

CSLR을 갖는 인셋 급전 패치 안테나 설계 및 제작

손혁우* · 김병문** · 박진택*** · 홍재표****

Design and Fabrication of Inset Fed Patch Antenna Loaded with CSLR

Hyeok-Woo Son* · Byung-Mun Kim** · Jin-Taek Park*** · Jae-Pyo Hong****

요약

본 논문에서는 인셋 급전 구조에서 마이크로스트립 패치 안테나 소형화를 위해 접지면에 CSLR 9개 적용한 안테나('CSLR 09' 안테나)와 8개 적용한 안테나('CSLR 08' 안테나)를 설계한 후, 유전율 2.5, 두께 0.787 mm인 기판으로 안테나를 제작하여 반사손실과 복사패턴에 대한 이론 결과와 실험 결과를 비교하였다. 'CSLR 09'와 'CSLR 08' 안테나의 이론 결과에서는 공진주파수 2.82 GHz에 반사손실이 각각 -25.35 dB와 -16.77 dB를 보였고, 측정 결과에서는 공진주파수 2.885 GHz에 반사손실이 각각 -30.72 dB와 -14.90 dB를 나타내어 두 경우 모두에서 거의 일치하는 결과를 얻었다. 또한 E-면과 H-면 복사패턴에 대한 실험 결과에서도 이론 결과와 거의 일치하는 양호한 결과를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, design and fabrication for inset fed microstrip patch antennas applied to the 3×3 array CSLR and eight CSLR, respectively, to the ground plane are studied. The theoretical results are compared to the experimental results for the return loss and radiation pattern. For 'CSLR 09' antenna, the theoretical result for the resonant frequency and the return loss are 2.82 GHz and -25.35 dB, respectively. The experimental results are obtained for a 2.885 GHz, -30.72 dB. Theoretical results for the resonant frequency and the return loss of the 'CSLR 08' antenna are 2.82 GHz, -16.77 dB, respectively, and the experimental results are obtained for a 2.885 GHz, -14.90 dB. In addition, E-plane and H-plane radiation patterns in comparison with designed and fabricated antennas are in good agreement.

키워드

Inset Fed Microstrip, CSLR, Array, Return Loss, Radiation Pattern
인셋 급전 마이크로스트립, CSLR, 어레이, 반사손실, 복사패턴

1. 서론

메타물질은 유전율과 투자율이 모두 음인 물질과 유전율이 음인 물질과 투자율만 음인 물질을 포함하며, 자연에 존재하지 않는 인위적인 물질이다. 메타물

질을 구현할 수 있는 대표적인 단위 구조로서 SRR(Split Ring Resonator) 구조가 있다. SRR 구조는 갭(Gap)이 서로 반대방향으로 위치하는 2개의 분리된 도선 링 공진기로 구성되며 투자율이 음인 특성을 가진다. 그리고 원형에서 삼각형, 사각형 등의 다양한

* 경북대학교 전자공학과(hwson@ee.knu.ac.kr)

** 경북도립대학교 IT특약계열(kimbyte@gpc.ac.kr)

*** 창신대학교 모바일통신공학과(ctpark@cs.ac.kr)

**** 교신저자(corresponding author) : 경일대학교 전자공학과(jphong@kiu.kr)

접수일자 : 2015. 03. 24

심사(수정)일자 : 2015. 05. 13

게재확정일자 : 2015. 05. 23

모양과 단일 링 구조인 SLR(Single Loop Resonator) 등의 구조에 대한 연구가 진행되고 있다[1-2]. 또한 이를 접지면에 적용하여 도선부분을 식각한 CSRR(Complementary SRR)과 CSLR(Complementary SLR) 구조는 Babinet 원리에 의해 메타물질의 특성을 갖게 되므로 다양한 연구가 진행되고 있다[3-4].

메타물질을 등가 전송선로로 표현하면 기존 전파 특성인 RH(Right Handed)에 LH(Left Handed)를 추가한 CRLH(Composite RLH)로 구현된다. 이러한 CRLH 전송선로에서 위상정수가 영이 되는 영차 공진 조건에서는 전송선로의 길이에 관계없이 위상변화가 없는 동위상을 형성하게 된다. 따라서 위상이 동일한 영차 공진조건을 응용하면 안테나를 소형화할 수 있다[5-7].

