

## 재구성 이중편파 패치 배열 안테나 설계

# Design of Reconfigurable Dual Polarization Patch Array Antenna

이원준\* · 차영직

단암시스템즈 통신기술연구소

Won Jun Lee\* · Young Jik Cha

Communication R&D Center, DANAM Systems, Anyang 139030, Korea

### [요 약]

본 논문에서는 Pin 다이오드와 결함접지구조를 이용하여 2 개의 편파(수직 편파, 우현 편파)를 전환하여 사용할 수 있는 이중편파 재구성 패치 배열 안테나를 제안한다. 제안된 안테나는 정사각형 마이크로스트립 패치와 접지면에 2개의 일자형 슬롯을 대각선으로 배치하여 구현된 원형 편파 패치 안테나를 5.8 GHz의 반파장 길이인 25.8 mm 간격으로 3x3 배열 하여 설계하였으며 각 안테나의 접지면에 대각선으로 배치된 슬롯에 Pin 다이오드와 커패시터를 연결하여 Pin 다이오드에 직류 전압이 인가에 따른 개방/단락 스위치 동작을 통하여 편파를 전환한다. 설계 결과 수직 편파에서는 11.7 dBi, 우현 편파에서는 11.6 dBic의 이득 특성을 가지며 우현 편파에서의 축비는 1.8 dB, 수직 편파일 때 20.3 dB 를 가지고, 중앙 안테나에서 인접한 안테나의 상호결합 특성을 확인 하였을 때 수직 편파에서는 최대 -20.8 dB, 우현 편파에서는 최대 -30.1 dB 이다.

### [Abstract]

In this paper, we proposed reconfigurable dual polarization patch array antenna that can select two polarizations (Vertical, RHCP) using defected ground structure and Pin diode. The proposed antenna was designed arranging a circular polarization patch antenna implemented with a square microstrip patch and two slots 3x3 at 25.8mm placed, a half-wavelength of 5.8 GHz. Connect the pin diode and the capacitor to the slot diagonally placed on the ground of each antennas, and select polarization using the open/short operating according to the application of DC voltage to the pin diode. As a result of the design, the gain of the antenna is 11.7 dBi at vertical polarization and 11.6 dBic at RHCP. The axial ratio is 20.3 dB at 1.8 dB vertical polarization at RHCP. Mutual Coupling is Maximum to -20.8 dB for vertical polarization and Maximum to -30.1 dB for RHCP.

**Key word** : Array patch antenna, Defected ground structure, Reconfigurable polarization, Pin diode.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.4.463>



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 31 July 2023; Revised 10 August 2023  
Accepted (Publication) 28 August 2023 (30 August 2023)

\*Corresponding Author : Won Jun Lee

Tel: +82-031-538-6049

E-mail: xp3589@danam.co.kr

## I. 서 론

5.8 GHz의 주파수는 ISM(industrial scientific and medical)대역으로 과학, 의료, 가정용등에 사용되는 주파수로 별도의 면허를 받지 않아도 사용이 가능하여 많은 통신단말기에 사용되어 왔다. 하지만 통신기술의 발전으로 단말기의 개수가 폭발적으로 증가하고 단말기의 위치가 고정되는 경우가 많아 통신 단말기간의 편파를 맞추는 작업이 요구된다. 선형편파 안테나는 일반적인 무선 통신 시스템에서 사용되는 안테나로 감도가 좋다는 장점이 있다. 하지만 송신 안테나와 수신 안테나가 동일한 편파 방위각이 되어야 하므로 안테나를 정확하게 정렬해야 한다. 이로 인해 위치와 자세 및 환경이 불규칙 적인 경우 투과성이 좋고 통신 단말기의 방위에 구애받지 않는 원형 편파 안테나가 이용되고 있다. 이러한 선형 편파와 원형 편파의 특성으로 인해 통신 단말기 간의 원활한 통신을 위하여 기존의 단일 편파 안테나에서 원하는 편파의 종류를 전환하여 사용하는 연구가 진행되었다.

마이크로스트립 패치 안테나는 높이가 낮고 제작이 간편하며 배열이 용이하다는 장점을 가지고 있어 많은 통신 시스템에 사용된다. 특히 다이오드와 같은 바이어스에 의해 달라지는 능동 소자 특성을 이용하여 공진주파수, 임피던스등을 전환하거나[1] 안테나의 급전을 이중으로 설계 하여 스위치를 이용하여 안테나의 편파를 선택하는 방법이 많이 사용된다.

