

PIN 다이오드를 이용한 WLAN용 재구성 모노폴 안테나

문승민¹ · 윤중한² · 김기래^{2*}

Dual-band reconfigurable monopole antenna using a PIN diode

Seung-Min Mun¹ · Joong-Han Yoong² · Gi-Re Kim^{2*}¹RF Team, BWS-TECH, 23, Gokhyeon-ro 480beon-gil, Mohyeon-myeon, Cheoin-go. Yongin-si, Gyeonggi-do, 17031, KOREA^{2*}Department of Electronic Engineering, Silla University, Pusan 46958, KOREA

요 약

본 논문에서는 WLAN 대역에서 동작하는 오픈된 사각 모양의 마이크로스트립패치 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 단일 공진 또는 다중 공진 주파수를 가변하여 유효 대역폭을 가지고 있으며 WLAN대역(2.4 - 2.484, 5.15 - 5.35, 5.25-5.825 GHz)을 만족하는 마이크로 스트립 선로를 갖는 평면형 모노폴 구조로 설계된다. 안테나는 FR-4 기판에 제작되었고 두께는 0.8 mm이다. 안테나의 동작모드와 재구성 특성을 분석하기 위해 전류분포와 전자기 분포를 분석하기 위해 상용 툴을 사용하였다. 최적화된 수치를 얻기 위해 각 패치의 길이에 따른 시뮬레이션 반사손실을 비교하였다. 최적화된 수치를 사용하여 스위치가 off 되었을 때 WLAN 밴드 (2.380 - 2.710 GHz)을 얻었으며, 스위치가 on 되었을 때 2.4 GHz 밴드 (2.380 - 2.710 GHz)을 얻었다. 제작 및 측정결과로부터 제안된 안테나의 반사손실 특성, 측정된 이득과 방사패턴 특성 결과를 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a open-ended rectangular microstrip patch antenna with fork-shaped feeding structure. This antenna extends the effective bandwidth by transforming single or multi resonant frequency and is designed planar monopole structure with microstrip line to satisfy the WLAN bands (2.4 - 2.484, 5.15 - 5.35, 5.25-5.825 GHz). The substrate is printed in 0.8 mm thickness on an FR-4 board. A commercial 3D simulation tool was used to analyze surface current and electromagnetic field distribution in order to analyze the operation mode and reconfiguration principle of antenna. According to the lengths of individual patches, simulated reflection loss was compared to obtain optimized values. When it was designed with the optimized values, it satisfied WLAN bands (2.380 - 2.710, 4.900 - 5.950 GHz), if the switch is off, and 2.4 WLAN band (2.380 - 2.710 GHz). From the fabricated and measured results, measured results of return loss, gain and radiation patterns characteristics displayed for operating bands.

키워드 : 재구성, 이중대역 안테나, WLAN, 모노폴, 응용, 핀 다이오드

Key word : Reconfigurable, Dual-Band Antenna, WLAN, Monopole, Application, PIN diode

Received 12 April 2016, Revised 23 May 2016, Accepted 14 June 2016

* Corresponding Author Gi-Re Kim(Gi-Re Kim@silla.ac.kr, Tel:+82-51-999-5697)

Department of Electronic Engineering, Silla University, Pusan 46958, KOREA

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.9.1633>

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/licenses/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. 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 확대되고 있다. 결국 이러한 이동통신 기술의 발전을 통해 얻어진 고속의 데이터 전송 속도의 실현은 이용자들에게 다양한 서비스를 제공할 수 있다는 가능성을 더욱 확장시키고 있다[1, 2].

근거리 무선통신 서비스의 하나인 WLAN은 세계에서 가장 성공적이고 빠르게 성장하는 무선통신 기술이다. 현재 표준화는 802.11b에서 2.4 ~ 2.484 GHz로 주파수 대역을 정의하였으며, 802.11a에서는 5.150 ~ 5.250 GHz 그리고 5.725 ~ 5.825 GHz로 정의되어 있다[3-5]. WLAN은 기존의 유선 LAN의 기능을 포함하면서 네트워크 구축 시 케이블의 연결이 필요 없다는 장점을 포함하고 있다. 이러한 장점은 무선 LAN을 보다 편리하고 자유롭게 사용하게 하여 그 응용 범위를 확장시키고 있다.

