JKIICE Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering

한국정보통신학회논문지(J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.) Vol. 21, No. 4 : 679~687 Apr. 2017

WLAN/WiMAX 시스템 적용을 위한 DGS를 갖는 삼중대역 안테나 설계 및 제작

서나현[1] · 이영철[1] · 윤중한[2*]

A Design and Manufacture of Antenna with DGS(Defected Ground System) for WLAN/WiMAX system

Na-Hyun Seo[1] · Young-Chul Rhee[1] · Joong-Han Yoon[2*]

[1]Department of Information and Communication Engineering, Kyungnam University, Changwon 51767, Korea
[2*]Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea

요 약

본 논문에서는 DGS (Defected Ground Structure)를 적용한 WLAN/WiMAX 시스템에 적용 가능한 모노폴 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 마이크로스트립 급전을 바탕으로 두 개의 선로와 DGS를 갖도록 구성하여 삼중대역 특성을 갖도록 설계하였다. 두 개의 선로 그리고 세 개의 슬릿의 위치 및 길이와 DGS 위치와 길이를 적절한 조정하여 본 논문에서 요구되는 특성을 얻기 위한 최적화 수치를 얻었다. 제안된 안테나는 34 mm(W_1) × 34 mm(L_1) × 1.6 mm(t)의 비유전율 4.4인 FR-4 유전체 기판 위에 17.0 mm(W_6) × 30.75 mm(L_3+L_4+L_9)의 크기로 제작되었다. 제작 및 측정결과로부터 –10 dB 임피던스 대역폭을 기준으로 360 MHz (2.335～2.695 GHz), 645 MHz (3.37～4.015 GHz) 그리고 1,770 MHz (5.14～6.91 GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한 제안된 안테나는 요구되는 삼중대역에서 측정된 이득과 방사패턴의 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, a microstrip-fed triple-band monopole antenna with DGS (Defected Ground Structure) for WLAN/WiMAX applications was proposed. The proposed antenna is based on a microstrip-fed structure, and composed of two strip lines and DGS structure and then designed in order to get triple band characteristics. We carried out simulation about parameters. Adjusted the position and length of the two strips and three slits, we get the optimized parameters. The proposed antenna is fabricated on an FR-4 substrate of which the dielectric constant is 4.4, and its overall size is 34 mm(W_1) × 34 mm(L_1) × 1.6 mm(t), and its proposed antenna size is 17.0 mm(W_6) × 30.75 mm(L_3+L_4+L_9). From the fabricated and measured results, return loss of the proposed antenna satisfied return loss -10dB bandwidth 360 MHz (2.335～2.695 GHz), 645 MHz (3.37～4.015 GHz) and 1,770 MHz (5.14～6.91 GHz). And measured results of gain and radiation patterns characteristics displayed for operating bands.

키워드 : DGS, WLAN/WiMAX, 삼중대역

Key word : Strip line and slit, DGS(Defected Ground Sturcture), WLAN/WiAMX application

Received 22 November 2016, **Revised** 23 November 2016, **Accepted** 28 November 2016

* **Corresponding Author** Joong-Han Yoon(E-mail:jhyoon@silla.ac.kr, Tel:+82-51-999-5875)
Department of Electronic Engineering, Silla University, Busan 46958, Korea

Open Access https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.4.679 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

기본적으로 평면형 구조를 갖는 안테나는 넓은 임피던스 대역폭을 갖으며, 다른 능동형 소자 또는 MMIC와 쉽게 집적화할 수 있다는 장점으로 인해 많은 관심과 연구가 진행되어 왔다[1,2].

무선 랜 (Wireless LAN)으로도 불리는 WiFi 기술은 1997년 IEEE 802.11 전송규격에 출간된 이후 지속적인 보완과 개정작업을 통해 그 규격이 발전되어 스마트폰, 테블릿, 노트북 등 개인 휴대 단말기기를 위한 데이터 네트워크의 필수적인 구성요소가 되었으며 전 세계적으로 가장 성공적으로 정착되고 활성화된 네트워크가 되었다. WiFi는 초기 802.11의 2Mbps 전송률로부터 진화를 거듭하여 현재는 최대 7Mbps에 이르는 데이터 전송률을 지원하고 있으며 또한 IoT 및 다양한 서비스 지원을 위해 기존 2.4 GHz와 5 GHz 대역을 지원하는 규격뿐만 아니라 802.11ah, 802.11af와 같은 추가적인 대역을 지원하는 규격도 제정되었다[3,4].

