



T-junction 전력 분배기를 이용한 ISM 대역의 원형 편파 마이크로스트립 패치 안테나 설계

김선웅*, 김지혜**¹, 김수정**², 박시현**³, 최동유***

Design of a Circular Polarization Microstrip Patch Antenna for ISM Band Using a T-junction Power Divider

Sun-Woong Kim*, Ji-Hye Kim**¹, Su-Jeong Kim**², Si-Hyeon Park**³, and Dong-You Choi***

이 논문은 조선대학교 『2017학년도 학부생 새싹형 연구인재 지원프로그램(학부 장학금 사업)』의 지원을 받아 연구되었음

요약

본 논문에서는 T-junction 전력 분배기를 이용한 원형 편파 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 동작 주파수는 2.4GHz의 ISM 대역이며, 패치 안테나의 두 가장자리에 90°의 위상차를 급전하여 원형 편파를 유도하였다. 안테나의 구조는 일반적인 패치 안테나와 T-junction 전력 분배기로 구성된다. 안테나의 최적화를 위해 반사계수, 축비, 방사패턴 등이 분석된다. 안테나의 임피던스 대역폭은 2.39~2.43GHz 대역에서 40MHz의 대역폭이 관찰되었으며, 축비 대역폭은 2.398~2.410GHz 대역에서 약 12MHz의 대역폭이 관찰되었다. 안테나의 방사패턴은 우회전 원형 편파로 동작하였다. 또한 안테나의 이득은 XZ 및 YZ-평면에서 각각 2.04, 3.4dBic가 관찰되었다.

Abstract

In this paper, the circular polarization microstrip patch antenna using the T-junction power divider is proposed. The operating frequency of the proposed antenna is ISM band of 2.4GHz and the circular polarization is induced by feeding a phase difference of 90° in two edges. The structure of the antenna consists of a general patch and a T-junction power divider. Furthermore, to optimize the proposed antenna, it is analyzed the reflection coefficient, the axial ratio and the radiation pattern. The impedance bandwidth of the antenna is observed to be 40MHz within a range of 2.39 to 2.43GHz, similarly, the axial ratio bandwidth is observed having the bandwidth of about 12MHz in 2.398 to 2.410GHz range. The radiation pattern of the antenna is seen to be right circular polarization. Furthermore, the gain of the antenna is observed to be 2.04 and 3.4dBic at XZ and YZ-plane, respectively.

Keywords

microstrip patch antenna, T-junction power divider, circular polarization, ISM band

* 조선대학교 IT연구소

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2656-2955>

** 조선대학교 정보통신공학과

- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0001-7551-803X>

- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0003-0816-829X>

- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-1975-270X>

*** 조선대학교 정보통신공학과 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0664-7908>

· Received: Oct. 04, 2018, Revised: Oct. 22, 2018, Accepted: Oct. 25, 2018

· Corresponding Author: Dong-You Choi

Dept. of Information and Communication Eng., Chosun University
Gwangju, Korea,

Tel.: +82-62-230-7060, Email: dychoi@chosun.ac.kr

I. 서 론

최근 무선 시스템의 급속한 발달로 인하여 다양한 무선 통신에 적합한 안테나가 요구되고 있다. 그 중에서도 사물 인터넷의 보급으로 인하여 무선 통신 환경에서 동작하는 센서용 단말기의 수요가 급증하고 있으며, 센서용 단말기들의 용도와 형태가 각기 달라서 다양한 형태로 놓이게 된다. 이러한 환경에서 놓이는 센서용 단말기들의 안테나들은 서로 다른 편파를 갖게 되어 주파수 효율 및 통신의 안정성을 떨어뜨리게 된다[1][2].

서로 다른 안테나에서 독립된 편파를 갖는 방식은 교차 편파(Cross Polarization)를 발생시키며, 이를 극복하기 위해 원형 편파 특성을 갖는 안테나를 설계해야 한다. 기존의 마이크로스트립 안테나의 일반적인 급전은 선형으로 편파된 전파를 방사하지만 안테나의 구조의 변형과 다양한 급전배치를 통해 원형 편파를 얻을 수 있다[3]-[5].

