

CSLR을 갖는 인셋 급전 마이크로스트립 안테나에 관한 연구

홍재표* · 김병문**

A Study on Inset Fed Microstrip Antenna Loaded with Complementary Single Loop Resonator

Jae-Pyo Hong* · Byung-Mun Kim**

요 약

본 논문에서는 CSLR(Complementary Single Loop Resonator)을 이용한 인셋 급전 마이크로스트립 안테나의 특성에 대해 연구하였다. SLR(Single Loop Resonator) 단일 구조에서 시뮬레이션 셋업 과정을 통해 산란계수로부터 실효투자율을 계산하였으며, 실효투자율이 음의 값을 갖는 주파수에서 SLR 구조의 치수를 선택하였다. 그리고 인셋 급전된 마이크로스트립 안테나의 접지면에 SLR 구조의 쌍대 구조인 CSLR을 3×3 으로 배열하여 최적 안테나를 설계하였다. 설계한 안테나의 반사손실과 복사패턴을 구하였으며, 공진주파수 2.82 GHz에서 기존의 인셋 급전 안테나와 크기를 비교하면 면적 대비 약 56.8%가 감소하는 결과를 얻었다. 사용된 툴은 3차원 FEM 툴인 Ansoft사의 HFSS를 사용하였다.

ABSTRACT

In this paper, the characteristics of inset fed microstrip antenna loaded with CSLR(complementary single loop resonator) are studied. Effective permeability parameters of the SLR unit cell is retrieved from simulated scattering parameters, and structure parameters of the SLR unit cell are selected so that effective permeability is negative value at the operating frequency. The optimized inset fed microstrip antenna loaded with SLR for a 3×3 array in the ground plane of a conventional patch antenna is designed and simulation results of return loss and radiation pattern are shown. At resonant frequency 2.82 GHz, the overall dimension of the proposed antenna is reduced by approximately 56.8% compared to the conventional inset fed antenna. Simulation results are obtained by 3D FEM solver(Ansoft's HFSS).

키워드

SLR, CSLR, SRR, Inset Fed, Microstrip Antenna
SLR, CSLR, SRR, 인셋 급전, 마이크로스트립 안테나

1. 서 론

유전율과 투자율이 모두 음인 물질을 DNG 물질(Double NeGative material), 그리고 유전율이 음인

물질을 ENG 물질(Epsilon NeGative material) 그리고 투자율이 음인 물질을 MNG 물질(Mu NeGative material)이라 하며, 모두 자연에 존재하지 않는 인위적인 물질이며, 이를 메타물질이라 한다.

* 경일대학교 전자공학과(jphong@kiu.ac.kr)

** 교신저자(corresponding author) : 경북도립대학교 IT특약계열(kimbyte@gpc.ac.kr)

접수일자 : 2014. 06. 16

심사(수정)일자 : 2014. 07. 21

게재 확정일자 : 2014. 08. 11

SRR(Split Ring Resonator) 구조는 갭(gap)이 서로 반대방향으로 위치하는 도선 링 2개로 구성되며, 메타물질을 구현하는 단위 구조로서 음의 투자율을 갖는다[1]. 그리고 CSRR(Complementary Split Ring Resonator) 구조는 SRR 구조와 쌍대인 구조이며, SRR 구조에서 도선부분을 식각한 구조이다. CSRR 구조는 Babinet 원리에 의해 SRR 구조와 동일하게 메타물질의 특성을 나타내게 된다[2-3]. SRR 구조는 원형 링 공진기에서 삼각형, 사각형 등의 다양한 형태에 대한 연구와 2개의 링에서 단일 링 등 다양한 링 구조에 대한 연구가 진행되고 있다.

최근에는 CSRR 구조를 이용한 마이크로스트립 안테나의 소형화 등에 관한 연구도 진행되고 있다[4-5]. 단일 루프를 이용한 링 공진기 구조인 SLR(Single Loop Resonator) 구조를 이용하여 멀티 대역에서 메타물질의 특성을 갖는 연구도 진행되고 있다[6-7]. 그리고 SRR과 SLR 구조는 마이크로스트립 기판을 이용하여 쉽게 구현할 수 있고, 마이크로스트립 안테나는 평면형이며 소형이고 간단히 제작할 수 있는 장점 때문에 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있다[8-10].

