

# 폴디드 구조를 이용한 마이크로스트립 안테나의 소형화

## Miniaturization of Microstrip Antenna Using the Folded Structure

허희무 · 장연정 · 우종명

Hee-Moo Heo · Yon-Jeong Jang · Jong-Myung Woo

### 요약

본 논문에서는 GPS 중심 주파수 1.575 GHz에서 마이크로스트립 안테나의 공진 길이 방향 양 끝을 접거나 또는 네 방향 끝을 패치 아래로 모두 접어들이는 방법으로 선형 편파와 원형 편파 마이크로스트립 안테나의 소형화시키는 방법을 제시하고 설계, 제작하였다. 먼저 선형 편파의 경우, 마이크로스트립 안테나를 수직으로 내린 구조로써 안테나의 가시 길이를 31.7 % ( $\epsilon_r=1.06$ ) 단축시켰으며, 이러한 접혀진 상태의 안테나를 다시 한 번 안테나의 중심방향으로 접어 넣는 구조로 선형 편파 마이크로스트립 안테나를 구현하였다. 그 결과 안테나의 가시 길이 단축율은 73.6 %이었으며 이득은 5.12 dB를 얻었다. -10 dB bandwidth는 64 MHz(4 %)이고, E-plane과 H-plane의 HPBW는 각각 151°, 79.2°이었다. 또한 원형 편파의 경우, 네 방향 모두 선형 편파 안테나의 폴디드 구조를 적용시켰으며 접혀 놓어진 밑면의 면적 활용도를 높이기 위해 삼각형 구조로 설계하였다. 이때 안테나의 가시 면적 축소율은 72.5 %이었으며, 이득은 3.96 dB이었다. -10 dB bandwidth는 84 MHz(5.3 %), E-plane과 H-plane의 HPBW는 각각 80.6°과 82.1°이었다. 이 결과들로부터, 선형 편파와 원형 편파의 폴디드 마이크로스트립 안테나가 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나의 특성을 유지하면서 소형화되었기 때문에 본 논문에서 제안된 구조가 소형화에 적합함을 확인할 수 있었다.

### Abstract

In this paper, the miniaturized the linear polarization and the circular polarization microstrip antennas, which are the two ends in the resonance length direction or all the four-ends were folded are designed and fabricated at the resonant frequency of 1.575 GHz(for GPS system). For the linear polarization microstrip antenna, the antenna was bent downward so that the visible length(=L) was reduced by 31.7 % ( $\epsilon_r=1.06$ ). The folded antenna was folded toward the center of the antenna once again. In this case, the visible length reduction rate, gain, -10 dB bandwidth, E-plane and H-plane HPBW were 73.9 %, 5.12 dB, 64 MHz(4 %), 151° and 79.2°, respectively. For the circular polarization microstrip antenna, the folded structure of the linear polarization antenna was applied to all the four directions. For the most efficiency the folded bottom surfaces were designed in a triangular shape. In this case, the visible area reduction rate, gain, -10 dB bandwidth, and HPBW in horizontal polarization of the z-x plane and the z-y plane were 71.5%, 3.96 dB, 84 MHz(5.3 %), 80.6° and 82.1°, respectively. Therefore, we have confirmed that the folded structure is suitable for the miniaturization of the microstrip antenna.

Key words : Microstrip Antenna, Folded, Miniaturization, Circular Polarization

### I. 서론

최근 무선기기들의 소형화 추세에 따라 안테나의 소형화에 대한 요구가 점점 증가되고 있다. 마이크

「본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R01-2003-000-10880-0) 지원으로 수행되었음.」

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20050321-035

· 수정완료일자 : 2005년 5월 16일

로스트립 패치 안테나(Microstrip Patch Antenna, 이하 MPA라 칭함)는 경량, 저부피, 저자세 등의 특성으로 널리 이용되고 있다<sup>[1]</sup>. 안테나의 소형화를 위해 고 비유전율(20~50)의 유전체로 사용하는 방법이 있지만 그 방법은 대역폭과 방사효율 등 안테나의 특성이 저하되기 때문에 소형화에는 그 한계가 있어 구조 변형 방법에 의한 소형화가 필요하며 3차원 구조에 의한 소형화 방법이 연구되고 있다<sup>[2]~[9]</sup>. 따라서 본 논문에서는 3차원 구조를 이용하는 소형화 방법 중 폴디드 구조에 의한 소형화 방법에 대해 연구하였다<sup>[9]</sup>. 폴디드 구조는 넓은 범폭<sup>[6]</sup>과, 소형화를 위한  $\lambda/4$  폴디드 마이크로스트립 안테나<sup>[7]</sup>에 대해 연구되어졌다.

