JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지 Vol. 23, No. 3: 341~348, Mar. 2019

변형된 사각 링과 사각 패치를 갖는 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 삼중대역 안테나 설계 및 제작

김우수[1] · 윤중한[2*]

Design and Manufacture of Triple-Band Antennas with Modified Rectangular Ring and Rectangular Patch for WLAN/WiMAX system applications

Woo-Su Kim[1] · Joong-Han Yoon[2*]

[1]Ph.D, Korea Evaluation Institute of Industrial Technology, Daejeon, 35262 Korea
[2*]Associate Professor, Division of Smart Electrical and Electronic Engineering, Silla University, Pusan, 46958 Korea

요 약

본 논문에서는 WLAN(Wireeless Local Area Network)과 WiMAX(World Interoperability for Microwave Access) 표준화 주파수 대역에 적합하도록 모노폴 형태의 삼중대역 안테나를 설계 제작하였다. 마이크로스트립 급전방법을 채택하고 사각 링과 사각 패치의 결합 구조로 설계하였으며 임피던스 특성을 향상시키기 위해 사각 링 패치 상단에 두 개의 스터브 추가하여 향상된 삼중대역 특성을 얻었다. 제안된 안테나는 29.0mm(W) × 44.0mm(L) × 1.0mm(t)의 유전체 기판 위에 18.0mm($2W_1+W_2$) × 33.0mm ($L_7+L_8+L_9$)의 크기로 설계되었다. 제작 및 측정 결과로부터 2.4/2.5 GHz에서는 660MHz (2.08~2.74GHz), 3.5GHz 대역에서는 488.0MHz (3.40 ~ 3.88GHz), 그리고 5.0GHz 대역에서는 2,180MHz (4.61 ~ 6.79GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한 무반사실의 측정결과로부터 제작된 안테나의 이득과 방사패턴 특성을 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, a monopole type antenna applicable to WLAN and WiMAX standard frequency bands is designed and fabricated. The proposed antenna is designed to have rectangular ring and rectangular patch based on microstrip feeding for triple band characteristics and inserted two stub in the top of the rectangular ring patch to enhance impedance bandwidth characteristics. The proposed antenna has 18.0mm ($2W_1+W_2$) × 33.0mm ($L_7+L_8+L_9$) on a dielectric substrate of 27.0mm(W_1) × 44mm(L_1) × 1.0mm size. From the fabrication and measurement results, impedance bandwidths of 660MHz (2,08 to 2.74GHz) for 2.4/2.5MHz band, 488MHz (3.40 to 3.88GHz) for 3.5MHz band, and 2,180MHz (4.61 to 6.79GHz) for 5,000MHz band were obtained based on the impedance bandwidth. The proposed antenna also obtained the measured gain and radiation pattern in the anechoic chamber.

키워드 : 변형된 사각 링, 사각 패치, 삼중대역, WLAN/WiMAX 적용

Key word : modified rectangular ring, rectangular patch, triple band, WLAN/WiMAX application

Received 10 November 2018, **Revised** 23 November 2018, **Accepted** 7 December 2018

*** Corresponding Author** Joong-Han Yoon(E-mail:jhyoon@silla.ac.kr, Tel:+82-51-999-5875)
Associate Professor, Division of Smart Electrical and Electronic Engineering, Silla University, Pusan, 46958 Korea

Open Access http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.3.341 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/li-censes/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

무선 랜 (Wireless LAN)으로도 불리는 WiFi 기술은 1997년 IEEE 802.11 전송규격이 출간된 이후 지속적인 개정 작업을 통해 전송 규격이 진화되어 가고 있으며 현재 Smart-Phone, Tablet, Note-PC 등 개인 휴대용 단말기를 위한 데이터 네트워크의 필수적인 구성요소가 되었다.

WiFi 기술은 초기 802.11의 2 Mbps 전송율로부터 진화를 거듭하여 현재는 최대 7 Mbps에 이르는 데이터 전송율을 지원하고 있다. 또한 IoT(Internet of Thing) 및 멀티 데이터 서비스지원을 위해 기존 2.4 GHz/5 GHz 대역을 지원하는 규격(802.11b/g, 802.11a)뿐만 아니라 900MHz(802.11ah) 그리고 TV 화이트 스페이스(802.11af)와 같은 추가적인 대역을 지원하는 규격도 이미 제정되었다[1].

