

마이크로스트립 전송선으로 급전되는 사각형
마이크로스트립 패치 안테나 및 배열 안테나에 관한 해석 및 실험

Microstrip Line Fed Rectangular Microstrip Patch Antenna and its Array

박 동 국, 나 정 용

한국과학기술원 전기 및 전자공학과

ABSTRACT

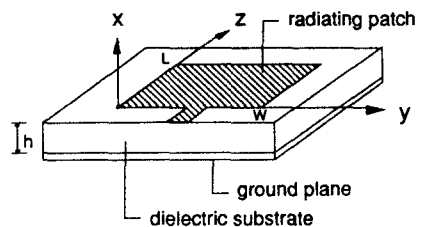
Parameters of a microstrip patch antenna such as the resonant frequency, radiation conductance, and the bandwidth are calculated. The rectangular microstrip patch antenna fed by a microstrip transmission line is fabricated and its resonant frequency, radiation pattern, and input voltage standing wave ratio are measured. The measured resonant frequency for 13.0mm×9.7mm copper clad woven PTFE/glass laminate plate is 9.06Ghz, where the calculative is 9.00Ghz. And the measured vswr shows that the bandwidth of the antenna is 225MHz for vswr less then 2.0 which the calculated quality factor of the patch gives the bandwidth of 280GHz. The measured radiation pattern for 5 element as well as 4 element patch array shows less then 4dB deviation in the first side lobes from the designed values for both E and H plane pattern. This diviation is believed to be the power division errors of the power divider.

1. 서론

마이크로스트립 안테나는 유전체를 사이에 두고 한쪽 면에 전자파를 복사 하는 도체 조각이 있고, 그 반대 편에 도체 접지 평면이 있는 형태로 이루어져 있으며, 마이크로스트립선의 불연속에서 생기는 복사를 이용하는 안테나이다. 이러한 마이크로스트립 안테나의 기본 개념은 1953년 미국의 Deschamps에 의해 제안 되었으며[1], 그 이후 다양한 유전율을 갖는 기관 개발

및 기관의 포토 에칭 기술의 발달과 더불어 또 이러한 마이크로스트립 안테나가 다른 안테나에 비해 주파수 대역폭이 좁다는 단점이 있지만 만들기 쉽고, 가벼우며, 가격이 저렴하고, 안테나 부착이 용이하며, 아주 얇아 표면이 거의 돌출 되지 않고, solid-state device와 집적해서 사용하기가 쉽다는 장점들 때문에, 지금까지 많은 연구와 발전이 있어 왔다.

본 논문에서는 이러한 마이크로스트립 안테나의 기본 개념을 이해하기 위하여 <그림1>과 같은 가장 간단한 형태의 사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 이론적으로 해석하고, 실험해 보았다.

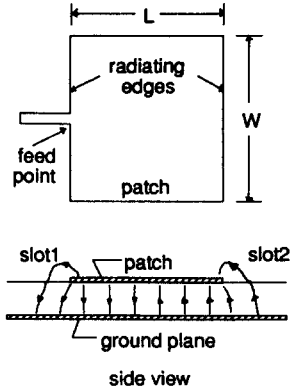


<그림1> 사각형 마이크로스트립 패치 안테나

2. 이론적 해석

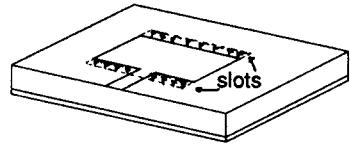
<그림1>의 사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 안테나로 보지 말고, 폭이 다른 마이크로스트립 전송선이 서로 연결되어 있고, 한쪽 끝이 개방되어 있는 것으로 볼 수도 있다. 그리고 이 마이크로스트립 전송선에 준-TEM 모드가 z 방향으로 진행하도록 전원을 인가한다고 가정하자. 또 x, y 방향으로의 전자장의 변화를 무시하자. 그리고 만약 <그림1>의 패치 길이 L을

대략 인가하는 주파수의 반파장 정도의 길이로 하였을 경우, 패치와 접지면 사이의 전계는 <그림2>과 같이 나타낼 수 있다. <그림2>에서 특히 관심 있게 보아야 할 것은 누설되는 전계이며 이것이 바로 전원이 불 때는 복사 힘으로 인해 생기는 마이크로스트립 전송선의 복사 손실에 해당 한다. 안테나가 아닌 다른 목적으로 이용하고자 할 때는 이러한 복사 손실이 작은 것이 바람직하지만 이것을 안테나로서 사용하려 할 때는 복사 손실이 큰것이 바람직하다.