접지면에 임의의 슬롯을 삽입하는 결합 접지 구조 (DGS; Defected Ground Structure)는 회로의 물리적인 길이를 유지한 상태로 접지면에 저속의 그라운드 전류를 생성하기 때문에 회로의 유효 전기 길이를 감소시킬 수 있다[1]. 이러한 원리는 다양한 마이크로파 소자의 소형화에 이용되어 증폭기, 필터, 믹서 등등에 이용되어 왔다[2]-[4]. 결합접지구조는 안테나 공진기에도 활발하게 연구되어 왔으며 안테나의 소형화[5], [6], MIMO 안테나 간의 격리도 향상[7], [8], 대역폭 증가[9], 편파 조절[10]에 활용되어 왔다.

본 논문에서는 결합접지구조를 이용하여 접지면에 흐르는 전류의 방향을 조절하여 패치 안테나의 원형편파를 구현하였으며, 편파선택을 위해 각 슬롯에 2개씩 총 4개의 Pin 다이오드를 삽입 하였다. 제안된 안테나는 Pin 다이오드에 인가되는 DC 바이어스에 의하여 스위치처럼 전환되는 ON/OFF 특성을 이용하였다. Pin다이오드가 ON 되면 안테나는 선형편파로 동작하며 OFF 되면 원형 편파로 동작도록 설계하였다.

본 논문은 2장에서는 접지면 슬롯에 의한 패치 안테나의 원형 편파 변환 특성을 기술하였으며, 3장에서는 Pin 다이오드와 바이어스회로를 추가하여 편파 선택 특성을 나타내고, 4장에서는 설계 한 안테나의 지향성 과 이득을 높이기 위하여 안테나를 배열하였을 때 성능을 확인하였으며, 5장에서 결론을 제시 하였다.

## II. 접지면 슬롯을 이용한 원형편파 패치 안테나

2장에서는 제안된 편파 변환 안테나의 기본이 되는 결합접지구조 원형 편파 패치 안테나 구조를 그림 1에 나타내었다.

기본적인 패치 안테나의 접지면에 임의의 슬롯을 추가하여 접지면에 흐르는 전류의 흐름을 조절하여 원하는 편파를 만드는 기술은 많이 연구되어 왔다. 안테나의 좌하단과 우상단에 슬롯을 삽입하여 접지면에 흐르는 전류가 슬롯이 없는 방향으로 흐르게 되면서 기존 위 아래로 흐르던 전류에 변화를 주었다. 기관은 유전율 4.4, 높이 1 mm의 FR-4기관을 사용하였으며 윗면에는 정사각형 패치(L = 22.3 mm)로 구성하고, 아랫면에는 2개의 일자형 슬롯을 대각선으로 넣어 접지면을 구성하였다. 급전은 단일 동축 케이블 급전 방식을 사용하였다.

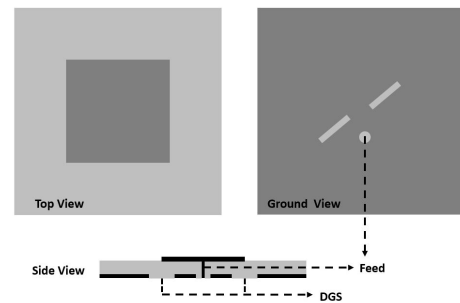


그림 1. 결합접지구조 패치 안테나의 구조  
Fig. 1. Structure of DGS Patch antenna

그림 2는 그림 1에서 설계한 안테나의 반사 손실을 나타낸 그림이다. 결합접지구조가 없는 패치안테나의 중심주파수는 6.01 GHz, 결합접지구조를 추가한 패치안테나는 5.81 GHz로 200 MHz의 주파수 이동이 확인되었는데 이것은 결합접지구조가 추가된 접지면에서 저속의 그라운드를 형성하여 전체적인 안테나의 길이를 길어지게 하여 공진주파수가 낮아졌다.

그림 3은 안테나의 결합접지구조에 의한 안테나의 축비를 나타내었으며 5.8 GHz 에서 1.8dB이며 이를 통하여 결합접지구조를 패치안테나에 추가 하였을 때 기존의 선형편파에서 원형편파로의 변화를 확인하였다.

