

# CRLH 전송 선로 구조를 이용한 $-1$ 모드 원형 편파 패치 안테나

## $-1$ Mode Circularly Polarized Patch Antenna Using CRLH Transmission Line

고 승 태 · 박 병 철 · 이 정 해

Seung-Tae Ko · Byung-Chul Park · Jeong-Hae Lee

### 요 약

본 논문에서는 composit right-left handed(CRLH) 전송 선로에서 발생하는  $-1$  모드를 이용하여 단일 급전을 갖는 소형 원형 편파 메타 물질 안테나를 제안한다.  $-1$  모드는 일반적인 패치 안테나의 기본 모드인  $+1$  모드와 같은 성질을 가지고 있기 때문에, 원형 편파의 동작 원리를 동일하게 적용할 수 있다. 따라서 서로 수직하는 편파와  $90^\circ$ 의 위상차를 갖는 두 개의  $-1$  모드들을 이용하여 원형 편파 특성을 갖는 메타 물질 안테나의 설계가 가능하다. 두 개의  $-1$  모드를 얻기 위해서 삼각형의 형태를 갖는 4개의 버섯 구조를 이용하였고, 모드 간에  $90^\circ$ 의 위상차를 인가하기 위해서 삽입된 inter-digital gap의 크기를 최적화 하였다. 추가적으로 임피던스 매칭을 위해 coupled-fed 급전 구조를 사용하였다. 제안된 안테나의 4개로 배열된 버섯 구조의 면적은  $0.161 \lambda_0 \times 0.161 \lambda_0$ 이며, RT/duroid5880 기판에 설계되었다. 제작된 안테나의 중심 주파수는 2.845 GHz로 측정되었고, 2.830 GHz부터 2.850 GHz까지 동작하는 것을 확인하였다. 또한, 2.842 GHz부터 2.847 GHz까지 원형 편파의 특성이 확인되었고, 방사 효율은 46 %로 측정되었다.

### Abstract

In this paper, a compact circularly polarized metamaterial patch antenna using the  $-1$  mode that is induced by the composit right-left handed(CRLH) transmission line is proposed. Basically, since the  $-1$  mode is the same properties with the  $+1$  mode of the conventional patch antenna, the circular polarization(CP) is realized. If two orthogonal  $-1$  modes are excited with  $90^\circ$  phase difference, the CP property can be obtained. In order to obtain two orthogonal modes and  $90^\circ$  phase difference, 4 mushroom structures having the shape of triangle are employed and the inter-digital gaps are optimized, respectively. The fabricated antenna is based on RT/duroid5880 substrate and the total area of the 4 mushrooms is  $0.161 \lambda_0 \times 0.161 \lambda_0$ . It is confirmed that the center frequency of the proposed antenna is measured as 2.845 GHz and it operates from 2.830 GHz to 2.850 GHz. In addition, the antenna maintains the CP property from 2.842 GHz to 2.847 GHz at the peak gain and the measured radiation efficiency is 46 %.

Key words : Metamaterial, Composit Right-Left Handed(CRLH),  $-1$  Mode, Circular Polarization(CP)

「이 연구는 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0013273).

홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)

· Manuscript received May 25, 2012 ; Revised August 17, 2012 ; Accepted August 27, 2012. (ID No. 20120525-06S)

· Corresponding Author : Jeong-Hae Lee (e-mail : jeonglee@hongik.ac.kr)

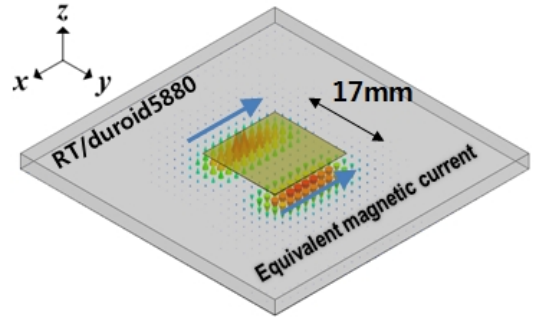
## I. 서론

원형 편파 패치 안테나는 그 특성상 송수신 간에 통신조건을 자유롭게 하는 장점을 가지고 있기 때문에 GPS, 위성통신, 휴대용 기기 등의 다양한 무선통신 시스템에 널리 사용되고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 일반적으로 원형 편파 패치 안테나는 반파장 모드인 +1 모드로 동작하며, 다양한 방법들을 적용하여 원형 편파 특성을 구현할 수 있다. 특히 단일 급전이 요구될 경우에는 nearly square 패치, 슬릿이 삽입된 square 패치, 그리고 대각선 양 끝을 예리한 trimmed square 패치를 이용한 방법들이 대표적이다<sup>[3]</sup>. 이 안테나들은 수직하는 편파를 갖는 두 개의 +1 모드가 발생되고, 두 개의 모드의 공진 주파수 사이에 90°의 위상차가 발생하게 되어 원형 편파로 동작하게 된다.