마이크로스트립패치 안테나는 두께가 얇고 제작이 간편하다는 장점을 가지고 있다[6, 7]. 특히 구조상 PIN 다이오드나 커패시터와 같은 집중 정수소자와 능동소자를 삽입하여 공진 주파수, 임피던스, 편파와 패턴의 가변이 쉽다. 때문에 재구성 안테나 제작에 많이 사용된다[8, 9].

재구성 안테나는 단일 방사체로 여러 개의 주파수 대역에서 동작하므로 안테나의 크기를 줄일 수 있고 주파수 조절 능력으로 인해 넓은 유효 대역폭을 얻을 수 있을 뿐만 아니라 모든 주파수 대역에서 유사한 방사특성과 안테나의 이득을 얻을 수 있다. 또한 주파수를 선택할 수 있는 능력으로 인접 주파수에 의한 간섭을 최소화할 수 있다. 따라서 다중대역 내에서 방사체의 물리적인 변형 없이 입력 임피던스, 방사특성, 편파특성을 동시에 최적화 할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 IEEE802.11a에서 표준화된 5 GHz 대역과 IEEE802.11b에서 표준화된 2.4 GHz의 WLAN 대역 모두 사용 가능한 마이크로스트립패치 안테나를 제안하였다. 마이크로스트립패치 안테나의 협소한 대역폭 개선과 이중대역 공진 특성을 위해 오픈된 대칭 사각형 모양의 패치를 사용하였다. 안테나의 반사손실,

방사패턴, 전류분포를 실험 및 시뮬레이션을 통하여 최적화 하였다.

I 장에서는 서론에 이어 II장에서는 안테나 설계 및 시뮬레이션에 대하여 기술하고, III장에서는 안테나 제작 및 측정 결과를 설명하고 IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 안테나 설계 및 측정 결과

제안된 안테나는 모노폴 구조를 기본으로 오픈된 사각 모양의 패치를 사용하여 2.4 GHz 대역에서 공진하도록 설계하였고 PIN 다이오드를 이용하여 5 GHz 대역에서 공진하도록 대칭모양의 패치를 삽입하였다.

그림 1의 제안된 안테나는 유전율(ϵ_r) = 4.4, 두께(H) 0.8 mm, 크기 33 × 30 mm²인 FR-4기판에 설계하였다.

Table. 1 Parameters of designed antenna

Parameter	Value [mm]	Parameter	Value [mm]
W	26	L	33
W1	3	L1	7.5
W2	0.1	L2	7
W3	5.5	L3	12.5
W4	5	G	1
W5	1.5	G1	0.3
W6	1.5	H1	16.5

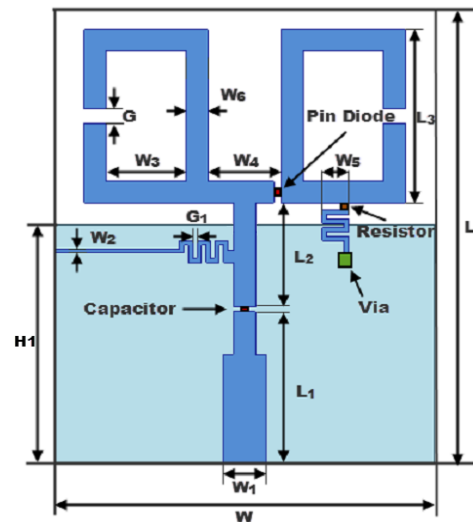


Fig. 1 Structure of antenna

설계된 안테나 제원은 표 1과 같으며, 패치의 크기는 $30.5 \times 22 \text{ mm}^2$ 의 면적의 개방된 사각형이다. PIN 다이오드는 MADP-008120-12790T를 사용하였으며, 다이오드 동작을 위해 5 V의 전압을 인가하였다. 바이어스단에 사용된 인덕터(L)는 마이크로 스트립 라인인 민더라인(Meander line)으로 구현하였으며, PIN 다이오드간 직류 전압 간섭을 차단하는 커패시터(C) $10 \mu\text{F}$ 를 사용하였고, Via 부분에는 저항(R) $4.1 \text{ k}\Omega$ 를 사용하였다. 전체 시뮬레이션 과정은 3D 설계가 가능한 3D 툴을 이용하여 최적의 반사손실 및 방사특성을 얻을 수 있도록 설계하였다.

