

CSRR 구조 이중대역 마이크로스트립 패치안테나의 최적 설계

김규철

Optimum Design of a Dual-Band Microstrip Patch Antenna using the Square CSRR Construction

Gue-Chol Kim

요 약

본 논문에서는 음의 투자율(negative values permeability)을 가지는 CSRR(Complementary split ring resonator)를 안테나의 그라운드면에 적용하여 이중대역에서 사용가능한 마이크로스트립 패치안테나를 최적 설계하였다. SRR의 음각형태인 CSRR을 안테나의 급전선 뒷면에 배치하여 대역저지특성을 만들고 이를 이용하여 위성통신에 사용하는 L-band의 두주파수 $f_1(1.53\text{GHz})$, $f_2(1.63\text{GHz})$ 에서 사용가능한 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 마이크로스트립라인을 이용하여 배열이 가능하고 기존의 패치안테나에 비해 소형으로 제작이 가능하다. 제작된 안테나는 f_1 과 f_2 에서 각각 -12.5dB , -14.5dB 의 입력반사계수와 2.0dB , -0.8dB 의 이득을 얻을 수 있어 이중대역에서 충분한 성능을 나타내는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, dual band patch antenna was designed using a CSRR structure with negative values permeability which inserted into the ground plane. We propose an antenna that can be used in dual band $f_1(1.53\text{GHz})$ and $f_2(1.63\text{GHz})$ for satellite communications by using the CSRR placed on the backside of feeding line, which is a negative shape of SRR. The proposed antenna can be arrayed using microstrip line and can be made smaller than conventional patch antenna. The fabricated antenna has the input reflection coefficient of -12.5dB and -14.5dB at f_1 and f_2 , and the gain of 2dB and -0.8dB , respectively, and it was confirmed that the performance was sufficient in the dual-band.

키워드

Antenna, Microstrip Line, Resonator, Dual-Band
안테나, 마이크로스트립 라인, 공진기, 이중 대역

1. 서론

최근 다양한 무선 통신 서비스가 제공됨에 따라 기존의 협대역 단일모드특성을 지녔던 안테나는 다중대

역, 다중모드, 소형화와 같이 보다 개선된 특성이 요구되어 지고 있다. 안테나를 소형화하는 방법은 비유전율을 높이거나 슬롯을 이용하는 방법 등 여러 가지가 있지만 최근 메타구조를 이용한 안테나의 소형화

* 교신저자 : 목포해양대학교 해양메카트로닉스학부
• 접수일 : 2016. 11. 15
• 수정완료일 : 2017. 02. 13
• 게재확정일 : 2017. 02. 24

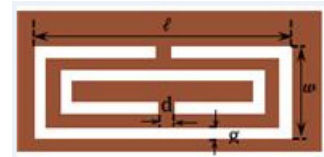
• Received : Nov. 15, 2016, Revised : Feb. 13, 2017, Accepted : Feb. 24, 2017
• Corresponding Author : Gue-Chol Kim
Dept. of Marine mechatronics, Mokp National Maritime University,
Email : gckim@mmu.ac.kr

