

## 접힌 슬롯이 추가된 소형 이중 대역 슬롯 안테나

백운석\*

### Compact Dual-band Slot Antenna With Bent Slots

Woon-Seok Baek\*

Department of Computer and Communication Military Science, Dongyang University, Yeongju 36040, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 접힌 슬롯이 추가된 소형 이중 대역 슬롯 안테나에 대한 설계 방법을 연구하였다. 제안된 슬롯 안테나는 이중 대역 동작을 위해 직사각형 슬롯에 접힌 슬롯이 추가되었다. 직사각형 슬롯은 내부에 직사각형 급전패치를 두어 동축케이블로 급전한다. 직사각형 슬롯의 위쪽 모서리에 접힌 슬롯이 대칭적으로 추가되면 슬롯의 길이가 증가하여 새로운 공진주파수가 낮은 주파수에서 발생한다. 2.45 GHz WLAN 대역과 5 GHz WLAN 대역을 포함하는 4.50-8.30 GHz 대역에서 동작하는 이중 대역 슬롯 안테나를 FR4 기판 상에 30 mm × 30 mm 크기로 제작하였다. 실험 결과, 입력 반사계수 < -10 dB인 대역이 2.40-2.49 GHz, 4.33-9.85 GHz으로 원하는 이중대역에서 동작하는 것을 확인하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, a design method for a compact dual-band slot antenna with bent slot is studied. Bent slots are added on the rectangular slot of the proposed antenna for dual-band operation. The rectangular slot is fed by a coaxial cable by placing a rectangular feeding patch inside the slot. When the bent slots are added onto the both corner of the upper side of the rectangular slot symmetrically, a new resonant frequency is created in low frequency because of the increment of the slot length. A prototype of the proposed dual-band slot antenna operating at 2.45 GHz WLAN band and 4.50-8.30 GHz band including 5GHz WLAN band is fabricated on an FR4 substrate with a dimension of 30 mm by 30 mm. Experiment results show that the antenna has a desired impedance characteristic with a frequency band of 2.40-2.49 GHz and 4.33-9.85 GHz for an input reflection coefficient < -10 dB.

**키워드** : 슬롯 안테나, 이중 대역 안테나, 접힌 슬롯, 무선랜, 소형 안테나

**Key word** : Slot antenna, Dual-band Antenna, Bent Slot, Wireless Local Area Network(WLAN), Compact Antenna

Received 24 April 2016, Revised 09 May 2016, Accepted 19 May 2016

\* Corresponding Author Woon-Seok Baek(E-mail:wsbeak@dyu.ac.kr, Tel:+82-54-630-1080)

Department of Computer and Communication Military Science, Dongyang University, Yeongju 36040, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkice.2016.20.6.1049>

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. 서 론

슬롯(slot) 안테나는 도체 면에 삽입된 슬롯이 공진함으로써 동작하며, 소형 구조, 다른 장치와의 집적 용이성 등의 장점으로 인해 소형화와 집적화가 요구되는 많은 응용 분야에 사용되고 있다[1].

이중 대역 슬롯 안테나는 WLAN과 RFID 등을 사용하는 휴대형 단말기의 다대역서비스를 위하여 사용되며, 이를 설계하는 방법에는 직사각형 슬롯 루프(loop) 안테나와 직사각형 슬롯 안테나를 결합하는 방법, 직사각형 슬롯 루프 안테나의 윗부분에 도체 스틱(stub)를 삽입하여 접는 방법, 두 개의 직사각형 슬롯 루프 안테나를 결합하는 방법, 그리고 직사각형 루프 안테나를 중심에서 떨어져서 급전하는 방법 등이 있다[2-5]. 구체적으로 동일면 도파관(CPW; coplanar waveguide)으로 급전되는 직사각형 슬롯 루프와 직사각형 슬롯이 결합되어 2.31-2.52 GHz와 4.80-5.48 GHz 대역에서 동작하는 이중 대역 슬롯 안테나가 제안되었다[2]. 이 경우, 첫 번째 공진 주파수는 직사각형 슬롯 루프의 둘레 길이에 의해 결정되고 두 번째 공진 주파수는 직사각형 슬롯의 길이에 의해 결정된다.