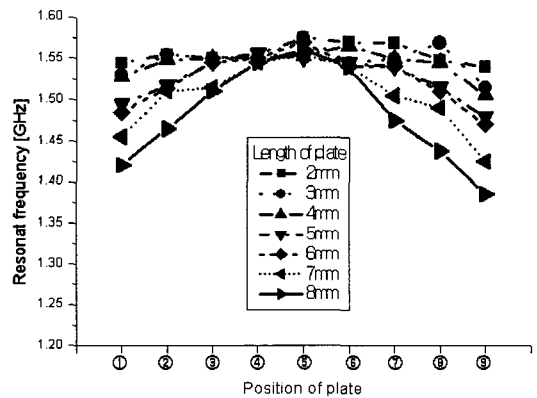
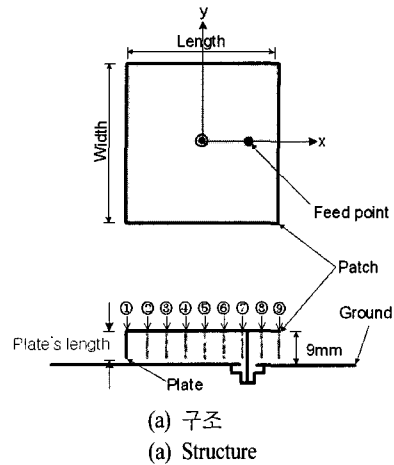
본 논문에서는 유전체로써 비유전율이 공기와 흡사한 1.06인 foam을 사용하여  $\lambda/2$  폴디드 구조의 마이크로스트립으로써 소형화 특성을 얻었다. 먼저, MPA의 길이 방향의 양 끝을 수직으로 내린 구조로 설계, 제작한 다음, 접혀진 안테나를 다시 한번 안테나의 중심방향으로 접어 넣는 구조로 선형 편파 마이크로스트립 안테나(LPFMA: Linear Polarization Folded Microstrip Antenna)를 구현하였다. 또한 원형 편파(CPFMA: Circular Polarization Folded Microstrip Antenna)의 경우, 네 방향 모두 선형 편파 안테나의 folded 구조를 적용시켰으며 접혀 넣어진 밑면의 면적 활용도를 높이기 위해 삼각형 구조로 설계, 제작하였다.

## II. 본 론

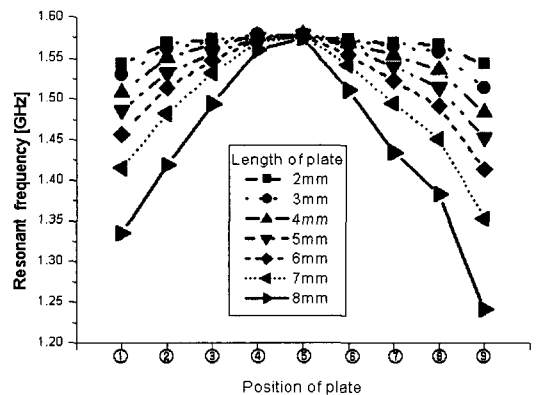
### 2-1 제안된 안테나의 기본 이론

본 절에서는 1.575 GHz에서 설계된 마이크로스트립 안테나의 평면형 패치 밑면에 plate가 부착된 경우의 주파수 변화 특성에 대해 기술하고자 한다. 그림 1에 폴디드 구조를 이용한 마이크로스트립 안테나의 소형화에 대한 기본 특성을 나타내었다. 먼저 기준이 되는 MPA(1.575 GHz, length 80.5 mm×width 90 mm×height 9 mm)의 패치 밑면에 하나의 plate를 부착시켰으며, 부착 위치 및 plate 높이 변화에 따른 공진 주파수 변화 특성을 살펴보았다.

