

# CRLH-TL을 이용한 2.45GHz 무선랜용 ZOR 안테나 설계

## Design of ZOR antenna for 2.45GHz WLAN using CRLH-TL

김승환\*, 유진하\*, 이영순\*\*

Seung-Hwan Kim\*, Jin-Ha Yu\*, and Young-Soon Lee\*\*

### 요 약

본 논문은 CRLH-TL(composite right left handed transmission line) 메타물질을 이용하여 2.45GHz 무선랜용 ZOR(zeroth order resonance) 안테나를 설계하는 것이다. 일반적으로 안테나는 파장에 대비한 선로의 길이에 따라 공진주파수가 결정되지만 ZOR 안테나는 파장의 길이와 상관없이 안테나의 공진주파수를 결정한다. 그러므로 소형화 할 수 있는 장점이 있으며 방사패턴 또한 등방성의 방사패턴을 가지는 장점이 있다. ZOR 안테나를 설계하기 위해 먼저 단위 셀 길이를  $\lambda/4$ 의 길이보다 작도록 조정하여 균질한 매질 특성을 가질 수 있도록 하였다. 제안된 안테나는 공진 주파수의 감소와 대역폭의 증가를 위하여 CPW 급전을 사용하였고, 기존의 mush-room 형태의 CRLH-TL 보다 높은 인덕턴스와 낮은 캐패시턴스를 얻기 위하여 방사패치와 접지면 사이에 단락 스티브가 사용 되었다.

### Abstract

ZOR(zeroth order resonance) antenna for 2.45GHz WLAN(wireless local area network) is designed by use of CRLH-TL(composite right left handed transmission line) meta-material. The electrical length of conventional antennas is determined generally according to the resonant frequency, whereas that of ZOR antenna can be determined without reference to the resonant frequency. Therefore ZOR antenna has advantage in miniaturization of antenna in comparison with conventional antennas. In order to design such ZOR antenna, first unit cell with electrical length shorter than a quarter wavelength at 2.45GHz is designed to the some characteristics of homogeneous medium. In order to decrease resonant frequency and enhance frequency bandwidth, the proposed antenna is fed by CPW(co-planar waveguide) and short stub between radiation patch and ground plane is used for obtaining both higher inductance and smaller capacitance than previous mush-room type of CRLH-TL.

Key words : ZOR antenna, wireless LAN, CRLH-TL, CPW-fed

### I. 서 론

최근 통신기술 발달로 인해 휴대용 디지털 통신기기는 추가적인 주변 기기의 구성이 없어야 하고 작은

---

\* 금오공과대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

\*\* 금오공과대학교 전자공학부(School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 제1저자 (First Author) : 김승환

· 투고일자 : 2012년 9월 24일

· 심사(수정)일자 : 2012년 9월 24일 (수정일자 : 2012년 10월 26일)