한편 와이맥스(WiMAX, World Interoperability for Microwave Access)는 고정형 시스템으로서 무선 시스템을 이용하여 광, 케이블, xDSL 링크와 같은 유선망과 비교해 더 적은 비용으로 넓은 지역을 서비스하기 위해 정의되었다. 휴대 인터넷의 기술 표준을 목표로 미국의 인텔사가 개발한 IEEE 802.16d 규격의 무선 통신 기술이다. 이 네트워크 기술은 사용 반경이 좁다는 와이파이의 단점을 보완한 기술로, 이론적으로 장애물이 없는 지역에서는 전송 거리가 약 45km에 도달하며. 전송 속도는 최대 75Mbps로 알려져 있다. 할당된 주파수는 2.5 ~2.69 GHz 그리고 3.4~3.8 GHz 이다[5].

향후 이동통신은 여러 네트워크가 융합되어 다양하고 효율적인, 특성화된 서비스를 제공하는 방향으로 진화될 예정이다. 따라서 고정형 시스템인 WLAN와 WiAMAX는 각각 시스템의 장점을 공유하고 단점을 보완하는 방향에서 발전해 나갈 것으로 판단된다. 이들 시스템이 융합될 경우 이러한 시스템에 적합한 부품이 필요하며 그 중 가장 중요한 부품 중에 하나인 안테나 역시 이러한 요구에 맞게 WLAN과 WiMAX 시스템을 동시에 만족하는 안테나의 개발이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 안테나는 그 동안 많은 연구가 지속적으로 이루어져왔다[6-15]. 또한 DGS를 적용한 WLAN 대역과 WiMAX 대역을 동시에 만족하는 안테나에 대한 연구도 진행되어 왔다[16-22]. 그러나 대부분의 연구는 이중대역에 대한 결과를 나타내었으며 삼중대역 특성을 갖는 안테나에 대한 연구는 많지 않다 [19,21].

본 논문에서는 DGS (Defected Ground Structure)를 적용한 삼중대역 안테나를 제안하였다. 상용 툴을 사용하여 최적화된 모델을 얻었으며 관련된 수치를 각 파라메타에 대한 시뮬레이션을 진행하여 얻었다. 제안된 안테나의 표면 전류분포를 분석하여 안테나의 동작 원리를 확인하였으며 시뮬레이션 결과, 제안된 안테나는 반사손실 -10dB를 기준으로 요구되는 삼중대역을 만족하고 있음을 확인하였으며 이러한 결과를 바탕으로 FR-4 유전체 기판 위에 제안된 안테나를 제작되었다. 제작 후 제안된 안테나의 반사손실, 방사패턴, 전류분포, 이득에 대한 측정 결과를 얻었다.

Ⅰ장 서론에 이어 Ⅱ장에서는 본론으로 안테나 설계 및 시뮬레이션에 대하여 기술하고, Ⅲ 장에서는 안테나 제작 및 측정결과를 설명하고 Ⅳ 장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. DGS 구조 삼중대역 안테나 설계

