
이중 주파수 원형 섹터 패치 안테나

박동국*

Dual-frequency circular sector patch antenna

Dong-kook Park*

요약

본 논문에서는 마이크로스트립 선로로 급전되는 원형 섹터 마이크로스트립 안테나를 사용하여 서로 수직인 편파 특성을 갖는 이중주파수 안테나를 설계하였다. 공진기 모델을 사용하여 여기되는 모드를 계산하였고 안테나의 동작주파수 및 편파 특성을 살펴보았다. 1.87 GHz대와 2.42 GHz 대역에서 동작하는 이중주파수 안테나를 제작하여 S-파라미터 및 복사패턴을 측정하였다. 다음은 요약문입니다.

ABSTRACT

In this paper we designed a dual-frequency circular sector microstrip antenna fed microstrip line with orthogonal polarization. The operating frequencies and polarization characteristics of the proposed antenna is calculated by using a cavity model. The antenna operating at about 1.87 GHz and 2.42 GHz is fabricated and its S-parameters and radiation patterns are measured.

키워드: 이중주파수 안테나, 원형 섹터 안테나, 패치 안테나

I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 이중주파수(dual-frequency) 안테나에 대한 연구 결과가 많이 발표가 되었다[1]-[3]. 대부분이 여러개의 패치를 사용하거나, 패치의 내부에 슬롯 혹은 단락 핀(short pin) 등을 만들어 이중주파수를 얻었다. 본 논문에서는 원형 섹터(circular sector) 마이크로스트립 안테나를 이용한 이중주파수 안테나 설계 방법에 대해 기술하고자 한다.

먼저 원형 섹터 마이크로스트립 안테나에 여기될 수 있는 모드(mode)를 공진기 모델(cavity model)을

이용하여 계산하였고, 여기된 모드의 특성을 조사하여 두 개의 급전선 및 하나의 급전선을 사용하는 이중주파수 안테나를 설계하는 방법을 제시하였다. 또한 여기된 두 모드는 서로 수직인 편파 특성을 갖고 있으며, 여기된 두 모드간에 30 dB 이상의 격리도(isolation)을 갖는 것을 보였다.

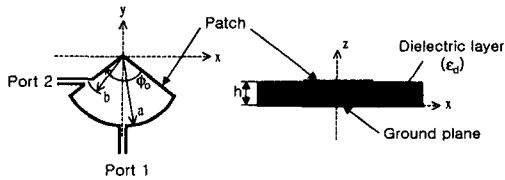
II장에서 안테나에 여기되는 모드 및 이중주파수 안테나의 설계 방법에 대해 설명하였고, III장에 1.87 GHz와 2.42 GHz 대역에서 동작하는 이중주파수 안테나를 제작하여 실험한 결과를 정리하였으며, IV장에 결론을 기술하였다.

* 한국해양대학교 전파정보통신공학부
접수일자 2001. 5. 28

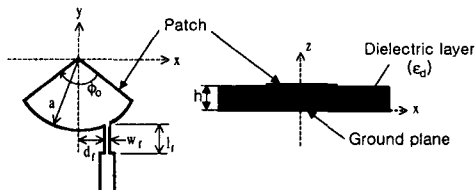
II. 안테나 설계 이론

그림 1에 본 논문에서 제안하는 이중주파수 원형 섹터 패치 안테나의 구조를 나타내었다. 유전체 기판의 상대유전율이 ϵ_d , 두께가 h 이며, 원형 섹터의 각 (sector angle)은 ϕ_0 , 반경은 a 로서 마이크로스트립 선로를 통해 급전이 되고 있다. 그림 1 (a)는 두 개의 급전선을 사용하는 경우(안테나 1)이며, 그림 1 (b)는 하나의 급전선을 사용하는 경우(안테나 2)이다.

