

A Wide-band Multi-layer Antenna Design using Double Resonance

이국주* · 장미선* · 이정언** · 한명우** · 김문일†
 (Kook Joo Lee · Mei Shan Zhang · Jung Aun Lee · Myeong Woo Han · Moonil Kim)

Abstract - In this paper, bandwidth enhanced design of dielectric resonator antenna fabricated in multi-layer substrate is introduced. The proposed dielectric resonator antenna is operating with fundamental TE₁₀₁ mode and higher-order TM₁₁₁ mode. Each resonance frequency is dependent on resonator dimensions. As increasing the height of radiating aperture, the higher-order TM₁₁₁ mode resonance frequency approach the fundamental TE₁₀₁ mode resonance frequency and the antenna bandwidth increase by double resonance. Three different aperture height size antennas that operated at 7GHz are fabricated in FR4 multi-layer substrate. Measured 10 dB matching bandwidth is 8 percent for single resonance antenna and 18 percent for double resonance antenna.

Key Words : Dielectric resonator antenna, Multi-layer substrate, Double resonance, Wide bandwidth

1. 서론

밀리미터파 대역의 고주파는 넓은 주파수 대역폭을 활용 할 대용량 데이터 전송이 가능한 이점을 가지고 있어서 차세대 근거리 무선통신에서의 활용가치가 높다. 밀리미터파 주파수 대역을 사용한 송수신용 IC 칩의 성공적인 연구 결과가 발표되고 있지만 [1], CMOS 칩 내부에서 안테나를 구현한 온-칩 안테나는 5 퍼센트 내외의 낮은 효율로 인해 단일 칩 형태의 송수신기 제품에는 적용이 어려운 현실이다 [2]. 최근 LTCC와 같은 적층 기판 패키지 기술의 발달은 밀리미터파 대역의 송수신기를 단일 패키지 형태로 제품 개발이 가능하게 해주며, 적층 기판 내부에 제작된 안테나와 IC 칩을 결합한 송수신기가 시도되고 있다. LTCC 공정을 사용한 안테나에서는 주로 평면형태의 간단한 구조를 갖는 패치 안테나가 사용되고 있지만, 패치 안테나는 낮은 효율과 좁은 주파수 대역폭의 단점이 있으며, 대역폭 향상을 위해서 다중 공진을 사용한 패치가 사용된다 [3]. 본 논문에서는 적층 기판 환경에서 유전체 공진기 안테나를 설계했으며, 간단한 육면체 모델을 사용해 유전체 공진기 안테나의 모드와 동작 주파수를 분석했다. 유전체 공진기 안테나는 기본 모드인 TE₁₀₁ 과 고차 모드인 TM₁₁₁ 모드로 동작하며, 방사 개구면의 높이를 증가시켜 두 공진 모드가 근접해 이중 공진으로 동작하는 광대역 안테나 설계가 가능하다.

2. 유전체 공진기 안테나 모드 분석

일반적인 유전체 공진기 안테나는 급전용 회로 기판과는 별도로 제작된 직육면체 또는 원통형의 개별 공진 구조를 사용하지만 [4], 제안하는 유전체 공진기 안테나는 그림 1과 같이 적층 기판 내부에서 유전체 공진기 안테나를 삽입해 단일 공정으로 제작 가능한 구조를 갖는다. 기판 최하층은 금속 접지면으로 구성되며, 적층 기판 내부에 수직으로 금속 비아를 추가한다. 일정한 간격의 금속 비아는 금속면과 유사하게 동작해 직육면체 공진기를 구성한다. 최상층에는 안테나 급전을 위한 CPW 라인과 방사를 위한 개구면이 존재한다. 기판 유전율과 공기 경계로 구성된 개구면은 방사 손실을 포함한 자벽과 유사하게 동작하므로 [4], 유전체 공진기 안테나는 다섯 개의 금속 면과 한 개의 자벽으로 구성된 간단한 모델을 사용해 내부 전개 분포 및 모드 분석이 가능하다. 주어진 경계면 조건은 전체 면이 금속으로 둘러싸인 육면체 공진기에서 z축 방향으로 대칭인 구조만 생성 가능하므로, 기본 모드는 TE₁₀₁ 모드이다. TE₁₀₁ 모드의 공진 주파수는 식 (1)과 같이 개구면 폭 a와 전체 기판 두께 c에 의해 결정되며, 개구면 높이 b에는 영향을 받지 않는다.