그러나 직사각형 슬롯이 직사각형 루프 내부에 있어 두 번째 주파수 대역을 넓게 만들 수 없는 단점이 있다. 다음은 T 모양 스틱이 추가된 CPW로 급전된 직사각형 슬롯 루프 안테나의 윗부분에 도체 스틱을 삽입하여 접어 0.88-0.96 GHz와 1.71-1.88 GHz 대역에서 동작하는 이중 대역 슬롯 안테나가 제안되었다[3]. 안테나 구조의 특성상 두 번째 대역이 넓지 못하다. 또한 CPW로 급전된 두 개의 직사각형 슬롯을 이용하여 4.7 GHz와 7.1 GHz에서 공진하는 안테나를 설계하였으나 두 번째 직사각형 슬롯이 내부에 있어 두 번째 주파수 대역이 넓지 못하다[4]. 그리고 직사각형 슬롯 안테나의 CPW 급전 위치를 중심으로부터 떨어지게 하여 2.47 GHz와 5.25 GHz에서 공진하는 이중 대역 슬롯 안테나를 제안하였다[5].

이 경우 급전 위치가 한 쪽으로 치우쳐 있어서 두 번째 대역에서의 복사 패턴이 대칭적이지 못한 단점이 있다.

한편, 직사각형 슬롯에 접힌 슬롯을 추가하여 무선랜이나 RFID용 소형 안테나를 설계하는 방법도 제안되었으나 이중 대역에 대한 연구는 되지 못했다[6, 7].

본 논문에서는 접힌 슬롯이 추가된 소형 이중 대역 슬롯 안테나에 대한 설계 방법을 연구하였다. 제안된 슬롯 안테나는 직사각형 슬롯 내부에 직사각형 급전패치를 두어 동축케이블로 급전된다. 이중 대역 동작을 위해 직사각형 슬롯의 윗면의 양쪽 모서리 끝에 접힌 슬롯이 추가되었다. 추가된 접힌 슬롯에 의해 슬롯의 길이가 증가하여 새로운 첫 번째 공진 주파수가 발생하고 소형화할 수 있다.

또한, 기존의 직사각형 슬롯에 의해 두 번째 주파수 대역이 생성된다. 기존의 이중대역 슬롯 안테나에 비해 직사각형 슬롯을 조정하여 넓은 두 번째 주파수 대역을 얻을 수 있는 장점이 있다. 최적의 설계 변수를 도출하기 위하여 급전 패치의 위치, 급전 패치의 길이와 폭, 접힌 슬롯의 길이의 변화에 따른 입력 반사계수 특성을 분석하였다.

시간영역 전자파 분석 소프트웨어를 이용하여 안테나 특성을 시뮬레이션하여 설계 변수를 2.45 GHz 무선랜 대역(2.40-2.485 GHz)과 5 GHz 무선랜 대역(5.15-5.825 GHz)을 포함하는 4.50-8.30 GHz 대역에서 동작하도록 조정하였다. 최종 설계된 이중 대역 슬롯 안테나를 FR4 기판(비유전율 4.4, 두께 0.8mm) 상에 제작하여 특성을 확인하였다.

## II. 안테나의 구조 및 설계

### 2.1. 안테나 구조

그림 1은 제안된 이중 대역 슬롯 안테나의 구조이다.

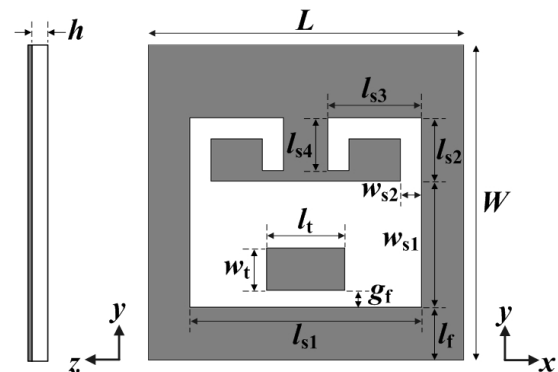


Fig. 1 Geometry of proposed dual-band slot antenna with bent slot

제안된 슬롯 안테나는 직사각형 슬롯, 직사각형 급전 패치, 접힌 슬롯으로 구성되어 있다. 안테나의 길이와 폭은  $L$ 과  $W$ 이고, 유전율이 4.4이고 두께가  $h = 0.8 \text{ mm}$ 인 FR4 기판을 사용하였다.