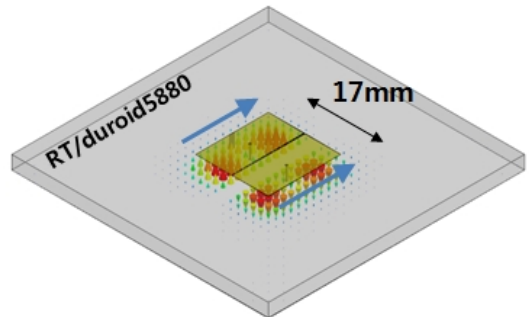
본 논문에서는 이러한 +1 모드에서 동작하는 원형 편파 안테나의 동작 원리를 -1 모드에 동일하게 적용하였다. 메타 물질 전송 선로 중 하나인 composit right-left handed(CRLH) 전송 선로는 음수 모드의 공진을 발생시키고, 특히 그 중 -1 모드는 +1 모드와 동일한 전계 분포, 방사 형태, 편파 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 성질을 이용하면 -1 모드로 동작하는 원형 편파 메타 물질 안테나를 설계할 수 있다. 먼저 -1 모드가 갖는 성질을 +1 모드와 비교하였고, 두 개의 수직하는 -1 모드를 얻기 위해 안테나 구조를 제안하였다. 또한, 두 모드 간에 90° 위상차를 주기 위해 inter-digital 갭에 따른 모드의 변화를 확인하였다. 마지막으로 최적화된 안테나를 제작하여 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 비교하여 원형 편파 특성을 검증하였다.

## II. -1 모드의 특성

CRLH 전송 선로는 오른손 법칙과 왼손 법칙을 특성을 동시에 가지고 있는 전송 선로로 비아와 갭으로 이루어진 버섯 구조를 주기적으로 나열하여 구현될 수 있다<sup>[4],[5]</sup>. 따라서 단위 버섯 구조를 분산 곡선으로 나타내면 전파상수가 음의 값을 갖는 영역이 발생하게 된다. 특히 버섯 구조가 2개 나열되었을 경우, 식 (1)에 의해  $\beta d = 90^\circ$ 에서 -1 모드가 발생한다<sup>[6]</sup>.



(a) 패치 안테나의 +1 모드  
(a) +1 mode of the patch antenna



(b) 메타 물질 안테나의 -1 모드  
(b) -1 mode of the metamaterial antenna

그림 1. 안테나의 공진 모드  
Fig. 1. Resonance mode of the antennas.

$$\beta d = \frac{n\pi}{N}, \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm (N-1)) \quad (1)$$

여기서  $N$ 은 단위 구조의 개수이며,  $d$ 와  $n$ 은 각각 버섯 구조의 길이와 발생하는 모드이다.

그림 1은 +1 모드로 동작하는 일반적인 패치 안테나와 -1 모드로 동작하는 2개의 버섯 구조로 설계된 메타 물질 안테나를 나타낸 것이다. 사용된 기판은 RT/duroid5880( $\epsilon_r = 2.2$ ,  $h = 3.175$  mm)이고, 안테나의 총 길이는 동일하게 설정하였다. 그림 1(a)에서 볼 수 있듯이 일반적인 패치 안테나의 경우, +1 모드에서 반파장의 전계가 패치 길이에 걸쳐서 분포되어 있고, 패치의 중앙을 기준으로 전계의 방향이 반대로 분포되어 있다. 또한, 패치의 양끝에서 전계는 최대값을 가지게 되어 그림 1(a)와 같이 동일한 방향으로 흐르는 등가 자계 전류를 표현할 수 있다<sup>[3]</sup>. 그림 1(b)에서 메타 물질 안테나의 -1 모드 역시 +1 모드의 반파장과 유사한 전계가 분포됨을 볼 수 있다. 버섯

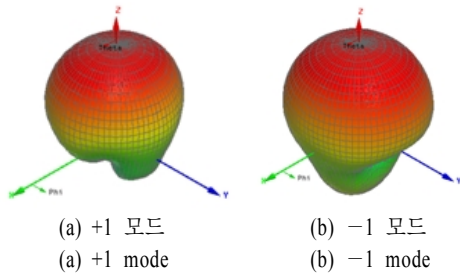


그림 2. Far-field 방사 패턴  
Fig. 2. Far-field radiation pattern.