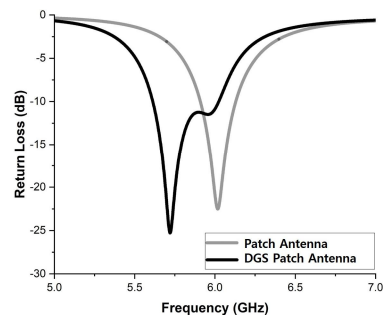


그림 2. 결합접지구조 패치 안테나의 반사 손실 시뮬레이션  
Fig. 2. Return loss simulated result of DGS patch antenna

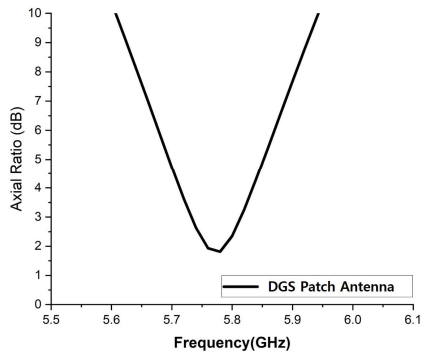


그림 3. 결합접지구조 패치 안테나의 축비 시뮬레이션  
 Fig. 3. Axial Ratio simulated result of DGS Patch Antenna

그림 4는 안테나 접지면 슬롯의 배치 변화에 따른 전류 분포를 확인한 결과이다. 급전에 인가되는 전류의 위상을 변화하였을 때 패치 면의 전류 분포를 확인하였다. 접지면 슬롯이 좌상단과 우하단에 배치되었을 때 좌현 편파, 좌하단과 우상단에 배치하였을 때 우현 편파로 접지면 슬롯의 배치에 의해 좌현 편파, 우현 편파 모두 구현할 수 있음을 확인하였다.

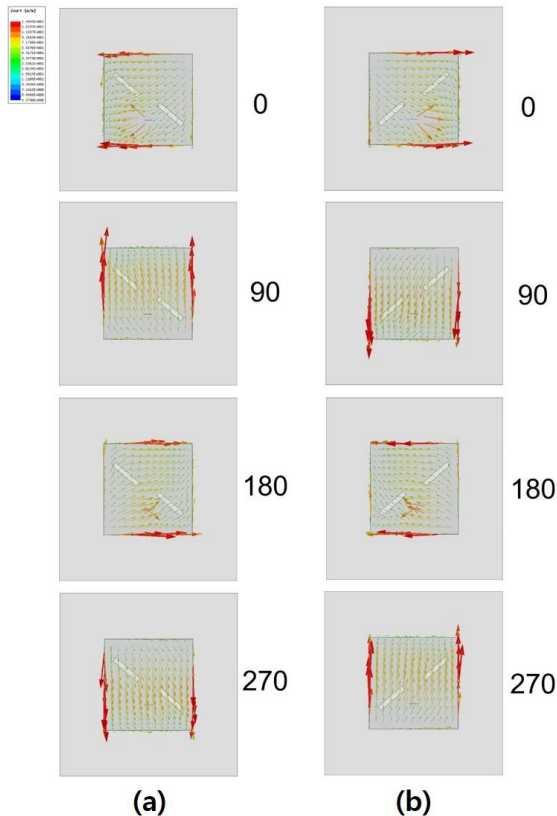


그림 4. 결합접지구조 패치 안테나의 전류분포 (a)좌현 편파 (b)우현 편파  
 Fig. 4. Current distributions of DGS patch antenna (a)LHCP (b)RHCP

### III. 재구성 이중편파 패치 안테나

3장에서는 2장에서 설계한 결합접지구조 원형 편파 패치 안테나에 Pin 다이오드와 바이어스 회로를 추가하여 재구성 이중 편파 패치 안테나를 제안한다.

그림 5는 바이어스에 의해 동작 특성이 변화되는 Pin 다이오드의 등가모델을 표현하였다. Pin 다이오드는 PN 접합 사이에 진성 반도체를 삽입한 다이오드로 순방향(Foward) 바이어스일 때 낮은 저항( $R_s$ )을 가지며 이때  $C_T$ 의 영향은 거의 없이 낮은 임피던스로 동작하여 회로가 단락되는 스위치의 ON상태가 되며, 역방향(Reverse)일 때 높은 저항( $R_s$ )과 병렬로 연결된  $C_T$ 로 인하여 높은 임피던스 동작을 하여 회로가 개방 OFF상태가 된다. 이러한 Pin 다이오드의 바이어스 동작 특성을 이용한 마이크로파회로(스위치, 감쇄기, 필터 등)에 연구되어 왔다.