현재는 IEEE 802.11ax 표준화 그룹이 활동하고 있으며 고밀도로 AP/단말이 혼재된 밀집환경에서 발생할 수 있는 WiFi 성능 저하 등의 있는 문제점들을 해결하기 위해 AP간의 협력, 빔포밍을 통한 간섭회피 및 동적 민감도 (Dynamic Sensitivity) 조절 등과 기술들이 논의 중이다[2].

한편 WiMAX는 고정형 시스템으로서 비교적 넓은 지역의 데이터 서비스하기 위해 정의되었으며 휴대 인터넷의 기술 표준을 목표로 개발된 무선 통신 기술이다[3].

이러한 표준화 동향에 따라 관련 시스템에 대한 연구개발이 진행되어 왔으며 더불어 관련 모듈 및 부품들도 개발되고 있다. 이러한 여러 부품들 중 안테나에 대한 많은 연구개발이 진행되어 왔으며 특히 WLAN 및 WiMAX 시스템에 적용할 수 있는 안테나의 개발이 지속적으로 이루어져왔다[4-19]. 또한 향후 무선 랜의 주파수 확장에 맞춰 WiMAX 주파수 대역을 포함한 다중대역 안테나의 개발이 필요할 것으로 판단된다.

본 논문에서는 WLAN 및 WiMAX 시스템에 적용 가능하도록 새로운 구조의 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 상용 툴을 사용하여 요구되는 안테나 특성(반사손실, 방사패턴, 이득)을 얻기 위해 시뮬레이션을 진행하였다. 최적화된 모델로부터 관련된 수치를 얻었으며 중요한 파라메타에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과로부터 제작 후 제안된 안테나의 네트워크 분석기를 통한 반사손실, 전자파 무반사실에서의 방사패턴, 이득에 대한 측정 결과를 얻었다.

Ⅱ. 설계된 삼중대역 안테나 설계

2.1. 설계된 안테나 구조

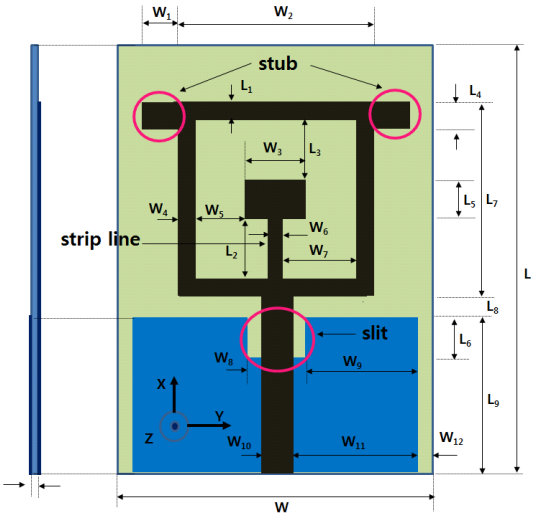

Fig. 1 The structure of the proposed WLAN/WiMAX antenna

설계된 안테나는 그림 1과 같은 형태로 설계하였다. 설계된 안테나는 그림에서 보는바와 같이 마이크로스트립 급전 구조와 사각 링, 그리고 사각 패치를 갖는 구조로 설계하였다. 또한 임피던스 매칭을 위해서 사각 링 상단에 두 개의 스터브를 삽입하여 원하는 대역에서의 대역폭을 얻었다. 전체적인 면적이 가장 큰 사각 링 (W_2(14.0mm)×L_7(15.0mm))을 설계하고 스터브 (W_1(2.0 mm)×L_4(2.0mm))를 삽입하여 2.4GHz에서 공진하도록 크기를 조정하였으며 사각 패치 (W_3(5.0mm)×L_5(5.1mm)를 사각 링 안에 배치하였으며 3.5GHz에서 공진할 수 있도록 넓이와 두께를 조정하였다. 또한 5GHz 대역에서 공진하도록 접지면 슬릿 (W_8(4.0mm)×L_6(2.0mm)을 삽입하여 설계하였다. 설계사양은 요구되는 삼중 대역 안테나로 동작하기 위해 WLAN 대역 (2.4～2.484, 5.15～5.35 그리고 5.75～5.85GHz) 그리고 WiMAX 대역 (2.5～2.69, 3.4～3.69 그리고 5.15～5.825 GHz)에서 반사손실이 －10dB 이하의 특성을 얻어야 하며 최대 이득은 0dBi 이상, 방사패턴은 전방향성을 얻도록 설계하고

자 한다.

