

https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.5.123  
JIIBC 2023-5-19

# W대역 자율주행 레이다용 MIMO 안테나 설계 및 빔 패턴 검증 방법

## MIMO Antenna Design and Beam Pattern Verification for W-band Autonomous Driving Radar

이창현\*, 최준혁\*\*, 이미림\*\*, 박신명\*\*, 백승열\*\*

Changhyun Lee\*, Junhyeok Choi\*\*, Milim Lee\*\*, Shinmyong Park\*\*, Seungyeol Baek\*\*

**요약** MIMO 안테나는 오래 전부터 다양한 연구가 활발하게 수행되어온 분야로 그 설계 개념이 보편적으로 잘 알려져 있다. 하지만 최근 주목받고 있는 자율주행 레이다용 MIMO 안테나는 기존의 일반적인 MIMO 안테나들과 다르게 밀리미터파 대역인 W대역을 사용할 뿐만 아니라 자율주행 레이다의 성능을 만족하기 위한 새로운 설계 조건들을 충족시켜야 한다. 따라서 자율주행 레이다용 MIMO 안테나의 설계와 빔 패턴 검증은 기존과 다른 새로운 접근을 필요로 한다. 본 논문에서는 W대역 자율주행 레이다의 설계 조건들을 만족하는 MIMO 안테나를 설계하며, 그 설계 과정을 소개하고, 자율주행 레이다에 결합된 W대역 MIMO 안테나의 빔 패턴 검증 방법을 제안한다.

**Abstract** MIMO antenna is a field in which various researches have been actively conducted for a long time, and its design concept is universally well known. However, Unlike conventional MIMO antennas, MIMO antennas for autonomous driving radars, which have recently been attracting attention, are designed in W-band which is a millimeter wave band, and must also meet novel design conditions to satisfy the performance of autonomous driving radars. Therefore, a novel and different approach is required for the design and beam pattern verification of the MIMO antenna for autonomous driving radar. In this paper, a MIMO antenna is designed and the design process to satisfy the conditions of a W-band autonomous driving radar is introduced, and proposes a beam pattern verification method for a W-band MIMO antenna mounted on an autonomous driving radar system.

**Key Words** : Multi-input Multi-Output(MIMO), W-band, Beam pattern, Autonomous driving radar, Series feed antenna

### 1. 서 론

MIMO(Multi-Input Multi-Output) 안테나는 오래 전부터 다양한 연구가 활발하게 수행되어온 분야로 그

설계 개념이 잘 정립되어 있으며 다양한 분야에서 사용하고 있는 안테나 분야이다<sup>[1,2]</sup>. 최근 차량 충돌 방지 레이다와 자율주행 레이다에 대한 관심이 높아지면서 두 시스템이 요구하는 조건들을 만족시키기 위한 차량용

\*정회원, LIG넥스원 초고주파기술개발단(교신저자)

\*\*정회원, LIG넥스원 레이다연구소

접수일자 2023년 8월 21일, 수정완료 2023년 9월 21일  
게재확정일자 2023년 10월 6일

Received: 21 August, 2023 / Revised: 21 September, 2023 /

Accepted: 6 October, 2023

Corresponding Author: changhyun.lee@ignex1.com

Dept. of RF/Microwave R&D Lab, LIG Nex1 Co., Ltd. Korea.

MIMO 안테나의 설계 및 빔 성능 검증에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>[3-4]</sup>. 차량용 MIMO 안테나의 경우 W대역의 약 77GHz 인근 대역을 사용하며, MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits)와 직접적으로 보드상에서 연결되어 제작 후에 안테나의 패턴을 검증하는데 어려움이 있다<sup>[5-7]</sup>. 또한 한정된 채널 수에서 최대한의 탐지범위와 정확도를 확보하기 위한 직렬 급전 안테나의 사용 및 각 채널에서의 송수신 크기와 위상 정렬을 위한 급전선로 설계로 손실이 발생하게 된다<sup>[5,8,9]</sup>. 이러한 손실들은 W대역에서 안테나의 효율 및 부엽 특성에 직접적인 영향을 주기 때문에 설계 시 필수적으로 고려해야 한다. 본 논문에서는 W대역 자율주행 레이더의 설계 조건들을 만족하는 MIMO 안테나를 설계하며 그 설계 과정을 소개하고, 자율주행 레이더에 탑재된 W대역 MIMO 안테나의 빔 패턴 검증을 수행하였다.