2.1. 제안된 안테나 구조

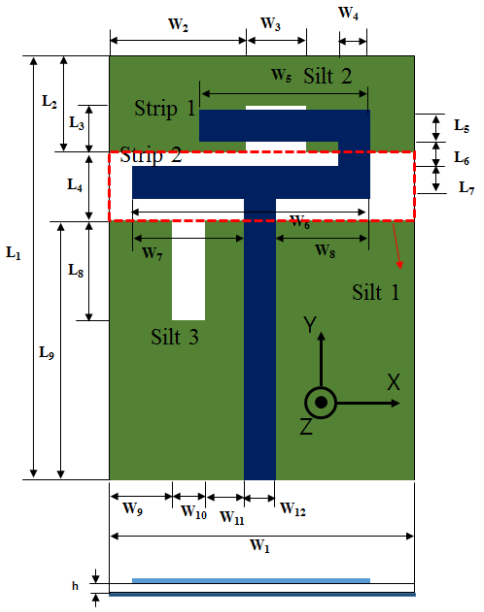
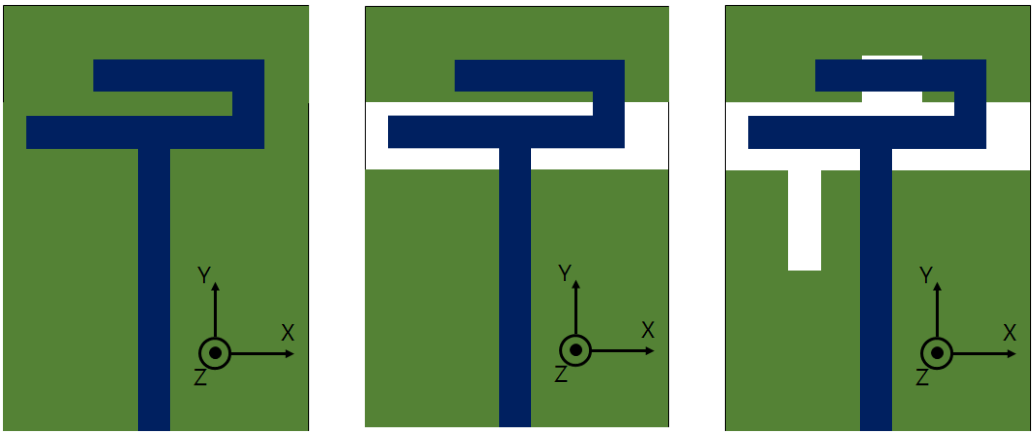


Fig. 1 Configuration of proposed WLAN/WiMAX antenna



(a) (b) (c)

Fig. 2 Proposed antenna design process : (a) Basic antenna with microstirp-fed structure, (b) Antenna with simple dgs structure, (c) proposed antenna.

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. 제안된 안테나는 마이크로스트립 급전 구조를 갖고 두 개의 스트립 라인을 갖도록 설계하였으며 접지면에 일정한 패턴을 설계하여 요구되는 WLAN/ WiMAX 주파수 대역과 대역폭을 만족하도록 설계하였다. 설계사양은 안테나로 동작하기 위해 반사손실이 –10dB 이하의 특성을 얻어야 하며 요구되는 WLAN (2.4~2.484, 5.15~5.35 그리고 5.75~5.85 GHz)밴드와 WiAMAX(2.5~2.69 GHz, 3.4~3.69 그리고 5.25~5.85 GHz) 밴드를 만족시켜야 한다.

설계된 안테나 기판의 크기는 21.0 mm(W_1) × 36.0 mm(L_1) 이고 유전율(ϵ_r) = 4.4, 두께 1.0 mm인 FR-4 기판 위에 설계되었으며, 안테나의 크기는 17.5 mm (W_6) × 30.75 mm(L_3×L_4×L_9)을 갖도록 설계하였다. 두 개의 스트립 구조는 각각 스트립 1 (W_8×L_7+W_4×L_6) +W_5×L_5)과 스트립 2 (W_7×L_7)로 구성하였으며 접지면에 슬릿 1 (W_1×L_4, 21.0 mm× 6.75 mm), 슬릿 2 (W_3×L_3, 4.0 mm× 3.0 mm), 그리고 슬릿 3 (W_{10}×L_8, 3.0 mm× 7.0 mm)을 삽입하여 삼중대역 특성을 얻었다.

전체 시뮬레이션 과정은 3D 설계가 가능한 Ansoft 사의 HFSS (High Frequency Structural Simulator)를 이용하여 최적의 임피던스 특성 변화 및 최적의 방사특성을 설계하였다.

2.2. 제안된 안테나의 설계 과정

그림 2는 제안된 안테나의 설계 과정을 나타내었다. 그림 2(a)는 마이크로스트립 라인 급전 구조를 갖는 기본적인 안테나의 형태를 나타내고 있다. 그림 2(b)는 간단한 슬릿 1 구조의 DGS를 삽입한 형태로서 시뮬레이션 결과 본 논문에서 요구되는 대역과 대역폭을 만족하지 못하는 것을 확인하였다. 그림 2(c)는 논문에서 요구되는 대역과 대역폭을 얻기 위해서 슬릿 1, 슬릿 2, 그리고 슬릿 3의 DGS를 삽입한 형태를 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 요구되는 대역과 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다. 제안된 안테나의 최적화된 수치는 표 1에 나타내었다.

