

論文 92-29A-4-1

Cavity 모델 해석을 이용한 마이크로스트립 Dolph-Chebyshev 배열 안테나의 설계

(A Design for Microstrip Dolph-Chebyshev Array Antenna Using Cavity Model Analysis)

閔 庚 壹*, 吳 承 燁*

(Kyoung Il Min and Seung Hyeub Oh)

要 約

Dolph-Chebyshev 배열을 이용하여 측엽 준위가 낮고 비임폭이 좁은 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하는 방법을 제시한다. Dolph-Chebyshev 다항식에서 구한 구동 계수에 상응하는 마이크로스트립 안테나의 폭은 공동 모델 해석을 이용하여 복사 저항값을 계산하여 구한다. 본 논문에서 제시된 설계 방법을 이용하여 공진 주파수가 9.43[GHz]인 10소자 중속 배열 마이크로스트립 안테나를 제작하였다. 실험 결과 이득이 9[dB], 측엽 준위가 -22[dB] 및 비임폭이 8.7[°]의 비교적 양호한 특성을 나타냈다.

Abstract

The method of designing microstrip array antenna for low sidelobe level and narrow beam-width using Dolph-Chebyshev array is presented. The widths of microstrip antenna corresponding to excitation coefficients obtained by Dolph-Chebyshev array polynomials is decided by calculating radiation resistance using cavity model analysis. The cascaded array microstrip antenna composed of 10-elements with resonant frequency to be 9.43[GHz] is fabricated by using design method presented in this paper. The experimental results of relatively good characteristics show that its gain, sidelobe level and beam-width are 9[dB], -22[dB] and 8.7[°].

I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 얇은 유전체판 위에 포토 에칭(photo-etching) 기술로 손쉽게 제작할 수 있고 가볍고 평면이기 때문에 미사일 및 인공 위성 등에 많이 사용된다. 마이크로스트립 안테나 배열에 대한 연구는 1950년 초반부터 우주선 및 미사일 등에 장착

하기 위해 진행되어 왔으나 연구 논문은 1974년 Munson에 의하여 처음으로 발표되었다.¹⁾

측엽 준위(sidelobe level)가 낮고, 비임폭이 좁은 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하기 위해서는 배열 방법에 의해 구해진 구동 계수에 상응하는 마이크로스트립 공진기의 폭은 마이크로스트립 공진기의 복사 저항값을 계산하여 결정한다. 마이크로스트립 공진기의 복사 저항값을 해석하는 방법은 Munson¹⁾과 Derneryd²⁾가 제안된 전송선로 모델 방식과 Caver³⁾가 제안한 공동(cavity) 모델 방식 등이 있다. James와 Wilson⁴⁾은 마이크로스트립 안테나를 전송선로 모델로 복

*正會員, 忠南大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Chungnam Nat'l Univ.)
接受日字: 1991年 11月 21日

사 저항을 계산해서 안테나 소자의 폭을 결정하여 배열 안테나를 설계했으나 전송선로 모델 방식은 기관 두께, 복사면에 전계효과 및 급전선의 영향을 고려하지 않아 오차가 많다. 또한 Metzler¹⁵⁾는 복사 저항을 실험적으로 구하여 안테나 소자의 폭을 결정하여 배열 안테나를 설계했으나 실험을 통하여 폭을 결정한 후 다시 제작하여야 하는 불편이 있다.

본 연구는 축엽 준위가 낮고, 비임폭이 좁은 마이크로스트립 배열 안테나를 설계하기 위한 연구로서 배열 방법은 Dolph-Chebyshev 배열 방법을 이용하며, Dolph-Chebyshev 다항식에서 구한 구동 계수에 해당되는 안테나의 폭은 기관 두께, 복사면에서의 전계 효과 등을 고려하여 복사 저항을 이론적으로 보다 정확하게 계산하는 공동 모델을 이용하여 복사 저항을 계산하여 구한다.

