

광대역 특성을 위한 적층형 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나

이선기, 최준호, 김영식
고려대학교 전파공학과 전파기술연구소

Stacked Square-Ring Microstrip Slot Antenna for Broadband Characteristics

Sun-Gi Lee, Jun-Ho Choi, Young-Sik Kim
Dept. of Radio Engineering, Korea University, Seoul, Korea

ABSTRACT

A method for miniaturization of microstrip patch antenna without degrading its radiation characteristics is investigated. The ring geometry introduces additional parameters to the antenna that can be used to control its resonance frequency and bandwidth. For a single square ring increasing the size of patch decreases the resonance frequency and bandwidth. To match the antenna to a transmission line and also enhance its bandwidth, the square ring patch is stacked by a square ring patch. The computed results are compared with experiment and good agreement is obtained.

I. 서론

최근의 이동 통신의 발달과 더불어 개인 휴대 통신 장비의 폭발적인 증가에 따라 대량 생산이 용이하고 경량인 마이크로스트립 안테나에 대한 관심이 집중되고 있다. 마이크로스트립 안테나는 가격이 저렴할 뿐 아니라 부피가 작고, 경량이며 평면 배열이 용이하여 고속 이동체의 굴곡면에 부착하기 쉬운 이점이 있는 반면, 대역폭이 좁고, 전력 용량이 제한된다는 점 등 아직도 해결해야

할 문제점들을 가지고 있다. 이중에서도 특히 마이크로스트립 안테나의 가장 큰 단점인 협대역 특성을 개선하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있으며 또한 여러 해결 방법들이 제시되어 왔다 [1]. 이들 방법 중 유전 상수가 작고 두께가 두꺼운 기판을 사용하거나 [2] 기생 결합된 소자를 이용해 대역폭을 개선하는 방법 [3] 등이 있는데 이러한 방법은 안테나의 크기가 자체적으로 커지는 문제점이 있다. 이러한 단일 방사 소자에 의한 협대역의 특성을 개선하기 위해 비교적 넓

은 광대역 특성을 갖는 마이크로스트립 안테나 적층형 구조에 관한 연구가 진행되고 있다. 특히 마이크로스트립 슬롯 안테나의 연구는 안테나에서 급전 구조를 변화시켜 임피던스 정합을 이루는 방법들이 제시되어 있으며[4], 이러한 방법들을 통한 정사각형 마이크로스트립 적층형 슬롯 안테나로부터 광대역 특성을 나타내도록 안테나 제작과 측정이 수행되었다.

본 논문은 기존의 평판 안테나 중에서도 가장 보편적인 직사각형 마이크로스트립 슬롯 안테나 구조인 정사각형 링 슬롯 안테나를 이용하여 그 위에 같은 형태인 정사각형 링을 추가함으로써 이중 공진의 효과를 유발하고 이를 통한 패치 안테나의 단점인 대역폭을 넓히도록 개선하였으며, 이러한 대역폭의 개선을 위한 각종 파라미터의 변화에 의한 차이를 분석하였다.

본 논문에서 단일 기판 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나는 단일 정사각형 패치 안테나와 접지 방식과 급전 방식을 제외하고는 비슷한 형태를 나타낸다. 그러나 그 결과 발생하는 공진주파수와 대역폭의 변화를 조정하기 위해 가운데에 공기층과 유사한 foam을 삽입 시킨 정사각형 링 형태의 적층 구조 마이크로스트립 안테나를 설계하여 대역폭을 향상시킬 수 있었고 이들 주요 설계 변수들에 의한 영향을 분석하였다.

이러한 설계 변수에 의한 영향을 알아보기 위해 설계 변수가 변화함에 따라 공진 주파수, 임피던스 대역폭 그리고 기판 두께의 변화에 따른 영향을 시뮬레이션과 안테나의 제작을 통해 실측하였다.

II. 단일 기판 정사각형 형태의 마이크로스트립 링 슬롯 안테나

정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나를 설계하는데 있어서 최저차 모드(TM_{01} mode)의

공진 주파수를 얻을 수 있도록 설계 하였으며, 급전 방식이 단순하고 정합이 쉬워 지향적인 안테나 빔을 얻을 수 있다.

