

論文 91-28A-1-4

E-면으로 직접 결합된 마이크로스트립 어레이 안테나 (Microstrip Array Antenna Directly Coupled to E-Plane)

金 泰 亨*, 洪 在 杓**, 朴 鎮 澤***, 趙 榮 基***, 孫 鉉***

(Tae Hyung Kim, Jae Pyo Hong, Chin Taek Pak, Young Ki Cho, and Hyon Son)

要 約

마이크로스트립 안테나의 복사 특성을 개선하기 위해서 중심 패치가 동축선로로 급전되며 마이크로스트립 선로에 의해 E-면으로 여러개의 패치가 직접 결합된 마이크로스트립 어레이 안테나를 제시한 후 해석하였다. 등가 전송선로 모델을 이용하여 안테나의 등가회로를 구하였으며, 일정한 패치폭을 갖는 5-패치 어레이 안테나에 대해 여러가지 변수값, 즉 마이크로스트립 선로의 길이, 패치의 길이 및 급전점을 변화시켜 양호한 복사패턴을 갖도록 안테나를 설계하였다. 부엽이 낮고 빔폭이 좁은 복사패턴을 가지는 5-패치 어레이 안테나를 제작하여 실험치와 이론치를 비교하였으며, 또한 단일 구형 마이크로스트립 안테나의 결과와 비교하였다.

Abstract

In order to improve the radiation characteristics of the microstrip antenna, microstrip array antenna consisting of one center patch fed by a coaxial probe and several patches directly coupled to the E-plane by microstrip line is analyzed. The equivalent circuit of the array antenna is represented by the conventional transmission line and the various parameters, such as the microstrip line length, the patch length and the feed point location are calculated to improve the radiation pattern for 5-patch array antenna which has the equal patch width. The 5-patch array antenna with the radiation pattern which has low sidelobe level and narrow beam width is fabricated and then the measured results are compared with the computed values and the results of the single patch microstrip antenna too.

I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 대역폭이 좁은 단점이 있으나 소형, 경량 및 평면성등의 장점때문에 여러 분야에서 널리 사용되고 있다. 최근에는 여러개의

마이크로스트립 패치(patch)를 갭 결합(gap coupling)^{1,2}하거나 또는 마이크로스트립 선로로 직접결합^{3,6}한 어레이 안테나(array antenna)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 어레이 안테나를 이용하여 마이크로스트립 안테나의 단점인 대역폭을 넓히거나 또는 지향성을 개선하였다. 그중에서도 1987년 K. F. Lee⁷ 등은 동축선로로 급전된 중심패치(center patch)의 E-면과 H-면에 여러개의 기생소자(parasitic element)를 갭 결합한 어레이 안테나를 제시한 후, 실험적인 방법에 의해 안테나의 복사패턴과 이득을 개선하였다. 그리고 1976년 A. G. Derneryd⁸는 동일

*準會員, ***正會員, 慶北大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Nat'l Univ.)

**正會員, 慶北産業大學 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kyungpook Sanup Univ.)

接受日字: 1990年 9月 17日

한 크기를 갖는 4 개의 패치를 마이크로스트립 선로에 의해 E-면으로 배열한 어레이 안테나를 제시한 후, 어레이 이득을 이용하여 마이크로스트립 안테나의 지향성을 개선하였다. Derneryd는 등가 전송선로 모델을 이용하여 어레이 안테나를 해석하였고, 또한 개구이론(aperture theory)을 이용한 복사 컨덕턴스와 선로확장(line extension)개념을 이용한 시뎌턴스를 안테나의 복사 어드미턴스로 사용하였다.

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 지향성을 개선하기 위해 중심패치의 E-면으로 여러개의 패치가 마이크로스트립 선로에 의해 직접 결합된 어레이 안테나를 제시하였다. 이 어레이 안테나는 중심패치에서 대칭적인 구조를 가지며, 동축선로를 사용하여 급전하였다. 그리고 등가 전송선로 모델과 평행-평판 도파로의 등가회로¹⁷⁾로부터 구한 구형 마이크로스트립 안테나의 복사 어드미턴스¹⁸⁾를 사용하여 등가 회로를 구하였고, 안테나의 등가회로로부터 제시한 어레이 안테나를 이론적으로 해석하였다. 또한 복사 패턴을 계산하여 컴퓨터 시뎌레이션을 한 결과, 부엽(side lobe)이 낮고 빔폭(beam width)이 좁은 복사패턴을 갖는 어레이 안테나의 제원, 즉 각 패치의 길이, 각 마이크로스트립 선로의 길이 및 급전점을 구하였다. 그리고 어레이 안테나를 제작하여 실험한 결과와 이론적인 결과를 비교하였으며, 또한 단일 패치 안테나의 복사패턴과 비교 검토하였다.

