

WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 변형된 원형 링 안테나 설계와 제작

임대수¹ · 윤중한^{2*}

Design and Manufacture of Modified Circular Ring antenna for WLAN/WiMAX Applications

Dae-soo Lim¹ · Joong-han Yoon^{2*}

¹Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

²Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

요약

본 논문에서는 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 삼중 대역을 갖는 변형된 원형 링 안테나를 설계 및 제작 하였다. 제안된 안테나는 원형 링 모양의 평면형 모노폴 설계를 기본으로 원형 링 내부의 십자형 스티브의 구조와 변형된 급전선로, 그리고 접지면의 사각 슬롯으로 구성함으로써 삼중대역 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 제작하였다. 시뮬레이션 결과와 측정결과가 어느 정도 일치하고 있는 데이터를 얻었으며 -10dB 임피던스 대역폭을 기준으로 WLAN/WiMAX 대역을 동시에 만족하고 있음을 확인하였다. 그리고 WLAN/WiMAX 대역에서 이득과 방사패턴의 특성을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, a dual-band circular ring monopole antenna with stub and ground slot for WLAN(Wireless Local Area Networks)/WiMAX(World interoperability for Microwave Access) applications. The proposed antenna is based on a planar monopole design, and composed of one circular ring of radiating patch, cross strip in circular ring, modified feed line, and two rectangular slot in the ground plane for triple-band operation. To obtain the optimized parameters, we used the simulator, Ansoft's High Frequency Structure Simulator(HFSS) and found the parameters that greatly effect antenna characteristics. Using the obtained parameters, the antenna is fabricated. The numerical and experiment results demonstrated that the proposed antenna satisfied the -10 dB impedance bandwidth requirement while simultaneously covering the WLAN and WiMAX bands. And characteristics of gain and radiation patterns are determined for WLAN/WiMAX application.

키워드 : 삼중대역 안테나, WLAN/WiMAX, 변형된 링 안테나, 접지면 슬롯

Key word : triple-band antenna, WLAN/WiMAX, modified ring antenna, slot in the ground plane

접수일자 : 2013. 11. 12 심사완료일자 : 2013. 12. 11 게재확정일자 : 2013. 12. 24

* **Corresponding Author** Joong-Han Yoon(E-mail:jhyoon@silla.ac.kr, Tel:+82-051-999-5875)

Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2014.18.2.268>

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 서비스에 있어 중요시되는 것이 안정된 통화품질이며, 각 기지국 및 중계기에 설치된 안테나의 특성은 통화품질을 결정하는 수많은 요소 중 하나이다. 현재 사용되어지고 있는 중계기용 안테나는 주로 다이폴 구조와 마이크로스트립 구조가 사용되어지고 있다. 그 중 마이크로스트립 구조의 안테나는 저렴하고 견고하며 대량생산이 가능한 장점을 갖고 있지만 좁은 대역과 낮은 효율을 갖는 것이 단점이다[1]. 이를 개선하기 위해 광대역 또는 다중 대역 특성을 얻기 위한 다양한 형태의 안테나가 연구되었다[2].

한편 세계 이동 통신 시장이 음성 위주에서 인터넷(데이터 통신) 및 이동 방송 위주로 전환되는 가운데 세계 각국은 신기술과 시장 선점을 위하여 치열한 경쟁을 하고 있다. 이에 따라 국내에서도 한국전자통신연구원을 중심으로 휴대 통신 서비스에 인터넷 접속이 가능하도록 하는 WiBro(Wireless Broadband)와 WLAN으로 활용되어지고 있는 Wi-Fi(Wireless Fidelity)의 장점을 접목시킨 휴대용 초고속 통신망인 WiMAX(World interoperability for Microwave Acces)에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. WiMAX 서비스를 위한 주파수는 크게 2.5 GHz, 3.5GHz, 5.8GHz로 구분되고 있으나, 호주, 중국, 영국, 이탈리아 등 가장 많은 나라에서 사용하는 주파수 대역은 3.5 GHz이다. 2005년 12월 IEEE 802.16e 표준 완성이후, Ficed WiMAX 채택 국가의 증가추세가 감소하고 있는 반면, Mobile WiMAX 도입국가가 증가하는 추세이다[3-4].

