, 라이다, 레이더 등의 고성능 센서

들 외에 5G 통신의 V2X 기술을 통하여 차량 정보공유, 사각지대위험 예측, AI(Artificial Intelligence)의 상황판단능력 기술을 획기적으로 개선하여 보다 안정적인 자율주행이 가능하다[1, 2]. 따라서 자율주행자동차의 핵심은 5G 통신을 통하여 차량과 주변의 모든 것을 실시간 연결하는 V2X를 융합하는 것이다.

자율주행자동차에서의 V2X는 차량과 차량(V2V, Vehicle to Vehicle), 차량과 도로(Vehicle to Infrastructure), 차량과 사람(Vehicle to Pedestrian)

*Corresponding Author : Samsung Electronics (yoon.yhyun@gmail.com)

Received June 11, 2019

Revised June 27, 2019

Accepted August 03, 2019

등 차량과 모든 것이 상호 통신하는 기술이다. 기존 자율주행자동차의 한계를 극복하기 위해 차량에 장착된 센서로만 주변 환경을 인식하는 기술에서 확장하여 보다 실시간에 안정적인 주행이 가능한 완전 자율주행 시대의 역할이 기대되고 있다[3, 4]. 자율주행자동차가 센서에만 의존하면 실시간 교통상황 외에도 차량 및 지형지물 간 시각지대 위협상황, 악천후 시 교통신호를 정확히 전달할 수 없기 때문에 4G와 5G 무선통신이 필요하다. 최근 4G/LTE에 비해 20배 이상 빠른 초고속, 초저지연 통신인 5G가 상용화됨에 따라서 실시간 안정성을 확보할 수 있게 되었다. 특히 저지연 성능은 네트워크의 지연 시간을 줄여주어 실시간 통신이 가능하게 하여 자율주행자동차 기술에서 중요하다. 또한 5G는 네트워크 슬라이싱, 소프트웨어 기반의 네트워크 구조 및 가변적 채널 대역폭 활용 등을 통해 상황에 따른 보다 효율적인 네트워크 활용이 가능하다.

5G 통신을 통한 V2X 자율주행자동차 구현에 있어서 차량의 위치에 대한 정확한 정보가 실시간으로 제공하기 위하여 차량 간 통신에 적합한 무선 통신, 안테나 기술 등이 요구된다[5, 6]. 현재 LTE로는 자율주행에 필요한 실시간 정보 제공에는 한계가 있으며, 빅데이터를 처리할 수 있는 5G 안테나 기술이 요구되고 있다. 여기서 LTE와 5G를 동시에 지원하는 안테나는 단일 방사소자에 의한 광대역 또는 이중대역 특성을 갖는 설계 기법이 요구되며, 자율주행 자동차에 장착하기 위하여 소형화가 필요하다. 특히 자율주행자동차의 통신에 있어서 안테나 방사 패턴이 차량 간 통신에 적합한 전방향성 특성을 갖는 안테나가 요구되는데, 차량 진행방향 또는 후면방향 등의 수평각도(90도)에서 Null이 심해 전방위 통신을 위한 전방향성 안테나의 설계기법이 필요하다. 최근 5G NR(New Radio) 표준인 Below 6GHz 대역의 3.5GHz 대역은 28GHz 또는 39GHz의 밀리미터파 대역보다 대역폭(Bandwidth)은 협소하지만, 전파 특성이 좋은 이점을 가지고 있다. 현재 국내에서 세계 최초로 상용화되었으며, 3.5GHz 대역에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 4G LTE(1,710~2,170 MHz) 대역과 5G NR(3,400~3,700MHz) 대역을 모

두 포함하는 이중대역 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 자율주행자동차에 적용 가능하도록 새로운 구조의 전방향성을 갖는 이중대역 평판 모노폴 안테나(Planar Monopole Antenna)를 제안한다. 제안된 안테나는 비교적 간단한 구조의 소형화된 방사체를 통해 방사 특성을 만족하였다. 단일급전(50Ω)으로 $\lambda/4$ 크기를 가지는 변형된 평판 모노폴 안테나 구조를 이용하여 VSWR 2:1 이하에서 LTE와 5G NR 대역에 대한 동작을 모두 만족하였다. 평판 모노폴 안테나 좌우측에 추가 방사체를 배치함으로써 5G 대역에서 동시 동작이 가능하도록 하였다.

제안된 안테나는 EM(Electromagnetic) 톨을 사용하여 요구되는 안테나 특성을 얻기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여 제작된 이중대역 안테나의 성능은 반사손실, 방사패턴, 이득 측정을 통하여 분석 및 검증되었다.