2.1. DC 바이어스 라인



Fig. 2 Configuration of DC bias line

패치면에 있는 바이어스 라인은 PIN 다이오드의 ON / OFF 상태를 동작시키기 위해 그림 2에서와 같이 DC 바이어스 라인을 설계하였다. DC 바이어스 라인이 안테나에 미치는 영향을 최소화 하였다. 이는 그림 2 A-B 구간은 바이어스 라인이고, B-C 구간은 민더라인이다. 그림 2와 같이 설계한 이유는 A-C구간에서는 패치면과 DC 바이어스 라인이 단락 상태(Short)이지만 B 지점에서는 RF 신호가 개방 상태(Open)이므로 DC 전류만 바

이어스 라인을 통해 RF 신호는 흐르지 못하게 하는 효과를 가지고 있다. DC 바이어스 라인의 두께는 0.1 mm로 최소화하였고, 167 Ω 에 해당되는 높은 임피던스를 가지므로 패치면과 부정합을 이루게 되어서 RF 신호가 패치면에서 DC 바이어스 라인으로 흐르지 못한다. DC 바이어스 라인으로 인한 전체 안테나의 특성에는 변화가 거의 없다.

2.2. 설계된 안테나의 시뮬레이션

그림 3은 제안된 안테나 G(gap)에 따른 시뮬레이션 VSWR 특성을 나타내었다. VSWR 2:1 기준으로 그림 3에서 보는 바와 같이 G의 길이를 0.7 mm에서 1.3 mm로 변화시켰을 때 시뮬레이션 VSWR 특성을 비교하였다. G의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 그림 3(a)와 같이 PIN 다이오드에 전압을 인가하지 않았을 때 2.4 GHz 대역에서 모두 우수한 VSWR 특성과 대역폭을 만족하였으며, 그림 3(b)는 PIN 다이오드에 전압을 인가하였을 때 VSWR 특성을 나타낸다.

G = 0.7 mm를 하였을 때 WLAN에 필요 없는 3 GHz 대역에서도 공진 되는 것을 볼 수 있었고, G = 1.3 mm일 때 대역폭이 가장 우수하였으나 2.4 GHz의 대역에 만족하지 못하였다. G = 1.0 mm를 선택한 이유는 그림 3(b)에서 보는 바와 같이 PIN 다이오드에 전압을 인가시켰을 때 2 GHz 대역과 5 GHz 모두 대역이 만족하였기 때문에 G = 1.0 mm를 선택하였고, 본 논문에서 요구하는 대역인 WLAN 주파수대역에서 충분한 VSWR 특성을 얻었다.

