

Magneto-Dielectric Material을 이용한 소형 Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterial 안테나

A Small Composite Right/Left-Handed Transmission Line Metamaterial Antenna Using a Magneto-Dielectric Material

장경덕 · 김재희 · 김기호* · 성원모* · 박위상

Kyung Duk Jang · Jae Hee Kim · Gi Ho Kim* · Won Mo Seong* · Wee Sang Park

요 약

본 논문에서는 magneto-dielectric material을 이용하여 CRLH-TL 안테나를 소형화 시키는 방법을 제안하였다. 제안된 안테나는 patch와 via를 이용하여 구형한 mushroom 구조의 CRLH-TL 안테나에 SRR을 이용한 magneto-dielectric material을 장하한 구조이다. 시뮬레이션을 통해 SRR의 동작 특성을 살펴보고, SRR을 이용하여 기관의 투자율 값을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 또한, magneto-dielectric material을 이용함으로써 CRLH-TL 안테나의 공진 주파수를 감소시킬 수 있음을 확인하였다. -1차 공진 모드에서 7.13 %, 0차 공진 모드에서 23.9 %의 주파수 감소 효과를 얻을 수 있었다. 0차 공진 모드에서 동작하는 안테나를 제작하여 반사 손실과 방사 패턴을 살펴보았다. 제작된 안테나의 동작 주파수는 1.888 GHz이며, 측정된 대역폭은 0.48 %이고, 이득은 0.534 dBi, 효율은 51.7 %이다.

Abstract

A CRLH-TL based compact metamaterial antenna on a magneto-dielectric material is proposed. The proposed antenna is composed of two patches and vias, which is loaded by a magneto-dielectric material constructed by SRRs. The characteristic of SRRs is studied, and the size reduction of the antenna by using the magneto-dielectric material is confirmed. The simulated resonant frequency of the antenna has showed a decrease of 7.13 % at -1st-order resonant mode, and 23.9 % at zeroth-order resonant mode. A zeroth-order resonant antenna is fabricated and measured, which has a resonant frequency of 1.888 GHz, a bandwidth of 0.48 %, a gain of 0.534 dBi, and an efficiency of 51.7 %.

Key words : Metamaterial, Magneto-Dielectric Material, Composite Right/Left-Handed Transmission Line

I. 서 론

최근 metamaterial을 이용하여 안테나를 설계하는 연구가 급증하고 있다. Metamaterial은 특정 단위 구조를 주기적으로 배열하여 자연계에 존재하지 않는 전자기적 성질을 가지는 물질을 나타낸다.

Metamaterial의 하나인 유전율과 투자율이 동시에 음의 값을 가지는 물질은 전기장, 자기장, 전파 진행 방향이 왼손 법칙을 따르고 음의 굴절률을 가지는 등 일반적인 물질과는 다른 전자기적 특성을 가진다. 이러한 물질을 안테나에 적용하여 안테나의 소형화에 이용되기도 한다.

「본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음[2006-S-018-02, 휴대방송 서비스가 가능한 초소형 복합형 안테나 기술 개발].」

포항공과대학교 전자전기공학부(Department of Electronic and Electrical Engineering, Pohang University of Science and Technology)

*(주)이엠파블유 안테나(E.M.W. Antenna Co., Ltd.)

· 논문 번호 : 20071130-18S

· 수정완료일자 : 2008년 1월 31일

안테나에 응용되는 metamaterial은 composite right/left-handed transmission line(CRLH-TL) 구조가 대표적이다. 이 구조의 공진 모드 중에는 전파 상수가 0이 되는 0차 공진 모드가 있다. 이 공진 모드에서는 파장이 무한대가 되고 전파 전송에 따른 위상지연이 발생하지 않는다. 이 모드의 공진 주파수는 CRLH-TL를 구성하는 리액티브 성분들이 결정을 하므로 안테나의 길이에 의존하지 않아 안테나의 소형화에 매우 유리하다. 0차 공진 모드를 이용하여 안테나를 소형화시킨 논문이 발표되었다^{[1]-[4]}.

투자율을 증가시킬 수 있는 magneto-dielectric material에 관한 관심도 증가하고 있다. 안테나의 크기를 소형화시키는 전통적인 방법으로 고유전율의 기판을 사용하는 방법이 있으나 안테나의 효율이 낮아지고 대역폭이 좁아지는 등의 부작용이 있다. 반면, 투자율이 높은 기판을 사용하였을 경우는 이러한 문제가 나타나지 않으면서도 동일하게 안테나를 소형화시킬 수 있다^{[5]-[6]}.

