

주름 구조를 이용한 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화에 대한 연구

Study for the Size Reduction of Microstrip Patch Antenna using Corrugation

송 무 하 · 우 종 명

Moo-Ha Song · Jong-Myung Woo

요 약

본 논문은 일반적인 평면형 마이크로스트립 패치 안테나의 크기를 줄이고자 1.575 GHz 대역에서 패치면을 입체적 구조인 단방향 선형 주름형, 사각 주름형 및 격자 요철형으로 제안, 설계하였다. 설계 결과, 단방향 선형 주름형은 평면형 구조에 비해 패치의 공진길이가 21.4 % 단축되었으며, -10 dB 반사손실 대역폭은 62 MHz로써 평면형의 39 MHz(2.5 %)에 비해 23 MHz(1.5 %) 증가하였다. 이득은 평면형의 6.7 dBd에 비해 0.9 dB 저하된 5.8 dBd를 나타내었다. 3 dB 빔폭은 공진길이 단축으로 인해 E-면에서만 18° 증가하였다. 사각 주름형의 경우, 패치의 가시적 크기는 평면형에 비해 21.6 %의 면적 축소효과를 얻었다. 격자 요철형의 경우, 먼저 선형편파에 대해 패치 면적은 평면형에 비해 43.3 %의 면적 축소효과를 얻었다. -10 dB 대역폭은 70 MHz (4.4 %)로 평면형에 비해 31 MHz(2 %) 증가하였다. 이득은 2.2 dBd로서 평면형에 비해 4.5 dB 저하되었고, -3 dB 빔폭은 E-면에서 22°, H-면에서 13° 각각 증가하였다. 원형편파의 경우, 패치의 크기는 평면형에 비해 41 %가 축소되었고, 축비는 0.8 dB의 양호한 원편파 특성을 얻었으며, 2 dB 이내 축비 대역폭은 20 MHz(1.27 %)로 평면형의 10 MHz(0.63 %)에 비해 증가되었다. 이로써 본 논문에 제안된 안테나 구조가 소형화면에서 크게 효과가 있고, 대역폭 증가로 인해 다양한 서비스가 부가된 시스템에서의 활용 가능성이 확인되었다.

Abstract

In this paper, to reduce the size of patch, three types of 3-dimensional patch antennas which are one-directionally-corrugated type, rectangular ring-likely corrugated type, and lattice-likely corrugated type rectangular microstrip patch antennas(MPA) are designed and fabricated at the 1.575 GHz. As the result, one-directionally corrugated rectangular MPA is reduced in the resonant length of patch by 21.4 % than that of general plane MPA. -10 dB bandwidth(B.W) is 62 MHz(3.9 %) and this is broader than that(39 MHz, 2.5 %) of plane MPA by 23 MHz(1.5 %). The gain is 5.8 dBd and this is reduced by 0.9 dB than that(6.7 dBd) of plane MPA. Half power beamwidth(HPBW) is broadened by 18° than that of plane MPA in the E-plane and this is due to the reduced length of patch. For rectangular ring-likely corrugated rectangular MPA, the patch size is miniaturized by 21.6 % than that of plane MPA. For lattice-likely corrugated rectangular MPA, in the linear polarization, the size of patch is miniaturized by 43.3 % than that of plane MPA. -10 dB B.W is 70 MHz(4.4 %) and this is broadened than that of plane MPA by 31 MHz(2 %). Gain is 2.2 dBd and this is smaller than that of plane MPA by 4.5 dB.

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

· 논문 번호 : 20021111-149

· 수정완료일자 : 2002년 12월 3일

HPBW is increased in both E-plane and H-plane by 22° and 13° , respectively. For circular polarization, the size of patch is reduced by 41 % than that by 41 %. The axial ratio(AR) is 0.8 dB at the 1.575 GHz and the axial ratio bandwidth(ARBW) within 2 dB is 20 MHz(1.27 %) and this is increased by 10 MHz(0.63 %) than that 10 MHz(0.63 %) of plane MPA. From all the results above, it is conformed that the proposed antenna has merit in size reduction of patch and in the input impedance B.W, and is more profitable in many application than the general plane type MPA.

Key words : Microstrip Patch Antenna, Corrugation, Current Path Distribution

I. 서 론

최근 주목받는 휴대단말기 및 PDA(Personal Digital Assistant)에 장착될 GPS(f:1.575 GHz) 안테나의 경우, 무엇보다도 작은 크기 및 부피가 요구되고 있으며 따라서 이러한 안테나로서는 마이크로스트립 패치 안테나^{[1][2]}가 적합하다고 할 수 있다. 일반적으로 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화를 위해서 세라믹과 같은 고유전체를 사용하나, 고유전율에 의한 안테나 효율저하가 불가피하다 할 수 있다.