$$f_{TE101} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{2c}\right)^2} \quad (1)$$

고차 모드 중 가장 낮은 주파수를 갖는 모드는 TM₁₁₁ 모드이며, TE₁₀₁ 모드와 달리 개구면 높이 b도 공진 주파수를 결정하는 요소가 된다.

$$f_{TM111} = \frac{c}{2\pi\sqrt{\epsilon_r}} \sqrt{\left(\frac{\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{b}\right)^2 + \left(\frac{\pi}{2c}\right)^2} \quad (2)$$

* 비회원 : 고려대학교 전기전자전파 공학부
 ** 정회원 : 삼성전기 주식회사 중앙연구소 UMS Lab
 † 교신저자, 정회원 : 고려대학교 전기전자전파공학부 교수
 E-mail : mkim@korea.ac.kr
 접수일자 : 2010년 12월 16일
 최종완료 : 2011년 1월 24일

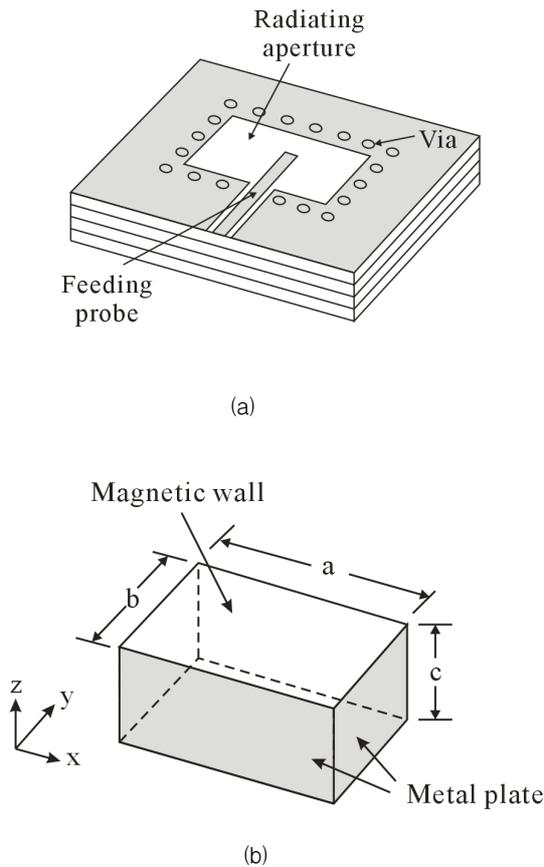


그림 1 적층 기판 내부에 제작된 유전체 공진기 안테나의 기본 구조 (a)와 이론 분석용 모델 및 설계 파라미터 (b)

Fig. 1 Dielectric resonator antenna that fabricated in multi-layer substrate (a) and simple resonator model for theoretical analysis (b)

3. 이중공진 공진기 안테나 측정

유전체 공진기 안테나의 모드 분석 결과를 사용해 7 GHz 주파수 대역에서 이중공진으로 동작하는 유전체 공진기 안테나를 제작했다. 안테나는 유전율 4.4, 유전손실 0.02인 FR4 기판을 4 개층 적층한 구조를 사용했다. 개별 기판의 두께는 1.6 mm이고 각 층간의 금속 두께를 합친 전체 기판 두께는 6.8 mm이다. 주어진 조건에서 TE101 모드가 7 GHz에서 공진하기 위한 개구면 폭 a 는 16 mm 이다. 개구면 높이 b 변화에 의한 이중공진 현상을 확인하기 위해서 다른 b 값을 갖는 3종류의 샘플 안테나를 제작했으며, 일반적인 도파관의 폭과 높이 비율인 2를 만족시키는 8 mm 높이를 표준 안테나로 선정했다. 표준 크기 공진기 안테나의 두 번째 공진인 TM111 모드는 그림 3과 같이 11 GHz에서 공진하며, 공진기 폭을 증가 시킬 경우 기본 공진 모드인 TE101 모드의 공진과 고차모드인 TM111 모드의 공진 주파수가 근접하게 된다. 이중공진에 의한 대역폭 증가 현상을 확인하기 위해 나머지 두 개의 샘플 안테나는 14 mm와 16 mm

