

절반의 X-슬롯을 가진 무선랜용 이중대역 모노폴 안테나

Dual-band Monopole Antenna with Half X-slot for WLAN

신 동 기 · 이 영 순*

금오공과대학교 전자공학부

Dong-Gi Shin · Young-Soon Lee*

Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gyeongsangbuk-do, 39177, Korea

[요 약]

본 논문에서는 소형화를 위해 방사패치에 절반으로 절단된 X-슬롯을 가지며, WLAN 이중대역인 2.4 GHz 대역 (2.4 ~ 2.484 GHz) 및 5 GHz 대역 (5.15 ~ 5.825 GHz)용 마이크로스트립 급전 모노폴 안테나를 제안하였다. 여러 파라미터들의 수치들을 최적화하여 주파수 특성을 만족하였으며, 5 GHz 대역의 반사손실 개선을 위해 DGS (defected ground structure)를 사용하였다. 제안된 안테나는 크기가 $24 \times 41 \text{ mm}^2$, 두께는 1.6 mm, 유전상수가 4.3인 FR-4 기판에 설계 및 제작되었다. 제안된 안테나의 제작 및 측정 결과, 임피던스 대역폭 ($|S_{11}| \leq -10\text{dB}$)이 2.4 GHz 대역에서는 약 450 MHz (2.27 ~ 2.72 GHz), 5 GHz 대역에서는 약 1340 MHz (4.79 ~ 6.13 GHz)인 대역폭을 얻어 제안한 두 대역의 IEEE 규격(IEEE 802. 11n)을 충분히 만족하는 안테나를 구현했다. 특히 두 대역에서 안정되고 비교적 좋은 무지향성 경향의 방사패턴을 얻을 수 있었으며, 각 대역에서의 안테나 이득은 각각 1.31, 1.98 dBi 임을 확인할 수 있었다.

[Abstract]

For the size reduction, we propose a microstrip-fed monopole antenna with half X-slot in the radiation patch and cover WLAN dual band 2.4 GHz band (2.4 ~ 2.484 GHz) and 5 GHz band (5.15 ~ 5.825 GHz). The frequency characteristics such as impedance bandwidth and resonant frequencies were satisfied by optimizing the numerical values of various parameters, while the reflection loss in 5 GHz was improved by using defected ground structure (DGS). The proposed antenna is designed and fabricated on a FR-4 substrate with dielectric constant 4.3, thickness of 1.6 mm, and size of $24 \times 41 \text{ mm}^2$. The measured impedance bandwidths ($|S_{11}| \leq -10 \text{ dB}$) of fabricated antenna are 450 MHz (2.27 ~ 2.72 GHz) in 2.4 GHz band and 1340 MHz (4.79 ~ 6.13 GHz) in 5 GHz band which sufficiently satisfied with the IEEE 802. 11n standard in dual band. In particular, radiation patterns which are stable as well as relatively omni-direction could be obtained, and the gain of antennas in each band was 1.31 and 1.98 dBi respectively.

Key word : Half X- slot, Microstrip-fed, WLAN, Dual-band, Defected ground structure, Omni-directional radiation pattern.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.5.449>



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.

Received 28 September 2018; Revised 1 October 2018

Accepted (Publication) 23 October 2018 (30 October 2018)

*Corresponding Author; Young-Soon Lee

Tel: +82-54-478-7501

E-mail: yslee@kumoh.ac.kr

I. 서 론

스마트폰이나 태블릿 PC 등이 개발되고 성능들이 향상되면서 수십 년 동안 휴대용 무선 통신에 대한 기술 개발이 급격하게 증가했다. 또한, 사용자들이 증가함에 따라 동시 사용 주파수 대역이 나날이 다중 대역화 되고 있어 효율적인 주파수 활용에 대한 관심도 꾸준히 이어져왔다.

무선랜(wireless local area network)은 다양한 환경에서 구축이 용이하고, 설치비용을 절감 할 수 있다는 점에서 많이 사용되고 있는데, 가장 많이 사용되는 IEEE 802. 11b/g 인 2.4 GHz(2.4~2.484 GHz) 대역은 주파수 간섭 등과 같은 다양한 문제가 발생 할 수 있다. 앞서 언급한 문제 해결을 위해 최근 안테나들은 IEEE 802. 11a인 5 GHz(5.15~5.825 GHz) 동시에 만족하는 IEEE 802. 11n 규격 등을 최소로 지원할 수 있어야 한다.

단순한 급전방식, 적은 비용으로 제작이 가능한 장점들이 있는 인쇄형 모노폴 안테나는 무선 통신 시스템에 쉽게 적용할 수 있으며 다중 대역을 위한 안테나로 널리 사용되고 있다. U-형태 [1], G-형태 [2], Sierpinski-fractal 형태 [3], Fork 형태 [4] 등과 같은 다양한 형태의 안테나가 제안되었다. 하지만 이러한 형태의 안테나는 복잡한 구조를 가지며 제작이 어렵고 이로 인해 방사 패턴 왜곡과 같은 현상으로 무지향성 방사패턴을 얻기 어려운 단점이 생긴다. 단순하며 소형의 구조를 가지는 안테나를 설계하는 것은 많은 한계점을 지닌다.

