

PIN 다이오드가 구비된 H 모양 슬롯을 이용한 직교편파 이중대역 변환 마이크로스트립 안테나

Orthogonally-Polarized Dual-Band Switchable Microstrip Antenna Using PIN-Diode Loaded H-Shape Slot

임 은 숙 · 표 성 민

Eunsook Lim · Seongmin Pyo

요 약

본 논문은 직교편파로 동작하는 이중대역의 동작주파수를 변환하는 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 서로 수직한 급전부와 1개의 PIN 다이오드가 집적된 형태의 H 모양의 슬롯이 구비된 방사체로 구성된다. PIN 다이오드의 상태에 따라 H 모양 슬롯의 기하학적 모양이 변함을 이용하여, 수평편파를 제공하는 주파수는 고정된 상태로, 수직편파로 동작하는 주파수를 변환할 수 있다. 제작된 안테나는 PIN 다이오드의 인가전압에 따라 직교편파를 제공하는 1.80 GHz와 2.06 GHz의 이중대역이 2.06 GHz에서 2.43 GHz로 원활하게 변환됨을 측정실험을 통해 검증하였다. PIN 다이오드 상태 별로 각각 측정된 반사계수, 안테나 이득 및 원거리 방사패턴은 이론적인 분석과 잘 일치되었다.

Abstract

This paper proposes a novel orthogonally-polarized dual-band switchable microstrip antenna. The proposed antenna consists of a perpendicular feeding network and an radiator with a PIN-installed H-shaped slot. When the states of one single PIN diode in H-slot are controlled by bias voltages, the controlled physical geometry of the H-slot determines the operation frequencies of switchable 1.80 GHz and 2.43 GHz for vertically polarized linear polarization and fixed 2.06 GHz for horizontally linear polarization. The implemented antenna experimentally demonstrates reconfigurable dual-band capability by means of controlling the states of the PIN diode. The simulation and measurement results of the implemented antenna have been in good agreement with the reflection coefficients, realized antenna gains and far-field radiation patterns at each of the PIN diode states.

Key words: Dual-Band Reconfigurable, Microstrip Antenna, Orthogonal Polarization

I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 소형, 경량, 집적의 용이성

등의 장점으로 인하여 다양한 무선 및 이동 통신 환경에서 사용된다^{[1][2]}. 그러나 좁은 동작 대역폭의 단점을 극복하기 위하여 다중대역으로 동작하거나 혹은, PIN 다이오

「이 논문은 2014년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(no. 2014R1A1A1004241).」

한밭대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Hanbat National University)

· Manuscript received October 8, 2015 ; Revised January 25, 2016 ; Accepted January 26, 2016. (ID No. 20151008-074)

· Corresponding Author: Seongmin Pyo (e-mail: spyo@hanbat.ac.kr)

드, 벡터 다이오드, MEMS(MicroElectroMechanical Systems) 등의 능동소자를 이용하여, 마이크로스트립 안테나의 공진주파수를 변환 혹은 재구성하여 무선통신시스템의 주파수 재사용성을 증대시키는 연구가 이루어지고 있다^{[3],[4]}. 또한, 다중경로 페이딩 현상과 송수신신호를 분리해야 하는 통신환경에서 응용할 수 있는 원형편파 마이크로스트립 재구성 안테나에 대한 연구도 폭 넓게 연구되고 있다^{[5]-[7]}.

본 논문에서는 서로 수직한 선형 직교편파로 동작하는 이중대역 마이크로스트립 안테나 선행연구^[8]를 바탕으로, 고정된 이중대역을 변환할 수 있는 구조를 제안하였다. 제안된 안테나는 H 모양 슬롯의 중앙에 PIN 다이오드를 연결하여, 전압 인가조건에 따라 H 모양 슬롯과 끊긴 H 모양의 슬롯으로 기하학적 모양을 재구성하여, 서로 수직한 선형직교편파로 동작하는 이중대역을 변환하였다. 이어지는 장에서는 제안한 안테나의 동작원리를 기술하고, 원리를 바탕으로 안테나 설계 및 모의실험을 통한 분석 결과, 제작 및 측정에 대하여 구체적으로 서술하겠다.