직사각형 슬롯의 길이와 폭은 각각  $l_{s1}$ 과  $w_{s1}$ 이다. 직사각형 슬롯 내부에 있는 직사각형 급전패치의 길이와 폭은 각각  $l_f$ 과  $w_f$ 이고, 직사각형 슬롯의 아랫면으로부터  $g_f$  만큼 떨어져 있다. 제안된 이중 대역 슬롯 안테나는 그림 8에 나타나 있듯이 직사각형 슬롯의 아랫면과 급전패치의 아랫면 사이에 동축 케이블로 급전된다. 직사각형 슬롯의 아랫면은 접지면의 아랫면으로부터  $l_t$ 만큼 떨어져 위치한다.

접힌 슬롯은 직사각형 슬롯의 위쪽면의 양쪽 모서리에 대칭적으로 추가되었다. 접힌 슬롯의 폭은  $w_{s2}$ 이고, 접힌 슬롯의 전체 길이는  $l_{s2}+l_{s3}+l_{s4}$ 이다.

제안된 2.45 GHz 대역과 4.50–8.30 GHz 대역에서 동작하는 이중 대역 슬롯 안테나의 최적화된 설계 변수들이 표 1에 나타나 있다. 최적화된 설계 변수는 주요 설계 변수를 변화시켜 안테나 특성을 분석하여 결정하였으며, 주요 설계 변수 조절을 통한 특성 변화는 다음 절에 설명되어 있다.

**Table. 1** Design parameters of proposed dual-band slot antenna

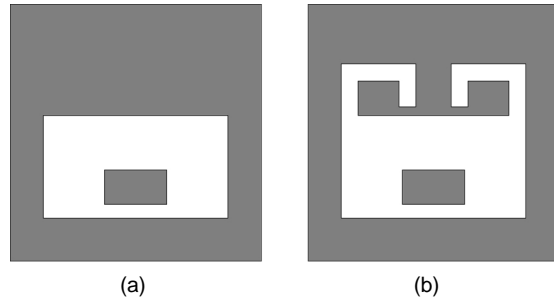
Parameter	Value(mm)	Parameter	Value(mm)
$L$	30	$w_f$	4
$W$	30	$l_{s2}$	6
$l_f$	5	$l_{s3}$	6.9
$l_{s1}$	22	$l_{s4}$	3
$w_{s1}$	12	$w_{s2}$	2
$g_f$	1.6	$h$	0.8
$l_t$	7.4		

### 2.2. 안테나 설계

그림 2는 제안된 이중 대역 안테나를 설계하는 과정에서 성능을 비교하기 위한 두 가지 안테나 구조들이다. 그림 2(a)는 그림 1의 제안된 안테나에서 접힌 슬롯이 없는 경우이고, 그림 2(b)는 접힌 슬롯이 추가된 제안된 안테나이다.

슬롯 안테나 설계 이론을 바탕으로 접힌 슬롯이 없는

경우를 먼저 설계 한 후, 접힌 슬롯이 추가되었을 때 슬롯의 길이를 조정하여 목표로 하는 두 대역에서 동작하도록 설계하였다.



**Fig. 2** Antenna structures for performance comparison: (a) the case without bent slot and (b) proposed antenna

그림 3은 표 1의 설계 변수를 가지는 제안된 이중 대역 슬롯 안테나의 입력 반사계수( $S_{11}$ ), 입력 임피던스, 이득 특성을 접힌 슬롯이 없는 경우와 비교하였다.

접힌 슬롯이 없는 경우,  $S_{11} < -10 \text{ dB}$ 인 주파수 대역은 3.18–7.39 GHz이다. 대역 내에서 이득은 2.0–4.3 dBi이다. 이득은 broadside 방향인  $+z$ 축 방향에서 계산되었다.