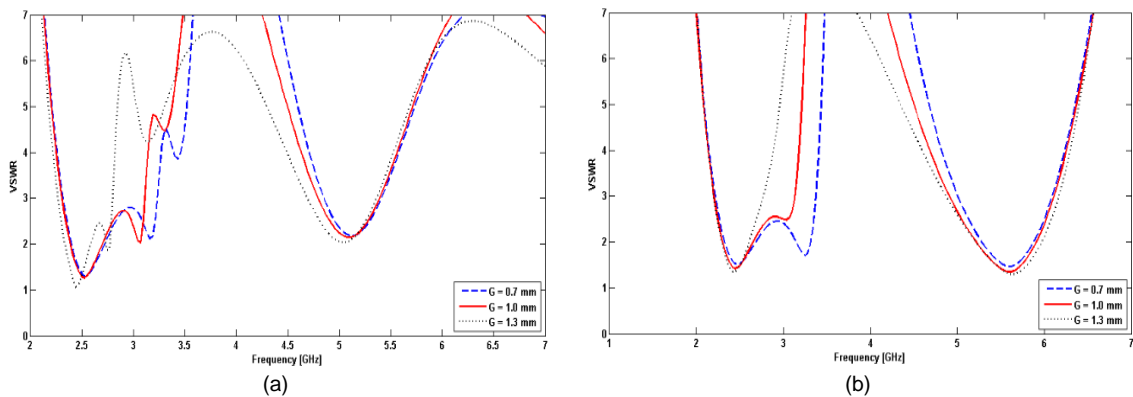


Fig. 3 Effect of the Gap plane length (a) PIN diode OFF (b) PIN diode ON

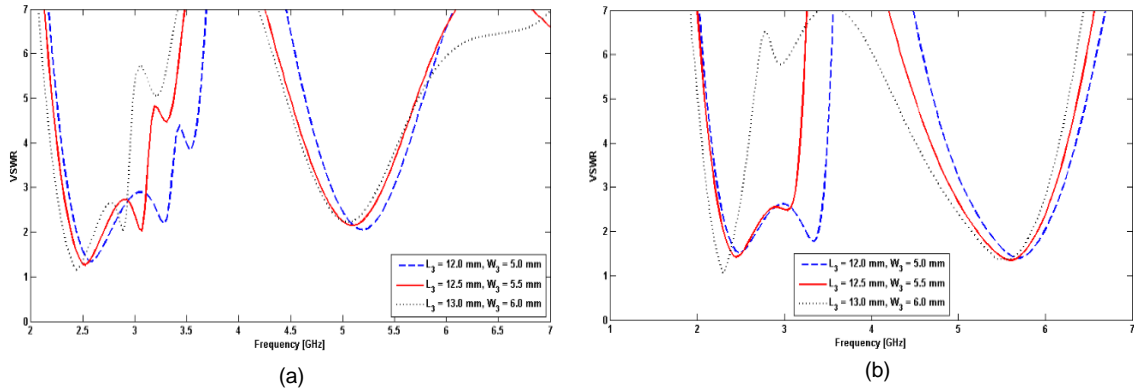


Fig. 4 Effect of the length of W3 and L3 of the proposed antenna (a) PIN diode OFF (b) PIN diode ON

그림 4는 W_3 과 L_3 의 길이 변화에 따른 시뮬레이션 VSWR 특성을 나타내었다. VSWR 2:1 기준으로 그림 4에서 보는 바와 같이 $W_3 = 5.0$ mm, $L_3 = 12.0$ mm의 길이를 ± 0.5 mm로 변화시켰을 때 시뮬레이션 VSWR 특성을 비교하였다.

W_3 과 L_3 의 길이 변화에 따른 시뮬레이션 결과 그림 4(a)는 PIN 다이오드에 전압을 인가하지 않았을 때 그래프이다. 그림에서 보는 것과 같이 2.4 GHz 대역에서 공진 주파수 특성은 길이가 짧아질수록 공진주파수가 고주파로 이동하였고, VSWR 특성은 큰 변함이 없었다. PIN 다이오드에 전압을 인가 하였을 때 $W_3 = 6.0$ mm와 $L_3 = 13.0$ mm일 때 5 GHz 대역폭과 VSWR이 우수하였으나 2.4 GHz 대역의 대역폭이 만족하지 못하였다. 이에 PIN 다이오드에 전압 인가 유무를 하였

을 때 특성이 나온 $W_3 = 5.5$ mm와 $L_3 = 12.5$ mm를 선택하였다. W_3 과 L_3 의 길이가 결과적으로 길이에 영향을 주는 파라미터이므로 W_3 과 L_3 의 길이 변화가 제안된 안테나의 5 GHz 대역에 영향을 미치고 있다고 판단된다.

그림 5는 제안된 안테나의 접지면 길이를 나타내었다. VSWR 2:1 기준으로 그림 5(a)에서 보는 바와 같이 2 GHz 대역에서는 크게 차이가 없었다. PIN 다이오드를 ON 시켰을 때 공진 주파수 특성과 반사손실 특성이 큰 변화가 있음을 확인하였다. 그림 5(b)에서 보는 바와 같이 2 GHz 부분에서는 $H_1 = 17.0$ mm일 때 공진 특성이 가장 좋았으나 5 GHz에서는 WLAN 대역에 부족하였다. 본 논문에서 제안하는 WLAN 대역에 포함하는 $H_1 = 16.5$ mm일 때 선택하였다.

