

# DGS를 이용한 이중 대역 모노폴 안테나의 설계 및 제작

최태일\* · 김정근\*\* · 윤중한\*\*\*

## A Design and Implementation of Dual-band Monopole Antenna with DGS

Tea-Il Choi\* · Jeong-Geun · Kim\*\* · Joong-Han Yoon\*\*\*

### 요약

본 논문에서는 DGS(Defected Ground Structure)를 적용하여 WLAN 시스템에 적용 가능한 모노폴 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 마이크로스트립 급전을 바탕으로 두 개의 선로와 DGS를 갖도록 설계하여 이중대역 특성을 갖도록 하였다. 상용 툴인 HFSS를 사용하여  $W_2$ ,  $L_{10}$ ,  $W_3$ 과 DGS 파라미터에 대한 시뮬레이션을 수행하여 최적화된 수치를 얻었다. 제안된 안테나는  $21.0 \times 36.0 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 의 크기로 유전율 4.4인 FR-4 기판 위에 설계 및 제작되었다. 제작 결과, 제안된 안테나는  $-10 \text{ dB}$  임피던스 대역폭을 기준으로 700 MHz (2.10~2.80 GHz) 그리고 1,780 MHz(5.02~6.80 GHz)의 대역폭을 얻었다. 또한, 제안된 안테나의 측정 이득과 방사패턴 특성이 요구되는 이중대역에서 제시되었다.

### ABSTRACT

In this paper, a microstrip-fed dual-band monopole antenna with DGS(Defected Ground System) for WLAN(Wireless Local Area Networks) applications was designed, fabricated and measured. 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 dual band characteristics. We used the simulator, Ansoft's High Frequency Structure Simulator(HFSS) and carried out simulation about parameters  $W_2$ ,  $L_{10}$ ,  $W_3$ , and DGS to get the optimized parameters. The proposed antenna is made of  $21.0 \times 36.0 \times 1.6 \text{ mm}^3$  and is fabricated on the permittivity 4.4 FR-4 substrate. The experiment results are shown that the proposed antenna obtained the  $-10 \text{ dB}$  impedance bandwidth 700 MHz(2.10~2.80 GHz) and 1,780 MHz(5.02~6.80 GHz) covering the WLAN bands. Also, the measured gain and radiation patterns characteristics of the proposed antenna are presented at required dual-band(2.4GHz band/5.0GHz band), respectively.

### 키워드

DGS, Dual-Band Antenna, WLAN Application

DGS, 이중 대역 안테나, WLAN 응용

## 1. 서론

마이크로스트립 안테나는 저렴하고 견고하며 대량 생산이 가능한 장점을 갖고 있기 때문에 많은 모바일

\* 광주여자대학교 보건행정학과 (skc@kwu.ac.kr)

• Received : Jul. 29, 2016, Revised : Sep. 13, 2016, Accepted : Sep. 24, 2016

\*\* 광주대학교 전기전자공학과 (jeongkim@gwangju.ac.kr)

• Corresponding Author : Joong-Han Yoon

\*\*\* 교신저자: 신라대학교 전자공학전공

Dept. of Electronics Engineering, Silla University,

• 접수일 : 2016. 07. 29

Email : jhyoon@silla.ac.kr

• 수정완료일 : 2016. 09. 13

• 게재확정일 : 2016. 09. 24

일 기기에 사용되고 있다[1-2].

한편 WLAN 시스템은 전 세계적으로 가장 성공적으로 정착된 무선 통신 시스템으로서 무선채널을 사용하여 유선 LAN을 확장시킴으로서 이동성, 휴대성 및 간편성 등의 이점을 갖게 된다. 또한 보다 빠른 데이터송수신을 원하는 소자들의 욕구가 증가됨에 따라서 기존의 IEEE 802.11b와 더불어 IEEE 802.11g의 표준화를 통해 2.4-2.484 GHz 주파수의 무선 WLAN의 연구가 활발하게 이루어지고 있는 실정이다[3-4]. 또한 증가하는 데이터를 원활히 전송하기 위해서 충분한 대역폭이 확보되어야 하는데 802.11a의 표준화에 의해 5 GHz 대역의 주파수(5.15~5.875 GHz)가 WLAN 대역으로 할당되어 현재 듀얼밴드(2.4 GHz 대역/5 GHz 대역) 시스템으로 서비스되고 있으며 이에 관련된 부품들에 대해서도 개발이 이루어지고 있다. 특히 이중대역 서비스를 위한 시스템의 동작을 위해서는 이중 대역 특성을 갖는 안테나의 개발이 필수적으로 이루어져야 하며 이에 대한 개발이 수행되어왔다[5-12].