본 논문에서는 인셋 급전 구조[8]를 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 접지면에 CSLR을 적용하여 기존의 패치 안테나[9-10]에 비해 소형화를 구현하여 설계 제작하여 실험 결과와 이론 결과를 비교 검토한다. 먼저 EM(Electromagnetic) 상용 소프트웨어 HFSS를 사용하여 메타물질의 특성을 갖는 SLR 구조에서의 단위 셀을 구하였다. 그리고 인셋 급전 구조를 갖는 마이크로스트립 패치의 접지면에 CSLR 구조를 3×3 배열로 9개를 적용한 'CSLR 09' 안테나와 8개를 적용한 'CSLR 08' 안테나를 설계하였다. 설계한 안테나의 이론적인 결과를 검증하기 위하여 유전율 2.5, 두께 0.787 mm인 마이크로스트립 기판을 사용하여 안테나를 제작하였다. 그리고 안테나의 반사손실과 복사패턴을 측정하여 이론 결과와 비교 검토하고, 안테나의 E-면과 H-면 복사패턴을 측정하여 이론 결과와 비교 하였다. 그리고 제안한 안테나는 기존의 단일 패치에 비해 소형화임을 확인하였다.

II. CSLR을 갖는 인셋 급전 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안한 안테나의 소형화를 위해 패치의 접지면에 CSLR을 갖는 인셋 급전형 패치 안테나 구조는 그림 1과 같다. 그림에서 안테나의 윗면은 인셋 구조로 급전하는 패치이고, 아랫면은 CSLR을 갖는 접지면으로서 CSLR이 3×3 형태로 배열한 'CSLR

09' 안테나이다. 여기서 CSLR은 SLR 구조를 접지면에 적용하여 도선부분을 식각한 구조이다.

논문에서 적용한 SLR 구조는 정사각형이며, 한 개의 도선으로 구성된 루프 구조이다. SLR 구조에서 정사각형의 최대 길이는 SLR_L, 도선의 폭은 S_W, 인접한 도선사이의 분리된 간격은 s, 공진기 도선의 간격은 gap, 단일 셀의 길이는 Cell_L이다.

SLR 구조에서는 외부 시변 전자계에 의해 도선 루프에 전류가 유기되며, 유기 전류에 의해 루프에서는 인덕턴스가 발생하고, 인접한 도선 사이와 갭 사이에서 각각 커패시턴스가 발생하여 특정한 주파수에서 유효투자율이 음이 되는 현상이 나타난다[6-7].

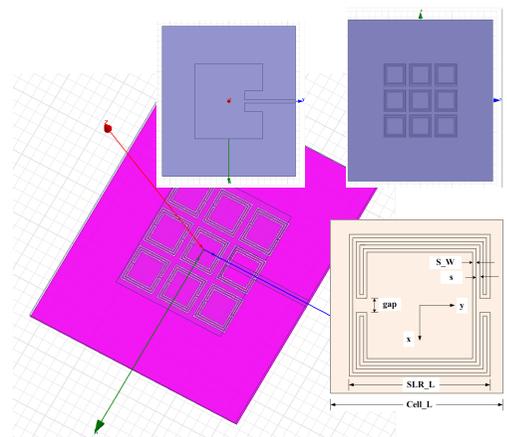


그림 1. 제안된 'CSLR 09' 안테나 구조
Fig. 1 Geometry of proposed 'CSLR 09' antenna

단일 SLR 구조에서 경계조건을 부과하고, 산란계수로부터 실효투자율을 분석하기 위해서 상용툴인 HFSS를 이용하여 시뮬레이션 하였고, 설계 파라미터를 최적화하였다[6-7]. 그 결과, 4.00~4.19 GHz 사이에서 실효투자율의 실수부가 음이 되며, 이 구간에서 제시한 SLR 구조는 메타물질의 특성을 갖는다. 이 때 SLR_L은 7 mm, S_W는 0.2 mm, s는 0.2 mm, gap은 0.2 mm로 나타났다.

