

비 동심 링 구조 광대역 마이크로스트립 안테나 설계

A Design of Wideband Eccentric Annular Ring Microstrip Antenna

설동범 · 유영철 · 윤현보

Dong-Beam Seol · Yung-Chull Yoo · Hyun-Bo Yoon

요 약

본 논문에서는 원형 패치 내부에 비 동심으로 원형 슬롯을 내고, 동조 스테이블를 두어 원형 패치 안테나의 크기와 협대역 특성이 개선되는 비 동심 링 안테나를 제안하였다. 비 동심 링 구조 마이크로스트립 안테나는 FDTD 방법을 이용하여 해석하였고, 해석치는 측정치와 잘 일치함을 알 수 있었다. 측정 결과 원형 패치 안테나와 비교하여 안테나의 크기는 12.2 %, 대역폭은 4.8 % 향상되었다.

Abstract

This paper proposed an eccentric annular ring microstrip antenna which has an asymmetric slot and a tuning stub for improving bandwidth and size of the circular microstrip patch antenna. The field characteristics of the eccentric annular ring microstrip antenna have been calculated by using the method of FDTD (finite difference time domain). The calculated results showed good agreement with the measured results. As a result of measurement, the antenna size and the bandwidth has been improved to that of 12.2 % and 4.8 % respectively, comparing to circular microstrip patch antenna.

I. 서 론

현대사회가 정보화 사회로 발전하면서 다양하고 신속한 대용량의 정보 교환이 필요하게 되었고, 더 넓은 주파수 대역의 필요성이 대두되고 있다. 따라서 새로운 통신 시스템은 더 넓은 주파수 대역의 신호 수신이 가능한 안테나가 필요하다. 또한 현재 무선 장비의 개인화가 급속화 되면서 대량 생산이 용이하고 경량인 마이크로스트립 안테나에 대한 관심이 커지고 있다. 마이크로스트립 안테나는 가격이 싸고 부피가 작고, 경량이며 평면 배열이 용이하여 고속 이동체의 굴곡면에 부착하기 쉽다는 이점이 있는 반면, 대역폭이 좁고, 이득이 낮아 실제 적용에

는 많은 제한을 받는다. 특히 마이크로스트립 안테나의 가장 큰 단점인 협대역 특성을 개선하기 위해 많은 연구가 진행 중에 있고, 여러 가지 방법들이 제시되어 왔다^[1]. 이들 방법 중 유전상수가 작고 두꺼운 기판을 사용하거나^[2] 기생 결합된 소자를 이용해 대역폭을 개선하는 방법^[3] 등은 안테나의 크기가 커지는 문제점이 있다. 따라서 최근 안테나의 구조 자체를 변화시켜 대역폭을 넓히는 방법들이 제안되고 있다. 단일 방사소자로 비교적 넓은 광대역 특성을 갖는 마이크로스트립 슬롯 안테나도 구조를 변화시켜 보다 넓은 대역폭을 갖게 하는 연구가 진행되고 있다^[4].

본 논문에서는 기존의 원형 패치 안테나의 크기

동국대학교 전자공학과(Department of Electronics Engineering, Dongguk University)

· 논문 번호 : 20001024-122

· 수정완료일자 : 2001년 2월 2일

를 줄이기 위해 원형 패치 내부에 비 동심으로 원형 슬롯을 내었고, 이 안테나의 내부에 스테브를 두고 이 길이를 조절함으로써 급전기와 안테나의 정합을 이루어 광대역화 하는 방법을 제안하였다. 측정 결과 비 동심 링 구조 안테나는 원형 패치의 크기에 비해서 12.2 % 줄일 수 있었고, 대역폭은 4.8 % 향상되었다.

또한, 새로운 구조인 비 동심 링 구조 안테나를 해석하는데 있어서, 다른 해석 방법들보다 다양한 구조의 해석이 용이하고, 한번의 계산으로 넓은 주파수 대역의 특성을 알 수 있는 시간영역 유한차분법(Finite Difference Time Domain : FDTD)을 사용하였고^{[5]~[7]}, 측정값과 비교하였으며, 이를 통해 본 논문에서 적용한 FDTD 방법의 3 차원적 해석방법으로서의 타당성을 입증하였다.