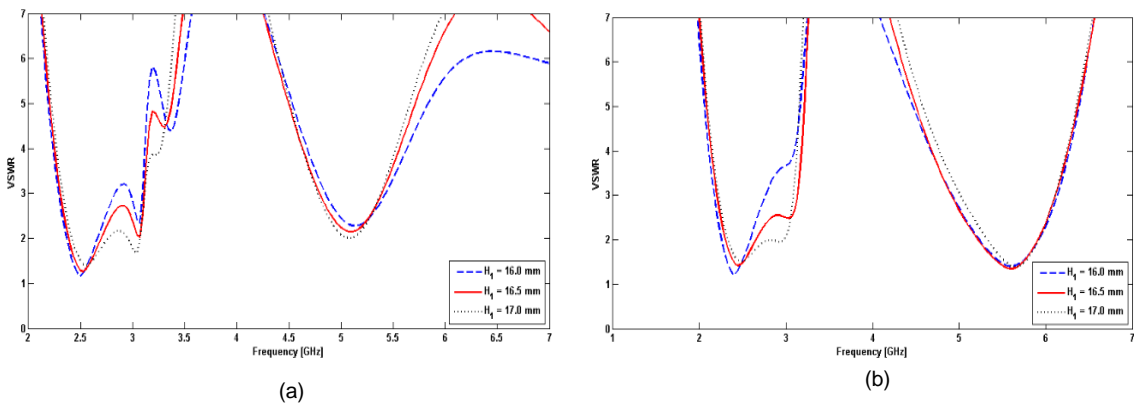


Fig. 5 Effect of the Gap plane length (a) PIN diode OFF (b) PIN diode ON

제안된 안테나의 동작 원리를 확인하기 위해 전류분포를 그림 6에 나타내었다. 공진 주파수 2.46 GHz와 5.56 GHz를 확인하는데 상용 툴을 사용하였다.

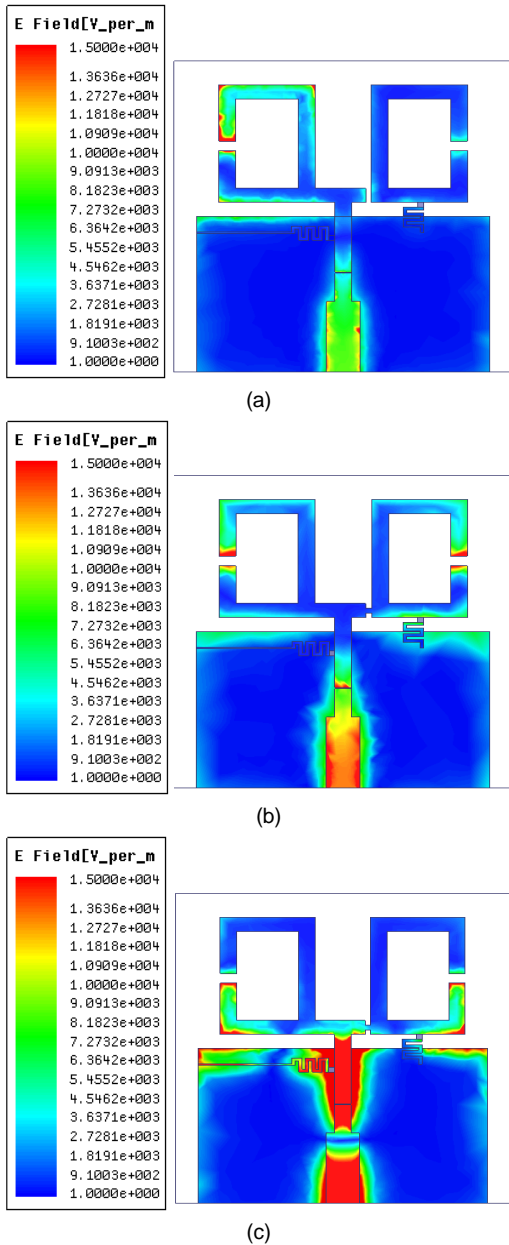


Fig. 6 The current density of proposed antenna (a) 2.46 GHz[diode OFF] (b) 2.46 GHz[diode ON] (c) 5.6GHz [diode ON]