그림 1에 나타낸 바와 같이 plate 부착 위치는 ①번 위치부터 ⑨번 위치까지 패치의 공진 길이 방향



(b) 측정값  
(b) Measurement

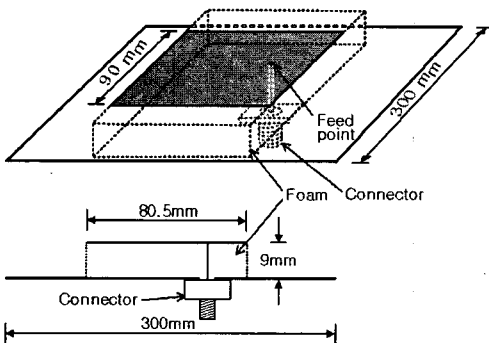


(c) 시뮬레이션<sup>[10]</sup>  
(c) Simulation<sup>[10]</sup>

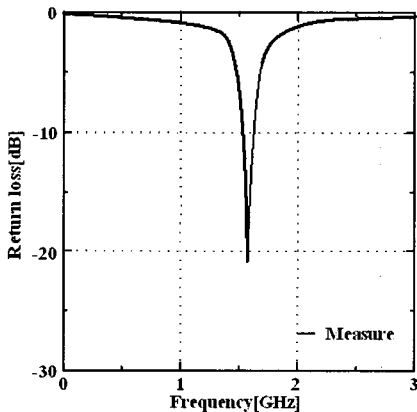
그림 1. 패치 밑면에 부착된 plate 부착 위치(①~⑨) 및 높이 변화에 따른 공진 주파수 변화 특성  
Fig. 1. Variation of resonant frequency for various value of attached position(①~⑨) and length of plate near the patch.

을 따라 평행하게 등간격으로 이동시켰고 각각의 위치에서 plate 높이를 2 mm부터 8 mm까지 1 mm씩 증가시켜가면서 공진주파수 변화를 살펴보았다. 측정 결과, 각 고정된 위치에서는 plate의 길이가 길수록 공진주파수가 계속 저하되었고 높이가 고정된 경우에는 패치의 양끝에 부착되었을 시 공진주파수의 저하율이 크게 나타난 것을 확인하였다. 시뮬레이션<sup>[10]</sup> 결과 역시 같은 경향이 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 패치 밀면의 전류 경로의 증가와 패치 양 끝에서의 perturbation 효과에 의한 결과<sup>[3],[11]</sup>라 사료된다. 이와 같이 plate에 의한 주파수 저하는 동일 공진주파수에서 안테나의 크기를 작게 할 수 있음을 의미한다.

2-2 선형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나



(a) 구조  
(a) Structure

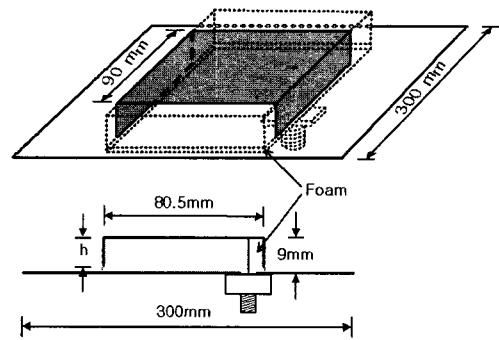


(b) 반사손실( $S_{11}$ )  
(b) Return loss( $S_{11}$ )

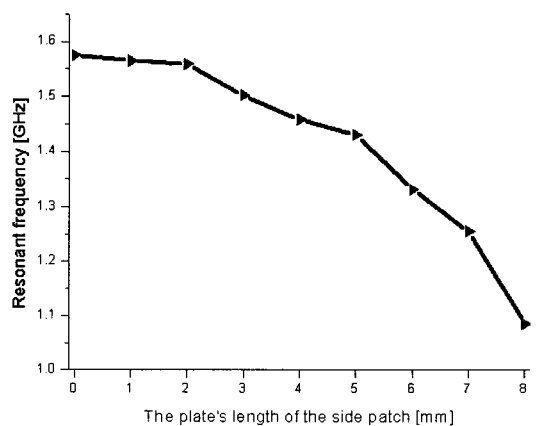
그림 2. 평면형 마이크로스트립 안테나(측정값)  
Fig. 2. Typical microstrip antenna(measurement).

