THE JOURNAL OF KOREAN INSTITUTE OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE. 2016 Apr.; 27(4), 350～357.

http://dx.doi.org/10.5515/KJKIEES.2016.27.4.350
ISSN 1226-3133 (Print) · ISSN 2288-226X (Online)

기생패치를 이용한 소형 뮤-제로 영차공진 안테나

Small Mu-Zero Zeroth Order Resonance Antenna with Parasitic Patch

엄귀섭 · 이창현 · 이재곤 · 이정해

Kwi Seob Um · Chang-Hyun Lee · Jae-Gon Lee · Jeong-Hae Lee

요 약

본 논문에서는 5.8 GHz에서 동작하는 기생패치를 이용한 소형 메타구조 기반의 뮤-제로 영차공진 안테나[1],[2]를 제안한다. 제안된 안테나는 뮤-네거티브(MNG: Mu-negative) 전송선로의 직렬 인덕턴스와 커패시턴스를 사용하는 뮤-제로 영차공진 안테나이며, 간단한 구조의 기생패치를 추가함으로써 직렬 커패시턴스를 증가시켜 소형화 하였다. 추가된 기생패치는 기존의 직렬 커패시턴스에 추가적인 병렬로 커패시턴스를 만들어 공진 주파수를 결정하는 직렬 커패시턴스를 등가적으로 증가시킨다. 기생패치는 HFSS[3]를 이용한 모의실험을 통하여 최적화되었다. 제안된 안테나는 0.59의 kr값을 가지며, 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 크기 대비 24 % 소형화 되었으며, 92 %의 효율과 6.57 dBi의 이득을 보였다. 최종 설계된 안테나는 제작 및 측정되었으며, 측정 결과는 모의실험 결과와 잘 일치함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a small mu-zero zeroth order resonance(ZOR) antenna[1],[2] based on meta structure is proposed using parasitic patch at 5.8 GHz. The mu-zero ZOR antenna is designed by utilizing the resonance of series inductance and capacitance of mu-negative transmission line and its size can be further reduced by a simple parasitic patch. The parasitic patch can increase series capacitance of mu-negative transmission line related to a resonant frequency. We have simulated and optimized dimension of the parasitic patch using Ansys commercial simulator(HFSS[3]). As a result, the antenna has the following characteristics: kr of 0.59, efficiency of 92 %, and gain of 6.57 dBi. Also, its size is reduced by 24 % compared to a conventional mu-zero ZOR antenna[1],[2]. The measured results are in good agreement with the simulated results.

Key words: Mu-Zero Resonance(MZR) Antenna, Zeroth-Order Resonance(ZOR), Small Antenna

Ⅰ. 서 론

지능화된 사물들이 인터넷에 연결되어 네트워크를 통해 사람과 사물, 사물과 사물 간에 소통하여 사물이 인간에 의존하지 않고 통신을 주고받는 의미의 사물인터넷(IoT: Internet of Things)은 최근 수년간 급속도로 퍼지고 있다. 2020년에 인터넷에 연결되는 사물에 수는 50억 개 이상이 될 것으로 전망되며, 약 3,000억 달러의 새로운 시장창출 효과가 예측되고 있다[4],[5]. IoT 기술을 실현하기 위해서는 사물에 쉽게 탑재가 가능한 저전력 통신소자의

「이 연구는 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013R1A2A2A05005640).」
「이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A6A1A03031833).」
홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)
· Manuscript received December 16, 2015 ; Revised March 9, 2016 ; Accepted March 22, 2016. (ID No. 20151216-097)
· Corresponding Author: Jeong-Hae Lee (e-mail: jeonglee@hongik.ac.kr)

ⓒ Copyright The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science. All Rights Reserved.

개발과 다양한 사물에 탑재된 다수의 통신소자로의 원활한 전력 공급을 위한 기술이 요구되고 있다. 이러한 상황에 맞추어 IoT 기기의 효율적인 전력 공급을 위한 방안으로 RF 무선전력전송 기술이 주목받고 있으며, 이를 모바일 기기에 적용하기 위한 통신소자와 무선전력전송 수신부의 소형화 연구가 활발히 진행되고 있다.

