

기생소자를 이용한 광대역 마이크로스트립 안테나의 설계

正會員 김 태 원*, 김 정 기**

Design of Wideband Microstrip Antennas Using Parasitic Element

Tae Won Kim*, Jung Ki Kim** *Regular Members*

본 논문은 1991년도 한국과학재단 특정연구과제 KOSEF 91-0100-10-01-03 지원에 의하여 수행한 연구임

요 약

본 논문에서는 기생소자를 이용한 광대역 마이크로스트립 안테나를 설계하였다. 설계된 형태에서 폭은 다르지만 똑같은 공진길이를 갖는 기생소자가 사각형 마이크로스트립 안테나의 비복사 모서리에 결합된 형태이다. 구동소자만 급전되고 다른부분은 기생소자로 동작한다. 따라서 서로 다른 소자들은 다른 주파수에서 공진되고 이러한 공진이 대역폭을 향상시킨다.

안테나의 전체 크기는 구동소자에 기생소자가 덧붙여져도 증가하지 않으며, 일반적인 광대역 마이크로스트립 안테나에 비해 설계된 안테나 구조는 간결하다. 기생소자와 결합된 사각형 패치 안테나의 이론적 고찰은 결합 마이크로스트립 선로의 이론을 확장하여 해석하였고, 단일 기생소자와 결합된 패치 안테나에 대한 이론과 실험 결과를 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, the microstrip antenna with broad bandwidth is designed using parasitic element. In the designed configuration, parasitic element of the same resonating length but different width which is coupled to the nonradiating edge of a rectangular patch antenna. The driven element alone is fed and the other part is operated as parasitic element. So the different patches are resonating at different frequencies and this multiple resonance increase the bandwidth.

The overall size of the antenna is not increased by adding parasitic element to a driven patch. Compared to the

* 중앙대학교 대학원 전자공학과 박사과정

** 중앙대학교 전자공학과 교수

論文番號: 95158-0425

接受日字: 1995年 4月 25日

available wideband microstrip antennas, the designed antenna structure is very compact. A theoretical explanation of the rectangular patch antenna coupled with parasitic is analyzed by extending the theory of coupled microstrip lines. The theoretical and experimental results for a patch coupled with a single parasitic are presented.

I. 서 론

프린트된 마이크로스트립 구조로 부터 복사 현상이 고찰된 이후 1970년대 초 항공우주분야에 국한적으로 이용되던 마이크로스트립 안테나는 현재 고주파 안테나 분야에서 폭넓게 사용되고 있다. 그 이유는 안테나 구조상 소형, 경량, 제조의 용이성, 생산비의 저렴 등 다양한 장점을 갖고 있기 때문이다. 그러나 이와 같은 많은 장점에도 불구하고 임피던스 대역폭이 작다는 단점 때문에 보다 광범위한 활용에 많은 제약을 수반하고 있다. 따라서 이와같은 단점을 극복하기 위해서 그 동안 많은 논문들이 발표되었다. Derneryd와 Lind^[1]는 기판의 두께를 증가시켜 대역폭을 향상시키는 기법을 개발하였지만 기판의 두께가 증가함에 따라 급전결합과 관련된 복사에 따른 손실, 또한 표면파의 증가가 대두되는 한계를 갖게 된다. 그리고 두번째 방법은 마이크로스트립 안테나의 대역폭 한계가 반사손실 즉 임피던스 정합에 기인한다는 사실에 근거하여 임피던스 정합회로망을 이용하여 대역폭을 향상시키는 방법이 제안되었다^[2]. 세번째 방법은 수직으로 여러개의 패치(Patch)를 중복적으로 겹치게 하거나^[3-4], 동일 평면상에 여러개의 패치(Patch)를 나열하는 방법^[5-7]이 있지만 이와같은 방법은 기생소자가 패치안테나와 결합될 때 안테나의 크기가 커지고 대역폭에 따른 복사패턴의 특성을 감쇄시키는 단점이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 하나의 패치를 조각으로 분할하여 한개의 소자만을 급전하여 구동요소로 하고 다른 소자는 기생소자로 하여 각각의 패치가 다른 주파수에서 공진이 되고 그 결과 그 공진들의 곱에 의하여 대역폭의 증가를 가져오게 하는 방법을 사용하였다. 그리고 결합 마이크로스트립 선로를 이용한 이론해석에서 Garg와 Bahl^[8]이 사용한 근사식을 사용하여 전체 안테나의 크기에 변동없이 800MHz대 안테나를 설계하여 이에 대한 특성 고찰을 하였다.