본 논문에서 제안된 폴디드 마이크로스트립 안테나와의 특성 비교를 위해 일반적으로 사용되는 평면형 MPA를 제작하였다. 그림 2의 MPA는 중심주파수 1.575 GHz로 설계되었으며, 유전체는 공기와 유사한 비유전율을 가지는 9 mm 높이의 foam( $\epsilon_r=1.06$ )을 사용하였다. 접지면의 크기는 300 mm×300 mm ( $1.575 \lambda \times 1.575 \lambda$ )로 제한하였으며 급전은 probe 급전을 채택하였다. 이때 패치면의 크기는 길이 80.5 mm×폭 9 mm이었으며 측정 결과 중심주파수(1.575 GHz)에서 반사 손실은 -21 dB로 양호한 임피던스 정합 특성을 얻었으며, -10 dB bandwidth는 87 MHz (5.5 %)이었다.

2-1절의 기본 이론을 바탕으로, 두 개의 plate를 주



(a) 구조  
(a) Structure



(b) 공진주파수 변화  
(b) Variation of resonant frequency

그림 3. 양끝에 부착한 두 개의 plate의 길이(h)에 따른 공진주파수 변화(측정값)

Fig. 3. Variation of resonant frequency by the length of two plates on patch edges(measurement).

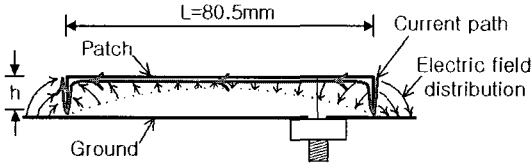


그림 4. Plate 부착에 의한 전류 경로 변화  
Fig. 4. The current path by attached plates.

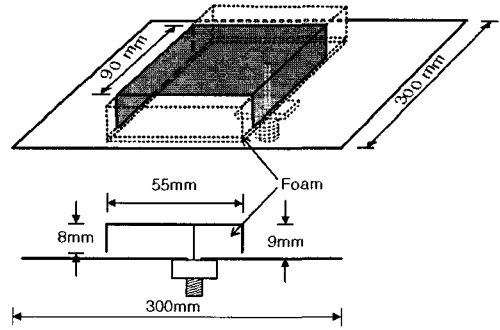
파수 저하율이 가장 큰 패치 양 끝에 위치에 위치시킨 다음 그 길이( $=h$ )를 1 mm에서 8 mm까지 1 mm씩 증가시켜 주파수 변화 추이를 고찰하였다. 그림 3에 나타난 바와 같이 공진주파수는 plate 높이의 증가에 따라 저하되는 특성을 나타내었으며, 1.575 GHz에서 1.085 GHz로 낮아져 490 MHz의 주파수 저하를 보였다. 이는 전류 경로 증가로 인한 공진주파수 하향 특성과 perturbation 효과에 의한 공진주파수 변화 특성의 중첩으로 나타난 결과라 할 수 있다.

이러한 단축은, 그림 4에서 나타난 바와 같이 안테나의 밑면을 따라 흐르는 전류의 경로는 길이가  $h$  인 두 개의 plate로 인해 각각  $2h$ , 총  $4h$  만큼 증가되었으며, 이로 인해 안테나의 가지 길이 단축이 가능해졌다.

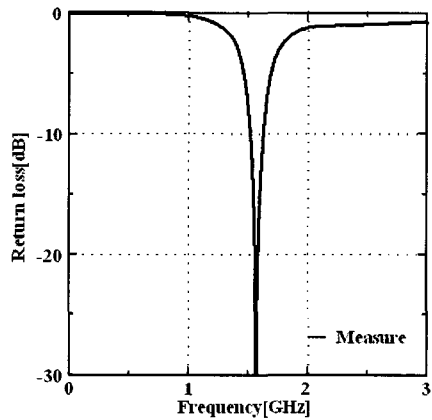
위의 동일한 구조로 하여 1.575 GHz의 중심주파수가 되도록 최적화된 결과, 그림 5에 나타난 바와 같이 안테나의 크기는 길이 55 mm × 폭 90 mm로써 평면형 안테나(길이 80.5 mm × 폭 90 mm)보다 길이 방향으로 25.5 mm가 단축되어 31.7 %의 길이 단축 효과를 얻었다. 이때 반사손실은 -30 dB, -10 dB 대역폭은 108 MHz로 양호한 임피던스 정합 특성을 나타내었다.