설계된 안테나 기판의 크기는 27.0mm(W)×44.0mm(L)이고 유전율(ϵ_r) = 4.4, 두께 1.0mm인 FR-4 기판 위에 설계되었으며, 안테나의 크기는 18.0mm($2W_1+W_2$) × 33.0mm ($L_7+L_8+L_9$) 전체 스트립라인의 두께는 동일하게 2mm로 설정하였다.

Ansoft 사의 HFSS [20]를 이용하여 제안된 안테나의 임피던스와 방사 패턴 특성 변화를 확인하였으며 최적화 설계를 진행하였다.

2.2. 제안된 안테나의 설계 과정

그림 2는 L_8 길이 변화에 따른 설계된 안테나의 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. L_8은 제안된 안테나에서 사각 링 구조의 하단과 접지면 사이의 길이를 나타내는 파라메타로서 그림에서 보는 바와 같이 L_8의 길이를 1.0mm부터 3.0mm까지 1.0mm 씩 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. 시뮬레이션 결과, 요구되는 전 대역에 걸쳐 반사손실 특성의 변화가 발생되었다. L_8의 길이를 1.0mm로 설정했을 경우, 이중대역 특성을 얻었으며 2.4/2.5GHz 대역(2.46～2.76 GHz)뿐만 아니라 5GHz 대역(3.46～5.44GHz)에서도 요구되는 대역폭을 만족시키지 못한 결과를 얻었다. L_8의 길이를 3.0mm로 설정했을 경우, 삼중대역 특성을 얻었으며 2.4/2.5GHz 대역(2.34～2.59GHz)과 5GHz 대역(4.59～6.52GHz)에서는 충분한 대역폭을 얻었지만 3.5GHz 대역(3.38～3.58GHz)에서는 요구되는 충분한 대역폭을 얻지 못하였다. 얻어진 시뮬레이션 결과를 표 1에 정리하여 나타내었다. 결과적으로 L_8의 길이를 2.0mm로 설정했을 경우, 삼중대역 특성 및 요구되는 대역폭을 확보할 수 있었다. 이러한 결과는 제안된 안테나의 L_8 간격 변화에 따라 접지면과의 근접 여부가 판정되므로 제안된 안테나의 반사손실 특성에 큰 영향을 끼칠 것으로 판단된다.

Table. 1 Results of simulation : L8

Frequency Band		2.4/2.5 GHz band	3.5 GHz band	5.0 GHz band
Bandwidth	L_8=1mm	2.46～2.76 GHz	3.46～5.44 GHz	
	L_8=2mm	2.39～2.66	3.38～3.70 GHz	4.36～6.32 GHz
	L_8=3mm	2.34～2.59 GHz	3.38～3.58 GHz	4.59～6.52 GHz

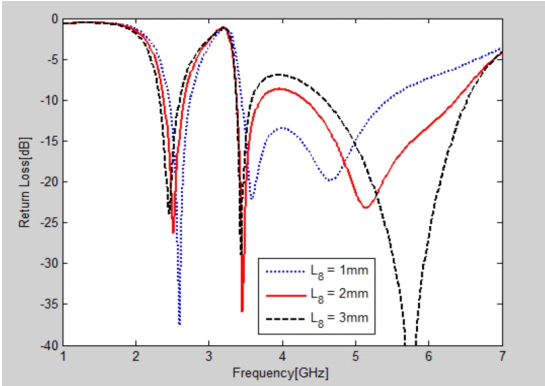

Fig. 2 Return loss characteristic of the effect of the L8.