원형 편파 안테나는 두 직교모드를 90° 위상차를 급전하여 구현할 수 있으며, 90°의 위상차는 전력 분배기 및 90° 하이브리드 결합기 등으로 얻을 수 있다[6]. 본 논문에서는 T-junction 전력 분배기를 통한 원형 편파 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였으며, 제안된 안테나는 2.4GHz의 ISM 대역을 갖는다. 2.4GHz의 ISM 대역은 무선 통신 기반 기술에 광범위하게 사용되어져 왔다. 현재 ISM 대역의 무선 통신 기술은 무선 랜(Wireless LAN), 블루투스, 지그비(Zigbee) 외에도 지능형 교통시스템의 자동요급징수 시스템, 주차관리 시스템 등에도 다양하게 적용되고 있다. 따라서 ISM 대역은 다양한 분야에 사용되고 있으며, 차세대 정보통신 시스템의 유망기술들의 근간을 이룰 것으로 전망된다[7].

제안된 원형 편파 안테나는 T-junction 전력 분배기를 통하여 90°의 위상차를 패치의 두 가장자리에 급전하여 설계되었다. 안테나 최적화 설계를 위해 반사계수(Reflection Coefficient), 축비(Axial Ratio), 방사패턴(Radiation Pattern) 등이 분석된다[8]-[10].

이를 위해 제 2장에서는 T-junction 전력 분배기를 이용한 원형 편파 안테나를 설계 및 시뮬레이션 분석하였으며, 제 3장에서는 이를 입증하기 위해 실제 측정을 하였다. 제 4장에서는 결론을 맺는다.

II. 안테나 설계 및 시뮬레이션 분석

2.1 안테나 구조

사각형 마이크로스트립 패치 안테나에 원형 편파를 유도하기 위해 T-junction 전력 분배기를 사각형 패치의 두 가장자리에 급전하여 제안되었으며, 구조 및 설계 변수는 그림 1, 표 1과 같다[11][12].

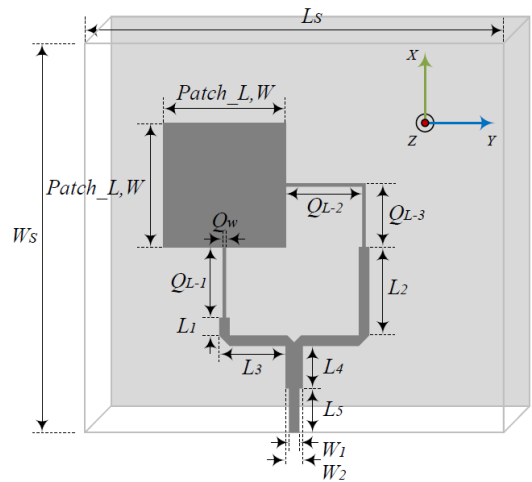


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of the proposed antenna

표 1. 제안된 안테나의 설계 변수 [mm]
Table 1. Design parameter of the proposed antenna [mm]

Design parameter	Design value
$Patch_L, W$	29.05
L_s	120
W_s	120
L_1	4
W_1	3
L_2	21
W_2	9.56
L_3	16.64
L_4	15.2
L_5	17.04
Q_{L-1}	17.16
Q_w	0.2
Q_{L-2}	25.125
Q_{L-3}	14.785

마이크로스트립 패치 안테나의 방사소자 길이 L 은 동작주파수로 결정되며, 식 (1)과 같다.

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta l \quad (1)$$

여기서, c 는 자유공간에서의 빛의 속도, ϵ_{eff} 는 실효 유전율, Δl 은 프린징 효과로 인한 가장자리 확장 값이다. 실효 유전율 ϵ_{eff} 및 Δl 은 식 (2), 식 (3)과 같다.