II. 안테나 설계 및 분석

그림 1은 제안한 이중대역 재구성 직교편파 마이크로스트립 안테나의 구조를 도식한 것이다. 안테나는 비유전율 4.4, 두께 1.6 mm의 FR4 기판의 앞면에 한 변의 길이 (p)가 25 mm인 정사각형 패치로 구성하였다. 방사체에는 H 모양의 슬롯을 적용하였고, 슬롯의 안쪽 중심에는 PIN 다이오드를 삽입하였다. 슬롯은 가로 폭(w), 세로 길이(l), 슬롯의 내부 폭(g)으로 설계 변수를 설정하였다. H 모양의 슬롯은 이중대역 직교편파를 제공하는 직사각형 방사체에 비하여 감소된 방사체 크기를 제공하는 장점이 있다. 급전 구조는 기판의 뒷면에 50 Ω 동축선을 연결하고, 종단에는 전력분배기를 배치하였다. 방사체와 전력분배기 사이에는 $\lambda/4$ 임피던스 변환기로 정합회로를 이용하여 이중 급전 구조를 완성하였다. PIN 다이오드에 전압을 인가하기 위해 방사체에서 gap을 추가한 부분에서 원하지 않는 캐패시턴스가 발생하는 것을 방지하기 위하여 DC block과 RF bypass 용도로 18 pF 캐패시터가 사용되었다. 또한, bias 회로로 인한 방사패턴의 왜곡을 최소화하

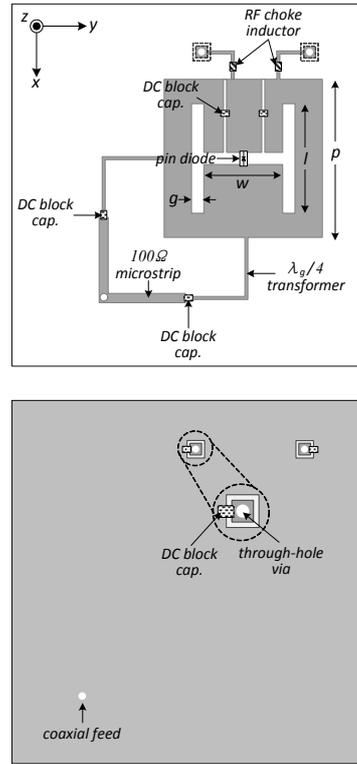


그림 1. 제안한 이중대역 재구성 직교편파 안테나 구조
Fig. 1. Configuration of the proposed dual-band reconfigurable orthogonally-polarized antenna.

기 위하여 접지면과 bias 단자 사이와 포트에서 계측장비 방향으로 DC 전류의 역류를 막기 위하여, 급전선과 정합선로 사이에 같은 값을 갖는 DC block 및 RF bypass 용도의 캐패시터를 추가로 사용하였다. 그리고 RF 전류를 막기 위한 RF choke는 39 nH의 인덕터를 사용하였다.

그림 2는 제안한 안테나의 변환소자에 따라 직교편파 이중대역을 재구성하는 동작원리를 도식한 것이다. 점선과 실선은 서로 다른 주파수의 급전위치에 따른 표면 전류의 흐름을 나타낸다. 그림 2(a)에서 PIN 다이오드가 off 상태일 때, x축으로 급전되면 H 모양의 슬롯을 따라 수직하게 전류가 흐르게 된다. 반대로 y축으로 입사되는 경우 슬롯은 I모양으로 인식되고, 전류는 슬롯을 피해 방사체 외곽으로 수평하게 흐른다. 이와 달리 그림 2(b)는 PIN 다이오드가 on 상태로 동작할 때, y축으로 급전이 되는 경우는 off 상태와 동일하게 동작한다. 반면 x축으로 급전이

