

적층 구조가 적용된 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나 설계

Design of a Circularly Polarized Microstrip Patch Antenna
with a Stacked Structure박 목 윤¹ · 여 수 철^{2*} · 황 금 철³Mok Yoon Park¹ · Su-Cheol Yeo^{2*} · Keum Cheol Hwang³

요 약

본 논문에서는 임피던스 대역폭과 축비 대역폭 향상을 위해 적층 구조가 적용된 원형편파 특성을 갖는 직접 급전 마이크로스트립 패치 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 급전 패치 안테나와 기생 패치 안테나로 구성되며, 하부 기판과 상부 기판 사이에 삽입한 공기층과 기생 패치로 임피던스 대역폭과 축비 대역폭을 증가시켰다. 원형 편파 동작을 위해 급전 패치와 기생 패치의 대각선 모서리를 절단하였으며, 패치 내부의 십자 형태의 슬롯을 추가하였다. 제안된 안테나는 제작 및 측정을 진행하였다. 측정 결과 -10 dB 이하 임피던스 대역폭은 $7.34 \sim 9.46$ GHz, 3 dB 이하 축비 대역폭은 $8.06 \sim 9.39$ GHz이다.

Abstract

In this study, a directly fed microstrip patch antenna with circular polarization was proposed, utilizing a stacked structure to enhance the impedance and axial ratio bandwidths. The proposed antenna consists of a driven patch antenna and a parasitic patch antenna with an air layer and a parasitic patch inserted between the lower and upper substrates to increase the impedance and axial ratio bandwidths. For circular polarization, the diagonal corners of the driven and parasitic patches were truncated and a cross-shaped slot was added inside the patches. The proposed circularly polarized antenna structure was fabricated and tested. Measurement results showed an impedance bandwidth below -10 dB ranging from 7.34 to 9.46 GHz, and an axial ratio bandwidth below 3 dB from 8.06 to 9.39 GHz.

Key words: Circular Polarization, Microstrip Patch Antenna, Stacked Patch Antenna

I. 서 론

무선통신 분야의 지속적인 발달과 함께 위성통신 기술

또한 급속히 발달하고 있으며, 이에 따라 원형편파 안테나에 대한 수요가 증가하고 있다. 원형편파는 다중경로 페이딩과 전리층에서의 Faraday 회전을 효과적으로 극복

「이 논문은 2022년도 정부(방위사업청)의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-22-077, 전장 적응형 다계층 통신을 위한 통합 통신단말 및 네트워크 기술 개발).」

성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과(Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University)

*한화시스템(Hanwha Systems)

1: 석 · 박사통합과정(<https://orcid.org/0009-0009-2604-6457>), 2: 수석연구원(<https://orcid.org/0009-0006-2869-2442>),

3: 정교수(<https://orcid.org/0000-0002-8074-1137>)

· Manuscript received July 4, 2024 ; Revised July 29, 2024 ; Accepted October 16, 2024. (ID No. 20240704-061)

· Corresponding Author: Keum Cheol Hwang (e-mail: khwang@skku.edu)

할 수 있으며, 선형편파에 비해 파면의 일치가 비교적 자유롭다는 장점이 있다. 특히, 가벼우면서 박형(low-profile)이고 대량생산에 적합한 마이크로스트립 패치 안테나를 활용한 원형편파 안테나의 연구가 활발히 진행되고 있다.

그러나 단일 급전 구조를 갖는 마이크로스트립 패치 원형편파 안테나는 임피던스 대역폭과 축비 대역폭이 협소하다는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 패치에 슬롯을 삽입하는 방법^[1], 급전 패치와 동일한 평면에 기생 패치를 추가하는 방법^[2], 적층 구조와 기생 패치를 추가하는 방법^[3], 기생 패치와 급전 패치 사이에 공기층을 삽입하는 방법^{[4],[5]} 등 다양한 연구가 진행되었다.

본 논문에서는 원형편파 특성을 갖는 직접 급전 방식의 적층 구조 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 기생 패치와 공기층을 이용하여 축비 대역폭과 임피던스 대역폭을 향상시켰다. 또한 기생 패치와 급전 패치에 십자 형태의 슬롯과 절단된 모서리를 통해 원형편파로 동작하도록 설계하였다. 설계된 안테나를 제작하여 무반향실에서 측정된 결과를 통해 그 성능을 검증하였으며, 모의실험은 EM 시뮬레이터인 CST MWS(Microwave Studio)를 사용하여 수행하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