그림 6(a)는 PIN 다이오드를 OFF 시켰을 때 전류분포도이고, 그림 6(b), (c)는 PIN 다이오드를 ON 시켰을 때 2 GHz, 5 GHz 대역의 전류분포도다. 그림 6(a)에서 보는 바와 같이 공진 주파수가 왼쪽 오픈된 사각패치에서 강한 전류 밀도가 분포하고 있음을 알 수 있다. 따라서 PIN 다이오드를 OFF 시켰을 때 2.4 GHz 대역의 공진은 주로 왼쪽 오픈된 사각형 위쪽 끝부분에 이루어지는 것으로 판단된다. 그림 6(b), (c)은 PIN 다이오드를 ON 시켰을 때 앞에서 설명했듯 2.4 GHz 대역에서 한쪽만 전류분포가 되는 것이 아니라 개방된 사각 위쪽 부분에 대칭적으로 공진 주파수가 분포되는 것을 확인하였다. 5.46 GHz일 경우 오픈된 사각 아래쪽 끝부분에 이루어지는 것으로 판단된다. 따라서 5 GHz 대역에서 공진은 오픈된 사각형 아래쪽 끝에서 강한 전류 밀도가 분포하고 있음을 알 수 있다.

III. 제작 및 측정

제안된 최적화 수치를 사용하여 안테나를 제작하였고 측정하였다. 그림 7은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다.

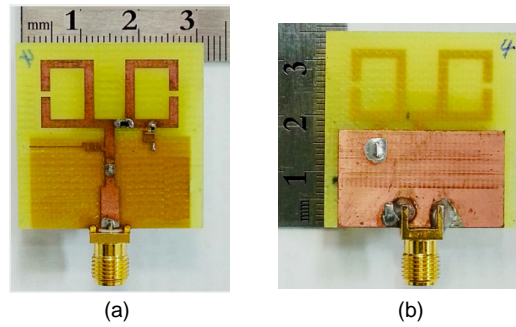


Fig. 7 Fabrication of the proposed antenna(a) Top (b) Bottom

그림 8은 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 확인 할 수 있다. 측정 결과 PIN 다이오드를 OFF 시켰을 때 VSWR 2:1 기준으로 2.4 GHz

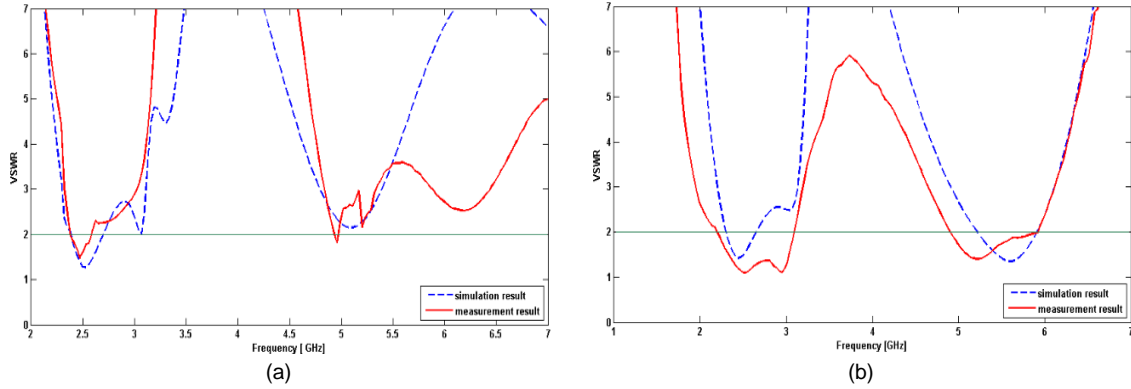


Fig. 8 The simulated and measured return loss results of the proposed antenna (a) PIN diode OFF (b) PIN diode ON

대역에서 330 MHz(2,380 ~ 2,710 MHz)의 대역폭을 얻었으며, 5 GHz 대역에서는 1,050 MHz(4,900 ~ 5,950 MHz)의 대역폭을 얻어 WLAN 대역에서 요구하는 대역폭(2.4 ~ 2.484 GHz, 5.15 ~ 5.875 GHz)을 만족하고 있음을 확인하였다.