이에 따라 기존의 WLAN시스템과 WiMAX 시스템에서 동시에 사용 가능한 안테나에 대한 연구가 지속적으로 연구되고 있으며 이미 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 여러 가지 형태의 안테나가 개발되어 왔다[5-14]. 한편으로 원형 링 안테나에 연구도 지속적으로 수행되어 왔다[7-8, 15-22]. WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 이중 결합된 C 모양 스트립[7] 그리고 이중 밴드 링 모양의 원형 링 안테나[8]에 대한 연구가 진행되었다. 또한 원형 모노폴 안테나 [15], 링에 의해 둘러싸인 M 모양의 링 안테나[16]가 제안되었으며 불필요한 대역이 제거된 광대역 원형 링 안테나 [17-19], 이중 대역을 갖는 CPW 이중 링 루프 안테나 [20], 불필요한 대역이 제거된 UWB 원형 링 안테나

[21], WiBAN을 위한 링 모노폴 안테나[22], WLAN 이중 대역 원형 링 모노폴 안테나[23]가 제시되었다.

본 논문의 목적은 IEEE 802.11의 무선랜 대역 2.4 GHz(2.4~2.484 GHz), 5.3 GHz대역(5.15~5.35 GHz), 5.8 GHz대역(5.72~5.825 GHz)을 포함하는 이중 대역 WLAN과 IEEE 802.16.e의 WiMAX의 대역인 2.5 GHz(2.5~2.69 GHz), 3.5 GHz대역(3.4~3.7 GHz), 그리고 5GHz대역(5.15~3.35, 5.47~5.725, 5.725~5.825 GHz)을 동시에 만족 시키는 삼중대역 안테나를 설계 및 제작하고자 한다.

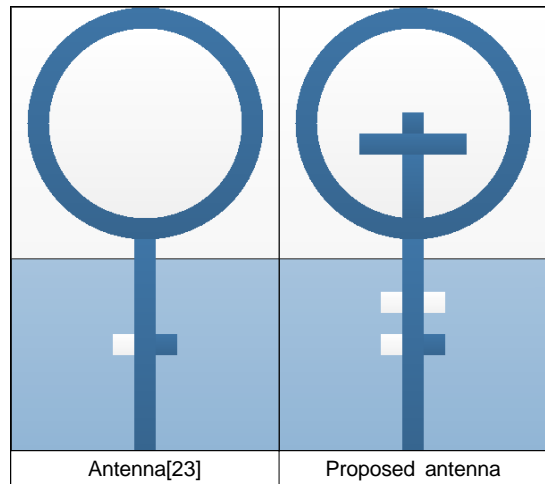


그림 1. 기존의 dual-band WLAN 안테나에서의 발전
Fig. 1 Antenna evolution in dual band WLAN antenna

II. 안테나 설계

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. 기존의 이중대역 WLAN 대역 안테나[24]를 기반으로 제시된 WiMAX 대역(3.4~3.7 GHz)에서도 동작가능하도록 원형 링 내부에 십자형태의 스티브를 삽입하여 설계하였다. 또한 접지면의 두 번째 슬롯을 추가하여 5 GHz 대역에서 -10dB를 기준으로 삼중대역 특성을 갖도록 설계하였다.

그림 2는 제안된 안테나의 상세한 구조를 나타내고 있다. 안테나의 전체 크기(W1×L1)는 25.0 mm×44.0 mm의 크기를 갖으며 접지면의 크기(W1×L5)는 25.0 mm×18.2 mm이다. 원형 링 모노폴 [24] 형태를 기본으

로 원형 링 내부에 십자형스터브($W2 \times Ld$, $W3 \times L4$) 삽입하였으며 접지면에 두 번째 슬롯($W6 \times L6$)을 삽입하였다.

