

WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 U-형 안테나 설계 및 제작

임대수* · 최영규* · 윤중한**

Design and Manufacture of U-shaped Antenna for WLAN/WiMAX Applications

Dae-Soo Im* · Seung-Min Mun* · Joong-Han Yoon**

요약

본 논문에서는 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 삼중대역을 갖는 U-모양 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나는 U-모양의 평면형 모노폴 설계를 기본으로 U-모양 내부의 T-모양의 스텐트를 구성함으로써 삼중대역 특성을 갖도록 설계하였다. 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 triple-band U-shaped monopole antenna with T-shaped stub 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 U-shaped of radiating patch, T-shaped strip in U-shaped, 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

Triple-Band Antenna, WLAN/WiMAX, U-Shaped Antenna, T-Shaped Stub

삼중대역 안테나, WLAN/WiMAX, U-모양 안테나, T-모양 스텐트

1. 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 전송속

* 신라대학교 전자공학과(hamindae@naver.com, ykchoi@silla.ac.kr)

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

접수일자 : 2014. 06. 21

심사(수정)일자 : 2014. 07. 02

게재확정일자 : 2014. 07. 18

도는 점점 빨라지고 있으며, 고속의 데이터 전송속도의 실현은 이용자들에게 다양한 서비스를 제공할 수 있다는 가능성 확대에 이어지고 있다[1].

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 완성 이후, Ficed WiMAX 채택 국가의 증가추세가 감소하고 있는 반면, Mobile WiMAX 도입국가가 증가하는 추세이다

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[2-5]. WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 이중 결합된 U-모양 스트립[6] 그리고 이중 밴드 평면 U-모양 모노폴 안테나[7-10]에 대한 연구가 진행되었다. 또한 U-모양의 스트립과 U-모양의 슬롯을 가지는 삼중대역 안테나[11]가 제안되었으며 광대역 U-모양 안테나[12], 초광대역을 갖는 CPW U-모양 안테나[13]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 WLAN용 안테나를 IEEE 802.16e의 WiMAX대역인 2.5 GHz(2.5~2.69 GHz), 3.5 GHz대역(3.4~3.7 GHz), 그리고 5GHz대역(5.15~5.35, 5.47~5.725, 5.725~5.825 GHz)을 동시에 만족 시키는 삼중대역 안테나를 설계 및 제작하고자 한다.

II. 안테나 설계

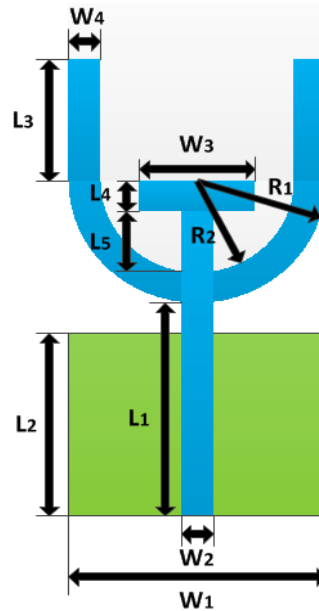


그림 1. 제안된 삼중대역 안테나 구조
Fig. 1 Configuration of proposed triple antenna

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. 기존의 이중 WLAN 대역(2.4~2.484 GHz, 5.72~5.825 GHz) U-모양안테나를 기반으로 U-모양 패치 내부에 T-형태의 스트립을 삽입하여 제시된 WiMAX 대역(3.4~3.7 GHz)에서도 동작가능 하도록 설계하였다. 안테나의 전체 크기 24.0 mm×41.0 mm의 크기를 갖으며 접지면의 크기($W_1 \times L_5$)는 25.0 mm×18.2 mm이다. 제안된 안테나는 반지름 R_1 이 11.5 mm, 두께(R_1-R_2)가 2.5 mm인 반원형 링 스트립과 직사각형 스트립($W_4 \times L_3$) 2.5 mm × 10 mm으로 구성된 U-모양 패치와 패치 내부의 T-형 스트립($W_3 \times L_4$, $W_2 \times L_5$)으로 구성되어 있다. 삼중대역 특성을 갖는 안테나를 구현하기 위해 3D 설계가 가능한 Ansoft사의 HFSS(High Frequency Structural Simulator)[17]를 이용하여 최적의 임피던스 특성 변화 및 최적의 방사 특성을 설계하였다. 얻어진 최적화된 파라미터를 사용하여 $\epsilon_r=4.4$, $h=1.0\text{mm}$ 인 FR-4기판으로 안테나를 제작하였다.