· 게재일자 : 2012년 10월 30일

크기를 가지면서도 다양한 기능을 제공하여야 한다. 이러한 소형화 설계 때문에 안테나의 물리적 크기는 점점 작아지고 통신 기기의 내부에 실장 되어야 한다. 때문에 안테나는 주변의 간섭을 많이 받게 되고 물리적 크기에 의존하는 안테나 성능은 점점 좋은 성능을 발휘하기 어려운 환경이 되었다. 그럼에도 최근 휴대용 디지털 통신기기들의 안테나는 다양한 서비스를 제공해야 한다. 최근 이동 통신 기기로 부각되어지고 있는 장치로는 스마트폰이 있으며 세계 모바일 시장 조사전문기관인 M:Metrics에 따르면 스마트폰 사용자 수는 전체 이동통신 서비스 가입자 중 큰 비중을 차지하지는 못하고 있지만 스마트폰 보급이 지속적으로 증가하고 있으며 또한 대부분의 스마트폰 사용자들이 무선 콘텐츠를 이용하고 있는 것을 보여준다. 국내에서도 2012년 상반기 기준 약 3000만명의 스마트폰 사용자가 있으며 이러한 스마트폰의 보급으로 인해 이에 적용될 안테나의 개발은 중요한 이슈로 대두되고 있다. 휴대폰 뿐 만 아니라 다양한 분야에서 무선 통신 기술을 응용하여 생활의 편리함을 추구할 수 있는 서비스들이 늘어나고 있고 이동성, 휴대성, 간편성 등의 이점으로 무선통신 기기가 경량화 되는 추세이기 때문에 적은 공간을 차지하는 안테나의 개발 또한 요구되고 있다. 이러한 경향을 따라서 CRLH-TL(Composite Right Left Handed - Transmission line)등의 구조를 이용한 ZOR(Zeroth Order Resonance) 안테나가 큰 관심을 받고 있다[1]. CRLH-TL은 자연적으로 존재하지 않는 전자기 특성을 갖는 물질을 인공적으로 만들어 내는 기법이며 특정 주파수 대역에서 유전율과 투자율을 음의 값을 갖도록 하는 것이다. 이때 위상 속도는 군 속도의 진행 방향과 반대가 되며 이 새로운 특성을 이용하여 물리적 크기에 제약을 받지 않는 소형 안테나의 설계가 가능하다[1][2][3]. 이러한 기법은 구조를 변화시켜 특정 주파수 대역에서 균질 매질로 동작하도록 하여 병렬 인덕턴스와 직렬 커패시턴스로 구현하고 ZOR의 물리적 현상과 특성을 얻을 수 있도록 하는 것이다. 또한 ZOR 안테나는 일반적인  $\lambda/2$ 길이의 안테나보다 스마트폰이나 리모컨 중계기에 적용 하였을 때 주변 기기로부터의 영향을 상대적으로 받는데 이것은 ZOR 안테나가 위상이 아닌  $L_L$ 와  $C_L$ 값에 의해 공진 주파수가 결정되기 때문이다. 이러한 기법으로 구현하게 되면 안테나의 공진 주파수를 안테나 크기와 무관하게 정할 수 있으므로 주파수에 관계없이 소형화

시킬 수 있다[4].

본 논문에서는 CRLH-TL을 이용한 2.45GHz 무선 랜 용 ZOR 안테나의 설계 방법에 대해 알아보고자 한다. 앞서 살펴보았듯이 공진 길이에 관계없이 안테나를 소형화시킬 수 있는 특징을 고려하여 안테나를 설계하였다. 또한 CPW 급전 구조를 사용하여 기존의 버섯구조 급전방식보다  $C_R$ 성분이 감소 되었으며 이로 대역폭의 증가 효과를 얻게 되었으며 바닥기생패치와 T 매칭 스텝을 사용하여 임피던스 매칭을 유도하였다[5]. 안테나 설계를 위해서 모의실험용 소프트웨어인 CST MWS가 이용되었고, 제작된 안테나의 반사손실(return loss) 및 방사패턴(radiation pattern) 측정 결과를 모의실험 결과와 비교하여 나타내었다. 본 논문에서 제안한 안테나는 기존 ZOR 안테나에서 무선 LAN용에 사용가능한 안테나 설계를 위해 구조적 변형을 가져 왔다.

## II. 본 론

### 2-1 ZOR 안테나 관련이론

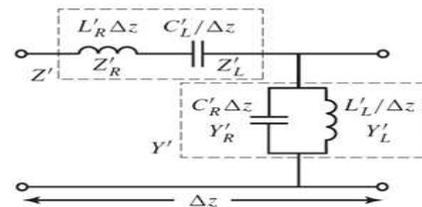


그림 1. CRLH 등가회로

Fig. 1. Equivalent circuit model of the CRLH

그림1과 같이 CRLH 전송선로는 직렬로  $L_R$  성분과  $C_L$  성분으로 되어 있으며 병렬로  $L_L$  성분과  $C_R$  성분으로 구성되어 있다. 각각의 인피던스와 어드미턴스를 식(1), (2)에 나타내었다.

$$Z' = j \left( \omega L'_R - \frac{1}{\omega C'_L} \right) \tag{1}$$

$$Y' = j \left( \omega C'_R - \frac{1}{\omega L'_L} \right) \tag{2}$$

식(1), (2)을 이용하여 직렬공진과 병렬공진을 정의 하면 식(3), (4)와 다음과 같다.

