

## WLAN 시스템에 적용 가능한 그라운드 슬롯과 stub를 갖는 변형된 링 안테나 설계와 제작

구용서<sup>1\*</sup> · 임대수<sup>2</sup>

### Design and Manufacture of Modified Ring antenna with Stub and Ground Slot for WLAN Applications

Yung-Seo Koo<sup>1\*</sup> · Dae-soo Im<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Defence Agency for Technology and Quality, Changwon 633-2 Korea

<sup>2</sup>Department of Electron Engineering, Silla University, Busan Korea

#### 요약

본 논문에서는 WLAN 시스템에 적용 가능한 이중 공진을 갖는 변형된 원형 링 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나는 평면형 모노폴 설계를 기본으로 원형 링 모양의 구조와 변형된 급전선로, 그리고 접지면의 사각 슬롯으로 구성함으로써 이중대역 특성을 갖도록 설계하였다. 최적화된 파라메타를 얻기 위해 상용 툴(HFSS)을 사용하여 시뮬레이션 하였으며 안테나 성능에 민감하게 작용하는 파라메타를 찾아내서 최적화된 수치를 얻었다. 얻어진 최적화된 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하였으며 WLAN 대역에서 반사손실, 이득, 방사패턴의 특성을 측정하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, a dual-band circular ring monopole antenna with stub and ground slot for is proposed WLAN(Wireless Local Area Networks) applications. The proposed antenna is based on a planar monopole design, and composed of one circular ring of radiating patches, and modified feed line, and rectangular slot in the ground plane for dual-band operation. To obtain the optimized parameters, we used the simulator, Ansoft's High Frequency Structure Simulator(HFSS) and found the parameters that effect antenna characteristics. Using the obtained parameters, the antenna is fabricated, and the return loss coefficient, gain, and radiation patterns are determined for WLAN application.

**키워드** : 안테나, 이중대역안테나, WLAN, 변형된 링 안테나, 접지면 슬롯

**Key word** : antenna, dual-band antenna, WLAN, modified ring antenna, ground plane slot

접수일자 : 2013. 08. 19 심사완료일자 : 2013. 09. 01 게재확정일자 : 2013. 09. 16

\* **Corresponding Author** Yung-Seo Koo(E-mail : koo0964@naver.com, Tel:+82-55-238-7113)

Defence agency for technology and quality, Changwon 633-2 Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2013.17.10.2265>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

무선통신 기술의 발전은 음성 및 멀티미디어 송수신 통신이 가능한 다중, 광대역 통신으로 동작 주파수의 대역이 날로 넓어지고 다중 대역화 되고 있으며 최근 무선통신을 위한 안테나 설계 및 제작의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 특히 무선 LAN(Local Area Network)은 사무실이나 기타 이동 무선 환경에서 네트워크의 재구축이 용이하다는 장점으로 인해 높은 선호도를 나타내고 있으며 기존의 유선 LAN의 기능을 포함하면서 네트워크 구축 시 케이블의 연결이 필요 없다는 장점을 지니고 있다. 이러한 장점은 무선 LAN을 보다 편리하고 자유롭게 사용하게 하여 그 응용 범위를 더욱더 확장될 것으로 판단된다[1].

한편 IEEE 802.11에서 2.4 GHz대역은 전자레인지, 가정용 조리기, 의료용 장비, 기타 무선기기가 공통으로 사용하는 대역으로 혼선의 가능성이 크기 때문에 5 GHz의 무선 LAN 대역을 함께 사용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다[2]. 따라서 ITU(International telecommunication Union)에서는 5.150-5.350 GHz 및 5.470-5.725 GHz 그리고 5.725-5.825 GHz 대역을 세계 공통으로 무선 LAN 등의 고정접속시스템(FAS)용으로 분배하였다. 5 GHz 대역은 통신용 주파수로는 비교적 높은 주파수이고 전달 손실도 커지기 때문에 송신 전력은 옥내용 무선기기로서는 고출력의 출력특성이 요구된다. 따라서 주파수 재사용의 시간이 중요한 요소가 되는 낮은 송신전력 특성을 제공하기 위해서는 우수한 효율을 가진 안테나의 개발이 절대적으로 필요하다[3]. 이러한 관점에서 무선 LAN용 장비는 휴대용 소형 장치에 장착되기 때문에 경량화 소형화가 이루어져야 하며, 하나의 안테나로 무선 LAN의 이중 주파수 대역을 수용하며 소형 경량화가 가능하고 초고주파 집적회로와 함께 구현할 수 있는 마이크로스트립 패치 안테나가 많이 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 2.4 GHz대역과 5 GHz대역에서 동시에 사용가능한 이중대역 안테나를 제작한다면 제작비용을 절감할 수 있고, 안테나가 차지하는 공간을 줄일 수 있다[4]. 그러므로 WLAN용 이중대역을 갖는 안테나에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[5]-[13].