2. 안테나 구조 및 설계

제안된 안테나는 새로운 구조의 평판 모노폴 안테나와 이중대역 동작을 위한 측면 방사 구조로 설계하였다. 그림 1은 제안된 안테나의 전체 구조와 크기를 나타낸다. 안테나는 FR-4 ($\epsilon_r = 4.4$) 기판 위에 $38.5 \times 36.0 \times 1.0$ [mm³]의 크기로 설계되었다. 제안된 평판 모노폴 안테나는 96.0mm의 지름을 갖는 접지면(Ground) 위에 설계되었고, 50Ω의 단일급전 구조를 통하여 LTE 대역(1,710~2,170MHz)에서 동작하도록 설계되었다. 모노폴 안테나는 길이가 $\lambda/4$ 에 해당하는 공진 주파수가 발생하여 소형화에 이점이 있지만 임피던스 대역폭이 좁은 단점이 있어, 광대역 특성을 갖는 평판 모노폴 안테나 방사를 이용한 연구가 이루어졌다 [7, 8]. 본 연구에서 제안된 안테나는 측면에 추가 방사체(Additional Radiator)를 통하여 5G NR대역의 주파수 공진을 생성하고 광대역 특성을 유지하면서 이중대역 특성을 갖도록 제안하였다. 안테나의 높이, 평판 모노폴 안테나 구조 및 측면 방사체의 슬릿(Slit) 등의 파라미터를 변경하여 이중 공진 주파수의 대역폭과 매칭을 향상시켰다. 그리고 차량 진행방향 또는 후면방향 등의 수평각도(90도)에서 전방위 통신이 가능하도록 전방향성 방사(Omni-directional Radiation)

가 가능하도록 설계하였다.

제안된 안테나는 EM 시뮬레이션 툴인 CST Microwave Studio로 설계 및 검증을 진행하였다.

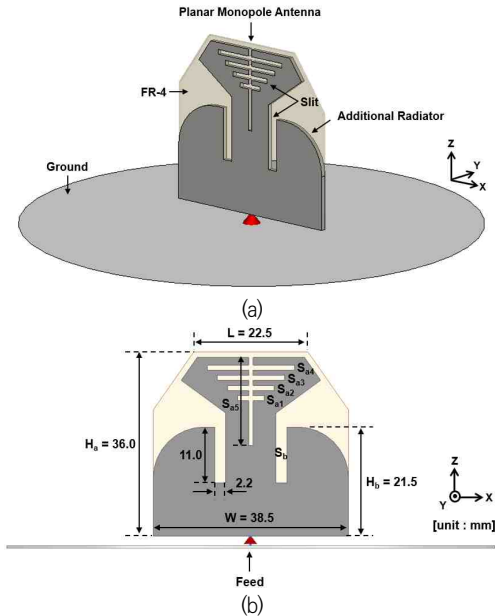


그림 1. 제안된 안테나의 구조, (a) 전체적인 구조, (b) 크기
Fig. 1. The structure of proposed antenna, (a) Overall structure, (b) Size

시뮬레이션 결과를 통하여 요구되는 전 대역에 걸쳐 반사손실의 특성 변화를 확인하였다. 주요 파라미터인 H_a 는 1,710~2,170MHz의 LTE 대역에서 모노폴 안테나 길이인 $\lambda/4$ 에 해당하고, H_b 는 3,400~3,700MHz의 5G NR 대역에서 공진하는 $\lambda/4$ 길이를 갖는다. 특히 그림 1과 같이 모노폴 안테나의 슬릿구조를 갖는 조정 변수 $S_{a1} \sim S_{a5}$, S_b 는 각각 LTE와 5G NR 대역에서 안테나의 임피던스를 변화시킨다.

그림 2는 제안된 안테나의 동작 원리를 설명하기 위한 LTE 대역과 5G NR 대역에서의 전류분포를 나타낸다. 그림 2(a)는 1,940MHz 주파수, 그림 2(b)는 3,550MHz 주파수에서 제안한 안테나의 전류분포를 나타내었다. 이들 주파수는 안테나의 설계목표 대역으로부터 중간 주파수를 선정하여 전류분포를 얻었다.

그림 2의 (a)에서 전류분포는 단일급전에 대하여 LTE 대역에서 $\lambda/4$ 평판 모노폴 안테나로 동작함을

볼 수 있다. 또한 평판 모노폴과 결합된 측면 방사체는 그림 2의 (b)에서와 같이 5G NR 대역에 대한 기생방사체로 동작하여 강한 전류밀도를 보이고 있으며, 이는 3,550MHz 대역에서 안테나가 방사함을 나타낸다. 따라서 제안한 평판 모노폴 안테나의 전류 분포는 좌우측에 배치된 기생 소자와 함께 LTE 대역 및 5G NR 대역에서 이종대역을 갖는 안테나로 동작하는 것을 확인 할 수 있다.