본 논문에서는 유전체에 의한 소형화와는 별도로 동일 유전체상에서 마이크로스트립 안테나의 패치 크기를 줄일 수 있는 방법의 한 예로서, 일반적인 평면형 마이크로스트립 패치 안테나의 패치면을 주름구조로 형성하여^{[3]~[5]}, 동일한 설계 주파수에 대한 패치면의 크기를 축소시킴으로써 궁극적으로 마이크로스트립 패치 안테나의 크기 자체를 줄이고자 하였다. 이 때, 양각폭과 음각폭의 길이비를 패치의 공진길이 단축효과의 원인 파라미터로 규정하고 이에 따른 동일면적에서의 임피던스 및 주파수 변화 추이를 실측 및 시뮬레이션 결과와 비교하였다. 또한 원형편파를 사용하는 GPS 시스템에 적용하기 위해서는 길이 단축뿐 아니라 패치 전체의 면적을 축소시킬 필요가 있으므로, 위의 단방향 선형 주름형 구조를 사각 주름형 및 격자 요철형 구조로 확장하여 설계·제작한 후, 제작 안테나의 여러 특성을 평면형 패치 구조의 여러 특성과 비교하였고, 원편파 안테나로 확장시켜 설계, 제작하였다. 이들 결과에 대해 기술하고자 한다.

II. 본 론

2-1 단방향 선형 주름형 구조 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나

본문에서는 먼저 GPS 시스템 주파수인 1.575 GHz에서, 단방향 선형 주름구조의 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하였다. 그림 1에서 주파수 1.575 GHz에서 정합된 일반적인 평면형 패치 구조 및 단방향 선형 주름형 구조 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 반사손실을 나타내었다.

설계 결과, 단방향 주름형 패치가 평면형 패치에 비해 21.4 %의 길이 단축율을 나타내었다. 이러한 단축 효과는 패치 밀면에서의 전류경로가 패치의 굴곡에 따라 형성되어, 패치면의 전기적 길이가 증가되는 현상이 나타났다고 할 수 있으며 또한, 섭동법에 의거, 패치의 가장자리를 낮게 유지시킴으로써 전기적 에너지가 큰 영역이 감소됨에 따라, 길이가 단축되었다고 할 수 있다. 그림 2는 공통된 조건에서의 음각폭/양각폭 비율 변화에 따른 임피던스 및 공진주파수 변화 특성의 실측치 및 시뮬레이션(HFSS 6.0) 결과를 각각 나타내었다. 이 때, 음각폭/양각폭을 실제 제작했던 비율인 2를 중심으로 0.1~3.5까지 변화시켰다.

그림 2(b)의 저항성분의 경우 양각폭/음각폭 비율이 커질수록 증가되나, 2.5 이상부터는 감소된다. 이는 음각폭/양각폭 비율의 증가가 결국 패치면의 높이가 낮아지는 것과 같은 효과로서, 패치면의 높이가 낮아졌을 때의 현상과 동일하게 나타나고 있다고 하겠다. 그림 2(c)의 리액턴스 성분의 경우 음각폭/양각폭 비율이 커지면, 즉, 패치면의 높이가 낮아지면 이로 인한 인덕턴스 성분의 감소가 예상되나, 양각폭이 좁아짐에 따른 패치 밀면의 전류경로 굴곡이 더욱 급하게 되어 높이 저하에 의한 인덕턴스 감소를 보상하여, 결과적으로는 인덕턴스 성분이 더욱 크게 되는 현상이 나타나고 있다. 시뮬레이션 결과와는 약간의 차이가 있으나, 전체적인 임피던스 변화경향은 일치되며, 설계치 비율인 2 근처에서의 리액턴스 성분의 경우 더욱 잘 일치한다. 그림 2(a)

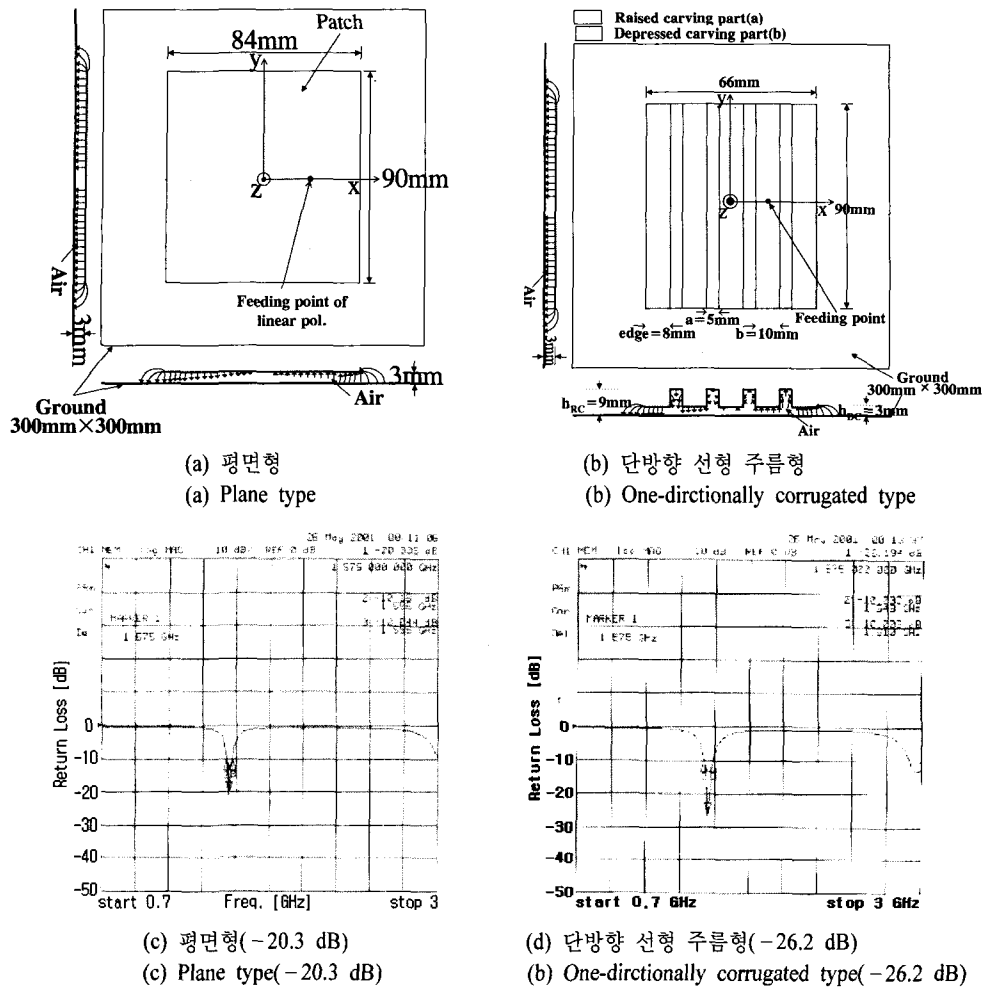
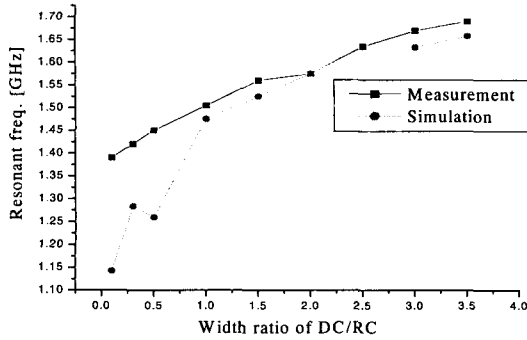