의 개구면 높이를 사용했다. 유전체 공진기 안테나 급전을 위해 최상층면에 구성된 CPW 전송선을 사용했다. 유전체 공진기 안테나는 CPW 전송선의 연장선으로 구성된 프로브를 통해 급전되며, 안테나의 매칭을 위해서 각 공진기 크기에 따라서 프로브의 길이를 조절했다. CPW 전송선은 반대편 끝단은 SMA 커넥터를 통해 RF 케이블과 연결되며, VNA를 사용해 로 반사계수를 측정했다. 3 종류의 유전체 공진기 안테나 측정 결과 개구면 높이가 8 mm인 표준 크기 공진기 안테나는 7.1 GHz에서 개별 공진으로 동작함을 확인할 수 있다. 10 dB 매칭점을 기준으로 한 개별 공진 안테나는 동작 주파수는 6.8 GHz에서 7.4 GHz로 8 퍼센트의 대역폭을 갖는다. 개구면 높이를 14 mm로 증가한 경우 TM111 모드의 공진 주파수가 8.6 GHz로 낮아지지만, 여전히 개별 공진으로 동작하는 것을 확인할 수 있다. 개구면 높이를 추가적으로 16 mm까지 증가 시킬 경우 TM111 모드의 공진 주파수는 8.2 GHz로 기본 모드인 TE101 모드와 이중공진으로 동작한다. 이중공진으로 동작하는 안테나의 10 dB 매칭 주파수는 6.8 GHz에서 8.5 GHz로 18 퍼센트의 대역폭으로 표준 안테나와 비교해 4배의 대역폭 증가를 보인다.

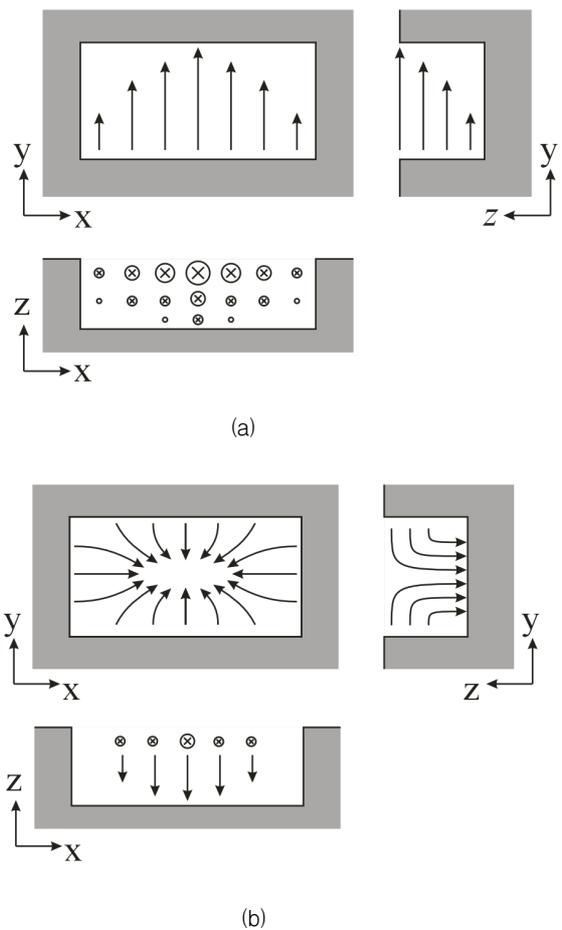


그림 2 기본 공진인 TE101 모드 (a)와 고차 공진 TM111 모드 (b)에 대한 공진기의 전계 분포

Fig. 2 E-field distribution of fundamental TE101 mode (a) and higher-order TM111 mode (b)