IoT용 통신소자와 무선전력전송 수신부의 소형화하여 모바일 기기의 한정된 공간을 효율적으로 사용하기 위한 방안으로 메타구조 안테나에 칩커패시턴스를 사용[6],[7]하거나 다층구조를 이용하여 커패시턴스[8]나 인덕턴스[9],[10]를 조절하는 방법이 제안되어 왔다. 그러나 이와 같은 방법들은 단가가 비싸고 구조가 복잡하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 단점의 보완을 위하여 기생패치를 이용한 소형 메타구조 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 MNG 전송선로의 직렬 인덕턴스와 커패시턴스를 사용하는 영차공진 안테나이다. 제안된 안테나는 간단한 구조의 기생패치를 추가함으로써 직렬 커패시턴스를 증가시켜 소형화 하였다. 지향성 방사패턴을 갖고 있어 원거리 RF 무선전력전송에 적합하다. 동일한 안테나의 면적에서 주파수가 높을 때 높은 전송 효율을 얻을 수 있으므로[11] ISM 대역인 5.8 GHz에서 동작하도록 설계하였다. 최종 설계된 안테나는 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 대비 24 % 소형화 되었으며, 92 %의 방사 효율과 6.57 dBi의 이득을 갖는다. 설계된 안테나는 HFSS[3]를 통해 최적화 되었으며, 제작 및 측정을 통해 그 성능을 검증하였다.

Ⅱ. 뮤-네거티브 전송선로와 뮤-제로 공진

$$\mu_{eff} = \frac{Z}{j\omega} = L_R - \frac{1}{\omega^2 C_L}$$
$$\epsilon_{eff} = \frac{Y}{j\omega} = C_R - \frac{1}{\omega^2 L_L} \quad (1)$$

$$\omega_{MZR} = \frac{1}{\sqrt{L_R C_L}} \quad (2)$$

그림 1(a)는 composite right- and left- handed(CRLH)[12] 전송선로이다. 그림 1(b)의 MNG 전송선로는 CRLH 전송선로와 다르게 직렬 커패시턴스의 삽입만으로 구현이 가능하다[1]. 전송선로에서 전파가 전파하기 위해서는 유효 투자율과 유효 유전율이 모두 양수이거나, 모두 음수이어야 한다. CRLH 단위구조를 이용하여 CRLH 전송선로의 유효 유전율과 유효 투자율을 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. MNG 전송선로에서 유효 투자율은 CRLH 전송선로와 동일하고, 유효유전율은 항상 양($\epsilon_{eff} = Y/j\omega = C_R$)이 되므로 뮤-네거티브 영역이 존재한다. MNG 전송선로에서 유효유전율이 C_R로 양수 값을 가지므로 유효 투자율이 양수일 경우에만 전파가 전파할 수 있다. MNG 전송선로에서 전파가 전파하는 주파수 범위는 CRLH 전송선로에서 유효 투자율과 유효 유전율이 양수일 때의 주파수 범위와 동일하며, CRLH 전송선로에서와 같이 영차공진 모드를 가질 수 있다. MNG 전송선로에서 영차공진 모드는 β가 0인 무한 파장 특성을 가지며, 전송선로의 양 끝을 접지하는 조건을 만족하여야 한다. 영차공진의 공진주파수는 직렬 인덕턴스와 직렬 커패시턴스에 의해 결정되며, 식 (2)와 같이 표현된다.

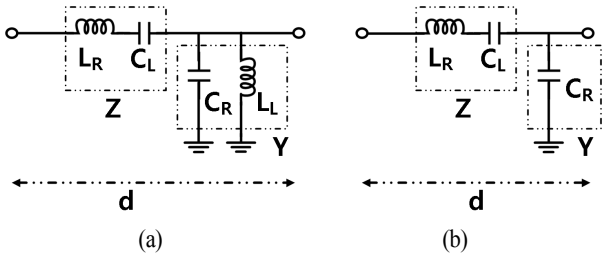


그림 1. CRLH 전송선로(a)와 MNG 전송선로(b)의 등가회로

Fig. 1. Equivalent circuit of composite right- and left- handed(CRLH) transmission line(a) and mu-negative(MNG) transmission line(b).