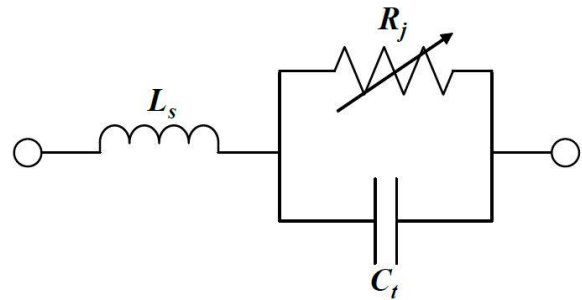


그림 5. 핀 다이오드 등가 모델  
 Fig. 5. Pin diode equivalent model

본 논문에서는 결합접지구조에 이러한 Pin 다이오드의 바이어스 방향에 따른 임피던스 변화를 이용한 스위칭 특성을 결합하여 바이어스에 의해 결합접지구조가 단락되고 개방되게 만들어 원형 편파 패치 안테나와 선형 편파 패치 안테나를 구현하였으며 이것을 그림 6에 나타내었다. 정사각형의 패치 안테나 접지면에 I-형태의 슬롯 2개를 대각선으로 배치하여 원형 편파를 구성하였으며, 슬롯마다 Pin 다이오드를 2개씩 배치하였다. 또한 Pin 다이오드에 바이어스를 인가하기 위하여 슬롯의 중간에 독립적인 직사각형 구조의 도체를 삽입하였다. 직사각형 구조물은 안테나의 접지면과 연결되지 않아 RF 신호가 전달되지 않으므로 커패시터를 추가하여 DC는 차단하고 RF신호만 통과하게 설계하였다. 패치 안테나의 유전율 4.4의 높이 1 mm의 FR-4기판을 사용하였으며 윗면의 정사각형 패치  $L = 22.3$  mm, 접지면에 구성한 슬롯의 크기는  $a = 4$  mm,  $b = 1.4$  mm,  $c = 3.8$  mm,  $d = 0.6$  mm,  $gap = 0.1$  mm이다.

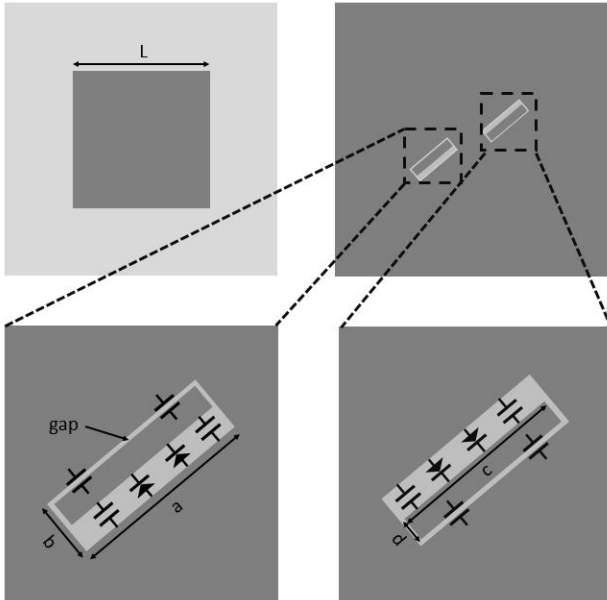


그림 6. 재구성 이중편파 패치 안테나 구조  
 Fig. 6. Structure of reconfigurable dual polarization patch antenna

안테나의 접지면에 인가된 바이어스에 의한 안테나의 동작 특성을 Ansys사의 HFSS로 시뮬레이션 한 결과를 그림 7부터 그림 10까지 나타내었다. 그림 7은 안테나의 반사손실을 나타내며 5.8 GHz에서의 반사손실은 순방향 바이어스 일 때 -11.7 dB 역방향 바이어스 일 때 -14.6 dB이다. 그림 8은 안테나의 축비를 나타내며 역방향 바이어스일 때 결합접지구조가 개방되어 5.8 GHz에서 1.76 dB로 원형 편파 성능을 확인하였으며 순방향 바이어스 일 때 결합접지구조가 단락되어 축비 20.3 dB로 선형 편파 성능을 확인하였다. 그림 9와 그림10은 5.8 GHz에서 역방향 바이어스와 순방향 바이어스일 때 동일 편파와 교차 편파 이득을 나타낸 그림이다. 역방향 바이어스일 때 이득은 3.27 dBic, 순방향 바이어스일 때 이득은 3.3 dBi이다.