II. 이 론

1. 안테나의 등가 회로

마이크로스트립 안테나의 지향성을 개선하기 위해 본 논문에서 제시한 어레이 안테나의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서와 같이 어레이 안테나는 여러개의 패치가 중심 패치의 E-면으로 나란히 배열되며, 각 패치는 높은 특성 임피던스를 갖는 마이크로스트립 선로에 의해 직접 결합되도록 하였다. 그리고 어레이 안테나는 중심 패치에서 동축선로를 이용하여 급전하였고, 또한 중심패치를 중심으로 좌우대칭인 구조이다. 그림 1에서와 같이 어레이 안테나의 전체 패치의 갯수는 N개이고, 이 패치수가 정해지면 n은 $n = (N + 1) / 2$ 의 관계에 의해 결정되는 상수이고 이는 중심패치에서 몇번째인가를 나타내는 수이다. 각 패치의 길이는 $L_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 이고, 각 마이크로스트립 선로의 길이는 $S_j (j = 1, 2, \dots, n-1)$ 이다. 그리고 모든 패치의 폭은 W로 동일하고, 모든 마이크로스트립 선로의 폭은 W_s 로 하였다. 그리고 안테나의 급전은 동축선로를 사용하여 중심패치에서 이루

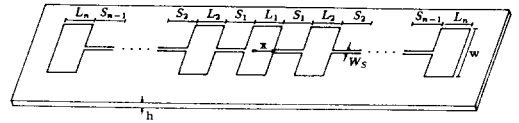


그림 1. 마이크로스트립 어레이 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry for the microstrip array antenna.

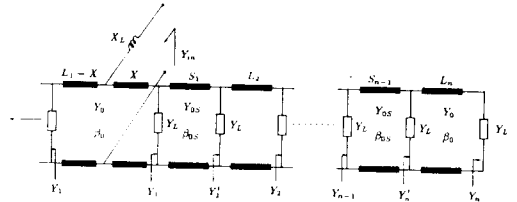


그림 2. 안테나의 등가 회로
Fig. 2. Equivalent circuit of the antenna.

어졌고 급전점의 위치는 X이다. 그리고 유전체의 두께는 h이고 비유전율은 ϵ_r 이다.

그림 2는 등가 전송선로 모델을 이용하여 그림 1에 주어진 어레이 안테나의 등가회로를 나타낸 것이다. 여기서 제시한 어레이 안테나는 좌우 대칭인 구조이므로 편의상 중심패치를 포함한 오른쪽 구조에 대한 등가회로만을 나타내었다. 그림 2에서와 같이 각 패치의 복사면 가장자리에서 복사되는 복사 어드미턴스는 Y_l 로 나타내었고, 이 값은 슬릿이 있는 평행 평판 도파로의 등가회로¹⁷⁾로부터 계산하였다. 그리고 급전용 동축선로의 등가회로 성분인 유도성 리액턴스¹⁹⁾는 X_l 로 나타내었고 이는 다음식으로부터 계산하였다.

$$X_l = -\frac{\eta_0}{\sqrt{\epsilon_r}} \tan\left(\frac{2\pi h}{\lambda_0}\right) \quad (1)$$

여기서 η_0 와 λ_0 는 각각 자유공간의 고유 임피던스와 파장을 의미한다. 그리고 Y_0 와 Y_{0s} 는 각각 패치와 마이크로스트립 선로의 특성 어드미턴스, β_0 와 β_{0s} 는 패치와 마이크로스트립 선로의 위상정수라 하면 이들 파라미터는 다음식에 의해 구할 수 있다.^{11,12)}

$$Y_0 = \frac{W\alpha\sqrt{\epsilon_{eff}}}{\eta_0 h} \quad (2)$$

$$\beta_0 = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon_{eff}} \quad (3)$$