<그림2> 사각형 패치 안테나의 누설 전계

이렇게 누설 되는 전계를 이용하는 마이크로스트립 안테나의 계 특성을 조사하기 위하여 먼저 <그림2>의 누설 전계를 접지면과 수직인 성분과 접지면과 평행한 두 성분으로 나누면, 접지면에 수직인 성분은 두 개방단에서 위상이 서로 반대이므로 서로 상쇄 되어 원거리 전자계(far-zone field)에 기여하지 못하고, 접지면에 수평인 성분은 서로 위상이 일치하여 원거리 전자계에서 서로 합쳐진다.



<그림3> 사각형 패치 안테나의 슬롯 모델링

그러므로 패치에 의해서 생기는 복사 전자장은, 마치 폭이 유전계 기관의 두께 h와 같고, 길이가 패치의 폭 w와 같으며, 그 내부가 균일한 전계 분포를 갖는 슬롯 두 개가 거리 L을 두고 떨어져 있는 형태에서의 복사 전자장과 같으며, 이것을 <그림3>에 나타내었다.

3-1 공진 주파수

이상과 같이 모델링하여 마이크로스트립 안테나의 계 특성들을 해석하는 방법을 슬롯-전송선 모델링 해석 방법이라고 한다. 이 방법은 모델링에서 알 수 있듯이 아주 쉽고 간단하지만 사각형 패치에 만 적용이 가능하다는 단점이 있다.

마이크로스트립 패치 안테나의 경우 그 중심 주파수를 공진 주파수라고도 부르는 데, 이것은 패치 안테나를 공진기로 볼 수 있고 그 공진 주파수가 바로 안테나의 중심 주파수와 일치하기 때문이다.

3. 측정 및 결과 분석

패치 길이가 L일 때 사각형 패치 안테나의 공진 주파수 f_r 은[2]

본 논문에서는 상대 유전 상수 ϵ_r 이 2.5, 도체판의 도전율 σ 이 $5.8 \times 10^7 S/m$, 유전 손실 탄젠트 $\tan\delta$ 가 0.00085, 기관 높이가 0.79375mm, 도체판 두께가 $35.56 \mu m$ 인 Copper Clad Woven PTFE/Glass Laminates를 사용하여 <그림1>의 사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 제작하였다. 그리고 제작한 안테나의 공진 주파수, 복사 패턴, 복사 콘덕턴스, 주파수 대역폭을 위의 슬롯-전송선 모델링을 이용하여 이론적으로 구하고 이것들을 실험적으로 측정하여 비교분석 하였으며, 9GHz에서 동작하는 사각형 패치로 이루어진 선형 배열 안테나의 복사 패턴을 조사해 보았다.

$$f_r = \frac{c}{2 (\epsilon_{eff})^{1/2} (L + 2\Delta L)} \tag{3.1.1}$$

이며,

$$\Delta L = \frac{h}{2\pi} \frac{\left(\frac{w}{h} + 0.366\right)}{\left(\frac{w}{h} + 0.556\right)} \left(0.28 + \frac{\epsilon_r + 1}{\epsilon_r} (0.274 + \ln\left(\frac{w}{h} + 2.518\right))\right) \tag{3.1.2}$$

이다[3]. 여기서 c는 광속도, ϵ_r 은 상대 유전 상수, ϵ_{eff} 는 유효 유전 상수, w는 패치의 폭, h는 유전계 기관의 두께이다.

ΔL 은 개방 구조에 의한 누설 전자장 때문에 생기는 것으로 누설 전자장이 없는 이상적인 경우로 만들기 위해서는 ΔL 만큼의 길이 보상이 필요하다. 이렇게하여 구한 패치 길이 $L+2\Delta L$ 가 반 파장의 정수배가 되는 주파수에서 공진이 일어난다.