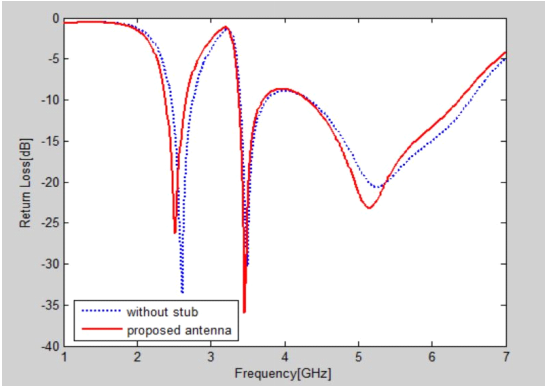

Fig. 3 Return loss characteristic according to the with and without stub of the rectangular ring structure

그림 3은 사각 링 상단에 사각 구조의 스터브의 존재 유무에 따른 설계된 안테나의 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 스터브가 존재하지 않은 경우, 2.4/2.5 GHz 대역에서 시뮬레이션 반사손실 특성은 －10dB를 기준으로 2.47～2.76GHz의 결과를 얻었으며 요구되는 주파수 대역(2.4～2.484GHz 그리고 2.5～2.69GHz)을 만족하지 못한 시뮬레이션 결과를 얻었다. 얻어진 시뮬레이션 결과를 표 2에 정리하여 나타내었다. 결과적으로 사각 링 패치 구조 상단에 사각 모양의 스터브를 삽입함으로서 요구되는 주파수 대역에 만족하는 결과를 얻었다.

Table. 2 Results of simulation with/without stub

Frequency Band		2.4/2.5GHz band	3.5GHz band	5.0GHz band
Band width	withoutstub	2.47～2.76GHz	3.40～3.75GHz	4.35～6.52GHz
	withstub	2.39～2.66GHz	3.38～3.70GHz	4.36～6.32GHz

그림 4는 제안된 안테나의 접지면에 슬릿이 존재 유무에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 접지면에 슬릿이 존재하지 않을 경우, 시뮬레이션 반사손실 특성은 –10dB를 기준으로 2.4/2.5 GHz 대역에서 250MHz (2.46~2.71GHz)대역폭을 얻었으며 3.5GHz 대역에서도 1,870MHz (3.45~5.32GHz) 대역폭을 얻었지만 요구되는 2.4/2.5GHz, 3.5 그리고 5.0GHz 대역의 주파수 대역을 만족시키지 못하고 있는 것을 확인하였다. 그러나 슬릿이 존재할 경우의 시뮬레이션 반사손실 특성은 –10dB를 기준으로 요구되는 주파수 대역 및 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다. 얻어진 시뮬레이션 결과를 표 3에 정리하여 나타내었다.

Table. 3 Results of simulation with/without slit

Frequency Band		2.4/2.5 GHz band	3.5 GHz band	5.0 GHz band
Band width	withouts tub	2.46~2.71GHz	3.46~5.37 GHz	
	withstub	2.39~2.66GHz	3.38~3.70GHz	4.36~6.32GHz

Table. 4 Results of simulation with/without rectangular patch

Frequency Band		2.4/2.5 GHz band	3.5 GHz band	5.0 GHz band
Band width	withouts tub	2.47~2.76GHz	4.75~5.44 GHz	
	withstub	2.39~2.66GHz	3.38~3.70GHz	4.36~6.32GHz

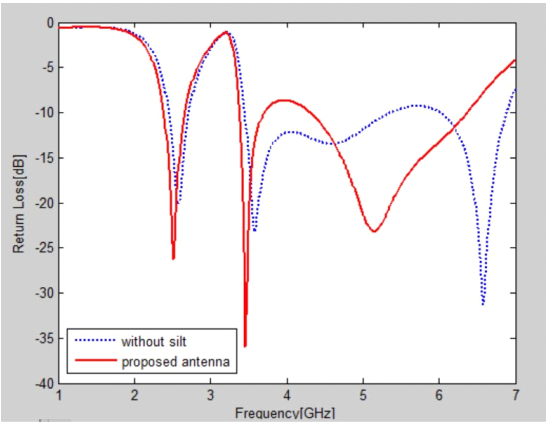

Fig. 4 Return loss characteristic according to the with and without slit in the ground.