한편 DGS 구조는 접지면에 하나 또는 그 이상의 식각된 패턴을 갖는 것을 지칭하며 몇 가지 특성을 갖는다. 첫 번째는 전자기파의 지연전달 특성이 갖는다. 이 구조를 사용하면 실제 파가 느끼는 파장을 길게 되므로 군 지연뿐만 아니라 파장 길이가 더 길게 된다. 따라서 이 DGS를 이용하며 패치 소자의 크기를 감소시킬 수 있다. 또한 DGS 구조는 일정한 주파수 대역을 저지시키는 특성을 갖는다. 이러한 특성으로 인해 일정한 주파수 대역을 감쇄시켜서 고조파 성분의 제거가 가능하게 된다. 그리고 전송선로의 특성 임피던스를 유지하면서 선로의 폭을 넓게 할 수 있다. 원래의 선로 폭보다 더 넓어지므로 고 임피던스 선로의 구현이 가능하며 전도손실 즉, 삽입 손실이 줄어들게 되는 장점이 갖는다[13].

이러한 장점으로 인해 필터, 발진기 등의 RF 소자를 설계할 시에 여러 형태의 DGS가 사용되고 연구되어 왔다. 그러나 이러한 DGS가 안테나에 적용하여 연구되는 결과는 많지 않다[14-17].

본 논문에서는 모노폴 형태를 바탕으로 2.4 GHz WLAN 대역(2.4~2.484 GHz)과 5.0 GHz WLAN 대역(5.15~5.875 GHz)을 만족하는 이중대역 안테나를 설계하였다. 급전선으로부터 두 개의 스트립 선로를

분기하고 DGS를 삽입하여 임피던스 매칭이 되도록 설계하여 이중대역 특성을 갖도록 하였다. 다음 2장에서 구체적인 설계구조 및 시뮬레이션 결과에 따른 제작결과를 설명하고, 3장에서는 제작 결과에 대한 특성 분석에 대해 설명할 것이며 4장에서는 결론에 대해 설명 할 것이다.

## II. 설계 및 제작

제안된 안테나는 그림 1과 같은 구조로 설계하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 마이크로스트립 급전 구조를 기반으로 WLAN 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에서 동작 가능하도록 두 개의 스트립 선로를 갖는 구조를 제안하였다. 안테나의 전체 크기( $W \times L$ )는 23.0 mm  $\times$  36.0 mm의 크기를 갖으며 안테나의 크기는 23.0 mm  $\times$  32.0 mm이다. 선로 구조는 마이크로 스트립 급전 구조로부터 두 개의 분기선로, 스트립 1, 스트립 2로 각각 구성되도록 설계하였다. 이중대역 특성을 얻기 위해서 슬릿 1(slit 1,  $W_6 \times L_9$ )과 슬릿 2(slit 2,  $W_7 \times L_3$ )를 포함한 DGS 구조를 제안 하였으면 임피던스 매칭 효과를 얻기 위해 프로젝션 (projection,  $W_4 \times L_8$ ) 부분을 삽입하여 설계하였다.

