

기생소자를 이용한 편파 전환 패치 안테나 설계

Design of a Polarization-Switching Patch Antenna Using Parasitic Elements

이 원 준*

단암시스템즈 통신기술연구소

Won Jun Lee*

Communication R&D Center, DANAM Systems, Gyeonggi-do, 13930, Korea

[요 약]

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나의 패치면 측면에 배치된 기생 소자와 PIN 다이오드를 이용하여 편파 전환 특성을 가지는 마이크로스트립 패치 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 정사각형 구조의 마이크로스트립 패치면 측면에 일자형 기생 소자 4개를 배치하고, 각 기생 소자에 PIN 다이오드를 연결하여 설계하였다. PIN 다이오드의 바이어스에 따른 개방 및 단락 특성을 활용하여 기생 소자의 슬롯의 전기적 길이를 변화시키며, 이를 통해 우현편파(RHCP)와 좌현편파(LHCP) 간의 편파 전환 특성을 구현하였다. 제안된 안테나는 4.21 GHz에서 공진하며, 우현편파로 동작 시 17.5 dB의 반사 손실과 135 MHz의 대역폭을, 좌현편파로 동작 시 18.4 dB의 반사 손실과 144 MHz의 대역폭을 가진다. 또한, 우현편파와 좌현편파의 축비는 각각 2.53 dB, 2.52 dB이며, 이득은 각각 6.62 dBic, 6.32 dBic이다.

[Abstract]

In this paper, we propose a microstrip patch antenna with polarization-switching characteristics using parasitic elements and PIN diodes placed at the sides of the microstrip patch. The proposed antenna is designed by arranging four linear parasitic elements along the sides of a square-shaped microstrip patch, with each parasitic element connected to a PIN diode. By utilizing the open and short circuit characteristics of the PIN diodes based on the applied bias, the electrical length of the parasitic element slots is altered, enabling polarization switching between right-hand circular polarization (RHCP) and left-hand circular polarization (LHCP). The proposed antenna resonates at 4.21 GHz, with a return loss of 17.5 dB and a bandwidth of 135 MHz when operating in RHCP mode, and a return loss of 18.4 dB and a bandwidth of 144 MHz when operating in LHCP mode. Additionally, the axial ratios for RHCP and LHCP are 2.53 dB and 2.52 dB, respectively, and the gains are 6.62 dBic and 6.32 dBic, respectively.

Key word : Patch antenna, Parasitic elements, Reconfigurable polarization, PIN diode.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2024.28.5.720>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 30 September 2024; Revised 26 October 2024

Accepted (Publication) 29 October 2024 (31 October 2024)

*Corresponding Author; Won Jun Lee

Tel: +82-31-538-6049

E-mail: xp3589@danam.co.kr

1. 서론

현대 무선 통신 시스템은 빠른 데이터 전송, 안정적인 연결, 높은 신뢰성을 요구한다. 각 시스템은 주파수, 편파, 방사 특성에서 상이한 요구사항을 가지고 있으며, 이를 충족하기 위해 각 응용 분야에 적합한 안테나가 필요하다. 그러나 여러 안테나를 동시에 운용할 경우, 안테나의 크기와 수가 증가함에 따라 시스템 전체의 크기와 비용이 증가하는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 다중 대역 및 다중 모드를 지원하는 고성능 안테나에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다[1]-[3].

마이크로스트립 패치 안테나는 낮은 제조 비용, 높은 신뢰성, 지향성, 그리고 평면형 구조로 인한 설치 용이성 등 여러 장점을 가지고 있어 대량 생산에 적합하다. 그러나 낮은 대역폭과 고정된 편파 특성으로 인해 다양한 응용 환경에서 활용하는 데 한계가 있다.

패치 안테나의 편파 전환에 대한 연구는 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구 방법으로는 마이크로스트립 패치의 모서리 절단[4], 패치 면에 슬롯 삽입[5], 접지 결합 구조 활용[6], 그리고 다이오드를 이용한 급전부 스위칭 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 별도의 능동 소자를 동작시키기 위한 바이어스 회로 구성이 필요하여 안테나의 복잡성이 증가하고 방사 패턴의 왜곡 현상을 초래할 수 있다.