II. 마이크로스트립 안테나의 특성 해석

2.1 결합 마이크로스트립 라인의 모드 용량

구동소자와 동일한 크기의 기생소자가 결합된 사각형 패치안테나의 임피던스 특성은 결합 마이크로스트립 선로의 개념^[8]에 의해서 해석할 수 있다.

그림 1에서 나타난 것처럼 비복사 끝단을 따라 동일 크기의 기생소자가 결합되어 있는 경우 파(wave)의 전송은 평면에 우수(even)와 기수(odd) 모드 대칭에 따른 두 개의 모드로서 나타낼 수 있다. 그러므로 해석의 목적으로 자계벽(magnetic wall)과 전계벽(electric wall)을 가정하여 해석할 수 있으며 그림 2는 패치와 접지면 사이의 평행판 용량과 두개의 주변(fringing)용량 그리고 평행판과 평행판 사이의 용량 등 마이크로스트립 라인에 유기되는 총 용량을 나타낸다.

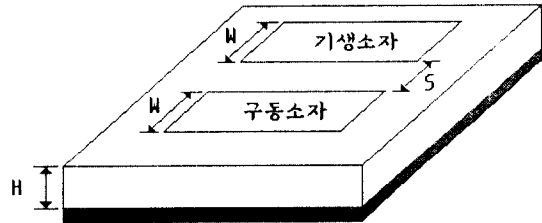
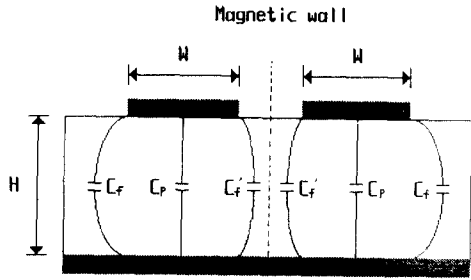


그림 1 기생소자가 결합된 마이크로스트립 안테나의 구조
Fig 1 Geometry of the microstrip antenna coupled with parasitic elements

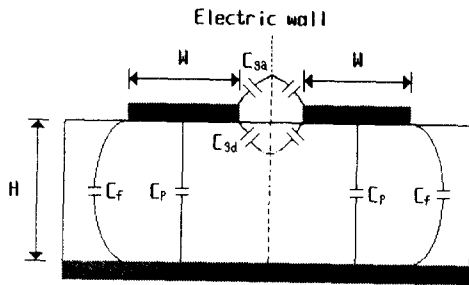
그림 2(a)에서 우수(even) 모드에 따른 총 용량은 다음과 같이 3가지 성분으로 분리해서 나타낼 수 있다.

$$C_e = C_p + C_r + C_r' \quad (1)$$

식(1)에서 C_p (주변용량을 무시)는 스트립과 접지면 사이의 평행판 용량을 나타낸다.



(a) 우수(even) 모드



(b) 기수(odd) 모드

그림 2 결합 마이크로스트립 라인의 전체 용량 분포
Fig 2 Distribution of total capacitance of coupled microstripline

$$C_p = \epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{w}{h} \right) \quad (2)$$

또한 C_f 는 마이크로스트립 선로의 폭(w)과 유전체의 두께(h)의 비인 w/h 에 따른 주변용량(fringing capacitance)을 의미하고 다음과 같다.

$$C_f = 1/2 \left[\sqrt{\epsilon_{rc}} / c Z_m - \epsilon_0 \epsilon_r \left(\frac{w}{h} \right) \right] \quad (3)$$

여기서 Z_m 은 선로의 임피던스이고, ϵ_{rc} 는 유전체의 상대 유효유전상수, c 는 자유공간에서 빛의 속도이다. 그리고 다른 선로가 존재할때 단일 선로의 주변(fringing)용량 C'_f 은 다음과 같다.

$$C'_f = \frac{C_f}{1 + A \left(\frac{h}{s} \right) \tanh \left(10 \frac{s}{h} \right)} \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\epsilon_{rc}}} \quad (4)$$

여기서

$$A = \exp \left[-0.1 \exp \left(2.33 - 2.53 \frac{w}{h} \right) \right]$$

또한 그림 2(b)에서 전계벽을 가정할 경우 마이크로스트립에 유기되는 기수(odd) 모드의 총 용량은 4개의 성분으로 나타낼 수 있다.

$$C_o = C_p + C_f + C_{gd} + C_{ga} \quad (5)$$

식(5)에서 C_{gd} 는 유전체 영역에서 갭(gap)사이의 용량이며 다음과 같다.

$$C_{gd} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{\pi} \ln \left[\coth \left(\frac{\pi}{4} \frac{s}{h} \right) \right] + 0.65 C_f \left[\frac{0.02}{s/h} \sqrt{\epsilon_r + 1 - \epsilon_r^{-2}} \right] \quad (6)$$