Ⅲ. 기생패치를 이용하여 소형화한 뮤-제로 영차공진 안테나의 원리와 구조

그림 3은 제안된 안테나의 구조를 보여준다. 이 안테나는 영차공진 모드를 이용하므로 안테나의 소형화를 위하여 단위셀을 한 개만 사용하였다[1]. 안테나는 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 구조의 양옆에 패치 형태의 기생패치를 추가한 구조이다. 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 구조의 전류는 그림 2와 같이 접지면을 포함하여 전류의 경로가 작은 루프처럼 흐르게 된다. 여기에 기생패치를 배

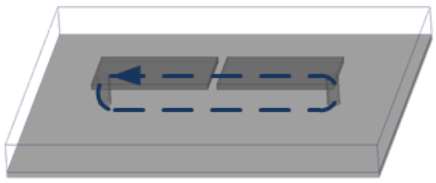


그림 2. 기존 뮤-제로 영차공진 안테나의 전류 경로
Fig. 2. Current path of conventional mu-zero resonance antenna.

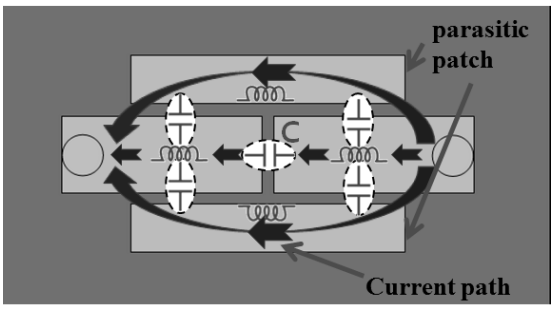


그림 3. 기생패치를 가지는 뮤-제로 영차공진 안테나의 구조와 전류 경로
Fig. 3. Structure and current path of mu-zero resonance antenna with parasitic patch.

치함으로써 그림 3과 같이 전류가 흐르는 경로를 추가시킬 수 있다. 이는 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 구조에서 갭(Gap)에 의해 생기는 직렬 커패시턴스에 병렬로 커패시턴스를 추가하는 효과를 주어 뮤-제로 영차공진주파수에 직접적인 영향을 미치는 직렬 커패시턴스의 크기를 증가시킴으로써 공진주파수는 내려가게 되어 안테나를 소형화할 수 있다.

그림 4는 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 구조에 본 논문에서 제안한 기생패치의 유무에 따른 공진주파수를 반사계수로 보여주고 있다. 이를 통해 논문에서 제안하는 기생패치를 이용하여 공진주파수를 낮춤으로써 안테나를 소형화됨을 확인할 수 있다.

제안된 안테나가 영차공진을 가지는지 확인하기 위해 제안된 기생패치를 갖는 뮤-제로 영차공진 안테나의 단위 구조의 분산곡선을 구하였다. 그림 5와 같이 제안된 기생패치를 갖는 구조가 MNG 전송선로의 특성을 유지하며, 5.6 GHz에서 영차공진이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 제안된 안테나의 공진주파수인 5.8 GHz와

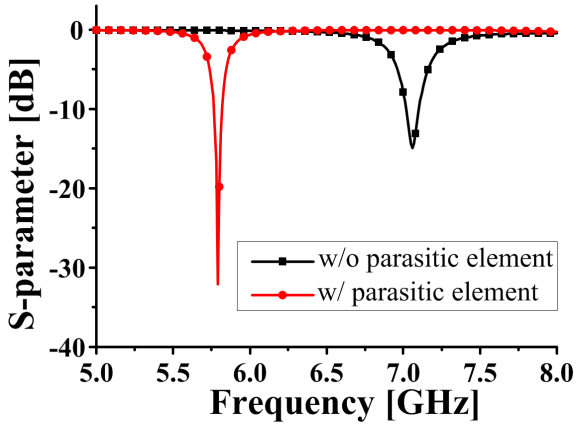


그림 4. 기생패치의 유무에 따른 공진주파수의 변화
Fig. 4. Resonance frequency w/ and w/o parasitic patch.

