

# 적층구조, 프로브 급전방식, 정사각형 링형태 마이크로스트립 안테나 특성에 관한 연구

## Characteristics of Stacked Probe-Fed Square-Ring Microstrip Antenna

이정연\* · 이종근\*\* · 김성철\*

Jung-Yun Lee\* · Joong-Geun Rhee\*\* · Sung-Chul Kim\*\*

### 요 약

본 논문에서는 S밴드(1.5~3.9 GHz)에서 주로 사용되어지는 마이크로스트립 패치 안테나에서 복사특성의 성능저하를 방지함과 동시에 소형화방법이 연구되었다. 연구는 마이크로스트립 단일패치 안테나에서 패치의 중앙부분을 제거함으로써 정사각형 링(Square-ring)형태를 가지는 마이크로스트립 안테나의 형태에 관하여 수치적인 방법으로 수행되었다. 또한 링 구조를 가지는 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나를 연구함에 있어서 안테나 임피던스, 공진주파수, 대역폭 등을 제어하기 위한 부수적인 파라미터들이 연구되었다. 단일 정사각형 링 마이크로스트립안테나에 있어서 패치의 중앙부분이 제거됨에 따라 입력임피던스가 증가되고, 공진주파수와 대역폭이 감소되는 현상이 관찰되었고, 안테나의 Directivity에는 적게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

또한 Moment Method 방식의 Zeland 사의 IE3D 소프트웨어를 이용하여 안테나와 전송선로간의 임피던스 정합과 대역폭의 증가를 위해 다른 개체의 정사각형의 단일 패치와 링형태의 패치가 각각 쌓아 올려지는 적층(stacked) 구조 형태로 설계, 최적치를 도출하여 단일패치의 마이크로스트립 안테나보다 향상된 대역폭과 이득을 얻을 수 있음이 연구되었다. 또한 수치적인 시뮬레이션 결과와 실제의 측정을 수행한 결과를 서로 비교함으로써 잘 일치함을 증명하였다.

### Abstract

A method for miniaturization of microstrip patch antenna without degrading its radiation characteristics is investigated in this paper. It involves perforating the patch to form a microstrip square-ring antenna, and its BW enhancement is investigated numerically and experimentally. A ring geometry introduces additional parameters to the antenna, and those are used to control impedances, resonance frequencies, and bandwidths. For a single square ring antenna, an increase of the size of perforation increases its input impedance, decreases the resonance frequency, and bandwidths. But it affects little on directivity of the antenna. To match the antenna to a transmission line and also enhance its bandwidth, the ring is stacked by a square patch or another square ring. Also numerically simulated results by the IE3D, and experimental data are compared for proof.

### I. 서 론

정사각형 형태의 마이크로스트립 패치안테나는 가장 널리 사용되어지는 마이크로스트립 안테나이다

\*한양대학교 전자통신전파공학과(Dept. of Electronic Communication Radio Science and Engineering, Hanyang University)

\*\*한양대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Hanyang University)

· 논문 번호 : 20001016-117

· 수정완료일자 : 2000년 11월 20일

고<sup>[1]</sup>, 이는 패치의 길이와 폭에 의해 특성이 결정지어진다. 원방계 복사패턴, 손실, Q 인자(factor), 입력임피던스들을 비롯한 여러 가지 전기적인 변수들은 여러 논문에서 연구, 보고된 바 있다<sup>[2],[3]</sup>. 또한 프로브급전 마이크로스트립 패치안테나는 구조상의 단순함과 견고함으로 인해 다양한 안테나 시스템에서 사용되어지며 최근에 각광을 받고 있다. 이는 프로브와 패치가 직접 연결되어 있기 때문에 고주파에서 동작할 때 개구면-패치안테나에서 발생할 수 있는 오정렬(Misalignment) 문제를 최소화할 수 있고, 급전되는 부분과 복사되어지는 소자 사이의 매우 좋은 격리가 이루어지기 때문에 좋은 전후방비를 형성할 수 있는 장점을 가지고 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 일반적으로 마이크로스트립 패치안테나의 좁은 대역폭으로 인한 여러 가지 응용에 많은 제약이 있기 때문에 이러한 특성을 개선시키기 위한 여러 연구 논문이 보고되고 있다<sup>[5],[6]</sup>. 본 논문에서는 프로브로 급전되는 정사각형 형태의 단일기판 마이크로스트립 안테나의 중앙부분을 제거함에 따른 특성의 변화가 연구되었고 그 결과 발생하는 좁아지는 대역폭과 증가하는 안테나 입력임피던스를 줄이기 위해 가운데 공기층을 형성시킨 링-패치 형태의 적층구조 마이크로스트립 안테나와 링-링 형태의 적층구조 마이크로스트립 안테나를 설계하여 대역폭(VSWR < 2)을 약 20.6 % 증가시킬 수 있었다.