$$\omega'_{se} = \frac{1}{\sqrt{L'_R C'_L}} \text{ [rad/s]} \quad (3)$$

$$\omega'_{sh} = \frac{1}{\sqrt{L'_L C'_R}} \text{ [rad/s]} \quad (4)$$

또한 telegraph 방정식[6]을 통하여 전파상수의 해를 구할 수 있으며 아래 식(5),(6),(7),(8)을 통해 얻을 수 있다.

$$\gamma = \alpha + j\beta \quad (5)$$

$$= js(\omega) \sqrt{\left(\frac{\omega'}{\omega_R}\right)^2 + \left(\frac{\omega'_L}{\omega}\right)^2 - \kappa \omega'^2} \text{ [m}^{-1}\text{]}$$

$$\kappa = L'_R C'_L + L'_L C'_R \quad (6)$$

$$\omega'_R = \frac{1}{\sqrt{L'_R C'_R}} \text{ [rad m/s]} \quad (7)$$

$$\omega'_L = \frac{1}{\sqrt{L'_L C'_L}} \text{ [rad m/s]} \quad (8)$$

식(5)에서 루트 안에 있는 식에 식(6),(7),(8)을 대입하여 합한 결과는 음수 또는 양수가 될 수 있으며 이때 음수가 될 경우 전파상수는  $\alpha$ 가 되어 전파는 진행되지 않게 되고  $\beta = 0$ 이 되어 0차공진이 발생하게 된다. 이것으로 그림 2와 같이  $\beta$ 에 대한  $\omega$ 의 변화를 알 수 있다.

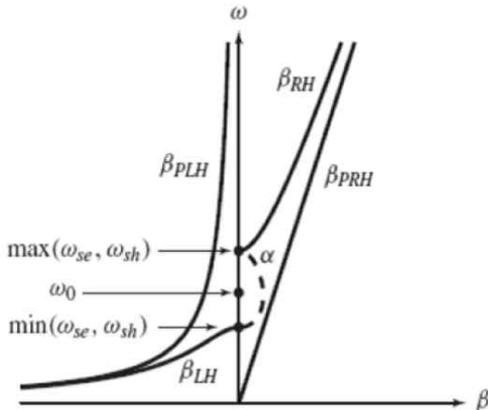


그림 2. CRLH 분산곡선 그래프  
Fig. 2. Dispersion Diagram of CRLH

그림 2와 같이 직렬 공진점과 병렬 공진점이 다를

때에는 2개의 0차 공진의 발생을 확인 할 수 있으며 동일한 경우에는 1개의 0차 공진이 발생하게 된다 [7][8][9].

### 2-2 CPW급전 ZOR 안테나 설계

그림 3은 0차 공진을 가지는 ZOR 안테나에 대해 연구하고자하는 안테나 구조로 이 구조를 기본으로 2.45GHz 무선랜용 ZOR 안테나를 설계하였다[7][8].

ZOR 안테나 사양은 PCB 두께 1.6mm에 유전율 4.3의 FR4 에폭시 기판을 사용하였고 PCB 전체 크기는 가로×세로 = 24.2mm×28mm 이며 여기서 안테나의 공간은 22.2mm×14mm이다. 신호는 CPW(Co Planar Waveguide) 급전을 통해 인가하였고, 50Ω 매칭을 위하여 바닥면의 그라운드 패치와 T형 매칭 스텝을 적용 하였다.