그림 1. 평면형 및 단방향 선형 주름형 마이크로스트립 안테나의 구조 및 반사손실
 Fig. 1. Structures and return loss characteristics of plane and one-directionally corrugated rectangular MPA in the linear polarization.

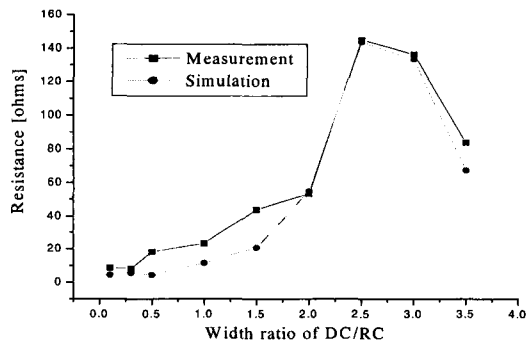
의 공진 주파수의 변화 경우, 음각폭/양각폭 비율이 작을수록, 즉, 양각의 폭이 클수록 공진 주파수가 낮게 나타나고 있으며, 이는 동일 주파수로 설계 시 패치면의 길이를 보다 단축할 수 있음을 의미한다. 또한 음각폭/양각폭 비율을 각각 0, 무한대에 근사시켜 제작한 단방향 선형 주름형 마이크로스트립 패치 안테나의 공진주파수는 각각 1.368 GHz, 1.955 GHz로 음각폭/양각폭 비율이 0에 접근할수록 최대의 패치면 길이 단축율을 나타내고 있음도 확인하였다.

그림 3에는 1.575 GHz에서 정합된 평면형 및 단방향 선형 주름형 구조 마이크로스트립 패치 안테

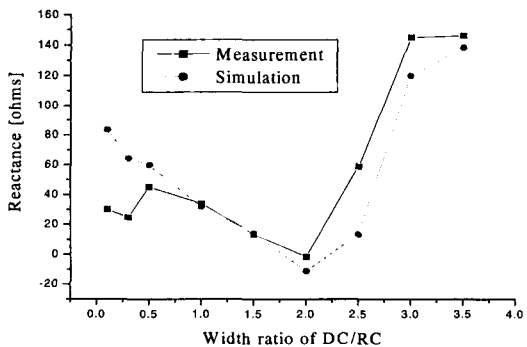
나의 실측 방사패턴을 나타내었다. 그림 3에서 평면형의 이득 6.7 dB에 비해 주름형의 이득은 5.8 dB로, 0.9 dB의 이득 저하를 나타내었다. 이는 패치 길이 단축에 의해 양단 개구면간 거리가 단축되어 -3 dB 빔폭이 E-면에서 18°로 넓어졌기 때문이라 사료되며, -3 dB 빔폭 및 후엽레벨이 거의 동일하게 나타났다. 그 결과, 주름형 패치 구조가 일반적인 마이크로스트립 패치 안테나의 제특성을 유지하면서 단순히 패치의 길이만 21.4 % 단축시키는 효과를 얻었으며, 이로부터 주름형 패치 구조가 평면형에 비해 패치면의 길이 단축효과가 있음이 확인되었다.



