

WLAN/WiMAX 대역에서 동작하는 두 개의 슬릿 구조를 갖는 CPW 급전방식 소형 안테나

김우수* · 윤중환**

A Compact CPW-fed Antenna with Two Slit Structure for WLAN/WiMAX Operations

Woo-Su Kim* · Joong-Han Yoon**

요약

본 논문에서는 WLAN와 WiMAX 대역에서 동작하는 CPW 급전방식을 갖는 다중대역 소형 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 모노폴 형태의 변형된 방사체에 두 개의 슬릿 구조를 갖고 유전율 4.4이고 두께 1.0 mm인 FR-4 기판위에 설계하였다. 제안된 안테나의 크기는 15.1 mm×16.4 mm이며 전체 기판의 크기는 17.5 mm×16.4 mm 이다. 제작 및 측정결과, -10 dB 반사손실 특성을 기준으로 2400 MHz에서는 439 MHz (2.06~2.499 GHz), 3500 MHz 대역에서는 940 MHz (3.31~4.25 GHz) 그리고 5000 MHz 대역에서는 1,315 MHz (5.23~6.545 GHz)대역폭을 얻었다. 또한 제안된 안테나의 측정된 방사패턴은 3D 패턴을 제시하였으며 측정된 이득은 3개 대역에서 최대이득을 각각 2.24 dBi, 2.83 dBi 그리고 2.0 dBi를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a multi-band small antenna with CPW(Coplanar Waveguide) feeding structure WLAN(Wireless Local Area Network) and WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) bands. The proposed antenna is designed two slit in the modified monopole type radiator and FR-4 substrate, which is thickness 1.0 mm, and the dielectric constant is 4.4. The size of proposed antenna is 15.1 mm×16.41 mm, and total size of proposed antenna is 17.5 mm×16.4 mm. From the fabrication and measurement results, From the fabrication and measurement results, bandwidths of 439 MHz (2.06 to 2.499 GHz), 840 MHz (3.31 to 4.25) and 1,315 MHz (5.23 to 6.545 GHz) were obtained on the basis of -10 dB impedance bandwidth. Also, 3D radiation pattern characteristics of the proposed antenna are displayed and measured gains 2.24 dBi, 2.83 dBi, and 2.0 dBi shown in the three frequency band, respectively.

키워드

CPW-fed, Multi-band, Patch Antenna, Small Antenna, WLAN and WiMAX Band Operation
CPW 급전, 다중 밴드, 패치 안테나, 소형 안테나, WLAN과 WiMAX 대역 동작

* 한국공학대학교 지식기반기술에너지대학원 (kws@ukorea.ac.kr) • Received : Jun. 19, 2022, Revised : Aug. 15, 2022, Accepted : Oct. 17, 2022
** 교신저자 : 신라대학교 전기전자공학과 • Corresponding Author : Joong-Han Yoon
• 접수일 : 2022. 06. 19 • Division of Smart Electrical and Electronic Engineering, Silla University,
• 수정완료일 : 2022. 08. 15 • Email : jhyoon@silla.ac.kr
• 게재확정일 : 2022. 10. 17

I. 서 론

사물인터넷의 등장으로 인터넷에 연결된 스마트폰, 태블릿, 웨어러블 기기, 스마트 가전, IoT 기기 등 스마트 디바이스의 확산에 따라 무선 랜을 탑재한 기기의 수는 해마다 기하급수적으로 증가하고 있다.

2014년 1월, Wi-Fi 4(IEEE 802.11n)를 대체하는 새로운 Wi-Fi 5(IEEE 802.11 ax) 규격이 배포되었으며 Wi-Fi 5는 이론상 최대 6.9 Gbps(초당 862 MB)의 전송 속도를 제공하고, 속도는 느린 대신 도달 성능이 좋은 2.4 GHz와 도달 성능은 부족하지만, 속도가 높은 5 GHz 두 개의 대역을 동시에 사용해 활용도를 넓혀왔다. 그러나 현재의 Wi-Fi 시스템으로는 고속 네트워크 환경, 사물 인터넷(Internet of Things), 다중 기기에 대한 지원 등이 부족한 게 현실이며 이를 해결하기 위해 등장한 규격이 바로 Wi-Fi 6이고 Wi-Fi 5에서 한계로 지적된 부족한 도달 성능과 다중 장치 안정성, 보안 문제를 해결한 규격으로, 이전 세대와의 호환성과 새로운 기기 호환성을 모두 포함하면서 더 높은 성능을 제공할 예정이다[1-2].