II. 마이크로스트립 링 안테나의 광대역 설계

2-1 비 동심 링 구조 안테나 설계

링 구조 마이크로스트립 안테나를 설계하는데 있어서 최저차 모드(TM₁₁ mode)의 공진 주파수를 얻는데 있어 원주길이 1/2로 반 파장($\lambda_g / 2$)을 얻을 수 있기 때문에, 지름이 반 파장이 되어야 하는 원형 패치 마이크로스트립 안테나보다 더 작은 크기의 안테나로 설계할 수 있다^{[8],[9]}. 따라서 원형 패치 안테나의 물리적 크기와 대역폭을 개선시키기

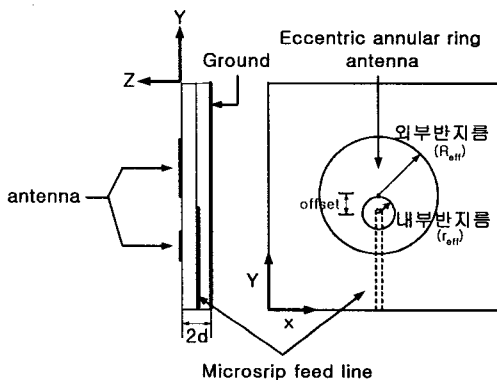


그림 1. 비 동심 링 구조 안테나의 구조도

Fig. 1. The geometry of eccentric annular ring antenna.

위해 본 논문에서는 새로운 구조인 비 동심 링 구조 안테나를 제안한다. 그림 1은 제안된 비 동심 링 구조 안테나의 구조도이다.

이 안테나를 설계하는데 있어서 공진 주파수를 결정하여야 하는데, n 차 모드의 공진 주파수는

$$f_n = \frac{nc}{\pi\sqrt{\epsilon_{eff}}(R_0 + R_i)} \quad (1)$$

로 표현된다^[10]. 여기서 ϵ_{eff} 는 실효 유전 상수이며 R_0 와 R_i 는 각각 링의 밖과 안의 반지름이며, c 는 자유 공간에서의 빛의 속도이다. 식 (1)을 통해, 공진 주파수는 링의 R_0 와 R_i 의 평균값에 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다.

외부 반지름은 식 (2.a)와 식 (2.b)에 의하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta C_o &= \ln\left(\frac{R_o}{2 \cdot h}\right) + 1.41 \cdot \epsilon_r \\ &+ 1.7726 + \frac{h}{R_o} \cdot (0.286 \cdot \epsilon_r + 1.65) \end{aligned} \quad (2.a)$$

$$R_{eff} = R_o \cdot \sqrt{1 - \frac{2 \cdot h}{\pi \cdot R_o \cdot \epsilon_r} \cdot \Delta C_o} \quad (2.b)$$

여기서 ΔC_o 는 fringing field에 의한 확장길이이며, R_{eff} 는 실효 외부 반지름이다.

내부 반지름은 식 (3.a)와 식 (3.b)에 의하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \Delta C_i &= \ln\left(\frac{R_i}{2 \cdot h}\right) + 1.41 \cdot \epsilon_r \\ &+ 1.7726 + \frac{h}{R_i} \cdot (0.286 \cdot \epsilon_r + 1.65) \end{aligned} \quad (3.a)$$

$$r_{eff} = R_i \cdot \sqrt{1 - \frac{2 \cdot h}{\pi \cdot R_i \cdot \epsilon_r} \cdot \Delta C_i} \quad (3.b)$$

여기서 ΔC_i 는 fringing field에 의한 확장길이이며, r_{eff} 는 실효 내부 반지름이다^[11].

2-2 변형된 비 동심 링 구조 안테나의 광대역 설계

원형 패치의 크기를 줄이는 방법에는 원형 패치의 대각선 방향으로 홈을 내거나 패치에 슬롯을 만

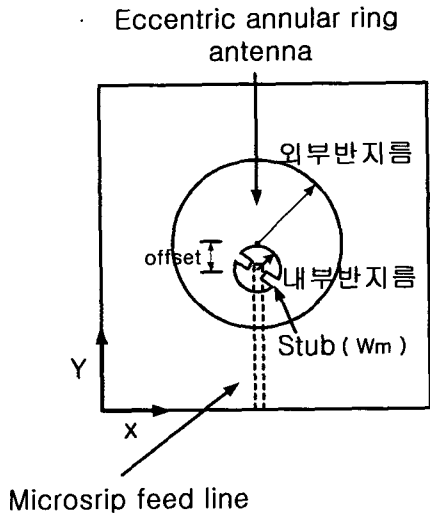


그림 2. 스텐브를 가지는 비 동심 링 구조 안테나의 구조도

Fig. 2. The geometry of eccentric annular ring antenna with stub.