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 10 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (4)$$

$$\alpha = 1 + 1.393 \frac{h}{W} + 0.667 \frac{h}{W} \ln \left[\frac{W}{h} + 1.444 \right] \quad (5)$$

$$Y_{OS} = \frac{\sqrt{\epsilon'_{eff}}}{60 \ln \left(8 \frac{h}{W_s} + 0.25 \frac{W_s}{h} \right)} \quad (6)$$

$$\beta_{OS} = \frac{2\pi}{\lambda_0} \sqrt{\epsilon'_{eff}} \quad (7)$$

$$\epsilon'_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[\left(1 + 12 \frac{h}{W_s} \right)^{-1/2} + 0.04 \left(1 - \frac{W_s}{h} \right)^2 \right] \quad (8)$$

여기서 ϵ_{eff} 와 ϵ'_{eff} 는 각각 패치와 마이크로스트립 선로의 유효 유전율을 나타낸다. 그리고 α 는 상수이다.

2. 입력 어미드턴스

그림 2에서와 같이 전송선로로 나타낸 어레이 안테나의 등가회로로부터 각 단의 입력 어미드턴스 Y_a 및 Y'_{a+1} ($a=1, 2, \dots, n-1$)은 각각 다음식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_a = Y_{OS} \frac{Y'_{a+1} + jY_{OS} \tan \beta OS S_a}{Y_{OS} + jY'_{a+1} \tan \beta OS S_a} \quad (9)$$

$$Y'_{a+1} = Y_O \frac{Y_{a+1} + jY_O \tan \beta OL_a}{Y_O + jY_{a+1} \tan \beta OL_a} \quad (10)$$

그리고 중심 패치에서부터 n 번째 패치단의 입력 어미드턴스 Y_n 은 n 번째 패치의 복사면 가장자리에서의 입력 어미드턴스를 의미함으로 이는 구형 마이크로스트립 안테나의 복사 어미드턴스 Y_L 로 주어지게 된다. 그러므로 어레이 안테나의 전체 입력 어미드턴스 Y_{in} 은 급전점에서 좌측 및 우측으로 바라본 입력 어미드턴스와 급전용 동축선로의 등가성분인 jX_L 을 이용하여 얻을 수 있으며, 이는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{in} = \frac{1}{jX_L} \parallel \left[Y_O \frac{Y_1 + jY_O \tan(\beta OX)}{Y_O + jY_1 \tan(\beta OX)} + Y_O \frac{Y_1 + jY_O \tan \beta O(L_1 - X)}{Y_O + jY_1 \tan \beta O(L_1 - X)} \right] \quad (11)$$

주파수에 대한 안테나의 정합 특성을 얻기 위한 제한 손실(return loss)은 다음과 같이 정의되며, 이 값은 각각의 주파수에서 계산된 안테나의 입력 어미드턴스로부터 결정됨을 알 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Return Loss [dB]} &= 20 \log |\Gamma_{in}| \\ &= 20 \log \left| \frac{Y_{OO} - Y_{in}}{Y_{OO} + Y_{in}} \right| \quad (12) \end{aligned}$$

여기서 Γ_{in} 은 어레이 안테나의 입력단의 전압 반사계수이고, Y_{OO} 는 동축선로의 특성 어미드턴스를 나타내며, $1/50[S]$ 로 주어진다.

3. 복사 패턴

마이크로스트립 어레이 안테나의 복사패턴은 각각의 복사면 가장자리에서 인가되는 복사전압(radiating voltage)과 단일 복사면에서의 복사 특성으로부터 결정되어진다. 그러므로 복사되는 각단의 복사전압을 구하기 위해 그림 2에 주어진 어레이 안테나의 등가 회로를 그림 3과 같이 나타내었다. 그리고 어레이 안테나의 입력단에 입사되는 전압은 $V_{inc} = 1 \angle 0^\circ$ 로 가정하여 해석하였다.