본 논문에서는 IEEE802.11a에서 지정한 5 GHz 대역과, IEEE802.11b에서 지정한 2.4 GHz의 WLAN대역

모두 사용 가능한 안테나를 제안하였다. 2장에서는 제안된 설계사양, 안테나 구조 그리고 최적화 수치를 얻는 과정을 설명하였고 3장에서는 최적화된 설계파라미터를 바탕으로 안테나를 제작 및 측정된 결과를 제시하였으며 마지막으로 4장에서는 결론을 맺는다.

## II. 안테나 설계

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. WLAN 대역(2.4~2.484 GHz, 5.15~5.825 GHz)에서 적용할 수 있도록 설계되었으며 기판 중앙의 원형 링의 크기는 중심주파수 2.45 GHz에서 -10dB를 기준으로 충분한 대역폭을 갖도록 설계하였으며 이득은 요구되는 0dBi 이상을 갖도록 설계하였다.

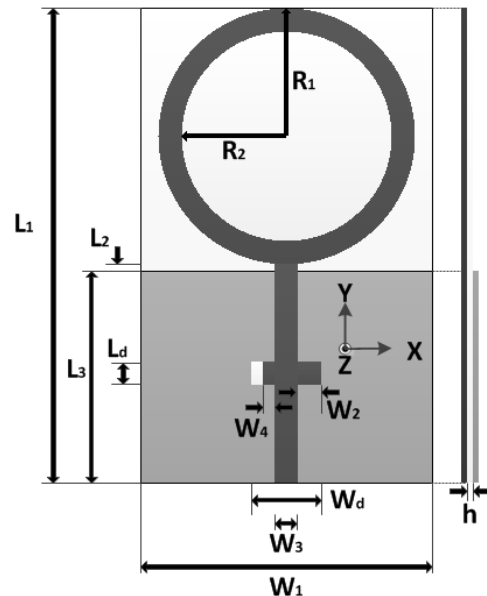


그림 1. 제안된 이중대역 안테나 구조  
Fig. 1 Configuration of dual-band antenna

안테나의 크기( $W_1 \times L_1$ )는 25.0 mm  $\times$  22.0 mm의 크기를, 그리고 접지면의 크기( $W_1 \times L_3$ )는 25.0 mm  $\times$  18.2 mm이다. 원형 링 모노폴 안테나를 바탕으로 급전선로에 스티브( $W_2 \times L_d$ ,  $W_4 \times L_d$ ), 접지면에 슬롯( $W_d \times L_d$ )을 삽입하였다. 급전 점에서 원형 링 모노폴 선로에 이르는 급전라인에 스티브( $W_2 \times L_d$ ,  $W_4 \times L_d$ )를 삽입하여 임

피더스 매칭의 역할을 함으로서 제안된 안테나의 반사 손실 특성을 개선하였으며, 또한 접지면에 사각슬롯 ( $W_d \times L_d$ )을 삽입하여 5 GHz에서 공진이 발생할 수 있게 설계하였다. 슬롯의 크기는 급전라인의 스텐브 크기와 유사한 크기, 동일한 위치로 접지 면에 삽입하였다. 제안된 안테나는 원형 링의 반지름의 크기, 급전선로의 스텐브 길이와 위치, 접지면의 슬롯 길이와 위치를 변화시킴으로써 안테나의 반사손실대역 특성 변화를 확인하였다. 이중대역 안테나를 구현하기 위해 3D 설계가 가능한 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structural Simulator)를 이용하여 최적의 임피던스 특성 변화 및 최적의 방사특성을 연구하였고, 최적화된 파라미터를 사용하여  $\epsilon_r=4.4$ ,  $h=1.0$  mm인 FR-4기판으로 안테나를 제작하였다.

