

# 모서리가 잘린(Corner-cut) 구조를 가진 정삼각형 마이크로스트립 안테나와 편파 변환 재구성 안테나로의 응용

## A Corner-Truncated Equilateral-Triangular Microstrip Antenna and Its Applications for Reconfigurable Antennas with Polarization Diversity

성 영 제

Youngje Sung

요 약

본 논문에서는 다양한 방사 편파를 얻기 위하여 모서리가 잘린 정삼각형 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 삼각형 패치의 빗변과 평행하게 놓여진 마이크로스트립 라인에 의해 급전된다. 동일한 크기를 갖는 삼각형 모서리의 제거 여부에 따라 정삼각형 마이크로스트립 안테나는 선형 편파, 왼손 원형 편파, 오른손 원형 편파 특성을 나타내었다. 이러한 특성을 바탕으로 정삼각형 마이크로스트립 안테나를 편파 변환이 가능한 재구성 안테나로 응용하였다. 정삼각형 패치와 작은 삼각형 기생 패치 사이에 PIN 다이오드를 적용하였다. 다이오드에 인가되는 바이어스 전압에 따라 안테나는 선형 편파 또는 오른손 원형 편파 특성을 나타내었다. 측정된 방사 패턴 결과를 통해 선형 편파의 경우 낮은 크로스폴을, 원형 편파의 경우 좋은 축비 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, a single-feed equilateral-triangular microstrip antenna with truncated corners is used for achieving diverse radiation polarization. The proposed antenna is excited by a microstrip line, which is placed parallel to an oblique side of the equilateral-triangular patch. Depending on whether the three identically-sized corners of the triangular patch are cut or not, the equilateral-triangular microstrip antenna shows linear polarization(LP) or left-hand circular polarization(LHCP) or right-hand circular polarization(RHCP). Based on the equilateral-triangular microstrip antenna with truncated corners, a novel reconfigurable microstrip antenna with switchable polarization sense is also proposed. The proposed reconfigurable antenna has a simple structure, consisting of a corner-truncated triangular patch, a small triangular conductor, and a microstrip line. Using a biased PIN diode between the patch and the small triangular conductor, it can produce LP or RHCP according to bias voltages. From the measured results, low cross polarization level when operated in the linear state and good axial ratio in the circular state are observed.

Key words : Reconfigurable Antenna, Tunable Antenna, Polarization Diversity Antenna

### I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 얇은 두께, 가벼운 무게, 그리고 손쉬운 제작으로 인해 많은 관심을 받고

있다<sup>[1]</sup>. 일반적으로 마이크로스트립 안테나는 선형 편파 특성을 갖도록 설계된다. 그러나, 위성 통신과 같은 경우에는 원형 편파 특성을 갖는 안테나가 전리층에서 회절로 인한 손실이 적고, 강우 감쇄에 유

경기대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Kyonggi University)

· 논문 번호 : 20080806-103

· 수정완료일자 : 2008년 9월 22일

리하기 때문에 많은 관심을 받고 있다<sup>[2],[3]</sup>. 원형 편파 특성을 갖는 마이크로스트립 안테나는 두 가지 형태의 급전 구조에 의해 구현될 수 있다. 결합기 (combiner)나 분배기(divider) 구조를 사용할 경우, 안정적인 원형 편파 특성을 얻을 수 있으나, 결합기나 분배기와 같은 여분의 회로에서 발생하는 원치 않는 방사가 원형 편파 특성을 저하시키고, 전체적인 안테나 시스템의 크기가 커지는 문제점이 있다<sup>[4]</sup>. 일반적으로 단일 급전 구조를 사용한 안테나는 원형 편파 특성을 얻기 위하여 모서리를 자르는 방법(truncated corners)<sup>[5]</sup>과 스텐브(tuning stub)를 적용하는 방법<sup>[6]</sup>을 사용한다. 정삼각형 안테나의 모서리를 잘라서 원형 편파를 얻는 방법은 잘 알려진 방법이다<sup>[5],[7],[8]</sup>. 참고문헌 [7]에서는 단지 한 쪽 모서리만을 제거하여, 참고문헌 [8]에서는 크기가 다른 3개의 모서리를 제거하여 원형 편파를 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 정삼각형에 존재하는 3개의 모서리의 제거 여부에 따라 각기 다른 편파 특성을 갖는다. 총 8개의 조합 중에서 왼손 원형 편파 특성을 갖는 경우가 2가지, 오른손 원형 편파 특성을 갖는 경우가 1가지였다. 분석을 쉽게 하기 위해서 본 논문에서 고려한 안테나의 급전 구조는 동일한 변수를 사용하였다.