본 논문의 결과식으로부터 공진 주파수가 9.26[GHz]이며 축엽 준위가 -25[dB]인 10소자 종속 배열 마이크로스트립 안테나를 설계 제작하여 안테나 이득, 축엽 준위, 정재파비 등을 측정하여 그 결과를 고찰한다.

II. Dolph-Chebyshev 배열

축엽 준위를 임의로 조정하여 비임폭이 좁고 높은 이득을 얻을 수 있는 방법이 Dolph-Chebyshev 배열이다.¹⁶⁾

$$T_n = \begin{cases} (-1)^n \cosh(ncosh^{-1}|x|) & |x| > 1 \\ \cos(ncos^{-1}x) & |x| < 1 \\ \cosh(ncosh^{-1}x) & x > 1 \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $n=0,1,2,3,\dots,N-1$ 이고, N 은 배열 소자 갯수이다. 다항식 사이에는 다음과 같은 관계가 있다.

$$T_{n+1}(x) = 2x T_n(x) - T_{n-1}(x) \quad (2)$$

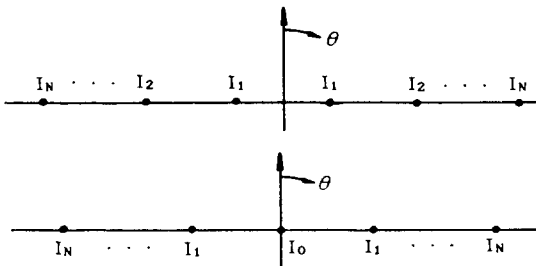


그림 1. 배열 소자의 좌표계

Fig. 1. Coordinate systems of array elements.

안테나 배열 인자는

$$i_0 + 2 \sum_{m=1}^n i_m \cos m \phi$$

: 소자의 수가 홀수인 경우 (3)

$$f(\phi) = 2 \sum_{m=1}^n i_m \cos \left[(2m-1) \frac{\phi}{2} \right]$$

: 소자의 수가 짝수인 경우

가 되며, 여기서 $\phi = 2\pi(d/\lambda) \cos \theta$ 이고, i_m 은 소자들의 계수이다.

(1), (2), (3)식에서 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$x = x_0 \cos \left(\frac{\phi}{2} \right) \quad (4)$$

$$f(\phi) = T_{p-1} \left(x_0 \cos \frac{\phi}{2} \right) \quad (5)$$

축엽 준위는 다음과 같다.

$$SLL = -20 \log R \text{ [dB]} \quad (6)$$

여기서 R : 주빔 대 축엽 준위비이다.

$$R = T_{p-1}(x_0) = \cosh[(p-1) \cosh^{-1} x_0] \quad (7)$$

(7)식을 x_0 에 대하여 풀면

$$x_0 = \cosh \left(\frac{1}{p-1} \cosh^{-1} R \right) \quad (8)$$

이 된다.

설계하고자하는 축엽 준위 SLL에 의해 (6)식으로부터 R 을 결정하고 (8)식으로 x_0 을 계산하여 (3)식의 배열 인자와 (5)식의 Dolph-Chebyshev 다항식의 관계에서 전류값을 구할 수 있다.

배열의 지향성¹⁷⁾은

$$D = \frac{2R^2}{1 + (R^2 - 1)F/(Nd)} \quad (9)$$

여기서 d 는 배열 소자 사이의 거리이고, F 는 빔 조향을 크게하거나 축엽 준위를 $-20 \sim -60$ [dB]로 할 경우 고려해야할 빔 확대 인자로서

$$F = 1 + 0.6361 \frac{2}{R} \cosh \left[\sqrt{(\cosh^{-1} R^2) - n^2} \right]^2 \quad (10)$$

이 된다. 3dB 비임폭 식의 근사식¹⁸⁾은

$$BW = 101.5^\circ / D \quad (11)$$

로부터 구할 수 있다.