## II. 단일기판 정사각형 형태의 마이크로 스트립 링 안테나 해석

그림 1에서 볼 수 있듯이 마이크로스트립 링 안테나는 중앙의 도체부분이 제거되었다는 것을 제외하고는 단일 패치의 안테나와 비슷한 형태를 나타내고 있다. 정사각형 링 공진기의 특성을 해석하기 위하여 상대 유전율을  $\epsilon_r=2.5$ , 폭  $W_1=30$  mm, 높이  $H=0.8$  mm, 1.59 mm, 3.18 mm 되는 기판(Substrate) 형태의 단일패치로 하였다. 그라운드 기판은 무한히 큰 도체판으로, 급전점의 위치는  $X_p=0$  mm,  $Y_p=-13$  mm로 가정하였고, 급전을 하는 동축 프로브의 지름은  $d=1.27$  mm의 프로브로 가정하였다.

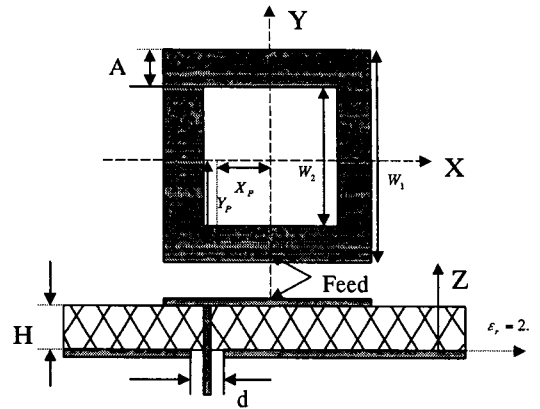


그림 1. 링 형태의 정사각형 마이크로스트립 안테나의 구조

Fig. 1. Microstrip square-ring configuration.

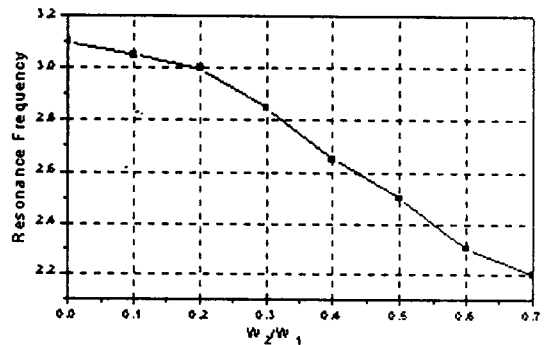


그림 2.  $H=1.59$  mm,  $W_1=30$  mm,  $\epsilon_r=2.5$ 일 때  $W_2/W_1$ 에 따른 공진주파수의 변화(시뮬레이션)

Fig. 2. Input resonance frequency variation with  $W_2/W_1$  for  $H=1.59$  mm,  $W_1=30$  mm,  $\epsilon_r=2.5$  (Simulation).

### 2-1 공진주파수

$H=1.59$  mm,  $W_1=30$  mm,  $\epsilon_r=2.5$ ,  $X_p=0$  mm,  $Y_p=-13$  mm인 단일패치의 공진주파수는 3.1 GHz이었다. 패치의 중앙부분을 점차 제거해감에 따라 공진주파수가 낮아지는 것을 그림 2에서 볼 수 있다. 이는 상대적으로 작은 크기를 가지고 공진주파수를 얻는 것이 가능해지는데, 예를 들어  $W_2/W_1=0.7$  ( $W_2=21$  mm)일 때의 공진주파수는 2.2 GHz 이다. 이 수치는 단일패치 공진주파수의 71 %에 해

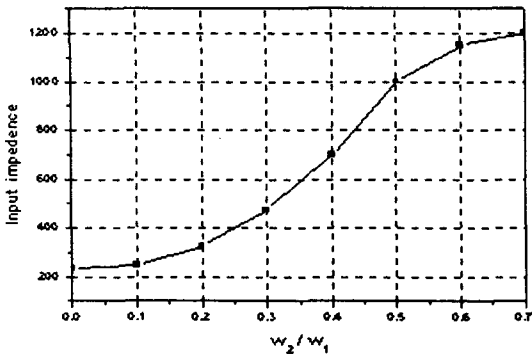


그림 3. H=1.59 mm, W<sub>1</sub>=30 mm, ε<sub>r</sub>=2.5일 때 W<sub>2</sub>/W<sub>1</sub>에 따른 공진주파수에서의 입력임피던스 변화 (시뮬레이션).

Fig. 3. Input impedance variation at resonance frequency with W<sub>2</sub>/W<sub>1</sub> for H=1.59 mm, W<sub>1</sub>=30 mm, ε<sub>r</sub>=2.5 (Simulation).

당하는 것으로 2.2 GHz의 공진주파수를 만들기 위한 단일패치의 크기가 43 mm가 되어야 함을 고려할 때 크기가 줄어드는 것을 알 수 있다.

### 2-2 입력 임피던스

주파수 변화에 따른 안테나 입력임피던스는 안테나와 급전선과의 임피던스 정합될 수 있는 주파수 영역의 제한을 초래하므로 매우 중요한 파라미터이다. 그림 3은 ε<sub>r</sub>=2.5 이고 H=1.59 mm인 정사각형 링형태의 마이크로스트립 패치 안테나가 동축케이블로 급전될 때 패치의 중앙부분을 제거해감에 따른 공진주파수에서의 입력임피던스 변화이다. W<sub>2</sub>가 증가함에 따라 공진주파수에서의 입력임피던스는 수천 Ω씩 빠르게 증가하고, 이는 50 Ω 전송선로를 통해 안테나에 급전하는 것이 어려워진다.

