

K-대역 원형 편파 안테나를 위한 Arc형 슬롯 기반 적층 패치 구조 설계

양원빈*, 현광룡**¹, 오성원**²

K-Band Circularly Polarized Antenna using a Stacked Patch Structure with Arc-Shaped Slot

Wonbin Yang*, Koangyong Hyun**¹, and Seongwon Oh**²

본 결과물은 방위사업청의 재원으로 국방기술진흥연구소의 방산혁신기업 100 프로젝트 전용 R&D 지원사업의 지원을 받아 연구되었음(R230204)

요 약

본 연구에서는 K-대역에서 S11 및 AR 대역폭을 동시에 향상시키기 위한 원형 편파 패치 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 두 개의 기판에 패치를 적층하는 형태로 설계되었다. 하부의 급전 패치는 모서리가 절단된 사각형 패치에 직사각형 슬롯과 스텝을 적용하여 원형 편파를 형성하고, 임피던스 정합 특성을 개선하였다. 상부의 기생 패치는 원형 패치에 Arc형 슬롯을 삽입한 구조로 AR 대역폭 향상에 기여하도록 설계되었다. 제작 및 측정 결과, 제안된 안테나는 16.1 - 21.5 GHz 구간에서 28.7%의 S11 대역폭을 확보하였으며, 18.5 - 19.7 GHz 구간에서 6.3%의 AR 대역폭을 확보하였다. 또한 19 GHz에서 6.6 dBic, 19.5 GHz에서 6.3 dBic의 이득을 달성하였다. 측정된 방사 패턴에서 LHCP 성분이 우세하게 나타나 안정적인 원형 편파 특성을 확인하였다.

Abstract

In this study, a circularly polarized patch antenna is proposed to simultaneously enhance the reflection coefficient and axial ratio bandwidths in the K-band. The proposed antenna employs a stacked structure composed of a driven patch based on a corner-truncated square shape with embedded slots and stubs, and a circular parasitic patch with an integrated Arc-shaped slot. Fabrication and measurement results show that the antenna achieves an S11 bandwidth of 16.1 - 21.5 GHz (28.7%) and an AR bandwidth of 18.5 - 19.7 GHz (6.3%). In addition, maximum gains of 6.6 dBic at 19 GHz and 6.3 dBic at 19.5 GHz are obtained. The measured radiation patterns confirm the dominance of left-hand circular polarization, verifying the stable CP performance of the proposed design.

Keywords

K-band antenna, circular polarization, stacked patch structure, arc-shaped slot, axial ratio bandwidth

* 한남대학교 전기전자공학과
- ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2728-9308>
** 국립목포해양대학교 해군사관학부(**² 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0002-6894-7001>
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0001-5626-9891>

· Received: Sep. 19, 2025, Revised: Oct. 04, 2025, Accepted: Oct. 07, 2025
· Corresponding Author: Seongwon Oh
Division of Naval Officer Science, Mokpo National Maritime University,
Mokpo-si, 58628, Korea
Tel.: +82-61-240-7123, Email: osw123@mmu.ac.kr

I. 서 론

최근 차세대 통신 기술의 발전과 더불어, 위성 통신, 레이더 시스템, 5G 무선 통신 등 다양한 응용 분야에서 K-대역(18 - 27 GHz)의 활용도가 빠르게 증가하고 있다. K-대역은 넓은 가용 대역폭을 제공하여 고속 데이터 전송과 고해상도 신호 처리를 가능하게 하며, 이에 따라 효율적인 전파 송수신을 위한 고성능 안테나 기술 개발의 필요성이 강조되고 있다[1]. 특히 원형 편파는 선형 편파에 비해 다중 경로 페이딩에 대한 강인성을 제공하고, 송수신 안테나 간 편파 불일치로 인한 성능 저하를 효과적으로 감소시킬 수 있다는 장점을 가진다. 이러한 특성으로 인해 원형 편파 안테나는 위성 통신, 이동 통신 등 안테나의 정렬이 어려운 환경이나 복잡한 도심처럼 편파 특성이 급변하는 곳에서 널리 활용되고 있다[2].