그림 3은 제안된 안테나의 H_a , H_b 길이 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타낸다. H_a 와 H_b 는 제안된 안테나의 이종대역 공진주파수를 형성하는 중요 파라미터로서 그림 3의 (a)에서 보는 바와 같이 H_a 의 길이를 33mm에서 42mm 까지 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 전면 평판 모노폴 구조는 기본적인 직사각형 모노폴 안테나에 매칭 특성을 향상시키기 위한 변형된 다각형 형태로 그 사이즈를 최적화시켜 설계하였다. H_a 의 높이에 따라 공진주파수가 변화되어 LTE 대역에서 동작함을 확인 할 수 있었으며, 36mm에서 최적화된 공진 주파수 특성을 얻을 수 있다.

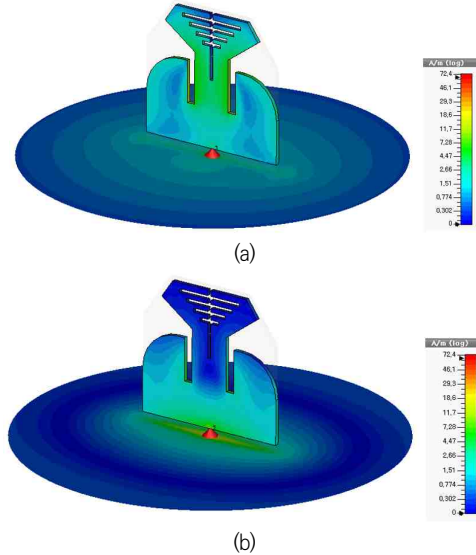


그림 2. 제안된 안테나의 전류분포, (a) 1,940MHz, (b) 3,550MHz
Fig. 2. Current distribution of proposed antenna, (a) 1,940MHz and (b) 3,550MHz

제안된 안테나는 전방향성을 가지는 이중대역 특성을 얻기 위해 평판 모노폴 안테나의 측면에 H_b 길이를 갖는 추가 방사체를 설계하였다. 그림 3의 (b)에서와 같이 H_b 의 길이를 19.5mm에서 22.5mm까지 변화시키면서 시뮬레이션을 비교하였으며, 21.5mm 길이에서 최적화된 공진 주파수 특성을 얻을 수 있었다. 따라서 LTE 대역(1,710~2,170MHz)과 5G NR 대역(3,400~3,700 MHz)의 특성을 모두 만족하였다.

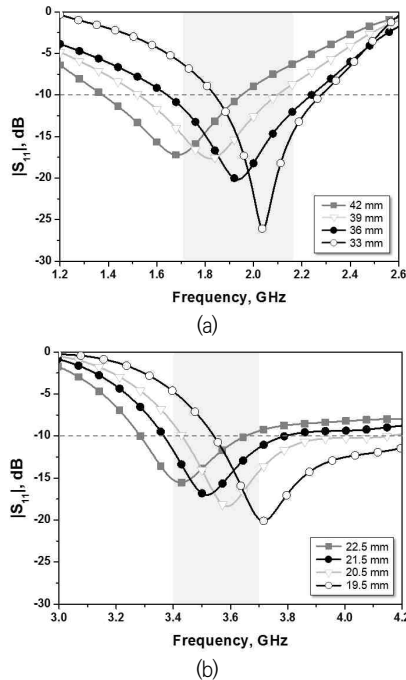


그림 3. H_a , H_b 길이 변화에 따른 반사손실, (a) LTE 대역, (b) 5G NR 대역
 Fig. 3. Return loss of parameter study in length of H_a and H_b , (a) LTE band and (b) 5G NR band

제안한 안테나는 슬릿 유무 및 형상에 따른 안테나 특성 변화를 확인하기 위하여 그림 4와 같이 4가지 형태(Type 1~4)로 시뮬레이션 비교하였다. 그림 5는 각 형태의 반사손실 특성을 나타낸다. 시뮬레이션 결과에서와 같이 슬릿의 길이 변화는 인덕턴스와 캐패시턴스로 인한 임피던스 특성을 변화시켜 안테나 공진 주파수에 영향을 주게 된다. 따라서 제안한

안테나는 요구된 설계 목표를 만족하기 위하여 그림 1(b)에서와 같이 $S_{a1} \sim S_{a5}$ 와 S_b 를 가변 파라미터로 정하여 최적화된 파라미터 값($S_{a1}=2.2$, $S_{a2}=4.2$, $S_{a3}=6.2$, $S_{a4}=8.2$, $S_b=17.3$ mm)을 얻었으며, Type 3의 슬릿 형태로 최종 설계되었다. 제안한 안테나의 반사손실 특성은 VSWR 2:1 이하 기준으로 요구된 대역폭을 모두 만족하였다.