따라서 본 논문에서는 SLR 구조가 메타물질 특성을 갖는 4.11 GHz 주파수에서 공진하는 인셋 구조의 마이크로스트립 패치 안테나에서, 패치의 접지면에 CSLR을 배열로 적용하여 안테나의 소형화를 구현하였다. 4.11 GHz에서 공진하는 인셋 급전 안테나를 설

계하였는데, 패치의 길이와 폭은 각각 22.90, 25.20 mm, 인셋 급전의 길이와 폭은 각각 6.16, 2.80 mm이다. 그리고 SLR 구조가 메타물질의 특성을 갖는 경우 Babinet 원리에 의해 CSLR 구조도 메타물질의 특성을 가지므로 CSLR을 패치의 접지면에 배열형태로 적용한 2종류 안테나에 대해 이론 결과와 실험 결과를 비교 분석하여 검증하였다.

먼저, 인셋 급전된 패치 접지면 전체에 CSLR을 배열하여 접지면에서의 전류분포를 시뮬레이션한 결과, 패치의 크기에 해당되는 면적부분만 전류가 분포하게 되므로 이론적인 결과의 유추 및 제작상 용이함을 위해 CSLR 면적이 패치 면적에 상응되도록 CSLR 구조를 3×3 배열로 하여 ‘CSLR 09’와 ‘CSLR 08’안테나를 설계하였다.

설계된 ‘CSLR 09’와 ‘CSLR 08’ 안테나는 이론 결과에서 공진주파수 2.82 GHz에 반사손실이 각각 -25.35 dB와 -16.77 dB인 정합특성을 나타내었다. 이 결과는 기존 패치 안테나에 비해 공진주파수가 4.11 GHz에서 2.82 GHz로 낮아져 상대적으로 안테나의 크기가 패치 면적대비 약 56.8 %가 감소하는 소형화 효과를 얻을 수 있다[6].

III. 안테나의 제작 및 실험

설계한 안테나에 대해 이론 결과와 비교하기 위하여 유전율 2.5, 두께 0.787 mm인 마이크로스트립 기판을 사용하여 안테나를 제작하여 실험하였다.

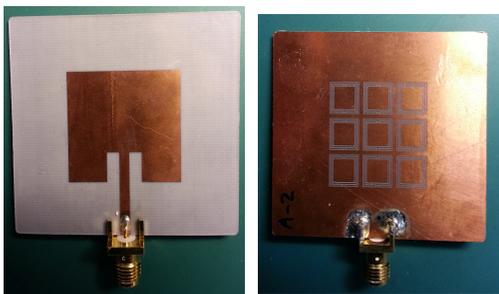


그림 2. 제작된 ‘CSLR 09’ 안테나 사진
Fig. 2 Photograph of fabricated ‘CSLR 09’ antenna

그림 2는 CSLR을 9개 배열한 ‘CSLR 09’ 안테나 사진이다. 패치는 인셋 구조를 가지며, 안테나의 접지면은 CSLR이 3×3로 배열한 구조이다. 그리고 그림 3은 CSLR을 8개 배열한 ‘CSLR 08’ 안테나 사진이며, ‘CSLR 09’ 안테나 전류분포가 제일 약한 한 개를 제외한 구조이다.

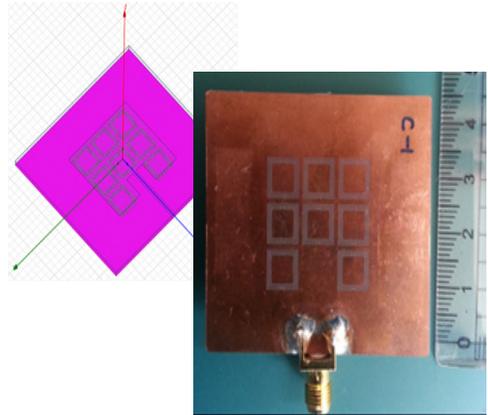


그림 3. 제작된 ‘CSLR 08’ 안테나 사진
Fig. 3 Photograph of fabricated ‘CSLR 08’ antenna

표 1은 SLR 구조를 안테나의 접지면에 CSLR로 적용한 안테나 제작에 사용되는 마이크로스트립 기판, 안테나 패치 및 SLR에 관련된 파라미터 값을 나타낸다.