에 대한 연구가 활발해 지고 있다. 메타물질 구조는 음의 유전율과 음의 투자율을 갖는 구조로 메타구조를 이용하면 안테나의 물리적인 크기를 줄일 수 있다 [1-3]. 또한 메타물질구조의 중요한 특징 가운데 한 가지는 이중대역 특성을 갖는다는 것이다. 이중대역의 특성을 얻어내는데 있어서 메타구조의 응용은 매우 유익한 장점을 나타내며 이러한 연구가 국내외에 몇 차례 발표가 되었으며, 최근에 메타물질 구조 중에 SRR(Split Ring Resonator)과 CSRR(Complementary Split Ring Resonator)를 회로에 적용하고자 하는 시도가 활발히 이루어지고 있다[4-8]. CSRR은 금속 위에 식각(etching)된 두 개의 링으로 구성되어 있으며 높은 Q값을 갖는 대역저지 여파기 (band- elimination filter) 로 링의 크기와 선로의 폭 및 간격을 조정하여 공진주파수를 가변 할 수 있다. Dong은 패치의 앞면에 CSRR을 식각하여 이중대역 안테나를 구현하였으며 안테나를 소형화하였다. 또한 이 안테나는 급전점의 위치를 바꾸는 것만으로 삼중 대역에서 공진을 이룰 수 있다[9]. 하지만 이 안테나는 구조가 복잡하고 프로브급전을 이용하기 때문에 고이득을 얻기 위해 패치안테나를 어레이시키는 것이 복잡하다. 본 논문에서는 음의 투자율(negative values permeability)을 가지는 CSRR 고유의 특성을 이용하여 이중대역에서 사용할 수 있는 마이크로 스트립 패치안테나를 설계하였다. 제안한 안테나는 CSRR의 크기를 조절하여 공진주파수를 있으며 일반적인 마이크로스트립 라인을 이용하여 급전하였으므로 구조가 간단하고 배열이 용이하다. 제안한 안테나의 실효성은 시뮬레이션과 제작한 안테나의 특성을 비교하여 확인한다.

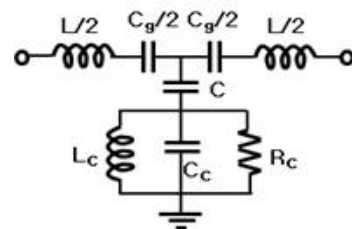
II. CSRR 구조 공진기

SRR은 대칭으로 이루어진 두 개의 금속링이 겹쳐져 있는 구조로 분포 인덕턴스 성분과 분포 캐패시턴스 성분에 의해 LC공진기로서 동작한다. 이 공진기는 전기적으로 소형이며, 높은 Q값을 갖는 특성을 보인다. 음각의 SRR인 CSRR 은 동판에 SRR과 동일한 치수와 모양으로 식각한 형태이며 SRR과 동일한 특성을 갖는다[3]. SRR과 CSRR은 특정 공진주파수에서

각각 강한 자기 커플링과 전기적 커플링을 만들며 유효 유전율이 음이 되는 현상이 발생하여 이에 따라 전파가 더 이상 진행하지 못하는 대역 저지현상이 발생한다.



(a) 사각 CSRR



(b) 등가회로

그림 1. 사각 CSRR 구조

Fig. 1 Construction of Rectangular CSRR (a) Rectangular CSRR, (b) equivalent Circuit

그림 1 (a)는 본 논문에서 설계한 직사각형 구조의 CSRR이며 (b)는 등가회로이다[9]. 여기서 공진주파수는 링의 가로 길이 l 와 갈라진 틈의 간격 d 를 조절하여 가변시킬 수 있으며 주로 바깥쪽 링의 지름에 의해 좌우된다. 특성은 원형 형태의 CSRR과 같으나 사각의 패치안테나에 적용이 용이하며, 링의 가로 길이 l , 간격 d 뿐 아니라 세로길이 w 를 조절하여 공진주파수가 결정되므로 시뮬레이션으로 구현 할 때 최적화가 보다 용이하게 이루어진다.

그림 2는 설계한 CSRR을 전송선로의 접지면에 식각하여 주파수에 따른 전송특성을 살펴보기 위한 시뮬레이션 구성이다. 그림 2-(b)에 보이는 것과 같이 대역저지특성을 보이게 되는데 이 저지특성은 사각링의 길이 l 과 폭 w 에 좌우되며 이 파라미터들은 동작주파수를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 그림 2-(b)는 CSRR의 길이 l 의 길이변화에 따른 공진주파수의 변화를 보여준다. 길이 l 을 0.2mm씩 변화시켜 실험한 결과 약 5MHz씩 공진주파수가 변화하였다. 결국

CSRR의 크기를 조절하여 원하는 주파수대역에서 공진을 얻어 낼 수 있음을 알 수 있다.