Magneto-dielectric material는 일반적인 유전체에 split ring resonator(SRR) 등과 같은 구조물을 넣어서 구현한다. 외부 자계에 의해 SRR에 전류가 유도되고 그로 인해 SRR이 magnetic moment를 가지게 되어 투자율에 변화를 주게 된다. Patch 안테나와 loop 안테나에 magneto-dielectric material을 이용하여 안테나를 소형화시킨 논문이 발표되었다^{[7]-[9]}.

본 논문에서는 magneto-dielectric material을 CRLH 전송선로 안테나에 적용한 구조를 제안하였다. Magneto-dielectric material을 구현하는데 이용되는 SRR의 동작 특성을 살펴보고, magneto-dielectric material을 이용하여 안테나를 소형화시킬 수 있음을 보였다. 0차 공진 모드로 동작하는 안테나를 제작하여 측정하였으며 반사 손실과 방사 패턴을 나타내었다.

II. 안테나의 구조

제안된 안테나의 구조는 그림 1(a)와 같이 CRLH-TL 안테나에 magneto-dielectric material을 적용한 구조이다. Patch와 via로 구성된 mushroom 형태의 CRLH 전송선로 안테나에 split ring resonator(SRR)를 이용하여 구현한 magneto-dielectric material을 기판으로 이용하였다. 그림 1(b)에 magneto-dielectric material

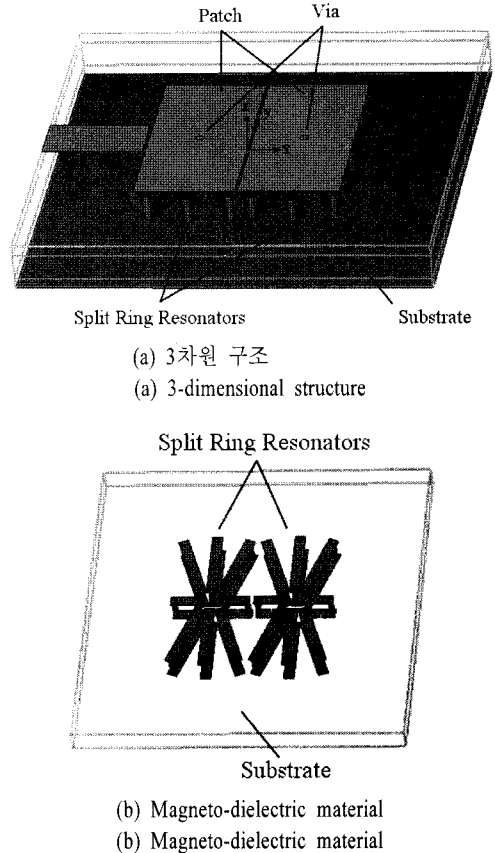


그림 1. 제안된 안테나 구조
Fig. 1. Structure of proposed antenna.

을 나타냈다.

안테나는 3개의 기판을 이용하여 구성된다. 그림 2에 나타냈듯이, 위쪽 기판의 윗면에 patch가 있으며, 중간 기판에 SRR을 이용하여 구현된 magneto-dielectric material이 놓이게 된다. 아래 기판은 그라운드의 역할을 하며 위 기판의 patch에서 아래 기판까지 via로 연결되어 있다.

Magneto-dielectric material을 구현하는데 있어 SRR의 배치는 매우 중요하다. SRR이 자계에 강하게 응답을 하기 위해서는 SRR과 자계 방향이 수직으로 놓일 필요성이 있다. 그림 3과 같이 patch와 via를 이용하여 구현한 CRLH-TL 안테나는 자계가 via를 중심으로 회전하는 방향으로 형성된다. 따라서 SRR을 via를 중심으로 방사형으로 배치를 하는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

SRR은 그림 1(b)처럼 중간 기판의 위아래 면에

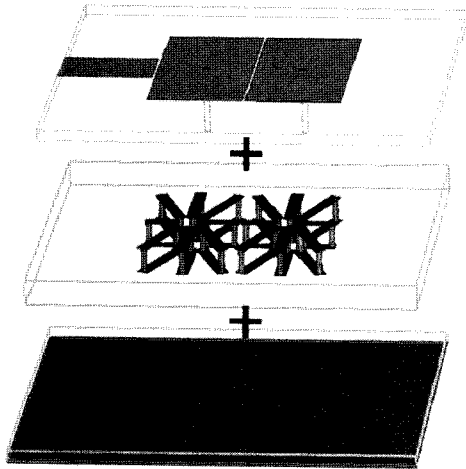


그림 2. 안테나의 구성
Fig. 2. Construction of antenna.