(a) 음각폭/양각폭 비율 변화에 따른 공진주파수 변화 특성
(a) Trend of resonant frequency vs. depressed part/raised part in width

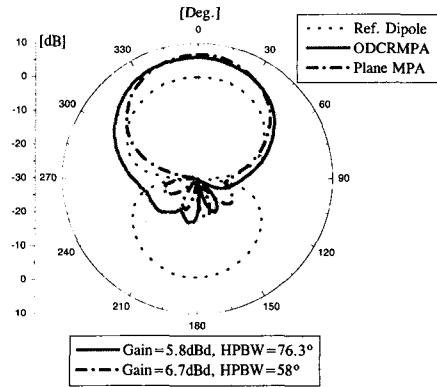


(b) 음각폭/양각폭 비율 변화에 따른 저항값 변화 특성
(b) Trend of resistance vs. depressed part/raised part in width

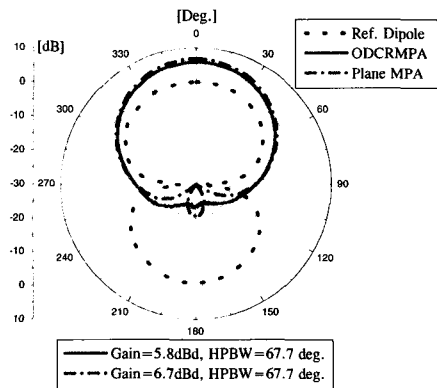


(c) 음각폭/양각폭 비율 변화에 따른 리액턴스 변화 특성
(c) Trend of reactance vs. depressed part/raised part in width

그림 2. 음각폭/양각폭 비율 변화에 따른 임피던스 및 주파수 변화 특성
Fig. 2. Trend of return loss vs. ratio of depressed part/raised part in width.



(a) 평면형
(a) Plane type



(b) 단방향 선형 주름형
(b) One-directionally corrugated type

그림 3. 평면형 및 단방향 선형 주름형 구조 마이크로스트립 패치 안테나의 실측 방사패턴
Fig. 3. Measured patterns of plane and one-directionally corrugated rectangular MPA.

2-2 사각 주름형 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나

다음은 원편파로의 진행을 위해 단방향 선형 주름형 구조를 발전시킨 사각 주름형 구조를 고안하여, 이를 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나에 적용, 설계 및 제작하였다. 그림 4에 사각 주름형 구조 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 반사손실을 나타내었다.

그림 4(a)는 Type I의 경우로, 패치 중심에 $5 \times 5 \text{ mm}^2$ 의 양각을 형성시키고, 패치 가장자리 방향으로 양각폭 5 mm, 음각폭 10 mm의 사각 요철 구조를

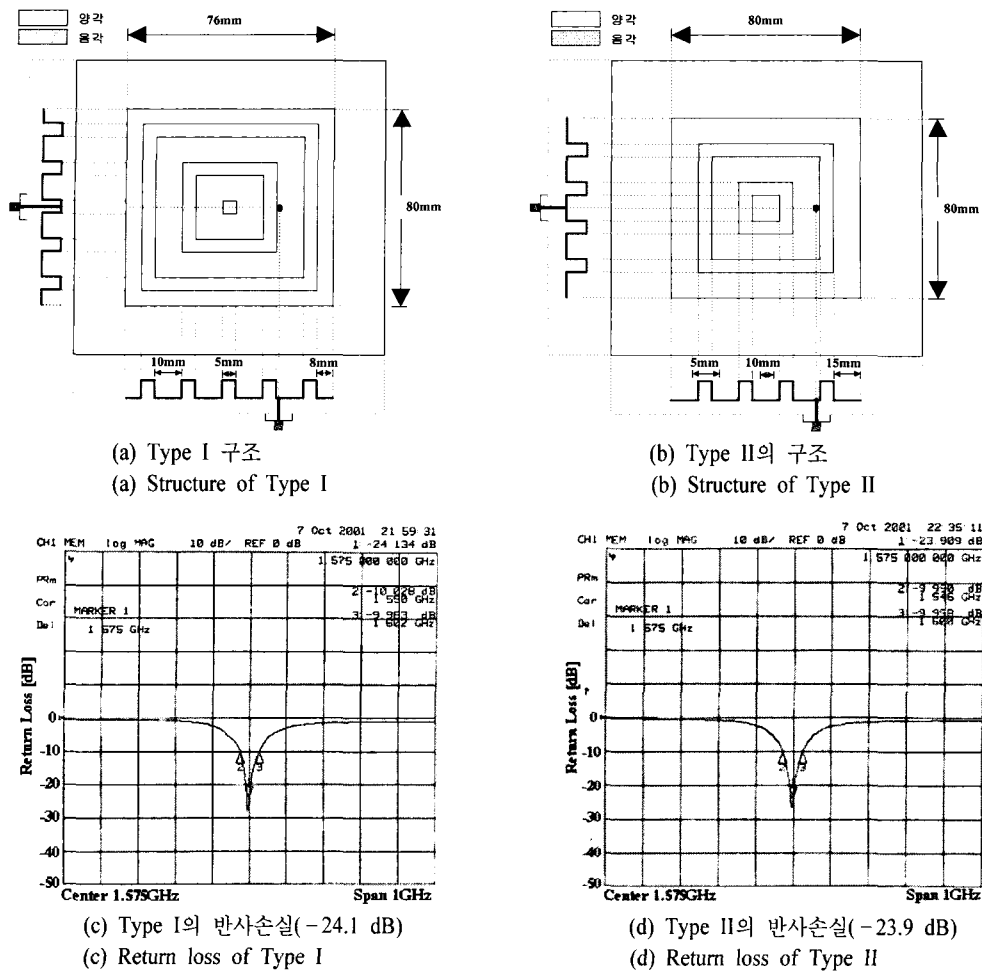


그림 4. 사각 주름형 직선편파 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 반사손실
Fig. 4. Structures and return characteristics of rectangular ring-likely corrugated rectangular MPA in the linear polarization.