위의 결과를 바탕으로 본 논문에서는 편파 변환이 가능한 재구성 안테나를 제안하였다. 재구성 안테나는 PIN 다이오드의 수가 증가함에 따라 DC 바이어스의 회로가 복잡해지고 안테나의 크기가 커지는 문제점이 있다. 또한, 증가된 다이오드는 회로상의 손실을 증가시키고, 소비 전류도 증가시키게 된다. 본 논문에서는 단 1개의 PIN 다이오드만을 사용하여 선형 편파와 오른손 원형 편파간의 변환이 가능한 재구성 안테나를 제안하고자 한다. 1개의 다이오드만을 사용하여 편파 변환을 얻을 수 있는 재구성 안테나는 거의 알려진 적이 없다.

## II. 안테나 구조

그림 1은 본 논문에서 제안한 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 기본 구조를 보여주고 있다. 정삼각형의 한 변의 길이는  $L$ 이고, 두께가  $h$ , 유전율  $\epsilon_r$ 인 유전체 기판에 구현하였다. 안테나는 갭  $g$ 를 가진 마이크로스트립 라인에 의해 급전된다. 좋은 매

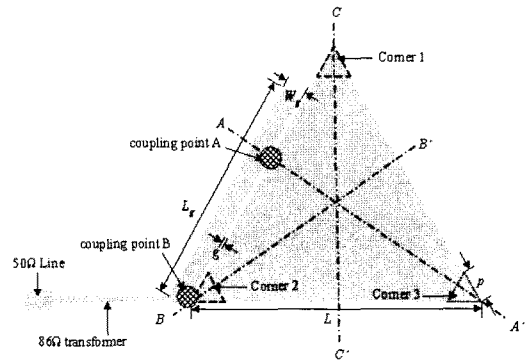


그림 1. 단일 급전 정삼각형 안테나  
Fig. 1. Geometry of a single-feed equilateral-triangular microstrip antenna.

칭 특성을 얻기 위하여 시뮬레이션을 통해 급전 구조의 변수들( $L_g$  와  $W_g$ )을 조절하고,  $\lambda/4$  변환기를 사용하였다. 정삼각형 패치의 모서리 크기는 모두  $p$ 로 동일하였고, 이 모서리들은 perturbation으로 방사 구조에 적절하게 비대칭성이 인가될 때 원형 편파를 일으키는 역할을 한다.

제안한 구조는 그림 1의 왼쪽 빗변의 점 A에서 대부분의 RF 전력이 급전 구조에서 안테나로 전달되고, 점 B에서 일부의 RF 전력이 전달된다. 일반적인 마이크로스트립 안테나의 원형 편파 특성은 급전점이 중심이 되는 축에 대하여 방사 구조에 비대칭성을 유도하여 얻을 수 있다. 그러므로, 본 논문에서 제안한 구조가 원형 편파 특성을 얻기 위해서는 점 A와 B의 기반으로 설정된 축 AA'와 BB'에 대하여 비대칭이 되어야 한다. CC'에는 급전점이 형성되지 않으므로 이 축을 중심으로 비대칭이 되어도 정삼각형 마이크로스트립 안테나는 원형 편파 특성을 얻을 수 없다. Section III에서는 시뮬레이션과 측정된 반사 계수, 시뮬레이션으로 얻은 축비를 통해 3개 모서리의 제거 유무에 따라 정삼각형 안테나는 다양한 편파 특성을 나타냄을 보이고자 한다. Section IV에서는 section III에서 얻은 시뮬레이션과 측정 결과를 기반으로 하여 편파 변환 특성을 갖는 재구성 안테나를 제안하였다. 기본적인 편파 변환 특성을 갖는 재구성 안테나와 비교해볼 때<sup>[9],[5],[9],[10]</sup>, 제안한 재구성 안테나는 단 1개의 PIN 다이오드만을 사용하여 편파 변환 특성을 갖는 단순한 구조라는 장점이 있