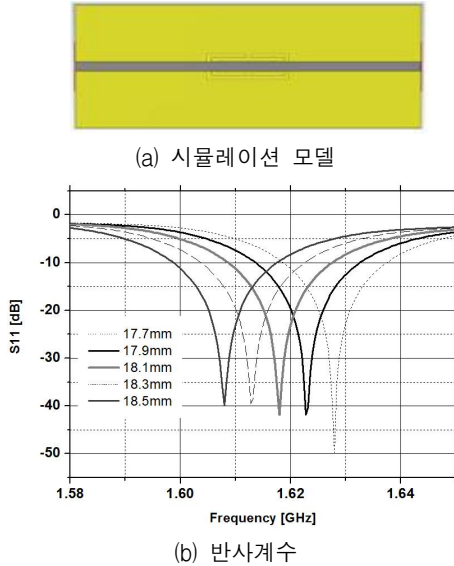


그림 2. CSRR의 전달특성
Fig. 2 Transmission characteristics of CSRR
(a) Simulation model (b) Reflection coefficient

III. CSRR 패치안테나 설계

사각의 CSRR을 일반적인 패치안테나의 급전선 뒷면에 식각하여 이중대역특성 얻는 안테나를 설계한다. 급전은 마이크로스트립 전송선로를 이용하여 급전하였다. 그림 3은 CSRR 패치안테나의 구조를 나타낸다.

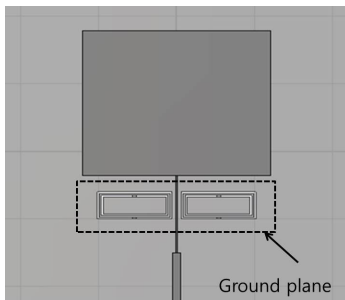


그림 3. CSRR 패치안테나의 구조
Fig. 3 Construction of CSRR patch antenna

CSRR의 배치는 안테나의 급전선의 뒷면의 접지면에 2개를 배치하였다. CSRR의 중심에서 패치중심사이의 거리는 시뮬레이션을 통하여 최적화 지점을 선정하였고 입력 임피던스 변화의 영향을 최소화 하도록 하였다. 그림4는 설계한 안테나를 모의실험한 결과이다.

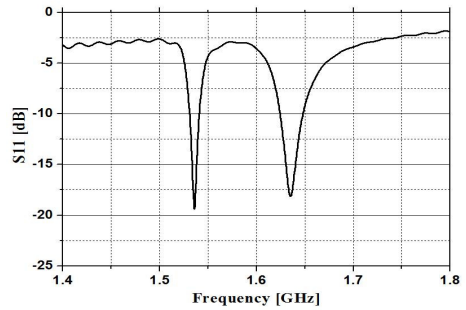


그림 4. 입력반사계수
Fig. 4 Input reflection coefficient

입력반사계수는 f_1 인 1.53 GHz에서 -19dB, f_2 인 주파수 1.63GHz에서 -17dB의 결과를 얻었으며 정재파비도 1.53GHz에서 1.24, 1.63GHz에서 1.28의 우수한 결과를 얻을 수 있었다. 여기서 f_1 의 공진주파수는 패치의 길이에 의해서 주로 결정되며 f_2 의 공진주파수는 CSRR의 전체 면적에 의해 결정된다.

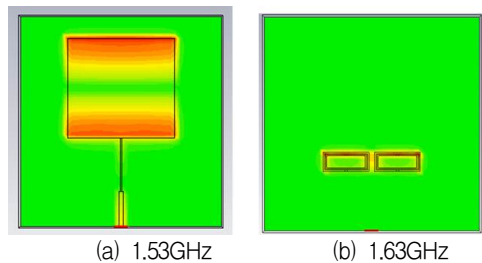


그림 5. 표면전류 분포
Fig. 5 Surface current distribution on the ground plane

그림5는 패치안테나의 접지면에서의 표면전류분포를 나타낸다. (a)는 1.53GHz의 표면전류분포를 나타낸다. 일반적인 패치안테나의 경우와 마찬가지로 패치의 위와 아랫부분에 전류가 집중되는 것을 확인할 수 있었다. (b)는 1.63GHz에서의 전류분포로 CSRR에 전류분포가 집중되는 것을 알 수 있다.