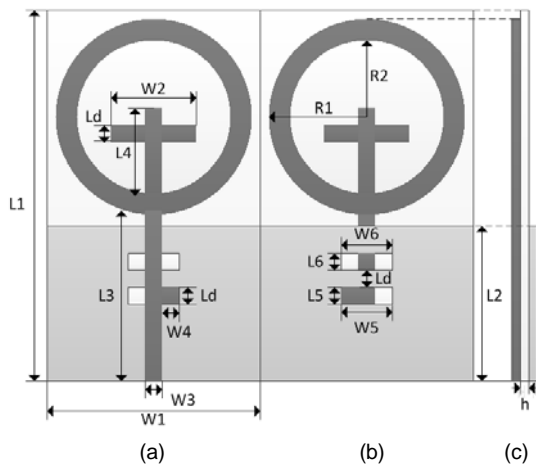


그림 2. 제안된 삼중대역 안테나의 구조 (a) 윗면 (b) 아랫면 (c) 옆면
 Fig. 2 Configuration of tri-band antenna (a) top (b) bottom (c) side view

원형 링 내부의 십자형 스텐브를 삽입하여 3.5 GHz 대역에서 공진이 발생하도록 하였다. 또한 접지면에 기존의 이중대역 안테나[23]의 사각슬롯($W5 \times L5$)에서 위쪽으로 Ld 거리만큼 떨어진 위치에 동일한 크기의 사각슬롯($W5 \times L5$)을 추가 삽입하여 5 GHz 대역에서의 임피던스매칭 효과를 높여 삼중대역 특성을 얻을 수 있었다. 삼중대역 특성을 갖는 안테나를 구현하기 위해 3D 설계가 가능한 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structural Simulator)[24]를 이용하여 최적의 임피던스 특성 변화 및 최적의 방사특성을 설계하였다. 얻어진 최적화된 파라미터를 사용하여 $\epsilon_r=4.4$, $h=1.0\text{mm}$ 인 FR-4기판으로 안테나를 제작하였다.

그림 3은 그림에서 보는 바와 같이 기존의 이중대역 안테나의 결과[24]와 십자형 스텐브가 삽입되었을 때의 반사손실 결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션 결과, 원형 링 내부의 십자형 스텐브를 삽입함으로써 본 논문에서 요구되는 WiMAX 대역 중 3.5 GHz대역을 만족하고 있음을 확인 할 수 있었다.

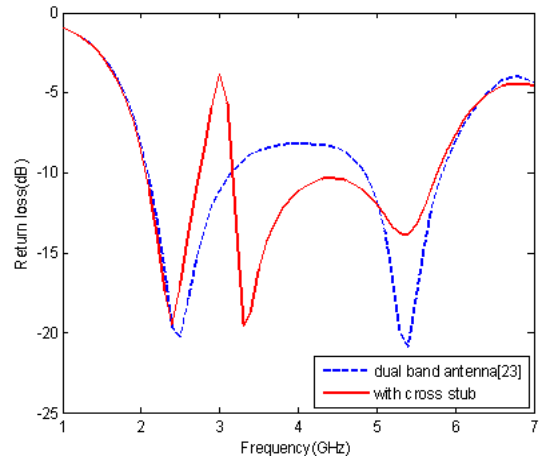


그림 3. 원형 링 내부 십자형 스텐브 삽입의 영향
 Fig. 3 Effect of cross stub in the circular ring

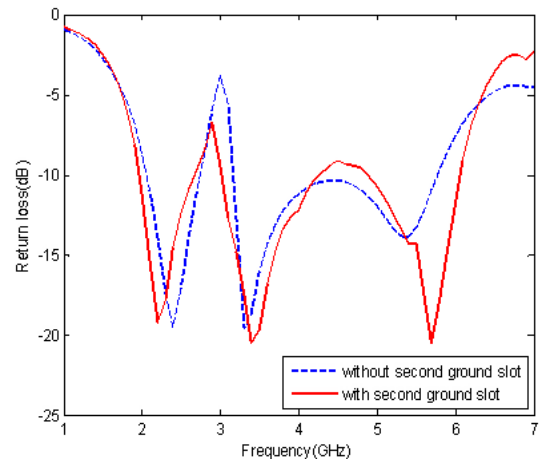


그림 4. 제안된 안테나에서 접지면 슬롯의 영향
 Fig. 4 Effect of the ground plane slot of proposed antenna