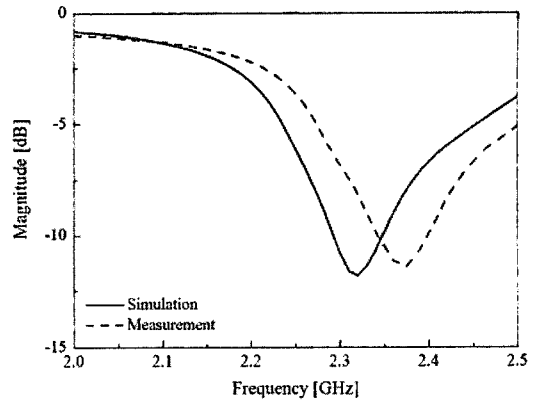
다. 소비 전류나 안테나 전체의 크기를 고려해볼 때, 재구성 안테나 설계시 PIN 다이오드의 수는 매우 중요한 요소이다.

### III. 모서리가 잘려진 정삼각형 안테나

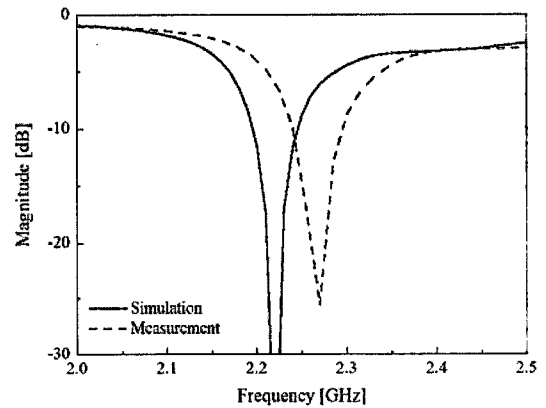
정삼각형 한 변의 길이  $L$ 은 50 mm이다. 모서리가 제거되지 않은 일반적인 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 경우 공진 주파수가 2.22 GHz였다.  $\lambda/4$  변환기의 폭은 1 mm로 임피던스는 86  $\Omega$ 에 해당하며, 그 길이는 17.3 mm였다. 한 변의 길이가  $p$ 인 모서리는 4.2 mm로 모두 동일하였다. 일반적으로 정삼각형 패치의 한 변의 길이에 0.09배 정도로 모서리를 제거했을 때 그 크기가 같고, 위상이  $90^\circ$  차이 나는 near-degenerate orthogonal mode가 발생하여 원형 편파 특성을 얻을 수 있다<sup>[7]</sup>. 급전 구조의 변수들은 다음과 같이 설정하였다.  $L_g=34.3$  mm,  $W_g=3$  mm, 그리고  $g=0.5$  mm이며, 본 논문에서 언급하는 모든 안테나는 모두 동일한 급전 변수들을 가지고 있고, 모서리를 제거하나 유지하느냐에 따라 발생하는 총 8개의 조합에서 선형 편파, 왼손 원형 편파, 오른손 원형 편파 특성을 모두 얻을 수 있었다.

대부분의 RF 전력이 왼쪽 빔면에 점 A에서 급전되므로, 원형 편파 특성을 얻기 위하여 축 AA'에 대하여 비대칭을 가져야 한다. 정삼각형 패치가 축 AA'에 대하여 대칭을 경우(모서리 1과 2가 모두 제거되거나 모두 남을 경우), 모서리 3의 제거 여부와는 관계없이 그림 1에서 보여지는 정삼각형 마이크로스트립 안테나는 선형 편파 특성을 나타낸다. 8개의 조합 중에서 4가지 경우가 선형 편파 특성을 나타낸다. 모서리 1과 2를 모두 제거할 경우를 안테나 1, 모두 남을 경우를 안테나 2라고 하자. 나머지 2가지 경우의 결과는 본 논문에서 생략되었다. 그림 2는 안테나 1과 2의 시뮬레이션과 측정 결과를 보여주고 있다. 모서리 1과 2는 전류 경로에 거의 영향을 미치지 않기 때문에 안테나의 공진 주파수는 거의 변화가 없다. 반면에, 모서리 3을 잘랐을 경우 공진 주파수는 2.22 GHz에서 2.33 GHz로 증가하였다.