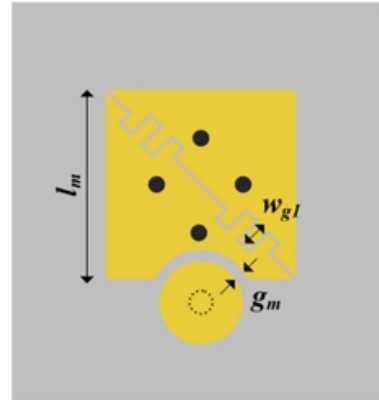
구조 사이의 갭을 기준으로 양쪽에 반대 방향의 전계가 분포되어 있고, 따라서 등가 자계 전류 역시 버섯 구조의 양 끝에서 동일한 방향으로 흐르게 된다. 결과적으로 전계 분포와 등가 자계 전류를 통해 두 모드가 동일한 성질을 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 2는 두 안테나의 각 공진 모드에서 far-field 방사 패턴을 나타낸 것이다. 그림 2(a)에서 볼 수 있듯이 +1 모드는 등가 자계 전류에 의해서 z-방향으로 최대로 방사하는 형태를 보여주며, 이때 y 방향의 선형 편파를 가지고 있다. 따라서 전형적인 패치 안테나의 방사 형태를 보여준다. 그림 2(b)는 -1 모드의 방사 패턴이고, +1 모드와 동일한 방사 형태가 확인된다. 또한, 편파 역시 +1 모드와 동일한 것을 확인하였다. 결과적으로 방사 패턴 역시 두 모드가 동일한 것을 알 수 있다. 하지만 위와 같은 구조에서 두 모드의 공진 주파수는 각각 5.05 GHz와 2.14 GHz로 동일한 안테나 면적을 가짐에도 불구하고, -1 모드가 +1 모드와 비교하여 더 낮은 주파수에서 동작하게 된다. 결과적으로 -1 모드를 이용하면 +1 모드와 동일한 특성을 가지면서 소형화된 안테나를 설계하는데 유리하다.

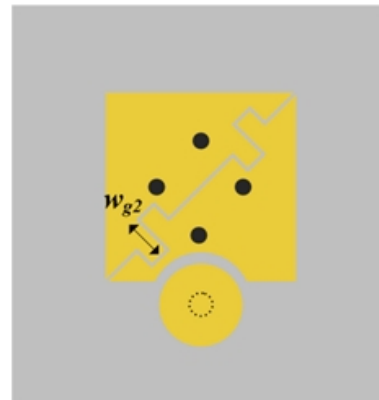
위의 결과를 간단히 정리하면 +1 모드와 동일한 성질을 갖는 -1 모드를 이용하여 기존의 원형 편파 안테나의 기술을 -1 모드에서도 동일하게 적용할 수 있다. 또한, -1 모드는 상대적으로 낮은 공진 주파수를 가지고 있기 때문에 소형화된 안테나의 설계가 가능하다.

### III. -1 Mode 메타 물질 안테나

앞선 장에서는 -1 모드의 특성을 +1 모드와 비



(a) -1 모드 안테나(오른쪽 대각선 편파)  
(a) -1 mode antenna with the right-side diagonal polarization (RSDP)

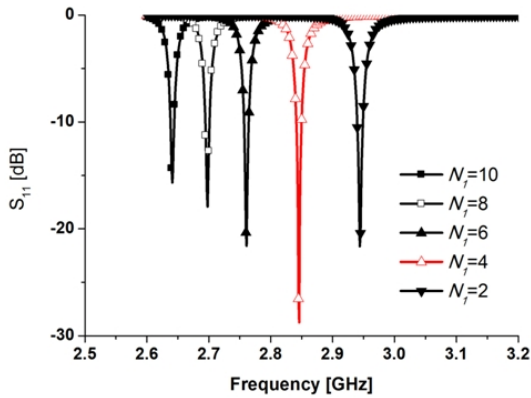


(b) -1 모드 안테나(왼쪽 대각선 편파)  
(b) -1 mode antenna with the left-side diagonal polarization (LSDP)

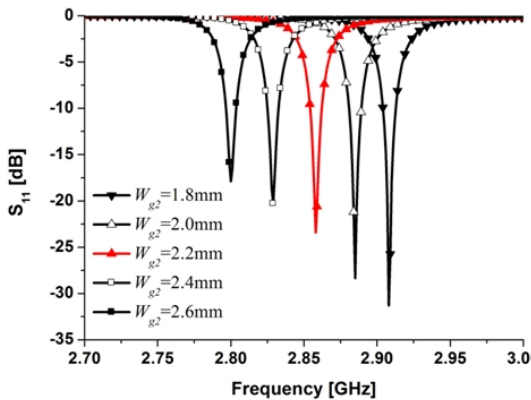
그림 3. -1 모드 안테나들  
Fig. 3. -1 mode antennas.