기존의 연구에서는 원형 편파 특성을 구현하기 위해 다양한 기법들이 제안되어 왔다. 대표적으로, truncated corner patch 구조는 급전 패치 모서리를 절단하여 두 개의 직교 모드를 형성함으로써 원형 편파 특성을 구현하는 방식이 보고되었다[3][4]. 또한, 급전 패치에 슬롯을 삽입하거나 스텝(stub)을 추가하여 임피던스 매칭을 개선하고 대역폭을 확장하는 기법 역시 널리 활용되어 왔다[5][6][7]. 기생 패치를 적층하는 방식은 다중 공진 모드를 유도하여 S11 대역폭을 개선하는 효과를 보였으나, AR(Axial Ratio) 대역폭의 확장에는 여전히 한계가 존재하였다[8][9]. AR 대역폭은 원형 편파 안테나의 성능을 평가하는 핵심 지표 중 하나로, 신호의 품질과 전파 환경에서의 안정성을 결정하는 중요한 요소이다. 이러한 배경에서, 본 연구는 K-대역 단일 안테나에서 S11 및 AR 대역폭을 동시에 향상시키기 위한 새로운 슬롯 패치 적층 구조의 안테나를 제안한다.

II. 안테나 설계

2.1 안테나 구조

본 연구에서 제안하는 안테나는 K-대역에서 대역

폭을 향상시키기 위해 두 개의 유전체 기판을 적층한 형태로 설계되었다. 그림 1과 같이 하부 기판에는 급전 패치를, 상부 기판에는 기생 패치를 배치하였다. 급전은 2.92 mm 커넥터의 중심 도체가 하부 급전 패치에 직접 연결되는 단일 급전 방식을 사용하였다.

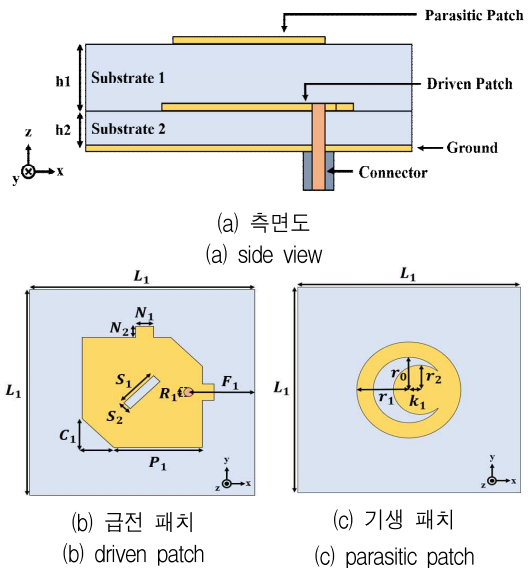


그림 1. 제안된 안테나 구조

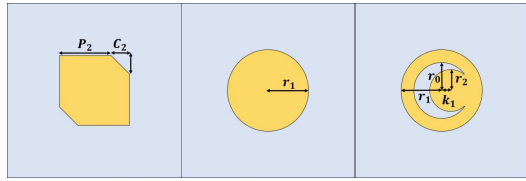
Fig. 1. Proposed antenna structure

안테나의 기판은 유전율이 2.97인 기판을 사용하였으며, 상부 기판은 두께 1.524 mm, 하부 기판은 두께 0.762 mm이다. 급전 패치는 모서리를 절단한 사각형 형태의 내부에 직사각형 형태의 슬롯을 삽입하여 두 개의 직교 모드를 형성함으로써 단일 급전 방식에서 LHCP(Left-Hand Circular Polarization) 특성을 구현하였다. 또한, 두 개의 스텝을 추가하여 임피던스 매칭을 개선하였다. 상부 기판에 위치한 원형 기생 패치에는 Arc형 형태의 슬롯을 삽입하였다. 이 슬롯은 표면 전류를 회전시키고, 내부와 외곽을 따라 서로 다른 전류 경로를 형성한다. 이러한 다중 전류 경로는 서로 다른 공진 모드를 유도하여 원형 편파를 형성하며, 이에 따라 AR 대역폭을 향상시킨다. 특히 인접한 공진 간 위상차가 적절한 형성이 될 때 AR 대역폭이 크게 확장된다. 결과적으로 제안된 구조는 기존의 단순 기생 패치 구조 대비 향상된 성능을 제공한다.