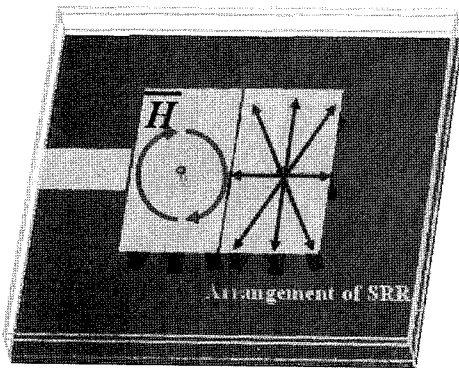


그림 3. 자계의 방향 및 SRR의 배치
Fig. 3. Direction of magnetic field and arrangement of SRR.

microstrip line을 놓고 양끝을 via로 연결하여 구현하였다. Slot은 SRR의 아래쪽 line에 내었다. 이러한 방식의 SRR의 구현은 한 번의 에칭 과정을 통해 magneto-dielectric material을 만들 수 있어 제작이 간편하고, 안테나의 전체 높이를 낮게 할 수 있다는 장점이 있다.

제안된 안테나는 2개의 unit-cell로 구현된 CR-LH-TL 안테나이며 한 unit-cell 당 8개의 SRR을 이용하여 magneto-dielectric material을 구현하였다. 길이가 다른 두 종류의 SRR이 사용되었으며, 길이가 조금 긴 6개의 SRR이 세로로 방사형으로 놓여 있고, 길이가 조금 짧은 2개의 SRR이 가로로 놓여 있다.

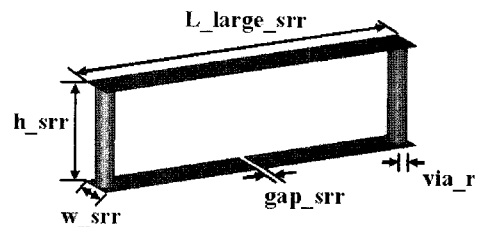
안테나의 크기는 patch의 길이가 25 mm, 너비가 12.4 mm, patch 사이의 간격이 0.2 mm이고, 사용된 via의 반경은 0.3 mm이다. 기판은 Rogers RT/duroid 5880 (유전율 2.2) 기판이 사용되었으며, 위아래 기판의 두께는 0.508 mm(20 mil), 중간 기판의 두께는 1.55 mm(62 mil)이고, 크기는 가로 세로 모두 55 mm이다. 안테나의 급전은 너비 8 mm인 microstrip line으로 하였다.

III. SRR의 동작 특성

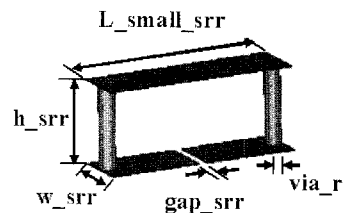
안테나에 사용된 SRR 구조는 그림 4와 같다. 길이가 다른 두 종류의 SRR이 이용되었으며, 두 SRR 모두 중간 기판의 위아래 면을 이용하여 구현되었다. SRR의 크기는 $L_{large_srr}=11$ mm, $L_{small_srr}=4.5$ mm, $w_{srr}=2$ mm, $gap_{srr}=0.2$ mm, $h_{srr}=1.55$ mm, $via_r=0.3$ mm이다.

SRR의 동작 특성을 살펴보았다. CST Microwave Studio 2006B를 이용하여 반사와 투과 계수를 얻어내고, 그로부터 투자율 정보를 추출하였다.

그림 5에서와 보는 바와 같이 큰 SRR은 4.37 GHz에서 공진 특성을 보였다. 공진 주파수보다 낮은 주파수에서는 투자율의 값이 1보다 크게 되고 높은 주



(a) 큰 SRR
(a) Large SRR



(b) 작은 SRR
(b) Small SRR

그림 4. SRR 구조
Fig. 4. Structure of SRR.