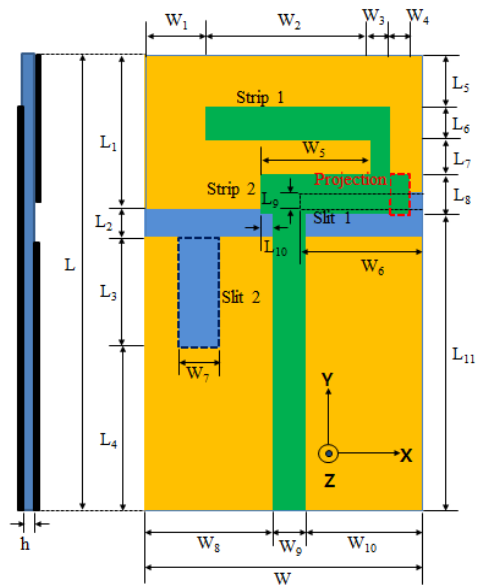


그림 1. 제안된 이중 대역 안테나의 구조  
Fig. 1 Geometry of the proposed dual-band antenna

WLAN 시스템에 적용하기 위한 이중대역 특성을 갖는 안테나를 구현하기 위해 3D 설계가 가능한 Ansoft사의 HFSS( High Frequency Structure Simulator)을 이용하여 최적화된 설계 파라미터값을 도출하였다. 제안된 안테나의 반사손실 특성에 커다란 영향을 주는 파라미터를 확인하였으며 제안된 안테나의  $W_2$ ,  $L_{10}$ ,  $W_3$ 와 DGS 파라미터 연구를 통해 최적의 임피던스 특성 변화를 확인하여 최적화된 수치를 얻었다.

그림 2는 스트립 1의 길이( $W_2$ ) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 나타내었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 스트립 1의 길이인  $W_2$ 의 길이를 11.0 mm에서 15.0 mm까지 2.0 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 비교하였다.  $W_2$  길이 변화에 따른 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과, 2.4 GHz 대역에서는 공진주파수가 낮은 주파수 방향으로 이동이 발생하였으며 5.0 GHz 대역에서는 반사손실 특성에 커다란 변화가 있음을 확인하였다.  $W_2$  길이의 변화는 제안된 안테나에서 제일 긴 선로이므로 WLAN 2.4 GHz 대역의 특성에만 커다란 영향을 줄 것으로 판단하였으나, 시뮬레이션 결과에 의하면 5.0 GHz 대역에서 더 영향을 주는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 스트립 1의 길이 변화에 의해 스트립 2의 공진에 영향을 주며 더불어 스트립 2와 DGS에 의한 영향 때문인 것으로 판단된다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나의 반사손실과 공진특성이  $W_2 = 13.0$  mm 일 때 제일 우수한 반사손실 특성을 얻을 수 있었다.

그림 3은 스트립 선로 1의 분기 폭( $W_3$ ) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 그림 3에서 보는 바와 같이 스트립 선로 1의 분기 폭인  $W_3$ 의 길이를 0.5 mm에서 2.5 mm까지 1.0 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성을 비교하였다.  $W_3$  길이 변화에 따른 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과, 2.4 GHz 대역에서는 반사손실 특성 및 공진주파수 특성에 변화가 없었으며 5.0 GHz 대역에서는 반사손실 특성 및 공진주파수에 큰 변화가 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 스트립 2의 길이 변화가 5.0 GHz 대역 반사손실 특성에 강한 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 시뮬레이션 반사손실 특성 결과로부터 제안된 안테나의 반사손실과 공진특성이  $W_3 = 1.5$  mm 일 때 제일 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

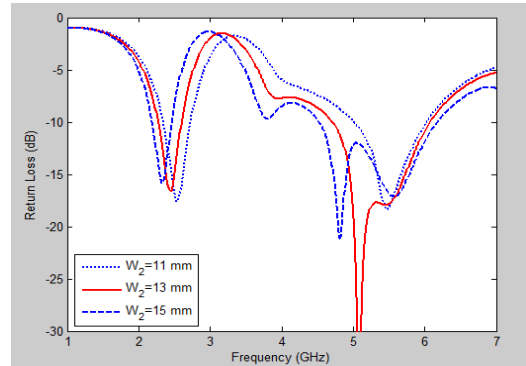


그림 2. 스트립 선로 1의 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성

Fig. 2 Characteristics of simulation return loss due to effect of strip line 1.

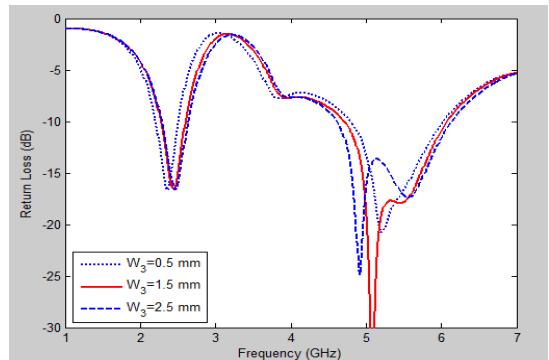


그림 3. 스트립 선로 1의 분기 폭( $W_3$ ) 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성

Fig. 3 Characteristics of simulation return loss due to branch width( $W_3$ ) of strip line 1.