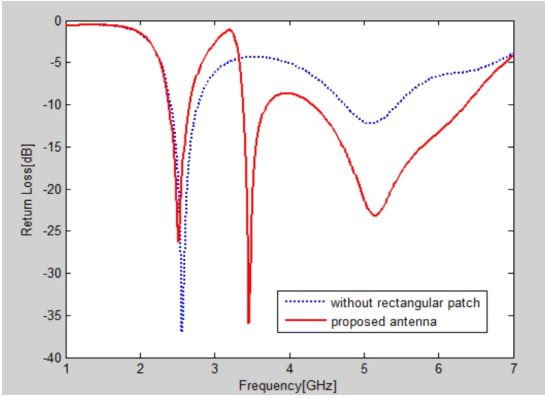

Fig. 5 Return loss characteristic according to the with and without rectangular patch

그림 5는 사각 링 안의 사각 패치 존재유무에 따른 설계된 안테나의 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 점선의 경우는 급전선로부터 사각 패치로 연결되는 스트립 선로를 포함한 사각 패치가 존재하지 않을 경우의 시뮬레이션 반사손실이며 사각 패치가 존재할 경우의 시뮬레이션 반사손실 특성은 –10 dB를 기준으로 요구되는 주파수 대역 및 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다. 이러한 결과로부터 사각 링 구조 안의 사각 패치가 3.5 GHz 대역의 공진에 절대적인 영향을 미치고 있다는 것으로 확인하였다. 얻어진 시뮬레이션 결과를 표 4에 정리하여 나타내었다.

이러한 결과로부터 제안된 안테나의 최적화된 시뮬레이션 반사손실 특성을 얻었으며 2.4/2.5 GHz 대역에서는 270 MHz (2.39~2.66 GHz), 3.5 GHz 대역에서는 320 MHz (3.38~3.70 GHz), 그리고 5 GHz 대역에서는 1,960 MHz (4.36~6.32 GHz)의 대역폭을 얻었으며 요구되는 삼중대역 특성을 만족하고 있음을 확인하였다. 설계된 안테나의 최적화된 값을 표 5에 나타내었다.

Table. 5 Parameters of proposed antenna

Parameter	Value [mm]	Parameter	Value [mm]
W	29.0	L	44.0
W1	2.0	L_1	1.5
W2	14.0	L_2	4.0
W3	5.0	L_3	3.4
W4	1.0	L_4	2.0
W5	3.5	L_5	5.1
W6	1.0	L_6	3.0

Parameter	Value [mm]	Parameter	Value [mm]
W7	5.5	L_7	15.0
W8	4.0	L_8	2.0
W9	9.0	L_9	16.0
W10	2.5	h	1.0
W11	9.75		
W12	1.0		

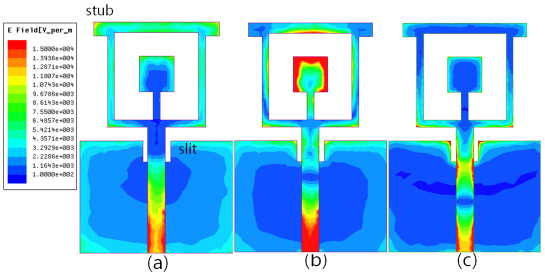

Fig. 6 The surface current density of proposed antenna (a) 2.515 GHz, (b) 3.46 GHz, and (c) 5.155 GHz.

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 상용 툴(HFSS)을 사용하여 사각 링, 사각 링의 스터브, 사각 링 안에 사각 패치 그리고 슬릿에 대한 전류밀도 분포를 그림 6에서 나타내었다. 그림 6(a)는 2.515 GHz 주파수, 그림 6(b)는 3.46GHz 주파수, 그리고 그림 6(c)는 5.155 GHz 주파수에서 각각 제안된 안테나의 표면 전류분포를 나타내었다. 이들 주파수는 시뮬레이션 반사손실 특성으로부터 각 대역에서 가장 반사손실이 좋은 주파수를 선정하여 전류분포를 얻었다. 그림에서도 확인할 있듯이 2.4/2.5GHz 대역에서는 전제 사각 링 패치와 스터브에 강한 전류밀도가 분포하고 있음을 확인하였다. 이 결과는 시뮬레이션 결과로부터도 확인할 수 있다. 또한 3.46GHz 주파수에서는 내부 사각 패치에 강한 전류밀도가 존재하고 있으며 5.44GHz에서는 접지면의 슬릿에 강한 전류밀도가 발생하고 있음을 확인하였다.