이러한 Wi-Fi 서비스가 원활히 제공되기 위해서는 시스템을 구성하는 다양한 부품들의 설계 및 개발이 이루어져야 한다. 특히 하나의 안테나를 사용하여 여러 종류의 서비스가 가능하도록 다중 대역에서 동작하는 안테나의 개발 및 적용이 필수적이며 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔다[3-5].

이러한 연구 중에 CPW 급전 구조 방식은 마이크로 스트립 선로에 비해 분산 특성이 작고, 광대역 특성을 얻을 수 있으며 접지면과 동일한 면에 급전구조를 구현함으로써 급전 손실을 줄일 수 있다. 이러한 장점으로 인해 CPW 급전을 이용한 마이크로스트립 안테나에 대해 지속적으로 이루어져 왔다[6-8]. 한편 CPW 급전 방식을 포함한 WLAN과 WiMAX 대역을 만족시키는 안테나에 대한 연구도 활발히 연구되어 왔다[9-13].

본 논문에서는 WLAN과 WiMAX 대역을 동시에 만족하는 CPW 급전방식의 다중대역 소형안테나를 설계 및 제작하였다. 제안된 안테나의 다중대역 특성을 얻기 위해서 십자가 구조의 방사체에 두 개의 슬릿 구조를 삽입한 형상을 제안하였다. 일반적인 안테나 특성인 반사손실(-10dB 기준), 방사패턴, 최대이득

을 얻기 위한 시뮬레이션을 진행하였다. 이러한 결과를 바탕으로 비유전율 4.4의 FR-4유전체 기판 위에 제안된 단일 안테나를 제작하였다. 제작 결과로부터, 제안된 안테나의 특성을 나타내었다.

II. 제안된 안테나 구조

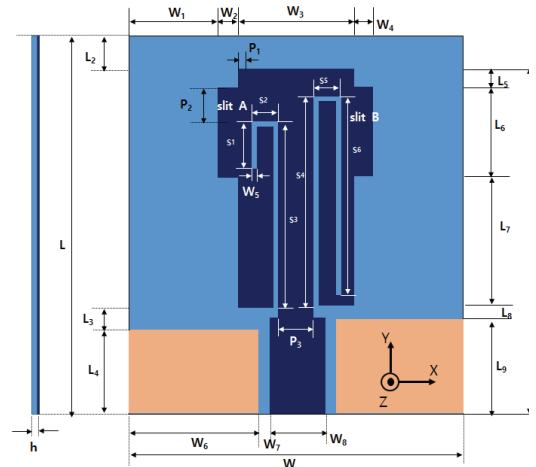


그림 1. 제안된 CPW 급전 소형 다중대역 안테나의 구조

Fig. 1 Structure of the proposed CPW-fed compact multi-band antenna

그림 1은 제안된 안테나 구조를 나타내었다. 제안된 안테나의 방사체는 기존 모노폴 형태에서 변형된 십자가 모양을 제시했으며 이러한 방사체에 두 개의 슬릿 구조를 삽입하고 비대칭 접지면 구조를 적용하여 원하는 대역에서 임피던스 매칭이 되도록 설계하였다.

제안된 안테나의 크기는 15.1 mm×16.4 mm이며 전체 기판의 크기는 17.5 mm×16.4 mm이다. 유전율이 4.4이고 두께가 1.0 mm인 FR-4 기판을 사용하여 제안된 안테나를 설계하였다. 제안된 설계사양으로는 WLAN 대역(2.4~2.484 GHz, 5.15~5.875 GHz) 그리고 WiMAX 대역(3.4~3.8 GHz, 5.15~5.875 GHz)에서 최대이득을 갖도록 설계하였다. 설계 시 상용 툴인 HFSS를 사용하여 최적화된 수치를 얻었다.