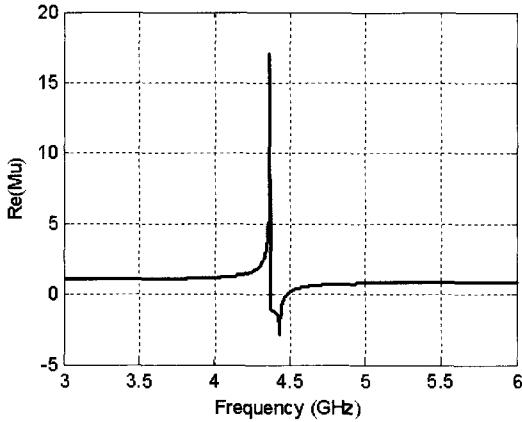


그림 5. 큰 SRR의 주파수에 따른 투자율 변화
Fig. 5. Relative permeability of large SRR as a function of frequency.

파수에서는 투자율이 음수가 되었다가 1보다 작은 양수로 바뀌었다. Magneto-dielectric material로 이용되는 주파수 범위는 투자율이 1보다 큰 값을 가지는 대역으로, SRR의 공진 주파수보다 낮은 주파수 대역이다.

그림 6에 작은 SRR의 특성을 나타냈다. 작은 SRR은 7.91 GHz에서 공진 특성을 나타내었으며, 투자율의 변화 양상은 큰 SRR과 동일하다.

IV. Magneto-Dielectric Material을 이용한 안테나의 소형화

CRLH-TL 안테나에 magneto-dielectric material을 사용하지 않은 경우와 사용한 경우에 대하여 안테나의 공진 주파수 변화를 살펴보았다. Feed line과 patch 사이는 0.3 mm의 간격을 두어 급전하였다.

CRLH-TL 안테나의 공진 모드 중 안테나에 주로 이용되는 모드는 -1차 공진 모드와 0차 공진 모드이다. 표 1을 보면 magneto-dielectric material을 사용한 경우가 사용하지 않은 경우에 비해 -1차 공진 모드와 0차 공진 모드에서 모두 주파수 감소 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. -1차 공진 모드의 경우 7.13%의 주파수 감소 효과를 얻을 수 있었고, 0차 공진 모드의 경우 23.9%의 주파수 감소 효과를 얻을 수 있었다. 이에 따른 안테나의 면적은 -1차 공진 모드에서 13.76, 0차 공진 모드에서 42.14%의 감

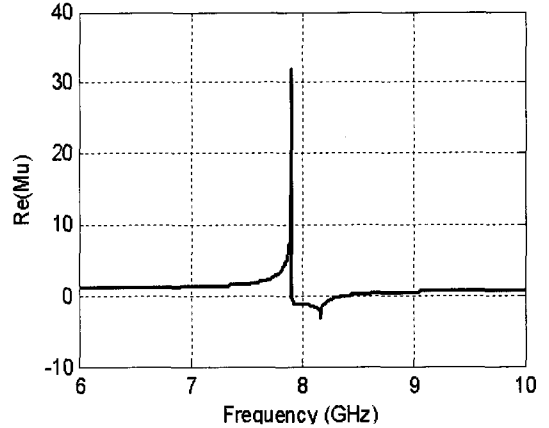


그림 6. 작은 SRR의 주파수에 따른 투자율 변화
Fig. 6. Relative permeability of small SRR as a function of frequency.

표 1. Magneto-dielectric material 사용 유무에 따른 안테나 공진 주파수 변화

Table 1. Variation of the resonant frequency of antenna with and without a magneto-dielectric material.

MDM 사용 유무	f_{-1} (GHz)	f_0 (GHz)
무	1.4224	2.0604
유	1.3209	1.5674
주파수 감소(%)	7.13	23.93
면적 감소(%)	13.76	42.14

소 효과를 얻을 수 있었다. -1차와 0차 모드에서 주파수와 면적의 감소 정도가 다른 이유는 투자율의 값이 SRR의 공진 주파수 근처에서 크고, 공진 주파수에서 멀어짐에 따라 감소하기 때문이다. 반사 손실 비교를 그림 7에 나타내었다.