2.2 설계 절차 및 파라미터 최적화

제안된 안테나의 동작 원리를 분석하고 설계 타당성을 검증하기 위하여 우선 다양한 기생 패치의 성능을 비교한 후, 최종 선택한 기생 패치의 파라미터를 최적화하는 순서로 설계를 진행하였다.

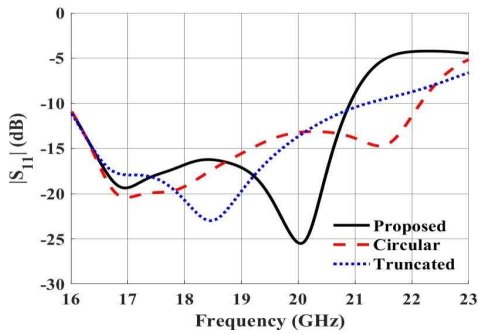
그림 2의 (a) 및 (b)는 단순 기생 패치이며 (c)는 제안하는 기생 패치의 구조이다. 그림 3은 이들의 S11 및 AR 대역폭을 비교한 결과를 나타낸다.



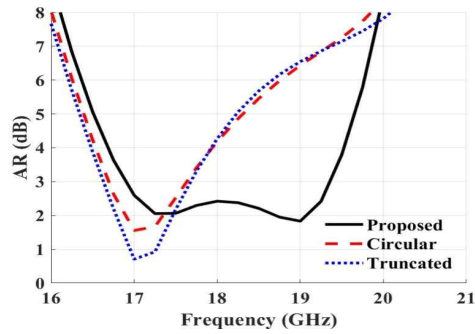
(a) 비대칭 육각형 (b) 원형 (c) 제안된 안테나
(a) Truncated (b) Circular (c) Proposed

그림 2. 다양한 기생 패치 구조

Fig. 2. Various parasitic patch structures



(a)



(b)

그림 3. 다양한 기생 패치 구조에 대한 (a) S11 및 (b) AR 비교

Fig. 3. Comparison of (a) S11 and (b) AR for different parasitic patch structures

Truncated corner patch 구조는 15.9 - 21.2 GHz (28.6%)에서 -10 dB 이하의 S11 대역폭을 확보하였으나, AR 대역폭은 16.6 - 17.7 GHz (6.4%)에서 3 dB 이하로 유지되었다. Circular patch 구조는 15.9 - 22.1 GHz (32.6%)에서 S11 대역폭이 비교적 넓게 확보되었으나, AR 대역폭은 16.7 - 17.6 GHz (5.2%)로 좁은 대역폭을 보였다. 반면, 제안된 Arc형 슬롯 기생 패치 구조는 약 16.0 - 20.9 GHz (26.6%)에서 S11 대역폭을 확보하였으며, 16.9 - 19.4 GHz (13.8%)에서 AR 대역폭을 구현하여 기존 구조 대비 성능이 크게 향상되었음을 확인할 수 있다. 이에 따라 Arc형 슬롯 형상을 기생 패치 구조로 확정하고 성능 향상을 위해 파라미터 최적화를 수행하였다.

그림 4, 5는 각각 외경 반지름 r_1 , 내부 반지름 r_2 변화에 따른 S11 및 AR 특성을 나타낸다.