### 2-3 임피던스 대역폭

마이크로스트립 안테나는 여러 가지 유용하고 관심을 끌만한 흥미있는 특성을 가지고 있다. 그러나 이러한 대부분의 마이크로스트립 안테나의 문제점 중 하나는 그가 가지고 있는 좁은 대역폭이다. 대역폭이 15~50 %까지 되는 다이폴, 슬롯안테나, 도파

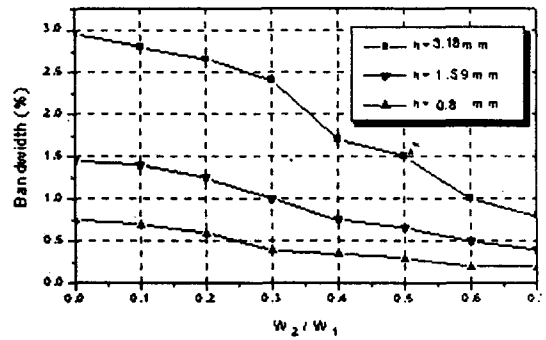


그림 4. W<sub>2</sub>/W<sub>1</sub>와 Substrate 두께에 따른 공진주파수에서의 대역폭 변화 (시뮬레이션).

Fig. 4. Bandwidth variations at resonance frequency for various substrate thicknesses and W<sub>2</sub>/W<sub>1</sub> (Simulation).

관 혼 등과 비교하였을 때, 마이크로스트립 패치 안테나는 단 5% 내외에 불과한 대역폭을 가지고 있는 것이 보통이다<sup>[6]</sup>. 임피던스 대역폭은 반사손실, 또는 통상적으로 2.0 또는 1.5보다 적은 값으로 표현되는 최대 SWR 값으로 정의되어지는데, SWR 수치에서 대역폭으로의 변환은 식 (1)로부터 얻어질 수 있다<sup>[7]</sup>.

$$B = \frac{SWR - 1}{Q \cdot SWR} \quad (1)$$

여러 가지 H 값에 대한 정사각형 링 마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭(SWR<2)이 그림 4에 나타나 있다. 예상했던대로 기판의 두께 H를 크게 하면 할수록 안테나의 대역폭은 증가하였다. 그러나 패치의 중앙부분을 증가시켜 가면서 제거하면 제거된 부분이 많으면 많을수록 대역폭은 줄어드는 현상을 관찰할 수 있었다. 또한 대역폭의 감소율은 H가 적을수록 증가하는 것을 볼 수 있다.

### 2-4 급전점의 이동에 따른 영향

본 절에서는 급전점의 위치를 x축과 y축에 따라 이동시켜서 시뮬레이션 하였다. 우선 x축의 변화에 따른 임피던스의 변화를 알아보기 위해 W<sub>2</sub>/W<sub>1</sub>=0.3, 0.4, 0.5, 0.6의 각각의 경우에 대해 Y<sub>p</sub>=-13 mm으로 고정시킨 상태에서 X<sub>p</sub>/W<sub>1</sub>를 0.1부터

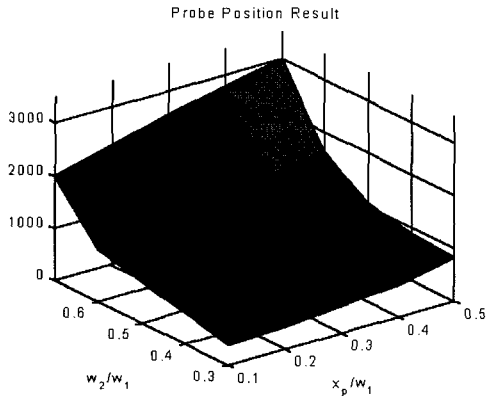


그림 5. 급전점의 이동에 따른 임피던스의 변화  
 Fig. 5. Impedance variations with various feed points.

0.5까지 0.1씩 증가시켜 가면서 특성의 변화를 관찰하였다. 이 결과 공진주파수의 변화는 거의 무시할 만큼 미미한 것이었으나  $W_2$ 의 변화와는 관계없이 임피던스가 증가하는 것을 그림 5에서 확인할 수 있다. 그림 5의 결과에서 볼 수 있듯이 급전점의 위치가 패치의 중앙으로 위치할수록 안테나 입력 임피던스의 크기가 적어지는 것을 확인할 수 있었으며, 또한  $X_p$ 의 위치를 고정시키고  $Y_p$ 의 위치를 변화시켜 위와 같은 수치적 계산을 한 결과 역시 중앙으로 위치할수록 임피던스가 적어지는 것을 확인할 수 있었다.