표 1. 제작된 CSLR 안테나의 파라미터
Table 1. Parameters of fabricated CSLR antenna

Parameter		Value
Dielectric substrate	Dielectric constant	2.5
	Substrate thickness	0.787 mm
Patch	Patch length	22.90 mm
	Patch width	25.20 mm
	Inset fed length	6.16 mm
	Inset fed width	2.80 mm
SLR	Strip length of the outer loop(SLR_L)	7.0 mm
	Strip width of the loop(S_W)	0.2 mm

	Separation distance between strips(s)	0.2 mm
	Gap width between strips(gap)	0.2 mm
	Separation distance between SLRs	1.0 mm
Ground	Array of CSLRs	3×3(9), 8
	Ground length	45.30 mm
	Ground width	50.40 mm

표 1에서와 같이 패치는 22.9 mm × 25.2 mm, 인셋 길이는 6.16 mm, 인셋 폭은 2.80 mm이다. SLR은 정사각형 구조이며, 제일 긴 변의 길이(SLR_L)가 7.0 mm, 도선의 폭(S_W)은 0.2 mm, 도선의 간격은 0.2 mm, 도선사이의 갭(gap) 폭은 0.2 mm, 그리고 SLR 사이의 간격은 1 mm이며, 패치 면적에 해당되는 면적만큼의 CSLR의 면적이 분포되도록 CSLR이 9개와 8개로 각각 구성된 ‘CSLR 09’와 ‘CSLR 08’ 안테나 변수를 나타내었다.

표 1의 제원중 CSLR 구조가 없이 접지면으로만 구성되어 있는 기존의 인셋 급전 구조를 갖는 단일 패치 안테나에 대해 반사손실을 계산한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림에서와 같이 안테나는 4.11 GHz에서 동작하며, -29.48 dB인 양호한 정합 특성을 나타내고 있다.

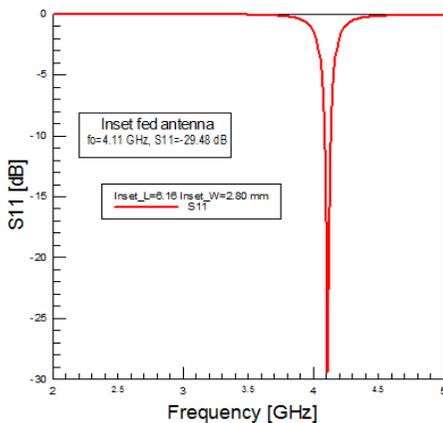


그림 4. CSLR이 없는 인셋 급전 안테나의 반사손실
Fig. 4 Return loss of inset fed microstrip antenna

안테나를 소형화하기 위해 본 논문에서 제시하여 설계 제작인 CSLR을 갖는 ‘CSLR 09’ 안테나와 ‘CSLR 08’ 안테나에 대한 결과는 그림 5와 6과 같다. 그림 5에는 ‘CSLR 09’ 안테나인 그림 2의 안테나에 대한 반사손실을 측정된 결과와 이론결과를 각각 나타내어 비교하였다. 그림에서와 같이 접지면에 CSLR 구조를 3×3 배열한 안테나는 이론적인 공진주파수와 반사손실은 각각 2.82 GHz, -25.35 dB이다. 그리고 측정된 결과는 2.885 GHz에서 -30.72 dB로 나타났으며, 공진주파수는 약 60 MHz의 주파수 변이가 발생하였으나 반사손실의 이론결과와 측정결과가 거의 일치함을 알 수 있었다.