교하여 원형 편파 안테나로 설계할 수 있는 가능성을 확인하였다. 이를 달성하기 위해서는 다음과 같은 두 가지 조건이 만족되어야 한다. 첫째, 직교하는 편파를 갖는 두 개의 -1 모드를 발생시켜야 하고, 둘째, 이 두 개의 -1 모드 간에 90°위상차를 주어야 한다. 이는 +1 모드로 동작하는 원형 편파 안테나를 설계할 때 동일하게 요구되는 조건이다. 따라서 먼저 하나의 -1 모드만 갖는 안테나 두 개를 설계하고, 이 두 안테나에서 발생하는 -1 모드가 서로 직교하는 편파를 갖도록 구조를 제안하였다.

그림 3은 본 논문에서 제안한 -1 모드 안테나의 구조들이다. 먼저 그림 3(a)는 오른쪽 대각선 방향의



(a) 갭의 finger 개수에 따른 반사 손실  
(a) Return loss vs. the number of finger



(b) 갭의 finger 길이에 따른 반사 손실  
(b) Return loss vs. the number of finger

그림 4. Inter-digital 갭에 따른 반사 손실  
Fig. 4. Return loss vs. the inter-digital gap.

선형 편파를 갖는 -1 모드 안테나이다. 버섯 구조는 삼각형의 패치와 비아로 구성되어 있고, 하나의 -1 모드만 발생되도록 한쪽 대각선 방향으로 inter-digital 갭이 삽입되어 있다. 추가적으로 임피던스 매칭을 위해서 coupled-fed 급전 방식을 이용하였다. 이때 사용된 원형 패치 급전 구조의 반지름은 3.8 mm이며, 접지면의 크기는 60 mm×60 mm으로 설정하였다. 그림 3(b)는 왼쪽 대각선 방향의 선형 편파를 갖는 -1 모드 안테나이다. 안테나 크기와 버섯 구조의 배열은 그림 3(a)와 동일하지만 inter-digital 갭이 반대쪽 대각선 방향으로 삽입되어 있다. 따라서 그림 3(a)와 (b)에서 발생하는 각각의 -1 모드는 서로 직교하는 편파를 가지게 된다. 또한, 삽입된

inter-digital의 finger의 개수( $N_1, N_2$ )와 finger의 길이( $w_{g1}, w_{g2}$ )를 이용하여 각각의 -1 모드의 주파수를 조절함으로써 두 모드 사이에 90° 위상차를 줄 수 있다. 여기서  $N_1$ 은 그림 3(a)의 안테나에 삽입된 갭의 finger의 개수이며,  $N_2$ 는 그림 3(b)의 안테나에 삽입된 갭의 finger 수이다.

그림 4에서 삽입된 갭에 따른 공진 주파수의 변화를 확인할 수 있다. 먼저 그림 4(a)는 finger 개수에 따른 반사 손실을 나타낸 것이다. 이때 적용된 안테나는 그림 3(a)의 안테나이고, 안테나의 다른 파라미터들은  $l_m=17$  mm,  $g_m=0.3$  mm,  $w_{g1}=1.5$  mm이다. 그림 4(a)에서 finger의 수가 늘어날수록 -1 모드의 공진 주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 갭에 의해 직렬 커패시턴스 성분이 증가하는 것으로 CRLH 전송 선로의 등가회로에서도 동일한 현상을 확인할 수 있다<sup>6)</sup>. 그림 4(b)는 갭의 finger 길이에 따른 반사 손실을 나타낸 것으로, 이때 적용된 안테나는 그림 3(b)의 안테나이고  $N_2=2$ 이다. 마찬가지로 finger의 길이가 증가할수록 직렬 커패시턴스 성분이 증가하여 공진주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다. 결과적으로 삽입된 inter-digital의 갭들을 이용하여 각각의 -1 모드의 주파수를 독립적으로 조절할 수 있다.