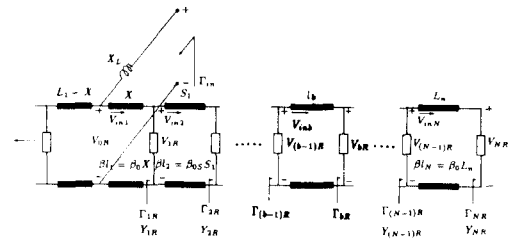


그림 3. 복사전압을 구하기 위한 등가회로
Fig. 3. Equivalent circuit for calculating the radiating voltage.

그림 3에서 급전점 X양단의 전압 V_{OR} 은 어레이 입력단에서의 전압과 유도성 리액턴스에 의한 전압 강하로부터 계산할 수 있고, 각 복사면 가장자리에서 인가되는 복사전압 V_{bR} (여기서 $b=1, 2, 3, \dots, N$ 이고, R은 right를 의미함)은 전송선로의 전압 전류 방정식을 이용하여 나타낼 수 있으며, 이들은 다음 수식과 같이 주어진다.

$$V_{OR} = (1 + \Gamma_{in}) - jX_L Y_{OO} (1 - \Gamma_{in}) \quad (13)$$

$$V_{bR} = V_{inb} e^{-j\beta l_b} (1 + \Gamma_{bR}^b) \quad (14)$$

$$V_{inb} = \frac{V_{(b-1)R}}{1 + e^{-j2\beta l_b} \Gamma_{bR}} \quad (15)$$

여기서 Γ_{bR} 은 각단의 전압 반사계수를 나타내고 이는

$$\Gamma_{bR} = \begin{cases} \frac{(Y_O - Y_{bR})}{(Y_O + Y_{bR})} & , b=2, 4, 6, \dots, N-1 \\ \frac{(Y_{OS} - Y_{bR})}{(Y_{OS} + Y_{bR})} & , b=1, 3, 5, \dots, N \end{cases}$$

로 주어지며, V_{in0} 는 각단에 입사되는 전압을 의미한다.

단일 복사면에서의 복사특성은 슬롯에 의한 복사특성으로 표현되므로 그림 4와 같이 주어질 단일 슬롯에 의한 전계는 아래식으로 주어진다.^[13]

$$E_{\theta} = -jk_0 \sin\theta \frac{e^{-jk_0 r}}{2\pi r} E_x hW \frac{\sin(\frac{k_0 k}{2} \sin\theta \cos\phi) \sin(\frac{k_0 W}{2} \cos\theta)}{\frac{k_0 h}{2} \sin\theta \cos\phi \frac{k_0 W}{2} \cos\theta}$$

$$\approx -j \frac{E_x h}{\pi} \frac{e^{-jk_0 r}}{r} \frac{\sin(\frac{\pi W}{\lambda_0} \cos\theta)}{\cos\theta} \sin\theta \quad (16)$$

여기서 k_0 는 자유공간에서의 전파상수이다.

본 논문에서 제시된 마이크로스트립 어레이 안테나의 복사 패턴을 계산하기 위해 그림 5와 같이 좌표축을 설정하였다. 그리고 위에서 계산된 각 복사면 양단의 복사전압과 단일 패치의 복사특성을 이용하여 어레이 안테나의 전체 전계 E_1 를 나타내면 다음과 같이 표시된다.

$$E_1 = E_{\theta} \cdot \sum_{n=1}^N [V_{nr} e^{jk_0 d_{nr} \cos\phi} + V_{nl} e^{-jk_0 d_{nl} \cos\phi}] \quad (17)$$

여기서 $\sum_{n=1}^N [V_{nr} e^{jk_0 d_{nr} \cos\phi} + V_{nl} e^{-jk_0 d_{nl} \cos\phi}]$ 는 어레이 요소(array factor)로 정의되고, d_{nr} 은 원점과 x축의 양방향(right)으로 n번째 복사면사이의 거리를 나타내며, d_{nl} 은 음방향(left)으로의 거리를 나타낸다.

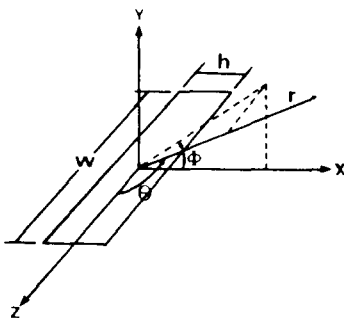


그림 4. 단일슬롯의 좌표
Fig. 4. Coordinate of single slot.