## II. MIMO 안테나 설계

### 1. 직렬 급전 패치 안테나 설계

차량용 레이더에는 MMIC의 한정된 송수신 채널에서 최대한의 탐지 범위를 확보하기 위하여 MIMO 안테나의 각 소자에 직렬 급전 안테나를 사용하여 이득을 극대화한다. 직렬 급전 안테나를 설계하는데 고려해야 하는 것은 MIMO 레이더의 고각 및 방위각 탐지 범위와 대역폭이다. 탐지 범위 이상의 빔 폭을 갖으며 이득을 극대화하는 설계가 필요하다. 또한, W대역에서의 제작성을 고려하여 목표 대역폭보다 넓은 대역에서 동작하도록 설계해야 한다. 그림 1은 MIMO 안테나 구현을 위해 설계한 직렬 급전 안테나 형상을 보여준다.

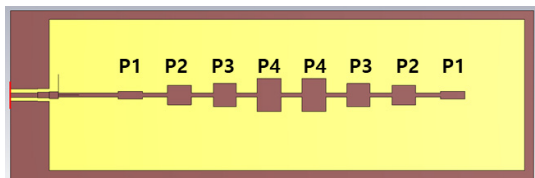


그림 1. 직렬 급전 안테나 형상  
Fig. 1. Series feed antenna Shape

표 1. 직렬 급전 안테나 설계 수치  
Table 1. Design parameters of series feed antenna

	P1	P2	P3	P4
길이[mm]	1.36	1.31	1.26	1.32
폭[mm]	0.42	1.085	1.285	1.82

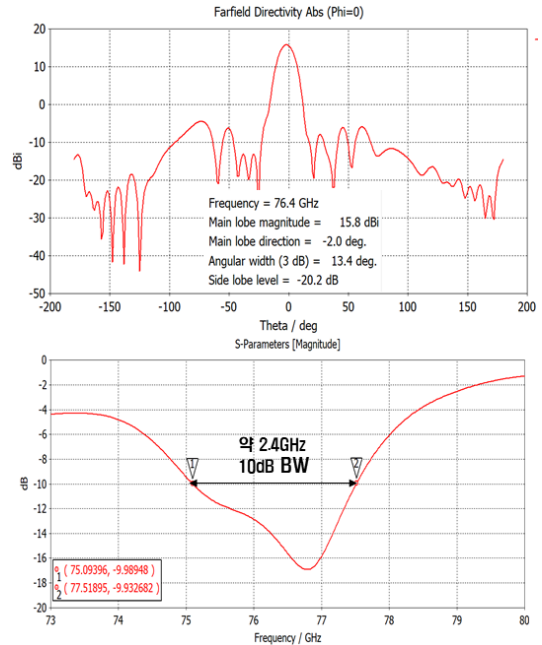


그림 2. 직렬 급전 안테나 성능(시뮬레이션)  
(상)1x8 배열 방향(고각) 패턴 (하)S-parameters  
Fig. 2. Series feed antenna performance(simulation)  
(Top)1x8 array orientation(elevation) pattern  
(Bottom)S-parameters

설계한 안테나는 보편적 직렬급전 안테나 설계 이론을 사용하여 설계하였으며<sup>[10,11]</sup>, 유전자 알고리즘을 이용하여 최적화 하였다. 유전율 2.17에  $\tan\delta$ 가 0.0009인 두께 0.127mm의 TLY-5a 기판이 설계에 사용되었다.