본 논문에서는 CSLR(Complementary Single Loop Resonator)을 인셋 급전 마이크로스트립 안테나의 접지면에 적용한 안테나의 특성에 대해 연구하였다. 먼저 단일 SLR 구조에서 산란계수로부터 실효투자율을 계산하여, SLR 구조에서 도선의 길이, 도선의 폭, 인접한 도선사이의 분리된 간격, 공진기에서 도체사이의 간격 등의 파라미터를 변화시키면서 투자율이 음인 최적의 SLR 파라미터를 구하였다.

그리고 인셋 급전된 마이크로스트립 안테나의 접지면에 SLR과 쌍대되는 CSLR 구조를 배열한 안테나를 제시하였다. 접지면의 전류분포로부터 최적의 CSLR을 갖는 3×3 배열한 안테나를 설계하였다. 그 결과 공진주파수 2.82 GHz에서 기존의 인셋 급전 안테나에 비해 패치의 크기가 소형화됨을 확인하였다. 연구에 사용된 기판은 유전율 2.5, 두께 0.787 mm이며, HFSS를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

II. SLR 단위 셀 구조와 시뮬레이션

2.1. SLR 단위 셀 구조

그림 1은 본 연구에서 사용된 SLR 단위 셀의 구조이다. 단일 SLR는 정사각형이며, 바깥쪽 도선의 최대 길이는 SLR_L , 도선의 폭은 S_W , 인접한 도선사이의 분리된 간격은 s , 공진기를 형성하는 도선사이의 간격은 gap 이다. 그리고 단일 SLR을 형성하는 전체 유전체의 길이는 $Cell_L$ 이다.

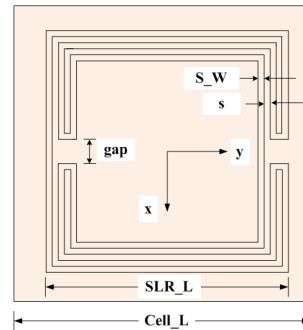


그림 1. SLR 단위 셀 구조
Fig. 1 Geometry of the SLR unit cell

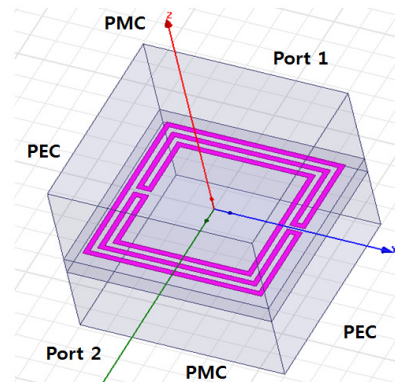


그림 2. HFSS 시뮬레이션 셋업
Fig. 2 HFSS simulation setup

상용 툴인 HFSS를 사용하여 SLR 단위 셀을 시뮬레이션하기 위해 부과한 경계조건은 그림 2와 같다. 그림에서와 같이 SLR 구조의 상하면인 xy -면이 PMC(Perfect Magnetic Condition)로 설정하고, 좌우면인 xz -면을 PEC(Perfect Electric Condition)로 설정하고, 전후면인 yz -면을 전자파를 인가하는 여기(excitation)면인 포트 1과 포트2로 모델링하였다. 그리고 포트 1과 2에 대한 산란계수로부터 실효투자율을 분석하였다.

그림 2에서 포트 1과 2에 대해 산란계수로부터 굴절률과 정규화된 임피던스를 얻을 수 있고, 이를 이용하여 SLR 구조에서의 실효투자율을 얻을 수 있다 [11-13].

2.2. SLR 단위 셀의 시뮬레이션

앞 절에서 제시한 HFSS 시뮬레이션 셋업을 통해 SLR의 각 파라미터를 변화하면서 산란계수 S_{11} , S_{21} 를 구하고, 이 산란계수로부터 실효투자율을 얻었다. SLR 구조가 메타물질로 동작하기 위해서는 음의 투자율을 가져야 한다.