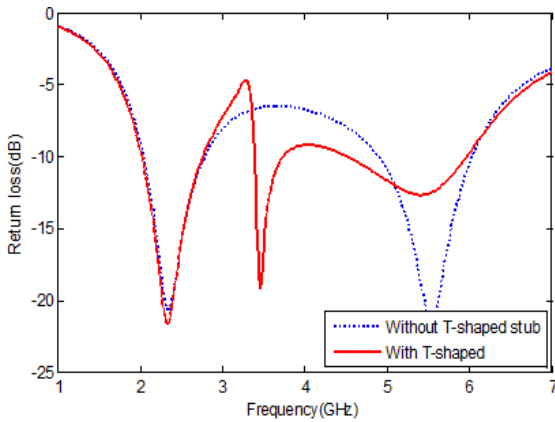


그림 2. U-모양 패치 내부 T-모양 스텐브 삽입의 영향
Fig. 2 Effect of T-shaped stub in U-shaped patch

그림 2는 T-형 스텐브가 삽입되었을 때와 삽입되지 않았을 경우의 반사손실 결과를 비교하여 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 U-모양 패치 내부의 T-형 스텐브를 삽입함으로써 본 논문에서 요구되는 WiMAX 대역 중 3.5 GHz대역을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

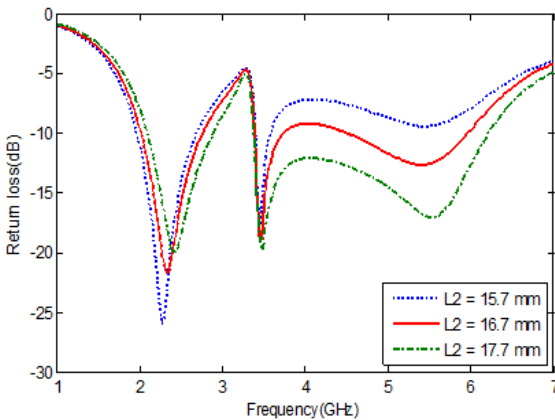


그림 3. 제안된 안테나의 접지면 높이 변화에 따른 영향
Fig. 3 Effect of the ground plane height size of proposed antenna

그림 3은 제안된 안테나 접지면의 높이 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실의 특성을 나타내었다. 접지면의 높이를 14.7 mm로 할 경우 5 GHz 대역의 반사손실 특성이 나빠짐과 더불어 3.5 GHz 대역의 대역폭이

좁아지는 것을 알 수 있다. 그리고 접지면의 높이를 17.7 mm로 할 경우 본 논문에서 제안된 대역은 모두 만족하나 광대역형태의 반사손실 특성이 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서 요구되는 삼중대역 특성과는 일치하지 않는다. 시뮬레이션 결과 접지면의 높이를 16.7 mm로 한 경우 -10 dB를 기준으로 본 논문에서 요구하는 대역인 2.5 GHz와 3.5 GHz 대역 그리고 5 GHz 대역의 삼중대역에서 충분한 반사손실 특성과 대역폭을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

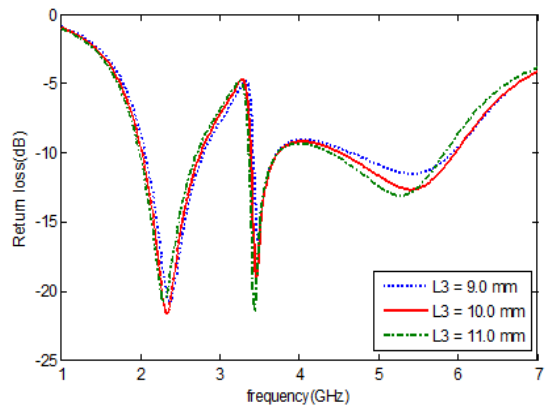


그림 4. 제안된 안테나의 L3 길이 변화에 따른 영향
Fig. 4 Effect of the L3 size of proposed antenna

그림 4는 제안된 안테나의 L3 길이 변화에 따른 영향을 나타낸 그래프이다. L3의 길이를 9.0 mm에서 11.0 mm까지 1.0 mm씩 증가 시켰을 경우 3.5 GHz 대역과 5 GHz 대역의 반사손실 특성이 좋아지는 경향을 알 수 있다. 그러나 L3의 길이를 11.0 mm로 할 경우 반사손실 특성은 좋아지나 5 GHz 대역폭이 좁아져 본 논문에서 제안된 5 GHz대역을 포함하지 않는 것을 알 수 있다. 그 결과 L3의 길이를 10.0 mm로 할 경우 본 논문에서 제안된 WLAN/WiMAX대역을 포함하고 충분한 반사손실을 얻는 것을 알 수 있다.