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

$$\Delta l = 0.412h \left(\frac{\epsilon_{eff} + 0.3}{\epsilon_{eff} - 0.258}\right) \frac{(w/h) + 0.264}{(w/h) + 0.8} \quad (3)$$

여기서, W 는 패치 안테나의 방사소자 폭이며, h 는 기판의 높이, ϵ_r 은 기판 유전율이다. 패치 안테나의 폭 W 는 식 (4)와 같다.

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)^{-1/2} \quad (4)$$

마이크로스트립 패치 안테나에 원형편파를 유도하기 위해 전류가 패치 내에 동일한 크기를 가져야 한다. 따라서 제안된 마이크로스트립 패치 안테나의 길이와 폭(Patch L, W)은 식 (1)로 결정된다[13].

마이크로스트립 패치 안테나는 일반적으로 선형 편파의 전파를 방사한다. 사각형 패치 안테나의 원형 편파를 유도하기 위해 90° 위상차의 두 직교모드를 급전하며, 그림 1과 같이 T-junction 전력 분배기를 통해 두 가장자리에 급전하여 원형 편파를 유도한다. 일반적인 T-junction 전력 분배기는 동일한 위상을 출력하지만, 그림 1의 변수 L_2 를 조절하여 90°의 위상차를 출력하게 한다.

제안된 원형 편파 안테나는 Ansys사의 HFSS 12v.을 사용하여 설계 및 시뮬레이션 분석하였으며, 유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.0035, 두께 1.62 mm를 갖는 TRF-45 기판에 제작되었다. 안테나의 구조는 사각형 패치와 T-junction 전력 분배기를 결합하여 제안

되었으며, 사각형 패치와 T-junction 전력 분배기 사이에 발생하는 임피던스 부정합을 극복하기 위해 설계 변수 Q_{L-1} , Q_{L-2} , Q_{L-3} , Q_W 가 추가된다. 제작된 안테나의 사진은 그림 2와 같다.

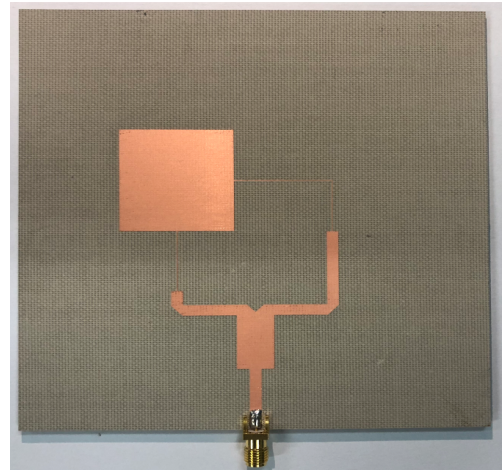


그림 2. 제작된 안테나의 사진
Fig. 2. Photograph of the fabricated antenna

2.2 안테나 시뮬레이션 분석

제안된 원형 편파 안테나는 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나를 기반으로 제안되었으며, 설계 과정은 그림 3과 같다.

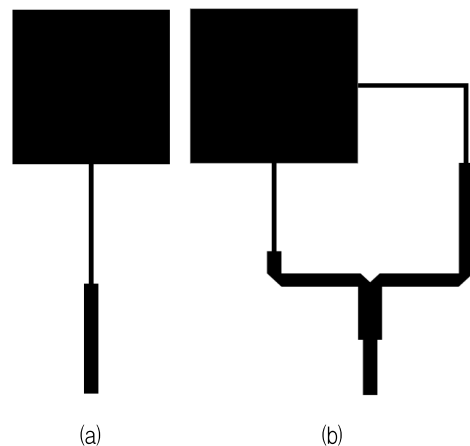


그림 3. 제안된 안테나의 모형 비교, (a) 일반적인 패치 안테나, (b) 제안된 원형 편파 패치 안테나
Fig. 3. Model comparison of the proposed antenna, (a) Conventional patch antenna, (b) Proposed circular polarization patch antenna