고각 방향의 목표 탐지범위를 만족하며 최대의 이득을 확보하기 위해 1x8 배열로 설계하였으며, 배열 방향의 부엽 레벨을 낮추기 위하여 각 배열된 패치안테나의 폭을 조절하여 방사 파워를 테이퍼링 하였다. 직렬급전 안테나의 광대역 매칭 특성 확보를 위하여 입력단에 임피던스 정합 구조를 추가하였다. 설계된 직렬 급전 안테나의 각 패치의 길이와 폭은 표 1과 같다. 배열 방향의 빔 특성과 반사계수 특성은 그림 2에서 확인 할 수 있다. 이득 15.8 dBi, 빔폭 13.4°를 가지며, 부엽레벨은 약 -20.2dB로 테이퍼링을 통해 각 패치에서의 방사파워가 잘 조절된 것을 확인하였다.

### 2. 배열 형상 설계

MIMO 안테나의 배열 형상을 결정하는데에는 사용하는 MMIC의 송수신 채널 수와 사용 개수, 안테나의 배열 면적 그리고 송수신빔 조향 범위이다. 본 논문의 MIMO

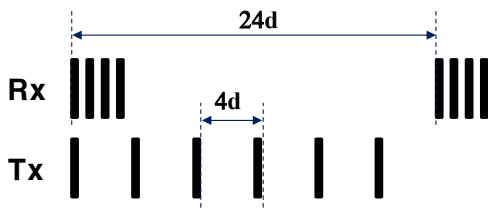


그림 3. 시제의 안테나 배열 형상  
 Fig. 3. Concept of Antenna Array

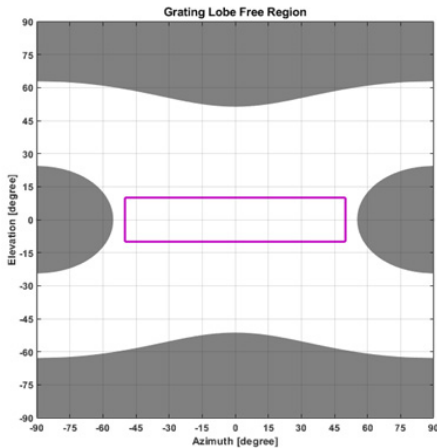


그림 4. 그레이팅 로브 발생 영역  
 Fig. 4. Figure of grating lobe free region

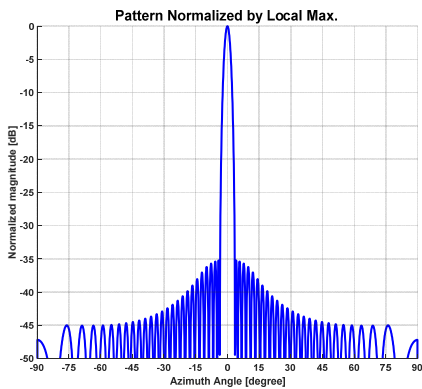


그림 5. MIMO 안테나의 수신 빔 패턴  
 Fig. 5. Rx beam pattern of MIMO antenna

안테나를 적용하고자 하는 차량용 레이다는 송신 3채널, 수신 4채널을 가진 MMIC(TI, AWR2243P) 2개를 사용하는 시스템이기 때문에 보다 균일한 특성의 급전선로 구성을 위하여 그림 3과 같은 배열 형상으로 결정하였다.

안테나의 배열간격( $d$ )은 크면 클수록 배열 안테나가 갖는 이득은 증가하지만, 그레이팅 로브가 발생하여 빔 조향 범위는 좁아진다. 따라서 시스템에서 요구하는 빔 조향 범위에서 그레이팅 로브가 발생하지 않는 가장 긴 배열 간격을 설정하는 것이 바람직하다. 이러한 조건들을 고려하여 MIMO 안테나의 최종 배열 간격( $d$ )은 2.15mm로 결정하였다. 그림 4는 그레이팅 로브 발생 영역을 보여준다.  $\pm 50^\circ$ 의 방위각 방향 빔 조향시 그레이팅 로브가 발생하지 않는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5는 Array factor로 그려본 MIMO 안테나의 Taylor 35dB 가중치를 적용한 수신패턴이며 약  $2.5^\circ$ 의 빔 폭을 가지는 것을 확인하였다.