안테나의 SRR과 via에 흐르는 전류와 안테나 내의 자계의 방향을 통해 투자율이 증가되는 것을 확인해 보았다. 0차 공진 모드에서 시뮬레이션을 통한 SRR의 surface current와 자계를 그림 8에 표시하였다. 그림 8(a)는 위에서 아래로 내려다 보았을 때 SRR의 윗면에 흐르는 전류의 모습과, 아래에서 위로 올려다 보았을 때 SRR의 아랫면에 흐르는 전류의 모습이다. 이때 안테나 내의 자계의 방향은 그림 8(b)와 같다. 보다 알아보기 쉽도록 그림 8(c)에 입체적으로 다시 나타냈다.

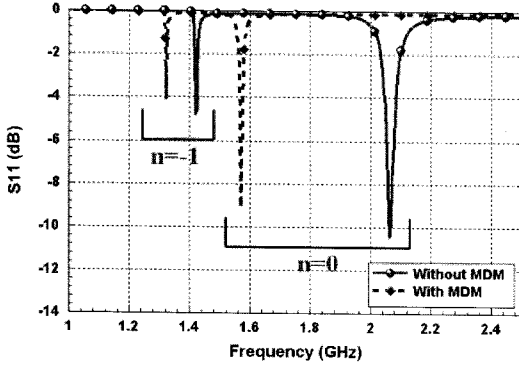


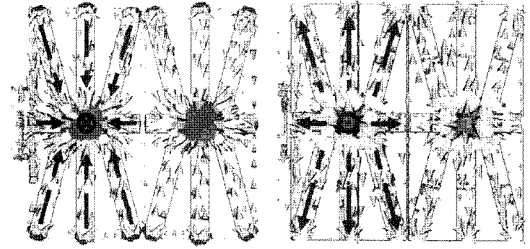
그림 7. Magneto-dielectric material 사용 유무에 따른 반사 손실 비교
Fig. 7. Reflection coefficient with and without a magneto-dielectric material.

그림 8을 보면 via의 전류는 patch에서 ground 방향으로 향하고 있고, 이때의 자계의 방향은 위에서 내려다보았을 때 시계 방향이 된다. 이때 SRR에 흐르는 전류의 방향을 보면, SRR에 의해 생기는 자계의 방향이 via에 의한 자계와 동일한 방향이 되도록 SRR에 전류가 흐르고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 강화된 자계에 의하여 투자율이 증가하게 되고 안테나의 공진 주파수가 감소하게 되는 것임을 확인할 수 있다.

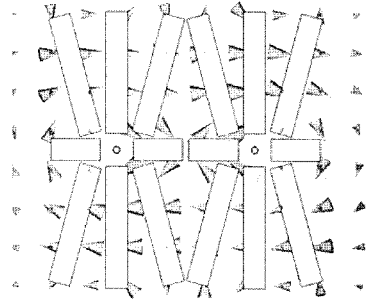
V. Zeroth-Order Resonant Antenna의 제작 및 측정

0차 공진 모드에서 동작하는 안테나를 제작해 보았다. Feed line과 patch 사이의 간격을 0.5 mm로 조절하여 안테나의 매칭을 이루었다. 제작된 안테나의 사진을 그림 9에 나타내었다.

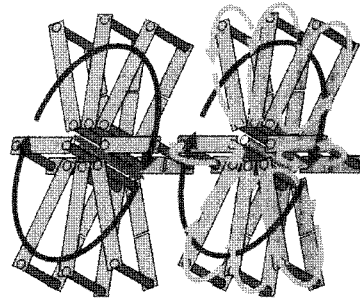
그림 10에 제안된 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 시뮬레이션과 측정된 반사 손실에는 차이가 나타나고 있음을 볼 수가 있는데 이는 안테나의 제작과정에서 생기는 오차로 볼 수가 있다. 안테나 제작시 위아래로 평면형인 SRR 구조로 인하여 via 부분이 조금 튀어 나오게 되고 따라서 기관 사이에 공극이 조금 발생하게 된다. 이러한 공극에 의한 오차 때문에 반사 손실에서 주파수 대역의 오차가 생긴 것이라 판단된다. 또한 여러 층을 쌓게 되므로 각 층의 정렬의 불일치에 따른 오차도 작용한 것으로 보



(a) SRR 윗면, 아랫면의 전류
(a) Current at upper and lower plane of SRR



(b) 자계의 방향
(b) Magnetic field



(c) 3차원 구조
(c) 3-dimensional view

그림 8. 0차 공진 모드에서 SRR과 via에 흐르는 전류와 안테나 내의 자계
Fig. 8. Current and magnetic field in antenna at zeroth-order resonant mode.