본 논문에서는 기생소자를 이용하여 패치면과 기생소자 간의 커플링을 통해 원형 편파를 구현하고, 편파 전환을 위해 각 기생소자의 끝단에 PIN 다이오드를 삽입하였다. 제안된 안테나는 PIN 다이오드에 인가되는 DC 바이어스를 이용해 스위치처럼 ON/OFF 특성을 가지며 편파를 전환할 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기생소자에 의한 패치 안테나의 원형 편파 전환 특성을 기술하고, 3장에서는 PIN 다이오드를 추가하여 편파 전환 안테나의 설계와 측정 결과를 제시하며 4장에서는 결론을 도출한다.

II. 기생소자를 이용한 원형편파 패치 안테나

편파전환을 위한 원형편파 패치 안테나의 기본 구조는 기생소자를 이용한 원형 편파 패치 안테나이며, 그림 1에 나타난 바와 같이 유전체 기판 상단부의 패치면 옆에 L형 기생소자를 배치하여 설계하였다. 이때 안테나의 급전 방식은 대칭성을 유지하기 위해 동축 급전 방식을 사용하였다.

일반적인 마이크로스트립 패치 안테나는 선형 편파 특성을 지니지만, 패치의 측면에 기생소자를 배치하면 패치와 기생소자 간의 커플링으로 인해 기생소자에 전류가 흐르게 된다. 이때 커플링의 강도는 패치와 기생소자 사이의 간격에 의해 결정되며, 그림 1과 같이 기생소자를 비대칭으로 배치할 경우 기생소자의 전류 불균형이 발생해 안테나는 원형 편파 특성을 갖게 된다.

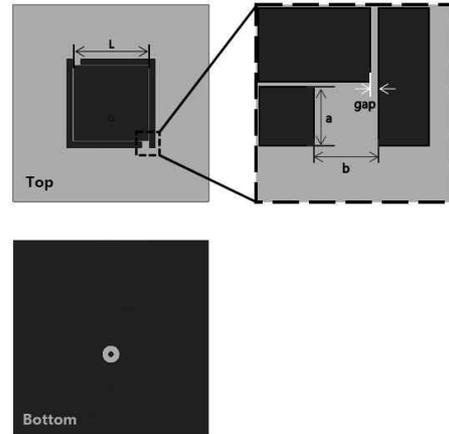


그림 1. 기생소자 패치 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of parasitic elements patch antenna.

그림 2는 Dassault Systèmes사의 EM 시뮬레이터인 CST를 이용하여 안테나의 전류 분포를 표현한 것이다. L형 기생소자의 슬롯이 위상단과 좌하단에 배치된 경우, 전류의 회전 방향이 반시계 방향으로 흐르며 우현 편파가 발생한다. 이와 반대로, 기생소자의 슬롯이 좌상단과 우하단에 배치된 경우, 전류의 흐름이 반전되어 시계방향으로 흐르는 좌현 편파가 발생한다.

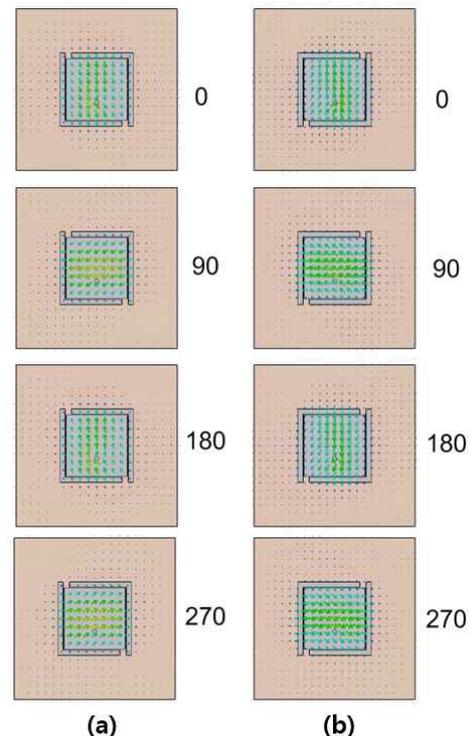


그림 2. 기생소자 패치 안테나의 전류분포 (a)좌현 편파 (b)우현 편파
Fig. 2. Current distributions of parasitic elements patch antenna (a)LHCP (b)RHCP.

앞서 설계한 원형 편파 패치 안테나의 변수 변화에 따른 특성 변화를 시뮬레이션 한 결과를 그림 3부터 그림 7까지 그래프로 나타냈다. 그림 3은 패치면과 기생소자 사이의 간격인 gap의 변화에 따른 반사손실을 나타낸다. a의 길이는 임의로 1.5 mm로 설정하였으며, b의 길이는 PIN 다이오드 장착을 고려하여 2 mm로 고정하였다. gap의 크기에 의한 주파수 변이는 거의 없으며 gap = 0.6 mm 일 때 4.13GHz에서 최소 반사손실 46 dB이다.