그림 4는 제안된 안테나 접지면의 두 번째 사각슬롯 삽입에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 제안된 안테나 접지면에 두 번째 슬롯을 삽입하였을 경우와 삽입하지 않을 경우를 비교하여 나타내었다. 슬롯을 추가로 삽입하지 않았을 경우 3.2~5.6 GHz까지 광대역 반사손실 특성을 얻었으나 본 논문에서 요구되는 삼중대역 특성과는 일치하지 않는다. 그러나 슬롯을 삽입하였을 경우 -10dB를 기준으로 본 논문에서 요구하는 대역인 2.5 GHz와 3.5 GHz

대역 그리고 5 GHz 대역의 삼중대역에서 충분한 반사 손실 특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

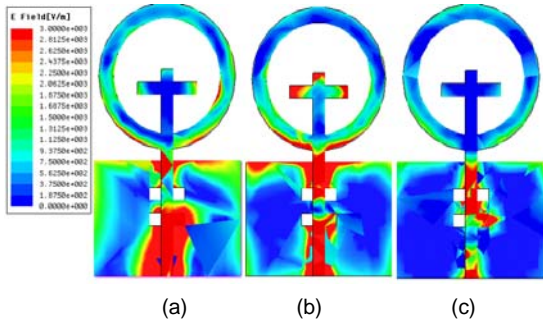


그림 5. 제안된 안테나의 전류밀도 (a) 2.43 GHz (b) 3.5 GHz (c) 5.4 GHz

Fig. 5 The current density of proposed antenna (a) 2.43 GHz (b) 3.5 GHz (c) 5.4 GHz

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 전류분포를 그림 5에 나타내었다. 원형 링, 원형 링 내부의 십자형 스테브, 급전라인의 스테브, 접지면의 사각슬롯에 의존하는 3개의 공진 주파수 2.43 GHz와 3.5 GHz, 5.4 GHz를 확인하는데 HFSS 시뮬레이터를 사용하였다. 예상대로 2.43 GHz와 3.5 GHz 그리고 5.4 GHz에서 다른 표면 전류가 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 5(a)는 제안된 안테나 첫 번째 공진주파수인 2.43 GHz에서의 전류분포이며 그림 5(b)는 두 번째 공진주파수인 3.5 GHz에서의 전류분포 그리고 그림 5(c)에서 세 번째 공진주파수인 5.3 GHz에서의 전류분포이다. 그림 5(a)에서 보는바와 같이 공진 주파수가 2.43 GHz일 경우 원형 링을 따라 상대적으로 강한 전류밀도가 존재하고 있음을 알 수 있다. 더불어 급전라인을 따라 강한 전류밀도가 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 2.4 GHz의 대역의 공진은 주로 원형 링과 급전라인에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다. 그림 5(b)에서 보는바와 같이 공진주파수가 3.5 GHz 일 경우 원형 링 내부의 십자형 스테브에서 상대적으로 강한 전류 밀도가 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 더불어 2.43GHz의 전류밀도에서처럼 분포형태는 다르지만 급전라인에서 강한 전류밀도가 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 3.5 GHz의 대역에서의 동작은 주로 추가된 원형 링 내부의 십자형 슬롯에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다. 그림 5(c)는 그림에서 보는바와 같이 공진주파수가

5.4 GHz 일 경우 원형 링과 급전라인의 스테브와 접지면의 슬롯, 삽입된 두 번째 접지면 슬롯에서 상대적으로 강한 전류 밀도가 분포하는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 5.4 GHz의 대역에서의 동작은 주로 기존의 급전라인의 스테브, 접지면의 슬롯과 추가된 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]
R1	11.5	W1	25.0
R2	9.0	W2	10.0
L1	44.0	W3	2.0
L2	18.2	W4	2.0
L3	20.0	Wd	6.0
L4	10.0	h	1.0
Ld	2.0		

III. 제작 및 측정

제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하고 측정하였다. 그림 6은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다.