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 전류 분포를 그림 5에 나타내었다. U-모양 패치, U-모양 내부의 T-형 스텐브에 의존하는 3개의 공진 주파수 2.33 GHz와 3.49 GHz, 5.39 GHz를 확인하는데 HFSS 시뮬레이터를 사용하였다. 예상대로 2.33 GHz와 3.49 GHz 그리고 5.39 GHz에서 다른 표면 전류가 나타나

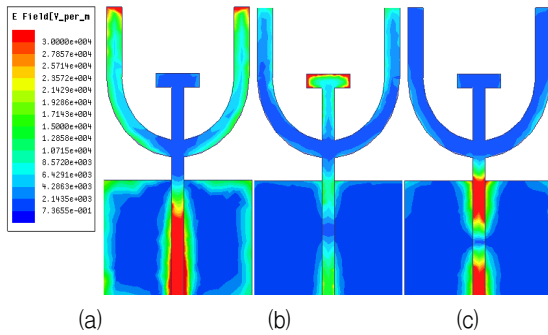


그림 5. 제안된 안테나의 전류밀도
 (a) 2.33 GHz ; (b) 3.49 GHz ; (c) 5.39 GHz
 Fig. 5 The current density of proposed antenna
 (a) 2.33 GHz ; (b) 3.49 GHz ; (c) 5.39 GHz

는 것을 알 수 가 있다. 그림 5(a)는 제안된 안테나 첫 번째 공진주파수인 2.43 GHz 에서의 전류분포이며 그림 5(b)는 두 번째 공진주파수인 3.49 GHz 에서의 전류분포 그리고 그림 5(c)에서 세 번째 공진주파수인 5.39 GHz 에서의 전류분포이다. 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 공진 주파수가 2.33 GHz일 경우 U-모양 패치를 따라 상대적으로 강한 전류밀도가 존재하고 있음을 알 수 있다. 더불어 급전라인을 따라 강한 전류 밀도가 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 2.33 GHz의 대역의 공진은 주로 U-모양 패치와 급전 라인에 의해 영향을 받는 것으로 판단된다. 그림 5(b)에서 보는바와 같이 공진주파수가 3.49 GHz 일 경우 U-모양 내부의 T-형 스텐드에서 상대적으로 강한 전류 밀도가 분포하는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서 3.49 GHz의 대역에서의 동작은 주로 추가된 원형 링 내부의 십자형 슬롯에 의해 영향을 받는 것으로 판단 된다. 그림 5(c)는 그림에서 보는바와 같이 공진주파수가 5.39 GHz 일 경우 2.33GHz의 전류밀도에서처럼 분포형태는 다르지만 급전라인에서 강한 전류밀도가 분포하고 있는 것을 확인하였다. 따라서 5.39 GHz의 대역에서의 동작은 주로 기존의 급전라인과 접지면의 높이의 영향으로 인해 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	L5	8.0
R2	9.0	W1	24.0
L1	20.0	W2	2.0
L2	16.7	W3	7.0
L3	10.0	W4	2.5
L4	2.0		

III. 제작 및 측정

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

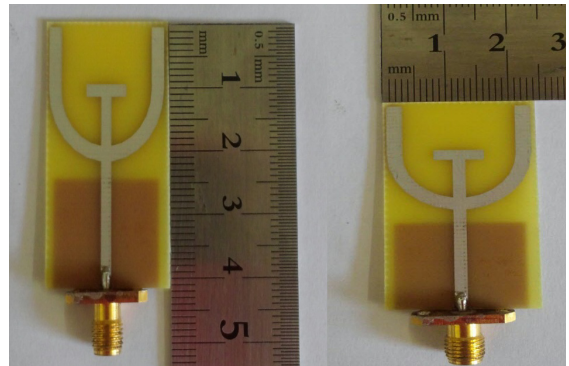


그림 6. 제작된 안테나
 Fig. 6 Fabricated of propose antenna

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.

