

# 이중 주파수 원형 섹터 패치 안테나

박동국, Tatsuo Itoh

한국해양대학교, University of California, Los Angeles

Dual-frequency circular sector microstrip antenna

Dong-Kook Park, Tatsuo Itoh

Korea Maritime University, University of California, Los Angeles

E-mail : dkpark@hanara.kmaritime.ac.kr

## 요 약

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.

## 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.

### I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나를 이용한 이중주파수(dual-frequency) 안테나 연구가 많이 있었다 [1]-[3]. 대부분 사각형 패치의 모양을 변형시키거나 사각형 패치 내부에 슬롯 등을 만들어 이중주파수를 얻었다. 본 논문에서는 원형 섹터(circular sector) 마이크로스트립 안테나를 이용한 이중주파수 안테나 설계 방법에 대해 기술하였다.

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 30dB 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.

### II. 안테나 설계 이론

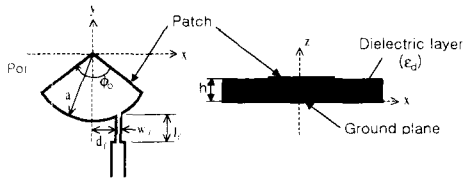
그림 1에 본 논문에서 제안하는 이중주파수 원형 섹터 패치 안테나의 구조를 나타내었다. 유전체 기판의 상대유전율이  $\epsilon_d$ , 두께가  $h$ 이며, 원형 섹터의 각(sector angle)은  $\phi_0$ , 반경은  $a$ 로서 마이크로스트립 선로를 통해 급전이 되고 있다. 그림 1(a)는 두 개의 급전선을 사용하는 경우이며, 그림 1(b)는 하나의 급전선을 사용하는 경우이다.

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 형성되는 자기벽(magnetic wall)으로 만들어진 공진기(cavity)로 가정을 하였다. 이 가정은 유전체 기판의 두께  $h$ 가 파장에 비해 충분히 작은 경우 타당하다. 이러한 가정으로부터 공진기 내부에는  $z$  방향을

(a) 두 개의 급전선을 사용하는 경우

(b) 하나의 급전선을 사용하는 경우

그림 1. 원형 섹터 마이크로스트립 안테나의 개략도.



진행방향으로 고려할 때 TM 모드가 여기가 되며, 전계  $E_z$ 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  $\omega$  는 각주파수,  $A_{nm}$  은 임의의 상수,  $J_{\nu_n}$  은 차수가  $\nu_n$  인 제 1종 Bessel 함수를 나타내며,  $\nu_n = n\pi/\phi_0$ ,  $k_{\nu_n,m} = x_{\nu_n,m}/a$ ,  $x_{\nu_n}$  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, 여기 된  $TM_{\nu_n,m}$  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].

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

그림 2에  $\epsilon_d = 10.2$ ,  $h = 1.27$  mm,  $a = 22.7$  mm 인 경우에 원형 패치의 섹터 각도  $\phi_0$  에 따라 여기되는 기본모드 및 고차모드의 공진주파수를 나타내었다. 그림 2로부터 섹터 각도  $\phi_0$  가  $70^\circ$  에서 약  $135^\circ$  사이에 있는 경우 기본모드는  $TM_{\nu_1}$  이며 첫 번째 고차모드는  $TM_{01}$  가 됨을 알 수 있다.

또한 식 (2)로부터 원형 섹터 패치의 반경  $a$ 와 유전상수  $\epsilon_d$ 가 고정되어 있을 때, 기본모드

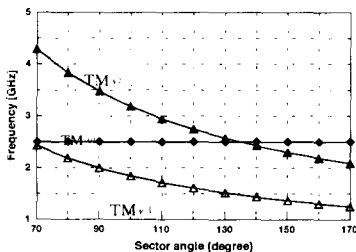


그림 2. 원형 섹터 패치 안테나의 섹터 각도에 따른 처음 3개의 공진주파수

$TM_{\nu_1}$ 의 공진주파수가  $f_1$ ,  $TM_{01}$  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  $\phi_0$ 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. 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.