Ⅲ. 제작 및 측정

설계된 최적화 값을 사용하여 안테나를 제작 및 측정하였다. 그림 7은 실제 제작된 안테나의 실물사진이다. 제작된 안테나는 회로망 분석기를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 에이스테크놀리지 무반사실에서 측정하였다. 그림 8은 시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 비교하여 나타낸 반사손실 특성 결과이다. 시뮬레이션과 측정결과 사이에 오차가 있는 것으로 판단된다. 이러한 오차는 다음과 같다. 첫 번째는 기판의 유전율 오차, PCB 가공기를 사용한 안테나 제작 과정에서 발생하는 오차로 인한 결과로 판단된다. PCB 가공기는 SME코리아의 Eleven Lab 이며 제공 공차는 0.3mm이다. 그리고 안테나 측정 시 급전을 위해 SMA 커넥터를 사용하는데 시뮬레이션 상에서는 나타나지 않는 부품이기 때문에 이로 이한 오차가 발생한 것으로 판단된다. SMA 커넥터는 6GHz 까지 신뢰성을 확보한 부품이며 반사손실 측정 결과, 2.4/2.5GHz에서는 660MHz (2.08~2.74GHz), 3.5GHz 대역에서 480MHz(3.40 ~ 3.88GHz), 5.0GHz 대역에서 2,180MHz (4.61 ~ 6.79 GHz) 대역폭을 얻었다. 이러한 결과를 표 6에 정리하여 나타내었다.

Table. 6 Results of measured return loss

Frequency Band	2.4/2.5 GHz band	3.5 GHz band	5.0 GHz band
Bandwidth	660MHz (2.08~2.74GHz)	480MHz (3.40~3.88GHz)	2,180MHz (4.61~6.79GHz)

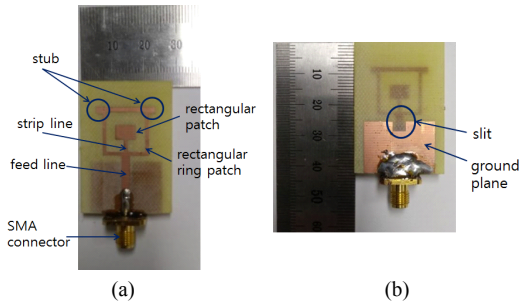

Fig. 7 Fabricated of propose antenna (a) Front view, (b) Back view.

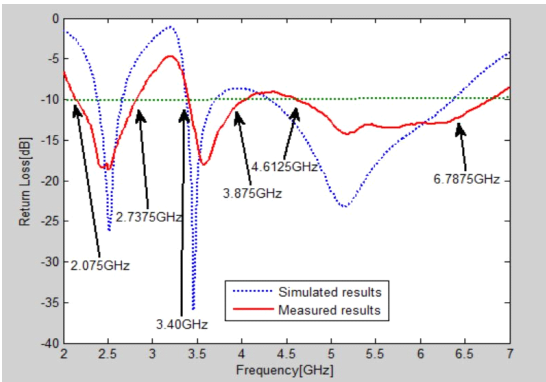

Fig. 8 The simulated and measured return loss results

그림 9, 10, 11, 그리고 12는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 9는 910MHz 주파수에서, 그림 10는 2.5GHz 주파수, 그림 11는 5.15GHz 주파수, 그림 12는 5.55GHz 주파수 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 3D 형태로 나타내었으며 요구되는 대역에서 전반적으로 전방향성 특성을 나타내고 있다. 그림 13는 측정한 안테나의 이득을 나타내었다. 2.4/2.5GHz 대역에서 평균이득은 －6.71 ~ -3.92 dBi, 최대이득은 0.53 ~ 2.54dBi, 3.5GHz 대역에서 평균이득은 －6.2 ~ -4.97dBi, 최대이득은 1.2 ~ 2.52dBi, 그리고 5.0GHz 대역에서 평균이득은 －3.99 ~ -1.71dBi, 최대이득은 2.74 ~ 6.91dBi를 얻었다. 측정된 최대 및 평균 이득값을 표 7에 정리하여 나타내었다.