그림 9은 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 그림 9(a)은 2,380 ~ 2,480 MHz 대역에서 방사패턴을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 각각의 주파수 방사패턴을 나타낸다.

그림 9(b)는 5,100 ~ 5,900 MHz 대역에서 방사패턴을 나타낸 것으로 그림에서 보는 바와 같이 각각의 주

파수 모두 전방향성의 방사패턴을 나타낸다.

그림 10은 전송선로에서 안테나 급전점으로 공급된 전력을 원하는 공간 방사전력으로 변화하는 능력을 측정할 2.4 GHz, 5.5 GHz 대역에서의 각각 최대이득과 평균이득을 나타내고 있다. 그림 10에서 보는 바와 같이 PIN 다이오드를 OFF 시켰을 때 2.4 GHz대역에서 최대이득은 3.8 ~ 4.6 dBi 그리고 평균 이득은 -3.05 ~ -3.33 dBi 값을 얻었고 PIN 다이오드를 ON 시켰을 때 2.4 GHz와 5 GHz 대역에서 최대이득은 4.37 ~ 5.08 dBi, 2.04 ~ 3.47 dBi 그리고 평균 이득은 -2.14 ~ -2.16, -3.27 ~ -4.77 dBi 값을 얻었다.

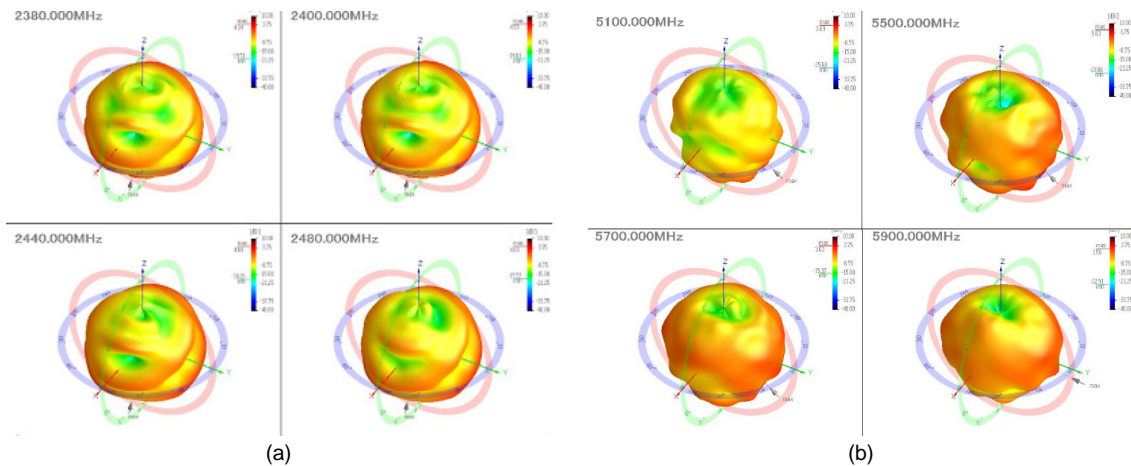


Fig. 9 Measured radiation pattern of the proposed antenna (a) 3D radiation pattern at 2.0 GHz (b) 3D radiation pattern at 5.0 GHz