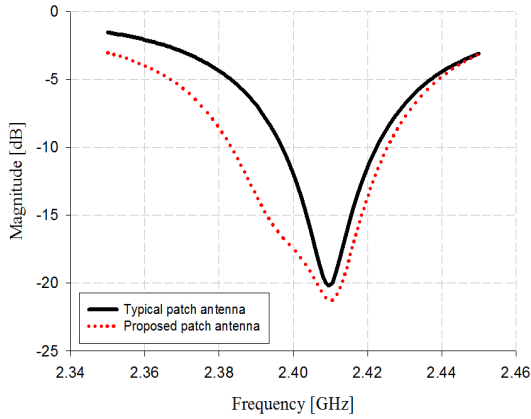


그림 4. 제안된 안테나의 시뮬레이션 반사계수 결과
 Fig. 4. Simulated reflection coefficient of the proposed antenna

제안된 안테나의 시뮬레이션 반사계수 분석은 그림 4와 같다.

그림 4의 결과, 관심 주파수 2.4GHz 대역에서 일반적인 패치 안테나의 경우 -12.46dB가 관찰되었으며, 제안된 원형 편파 안테나는 -17.6dB의 결과가 관찰되었다. 또한, -10dB S_{11} 임피던스 대역폭은 일반적인 패치 안테나의 경우 2.39~2.42GHz 대역에서 30MHz의 대역폭이 관찰되었으며, 제안된 원형 편파 안테나의 경우 2.38~2.42GHz 대역에서 40MHz의 대역폭이 관찰되었다.

제안된 안테나의 전류 분포 시뮬레이션 분석은 그림 5, 그림 6과 같다.

그림 5의 결과, 각각의 위상에서 패치의 평면에 분포되는 전류는 단일한 일차원 방향으로 진행되는 선형 편파의 특성이 관찰되었다. 그림 6의 경우, 패치의 평면에 분포되는 전류는 반시계방향으로 회전하는 우회전 원형 편파(RHCP, Right Handed Circular Polarization)의 특성이 관찰되었다. 따라서 T-junction 전력 분배기가 결합된 마이크로스트립 패치 안테나가 최종 제안되었다.

일반적인 T-junction 전력 분배기는 동일한 위상을 출력한다. 마이크로스트립 패치 안테나에 90°의 위상차를 갖는 전류를 공급하기 위해 T-junction 전력 분배기의 구조를 변경하였으며, 구조는 그림 7과 같다.

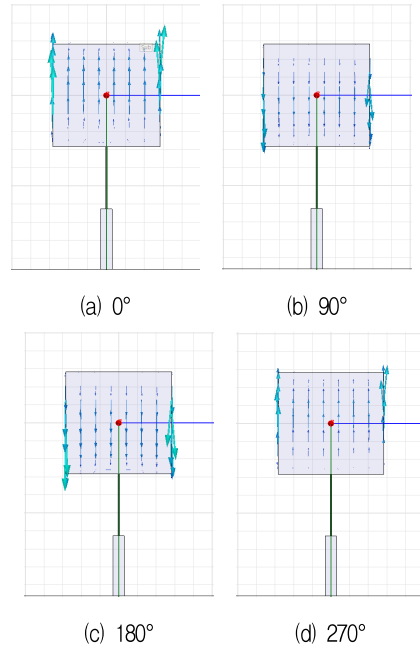


그림 5. 일반적인 패치 안테나의 전류분포 분석
 Fig. 5. Current distribution analysis of the typical patch antenna