배열, 패치의 가장자리를 음각으로 형성시킨 사각 주름형 마이크로스트립 패치 안테나를 나타내었다. 이 때, 패치 길이가 76 mm로서, 평면형의 84 mm에 비해서는 8 mm(9.5%) 단축되었으나, 주름형의 66 mm에 비해서는 10 mm(9.5%) 더 길어진 결과를 나타내었다. 그림 4(b)의 Type II의 경우는 Type I과 양각, 음각을 반대로 형성시킨 구조로, 패치의 길이가 80 mm로서 평면형에 비해 4 mm(4.8%)가 단축되었으나, 주름형에 비해 14 mm(16.7%)가 늘어났다. 대역폭은 그림 4(c), (d)의 반사손실 특성에서 나타난 바와 같이 Type I이 52 MHz(3.3%), Type II가 54 MHz(3.4%)로 평면형의 39 MHz(2.5%)에 비

해 각각 13 MHz(0.8%), 15 MHz(0.95%) 증가하였다. 따라서 사각 주름형 구조가 단방향 선형 주름형 구조에 비해 길이 단축율이 보다 낮음을 확인하였으며, 이는 사각 주름형 패치 구조의 경우, 패치 밑면의 전류경로를 굴곡지게 하는 부분의 면적이 단방향 주름형에 비해 축소됨에 인한 것과 급전점이 음각부분에 위치하므로써 급전선에 의한 패치의 길이 축소효과 및 자기적 에너지가 큰 영역인 비방사 슬롯부분의 영역 축소로 인해 길이 축소효과가 저하된 것으로 사료된다.

2-3 격자 요철형 구조 선형편파 및 원형편파

마이크로스트립 패치 안테나

2-3-1 격자 요철형 구조 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나

전술된 바와 같이 그림 1(b)의 단방향 선형 주름형 구조가 패치 길이 단축율이 크기 때문에 패치 면적을 축소시키기 위해 패치의 폭 방향까지 주름을 형성시킨 격자 요철형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계, 제작하였다. 그림 5에 설계, 제작한 선형편파 격자형 요철구조 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 반사손실 특성을 나타내었다.

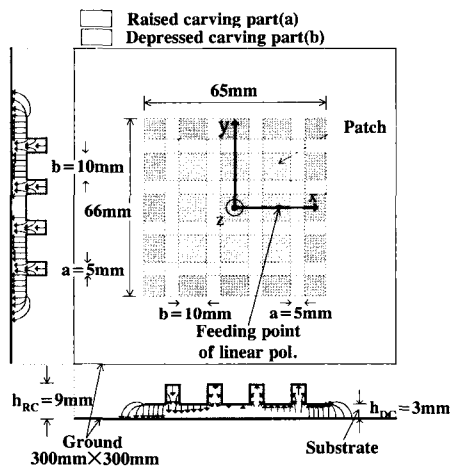
평면형 구조의 패치면적($84 \times 90 \text{ mm}^2$)과 비교 시, 격자 요철형 구조 마이크로스트립 패치 안테나가 면적($65 \times 66 \text{ mm}^2$)에 있어서는 약 43 % 축소되었으며, -10 dB 대역폭 또한 70 MHz(4.4 %)로서 평면형에 비해 31 MHz(2 %) 증가하였다. 대역폭의 증가 효과는 전술된 바와 같이, 패치면의 격자 요철 구조로 인해 패치 밀면의 전류 경로 다변화에 기인한다고 할 수 있으며, 이로부터 단방향 선형 주름형과 마찬가지로 격자 요철형 구조도 길이 축소 효과가 존재할 뿐만 아니라, 대역폭 확대에 있어서도 보다 유리함이 확인되었다. 한편, 원형편파로의 확장에 앞서, 격자 요철형 구조 마이크로스트립 패치 안

테나 또한 일반적인 패치 안테나의 공진모드를 유지하는 지를 확인하기 위하여, 단방향 선형 주름형 구조에 비한 이득, -3 dB 빔폭을 측정하였다. 그림 6에 격자 요철형 구조 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴을 단방향 선형 주름형 구조의 방사패턴과 함께 나타내었다.

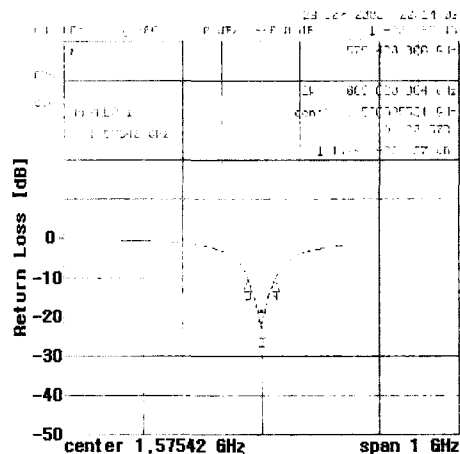
격자 요철형 구조의 이득은 2.2 dBd로서 평면형(6.7 dBd)과 주름형(5.8 dBd)에 비해 각각 4.5 dB, 3.6 dB 저하되었으나, -3 dB 빔폭에 있어서는 E-면이 80° 로서, 평면형과 단방향 선형 주름형에 비해 22° , 37° 가 각각 넓어졌고, H-면도 80° 로서, 두 경우 모두에 대해 12.3° 더욱 넓어진 결과를 얻었다. 이득의 저하는 단방향 주름형에서와 마찬가지로 개구 간격의 단축 및 개구 자체의 크기 축소에 기인하는 것이라 할 수 있다. 따라서 위에서 제한한 격자 요철형 구조를 이용한 원편파 마이크로스트립 패치 안테나 설계 시, 일반적인 패치 안테나의 공진모드를 그대로 유지하면서 면적축소 효과를 얻을 수 있음이 확인되었다.