식(3.1.1)을 이용해서 구한 공진 주파수 f_{rc} 와 실험에 의해서 구한 공진 주파수 f_{rm} 과의 차이를 f_{rm} 으로 규격화시켜 퍼센트오차를 <그림4>에 나타내었다. <그림5>에는 실험적으로 구한 ΔL 의 값과 식(3.3.2)로 구한 ΔL 의 값과의 차이를 나타내었다. <그림4>로부터 식(3.3.2)은 공진주파수를 예측하는 데 있어 실험값과 1% 이내의 오차를 준다는 것을 알 수 있다. <그림4>와 <그림5>에서 실험값의 일부는 지금까지 발표된 논문[8]에서 참고 한 것이다.

3-2 복사 패턴

<그림1>의 사각형 패치 안테나의 원거리 영역에서의 전개[5]는 $\theta = \frac{\pi}{2}$ 일 때

$$E_{\phi} = -j \frac{V_0 w k_0 e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \frac{\sin(\frac{k_0 h}{2} \cos\phi)}{\frac{k_0 h}{2} \cos\phi} \cos(\frac{k_0 h}{2} \cos\phi) \quad (3.2.1)$$

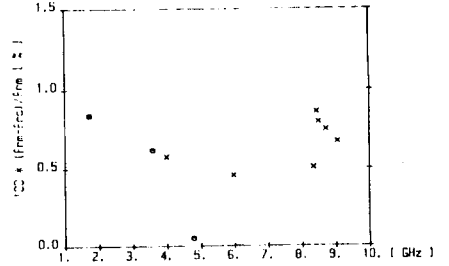
이며, $\phi = \frac{\pi}{2}$ 일 때는

$$E_{\phi} = -j \frac{V_0 w k_0 e^{-jk_0 r}}{2\pi r} \frac{\sin(\frac{k_0 w}{2} \cos\theta)}{\frac{k_0 w}{2} \cos\theta} \sin\theta C_1 \quad (3.2.2)$$

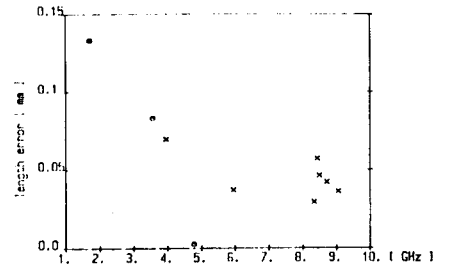
이다. 여기서 C_1 은 상수이다.

식(3.2.1)와 식(3.2.2)을 이용한 복사 패턴과 실제 실험으로 측정한 복사 패턴을 <그림6>, <그림7>에 나타내었다. 이 그림으로부터 식(3.2.1)와 식(3.2.2)이 실험과 잘 일치함을 알 수 있다. 실험으로 측정한 복사 패턴이 이론치에 비해 굴곡이 있는 것은 실제 제작한 안테나의 경우 접지면의 크기가 유한하기 때문이다.

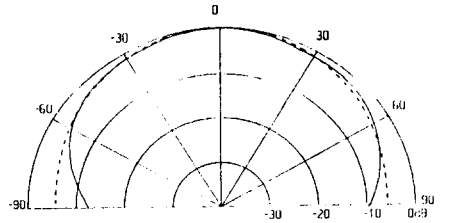
그리고 이러한 사각형 패치들로 이루어진 선형 배열 안테나를 제작하여 복사 패턴을 조사해 보았다.



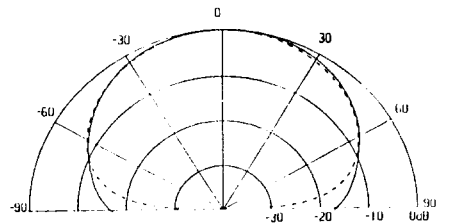
<그림4> 공진 주파수의 이론치와 실험치 차이



<그림5> ΔL 의 이론치와 실험치 차이

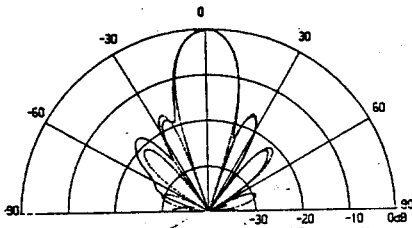


패치 폭 = 13mm
패치 길이 = 9.72mm
<그림6> E-평면 복사 패턴 (9GHz)