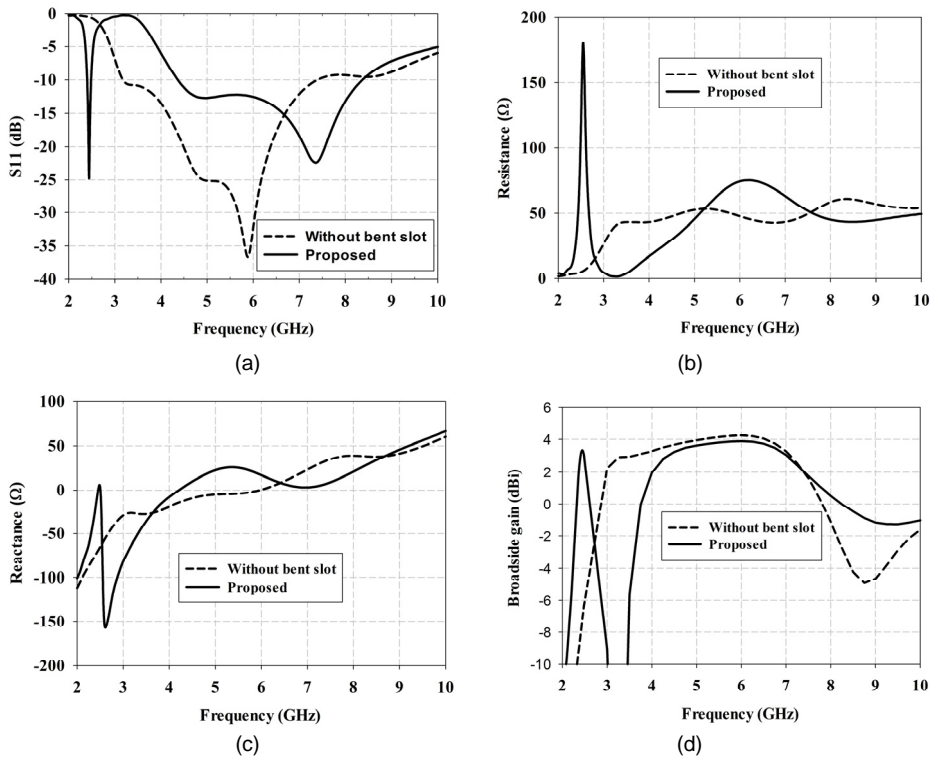
제안된 이중 대역 슬롯 안테나는  $S_{11} < -10 \text{ dB}$ 인 주파수 대역이 2.40–2.485 GHz와 4.37–8.37 GHz으로 원하는 주파수 대역에서 동작한다. 2.40–2.485 GHz에서 이득은 2.9–3.3 dBi이고, 4.37–8.37 GHz에서  $-0.3$ –3.9 dBi이다.

접힌 슬롯을 추가함으로써 슬롯의 길이가 증가하여 원래 주파수 보다 낮은 주파수에서 새로운 주파수 대역이 발생함을 알 수 있다. 그리고 원래 주파수 대역은 접힌 슬롯과의 결합으로 인해 높은 주파수로 이동함을 알 수 있다.

### 2.3. 특성 시뮬레이션

급전패치와 직사각형 슬롯의 아랫면 사이의 간격( $g_f$ ), 급전패치의 길이( $l_f$ )와 폭( $w_f$ ), 접힌 슬롯의 마지막 부분 길이( $l_{s4}$ ) 등이 제안된 이중 대역 슬롯 안테나의 특성에 영향을 미치는 주요 구조이다.

본 절에서는 위의 설계 변수 조절에 따른 입력 반사계수의 특성 변화를 분석하여 각 설계 변수의 영향을 알아보았다.