본 연구에서는 유전율이 2.5, 두께 0.787 mm 기판을 사용하였으며 시뮬레이션을 통해 SLR 단위 셀을 구성하는 전체 유전체의 크기는 Cell_L × Cell_W는 8 × 8 mm, 바깥쪽 도선의 최대 길이 SLR_L은 7 mm, 도선의 폭 S_W는 0.2 mm, 인접한 도선사이의 분리 간격 s는 0.2 mm, 공진기사이의 간격 gap은 0.2 mm 일 때 메타물질의 특성을 갖게 되었다.

그림 3은 설계된 SLR 단위 셀 구조에서의 S 파라미터 크기를 나타낸 것이다. 그림에서 S_{11} 과 S_{21} 로부터 4.05 GHz와 5.07 GHz에서 공진 구조가 됨을 알 수 있다.

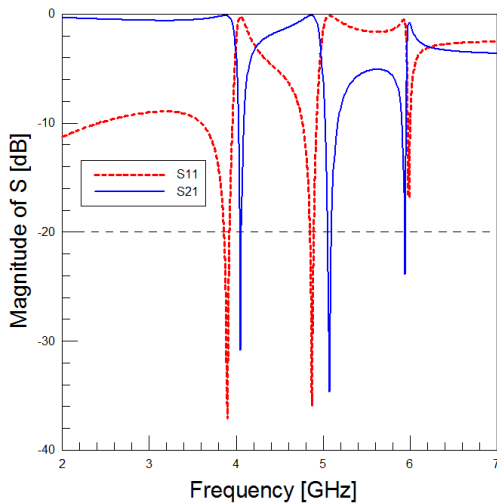


그림 3. SLR 단위 셀에 대한 S-파라미터
Fig. 3 S-parameters of SLR unit cell

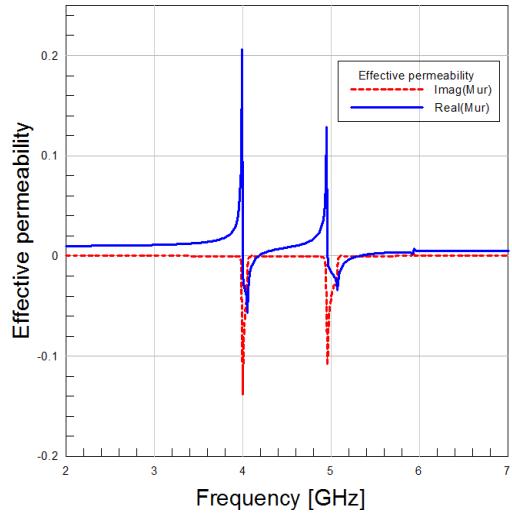


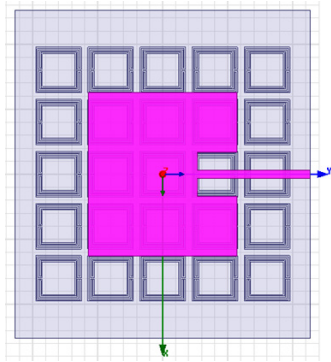
그림 4. SLR 단위 셀에 대한 실효투자율
Fig. 4 Effective permeability for SLR unit cell

그림 4은 설계된 SLR 구조에 대한 실효투자율의 실수부와 허수부를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 4.00~4.19 GHz와 4.97~5.32 GHz사이에서 실효투자율의 실수부가 음이 되며, 이 영역에서 SLR 구조가 메타물질의 특성을 갖게 된다. 본 연구에서 패치의 접지면에 적용하는 CSLR은 SLR에 대한 쌍대 구조이며, SLR이 메타물질의 특성을 갖게 되면 CSLR도 Babinet 원리에 의해 메타물질의 특성을 갖는다.