먼저 이 안테나의 동작주파수를 구하기 위하여 일반적으로 마이크로스트립 패치 안테나 해석에서 많이 사용되고 있는 공진기 모델을 사용하였다. 즉 원형 섹터 안테나를 접지면과 원형 섹터 패치면의 전기벽 (electric wall)과 접지면과 패치 사이의 둘레를 따라



(a) 두개의 급전선을 사용하는 경우(안테나 1)



(b) 하나의 급전선을 사용하는 경우(안테나 2)

그림 1. 원형 섹터 마이크로스트립 안테나의 개략도
Fig. 1 Schematic of circular sector microstrip antenna

형성되는 자기벽(magnetic wall)으로 만들어진 공진기 (cavity)로 가정을 하였다. 이 가정은 유전체 기판의 두께 h 가 파장에 비해 충분히 작을 경우 타당하다. 이러한 가정으로부터 공진기 내부에는 z 방향을 진행방향으로 고려할 때 TM 모드가 여기가 되며, 전체 E_z 는 다음과 같이 고유함수의 중첩으로 구할 수 있다[4].

$$E_z = -j\omega \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} A_{nm} J_{\nu_n}(k_{\nu_n m} \rho) \cos \nu_n \phi \quad (1)$$

여기서 ω 는 각주파수, A_{nm} 은 임의의 상수, J_{ν_n} 은 차수가 ν_n 인 제 1종 Bessel 함수를 나타내며,

$\nu_n = n\pi / \phi_0$, $k_{\nu_n m} = x_{\nu_n m} / a$, x_{ν_n} 은 $\partial J_{\nu_n}(x) / \partial x = 0$ 의 해를 나타낸다.

식 (1)로부터 원형 섹터 마이크로스트립 안테나에 무수히 많은 모드가 여기 될 수 있음을 알 수 있고, 여기된 $TM_{\nu_n m}$ 모드의 공진주파수 $f_{\nu_n m}$ 는 식 (2)와 같이 주어진다.

$$f_{\nu_n m} = \frac{x_{\nu_n m} \cdot c}{2\pi a_{eff} \sqrt{\epsilon_d}} \quad (2)$$

여기서 c 는 광속도를 나타내며, a_{eff} 는 원형 패치 안테나에서 누설전계(fringing field)를 고려한 등가반경으로서 식 (3)과 같이 주어진다[5].

$$a_{eff} = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_d} \left(\ln \frac{\pi a}{2h} + 1.7726 \right) \right]^{1/2} \quad (3)$$

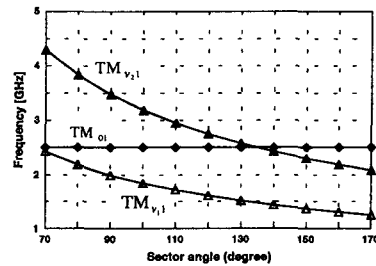


그림 2. 원형 섹터 패치 안테나의 섹터 각도에 따른 공진주파수

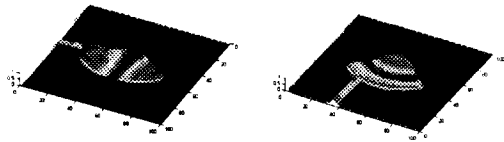
Fig. 2 The resonant frequencies as function of sector angle of circular sector patch antenna

그림 2에 $\epsilon_d = 10.2$, $h = 1.27$ mm, $a = 22.7$ mm인 경우에 원형 패치의 섹터 각도 ϕ_0 에 따라 여기되는 기본모드 및 고차모드의 공진주파수를 나타내었다. 그림 2로부터 섹터 각도 ϕ_0 가 70° 에서 약 135° 사이에 있는 경우 기본모드는 $TM_{\nu_1,1}$ 이며 첫 번째 고차모드는 $TM_{0,1}$ 가 됨을 알 수 있다.