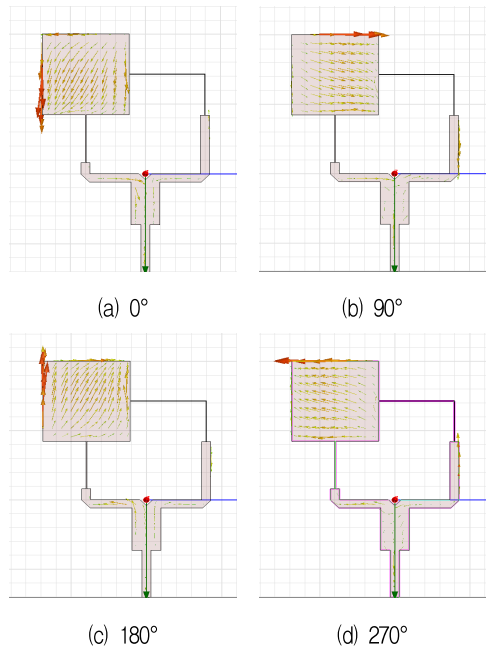


그림 6. 제안된 원형 편파 패치 안테나의 전류분포 분석
 Fig. 6. Current distribution analysis of the proposed circular polarization patch antenna

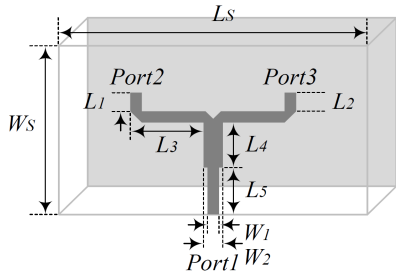


그림 7. 제안된 T-junction 전력 분배기의 구조
Fig. 7. Structure of the proposed T-junction power divider

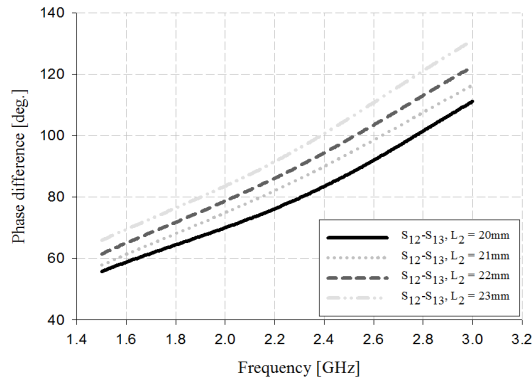


그림 8. 제안된 T-junction 전력 분배기의 위상차 결과
Fig. 8. Phase difference results of the proposed T-junction power divider

제안된 T-junction 전력 분배기의 90° 위상차를 유도하기 위해 L_2 를 가변하여 분석하였다. 그림 7의 입·출력 포트 1, 2와 입·출력 포트 1, 3 사이의 위상차 출력은 그림 8과 같다.

그림 8의 결과, 제안된 T-junction 전력 분배기 위상차 출력은 관심 주파수 2.4GHz 대역에서 L_2 가 20mm의 경우 83°, 21mm의 경우 90°, 22mm의 경우 94°, 23mm의 경우 100°가 출력되었다. 따라서 L_2 는 21mm로 최종 제안되었다.

원형 편파 특성은 3dB 축비(AR, Axial Ratio) 대역폭을 만족하여야 하며, 제안된 안테나의 3dB 축비 대역폭 시뮬레이션 분석은 그림 9와 같다.

그림 9의 결과, 제안된 안테나의 시뮬레이션 3dB 축비 대역폭 분석은 2.391~2.403GHz 대역에서 12MHz의 축비 대역폭이 관찰되었다.

제안된 안테나의 2.4GHz 대역에서 XZ-평면 및 YZ-평면의 시뮬레이션 방사패턴 분석은 그림 10과 같다.