드는 것이다. 하지만 이런 방식은 동축선으로 급전해야 하므로 능동소자와의 집적이 어렵고 제작상의 복잡성 그리고 복사소자로 원형 패치를 사용함에 따라 생기는 동작 대역폭이 협소하다는 문제점이 있다^{[11],[12]}.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 기존의 원형 패치 안테나에 비 동심으로 슬롯을 내어 크기를 작게 하였고, 비 동심 슬롯이 갖는 구조로 인해, 동일 모드(TM₁₁ mode) 내에서 넓은 주파수 대역의 임피던스 정합을 이룰 수 있다. 또한 비 동심 링 구조 안테나 내부에 stub를 가지도록 설계하고, 급전기로 EMC 결합을 이용하여 집적화가 가능하도록 하고, 급전기와 stub 사이의 거리, 급전기와 비 동심 링 구조 안테나의 중심간의 거리를 조절함으로써 광대역 특성을 얻을 수 있다. 그림 2에서 구형 스텐브(rectangular stub)의 길이는 마이크로스트립 선로의 가장자리 효과(fringing effect)에 의한 확장선로(extension length) Δl를 고려해 주어야 한다.

유전체의 두께가 d이고 유전 상수가 ε_r일 경우 확장 선로 Δl를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\Delta l = (0.412 d) \frac{\epsilon_e + 0.3}{\epsilon_e - 0.258} \frac{W_m/d + 0.264}{W_m/d + 0.8} \quad (4)$$

여기서,

$$\epsilon_e = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12d}{W_m} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

고, W_m은 마이크로스트립 선로의 폭이다.

또한 같은 조건에서 마이크로스트립 선로의 폭(W_m)을 임피던스에 의해 다음과 같이 구할 수 있다^[13].

$$\begin{aligned} \frac{W_m}{d} &= \left(\frac{\exp H'}{8} - \frac{1}{4 \exp H'} \right)^{-1} \\ H' &= \frac{Z_0 \sqrt{2(\epsilon_r + 1)}}{119.9} \\ &+ \frac{1}{2} \left(\frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 1} \right) \left(\ln \frac{\pi}{2} + \frac{1}{\epsilon_r} \ln \frac{4}{\pi} \right) \quad (5) \end{aligned}$$

위에서 설계한 링 구조 안테나의 내부 원의 위치와 반지름의 특성은 내부 원의 중심 좌표가 링 구조의 중심으로부터 가까울수록 주파수가 내려가고, 내부 원의 반지름이 커질수록 주파수가 내려가게 된다. 또한 내부 stub와 급전 선로의 offset은 공진 주파수 특성 그리고 대역폭에 중요한 설계 요소이며, 내부 stub는 공진 주파수의 결정에는 큰 영향을 미치지 않고 대역폭을 증가시키는 역할을 한다. 하지만 급전선로의 경우 선로가 길어질수록 주파수는 올라가게 된다.

III. 비 동심 링 구조 안테나의 시뮬레이션

FDTD 해석 방법에서 기본적인 단위 격자는 사각형 구조를 갖는다. 이 같은 이유 때문에 본 논문에서는 비 동심 링 구조를 FDTD 방법으로 해석하기 위해서 단위격자를 그림 3과 같은 근사적 방법을 이용하였다. 또한, 비 동심 링 구조 부분을 정확하게 시뮬레이션 하기 위하여 한 셀의 크기를 최대로 작게 하였다. 본 논문에서는 그림 3에서와 같이 링 구조의 해석을 위하여 계단근사(step approximation)를 사용하여 전체 구조를 해석하였다. 전체 계산영역은 180 Δx × 90 Δy × 50 Δz로 하였고 Δx = 0.26 mm,

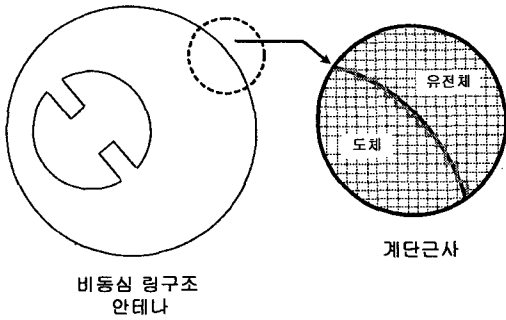


그림 3. 비 동심 링 구조의 해석을 위한 FDTD 단 위격자

Fig. 3. FDTD unit cell of eccentric annular ring structure.