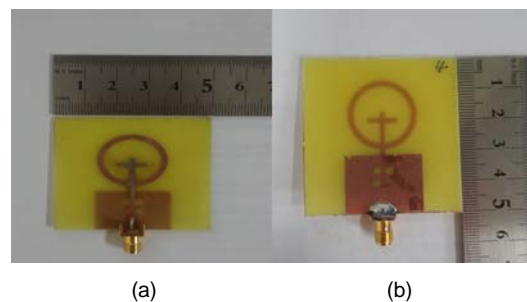


그림 6. 제작된 안테나 (a) 앞면 (b) 뒷면

Fig. 6 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 방사

패턴은 대전에 위치한 맥스웰의 무반사실에서 측정하였다. 그림 7은 제안된 안테나의 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 제작 후 측정된 결과를 비교하여 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 어느 정도의 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 2.4/2.5 GHz 대역에서 -10dB을 기준으로 1,160 MHz(1.82-2.97 GHz)의 대역폭을 얻었으며 3.5 GHz 대역에서 -10dB을 기준으로 600 MHz(3.37-3.97 GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한 5 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 930 MHz(5.02-5.95 GHz)의 대역폭을 얻어 WLAN 대역에서 요구하는 대역폭(2.4~2.48 GHz, 5.15~5.875 GHz)과 WiMAX 대역에서 요구하는 대역폭(2.5~2.69 GHz, 3.4~3.69 GHz, 5.15~5.95 GHz)을 만족하고 있음을 확인하였다.

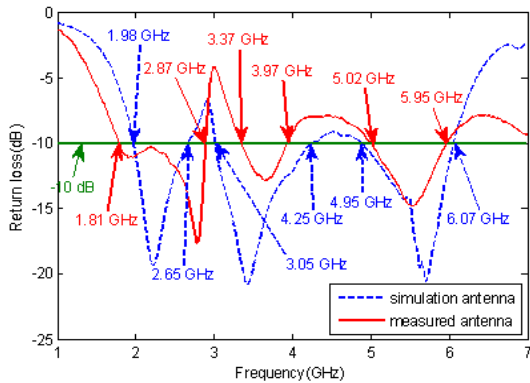


그림 7. 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정된 반사손실
Fig. 7 The measured return loss and simulation results of proposed antenna

그림 8, 9, 10, 11은 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 8은 2.5 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 9는 3.5 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 10은 5.3 GHz 주파수에서의 방사패턴을 나타낸 것이다. 그리고 그림 11은 5.7 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 전체적으로 H-면에서는 모노폴 안테나의 전방향성 특성을 보여주고 있으나 E-면에서는 다이폴 안테나의 전형적인 패턴인 8자 형태를

2.4/2.5 및 3.5 GHz 대역에서는 어느 정도 얻었지만 5 GHz 대역에서는 얻지 못했다.

이러한 이유는 전류밀도 분포에서도 알 수 있듯이 2.4/2.5 GHz 대역 혹은 3.5 GHz 대역에서는 원형 패치 및 급전라인 혹은 십자형 스티브 및 급전라인에서 전체적으로 방사가 발생하여 패턴이 만들어지는 것으로 판단되지만 5 GHz 대역에서는 접지면 슬롯을 중심으로 방사가 이루어지므로 전형적인 E면이 형성되지 않는 것으로 판단된다.

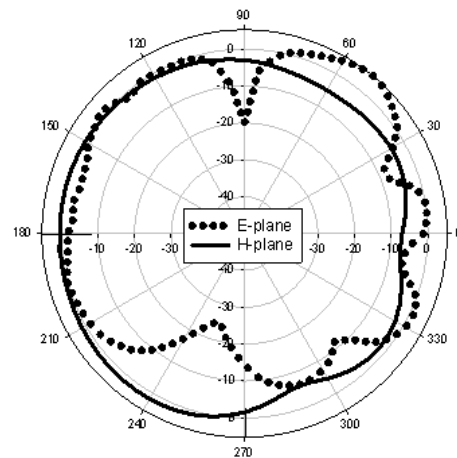


그림 8. 2.5 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 8 E-plane and H-plane radiation pattern of 2.5 GHz