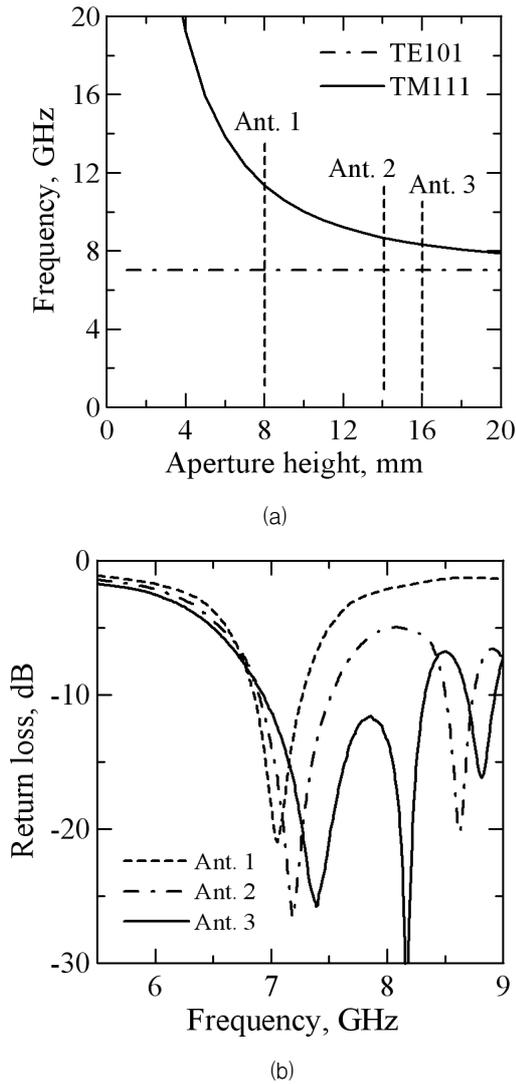


그림 3 개구면 높이 변화에 의한 이론적인 공진 주파수 변동 (a)과 3종류 샘플 안테나 측정 결과 (b)
 Fig. 3 Theoretical resonance frequency of dielectric resonator as aperture height variation (a) and measured return loss of three antennas samples (b)

이중 공진을 사용한 유전체 공진기 안테나에서 매칭 대역폭 증가를 확인 할 수 있었으나, 일반적으로 이중 공진은 안테나의 방사 패턴을 변형시키는 단점이 있다. 이중 공진에 의한 방사 패턴 변형 및 안테나 효율을 확인하기 위해서 안테나의 방사 패턴을 측정했다. 방사패턴 측정 결과 기본 공진 모드인 7.4 GHz에서는 E-plane과 H-plane 모두 정상적인 Broad-side 방사패턴을 확인 할 수 있었으며, 최대 안테나 이득은 4.4 dBi, 방사 효율은 81 퍼센트였다. 두 번째 공진 모드인 8.1 GHz에서의 방사패턴은 E-plane에서 약간의 변형이 발생해 15도 방향에서 최대 이득 4.1 dBi를 나타냈다. 이와 같은 방사패턴 변형은 TE101 모드의 개구면 전계 분포는 정상적인 Broad-side 빔 패턴을 발생시키는 반면, TM111 모드는 정면 방향에서 Null 패턴을 갖는 개구면 전계 분포를 가지기 때문이다. 안테나가 이중 공진으로 동작하

기 때문에 두 번째 공진 주파수인 8.2 GHz에서 TM111 모드와 TE101 모드가 혼합되어 있다. 방사패턴은 두 개의 혼합된 개구면 전계 분포에 의해 결정되며, E-plane에서 방사패턴을 약간 변형시키고 H-plane에서는 정상적인 Broad-side 패턴을 갖는다. 이와 같은 약간의 방사패턴 변형은 본 안테나의 응용인 모바일 통신용 송수신기에서는 적용 가능한 수준이다. 8.1 GHz에서의 효율은 71 퍼센트로 첫 번째 공진보다 효율이 감소한 것을 알 수 있다. 이는 TM111 모드가 TE101 모드 공진과 비교해 상대적으로 방사 효율이 낮으며, cross-polarization이 증가하기 때문이다.