그러나 참고문헌 [5]에서는 CPW (coplanar waveguide) 급전 구조에 PCB 크기가 $42 \times 52 \text{ mm}^2$ 이며, 패치에 X-형태의 슬롯 구조로 WLAN 이중대역에서 동작하는 모노폴 안테나를 제안하였는데, 간단한 구조로 제작이 쉽고 무지향성 방사패턴을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 참고문헌 [5]의 구조를 사용하여 소형화와 반사손실 개선에 주안점을 두어 새로운 안테나 설계를 제안하였다. 안테나를 소형화하기 위해서는 일반적인 모노폴 보다도 더 작게 만들 필요가 있으며 유전율이 일정한 두께를 가지는 유전체 기판을 사이에 두고 한쪽 면에는 방사패치, 반대 면에는 접지면이 오는 마이크로스트립 급전 구조를 사용 할 수 있다. 따라서 기존 CPW 급전에서 마이크로스트립 급전으로 변경하였다. 그 후 사각패치와 X-형 슬롯을 절반으로 잘라 개방시키고 급전선 위치 또한 이동시킨 후, 남은 불필요한 부분을 제거하여 기하학적인 최적화를 통한 크기의 소형화를 달성했다.

추가로 5GHz 대역의 반사손실 개선을 위해 본 논문에서는 DGS(defected ground structures)라 불리는 결함 접지 구조를 사용하였다. DGS의 구현 방법으로 간단하게는 마이크로스트립 안테나의 접지면에 특정 모양을 가지는 슬롯 등을 에칭함으로써 구현할 수 있으며 Meander lines 형태, dumbbell 형태와 같이 다양한 모양의 슬롯을 만들어 접지면에 추가적인 전류의 흐름을 생성할 수 있다. 이것은 안테나의 입력 임피던스 및 전류 흐름에 영향을 주어 반사손실 개선, 임피던스 대역폭 향상, 이득 증가, 2차 및 3차 고조파를 제거하는 등 여러 장점을 가지며 평면형 마

이크로스트립 안테나 설계에서 많이 연구되어져 왔다[6-10].

안테나 모의실험 설계 전반에 3D Simulation을 지원하는 CST MWS(microwave studio)를 사용하였다. 모의실험의 타당성을 입증하기 위해 안테나를 제작하고 그 특성을 측정한 후 모의실험 결과와 비교 제시하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안 하고자하는 절반으로 잘린 개방된 X-형 슬롯을 이용한 이중대역 마이크로스트립 급전 모노폴 안테나를 그림 1에 제시하였다. 그림 1에서 A 와 B 는 유전체 기판의 가로 및 세로 길이이고, L_g 는 사각형 패치의 높이, W는 사각형 패치의 폭, P는 X-형태 슬롯이 사각형 패치의 밑면과 이격된 거리에 해당된다. 그림 1에서 보는 바와 같이 참고문헌 [5]에서의 X-형 슬롯과는 달리 본 논문에서의 그것은 y축을 대칭축으로 하여 절반으로 절단한 형태를 가진다.

모의실험에는 유전율 4.3인 FR-4기판을 사용하였으며, 최적화된 구조의 PCB 크기는 $24 \times 41 \times 1.67 \text{ mm}^3$ 이다. 급전선 폭 W_f 는 50Ω 전송선 임피던스를 가지도록 설계하였으며, 안테나를 구성하는 주요 파라미터들에 대한 공진주파수 및 반사계수 경향 그래프를 분석하고 제시하였다. 그래프에서 검정색 실선이 최적화된 값을 의미하며 나머지 파라미터들의 값은 각각 세모와 네모 심볼을 갖는 빨간색, 파란색 점선으로 나타내었다.

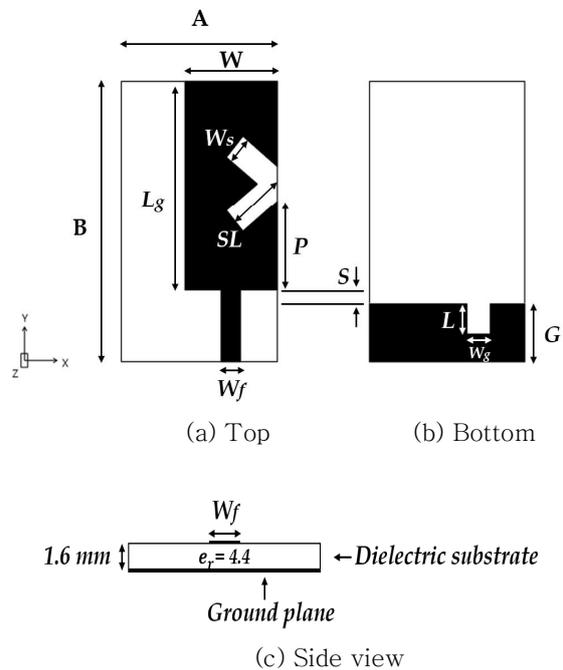


그림 1. 제안된 안테나
Fig. 1. The proposed antenna.