점 A에서 커플링되는 것보다는 작지만 일부의 RF 전력이 점 B에서 커플링 되므로 원형 편파 특성을 얻기 위해서는 축 BB'에 대한 비대칭성도 고려해



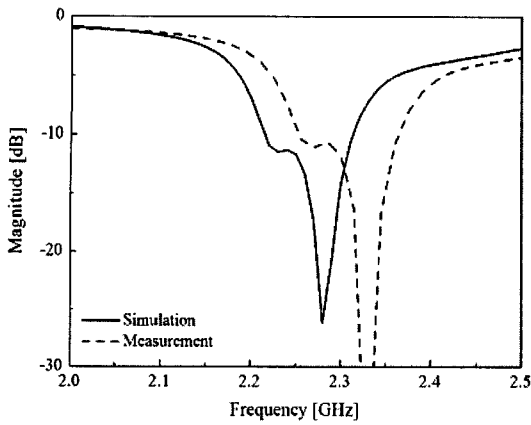
(a) 안테나 1  
(a) Antenna 1



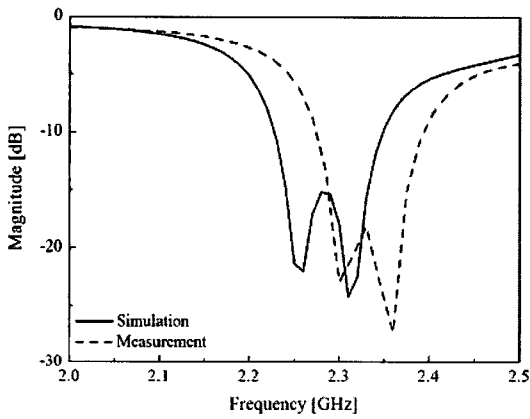
(b) 안테나 2  
(b) Antenna 2

그림 2. 반사 계수의 시뮬레이션 및 측정 결과  
Fig. 2. Simulated and measured return losses.

야 한다. 앞서도 언급했듯이 그림 1에서 보이는 안테나가 좋은 원형 편파 특성을 갖기 위해서는 축 AA'과 BB'에 대하여 동시에 비대칭이 되어야 한다. 두 축 중에서 축 AA'가 중요하므로, 축 AA'에 대하여 형성된 비대칭성이 정삼각형 마이크로스트립 안테나의 편파 특성을 결정한다. 축 AA'에 대하여 모서리 1을 제거한 안테나는 왼손 원형 편파 특성을, 모서리 2를 제거한 안테나는 오른손 원형 편파 특성을 갖는다. 모서리 1을 제거하면서 두 축에 모두 비대칭이라면 모서리 1만 제거하면 된다. 모서리 2를 제거하면서 두 축에 모두 비대칭이라면 모서리 2와 3이 동시에 제거돼야 한다. 전자를 안테나 3이라고 하고, 후자를 안테나 4라고 하자. 그림 3은 안테나 3



(a) 안테나 3  
(a) Antenna 3



(b) 안테나 4  
(b) Antenna 4

그림 3. 반사 계수의 시뮬레이션 및 측정 결과  
Fig. 3. Simulated and measured return losses.