### 3. 급전 선로 설계

급전 선로 설계에서 중요한 것은 손실을 최소화하며 채널 별 손실과 위상을 최대한 동일하게 맞추는 것이다. 위상의 경우 급전 선로의 길이를 동일하게 맞추어 줌으로서 비교적 쉽게 동위상 설계가 가능하지만, 손실의 경우 수치해석 시뮬레이션과 실측의 오차가 크게 발생하는 경우가 많아 주의가 필요하다. 또한 급전 선로 길이 및 위치를 맞추기 위해 필수적으로 들어가야 하는 곡선부분의 형상에 따라라도 길이당 손실에 차이가 발생하기 때문에 설계시 세심한 고려가 필요하다. 급전 선로의 곡률에 따른 손실을 확인하기 위하여 그림 6과 같은 형상으로 시제를 제작하여 CPWG(CoPlanar Waveguide with Ground) 급전 선로의 손실을 측정하였다. 그림 6의 결과로 동일한 길이라 할지라도 급전 선로의 곡률에 따라 손실이 크게 차이가 나는 것을 확인 할 수 있다. 여기서 발생한 손실의 차이는 레이다 동작 시 각 안테나의 가중치에 오차로 동작해 부엽 레벨을 높이는 원인이 된다. 따라서 곡률에 따른 손실 정도의 차이를 반드시 고려하여 설계하여야 한다. 그림 7은 최종 결정된 급전 선로 형상을 보여준다. 그림에서 보여주는 형상과 같이, Rx 채널의 경우 모두 동일한 곡률을 사용하여 급전 선로에 의한 손실을 1.98dB로 통일하였다. Tx 채널의 경우는 길이를 동일하게 하여 동위상은 맞추었지만 곡률이 통일되지 않아 손실에 차이가 있어 손실 차이를 최소화 하도록 설계하였다. 설계한 Tx 전송 선로는 위에서부터 각각 3.10dB, 3.41dB, 2.76dB로 0.6dB 이내의 손실 차이를 갖는다.

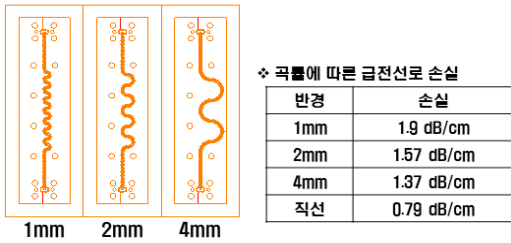


그림 6. 측정 급전 선로 형상 및 곡률에 따른 손실  
Fig. 6. Measurement feed line shape and loss by curvature

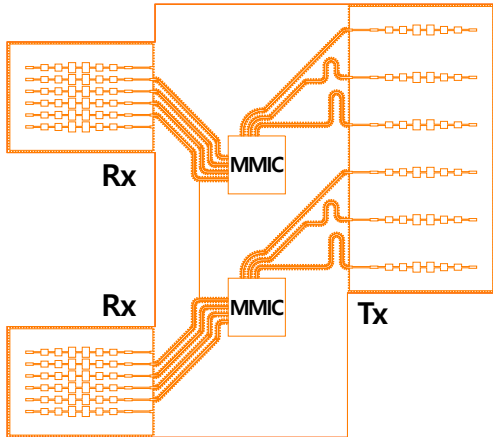


그림 7. 급전 선로 형상  
Fig. 7. Shape of feed line

#### 4. 레이돔 설계

레이돔 설계 시 중요한 점은 레이돔으로 인한 손실을 최소화하면서, 레이더의 동작 빔 운용 범위에서 균일한 이득을 갖도록 하는 레이돔 두께와 거리를 결정하는 것이다. 레이돔에 의한 빔 패턴 변화는 빔 폭이 넓어질수록 크게 나타나기 때문에 빔폭이 넓은 방위각 방향을 기준으로 높이와 두께를 최적화 하였다.