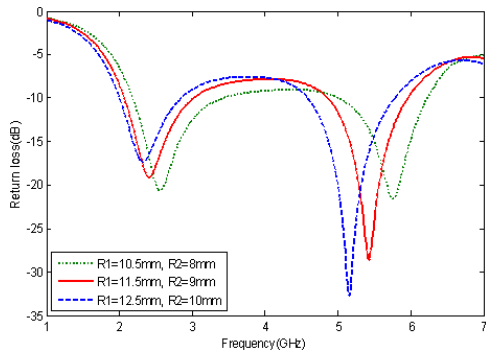


그림 2. 제안된 안테나의 링의 반지름 크기에 따른 영향  
Fig. 2 Effect of the ring radius size of proposed antenna.

그림 2는 원형 링 반지름의 길이 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 원형 링 크기가 증가할수록 2.4 GHz에서는 공진주파수가 높은 주파수 쪽으로 이동하고 반사손실 특성은 좋아지나 5 GHz 대역에서는 공진주파수가 낮은 주파수 쪽으로 이동하고 반사손실 특성이 좋아짐을 알 수가 있다. 링 안테나의 크기를  $R_1=10.5$  mm,  $R_2=8.0$  mm로 설정하였을 때 -10dB를 기준으로 2.3 GHz에서 6 GHz대역까지 3,700 MHz의 광대역의 반사손실 특성을 얻었지만 이러한 특성은 본 논문에서 요구되는 이중대역 특성에는 적합하지 않다. 그리고 반지름을  $R_1=12.5$  mm,  $R_2=10.0$  mm로 설정하였을 때 -10dB를 기준으로 4.7~5.5 GHz까지 800 MHz 반사손실 특성을 얻었다. 이러한 결과는 제안된 논문에서

요구되는 WLAN 주파수 대역을 만족시키지 못하였다. 따라서 원형 링의 크기는 2.4 GHz(2.4~2.484 GHz)대역과 5 GHz(5.15~5.85 GHz)대역의 요구되는 주파수 대역을 모두 만족시킬 수 있는 크기  $R_1=11.5$  mm,  $R_2=9.0$  mm, 두께를 1.5 mm로 설정하였다.

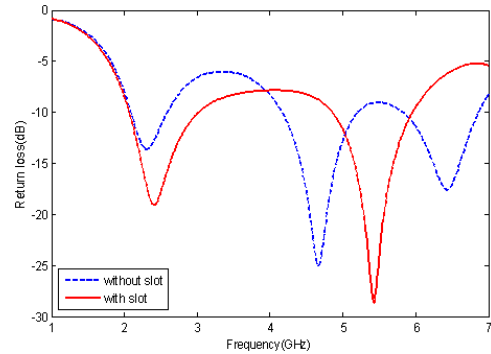


그림 3. 제안된 안테나에서 접지면 슬롯의 영향  
Fig. 3 Effect of the ground plane slot of proposed antenna.

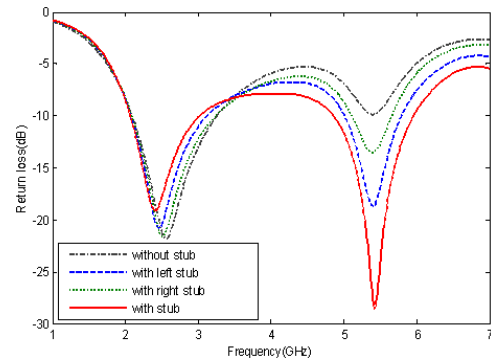


그림 4. 제안된 안테나의 스텐브 영향  
Fig. 4 Effect of the stub of proposed antenna.