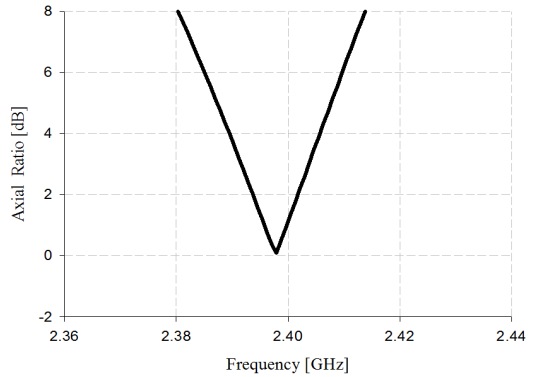
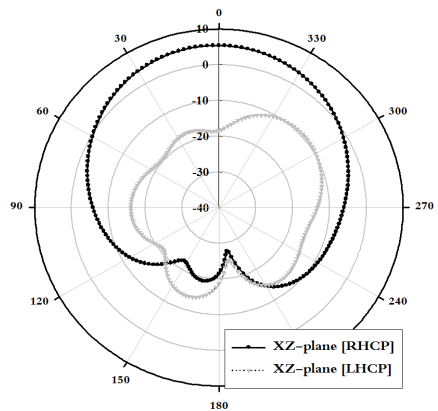
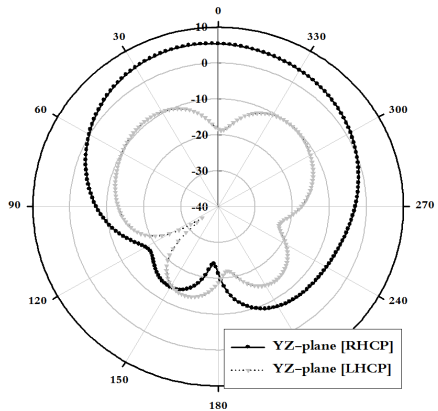


그림 9. 제안된 안테나의 시뮬레이션 3dB AR 대역폭 결과
Fig. 9. Simulated 3dB AR bandwidth result of the proposed antenna



(a) XZ-평면
(a) XZ-plane



(b) YZ-평면
(b) YZ-plane

그림 10. 제안된 안테나의 시뮬레이션 방사패턴 결과
Fig. 10. Simulated radiation pattern result of the proposed antenna

그림 10의 결과, 제안된 안테나의 XZ 및 YZ-평면 모두 좌회전 원형 편파(LHCP, Left Handed Circular Polarization) 특성이 0dB 이하로 억압되며, 우회전 원형 편파의 경우 XZ-평면에서 이득은 5.36dBic, YZ-평면에서 이득은 5.54dBic가 관찰되었다. 따라서 제안된 안테나는 우회전 원형 편파로 동작한다.

III. 안테나 실측 분석

시뮬레이션 분석을 기반으로 제작된 안테나의 실측 반사계수 분석은 그림 11과 같다

그림 11의 결과, 관심 주파수 2.4GHz 대역에서 -13.06dB가 관찰되었으며, -10dB S₁₁ 임피던스 대역폭은 2.39~2.43GHz 대역에서 40MHz의 대역폭이 관찰되었다.

제작된 안테나의 3dB 축비 대역폭 실측 분석은 그림 12와 같다. 그림 12의 결과, 제작된 안테나의 시뮬레이션 3dB 축비 대역폭 분석은 2.398~.410GHz 대역에서 약 12MHz의 축비 대역폭이 관찰되었다.

제작된 안테나의 2.4GHz 대역에서 XZ-평면 및 YZ-평면의 실측 방사패턴 분석은 그림 13과 같다.

그림 13의 결과, 제안된 안테나의 XZ 및 YZ-평면 모두 우회전 원형 편파에서 이득은 각각 2.04dBic, 3.4dBic가 관찰되었다. 따라서 제작된 안테나는 우회전 원형 편파로 동작한다.

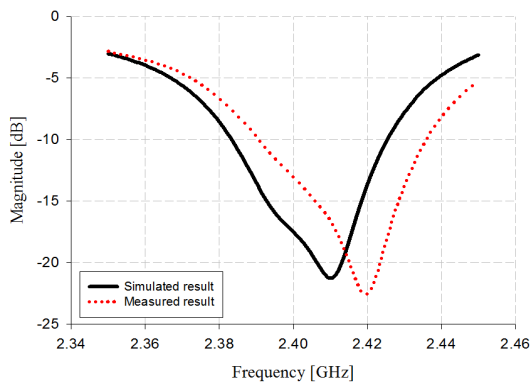


그림 11. 제작된 안테나의 실측 반사계수 결과
Fig. 11. Measured reflection coefficient of the fabricated antenna