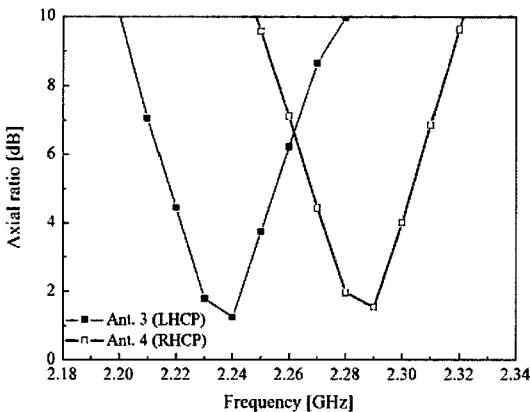
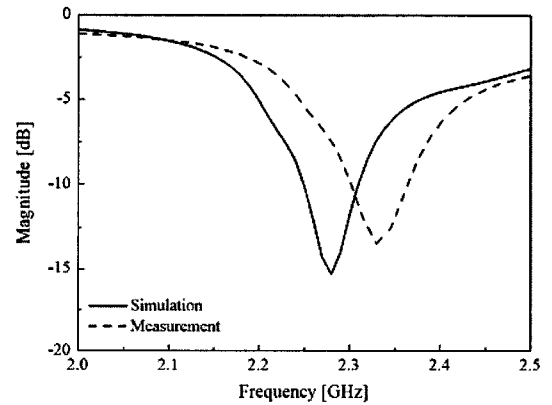


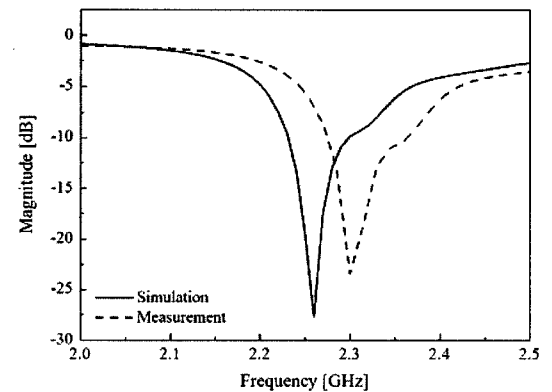
그림 4. 시뮬레이션한 안테나 3과 4의 축비  
Fig. 4. Simulated axial ratio for antennas 3 and 4.

과 4의 시뮬레이션과 측정된 반사 손실을 나타낸다. 두 안테나의 10 dB 대역폭은 각각 4.77 %와 4.93 %이다. 그림 4는 안테나 3과 4의 시뮬레이션 한 축비이다. 축비 대역폭은 각각 1.07 %와 0.94 %였다.

만약 AA'에 대하여 비대칭이면서 BB'에 대하여 대칭일 경우, 그림 1에서 보여지는 안테나는 약한 원형 편파 특성이나 선형 편파 특성을 나타낸다. 모서리 2만 제거된 경우 안테나 5, 모서리 1과 3을 제거한 경우 안테나 6이라 하자. 그림 5는 안테나 5와 6의 시뮬레이션과 측정 결과를 보여주고 있다. 측정 한 10 dB 대역폭은 각각 3.69 %와 3 %이다. 그림 6은 안테나 5와 6은 시뮬레이션한 축비이다. 그림 5에서 보여지는 반사 계수와 그림 6에서 보여지는 축비로부터 안테나 5는 선형 편파를, 안테나 6은 오른손



(a) 안테나 5  
(a) Antenna 5



(b) 안테나 6  
(b) Antenna 6

그림 5. 반사 계수의 시뮬레이션 및 측정 결과  
Fig. 5. Simulated and measured return losses.

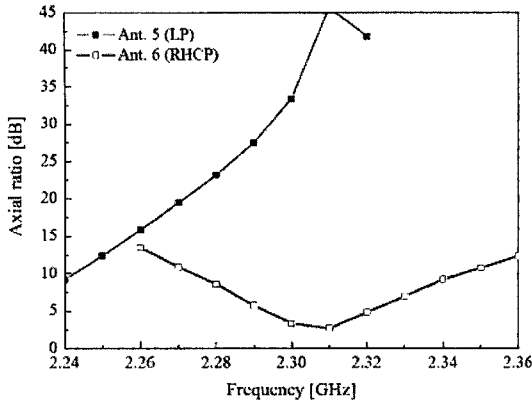


그림 6. 시뮬레이션한 안테나 5와 6의 축비  
Fig. 6. Simulated axial ratio for antennas 5 and 6.

원형 편파 특성을 가짐을 알 수 있다. 안테나 6은 안테나 3과 같이 모서리 1이 제거된 경우로, 축비가 2.31 GHz에서 2.66 GHz, 축비 3 dB 대역폭이 0.2 %로 매우 약한 오른손 원형 편파 특성을 갖는다. 원형 편파 특성을 얻기 위한 필요 조건은 축 AA'에 비대칭이 되어야 하고, 충분 조건은 BB'에 비대칭이 되어야 한다.