### Ⅲ. 적층구조를 가지는 링형태의 마이크로스트립 안테나

2절에서 살펴본 바와 같이 공진주파수에서의 정상각형 형태의 마이크로스트립패치 안테나의 입력임피던스는  $W_2$ 가 증가함에 따라 증가하였다. 이러한 급격히 증가하는 입력임피던스 문제를 스테브나 Quarter-Wave Line으로 50 Ω 전송선로와 임피던스 정합을 시킨다는 것은 다소 실용적이지 못하다고 판단되고, 또한 이 방식은 대역폭이 좁다는 단점도 가지고 있다. 이러한 단점들은 다소 심각하며 실질적인 응용에는 여러 가지 장애가 되므로 본 절에서는 대역폭의 증가와 임피던스 정합을 위한 방법 중 그림 6에서 도식되어지는 바와 같이 인접한 공진

주파수를 가지는 적층구조의 공진기의 원리를 이용하는 방법을 사용하였다. 이 기법의 기본개념은 두 개 혹은 그 이상의 공진을 발생시키기 위해 여러 개의 패치를 매우 가까운 거리에 배치함으로써 각각 패치의 공진현상을 이용하는데 착안을 하였다. 대부분의 경우 하나의 패치에 급전을 하게 되고, 다른 패치는 급전되는 패치와의 인접함으로 발생하는 커플링 현상을 이용하여 구현될 수 있다<sup>[8]</sup>. 이중으로 튜닝된 공진특성을 발생시키기 위해서 기생적으로 커플링된 소자를 사용함으로써 위에서 언급한 대역폭의 증가와 임피던스 정합의 문제점을 해결할 수 있다. 이러한 적층구조의 마이크로스트립 안테나의 등가모델을 통한 입력임피던스는 식 (2)와 같다<sup>[9]</sup>.

$$Z_i = \frac{Y_{12}^P + N^2 Y_L}{Y_{i1} Y_{12}^P + N^2 Y_L + N^2 Y_L Y_{12}^P} + jX_P \quad (2)$$

$X_P$ 는 급전선의 리액턴스 성분을 나타내며,  $N^2$ 은 변환기의 전력비를 의미한다. 이는 대략적으로 패치간의 채적의 비로 식 (3)과 같이 정의된다<sup>[9]</sup>.

$$N^2 = \frac{H_1 + H_2 + H_3}{H_1} = \frac{V_2}{V_1} \quad (3)$$

$Y_{i1}$ 은 아래에 위치하는 패치를 동축케이블의 급전점에서 바라본 입력 어드미턴스이고,  $Y_{i2}$ 는 위에 위치하는 패치를 동축케이블에서 바라본 입력어드미턴스이고,  $Y_{12}^P$ 는 아래에 위치하는 패치와 아래에 위치하는 패치 상호간의 커플링에 의해 생성되는 어드미턴스를 나타낸다. 본 연구에서 사용한 적층구조를 가지는 링 형태의 마이크로스트립 안테나는 두 개 기관의 높이, 유전율, 패치의 크기 등 여러 가지 파라미터들에 의해 특성이 결정되며 안테나의 여러 가지 파라미터를 IE3D 시뮬레이션 툴을 통해 최적화하였다. 그림 6과 같은 구조를 가지고 있는 링-패치 적층구조의 마이크로스트립 안테나의 구조에서  $\epsilon_{r1}=2.5$ ,  $H_1=1.6$  mm,  $W_1=30$  mm,  $W_2=15$  mm,  $\epsilon_{r2}=1.05(\text{foam})$ ,  $H_2=5$  mm,  $W_3=47$  mm, 동축케이블의 내경의 반경이 0.18 mm으로 가정하였고, 프로브의 위치는  $X_p=0$  mm,  $Y_p=-13$  mm에서 급전되었다. 그 결과 그림 7에서 보여지듯이 대역폭을 증가시키고 동시에 낮은 임피던스에 매칭시키는 것이 가능해졌다.

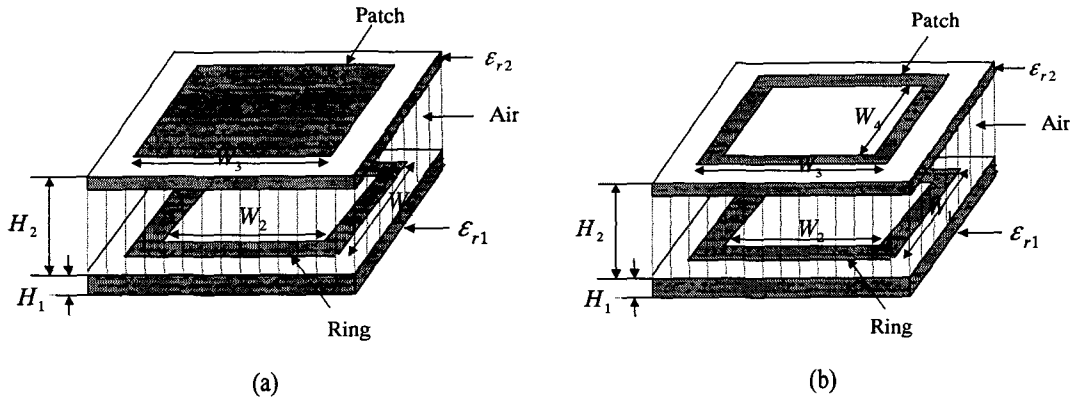


그림 6. 적층구조의 Ring-ring와 Ring-patch 마이크로스트립 안테나  
 (a) 적층구조의 Ring-patch 형태, (b) 적층구조의 Ring-ring 형태  
 Fig. 6. Configuration of stacked ring-ring and ring-patch microstrip antenna.  
 (a) Stacked ring-ring, (b) Stacked ring-patch.

