

“ㄱ”형 슬롯구조를 갖는 이중대역 마이크로스트립 패치 안테나의 설계

윤 강 석^o · 홍종수 · 임 계 재

관동대학교 정보통신공학과 *

A design of the Dual-band Microstrip patch antenna with “ㄱ” slots

Kang-Suck Yoon ^o · Jong-Su Hong · Gye-Jae Lim

Dept. of Information & Communication Engineering in Kwandong University *

요약

슬롯이 있는 직사각형 마이크로스트립 안테나의 이중주파수 동작 특성을 연구하였다. 마이크로스트립 안테나의 급전방식은 전자기적으로 결합된 단일 마이크로스트립 안테나이며, 패치구조는 직사각형 패치의 대각선 방향에 “ㄱ”형 슬롯을 대칭으로 배치시켰다.

본 논문에서 제안된 “ㄱ”형 슬롯의 장점으로는 패치의 크기를 줄이는 효과와 동시에 이중 대역의 주파수를 갖는 것으로 확인되었다.

제안된 마이크로스트립 안테나의 반사손실은 S11에서 -10 dB 기준으로 첫 번째 공진점 4.808 GHz 에서는 120 MHz 의 대역폭을 가졌고, 두 번째 공진점 6.175 GHz 에서는 100 MHz의 대역폭을 가졌다.

I. 서론

마이크로스트립 안테나는 소형, 경량이면서 부피가 작은 평면형 구조로 인하여 다양한 응용영역과 인쇄 회로기판 제작방법으로 대량생산이 용이하며 그에 따른 저렴한 제작비용 및 원하는 물체에 쉽게 부착해서 사용할 수 있다는 장점으로 인하여 널리 사용되고 있다. 그러나 이와 같은 마이크로스트립 안테나는 주파수 대역폭이 1% ~ 수 % 정도의 좁은 대역 특성을 가지고 있어, 단일 마이크로스트립 안테나가 제안된 이래로 광대역 특성에 대한 많은 연구가 이루어졌다.[1][2][3] 초기의 광대역 특성을 얻기 위한 연구는 최근에는 동작 주파수가 멀리 떨어져 있거나 동작 대역폭이 서로 다른 두 가지 이상의 안테나를 한 개의 안테나로 사용하기 위한 다중 대역 안테나로

발전하게 되었으나 아직 많은 연구가 필요하다.[4][5][6]

본 논문에서는 본래 설계되어진 5 GHz의 패치 안테나에 슬롯의 한쪽은 패치에 붙이고, 슬롯의 다른 한쪽은 패치에서 이격시킨 “ㄱ”형 슬롯을 대각선으로 낸 이중 대역 마이크로스트립 안테나를 제안하였다.

제안된 이중 대역 마이크로스트립 안테나의 장점은 다른 이중 대역 마이크로스트립 안테나보다 설계하기가 쉬우며, 체적을 줄일 수 있다는 장점이 있다. 또한, 슬롯의 길이와 폭을 조절함으로써 각각의 공진 주파수의 간격을 조절하는 것이 가능하다는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인 할 수가 있었다.

II. 이론

슬롯에 관한 연구는 Janaswmy[7]에 의해 주파수 영역 방법에 의한 해석과 최적화 방법을 통해서 슬롯 선로의 관내파장과 특성 임피던스를 다음과 같은 수식에 의해 구할 수 있게 되었다.