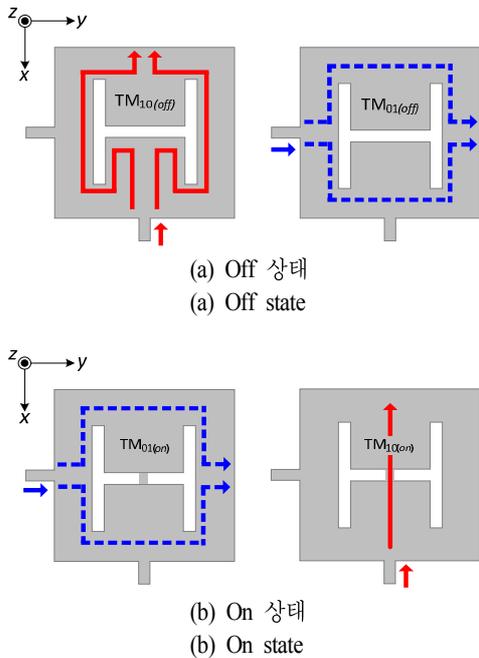


그림 2. 직교편파 이중대역 변환 동작원리
 Fig. 2. Principle of orthogonally-polarized reconfigurable dual-band operation.

되는 경우에는 전류는 PIN 다이오드를 인한 연결된 저항 성분으로 인해, H 모양의 슬롯에 대한 영향을 받지 않게 되어 일반적인 패치 안테나와 유사한 수직한 방향으로 표면 전류의 흐름을 갖게 된다.

그림 3은 안테나의 PIN 다이오드 상태별 방사체 표면에서의 전계 모의실험 결과이다. 제안한 안테나에 대한 모의실험은 Ansoft사의 EM 시뮬레이터인 HFSS를 이용하였다. 그림 2의 동작원리에서 살펴본 바와 같이, 변환소자가 off 상태에서는 H 모양의 슬롯이 동작하여 그림 3(a)의 수직한 편파는 $TM_{10(off)}$ 모드, 방사체의 세로방향으로는 $TM_{01(off)}$ 모드로 동작하여 방사체의 가로 방향으로 2.09 GHz에서 반파장 공진이 발생함을 확인하였다. 그림 3(b)에서 $TM_{10(on)}$ 모드의 전계분포는 수직편파로 2.48 GHz에서 기본 패치 안테나와 동일하게 반파장 공진이 형성되며, $TM_{01(on)}$ 모드는 가로 축으로 수평한 편파이고, off 상태와 동일한 공진주파수 2.09 GHz에서 방사체의 가로방향으로 반파장 공진이 발생한다. 즉, PIN 다이오드의 상태의 따라 슬롯의 기하학적 모양이 결정되어 직교편파를

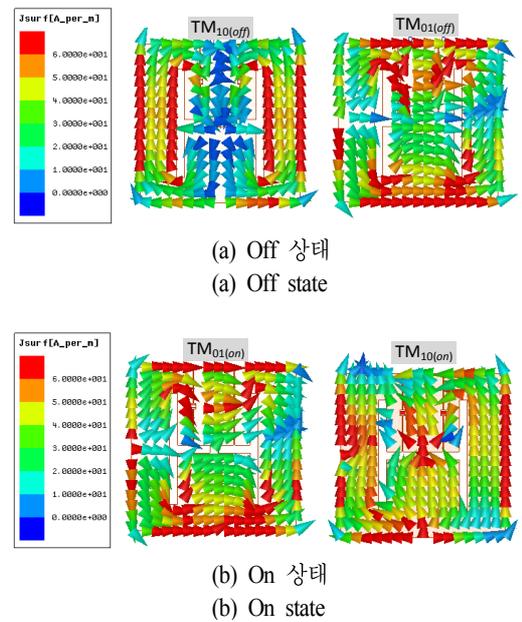


그림 3. PIN 다이오드의 상태별 전계 모의실험 결과
 Fig. 3. Simulated electric field intensities at PIN diode states.

제공하는 이중대역이 변환됨을 알 수 있다.