보다 더 효과적인 소형화 특성을 얻기 위해 최적화된 안테나의 길이 방향 양 끝을 접어 내린 plate의 아랫단에서부터 중심 방향으로 밑면을 만들었다. 그림 6에 밑면의 길이를 1 mm씩 증가시켰을 때의 구조와 중심주파수 변화 특성을 나타내었다. 밑면과 접지면 사이 간격은 1 mm로 하였고 급전 라인과 밑면이 서로 닿지 않도록 설계하였다.

그림 6에 나타난 바와 같이 밑면 길이 연장에 따라 연속적으로 공진주파수 하향 특성을 얻었으며 밑면의 길이가 각각 27 mm일 때 공진주파수가 715 MHz로 낮아져 860 MHz의 주파수 저하현상을 나타



(a) 구조  
(a) Structure



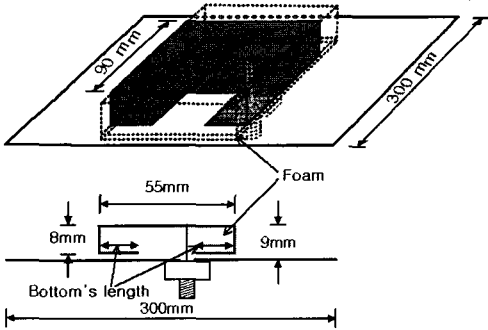
(b) 반사손실( $S_{11}$ )  
(b) Return loss( $S_{11}$ )

그림 5. 최적화된 선형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나(측정값, 1.575 GHz)  
Fig. 5. Optimized linear folded microstrip antenna(measurement, 1.575 GHz).

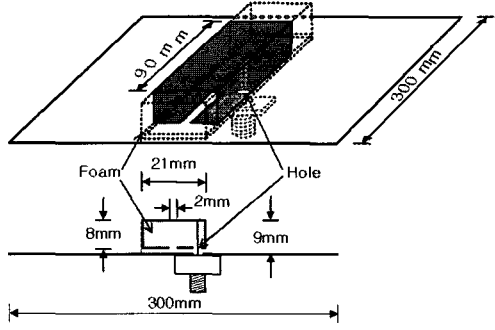
내었다.

이러한 현상도 그림 3과 같은 전류 경로의 증가 현상으로 설명할 수 있다. 이때 전류의 길이는 밑면 길이의 두 배로 작용되며, 밑면의 길이가 27 mm일 때 108 mm( $27 \text{ mm} \times 2 \times 2$ )의 전류 경로 증가 효과를 얻어 54.6 %의 주파수 하향 효과를 얻었다. 그림 7에 밑면 부착에 따른 전류 경로를 나타내었다. 여기서 접지면에 가까운 양쪽 27 mm 길이의 전류 경로는 안테나와 접지면 사이의 높이가 낮아지므로 perturbation 효과도 포함되어 있으리라 판단된다.

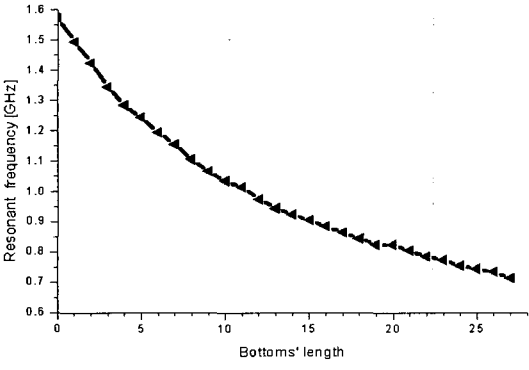
다음은 그림 6과 같은 구조로 1.575 GHz의 중심주파수가 되도록 최적화하여 최종적인 선형 편파 마이크로스트립 안테나를 제작하였으며, 그림 8에 그



