
12GHz 주파수 대역용 8×8 마이크로스트립 어레이 안테나

황운택*

요 약

최근 들어 마이크로스트립 안테나는 소형 경량 및 비교적 얇기인 장점을 가지므로 많은 관심이 증가되고 있다. 본 논문에서는 원형 패치 어레이 안테나를 이론적으로 해석하였다. 해석한 방법은 공진기 모델 해석 방법이다. 설계된 결과와 실험한 결과가 좋은 일치율을 보였다. 본 논문에서 소개된 8×8 어레이 안테나는 12GHz 주파수 대역에서 설계 및 실험되었다. 실험한 결과 최대 이득이 24.8[dB], 그리고 임피던스 대역폭은 120MHz (VSWR≤2)로 비교적 양호한 특성을 얻었다.

ABSTRACT

In recent years, interest in microstrip antenna has been increasing, primarily because of their low profile, and light weight and relative cheapness. In this paper we present a theoretical analysis of the circular patch array antenna. The theory is based on cavity model analysis. The calculated results are compared with experimental results showing good agreement. A 8×8 array antenna at 12GHz frequency band is designed and tested. The experimental results of relatively good characteristics show that its maximum gain is 24.8[dB], and its impedance bandwidth is 120MHz(VSWR≤2).

1. 서 론

마이크로스트립 안테나는 1950년대 미국의 Deschamps와 프랑스의 Baissinot에 의해서 기본 개념이 연구된 이래로 거듭 발전을 하였으며, 1973년에는 Munson에 의해서 단일 슬롯 공진기 안테나 어셈블리란 제목으로 미국 특허화 함으로써 산업화에 본격적인 적용을 예시하였다 [1],[2]. 이러한 마이크로스트립 안테나는 단점보다는 장점이 차지하는 부분이 훨씬 많으므로 앞

으로 많은 분야에서 각광 받을 것이라고 예상된다. 어레이 안테나는 일반적으로 안테나 소자를 공간상에 배치할 때 그 배치하는 형태에 따라서 몇 가지로 구분된다[3]. 그 중에서 마이크로스트립 어레이 안테나에 관한 연구는 지금까지 선형 어레이 안테나에 많은 관심이 모아져 있었으며, planar 어레이 분야는 상대적으로 연구가 적은 편 이었다. 그러므로 본 논문에서는 planar 어레이 안테나를 설계하고 그 특성을 고찰하였다. 마이크로스트립 원형 패치를 8×8 planar 어레이로 설계하였으며, 안테나의 동작 주파수는 12GHz

* 인천전문대학 통신과

주파수 대역이며, 설계목표의 이득은 약 25[dB]이다.

본 논문에서 연구된 안테나는 직접위성방송(Direct Broadcasting Satellite)에서 사용할 수 있도록 12GHz 주파수 대역용으로 설계하였다. 마이크로스트립 원형 패치는 사각형 패치와는 달리, 가장 널리 쓰이는 전송선 모델링 해석 방법으로 해석할 수 없으며 공진기 모델링 해석 방법이나 수치 해석적인 방법으로 해석해야만 한다. 따라서 본 논문에서는 비교적 정확하게 해석할 수 있는 공진기 모델링 방법을 사용하여 안테나를 해석 및 제작 실험하였다. 원형 패치 단일 소자를 공진기 모델링 해석 방법으로 계산된 이론치와 제작 실험한 결과를 서로 비교하였으며, 그 결과를 토대로 하여 planar 어레이를 설계하였다.

II. 원형 패치 안테나의 해석

원형 패치 안테나의 공진기 모델링 해석방법은 다음과 같은 세 가지 가정을 기초로 한다[4]. 첫째, 안테나의 접지 평면을 x-y 평면이라 하고 유전체 층에 수직인 좌표를 z라 할 때 패치와 접지 평면이 매우 가깝기 때문에 공진기 내에서의 전계는 z방향 성분, 자계는 x-y 방향 성분을 가진다고 가정한다. 두 번째로, 유전체 층의 넓이를 무한대로 가정하며 공진기 내에서의 전자계는 z의 함수가 아니다. 세 번째는, 패치 안테나의 모서리에 수직인 성분의 전류는 존재치 않는다고 가정한다.