또한 공기영역에서 갭(gap)사이의 용량 C_{ga} 는 다음과 같으며, $K(k)$ 와 $K(k')$ 는 타원방정식^[6]이다.

$$C_{ga} = \frac{1}{2} \epsilon_0 \frac{K(k')}{K(k)} \quad (7)$$

여기서

$$k = \frac{s/h}{(s/h + 2w/h)}, \quad k' = \sqrt{1 - k^2}$$

그리고 우수와 기수 모드에서 선로의 특성임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{oe} = \left[\sqrt{c (C_c C'_c)} \right]^{-1} \text{ (우수모드)} \quad (8)$$

$$Z_{oo} = \left[\sqrt{c (C_o C'_o)} \right]^{-1} \text{ (기수모드)} \quad (9)$$

여기서 첨자 a 는 유전체를 공기로 대체하였을 경우를 의미하며 그림 1에 나타낸 결합 마이크로스트립 구조상에서 우수(even)와 기수(odd) 모드에 따른 특성 임피던스값은 식(8)과 (9)를 이용하여 계산할 수 있다.

2.2 결합 마이크로스트립 라인 이론의 안테나 적용

그림 1과 같은 비복사 끝단에 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나를 TEM 파가 전파하는 마이크

로스트립 전송선으로 취급할 경우 그림 3과 같은 등가 모델이 가능하다^[10]. 또한 마이크로스트립 안테나 각각의 폭이 w 인 슬롯에서의 복사 특성은 전송선 이론에 복사 어드미턴스 Y_i 를 부가함으로써 설명될 수 있다.

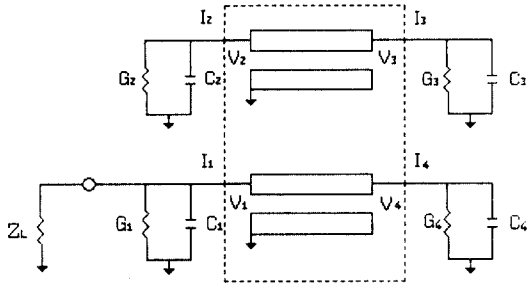


그림 3 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 등가 전송선 모델

Fig 3 Transmission-line equivalent model of microstrip antenna with parasitic element

준정적 TEM 근사법을 고려하면 결합 선로는 4×4 임피던스 행렬 $[Z]$ 를 갖는 4단자망으로 나타낼 수 있으며, 즉 그림 3의 임피던스 행렬 성분은 다음과 같다.

$$z_{11} = z_{22} = z_{33} = z_{44} = \frac{-j}{2} [Z_{oe} \cot(k_e l) + Z_{oo} \cot(k_o l)] \quad (10a)$$

$$z_{12} = z_{21} = z_{34} = z_{43} = \frac{-j}{2} [Z_{oe} \cot(k_e l) - Z_{oo} \cot(k_o l)] \quad (10b)$$

$$z_{14} = z_{23} = z_{32} = z_{41} = \frac{-j}{2} [Z_{oe} \csc(k_e l) + Z_{oo} \csc(k_o l)] \quad (10c)$$

$$z_{13} = z_{24} = z_{31} = z_{42} = \frac{-j}{2} [Z_{oe} \csc(k_e l) - Z_{oo} \csc(k_o l)] \quad (10d)$$

여기서 Z_{oe} 와 Z_{oo} 는 각각 우수와 기수 모드의 특성 임피던스이며, k_e 와 k_o 는 전파상수, l 은 마이크로스트립 라인의 길이를 나타낸다. 따라서 그림 3의 블럭안에 있는 전압, 전류 그리고 임피던스의 관계식은 $[V] = [Z][I]$ 로 나타낼 수 있으며, 기생소자가 구동소자와 동등한 폭 w 를 갖고 있다면 대칭성에 의해 행렬의 미지의 계수를 줄일 수 있다. 또한 마이크로스트립 안테나의 복사 특성은 복사 어드미턴스 Y_i , 복사 콘덕턴스 G_i 와 주변 용량 C_i 에 대한 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$Y_i = G_i + j\omega C_i \quad (11)$$

사각형 마이크로스트립 안테나의 복사단에서의 G 와 C 는 다음과 같다^{[10][11]}.

$$G = \frac{\pi w}{\lambda_0 \eta} \left[1 - \frac{(kh^2)}{24} \right] \quad (12)$$

$$C = \frac{hw}{vZ} (0.412) \left[\frac{\epsilon_e + 0.300}{\epsilon_e - 0.258} \right] \left[\frac{w/h + 0.262}{w/h + 0.813} \right] \quad (13)$$