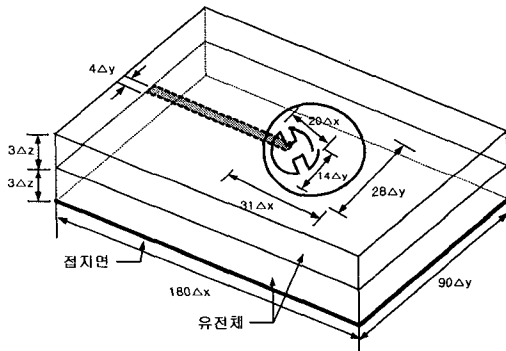


그림 4. 전자기 결합 비 동심 링 구조 안테나의 해석영역

Fig. 4. Calculation boundary of the electromagnetically coupled eccentric annular ring antenna.

$\Delta y = 0.282$ mm, $\Delta z = 0.167$ mm로 하였다.

전자기 결합 마이크로스트립 안테나를 FDTD로 해석하기 위해서 그림 4와 같이 해석영역을 설정하고, 해석 대상영역에서 입력 여기면, 도체 경계면, 유전체 경계면 및 흡수 경계조건을 적용하였다.

또한 최적의 안테나의 크기를 결정하기 위하여 내부 원과 링 구조의 중심간의 거리, 내부 원의 반지름, 내부 stub와 급전선로의 길이를 변화시켜 가면서 해석하여 보았다. 그림 5에서는 내부 원의 중심 좌표가 링 구조의 중심으로부터 가까울수록 주파수가 내려가는 것을 보여주고 있다.

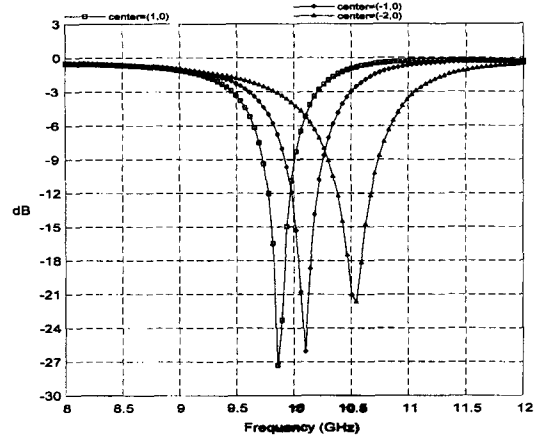


그림 5. 내부 원과 링의 중심간의 거리에 따른 안테나 특성

Fig. 5. Characteristics for difference inner circle and ring center.

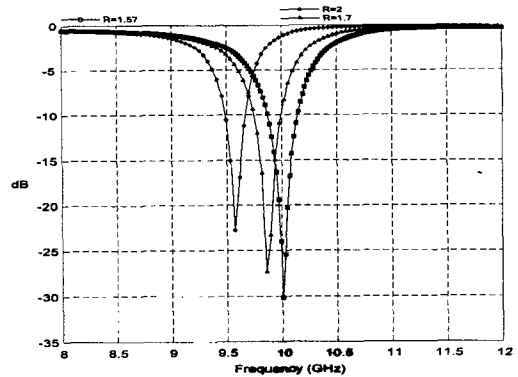


그림 6. 내부 원의 반지름에 따른 안테나 특성

Fig. 6. Characteristics for the difference inner radius.

그림 6에서는 링 구조에서 내부 원의 반지름이 커질수록 주파수가 내려가는 것을 확인할 수 있다. 또한 내부 stub와 급전선로간의 길이는 공진 주파수 특성과 대역폭에 중요한 설계요소이므로 그림 7과 그림 8에서는 내부 stub와 급전선로간의 길이를 변화시켜 가면서 주파수에 따른 반사손실을 해석하였다. 이를 통해 내부 stub는 공진 주파수에는 직접적으로 영향을 주지 못하고 있음을 알 수 있고, 단지 임피던스 매칭을 좌우하여 대역폭에 직접적인 영향

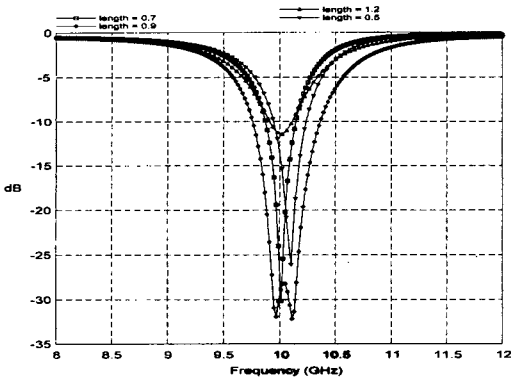


그림 7. 내부 스텐브의 길이 변화에 따른 안테나 특성

Fig. 7. Characteristics for the difference inner stubs.