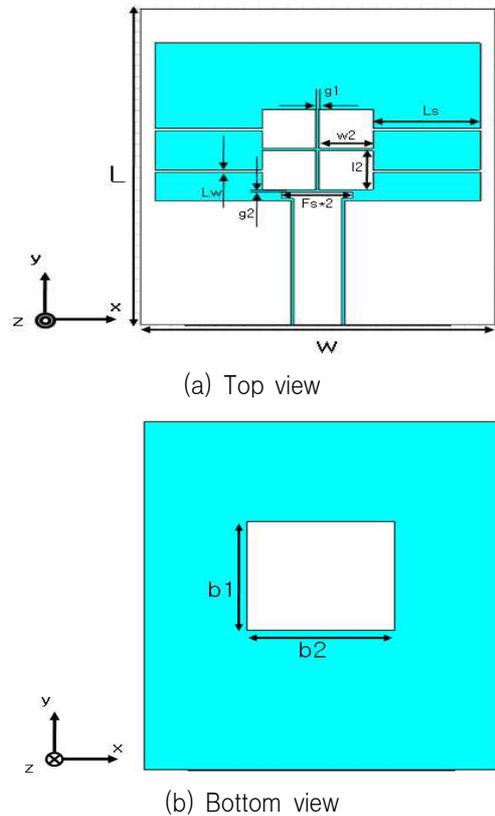
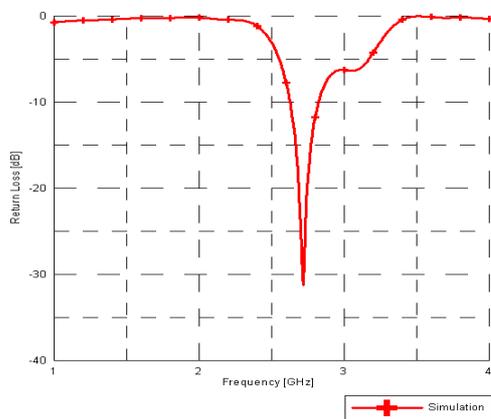


그림 3. CPW급전 ZOR 안테나 구조  
Fig. 3. Structure of the ZOR antenna by CPW-Fed

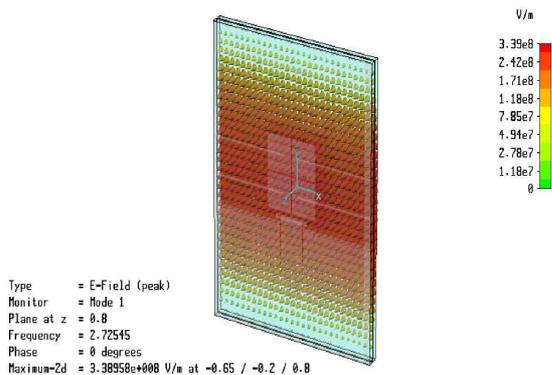
그림 3의 ZOR 안테나는 윗면 방사패치로부터 그라운드까지의 병렬 스텝으로  $L_L$ 값을 얻으며 윗면의

각 방사패치간의 간격에 의해  $C_L$  값을 얻어 CRLH 특성을 가진다. 일반적으로 사용되는 CRLH 구조는 벙그리 구조이며 이와 같은 구조는 고정적인 비아의 길이로 제한적인  $L_L$  값을 가지게 되지만 CPW 급전 구조는 그림 1의 Top면에서 보는 것과 같이 방사패치와 그라운드 사이의 선트 스텝의 길이의 조정이 가능하므로 큰  $L_L$  값을 가지게 된다. 안테나의 임피던스 매칭을 위해 급전선의 종단의 T형 매칭 스텝과 방사패치 사이의 간격을 조절하여 정합을 유도한다. 이 사이의 약간의 오차에도 안테나의 임피던스가 크게 변하기 때문에 제작 시 주의가 필요하다.

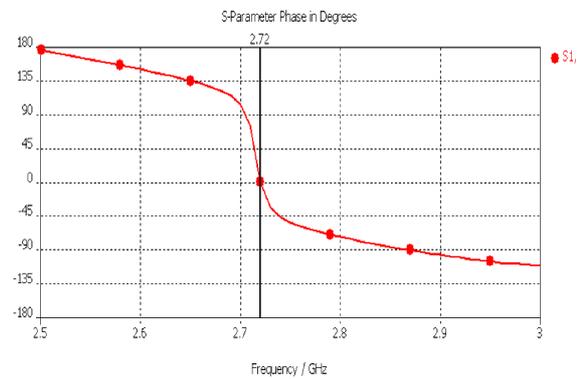
ZOR 안테나의 0차공진 특성을 확인하기 위해서 고유치 모드에서의 0차공진 발생과 공진 발생 점에서의 위상 특성에 대해 그림 4에 나타내었다.