그림 4는 패치면과 기생소자 사이의 간격 gap의 변화에 따른 축비를 나타낸다. 축비는 안테나의 편파 특성을 평가하는 중요한 지표 중 하나로, 안테나가 방출하는 전기장의 두 직교 성분의 세기 비율을 의미한다. 일반적인 원형 편파 안테나의 축비는 3dB 이하이며, gap의 크기가 커질수록 패치면과 기생소자 사이의 간섭이 줄어들어 축비가 높아지며, gap = 0.3 mm일 때 축비가 최소 0.70 dB로 나타났다.

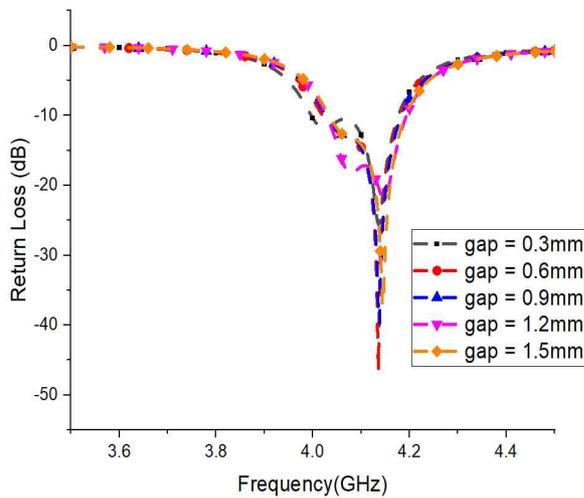


그림 3. gap 변화에 따른 반사손실 시뮬레이션
Fig. 3. Simulation of return loss for various gap.

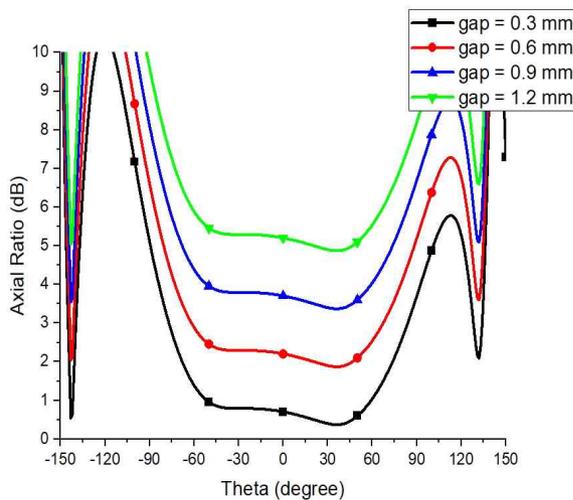


그림 4. gap 변화에 따른 축비 시뮬레이션
Fig. 4. Simulation of Axial Ratio for various gap.

그림 5와 그림 6은 기생소자와 안테나 사이의 간격(gap) 실험에서 최소 축비 성능을 보인 gap = 0.3 mm일 때, 기생소자의 폭 a의 길이를 변화시켜 반사손실과 축비의 변화를 나타낸다. 기생소자의 폭 a는 제안된 안테나에서 안테나 크기에 직접적인 영향을 미치는 변수이며, 이는 중심 주파수와 축비 특성에도 영향을 준다. 그림 5는 a의 변화에 따른 안테나의 반사손실을 보여주며, a가 커질수록 안테나의 전체적인 크기가 커져 공진 주파수가 낮아지며, 축비는 올라가는 결과가 나타났으며, a = 1.5 mm일 때 최소 축비 0.70 dB를 갖는다.

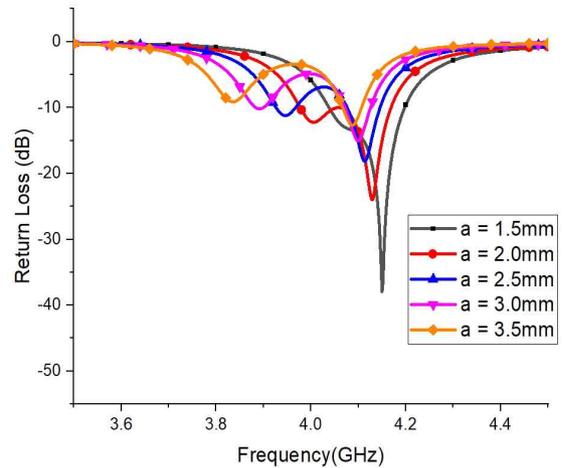


그림 5. a 변화에 따른 반사손실 시뮬레이션
Fig. 5. Simulation of return loss for various a.