식 (12), (13)에서 λ_0 , k , η 는 자유공간 파장, 전파상수, 임피던스이며, v , Z , ϵ_e 는 위상 속도, 특성 임피던스, 유효 유전상수이다. 따라서 모든 복사 어드미턴스 성분을 임피던스 행렬 $[Z]$ 에 부가하면 새로운 임피던스 행렬 $[Z^*]$ 을 S 파라미터로 나타낼 수 있다.

$$s_{ii} = [(z^*_{11} + (-1)^i (z^*_{22} - (-1)^i - z^*_{12} z^*_{21})/D] \quad (14a)$$

$$s_{ij} = 2z^*_{ij}/D \quad i \neq j \quad (14b)$$

$$D = (z^*_{11} + 1)(z^*_{22} + 1) - z^*_{12} z^*_{21} \quad (14c)$$

여기서 $z^*_{ij} = z_{ij}/Z_c$ 이다. 따라서 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 입력 임피던스는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = Z_c(1 + s_{11})/(1 - s_{11}) \quad (15)$$

III. 결과 고찰

기생소자가 결합된 마이크로스트립 안테나의 특성을 고찰하기 위해 기판 두께 $h = 0.508\text{mm}$, 유전율 $\epsilon_r = 2.52$, 그리고 유전체 손실 $\tan \delta = 0.003$ 인 Chukoh 사 테플론 기판을 사용하여 사각형 마이크로스트립 안테나와 기생소자를 덧붙인 마이크로스트립 안테나를 제작하였으며, 시뮬레이션에 사용된 기판 파라미터 역시 동일하다. 단일 마이크로스트립 안테나의 전체 크기는 길이 $l = 118\text{mm}$, 폭 $w = 41\text{mm}$ 이다. 단일 마이크로스트립 안테나의 제작은 결합 마이크로스트립 안테나와의 대역폭을 비교하기 위한 것이며, 설계된 공진 주파수는 805MHz이다. 안테나의 반사 손실을 구하기 위해 참고문헌 [12]의 전송선 모델을 이용하였다. 그림 4와 그림 5에 시뮬레이션과 실험 결과

치를 각각 나타내었다. 수치해석에 따른 공진 주파수는 808MHz, 측정된 공진주파수는 801MHz이다. 또한 그림 6과 7에 구동소자와 기생소자가 동일한 길이 $l=118mm$, 각각의 폭이 $20mm$ 이며, 두 소자간의 간격이 $1mm$ 인 경우의 반사손실 특성을 나타내었다. 계산시 임피던스 행렬 $[Z]$ 의 마이크로스트립 라인 특성 임피던스 Z_{0e} , Z_{0o} 파라미터 값은 식 (8)과 (9), 전파상수 k_e , k_o 는 참고문헌 [13]으로부터 계산되었다. 또한

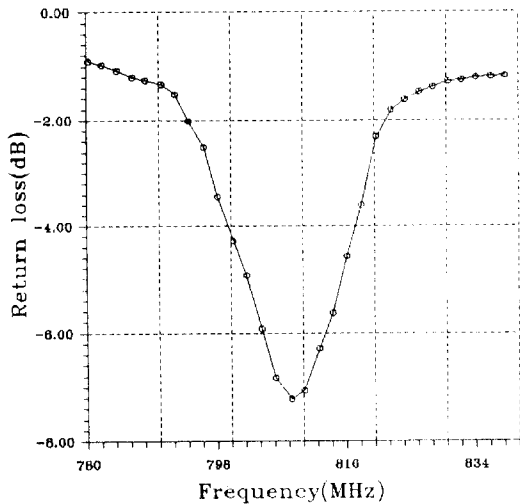


그림 4 사각형 마이크로스트립 안테나의 반사손실(이론치)
Fig 4 Return loss of rectangular microstrip antenna(theoretical value)

마이크로스트립 안테나의 폭 w 인 슬롯에서의 복사특성은 임피던스 행렬에 복사 어드미턴스 성분 Y_r 에 따른 G_r 와 C_r 값을 (12)와 (13)식으로부터 계산하였다. 이론치와 측정치의 결과로부터 우세 공진 주파수는 각각 808MHz, 810MHz이며, 대역폭은 -8dB에서 각각 16MHz와 27MHz의 특성을 나타내고 있다. 그림 8과 9는 구동소자와 기생소자의 길이는 $l=118mm$ 로 동일하며, 폭이 $22mm$ 와 $17mm$, 간격이 $2mm$ 인 경우의 마이크로스트립 안테나 반사손실 특성을 나타내었다. 크기가 비대칭인 경우의 마이크로스트립 라인의 특성 파라미터는 참고문헌 [14]로부터 계산할 수 있다. 그림 8과 9에서 우세 공진 주파수는 각각 810MHz, 816MHz, 대역폭은 -10dB에서 22MHz, 34MHz의 특성을 보이고 있다. 안테나의 전반적인 특성을 고려할 때 폭이 동일한 경우에 비해 폭이 다른 경우 약 1.5배 정도의 대역폭 개선 특성을 나타내고 있다. 또한 그림 10~그림 12에 사각형과 대칭 및 비대칭 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 H 면 복사패턴 특성을 나타내었다.