Table. 1 Parameters of designed antenna

Parameter	Value [mm]	Parameter	Value [mm]
L_1	36.0 mm	W_1	21.0 mm
L_2	8.25 mm	W_2	10.0 mm
L_3	3.0 mm	W_3	4.0 mm
L_4	6.75 mm	W_4	3.0 mm
L_5	3.0 mm	W_5	11.5 mm
L_6	3.0 mm	W_6	17.5 mm
L_7	3.0 mm	W_7	8.0 mm
L_8	7.0 mm	W_8	6.5 mm
L_9	21.0 mm	W_9	4.0 mm
h	1.6 mm	W_{10}	3.0 mm
		W_{11}	2.5 mm
		W_{12}	3.0 mm

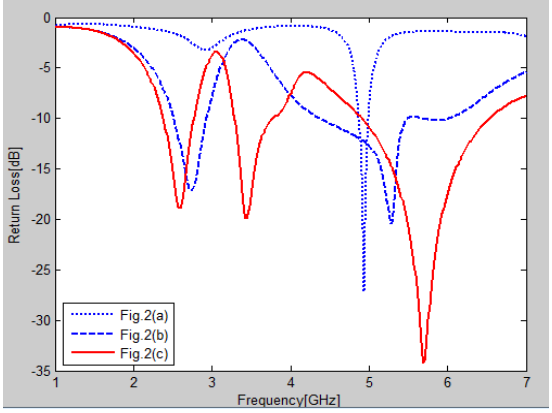


Fig. 3 Return loss characteristics of the proposed antenna design process

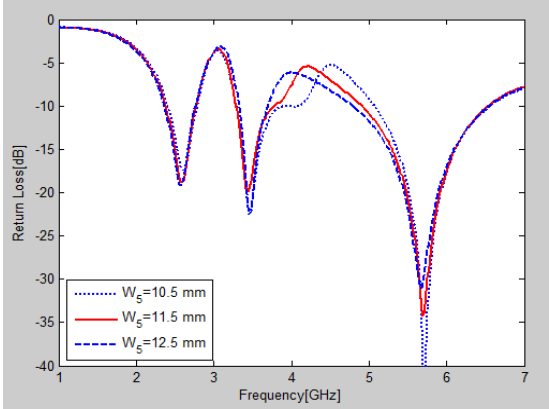


Fig. 4 Return loss characteristic of the effect of the W_5.

그림 3은 그림 2에서 제안된 안테나 설계과정 중 각 단계별 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 그림 2 (a)모델에 대한 시뮬레이션 반사손실 결과, 5 GHz 근처에서 공진되며 협대역 특성이 나타남을 확인하였다. 또한 그림 2 (b)모델에 대한 시뮬레이션 반사손실 결과는 이중대역 특성을 얻을 수 있었으며 삽입된 DGS구조의 영향 때문인 것으로 판단된다. 그러나 본 논문에서 요구되는 삼중대역 특성을 얻지 못했다. 그리고 그림 2(c)모델에 대한 시뮬레이션 반사손실 결과, 제안된 안테나는 삼중대역 특성을 얻었다. 시뮬레이션 결과, 2.5 GHz 대역에서는 450 MHz (2.38~2.755 GHz), 3.5 GHz 대역에서는 450 MHz (3.28~3.82 GHz), 그리고 5 GHz 대역에서는 450 MHz (4.92~6.535 GHz)의 대역폭을 얻었으며 요구되는 WLAN/WiMAX 대역을 만족하는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 슬릿 2와 슬릿 3의 삽입이 삼중대역 특성을 얻는데 영향을 준 것으로 판단된다.

그림 4는 W_5 길이 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 W_5의 길이를 10.5 mm부터 12.5 mm까지 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. W_5의 길이는 스트립 1의 길이를 나타내고 있다. 두 개의 선로 중 가장 긴 선로이므로 2.4 GHz 대역에 큰 영향을 끼칠 것으로 판단되었으나 시뮬레이션 결과에서 보듯이 2.4 GHz 대역에서 반사손실 특성에 변화가 없었다. 이러한 결과는 W_5의 길이변화 보다는 DGS에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

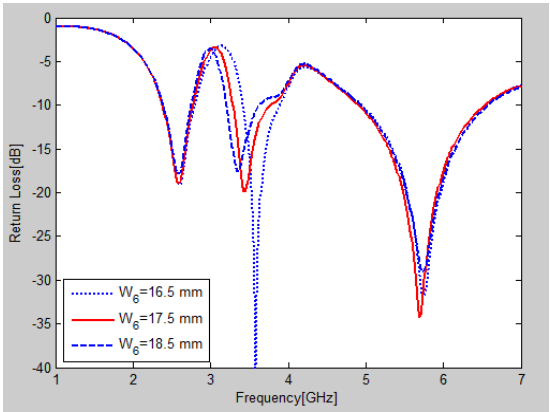


Fig. 5 Return loss characteristic according to the length of W_6.