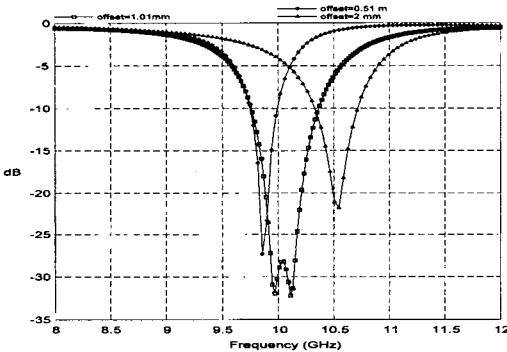


그림 8. 급 전선로의 offset에 의한 안테나 특성

Fig. 8. Characteristics for difference feedline offset.

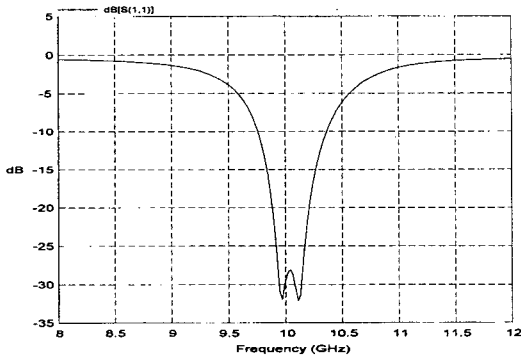


그림 9. 제안된 비 동심 링 구조 안테나의 반사손실
Fig. 9. Return loss of the proposed eccentric annular ring antenna.

을 주고 있음을 확인할 수 있다. 또한 급전선로의 길이가 길어짐에 따라 공진 주파수가 증가함을 알 수 있다.

내부 원과 링 구조의 중심간의 거리, 내부 원의 반지름, 내부 stub과 급전선로의 길이 등의 파라미터를 통해 최적의 파라미터 값을 결정하였고, 이 값을 통해 제안된 안테나의 크기를 결정하였다. 이를 시뮬레이션한 결과는 그림 9와 같다.

IV. 제작 및 측정

4-1 비 동심 링 구조 안테나의 제작 및 측정

4-1-1 제작

FDTD 방법에 의해 중심주파수 10 GHz로 설계한 안테나를 제작하기 위한 패턴도는 그림 10과 같으며, 이는 AutoCAD 2000를 이용하여 작성하였으며, 제작할 때의 오차를 줄이기 위하여 실제의 크기의 2 배로 하여 음화 필름으로 현상할 때 2 : 1로 축소하는 방법을 사용하였다. 이 음화 필름을 이용 $\epsilon_r = 3.5$, $h = 0.5mm$, 동박 두께 0.5oz(18mm)인 TLX-9 Teflon fiber glass를 이용하여 사진 감광법으로 안테나를 제작하였다.

4-1-2 측정

제작된 비 동심 링 구조 안테나의 측정은 HP 87-22A Vector Network Analyzer를 이용하여, 반사손실, 입력 임피던스 및 VSWR을 측정하였다. 그림 11은 비 동심 링 구조 안테나와 비교하기 위해 제작된 공진 주파수가 10 GHz인 원형 패치 안테나의 반



(a) 방사체
(a) Radiator

(b) 급전선로
(b) Feedline

그림 10. 비 동심 링 구조 안테나의 음화필름
Fig. 10. The negative film of the eccentric annular ring antenna.