1. 설계 변수 및 설계 방법

정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나는 중앙에 정사각형 도체의 패치 안테나를 위치시키고 그 주위에 접지 평면을 둘러싸은 구조이다. 그리고 기판의 뒷면에 마이크로스트립 슬롯 선로를 커넥터에 연결하여 급전을 한다. 단일 기판 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나는 단일 정사각형 패치 안테나와 접지 방식과 급전 방식을 제외하고는 비슷한 형태를 나타낸다.

정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 공진 특성을 알아보기 위하여 일정한 외부 반경과 내부반경의 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나를 설계하였다. 유전체의 높이는 1.59mm (62mil)을 사용하였고 유전율은 2.2이며 총 외곽의 반경은 30mm로 고정 하였다. 그리고 기판 뒷면의 마이크로스트립 슬롯의 폭은 3mm로 길이는 22mm로 고정 하였다.

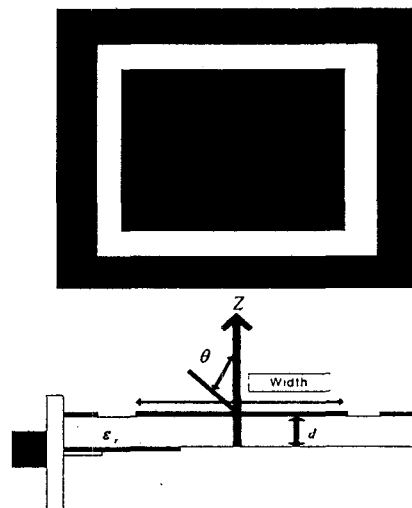


그림 1. 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 구조도

그림 1은 기존 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 구조도이다. 이 안테나를 설계하는데 있어서 공진 주파수를 결정해야 하는데, 최저차 모드의 공진 주파수는

$$(f_r)_{m1} = \frac{1}{2L\sqrt{\mu\epsilon}} = \frac{v_0}{2L\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

로 표현된다. 여기서 ϵ_r 는 마이크로스트립 슬롯 선로에서의 유전 상수이고 'L'은 패치의 실제 길이이며, v_0 는 자유 공간에서의 빛의 속도다[5].

기존의 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나는 대칭적인 마이크로스트립 슬롯의 넓이가 넓어지면 대역폭은 약간 증가하지만 공진 주파수가 마이크로스트립 슬롯 내, 외각의 반지름의 평균값에 반비례하므로 낮은 주파수에서 대역폭을 넓히기 위해서는 안테나의 크기가 커져야 한다는 단점이 있다.

정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 모드는 동축 도파관(coaxial waveguide)의 모드와 동일하게 나타난다. 또한 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나는 정사각형 링 마이크로스트립 안테나와 이원성을 갖는다[6].

2. 안테나 공진주파수, 반사 계수와 대역폭

위의 변수 값들을 이용하여 본 연구에서 MOM 방식의 IE3D 시뮬레이터를 통한 결과와 실제 제작에 의한 측정값을 아래에 나타내었다.

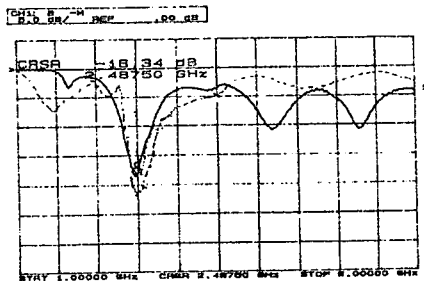


그림 2. 단일 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯안테나

그림 2의 실선은 측정값을 나타내고 점선은 시뮬레이션에 의한 반사계수의 값을 나타내는데 공진 주파수와 대역폭이 일치한다.