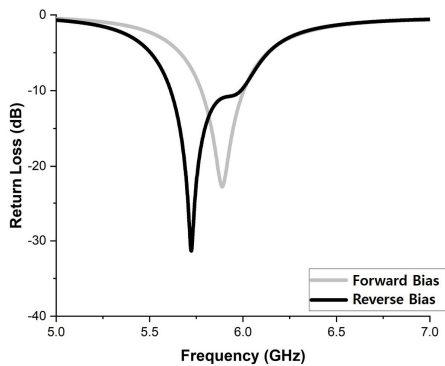


그림 7. 재구성 이중편파 패치 안테나의 반사 손실 시뮬레이션  
 Fig. 7. Return loss simulated result of reconfigurable dual polarization patch antenna

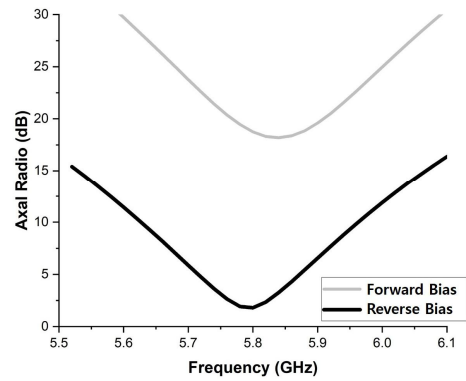


그림 8. 재구성 이중편파 패치 안테나의 반사 손실 시뮬레이션  
 Fig. 8. Return loss simulated result of reconfigurable dual polarization patch antenna

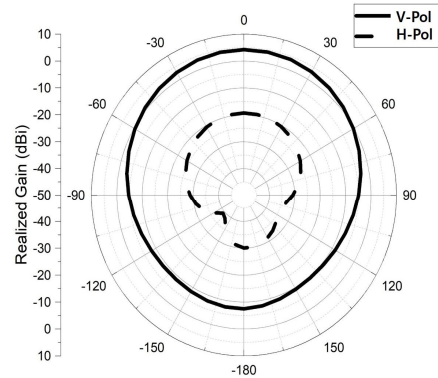


그림 9. 재구성 이중편파 패치 안테나의 순방향 바이어스 방사패턴 시뮬레이션  
 Fig. 9. Forward bias radiation pattern simulated result of reconfigurable dual polarization patch antenna

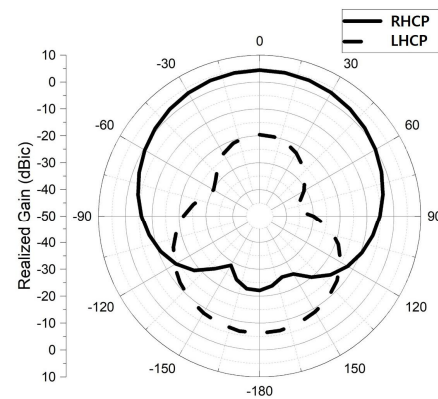


그림 10. 재구성 이중편파 패치 안테나의 역방향 바이어스 방사패턴 시뮬레이션  
 Fig. 10. Reverse bias radiation pattern simulated result of reconfigurable dual polarization patch antenna

#### IV. 재구성 이중편파 패치 배열 안테나 설계

4장에서 안테나의 이득 과 지향성을 높이기 위하여 3장에서 설계한 재구성 이중편파 패치안테나 를 배열 하였을 때 성능을 확인하였다. 그림 11은 제안된 재구성 이중편파 패치 배열 안테나이며 안테나 간의 상호결합을 고려하여 5.8 GHz의 반 파장 길이인 25.8 mm 간격으로 3x3 형태로 9개의 단일 패치 안테나 를 배열 하여 설계하였다.