그림 1은 제안된 원형편파 안테나 형상을 나타낸다. 그림 1(a)와 같이 2개의 유전체 기판과 기판 사이의 공기층으로 구성되었다. 상층 기판의 상단에는 그림 1(b)와 같이 기생 패치가 배치되며, 하부 기판의 상단에는 그림 1(c)와 같이 급전 패치가, 하단에는 접지면이 위치한다. 상부 기판과 하부 기판 사이에 공기층을 추가하여 기생 패치의 유효 유전율을 낮추도록 하였다. 제안된 안테나 기판은 유전 상수 3.5인 Taconic RF-35 기판을 사용하였으며, 두께 0.76 mm의 상부 기판과 1.52 mm의 하부 기판을 사용하였으며, 공기층의 두께는 2 mm이다. 원형편파 방사를 위한 직교하는 축퇴 모드를 위해, 기생 패치와 급전 패치의 대각 모서리를 절단 및 패치 내부의 십자 형태의 슬롯을 추가하였다. 상부 기판의 기생 패치 또한 급전 패치와 형상은 유사하나 패치의 크기와 절단된 모서리의 크기 및 슬롯의 길이가 다르게 두어 급전 패치보다 낮은 주파수에

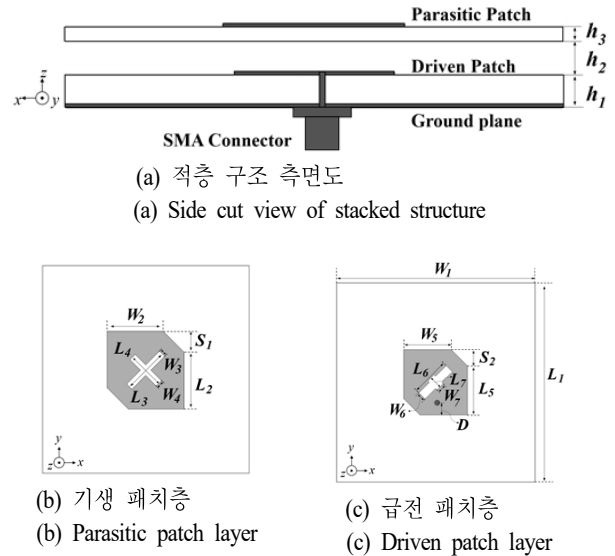


그림 1. 제안된 안테나 구조

Fig. 1. Configuration of the proposed antenna.

서 원형편파 방사가 이루어지도록 설계하였다^{[3],[4]}. 설계 변수는 표 1을 통하여 제시한다.

그림 2는 공기층의 두께 h_2 에 따른 반사계수와 축비 변화를 모의실험으로 확인한 결과를 나타낸 것으로, h_2 가 1 mm인 경우 반사계수가 7.5~7.75 GHz에서 -10 dB 이상으로 나타나며 반사계수 대역폭과 축비 대역폭이 나뉘짐을 확인할 수 있다. 공기층의 두께 h_2 가 2, 3 mm인 경우, 7.25~9.3 GHz에서의 반사계수 -10 dB 대역폭을 가지나, h_2 가 2 mm인 경우에서 반사계수 대역폭 내에서 축비 대역폭이 가장 넓게 나타나고, 3 mm인 경우 반사계수 대역폭 내의 축비는 3 dB 이상으로 나타난다.

급전 패치와 기생 패치의 위치한 슬롯 길이에 따라 직

표 1. 제안된 안테나 주요 설계 변수(단위: mm)

Table 1. Design parameters of a proposed antenna (unit: mm).

D	1.6	L_2	6.9	L_7	1.6	W_3	0.9
h_1	1.52	L_3	5.7	S_1	2.5	W_4	0.9
h_2	2	L_4	4.5	S_2	2.1	W_5	6.1
h_3	0.76	L_5	6.4	W_1	26	W_6	1.1
L_1	26	L_6	5	W_2	6.8	W_7	1.1

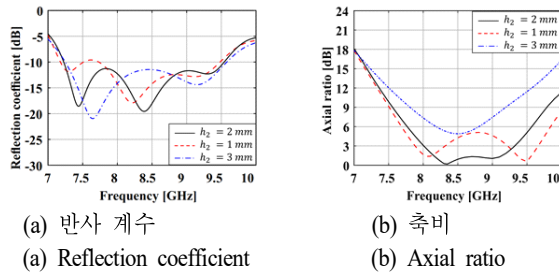


그림 2. h_2 값에 따른 안테나 특성 변화
Fig. 2. Simulation results depending on h_2 .