III. 마이크로스트립 공진기의 복사 저항 계산

Dolph-Chebyshev 다항식에서 구한 구동 계수에 상응하는 마이크로스트립 공진기의 폭을 결정하기 위해 공진기를 자기벽(magnetic wall)을 가진 얇은 TMz

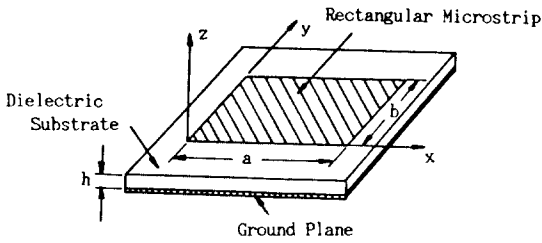


그림 2. 사각형 마이크로스트립 공진기
Fig. 2. Rectangular microstrip resonator.

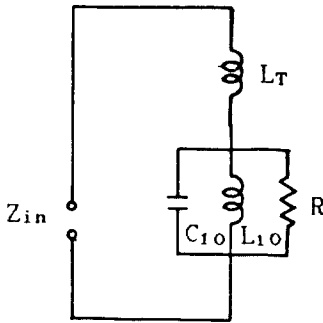


그림 3. 마이크로스트립 공진기의 TM₁₀ 모드에 대한 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit about TM₁₀ mode of microstrip resonator.

모우드로 보고 해석하는 공동 모델 해석 방법을 이용하여 마이크로스트립 공진기의 복사 저항값을 계산한다.

그림 3은 마이크로스트립 공진기의 TM₁₀ 모드에 대한 등가회로이다. 그림 3에서

$$Z_{in} = -jX_L - \frac{j(\omega/C_{10})}{\omega^2 - (\omega_r + j\omega t)^2} \quad (12)$$

$$(\omega_r + j\omega t)^2 = \omega_0^2(1 + j/Q) \quad (13)$$

$$C_{10} = \frac{1}{2} C_{ac} \cos^{-2}(\pi y_0/b) \quad (14)$$

C_{dc}는 dc 공진기의 용량, Q는 TM₁₀ 모우드의 선택도, 그리고 ω₀는 공진 주파수이다. TM₁₀ 모우드 공진 주파수는 다음과 같다.¹⁾

$$\tan k_{10}b = \frac{2k_{10} \alpha_{10}}{k_{10}^2 - \alpha_{10}^2} \quad (15)$$

여기서

$$\alpha_{10} = j \frac{2\pi Z_0}{\lambda_0} \frac{t}{a} Y_w F_y(a/b) \quad (16)$$

그리고

Y_w : y=0과 y=b에서 복사 자기력의 어드미턴스
Z₀ : 376[Ω]

λ₀ : 자유 공간의 파장

이다.

TM₁₀ 모우드 사각형 공진기의 중횡비 요소 F_y(a/b)는 다음 식과 같이 나타낸다.¹⁾

$$F_y(a/b) = 0.7747 + 0.5977\left(\frac{a}{b} - 1\right) - 0.1638\left(\frac{a}{b} - 1\right)^2 \quad (17)$$

마이크로스트립 안테나에 대한 자기력 어드미턴스 Y_w는 다음 식을 이용하여 구한다.

$$Y_w = G_w + jB_w \quad (18)$$

여기서

$$G_w = (\pi/376) \cdot (a/\lambda_0) \quad (19)$$

$$B_w = 0.01668(\Delta l/t) \left(\frac{a}{\lambda_0}\right) \cdot \epsilon_e \quad (20)$$

그리고 Hammerstad의 공식¹⁰⁾에 의해

$$\frac{\Delta l}{t} = 0.412 \left[\frac{\epsilon_e + 0.300}{\epsilon_e - 0.258} \right] \cdot \left[\frac{a/t + 0.262}{a/t + 0.813} \right] \quad (21)$$

또, 유효 비유전율 상수 ε_e는 Schneider의 공식¹¹⁾에 의해

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10t}{a} \right]^{-1/2} \quad (22)$$

로 나타낸다.