그림 3은 제안된 안테나 접지면에 사각슬롯 삽입여부에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 제안된 안테나의 접지면 슬롯이 존재하는 경우와 존재하지 않는 경우를 비교하여 나타내었다. 슬롯을 삽입하지 않았을 경우 4.6~5.6 GHz까지 반사손실 특성을 얻었으나 본 논문에서 요구되는 WLAN 주파수대역과 적합하지 않다. 그러나 슬롯을 삽입하였을 경우 -10dB를 기준으로 본 논문에서 요구하는 대역인 2.4 GHz와 5 GHz의 대역에서 충분한 반사

손실 특성을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 4는 제안된 안테나에서 급전라인 스텐브의 영향을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 급전라인의 스텐브를 추가할 경우 5 GHz 대역에서 제안된 안테나의 반사손실 특성이 좋아지는 것을 알 수 있다. 따라서 급전라인의 스텐브는 5 GHz 대역에서 임피던스 매칭 역할을 하는 것으로 판단되며 급전라인에 스텐브를 삽입하여 본 논문에서 요구되는 이중 공진을 만족시켰다.

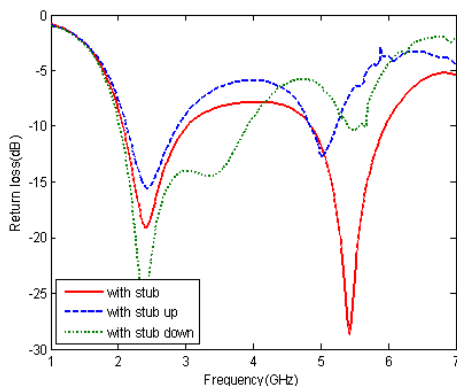


그림 5. 제안된 안테나의 급전라인 스텐브의 위치 영향  
Fig. 5 Effect of the stub position of proposed antenna.

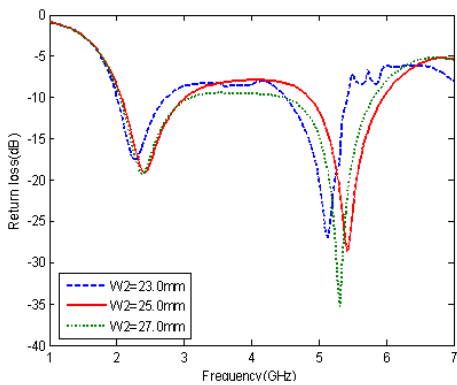


그림 6. 제안된 안테나의 접지면의 크기의 영향  
Fig. 6 Effect of the ground plane size of proposed antenna

그림 5는 제안된 안테나에서 스텐브의 위치 변화에 따른 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서처럼 급전라인의 스텐브의 위치를 급전라인 길이의 1/2지점을 기준으로 2.0 mm 설정하였을 경우 5 GHz 대역의 대역폭이 4.5~5.5 GHz로 나타난다. 급전라인의 스텐브의

위치를 급전라인 길이의 1/2지점을 기준으로 -2.0 mm로 설정하였을 경우 2~4 GHz 까지 광대역특성이 나타난다. 그리고 5 GHz대역에서는 반사특성이 열화되는 것을 알 수 있다. 따라서 스텐브의 위치를 급전라인의 중앙을 기준으로 스텐브를 삽입하여 본 논문에서 요구되는 이중 공진을 만족시켰다.

그림 6은 제안된 안테나의 접지면 크기 변화에 따른 영향을 나타내었다. 접지면 크기를 23.0 mm~27.0 mm로 변화시켰을 때 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었으며 그림에서 보는 바와 같이 접지면의 크기 변화가 제안된 안테나의 반사손실 특성에 별 영향을 미치지 못하고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 반사손실 특성을 분석하여 접지면의 크기를 25.0 mm로 설계하였다.

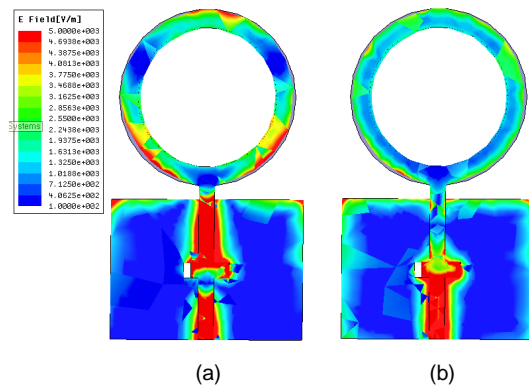


그림 7. 제안된 안테나의 전류밀도 (a) 2.43 GHz (b) 5.4 GHz  
Fig. 7 The current density of proposed antenna (a) 2.43 GHz (b) 5.4 GHz