IV. 결론

마이크로스트립 안테나가 갖고 있는 많은 장점은 소형, 경량의 이동통신용 안테나로 적합하다. 그렇지만 마이크로스트립 안테나를 설계하는데 있어서 전체 크기를 줄이며 대역폭을 향상시킨다는 것은 매우 어려운 일이다.

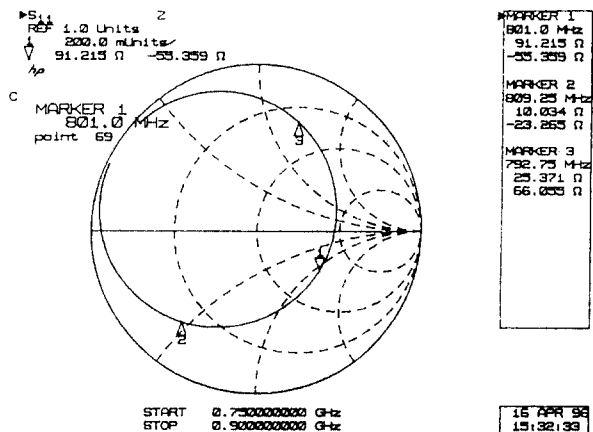
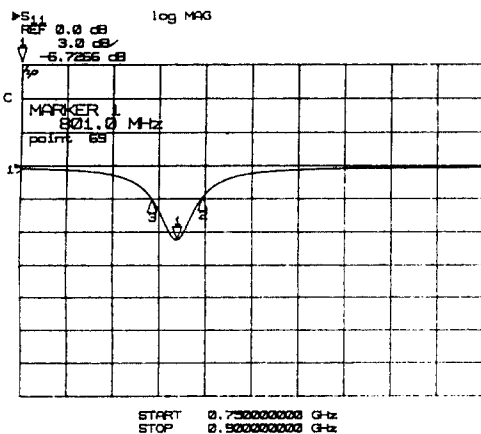


그림 5 사각형 마이크로스트립 안테나의 반사손실과 입력 임피던스 (실험치)

Fig 5 Return loss and Input impedance of rectangular microstrip antenna(experimental value)

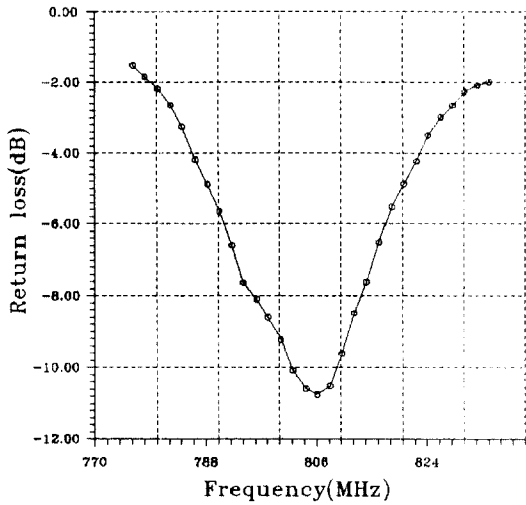


그림 6 대칭 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 반사손실(이론치)

Fig 6 Return loss of microstrip antenna with symmetrical parasitic element(theoretical value)

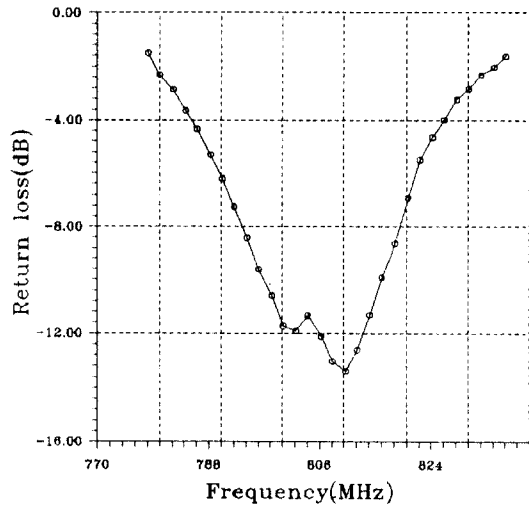


그림 8 비대칭 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 반사손실(이론치)