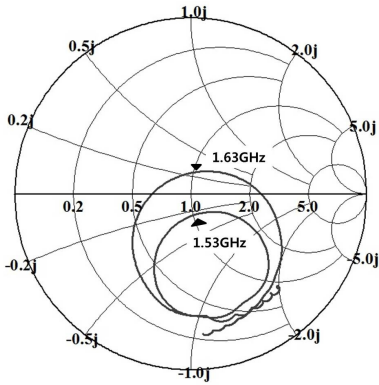


그림 6. 입력임피던스 특성
Fig. 6 Input impedance characteristics

이러한 결과로 두 개의 공진주파수가 서로 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있는데 이것은 CSRR이 급전선의 뒷면에 위치하므로 패치의 공진주파수에 끼치는 영향이 적기 때문이다. 따라서 기존의 이중대역 안테나보다 훨씬 간단하게 이중대역 안테나의 공진주파수를 결정할 수 있다는 장점이 있다.

그림6은 제안한 안테나의 입력임피던스 특성을 스미스차트에 나타낸 것이다. 동작주파수에 따라 임피던스가 변하는 것을 확인할 수 있고 f1 주파수와 f2주파수의 임피던스는 스미스차트의 중앙부근에 위치함으로써 이중대역에서 임피던스 매칭이 이루어졌음을 알 수 있다.

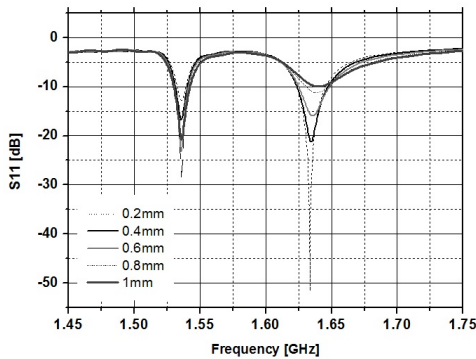


그림 7. 급전선라인의 폭변화
Fig. 7 Variation of feeding line width

그림7은 급전선라인의 폭 변화에 따른 입력반사계수(S11)를 시뮬레이션한 결과이다. f1과 f2 의 두개의 주파수를 모두 매칭할 수 없기 때문에 두 개의 주파수의 입력반사계수가 비슷해 질 때까지 급전선의 라인을 폭을 적절히 조절하였다. 폭을 0.5mm에서 1.9mm까지 가변시킨 결과 0.5mm인 경우 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 또한 안테나의 방사효율은 안테나의 성능을 나타내는 중요한 지표중의 하나이다. 안테나의 효율이 저하되면 그만큼 방사전력이 줄어들고 이득이 저하된다. 위성통신용 안테나의 경우 미약한 신호를 취급하기 때문에 효율을 높게 만드는 것이 유리하다. 안테나의 효율은 복사전력에 비례하므로 유전체 두께가 증가하는 것은 누설전류가 증가한다는 것을 의미하고 즉 복사전력이 증가한다는 의미이다. 따라서 안테나의 효율은 두께가 두꺼울수록 증가하게 된다. 그림8은 패치안테나의 유전체 두께에 따른 공진주파수의 변화를 나타낸다. 유전체의 두께가 두꺼워짐에 따라 공진주파수가 낮아지는 것을 확인할 수 있는데 이것은 유전체의 두께가 변화하면 패치안테나와 CSRR의 커플링이 달라지기 때문이다. 또한 다음의 식(1)과 같이 유전체의 두께는 대역폭에 영향을 준다.

$$B \propto \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r^2} \frac{W}{L} h \quad (1)$$

여기서 B는 대역폭이며, ϵ_r 은 비유전율, W는 패치안테나의 폭, L은 패치안테나의 길이, h는 유전체의 두께를 나타낸다.