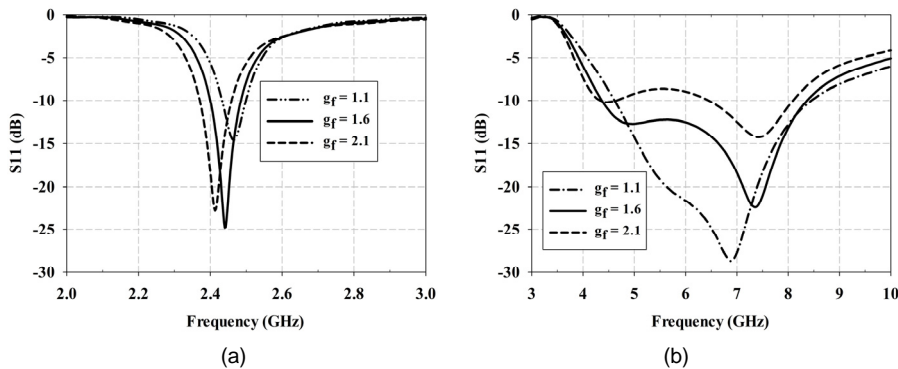


**Fig. 3** Comparison of input reflection coefficient, input impedance, and gain characteristics of proposed dual-band slot antenna with the case without bent slot: (a) reflection coefficient, (b) resistance, (c) reactance, and (d) gain

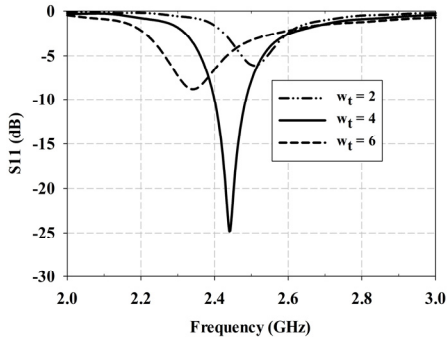
그림 4는 급전패치와 직사각형 슬롯의 아랫면 사이의 간격  $g_f$ 에 따른 입력 반사계수의 변화를 2-3 GHz 대역과 3-10 GHz 대역에서 나타내고 있다. 다른 설계 변수는 표 1의 값과 동일하다.

간격  $g_f$ 가 1.1 mm에서 2.1 mm로 증가함에 따라  $S_{11} <$

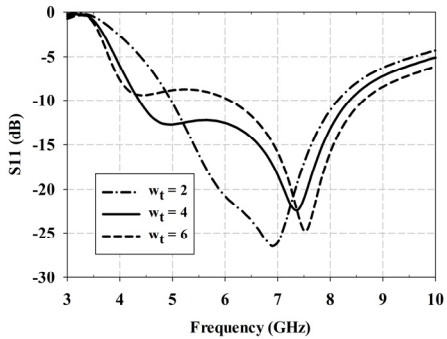
- 10 dB인 첫 번째와 두 번째 주파수 대역은 모두 낮은 주파수로 이동한다. 예를 들면,  $g_f$ 가 1.1 mm일 때  $S_{11} <$  - 10 dB인 주파수 대역은 2.43-2.50 GHz와 4.62-8.45 GHz이며, 1.6 mm일 때 2.40-2.485 GHz와 4.37-8.37 GHz이다.



**Fig. 4** Input reflection coefficient variation as functions of  $g_f$ : (a) 2-3 GHz and (b) 3-10 GHz



(a)

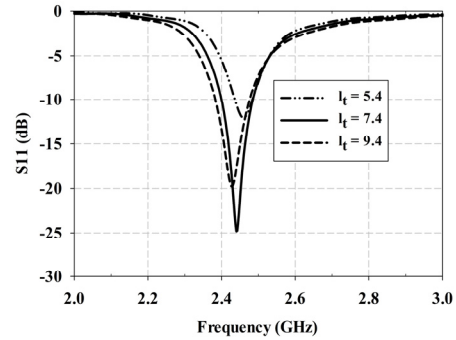


(b)

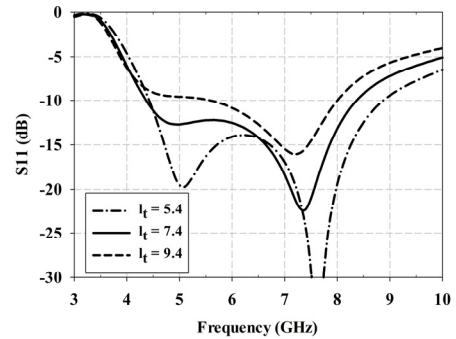
**Fig. 5** Input reflection coefficient variation as functions of  $w_t$  : (a) 2–3 GHz and (b) 3–10 GHz