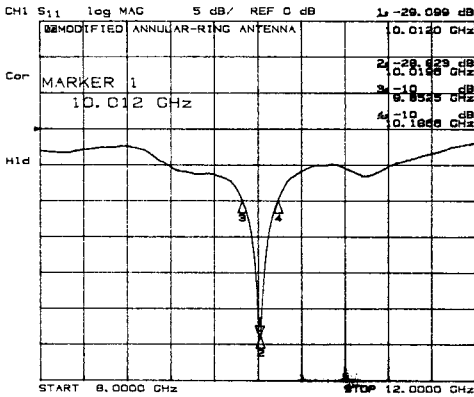


그림 11. 원형 패치 안테나의 반사손실
Fig. 11. Return loss of circular patch antenna.

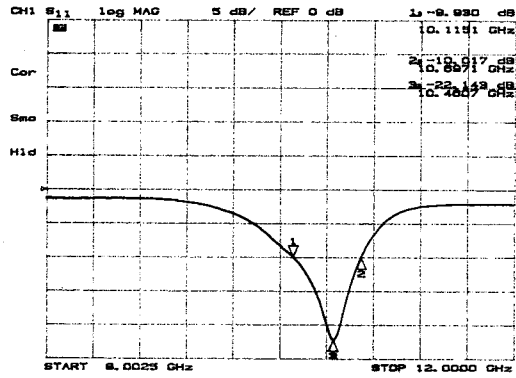


그림 13. 내부 스텐브가 없는 비 동심 링 구조 안테나의 반사손실
Fig. 13. Return loss of eccentric annular ring antenna without inner stub.

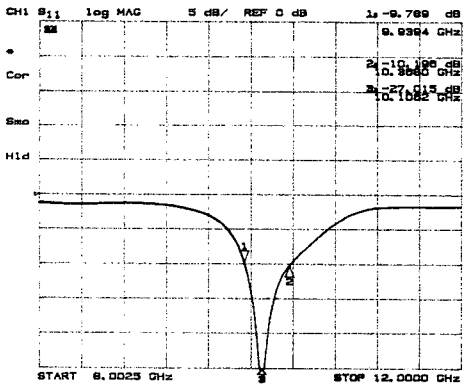


그림 12. 동심 링 구조 안테나의 반사손실
Fig. 12. Return loss of annular ring antenna.

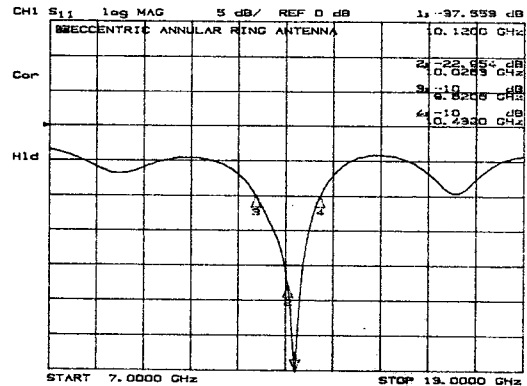


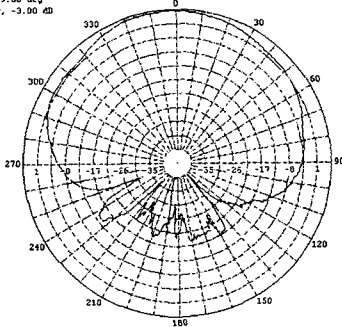
그림 14. 비 동심 링 구조 안테나의 반사손실
Fig. 14. Return loss of eccentric annular ring antenna.

사손실이며, 측정결과 원형 패치 안테나는 공진 주파수가 약 10 GHz, 대역폭은 -10 dB를 기준으로 334 MHz, 반사손실은 -29.099 dB를 보였다. 그림 12는 동심 링 구조 안테나이며 공진 주파수는 약 10 GHz, 대역폭은 -10 dB를 기준으로 430 MHz, 반사손실은 -27.015 dB, 그림 13은 스텐브가 없는 상태의 비 동심 링 구조 안테나의 반사손실이며 공진 주파수는 약 10 GHz, 대역폭은 -10 dB를 기준으로 580 MHz, 반사손실은 -22.143 dB 이며 그림 14는 제안된 비 동심 링 구조 안테나의 반사손실을 측정 한 결과이며, 공진 주파수는 약 10 GHz, 대역폭은

-10 dB를 기준으로 811.4 MHz, 반사손실은 -37.254 dB로 원형 패치 안테나보다 대역폭이 477 MHz 향상되었고 안테나의 크기는 12.2 % 줄일 수 있었다. 이는 또한 기존의 동심 안테나보다는 381 MHz, 내부 스텐브가 없는 비 동심 안테나보다는 231 MHz 의 넓은 대역폭을 얻을 수 있음을 확인하였다.