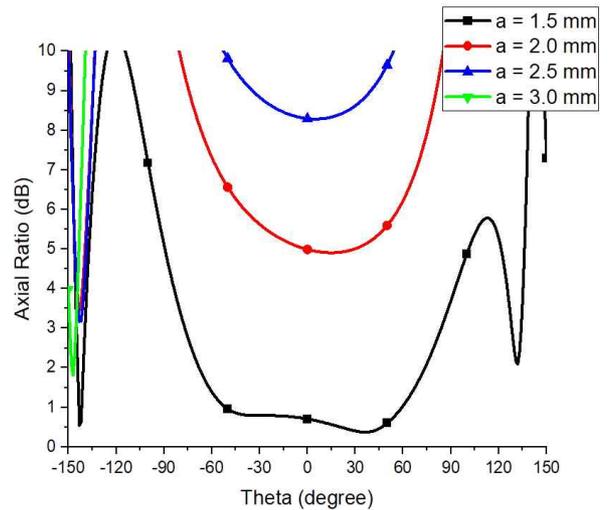


그림 6. a 변화에 따른 축비 시뮬레이션
Fig. 6. Simulation of Axial Ratio for various a.

III. 편파 전환 패치 안테나 설계

그림 7은 바이어스에 의해 동작 특성이 변하는 PIN 다이오드의 등가 모델을 나타낸 것이다. PIN 다이오드는 PN 접합 사이에 진성 반도체를 삽입한 구조로, 순방향(foward) 바이어스 시 낮은 저항(R_{sj})을 가지며 회로가 단락되는 스위치의 ON 상태가 된다. 반대로, 역방향(reverse) 바이어스 시에는 높은 저항(R_j)과 병렬로 연결된 C_T 로 인해 높은 임피던스로 동작하여 회로가 개방되는 OFF 상태가 된다. 이러한 PIN 다이오드의 바이어스 동작 특성은 마이크로파 회로(스위치, 감쇠기, 필터 등)에서 널리 연구되었다.

본 논문에서는 기생소자에 PIN 다이오드의 바이어스 방향에 따른 임피던스 변화를 이용하여 스위칭 특성을 결합한 설계를 제안한다. 이를 통해 바이어스에 의해 기생소자가 단락되거나 개방되어 좌현 편파와 우현 편파를 전환할 수 있는 패치 안테나를 구현하였으며, 이를 그림 8에 나타내었다. 정사각형 패치 안테나의 패치면에 I-형태의 기생소자 4개를 배치하고, 각 기생소자의 끝단에 PIN 다이오드를 하나씩 연결하였으며 바이어스를 인가하기 위하여 서로 대칭면에 있는 기생소자끼리 바이어스를 묶었다. 제안된 안테나는 기생소자에 직접 바이어스를 인가하므로, 일반적인 바이어스 회로에서 요구되는 DC 블록이나 RF 초크와 같은 추가적인 회로가 필요 없어 회로 구성이 비교적 간단하다. 안테나 기판은 유전율 2.94, 두께 1.5 mm의 Duroid 6002 기판을 사용하였고, PIN 다이오드는 Infineon사의 BAR 64-03W E6327 모델을 사용하였으며, 안테나 설계에 사용된 주요 변수는 표 1에 정리되어 있다.

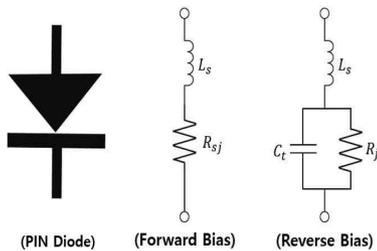


그림 7. 핀 다이오드 등가 모델
Fig. 7. PIN diode equivalent model.