표 1. 단일 기판 마이크로스트립 링 슬롯 안테나

분류	시뮬레이션	측정
내부폭/외부폭(mm)	14/15	14/15
공진주파수(GHz)	2.5	2.487
반사계수(dB)	-22	-18.34
대역폭(GHz)	2.4-2.6	2.3-2.6

3. 안테나 방사 패턴

지향성은 복사도체를 원점으로 하여, 이로부터 복사되는 전파의 방향에 따라 상대적 크기를 극좌표 형식으로 나타낸 것을 의미한 표현식은

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A} = \frac{4\pi}{\iint P_n(\theta, \phi) d\Omega} \quad (2)$$

와 같으며 그림 3는 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 공진 주파수에서 실측한 E-평면과 H-평면의 방사 패턴 측정 결과이다. 안테나 구조의 대칭성에 의해 좌우 패턴이 대칭을 이루고 식(2)에 의한 지향성은 3.77dBi이다.

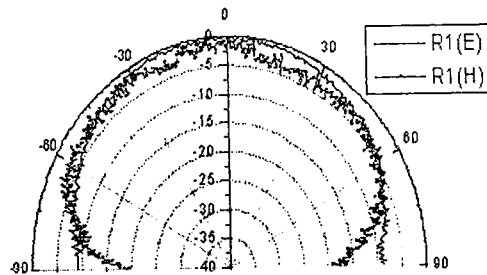


그림 3. 단일 기판 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나

III. 적층형 기판 정사각형 형태의 마이크로스트립 링 슬롯 안테나

1. 설계 변수 및 설계 방법

적층형 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안

테나는 그림 1의 안테나 구조를 하부에 위치시키고 그 위에 중앙에 정사각형 도체의 패치 안테나를 위치시키고 그 주위에 접지 평면을 둘러싸는 구조를 적층한다. 그리고 기판 위의 접지 평면을 아래 기판과 공동으로 커넥터에 접지를 시켜주고 아래 기판의 뒷면에 슬롯 선로를 커넥터에 연결하여 단일 기판과 마찬가지로의 급전을 한다.

기본적으로 앞에서 제시한 단일 기판의 구조를 기본으로 하여 상층 기판의 내.외곽의 폭을 조절함으로써 공진 주파수의 조절과 대역폭의 변화를 가져올 수 있다.

또한 두 기판의 사이에 유전율이 1.06인 foam을 삽입함으로써 두 기판의 이중 공진에 의한 공진 주파수, 산란 계수 그리고 대역폭을 변화시킬 수 있다. 이러한 사항을 고려하여 3.18mm의 최적화된 두께의 foam을 사용하였다.

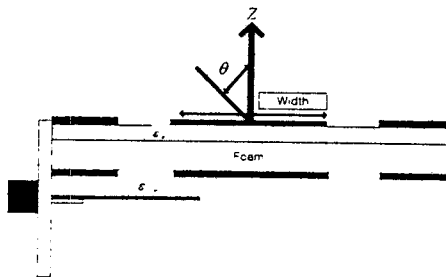


그림 4. 적층형 기판 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 구조도

2. 안테나 공진주파수, 반사 계수와 대역폭

아래 기판은 표 1에 정의한 기판을 사용하여 상층 기판의 내부 패치의 크기의 변화에 따른 안테나 공진주파수, 산란 계수, 대역폭을 시뮬레이션과 실제 측정으로부터 얻은 값은 다음과 같고 표와 같다.

표 2. 적층 기판 마이크로스트립 링 슬롯 안테나

분류	시뮬레이션(측정)	
	상층 기판(R2)	상층 기판(R3)

내부폭/외부	18/20(mm)	20/25(mm)
공진주파수	2.2(2.3)	2.4(2.5)
반사계수	-16.5(18.52)	-12(14.34)
대역폭	2-2.6 (2.2-2.45)	2.2-2.8 (2.35-2.65)

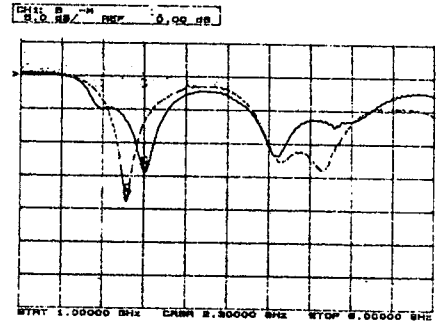


그림 5. 정사각형 링 마이크로스트립 안테나

그림 5에서 점선은 R2의 반사 계수를 나타내고 실선은 R3의 반사 계수를 나타낸다.