1. $2.22 \leq \epsilon_r \leq 3.8$ 인 경우

(a) $0.015 \leq \frac{W_s}{\lambda_0} \leq 0.075$ 일 경우

$$Z_0 = 60 + 3.69 \sin \left[\frac{(\epsilon_r - 2.22)\pi}{2.36} \right] + 133.5 \ln(10 \epsilon_r) \sqrt{\frac{W_s}{\lambda_0}}$$

$$+ 131.1(1.028 - \ln \epsilon_r) \sqrt{\frac{d}{\lambda_0}}$$

$$+ 12.48(1.0 + 0.18 \ln \epsilon_r) \frac{W_s/d}{\sqrt{\epsilon_r - 2.06 + (W_s/d)^2}} \quad (1)$$

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_0} = 1.045 - 0.365 \ln \epsilon_r + \frac{6.4(W_s/d)\epsilon_r^{0.945}}{238.64 - 100 W_s/d}$$

$$- \left[0.148 - \frac{8.81(\epsilon_r + 0.95)}{100 \epsilon_r} \right] \ln \frac{d}{\lambda_0} \quad (2)$$

(b) $0.075 \leq \frac{W_s}{\lambda_0} \leq 1.0$ 일 경우

$$Z_0 = 133.0 - 10.34(\epsilon_r - 1.0)^2 + 2.87[2.96 + (\epsilon_r - 1.582)^2]$$

$$\left\{ \left(\frac{W_s}{d} \right) + 2.32 \epsilon_r - 0.56[(32.5 - 6.67 \epsilon_r)(100 \frac{W_s}{\lambda_0^2} - 1.0)] \right\}^{1/2}$$

$$- (684.45 \frac{d}{\lambda_0} (\epsilon_r + 1.35)^2 + 13.23[(\epsilon_r - 1.722) \frac{W_s}{\lambda_0}])$$

$$- 14.12(1.0 - 0.458 \epsilon_r) \left(100 \frac{d}{\lambda_0} + 5.1 \ln \epsilon_r - 13.1 \right) \left(\frac{W_s}{\lambda_0} + 0.33 \right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_0} = 1.194 - 0.24 \ln \epsilon_r + \frac{6.31 \epsilon_r^{0.835} (W_s/\lambda_0)^{0.48}}{1.344 + W_s/d}$$

$$- 0.0617 \left[1.91 - \frac{(\epsilon_r + 2.0)}{\epsilon_r} \right] \ln \frac{d}{\lambda_0} \quad (4)$$

2. $3.8 \leq \epsilon_r \leq 9.8$ 인 경우

(a) $0.015 \leq \frac{W_s}{\lambda_0} \leq 0.075$ 일 경우

$$Z_0 = 73.6 + 2.15 \epsilon_r + (638.9 - 31.37 \epsilon_r) \left(\frac{W_s}{\lambda_0} \right)^{0.6}$$

$$+ (36.23 \sqrt{\epsilon_r^2 + 41.0} - 225.0) \frac{W_s/d}{W_s/d + 0.876 \epsilon_r - 2.0}$$

$$0.51(1.028 - \ln \epsilon_r) \frac{W_s}{d} \ln \frac{100 d}{\lambda_0}$$

$$- 0.735 \epsilon_r \sqrt{\frac{d/\lambda_0}{W_s/\lambda_0}} \quad (5)$$

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_0} = 0.9127 - 0.277 \ln \epsilon_r + 0.0322 \frac{W_s}{d} \sqrt{\frac{\epsilon_r}{W_s/d + 0.435}}$$

$$- 0.01 \ln \left(\frac{d}{\lambda_0} \right) \left[4.6 - \frac{3.65}{\epsilon_r^2 \sqrt{W_s/\lambda_0} (0.906 - 100 W_s/\lambda_0)} \right] \quad (6)$$

(b) $0.075 \leq \frac{W_s}{\lambda_0} \leq 1.0$ 일 경우

$$Z_0 = 120.75 - 3.74 \epsilon_r + 50.0 [\tan^{-1}(2.0 \epsilon_r) - 0.8]$$

$$\left(\frac{W_s}{d} \right) + [1.11 + [0.132 (\epsilon_r - 27.7) (100 d/\lambda_0) + 5.0]]$$

$$\ln \left[100 \frac{d}{\lambda_0} + \sqrt{(100/d \lambda_0)^2 + 1.0} \right]$$

$$+ 14.12(1.0 - 0.458 \epsilon_r) \left(100 \frac{d}{\lambda_0} + 5.1 \ln \epsilon_r - 13.1 \right)$$