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 전류분포를 그림 7에 나타내었다. 원형 링, 급전라인의 스텐브, 접지면의 사각슬롯에 의존하는 2개의 공진 주파수 2.43 GHz와 5.4 GHz를 확인하는데 HFSS를 사용하였다. 예상대로 2.43 GHz와 5.4 GHz에서 다른 표면 전류가 나타나는 것을 알 수 가 있다. 그림 7(a)은 제안된 안테나 첫 번째 공진주파수인 2.43 GHz 에서의 전류분포이며 그림 7(b)는 두 번째 공진주파수인 5.4 GHz 에서의 전류분포이다. 그림 7(a)에서 보는바와 같이 공진 주파수가 2.43 GHz일 경우 원형 링을 따라 강한 전류밀도가 존재하고 있음을 알 수 있다. 따라서 2.4 GHz의 대역의 공진은 주로 원형 링에 이루어지는 것으로 판단된다.

그림 7(b)은 보너바와 같이 공진주파수가 5.4GHz 일 경우 급전라인 선로와 접지면의 슬롯에서 상대적으로 강한 전류 밀도가 분포하는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 5 GHz의 대역에서의 동작은 주로 변형된 급전라인과 접지면의 슬롯에 의해 동작되는 것으로 판단된다. 위에서 언급한 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나의 최적화된 수치는 [표 1]에 나타내었다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화된 파라미터 값들

Table. 1 Optimized parameters of value for proposed antenna

parameter	value[mm]	parameter	value[mm]
R <sub>1</sub>	11.5	W <sub>1</sub>	25.0
R <sub>2</sub>	9.0	W <sub>2</sub>	2.0
L <sub>1</sub>	22.0	W <sub>3</sub>	2.0
L <sub>2</sub>	18.8	W <sub>4</sub>	1.0
L <sub>3</sub>	18.2	W <sub>d</sub>	6.0
L <sub>d</sub>	2.0	h	1.0

### III. 제작 및 측정

제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하였고 측정하였다. 그림 8은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다.

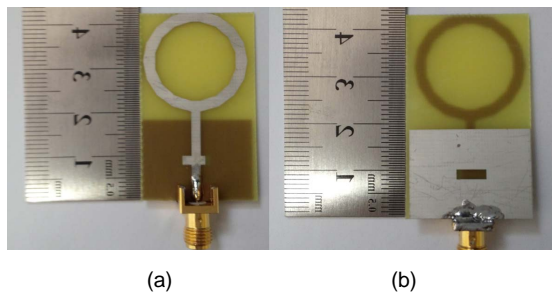


그림 8. 제작된 안테나 (a) 앞면 (b) 뒷면  
Fig. 8 Fabricated of propose antenna (a) top (b) bottom

제작된 안테나는 신라대학교 공과대학 공동기기실 내에 있는 회로망 분석기(Network Analyzer, Anritsu MS4623B)를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 대전에 위치한 맥스웰의 무반사실에서 측정하였다. 그림 9는 제안된 안테나의 반사손실에 대한

시뮬레이션 결과와 실제 제작 후 측정된 결과를 비교하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 약간의 오차가 있으나 두 값이 비슷한 경향을 보이고 있음을 확인 할 수 있다. 이러한 오차는 제작상의 오류라기보다는 기관의 유전율 오차와 시뮬레이션 상에 존재하지 않는 입력포트에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다. 측정결과 2.4 GHz 대역에서 -10dB을 기준으로 1,650 MHz(2.32-3.97 GHz)의 대역폭을 얻었으며 5 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 810 MHz(5.08-5.89 GHz)의 대역폭을 얻어 WLAN 대역에서 요구하는 대역폭(2.4~2.48 GHz, 5.15~5.875 GHz)을 만족하고 있음을 확인하였다.