Fig 8 Return loss of microstrip antenna with asymmetrical parasitic element(theoretical value)

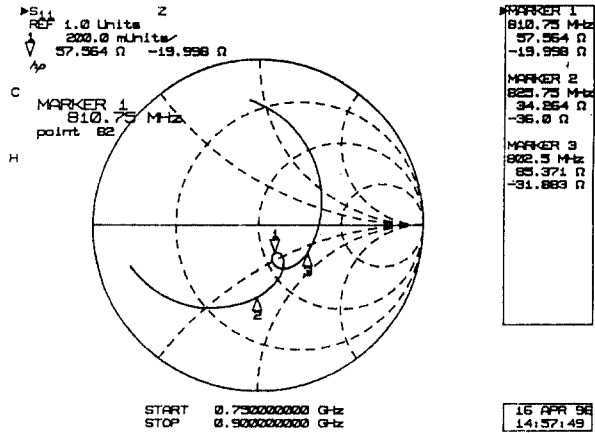
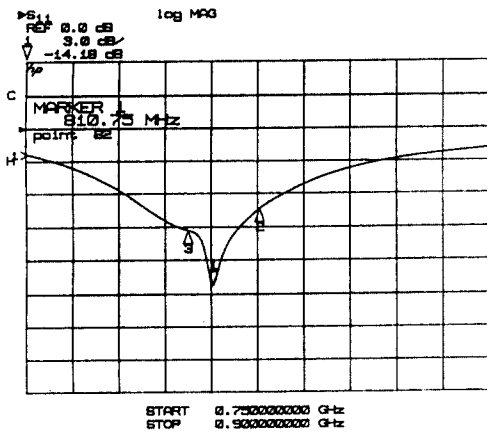


그림 7 대칭 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 반사손실과 입력 임피던스(실험치)

Fig 7 Return loss and input impedance of microstrip antenna with symmetrical parasitic element(experimental value)

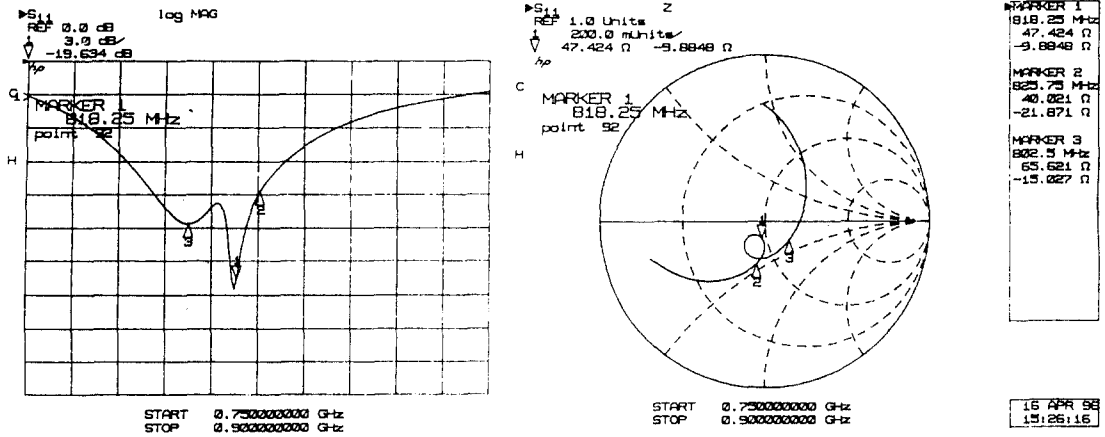
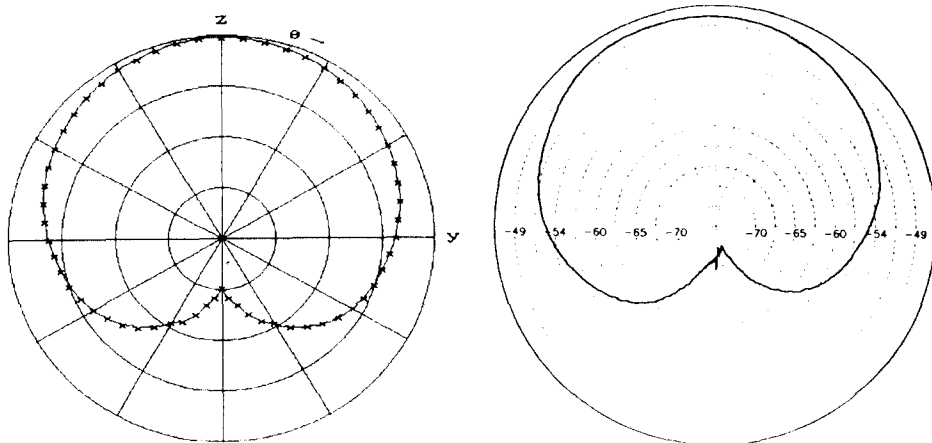