인다. 안테나의 시뮬레이션 공진 주파수는 1.5592 GHz 이고 대역폭은 1.557~1.5603 GHz(0.21%)이다. 측정된 안테나의 동작 주파수는 1.888 GHz이고, 대역폭은 1.883~1.892 GHz(0.48%)이다. 안테나의 크기는 $0.1575 \lambda \times 0.1575 \lambda \times 0.0162 \lambda$ 이다.

측정된 안테나의 방사 패턴을 그림 11에 나타내었다. 방사 패턴은 모노폴 방사 패턴을 나타낸다. 안테나의 gain은 0.534 dBi 이고 효율은 51.7%이다.

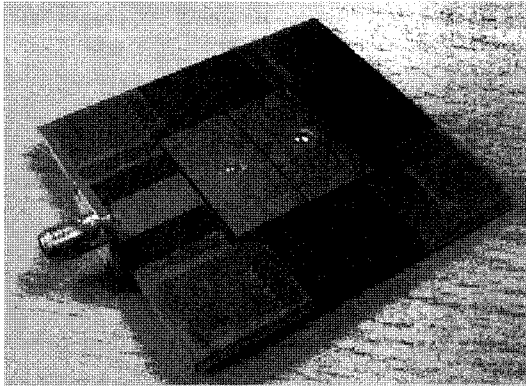


그림 9. 제작된 안테나
Fig. 9. Fabricated antenna.

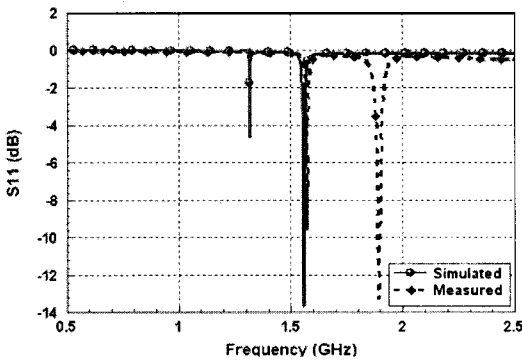
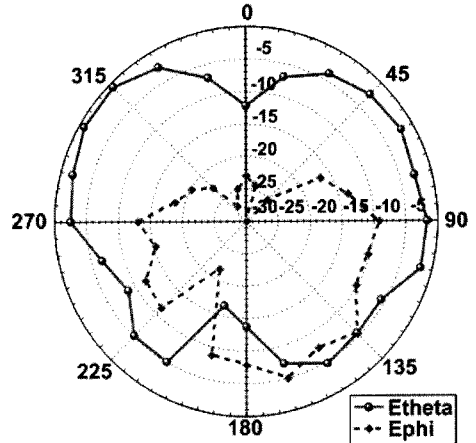


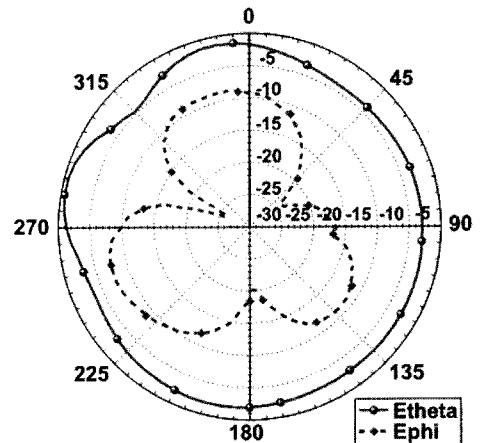
그림 10. 안테나의 시뮬레이션과 측정 반사 손실 비교
Fig. 10. Simulated and measured reflection coefficient of antenna.