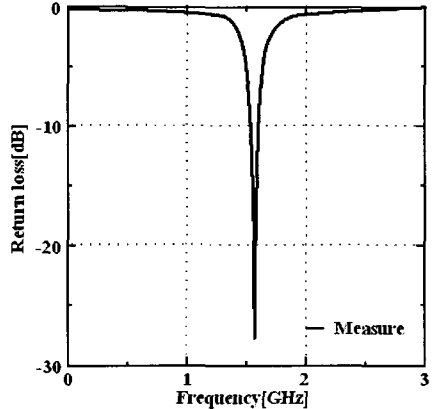
(a) 구조  
(a) Structure



(a) 구조  
(a) Structure



(b) 공진주파수 변화  
(b) Variation of resonant frequency



(b) 반사 손실( $S_{11}$ )  
(b) Return loss( $S_{11}$ )

그림 6. 폴디드 마이크로스트립 안테나의 밑면 길이에 따른 공진주파수 변화

Fig. 6. Variation of resonant frequency by outstretching of bottoms' length(measurement).

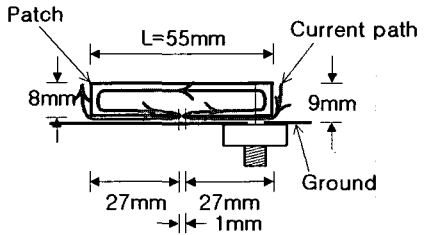
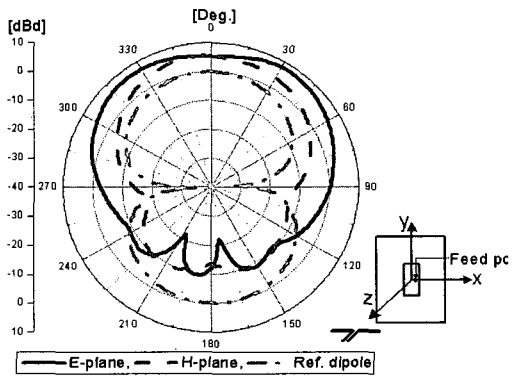


그림 7. 밑면 부착에 따른 전류 경로  
Fig. 7. The current path by attached bottoms.

치수 및 반사 손실, 그리고 방사 패턴을 나타내었다. 최적화 된 안테나의 크기는 길이 21 mm×폭 90 mm로 일반적인 평면형 마이크로스트립 안테나보다 길이 방향으로 73.9 %의 단축율을 나타내었으며 반사 손실은 설계된 1.575 GHz에서 -27.6 dB, -10 dB bandwidth는 64 MHz(4 %)로 나타내었다. 또한 안테



(c) 방사 패턴  
(c) Radiation pattern

그림 8. 선형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나(측정값, 1.575 GHz)

Fig. 8. Linear polarization folded microstrip antenna (measurement, 1.575 GHz).

나의 이득은 5.12 dBd로 측정되었고 HPBW는 E-plane과 H-plane 각각 151°, 79.2°를 나타내었다. 평

면형 안테나보다 E-plane에서 넓은 빔 폭은 안테나의 가시 공진 길이의 단축으로 인해 안테나의 양 개구면의 간격이 좁아짐으로써 나타나는 빔의 광각화 현상에 기인된 결과이다. 한편 E-plane 방사 효율은 일반적인 MPA의 E-plane 방사 패턴과 비교하여 98.98%로 안테나 길이가 소형화 되었음에도 불구하고 양호한 방사효율을 나타내고 있으며 이는 그림 4에 나타난 바와 같이 안테나 양 끝의 plate 외측 클리핑 전류에 의한 방사 개구면 증가 효과에 기인된 것이라 할 수 있다.

### 2.3 원형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나 (CPFMA)

선형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나의 소형화 원리를 이용하여 원형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나를 중심주파수 1.575 GHz에서 설계, 제작하였다. 보다 더 소형화된 안테나를 얻고자, 안테나의 밑면을 네 방향 모두 접기 위해 밑면 모양을 삼각형 모양으로 설계하였다. 그림 9에 CPFMA의 치수 및 반사 손실, 방사 패턴과 축비를 나타내었다. 최적화된 안테나의 크기는 45 mm×40 mm×높이 9 mm