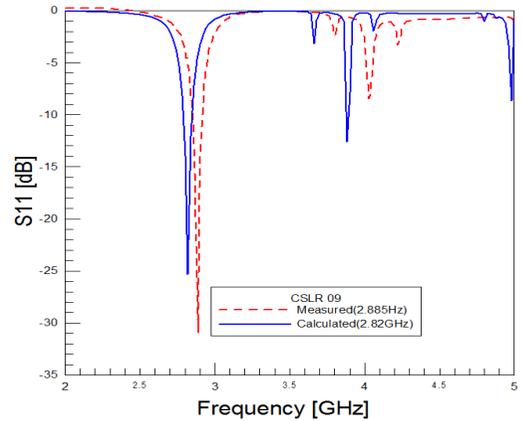


그림 5. ‘CSLR 09’ 안테나의 반사손실
Fig. 5 Return loss of ‘CSLR 09’ antenna

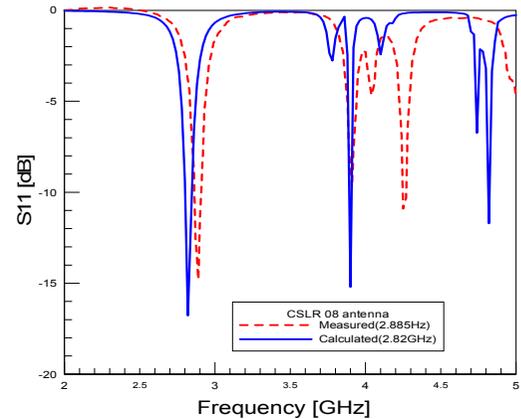


그림 6. ‘CSLR 08’ 안테나의 반사손실
Fig. 6 Return loss of ‘CSLR 08’ antenna

그림 6에는 그림 3에서 주어진 ‘CSLR 08’ 안테나에 대한 반사손실을 측정된 결과와 이론결과를 각각 나타내어 비교하였다. 그림에서와 같이 접지면에 CSLR 구조가 8개 배열한 ‘CSLR 08’ 안테나의 이론적인 공진주파수와 반사손실은 각각 2.82 GHz, -16.77 dB이며, 측정된 결과는 2.885 GHz에서 -14.90 dB로 나타났으며, ‘CSLR 09’ 안테나와 같이 공진주파수는 약 60 MHz의 주파수 변이가 발생하였고 반사손실에 대한 이론결과와 측정결과가 거의 일치함을 확인할 수 있다.

그림 4~6과 같이 패치의 접지면에 설계된 SLR을 배열함에 따라 안테나의 공진주파수는 4.11 GHz에서 2.82 GHz로 낮아짐을 알 수 있다. 그리고 기존의 인셋 급전 구조에서 CSLR 없는 패치 안테나의 공진주파수가 2.82 GHz되기 위해서 패치 크기는 33.25 × 40.20 mm이 된다[6]. 따라서 CSLR을 9개 배열한 ‘CSLR 09’ 인셋 급전 안테나는 기존의 인셋 급전 안테나에 비해 패치 면적 대비 약 56.8 %가 감소한 결과를 나타내었다. 그러므로 CSLR을 이용하여 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화를 실현하였고, 이론결과와 실험결과가 일치하는 양호한 결과를 얻었다.

제작된 ‘CSLR 09’와 ‘CSLR 08’ 안테나에 대해 E-면과 H-면 복사패턴을 경복대 전파무반사실에서 측정된 결과와 이론적인 결과를 비교하면 각각 그림 7 및 8과 같다.

그림 7(a) 및 7(b)에는 ‘CSLR 09’ 안테나에 대해 주파수 2.885 GHz에서의 E-면과 H-면 복사패턴을 측정된 결과를 이론 결과와 비교하였고, 그림 8(a)와 8(b)에는 ‘CSLR 08’ 안테나의 공진주파수인 2.885 GHz에서 측정된 E-면과 H-면 복사패턴을 이론결과와 비교하였다.