(a) S 파라미터



(b) 고유치 모드



(c) 위상 특성

그림 4. ZOR 안테나의 S 파라미터 및 0차공진 특성  
Fig 4. S-Parameter and feature the ZOR antenna

그림(a)의 S 파라미터 그래프를 보면 2.72GHz에서 주 공진이 발생하였고 고유치 모드에서의 전계 분포는 그림 4 (b)와 같이 유니폼하여 2.72GHz에서의 공진이 0차 공진임을 확인하였다. 위상 특성에서도 2.72GHz에서 CRLH의 비선형 적인 위상특성을 가지는 것을 확인 하였다.

### 2-3 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나 설계

먼저 병렬공진으로 인한 0차공진 발생을 확인하기 위해  $L_s$ 의 길이에 따라 생기는 공진 포인트를 그림 5에 나타내었다.

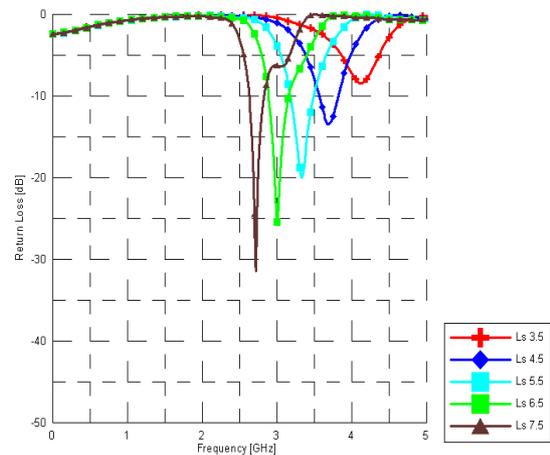


그림 5.  $L_s$  길이에 따른 S파라미터  
Fig. 5. S-Parameter by  $L_s$  Length

그림 5와 같이  $L_s$ 의 길이가 증가 할수록  $L_L$  값이 증가되어 공진 주파수가 내려가는 것을 확인 할 수

있다. 따라서  $L_s$  파라미터를 증가시켜 2.45GHz 대역에 공진이 발생하도록 하였다.

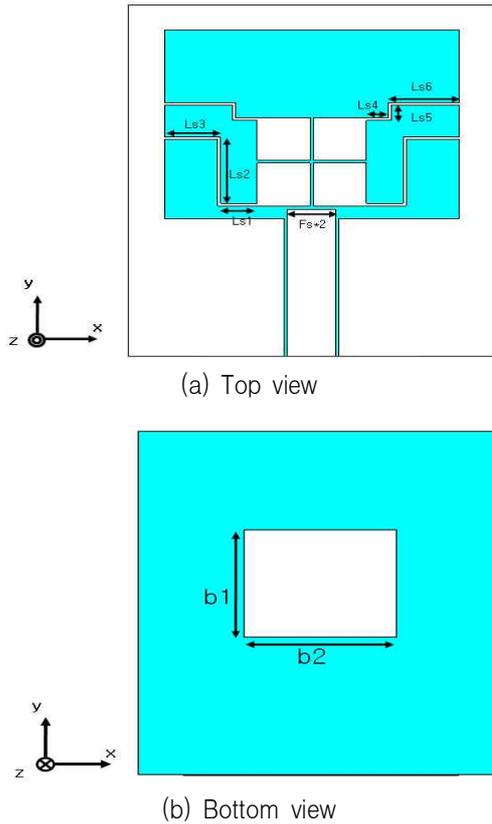


그림 6. 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나 구조  
Fig 6. Structure of the ZOR antenna for 2.45GHz WLAN