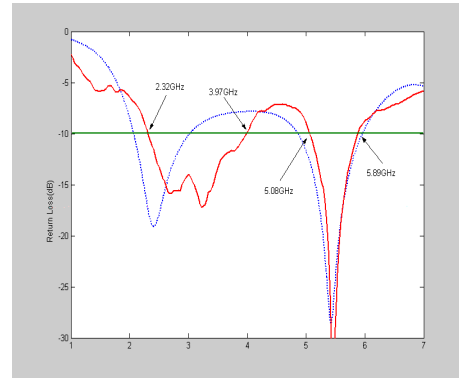


그림 9. 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정된 반사손실  
Fig. 9 The measured return loss and simulation results of proposed antenna

그림 10, 11, 12는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 10은 2.44 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 11은 5.3 GHz 주파수에서의 방사패턴을 나타낸 것이다. 그리고 그림 12는 5.7 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 전체적으로 X-Z 면에서는 전방향성 특성을 보여주고 있으며 Y-Z 면에서는 전형적인 8자 모양을 나타내지 못하고 있다. 이러한 특성을 제안된 안테나의 전류분포에서 분석할 수 있다. 2.4 GHz 대역에서는 원형 링 모양에서 강한 전류분포가 발생하므로 방사패턴이 전방향성 특성을 보이는 것으로 판단되며 5 GHz 대역에서는 접지면의 슬롯에서 강한 전류분포가 발생하므로 이로 인한 전방성 특성이 약화되어 나타나는 것으로 판단된다.

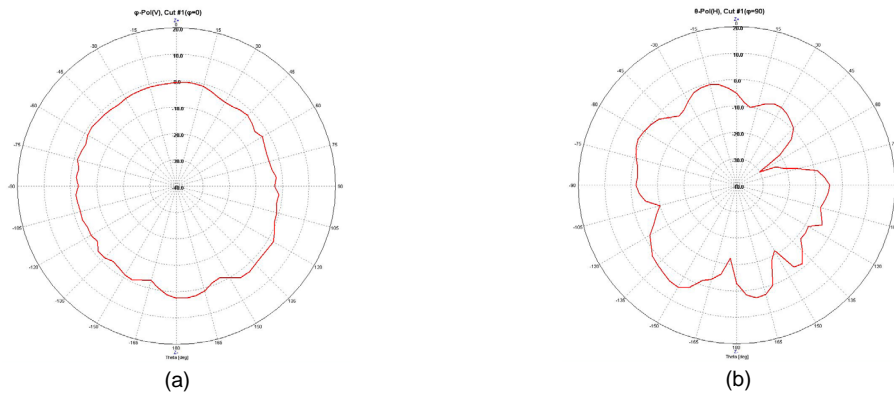


그림 10. 2.4 GHz 방사패턴 (a) 2.4 GHz에서 X-Z면 (b) 2.4 GHz에서 Y-Z면  
Fig. 10 Measured radiation pattern in the 2.4GHz (a) X-Z plane radiation pattern of 2.4 GHz (b) Y-Z plane radiation pattern of 2.4 GHz

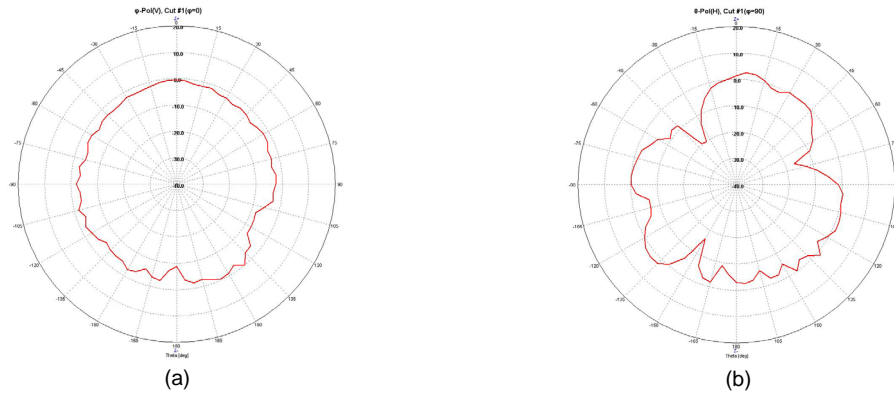


그림 11. 5.3 GHz 방사패턴 (a) 5.3 GHz에서 X-Z면 (b) 5.3 GHz에서 Y-Z면  
Fig. 11 Measured radiation pattern in the 5.3 GHz (a) X-Z plane radiation pattern of 5.3 GHz (b) Y-Z plane radiation pattern of 5.3 GHz