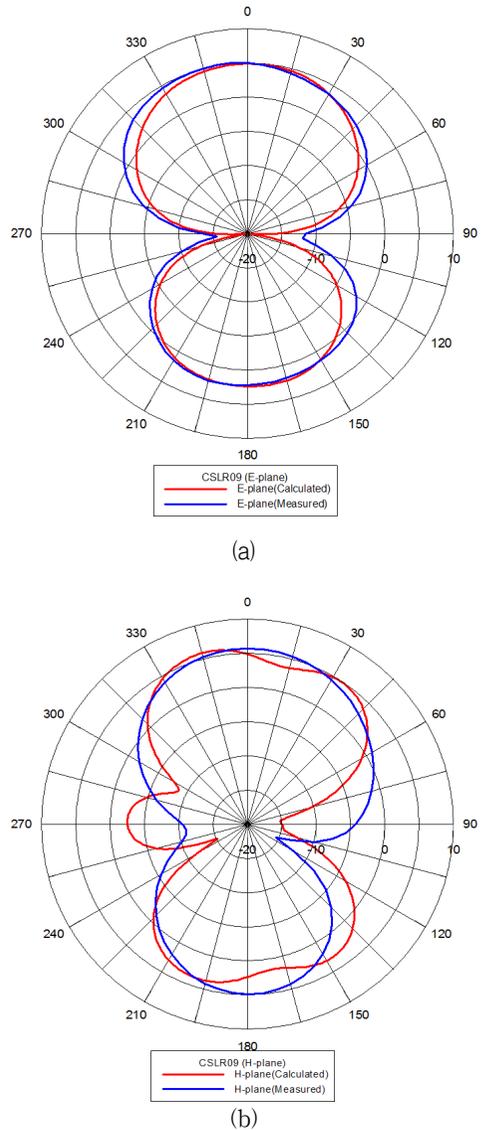


그림 7. ‘CSLR 09’ 안테나의 복사패턴: (a) E-면 복사패턴 (b) H-면 복사패턴
 Fig. 7 Radiation patterns of ‘CSLR 09’ antenna : (a) E-plane radiation pattern (b) H-plane radiation pattern

그림 7과 8에서와 같이 CSLR 구조를 갖는 안테나 모두 이론결과와 실험결과가 거의 일치함을 알 수 있었으나, 접지면에 CSLR 구조를 배열한 안테나는 CSLR 구조로의 복사가 다소 발생하여 후방으로의 복사 손실이 발생하였다.

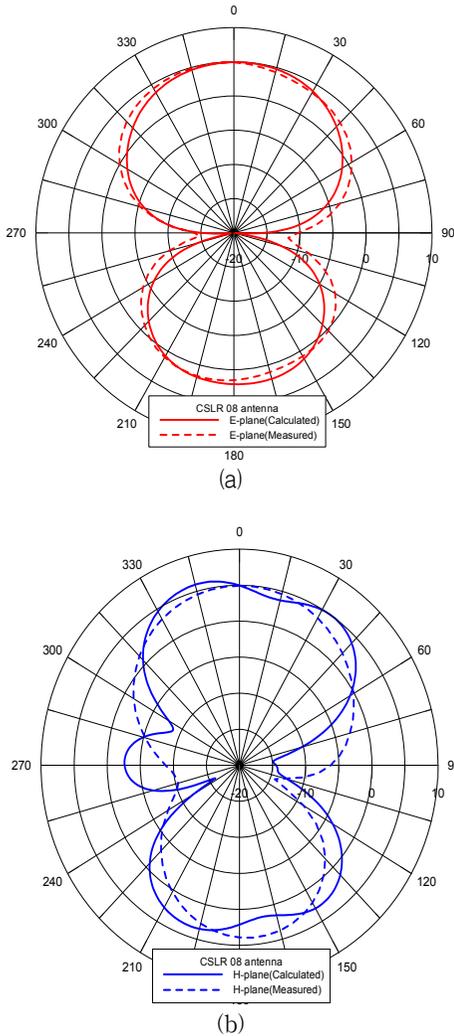


그림 8. 'CSLR 08' 안테나의 복사패턴: (a) E-면 복사패턴 (b) H-면 복사패턴

Fig. 8 Radiation patterns of 'CSLR 08' antenna : (a) E-plane radiation pattern (b) H-plane radiation pattern