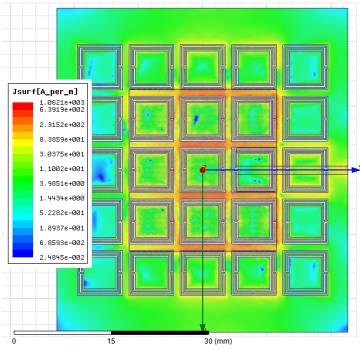
III. CSLR 배열 안테나 설계

인셋 급전 구조를 갖는 패치 안테나의 접지면에 CSLR을 배열한 안테나에 대한 특성을 연구하였다. 제안한 안테나는 인셋 급전된 패치 부분과 패치의 아랫면 전체에 CSLR을 배열한 접지면 부분으로 구성되어 있으며 이는 그림 5(a)와 같다.

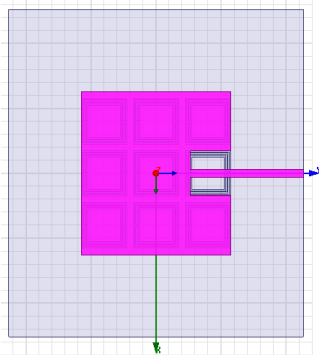
인셋 급전된 패치를 설계하였으며, 패치의 공진주파수는 단일 SLR 구조가 메타물질의 특성을 갖는 주파수인 4.11 GHz가 되도록 설계하였다. 설계된 패치의 길이와 폭 L × W는 22.90 × 25.20 mm, 인셋 급전의 길이와 폭은 6.16 × 2.80 mm이다. 그리고 접지면 전체에 제안된 SLR의 쌍대 구조인 CSLR을 배열하면 5 × 5로 총 25개이며, 각 CSLR사이의 간격은 1 mm이다.



(a) With CSLRs(5 × 5)



(b) Current distribution on ground plane



(c) Optimized antenna with CSLRs(3 × 3)

그림 5. CSLR을 갖는 마이크로스트립안테나
Fig. 5 The microstrip antenna with CSLRs

그림 5(a)에서 주어진 안테나의 동작주파수는 2.68 GHz이며, 이 때 접지면의 전류분포를 나타내면 그림 5(b)와 같다. 그림에서와 같이 접지면의 전류는 패치의 크기에 해당되는 부분에만 대부분이 존재하므로 CSLR을 3 × 3 배열로 총 9개를 배열한 최적의

CSLR을 갖는 안테나를 설계하였다.

CSLR을 3 × 3 배열한 안테나의 반사손실에 대한 특성을 CSLR이 없는 기존의 인셋 급전 패치 안테나와 비교하였다. 그림 6에는 CSLR이 있는 경우와 없는 경우의 반사손실을 나타내었다.

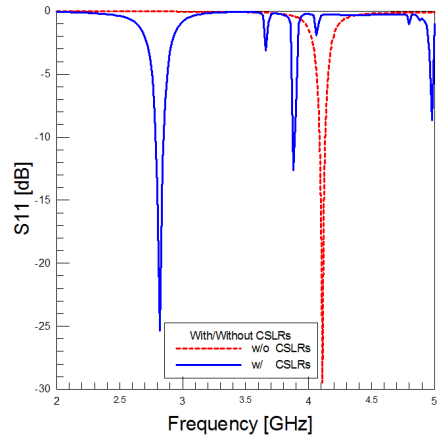


그림 6. CSLR 사용에 따른 안테나의 반사손실
Fig. 6 Return loss of the microstrip antennas with and without CSLRs

그림에서와 같이 CSLR이 없는 기존의 인셋 급전 안테나는 공진주파수가 4.11 GHz, 반사손실은 -29.48 dB이다. 그러나 본 연구에서 제안한 CSLR을 9개 갖는 안테나는 공진주파수가 2.82 GHz로 낮게 나타났으며, 반사손실은 -25.35 dB로 양호한 결과를 얻었다.

공진주파수가 2.82 GHz일 때 기존 인셋 급전 마이크로스트립 안테나를 설계하면 패치의 길이와 폭은 33.25 × 40.20 mm, 인셋 급전의 길이와 폭은 12.00 × 0.50 mm이고, 안테나의 반사손실에 대한 이론치는 -34.20 dB가 된다.