따라서 W_5의 최적화된 길이는 3.5 GHz 대역과 5 GHz 대역의 충분한 대역폭을 확보하기 위해 11.5 mm로 설정하였다.

그림 5는 W_6 길이 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 W_6의 길이를 16.5 mm부터 17.5 mm까지 변화시키면서 시뮬레이션 결과를 비교하여 나타내었다. W6의 길이는 스트립 2의 길이를 나타내고 있다. 두 개의 선로 중 짧은 선로 이므로 5 GHz 대역에 큰 영향을 끼칠 것으로 판단되었으나 시뮬레이션 결과에서 보듯이 5 GHz 대역의 반사손실 특성에 변화가 없었으며 오히려 3.5 GHz 대역에 영향을 끼치는 것을 확인하였다. 이러한 결과는 W_6의 길이 변화가 DGS에 의해 낮은 주파수 대

역에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 따라서 W_6의 길이는 3.5 GHz 대역과 5 GHz 대역의 충분한 대역폭을 확보하기 위해서 17.5 mm로 설정하는 것이 타당하다고 판단하였다.

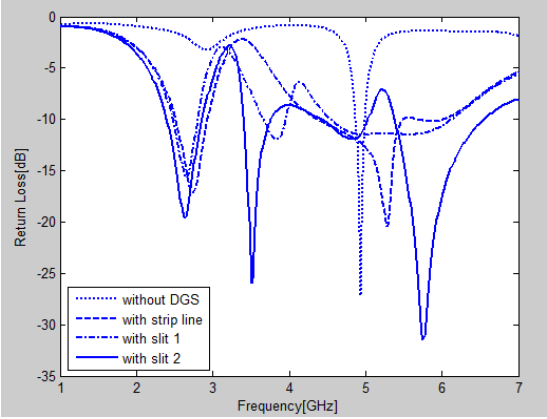


Fig. 6 Return loss characteristic according to the with and without DGS.

그림 6은 DGS의 변화에 따른 제안된 안테나의 반사손실 특성을 나타내었다. 이 그림으로부터 각 슬릿의 영향을 검토하고자 하였다. 첫 번째와 두 번째 시뮬레이션 결과는 그림 2에서 설명하였으며 셋 번째 시뮬레이션 결과는 슬릿 1과 슬릿 2의 DGS를 적용한 결과를 나타내고 있다. 2.4 GHz 대역의 반사손실 특성은 큰 변화가 없었으며 3.5 GHz 대역에서는 요구되는 WiMAX 대역을 만족시키지 못했다. 또한 5 GHz 대역의 반사손실 특성은 개선되어야 할 필요성이 있는 것으로 판단된다. 네 번째 시뮬레이션 결과는 슬릿 1과 슬릿 3의 DGS를 적용한 결과를 나타내고 있다. 2.4 GHz 대역의 반사손실 특성은 큰 변화가 없었으며 3.5 GHz 대역에서는 요구되는 WiMAX 대역을 만족시키지 못했다. 또한 5 GHz 대역에서도 하위 밴드에서 욕구되는 대역폭을 만족하지 못하고 있음을 확인하였다.

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 HFSS 상용 툴을 사용하여 스트립 라인과 접지면에 대한 전류밀도 분포를 그림 7에서 나타내었다. 그림 9(a)는 2.59 GHz 주파수에서, 그림 9(b)는 3.43 GHz 주파수에서 , 그리고 그림 9(c)는 5.70 GHz 주파수에서 각각 제안된 안테나의 표면 전류분포를 나타내었다.