그림 4는 제안한 안테나의 PIN 다이오드의 상태에 따른 슬롯의 폭(w)과 길이(l)에 대한 주파수 특성 모의실험 결과를 도식한 것이다. 모의실험에서 슬롯의 내부 폭(g)은 1.2 mm로 고정하였다. 그림 4(a)에서 슬롯의 폭(w)이 10.5 mm부터 12 mm로 증가하면 저주파대역 공진주파수는 1.85 GHz에서 1.74 GHz로 감소하고, 고주파대역 공진주파수는 2.12 GHz에서 2.08 GHz로 증가한다. 또한, 슬롯의 길이(l)가 16 mm부터 17.5 mm까지 증가하면, 고주파대역 공진주파수의 경우 2.14 GHz에서 2.07 GHz까지 감소하고, 저주파대역 공진주파수는 1.85 GHz에서 1.79 GHz로 감소한다. 그림 4(b)는 on 상태에서 슬롯의 크기를 off 상태와 동일한 조건으로 변화시켰을 때 모의실험 결과이다. 슬롯의 폭(w)이 변함에 따라 고주파대역 공진주파수는 2.5 GHz에서 2.44 GHz로 감소하고, 저주파대역 공진주파수는 2.11 GHz에서 2.07 GHz로 증가하였다. 슬롯의 길이(l)가 변화하였을 때, 저주파대역 공진주파수의 경우 2.13 GHz에서 2.07 GHz까지 감소하고, 고주파대역 공진주파수는 2.49 GHz에서 유지된다. 결과에서 알 수 있

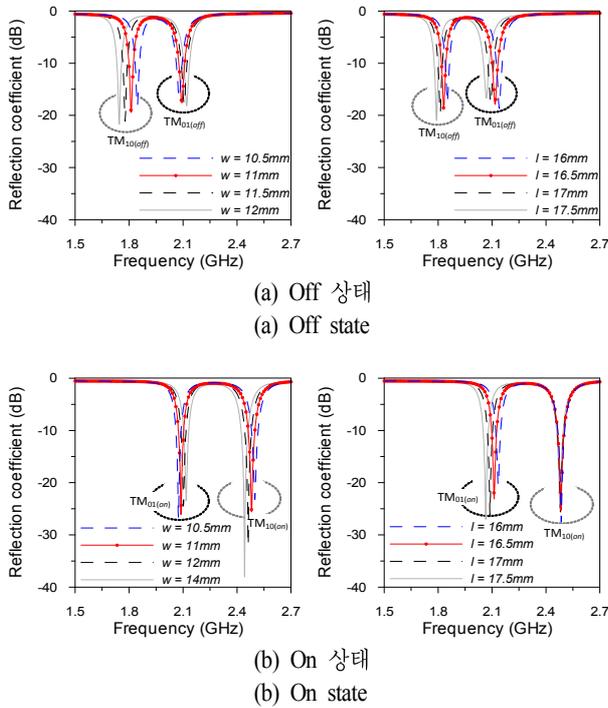


그림 4. 제안한 안테나의 PIN 다이오드의 상태별 슬롯의 폭과 길이에 대한 주파수 특성 모의실험 결과
 Fig. 4. Computed frequency responses of the proposed antenna for the H-shape slot width and length at PIN diode states.

듯이, 슬롯 길이(l)의 증가는 수평편파 TM_{01} 모드와 수직편파 TM_{10} 모드에서 표면 전류의 전기적인 경로 성분을 모두 증가시키는 효과를 가지고 있다. 그러나 슬롯 폭(w)의 증가는 수직편파 TM_{10} 모드에서의 표면 전류의 이동 경로를 증가시키는 반면, 수평편파 TM_{01} 모드에서의 표면 전류의 이동 경로가 감소하는 효과를 가지고 있음을 알 수 있다. 또한, PIN 다이오드 on 상태에서는 슬롯의 길

표 1. 제안된 안테나의 설계 변수(단위: mm)
 Table 1. Design parameters of the proposed antenna.(unit: mm).

설계변수	설계 값
p	25
w	11
l	17
g	1.2

이(l)가 변하더라도, 수직편파 TM_{10} 모드의 표면 전류는 PIN 다이오드의 최단 경로로 표면전류가 형성되어 공진 주파수에 영향이 없음을 알 수 있다. 이와 같은 모의실험 결과를 바탕으로 H 모양 슬롯의 크기를 최적으로 결정하였으며, 최종 설계치수는 표 1에 정리하였다.