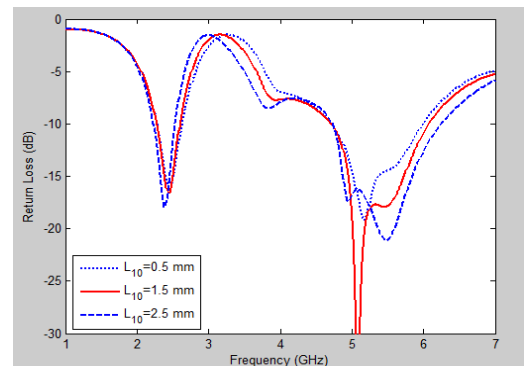


그림 4. 스트립 선로 2의 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성

Fig. 4 Characteristics of simulation return loss due to effect of strip line 2.

그림 4는 스트립 2의 길이( $L_{10}$ ) 변화에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 나타내었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 스트립 1의 길이인  $L_{10}$ 의 길이를 0.5 mm에서 2.5 mm까지 1.0 mm 간격으로 변화시켰을 때 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 비교하였다.  $L_{10}$  길이 변화에 따른 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과, 2.4 GHz 대역에서 반사손실 특성과 공진주파수의 변화가 없었으나, 5.0 GHz 대역에서 대역폭의 변화가 없었으나 반사손실 특성의 변화가 있음을 확인하였다. 예상한 결과대로  $L_{10}$  길이는 짧은 선로의 길이이므로 이 길이의 변화는 5.0 GHz 대역에서 커다란 영향을 주는 것을 확인하였다. 시뮬레이션 결과로부터 제안된 안테나의 반사손실과 공진특성이  $L_{10} = 1.5$  mm 일 때 제일 우수한 반사손실 특성을 얻을 수 있었다.

그림 5는 제안된 DGS 형태에 따른 시뮬레이션 반사손실 특성 변화를 나타내었다. 그림 5에서 보는 바와 같이 DGS가 없는 경우, 요구되는 이중 대역이 나타나지 않음을 확인하였으며 또한 스트립 1이 없을 경우, 요구되는 이중대역 특성을 얻었지만 5 GHz 대역의 대역폭이 945 MHz(4.69~5.635 GHz)으로 요구되는 대역을 만족시키지 못하고 있음을 확인하였다. 결국 WLAN 시스템에 만족하는 안테나를 설계하기 위해 최적화된 특성을 얻기 위해서는 접지면에 제안된 DGS( $W_6 \times L_9, W \times L_2, W_7 \times L_3$ )를 삽입하였다.

그림 6은 두 개의 슬릿이 포함된 상태에서 분기 선로에 프로젝션이 존재할 경우와 존재하지 않을 경우를 비교한 시뮬레이션 반사손실 특성을 나타내었다. 프로젝션이 존재하는 경우 2.4 GHz 대역에서 반사손실 특성변화는 없었으며 5.0 GHz 대역에서는 요구되는 대역폭을 만족시킬 뿐만 아니라 상대적으로 우수한 반사손실 특성을 얻었다. 프로젝션이 없는 경우 얻어진 반사손실 특성은 5.17~6.34 GHz의 결과를 얻어 요구되는 대역을 만족하지 못하고 있음을 확인하였다. 이러한 결과로부터 프로젝션 부분은 제안된 안테나의 임피던스 매칭에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다.

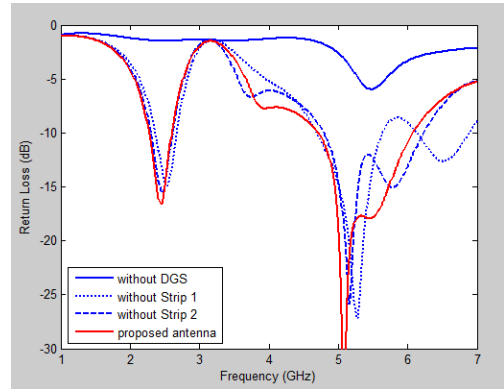


그림 5. DGS 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성

Fig. 5 Characteristics of simulation return loss due to effect of DGS.