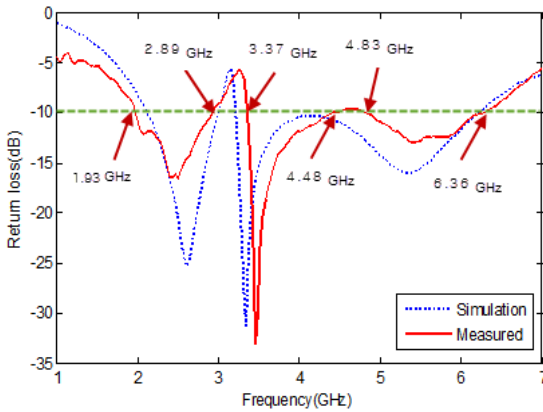


그림 7. 제안된 안테나의 시뮬레이션 결과와 측정된 반사손실

Fig. 7 The measured return loss and simulation results of proposed antenna

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 유전을 오차와 시뮬레이션 상에 존재하지 않는 입력포트에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다. 측정결과 2.4/2.5 GHz 대역에서 -10dB 을 기준으로 960 MHz(1.93-2.89 GHz)의 대역폭을 얻었으며 3.5 GHz 대역에서 -10dB 을 기준으로 1110 MHz(3.37-4.48 GHz)의 대역폭을 얻었다 또한 5 GHz 대역에서는 -10dB 을 기준으로 1530 MHz(4.83-6.36 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 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 있으며 E-면에서는 다이폴 안테나의 전형적인 패턴인 8자 형태를 5 GHz 대역에서 명확히 나오는 것을 알 수 있

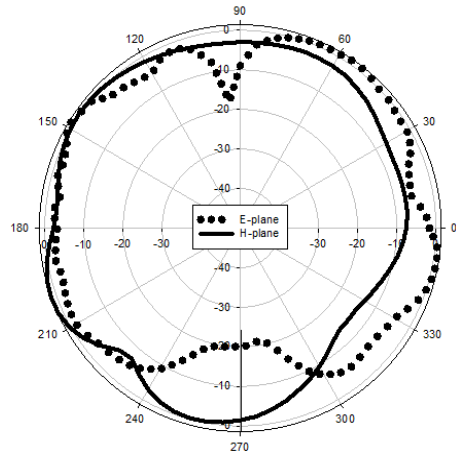


그림 8. 2.5 GHz에서 E면, H-면 E-plane and H-plane radiation pattern of 2.5 GHz

다. 이러한 이유는 전류밀도 분포에서도 알 수 있듯이 전류밀도가 대칭적 분포로 인한 결과로 알 수 있다. 반면 2.4/2.5 GHz 및 3.5 GHz 5 GHz 대역에서는 전류밀도 분포에서 알 수 있듯이 전류밀도가 급전라인과 U-모양 패치와 U-모양 내부의 T-모양 슬롯에서 분포되는 것으로 보아 대칭적으로 분포되지 않아 전형적인 E 면이 형성되지 않는 것으로 판단된다.

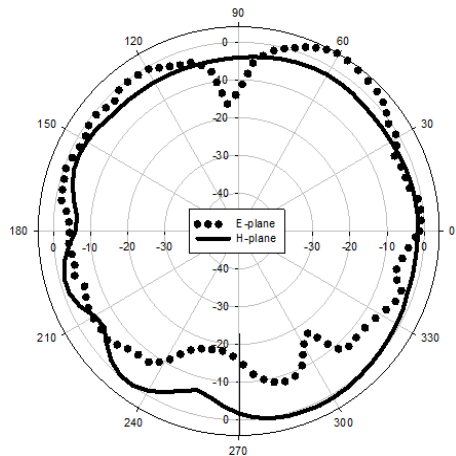


그림 9. 3.5 GHz에서 E-면, H-면 E-plane and H-plane radiation pattern of 3.5 GHz

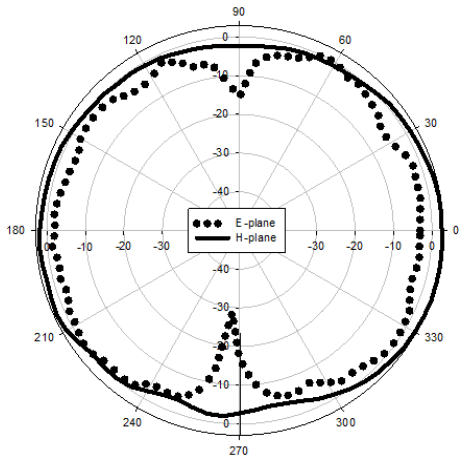


그림 10. 5.3 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 10 E-plane and H-plane radiation pattern of 5.3 GHz