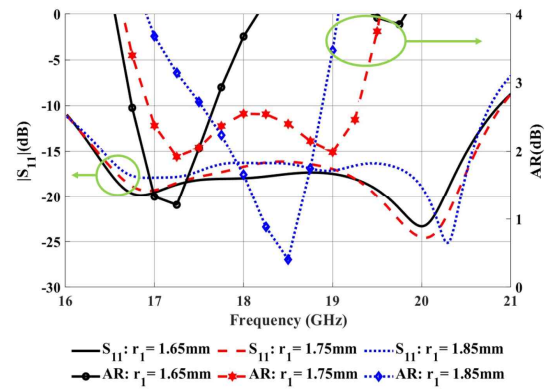


그림 4. r_1 변화에 대한 S11 및 AR 비교

Fig. 4. Comparison of S11 and AR for different r_1

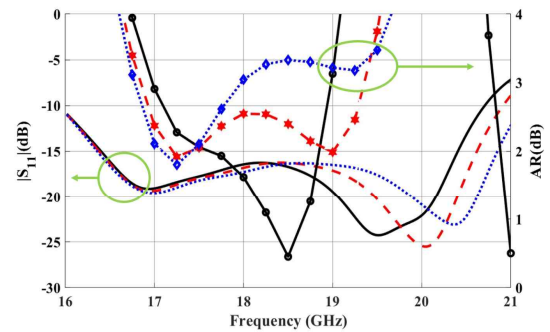


그림 5. r_2 변화에 대한 S11 및 AR 비교

Fig. 5. Comparison of S11 and AR for different r_2

그림 4에서 $r_1 = 1.75$ mm일 때 가장 넓고 안정적인 S11 대역폭과 AR 대역폭을 동시에 확보하였음을 확인하였다. 그림 5에서 r_2 이 커질수록 슬롯 길이가 짧아져 공진 주파수가 고주파수 쪽으로 이동하였으며, $r_2 = 0.9$ mm일 때 가장 안정적인 S11 대역폭과 AR 대역폭을 동시에 확보하였다.

그림 6은 내부 원의 오프셋 k_1 변화에 따른 S11 및 AR 특성을 나타낸다. k_1 의 변화에 따라 슬롯 길이가 달라지면서 공진 주파수가 이동하였으나, 전반적인 S11 대역폭의 차이는 크지 않았고 $k_1 = 0.4$ mm일 때 가장 안정적인 AR 대역폭을 확보하였다.

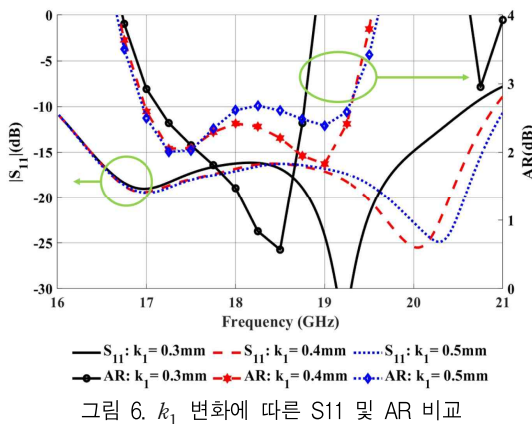


그림 6. k_1 변화에 따른 S11 및 AR 비교

표 1. 제안된 안테나 설계 파라미터

Table 1. Proposed antenna design parameters

Parameter	Value [mm]	Parameter	Value [mm]
L_1	8.0	R_1	0.3
P_1	2.8	N_1	0.6
P_2	2.3	N_2	0.4
C_1	1.2	k_1	0.4
C_2	0.7	r_0	1.20
S_1	1.4	r_1	1.75
S_2	0.3	r_2	0.90
F_1	2.48		

파라미터 해석 결과, Arc형 슬롯 기생 패치 구조는 다중 공진 모드를 효과적으로 유도하여 기존 구조 대비 넓은 AR 대역폭을 제공한다. Arc형 슬롯의 설계 변수를 최적화함으로써 외부 및 내부 전류 경로의 유효 길이를 조정하며, 이를 통해 두 직교 공진 모드 간의 위상차가 90° 에 가깝게 최적화되어

AR 대역폭이 확장됨을 확인하였다. 제안된 안테나의 주요 설계 파라미터는 표 1에 정리하였다.