앞서 확인한 것과 같이  $L_s$ 의 길이에 따라 공진점이 변화한다는 결과를 바탕으로 구조를 변경하였다. 그림 6과 같이 병렬 스텝의 위치와 각각의 길이를 달리하여 2.45GHz 무선랜 대역에 적용 및 설계하였다. 전체적인 PCB 크기와 Bottom면에 위치한 기생 패치의 크기에는 변화를 주지 않았다. 그림 6의 구조로 모의실험에서 임피던스 매칭시 T형 스텝 구조가 아닌 일자형 구조로 매칭이 되었지만 실제 제작시 T형 스텝 구조를 적용 하였을 때 임피던스 매칭이 이루어졌다. 이에 대한 원인은 모의실험과 실제 측정 환경의 차이와 제작 오차 등으로 여겨진다. 실제 제작된 안테나의 T형 스텝의 가로 길이는 12.4mm이다. 이에 따른 모의실험과 실제측정 결과를 그림 7에 나타내었다.

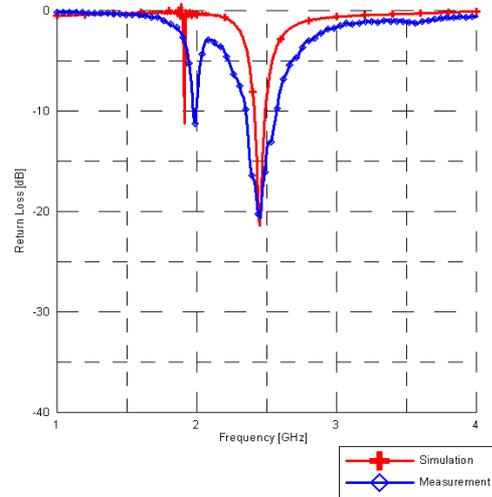


그림 7. 2.45GHz 무선랜 대역 S파라미터  
Fig. 7. S-Parameter for 2.45GHz WLAN

그림 7에서 실제측정에서의 공진주파수와 반사손실은 모의실험과 유사하지만 대역폭은 모의실험 값보다 130MHz 증가 한것을 볼 수 있다. 제작된 안테나는 그림 8과 같다.

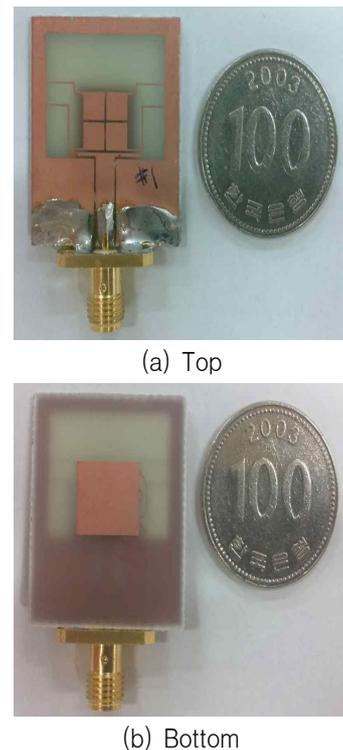


그림 8. 제작된 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나  
Fig 8. Fabricated ZOR antenna for 2.45GHz WLAN

2-4 안테나의 방사패턴

다음 그림 9와 그림 10에는 모의실험과 제작된 ZOR 안테나의 방사패턴과 전계 분포를 나타내었다.