급전패치의 폭  $w_t$ 에 따른 입력 반사계수의 변화가 그림 5에 나타나 있다. 폭  $w_t$ 가 2 mm에서 6 mm로 증가함에 따라 첫 번째 주파수 대역은 낮은 주파수로 이동하고 두 번째 주파수 대역은 하한 주파수는 낮은 주파수로 이동하고 상한 주파수는 높은 주파수로 이동하여 대역폭이 증가한다. 첫 번째 주파수 대역의 경우  $w_t = 4$  mm일 때만 임피던스 정합이 양호하다. 예를 들면,  $w_t = 2$  mm일 때 첫 번째 주파수 대역은 임피던스 정합이 나빠져서  $S_{11} < -5$  dB 기준으로 2.47–2.54 GHz이고 두 번째 주파수 대역은  $S_{11} < -10$  dB 기준으로 4.98–8.14 GHz이다.  $w_t = 1.6$  mm일 때  $S_{11} < -10$  dB 기준으로 첫 번째와 두 번째 주파수 대역은 2.40–2.485 GHz와 4.37–8.37 GHz이다.

그림 6은 급전패치의 길이  $l_t$ 에 따른 입력 반사계수의 변화가 나타나 있다. 길이  $l_t$ 가 5.4 mm에서 9.4 mm로 증가함에 따라  $S_{11} < -10$  dB인 첫 번째와 두 번째 주파수 대역은 모두 낮은 주파수로 이동한다.



(a)



(b)

**Fig. 6** Input reflection coefficient variation as functions of  $l_t$  : (a) 2–3 GHz and (b) 3–10 GHz

첫 번째 주파수 대역의 경우  $l_t = 7.4$  mm일 때 임피던스 정합이 가장 양호하다. 예를 들면,  $l_t = 5.4$  mm일 때  $S_{11} < -10$  dB인 주파수 대역은 2.44–2.48 GHz와 4.43–8.87 GHz이며,  $l_t = 7.4$  mm일 때 2.40–2.485 GHz와 4.37–8.37 GHz이다.

마지막으로 접힌 슬롯의 마지막 부분 길이  $l_{s4}$  변화에 따른 입력 반사계수의 변화가 그림 7에 나타나 있다. 길이  $l_{s4}$ 가 1 mm에서 3 mm로 증가함에 따라 첫 번째 주파수 대역은 낮은 주파수로 이동하고 두 번째 주파수 대역은 하한 주파수만 낮은 주파수로 이동하여 대역폭이 증가한다.

예를 들면,  $l_{s4} = 1$  mm일 때  $S_{11} < -10$  dB인 주파수 대역은 2.48–2.60 GHz와 5.0–8.32 GHz이며,  $l_{s4} = 3$  mm일 때 첫 번째와 두 번째 주파수 대역은 2.40–2.485 GHz와 4.37–8.37 GHz이다.

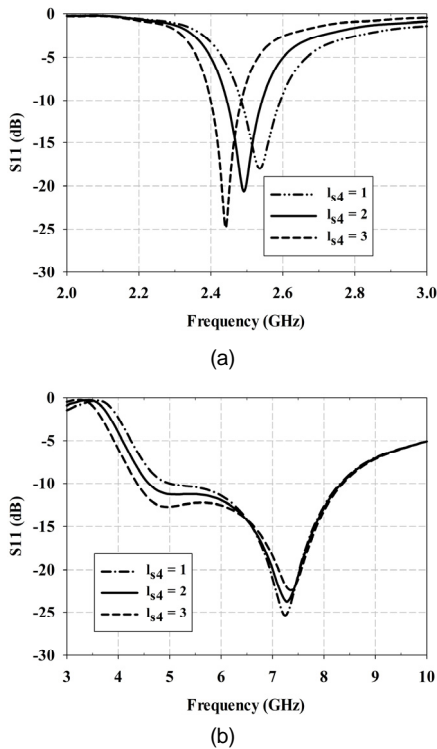


Fig. 7 Input reflection coefficient variation as functions of  $l_{s4}$  : (a) 2–3 GHz and (b) 3–10 GHz