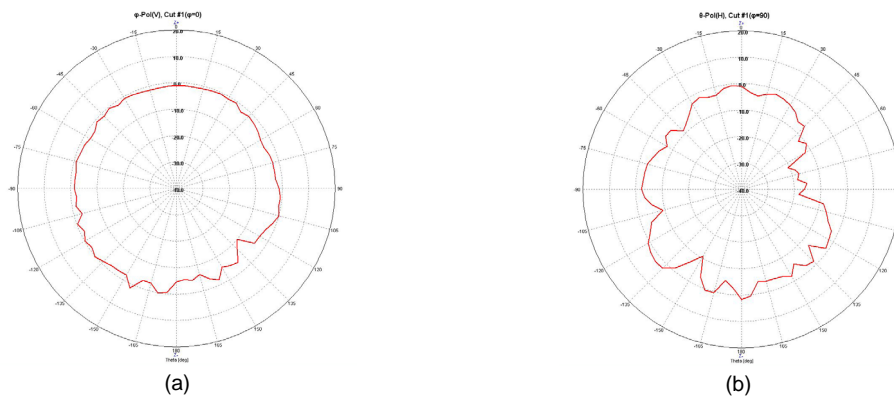
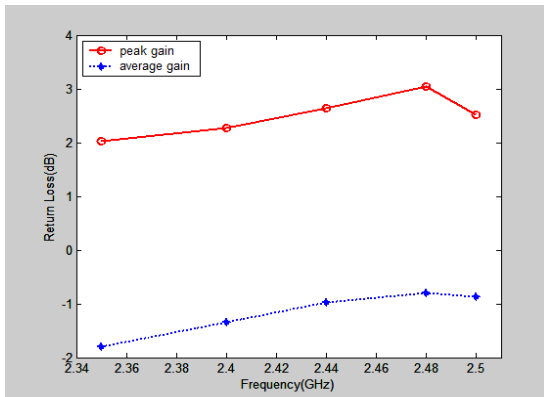
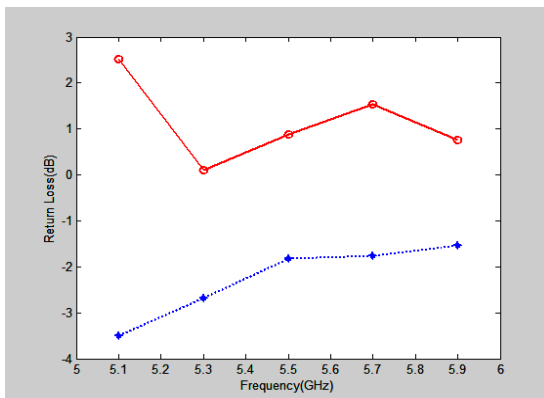


그림 12. 5.7 GHz 방사패턴 (a) 5.7 GHz에서 X-Z면 (b) 5.7 GHz에서 Y-Z면  
Fig. 12 Measured radiation pattern in the 5.7 GHz (a) X-Z plane radiation pattern of 5.7 GHz (b) Y-Z plane radiation pattern of 5.7 GHz



(a)



(b)

그림 13. 제안된 안테나의 최대이득과 평균이득 (a) 2.4 GHz 대역 (b) 5 GHz 대역

Fig. 13 Measured peak and average gain of the proposed antenna (a) 2.4 GHz Band (b) 5 GHz Band

그림 13은 WLAN 각 주파수 대역에서의 이득을 나타내고 있다. 그림 13(a)은 2.4 GHz 대역, 그림 13(b)은 5 GHz 대역에서의 각각 최대이득과 평균이득을 나타내고 있다. 그림 13(a)에서 볼 수 있듯이 2.4 GHz 대역에서 최대이득은 2.03~3.04dBi 그리고 평균 이득은 -1.78~-0.8dBi로 값을 얻었다. 특히 최대이득은 2.44 GHz에서 3.04dBi 값을 얻었다. 한편 5 GHz 대역에서 이득은 그림 13(b)에서 볼 수 있듯이 최대이득은 0.1~2.52dBi 그리고 평균이득은 -3.5~-1.53dBi로 값을 얻었으며 최대 이득은 5.35 GHz에서 2.52dBi로 얻었다.