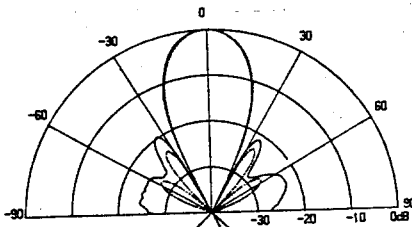


패치 폭 = 13mm
패치 길이 = 9.72mm
<그림7> H-평면 복사 패턴 (9GHz)

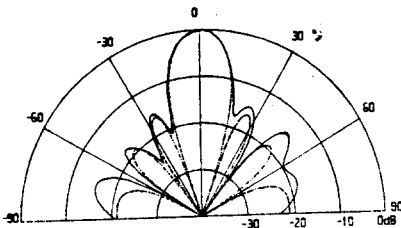
<그림8>, <그림10>의 배열 안테나에는 전력 분배기를 통해 각각 전력의 크기를 1, 1.6, 1.95, 1.6, 1 순서로 분배 하였으며, <그림9>의 배열 안테나에는 1, 4, 4, 1 의 순서로 전력을 분배 하였다. <그림8>, <그림9> 및 <그림10>에서 보듯이 대체적으로 이론치와 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다.



패치들간의 간격=23.14mm=0.694λ,
 <그림8> H-평면 복사 패턴 (9GHz)



패치들간의 간격=23.2mm=0.696λ,
 <그림9> H-평면 복사 패턴 (9GHz)



패치들간의 간격=23.1mm=0.693λ,
 <그림10> E-평면 복사 패턴 (9GHz)

3-3 복사 콘덕턴스

<그림1>의 패치 안테나를 둘러싸 본 입력 복사 콘덕턴스 G 는[6]

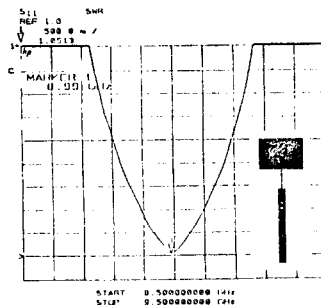
$$G = 2 G_s (1 + J(k_0 L \sin\theta)) \quad (3.3.1)$$

이며,

$$G_s = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left\{ \frac{\sin\left(\frac{k_0 w}{2} \cos\theta\right)}{\cos\theta} \right\}^2 (\sin\theta)^3 d\theta \quad (3.3.2)$$

이다.

패치 안테나의 복사 콘덕턴스를 직접 측정하여 식(3.3.1)으로 구한 이론치와 비교하기는 어려워서 간접적인 방법을 사용하였다. 즉 패치 안테나의 중심 주파수에서 전원으로부터 전력이 안테나로 전부 전달 되도록 하기 위해서는 전원과 중심 주파수에서의 안테나의 입력 임피던스를 알아서, 이것들을 서로 연결하는 매칭회로가 필요 하게 된다. 중심 주파수에서의 안테나의 입력 임피던스는 식(3.3.1)으로 구할 수 있으며, 이것으로부터 매칭용 4분의 1파장 변환기(quarter-wave transformer)를 구현한 패치 안테나의 중심 주파수 근처에서의 전압 정재파비를 측정해 보면 <그림11>과 같다. 중심 주파수에서 전압 정재파비가 거의 1에 가까운 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 이것은 패치 안테나의 복사 콘덕턴스를 식(3.3.2)으로 예측한 값이 매우 정확하다는 것을 의미한다.



<그림11> 주파수에 따른 전압정재파비 변화
 패치 폭=13mm, 패치 길이=9.72mm

3-4 주파수 대역폭

패치 안테나에서 주파수 대역폭을 안테나 입력에서의 전압정재파비(vswr)가 어느 기준값 이하가 되는 주파수 대역폭으로 정의 하자. 이렇게 정의 할 경우 패치 안테나의 주파수 대역폭 BW는[7]

$$BW = \frac{(vswr - 1) f_0}{Q_i (vswr)^{1/2}} \quad (3.4.1)$$

으로 쓸 수 있다. 여기서 Q_i 는 패치 안테나의 Q(quality factor)이며 패치 안테나를 공진기로 볼 수 있기 때문에 이것을 정의 할 수 있고, f_0 은 안테나의 중심 주파수이다.