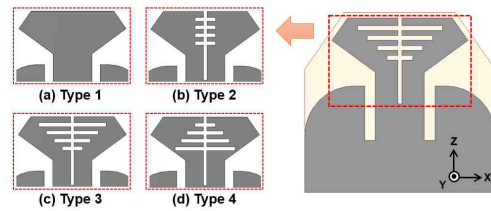


그림 4. 제안된 평판 모노폴 안테나의 슬릿 형상에 따른 형태
 Fig. 4. Types according to the shape of slit in the proposed planar monopole antenna

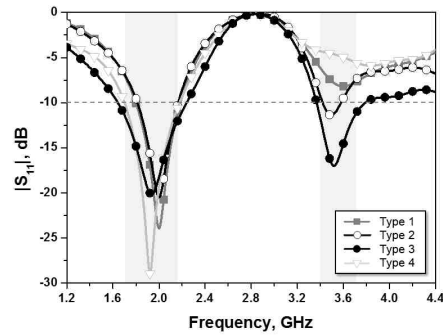


그림 5. 제안된 평판 모노폴 안테나의 슬릿 형상에 따른 반사손실
 Fig. 5. Return loss according to the shape of slit in the proposed planar monopole antenna

3. 제작 및 측정결과

그림 6는 제안된 이중대역 안테나의 실제 제작 사진이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 이중 대역에서 동작하는 제안된 안테나는 접지면 위에 평판 모노폴 구조로 설계 및 제작하였고, 네트워크 분석기와 무반사 챔버를 통하여 측정을 진행하였다. 그림 7은 시뮬레이션과 측정된 반사손실을 나타낸다. 제안된 안테나는 VSWR 2:1 이하를 만족하는 이중대역 안테나의 특성을 가지며, 측정결과에서와 같이 설계 목표보다 넓은 임피던스 대역폭(1,480~2,260MHz,

3,310~3,930MHz)을 얻을 수 있었다. 그림 8은 제작된 안테나의 측정된 ZX 면에서의 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 8(a)는 LTE 대역의 중간주파수에서, 그림 8(b)는 5G 대역의 중간주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나는 시뮬레이션 및 측정을 통하여 정규화된 방사패턴(Normalized Radiation Pattern)으로 나타내었으며 요구된 대역에서 전방향성 특성을 보이고 있다. 측정된 이종대역 안테나는 LTE 대역에서 2.8dBi 이상, 5G NR 대역에서 3.2dBi 이상의 최대 이득을 각각 가지는 안테나이다. 따라서 자율주행자동차의 상단 면에 위치하였다고 고려해 볼 때, 제안된 이종대역 안테나는 전방향성의 특징을 가지며 LTE와 5G NR 대역 시스템에서 V2X 통신이 가능할 것으로 판단된다.

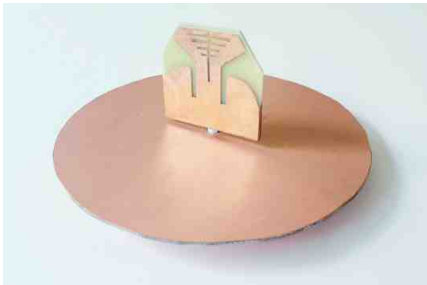


그림 6. 제안된 안테나의 제작 사진
Fig. 6. Photo of proposed antenna

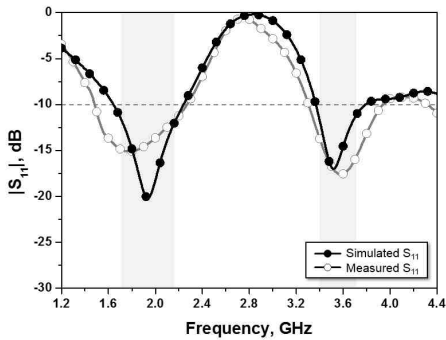


그림 7. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 반사손실
Fig. 7. Simulated and measured return loss of proposed antenna