IV. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나 소형화를 위한 인셋 급전 구조에서 접지면에 CSLR을 배열한 'CSLR 09'와 'CSLR 08' 안테나를 설계하였다. 그리고 유전율 2.5, 두께 0.787 mm인 유전체 기판을 사용하여 안테나를 제작하여 반사손실과 복사패턴을 측

정하였다. 그 결과 'CSLR 09' 안테나의 공진주파수와 반사손실의 이론 결과는 각각 2.82 GHz, -25.35 dB이며, 측정 결과는 2.885 GHz, -30.72 dB로 나타났다. 또한 'CSLR 08' 안테나에 대해 공진주파수와 반사손실의 이론 결과는 2.82 GHz, -16.77 dB이며, 측정된 결과는 2.885 GHz, -14.90 dB로 나타났다. 두 경우 모두 약간의 주파수 변이는 발생하였으나 전체적으로 복사손실에 대한 패턴을 거의 일치하였다. 그리고 공진주파수인 2.885 GHz에서 E-면과 H-면에 대해 각각 안테나에 대해 복사패턴을 실험한 결과와 이론 결과는 거의 일치함을 확인하였으나, 접지면의 CSLR 구조에 의해 후방으로의 불필요한 복사가 발생하므로 이를 개선하기 위한 연구가 필요하다.

References

- [1] E. Ekmekci and G. T. Sayan, "A novel dual-band metamaterial structure," *Progress in Electromagnetics Research Symp. Proc.*, vol. 1, Moscow, Russia, Aug. 2009, pp. 87-90.
- [2] O. Yurduseven, A. E. Yilmaz, G. T. Sayan, "A compact five-band SLR Type metamaterial," *Proc. of 6th EUCAP(European Conf. on Antennas and Propagation)*, Prague, Czech Republic, vol. 4, Mar. 2012, pp. 2865-2867.
- [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] B. Garg and D. Saleem, "A wide band rectangular microstrip transceiver using 'array of circular SRR' DNG metamaterial structure for microwave applications in s band," *Research J. of Physical and Applied Sciences*, vol. 2, no. 3, June 2013, pp. 36-42.
- [5] A. G. Jahromi, F. Mohajeri, and N. Feiz, "Miniaturization of a rectangular microstrip patch antenna loaded with metamaterial,"

World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 7, no. 4, 2013, pp. 668-671.

- [6] J. Hong and B. Kim, "A study on inset fed microstrip antenna loaded with complementary single loop resonator," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, 2014, pp. 921-926.
- [7] H. Son, B. Kim, and J. Hong, "Fabrication and experiment of inset fed patch antenna loaded with CSLR for size reduction," *In Proc. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, 2014 Conf.*, vol. 8, no. 2, Cheonan, Korea, Nov. 2014, pp. 221-224.
- [8] J. Hong, B. Kim, H. Son, and Y. Cho, "A study on the inset fed rectangular microstrip patch antenna for S-band applications," *J. of the Korea Institute of Information and Communication Engineering* vol. 18, no. 10, 2014, pp. 2359-2366.
- [9] Y. Park, "Characteristics of microstrip array antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1281-1286.
- [10] O. 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.

저자 소개



손혁우(Hyeok-Woo Son)

2009년 경북대학교 전자전기컴퓨터 학부 공학사
2011년 경북대학교 전자공학부 공학석사

2011년~현재 경북대학교 전자공학부 박사과정

※ 관심분야 : 안테나, Meta material, MRI RF 코일 등



김병문(Byung-Mun Kim)

1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2015년 경북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1990년~1997년 LG정밀 선임연구원

1997년~현재 경북도립대학교 IT특약계열 교수

※ 관심분야 : 안테나, 마이크로파 부품 및 탐침 등



박진택(Jin-Taek Park)

1980년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1987년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1981년~1991년 미육군 정보체계사령부 국방통신 대구통제국 선임통제관

1991년~현재 창신대학교 모바일통신공학과 교수

※ 관심분야 : 안테나 설계, 전자파 산란



홍재표(Jae-Pyo Hong)

1981년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1983년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1989년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1990년~현재 경일대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 평면 안테나 설계, 전자파 산란