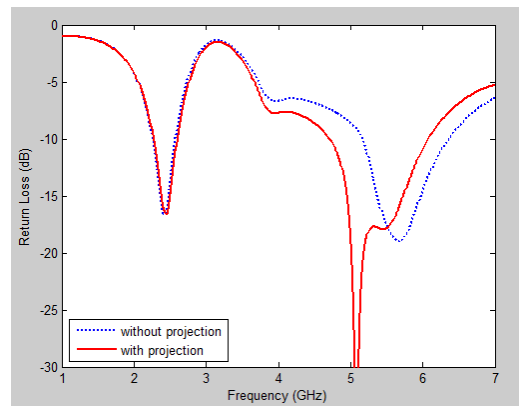


그림 6. 프로젝션 영향에 의한 시뮬레이션 반사손실 특성

Fig. 6 Characteristics of simulation return loss due to effect of projection.

위에서 언급한 시뮬레이션 결과로부터 최적화된 시뮬레이션 반사손실은 2.4 GHz 대역에서 -10dB을 기준으로 380 MHz(2.245~2.625 GHz)의 대역폭을 얻어 2.4 GHz WLAN 대역을 만족시켰으며 5.0 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 1,365 MHz (4.705~6.07 GHz)의 대역폭을 얻어 WiMAX 대역에서 요구하는 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다. 제안된 안테나의 구조 파라미터에 대한 최적화된 수치는 다음과 같다.  $L = 36.0$  mm,  $L_1 = 13.0$  mm,  $L_2 = 2.0$  mm,  $L_3 = 7.0$  mm,  $L_4 = 14.0$  mm,  $L_5 = 4.0$  mm,  $L_6$

= 3.0 mm,  $L_7 = 3.0$  mm,  $L_8 = 3.0$  mm,  $L_9 = 2.0$  mm,  $L_{10} = 1.5$  mm,  $L_{11} = 23.0$  mm,  $W = 21.0$  mm,  $W_1 = 5.0$  mm,  $W_2 = 13.0$  mm,  $W_3 = 1.5$  mm,  $W_4 = 2.0$  mm,  $W_5 = 8.5$  mm,  $W_6 = 9.0$  mm,  $W_7 = 3.0$  mm,  $W_8 = 9.5$  mm,  $W_9 = 3.0$  mm,  $W_8 = 8.5$  mm. 제안된 안테나의 최적화된 구조 파라미터의 수치를 사용하여  $\epsilon_r=4.4$ ,  $h=1.6$  mm인 FR-4기판으로 안테나를 제작하였다. 제안된 최적화 수치를 사용하여 제안된 안테나를 제작하여 측정하였다. 그림 7은 실제 최적화된 수치로 제작된 안테나이다.

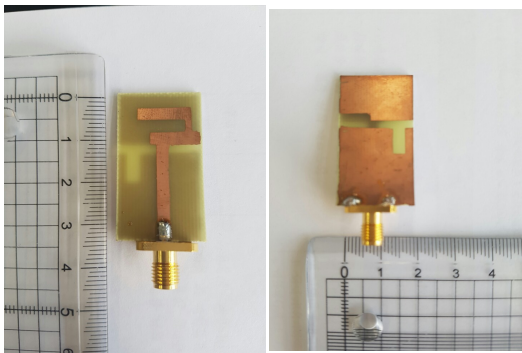


그림 7. 제안된 안테나의 프로토타입 (a)앞면 그리고 (b) 뒷면

Fig. 7 Prototype of the proposed antenna: (a) front view and (b) back view

### III. 측정결과 및 검토

제작된 안테나는 회로망 분석기(Network Analyzer, Anritsu MS4623B)를 이용하여 반사손실을 측정하였으며 방사패턴은 안양에 위치한 이노링크의 무반사실에서 측정하였다. 그림 8은 제안된 안테나의 실제 제작 후 측정한 결과를 나타내었다. 시뮬레이션 결과와 측정결과가 어느 정도 오차가 있는 것으로 판단된다. 측정결과, 2.4 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 700 MHz(2.10~2.80 GHz)의 대역폭을 얻어 2.4 GHz WLAN 대역을 만족시켰으며 5.0 GHz 대역에서는 -10dB을 기준으로 1,780 MHz (5.02~6.80 GHz)의 대역폭을 얻어 5 GHz 대역에서 요구하는 대역폭을 만족하고 있음을 확인하였다.