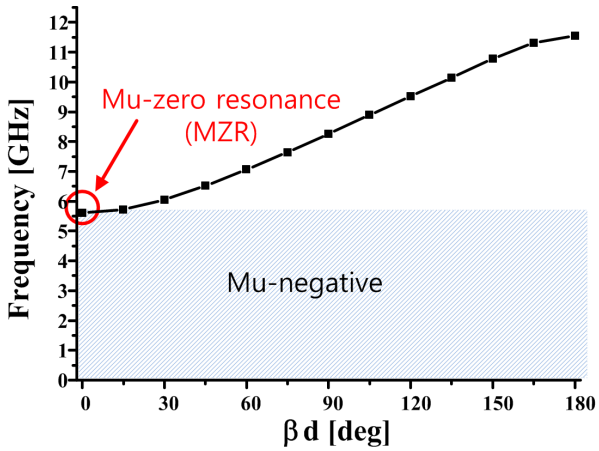


그림 5. 분산곡선
Fig. 5. Dispersion curve.

잘 일치함을 볼 수 있다.

Ⅳ. 기생패치를 이용한 소형 뮤-제로 영차공진 안테나 설계

4-1 파라메타 연구

그림 6은 제안된 안테나의 구조를 보여준다. MNG 전송선로의 폭(W)이 증가하게 되면 직렬 인덕턴스는 감소하고, 직렬 커패시턴스는 증가하게 된다. 폭이 증가할 때, 직렬 커패시턴스의 증가 폭은 직렬 인덕턴스의 감소폭보다 커서 뮤-제로 영차공진 안테나의 영차공진주파수는

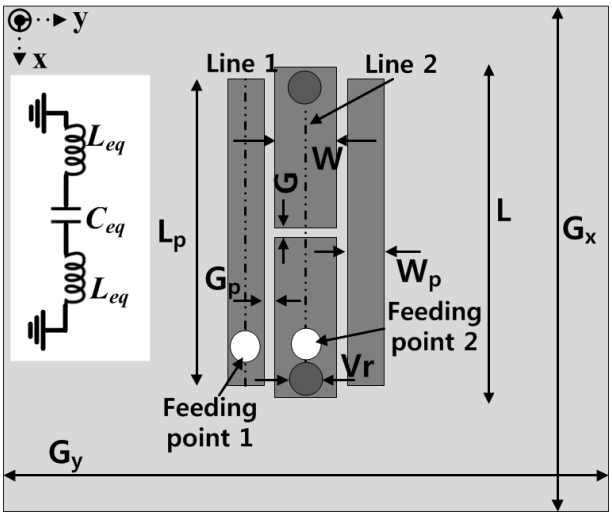


그림 6. 제안된 안테나의 구조와 등가회로
Fig. 6. Structure and equivalent circuit of the proposed antenna.

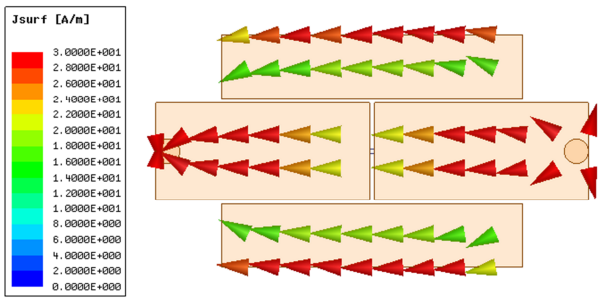


그림 7. 제안된 안테나의 전류분포
Fig. 7. Current distribution of proposed antenna.

감소하게 된다. 이는 제안된 안테나에서도 동일한 특성을 나타낸다.

그림 7은 제안된 안테나의 전류분포를 나타내며, 이를 통해 기생패치를 포함한 제안된 뮤-제로 영차공진 안테나는 기생패치 부분에 더 큰 전류가 흐르는 것을 확인할 수 있다. 따라서 영차공진 주파수를 결정하는데 있어 기생패치의 인덕턴스 값의 영향이 크며, 기생패치의 폭인 W_p을 변화시킴으로써 기생패치의 인덕턴스 조절이 가능하다.