이상과 같은 가정에 기초하여 마이크로스트립 패치 안테나를 패치와 접지 평면을 전계 벽으로 보고 패치 모서리를 따라 자기 벽이 있는 공진기로 모델링하는 방법이 공진기 모델링 해석 방법이다.

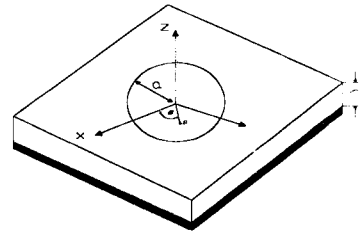


그림 1. 원형 패치 마이크로스트립 안테나
Fig. 1. Circular patch microstrip antenna

그림 1은 기본적인 원형 패치 마이크로스트립 안테나이다. 공진기 모델링 해석 방법의 세 가지 가정들에 의해서 마이크로스트립의 유전체 부분의 전자파 모드는 TM_{mn} 이라고 볼 수 있다. 어떤 주파수에서 $m=n=1$ 모드일 때 공진기가 최소 반경을 가지며 기본 모드가 되므로 m, n 이 모두 1인 기본 모드에 대해서만 논의하고자 한다.

TM_{mn} 모드의 원형 패치의 공진 주파수 f_r 는,

$$f_r = k_{nm} \frac{c}{2\pi a_e \epsilon_r} = \frac{8.79}{a_e \sqrt{\epsilon_r}} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 $k_{nm}(=ka)$ 는 n 차 베셀 함수의 미분치의 m 번째 영이 되는 값이며, 기본 모드만 고려하기로 했으므로 그 값을 찾아보면, $ka=1.8412$ 이다[4]. c 는 자유공간의 광속도이며, ϵ_r 는 기판의 유전율이다. 실효 반경 a_e 는 공진기의 끝을 따라서 누설되는 전자계를 고려하면 실제 반경 a 보다 커지며[5],

$$a_e = a \left[1 + \frac{2h}{\pi a \epsilon_r} (\ln \frac{\pi a}{2h} + 1.7726) \right]^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

원형 패치 반경 a 의 원주를 따라 누설되는 전계에 의한 원거리 지점의 전자장은,

$$E_{\theta} = j \frac{V k_0 a}{2} \frac{e^{-j k_0 r}}{r} \cos n \varphi [J_2(k_0 a \sin \theta) - J_0(k_0 a \sin \theta)] \dots \dots \dots (3)$$

$$E_{\varphi} = j \frac{V k_0 a}{2} \frac{e^{-j k_0 r}}{r} \cos \theta \sin n \varphi [J_2(k_0 a \sin \theta)] \dots \dots \dots (4)$$

여기서 $V = h E_0 J_n(ka)$ 이며, J_n 는 n 차 제1종 베셀 함수이다.

급전 점에서 들여다 본 입력 임피던스 Z_{in} 을 간략화한 식으로 나타내면[6],

$$Z_{in} = \frac{5.18 \times 10^6}{\epsilon_r a^4 f^4 I_1} J_1^2(1.841 \rho / a) \dots \dots \dots (5)$$

마이크로스트립 원형 패치 안테나의 효율 η 는 [7],

$$\eta \% = \frac{100(k_0 a h)^2 I_1}{(k_0 a h)^2 I_1 + 0.953 \times 10^{-6} f^{3/2} + 0.452 h \tan \delta / f} \dots \dots \dots (6)$$

여기서 f 는 GHz, h 는 유전체 기판의 두께 [m]이다. (6)식에 따라서 안테나의 효율은 유전체 기판의 재질과 두께에 관계가 있음을 의미한다. 또 안테나의 이득과 지향성은 다음과 같다.

$$G = \eta D \dots \dots \dots (7)$$

여기서 D 는 안테나의 지향성이며,

$$D = 8 / I_1 \dots \dots \dots (8)$$

(5),(6),(8)식에서 I_1 은[4],

$$I_1 = \int_0^{\pi} [\{ J_2(0.21 f, a \sin \theta) - J_0(0.21 f, a \sin \theta) \}^2 + \cos^2 \theta \{ J_2(0.21 f, a \sin \theta) + J_0(0.21 f, a \sin \theta) \}^2] \sin \theta d \theta \dots \dots \dots (9)$$

어레이 안테나는 안테나 소자를 공간상에 배치할 때 그 배치하는 형태에 따라서 선형 어레이, planar 어레이, volume 어레이로 구분한다 [5].