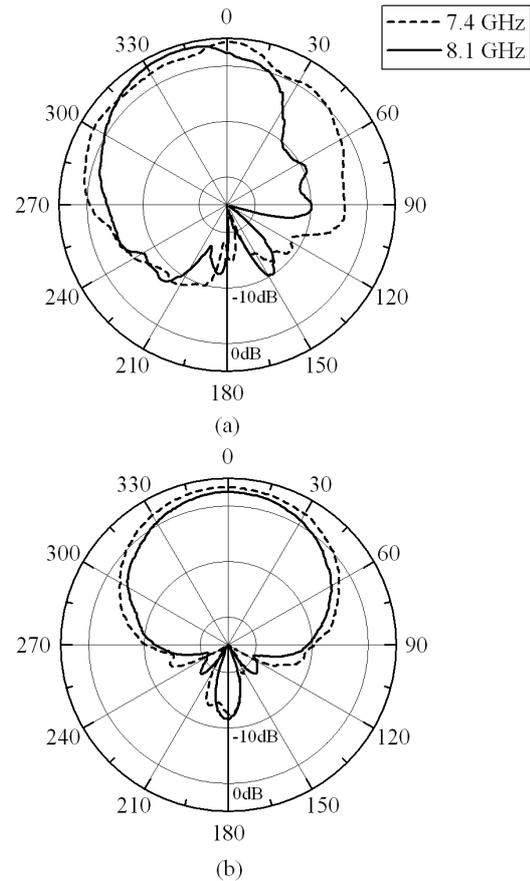


그림 4 이중공진 안테나의 각 공진 주파수에서 E-plane (a) 과 H-plane (b) 방사 패턴 측정 결과
 Fig. 4 E-Plane (a) and H-Plane (b) radiation patten measurement results at each resonance frequency of double resonance antenna

4. 결 론

적층 기판 환경용 유전체 공진기 안테나의 모드 분석을 통해 이중공진 안테나를 7 GHz 주파수대역에서 제작했다. 제안하는 안테나는 표준 도파관 크기의 유전체 공진기 안테나에서 개구면 높이 증가를 통해 이중공진을 얻으며, 측정결과 단일 공진 안테나와 비교해 대역폭이 8 퍼센트에서 18 퍼센트로 증가함을 확인했다. 제안하는 안테나는 LTCC 공정과 같은 적층 기판 환경에서 적용 가능하며, 60 GHz 대역

근거리 무선통신용 안테나와 같이 10 퍼센트 이상의 광대역 주파수 특성이 요구되는 안테나에 적용 가능하다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청의 “2010년도 산학 동공기술 개발 지원사업”의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

[1] K. C. Eun, J. J. Lee, D. Y. Jung, S. J. Cho, H. Y. Kim, I. S. Song, Y. C. Lee, W. I. Change, I. Y. Oh, K. S. Yoon, S. H. Kang, and C. S. Park, “60 GHz SoC/SoP radio system for high data-rate transmission,” *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol.52, no.3, pp.667-673, March 2010.

[2] Y. P. Zhang, M. Sun, and L. H. Guo, “On-chip antennas for 60-GHz radio in silicon technology,” *IEEE Trans. Electron Devices*, vol.52, no.7, pp.1664-1668, July 2005.

[3] R. L. Li, G. DeJean, M. Maeng, K. Lim, S. Pinel, M. M. Tentzeris, and J. Laskar, “Design of compact stacked-patch antennas in LTCC multilayer packaging modules for wireless applications,” *IEEE Trans. Adv. Packag.*, vol.27, no.4, pp.581-589, Nov. 2004.

[4] R. K. Mongia, and A. Ittipiboon, “Theoretical and experimental investigations on rectangular dielectric resonator antennas,” *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 45, no. 9, pp.1348-1356, Sept. 1997.

저 자 소 개



이 국 주 (李國柱)

2005년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 졸업 (공학사)
 2008년 : 고려대학교 대학원 전파공학과 졸업 (공학석사)
 2008년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (박사과정)



장 미 선 (張美善)

2008년 : 연변과학기술대학교 통신학과 졸업 (공학사)
 2008년 3월~현재 : 고려대학교 대학원 전자전기공학과 (석사과정)



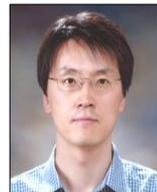
이 정 언 (李政彦)

2000년 : 고려대학교 전기전자전파공학과 졸업 (공학사)
 2003년 : 고려대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2005년 : 일본 동경공업대학(Tokyo Institute of Technology) 대학원 전기전자공학과 졸업(공학석사)
 2008년 : 일본 동경공업대학(Tokyo Institute of Technology) 대학원 전기전자공학과 졸업(공학박사)
 2008년 10월 ~ 현재: 삼성전기 입사, 기술총괄 소속 책임연구원



한 명 우 (韓明愚)

2003년 : 국립한밭대학교 정보통신공학 졸업(공학사)
 2005년 : 국립한밭대학교 정보통신공학 졸업(공학석사)
 2007년 11월~현재 : 삼성전기 중앙연구소 UMS랩 mmWave Ant/PKG개발



김 문 일 (金紋逸)

1987년 : 일리노이 공대 전기공학과 졸업 (공학사)
 1992년 : 캘리포니아 공대 대학원 전기공학과 졸업 (공학박사)
 2000년 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자전파공학과 교수