교 모드들의 주파수가 달라지며, 축비 대역폭 및 값이 달라진다. 그림 3은 패치의 슬롯 길이에 따른 축비 특성 변화를 모의실험으로 확인한 결과이다.

그림 3(a) 및 그림 3(b)는 각 기생 패치의 슬롯 길이 L_3 , L_4 변화에 따른 축비 특성을 도시한 것이다. L_3 가 5.7 mm일 때 축비 대역폭은 최대로 나타나며, L_3 의 변화에 따라 대역 내 높은 주파수에서의 축비값이 달라짐을 확인할 수 있다. L_3 가 짧아짐에 따라 8.7 GHz에서 축비가 3 dB 이상으로 나타나며, L_3 가 길어짐에 따라 축비 대역폭이 좁아짐을 확인할 수 있다. L_4 의 길이가 변화에 따라 축비 대역폭의 차이는 크지 않으나, L_4 가 4.5 mm일 때 대역 내 축비가 최소로 나타난다.

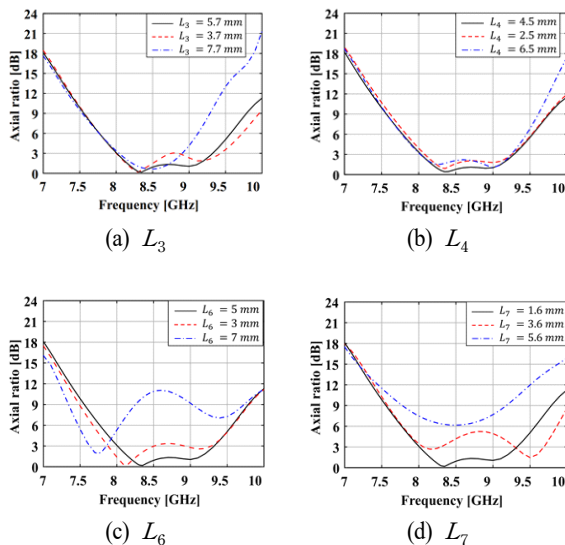


그림 3. 슬롯 길이에 따른 축비 특성 변화
Fig. 3. Simulated axial ratio depending on the slots length.

그림 3(c) 및 그림 3(d)는 각 급전 패치의 슬롯 길이 L_6 , L_7 에 따른 축비 특성을 나타낸 것이다. L_6 가 5 mm인 경우 최대 축비 대역폭을 가지며, L_6 가 3, 7 mm인 경우 축비 대역폭이 좁아지며 축비 특성이 저하됨을 확인할 수 있다. L_7 는 1.6 mm에서 최대 대역폭이 나타나며, L_7 이 길어짐에 따라 축비 특성이 저하된다.

III. 안테나 제작 및 측정 결과

그림 4는 제작된 적층 패치 안테나의 형상이며 기관의 가장자리에 있는 4개의 teflon 나사로 그림 4(b) 및 그림 4(c)의 기관을 적층하였다.

그림 5는 기생 패치층 유무에 따른 모의실험 결과와 제작된 안테나의 측정 결과를 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 반사계수를 나타낸 것으로 기생 패치층이 존재하지 않을 경우, 8 GHz와 9.2 GHz 주위 대역에서 공진이 나타난다. 기생 패치층이 존재하는 경우, 7.25, 8.4, 9.4 GHz에서 공진이 나타나며 -10 dB 이하 대역폭은 7.21 GHz에서 9.55 GHz로 28 %이며, 측정된 대역폭은 7.34 GHz에서 9.46 GHz로 25 %이다. 그림 5(b)는 축비를 나타낸 것으로 기생 패치층이 존재하지 않을 경우, 8.8 GHz에서 축비가 약 6 dB로 가장 낮게 나타난다. 기생 패치층이 존재하는 경우, 3 dB 이하 축비 대역폭은 8.06 GHz에서 9.32 GHz로 나타난다. 측정된 3 dB 이하 축비 대역폭은 8.06 GHz에서 9.39 GHz이다. 그림 5(c)는 기생 패치층이 존재하는 경우의 정면 방향 이득의 모의실험 및 측정 결과를 나타낸 것으로 측정된 3 dB 이하 축비 대역폭 내 우선회 원형편파 이득은 6.12 dBic에서 6.89 dBic이다. 그림 6은 축비 대역의 중심 주파수인 8.6 GHz에서의 모의실험 및 측정된 방사패턴 결과이며, +z-축 방향에서 최대 이득을 갖는다.