기생패치의 폭(W_p)이 감소하면 W가 감소할 때와 마찬가지로 기생패치의 인덕턴스가 커지며, 등가적인 직렬 인덕턴스의 증가로 영차공진 주파수는 낮아지게 된다.

기생패치와 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 구조 사이의 간격인 G_p를 변화시킴으로써 기존의 커패시턴스에 기생패치로 인하여 병렬로 추가된 커패시턴스의 크기를 조절할 수 있다. G_p의 크기를 줄이게 되면 병렬로 추가된 커패시턴스의 크기가 증가해 등가적인 전체 직렬 커패시턴스(C_{eff})는 증가하게 되며, 영차공진주파수는 낮아진다.

기생패치의 길이인 L_p를 변화시켜 기생패치의 인덕턴스를 조절 할 수 있으며, L_p를 증가시키게 되면 기생패치의 인덕턴스가 증가하게 되어 등가적인 인덕턴스(L_{eff})가 증가하여 영차공진 주파수는 낮아진다.

4-2 임피던스 정합

그림 8은 Line 1과 Line 2에서의 위치에 따른 입력 임피던스의 실수 값이다. Line 1에서의 스케일은 Ω이고, Line 2에서의 스케일은 $k\Omega$인 것을 알 수 있다. 동축선 급전을 통한 50Ω 정합이 가능한 지점은 그림 6에 1번과 2번으로 표시하였다. 2번 위치는 비아(via)홀과 인접하여 제작상의 어려움이 있고, 위치에 따른 임피던스의 변화폭이 매우 커 정확한 임피던스 정합에 어려움이 있어 1번 위치를 급전점으로 사용하였다.

4-3 접지면 크기 최적화를 통한 이득 개선

접지면 크기를 최적화하여 안테나로부터 발생한 표면

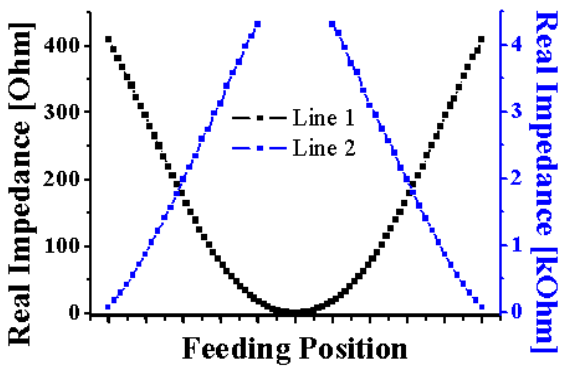


그림 8. Line 1과 Line 2의 위치에 따른 입력 임피던스
Fig. 8. Input impedance at position of Line 1 and Line 2.

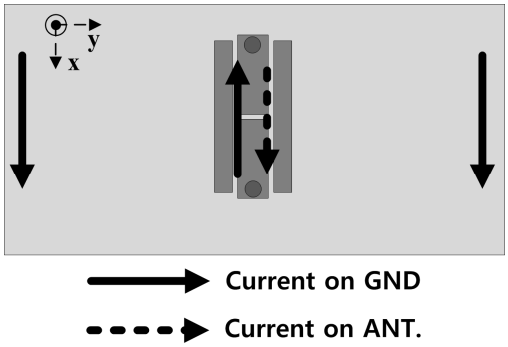


그림 9. 안테나와 접지면에서의 전류 방향
Fig. 9. Current vector on antenna and ground.

파의 모서리 방사를 이용하면 안테나의 이득을 추가적으로 증가시킬 수 있다. 그림 9는 제안된 안테나가 접지면의 중앙에 위치한 모양을 나타낸다. 뮤-제로 영차공진 안테나 면에서의 전류가 $+x$ 방향으로 흐를 때 뮤-제로 영차공진 안테나는 작은 루프안테나와 같이 전류를 루프를 형성하게 되므로 접지면의 전류의 방향은 $-x$ 방향이 된다. 그림 10(a)에서 보면 y 방향으로 접지면의 크기가 커지면 안테나의 이득은 한 점에서 최고점을 지나 다시 감소하는 경향을 보이게 된다. 안테나로부터 접지면의 끝까지의 거리가 $\lambda_0/2$일 때 최대 이득 특성을 보인다. 이는 t=0일 때 안테나의 접지면으로부터 발생한 $+x$ 방향의 전류가 $t=T/2$일 때 $\lambda_0/2$만큼 이동하여 접지면의 끝에서 모서리방사를 통해 $+x$ 방향의 전계를 형성하게 되고, 이때 안테나에서 방사되는 $+x$ 방향의 전계에 보강되어 이득이 개선된 것이다.