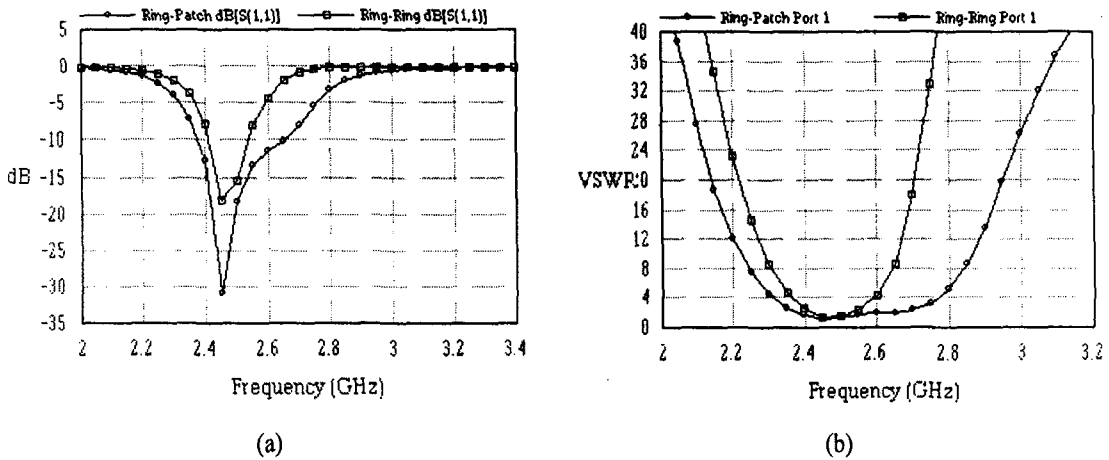


그림 7. 적층구조의 Ring-patch 마이크로스트립 안테나와 Ring-ring 마이크로스트립 안테나의 반사손실과 정재파비(시뮬레이션). (a) 각각의 형태에 대한 반사손실, (b) 각각의 형태에 대한 정재파비  
 Fig. 7. Return loss and VSWR for ring-patch and ring-ring microstrip antenna. (Simulation)  
 (a) Return loss, (b) VSWR.

임피던스 대역폭은 전형적으로 10~20 % 가량의 대역폭을 가지게 되고, 특히 각각의 패치는 서로 매우 인접한 위치를 가지게 된다. 또한 위에 위치하게 되는 패치의 크기는 아래에 위치하게 되는 패치보다 약간 크게 설계하였다. 만약 설계의 과정에서 각각의 패치가 서로 인접한 위치를 가지지 못하게 된다

면, 각각의 개별적인 공진현상이 발생되게 되고, 이는 이중공진(dual-band)의 특성을 가지게 된다. 연구된 논문과 보고서에 의하면<sup>[10]~[12]</sup>, 이러한 다중공진을 이용하는 가장 실용적인 방법은 두 개의 패치를 가지고 공기나, 여러 개의 유전율이 낮은 유전층으로 구현하는 것이다. 적층구조의 마이크로스트립 안

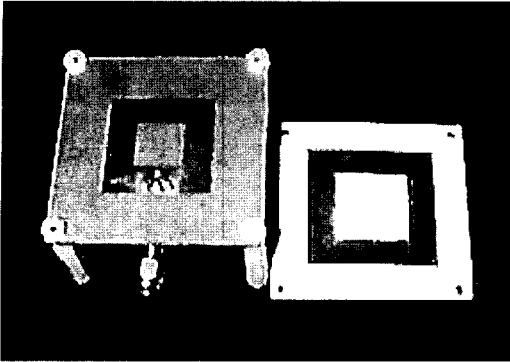


그림 8. 제작된 마이크로스트립 안테나  
Fig. 8. Fabricated microstrip antenna.

테나가 각광을 받는 원인에는 여러 가지가 있는데, 첫째로 안테나 소자로서 차지되는 공간의 크기가 다른 마이크로스트립 안테나보다 많지 않다는 것이다. 둘째로 어레이 구조를 가지는 안테나에 있어서도 매칭회로가 필요없이 적층구조의 마이크로스트립 안테나가 그대로 사용될 수 있고, 적층된 패치소자의 매우 인접한 위치로 인해 급전소자로부터의 확실한 커플링이 보장될 수 있다. 마지막으로 적층소자의 패턴과 위상중심(pattern and phase center)은 구동되는 대역폭에서 대칭구조를 형성한다. 이는 Reflector feed나 배열구조의 응용에 매우 유용한 특

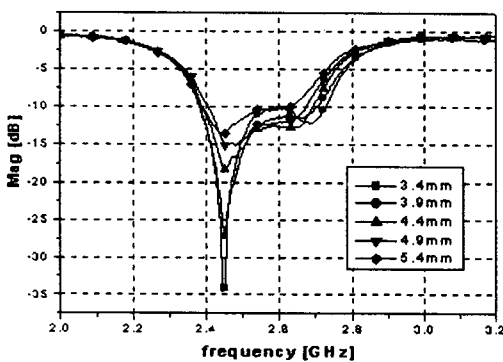
징이다.

