

WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 반원 스트립 구조를 갖는 원형 링 안테나의 설계

윤중한*

Design of Circular Ring Antenna with Half-Circular Strip for WLAN/WiMAX Applications

Joong-Han Yoon*

요약

본 논문에서는 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 반원 구조를 갖는 원형 링 안테나를 설계 및 제작 하였다. 제안된 안테나는 평면형 모노폴 설계를 기본으로 원형 링 모양 그리고 링 내부의 반원형 선로의 단순 구조로 구성함으로써 WLAN/WiMAX 대역을 포함하는 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 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 방사 패턴의 특성을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, a dual-band circular ring monopole antenna with semi-circular strip 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 half circular strip for dual-band operation which cover WLAN and WiMAX frequency bands. 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 obtained for WLAN/WiMAX frequency bands.

키워드

Circular Ring Antenna, WLAN/WiMAX Antenna, Dual-Band Operation, Half-Circular Strip
원형 링 안테나, WLAN/WiMAX 안테나, 이중대역 동작, 반원형 선로

* 신라대학교 전자공학과(jhyoon@silla.ac.kr)

* 교신저자(corresponding author) : 신라대학교 전자공학과(jhyoon@silla.ac.kr)

접수일자 : 2014. 01. 09

심사(수정)일자 : 2014. 03. 07

게재확정일자 : 2014. 04. 11

I. 서론

최근 인터넷과 이동통신 기술의 급속한 발전으로 인해 이동 환경에서도 고속의 데이터를 송수신할 수 있게 됨에 따라 이동통신 서비스는 이전에 단순히 음성만을 전송하던 서비스에서 고속의 양방향 데이터 전송을 활용한 서비스로 다양해지고 있다. 결국 이러한 이동통신 기술의 발전을 통해 이동 중 데이터 전송속도는 점점 빨라지고 있으며, 고속의 데이터 전송속도의 실현은 이용자들에게 다양한 서비스를 제공할 수 있다는 가능성 확대로 이어지고 있다[1].

현재 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-Fi의 장점을 접목시킨 휴대용 초고속 통신망인 WiMAX(World interoperability for Microwave Access)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 완성 이후, Ficed WiMAX 채택 국가의 증가추세가 감소하고 있는 반면, Mobile WiMAX 도입국가가 증가하는 추세이다.

한편 무선통신 서비스에 있어 중요시되는 것이 안정된 통화품질이며, 각 기지국 및 중계기에 설치된 안테나의 특성은 통화품질을 결정하는 수많은 요소 중 하나이다. 따라서 이러한 다양한 서비스를 하나의 단말기를 사용하여 안정된 통화품질을 제공하기 위해서는 많은 안테나가 단말기에 구현되어야 한다. 따라서 다중 대역 또는 광대역 안테나를 이용하여 다수의 연구가 진행되어 왔다[2-5].

따라서 기존의 WLAN 시스템뿐만 아니라 WiMAX 시스템에서도 동시에 사용 가능한 안테나에 대한 연구가 지속적으로 연구되고 있으며 이미 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 여러 가지 형태의 안테나가 개발되어 왔다[6-15]. 한편으로 원형 링에 연구도 지속적으로 연구되어 왔다[8-9],[16-23].

WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 이중 결합된 C 모양 스트립[8] 그리고 이중 밴드 링 모양의 원형 링 안테나[9]에 대한 연구가 진행되었다. 또한 원형 모노폴 안테나[16], 링에 의해 둘러싸인 M 모양의 링 안테나[17]가 제안되었으며 불필요한 대역이 제거된 광대역 원형 링 안테나[18-20], 이중 대역을 갖는 CPW 이중 링 루프 안테나[21], 불필요한 대역이 제거된 UWB 원형 링 안테나[22], WiBAN을 위한 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)과 5.8 GHz대역(5.72~5.825 GHz)을 포함하는 이중대역 WLAN용과 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 적용 가능한 이중 대역 안테나를 설계 및 제작하여 그 특성을 측정하고자 한다.