그림 2는 제안된 안테나의 L_4 파라미터 수치 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. L_4

는 왼쪽 접지면의 높이를 나타내며 $L_4=3.5$ mm일 때와 $L_4=4.5$ mm일 때 3.5 GHz 주파수 대역의 시뮬레이션 반사손실 특성이 요구되는 조건을 만족하지 못하고 있음을 확인하였다. 최적화 수치로 L_4 를 4.0 mm로 설정하였다.

그림 3는 제안된 안테나의 W_7 파라미터 수치 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. W_7 은 급전선과 접지면 사이의 간격이며 시뮬레이션 결과로부터 $W_7=0.2$ mm인 경우, 급전선과 접지면 사이의 간격이 작아져서 원하는 대역에서의 시뮬레이션 반사손실 특성이 전체적으로 열화되고 있음을 확인하였다. 또한 $W_7=0.6$ mm일 때 보다 $W_7=0.4$ mm일 때 원하는 주파수 대역에서 반사손실 특성이 만족되고 있음을 확인하였다. 최적화 수치로 W_7 을 0.4 mm로 설정하였다. 시뮬레이션 결과로부터 W_7 의 변화가 3.5 GHz 대역과 5 GHz 대역에서 매우 민감하게 변화되고 있음을 확인하였으며 제안된 안테나의 반사손실 특성에 영향을 미치는 파라미터임을 알 수 있었다.

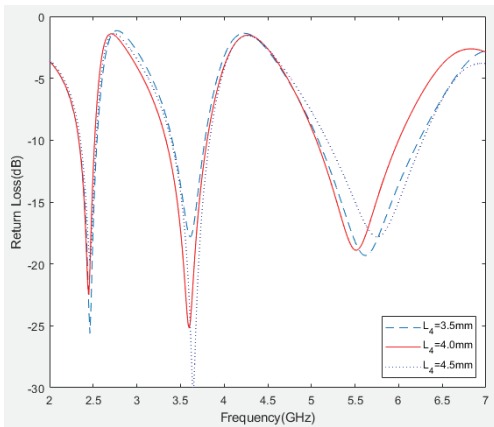


그림 2. L_4 길이 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 2 Return loss characteristic of the effect of the L_4

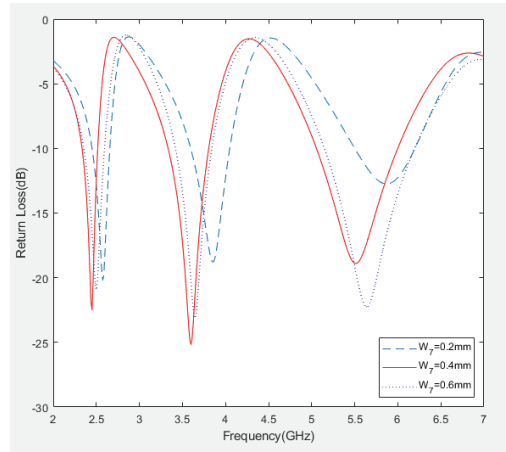


그림 3. W_7 길이 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 3 Return loss characteristic of the effect of the W_7

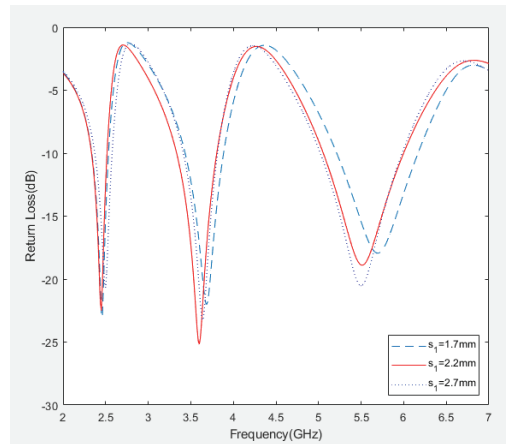


그림 4. s_1 길이 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 4 Return loss characteristic of the effect of the s_1