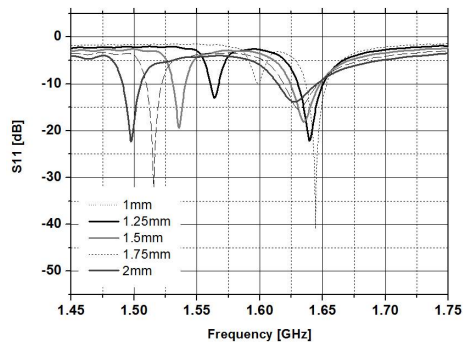


그림 8. 유전체 두께에 따른 공진주파수 변화
Fig. 8 Variation of resonant frequency vs dielectric layer thickness

IV. 제작 및 측정

패치안테나 구현 시 원하는 특성을 얻기 위해서는 적절한 기판을 선정하여야 한다. 본 논문에서는 유전율이 4.5 두께가 1.5mm인 FR-4를 사용하였다.

그림 9는 제작된 안테나를 보여주고 있다. 패치의 크기는 48×47mm, 이고 CSRR을 포함한 안테나전체의 크기는 90×90mm로 제작 되었다. 그림 10은 회로망 분석기 Anritsu MS2034를 이용하여 제작된 안테나의 입력반사계수를 측정한 결과이다. 패치안테나는 1.53GHz에서 약 -12.5dB의 결과를 얻을 수 있었으며 1.63GHz에서-14.5dB의 반사계수를 얻을 수 있었다. 시뮬레이션에 비해 약 -3dB높은 결과를 얻었으며 대역폭에서 차이가 있지만 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

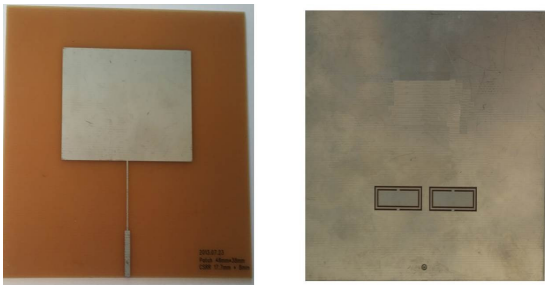


그림 9. 제작된 안테나
Fig. 9 Fabricated antenna

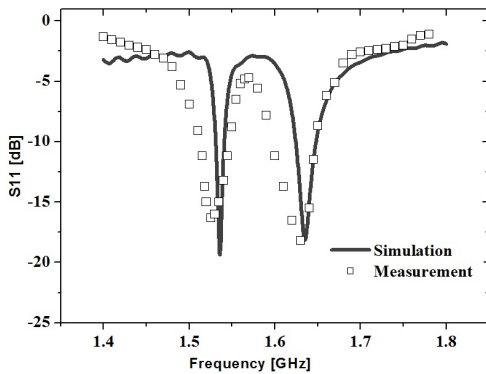
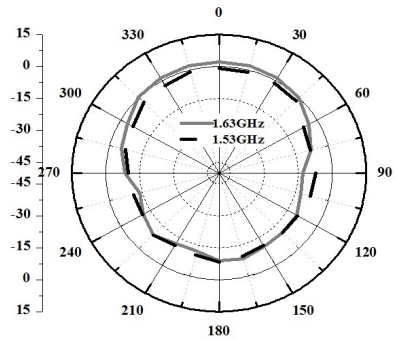
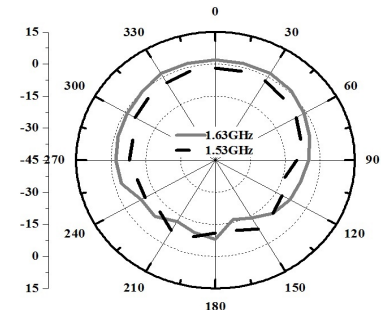


그림 10. 제작된 안테나의 입력반사계수
Fig. 10 Reflection coefficient of Fabricated antenna

그림 11은 전자파 무반사실에서 측정한 이중대역 안테나의 방사패턴을 나타낸다. 1.53GHz와 1.63GHz 모두 무지향성을 가지고 있으며 방사패턴도 f_1 , f_2 주파수 모두 유사한 형태임을 알 수 있다. 또한 1.53GHz에서는 -0.8dB, 1.63 GHz에서는 2.0dB의 이득을 얻었으며 효율은 1.53GHz에서는 29.3%, 1.63GHz에서는 37.3%의 측정결과를 얻어 충분한 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.