II. 안테나 설계

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. 그림에서 보듯 바와 같이 제안된 구조는 원형 링 모노폴 형태를 기본으로 원형 링 선로 내부에 반원형 선로를 삽입하여 구성하였다. 즉, 원형 링 선로(R_1 - R_2), 급전 선로(L_5 + L_6) 그리고 접지면($W_4 \times L_6$)의 모노폴 구조에 반원형 선로($W_1 \times L_2$)를 삽입한 구조를 제안하였다. 안테나의 전체 크기($W_4 \times L_1$)는 25.0 mm \times 45.0 mm의 크기를 갖으며 접지면의 크기($W_4 \times L_6$)는 25.0 mm \times 18.2 mm이다. 반지름이 R_1 인 원형모양에서 반지름이 R_2 인 원형모양을 제거하여 원형 링 선로를 얻었으며 링 선로의 두께(R_1 - R_2)는 2.0mm으로 설정하였다.

한편 본 논문에서 요구되는 WiMAX 대역(3.4~3.7 GHz)에서 동작가능 하도록 하기 위해 원형 링 선로 내부에 반원형 선로를 삽입하여 설계하였다. 반지름이 R_3 인 원형모양에서 반지름이 R_4 인 원형모양을 제거하여 삽입된 반원형 링 선로를 얻었으며 링 선로의 두께(R_3 - R_4)는 2.0mm으로 설정하였다. 제안된 안테나는 두께가 1.0mm이고 유전율이 4.4인, 저가격의 FR4 기판(일반적으로 인쇄회로기판으로 사용되고, 있는)에

설계되었으며 기본적인 원형 링 선로는 기판 윗면에 설계되었으며 그 반대면 즉 아랫면에는 접지면이 구성되었다. 그리고 윗면 원형 링 선로와 아랫면 접지면 사이에는 갭(L_5)이 존재하도록 설계하였다.

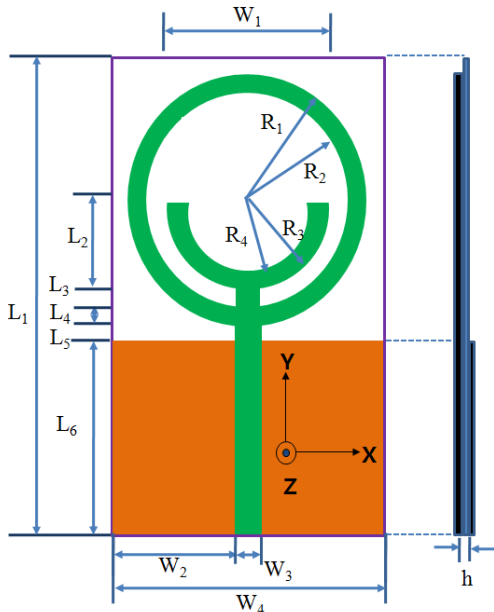


그림 1. 제안된 WLAN/WiMAX 안테나의 구조
Fig. 1 Configuration of proposed WLAN/WiMAX antenna

WLAN와 WiMAX 시스템에서 사용가능한 이중 대역 특성을 갖는 안테나를 구현하기 위해 3D 설계가 가능한 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structural Simulator)를 이용하여 최적의 임피던스 특성 변화를 고려하여 최적화된 설계치를 설정하였다. 여러 가지 파라메타에 대한 시뮬레이션 결과 가장 커다란 영향을 미치는 두 가지 파라메타에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 하나는 원형 링 선로와 접지면의 차를 나타내는 갭(L_5) 파라메타이며 나머지는 하나는 반원형 선로의 삽입 파라메타이다.

그림 2는 원형 링 선로와 접지면 사이의 갭 변화에 따른 제안된 안테나의 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 갭의 길이가 0.45 mm에서 1.45 mm 변화함에 따라 시뮬레이션 반사손실 특성을 살펴보았다. 시뮬레이션 결과, 2.4 GHz 대역에서는 갭의 변화

에 따라 반사손실 특성이 거의 변화하지 않음을 확인하였다. 그러나 3.5 GHz 그리고 5 GHz 대역에서는 갭의 변화가 제안된 안테나의 반사손실 특성에 커다란 영향을 주는 것으로 확인할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이 L_5 가 1.45 mm일 때 제안된 안테나의 반사손실 특성이 가장 좋으나 3.5 그리고 5 GHz 대역의 대역폭이 -10dB 기준으로 3.54-5.95 GHz로서 요구되는 5 GHz 대역에 매우 민감하므로 충분한 대역폭을 확보하기 위해 L_5 를 0.95 mm로 설정하였다.