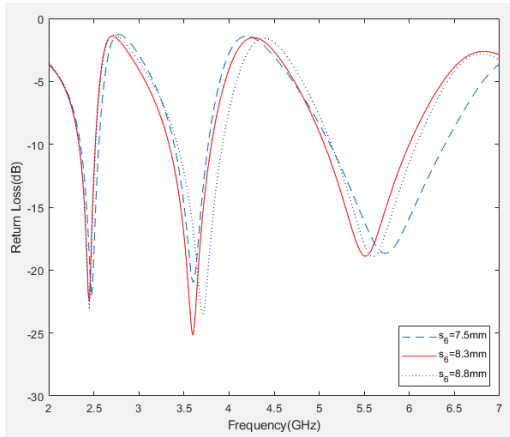


그림 5. s_6 길이 변화에 따른 반사손실 특성
Fig. 5 Return loss characteristic of the effect of the s_6

그림 4는 제안된 안테나의 s_1 파라미터 수치 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. s_1 은 슬릿 A의 길이 변화를 나타내며 s_1 의 길이를 1.7 mm에서 2.2 mm로 0.5 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성을 확인하였다. 시뮬레이션 결과로부터 s_1 의 길이 변화는 3.5 GHz 대역과 5 GHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 주는 것으로 확인하였다. 최적화 수치로 s_1 을 2.2 mm로 설정하였다.

그림 5는 제안된 안테나의 s_6 파라미터 수치 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. s_6 은 슬릿 B의 길이변화를 나타내며 s_6 의 길이를 7.5 mm에서 8.8 mm로 0.5 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성을 확인하였다. 시뮬레이션 결과로부터 s_6 의 길이 변화는 전체 주파수 대역에서 영향을 미치며 2.4 GHz, 3.5 GHz 대역 그리고 5.0 GHz 대역의 반사손실 특성에 영향을 주는 것을 확인하였다. 최적화 수치로 s_6 을 2.2 mm로 설정하였다.

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 HFSS 상용 툴을 사용하여 전류밀도 분포를 그림 6에서 나타내었다. 그림 6(a)은 2.54 GHz 주파수에서, 그림 6(b)은 3.63 GHz 주파수에서, 그리고 그림 6(c)은 5.60 GHz 주파수에서 각각 제안된 안테나의 표면 전류분포를 나타내었다. 그림에서도 알 수 있듯이 2.54 GHz 주파수에서는 슬릿 길이가 제일 긴 슬릿 B 전체 영역에서 강한 전류밀도가 분포하고 있는 것으로 확

인하였으며 3.63 GHz에서는 슬릿 A 전체영역에서 강한 전류밀도가 분포하고 있는 것으로 확인하였다. 또한 5.60 GHz에서는 슬릿 A의 하단 영역과 슬릿 B의 상단 영역에서 강한 전류분포가 존재하고 있음을 나타내고 있다.

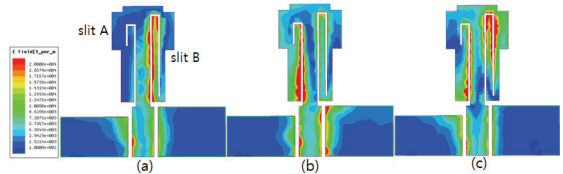


그림 6. 제안된 안테나의 전류 분포 (a) 2.54 GHz, (b) 3.63 GHz, and (c) 5.60 GHz

Fig. 6 The current density of proposed antenna (a) 2.54 GHz, (b) 3.63 GHz, and (c) 5.60 GHz

이러한 결과로부터 제안된 안테나의 최적화된 시뮬레이션 반사손실 특성(2400 MHz 대역에서 170 MHz (2.34~2.51 GHz), 3500 MHz 대역에서 460 MHz (3.34~3.80 GHz), 그리고 5000 MHz 대역에서 940 MHz (5.06~6.0 GHz))을 얻었으며 요구되는 WLAN 대역과 WiMAX 대역에 대한 반사손실 특성을 만족하였다. 제안된 안테나의 최적화된 수치는 표 1에 나타내었다.

표 1. 설계된 안테나의 파라미터들
Table 1. parameters of the designed antenna

Parameters	Value [mm]	Parameters	Value [m]
L	17.5	W	16.4
L ₁	15.1	W ₁	5.1
L ₂	2.4	W ₂	1.1
L ₃	1.5	W ₃	4.0
L ₄	4.0	W ₄	1.1
L ₅	0.6	W ₅	4.0
L ₆	3.8	W ₆	6.7
L ₇	5.2	W ₇	0.4
L ₈	0.8	W ₈	2.2
L ₉	5.0	s ₁	2.2
P ₁	0.3	s ₂	1.0
P ₂	1.2	s ₃	7.2
P ₃	1.4	s ₄	8.8
h	1.0	s ₅	1.0
		s ₆	8.3

2장에서는 대한 중요 파라미터에 대한 수치해석과 전류 분포를 통해 최적화된 수치를 확인하였다.