### 3-1 제작 및 측정

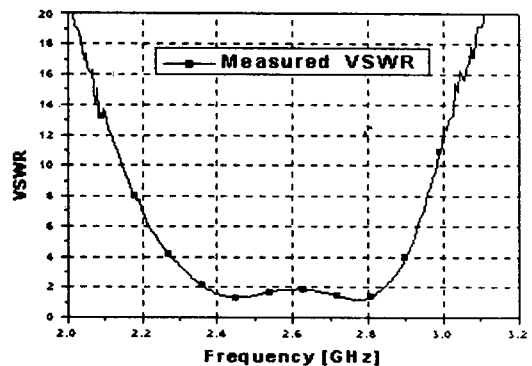
본 절에서는 그림 6에서 도식되어진 적층 구조를 가지는 링형태의 마이크로스트립 안테나 제작 및 그 특성을 측정하였다. 안테나의 제작에는 아래에 위치하는 기판으로써 유전율 2.5, 두께 1.6 mm, 손실탄젠트(loss tangent)가 0.0019인 Metclad 사의 MXIM 기판을 사용하였고 위에 위치하는 기판으로써는 유전율 1.05, 두께가 1.6 mm인 foam을 사용하였다. 이는 그림 8에 보여지고 있다. 중앙에 공기층을 만들기 위해 위의 기판과 아래의 기판을 지지대로 분리하였다. 공기층의 조절은 위의 기판과 아래의 기판을 분리 시켜주는 지지대의 길이를 공기층의 길이와 각각 동일하게 제작하여 공기층을 형성시켰다. 지지대의 재질은 플라스틱과 비슷하고 제작이 용이한 Cardboard를 사용하였다. 그리고 안테나의 반사손실과 정재파비의 측정은 HP 8720C Network Analyzer를 이용하여 측정하였다.

### 3-2 측정결과

그림 9(a)와 그림 10(a)에서 볼 수 있듯이 2.45



(a)



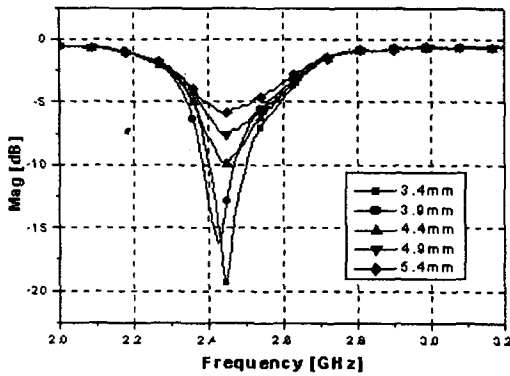
(b)

그림 9. 이격거리에 따른 적층구조 Ring-patch 마이크로스트립 안테나의 반사손실과 정재파비 (측정값).

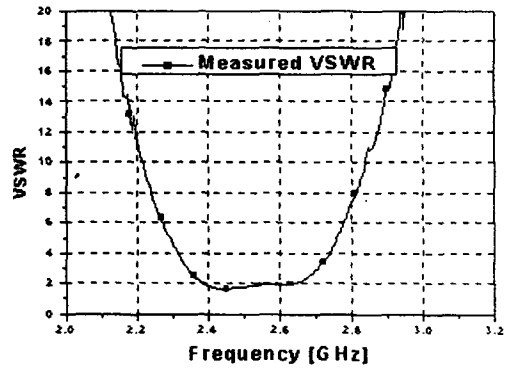
(a) 여러 가지 이격거리에 따른 반사손실, (b) 이격거리가 3.4mm일 때의 정재파비

Fig. 9. Measured return loss and VSWR of stacked ring-patch microstrip antenna for various seperating distances.

(a) Return loss for various seperating distances, (b) VSWR for 3.4mm seperating distances.



(a)



(b)

그림 10. 이격거리에 따른 적층구조 Ring-ring 마이크로스트립 안테나의 반사손실과 정재파비(측정값).

(a) 여러 가지 이격거리에 따른 반사손실, (b) 이격거리가 3.4 mm일 때의 정재파비

Fig. 10. Measured return loss and VSWR of stacked ring-ring microstrip antenna for various separating distances. (a) Return loss for various separating distances, (b) VSWR for 3.4mm separating distances.