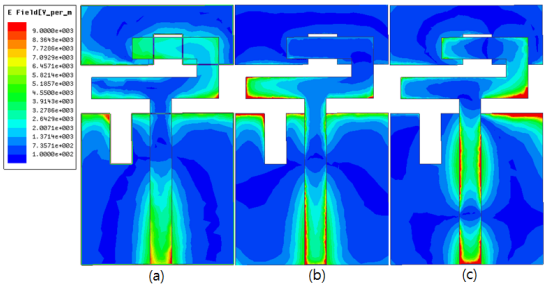


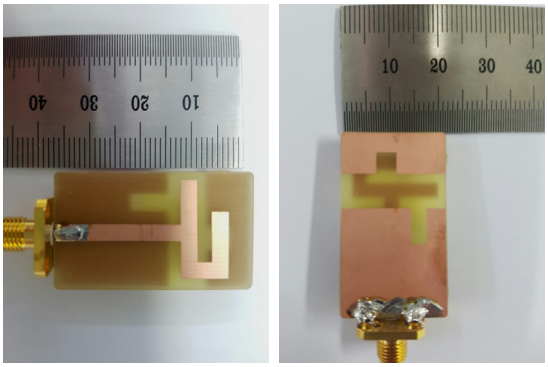
Fig. 7 The current density of proposed antenna (a) 2.59 GHz, (b) 3.43 GHz, and (c) 5.70 GHz.

이들 주파수는 각 대역에서 시뮬레이션 반사손실 특성이 가장 좋은 주파수를 선정하였다. 그림에서도 알 수 있듯이 2.59 GHz 주파수에서는 가장 긴 스트립 라인과 슬릿 3의 접지면 위쪽 부분에 강한 전류밀도가 분포하고 있음을 확인하였다. 이 결과로부터 스트립 1의 길이보다는 슬릿 3의 길이와 넓이가 오히려 2.4 GHz 대역에 더 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 또한 3.43 GHz 주파수에서는 5 GHz 대역에 큰 영향을 미칠 것으로 예측한 스트립 2의 길이보다 슬릿 3의 위쪽 영역에 강한 전류밀도 분포가 존재하고 있음을 확인하였다. 주파수가 5.70 GHz 에서는 분기되는 급전선로 오른쪽 하단 영역과 접지면의 상단영역에서 강한 전류 분포가 존재하고 있음을 확인하였다. 이러한 결과로부터 그림 6의 결과에서 보듯이 접지면의 DGS가 제안된 안테나의 특성에 강한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

Ⅲ. 제작 및 측정

제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하고 측정하였다. 그림 8은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다. 제작된 안테나는 회로망 분석기(Network Analyzer, Anritsu MS4623B)를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 성남에 위치한 이노링크 무반사실에서 측정하였다. 그림 9은 제안된 안테나의 반사손실 특성에 대한 시뮬레이션 결과와 실제 제작 후 측정한 결과를 비교하여 나타내었다. 반사손실 측정 결과, －10dB를 기준으로 2.4/2.5 GHz 대역에서는 360 MHz (2.335～2.695 GHz), 3.5 GHz 대역에서는 645 MHz (3.37～4.015 GHz), 그리고 5.0 GHz 대역에

서는 1,770 MHz (5.14~6.91 GHz)의 대역폭을 얻었으며 요구되는 WLAN/ WiMAX 대역을 만족하는 것을 확인하였다.



(a) (b)

Fig. 8 Fabricated of propose antenna (a) Front view, (b) Back view.

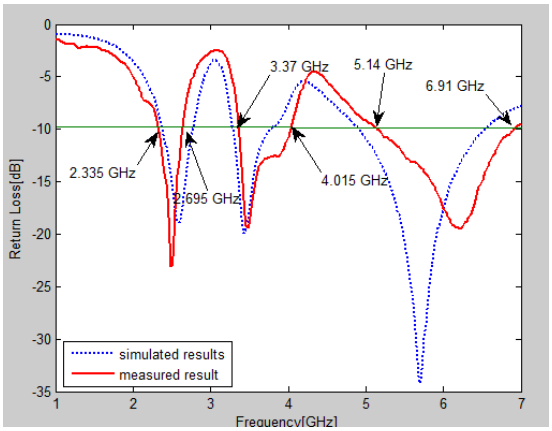


Fig. 9 The simulated and measured return loss results

그림 10, 11, 12, 그리고 13는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 10는 2.5 GHz 주파수에서, 그림 11는 3.5 GHz 주파수에서, 그림 12는 5.3 GHz 주파수에서, 그림 13는 5.7 GHz 주파수에서방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 방사패턴은 3D 패턴을 제시하였으며 동작대역에서 전체적으로 전방향성 특성을 나타내고 있다. 그림 14는 측정한 안테나의 이득을 나타내었다.