그림 10(b)에서는 x축 방향으로 접지면의 크기를 증가시켜 일정 크기 이상이 되면 더 이상 증가되지 않는 것을 확인할 수 있다. y축으로 접지면의 크기를 늘릴 때와는 다르게, 이는 y축과 수평한 접지면 양 끝 면에 모서리방사를 통해 방사되는 전계는 안테나의 전계 방향인 x방향이 아닌 z방향을 가지므로, 일정 크기 이상의 접지면 크기가 확보된 상태에서는 안테나의 이득에 영향을 주지 않는 것을 확인할 수 있다.

4-4 기존 안테나와 제안된 안테나의 비교

표 1은 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나와 제안된 안테나의 성능을 비교한 것이다. 제안된 뮤-제로 영차공진 안테나는 기생패치를 이용하여 기존 뮤-제로 영차공진 안테나 구조에서 갭(gap)에 의해 생기는 직렬 커패시턴스에

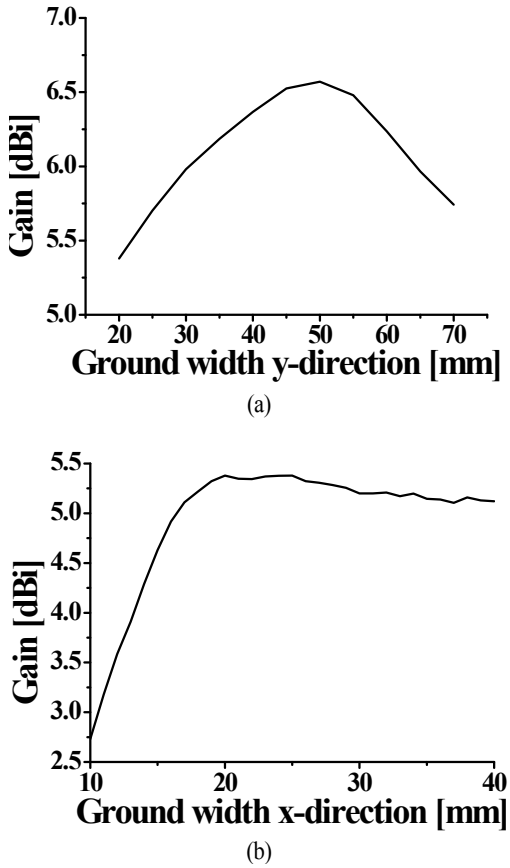


그림 10. (a) 접지면을 y방향으로 증가시킴에 따른 이득 변화, (b) 접지면을 x방향으로 증가시킴에 따른 이득 변화
Fig. 10. (a) Gain versus ground y size, (b) Gain versus ground x size.

표 1. 기생패치 유무에 따른 안테나의 성능비교
Table 1. Comparison of antenna w/ and w/o parasitic patch.

Parasitic patch	f_0 [GHz]	kr	Gain [dBi]	Bandwidth [%]	Efficiency [%]	Ground size [mm^2]
w/o	5.8	0.78	5.08	2.07	94.8	20×20
w/	5.8	0.59	5.38	1.55	95.1	20×20
w/ + GND opt.	5.8	0.59	6.57	1.21	92	24×40