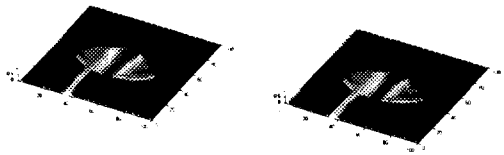
또한 식 (2)로부터 원형 섹터 패치의 반경 a 와 유전상수 ϵ_d 가 고정되어 있을 때, 기본모드 $TM_{\nu_1,1}$ 의 공진주파수가 f_1 , $TM_{0,1}$ 모드의 공진주파수가 f_2 라 하면, 여기되는 두 주파수의 비 f_2/f_1 은 식 (2)로부터 식 (4)과 같이 원형 섹터 각 ϕ_0 의 함수가 됨을 알 수 있다.

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{x_{01}}{x_{\nu,1}} = f(\phi_0) \quad (4)$$

또한 $\phi_0 = 96^\circ$ 인 경우에 여기되는 기본모드 $TM_{\nu,1}$, $\nu_1 = 1.875$ 와 TM_{01} 모드의 전계의 분포를 두 개의 급전선을 갖는 경우와 한 개의 급전선을 갖는 경우에 대해 유한차분시간영역법(FDTD)을 사용하여 계산하였다. 유한차분시간영역법으로 전계의 세기를 계산할 때, 전체 해석영역 셀 수는 x, y, z 방향으로 각각 $100 \times 100 \times 20$ 으로 하였다. 공간 셀의 크기는



(a) $TM_{\nu,1}, \nu_1=1.875$ 모드



(b) TM_{01} 모드

그림 3. FDTD 시뮬레이션으로 구한 전계 분포
Fig. 3 Electric field distribution calculated by FDTD

$\Delta x = \Delta y = 0.6$ mm, $\Delta z = 0.4233$ mm 으로 하였으며, 시간 간격은 안정도를 만족하는 $\Delta t = 0.99$ ps로 하였고, 전체 해석 시간 간격은 $6000 \Delta t$ 로 하였다. 그림 3(a)에 $TM_{\nu,1}$, $\nu_1 = 1.875$ 모드, 그림 3(b)에 TM_{01} 모드의 전계 분포를 나타내었다. 그림 3으로부터 그림 1(a)의 단자 1은 TM_{01} 모드를 단자 2는 $TM_{\nu,1}$, $\nu_1 = 1.875$ 모드를 여기함을 알 수 있다.

그림 3으로부터 알 수 있듯이 여기되는 두 모드에 영향을 미치지 않는 급전위치를 선정하는 것이 중요하다. 식 (1)에서 구한 각 모드들의 특성을 살펴보면 TM_{01} 모드의 경우 $\rho = 0.6275 \cdot a$ mm 인 지점에서 전계의 세기가 영이 되며, $TM_{\nu,1}$, $\nu_1 = 1.875$ 모드의 경우 $\phi = \phi_0/2$ 인 지점에서 전계의 세기가 영이 된다. 따라서 그림 1(a)처럼 두 개의 급전선을 사용하는

경우 각 모드의 전계가 영이 되는 지점에 급전위치를 정하면 두 모드간의 큰 격리도를 얻을 수 있다. 또한 그림 1(b)처럼 하나의 급전선을 사용하는 경우 전계의 세기가 영이 되는 위치를 피하여 급전하여야 두 모드를 여기 할 수 있다.

또한 그림 3으로부터 알 수 있듯이 $TM_{\nu,1}$, $\nu_1 = 1.875$ 와 TM_{01} 모드는 서로 수직한 편파(polarization) 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 그러므로 식 (2)와 식 (4)을 사용하면 $TM_{\nu,1}$, $\nu_1 = 1.875$ 와 TM_{01} 모드를 사용하는 서로 수직한 편파 특성을 갖는 이중주파수 원형 섹터 마이크로스트립 안테나를 설계할 수 있다.