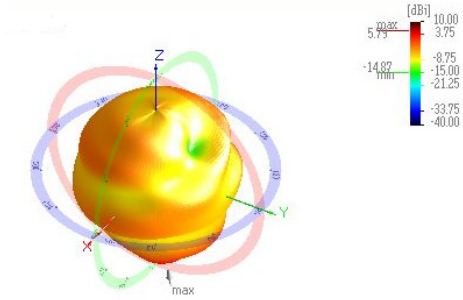


Fig. 10 3D radiation pattern of 2.5 GHz

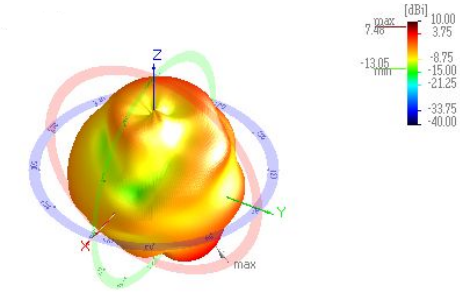


Fig. 11 3D radiation pattern of 3.5 GHz

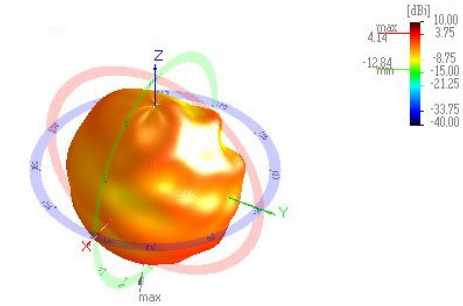


Fig. 12 3D radiation pattern of 5.3 GHz

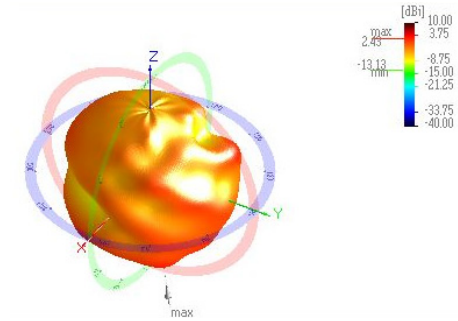


Fig. 13 3D radiation pattern of 5.7 GHz

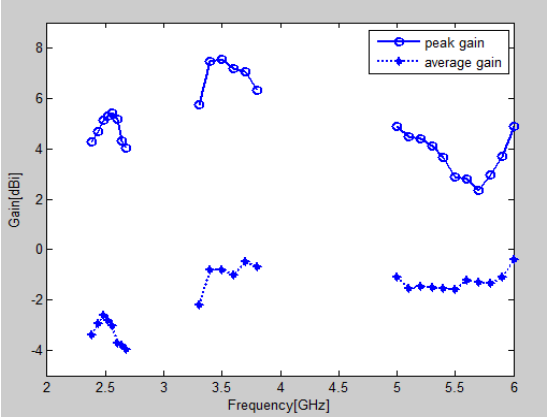


Fig. 14 Measured peak gain of the proposed antenna

2.4 GHz 대역에서 평균이득은 -3.95～-2.60 dBi, 최대이득은 4.02～5.40 dBi, 3.5 GHz 대역에서 평균이득은 -2.20～-0.49 dBi, 최대이득은 5.76～7.55 dBi, 그리고 5.0 GHz 대역에서 평균이득은 -1.59～-0.38 dBi, 최대이득은 2.78～4.90 dBi를 얻었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 두 개의 선로과 접지면에 세 개의 슬릿을 설계하여 삼중대역 특성을 갖는 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나의 특성에 중요한 영향을 미치는 파라메타, 특히 슬릿들에 대한 시뮬레이션 반사손실 결과를 도태로 최적화된 수치를 얻었다. 또한 제안된 안테나의 표면 전류 밀도를 분석하여 동작원리를 확인하였다. 시뮬레이션 반사손실 결과로부터 얻어진 최적화된 수치로 제안된 안테나를 제작하고 네트워크분석기를 이용하여 반사손실 특성을 측정하였다. 반사손실측정 결과, -10dB를 기준으로 2.4/2.5 GHz 대역에서는 360 MHz (2.335～2.695 GHz), 3.5 GHz 대역에서는 645 MHz (3.37～4.015 GHz), 그리고 5.0 GHz 대역에서는 1,770 MHz (5.14～6.91 GHz)의 대역폭을 얻어 요구되는 WLAN/ WiMAX 대역을 만족하고 있음을 확인하였다. 방사패턴은 3D 방사패턴을 제시하였으며 전체적으로 전방향성 특성을 나타내고 있고 2.4 GHz 대역에서 최대 5.40 dBi, 3.5 GHz 대역에서 최대 7.55 dBi, 5.0 GHz에서 최대 4.90 dBi를 얻었다.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by the Ministry of Education (MOE) and the National Research Foundation of Korea (NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation in 2016 (No. 2015-HICLA1035526).