그림 5는 제안된 안테나의 단위 구조에 대한 분산 곡선을 나타낸 것이다. 이때 단위 구조가 갖는 갭의 finger 수는 4개이고, finger의 길이는 1.5 mm이다. 실제로 삼각형의 버섯 구조와 inter-digital 갭은 시뮬레이션을 통해 분산 특성을 확인할 수 없기 때문에, 이

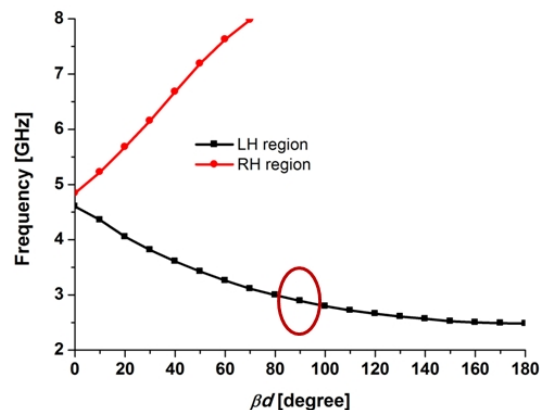
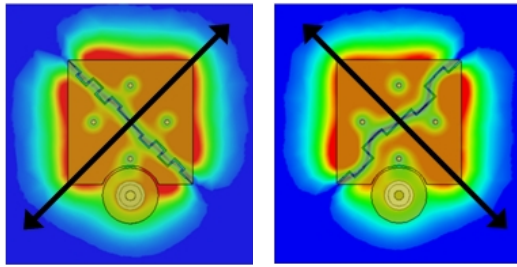


그림 5. 단위 구조의 분산 곡선  
Fig. 5. Dispersion curve of the unit-cell.



(a) 그림 3(a) 안테나 (b) 그림 3(b) 안테나  
 (a) Antenna in Fig. 3(a) (b) Antenna in Fig. 3(a).

그림 6. 각 안테나의 -1 모드 전계 분포  
 Fig. 6. Electric-field of -1 modes for the antennas.

구조를 등가적으로 사각형의 버섯 구조와 직선 갭으로 변형하여 분산 곡선을 추출하였다<sup>[7]</sup>. 시뮬레이션 결과, 제안된 단위 구조는 2.890 GHz에서 -1 모드가 발생됨을 알 수 있다. 또한, 그림 4의 반사 손실 결과와 비교를 통해 발생된 모드들이 -1 모드에 해당되는 것을 확인하였다.

그림 6은 그림 3의 안테나들이 갖는 -1 모드의 전계 분포를 나타낸 것이다. 표 1에 각 안테나에 삽입된 inter-digital 갭의 파라미터들을 정리하였다. 그림 6(a)에서 갭을 기준으로 전계가 반파장의 형태로 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 안테나에서 방사되는 전력은 오른쪽 대각선의 방향으로 편파를 가지게 된다. 반면에 그림 6(b)에서 볼 수 있듯이 그림 3(b)의 안테나는 갭의 방향에 의해서 90° 회전된 반파장의 전계 분포를 가지고 있다. 따라서 인가된 전력은 왼쪽 대각선 방향의 편파로 방사하게 된다. 결과적으로 두 안테나는 서로 수직하는 편파로 방사하게 된다.

그림 7은 두 안테나의 각각의  $S_{11}$ 을 이용하여 두 -1 모드의 위상차를 나타낸 것이다. 이때 위상차  $|\Delta\phi|$ 는 식 (2)를 이용하여 계산할 수 있다.

$$|\Delta\phi| = |S_{11(RSDP)}(\text{deg}) - S_{11(LSDP)}(\text{deg})| \quad (2)$$

표 1. 각 안테나에 대한 inter-digital 갭 크기  
 Table 1. Size of the inter-digital gap for the each antenna.

$N_1$	$w_{g1}$ [mm]	$N_2$	$w_{g2}$ [mm]
4	1.5	2	2.2

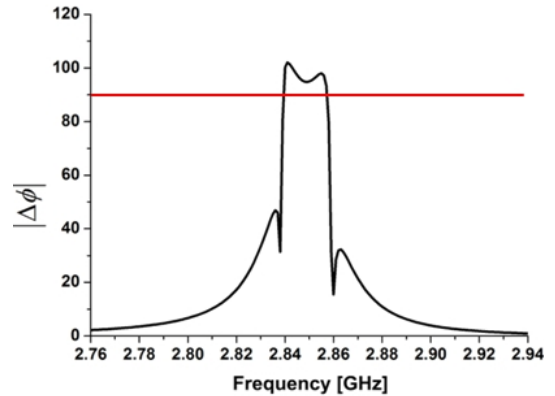


그림 7. 안테나 간의 위상차  
 Fig. 7. Phase difference between the antennas.