병렬로 커패시턴스를 추가하는 효과를 주어 직렬 커패시턴스의 크기를 증가시킴으로써 안테나를 소형화되었다. 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나의 경우, 제안된 안테나와 동일한 공진주파수를 가지기 위해 낮은 직렬 커패시턴스를 극복하고, 높은 직렬 인덕턴스를 얻기 위해 안테나의 길이가 길어짐으로 kr이 0.78임을 확인할 수 있다. 이때의 이득은 5.08 dBi, 비대역폭은 2.07 %, 효율은 94.8 %로 확인되었다. 이에 기생패치를 추가함으로써 얻어지는 안테나는 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나에 비해 kr이 24 % 감소한 0.59로 확인되었다. 이득은 5.38 dBi로 증가하였고, 비대역폭과 효율이 각각 1.55 %와 95.1 %로 확인되었다. 접지면의 크기를 최적화시켜 안테나로부터 발생한 표면파의 모서리방사를 이용하면 이득이 6.57 dBi로 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나에 비해 1 dBi 이상 증가시킬 수 있다. 비대역폭은 1.21 %로 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나의 비대역폭을 유지함을 알 수 있다. 효율은 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나에 비해 소폭 감소된 92 %로 확인되었다.

Ⅴ. 시뮬레이션 및 측정 결과

제안된 안테나를 제작하여 그 특성을 확인하였다. 제작된 안테나는 L=9 mm, L_p=8.5 mm, W=2.1 mm, W_p=1 mm, V_r=0.6 mm, G=0.125 mm, G_p=0.125 mm이며, 기판은 1.57 mm 두께의 RT/duroid 5880을 사용하였고, 기판의 유전율은 2.2이며, tanδ는 0.0009이다. 그림 11은 모의실험과 측정을 통해 확인한 반사계수를 보여준다. 10 dB 비대역폭은 모의실험 값과 측정값이 각각 1.21 %와 1.21 %로 매우 일치함을 확인할 수 있다. 그림 12(a)와 (b)은 제안된 안테나의 E-plane과 H-plane의 방사패턴 특성을 보여주며, 안테나의 최고 이득은 그림 12에 모의실험 값과 측정값이 각각 6.57 dBi와 5.94 dBi로 나왔다.

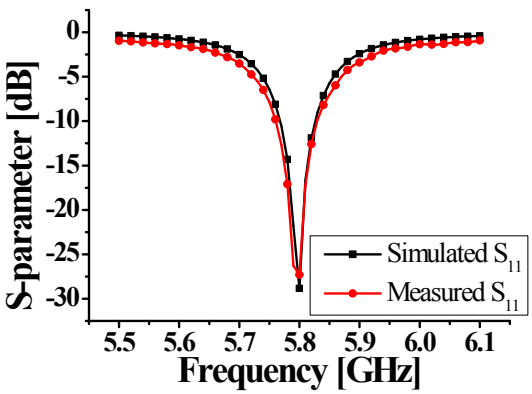
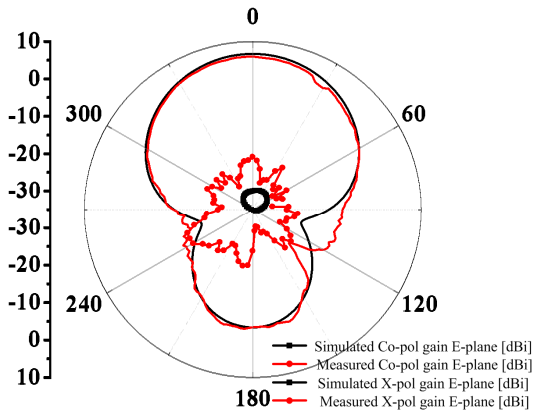
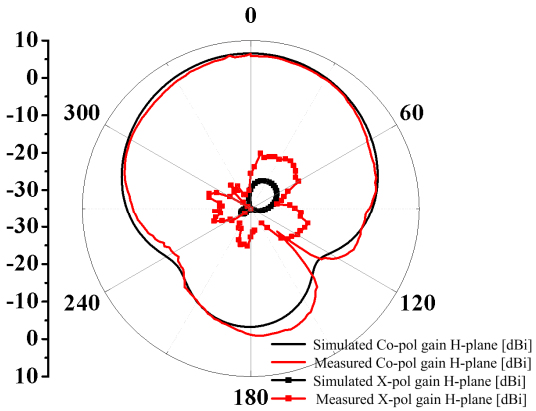


그림 11. 제안된 안테나의 반사계수
Fig. 11. *S*-parameter of proposed antenna.