마이크로스트립 공진기의 중횡비와 기관 두께 등을 고려하면 전기적으로 얇은 기관에서 k_y는 일반적으로 π/b보다 1~5[%]정도¹⁾ 작으며 그 차이를 다음과 같이 나타낸다.¹⁾

$$\Delta = \pi - k_{10}b \quad (23)$$

(15), (23)식에서

$$\tan \Delta = \frac{2(\alpha_{10}b) \cdot (\pi - \Delta)}{(\alpha_{10}b)^2 + 2\Delta \pi - \Delta^2 - \pi^2} \quad (24)$$

이 된다. 여기서 Δ는 작기 때문에 반복 계산 방법에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta_{p+1} = \frac{2(\alpha_{10}b) \cdot (\pi - \Delta_p)}{(\alpha_{10}b)^2 + 2\Delta_p \pi - \Delta_p^2 - \pi^2} - \frac{\Delta_p^3}{3} \quad (p=0, 1, 2, 3) \quad (25)$$

Δ₄까지 구하면 ±10⁻⁵ 정확한 값을 얻을 수 있다.¹⁾ (23)식에서

$$k_{10} = \frac{\pi}{b} - \frac{\Delta_4}{b} \quad (26)$$

이 된다.

복소 공진 주파수는 다음과 같이 얻을 수 있다.^[1]

$$\omega_r + j\omega_i = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r(1-j\tan\delta)}} k_{10} \quad (27)$$

여기서 $\tan\delta$ 는 기관 손실 탄젠트로서 일반적으로 매우 적다. 사각형 마이크로스트립 공진기에 대한 공진 주파수는 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$f_r = \frac{\omega_r}{2\pi} \quad (28)$$

복사 선택도^[3]는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q_r = \frac{\omega_r}{2\omega_i} \quad (29)$$

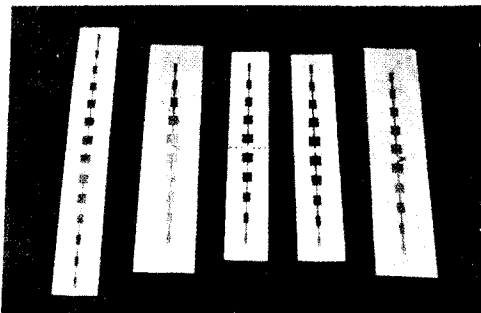
복사 저항은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$R_{rad} = \frac{Q_r}{\omega_r C} \quad (30)$$

Dolph-Chebyshev 배열 방법에 의해 구해진 배열 소자들의 구동 계수에 상응하는 마이크로스트립 공진기의 폭을 결정하기 위해 마이크로스트립 공진기의 복사 저항값을 식(30)으로 계산한다. 전송선로 모델 해석 방법의 경우 $R_{rad} \propto a^2$ ^[4]이나 본 연구에서 설명한 공동 모델 방법으로 복사 저항을 계산하면 $R_{rad} \propto a^{(1.92-1.93)}$ 의 관계가 있어 전송선로 모델 해석 방법보다 더 정확하게 배열 소자의 폭을 계산할 수 있다.

IV. 설계 및 제작

본 연구에서 설명한 이론에 의해 측정 준위가 -25 [dB]인 10소자 중속 배열 마이크로스트립 안테나를 그림 4와 같이 설계 제작하였다(사진1 참조). 여기서 사용된 기관은 3M사의 LX-0300-45-11 제품으로 비유전율이 2.45 유전체판 두께는 60[mil]이다. 이 테프론(teflon) 기관의 가공은 포토에칭(photo-etching)



사 진 1. 제작된 마이크로스트립 배열 안테나
Photo 1. The manufactured microstrip array antenna.

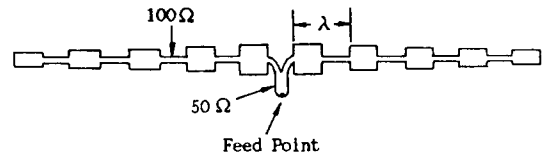


그림 4. 10소자 중속 배열 마이크로스트립 안테나
Fig. 4. The cascaded array microstrip antenna composed of 10-elements.