III. 제작 및 측정결과



그림 7. 제안된 안테나의 프로토타입
Fig. 7 Prototype of the proposed antenna

표 1에 제시된 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하고 측정하였다. 그림 7은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다. 제작된 안테나는 회로망 분석기를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 에이스테크놀로지 모바일 무반사실에서 측정하였다. 그림 8은 제안된 안테나의 반사손실 특성에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 측정된 결과를 비교하여 나타내었다. 반사손실 측정 결과, -10dB 반사손실 특성을 기준으로 2400 MHz에서는 439 MHz (2.06~2.499 GHz), 2400 MHz 대역에서는 3500 MHz (3.31~4.25 GHz) 그리고 5000 MHz 대역에서는 1,315 MHz (5.23~6.545 GHz) 대역폭을 얻었다.

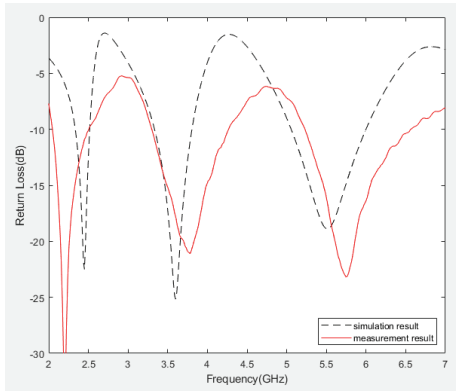


그림 8. 제안된 안테나의 측정된 반사손실 결과
Fig. 8 The measured return loss results of the proposed antenna

그림 9, 10, 11, 그리고 12는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 9는 2440 MHz 주파수에서, 그림 10는 3.50 GHz 주파수에서, 그림 11는 5.35 GHz 주파수에서, 그림 12는 5.75 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 3D 패턴을 제시하였으며 동작 대역에서 전체적으로 전방향성 특성을 나타내고 있다.

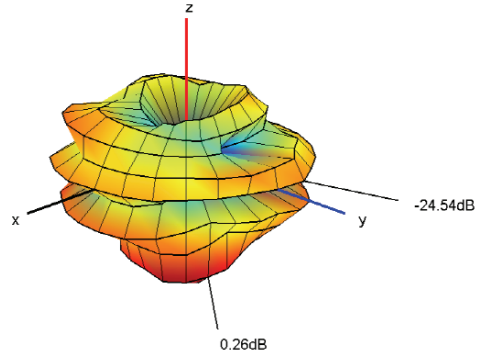


그림 9. 2.44 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 9 Measured 3-D radiation pattern in 2.44 GHz

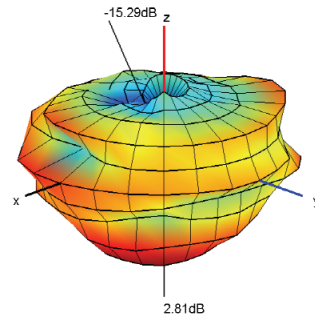


그림 10. 3.5 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 10 Measured 3-D radiation pattern in 3.5 GHz

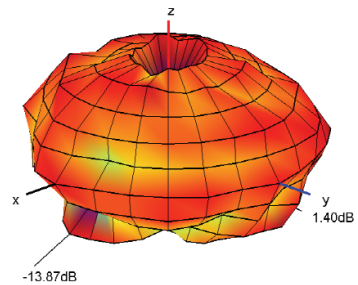


그림 11. 5.35 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
Fig. 11 Measured 3-D radiation pattern in 5.35 GHz

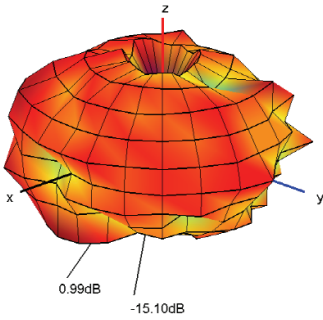


그림 12. 5.75 GHz에서 측정된 3-D 방사패턴
 Fig. 12 Measured 3-D radiation pattern in 5.75 GHz