일반적인 레이돔의 투과율을 극대화 할때에는 레이돔의 두께와 거리를 반파장으로 설계하여 반사파를 0으로 만든다. 하지만 W대역에서의 반파장은 2mm 이하이며, 특히 유전율을 갖는 레이돔의 경우 2mm 보다 더욱 얇아지게 된다. 따라서, 외부 충격으로부터의 보호 목적과 제작성을 고려하면 실제 레이돔의 거리와 두께는 반파장 이상이 될 수밖에 없다. 이러한 경우 빔 운용 범위 내에서 상쇄 간섭과 보강 간섭이 교차로 발생하여 그림 8에서 보여지는 것과 같이 이득 편차가 커지는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, Tx와 Rx 패턴의 차이를 이용한 2-Way 패턴 최적화방법을 사용할 수 있

다. Tx와 Rx 안테나는 동일한 안테나를 사용하지만 두 안테나 간의 배열 간격 차이로 인해 동일한 레이돔을 적용하더라도 상쇄 간섭과 보강 간섭이 발생하는 각도 달라지게 된다. 이러한 Rx와 Tx 빔 패턴의 차이를 이용하여 그림 9, 10과 같이 2-way 패턴을 최적화 할 수 있다. 그림 9는 유전율 2.9, 투자율 0.866,  $\tan\delta$  0.01의 polycarbonate 소재를 사용한 두께 2.8mm의 레이돔을 안테나면으로부터 3.5mm를 떨어뜨려 뒀을 때 Tx와 Rx 안테나의 패턴을 보여준다. 이 두 패턴을 더한 2-Way 패턴은 그림 10에서 보여준다. 그림 10에서 보여주는 것과 같이, 빔 운용범위인  $\pm 50^\circ$ 에서 2-way 패턴이 균일한 이득을 갖도록 설계하였다.

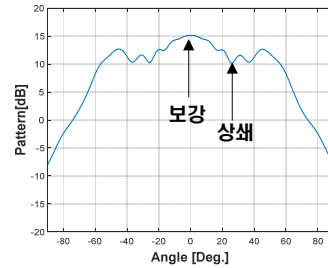


그림 8. 빔 운용 범위 내에 보강/상쇄 간섭 발생 패턴 예시  
Fig. 8. Examples of constructive/destructive interference occurrence patterns within the beam operating range

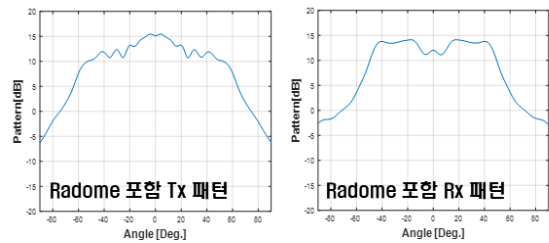


그림 9. 레이돔 포함 Tx 및 Rx 안테나 패턴  
Fig. 9. Tx and Rx pattern with radome

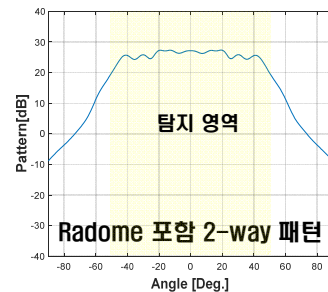


그림 10. 레이돔 포함 2-way 패턴  
Fig. 10. 2-way pattern with radome

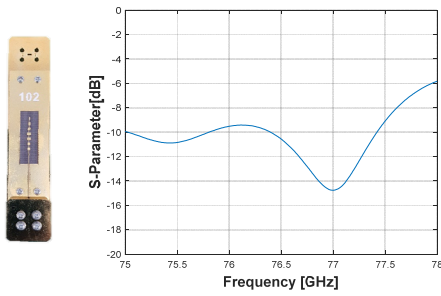


그림 11. 제작 안테나 형상 및 반사계수 측정값(S11)  
 Fig. 11. Fabricated antenna and measured S-parameter(S<sub>11</sub>)