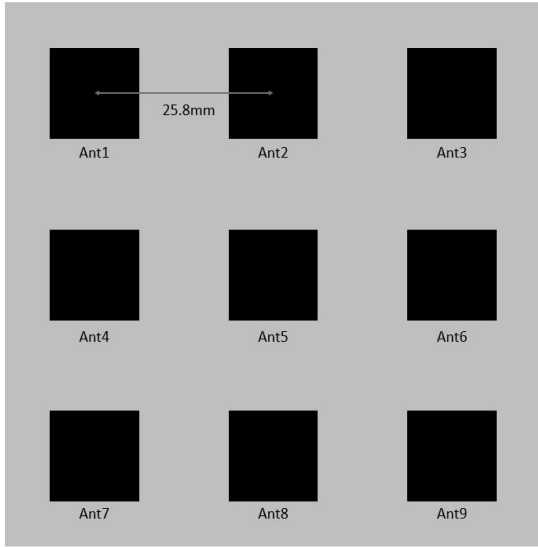


그림 11. 재구성 이중편파 패치 배열 안테나 구조  
 Fig. 11. Structure of reconfigurable dual polarization patch array antenna

설계한 재구성 이중편파 패치 안테나의 동작특성을 Ansys사의 HFSS로 시뮬레이션 하여 그림 12부터 그림 14까지 나타내었다. 그림 12은 중앙 안테나와 인접한 4개의 안테나 간의 상호결합을 나타내며, 5.8 GHz에서 순방향 바이어스, 역방향 바이어스 모두 -25 dB 이상의 상호결합 성능이 나타났으며, 이를 통해 안테나 간의 우수한 격리 특성이 나타남을 확인 하였다. 그림 13은 안테나의 축비를 나타내었으며 단일 안테나와 동일한 결과를 확인하였으며 이를 통해 배열된 안테나 소자 접지면에 위치한 결함접지구조가 인접한 안테나의 편파에 영향을 주지 않음을 확인 하였다. 그림14는 5.8 GHz에서의 순방향 바이어스와 역방향 바이어스에 대한 안테나의 방사패턴으로 순방향 바이어스일 때 최대 이득은 11.7 dBi로 단일 안테나 일 때 보다 약 8.4 dB 증가하였으며 역방향 바이어스 일 때 최대 이득은 11.6 dBi로 단일 안테나 일 때 보다 약 8.3 dB 증가하였다.

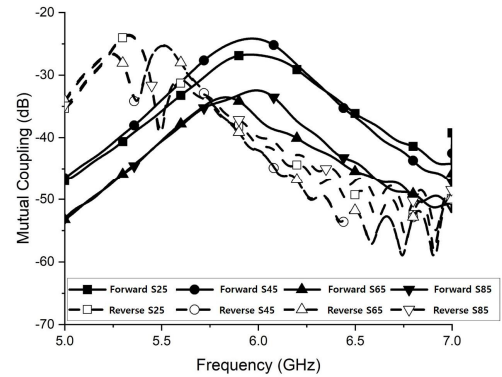


그림 12. 재구성 이중편파 패치 배열 안테나의 상호결합 시뮬레이션  
 Fig. 12. Mutual coupling simulated result of reconfigurable dual polarization patch array antenna

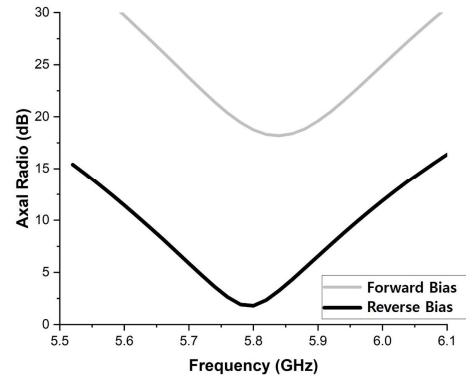


그림 13. 재구성 이중편파 패치 배열 안테나의 축비 시뮬레이션  
 Fig. 13. Axial Ratio simulated result of reconfigurable dual polarization patch array antenna