III. 실험 결과

유전상수 $\epsilon_d = 10.2$, 손실탄젠트 0.0023, 두께 $h = 1.27$ mm 인 유전체 기판에 $a = 47$ mm, $b = 14.24$ mm, $\phi_0 = 96^\circ$ 인 그림 1 (a) 모양의 원형 섹터 안테나를 제작한 모양을 그림 4에 나타내었다. 단자 1과 단자 2에 임피던스 정합을 위해 $\lambda/4$ 임피던스 변환기와 개방 스텐브(open stub)를 사용하였다. 그림 4의 안테나의 S-파라미터를 측정하여 그림 5에 나타내었다. 그림 5로부터 단자 1은 2.445 GHz 에서 단자 2는 1.875 GHz 에서 각각 공진하며, 이들의 단자간 분리도(isolation)는 -30 dB 이상이 됨을 알 수 있다.

그림 1 (b)에서 $w_f = 0.2$ mm, $l_f = 15$ mm, $d_f = 3$ mm 이며 나머지 안테나 파라미터는 그림 4와 같은 단일 급전 원형 섹터 안테나를 제작하였다. 섹터 각도 ϕ_0 를 변화시켜 안테나의 return loss 특성을 측정하여 그림 6에 나타내었다. 섹터 각도 ϕ_0 가 75° 에서 120° 까지 변할때 여기 되는 두 주파수의 비 f_2/f_1 는 1.08~1.518 인 범위에서 얻어졌다.

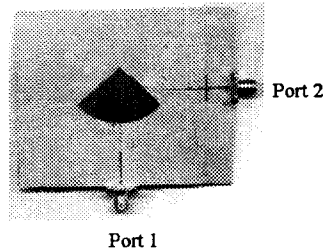


그림 4. 제작한 원형 섹터 패치 안테나
Fig. 4. Fabricated circular sector patch antenna

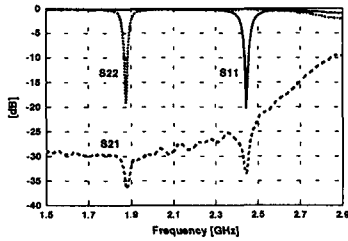


그림 5. 안테나 1의 측정된 S-파라미터 특성
Fig. 5 Measured S-parameters of the antenna 1

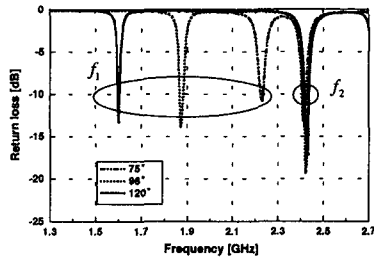
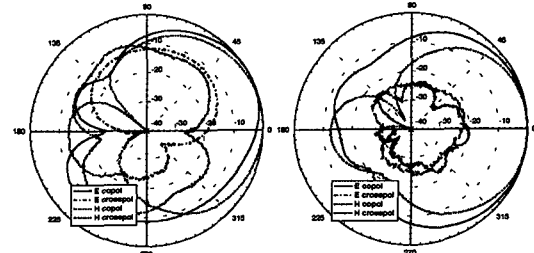


그림 6. 안테나 2의 섹터 각도에 따른 return loss
Fig. 6. Measured return loss as function of sector angle of the antenna 2

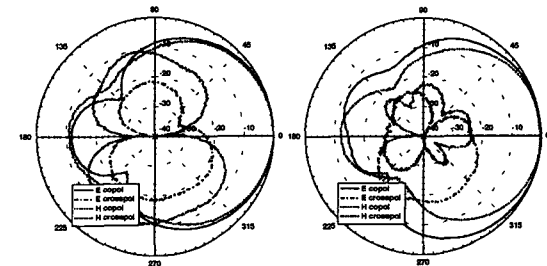
그림 7에 두 개의 급전선을 갖는 그림 1 (a) 안테나의 측정된 복사패턴을 나타내었다. 먼저 1.875 GHz의 E-평면 ($x-z$ 평면) 및 H-평면 ($y-z$ 평면) 복사패턴을 그림 7 (a)에 나타내었고, 2.445 GHz의 E-평면 ($y-z$ 평면) 및 H-평면 ($x-z$ 평면) 복사패턴을 그림 7 (b)에 나타내었다. 두 주파수의 E- 및 H-평면은 서로 수직하며, 1.875 GHz의 E-평면의 경우 빔이 약 30° 정도 기울어져 있음을 볼 수 있다. 이것은 그림 4에서 볼 수 있듯이 TM_{11} 모드 여기서 개방 스텐브(open stub)의 영향으로 안테나의 좌우에서 전계의 분포가 달라져 안테나의 주 빔(main beam)이 기울어진 것으로 생각된다.