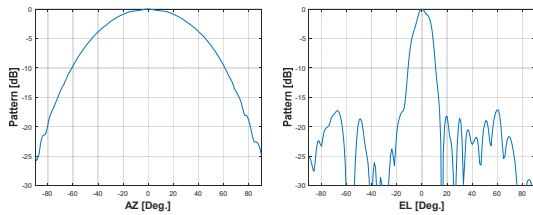


그림 12. 측정 빔 패턴  
 Fig. 12. Measured beam pattern

### III. MIMO 안테나 빔 패턴 검증

본 논문에서 설계한 W대역 자율주행 레이다용 MIMO 안테나의 정확한 빔 패턴을 확인하기 위해서는 급전 선로와 기타 보드 구성품에 의한 빔 패턴 변화의 고려가 필요하다. 따라서, 실제 운용시 안테나를 탑재하는 보드를 급전 선로를 포함한 상태로 제작하여, 실제 레이다의 급전선로와 MMIC와의 연결부위에 포트를 연결하여 측정하는 것이 이상적이다. 하지만 W대역 MMIC의 경우 안테나 채널간 거리가 약 1~2mm 수준으로 매우 좁아 상용 커넥터를 이용한 측정이 불가능에 가깝다. 또한 급전 선로와 보드 영향을 제외하고 배열안테나의 특성만을 측정하려해도 안테나간 배열간격이 약 2mm 수준이기에 위와 동일한 이유로 안테나의 빔 패턴을 확인하는 것이 어렵다.

본 논문에서는 W대역 MIMO 안테나의 보드 및 급전 선로 영향을 고려한 빔 패턴 검증을 위해서 단일안테나의 검증과 배열안테나 합성 패턴으로 나누어 측정을 수행하였다. 단일안테나 검증을 위하여 그림 11과 같이 단일안테나를 제작하고 목표대역에서의 반사계수 특성과 방사패턴을 측정하여 안테나의 동작여부를 판단하였다. 안테나의 전송선로는 CPWG 형상으로 신호선의 폭이

0.3mm이고 신호선과 측면의 접지면과의 거리가 0.1mm로 매우 좁고, W대역 특성상 커넥터 연결 시 작은 오차에도 민감하게 반응하기 때문에 전송선로의 끝단에는 CPWG와 WR-10 도파관의 전이구조를 설계하여 측정하였다. 그림 11에서 보여지듯, 측정 반사계수는 전이구조의 영향을 받아 대역특성이 시뮬레이션과 비교하면 다소 차이가 있지만 전체 동작 대역(76GHz ~ 77GHz)에서 약 10 dB 이하의 값을 가지는 것을 확인하였으며, 그림 12의 측정 빔 패턴이 시뮬레이션 결과와 매우 유사한 특성을 가짐을 확인함으로써 설계한 안테나가 목표대역에서 예상과 같이 동작함을 확인하였다.

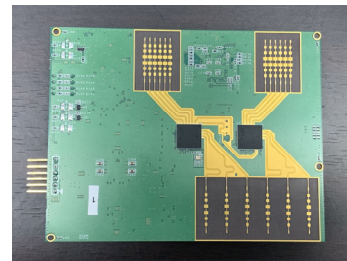


그림 13. 제작 레이다 보드 사진  
 Fig. 13. Picture of fabricated radar board

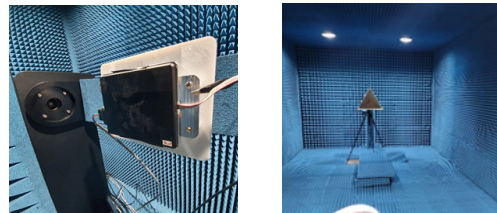


그림 14. 보드 탑재 안테나 패턴 측정 구성도  
 Fig. 14. Configuration of mounted antenna pattern measurement