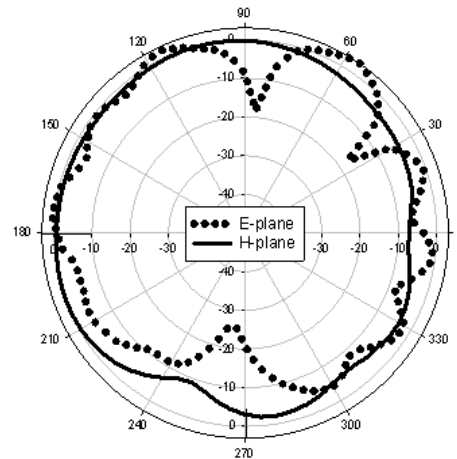


그림 9. 3.5 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 9 E-plane and H-plane radiation pattern of 3.5 GHz

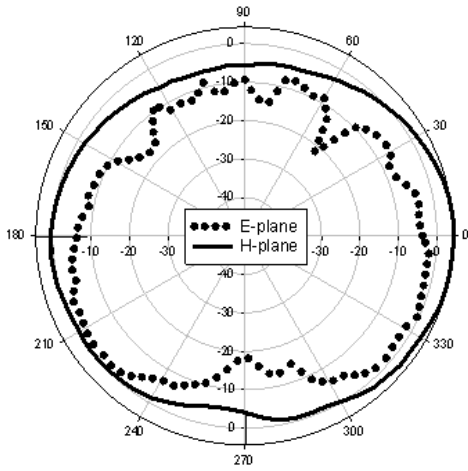


그림 10. 5.3 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 10 E-plane and H-plane radiation pattern of 5.3 GHz

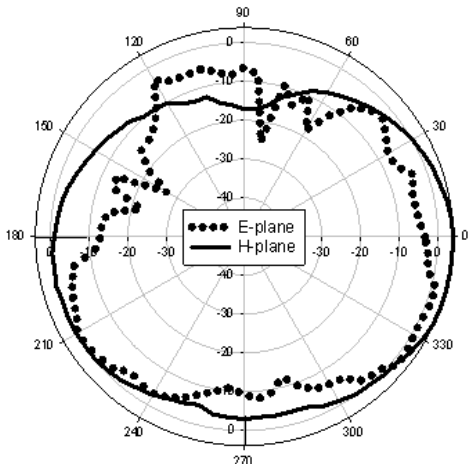
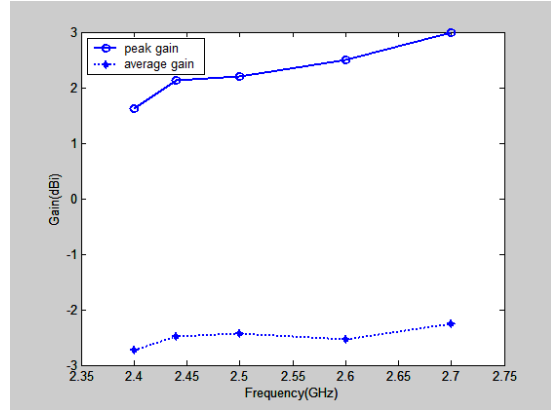
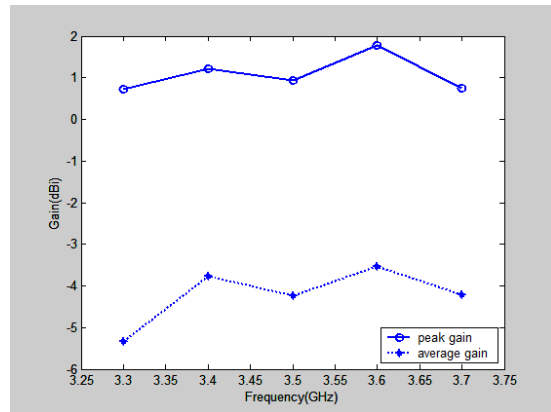


그림 11. 5.7 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 11 E-plane and H-plane radiation pattern of 5.7 GHz