## IV. 결론

본 논문에서는 WLAN 시스템에 적용 가능한 이중 대역 원형 링 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 원형 링 모양, 스테르브 역할의 스트립 선로 그리고 접지면의 사각 슬롯으로 구성되어 있으며 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN 대역을 만족시켰다. 최적화된 수치를 얻기 위해 상용 툴을 사용하였으며 얻어진 최적화된 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하였다. 측정결과, -10dB을 기준으로 WLAN 이중대역에서 각각 1,650 MHz(2.32-3.97 GHz) 그리고 810 MHz(5.08-5.89 GHz)의 결과를 얻었다. 또한 전방향성의 방사패턴과 2D 이득을 얻었다.

## REFERENCES

- [ 1 ] Jim Geier, Wireless Lans, Sams, 2002.
- [ 2 ] Seung-Kwon O, "Domestic and foreign 5GHz band frequency usage trends", Korea Citaion Index, vol.19, no.5, pp.656-654, March 2000.
- [ 3 ] Yong-Wook Park, "Characteristics of patch antenna for WLAN" The Journal of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol.5, no.6, pp.563-567, June 2010.
- [ 4 ] C. A. Balanis, Antenna Theory analysis and design: John Wiley & Sons, INC Chater 14.
- [ 5 ] Mohammad, S. nezhad, a. Hassani, H.R. Foudazi, A, "A dual-band WLAN/UWB printed wide slot antenna or mimo/diversity applications", Microwave and Optical Technology Letters, vol.55, no.3, pp.461-465, March 2013.
- [ 6 ] Lee, J.N. Lee, K.C. Park, N.-H. Park, J.-K, "Design of Dual-Band MIMO Antenna with High Isolation for WLAN Mobile Terminal", ETRI Journal, vol.35, no.2, pp.177-187, April 2013.
- [ 7 ] Lotfi, P. Azarmanesh, M. Soltani, S, "Rotatable Dual Band-Notched UWB/Triple-Band WLAN Reconfigurable Antenna", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.12, pp.104-107, January 2013.
- [ 8 ] Yoon, J.H. Rhee, Y.C. Jang, Y.K, "A study on the rectangular ring, open-ended monopole antenna with a vertical strip for WLAN dual-band operations," Microwave and Optical Technology Letters, vol. 55, no.3, pp.619-624, March 2013.

- [ 9 ] Wang, P. Wen, G.J. Huang, Y.J. Sun, Y.H, “Compact meander T-shaped monopole antenna for dual-band WLAN applications”, International Journal of RF and Microwave Computer-aided Engineering, vol. 23, no.1, pp.67-73, January 2013
- [10] Chun.Cheng Lin En.Zo Yu Chih.Yu Huang, “Dual-Band Rhombus Slot Antenna Fed by CPW for WLAN Applications”, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol.11, pp.362-364, April 2012,
- [11] Razavizadeh, S.M, “High gain dipole elliptic -shaped patch antenna for dual band WLAN 2.4/5GHz applications”, 2012 IEEE Radio and Wireless Symposium (RWS), pp.275-278, January 2012.
- [12] Sea-pil Park, Kab-ki Kim, “design of microstrip antenna for dual-band applications”, The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication vol.12, no.5, pp.213-217, October 2012.
- [13] Li, R.H. Shi, X.W. Zhang, N. Wang, Y.F, “A novel compact dual-band antenna for WLAN applications”, Microwave and Optical Technology Letters, vol.54, no.6, pp.1476-1479, June 2012.
- [14] Ansoft Corporation High Frequency Structure Simulator (HFSS), Available;<http://www.ansoft.com/products/hf/hfss>



구용서(Yung-Seo Koo)

1989년 2월 : 조선대학교 (학사)  
2011년 2월 : 경남대학교 전자공학 (석사)  
2013년 8월 : 경남대학교 첨단공학과 (박사)  
1989년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원  
※ 관심분야 : 위성통신, 초고주파 회로해석 및 설계, 계측제어



임대수(Dae-Soo Im)

2013년 2월 : 신라대학교 전자공학과 학사  
2013년 3월 ~ 현재 : 신라대학교 전자공학과 석사과정  
※ 관심분야 : 무선통신, 안테나, 마이크로파 회로해석 및 설계