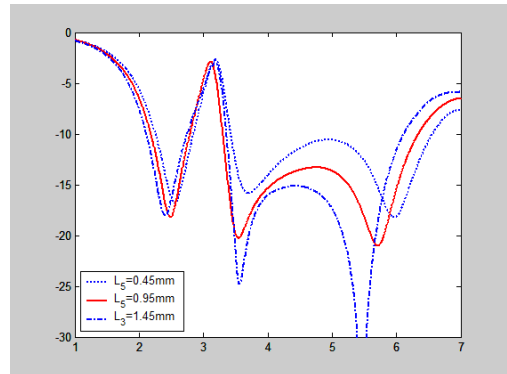


그림 2. 갭(원형 링 선로와 접지면 사이) 변화에 따른 영향

Fig. 2 Effect of variation gap between circular ring patch ground plane

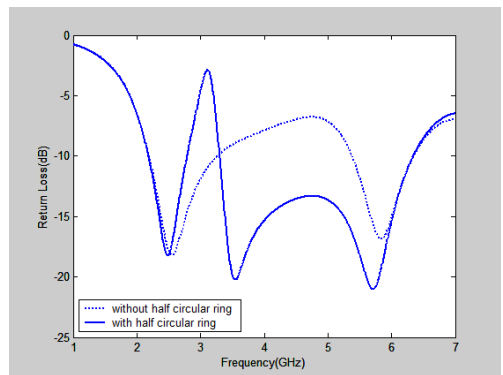


그림 3. 제안된 안테나에서 반원형 선로의 영향

Fig. 3 Effect of the half circular ring strip of proposed antenna

그림 3은 제안된 안테나에서 반원형 링 선로 삽입에 따른 영향에 대한 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 제안된 안테나에

반원형 링 선로를 삽입하였을 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하여 나타내었다. 반원형 링 선로를 추가로 삽입하지 않았을 경우 2.4 GHz 와 5 GHz 대역에서 동작 가능한 이중대역 특성을 얻었으나 본 논문에서 요구하는 3.5 GHz 대역은 포함되지 않았다. 그러나 반원형 링 선로를 삽입한 경우에 -10dB를 기준으로 본 논문에서 요구하는 WiMAX 3.5 GHz 대역에서 충분한 반사손실 특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 반원형 선로는 3.5 GHz 대역에서 임피던스 매칭에 커다란 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다. 여러 가지 파라메타에 대한 시뮬레이션 결과 제안된 안테나의 최적화된 수치는 표 1에 나타내었다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화된 파라미터 값들
Table 1. Optimized parameters of value for proposed antenna

parameter	value[mm]	parameter	value[mm]
R1	11.0	L4	2.0
R2	9.0	L5	0.95
R3	7.0	W1	13.7
R4	5.0	W2	11.5
L1	45.0	W3	2.0
L2	5.43	W4	25.0
L3	2.42	h	1.0

III. 제작 및 측정

제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하였고 측정하였다. 그림 4는 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다.

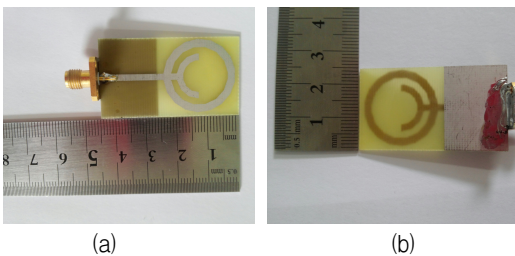


그림 4. 제작된 안테나 (a) 앞면 ; (b) 뒷면
Fig. 4 Fabricated of propose antenna (a) top ; (b) bottom

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 5는 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 확인할 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 1,080 MHz (1.93-3.01 GHz)의 대역폭을 얻었으며 3.5 GHz/5 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 2,550 MHz (3.40-5.95 GHz)의 대역폭을 얻어 WLAN/WiMAX 대역에서 요구하는 대역폭(2.4~2.69 GHz, 3.4~3.7 GHz, 5.15~5.825 GHz)을 만족하고 있음을 확인하였다.