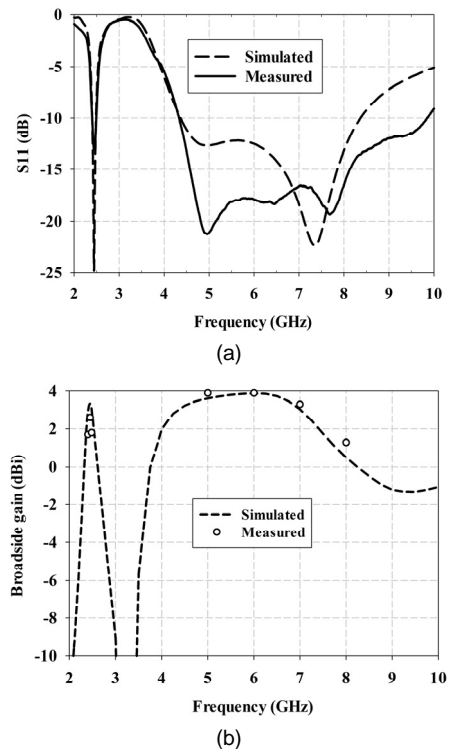


Fig. 9 Input reflection coefficient and gain of fabricated antenna

### III. 안테나 제작 및 실험 결과

그림 8은 제작된 이중 대역 안테나의 사진이 나타나 있다. 제작된 안테나의 크기는 30 mm (L) × 30 mm (W)이며, 동축 케이블로 급전되었다.



Fig. 8 Photograph of fabricated antenna

제작된 안테나의 입력 반사계수는 네트워크분석기 (Agilent사 N5230A)를 이용하여 측정하였고, 결과는 그림 9에 나타나 있다. 시뮬레이션 결과  $S_{11} < -10$  dB인 대역이 2.40–2.485 GHz와 4.37–8.37 GHz이며, 측정 결과는 2.40–2.49 GHz와 4.33–9.85 GHz이다. 첫 번째 대역은 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 유사하며, 두 번째 대역은 상한 주파수가 높은 주파수로 이동하여 대역폭이 증가하였다.

제작된 안테나의 이득은 전파무반향실에서 측정되었다. 측정 이득은 그림 9와 같이 첫 번째 대역의 중심주파수인 2.45 GHz에서 2.6 dBi이고, 5–8 GHz 대역에서는 1.3–3.9 dBi으로 시뮬레이션 결과와 유사하다.

그림 10은 2.45 GHz, 5 GHz, 7 GHz에서 제작된 이중 대역 안테나의 E-면(y-z면)과 H-면(z-x면) 복사 패턴에 대한 측정 결과이며, 시뮬레이션 결과와 유사함을 알 수 있다.