단일 기판에 의한 공진 주파수보다 상층의 적층형 기판이 있을 경우 공진 주파수가 대체적으로 감소하는데 이와는 달리 R3에 보인 값이 오히려 증가하는 것은 상층 기판의 폭과 더불어 두 기판 사이의 foam의 두께가 이중 공진에 의해 공진 주파수를 변화 시켜주는 것임을 알 수 있다. 그리고 단일 기판에 의한 값보다는 적층형 기판에 의한 반사 계수가 적게 나타나는 것은 이중 공진에 의한 부정합이 대역폭을 증가시키는 요소로 작용함을 알 수 있다. 그리고 안테나 적층 설계시 여러 변수의 미세한 차이에 의해 시뮬레이션 결과보다 적은 대역폭을 보임을 알 수 있다.

3. 안테나 방사 패턴

그림 6은 적층형 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 방사 패턴으로 안테나 구조의 대칭성에 의해 좌우 패턴이 대칭을 이루고 식(2)에 의한 지향성은 R2가 3.86dBi이고 R3는 3.96dBi 이다.

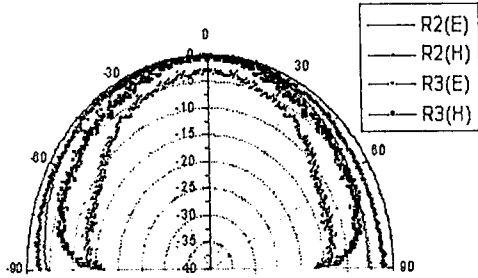


그림 6. 적층형 정사각형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나

IV. 결론

안테나는 중앙의 도체 부분이 넓을수록 공진 주파수가 낮은 값을 보이는데 이와 같은 단일 기판에서는 대역폭이 적다는 단점을 보인다. 이를 위해 적층형 정사각형 링 마이크로스트립 기판 안테나를 구현함으로써 대역폭의 증가를 꾀하였다. 또한 기판 중앙의 도체부분의 폭에 의한 공진 주파수의 변화가 대역폭의 증가와 감소에 상호 영향을 보인다.

본 논문은 대역폭의 증가와 임피던스 정합을 위한 방법 중 인접한 공진 주파수를 가지는 적층 구조의 공진기의 원리를 이용하는 방법을 사용하였다. 이중으로 튜닝된 공진 특성을 발생시키기 위해 기생적으로 커플링 된 소자를 사용함으로써 대역폭의 문제점을 해결할 수 있다. 본 논문에서 사용한 적층 구조를 갖는 링 형태의 마이크로스트립 안테나는 두 개 기판의 높이, 유전율, 패치의 크기 등 여러 가지 설계 변수들에 의해 특성이 결정된다. 그리고 구현한 안테나 구조는 단일 안테나 설계 시 단점인 크기의 대형화를 보완할 수 있으며 상부 패치 안테나의 적절한 선택을 통한 공진 주파수의 변화가 용이하며 마이크로스트립 안테나의 가장 큰 문제점인 대역폭의 증가를 가져왔다.

참고 문헌

- [1] S. H. David, "A survey of broadband microstrip patch antennas," *Microwave J.*, pp. 60-84, Sept. 1996.
- [2] E. Chang, S. A. Long, and W. F. Richards, "An experimental investigation of electrically thick rectangular microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-34, pp. 767-773, June 1986.
- [3] P. B. Katehi, N. G. Alexopoulos, and I. Y. Hsia, "A bandwidth enhancement method for microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-35, pp. 5-12, Jan. 1987.
- [4] A. Axelrod, M. Kisiuk, and J. Maoz, "Broadband microstrip-fed slot radiator," *Microwave J.*, pp. 81-94, June 1989.
- [5] Constantine A. Balanis, *Antenna theory*, John Wiley & Sons, 1997.
- [6] K. Chang, *Microwave Ring Circuits and Antennas*, Wiley, New York, pp. 252-255, 1996.