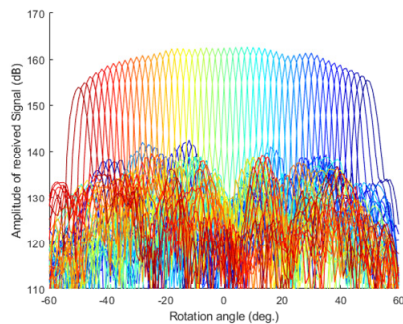


그림 15. 방위각 합성 측정 패턴  
 Fig. 15. Measured synthetic pattern of azimuth

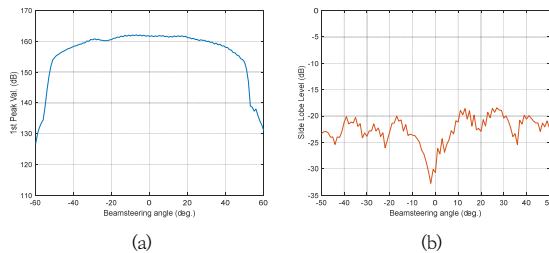


그림 16. 수신 패턴 특성 (a) 수신패턴 Peak로 추정된 2-way 단일 패턴, (b) 부엽 수준  
Fig. 16. Characteristic of 2-way peak pattern and sidelobe

이렇게 단일안테나의 동작을 확인한 후에 그림 13과 같이 제작된 레이더를 이용하여 급전선로 및 보드구조물의 영향이 포함된 안테나의 패턴을 측정 할 수 있다. 그림 14와 같이 레이더와 코너리플렉터를 설치한 후 레이더를 동작범위인  $\pm 50$ 도에서 1도씩 회전시키며 송수신 모드로 수신한 신호를 합성하면, 그림 15와 같이 합성 수신 패턴을 얻을 수 있다. 이렇게 획득한 합성 수신 패턴을 이용하여 그림 16에서와 같이 2-way 단일안테나 패턴과 배열 빔의 부엽 수준을 확인 할 수 있다. 그림 16(a)는 그림 15의 각 빔 패턴의 peak 값을 연결하여 확인한 2-way 단일안테나 패턴이며, 그림 16(b)는 각 빔 조향 각에서 부엽 수준을 보여주는 그래프이다. 이와 같은 방법으로 보드에 탑재하여 보드 및 급전선로의 영향이 포함된 실제 운용 시의 단일안테나의 패턴과 MIMO 안테나의 합성 빔 패턴을 측정하여 안테나의 동작 특성을 검증 할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 W대역, 또는 자율주행 레이더의 특성으로 인해 발생하는 MIMO 안테나의 설계 주안점들을 확인하고, 이러한 점들을 고려하며 W대역 자율주행 레이더용 안테나를 설계하는 과정을 소개하였다. 또한, 실제 운용 시의 빔 패턴인 보드에 탑재한 안테나의 빔 특성 검증을 위하여, 단일안테나를 별도로 제작하여 먼저 성능을 검증하였다. 그리고 이를 보드에 탑재하여 MIMO 레이더를 제작하고, 이를 이용하여 각도별 합성 수신 패턴을 측정하고, 측정 결과를 이용해 단일안테나의 2-Way 빔 패턴과 MIMO 배열 안테나의 수신 패턴 등 설계한 MIMO 안테나의 빔 패턴을 검증하고 그 특성을 확인하였다.