III. 제작 및 측정

제안된 안테나의 성능을 검증하기 위해 실제 제작 및 측정을 수행하였다. 그림 7은 제작된 안테나의 사진을 보여준다.

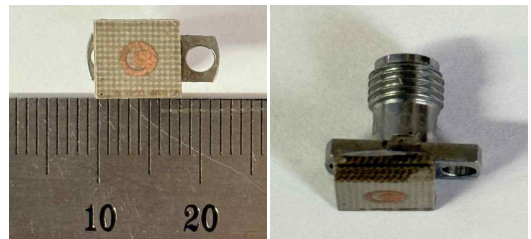
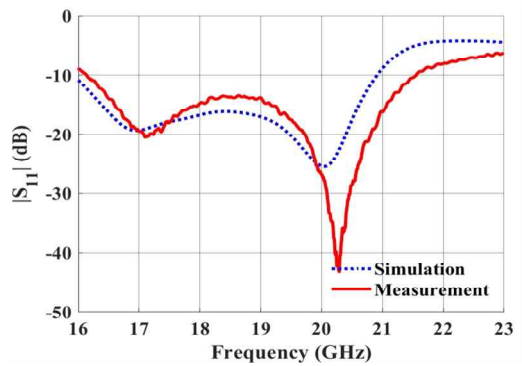
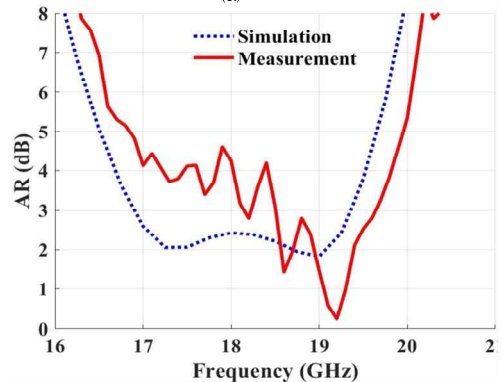


그림 7. 안테나 제작 사진

Fig. 7. Photograph of the fabricated antenna



(a)



(b)

그림 8. 제작된 안테나의 (a) S11 및 (b) AR 시뮬레이션과 측정 결과 비교

Fig. 8. Comparison of simulated and measured results of the fabricated antenna: (a) S11 and (b) axial ratio