III. 실험결과 및 검토

II 절에서 제시한 이론을 바탕으로 다섯 개의 패치가 마이크로스트립 선로에 의해 E-면으로 직접 결합된 마이크로스트립 어레이 안테나를 설계하였다.

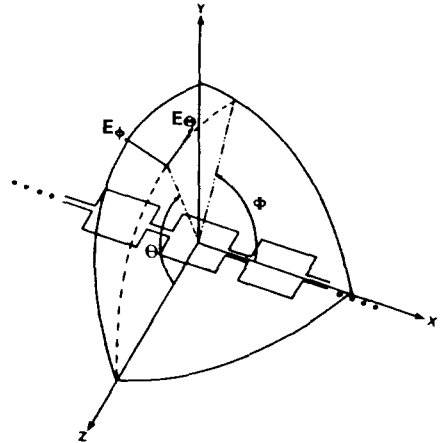


그림 5. 어레이 안테나의 좌표
Fig. 5. Coordinate of the array antenna.

여기서 마이크로스트립 선로의 폭은 안테나의 복사패턴에 불필요한 영향을 발생하지 않기 위해서는 폭이 좁아야 하나 제작상의 정확성을 기하기 위해 0.05cm로 하였다. 그리고 모든 패치의 폭은 2.7cm로 일정하게 하였다. II 절에서 제시된 각 복사면에서의 복사전압과 단일 복사면에 대한 복사특성을 이용하여 5-패치 어레이 안테나의 복사패턴을 계산한 후, 부엽이 낮고 빔폭이 좁은 복사패턴을 가지도록 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 각각의 패치의 길이, 마이크로스트립 선로의 길이 및 급전점을 구하였다. 5-패치 어레이에 대해 최적값을 갖는 안테나의 제원은

표 1. 5-패치 어레이 안테나의 제원
Table 1. Specification of the 5-patch array antenna.

patch line length			microstrip line length	feed point location	patch width	microstrip line width
L_1	L_2	L_3	S_1	S_2	X	W
2.05	2.15	2.4	2.55	2.1	1.9	2.7

표 2. 단일 패치 안테나의 제원
Table 2. Specification of the single patch antenna.

patch length	patch width	feed point
L [cm]	W [cm]	X [cm]
2.2	2.7	0.6

표 1 과 같고 제작된 5-패치 어레이 안테나는 그림 6 과 같다. 그리고 어레이 안테나의 복사특성과 비교하기 위해 제작한 단일 패치 안테나의 제원은 표2와 같다. 본 논문에서는 비유전율이 2.6이고, 두께가 0.155cm인 teflon 양면기판(CGP-512)을 사용하여 안테나를 제작하였다.

안테나의 정합특성을 알기 위해 주파수에 대한 케 환손실의 이론치와 실험치를 비교한 결과는 그림7및 8과 같다. 그림 7은 5-패치 어레이 안테나에 대한 결과이며 그림에서와 같이 최대 정합 주파수에서 약간의 오차가 발생하였으나 이론치와 실험치는 거의 일치되는 양호한 결과를 얻었다. 그림 8은 단일패치 안테나에 대한 결과이고 이론치와 실험치는 거의 일치하며 공진 주파수의 편차는 20 MHz로 나타났다.

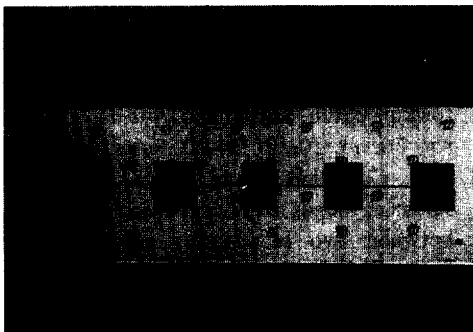


그림 6. 제작된 5-패치 어레이 안테나의 사진
Fig. 6. Photograph of the fabricated 5-patch array antenna.