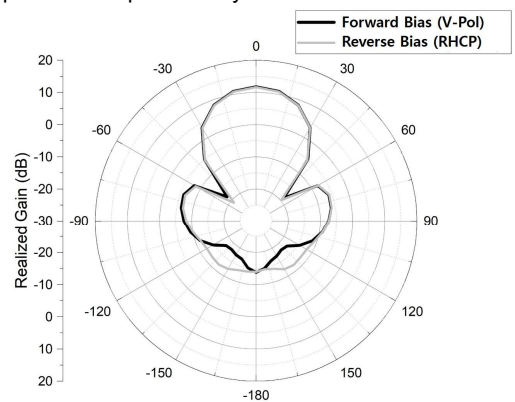


그림 14. 재구성 이중편파 패치 배열 안테나의 방사패턴  
 Fig. 14. Radiation pattern simulated result of reconfigurable dual polarization patch antenna

## V. 결 론

본 논문에서는 결합접지구조와 Pin 다이오드를 이용하여 안테나 편파 변환 특성을 확인하였으며 이를 이용한 재구성 이중 편파 배열 안테나를 제안하였다. Pin 다이오드의 ON, OFF 스위치 특성을 이용하여 RF 신호가 슬롯에 개방과 단락되어 선형 편파와 원형 편파 변환이 가능함을 시뮬레이션을 통하여 증명하였다. 제안된 안테나는 높은 이득을 가지는 재구성 이중 편파 배열 안테나로 편파 변환에 따른 안테나의 방사패턴의 변형이 이루어지지 않고 이를 이용하여 단말기간의 위치와 자세와 같은 환경에 구애 받지 않고 자유로운 통신 어플리케이션에 매우 유용하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## References

[1] C. S. Kim, J. S. Park, D. Ahn, and J. B. Lim, "A novel 1-D periodic defected ground structure for planar circuits," *IEEE Microwave Guided. Wave Letters*, Vol. 10, No. 4, pp. 131-133, Apr. 2000.

[2] N. Jahan, S. A. Enche, Ab Rahim, H. Mosalam, A. Barakat, T. Kaho, and R. K. Pokharel, "22-GHz-band oscillator using integrated H-shape defected ground structure resonator in 0.18- $\mu$ m CMOS technology," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 28, No. 3, pp. 233-235, March 2018.

[3] H. Choi, J. Lim, and Y. Jeong, "A new design of Doherty amplifiers using defected ground structure," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 16, No. 12, pp. 687-689, Dec. 2006.

[4] S.W. Ting, K.-W. Tam, and R. P. Martins, "Miniaturized

microstrip lowpass filter with wide stopband using double equilateral U-shaped defected ground structure," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 16, No. 5, pp. 240-242, May 2006.

[5] A. A. Salih and M. S. Sharawi, "A dual-band highly miniaturized patch antenna," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 15, pp. 1783-1786, March 2016.

[6] O. Oulhaj, N. A. Touhami, M. Aghoutane, and A. Tazon, "A miniature microstrip patch antenna array with defected ground structure," *International Journal of Microwave and Optical Technology*, Vol. 11, No. 1, pp. 32-39, Jan. 2016.

[7] C. Luo, J. Hong, and L. Zhong, "Isolation enhancement of a very compact UWB-MIMO slot antenna with two defected ground structures," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 14, pp. 1766-1769, April 2015.

[8] M. S. Sharawi, A. B. Numan, M. U. Khan, and D. N. Alofi, "A dual-element dual-band mimo antenna system with enhanced isolation for mobile terminals," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 11, pp. 1006-1009, Aug. 2012.

[9] J. Zeng and K. Luk, "A simple wideband magnetoelectric dipole antenna with a defected ground structure," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 17, No. 8, pp. 1497-1500, Aug. 2018.

[10] Lee, Dong-Hyo, Yoon, Won-Sang, Han, Sang-Min, Pyo, Seong-Min, Kim, and Young-Sik "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.



**이 원 준 (Won Jun Lee)**

2020년 2월 : 순천향대학교 정보통신공학과 공학학사  
2022년 8월 : 순천향대학교 ICT융합학과 공학석사  
2022년 9월 ~ 현재 : 단암시스템즈(주) 통신기술연구소 재직 중  
※관심분야 : 안테나, 마이크로파 회로설계



**차 영 직 (Young Jik Cha)**

2006년 2월 : 호서대학교 전자정보기술 공학학사  
2007년 7월 ~ 현재 : 단암시스템즈(주) 통신기술연구소 재직 중  
※관심분야 : 안테나, RF, 무선통신