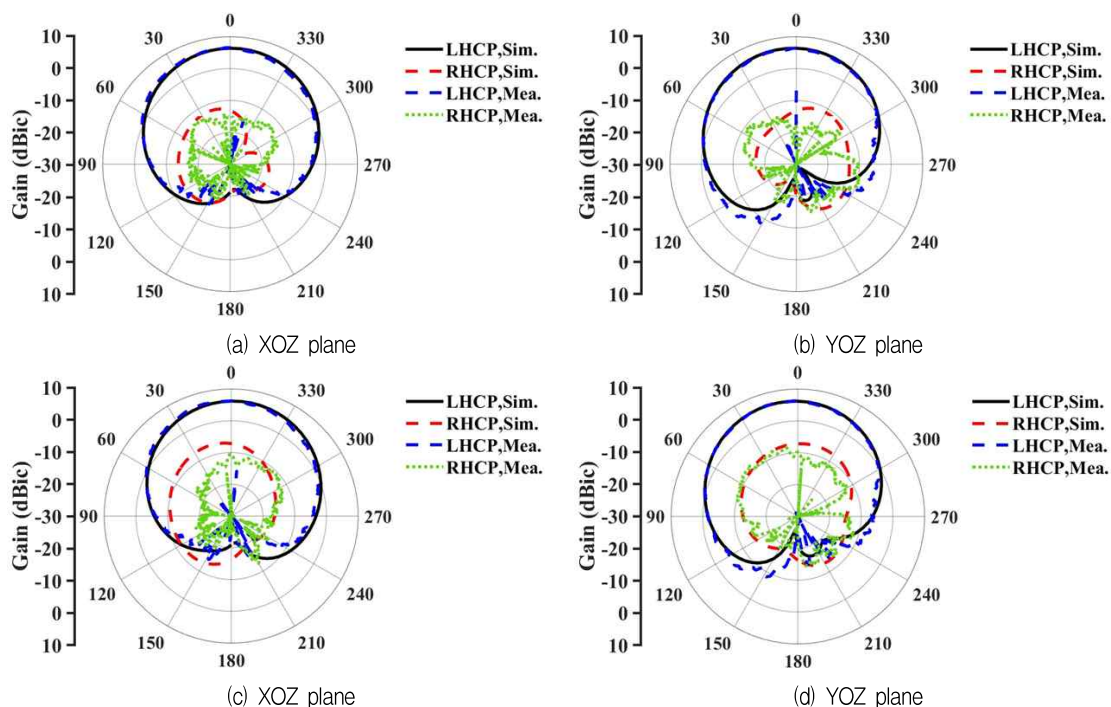


그림 9. 제안된 안테나의 방사 패턴: (a), (b) 19 GHz 및 (c), (d) 19.5 GHz에서의 시뮬레이션과 측정 결과
 Fig. 9. Radiation patterns of the proposed antenna: simulated and measured results at (a), (b) 19 GHz and (c), (d) 19.5 GHz

그림 8은 시뮬레이션과 측정을 통해 얻은 S11 및 AR 대역폭을 비교한 결과이다. S11의 측정 결과 16.1 - 21.5 GHz (28.7%) 구간에서 S11 대역폭을 확보하였다. 일부 주파수에서 시뮬레이션과 측정값의 편차가 존재했으나 전체적인 경향은 일치하였다. AR 대역폭은 시뮬레이션(16.9 - 19.3 GHz (13.3%)) 대비 감소하였으나, 18.5 - 19.7 GHz (6.3%) 구간에서 AR 대역폭을 확보하였다. 소형 설계로 인해 접지면의 크기가 급전 패치의 2배에 불과하고 안테나가 커넥터보다 작아, 커넥터의 전자기적 영향과 접지면의 확장 효과가 크게 나타난 것으로 분석되며, 여기에 기판 유전율의 공차와 슬롯 가공 정밀도까지 더해져 편차가 발생한 것으로 판단된다.

그림 9는 19.0 GHz 및 19.5 GHz에서 측정한 방사 패턴과 시뮬레이션 패턴을 비교한 결과이다. 두 주파수 모두에서 LHCP 성분이 우세하게 관측되었으며, RHCP 성분은 억제되어 제안된 안테나가 설계 의도대로 LHCP를 안정적으로 형성함을 확인하였다. 또한, 해당 주파수에서 측정된 최대 이득은 각각 6.6 dBic와 6.3 dBic로 나타나, 제안된 구조가

원형 편파 특성과 함께 우수한 이득 성능도 제공함을 확인하였다. 다만, 안테나 후방의 방사 패턴은 안테나 크기가 커넥터 크기보다 작고, 측정 케이블 및 치구 등의 영향으로 다소 왜곡된 한계가 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 K-대역에서 넓은 반사 계수 및 AR 대역폭을 확보하기 위한 새로운 원형 편파 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 구조는 슬롯과 스텝을 포함한 급전 패치와, Arc형 슬롯이 삽입된 원형 기생 패치를 적층한 형태로 설계되었다. 이를 통해 표면 전류의 회절과 다중 공진이 유도되어 기존 구조 대비 개선된 성능을 구현하였다.

제작 및 측정 결과, 제안된 안테나는 16.1 - 21.5 GHz에서 28.7%의 S11 대역폭과 18.5 - 19.7 GHz에서 6.3%의 넓은 범위에서 AR 대역폭을 확보하였으며, 방사 패턴도 안정적인 LHCP 특성이 확인되었다. 이는 제안된 안테나가 K-대역에서 요구되는 원형 편파 특성을 효과적으로 달성하였음을 보여준다.