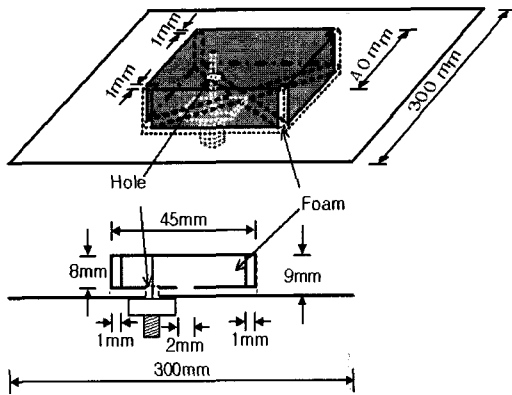
로 평면형 원형 편파 MPA(83 mm×76 mm×height 9 mm)보다 71.5%의 면적 감소율을 나타내었다. 또한 -10 dB bandwidth은 84 MHz(5.3%)로 나타내었고 이득은 3.96 dBd, HPBW는 z-x plane 평행 편파의 경우 80.6°, z-y plane 평행 편파의 경우 82.1°로 평면형의 경우보다 더 넓은 HPBW를 나타내었다. 축비는 설계한 1.575 GHz에서 1.2 dB이고 2 dB 이하 축비 대역폭은 8 MHz로 양호한 원형 편파 안테나의 특성을 얻었다. 앞에서 언급된 평면형 마이크로스트립 안테나와 선형 및 원형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나에 대한 특성을 표 1에 나타내었다.

### III. 결 론

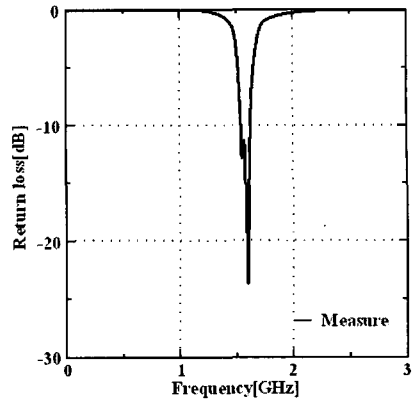
본 논문에서는 구형 MPA(1.575 GHz)의 소형화를 위해 평면형 MPA의 길이 방향 양 끝 또는 네 끝을 접는 3차원적인 구조 변형 방법으로 안테나의 소형화를 이루고자 하였다. 그 결과 선형 편파 안테나는 73.9%의 길이 단축 효과를 얻었고 원형 편파 안테나는 71.5%의 면적 단축율과 축비 1.2 dB 원형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나를 구현하였다. 이로써 본 논문에서 제안된 폴디드 형태의 선형 및 원형

표 1. MPA와 폴디드 마이크로스트립 안테나의 여러 특성  
Table 1. The characteristics of MPA and FMA.

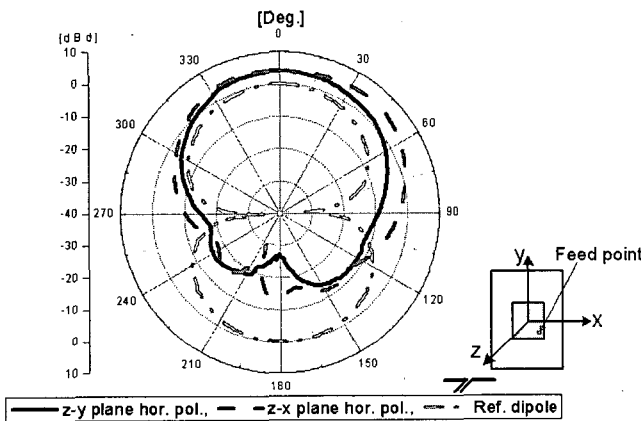
		General MPA		FMA	
		Linear pol.	Circular pol.	LPFMA	CPFMA
Designed frequency		1.575 GHz			
Size[mm <sup>2</sup> ]		80.5×90	83×76	21×90	45×40
Return loss[dB]		-21.1	-10.1	-27.6	-12.1
-10 dB bandwidth [MHz]		87(5.5%)	85(5.4%)	64(4%)	84(5.3%)
Gain [dBd]		8	4.2	5.12	3.96
HPBW[°]	E-plane /z-x plane	E-plane	z-x plane(Hor. pol.)	E-plane	z-x plane(Hor. pol.)
		57.6	56.2	151	80.6
	H-plane /z-y plane	H-plane	z-y plane(Hor. pol.)	H-plane	z-y plane(Hor. pol.)
		67.7	66.2	79.2	82.1
Axial ratio[dB]		-	2.8	-	1.2
2 dB axial ratio bandwidth [MHz]		-	25	-	25
Relative radiation efficiency(%) to the general MPA		Reference to LPFMA(E-plane)	Reference to CPFMA(H-plane)	98.98	109.99