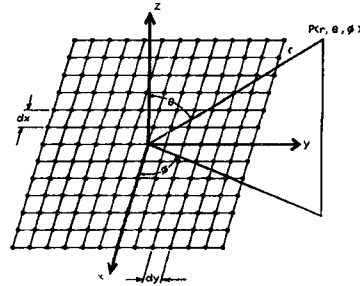


그림 2. Planar 어레이의 구성
Fig. 2. Geometry of the planar array

그 중 planar 어레이에 대해서는 그림 2와 같이 x, y평면 상에 원형 패치 안테나가 균일한 간격을 유지한 planar 어레이의 원거리 영역 전개는 패턴 곱(pattern product)에 의해서 구할 수 있다. 즉 단일 소자의 복사 패턴에 어레이 factor(AF ; θ, φ)를 곱하면 planar 어레이 안테나의 복사 패턴을 구할 수 있다.

$$E(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) \cdot AF(\theta, \varphi) \dots \dots \dots (10)$$

여기서 $f(\theta, \varphi)$ 는 단일 소자의 원형 패치 안테나의 복사 패턴이며, (3),(4)식에서 구한다. 그리고 어레이 factor $AF(\theta, \varphi)$ 는 다음과 같다 [3].

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_{n=1}^N I_{1n} [\sum_{m=1}^M I_{m1} e^{j(m-1)(kd, \sin \theta \cos \varphi + \beta, \cdot)}] e^{j(n-1)(kd, \sin \theta \sin \varphi + \beta, \cdot)} \dots \dots \dots (11)$$

III. 안테나의 설계 및 제작 실험 고찰

마이크로스트립 안테나의 단점 중에는 안테나의 효율이 낮고 안테나의 사용 주파수 대역이 좁다는 것은 이미 알려진 사실이다. 그러나 이러한 단점들을 타개하기 위해서 최근 들어 많은 연구들이 활발하게 진행되고 있다[6]. 본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 사용 기판에 따른 안테나의 효율을 시뮬레이션으로 구했다.

3-1 단일 소자 원형 패치 안테나의 특성

Planar 어레이 안테나를 설계 및 제작하기에 앞서 먼저 단일 소자 원형 패치를 해석하여 제작 실험하였다. 앞절에서 논의한 공진기 모델링 해석으로 원형 패치를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 얻어진 결과와 제작 실험하여 얻어진 결과를 서로 비교하였다.

설계조건은 비유전율 $\epsilon_r = 2.17$, 기판의 두께는 $h=1.5748[\text{mm}]$, 1/2 oz. ($t=0.01778[\text{mm}]$)의 구리 도체가 cladding된 테프론 기판으로 설정하였다. 안테나의 중심주파수를 11.9GHz로 설정하고 원형 패치를 설계한 결과, 공진기의 반경이 $r=7.7[\text{mm}]$ 이었으며 안테나의 효율은 79%이다.

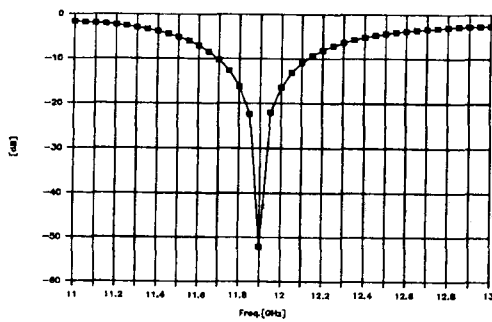


그림 3. 원형 패치 안테나의 return loss 특성의 계산 결과

Fig. 3 Calculated return loss characteristics of circular patch antenna

그림 3은 본 논문에서 계산한 원형 패치 안테나의 공진 주파수의 결과를 나타냈으며 그 특성 또한 return loss가 11.9GHz에서 50[dB] 이상의 좋은 특성을 가진다. 그림 3의 결과를 전압 정재파비로 환산하면 11.7 ~ 12.14GHz 주파수 대역에서 2 이하인 특성을 가진다고 볼 수 있다.