Table. 7 Results of measured gain

Frequency Band		2.4/2.5 GHz band	3.5 GHz band	5.0 GHz band
measurement	average gain	－6.71 ~ -3.92 dBi	－6.2 ~ -4.97 dBi	－3.99 ~ -1.71 dBi
	peak gain	0.53 ~ 2.54 dBi	1.2 ~ 2.52 dBi	2.74 ~ 6.91 dBi

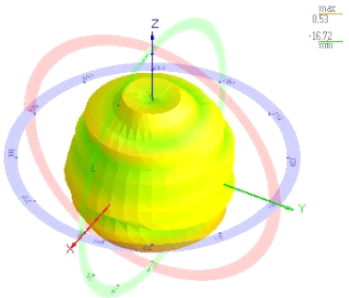

Fig. 9 3D radiation pattern of 2.4 GHz

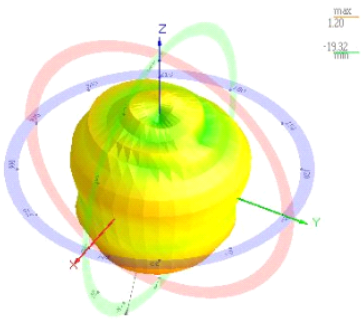

Fig. 10 3D radiation pattern of 3.6 GHz

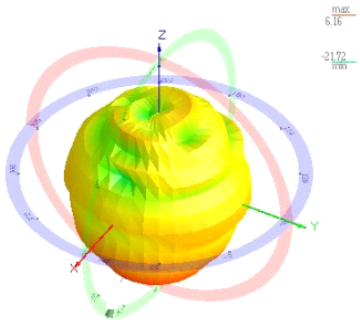

Fig. 11 3D radiation pattern of 5.35 GHz

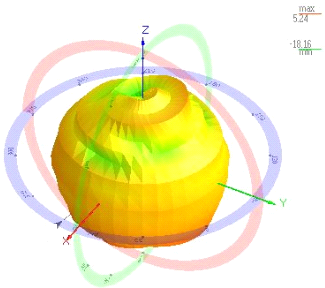

Fig. 12 3D radiation pattern of 5.75 GHz

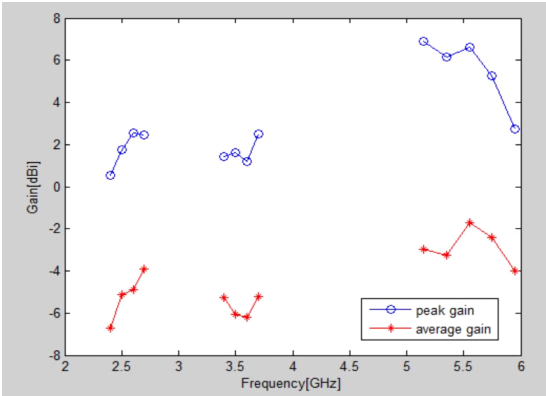

Fig. 13 Measured peak gains of the designed antenna

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 사각 링과 사각 패치의 결합 구조로 설계하고 향상된 삼중대역 특성을 얻기 위해 사각 링 패치 상단에 두 개의 스터브 추가한 형태의 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 특성에 절대적인 영향을 끼치는 요인들을 확인하고 이에 대한 시뮬레이션 반사손실 결

과를 바탕으로 최적화된 수치를 얻었다. 또한 설계된 안테나의 표면 전류 밀도를 확인하고 삼중대역의 동작을 확인하였다. 시뮬레이션 반사손실 결과로부터 얻어진 최적화된 값으로 설계된 안테나를 제작하고 네트워크 분석기를 활용하여 반사손실 특성을 측정하였다. 반사손실 측정결과, 2.4/2.5 GHz에서는 660 MHz (2.08~2.74 GHz), 3.5 GHz 대역에서 480 MHz (3.40 ~ 3.88 GHz), 5.0 GHz 대역에서 2,180 MHz (4.61 ~ 6.79 GHz)의 대역폭을 얻었다. 방사패턴은 3D 방사패턴을 제시하였으며 전체적으로 전방향성 특성을 나타내고 있고 2.4/2.5 GHz 대역에서 최대 2.54 dBi, 3.5 GHz 대역에서 최대 2.52 dBi, 5.0 GHz에서 최대 6.91 dBi를 얻었다.