## References

- [1] Won-ho Jeong, Joo-Seok Kim, Myoung-Won Jung, Young-Keun Yoon, Jong-Ho Kim, Kyung-Seok Kim, "MIMO Radio Channel Measurement and Analysis at 781MHz", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 12, No. 2, pp. 181-188, Apr. 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.2.181>
- [2] Myoung-Won Jung, Young-Jun Chong, Jeong-Ki Park, "Enhanced Analysis Method of MIMO Channel Characteristics with Antenna Correlation at 781MHz", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 13, No. 3, pp. 17-24, Jun. 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.3.17>
- [3] Jae Hoon Hyun, "The Strategy of GM for the Development of Autonomous Driving Technology and Related Policies", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 21, No. 3 pp. 51-56, Mar. 2020  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.3.51>
- [4] Eun-Jin Jang, Jung-Ihl Kim, "Proposed of New Information Processing Model for Implementation of Autonomous Mobile System", The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 19, No. 2, pp. 237-242, Apr. 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.7236/JIIBC.2019.19.2.237>
- [5] R. Feger, C. Wagner, S. Schuster, S. Scheibhofer, H. Jäger, and A. Stelzer, "A 77-GHz FMCW MIMO radar based on an SiGe single-chip transceiver," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 57, no. 5, pp. 1020-1035, May 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2009.2017254>
- [6] Yi-An Li, et al, "A fully integrated 77GHz FMCW radar system in 65nm CMOS", ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 216-217, Feb. 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ISSCC.2010.5433951>
- [7] Rui Zhou, Haoyi Dong, Debin Hou, and Jixin Chen, "Design and Implementation of a Compact 77-GHz FMCW Radar Based on Single-Chip Transceiver with Comb-Line Antenna", 2020 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS), Vol. 5, No. 2, pp. 56-62, Nov. 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/IWS49314.2020.9359972>
- [8] J. Hasch, E. Topak, R. Schnabel, T. Zwick, R. Weigel, and C. Waldschmidt, "Millimeter-wave technology for automotive radar sensors in the 77 ghz frequency band," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 60, no.3, pp. 845-860, Mar. 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMTT.2011.2178427>
- [9] Seokchul Lee, Joungmyoung Joo, Junhyeok Choi, Wansik Kim, Hosang Kwon, Sangho Lee, Youngwoo Kwon, Jinho Jeong, "W-Band Multichannel FMCW Radar Sensor With Switching-TX Antennas," IEEE Sensors Journal, vol. 16, no.14, pp. 845-860, Jul. 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2016.2567450>

- [10] Tao Yuan, Ning Yuan, and Le-Wei Li "A Novel Series-Fed Taper Antenna Array Design." IEEE Antennas and Wireless Prog. Lett., vol. 7, pp. 362-365, Jul. 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/LAWP.2008.928487>
- [11] Junhyeok Choi, Shinmyong Park, Changyun Lee, Seungyeol Baek, Milim Lee, "Design and Implementation of FMCW Radar Based on two-chip for Autonomous Driving Sensor", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, Vol. 22, No. 6, pp. 43-49, Dec. 2022.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2022.22.6.43>

## 저 자 소 개

### 이 창 현(정회원)



- 2013년 : 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2015년 : 홍익대학교 전자전기공학과 (공학석사)
- 2020년 : 홍익대학교 전자전기공학 (공학박사)
- 현재 : LIG 넥스원 선임연구원

### 최 준 혁(정회원)



- 2006년 2월 : 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부(공학사)
- 2008년 2월 : 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부(공학석사)
- 현재 : LIG넥스원 수석연구원

### 이 미 림(정회원)



- 2013년 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사).
- 2015년 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학석사)
- 2019년 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학박사)
- 현재 : LIG넥스원 선임연구원

### 박 신 명(정회원)



- 2011년 : 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2013년 : 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
- 2018년 : 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학박사)
- 현재 : LIG넥스원 선임연구원

### 백 승 열(정회원)



- 2007년 : 한양대학교 전자전기공학부(공학사)
- 2013년 : LIG넥스원 레이더연구소
- 2017년 : 현대모비스 전장팀 근무
- 2021년 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원