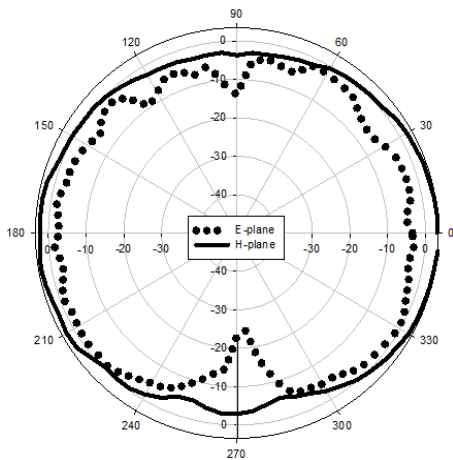


그림 11. 5.7 GHz에서 E-면, H-면
Fig. 11 E-plane and H-plane radiation pattern of 5.7 GHz

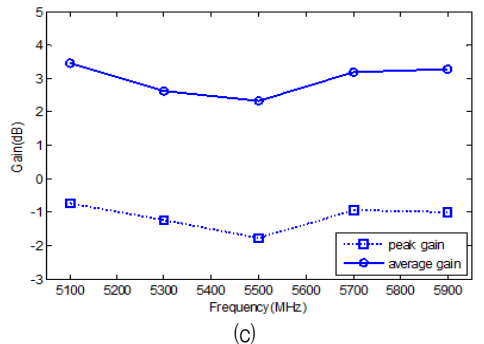
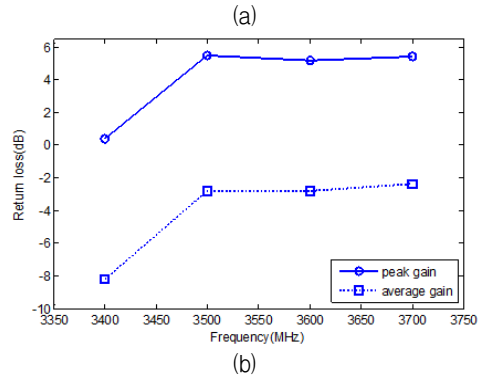
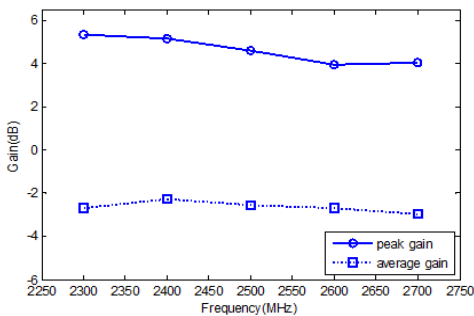


그림 12. 제안된 안테나의 최대이득과 평균이득
(a) 2.4/2.5 GHz 대역 ; (b) 3.5 GHz 대역; (c) 5 GHz 대역

Fig. 12 Measured peak and average gain of the proposed antenna (a) 2.4 GHz Band; (b) 3.5 GHz Band (c) 5GHz Band

그림 12는 WLAN 각 주파수 대역에서의 이득을 나타내고 있다. 그림 12(a)는 2.4/2.5 GHz 대역, 그림 12(b)는 3.5 GHz 대역, 그림 12(c)는 5GHz대역에서의 각각 최대이득과 평균이득을 나타내고 있다. 그림 13(a)에서 볼 수 있듯이 2.4/2.5 GHz대역에서 최대이득은 3.98~5.37dBi 그리고 평균 이득은 -2.95~-2.28dBi로 값을 얻었다. 특히 최대이득은 2.7 GHz에서 3.00dBi값을 얻었다. 한편 3.5 GHz대역에서 이득은 그림13(b)에서 볼 수 있듯이 최대이득은 0.041~5.48dBi 그리고 평균이득은 -8.22~-2.39dBi로 값을 얻었다. 또한 그림 13(c)에서 볼 수 있듯이 5GHz 대역에서 최대이득은 2.33~3.48dBi 그리고 평균 이득은 -1.76~-0.73dBi로 값을 얻었다.