VI. 결 론

본 논문에서는 CRLH-TL 안테나에 magneto-dielectric material을 이용하여 안테나의 크기를 감소시키는 방법을 제안하였다. 제안된 안테나는 patch와 via를 이용하여 구현한 CRLH-TL 안테나에 SRR을 이용하여 구현한 magneto-dielectric material을 장하한 구조이다. 시뮬레이션을 통해 SRR의 특성을 살펴보고 SRR이 있는 경우와 없는 경우의 안테나의 공진 주파수 비교를 통해 안테나의 공진 주파수가 감소함을 살펴보았다. -1차 공진 모드에서 7.13 %, 0차 공진 모드에서 23.9 %의 주파수 감소 효과를 얻을 수 있었다. 0차 공진 모드로 동작하는 안테나를 제작하여 반사 손실과 방사 패턴을 살펴보았다. 제작된 안테나의 공진 주파수는 1.888 GHz이며, 측정



(a) E-평면(x-z 평면)
(a) E-plane(x-z plane)



(b) H-평면(x-y 평면)
(b) H-plane(x-y plane)

그림 11. 제안된 안테나의 방사 패턴
Fig. 11. Radiation pattern of antenna.

된 대역폭은 0.48 %이고, 이득은 0.534 dBi, 효율은 51.7 %이다.

참 고 문 헌

[1] A. Lai, C. Caloz, and T. Itoh, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 3, Sep. 2004.
[2] A. Sanada, K. Murakami, I. Awai, H. Kubo, C. Caloz, and T. Itoh, "A planar zeroth-order resonator antenna using a left-handed transmission line", *34th European Microwave Conference*, Amsterdam, The

- Netherlands, pp. 1342-1344, Oct. 2004.
- [3] Anthony Lai, Kevin M. K. H. Leong, and Tatsuo Itoh, "Infinite wavelength resonant antennas with monopolar radiation pattern based on periodic structures", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 55, no. 3, Mar. 2007.
- [4] F. Qureshi, M. A. Antoniadis, and G. V. Eleftheriades, "A compact and low-profile metamaterial ring antenna with vertical polarization", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter*, vol. 4, pp. 333-336, 2005.
- [5] H. Mosallaei, K. Sarabandi, "Magneto-dielectrics in electromagnetics: concept and applications", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 52, no. 6, pp. 1558-1567, Jun. 2004.
- [6] K. Buell, H. Mosallaei, and K. Sarabandi, "A substrate for small patch antennas providing tunable miniaturization factors", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 1, Jan. 2006.
- [7] Mikko Karkkainen, Pekka Ikonen, "Patch antenna with stacked split-ring resonators as an artificial magneto-dielectric substrate", *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 46, no. 6, pp. 554-556, 2005.
- [8] Iftexhar O. Mirza, Shouyuan Shi1, Chris Fazi, Joseph N. Mait, and Dennis W. Prather, "A study of loop antenna miniaturization using split ring resonators", *2007 IEEE AP-S International Symposium*, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 1865-1868, Jun. 2007.
- [9] Yoonjae Lee, Simon Tse, Yang Hao, and Clive G. Parini, "A compact microstrip antenna with improved bandwidth using complementary split-ring resonator(CSRR) loading", *2007 IEEE AP-S International Symposium*, Honolulu, Hawaii, USA, pp. 5431-5434, Jun. 2007.

장 경 덕



2006년 2월: 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학사)
 2008년 2월: 포항공과대학교 전자 전기공학과 (공학석사)
 [주 관심분야] 마이크로스트립 안테나, Metamaterial 소형 안테나

김 재 희



2004년 8월: 고려대학교 전기전자 전과공학부 (공학사)
 2005년 3월~현재: 포항공과대학교 전자공학과 석·박사 통합과정
 [주 관심분야] 밀리미터파 빔 형성 안테나, 소형안테나, Metamaterials

김 기 호



2000년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2002년 2월: 단국대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2000년 1월~2004년 10월: (주)하이계인 안테나
2004년 11월~현재: (주)EMW Antenna

책임연구원

[주 관심분야] 소형안테나

박 위 상



1974년 2월: 서울대학교 공과대학 전자공학과 (공학사)
1982년 6월: University of Wisconsin-Madison 전자공학과 (공학석사)
1986년 8월: University of Wisconsin-Madison 전자공학과 (공학박사)
1976년 7월~1978년 11월: 삼성전자

공업주식회사

1984년 1월~1986년 8월: University of Wisconsin-Madison, TA 및 RA

1986년 8월~현재: 포항공과대학교 전자전기공학과 교수
[주 관심분야] Design of Microstrip Antennas, Full-Wave Analysis of Microstrip Structures, Design of Passive Microstrip Devices by Network Modeling, Measurement and Simulation of EMI/EMC for Cellular Phones

성 원 모



1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
1998년 6월~현재: (주)EMW Antenna

연구소장

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석