2-3-2 격자 요철형 구조 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나

그림 7에 평면형 및 격자 요철형 원형편파 마이

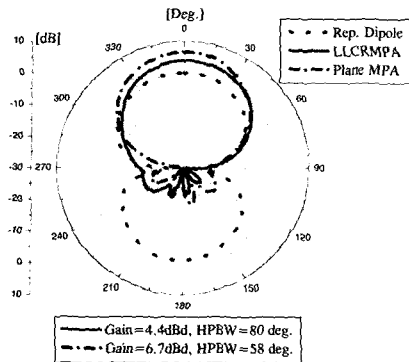


(a) 구조
(a) Structure

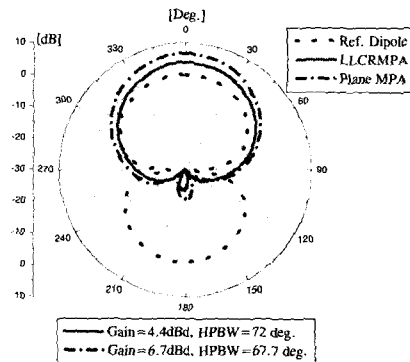


(b) 반사손실(-22.7 dB)
(b) Return loss

그림 5. 격자 요철형 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 반사손실
Fig. 5. Structure and return loss characteristics of lattice-like corrugated rectangular MPA in the linear polarization.

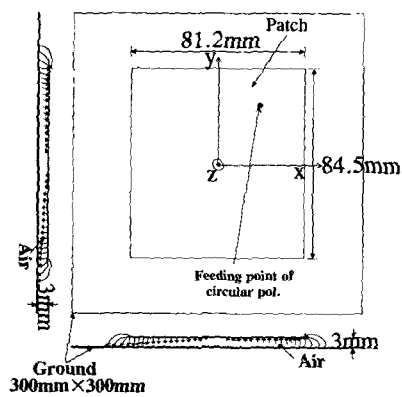


(a) z-x면상 수평편파 방사패턴(E-면)
(a) Horizontal polarization pattern in the z-x

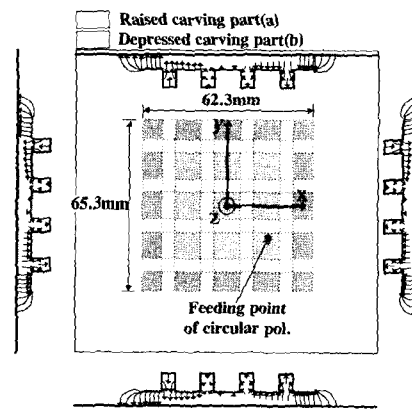


(b) y-z 면상 수직편파 방사패턴(H-면)
(b) Vertical polarization patten in the y-z plane

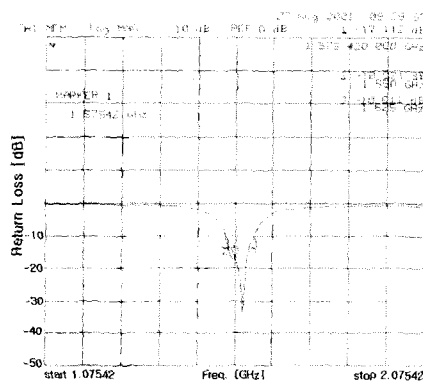
그림 6. 격자 요철형 선형편파와 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴
Fig. 6. Measured radiation patterns of linearly polarized lattice-likely corrugated rectangular MPA



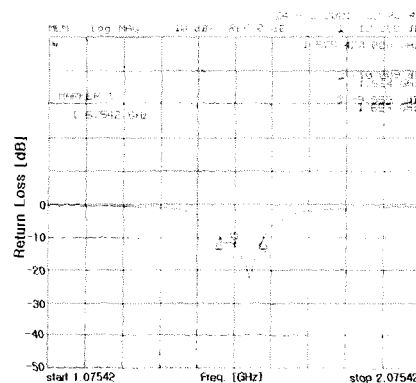
(a) 평면형의 구조
(a) Structure of plane type



(b) 격자 요철형의 구조
(b) Structure of lattice-likely corrugated type



(c) 평면형의 반사손실(-17.1 dB)
(c) Return loss of plane type



(d) 격자 요철형 반사손실(-12.4 dB)
(d) Return loss of lattice-likely corrugated type

그림 7. 평면형 및 격자요철형 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 구조 및 반사손실
Fig. 7. Structures and return loss characteristics of plane and lattice-likely corrugated rectangular MPA in the circular polarization.