표 1. 마이크로스트립 안테나 소자 폭의 계산값
Table 1. Calculated value of elements width of microstrip antenna.

소자 번호	Dolph-chebyshev 배열의 구동계수	공진기의 폭(a) [cm]
1	0.39497	0.62
2	0.50563	0.70
3	0.72140	0.85
4	0.89934	0.95
5	1.00000	1.00
6	1.00000	1.00
7	0.89934	0.95
8	0.72140	0.85
9	0.50563	0.70
10	0.39497	0.62

법 및 염화제2철에 의한 식각 처리를 하였다.

그림 4는 10 소자 중속 배열 마이크로스트립 안테나의 구조이다. 각 소자의 공진 길이(b)는 10[mm]로 하여 공진 주파수가 9.26[GHz]가 되도록 하였으며 각 소자의 폭(a)는 Dolph-Chebyshev 다항식의 구동 계수에 의해 표 1과 같이 계산되었다. 마이크로스트립 급전 선로는 50[Ω]선로에서 두개의 100[Ω]선로로 분배되는 형태를 이용하였다.^[2] 또한 마이크로스트립 공진기 사이의 급전 선로는 선로에서 복사 손실이 적도록하고 공진기 복사면 스톱트에서 전계 분포가 변형되지 않도록하기 위해 50[Ω]보다 폭이 좁은 100[Ω] 선로로 설계하였다. 마이크로스트립 급전 선로와 외부 급전 선로의 연결은 마이크로스트립 선로용 SMA 콘넥터를 사용하였으며 마이크로스트립 급전 선로와 SMA 콘넥터와의 연결이 잘 되도록 점속 콘넥터의 부근에 은 연고(silver paste)를 사용하였다.

V. 실험 및 고찰

제작된 안테나의 정재파비는 Wiltron사의 Model 561 스칼라 분석기 시스템을 이용하여 측정하였으며

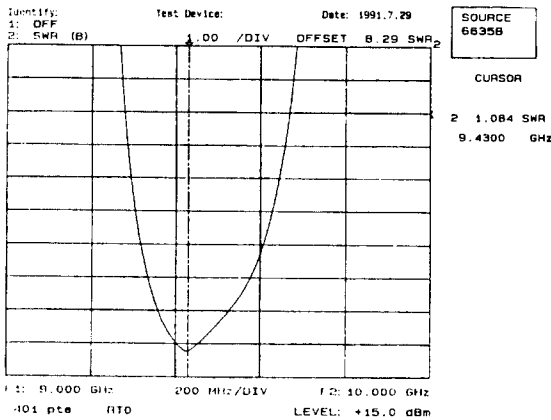


그림 5. 측정된 정재파비 특성
Fig. 5. Characteristics of measured VSWR.

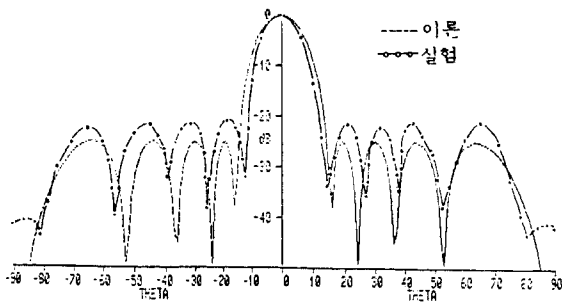


그림 6. 복사 패턴 특성
Fig. 6. Characteristics of radiation pattern.

그 결과는 그림 5에 나타냈다. 복사 패턴은 Marconi사의 안테나 실험 시스템 TYPE 6452A/2를 이용하여 정재파비가 가장 낮은 주파수에서 측정하여 그림 6에 나타냈으며, 이득은 표준 혼안테나 (17[dB])를 기준으로 하여 비교 측정하였다.