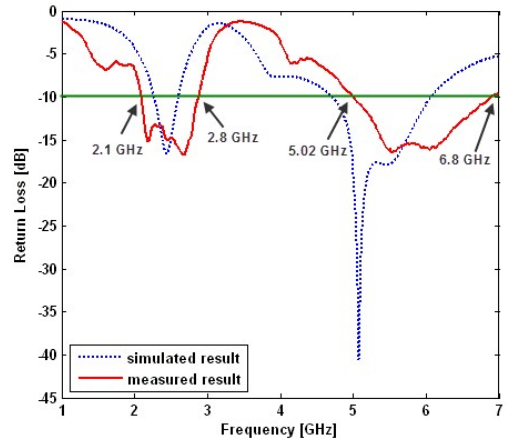


그림 8. 제안된 안테나의 측정된 반사손실  
Fig. 8 The measured return loss results of the proposed antenna

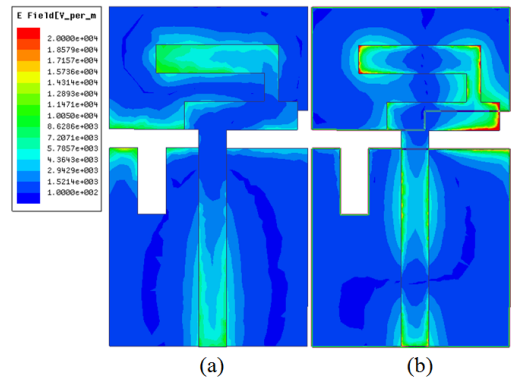


그림 9. 제안된 안테나의 전류 분포  
Fig. 9 The current distribution of the proposed antenna: (a) 2.44 GHz; (b) 5.14 GHz.

제안된 안테나의 전류밀도 분포는 그림 9에서 나타내었다. 그림 9(a)는 중심주파수가 2.44 GHz 일 때의 전류밀도 분포를 나타낸 결과이며 그림 9(b)는 중심주파수가 5.14 GHz 일 때의 전류분포를 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 그림 9(a)에서는 스트립 1에서 강한 전류밀도 분포가 나타날 뿐만 아니라 슬릿 1 주위에도 상당한 전류밀도 분포가 발생하는 것을 확인하였다. 또한 그림 9(b)에서는 스트립 1뿐만 아니라 프로텍션 부분에서도 강한 전류분포가 발생하고 있음을 알 수 있었다. 대부분의 안테나는 길이 공진으로서 요구되는 주파수에서 공진을 발생

시키지 위해서는 스트립 1 혹은 스트립 2의 길이를 튜닝하는 것이 일반적이지만, 제안된 안테나에서는 DGS를 삽입함으로써 기존의 특성과는 다른 형태의 전류밀도 분포가 발생하는 것으로 판단된다.

그림 10, 11, 12는 제작된 안테나의 측정된 방사패턴을 나타내고 있다. 방사패턴이 측정된 주파수는 2.4 GHz WLAN 대역(2.4~2.484 GHz)의 중심인 2.44 GHz, 그리고 5 GHz 대역(5.15~5.875 GHz)의 5.3 GHz/5.7 GHz로 설정하였다. 5GHz 대역의 측정 주파수는 상위대역과 하위대역으로 나누어 설정하였으며 각 대역의 중심주파수가 아니더라도 각 대역에서 방사패턴에는 큰 차이가 없기 때문에 측정주파수를 5.35 GHz/5.75 GHz로 설정하였다. 그림 10은 2.44 GHz 주파수에서 방사패턴을 나타낸 것이며 그림 11은 5.35 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 그리고 그림 12은 5.75 GHz 주파수에서 방사패턴을 표시하였다. 제안된 안테나의 3-D 방사패턴은 전체적으로 전방향성 특성을 보여주고 있다.

그림 13은 WLAN 각 주파수 대역에서의 최대 이득과 평균 이득을 나타내었다. 2.4 GHz 대역에서 최대이득은 5.42~6.73 dBi 그리고 평균 이득은 -3.27~-2.40 dBi로 값을 얻었다. 또한 5.0 GHz 대역에서 최대이득은 3.32~6.04 dBi 그리고 평균 이득은 -2.17~-0.19 dBi로 값을 얻었다.