그림 13은 측정된 안테나의 이득을 나타내었다. 2.4 GHz 대역에서 $-7.32 \sim -7.02$ dBi, 최대이득은 $0.09 \sim 2.24$ dBi, 3.5 GHz 대역에서 평균이득은 $-5.22 \sim -3.93$ dBi, 최대이득은 $1.35 \sim 2.81$ dBi, 그리고 5.0 GHz 대역에서 평균이득은 $-4.67 \sim -2.07$ dBi, 최대이득은 0.99

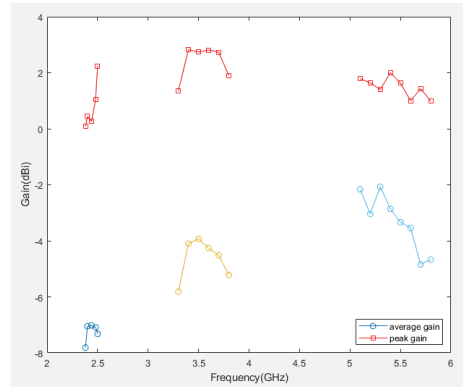


그림 13. 제안된 안테나의 측정된 최대 그리고 평균 이득
 Fig. 13 Measured peak and average gains of the proposed antenna

~ 2.0 dBi를 얻었다. 3장에서는 제작된 시작품의 결과를 나타내었으며 측정된 반사손실, 방사패턴, 이득 결과를 나타내었다

표 2에서 본 논문에서 제안된 안테나의 특성과 이미 발표된 논문에서 제시된 안테나의 특성을 비교하였다. 최근 발표된 논문에서 제시된 안테나의 크기에 비해 본 논문에서 제시된 안테나의 크기를 상대적으로 작은 크기를 갖는 것을 확인하였다.

표 2. 제안된 안테나와 신 발표된 안테나와의 비교

Table 2. A comparison between recent reported triple band antenna and the proposed antenna

Ref No.	Frequency Range (GHz)	Bandwidth (GHz)	ϵ_r	thickness(mm)	Antenna Size(mm)
[9]	2.08~2.74, 3.40~3.88, 4.61~6.79	0.66, 0.488, 2.18	4.4	1.0	18.0 × 33.0
[10]	2.29~2.59, 3.37~3.75, 4.85~6.23	0.30, 0.38, 1.38	4.4	1.6	17.0 × 23.5
[11]	2.38~2.48, 3.37~3.79, 4.36~6.06	0.10, 0.42, 1.70	4.4	1.6	19.0 × 19.0
[12]	3.30~3.71, 5.70~5.94	0.41, 0.24	4.4	0.8	17.0 × 18.0
[13]	2.48~6.7	4.22	4.4	1.6	50.0 × 50.0
This work	2.06~5.499, 3.31~4.25, 5.23~6.545	0.439, 0.94, 1.315	4.4	1.0	15.1 × 16.4

IV. 결론

본 논문에서는 WLAN 대역과 WiMAX 대역을 만족하는 CPW 급전구조를 갖는 소형 다중대역 안테나를 설계 및 제작하였다. 상용 톨인 HFSS를 사용하여 유전율 4.4, 두께 1.0 mm인 FR-4 기판에 제안된 안테나를 설계하였으며 중요 파라미터에 대한 수치해석과 전류 분포를 통해 최적화된 수치를 확인하였다. 결과로부터 설계된 안테나를 제작하고 측정하였다. 측정결과, -10dB 반사손실 특성을 기준으로 2400 MHz에서는 439 MHz (2.06~2.499 GHz), 3500 MHz 대역에서는 940 MHz (3.31~4.25 GHz) 그리고 5000 MHz 대역에서는 1,315 MHz (5.23~6.545 GHz) 대역폭을 얻었다. 또한 제안된 안테나의 측정된 방사패턴은 3D 패턴을 제시하였으며 측정된 이득은 3개 대역에서 최대이득을 각각 2.24 dBi, 2.83 dBi 그리고 2.0 dBi를 얻었다. 다양한 서비스를 제공하기 위해서 모바일 디바이스에 많은 수의 안테나가 필요하므로 본 논문에서 제안한 다중대역 서비스가 가능한 소형안테나는 다양한 분야에 적용 가능할 것으로 판단된다.