여기서  $S_{11(RSDP)}$ 와  $S_{11(LSDP)}$ 는 각각 그림 3(a)와 그림 3(b)의 안테나에 대한  $S_{11}$ 이다. 그림 7에서 2.84 GHz부터 2.86 GHz 사이에 두 안테나의 -1 모드가 90°에 근접한 위상차를 갖는 것을 볼 수 있다. 또한, 두 모드에서 발생하는 전계 분포의 최대값의 차이는 0.1 dB로 확인되었다. 결과적으로 두 모드가 동시에 발생되었을 경우 원형 편파로 동작하는 것을 예상할 수 있다.

#### IV. -1 Mode 원형 편파 메타 물질 안테나

그림 8은 본 논문에서 최종적으로 제안하는 안테나 구조이다. 기본적으로 먼저 제안된 그림 3(a)의 안테나와 그림 3(b)의 안테나가 결합된 구조를 가지고 있다. 제안된 안테나는 양쪽 대각선 모두 inter-digital 갭이 삽입되어 있기 때문에, 하나의 급전임에

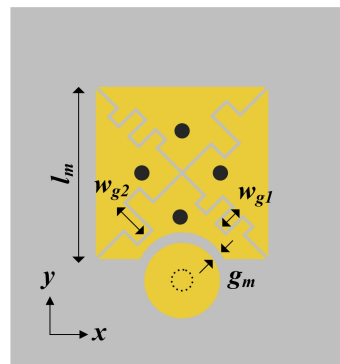


그림 8. -1 모드 원형 편파 안테나  
 Fig. 8. -1 mode CP antenna.

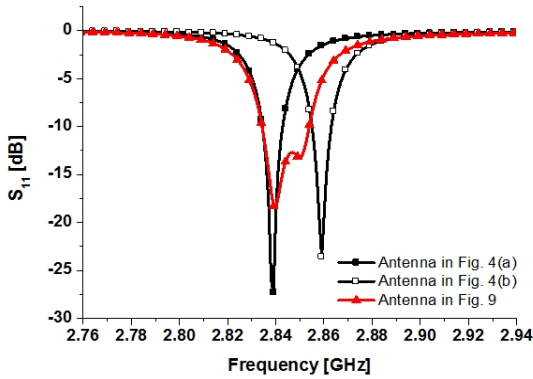


그림 9. 시뮬레이션 된 반사 손실  
Fig. 9. Simulated return loss.

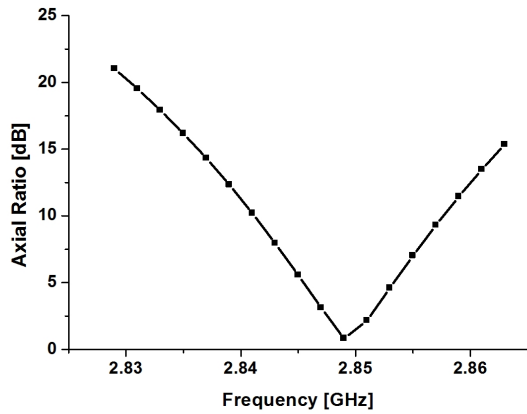


그림 10. 시뮬레이션 된 축비  
Fig. 10. Simulated axial ratio.

도 불구하고 두 개의 수직하는 -1 모드가 동시에 발생된다. 최적화된 안테나의 파라미터들은 그림 3의 안테나와 동일하며, 각각의 갭은 표 1에서 제시한 수치와 같다. 제안된 안테나는 높이가 3.175 mm 인 RT/duroid5880( $\epsilon_r=2.2$ ) 기판에 설계되었다.