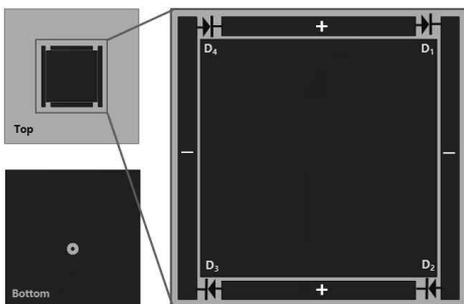


그림 8. 기생소자와 PIN 다이오드를 이용한 편파전환 패치 안테나 구조
Fig. 8. Structure a polarization-switching patch antenna using parasitic elements.

표 1. 안테나 설계 변수

Table 1. Parameters of antenna design.

parameter	mm
L	19.0
a	1.5
b	2.0
gap	0.3

표 2. 바이어스에 의한 편파 전환

Table 2. Polarization switching by bias.

bias	D_1, D_3	D_2, D_4	Polarization
+ 5V	ON	OFF	LHCP
- 5V	OFF	ON	RHCP

표 2는 기생소자에 인가된 바이어스 방향에 따른 안테나의 편파 전환을 정리한 것이다. 기생소자에 바이어스가 인가되면 PIN 다이오드의 ON/OFF 동작에 의해 기생소자가 비대칭으로 동작하며, 이를 통해 원형 편파 특성이 발생한다. 그림 8의 기생소자(+)로 표시된 곳에 +5V 인가와 기생소자(-)로 표시된 곳에 GND로 연결될 경우, D_1 및 D_3 다이오드가 ON 되고, D_2 및 D_4 다이오드가 OFF 되어, 기생소자의 슬롯이 좌상단과 우하단에 배치되어 좌현 편파(LHCP) 특성이 나타난다. 이와 반대로 기생소자(+)로 표시된 곳에 -5V가 인가될 경우, D_1 및 D_3 다이오드가 OFF 되고, D_2 및 D_4 다이오드가 ON 되어, 기생소자의 슬롯이 좌상단과 우하단에 배치되어 우현 편파(RHCP) 특성이 나타난다.

그림 9와 그림 10은 3장에서 설계한 안테나의 4.13 GHz에서 순방향(+5V)과 역방향 바이어스(-5V) 일 때 안테나 이득을 시뮬레이션 한 그림이다. 순방향 바이어스일 때 좌현편파 (LHCP)로 동작하며 이때 이득은 7.08 dBic이며, 역방향 바이어스일 때 우현 편파(RHCP)로 동작하며 이때 이득은 7.28 dBic로 바이어스 전환 시 편파만 전환되고 안테나의 방사패턴 및 이득에는 큰 영향이 없음을 확인하였다.

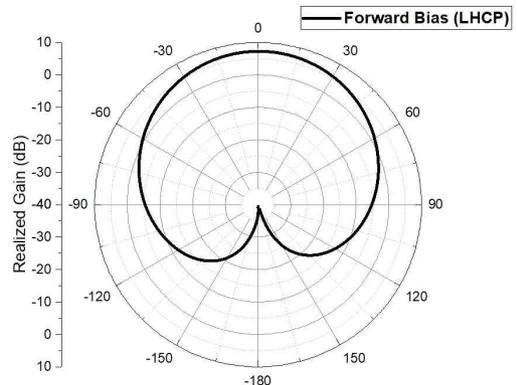


그림 9. 순방향 바이어스 방사패턴 시뮬레이션 결과
Fig. 9. Foward bias radiation pattern simulated result.

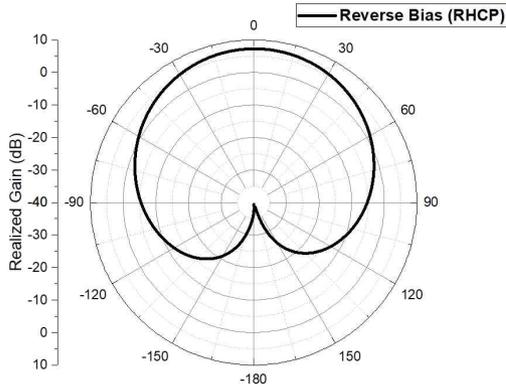


그림 10. 역방향 바이어스 방사패턴 시뮬레이션 결과
 Fig. 10. Reverse bias radiation pattern simulated result.

그림 11은 3장에서 설계한 안테나의 제작 사진이며, 서로 대칭인 기생소자끼리 바이어스 회로를 구성하였으며, 안테나의 성능을 확인하기 위해 무반향 안테나 챔버에서 측정된 사진을 그림 12에 나타내었다. 안테나 성능 측정 시 안테나의 기생소자에 바이어스를 인가하기 위해 별도의 전원 공급기를 사용하였다.