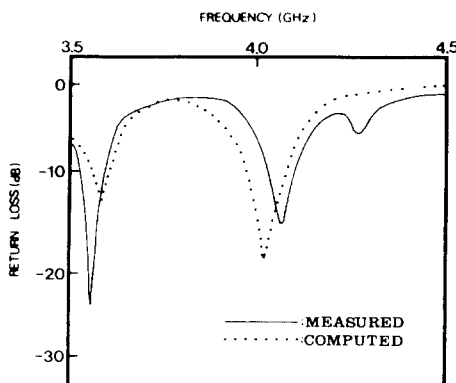


그림 7. 5-패치 어레이 안테나의 케 환손실
Fig. 7. Return loss of the 5-patch array antenna.

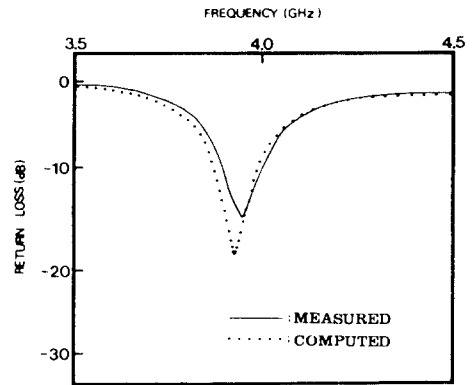


그림 8. 단일 패치 안테나의 케 환손실
Fig. 8. Return loss of the single patch antenna.

그림 9와 10은 각각 본 논문에서 제시한 5-패치 어레이 안테나의 복사패턴과 단일 패치 안테나의 복사패턴을 실험하여 이론치와 비교한 결과이다. 그림 9에서와 같이 주파수 4.073 GHz에서 측정된 5-패치 어레이 안테나의 복사패턴은 부엽이 17dB이고 빔폭이 19°로 나타났으며, 이론적으로 계산된 복사패턴과 거의 일치되는 양호한 결과를 얻었다. 그리고 주파수 3.948GHz에서 측정된 단일 패치 안테나의 복사패턴인 그림10과 비교해 보면 지향성이 개선됨을 알 수 있다.

VI. 결 론

마이크로스트립 안테나의 지향성을 개선하기 위해 여러개의 패치가 마이크로스트립 선로에 의해 E-면으로 직접 결합된 마이크로스트립 어레이 안테나를

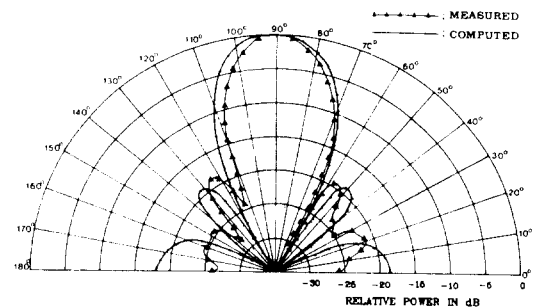


그림 9. 5-패치 어레이 안테나의 E-면 복사패턴
Fig. 9. E-plane radiation pattern of the 5-patch array antenna.

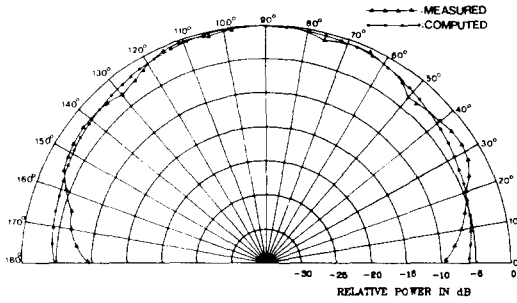


그림 10. 단일패치 안테나의 E-면 복사패턴
Fig. 10. E-plane radiation pattern of the single patch antenna.

제시한 후, 등가 전송선로와 복사 어드미턴스를 이용하여 안테나를 이론적으로 해석하였다. 지향성을 개선하기 위해 5-패치 어레이 안테나에 대해서 각각의 패치 길이, 마이크로스트립 선로의 길이 및 급전점을 구하여 최적값을 갖는 어레이 안테나를 설계하여 실험치와 이론치를 비교하였다. 그 결과 5-패치 어레이 안테나의 복사패턴은 부엽이 17dB이고, 빔폭이 19°인 특성을 나타내었으며, 이는 이론치와 거의 일치하고 또한 단일 패치 안테나에 비해 지향성이 개선되었음을 알 수 있었다.