표 1. 안테나 비교
Table 1. Comparison of two antennas

Antenna type	Without CSLRs	With CSLRs
Patch dimensions[mm] (L × W)	33.25 × 40.20	22.90 × 25.20
Inset dimensions [mm] (Inset(L × W))	12.00 × 0.50	6.16 × 2.80
Return loss[dB]	-34.20	-29.48
Resonant freq [GHz]	2.82	2.82

공진주파수가 2.82 GHz인 기존의 인셋 급전 안테나와 CSLR을 갖는 인셋 급전 안테나를 비교하여 나타내면 표 1과 같다. 표 1에서와 같이 공진주파수 2.82 GHz에서 CSLR을 9개 배열한 인셋 급전 안테나는 기존의 인셋 급전 안테나와 비교하면 반사손실은 거의 동일하면서 패치의 크기가 면적대비는 약 56.8%가 감소하는 결과를 얻었다. 따라서 CSLR을 접지면에 3 × 3 배열함으로써 마이크로스트립 안테나의 소형화를 구현하였다.

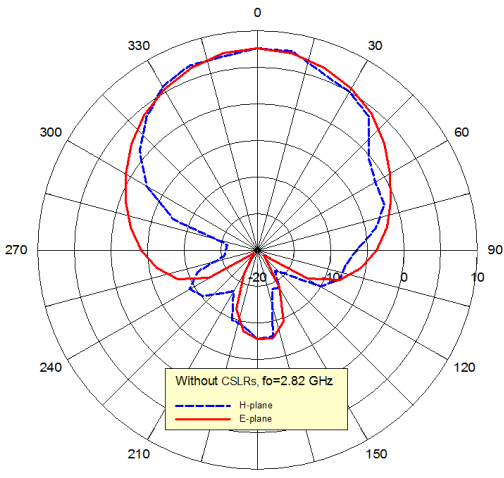
주파수 2.82 GHz일 때 안테나 복사패턴에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하면 그림 7과 같다. 그림 7(a)는 CSLR이 없는 기존의 인셋 급전 안테나에 대한 결과이고, 그림 7(b)는 접지면에 CSLR을 3 × 3 배열한 안테나에 대한 결과이다. 그림에서와 같이 접지면에 CSLR을 갖는 안테나인 경우 기존의 안테나에 비해 패치의 아래 부분인 접지면 방향으로 복사된 전파가 CSLR을 통해 반대 방향으로 복사되는 백로브가 상당히 발생함을 확인할 수 있었다. 따라서 향후에는 불요 전파인 백로브를 감소할 수 있는 구조나 방법에 대한 연구 방안이 필요로 한다.

IV. 결론

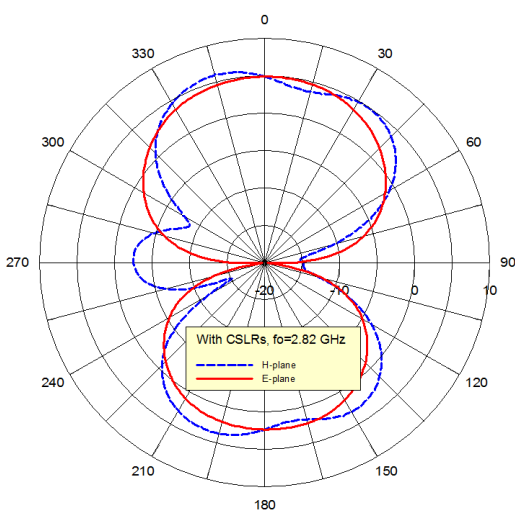
본 논문에서는 SLR 단일 셀 구조에서 산란계수로 부터 실효투자율을 계산하여 메타물질의 특성을 갖는 SLR 구조에서의 파라미터 값을 구하였다. 그리고 인셋 급전된 마이크로스트립 안테나의 접지면에 SLR 구조의 쌍대 구조인 CSLR 구조를 3 × 3 배열한 안테나를 설계하여 안테나의 특성을 관찰하였다. 그 결과 공진주파수 2.82 GHz에서 CSLR을 3 × 3 배열한 안테나는 기존 패치 안테나에 비해 패치의 면적대비 약 56.8%가 감소하는 결과를 얻었다. 그러나 복사패턴에 있어서는 후방으로 복사되는 백로브가 일부 발생하는 경향이 있으므로 이를 개선하기 위한 연구가 필요하여 현재 진행중이며, 시뮬레이션한 결과를 바탕으로 안테나를 제작 실험하여 비교하는 연구도 진행되고 있다.