$$\times \left(\frac{W_s}{\lambda_0} + 0.33 \right)^2 \quad (7)$$

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_0} = 1.05 - 0.04 \ln \epsilon_r + 1.411 \times 10^{-2} (\epsilon_r - 1.421)$$

$$\ln\left[\frac{W_s}{d} - 2.012(1.0 - 0.416 \epsilon_r)\right] + 0.111(1.0 - 0.366 \epsilon_r)\sqrt{\frac{W_s}{\lambda_0}} + 0.139[1.0 + 0.52 \epsilon_r, \ln(14.7 - \epsilon_r)]\frac{d}{\lambda_0} \ln\left(\frac{d}{\lambda_0}\right) \quad (8)$$

Z_0 = 특성임피던스 ϵ_r = 비유전율,
 d = 기판의 높이 W_s = 슬롯선로의 폭
 λ_0 = 자유공간에서의 파장
 λ_s = 슬롯선로내에서의 파장

III. 설계

일반적으로 사용되고 있는 직사각형 패치 안테나 폭과 길이에 관한 식은 다음과 같다.[8] 안테나의 공진주파수가 f_r 일 때, 기판의 두께와 유전 매질의 특성으로부터 복사 패치의 폭 W 는

$$W = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2}\right)^{1/2} \quad (9)$$

이고, 여기서 ϵ_r 은 유전상수, c 는 빛의 속도 ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) 이다. 마이크로스트립 패치 안테나의 경우 복사 패치의 길이 L 은 기판에 의한 선로 확장 ΔL 을 고려하면 다음과 같다.

$$L = \frac{c}{2f_r} - 2\Delta L \quad (10)$$

여기서

$$\Delta L = (0.412 \times h) \frac{\epsilon_e + 0.3}{\epsilon_e - 0.258} \frac{Wh + 0.264}{Wh + 0.8} \quad \text{이고,} \quad (11)$$

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon_r + 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W}\right)^{-1/2} \quad \text{이다.} \quad (12)$$

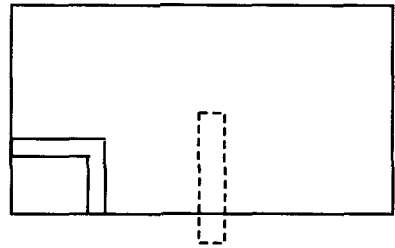
사용한 기판은 유전율이 2.5, 두께가 0.508 mm인 기판을 두 개를 겹쳐서 사용하였으며, 기본 패치 안테나는 5 GHz의 패치 안테나를 설계하였으나 시뮬레이션 결과 5 GHz에서 공진현상이 나타나지 않았다. 따라서 공진 주파수가 5.1 GHz가 되도록 최적화

한 패치 안테나의 폭 W 와 길이 L 은 각각 22.7 mm와 17 mm 이다.

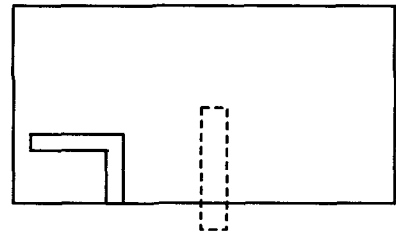
제안된 마이크로스트립 안테나를 설계하기 전에 다음과 같은 2가지의 방법을 연구하였다.

첫째, 그림 1과 같은 마이크로스트립 안테나로 시뮬레이션 한 결과 이중대역 공진이 발생하지 않은 것으로 확인되었다.

둘째, 그림 2와 같은 마이크로스트립 안테나는 이중대역 공진이 비교적 잘 발생하였으나 두 번째 공진주파수의 반사손실 계수가 좋지 않았으며, 또한 대역폭이 너무 협소하다는 단점이 있다.