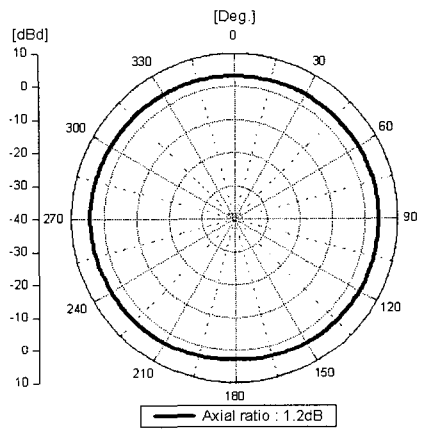
(a) 구조  
(a) Structure



(b) 반사 손실( $S_{11}$ )  
(b) Return loss( $S_{11}$ )



(c) 방사 패턴  
(c) Radiation pattern



(d) 축비(1.575 GHz)  
(d) Axial ratio(1.575 GHz)

그림 9. 원형 편파 폴디드 마이크로스트립 안테나(측정값)  
Fig. 9. Circular polarization folded microstrip antenna(measurement).

편파 마이크로스트립 안테나가 소형화에 적합한 구조임이 확인되었다.

### 참고 문헌

[1] I. J. Bahl, P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, 1982.

[2] S. M. Lee, J. M. Woo, M. R. Ryu, and H. C. Shin, "Corrugated circular microstrip patch antennas for miniaturization", *Electron. Lett.*, vol. 38, no. 6, pp. 262-263, 2002.

[3] M. H. Song, J. M. Woo, "Miniaturization of microstrip patch antenna using perturbation of radiating slot", *Electron. Lett.*, vol. 39, no. 5, pp. 417-419, 2003.

[4] J. S. Seo, J. M. Woo, "A study on the microstrip patch antenna miniaturization using the effects of perturbation and iris", *APMC '03.*, pp. 1233-1236, 2003.

[5] J. M. Lee, J. M. Woo, "Miniaturization of 3-dimensional microstrip patch antenna", *APMC '03.*, pp. 1237-1240, 2003.

[6] K. Fujimori, S. Nogi, and H. Arai, "Bent patch antenna for polarization diversity antenna", *Asia-Pacific Microwave Conference*, pp. 1452-1456, Dec. 2000.

[7] Choon Sae Lee, Young Rock Cha, "Folded microstrip antenna", *Antennas and Propagation Society Symposium, IEEE*, vol. 3, pp. 2404-2407, Jun. 2004.

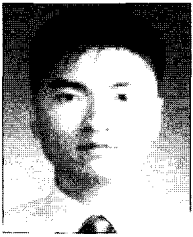
[8] M. M. Laskar, J., "Development and analysis of a folded shorted-patch antenna with reduced size", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 52, no. 2, pp. 555-562, Feb. 2004.

[9] Hee-Moo Heo, Jong-Myung Woo, "Miniaturization of microstrip antenna using folded structure", *ISAP 2004*, pp. 985-988, 2004.

[10] *3D EM Simulation Tools*, CST Microwave Studio Version 4.0.

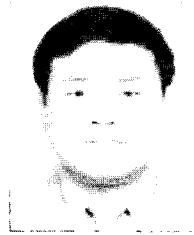
[11] F. H. Roger, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, Wiley-interscience, Chap.7, 2001.

허 희 무



2001년 2월: 충남대학교 전파공학과 (공학사)  
 2004년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나

우 중 명



1985년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)  
 1990년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1993년 3월: 일본, 니혼대학 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 3월: 일본, 니혼대학 전자공학과 (공학박사)  
 1996년 9월~현재: 충남대학교 전파공학과 부교수  
 [주 관심분야] 안테나

장 연 정



2004년 8월: 충남대학교 정보통신공학부 (공학사)  
 2004년 9월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정  
 [주 관심분야] 안테나