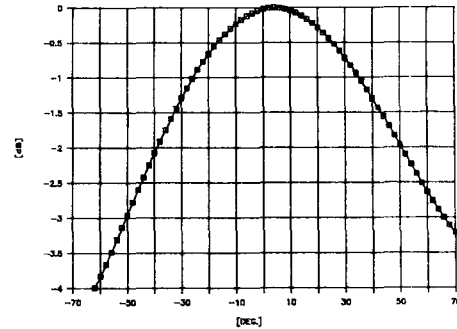


그림4. 원형 패치 안테나의 복사 패턴(θ 방향) 계산 결과

Fig. 4. Calculated radiation pattern of circular patch antenna

그림 4에서 원형 패치의 복사패턴(θ 방향)의 계산 결과를 $-70^\circ \sim 70^\circ$ 까지를 도시하였다. 안테나의 전력 반지폭은 116° 이다. 이상과 같이 설계된 원형 패치 안테나를 제작 실험을 통하여 고찰하고자 한다. 이상과 같이 설계조건에서 사용된 동일한 특성을 가진 (美) Tarconic社의 테프론 기판을 사용하여 원형 패치 안테나를 제작하였다.

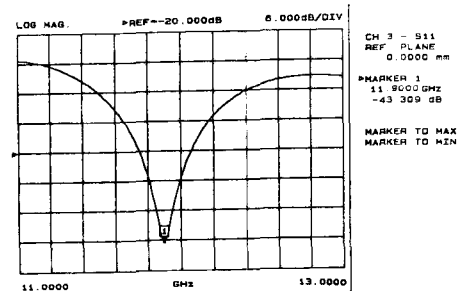


그림 5. 원형 패치 안테나의 return loss 특성
Fig. 5. Measured return loss of a circular patch antenna

그림 5에서 제작 실험한 안테나의 공진 주파수 특성인 return loss 결과를 도시하였다. 실험 결과, 안테나의 공진 주파수가 정확하게 설계 주파수인 11.9GHz에 일치함을 알 수 있다. 공진 주파수 11.9GHz에서 $-43.309[\text{dB}]$ 로 이론치에 거의 유사한 결과를 얻었다.

3-2 Planar 어레이 원형 패치안테나의 특성

Planar 어레이 안테나 설계의 중요한 변수 중 에서 한가지는 패치 소자들의 간격이다. 즉 패치 소자의 간격은 안테나의 복사패턴과 이득 특성에 큰 영향을 미친다[3]. 그러므로 본 논문에서는 planar 어레이 원형 패치 안테나의 가장 높은 이득을 얻을 수 있는 간격인 $0.85\lambda_0$ 로 설정하였다.



그림6.제작된 8×8 planar 어레이 안테나
Fig.6. Manufactured 8×8 planar array antenna

단일 소자 원형 패치 안테나의 특성이 이론치와 실험치가 거의 유사한 특성을 가지고 있으므로 이 결과를 토대로 하여 8×8 planar 어레이 안테나를 설계 및 제작하였다. 그림 6에서 제작된 planar 어레이를 도시하였다. 안테나의 마이크로스트립 급전선로의 설계는 I. J. Bahl이 제시한 관계식을 사용하였다[8].

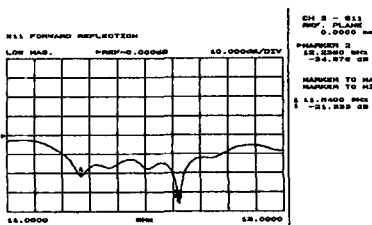


그림 7.
Planar 어레이 안테나의 return loss 특성
Fig. 7. Measured return loss of a planar array antenna

급전선로에서의 복사 손실을 적게 하고, 패치 안테나와의 상호 커플링 등의 영향을 최소화하기 위해서 급전선로의 폭은 $50[\Omega]$ 보다는 폭이 좁은 $70[\Omega]$ 선로로 설계하였다. 제작된 안테나의 크기는 가로 및 세로가 $20[\text{cm}]$ 인 정방형이다. 그림 7에서 제작된 안테나의 return loss를 측정하여 나타냈다. return loss의 최소치는 12.236GHz 에서 $-34.876[\text{dB}]$ 로 나타났다.