그림 9는 제안된 안테나의 반사 손실을 그림 3(a)와 (b)의 안테나의 반사 손실과 비교한 것이다. 그림 3(a)와 (b)의 안테나에서 발생하는 -1 모드들은 각각 2.84 GHz와 2.86 GHz의 공진 주파수를 가지고 있고, 그림 8의 안테나는 두 개의 고유한 공진들이 합쳐져서 동작하는 것을 알 수 있다. 그림 10은 제안된 안테나의 z-방향 축비를 나타낸 것이다. 중심 주파수 2.849 GHz에서 0.82 dB의 축비가 확인되고, 2.845 GHz부터 2.851 GHz 사이에 원형 편파의 특성을 보여준다. 그림 11은 중심 주파수인 2.849 GHz에서 나

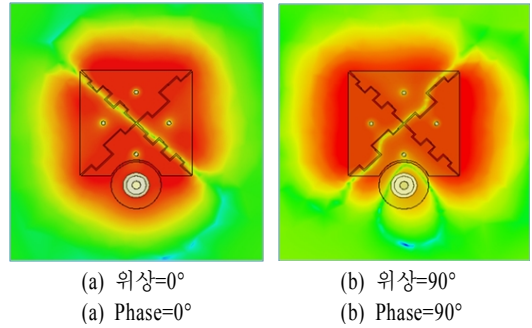


그림 11. 제안된 안테나의 전기 분포  
Fig. 11. Electric-field of the proposed antenna.

타낸 전기 분포이다. 위상이 0°일 때는 그림 6(a)와 동일한 전기 분포와 편파 방향을 보여준다. 반면에 위상이 90°일 때는 그림 6(b)와 동일한 전기 분포와 편파 방향을 가지고 있다. 결과적으로 중심 주파수에서 직교하는 편파인 두 모드가 90°의 위상차로 발생하여 원형 편파로 동작하는 것을 알 수 있다.

### V. 측정 결과

제작된 안테나를 그림 12에 나타내었다. 최적화된 안테나의 구조와 동일하고, coupled-fed 급전에 50 Ω coaxial 커넥터가 연결되어 있다. 그림 13에 제작된 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 측정 결과에서도 역시 두 개의 공진이 합쳐진 것을 확인할 수 있고, 시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 측정 결과에서 중심 주파수는 2.845 GHz이고, 이는 시뮬레이션 결과에 비해 0.004 GHz 차이를 보여준다. 그림 14는 z-방향을 기준으로 측정된 축비를 나타낸



그림 12. 제작된 안테나  
Fig. 12. Fabricated antenna.

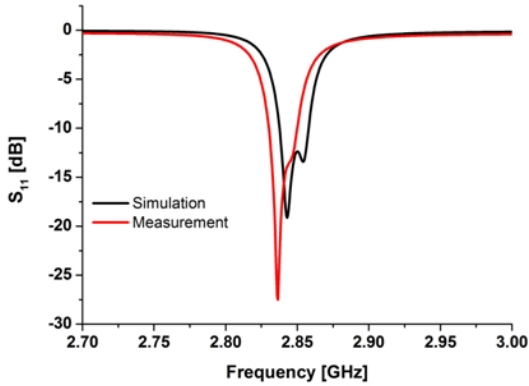


그림 13. 측정된 반사 손실  
Fig. 13. Measured return loss.

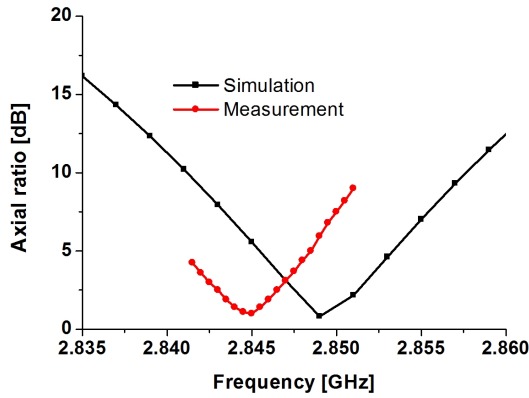
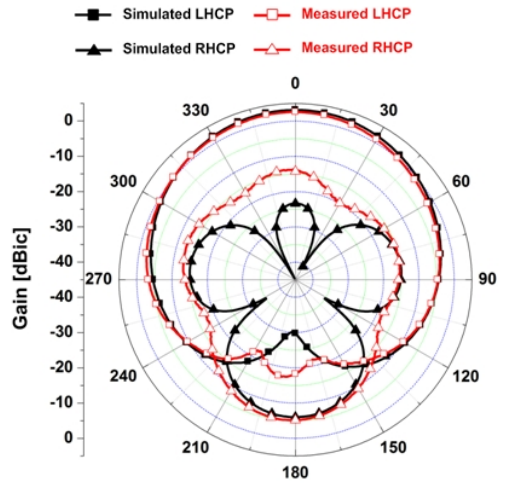


그림 14. 측정된 축비  
Fig. 14. Measured axial ratio.