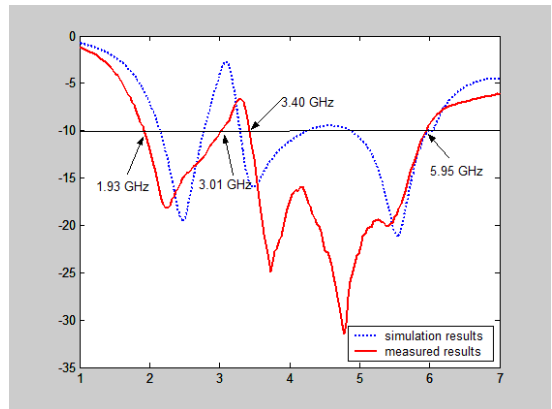


그림 5. 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정된 반사손실

Fig. 5 The measured return loss and simulation results of proposed antenna

그림 6, 7, 8, 그리고 9는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 6은 2.5 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 7은 3.5 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 8은 5.3 GHz 주파수에서의 방사패턴을 나타낸 것이다. 그리고 그림 9는 5.7 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였

다. 제안된 안테나의 방사패턴은 전체적으로 H-면에서는 전방향성 특성을 보여주고 있으며 E-면에서는 일부 방향에서 전방향성 특성을 보여주지 못하였다. 이러한 특성을 제안된 안테나의 전류분포에서 분석할 수 있는데 2.4 /3.5 GHz 대역에서는 원형 링 모양이나 반원형 선로에서 강한 전류분포가 발생하므로 방사패턴이 전방향성 특성을 보이는 것으로 판단되며 5 GHz 대역에서는 겹 부분에 강한 전류분포가 발생하나 접지면의 영향으로 인한 전방향성 특성이 약화되어 나타나는 것으로 판단된다.

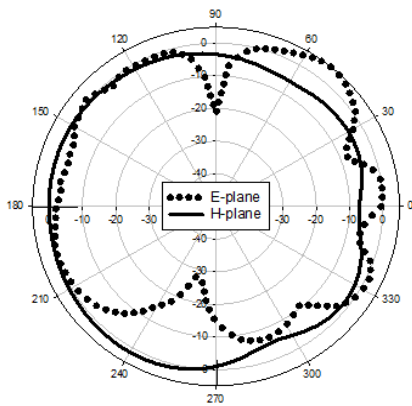


그림 6. 2.4 GHz에서 E면, H면
Fig. 6 E-plane and H-plane radiation pattern of 2.4 GHz

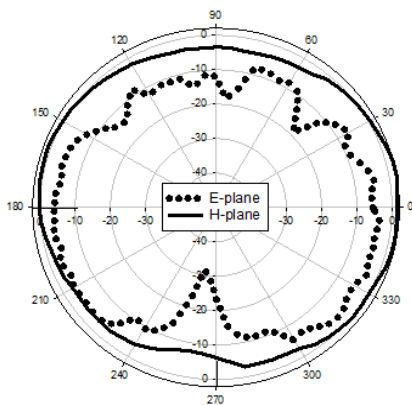


그림 7. 3.5 GHz에서 E-면 , H면
Fig. 7 E-plane and H-plane radiation pattern of 3.5 GHz

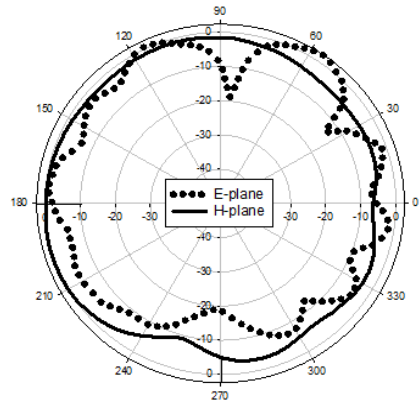


그림 8. 5.3 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 8 E-plane and H-plane radiation pattern of 5.3 GHz