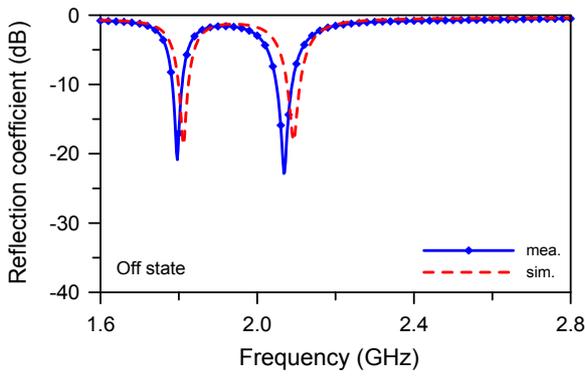
III. 안테나 제작 및 측정

그림 5는 모의실험 결과를 검증하기 제작한 안테나를 촬영한 사진이다. PIN 다이오드는 Infineon Technologies 사의 BAR 64-02V SC79 패키지로 구성된 소자를 사용하였다. 소자를 제어하기 위한 인가전압은 off 상태 0 V에서 약 0.2 pF의 등가캐패시턴스를 가지며, on 상태 0.7 V를 인가하였을 때, 2.1 Ω 의 등가저항을 가진다.

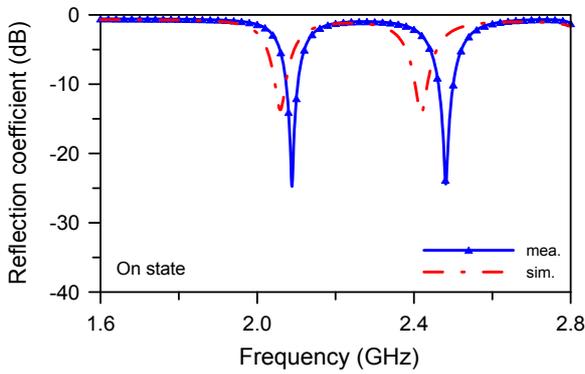
그림 6은 제안한 안테나의 PIN 다이오드 상태별 반사계수의 모의실험과 측정실험 결과를 도식한 것이다. 그림 6(a)의 변환소자 off 상태에서 반사계수는 저주파대역 중심주파수 1.80 GHz에서 -20.85 dB, 고주파대역 중심주파수 2.06 GHz에서 -22.84 dB로 측정되었다. -10 dB를 만족하는 임피던스 대역폭은 저주파대역 1.78 GHz부터 1.81 GHz까지 30 MHz, 고주파대역 2.05 GHz부터 2.10 GHz까지 50 MHz를 나타내었다. 그림 6(b)는 on 상태 반사계수를 측정한 결과이다. 저주파대역 중심주파수 2.06 GHz에서 -13.69 dB, 고주파대역 중심주파수 2.42 GHz에서 -14.31 dB로 측정되었으며, -10 dB를 만족하는 임피던스 대역폭은 저주파대역 2.05 GHz부터 2.07 GHz까지 약 28 MHz, 고주파대역 2.43 GHz부터 2.40 GHz까지 30 MHz를 나타내었다. 수평편파로 동작하는 TM_{01} 모드에서



그림 5. 제작한 안테나 사진
 Fig. 5. Photograph of the implemented antenna.