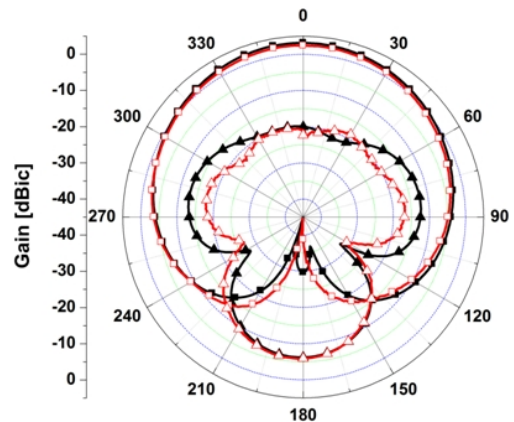
것으로 중심 주파수에서 1.0 dB로 측정되었다. 또한, 2.842 GHz부터 2.847 GHz까지 원형 편파로 동작하는 것을 확인하였다.

그림 15는 중심 주파수에서 방사 패턴을 나타낸 것이다. 제안된 안테나는 left-hand circular polarization(LHCP)로 동작하는 것을 알 수 있고, +1 모드로 동작하는 안테나와 동일한 방사 패턴을 보여준다. 따라서 최대 이득은 2.52 dBic로 측정되었고, 이때 right-hand circular polarization(RHCP)와 18 dB 이상 차이를 보여준다. 결과적으로 두 평면에서 측정된 결과가 시뮬레이션 결과와 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 마지막으로 3D 패턴 측정 방법으로 확인된 방사 효율은 46 %로 확인되었다.

## VI. 결 론



(a) y-z 평면  
(a) y-z plane



(b) x-z 평면  
(b) x-z plane

그림 15. 측정된 방사 패턴  
Fig. 15. Measured radiation pattern.

본 논문에서는 -1 모드로 동작하는 소형 원형 편파 메타물질 패치 안테나를 제안하였다. 첫째로 -1 모드의 특성을 +1 모드와 비교하여 원형 편파 안테나로 설계할 수 있는 가능성을 확인하였다. 따라서 4개의 버섯 구조와 삽입된 inter-digital 갭을 조절하여 수직하는 두 개의 -1 모드가 발생하도록 구조를 제안하였고, 그 모드들 간에 90°의 위상차를 갖도록 하였다. 측정 결과 제작된 안테나는 2.845 GHz에서 1.0 dB의 축비를 가지고 있고, 2.842 GHz부터 2.847 GHz까지 원형 편파로 동작하는 것을 확인하였다. 마지막으로 측정된 방사 효율은 46 %이며, 시뮬레이

선 결과와 잘 일치하는 것을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] P. C. Sharma, K. C. Gupta, "Analysis and optimized design of single feed circularly polarized microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 31, pp. 945-955, Nov. 1983.
- [2] D. M. Pozar, S. M. Duffy, "A dual-band circularly polarized aperture-coupled stacked microstrip antenna for global positioning satellite", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 45, pp. 1618-1625, Nov. 1997.
- [3] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Ed*, New York: Wiley, 2005.
- [4] G. V. Eleftheriades, A. K. Iyer, and P. C. Kremer, "Planar negative refractive index media using periodically L-C loaded transmission lines", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 50, no. 12, pp. 2702-2712, Dec. 2002.
- [5] C. Caloz, A. Sanada, and T. Itoh, "A novel composite right-/left-handed coupled-line directional coupler with arbitrary coupling level and broad bandwidth", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 52, pp. 980-992, Mar. 2004.
- [6] Jae-Hyun Park, Young-Ho Ryu, Jae-Gon Lee, and Jeong-Hae Lee, "Epsilon negative zeroth-order resonator antenna", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 12, pp. 3710-3712, Dec. 2007.
- [7] Byung-Chul Park, Jeong-Hae Lee, "Dual-band omnidirectional circularly polarized antenna using zeroth- and first-order modes", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 11, pp. 407-410, Apr. 2012.

### 고 승 태



2006년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2009년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)  
 2009년 3월~현재: 홍익대학교 전자통신공학과 박사 과정  
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로설계, Metamaterial 안테나 설계

### 이 정 해



1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)  
 1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)  
 1996년 3월 UCLA 전기공학과 (공학박사)  
 1993년 3월~1996년 2월: General Atomics 교환연구원  
 1996년 3월~1996년 8월: UCLA 전기공학과 Postdoctor  
 1996년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수  
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 소자, 안테나, Metamaterial RF 소자, 무선전력 전송

### 박 병 철



2008년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)  
 2010년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)  
 2010년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로설계, Metamaterial 안테나, 무선전력전송