References

- [1] J. B. Pendry, A. J. Holden, D. J. Robbins, and W. J. Stewart, "Magnetism from conductors and enhanced nonlinear phenomena," *IEEE Trans. Micr. Theory. Tech.*, vol. 47, no. 11, Nov. 1999, pp. 2075-2084.
- [2] F. Falcone, T. Lopetegui, M. A. G. Laso, J. D. Baena, J. Bonache, M. Beruete, R. Marques, F. Martin, and M. Sorolla, "Babinet principle



(a) Without CSLRs



(b) With CSLRs

그림 7. 복사패턴[시뮬레이션] : f=2.82 GHz
Fig. 7 Radiation patterns[simulation] : f=2.82 GHz

- applied to the design of metasurfaces and metamaterials," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 93, no. 19, 2004, pp. 1974011-1974014.
- [3] F. Falcone, T. Lopetegi, J. D. Baena, R. Marques, F. Martin, and M. Sorolla, "Effective negative- ϵ stopband microstrip lines based on complementary split ring resonator," *IEEE, Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 14, no. 6, June 2004, pp. 280-282.
- [4] S. Thankachan, S. Mohan, A. Anil, S. Alisa, and A. R. Nair, "Size reduction of bluetooth antenna : CSRR based patch concept," *Int. J. of Information and Computation Technology*, vol. 4, no. 8, 2014, pp. 805-810.
- [5] H.-A. Jang, "Miniaturization of patch antenna using CSRRs loaded ground plane," Master's Thesis, *Kyungpook National University*, Daegu, Korea, 2011.
- [6] M. A. Abdall, M. A. Fouad, A. Elregeily, and A. A. Mitkees, "Wideband negative permittivity metamaterial for size reduction of stopband filter in antenna applications," *Progress in Electromagnetics Research C.*, vol. 23, 2012, pp. 55-66.
- [7] E. Ekmekci and G. T. Sayan, "A novel dual-band metamaterial structure," *Progress in Electromagnetics Research Symp. Proc.*, Aug. 2009, pp. 87-90.
- [8] J.-H. Yoon, "Design of circular ring antenna with half-circular strip for WLAN/WiMAX applications," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, 2014, pp. 414-424.
- [9] O.-W. Kim, "Design of dual-band microstrip antenna for wireless communication applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1275-1279.
- [10] Y.-W. Park, "Characteristics of microstrip array antenna," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1281-1286.
- [11] M. D. Steemson, *Metamaterial analysis and design*. Final Project Report, University of New South Wales, 2012.
- [12] B.-M. Kim, H.-W. Son, J.-P. Hong, and Y.-K. Cho, "A novel epsilon near zero tunneling circuit using double-ridge rectangular waveguide," *J. of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 14, no. 1, Mar. 2014, pp. 36-42.
- [13] J.-P. Hong and B.-M. Kim, "Design of inset fed patch antenna loaded with complementary single loop resonator," In *Proc. of KIECS 2014 Conf.*, vol. 8, no. 1, Busan, Korea, June 2014, pp. 127-130.

저자 소개

홍재표(Jae-Pyo Hong)



1981년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1983년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1989년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1986년~1990년 순천제일대학 전자과 조교수
 1990년~현재 경일대학교 전자공학과 교수
 ※ 관심분야 : 평면 안테나 설계, 전자파 산란

김병문(Byung-Mun Kim)



1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1988년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1998년 경북대학교 대학원 전자공학과 (박사수료)
 1990년~1997년 LG정밀 선임연구원
 1997년~현재 경북도립대학교 IT특약계열 교수
 ※ 관심분야 : 안테나, 마이크로파 부품 및 탐침 등