(a) X-Z plane($\Phi=0$)



(b) Y-Z plane($\Phi=90$)

그림 11. 제작된 안테나의 방사패턴
Fig. 11 Radiation pattern of fabricated antenna

V. 결론

본 논문에서는 CSRR구조를 패치안테나의 접지면에 삽입하여 이중대역에서 동작 할 수 있는 마이크로스트립 패치안테나를 제안하였다.

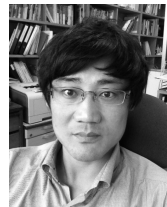
CSRR의 대역 간 저지특성을 이용하여 이중 대역안테나를 최적 설계하였으며 제안한 안테나를 측정한 결과 1.53GHz에서 약 -12.5dB의 반사계수와 -0.8dB의 이득을 얻었고 효율은 29.3%였다. 또한 1.63GHz에서 약 -14.5dB의 반사계수와 2dB의 이득을 얻었고 효율은 37.3%였다. 본 논문에서 제안한 방법은 제작 및 설계가 간단하여 안테나뿐 아니라 향후 다양한 고주파회로에 적용 될 것으로 기대된다.

References

- [1] A. Lai, C. Caloz, and T. Itoh, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials," *IEEE Microwave Mag.*, vol. 5, no. 3, Sept. 2004. pp.34-50
- [2] R. Wolkowski and A. Erentok, "Metamaterial-based efficient electrically small antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 54, no. 7, July 2006, pp. 2113-2130.
- [3] G. Kim, "Design of Voltage Controlled Oscillator for X-band Radar Using CSRR loaded microstrip line," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 9, Sept. 2013, pp. 1277-1283.
- [4] I. Lin, M. Devincintis, C. Caloz, and T. Itoh, "Arbitrary Dual-Band Component Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines," *IEEE Trans. Microwave Theory and Technique*, vol. 52, no. 4, Apr. 2004, pp. 1142-1149.
- [5] S. Mun and G. Kim, "Equivalent Parameter Modeling of Open Ring type DGS Resonator," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 10, Nov. 2014, pp. 1175-1180.
- [6] W. Cao, Y. Xiang, B. Zahng, A. Liu, T. Yu, and D. Guo, "A Low Cost Compact Patch Antenna With Beam Steering Based on CSRR-Loaded Ground," *IEEE Antenna Wireless Propagation Letters*, vol. 10, no. 1, 2011, pp. 1520-1523.
- [7] S. Mun, G. Kim, J. Yoon, and Y. Choi, "Equivalent Circuit Modeling Analysis of Square Split Ring Resonator with Defected Ground Structure," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 6, June 2015, pp. 653-658.
- [8] F. Falcone, T. Lopeetegi, J. Daena, R. Marques, F. Martin, and M. Sorolla, "Effective negative-epsilon stopband microstrip lines based on complementary split ring resonators," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 14, no. 14, June 2006, pp. 280-282.
- [9] Y. Dong, H. Toyao, and T. Itoh, "Design and Characterization of Miniaturized Patch Antennas Loaded With Complementary Split Ring Resonators," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 60, no. 2, Feb. 2012, pp. 772-785.

저자소개

김규철(Gue-Chol Kim)



2000년 2월: 목포해양대학교 해양전
자통신공학과(공학사)

2003년 8월: 목포해양대학교 해양전
자통신공학과(공학석사)

2007년 3월: 오사카대학 전자정보에
너지공학과(공학박사)

2006년 11월 ~ 2008년 2월: Matushita Electric
Works 중앙연구소 연구원

2008년 3월 ~ 현재: 목포해양대학교 해양메카트로
닉스학부 부교수

※ 관심분야 : 고주파 소자 모델링, 고주파회로설계
안테나설계