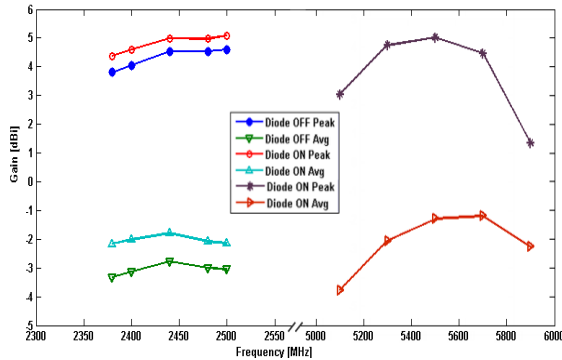


Fig. 10 Measured peak and average gain of the proposed antenna

IV. 결 론

본 논문에서는 WLAN 시스템에 적용 가능한 이중대역 안테나를 설계, 제작 및 측정을 하였다. 최적화된 수치를 얻기 위해 두 개의 구조 길이, 접지 면과 Gap의 길이에 대한 시뮬레이션을 진행하였으며 제안된 안테나의 동작원리를 확인하기 위해 표면전류분포를 3D 톨로 사용하여 확인하였다. 최적화된 수치를 얻은 후 제안된 안테나를 상용 기판인 FR-4에 제작하고 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 방사손실 측정 결과 WLAN 대역(2.4 ~ 2.484 GHz, 5.2 ~ 5.875 GHz)을 만족시켰다. 측정 결과 VSWR 2:1 기준으로 WLAN 이중대역에서 각각 330 MHz(2,380 ~ 2,710 MHz), 1,050 MHz(4,900 ~ 5,950 MHz)의 대역폭을 얻었다. 방사패턴 이득은 PIN 다이오드를 OFF 시켰을 때 2.4 GHz 대역에서 최대이득은 3.8 ~ 4.6 dBi 그리고 평균 이득은 -3.05 ~ -3.33 dBi 값을 얻었고 PIN 다이오드를 ON 시켰을 때 2.4 GHz와 5 GHz 대역에서 최대이득은 4.37 ~ 5.08

dBi, 2.04 ~ 3.47 dBi 그리고 평균 이득은 -2.14 ~ -2.16, -3.27 ~ -4.77 dBi 값을 얻었다.

REFERENCES

- [1] M. Kim, *Propulsion trend of 4th Generation Mobile Communication Systems and View of Wibro*, Hana Financial Group Inc, vol. 230, no. 10, pp. 44-53, 2009.
- [2] G. Kumar and K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*. Artech House Publishers, USA, 2003.
- [3] S. W. Lee and N. Kim. "Design and Fabrication of the Antenna for Wibro and WLAN Communications Using CPWG Structure," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 19, no. 10, pp. 1086-1095, Oct. 2008
- [4] S.Y. Kang, W. J. Lee, and H. D. Park, "Design and fabrication of wideband U-slotted Bow-Tie microstrip antenna for 5.25GHz band wireless LAN," *J. KICS*, vol. 29, no. 2A, pp. 195-201, Nov. 2003.
- [5] L. Setian, *Practical Communication Antennas with Wireless Applications*, Prentice Hall PTR, 1998
- [6] I. F. Chen, and C. M. Chiang, "Multi-folded tapered monopole antenna for wide band mobile handset applications," *Electron. Letters*, vol. 40, no. 10, pp. 577-578, May 2004.
- [7] J. Yoon, "Design of Circular Ring Antenna with Half-Circular Strip for WLAN/WiMAX Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 4, pp. 417-424, Apr. 2014.
- [8] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd. edition, New York: Wiley, 2005.
- [9] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Norwood, MA: Artech House, 2001.



문승민(Seung-Min Mun)

2014년 2월 : 신라대학교 전자공학과 졸업
 2016년 2월 : 신라대학교 전자공학과 (공학석사)
 2016년 2월 ~ 현재 : BWS-TECH (국제공인시험기관) RF 연구원
 ※관심분야 : 전파 및 안테나



윤중한(Joong-Han Yoon)

1994년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 8월 : 인하대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
2003년 2월 : 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



김기래(Gi-Rae Lee)

1982년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월 : 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1987년 ~ 1993년 : 삼성전자(주) 정보통신연구소 선임연구원 / 이동통신연구팀
1993년 ~ 1998년 : 마산대학 정보통신학과 조교수
1995년 ~ 1996년 : 미국, 미네소타주립대학 연수 / 정보통신부 지원
2002년 ~ 2003년 : 미국, University of California in LA (UCLA) 교환교수/ 한국과학재단 Post-Doc 지원
2006년 ~ 2007년 : 텔레메트릭스 산업화지원센터 센터장 (겸직) / 산업자원부 지원
1999년 ~ 현재 : 신라대학교 전자공학과 교수
※관심분야 : RF/Microwave, 무선통신시스템