크로스스트립 패치 안테나의 구조 및 반사손실을 나타내었다.

격자 요철형 원편파 마이크로스트립 패치 안테나의 패치 면적($62.3 \times 65.3 \text{ mm}^2$)이 평면형의 면적($81.2 \times 84.5 \text{ mm}^2$)에 비해 약 41 % 정도 축소된 결과를 나타내었고, -10 dB 대역폭 또한 119 MHz (7.6 %)로 평면형의 75(4.8 %)에 비해 약 44 MHz (2.8 %) 증가하였다. 이 때, 설계 주파수에서의 반사손실은 -12.4 dB를 얻었다.

그림 8에 격자 요철형 및 평면형 구조 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴과 축비 측정결과를 나타내었다. 그림 8에서 격자형 요철 구조 패치 안테나의 이득의 경우, 평면형에 비해 1.6 dB 저하되었으나, 이는 선형 편파의 경우와 마찬가지로 개구면적의 축소에 기인한 결과라 할 수 있다.

-3 dB 빔폭 또한 개구면적 축소 및 개구간격의 단축에 의해, x-z면상의 수평편파 패턴에서는 20.5° , y-z 면상의 수직편파 패턴에서는 25.3° 각각 평면형에 비해 넓게 나타났다. 휴대 이동통신 단말기 시스템에 있어서 GPS용 안테나는 이득에 비해 크기의 축소가 가장 큰 과제라 할 수 있으며 따라서, 1.6 dB의 이득 저하에 비해 약 40 %의 면적 축소율을 고려할 때, 본 구조가 휴대 이동통신 단말기 GPS 용에 사용될 충분한 요건을 갖추고 있음이 확인되었다. 또한 축비는 0.8 dB였고, 2 dB 이하 축비 대역폭은 20 MHz로서 평면형의 10 MHz에 비해 더 넓게 나타났다.

이상의 결과들로부터, 본 논문에서 제시된 격자형 요철구조 패치 안테나를 GPS 시스템용 원편파 안테나에 적용할 경우, 약 40 %의 면적 축소율을

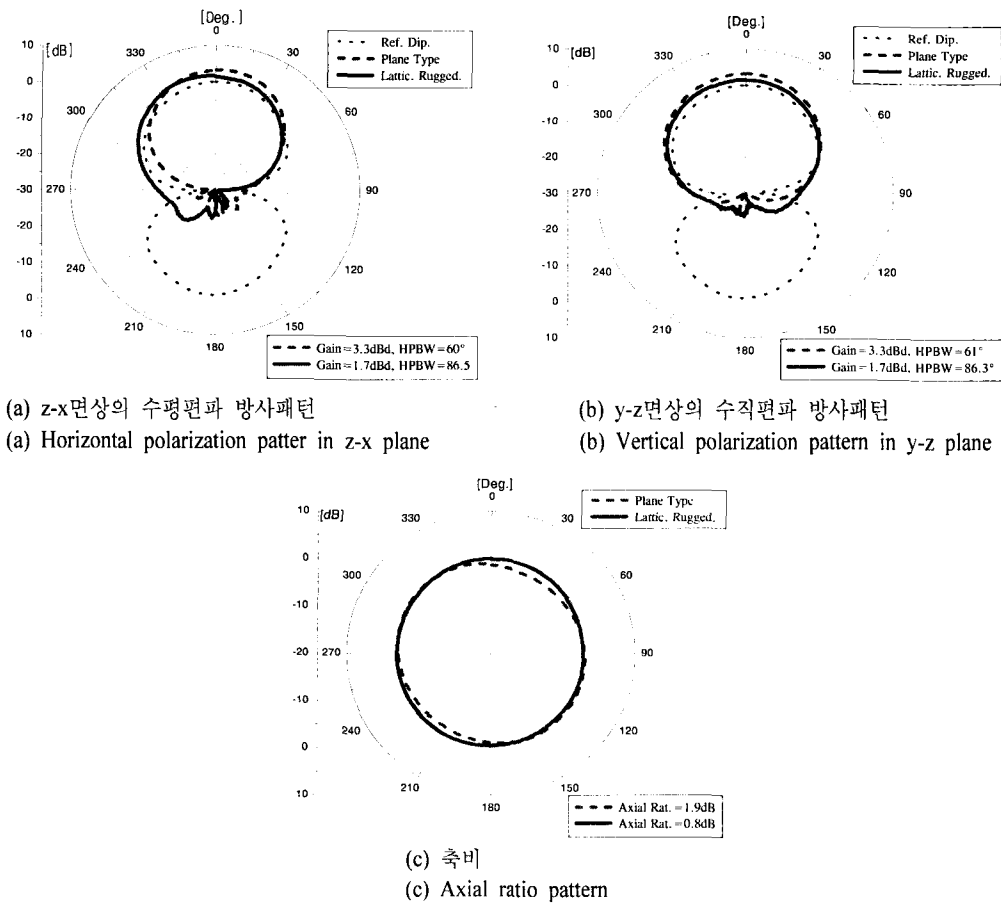


그림 8. 평면형과 격자 요철형 원편파 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴 및 축비
Fig. 8. Radiation and axial ratio patterns of plane and lattice-likely corrugated rectangular MPA.