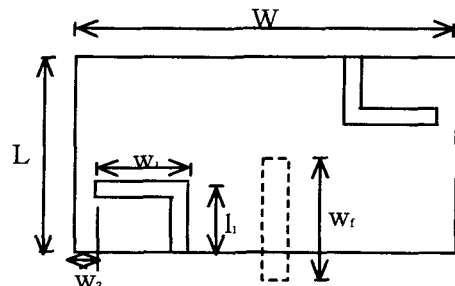


[그림 1] 첫 번째 제안된 패치 안테나



[그림 2] 두 번째 제안된 패치 안테나

이러한 문제점을 개선하고자 그림 3과 같이 대각선 방향에 슬롯을 대칭으로 배치시켜 해석하였으며, 제안된 안테나는 앞의 두 마이크로스트립 안테나의 단점이었던 좁은 대역폭을 향상시키면서 반사 손실을 개선할 수 있음을 확인하였다.



[그림 3] 슬롯을 갖는 패치 안테나의 구조

IV. 시뮬레이션 및 결과

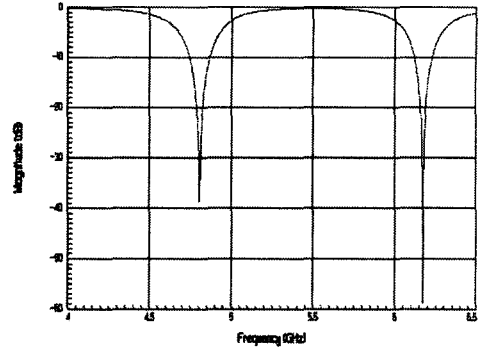
시뮬레이션에 사용된 각각의 파라미터들은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 W &= 22.7 & L &= 17 \\
 w_f &= 9.875 & w_1 &= 4.5 \\
 w_2 &= 0.5 & l_1 &= 7
 \end{aligned}$$

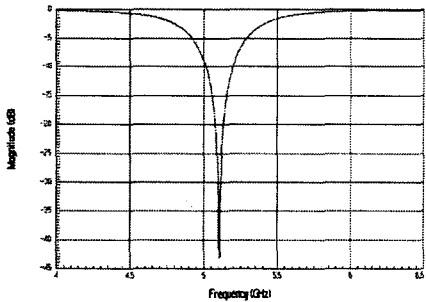
슬롯은 리액턴스 성분으로 작용하며, 그 값은 슬롯의 길이에 따라 변하므로, 슬롯의 폭은 일정하게 하고,[6] 길이만 변화시켜 다음의 결과값을 얻을 수 있었다.

그림 4~5은 원래의 패치 안테나의 반사손실 및 스미스 차트를 나타내며, 그림 6~7는 본 논문에서 제안된 마이크로스트립 안테나의 반사손실 및 스미스 차트를 나타낸다.

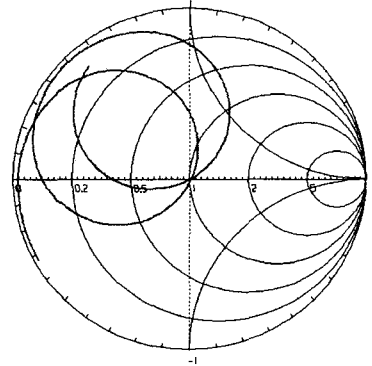
그림 8~9은 제안된 패치 안테나에서 나타난 공진 주파수의 패턴을 각각 보여주고 있다.