#### IV. 편파 변환 특성을 갖는 재구성 안테나

이 section에서는 편파 변환이 가능한 재구성 안테나를 제안하고자 한다. 본 논문에서 제안한 편파 변환 안테나의 설계 개념은 모서리가 제거된 정삼각형 마이크로스트립 안테나가 동일한 크기의 모서리 3개를 제거하느냐 아니냐에 따라 선형 편파, 왼손 원형 편파, 오른손 원형 편파와 같은 다양한 편파 특성을 갖는다는 사실에 기반을 두고 있다. 안테나의 편파가 전기적으로 변환되기 위해서 그림 7에서와 같이 핀 다이오드(HSMP-3864)를 적용하여 구현하였다. 안테나의 변수들은 그림 1에서 언급한 변수들과 동일하였다. 정삼각형 패치와 작은 기생 정삼각형의 연결 상태를 조절함에 따라 안테나의 편파는 선형 편파 또는 오른손 원형 편파 특성을 갖는다. 이 때, 제안한 안테나는 동일한 주파수에서 동작하므로, 제안한 재구성 안테나는 주파수 재사용 구현이 가능하다는 장점이 있다. PIN 다이오드의 크기가  $2.5 \times 1.4$  mm이므로, 정삼각형 패치와 모서리 사이의 갭  $d$ 는 1.4 mm로 설정하였다. 제안한 안테나의 구조를 조절

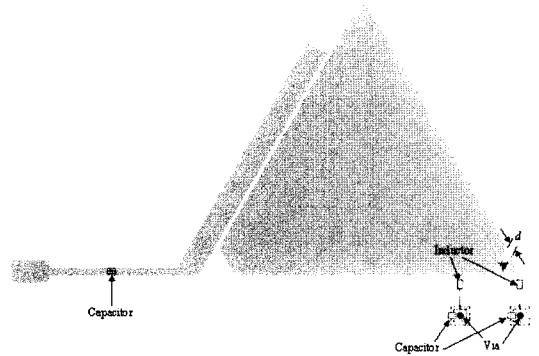


그림 7. 편파 변환 특성을 갖는 정삼각형 재구성 안테나

Fig. 7. The proposed reconfigurable equilateral-triangular microstrip antenna with polarization diversity.

하기 위해서, 단지 1개의 PIN 다이오드가 정삼각형 패치와 삼각형 모서리에 적용되었다. RF와 DC를 분리하기 위하여, 단순한 DC 바이어스 회로가 사용되었다<sup>[10]</sup>. DC bias 회로는 다이오드의 on/off 모드를 조절하기 위하여 사용되었다. 접선은 안테나 반대편에 존재하는 접지면에 구현된 회로이다. DC 바이어스 회로는 RF 초크 역할을 하는 2개의 200 nH 인덕터와 급전 구조에 적용된 1개의 47 pF 캐패시터와 접지면에 적용된 2개의 100 pF 캐패시터를 사용하였다.

그림 8은 그림 7에서 제안한 안테나에 대한 시뮬레이션과 측정된 반사 계수 결과이다. 작은 삼각형 기생 패치와 정삼각형 패치의 연결 여부에 따라 발생하는 공진 주파수의 변환은 10 MHz보다 작았다. 다이오드가 off인 경우 안테나 3의 방사 편파 특성과 유사하게 오른손 원형 편파 특성을 갖는다. 역바이어스가 가해졌을 경우, PIN 다이오드는 등가적으로 캐패시턴스 0.7 pF을 갖는다. 이 안테나의 -10 dB 대역폭이 5.07 %였다. 순바이어스가 가해졌을 경우, PIN 다이오드는 등가적으로 1.5 옴을 갖게 되어 다이오드를 따라 전류가 흐르게 된다. 그러므로, 전기적으로 정삼각형 패치와 모서리 사이의 갭이 연결되게 된다. 이 때, 다이오드에 흐르는 전류는 15 mA였고, 인가 전압은 0.74 V였다. 이 안테나의 방사 패턴은 안테나 5의 특성과 매우 유사하였고, 측정된 10 dB 대역폭은 3.44 %였다. IE3D를 사용하여 얻은 시뮬레이션 결과와 측정된 결과는 잘 일치하였다. 시