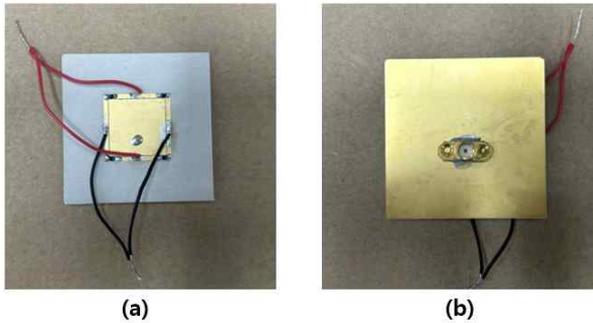


그림 11. 제작된 패치 안테나 (a) 앞면 (b) 뒷면
 Fig. 11. Fabricated patch antenna (a) Top (b) Bottom.

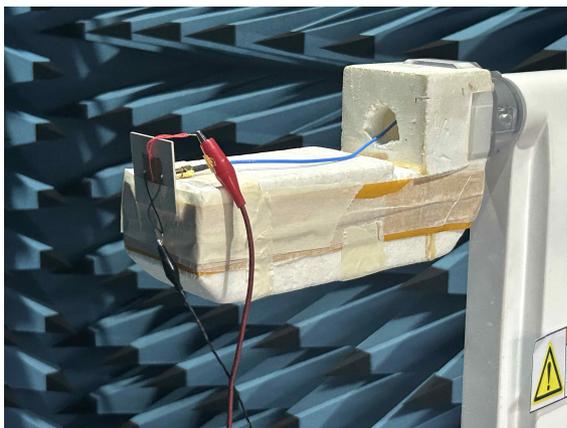


그림 12. 안테나 측정 사진
 Fig. 12. Antenna measurement.

제작된 안테나의 성능 측정 결과는 그림 13부터 그림 15에 그래프로 나타내었다. 그림 13은 안테나의 반사손실 측정 결과로, 4.21 GHz에서 순방향 바이어스 시 반사손실은 -18.4 dB, 역방향 바이어스 시 -17.5 dB로 나타났다.

그림 14은 4.21 GHz에서의 안테나 방사 패턴 측정 결과를 보여주며, 순방향 바이어스에서는 좌현 편파(LHCP)로 동작하며 이때 이득은 6.32 dBic이다. 역방향 바이어스에서는 우현 편파(RHCP)로 동작하고, 이득은 6.62 dBic으로, 바이어스 전환 시 편파만 전환되고 방사 패턴과 이득에는 큰 변화가 없음을 확인하였다.

그림 15는 4.21 GHz에서의 안테나 축비 측정 결과로, 순방향 및 역방향 바이어스 시 각각 2.52 dB, 2.53 dB로 두 바이어스 모두 3 dB 이하의 축비 성능을 충족하였다.

안테나의 중심주파수, 축비, 이득 모두 시뮬레이션 결과와 차이가 발생하였는데 이는 시뮬레이션에서 PIN다이오드와 같은 능동소자의 구현이 불가능하여 기생소자의 슬롯의 유무로 인한 PIN 다이오드의 스위치 ON, OFF 동작구현 하였지만, 실제 제작 시 다이오드의 임피던스 영향에 의한 패치면과 기생소자 사이의 커플링이 변화하였기 때문이다.

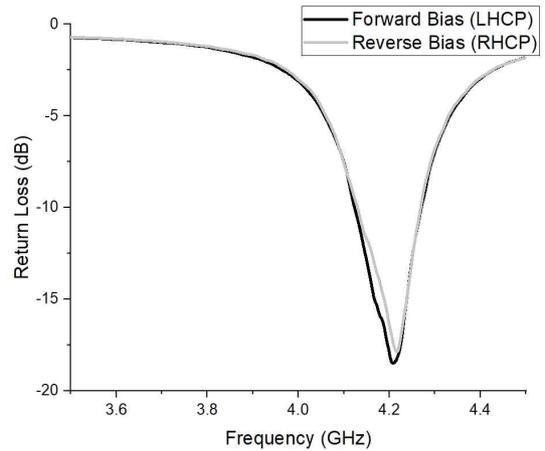


그림 13. 안테나의 반사손실 측정결과
 Fig. 13. Measurement of antenna return loss.