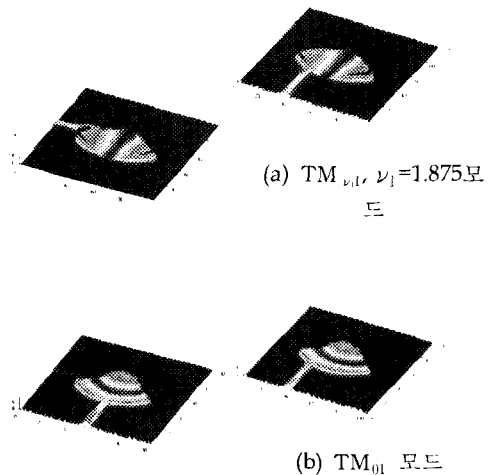


그림 3. FDTD 시뮬레이션으로 구한 전계 분포  
그림 3으로부터 알 수 있듯이 여기되는 두 모드에 영향을 미치지 않는 급전위치를 선정하는 것이 중요하다. 식 (1)에서 구한 각 모드들의 특성을 살펴보면  $TM_{01}$  모드의 경우  $\rho = 0.6275 \cdot a$  mm 인 지점에서 전계의 세기가 영이 되며,  $TM_{\nu_1}$ ,  $\nu_1 = 1.875$  모드의 경우  $\phi = \phi_0/2$  인 지점에서 전계의 세기가 영이 된다. 따라서 그림 1(a)처럼 두 개의 급전선을 사용하는 경우 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  $TM_{0,1}$  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  $TM_{0,1}$  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 안테나의 S-파라미터를 측정하여 그림 4에 나타내었다. 임피던스 정합을 위해  $\lambda/4$  임피던스 변환기와 개방 스텐브(open stub)를 사용하였다. 그림 4로부터 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  $\phi_0$  를 변화시켜 안테나의 return loss 특성을 측정하여 그림 5에 나타내었다. 섹터 각도  $\phi_0$ 가  $75^\circ$  에서  $120^\circ$  까지 변할 때 여기되는 두 주파수의 비  $f_2/f_1$ 는 1.08 ~ 1.518 인 범위에서 얻어졌다.

그림 6에 두 개의 급전선을 갖는 그림 1(a) 안테나의 측정된 복사패턴을 나타내었다. 먼저 1.875 GHz 의 E-평면 (x-z 평면) 및 H-평면 (y-z 평면) 복사패턴을 그림 6(a)에 나타내었고, 2.445 GHz 의 E-평면 (y-z 평면) 및 H-평면 (x-z 평면) 복사패턴을 그림 6(b)에 나타내었다. 두 주파수의 E- 및 H-평면은 서로 수직하며,

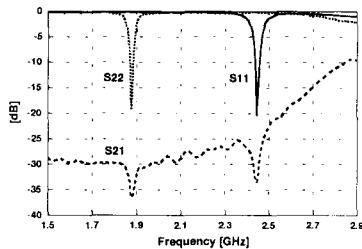


그림 4. 측정된 return loss 특성

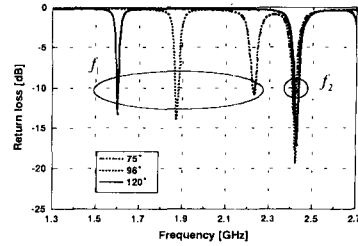


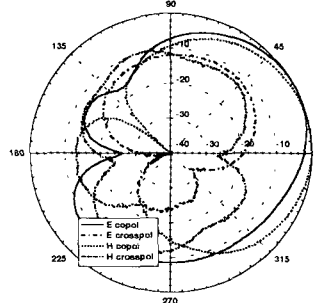
그림 5. 측정된 return loss 특성

1.875 GHz 의 E-평면의 경우 빔이 약  $30^\circ$  정도 기울어져 있음을 볼 수 있다. 이것은 그림 1(a)의 안테나의 급전선의 영향으로 생각된다.

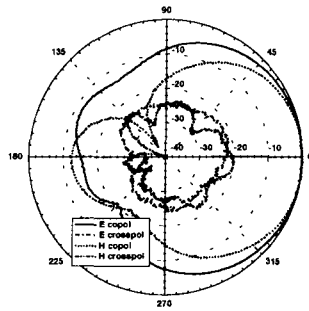
그림 7에 하나의 급전선을 갖는 그림 1(b) 안테나의 복사패턴을 측정하여 나타내었다. 그림 6의 경우와 유사한 주파수 대역에 대해 복사패턴을 측정하였다. E-평면 복사패턴이 그림 6과 달리 빔이 기울어지는 왜곡 현상이 안 생겼다. 브로드사이드 방향에서 교차 편파(cross pol.)의 세기가 그림 6의 (a)를 제외하고는 모두 -20 dB 이하로 측정되었다.

### 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. 10dB 주파수 대역폭이 1% 이내로 협대역이었으나 두 주파수간에 30dB 이상의 큰 격리도를 얻을 수 있었다. 또한 섹터 각도를  $75^\circ$  에서  $120^\circ$  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.

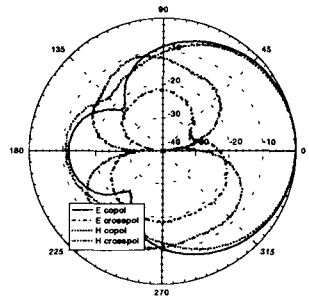


(a) 1.875 GHz

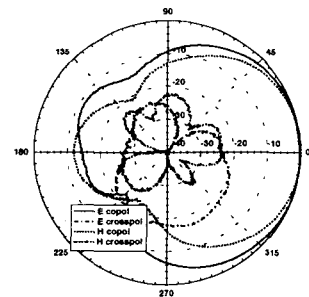


(b) 2.445 GHz

그림 6. 측정된 복사 패턴



(a) 1.87 GHz



(b) 2.42 GHz

그림 7. 측정된 복사 패턴

### 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] H. Nakano and K. Vichien, "Dual-frequency square patch antenna with rectangular notch," *Electron. Lett.*, vol. 25, pp. 1067-1068, 1989.
- [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.