(a) Off 상태
(a) Off state

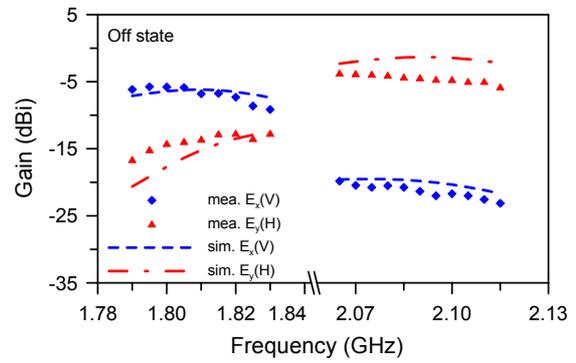


(b) On 상태
(b) On state

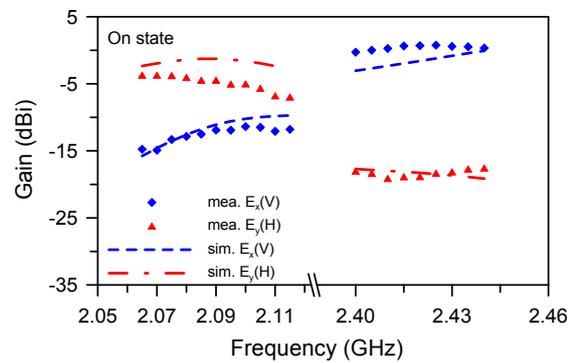
그림 6. PIN 다이오드 상태별 안테나 반사계수
Fig. 6. Reflection coefficients of the proposed antenna at both of PIN diode states.

측정실험 결과가 모의실험 결과보다 감소한 이유는 PIN 다이오드 bias 회로의 일부인 DC block 커패시터로 인하여 추가적인 삽입손실에 의해 발생한 것으로 판단된다. 즉, 측정실험과 달리 모의실험에서는 커패시터의 저항성분이 고려되지 않았기 때문이다.

그림 7과 8은 제안한 안테나의 PIN 다이오드 상태별 안테나 이득과 방사패턴을 도식한 것이다. 안테나 이득과 방사패턴은 전자파 무반사실을 이용하여 측정하였으며, 편파 동작 주파수에서의 측정 결과이다. 그림 7(a)는 PIN 다이오드가 off 상태일 때, 안테나 이득 측정결과이다. 저주파대역은 수직선형편파가 주편파로 동작하며, 수직편파의 안테나 이득은 1.80 GHz에 -5.76 dBi, 교차편파인



(a) Off 상태
(a) Off state



(b) On 상태
(b) On state

그림 7. PIN 다이오드 상태별 안테나의 이득
Fig. 7. Antenna gain of the proposed antenna at both of PIN diode states.

수평편파는 -15.13 dBi로 측정되었다. 고주파대역에서는 수평선형편파가 주편파이고, 2.07 GHz에서 -3.7 dBi, 수직편파는 -19.83 dBi로 측정되었다. 그림 7(b)는 on 상태 일 때 안테나 이득으로 저주파대역 2.07 GHz에서 -3.71 dBi의 최대 이득을 가지며, 수평편파가 주편파임을 알 수 있다. 반대로 고주파대역은 수직편파가 주편파로 동작하며, 2.43 GHz에서 0.76 dBi의 최대이득을 갖는다. 그림 7과 8에서 판단할 수 있듯이, 제안한 안테나는 일반적인 마이크로스트립 안테나의 방사패턴과 동일하게 +z축에서 최대이득이 발생하며, 무반사실 측정 편차 내에서 측정실험결과와 모의실험 결과가 잘 일치하였다. 측정된 결과는 PIN 다이오드에 의한 추가 삽입손실로 인하여 발생한 것으로 판단되며, 전압인가회로의 전선을 접지면 부분