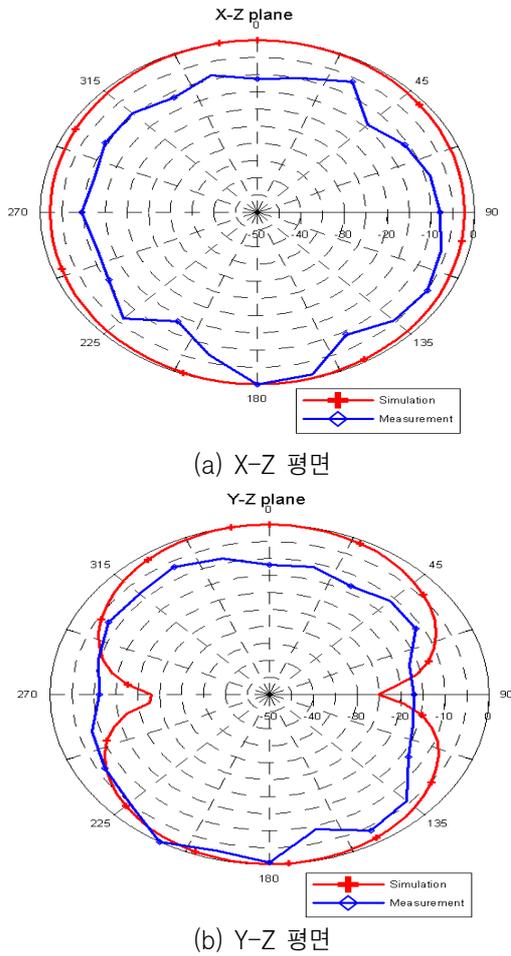


그림 9. 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나 방사패턴  
Fig 10. Simulation and measure radiation patten of the ZOR antenna for 2.45GHz WLAN

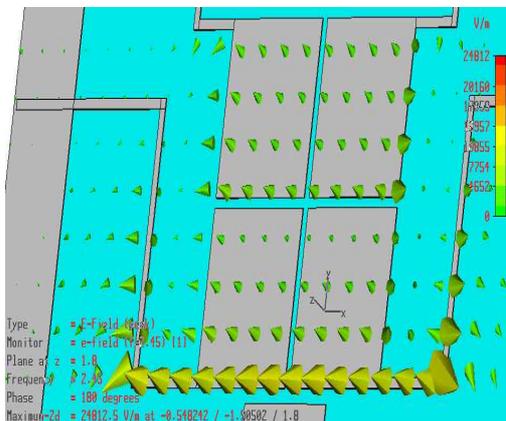


그림 10. 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나 전계 분포  
Fig 10. Electric-field distribution of the ZOR antenna for 2.45GHz WLAN

방사패턴의 측정은 구미 전자정보 기술원 내에 위치한 OTA(Over The Air Performance System) 측정실 시험실에서 이루어졌으며 측정된 방사패턴의 X-Z평면은 전방향 패턴을 형성하면서 모의실험과 유사하게 측정되었으며 Y-Z 평면 역시 유사하게 패턴이 형성된 것을 확인 할 수 있다. 모의실험에서 최대 이득은 1.21dBi, 효율은 80.4%이며 실제측정에서 최대 이득은 5.72dBi, 효율은 65.3%로 최대 이득은 모의실험 보다 높게 나왔지만 효율은 15% 감소되었다. 모의실험과 실제 측정의 효율과 이득을 비교하면 차이가 매우 크게 나타난다. 이는 측정 시 거치대의 영향으로 인한 오차라 생각된다.

2-5 ZOR 안테나 최적화 파라미터

최종적으로 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나의 최적화 파라미터를 다음 표 1에 나타내었다.

표 1. 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나 최적화 파라미터

Table 1. Optimization Parameter of the ZOR antenna for 2.45GHz WLAN

| 변수 | 값(mm) | 변수  | 값(mm) | 변수  | 값(mm) |
|----|-------|-----|-------|-----|-------|
| W  | 24.2  | Lw  | 0.2   | Ls3 | 3.7   |
| L  | 28    | Fs  | 6.2   | Ls4 | 1.6   |
| h  | 1.6   | l2  | 3.4   | Ls5 | 1     |
| t  | 0.035 | b1  | 10    | Ls6 | 4.7   |
| g1 | 0.2   | b2  | 8.8   | Fs  | 1.6   |
| g2 | 0.3   | Ls1 | 2.6   |     |       |
| w2 | 3.5   | Ls2 | 5.1   |     |       |

III. 결 론

본 논문에서는 메타물질의 특성을 가지는 CRLH-TL을 이용하며 CPW급전 구조를 가지는 2.45GHz 무선랜 대역 ZOR 안테나를 설계하였다.

제안된 안테나의 PCB 크기는 가로×세로 = 24.2mm×28mm이며 안테나의 공간은 24.2mm×14mm이다. 유전체는 유전율이 4.3인 에폭시를 사용하였고 두께는 1.6mm 이다. 급전에는 CPW(Co-Planar

Waveguide)방식을 사용하였고, 패치와 그라운드 사이에는 단락스텝을 이용하여 리액턴스 값을 증가 또는 감소시켜 공진주파수의 가변이 용이하게 하였다.