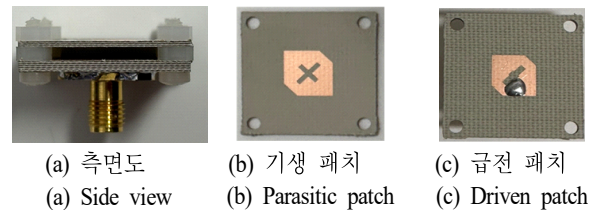


그림 4. 제작된 안테나
Fig. 4. Fabricated antenna.

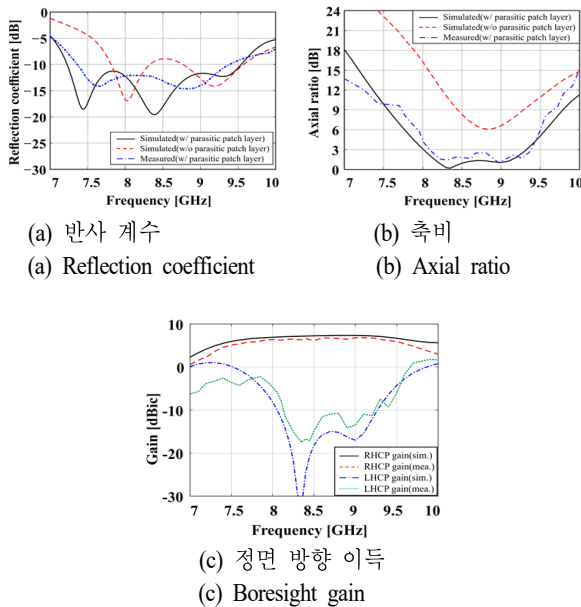


그림 5. 모의실험 및 측정 결과 비교
Fig. 5. Simulation and measurement results.

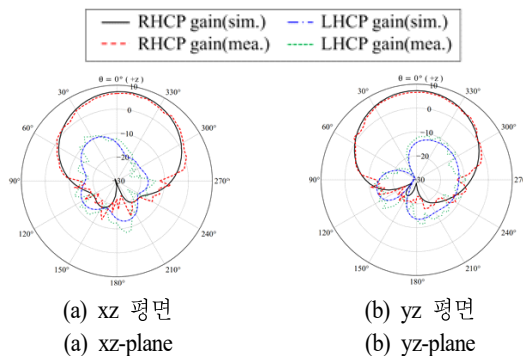


그림 6. 제안된 안테나의 방사패턴
Fig. 6. Radiation patterns of the proposed antenna.

제안된 안테나와 기존의 연구를 비교하였을 때, 적층 구조 및 십자 형태의 슬롯이 삽입된 기생 패치를 적용한 패치 안테나의 경우^[3], $0.05 \lambda_0$ 의 높이에서 2.33 %의 3 dB 이하 축비 대역폭을 갖는다. 공기층과 고리 형태의 기생 패치를 활용한 패치 안테나의 경우^[5], $0.09 \lambda_0$ 의 높이와 6.81 %의 축비 대역폭을 갖는다. 제안된 안테나는 $0.12 \lambda_0$ 높이에서 15 %의 축비 대역폭을 갖으며, 이때 λ_0 는 중심 주파수의 자유공간에서 한 파장이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기생 패치와 급전 패치 사이의 공기층을 적용하여 동작 대역폭을 향상시킨 적층 구조를 갖는 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 모의실험 및 측정을 통해 제안된 안테나의 임피던스 및 방사 특성을 확인하였다. 측정 결과 -10 dB 이하 임피던스 대역폭은 7.34~9.46 GHz, 3 dB 이하 축비 대역폭은 8.06~9.39 GHz이며 축비 대역 내에서 우선회 원형 편파 이득이 6.12 dBi 이상임을 확인하였다. 제안된 안테나는 위성통신 및 이동통신 시스템 등에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] S. S. Hao, Q. Q. Chen, J. Y. 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.
- [2] N. Hussain, H. H. Tran, and T. T. Le, "Single-layer wideband high-gain circularly polarized patch antenna with parasitic elements," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, vol. 113, p. 152992, Jan. 2020.
- [3] 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 Propagation Letters*, vol. 16, pp. 2258-2261, Jun. 2017.
- [4] K. L. Chung, A. S. Mohan, "A systematic design method to obtain broadband characteristics for singly-fed electromagnetically coupled patch antennas for circular polarization," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, no. 12, pp. 3239-3248, Dec. 2003.
- [5] M. M. Hossain, S. I. Latif, and E. A. Spencer, "Hybrid perturbations in stacked patch-ring circularly polarized microstrip antennas for CubeSat applications," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 37, no. 3, pp. 24-31, Mar. 2022.