이론값과 실험값에 대한 결과 분석은 표 2에 나타냈다. 측정 준위는 3[dB]의 오차가 있는데 이것은 전송선로 모델로 해석하여 설계한 James와 Wilson^[4]의 경우 오차 4[dB] (이론값 -24[dB], 측정값 -20[dB])보다 적은 오차를 나타냈다. 이득은 0.68[dB], 비임폭은 2.2[°]의 적은 오차가 있어 비교적 이론값과 잘 일치하고 있다.

VI. 결 론

Dolph-Chebyshev 배열 방법을 이용하여 측정 준위가 낮고, 비임폭이 좁은 마이크로스트립 배열 안테나

표 2. 마이크로스트립 안테나의 측정 결과표
Table 2. Summary of measured results of microstrip antenna.

	공진주파수 [GHz]	이득[dB]	비임폭 [°] (H-plane)	측업준위 [dB]
이론값	9.26	9.68	10.9	-25
측정값	9.43	9	8.7	-22

를 설계하는 방법을 제시하였다. Dolph-Chebyshev 다항식에서 구한 구동 계수에 상응하는 마이크로스트립 공진기의 폭은 공동 모델 해석 방법을 이용하여 복사 저항값을 구해 $R_{rad} \propto a^{1.92-1.93}$ 의 관계식으로부터 결정하였다. 본 논문에서는 제시된 설계 방법을 이용하여 10 소자 중속 배열 마이크로스트립 안테나를 설계 제작하여 공진 주파수 9.43[GHz] (이론값 9.26[GHz])에서 측정 준위 -22[dB] (이론값 -25[dB]), 이득은 9[dB] (이론값 9.68[dB]), 비임폭 8.7[°] (이론값 10.9[°])로서 비교적 양호한 특성을 얻었다. 앞으로 소자들간의 상호 결합등을 고려하여 마이크로스트립 공진기의 복사 저항을 계산하여 공진기의 폭을 결정하는 방법을 연구한다면 더욱 정확한 결과를 얻어낼 수 있으리라 예상된다.

參 考 文 獻

- [1] R.E. Munson, "Conformal microstrip antenna and microstrip phased array", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. AP-22, pp. 74-78, Jan., 1974.
- [2] Demeryd, A. G. "Microstrip array antenna," *Proc. 6th European Microwave Conference*, pp. 339-343, 1976.
- [3] Carver, K. R., "Practical analytical techniques for the microstrip antenna," *Proc. Workshop on Printed Circuit Antennas*, New Mexico State University, Oct., pp. 7.1-7.20, 1979.
- [4] James, J. R and G.R. Wilson, "New design for microstrip antenna arrays," *5th Europe. Microwave Conf.*, Sep., pp. 102-106, 1975.
- [5] Metzler, T., "Microstrip series arrays," *Proc. Workshop on Printed Circuit Antenna Technology*, New Mexico State University, Las Cruces(New Mexico), pp., 20.1-20.16, 1979.
- [6] W.L. Stutzman and G.A. Thiele. *Antenna Theory and Design*, Wiley, pp. 537-542, 1981.
- [7] C.A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, New York, Harper and Row, 1982.
- [8] R.S. Elliott, *Antenna Theory and Design*, Prentice Hall, pp. 153-157, 1981.

[9] K.R. Caver and E.L. Coffey, "Theoretical investigation of the microstrip antenna," New Mexico State University, Physical Science Laboratory Technical Report PT-00929, Jan., pp. 1-23, 1979.

[10] Hammerstad, E. O., "Equation for microstrip circuit design", 5th European Microwave Conference, Sept., pp. 268-272, 1975.

[11] Schneider, M.V., "Microstrip dispersion," *Proc. IEEE*, vol. 60, no. 1, Jan., pp. 144-146, 1972.

[12] D.M. Pozar, *Antenna Design Using Personal Computers*, Aretch House, pp. 127-141, 1985.

著 者 紹 介

関 庚 壹 (正會員) 第29卷 A編 第2號 參照
 현재 충남대학교 전자공학과
 박사과정 재학중

吳 承 燁 (正會員) 第29卷 A編 第2號 參照
 현재 충남대학교 전자공학과
 교수