실험적으로 구한 주파수 대역폭 및 윗 수식을 이용하여 구한 주파수 대역폭을 안테나 치수와 함께 <표1>에 나타내었다. <표1>의 실험치 중에서 ' * ' 표시가 있는 것은 논문[8]을 참조하였다. 9 GHz대에서 이론치와 측정치가 약 0.6 % 차이가 나지만 그 이하의 주파수에서는 실험치와 비교적 잘 일치 함을 볼 수 있다. 9 GHz대에서 생긴 오차는 식(3.4.1)이 좁은 주파수 대역폭을 가정하고 구한 수식이기 때문에 생긴 오차로서, 주파수 대역폭이 커지면 이 수식에 의한 이론적 주파수 대역폭과 실험치와의 오차는 점점 커지게 된다.

<표1> 패치 안테나의 주파수 대역폭 이론치 및 실험치

| | 안테나1* | 안테나2* | 안테나3 | 안테나4 |
|--------------------|-------|-------|-------|--------|
| 패치 길이L(mm) | 29.7 | 9.58 | 14.9 | 9.72 |
| 패치 폭W(mm) | 29.7 | 9.58 | 18.9 | 13 |
| 기판 높이h(mm) | 1.59 | .635 | .7213 | .7213 |
| 상대 유전 상수 | 8.50 | 10.3 | 2.50 | 2.50 |
| 공진 주파수(GHz) | 1.71 | 4.78 | 5.97 | 8.9925 |
| 주파수 대역폭 (이론치 %) | 0.98 | 0.907 | 1.99 | 3.13 |
| (이론치 MHz) | 16.82 | 43.37 | 119.3 | 281.7 |
| 주파수 대역폭 (실험치 %) | 1.00 | 0.90 | 2.01 | 2.50 |
| (실험치 MHz) | 17.1 | 43.02 | 120 | 225 |

4. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 기본 개념을 이해하고 자 가장 간단한 구조의 <그림1>과 같은 사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 상대 유전 상수 ϵ_r 이 2.5인 Copper Clad Woven PTFE/Glass Laminates로써 제작하였다. 13mm×9.72mm인 패치 안테나 하나 및 이것들 4, 5개로 구성된 선형 배열 패치 안테나의 E, H-평면 복사 패턴을 측정하였고, 크기가 다른 여러개의 패치 안테나를 제작 공진 주파수 및 주파수 대역폭을 측정하였으며, 입력 정합을 매칭 회로를 이용하여 복사 콘덕턴스를 간접적으로 측정하였다. 이러한 실험적 결과가 슬롯-전송선 모델링을 이용한 이론적 해석과 잘 일치함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] G. A. Deschamps, "Microstrip microwave antenna," presented at the 3rd USAF Symp. on Antenna, 1953.
- [2] E. Lier, and K. R. Jakobsen, "Rectangular microstrip patch antennas with infinite and finite ground plane dimensions," IEEE AP, vol. 31, no. 6, pp. 978-984, Nov. 1983.
- [3] E. Hammerstad, "Computer-aided design of microstrip couplers with accurate discontinuity models," IEEE MTT-S, pp. 54-56, 1981.
- [4] Y. Suzuki, N. Miyano, and T. Chiba, "Expanding the frequency bandwidth of a microstrip antenna," IEEE AP-S, vol.1, pp. 366-369 1981.
- [5] I. J. Bahl, and P. Bhartia, *Microstrip antennas*, 2rd ed., Artech House, Inc., 1982.
- [6] A. G. Derneryd, "A theoretical investigation of the rectangular microstrip antenna element," IEEE AP, vol. 26, no. 4, pp. 532-535, July 1978.
- [7] Y. Suzuki, N. Miyano, and T. Chiba, "Expanding the frequency bandwidth of a microstrip antenna," IEEE AP-S, vol. 1, pp. 366-369, 1981.
- [8] J. Q. Howell, "Microstrip Antennas," IEEE AP, vol. 23, no. 1, pp. 90-93, Jan. 1975.