Reference

- [1] J. Son, U. An, J. Ko, and K. Kwak, "Recent trend to IEEE 802.11ax next-generation WLAN standardization," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 31, no.10, pp. 3-9, 2016.
- [2] B. Jeong, S. H. Jang, S. L. Yoon, and D. H. Kim, "Recent Trends to Next-Generation Wireless LANs," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 27, no. 2, pp. 1-10, 2012.
- [3] S. Ullah, A. Ahmad, B. Khan, and J. Flint, "A multiband swithable antenna for Wi-Fi, 3G Advanced, WiMAX, and WLAN wireless application," *J. of Microwave and Wireless Technology*, vol. 10, no. 8, Oct. 2018, pp. 991-997.
- [4] M. Kim, S. Park, and J. Yoon, "Design and fabrication of triple band antenna applicable to GPS/DCS/WLAN system," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 3, June 2019, pp. 475-482.
- [5] A. Swetha and K. Naidu, "Miniaturized using DGS and meander structure for dual band application," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 62, no. 11, Nov. 2020, pp. 3556-3563.
- [6] J. Yoon, "A design and implementation of CPW-fed antenna with two branch strip for WLAN applications," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 4, Apr. 2015, pp. 441-448.
- [7] I. Choi and H. Shin, "A compact CPW-fed antenna with step structure for 5 GHz WLAN applications," *J. of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 1, Jan. 2016, pp. 8-14.
- [8] W. Yeo, K. Lai, K. Yeap, P. The, and H. Nisar, "A compact dual-band hook-shaped antenna for wireless applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 20, no. 1, Mar. 2017, pp. 1882-1887.
- [9] W. Kim and J. Yoon, "Design and manufacture of triple-band antennas with modified rectangular ring and rectangular patch for WLAN/WiMAX system applications," *J. of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 23, no. 3, June, 2019, pp. 341-348.
- [10] P. Osklang, C. Phongcharoenpanich, and P. Akkaraekthalin, "Triband compact printed antenna for 2.4/3.5/5 GHz WLAN/WiMAX applications," *International Journal of Antennas and Propagation*, vol. 2019, article ID 8094908, 1-13.
- [11] S. Wang, K. Li, F. King, and L. Du, "A miniaturized triple-band planar antenna combing single-cell metamaterial structure and defected ground plane for WLAN/WiMAX applications," *J. of Electromagnetic waves and Applications*, vol. 35, no. 3, Nov. 2020, pp. 357-370.
- [12] D. Naji, "Miniature slotted semi-circular dual-band antenna for WiMAX and WLAN applications," *J. of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 2, Apr. 2020, pp. 115-124.
- [13] O. Benkhadda, S. Ahmad, M. Saih, A. Peha, A. Ghaffar, S. Khan, M. Alibakhshikenari, and E. Limiti, "Compact broadband antenna with vicsek fractal slots for WiMAX and WLAN applications," *Applied Sciences*, 2022, 12, 1142, pp. 1-14.

저자 소개



김우수(Woo-Su Kim)

1996년 2월 인하대학교 전자공학과
(공학사)

1998년 2월 인하대학교 대학원 전
자공학과 졸업(공학석사)

2010년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업
(공학박사)

2001년 11월 ~ 2022년 8월 한국산업기술평가관리
원 단장

2011년 12월~2012년 12월 미국 조지아텍 Post-Doc.

2022년 9월~현재 한국공학대학교 지식기반기술에너
지대학원 조교수

※관심분야 : IoT, RF 소재, 전파전파, 에너지 하베스
팅



윤중한(Joong-Han Yoon)

1992년 2월 인하대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1994년 8월 인하대학교 대학원 전
자공학과 졸업(공학석사)

2003년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학
박사)

2005년 8월 인하대학교 Post-Doc.

2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.

2008년 8월 삼성전기 책임연구원

2008년 9월 ~현재 신라대학교 MICT 공과대학 전기
전자공학과 교수

※ 관심분야 : RF & Antenna, 소재, Digital Radar