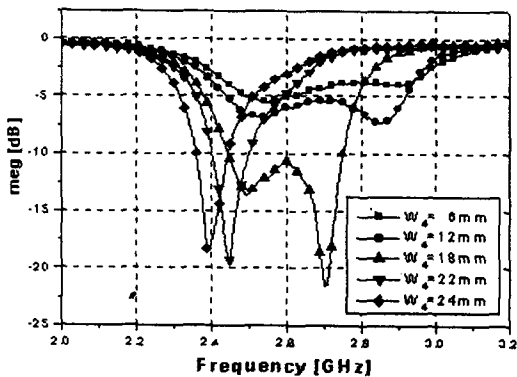


그림 11.  $w_4$ 에 따른 공진주파수와 반사손실의 변화

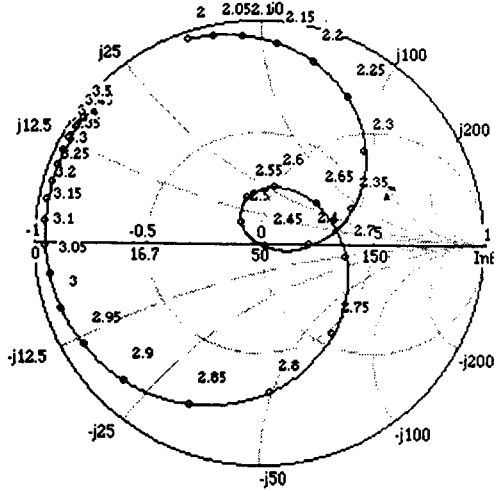
Fig. 11. Resonance frequency and return loss variation for  $w_4$ .

GHz의 공진주파수에서의 최적화된 반사손실은 각각 -33 dB와 -19 dB의 값을 나타내었다. 두 경우 모두 두 개의 패치의 이격거리가 떨어질수록 반사손실의 크기는 줄어드는 것을 알 수 있고, 9(b)와 그림 10(b)에서 볼 수 있듯이 안테나의 반사손실에 대한 동작 대역폭(VSWR<2)의 경우에도 각각 20.6%와 10.7%로 단일패치의 대역폭보다 훨씬 향상된 결과를 나타냈다. 반사손실의 경우, 수치적으로 시뮬레이션된 결과인 2.45 GHz의 공진주파수에 대

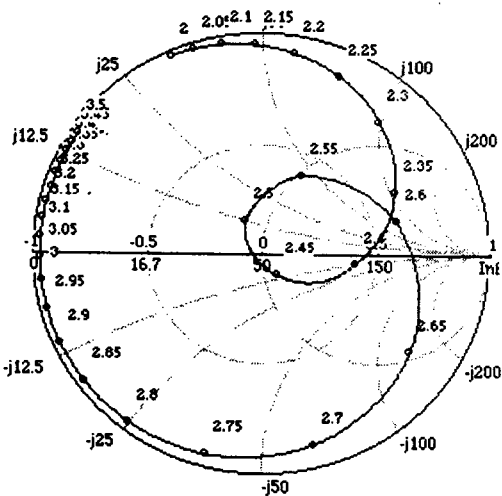
한 반사손실 -31 dB와 -17 dB인 결과와 차이가 발생되는데, 이는 안테나 패턴의 가공작업에서 발생한 제작오차에 기인한 것으로 판단되나 이는 안테나의 동작시 무시할만한 영향이므로 이들 서로는 잘 일치된 결과라 할 수 있다.  $W_4$ 의 변화에 따른 공진주파수와 반사손실의 변화를 확인하기 위하여  $W_4$ 의 길이를 변화시켜 가면서 측정하였다. 위에 위치하는 기판의 내부패치가 증가되어가면서 제거됨에 따라 반사손실의 크기와 공진주파수의 변화가 그림 11에 나타나 있다. 또한 그림 12에서 볼 수 있듯이 입력임피던스 50 Ω에 잘 매칭되는 것을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 S밴드(1.5~3.9 GHz)에서 주로 사용되어지는 프로브급전 마이크로스트립 패치 안테나에서 복사특성의 성능저하는 없이 대역폭 증가 및 동시에 소형화 방법이 연구되었다. 적층구조로 설계된 두가지 종류의 마이크로스트립 안테나의 시뮬레이션된 복사패턴은 그림 13에 나타나 있다. 또한 정사각형 형태의 마이크로스트립 단일패치 안테나에서 패치의 중앙부분을 제거함으로써 형성되는



(a)



(b)

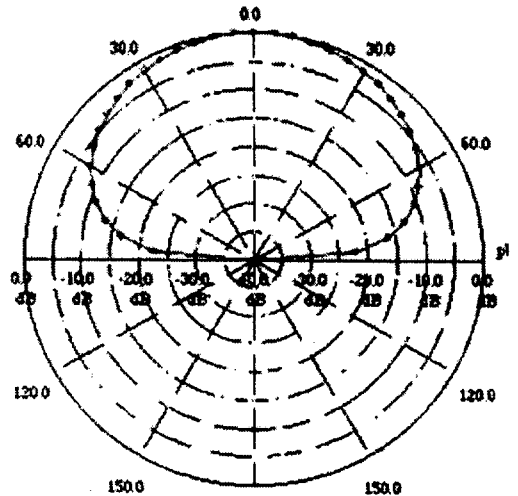
그림 12. 적층구조의 Ring-patch 마이크로스트립과 Ring-ring 마이크로스트립안테나의 입력임피던스

(a) Ring-patch형태, (b) Ring-ring형태

Fig. 12. Input impedance of ring-patch and ring-ring microstrip antenna.