參 考 文 獻

- [1] Kwang Eog Lee, Young Ki Cho, "Theoretical and experimental study on the microstrip patch antenna array technique using E-plane gap coupling," *KITE Journal of Electronics Engineering*, vol. 1, no. 1, pp. 14-21, June 1990.
- [2] K.F. Lee et al, "Radiation characteristics of microstrip arrays with parasitic elements," *Elect. Letters*, vol. 23, no. 16, pp. 835-837, July 1987.
- [3] G. Kumar, K.C. Gupta, "Nonradiating edges and four edges gap-coupled multiple resonator broad-band microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 33, no. 2, pp. 173-178, Feb. 1985.
- [4] G. Kumar, K.C. Gupta, "Broad-band microstrip antennas using additional resonators gap-coupled to the radiating edges," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 32, no. 12, pp. 1375-1379, Dec. 1984.
- [5] A.G. Derneryd, "Linearly polarized microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 24, no. 6, pp. 846-851, Nov. 1976.
- [6] G. Kumar, K.C. Gupta, "Directly coupled multiple resonator wide-band microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 33, no. 6, pp. 588-593, June 1985.
- [7] Young Ki Cho, "On the equivalent circuit representation of the slitted parallel-plate waveguide filled with a dielectric," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 37, no. 9, pp. 1193-1200, Sept. 1989.
- [8] Jae Pyo Hong, Young Ki Cho and Hyon Son, "Improved method for calculating radiating admittance of a rectangular microstrip patch antenna," *Journal of KITE*, vol. 26, no. 20, pp. 34-40, Feb. 1989.
- [9] Y.K. Cho, J.P. Hong and H. Son, "New radiating edges coupling model for the gap between two rectangular microstrip patch antennas," *Elect. Letters*, vol. 26, no. 16, pp. 1295-1297, Aug. 1990.
- [10] K.R. Carver, "Practical analytical techniques for the microstrip antenna," *Proc. Workshop on Printed Circuit Antennas*, New Mexico State University, pp. 7.1-7.20, Oct. 1979.
- [11] D.L. Sengupta, "Approximate expression for the resonant frequency of a rectangular patch antenna," *Elect. Letters*, vol. 19, no. 20, pp. 834-835, Sept. 1983.
- [12] I.J. Bahl, "A Designer's guide to microstrip line," *Microwaves*, pp. 174-182, May 1977.
- [13] I.J. Bahl, P. Bhartia, *Microstrip antennas*, Artech House, Inc., pp. 31-56, 1980.

著 者 紹 介



金 泰 亨(准會員)
 1966年 7月 29日生. 1989年 2月
 경북대학교 전자공학과 졸업.
 1989年 3月~현재 경북대학교 대학원
 전자공학과 재학중. 주관심
 분야는 마이크로파 및 전파전파,
 안테나공학, 위성통신 등임.



洪 在 杓(正會員)
 1958年 8月 17日生. 1981年 2月
 경북대학교 전자공학과 졸업.
 1983年 2月 경북대학교 대학원
 전자공학과 졸업(공학석사). 1989
 年 2月 경북대학교 대학원 전자
 공학과 졸업(공학박사). 1986年
 9月~1990年 2月 순천공업전문대학 전자과 조교수.
 1990年 3月 11日 현재 경북산업대학 전자공학과 전임강
 사. 주관심분야는 마이크로파 및 안테나이론 등임.



朴 鎭 澤(正會員)
 1955年 6月 1日生. 1980年 2月
 경북대학교 전자공학과 졸업. 1987
 年 8月 경북대학교 대학원 전자
 공학과 졸업(공학석사). 1988年
 3月~현재 경북대학교 대학원 전
 자공학과 박사과정 재학중. 1981
 年 2月~현재 미육군 정보체계사령부 국방통신 대구
 통제국 선임통제관. 주관심분야는 마이크로파 및 안
 테나이론 등임.



趙 榮 基 (正會員) 第27卷 第11號 參照
 현재 경북대학교 전자공학과
 교수



孫 鉉 (正會員) 第27卷 第10號 參照
 현재 경북대학교 전자공학과
 교수