(a) E-plane



(b) H-plane

그림 12. 방사패턴 측정결과
Fig. 12. Measurement results of radiation pattern.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 기생패치를 이용한 소형 뮤-제로 영차공진 안테나를 제안하였다. 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나의 양옆에 기생패치를 추가하여 기존의 뮤-제로 영차공진 안테나에서 추가적인 소형화를 하였다. 기생패치

는 파라미터 스터디를 통하여 최적화 하였고, 추가적으로 접지면의 효과에 대한 스터디를 통해 그 크기를 최적화 함으로써 안테나의 이득을 추가적으로 개선하였다. 제안된 안테나는 제작되어 측정되었으며, 모의실험 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다. 기존의 안테나보다 소형화된 장점을 가지고 있어 추후 사물인터넷을 위한 근거리 통신용 안테나 또는 원거리 무선전력전송용 안테나와 같은 응용분야에 활용되어질 것으로 사료된다.

References

[1] Jae-Hyun Park, Young-Ho Ryu, and Jeong-Hae Lee, "Mu-zero resonance antenna" *IEEE Transaction on Antennas and Propagation*, vol. 58, no. 6, pp. 1865-1875, Jun. 2010.

[2] A. Sanada, C. Caloz, and T. Itoh, "Novel zeroth-order resonance in composite right/lefthanded transmission line resonators", *Asia-Pacific Microwave Conference*, vol. 3, 1588-1591, 2003.

[3] Ansoft HFSS, by Ansoft Corporation, http://www.ansoft.com, commercially licensed software.

[4] D. Evans, "The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything", *Cisco Internet Business Solution Group*, Apr. 2011.

[5] The Internet of Things, Worldwide, Gartner, Inc. 2013. 11.

[6] Byung-Chul Park, Jeong-Hae Lee, "Circularly polarized antenna based on mu-negative transmission line", *EuCAP 2014*, Apr. 2014.

[7] Gunyoung Kim, Bomson Lee, "Metamaterial-based zero-th-order resonant antennas for MIMO applications", *Journal of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 13, no. 3, 195-197, 2013.

[8] Seyed Mohammad Saeed Majedi, Amir Reza Attari, "A compact MIM zeroth order resonator antenna", *5th International Symposium on Telecommunications(IST)*, 2010.

[9] Seung-Wook Lee, Jeong-Hae Lee, "Electrically small MNG ZOR antenna with multi-layered conductor", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 9, pp. 724-727, Jul. 2010.

[10] 박재현, 류영호, 김동진, 추호성, 이정해, "메타물질 전송선로를 이용한 소형 나선 구조 Zeroth-order resonance 안테나", 전자공학회논문지, 44 TC(7), pp. 1-6, 2007년 7월.

[11] C. Balanis, *Antenna Theory, Analysis, and Design*, 3rd ed. New York: Wiley, 2005.

[12] A. Lai, T. Itoh, and C. Caloz, "Composite right/left-handed transmission line metamaterials", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 34-50, 2004.

엄 귀 섭

2014년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2016년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
2016년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] Metamaterial 안테나 및 RF 소자

이 창 현

2013년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2015년 2월: 홍익대학교 전자정보통신공학과 (공학석사)
2015년 3월~현재: 홍익대학교 전자정보통신공학과 박사과정
[주 관심분야] Metamaterial 안테나 및 RF 소자

이 재 곤

1999년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학사)
2001년 2월: 홍익대학교 전자전기공학부 (공학석사)
2007년 2월: 홍익대학교 전파통신공학과 (공학박사)
2007년 3월~2015년 8월: LG전자 MC연구소 책임연구원
2015년 9월~현재: 홍익대학교 메타물질전자소자센터 연구교수
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 회로 설계, Meta Material 안테나 및 RF 소자, 모바일 안테나

이 정 해

1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1988년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1996년 3월: UCLA 전기공학과 (공학박사)
1993년 3월~1996년 2월: General Atomics 교환연구원
1996년 3월~1996년 8월: UCLA 전기공학과 Postdoctor
1996년 9월~현재: 홍익대학교 전자전기공학부 교수
[주 관심분야] 마이크로파 및 밀리미터파 소자, 안테나, Metamaterial RF 소자, 무선전력전송