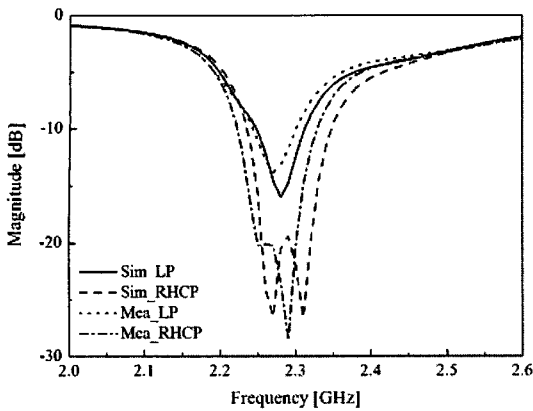


그림 8. 반사 계수의 시뮬레이션 및 측정 결과  
Fig. 8. Simulated and measured return loss for different states of a PIN diode.

시뮬레이션과 측정 결과의 오차는 시뮬레이션에서 고려하지 못한 도체 및 유전체 손실 때문이었다.

다이오드가 on/off일 때 방사 패턴이 측정되었다.

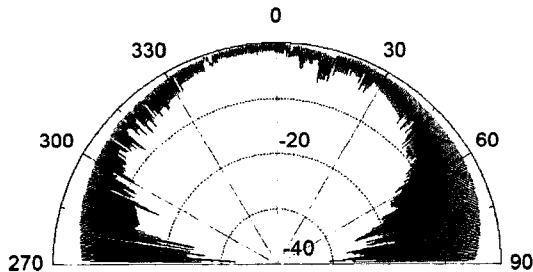


그림 9. RHCP일 때 방사 패턴  
Fig. 9. Measured radiation pattern for RHCP antenna.

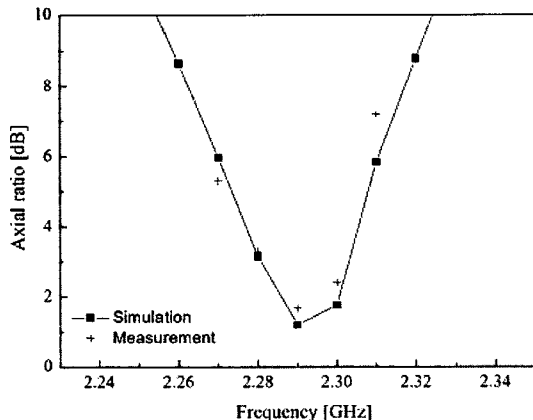


그림 10. RHCP일 때 측정된 축비  
Fig. 10. Measured axial ratio for RHCP antenna.

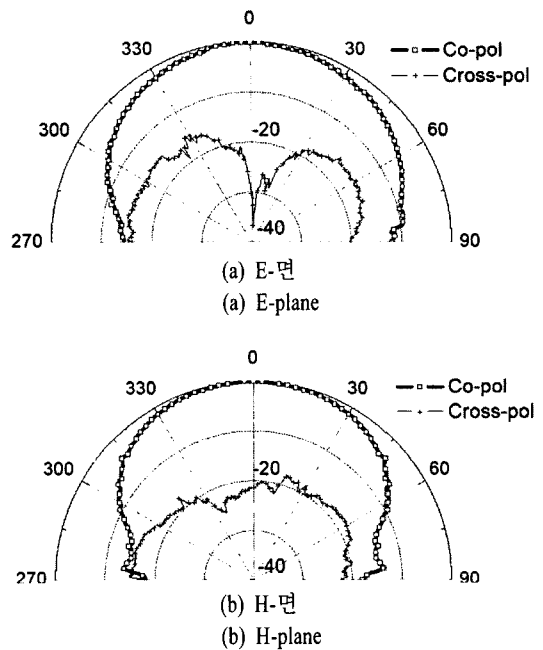


그림 11. 선형 편파일 때 측정된 방사 패턴  
Fig. 11. Measured radiation pattern for LP antenna.