표 1. 평면형 및 격자 요철형 마이크로스트립 안테나의 여러 특성 비교

Table 1. Comparison of characteristics between plane type and lattice-likely corrugated rectangular MPA in the linear and circular polarization.

		평면형		격자요철형	
		선형편파	원형편파	선형편파	원형편파
반사손실 [dB]		-22.5	-17.1	-2.3	-12.4
-10 [dB] 반사손실 대역폭 [MHz]		39 (2.5 %)	75 (4.9 %)	70 (4.4 %)	119 (7.6 %)
초대이득 [dBd]		6.7	3.3	4.4	1.7
전력 반치폭 [Deg.]	E-면	E-면	수평편파	E-면	수평편파
	/z-x 면	58°	60°	80°	86.5°
	H-면	H-면	수직편파	H-면	수직편파
	/y-z 면	67.7°	61°	72°	86.3°
축비 [dB]			1.9		0.8
2dB 축비대역폭 [MHz]			10 (0.63 %)		20 (1.26 %)
패치크기 [mm×mm] (축소율차이)		84×90	81.2×84.5	65×66 (43.3 % ↓)	62.3×65.3 (40.7 % ↓)

언을 수 있음을 보였을 뿐만 아니라, 보다 넓은 빔폭 및 -10 dB 대역폭이 예상되며, 축비 대역폭 또한 넓어지는 결과를 얻었다. 표 1에 특성 결과를 요약 정리하였다.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 이동통신 시스템 및 휴대 단말기에 주로 사용되고 있는 마이크로스트립 패치 안테나의 크기 축소를 위해, 일반적인 평면형 패치 구조를 입체적인 단방향 선형 주름형, 사각 주름형, 격자 요철형 구조로 설계함으로써 안테나 자체의 크기를 축소하고자 하였다. 먼저 GPS용 주파수인 1.575 GHz를 설계 주파수로 하여, 단방향 선형 주름형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계, 제작하여, 선형 편파에서 이의 제특성 및 방사패턴을 평면형과 비교하므로써, 3차원 구조가 평면형 구조에 비해 패치의 공진 길이단축에 있어 보다 효과적임을 확인하였다. 또한 단방향 선형 주름형에서 길이 단축 효과를 갖도록 하는 파라미터인 음각폭/양각폭에 따른 저항 및 리액턴스, 그리고 공진 주파수 변화특성을 실측치와 시뮬레이션에서 각각 비교하였으며, 음각

폭/양각폭 비율이 작아질수록 길이 단축율이 커짐을 확인하였다.

다음은 전체적인 패치 면적의 축소를 위해, 사각 주름형 구조 및 격자 요철형 구조의 선형편파 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 및 제작하여 해당 구조의 패치 면적, 여러 특성 및 방사패턴을 평면형 및 단방향 선형 주름형 구조와 비교하므로써, 해당 구조가 패치의 전체 면적 축소에 있어 보다 효과적임을 확인하였다.

마지막으로 격자형 요철 패치 구조를 이용, 원편파를 사용하는 GPS 시스템 주파수인 1.575 GHz 대역의 원형편파 마이크로스트립 패치 안테나를 설계, 제작하여 평면형 원편파 마이크로스트립 패치 안테나와 크기, 여러 특성 및 방사패턴을 비교하였고, 결과적으로, 해당 3차원 구조가 평면형에 비해 약 40%의 면적 축소 효과를 가지며, 이에 따라 이득은 감소하고 빔폭은 넓어지는 패치 안테나의 일반적인 특성을 따르고 있음을 확인하였다. GPS 시스템에서는 안테나의 이득이 그다지 중요시되지 않음을 감안할 때, 이득 저하에 비해 상대적으로 면적의 축소를 매우 유리하다고 할 수 있으며, 따라서 본 구조는 GPS용 패치 안테나의 소형화에 있어 적합하다 할 수 있겠다.

금후, 격자형 요철 구조 패치 안테나의 면적 축소에 영향을 갖는 여러 파라미터들에 대한 연구 및 최적의 축소를 확보, 해석 및 모델링, 그리고 PCS 대역을 포함하는 듀얼 밴드로의 확장에 대해 연구하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis And Design*, John Wiley & Sons, Inc, 1982.
- [2] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl and Apisak Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, 2001.
- [3] 송무하, 문상만, 우종명, "소형화를 위한 주름형 선형편파 패치안테나", 한국통신학회 하계종합 학술발표회, 23(1), pp. 803-806, 2001년 7월 6일.
- [4] 송무하, 우종명, 이호선, "소형화를 위한 격자 구조의 요철형 원편파 마이크로스트립 패치 안

테나의 설계”, 한국전자과학회 추계 마이크로파 및 전파학술대회, 24(2), pp. 351-354, 2001년 9월 22일.

[5] 류미라, 신현철, 우종명, “소형화를 위한 주름형

선형편파 원형 패치 마이크로스트립 안테나”, 한국전자과학회 추계 마이크로파 및 전파학술대회, 24(2), pp. 367-370, 2001년 9월 22일.

송 무 하



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

우 종 명



1985년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 2월: Univ. of Nihon Antenna Master
1996년 2월: Univ. of Nihon Antenna Ph.D.

1996년~현재: 충남대학교 전파공학과 조교수
[주 관심분야] 안테나 설계