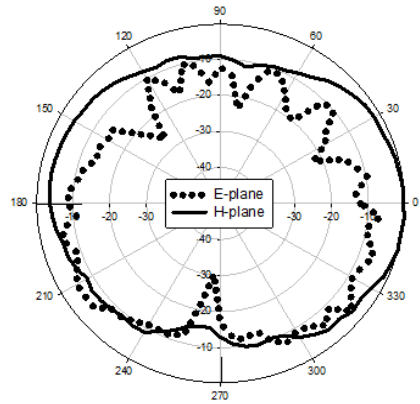
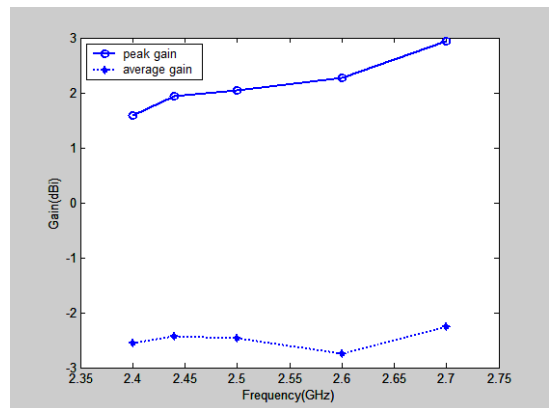
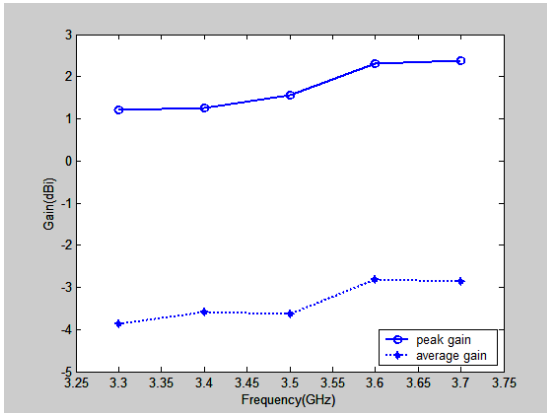


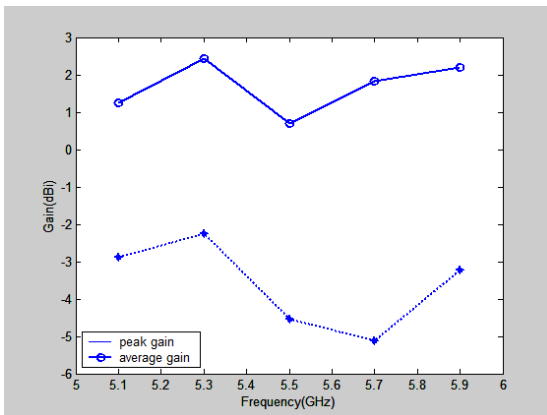
그림 9. 5.7 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 9 E-plane and H-plane radiation pattern of 5.7 GHz



(a)



(b)



(c)

그림 10. 제안된 안테나의 최대이득과 평균이득 (a) 2.4/2.5 GHz 대역 ; (b) 3.5 GHz 대역 ; (c) 5 GHz 대역
 Fig. 10 Measured peak and average gain of the proposed antenna (a) 2.4 GHz Band ; (b) 3.5 GHz Band (c) 5GHz Band

그림 10은 WLAN 각 주파수 대역에서의 이득을 나타내고 있다. 그림 10(a)은 2.4/2.5 GHz 대역, 그림 10(b)은 3.5 GHz 대역 그리고 그림 10(c)은 5 GHz 대역에서의 각각 최대이득과 평균이득을 나타내고 있다. 그림 13(a)에서 볼 수 있듯이 2.4 GHz 대역에서 최대이득은 1.59~2.93 dBi 그리고 평균 이득은 -2.75~-2.26 dBi로 값을 얻었다. 그리고 3.5 GHz 대역에서 이득은 그림 13(b)에서 볼 수 있듯이 최대이득은 1.20~2.39 dBi 그리고 평균이득은 -3.87~-2.82 dBi로 값을 얻었다. 한편 5 GHz 대역에서 이득은 그림 13(c)에서 볼 수 있듯이 최대이득은 0.71~2.46 dBi 그리고