IV. 결론

본 논문에서는 WiMAX/WLAN 시스템에 적용 가능한 T-형 스텐드를 갖는 U-모양 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 이중대역 U-모양 안테나에서, U-모양 패치 내부의 T-형 스텐드의 구조로 되어있으며 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. 측정결과, -10dB 을 기준으로 WLAN/WiMAX 삼중대역에서 각각 960 MHz(1.96~2.89 GHz), 1110 MHz(3.37~4.49 GHz) 그리고 1530 MHz(4.83~6.36 GHz)의 결과를 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. 또한 전방향성의 방사패턴과 2D 이득을 얻었다.

감사의 글

본 논문은 2014년도 한국전자통신학회 봄철 종합학술대회 우수논문 논문입니다.

References

- [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] Q. Y. Zhang and Q. X. Chu, "Triple band dual rectangular ring printed monopole antenna for WLAN/WiMAX applications," *Microwave Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 12, Dec. 2009, pp. 2845-2848.
- [3] 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, May 2011, pp. 974-978.
- [4] J.-H. Yoon, "Design of Circular Ring Antenna with Half-Circular Strip for WLAN/WiMAX Applications," *J. of the Korea electronic*, vol. 9, no. 4, 2014, pp. 417-424.
- [5] J.-H. Yoon, Y.-K. Jang, and Y.-C. Lee, "A compact Monopole Antenna Design for WLAN/WiMAX Triple Band Operations," *J. of the Korea electronic*, vol. 7, no. 3, 2012, pp. 465-473.
- [6] M. Manteghi, S. S. Naeini, and A. Abbaspur, "A U-shaped inverted-F microstrip patch antenna for portable terminals," *IEEE APS conf. on antennas and propagation for wireless communications*, Waltham Ma, Nov. 2000, pp. 33-34.
- [7] B. Li, Z. H. Yan, T. L. Zhang, and C. Wang, "Dual-band antenna with U-shaped open stub for WLAN.WiMax applications," *J. of electromagnetic waves and applications*, vol. 25, no. 17-18, Apr. 2012, pp. 2505-2512.
- [8] J. H. Lu and W. C. Chou, "Planar Dual U-Shaped Monopole Antenna With Multiband Operation for IEEE 802.16e," *Institute of electrical and electronics engineers INC*, vol. 9, Oct. 2010, pp. 1006-1009.
- [9] I. F. Chen and C. M. Peng, "Microstrip-fed dual-U-shaped printed monopole antenna for dual-band wireless communication applications," *Electronics letters*, vol. 39, no. 13, June 2003, pp. 955-956.
- [10] M. Yang and Y. Chen, "A Novel U-Shaped Planar Microstrip Antenna for Dual-Frequency Mobile Telephone Communications," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 49, no. 6, June 2001, pp. 1002-1004.
- [11] Y. X. Guo, K. M. Luk, K. F. Lee, and R. Chair, "A Quarter-Wave U-Shaped Patch Antenna with Two Unequal Arms for Wideband and Dual-Frequency Operation," *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 50, no. 8, Aug. 2002, pp. 1082-1087.
- [12] W. S. Chen and W. Y. Chang, "Novel U-shaped strip-slot printed antenna for triple-frequency operation," *Microwave and optical*

technology letters, vol. 50, no. 8, Aug. 2008, pp. 2219-2223.

- [13] Z. J. Tang, J. Zhan, and H. L. Liu, "Compact CPW-fed antenna with two asymmetric U-shaped strips for UWB communications," *Electronics letters*, vol. 48, no. 14, July 2009, pp. 810-812.

저자 소개



임대수(Dae-Soo Im)

2013년 신라대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2013년~현재 신라대학교 대학원 전자공학과 재학(공학석사)

※ 관심분야 : RF통신시스템, RF 회로설계, 안테나



최영규(Young-Kyu Choi)

1987년 중앙대학교 공과대학 전자공학과 졸업(공학사)

1988년 교토대학교(일본) 전자공학과 졸업(석사)

1992년 교토대학교(일본) 대학원 공학박사

1992년~1995년 국립 후쿠이대학(일본) 전자공학과 전임강사

1998년~현재 신라대학교 공과대학 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 초고주파, MMIC, 광통신, 광센서



윤중환(Joong-Han Yoon)

1992년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1994년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2005년 8월 인하대학교 Pso-Doc.

2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.

2008년 8월 삼성전기 책임연구원

2008년~현재 신라대학교 전자공학과 조교수

※ 관심분야 : RF &Antenna, RFID, Radar