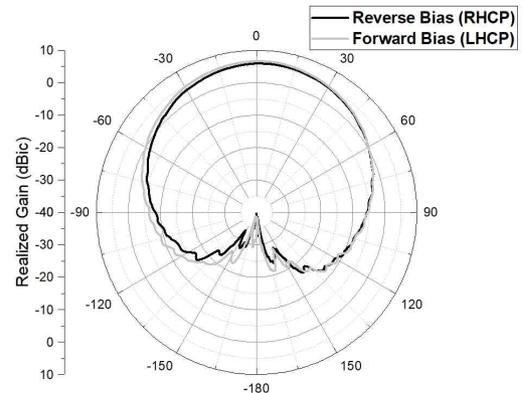


그림 14. 안테나의 이득 측정결과
 Fig. 14. Measurement of antenna gain.

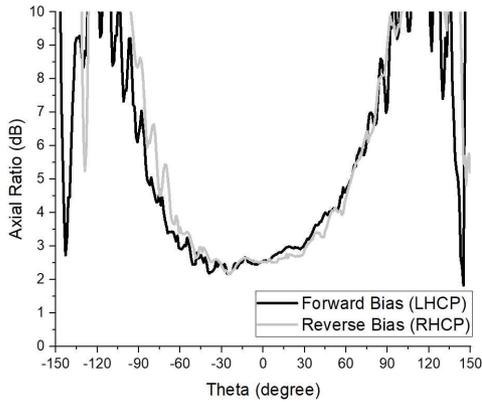


그림 15. 안테나의 축비 측정결과
 Fig. 15. Measurement of antenna axial ratios.

IV. 결 론

본 논문에서는 기생소자와 PIN 다이오드를 활용하여 안테나의 편파 전환 특성을 분석하고, 이를 기반으로 편파 전환 패치 안테나를 제안하였다. PIN 다이오드의 ON/OFF 스위칭 특성을 통해 RF 신호가 기생소자의 슬롯에서 개방 및 단락되어 우현 편파(RHCP)와 좌현 편파(LHCP)로 전환됨을 확인하였다. 제안된 안테나는 편파 전환 시에도 안테나의 방사 패턴에 변형이 발생하지 않으며, 이를 통해 다양한 응용 분야에서 단일 안테나로 유용하게 활용될 가능성이 높다고 판단된다.

References

[1] D.-H. Lee, W.-S. Yoon, S.-M. Han, S. M. Pyo, and Y.-S. Kim, "A switchable circularly polarized microstrip antenna

using asymmetric U-shaped slotted ground structures," *Journal of Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 11, No. 1, pp. 95-91, Jan. 2010. DOI: 10.5762/KAIS.2010.11.1.085.

[2] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "A reconfigurable patch antenna using switchable slots for circular polarization diversity," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 12, No. 3, pp. 96-98, 2002. DOI: 10.1109/7260.989863.

[3] W.-S. Yoon, J.-W. Baik, H.-S. Lee, S. Pyo, S.-M. Han, and Y.-S. Kim, "A reconfigurable circularly polarized microstrip antenna with a slotted ground plane," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 9, No. 1, pp. 1161-1164, Dec. 2010. DOI: 10.1109/LAWP.2010.2096794.

[4] C.-W. Park, T.-H. Lee, J. H. Choi, W.-S. Yoon, S. Pyo, and Y.-S. Kim, "A polarization-switchable microstrip patch antenna using corner slots on ground plane and PIN diodes," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 21, No. 7, pp. 769-777, 2010. DOI:10.5515/KJKIEES.2010.21.7.769.

[5] M. K. Fries, M. Grani, and R. Vahldieck, "A reconfigurable slot antenna with switchable polarization," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 13, No. 11, pp. 490-492, Nov. 2003. DOI: 10.1109/LMWC.2003.817148.

[6] W.-S. Yoon, S.-M. Han, D.-H. Lee, K.-J. Lee, S. Pyo, and Y.-S. Kim, "A reconfigurable circularly polarized microstrip antenna on a cross-shape slotted ground," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 21, No. 1, pp. 46-52, 2010. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2010.21.1.046>.



이 원 준 (Won Jun Lee)

2020년 2월 : 순천향대학교 정보통신공학과 (공학사)

2022년 8월 : 순천향대학교 ICT융합학과 (공학석사)

2022년 9월 ~ 현재 : 단암시스템즈(주) 통신기술연구소 재직 중

※ 관심분야 : 안테나, 마이크로파 회로설계