그림 8에서는 planar 어레이 안테나의 전압 정재파비를 도시하였다. $11.4 \sim 12.6\text{GHz}$ 까지의 광대역에서 전압 정재파비가 2 이하인 좋은 임피던스 정합특성을 보였으며, return loss의 최소치인 12.236GHz 에서 가장 좋은 1.058을 나타냈다.

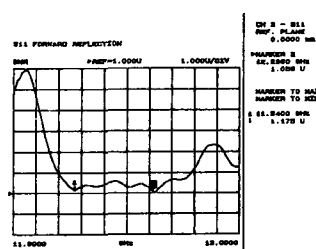


그림 8. Planar 어레이 안테나의 전압 정재파비 특성
Fig. 8. Measured VSWR of a planar array antenna

이상과 같이 측정된 안테나를 전자파 무반사실에서 이득과 복사패턴을 측정하였다.

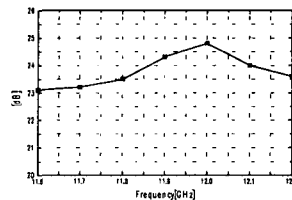


그림 9. Planar 어레이 안테나의 이득
Fig. 9. Measured gain of a planar array antenna.

표준 혼 안테나와 테스트 안테나 사이의 거리는 약 4[m]이며, 실험에 사용된 표준 혼 안테나는 (美) Narda社 표준 혼 안테나를 사용하였다. 안테나 특성 측정에서 사용된 계측기는 (美) Wiltron社의 360 Vector network analyzer를 사용하였다.

그림 9에서 제작된 안테나의 이득 특성을 도시하였다. 이득 측정은 11.6 ~ 12.2 [GHz]까지의 600MHz 대역을 100MHz 간격으로 측정하였다. 이득의 최대치는 12GHz에서 설계 목표치에 근접한 24.8[dB]이며, 최소치는 11.6GHz에서 23.1[dB]로 나타났다.

IV. 결 론

이상과 같이 본 논문에서는 12GHz 주파수 대역용 원형 패치 마이크로스트립 어레이 안테나를 설계 및 실험하였다. 연구된 안테나는 직접위성방송(DBS)에서 사용되는 주파수 대역으로 설계되었다. 원형 패치 소자를 다소 용이하게 해석 고찰할 수 있는 방법인 공진기 모델로 해석하였으나, 이론치와 제작된 안테나의 측정치와 비교하였을 때 비교적 정확하게 일치하는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과를 가지고 8×8 planar 어레이로 설계 제작하여 안테나의 특성을 측정 한 결과, 안테나의 최대 이득은 24.8[dB]이며 전압 정재파비는 11.4 ~ 12.6GHz 광대역에서 2 이하인 좋은 특성을 얻었다.

향후 연구목표는 직접위성방송에서 사용할 수 있을 정도의 고이득 및 원편파 특성의 마이크로스트립 어레이 안테나 설계이다.

참고문헌

[1] K. R. Carver, J. W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-29, NO.1, pp.2-24, Jan. 1981.

[2] R. E. Munson, "Single slot cavity antennas

assembly,"U.S. Patent NO. 3713162, Jan.23, 1973.

[3] C. A. Balanis, "Antenna Theory: Analysis and Design", Harper & RowPub, pp.204-279, 1982.

[4] I. J. Bahl, P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, pp.86-96, 1980.

[5] A.G. Derneryd, "Analysis of the Microstrip Disk Antenna Element," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-27, pp.660-664, 1979.

[6] Kazuhiro Hirasawa, Misao Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*, Artech House, pp.53-80, 1992.

[7] P. B. Morel, S. A. Long, L. C. Shen, "A Theoretical Investigation of the Circular Disc Antenna," *IEE Conf. Digest*, Region V, pp.286-289,1976.

[8] I. J. Bahl, "Simple and Accurate Formulas for Microstrip with Finite Strip Thickness," *Proc. IEEE*, vol.65, pp.1611-1612, 1977.



황운택(Woon-Taek Hwang)
 1949년 6월 25일생
 1973년 광운대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 숭실대학교 전자과학과 졸업(공학석사)
 1997년 한국해양대학교 박사

과정수료
 현재 인천전문대학 통신과 교수
 ※관심분야 : 해상이동통신, 디지털통신