제안된 안테나의 대역폭은 IEEE 802.11b의 무선랜 주파수대역 2.412GHz - 2.4835GHz에 만족하였으며 방사패턴은 X-Z평면으로 전방향 패턴을 형성하며 모노폴 안테나의 방사패턴과 유사하게 측정 되었다. 모의실험 결과와 측정결과를 비교했을 때 일부 약간 다르게 패턴이 형성 되었지만 전체적으로는 유사한 것을 확인할 수 있었다. 모의실험상 최대 이득은 1.21dBi, 효율은 80.4%로 해석되었으며 측정된 최대 이득은 5.72dBi, 효율은 65.3%로 이득은 약4dB 높게 나왔고 효율은 약15% 낮게 측정되었다. 무선랜용 기기에 적용 가능할 것으로 예상된다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

#### 참 고 문 헌

- [1] A. Sanada, M. Kimura, I. Awai, C. Caloz and T. Itoh, "A planar Zeroth-order resonator antenna using a left-handed transmission line", *IEEE Microwave Conference, vol 3, 34th European.*, Amsterdam, pp.1341-1344, 2004.
- [2] F. Qureshi, M. A. Antoniadis, and G. V. Eleftheriades, "A compact and low-profile metamaterial ring antenna with vertical polarization", *IEEE antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 4, pp. 333-336, 2005.
- [3] A. Alu, F. Bilotti, N Engheta, and L. Vegni, "Sub-wavelength, compact, resonant patch antennas loaded with metamaterials", *IEEE trans. on antennas and Propag.*, vol. 55, no. 1, pp. 13-24, Jan. 2007.
- [4] 지정근, 성원모, "메타머티리얼(Metamaterial) 최근 기술 동향", *한국전자과학회 논문집 제20 권 제6 호*, pp.48-54, 2009.Electronics, vol. 44, no. 1, pp. 217-225, Feb. 1998.
- [5] S. J. Lim, J. H. Choi and T. H. Jang, "Compact Coplanar Waveguide (CPW)-Fed Zeroth-Order Resonant

Antennas With Extended Bandwidth and High Efficiency on Vialess Single Layer", *IEEE trans. on antennas and Propag.*, vol. 59, no. 2, pp 363--372, Feb. 2011.

- [6] Ashwin K. Iyer and George V. Eleftheriades, "Negative Refractive Index Metamaterials Supporting 2-D Waves" *IEEE Trans. on Microwave Theory and techniques*, vol. 50, no. 12, pp. 2702-2712, Dec. 2002.
- [7] J. G. Lee and J. H. Lee, "Zeroth Order Resonance Loop Antenna", *IEEE trans. on. antennas and propa.*, vol. 55, no. 3. pp 994-997, Mar. 2007.
- [8] T. H. Jang and S. J. Lim, "A compact zeroth-order resonant antenna on vialess CPW single layer", *ETRI Journal*, vol. 32, no. 3, pp. 472-474, Jun. 2010.
- [9] J. H. Park, Y. H. Park, J. G. Lee and J. H. Lee, "A novel via-free composite right-and left-handed transmission line using defected ground structure", *Microwave and optical technology letters*, vol. 49, no. 8 pp 1989-1993, August 2007.

#### 김 승 환 (金承煥)



2010년 8월 : 금오공과대학교 전자공학부(공학사)

2012년 8월 : 금오공과대학교 전과통신공학과(공학석사)

관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계

#### 유 진 하 (劉振河)



2009년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부(공학사)

2011년 2월 : 금오공과대학교 전과통신공학과(공학석사)

2011년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 박사과정

관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계

## 이 영 순 (李永淳)



1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과  
(공학사)

1981년 2월 : 한국과학기술원 전자  
공학과(공학석사)

1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과  
(공학박사)

1981~현재 : 금오공과대학교 전자  
공학부 교수

관심분야 : 전자기 이론, 안테나의 산란문제, 도파관 불연속,  
개구결합