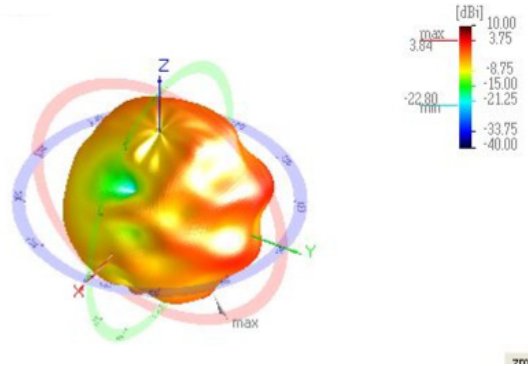


그림 11. 5.35 GHz에서 3-D 방사패턴  
Fig. 11 3-D radiation pattern measured in 5.35 GHz

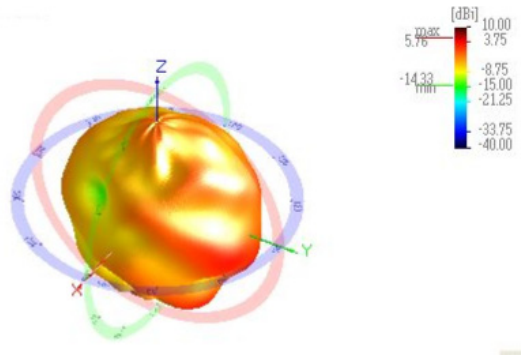


그림 12. 5.75 GHz에서 3-D 방사패턴  
Fig. 12 3-D radiation pattern measured in 5.75 GHz

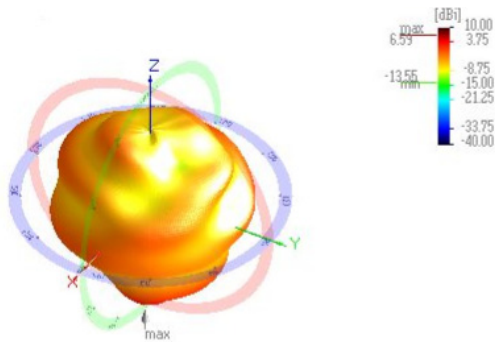


그림 10. 2.44 GHz에서 3-D 방사패턴  
Fig. 10 3-D radiation pattern measured in 2.44 GHz

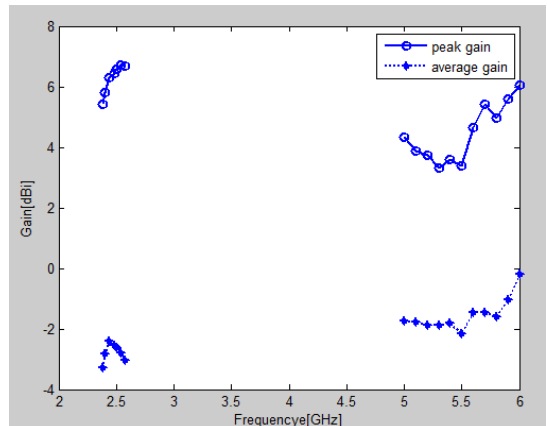


그림 13. 5.75 GHz에서 3-D 방사패턴  
Fig. 13 3-D measured radiation pattern of 5.7GHz



#### IV. 결론

본 논문에서는 WLAN 시스템에 적용 가능한 이중대역 안테나를 설계, 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 마이크로스트립 급전 구조를 갖고 두 개의 스트립 구조의 패치와 접지면에 DGS 구조를 결합하여 이중 공진이 가능하도록 설계하였다. 상용 톨을 사용하여 제안된 안테나의 특성에 절대적으로 영향을 미치는 파라메타에 대한 시뮬레이션을 진행하였으며 표면 전류밀도 분포를 통해 제안된 안테나의 동작원리를 확인하였다. 반사손실 측정결과, 시뮬레이션 결과와 측정결과가 어느 정도 오차가 존재하지만 받아들일 수 있는 결과를 얻었으며 WLAN 대역에서 700 MHz (2.10~2.80 GHz)의 대역폭과 1,780 MHz (5.02~6.80) 대역폭을 얻었다. 또한 방사패턴 측정결과, 전방향성의 방사패턴과 2.4 GHz대역에서 최대이득 5.42~6.73 dBi, 5.0 GHz 대역에서 최대이득 3.32~6.04 dBi를 얻었다. 따라서 제안된 안테나는 접지면을 활용할 수 있는 모든 통신 기기에 적용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