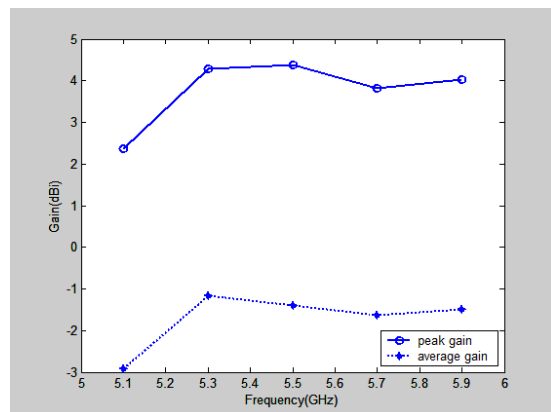
그림 12는 WLAN 각 주파수 대역에서의 이득을 나타내고 있다. 그림 12(a)은 2.4 GHz 대역, 그림 12(b)은 3.5 GHz 대역, 그림 12(c)는 5GHz대역에서의 각각 최대이득과 평균이득을 나타내고 있다. 그림 12(a)에서 볼 수 있듯이 2.4 GHz대역에서 최대이득은 1.63~3.00dBi 그리고 평균 이득은 -2.73~-2.26dBi로 값을 얻었다. 특히 최대이득은 2.7 GHz에서 3.00dBi값을 얻었다.



(a)



(b)



(c)

그림 12. 제안된 안테나의 최대이득과 평균이득 (a) 2.5 GHz 대역 (b) 3.5 GHz 대역 (c) 5 GHz 대역
Fig. 12 Measured peak and average gain of the proposed antenna (a) 2.4 GHz Band (b) 3.5 GHz Band (c) 5GHz Band

한편 3.5 GHz대역에서 이득은 그림 12(b)에서 볼 수 있듯이 최대이득은 0.7~1.77dBi 그리고 평균이득은 -5.43~-3.53dBi로 값을 얻었다. 또한 그림 12(c)에서 볼 수 있듯이 5GHz 대역에서 최대이득은 2.91~4.39dBi 그리고 평균 이득은 -2.92~-1.16dBi로 값을 얻었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 WiMAX/WLAN 시스템에 적용 가능한 삼중대역을 갖는 변형된 원형 링 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 기존의 이중대역 원형 링 안테나에서, 링 내부의 십자형 스티브의 구조와 접지면의 사각 슬롯을 추가하여 구성되어 있으며 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN 대역과 2.5/3.5/5.2/5.8 GHz WiMAX 대역을 모두 만족시켰다. 최적화된 수치를 얻기 위해 상용 툴을 사용하였으며 얻어진 최적화된 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하였다. 측정 결과, -10dB을 기준으로 WLAN/WiMAX 삼중대역에서 각각 1,160 MHz(1.82-2.97 GHz), 600 MHz(3.37-3.97 GHz) 그리고 930 MHz(5.02-5.95 GHz)의 결과를 얻었다. 또한 전방향성의 방사패턴과 2D 이득을 얻었다.