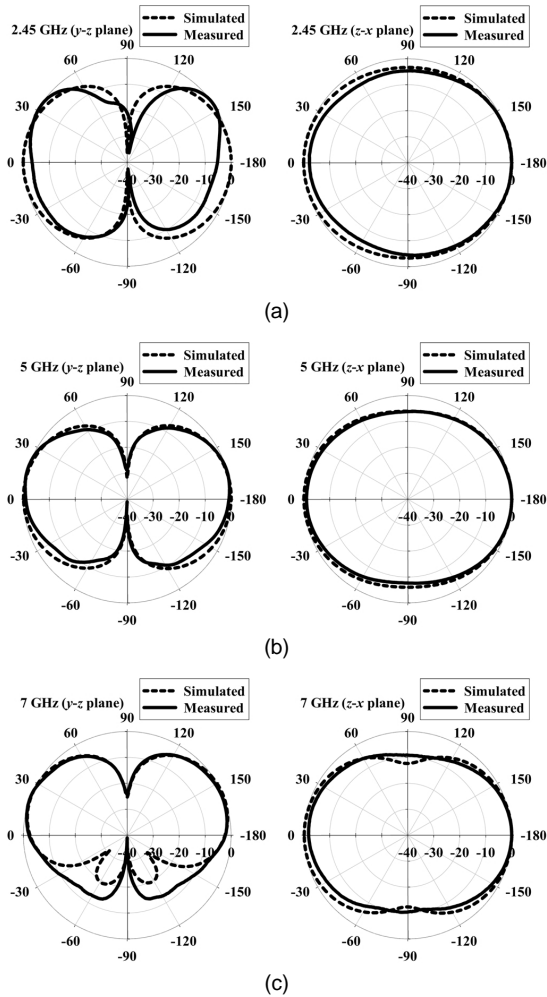


Fig. 10 Radiation patterns of fabricated antenna: (a) 2.45 GHz, (b) 5 GHz, and (c) 7 GHz

#### IV. 결론

본 논문에서는 직사각형 슬롯에 접힌 슬롯을 추가한 이중 대역 소형 슬롯 안테나에 대한 설계 방법을 연구하였다. 제안된 슬롯 안테나는 이중 대역 동작을 위해 접힌 슬롯을 직사각형 슬롯의 위쪽면의 양쪽 모서리에 대칭적으로 추가하였다. 급전 패치의 위치, 급전 패치의 길이와 폭, 접힌 슬롯의 길이의 변화에 따른 입력 반사계수 특성을 분석하여 최종 설계 변수를 도출하였다.

최종 설계된 이중 대역 슬롯 안테나를 FR4 기판 상에 제작하고 특성을 실험한 결과  $S_{11} < -10$  dB 인 대역이 2.40–2.49 GHz, 4.33–9.85 GHz로 원하는 대역에서 동작하는 것을 확인하였고 방사패턴도 시뮬레이션 결과와 잘 일치함을 확인하였다. 이득은 2.45 GHz에서 2.6 dBi 이고, 두 번째 대역에서는 1.3–3.9 dBi로 측정되었다.

제안된 안테나는 2.45 GHz와 5 GHz 대역 무선랜 및 RFID 등 응용 분야에 적용할 수 있는 소형 이중 대역 안테나로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

#### ACKNOWLEDGMENTS

This study was supported by grant from Dong Yang University in 2015

#### REFERENCES

- [1] R. Waterhouse, *Printed antennas for wireless communications*. Chichester, U.K.: Wiley, 2007.
- [2] J. Chen, "Dual-frequency slot antennas fed by capacitively coplanar waveguide", *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 32, no. 6, pp. 452-453, Mar. 2002.
- [3] D. Llorens, P. Otero, and C. Camacho-Penalosa, "Dual-band, single CPW port, plane-slot antenna," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 51, no. 1, pp. 137-139, Jan. 2003.
- [4] A. A. Omar, M. C. Scardelletti, Z. M. Hejazi, and N. Dib, "Design and measurement of self-matched dual frequency coplanar waveguide fed slot antennas," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 1, pp. 223-226, Jan. 2007.
- [5] A. A. Gheethan and D. E. Anagnostou, "Broadband and dual-band coplanar folded-slot antennas (CFSAs)," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 53, no. 1, pp. 80-89, Feb. 2011.
- [6] J.-I. Lee and J. Yeo, "Compact bent slot antenna for 2.45 GHz band," *Electron. Lett.*, vol. 48, no. 8, pp. 420-422, Apr. 2012.
- [7] J.-I. Lee, "Compact Slot Antenna for 5.8 GHz RFID," *J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.*, vol. 17, no. 12, pp. 763-768, Dec. 2013.



**백운석(Woon-Seok Baek)**

1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1988년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
1997년 8월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)  
1988년 2월 ~ 1995년 8월 : 국방과학연구소 선임연구원  
1995년 9월 ~ 2000년 1월 : 동양대학교 정보통신공학과 조교수  
2000년 2월 ~ 2010년 12월 : ㈜우리별텔레콤 전무이사  
2011년 1월 ~ 현재 : ㈜엘엔비 이사  
2014년 3월 ~ 현재 : 동양대학교 컴퓨터정보통신군사학과 부교수  
※관심분야 : EMI/EMC, 평면 안테나, 전자파 산란