평균이득은 -5.11~-2.26 dBi로 값을 얻었다. 최대이득이 원하는 대역에서 0 dBi 이상의 결과를 얻었음을 확인하였다.

IV. 결론

본 논문에서는 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 이중대역을 갖는 원형 링 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 원형 링 모양, 원형 링 내부의 반원형 선로, 그리고 접지면으로 구성되어 있으며 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN 대역과 2.5/3.5/5.2/5.8 GHz WiMAX 대역을 만족시켰다. 최적화된 수치를 얻기 위해 상용 툴을 사용하였으며 얻어진 최적화된 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하였다. 측정결과, -10dB을 기준으로 각각 1,080 MHz (1.93-3.01 GHz) 그리고 2,550 MHz (3.40-5.95 GHz)의 결과를 얻었다. 또한 전방향성의 방사패턴과 2D 이득을 얻었다. 제안된 안테나는 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능할 것이며 향후 단순한 형태의 안테나 설계와 WLAN/WiMAX 대역에 적합한 재구성이 가능한 안테나의 설계가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] M. Kim, "Propulsion trend of 4th Generation Mobile Communication Systems and view of Wibro," *Hana Financial Group Inc*, vol. 230, no. 10, 2009, pp. 44-53.
- [2] Girish Kumar and K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*. Artech House, 2003.
- [3] Y.-W. Park, "Characteristics of patch antenna for WLAN," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 6, 2011, pp. 803-808.
- [4] O.-W. Kim, "Design of dual-band microstrip antenna for wireless communication applications," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1275-1279.
- [5] G.-T. Jeong, Y.-R. Ju, and J.-H. Yoon, "Design and fabrication of dual-band compact monopole antenna with two branches

- for Wi-Fi mobile applications," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 1, 2013, pp. 41-47.
- [6] 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. 12, 2009, pp. 2845-2848.
- [7] 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 Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 5, 2011, pp. 974 - 978.
- [8] 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," *J. of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 25, no. 8-9, 2011, pp. 1308-1316.
- [9] 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 Symp*, vol. 22, no. 25, 2011, pp. 38-40.
- [10] 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, 2011, pp. 2371 - 2375.
- [11] 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, 2012, pp. 1049 - 1052.
- [12] J. Yoon and G. Kil, "Compact monopole antenna design for WLAN/WiMAX triple-band operations," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 8, 2012, pp. 1838 - 1846.
- [13] J. Yoon, Y. Rhee, and Y. Jang, "Compact monopole antenna design for WLAN/WiMAX triple-band operations," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 8, 2012, pp. 1838 - 1846.
- [14] J. Yoon, Y. Rhee, and W. 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, 2013, pp. 9.
- [15] 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, 2013, pp. 1341 - 1345.
- [16] 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, 2005, pp. 372 - 375.
- [17] M. R. Aghda, M. R. Kamarudin, and H. U. Iddi, "M shape surrounded with ring patch wideband monopole printed antenna," *Microwave and OpticTechnologyLetters*, vol. 54, no. 2, 2012, pp. 482 - 486.
- [18] 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, 2008, pp. 1882-1884.
- [19] 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, 2010, pp. 827 - 830.
- [20] 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, 2011, pp. 2283 - 2288.
- [21] H. Lee and Y. Lim, "Printed dual ring loop antenna for wide dual band frequency band of wireless application," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 5, 2012, pp. 1317-1318.
- [22] 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, 2012, pp. 2387 - 2392.
- [23] 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, 2013, pp. 1053-1058.

저자 소개



윤중한(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

2008년~현재 신라대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : RF & Antenna, RFID, Radar