REFERENCE

[1] B. H. Jeong, S. H. Jang, S. L. Yoon, and D. H. Kim, "Development direction of WLAN technology treads to IEEE 802.11ax standardization," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 27, no. 2, pp. 1-10, 2012.

[2] J. H. Son, U. J. An, J. J. Ko, and K. S. Kwak, "Recent tread to IEEE 802.11ax next-generation WLAN standardization," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 31, no. 10, pp. 3-9, 2016.

[3] World Wide Interoperability for microwave access forum or WiMAX forum [Internet]. Available: http://www.wimaxfroum.org.

[4] 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 Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 25, no. 8-9, pp. 1308-1316, Apr. 2012.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] J. H. Yoon, Y. C. Rhee, and W. S, Kim, " 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.

[9] D. S. Kim,and J. H. Yoon, "esign and manufacture of modified circular ring antenna for WLAN/WiMAX applications," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 18, no. 2, pp. 268-275, Feb. 2014.

[10] J. H. Yoon, S. J. Ha, and T. C. Rhee, " novel monopole antenna with two arc-shaped strips for WLAN/WiMAX applications," *Journal of Electromagnetic engineering and Science*, vol. 15, no. 1, pp. 6-13, Jan. 2015.

[11] W. S. Kim and J. H. Yoon, "A design for a CPW-fed monopole antenna with two modified half circular rings for WLAN/WiMAX operations," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 159-166, Sep. 2015.

[12] L Li. X. Zhang, X. Yin, and L. Zhou, "A compact triple band printed monopole antenna for WLAN and WiMAX applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1853-1855, 2016.

[13] A. K. Gautam, L. Kumar, B. K. Kanaujia, and K. Rambabu, "Design of compact F-shaped slot triple band antenna for WLAN/WiMAX applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 64, no. 3, pp. 1101-1105, Mar. 2016.

[14] M. M. Fakharian, and P. Rezaei, "Design of split ring antennas for WLAN and WiMAX applications," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 58, no. 9, pp. 2117-2122, Sep. 2016.

[15] M. A. Khaidi, "A highly compact multiband antenna of Bluetooth/WLAN, WiMAX, and WiFi applications," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 59, no. 1, pp. 77-80, Jan. 2017.

[16] M. O. Sallam, S. M. Kandil, V. Vlosik, G. A. E. Vandenboshch, and E. Soliman, "Wideband CPW-fed flexible bow tie slot antenna for WLAN/WiMAX applications," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 65, no. 8, pp. 4274-4277, Aug. 2017.

[17] B. Mohamadzade and A. Rezaee, "Compact and braodband dual sleeve monopole antenna for GSM, WLAN and WiMAX applications," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 59, no. 6, pp. 4274-4277, June 2017.

[18] J. H. Yeo, and J. L. Lee, "Compact dual band half ring shpaed bent slot antenna for WLAN and WiMAX

applications," *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 15, no. 4, pp. 199-204, Dec. 2017.

[19] T. Ali and R. C. Biradar, "A triple band highly miniaturized antenna for WLAN/WiMAX applications," *Microwave and Optics Technology Letters*, vol. 60, no. 1, pp. 466-471, Jan. 2018.

[20] Ansoft High Frequency Structure Simulator (HFSS) Version 10.0, Ansoft Corporation, 2005.

김우수(Woo-Su Kim)

1996년 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2010년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2011년 12월 ~ 2012년 12월 : 미국 조지아텍 Post-Doc.
2001년 11월 ~ 현재 : 한국산업기술평가관리원 책임연구원(팀장)
※ 관심분야 : 전파 및 안테나

윤중한(Joong-Han Yoon)

1992년 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1994년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
2003년 3월 ~ 2004년 8월 : 인하대학교 Post-Doc.
2004년 9월 ~ 2005년 10월 : 일본 요코하마 국립대학 Post-Doc.
2005년 11월 ~ 2008년 8월 : 삼성전기 책임연구원
2008년 9월 ~ 현재 : 신라대학교 MICT 융합공과대학 스마트전기전자공학과 부교수
※ 관심분야 : 전파 및 안테나