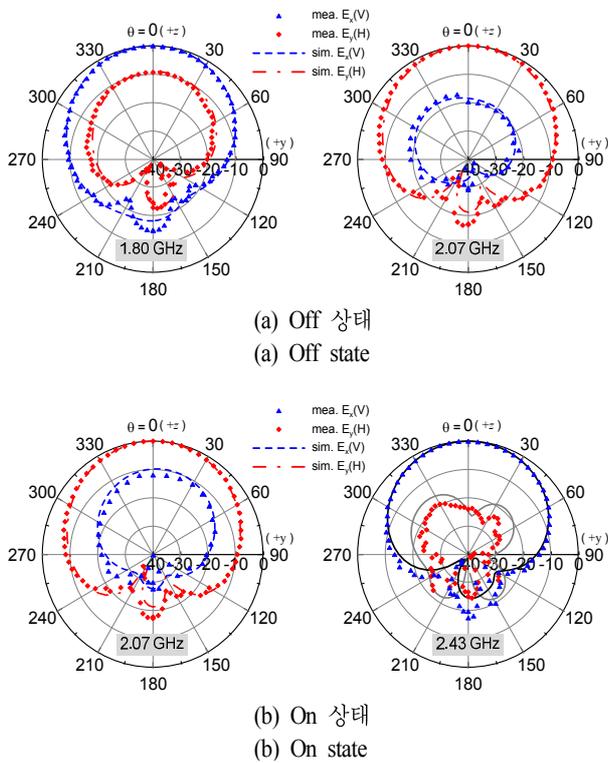


그림 8. 제안한 안테나의 PIN 다이오드 상태별 yz 평면 방사패턴
 Fig. 8. Radiation patterns of the proposed antenna at yz-plane for both of PIN diode states.

에서 연결하여, 측정된 방사패턴의 모의실험결과에 비해 왜곡이 거의 없음을 알 수 있다. 또한, PIN 다이오드를 이용하여 이중대역에서 공진주파수뿐만 아니라, 서로 수직한 선형편파도 재구성되어 동작하는 것을 검증하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 PIN 다이오드가 구비된 H 모양 슬롯을 이용하여 이중대역을 변환하는 직교편파 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 모의실험과 측정결과를 통해 H 모양의 슬롯과 급전 방향 따라 기하학적 차이로 인해 이중대역에서 서로 수직한 편파를 제공하며, PIN 다이오드 상태에 따라 직교편파를 제공하고, 이중대역에서 재구성

되는 안테나 구현을 확인하였다. 제안된 안테나는 추후 무선 통신 및 차량 통신 분야에서 성능이 개선된 통신 환경을 제공할 수 있을 것이라 판단된다.

References

- [1] K. C. Gupta, P. S. Hall, *Analysis and Design of Integrated Circuit Antenna Modules*, New York: Wiley, 2000.
- [2] W. -L. Liu, T. -R. Chen, S. -H. Chen, and J. -S. Row, "Reconfigurable microstrip antenna with pattern and polarization diversities", *Electron. Lett.*, vol. 43, no. 2, pp. 77-78, Jan. 2007.
- [3] F. Yang, Y. Rahmat-Samii, "A reconfigurable patch antenna using switchable slots for circular polarization diversity", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 12, no. 3, pp. 96-98, Mar. 2002.
- [4] N. Behdad, K. Sarabadni, "Dual-band reconfigurable antenna with a very wide tunability range", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 54, no. 2, pp. 409-416, Feb. 2006.
- [5] Y. J. Sung, T. U. Jang, and Y. -S. Kim, "Reconfigurable microstrip patch antenna for switchable polarization", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 14, no. 11, pp. 534-536, Nov. 2004.
- [6] D. -H. Lee, D. -W. Chung, E. -G. Kim, and S. Pyo, "Circular polarization-agile microstrip antenna for wireless access in vehicular environments", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 56, no. 10, pp. 2310-2313, Oct. 2014.
- [7] 이동효, 임은숙, 김일웅, 양형모, 안상일, 표성민, "교차형 스테브-슬롯 삽입 구조를 이용한 원형 편파 재구성 마이크로스트립 안테나", *한국위성정보통신학회 논문지*, 10(3), pp. 121-126, 2015년 9월.
- [8] 임은숙, 이동효, 표성민, "차량 단말 통신을 위한 이중대역 직교편파 마이크로스트립 안테나", *한국전자파학회논문지*, 26(7), pp. 606-612, 2015년 7월.

임 은 숙



2010년 2월: 한밭대학교 정보통신·컴퓨터공학부 (공학사)
2014년 3월~현재: 한밭대학교 정보통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

표 성 민



2002년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
2004년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
2011년 2월: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 (공학박사)
2011년 3월~2011년 10월: 한국전자통신연구원 선임연구원
2011년 11월~2013년 2월: 국방과학연구소 선임연구원
2013년 2월~현재: 한밭대학교 정보통신공학과 조교수
[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파 회로 및 시스템, 메타물질 기반 재구성 안테나, 추적 레이더 시스템