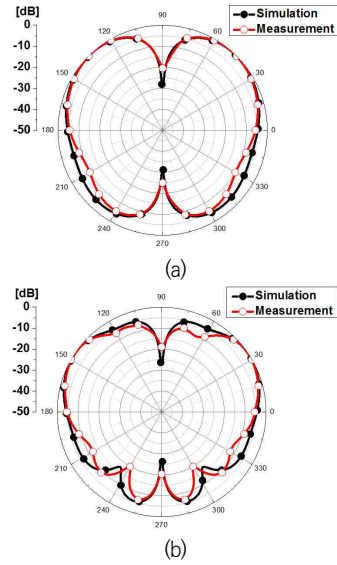


그림 8. 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 방사패턴. (a) 1,940MHz, (b) 3,550MHz
Fig. 8. Simulated and measured radiation pattern of proposed antenna, (a) 1,940MHz and (b) 3,550MHz

4. 결론

본 논문에서는 자율주행자동차를 지원하기 위하여 4G/LTE 대역 (1,710~2,170MHz)과 5G/NR 대역 (3,400~3,700MHz)에서 동시에 통신이 가능한 50Ω의 단일급전이 이용된 전방향성 이종대역 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 새로운 형태를 갖는 변형된 평판 모노폴 안테나의 구조를 제안하였으며, 안테나의 높이와 평판 모노폴 안테나 및 측면 방사체 슬릿의 파라미터를 최적화하여 이중 공진 주파수의 대역폭과 매칭을 향상시켰다. 시뮬레이션 반사손실 및 방사 특성 결과로부터 얻어진 값으로 제작하였고, 네트워크 분석기를 이용하여 반사손실 특성을 검증하였다. 측정 결과, 제안된 안테나는 LTE 및 5G NR 대역에서 VSWR 2:1 이하를 만족하였으며, 해당 주파수 대역에서 각각 1,480~2,260MHz와 3,310~3,930MHz의 넓은 임피던스 대역폭을 얻을 수 있었다. 또한 무반사 챔버를 이용하여 방사패턴 측정 결과, LTE 대역에서 2.8dBi, 5G NR 대역에서 3.2dBi 이상의 최대 이득을 각각 가지는 전방향적인

특성을 나타내고 있다. 따라서 제안된 이중대역 안테나는 차량의 앞, 뒤 전방위 통신이 가능한 4G/LTE 및 5G/NR 대역을 접목한 자율주행자동차에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] T. Litman, Autonomous Vehicle Implementation Predictions. Victoria Transport Policy Institute, Mar. 2017.

[2] J. Levinson, J. Askeland, J. Becker, Kammel, J. Kolter, D. Langer, O. Pink, V. Pratt, M. Sokolsky, G. Stanek, D. Stavens, A. Teichman, M. Werling, and S. Thrun, "Towards fully Autonomous Driving: Systems and algorithms," Proc. IEEE IV, pp. 163-168, Jun. 2011.

[3] S. Sivaraman and M. Trivedi, "Looking at Vehicles on the Road: A Survey of Vision-based Vehicle Detection, Tracking, and Behavior Analysis," IEEE Trans. Intelligent Transportation System, vol. 14, no. 4, pp. 1773-1795, Dec. 2013.

[4] T. Wu and A. Ranganathan, "Vehicle Localization Using Road Markings," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Gold Coast, Australia, pp. 1185-1190, Jun. 2013.

[5] Kim, J. S. and Lee, M. H., "5G Mobile Communications: 4th Industrial Aorta," The Journal of the Convergence on Culture Technology(JCCT), vol. 4, no. 1, pp. 337-351, 2018.

[6] Qualcomm, "The path to 5G: Cellular Vehicle-to-Everything(C-V2X)"

[7] Jae-Ruen Shim, "A Study on the Multiple Resonance Characteristics of Crossed Planar Monopole Antenna by L-Shaped Slit", Journal of the Korea Institute of

Information and Communication Engineering, vol.13, no.1, pp.1-5, Jan. 2009.

[8] Hak-Keun Choi, Seung-Up Seo, "Design of Broadband Cross Monopole Antennas", Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society, vol. 16, no. 7, pp. 768-775, Jul. 2005.

저자약력

윤 용 현(Yonghyun Yoon)

[정회원]



- 2005년 한국교통대학교 컴퓨터공학과 공학사
- 2017년 광운대학교 전파공학과 공학박사
- 2017년~2018년 현대로템 기술연구소 선임연구원
- 2018년 11월~현재 삼성전자 무선사업부 책임연구원

〈관심분야〉 5G module design, mmWave antenna, Autonomous vehicle, Radar system