제작한 안테나의 접지면의 크기는 대략적으로  $1.6 \lambda_0 \times 1.6 \lambda_0$ 였다. 오른손 원형 편파 특성을 갖는 안테나의 측정된 방사 패턴이 그림 9에 제시되었다. 측정된 안테나의 이득은 2.1 dBi로 선형 편파 안테나에 비해 0.7 dBi 높았다. 이는 PIN 다이오드의 저장 손실 때문으로 사료된다. 그림 10은 측정된 축비이고, 좋은 원형 편파 특성을 보였다. 측정된 축비 대역폭은 0.98 %였다. 그림 11은 선형 편파 특성을 가질 경우의 방사 패턴을 측정된 결과이다. 선형 편파 특성을 가질 경우 크로스폴이 -15 dB 이하였고, 안테나 이득은 1.4 dBi였다.

## V. 결 론

3개의 정삼각형 모서리를 제거하느냐 마느냐에 따라 다양한 편파 특성을 갖는 정삼각형 마이크로스트립 안테나를 구현하였다. 이러한 결과로부터 편파 변환이 가능한 재구성 안테나로의 응용도 가능하였다. 정삼각형 패치에 적용된 PIN 다이오드의 상태를 조절함에 따라 선형 편파와 오른손 원형 편파 특성을 구현할 수 있었다. 제안한 안테나는 무선 이동 통신 분야에 적용하기에 적절하다고 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] K. C. Gupta, P. S. Hall, *Analysis and Design of Integrated Circuit Antenna Modules*, New York: Wiley, 2000.
- [2] Y. J. Sung, Y. -S. Kim, "Circular polarised microstrip patch antennas for broadband and dual-band operation", *Electron. Lett.*, vol. 40, no. 9, pp. 520-521, Apr. 2004.
- [3] M. K. Fries, M. Grani, and R. Vahldieck, "A reconfigurable slot antenna with switchable polarization", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 13, no. 11, pp. 490-492, Nov. 2003.
- [4] J. R. James, P. S. Hall, and C. Wood, *Microstrip Antenna Theory and Design*, London: Peter Peregrinus, 1981.
- [5] Y. J. Sung, T. U. Jang, and Y. -S. Kim, "Reconfigurable microstrip patch antenna for switchable polarization", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 14, no. 11, pp. 534-536, Nov. 2004.
- [6] Wen-Shyang Chen, Chun-Kun Wu, and Kin-Lu Wong, "Square-ring microstrip antenna with a cross strip for compact circular polarization operation", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 47, no. 10, pp. 1566-1568, Oct. 1999.
- [7] C. -L. Tang, J. -H. Lu, and K. -L. Wong, "Circularly polarized equilateral-triangular microstrip antenna with truncated tip", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 13, pp. 1277-1278, Jun. 1998.
- [8] Jieh-Sen Kuo, Gui-Bin Hsieh, "Gain enhancement of a circularly polarized equilateral-triangular microstrip antenna with a slotted ground plane", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 51, no. 7, pp. 1652-1655, Jul. 2003.
- [9] F. Yang, Y. Rahmat-Samii, "A reconfigurable patch antenna using switchable slots for circular polarization diversity", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 12, no. 3, pp. 96-98, Mar. 2002.
- [10] Y. J. Sung, "A switchable microstrip patch antenna for dual frequency operation", *ETRI Journal*, vol. 30, no. 4, pp. 603-605, Aug. 2008.

## 성 영 제



2000년 2월: 고려대학교 전기전자  
전파공학부 (공학사)

2002년 2월: 고려대학교 전파공학  
과 (공학석사)

2005년 2월: 고려대학교 전파공학  
과 (공학박사)

2005년 3월~2007년 2월: 삼성전자  
무선사업부 안테나개발팀 선임연구원

2007년 3월~2008년 2월: 삼성전자 무선사업부 안테나개발팀  
책임연구원

2008년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 전임강사

[주 관심분야] Reconfigurable Antenna, Circular Polarization  
Antenna, Dual-Mode Filter, Cell-Phone Antenna