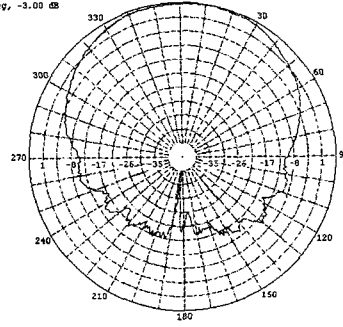
비 동심 링 구조 안테나의 방사패턴은 무반사실 (anechoic chamber)에서 E, H 면 복사패턴을 측정하였다. 그림 15는 E-면, H-면 패턴이고, 측정 결과 각각 5.1 dBi, 4.87 dBi의 이득을 얻을 수 있었다.

Beam Peak = 5.11 dB, 9.00 deg
Beam Width = 61.84 deg, -3.00 dB



E-plane

Beam Peak = 4.87 dB, -2.00 deg
Beam Width = 79.45 deg, -3.00 dB



H-plane

그림 15. 비 동심 링 구조 안테나의 E, H-면 복사패턴

Fig. 15. E, H-plane radiation pattern of eccentric annular ring antenna.

V. 결 론

본 논문에서는 크기가 작고, 광대역 특성을 갖는 공진 주파수가 10 GHz인 EMC 급전 마이크로스트립 패치 안테나를 구현하였다. 원형 패치 안테나의 크기를 줄이기 위해 원형 패치에 비 동심으로 슬롯을 갖도록 하여 기존의 링 구조와는 다른 비 동심 링 구조 안테나를 제안하였고, 이 안테나의 내부에 슬롯에 동조 스테브를 설치하고 이를 조절함으로써 급전기와 안테나의 정합을 이루어 광대역 특성을 갖도록 하였다. 또한 이 구조를 해석하는데 있어서 FDTD(Finite Difference Time Domain) 방법을 사용하였고 측정치와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

측정결과 비 동심 링 구조 안테나는 원형 패치 안테나의 크기에 비해서 12.2 % 줄일 수 있었고, 대역 폭은 4.8 % 향상되었다.

참 고 문 헌

[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 antenna," *IEEE Trans. Antenna 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] Hai Fong Lee and Wei Chen, *Advanced in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, Inc., 1997.
[5] D. H. Choi and W. J. R. Hoefler, "The Finite-Difference Time-Domain Method and its Application to Eigenvalue Problems," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-34, no. 12, pp. 1464-1470, Dec., 1986.
[6] D. M. Sheen, S. M. Ali, M. D. Abouzahra and J. A. Kong, "Application of the Three-Dimensional Finite Difference Time Domain Method to the Analysis of Planar Microstrip Circuits," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-38, no. 7, pp. 849-857, Jul., 1990.
[7] K. S. Yee, "Numerical Solution of Initial Boundary Value Problems Involving Maxwell's Equation in Isotropic Media," *IEEE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. AP-14, pp.302-307, May, 1966.
[8] W. C. Chew, "A broadband annular ring microstrip antenna," *IEEE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. AP-30, pp. 918-922, Sept.,

1982.

- [9] K. Chang, *Microwave Ring Circuits and Antennas*, Wiley, New York, pp. 252-255, 1996.
- [10] K. D. Stephan, N. Camilleri, and T. Itoh, "A quasi-optical polarization-duplexed balanced mixer for millimeter wave application," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-17, pp. 164-170, Feb., 1983.
- [11] Javier Gomez-Tagle and Christos G. Christodoulou, "Extended cavity model analysis of stacked microstrip ring antennas," *IEEE Trans. Antenna and Propagat.*, vol. AP-45, pp. 1626-1634, Nov., 1997.
- [12] I. J. Bahl and P. Bhartia, *Microstrip Antenna*, Artech House, 1982.
- [13] Terry Edward, *Foundation for microstrip circuit design*, John Wiley & Sons, 2nd edition, 1992.

설 동 범

1999년: 동국대학교 전자공학과(공학사)
1999년~현재: 동국대학교 전자공학과 석사과정

윤 현 보

1979년~현재: 동국대학교 전자공학과 교수

유 영 철

1987년: 동국대학교 전자공학과(공학사)
1992년: 동국대학교 전자공학과(공학석사)
1992년~현재: 동국대학교 전자공학과 박사과정
1992년~현재: 에이스테크놀로지 근무(과장)