이 논문은 2016학년도 광주대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

#### References

- [1] W. Lutzman and G. Ahiele, *Antenna Theory and Design*. 3<sup>rd</sup> John Wiley & Sons, Inc., 2012.
- [2] G. Kumar and K. Pay, *Broadband Microstrip Antennas*. Boston · London : Artech House Antennas, 2003.
- [3] Y. Park, "Characteristics of patch antenna for WLAN," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 6, 2011, pp. 803-808.
- [4] O. Kim, "Design of dual band microstrip antenna for wireless communication applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 6, 2012, pp. 1275-1279.
- [5] T. Choi, B. Bum, and S. Lim, "Modified Monopole Antenna for Multi resonance Wideband," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 3, no. 2, 2008, pp. 53-57.
- [6] S. Wee, N. Kim, and S. Lee, "Design and Fabrication of the Antenna for Wibro and WLAN Communications Using CPWG Structure," *J. of Electromagnetic Engineering And Science*, vol. 19, no. 10, 2008, pp. 1086-1095.
- [7] Y. Seo, J. Jung, H. Lee, and Y. Lim, "Design of circular monopole antenna with symmetrically folded stub for WLAN operation," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 54, no. 7, 2012, pp. 1549-1552.
- [8] J. Hoon, Y. Rhee, and Y. Jang, "A study on the rectangular ring open-ended monopole antenna with a vertical strip for WLAN dual band operations," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 55, no. 3, 2013, pp. 619-624.
- [9] Y. Koo and D. Im, "Design and Manufacture of Modified Ring antenna with Stub and Ground Slot for WLAN Applications," *J. of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 17, no. 10, 2013, pp. 2285-2272.
- [10] C. Bark, M. Dim, and H. Sung, "Design of Compact Microstrip Patch Antenna for WLAN of IEEE 802.11a," *J. of Korea Information Science*, vol. 19, no. 2, 2013, pp. 611-617.
- [11] J. Yoon and D. Lee "A Design and Implementation of Multi band Monopole Antenna for GPS/WiMAX/WLAN Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 10, 2015, pp. 1189-1196.
- [12] J. Yoon and D. Lee "A Design and Implementation of Multi band Monopole Antenna for GPS/WiMAX/WLAN Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 10, 2015, pp. 1189-1196.
- [13] P. Jark, "design of low pass filter combined PCB antenna using the defected ground structure," Master's Thesis, *Sungkyunkwan University*, 2011.
- [14] S. Jee, H. Lee, W. Yoon, J. Lim, D. Ahn, and S. Han, "Current distribution variation on patch antenna by defected ground structures," *J. of the Korea Institute of Information Technology*, vol. 9,

- no. 1, 2011, pp. 81-88.
- [15] A. Arya, A. Patnaik, and M. Kartikeyan, "Microstrip patch antenna with skew-F shaped DGS for dual band operation," *Progress In Electromagnetics Research M*, vol. 19, 2011, pp. 147-160.
- [16] H. Elftouh, N. Aouhami, M. Aghoutane, S. Amrani, A. Tazon, and M. Boussouis, "Miniaturized microstrip patch with defected grund structure," *Progress In Electromagnetics Research C*, vol. 55, 2014, pp. 25-33.
- [17] S. Oukil, H. Kimouche, and A. Azrar, "Sectorred annular ring microstrip antenna with DGS for circular polarization," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 58, no. 3, 2016, pp. 569-573.



**윤중한(Joong-Han Yoon)**

1992년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1994년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2005년 8월 인하대학교 Post-Doc.

2006년 11월 요코하마 국립대학 Post-Doc.

2008년 8월 삼성전기 책임연구원

2008년 ~ 현재 신라대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : RF & Antenna, RFID, Radar

저자 소개



**최태일(Tea-II Choi)**

1985년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사).

1988년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1997년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1994년 9월 ~ 현재 광주여자대학교 보건행정학과교수

※ 관심분야 : 안테나, 광통신, RFID, 데이터통신



**김정근(Jeong-Geun Kim)**

1983년 2월 원광대학교 전자공학과 졸업(공학사).

1989년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1996년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1992년 9월 ~ 현재 광주대학교 전기전자공학과 교수

※ 관심분야 : RF& 안테나, 광통신