감사의 글

본 논문은 2013년도 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Warren L. Stutzman G. A. Thiele, Antenna Theory and Design, 2012.
- [2] Girish Kumar and K. P. Ray, Broadband Microstrip Antennas, 2003.
- [3] World Wide Interoperability for microwave access forum or WiMAX forum, <http://www.wimaxforum.org>.
- [4] IEEE 802.16 working group on broadband wireless access standards, [Uhttp://grouper.ieee.org/groups/802/16/index.html](http://grouper.ieee.org/groups/802/16/index.html).
- [5] Q. Y. Zhang and Q. X. Chu, "Triple band dual rectangular ring printed monopole antenna for WLAN/WiMAX applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 51 no 21, pp. 2845-2848, Dec. 2009.
- [6] X. S. Ren, Y. Z. Yin, S. F. Zheng, S. L. Zuo, and B. W. Liu, "Triple band rectangular ring monopole antenna for WLAN/WiMAX applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 53, no. 5, pp. 974-978, May. 2011.
- [7] Y. Han, Y. Z. Yin, Y. Q. Wei, Y. Zhao, B. Li, and X. N. Li, "A novel triple band monopole antenna with double coupled C-shaped strips for WiMAX/WLAN applications", *Journal of Electromagn Waves and Applications*, Vol. 25, no. 8-9, pp. 1308-1316, Apr. 2012.
- [8] B. Yang, Y. C. Jiao, W. Zhang, H. H. Xie, and F. S. Zhang, "Dual band ring shaped antenna for WiMAX/WLAN application", *IEEE Antenna Propagation Society International Symposium*, pp. 38-40, May. 2011.
- [9] Y. F. Wang, B. H. Sun, K. He, R. H. Li, and Y. J. Wang, "A compact tri-band antenna for WLAN/WiMAX applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 53, no. 10, pp. 2371-2375, Oct. 2011.
- [10] X. Li, W. Hu, Y. F. Wang, X. W. Shi, and X. T. Gu, "Printed triple band rectangular ring monopole antenna with symmetrical L strips for WLAN/WiMAX applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, no. 4, pp. 1049-1052, Apr. 2012.
- [11] J. H. Yoon and G. S. Kil, "Compact monopole antenna design for WLAN/WiMAX triple-band operations", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, no. 8, pp. 1559-1566, Aug. 2012.
- [12] J. H. Yoon, Y. C. Rhee, and Y. K. Jang, "Compact monopole antenna design for WLAN/WiMAX triple-band operations", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, no. 8, pp. 1838-1846, Aug 2012.
- [13] J. H. Yoon, Y. C. Rhee, and W. S. Kim, "A Rectangular Ring Open-Ended Monopole Antenna with Two Symmetric Strips for WLAN and WiMAX Applications", *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 2013, Article ID 109450 1-9.
- [14] Y. Pan, K. Liu, and Z. Hou, "A novel printed microstrip antenna with frequency reconfigurable characteristics for Bluetooth/WLAN/WiMAX applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 55, no. 6, pp. 1341-1345, Jun. 2013.

- [15] J. Liang, C. C. Chiau, X. Chen, and C. G. Parini, "Printed circular ring monopole antennas", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 45, no. 5, pp. 372-375, Jun. 2005.
- [16] M. R. Aghda, M. R. Kamarudin, and H. U. Iddi, "M shape surrounded with ring patch wideband monopole printed antenna", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, no. 2, pp. 482-486, Feb. 2012.
- [17] F. J. Wang, X. X. Yang, J. S. Zhang, G. P. Gao, and J. X. Xiao, "A band notched ring monopole antenna", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 50, no. 7, pp. 1882-1884, Jul. 2008.
- [18] J. X. Xiao, M. F. Wang, and G. J. Li, "A printed circular ring monopole antenna with band notched feature for UWB applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 52, no. 4, pp. 827-830, Apr. 2010.
- [19] L.Liu, S. W. Cheung, R. Azim, and M. T. Lslam, "A compact circular ring antenna for ultra wideband applications", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 53, no. 10, pp. 2283-2288, Oct. 2011.
- [20] H. J. Lee and Y. M. Lim, "Printed dual ring loop antenna for wide dual band frequency band of wireless application", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, no. 5 pp. 1317-1318, 2012.
- [21] M. K. Yang, G. P. Gao, S. F. Niu, and J. S. Zhang, "Study of a compact ring monopole UWB antenna with band notched characteristic", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, no. 10, pp. 2387-2392, Oct. 2012.
- [22] N. H. Ramli, M. R. Kamarudin, N. A. Samsuri and E. N. Ahyat, "Investigation on a compact ring printed monopole antenna for wireless implantable body area network application", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 55, no. 5 pp. 1053-1058, May. 2013.
- [23] Yung-Seo Koo, Dae-soo Im, "Design and Manufacture of Modified Ring antenna with Stub and Ground Slot for WLAN Applications", *JKIICE* Vol. 17, No. 10, pp. 2285-2272, Oct 2013.
- [24] Ansoft High Frequency Structure Simulator (HFSS) Version 10.0, Ansoft Corporation, 2005.



임대수(Dae-Soo Im)

2013년 신라대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 현재 신라대학교 대학원 전자공학과 재학중
 ※관심분야 : RF & Antenna, RFID, Radar



윤중환(Joong-Han Yoon)

1992년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1994년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 2003년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 2005년 8월 인하대학교 Post-Doc.
 2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.
 2008년 8월 삼성전기 책임연구원
 현재 신라대학교 전자공학과 조교수
 ※관심분야 : RF & Antenna, RFID, Radar