REFERENCES

[1] W. L. Stutzman G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 3rd ed. U.S.A : John Wiley &Sons, 2012.

[2] G. Kumar and K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, MA : Artech House, 2003.

[3] M. H. Cheong, S. K. Lee, and S. C. Bang, “Recent trends to next-generation wireless LANs,” *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 27, no. 2, pp. 1-10, Apr. 2012.

[4] B. H. Jeong, S. H. Jang, S. L. Yoon, and D. H. Kim, “Development direction of WLAN technology treads to IEEE 802.11ax standardization,” *Information and Communications Magazine*, vol. 32, no. 3, pp. 69-76, Mar. 2015.

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

[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 21, pp. 2845-2848, Dec. 2009.

[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 and Optical Technology Letters*, vol. 53, no. 5, pp. 974-978, May 2011.

[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,” *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, vol. 25, no. 8-9, pp. 1308-1316, Apr. 2012.

[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*, Article ID 109450 1-9, 2013.

[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] 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.

[16] A. Verma, D. De, S. Nanda, A. Tripathy, and P. K Sahu, "Design of a dual band rectangular microstrip patch antenna with DGS for wireless applications," in *Proceedings of 3rd International Conference on Signal Processing and Integrated Network*, pp.102-105, 2016.

[17] B. R. S. Reddy and D. Vakula, "Compact zigzag-shaped slit microstrip antenna with circular defected ground structure for wireless applications," *IEEE antennas and wireless propagation letters*, vol. 14, pp. 678-681, Dec. 2015.

[18] S. K. Singh, P. Consul, and K. K. Sharma, "Dual band gap coupled microstrip antenna using L-slot DGS for wireless applications," in *Proceedings of 2015 International Conference on Computing Communication & Automation*, pp.1381-1384, 2015.

[19] V. TiKwari, K. Vyas, and N. Goyal, "Gain enhancement of a CPW-fed horse shoe shaped slot antenna with defected ground structure for WLAN/WiMAX applications," in *Proceedings of 2014 Recent Advances and Innovations in Engineering*, pp.1-5, 2015.

[20] L. Li, S. H. Rao, B. Tang, and M. F. Li, "A novel compact dual band monopole antenna using defected ground structure," in *Proceedings of 2013 International Workshop on Microwave and Millimeter Wave Circular and System Technology*, pp.32-35, 2013.

[21] W. C. Liu, C. M. Wu, and Y. Dai, "Design of triple frequency microstrip-fed monopole antenna using defected ground structure," *IEEE transactions on antennas and propagation*, vol. 59, no. 7, pp. 2457-2463, Jul. 2011.

[22] T. L. Choi, J. G. Kim, and J. H. Yoon, "A design and implementation of dual band monopole antenna with DGS," *Journal of the korean institute of electronic communication sciences*, vol. 11, no. 9, pp. 841-848, Oct. 2016.

서나현(Na-Hyeon Seo)

2016년 : 경남대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)
2017년 – 현재 : 경남대학교 첨단공학과 석사 과정
※관심분야 : 안테나, RF, 레이더, 신호처리 알고리즘

이영철(Young-Chul Rhee)

1981년 – 현재: 경남대학교 정보통신공학과 교수
※관심분야 : 초고주파 회로설계, 전력증폭기, 무선통신시스템

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 공과대학 전자공학과 교수
※ 관심분야 : 전파 및 안테나, Radar