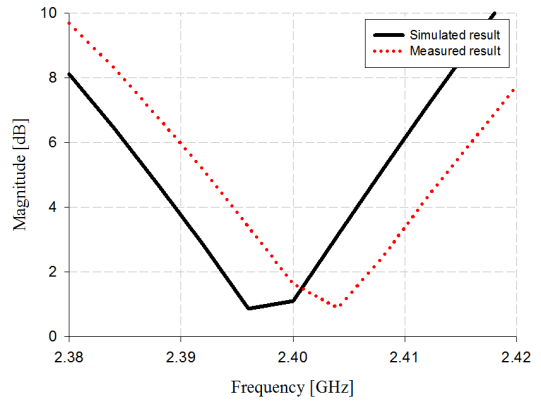
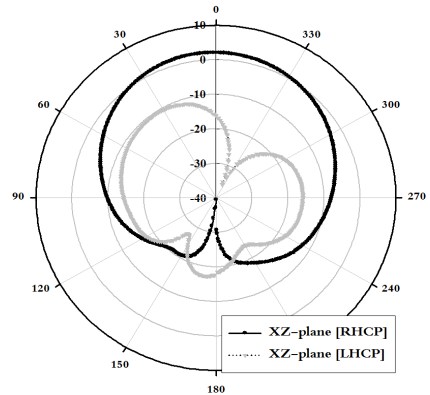
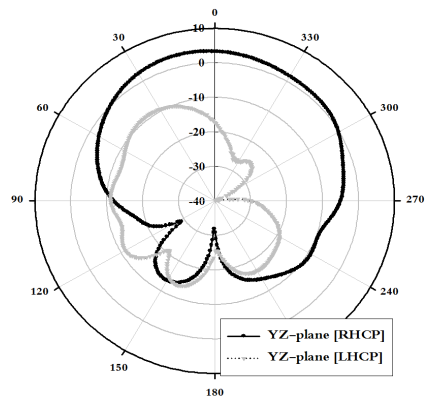


그림 12. 제작된 안테나의 실측 3dB AR 대역폭 결과
Fig. 12. Measured 3dB AR bandwidth result of the fabricated antenna



(a) XZ-평면
(a) XZ-plane



(b) YZ-평면
(b) YZ-plane

그림 13. 제안된 안테나의 실측 방사패턴 결과
Fig. 13. Measured radiation pattern result of the proposed antenna

IV. 결론

본 논문에서는 T-junction 전력 분배기를 통한 원형 편파 마이크로스트립 패치 안테나를 제안하였으며, 제안된 안테나는 2.4GHz의 ISM 대역을 갖는다. 마이크로스트립 패치 안테나는 일반적으로 선형 편파의 전파를 방사한다. 사각형 패치 안테나에 원형 편파를 유도하기 위해 90° 위상차의 두 직교모드를 두 가장자리에 급전하였으며, 90° 위상차는 T-junction 전력 분배기를 통해 생성된다. 기존의 T-junction 전력 분배기는 각 출력 포트에서 동일한 위상을 출력하지만 물리적인 구조를 변경하여 90° 위상차를 달성하였다. 따라서 제안된 원형 편파 안테나는 T-junction 전력 분배기를 마이크로스트립 패치 안테나와 결합하여 설계하였다.

제안된 원형 편파 안테나의 실측 반사계수는 관심 주파수 2.4GHz 대역에서 13.06dB가 관찰되었으며, -10dB S_{11} 임피던스 대역폭은 2.39~2.43GHz 대역에서 40MHz의 대역폭이 관찰되었다. 실측 3dB 축비 대역폭은 2.398~2.410GHz 대역에서 약 12MHz의 축비 대역폭이 관찰되었다. 또한, 실측 방사패턴 분석을 통해 우회전 원형 편파 특성이 관찰되었다.