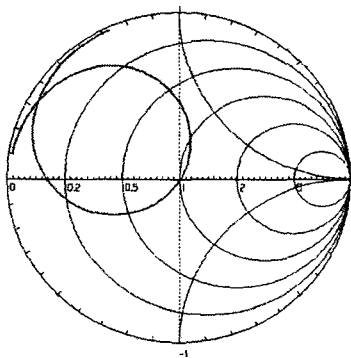
[그림 6] 제안된 마이크로스트립 안테나의 S11



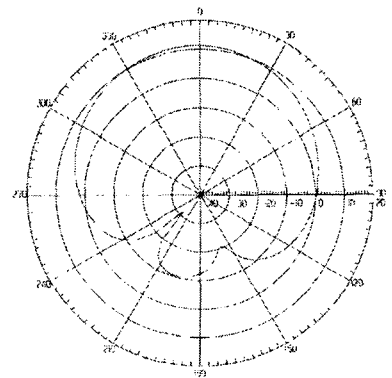
[그림 4] 직사각형 기본 패치의 S11



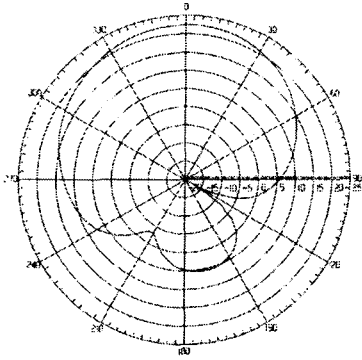
[그림 7] 제안된 마이크로스트립 안테나의 스미스 차트



[그림 5] 직사각형 기본 패치의 스미스 차트



[그림 8] 4.808GHz에서의 패턴



[그림 9] 6.175GHz에서의 패턴

본 논문에서 제안된 마이크로스트립 안테나의 반사손실은 S_{11} 에서 -10 dB 기준으로 첫 번째 공진점 4.808 GHz 에서는 120 MHz 의 대역폭을 가졌고, 두 번째 공진점 6.175 GHz 에서는 100 MHz의 대역폭을 가지고 있음을 알 수가 있었다.

V. 고찰

이중주파수 마이크로스트립 안테나를 제작하고자 'ㄱ'형 슬롯 구조를 가지는 패치 안테나를 제안하였으며, 시뮬레이션을 통하여 이중 주파수의 특성을 얻을 수 있었음을 알 수 있었다.

제안된 "ㄱ"형 슬롯의 장점으로는 패치의 크기를 줄이는 효과와 동시에 이중 대역의 주파수를 갖는 것으로 확인되었다.

슬롯 형태를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나는 급전 선로와 방사체 사이의 임피던스 정합 문제만 해결할 수 있다면 여러 형태로 구현 가능할 것이다.

앞으로 제작을 통하여 시뮬레이션의 결과와 잘 일치하는지 확인해 보아야 할 것이며, 나아가서는 제 3세대 이동통신인 IMT-2000의 서비스 상용화를 앞두고 기존의 PCS 대역과 IMT-2000 대역에서 동시에 사용가능한 중계기용 안테나의 대역에 맞게 공진주파수를 줄여야 할 것으로 보인다.

참고 문헌

[1] J. F. Zucher and Jean-Francis, "Broadband Patch Antenna", Artech House, INC., pp. 28-40, 1996.

- [2] C. Wood, "Improved bandwidth of microstrip antennas using parasitic element", IEE Proc. vol. 127 Pt. H, pp. 231-234, 1980.
- [3] H. F. Pues and A. R. Van de Cappelle, "An impedance Matching technique for increasing the bandwidth of microstrip antennas", Microwave. J, pp. 60-84, Sept. 1996.
- [4] J. r. James and P. S. Hall, "Handbook of Microstrip Antennas", IEE Electromagnetic-Waves Series 28, pp. 311-441, 1999.
- [5] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip Antenna", Artech House, INC., pp. 1-80, 1980.
- [6] Kin-Lu Wong and Kai-Ping Yang. "Small dual-frequency microstrip antennas with cross slot", Electronics Letters, vol. 33. No. 23, pp. 1916-1917, November. 1997.
- [7] S. Maci and G. Biffi Gentili "Dual-Frequency Patch Antennas", IEEE Antennas and Propagation Magazine, vol. 39. No. 6, pp. 13-19, Dec. 1997.
- [8] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip antennas", Artech House, 1982.
- [9] I. E. Rana and N. G. Alexopoulos, "Current distribution and input impedance of printed poles", Trans. on Antennas and Propagation, vol. AP-29. no. 1, pp. 99-105, Jan. 1981.