그림 8에 하나의 급전선을 갖는 그림 1 (b) 안테나의 복사패턴을 측정하여 나타내었다. 그림 7의 경우와 유사한 주파수 대역에 대해 복사패턴을 측정하였다. E-평면 복사패턴이 그림 7과 달리 빔이 기울어지는 왜곡 현상이 안 생겼다. 그림 7과 그림 8에서 모두 복사패턴이 브로드사이드(broadside) 특성을 가지며, 주 빔 방향에서 교차 편파(cross pol.)의 세기가 그림 7의

(a)를 제외하고는 모두 -20 dB 이하로 측정이 되었다.



(a) 1.875 GHz (b) 2.445 GHz
그림 7. 안테나 1의 측정된 복사 패턴
Fig. 7. Measured radiation pattern of the antenna 1



(a) 1.87 GHz (b) 2.42 GHz
그림 8. 안테나 2의 측정된 복사 패턴
Fig. 8. Measured radiation pattern of the antenna 2

IV. 결론

본 논문에서는 원형 섹터 마이크로스트립 안테나를 사용하여 서로 수직한 편파 특성을 갖는 이중주파수 안테나를 설계하였다. 공진기 모델을 사용하여 여기되는 모드 및 안테나의 동작주파수를 계산하였고 편파 특성을 살펴보았다. 1.87 GHz와 2.42 GHz 대역에서 동작하는 이중주파수 안테나를 제작하여 S 파라미터를 측정하였다. 10 dB 주파수 대역폭이 1% 이내로 협대역이었으나 두 주파수간에 30 dB 이상의 큰 격리도를 얻을 수 있었다. 또한 섹터 각도를 75° 에서 120° 까지 변화시켜, 여기되는 두 주파수의 비가 1.08에서 1.518까지 변하는 것을 보였다. 그리고 복사패턴을 측정하여 여기된 두 주파수에서 서로 수직한 편파 및 복사패턴을 갖는 것을 확인하였다.

참고문헌

[1] J. S. Chen and K. L. Wong, "A single-layer

- dual-frequency rectangular microstrip patch antenna using a single probe feed," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 11, pp. 83-84, 1996.
- [2] S. Maci and G. B. Gentili, "Dual-frequency patch antennas," *IEEE Antennas Propagat. Magazine.*, vol. 39, pp. 13-19, Dec. 1997.
- [3] K. L. Wong and K. P. Yang, "Small dual-frequency microstrip antenna with cross slot," *Electron. Lett.*, vol. 33, pp. 1916-1917, 1997.
- [4] W. F. Richards, J.D. Ou, and S. A. Long, "A theoretical and experimental investigation of annular, annular sector, and circular sector microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 32, pp. 864-867, Aug. 1984.
- [5] L. C. Shen and S. A. Long, "The resonant frequency of a circular disc, printed-circuit antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 25, pp. 595-596, July 1977.
- [6] K. S. Yee, "Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwells equations in isotropic media," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 14, pp. 302-307, 1966.



박동국(Dong-kook Park)

1987. 2 부산대학교 전자공학과(공학사)

1989. 2 KAIST 전기 및 전자공학
과(공학석사)

1994. 8 KAIST 전기 및 전자공학
과(공학박사)

1994. 8 ~ 1996. 3 LG전자 선임연구원

1996. 4 ~ 현재 한국해양대학교 조교수

2000. 1 ~ 2001. 1 미국 UCLA 전기공학과 방문교수

※관심분야 : 안테나, 초고주파 소자, 수치해석