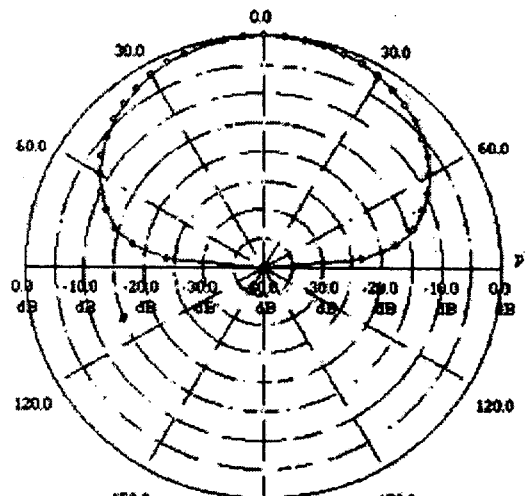
(a) Ring-patch, (b) Ring-ring.

정사각형 링(Square-ring) 형태의 마이크로스트립 패치 안테나의 특성이 연구되었다. 패치의 중앙부분이 제거됨에 따라 공진주파수와 대역폭의 감소와 공진



Polar Elevation Pattern

(a)



Polar Elevation Pattern

(b)

그림 13. 적층구조의 Ring-patch 마이크로스트립과 Ring-ring 마이크로스트립 안테나의 복사 패턴 (시뮬레이션)

(a) Ring-patch형태, (b) Ring-ring형태

Fig. 13. Radiation pattern of ring-patch and ring-ring microstrip antenna (Simulation) (a) Ring-patch, (b) Ring-ring.



주파수에서의 입력임피던스가 급격히 증가하는 것을 관찰할 수 있었다. 대역폭의 증가와 임피던스매칭을 위하여 두 개 기관 가운데의 유전체로써 고주파에서 주파수 특성이 좋은 공기층을 형성시킨 적층구조의 마이크로스트립 안테나를 시뮬레이션을 통해 최적치를 도출하여 설계한 결과, 2.45 GHz의 공진주파수를 가지고 링-패치와 링-링구조의 반사손실이 각각 -34 dB와 -19 dB, 대역폭(VSWR<2)이 20.6 %와 10.7 %의 결과를 얻었다. 이는 단일패치가 가지는 6.4 %보다 훨씬 향상된 결과를 나타내었다. 또한 링-패치의 구조가 링-링구조보다 넓은 대역폭과 큰 반사손실을 나타내었다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. Q. Howell, "Microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-23, pp. 90-93, Jan., 1975.
- [2] Y. T. Lo, D. Solomon, and W. F. Richards, "Theory and Experiment on microstrip antenna," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-27, pp. 137-145, Mar., 1979.
- [3] W. F. Richard, Y. T. Lo, and D. D. Harrison, "An improvement theory for microstrip antennas and applications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-29, pp. 38-46, Jan., 1981.
- [4] Rod B. Waterhouse "Design of Probe-Fed Stacked Patches," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 47, no. 12, Dec., 1999.
- [5] D. M. Pozar and B. Kaufan, "Increasing the Bandwidth of a microstrip antenna by proximity coupling," *Electron Lett.*, vol. 23, no. 8, pp. 368-369, Apr., 1987.
- [6] Rod B. Waterhouse and S. D. Targonski, "Design and Performance of Small Printed Antennas," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 46, no. 11, Nov., 1999.
- [7] Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, INC.
- [8] D. M. Pozar and Daniel H. Schaubert, *The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays*, IEEE Press, pp. 157-161.
- [9] M. Edimo, K. Mahdjoubi, A. Sharaiha and C. Terret, "Simple circuit model for coax-fed stacked rectangular microstrip patch antenna," *IEE Proc., Pt. H*, vol. 145, no. 3, pp. 268-272, 1998.
- [10] T. M. Au and K. M. Luk, "Effect fo Parasitic Element on the Characteristics of Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. AP-39, pp. 1247-1251, 1991.
- [11] Z. Fan and K. F. Lee, "Analysis of Electromagnetically Coupled Patch Antennas," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 6, pp. 436-441, 1994.
- [12] K. F. Lee, W. Chen, and R. Q. Lee, "Studies of Stacked Electromagnetically Coupled Patch Antennas," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 8, no. 4, pp. 212-215, 1995.
- [13] Kai Fong Lee, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, INC.

이 정 연



1999년 2월: 한양대학교 전자공학과(공학사)  
1999년 3월~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로파 능동 및 수동소자

김 성 철



2000년 2월: 한양대학교 전자공학과(공학사)  
2000년 3월~현재: 한양대학교 전자통신전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] EMI/EMC, 마이크로파 능동 및 수동소자

이 중 근



1967년: 서울 대학교 전기공학과(공학사)  
1973년: 미국 남플로리다 주립대학(공학석사)  
1979년: 미국 남플로리다 주립대학(공학박사)  
1979년~1988년: 국방과학연구소

책임연구원

1990년~1991년: 한국전자파기술학회 회장

1988년~현재: 한양대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] EMI/EMC, IMT-2000 M·W 부품