Acknowledgment

본 논문은 2025년도 한국정보기술학회 하계종합 학술대회에 발표한 논문(이형 슬롯 패치 적층구조의 K-대역 원형 편파 안테나 설계)[10]을 확장한 것임.

References

[1] S. Shelar, P. V. Kasambe, and R. Kumbhare, "Microstrip patch antenna with partial ground plane and parasitic patch for K band application in 5G", 2021 International Conference on Communication information and Computing Technology (ICCICT), Mumbai, India, pp. 288-291, Jun. 2021. <http://doi.org/10.1109/ICCICT50803.2021.9510092>.

[2] M. Moharana and B. Dwivedy, "Circularly polarized planar antennas with enhanced characteristics for contemporary wireless communication use cases: A review", IEEE Access, Vol. 12, pp. 134594-134613, Jun. 2024. <http://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3415483>.

[3] K. Nuangwongsa and K. Miyai, "Corner truncated patch circularly polarized antenna for UHF RFID applications", IEEE 15th International Conference on Electrical Engineering/ Electronic, Computer, T elecommunication and Information Technology, Jul. 2018. <http://doi.org/10.1109/ECTICon.2018.8620031>.

[4] S. W. Kang and T. S. Chang, "A Study on Changes for Antenna Characteristics depending on the Housing Material of Patch Antenna", JIIBC, Vol. 24, No. 6, pp. 71-77, Dec. 2024. <http://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.6.71>.

[5] S. Hao, Q. Chen, J. Li, and J. Xie, "A high-gain circularly polarized slotted patch antenna", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 19, No. 6, pp. 1022-1026, Jun. 2020. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2020.2987330>.

[6] S. W. Kang and T. S. Chang, "A Study on Patch Antenna for C-ITS with Rectangle Slot", JIIBC, Vol. 24, No. 1, pp. 103-107, Feb. 2024.

<http://doi.org/10.7236/JIIBC.2024.24.1.103>.

[7] M. D. Plessis and J. Cloete, "Tuning stubs for microstrip-patch antennas", IEEE Antennas Propag. Mag., Vol. 36, No. 6, pp. 52-55, Dec. 1994. <http://doi.org/10.1109/74.370523>.

[8] M. C. Tang, X. Chen, M. Li, and R. W. Ziolkowski, "A bandwidth-enhanced, compact, single-feed, low-profile, multilayered, circularly polarized patch antenna", IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett., Vol. 16, pp. 2258-2261, Jun. 2017. <http://doi.org/10.1109/LAWP.2017.2713239>.

[9] O. Delger, et al., "Simulation-based design of a small wideband circularly-polarized antenna", JKIIIT, Vol. 21, No. 11, pp. 95-104, Nov. 2023. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.11.95>.

[10] W. B. Yang, S. C. Lee, and S. W. Oh, "K-Band Circularly Polarized Antenna with Stacked Heterogeneous Slot Patches", Proc. of 2025 KIIT Summer conference, Jeju, Korea, pp. 447-449 Jun. 2025.

저자소개

양 원 빈(Wonbin Yang)



2020년 3월 ~ 현재 : 한남대학교
전기전자공학과 학부과정
관심분야 : 레이더, 안테나 설계

현 광 룡 (Koangyong Hyun)



2007년 2월 : 목포해양대학교
기관시스템공학부(공학사)
2012년 2월 : 목포해양대학교
기관시스템공학과(공학석사)
2016년 3월 : 일본 나고야대학교
재료공학과(공학박사)
2018년 4월 ~ 현재 :

목포해양대학교 해군사관학부 부교수
관심분야 : 에너지 소재, 플라즈마, 전력반도체 소재

오 성 원(Seongwon Oh)



1996년 2월 : 해군사관학교
전기공학과(공학사)
2002년 2월 : 포항공과대학교
정보통신공학과(공학석사)
2011년 8월 : 미국 텍사스 A&M
대학교 전자공학과(공학박사)
2019년 3월 ~ 현재 :

목포해양대학교 해군사관학부 부교수
관심분야 : 레이더, 배열 안테나, RCS, 전파 환경 분석