그림 9 비대칭 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 반사손실과 입력 임피던스(실험치)

Fig 9 Return loss and input impedance of microstrip antenna with asymmetrical parasitic element(experimental value)



(a) 이론치

(b) 실험치

그림 10 사각형 마이크로스트립 안테나의 복사 패턴

Fig 10 Radiation pattern of rectangular microstrip antenna

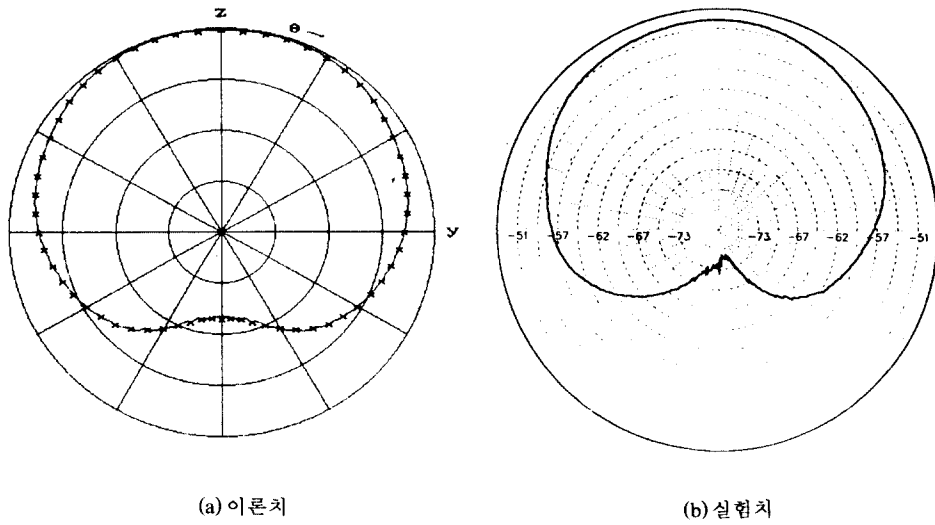


그림 11 대칭 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 복사 패턴

Fig 11 Radiation pattern of microstrip antenna with symmetrical parasitic element

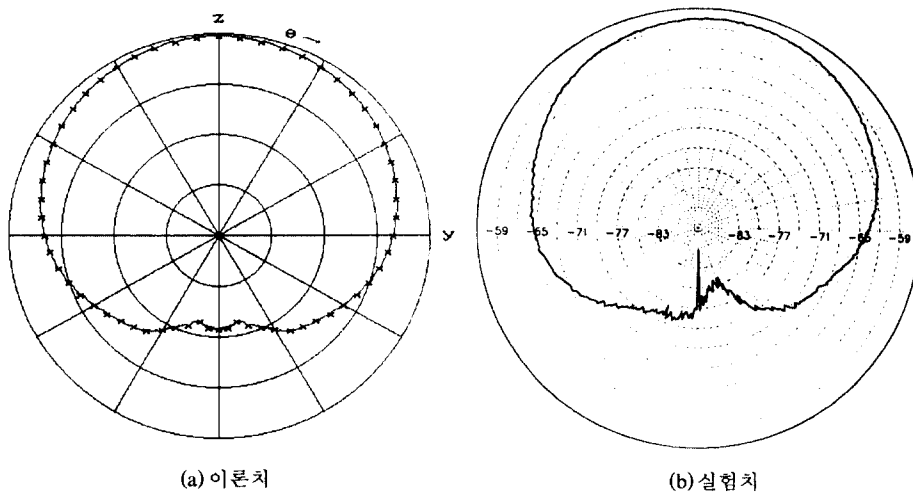


그림 12 비대칭 기생소자를 갖는 마이크로스트립 안테나의 복사 패턴

Fig 12 Radiation pattern of microstrip antenna with asymmetrical parasitic element