References

- [1] M. C. Hong, J. H. Lee, J. T. Oh, and W. S. Yoon, "Design of a Circularly Polarized Aperture Coupled Microstrip Patch Antenna with an Asymmetric Aperture" *Journal of KIIT*, Vol. 16, No. 06, pp. 25-30, Jun. 2018.
- [2] W. S. Yoon, S. M. Han, J. W. Baik, S. Pyo, J. Lee, and Y. S. Kim, "Crossed dipole antenna with switchable circular polarisation sense", *Electronics Letters*, Vol. 45, No. 14, pp. 717-718, Jul. 2009.
- [3] K. D. Park, "Modified H-slot Aperture-coupled Circular Polarization Microstrip Antennas for 2.4GHz ISM band", *J. KICS*, Vol. 37D, No. 03, pp. 109-114, Jun. 2012.
- [4] S. R. Lee, "Gain Enhancement of a Circularly-Polarized Patch Antenna with a Double-Layered Superstrate for Wireless LAN", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 40, No. 12, pp. 2427-2433, Dec. 2015.
- [5] T. H. Kim and H. J. Lee, "Development of Doppler Radar Using Compact Dual-Circularly Polarized Antenna", *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers P*, Vol. 64, No. 3, pp. 121-124, Sep. 2015.
- [6] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", Wiley, pp. 859-860, 2005.
- [7] K. D. Park, "Design of Modified H-slot Aperture-coupled Circular Polarization Microstrip Array Antenna", *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 40, No. 07, pp. 1363-1368, Jul. 2015.
- [8] S. W. Kim and D. Y. Choi, "Implementation of rectangular slit-inserted ultra-wideband tapered slot antenna", *SpringerPlus*, Vol. 2016, pp. 1-11, Aug. 2016.
- [9] S. W. Kim and D. Y. Choi, "Compact filtering monopole patch antenna with dual-band rejection", *SpringerPlus*, Vol. 2016, pp. 1-12, Jun. 2016.
- [10] S. W. Kim, G. S. Kim, and D. Y. Choi, "CPW-Fed Wideband Circular Polarized Antenna for UHF RFID Applications", *International Journal of Antenna and Propagation*, Vol. 2017, pp. 1-7, Jul. 2017.
- [11] J. R. Shim and J. C. Chun, "Structural Modification of Crossed Planar Monopole Antenna for ISM 2.45GHz/5.8GHz Dual Band Characteristics", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 19, No. 01, pp. 13-18, Jan. 2015.
- [12] K. P. Hong, J. W. Noh, M. H. Seo, and B. C. Ahn, "Optimum Design and Implementation of a Circularly-Polarized Patch Antenna for 2.4-GHz ZigBee Applications", *Journal of KIIT*, Vol. 14, No. 08, pp. 55-62, Aug. 2016.

[13] Chang K, "RF and Microwave Wireless Systems", Wiley, New York, pp. 92-96, 2000.

저자소개

김 선 응 (Sun-Woong Kim)



2014년 2월 : 조선대학교
정보통신공학과(공학석사)
2018년 2월 : 조선대학교
정보통신공학과(공학박사)
2018년 3월 ~ 현재 : 조선대학교
IT연구소 연구원
관심분야 : 안테나, 메타물질

안테나, UWB 안테나

최 동 유 (Dong-You Choi)



2001년 2월 : 조선대학교
전자공학과(공학석사)
2004년 2월 : 조선대학교
전자공학과(공학박사)
2007년 ~ 현재 : 조선대학교
정보통신공학과 부교수
관심분야 : 통신 및 전파전파,
에너지 하베스팅, 전파잡음, 마이크로파 강우감쇠

김 지 혜 (Ji-Hye Kim)



2016년 3월 ~ 현재 : 조선대학교
정보통신공학과
관심분야 : 안테나

김 수 정 (Su-Jeong Kim)



2016년 3월 ~ 현재 : 조선대학교
정보통신공학과
관심분야 : 안테나

박 시 현 (Si-Hyeon Park)



2016년 3월 ~ 현재 : 조선대학교
정보통신공학과
관심분야 : 안테나