본 논문에서는 단일 패치 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 향상시키기 위한 방법으로 안테나 설계 시 마이크로스트립 선로의 연속적인 결합에 따른 우수(Even)와 기수(Odd) 모드 해석법을 이용하여 마이크로스트립 선로의 특성 파라미터 값을 구하고, 마이크로스트립 안테나의 슬롯에서의 복사특성에 따른 어드미턴스 값을 임피던스 행렬식에 추가하여 800 MHz대 광대역 마이크로스트립 안테나의 특성을 고찰하였다. 제작된 안테나의 실험을 통하여 단일 패치(Patch) 마이크로스트립 안테나에 비하여 보다 대역폭이 향상되는 특성을 확인할 수 있었다. 또한 기생소자를 덧붙여 안테나의 대역폭을 향상시킬 경우 안테나 크기가 커지는 단점이 발생할 수 있지만, 단일 패치(patch)를 여러개의 조각으로 나눌 경우 안테나 전체의 크기에는 변화없이 기생소자를 덧붙이는 것과 같은 효과를 낼 수 있다. 이와 같은 방법은 phased array 같이 보다 광대역을 필요로 하는 통신 시스템에 응용될 수 있으며, 향후 연구과제로는 안테나의 폭과 간격의 변화뿐만 아니라 길이의 변화에 따른 대역폭 향상 방안도 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. A. G. Derneryd and A. G. Lind, "Extended Analysis of Rectangular Microstrip Resonator Antennas," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. AP-27, pp. 846-849, 1979.
2. H. F. Pves and A. R. Van de Capelle, "Wideband Impedance Matched Microstrip Resonator Antennas," IEEE Second Inter. Conf. on Ant. and Propagation, Pt. 1, pp. 402-405, 1981.
3. P. S. Hall, C. Wood and C. Garrett, "Wide Bandwidth Microstrip Antennas for Circuit Integration," Electronics Letters, vol. 15, pp. 458-460, 1979.
4. G. Dubost, G. Beauquet, J. Rocquencourt, and G. Bonnet, "Patch Antenna Bandwidth Increase by Means of a Director," Electronics Letters, vol. 22, pp. 1345-1347
5. C. Wood, "Improved Bandwidth of Microstrip

- Antennas Using Parasitic Elements," Proc. IEE, vol. 127, Pt. H, pp. 231-234, 1980.
6. G. Kumar and K. C. Gupta, "Non-Radiating edges and Four-Edges Gap-Coupled with Multiple Resonator, Broadband Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. AP-33, pp. 173-178, 1985.
7. C. K. Aanandan and K. G. Nair, "Wideband Multilayer Coaxial-Fed Microstrip Antenna Element," Electronic Letters, vol 21, pp. 497-499, 1985.
8. Ramesh Grag and I. J. Bahl, "Characteristics of Coupled Microstriplines," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-27, No. 7, pp. 700-705, 1979.
9. Hilberg W, "From approximation to exact relations for Characteristic impedance," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-17, No. 5, pp. 259-264, May, 1969.
10. C. M. Krowne, "Dielectric and Width Effect on H-Plane and E-Plane Coupling Between Rectangular Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas Propaga., vol. AP-31, no. 1, pp 39-47, Jan 1983.
11. K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," IEEE Trans. Antennas Propaga., vol. AP-29, no. 1, pp 2-24, Jan 1981.
12. A. G. Derneryd, "Linearly Polarized Microstrip Antenna," IEEE Trans. Antennas Propaga., vol. AP-24, no. 6, pp 846-851, Nov 1976.
13. T. G. Bryant and J. A. Weiss, "Parameters of Microstrip Transmission Lines and of Coupled Pairs of Microstrip Lines," IEEE Trans. Microwave Teory Tech., vol. MTT-16, pp. 1021-1027, 1968.
14. V. K. Tripathi, "Comments on the Design Parameters of Nonsymmetrical Coupled Microstrips," IEEE Trans. Microwave Teory Tech.. vol. MTT-32, No. 5, pp. 561-563, May 1984.



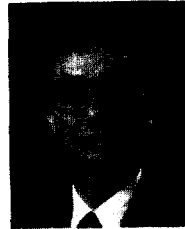
김 태 원(Tae Won Kim) 정회원

1963년 3월 10일

1982년 3월~1986년 2월:청주대
학교 전자공학과 졸
업(공학사)

1988년 9월~1990년 8월:중앙대
학교 대학원 전자공
학과 졸업(공학석사)

1991년 3월~현재:중앙대학교 대학원 전자공학과 박
사과정 재학중



김 정 기(Jung Ki Kim) 정회원

1961년 3월~1965년 2월:연세대
학교 전기공학과 졸
업(공학사)

1967년 3월~1969년 2월:연세대
학교 대학원 전기공
학과 졸업(공학석사)

1970년 9월~1975년 2월:연세대
학교 대학원 전기공
학과 졸업(공학박사)

1970년 3월~1977년 2월:광운대학교 통신공학과 부
교수

1977년 3월~현재:중앙대학교 전자공학과 교수