그림 2는 PCB에서 가로길이에 해당하는 A를 24 mm에서 34 mm까지 5 mm 간격으로 조정 하였을 때, 반사계수와 공진주파수의 변화 경향을 나타낸 것이다. 급전구조를 변경하여 불필요한 부분을 제거하면서 PCB의 크기를 대폭 줄일 수 있었으며, 이 경우 특히 2.4 GHz 대역의 반사계수의 변화를 확인할 수 있으며 반사손실이 개선되면서 동시에 대역폭 또한 넓어지는 것을 알 수 있다. A의 길이가 24 mm 일 때, 가장 좋은 반사계수 특성과 대역폭을 만족했다.

그림 3은 방사패치와 접지면 사이의 높이를 나타내는 S의 변화에 따른 반사계수 및 공진주파수 변화 경향을 나타낸 것이다. S는 접지면의 높이와 관계가 있고 S를 1 mm에서 2 mm까지 0.5 mm간격으로 조정하였을 경우 5 GHz대역에서 중심주파수 이동을 확인할 수 있다. 충분한 접지면을 확보하기 위해 방사패치와 접지면 사이의 높이를 조정하였으며, 이를 통해 2 mm라는 최적의 값을 찾을 수 있었다.

그림 4는 SL의 변화에 따른 반사계수와 공진주파수 변화 경향을 나타내었다. 파라미터 SL은 절반으로 절단된 X-형 슬롯의 길이를 나타내며 본 논문에서 y축 기준으로 절반으로 절단되어 개방되었으므로 패치의 가로 길이가 반 이상 줄어든다. SL의 변화에 따라 슬롯의 길이를 조절하면 2.4 GHz 대역에서와 5 GHz 대역에서의 공진 주파수가 변화가 보이는데 SL의 크기를 12.5 mm에서 14.5 mm까지 1 mm 간격으로 조정하여 분석한 결과 SL의 길이가 길어질수록 공진주파수가 낮아지는 것을 알 수 있다. 이를 통해 이중 대역을 만족하는 슬롯의 최적의 길이를 찾을 수 있었다.

그림 5는 방사패치의 세로 길이에 해당하는 Lg 파라미터의 변화에 따른 반사계수의 경향을 나타낸 것이다. Lg의 길이를 28 mm에서 급전선 방향으로 2 mm씩 32 mm 까지 증가시켰을 때의 주파수 및 반사계수의 경향을 보게 되면 특히, 2.4 GHz 대역에서의 중심주파수 변화가 관찰된다. 그림에서 패치의 세로 길이가 길어질수록 공진주파수는 낮아지는 것을 볼 수 있으며 본 논문에서는 2.4 GHz 대역을 만족하는 최적의 값으로 32 mm를 선택했다.

그림 6은 접지면에 DGS(defected ground structures)라 불리는 결합 접지 구조를 구현하였으며, 그것의 유무에 따른 상태를 나타내었다. 5 GHz 대역에서 좋지 않은 반사손실 값을 가지는 회색 점선이 DGS가 없는 상태이며 DGS가 포함된 상태인 검정색 실선(DGS의 최적화된 결과로 L 파라미터가 4.5mm, Wf2 파라미터가 3.75 mm 일 때)은 5 GHz 대역에서의 반사손실 개선이 확연하게 관찰된다. 더불어 2.4 GHz 대역에서의 반사손실 개선도 확인할 수 있다. 서론에서 언급한 것과 같이 마이크로스트립 라인의 유효 커패시턴스와 인덕턴스를 변화시켜 안테나의 입력 임피던스 및 전류 흐름과의 관련을 보여주는 결과라고 할 수 있다. 5 GHz WLAN 대역의 중심주파수인 5.5 GHz에서 관내 파장(guided wavelength) λ_g 로 정규화 한 결과가 약 33.5 mm로 계산되었다. DGS의 가로와 세로를 더한 길이(L+Wf2)가 8.25 mm 인데 이것은 앞서 계산한 5.5 GHz 대역에서의 관내파장의 λ_g

$/4(0.25\lambda_g)$ 의 길이(= 8.38 mm)에 해당되는 것으로 계산되었다.

$$\lambda_g = \frac{c}{f\sqrt{\epsilon_{eff}}} \tag{1}$$

여기에서 $\epsilon_{eff} = (\epsilon_r + 1)/2$, c는 광속, 그리고 f는 5 GHz WLAN 대역의 중심주파수이다.

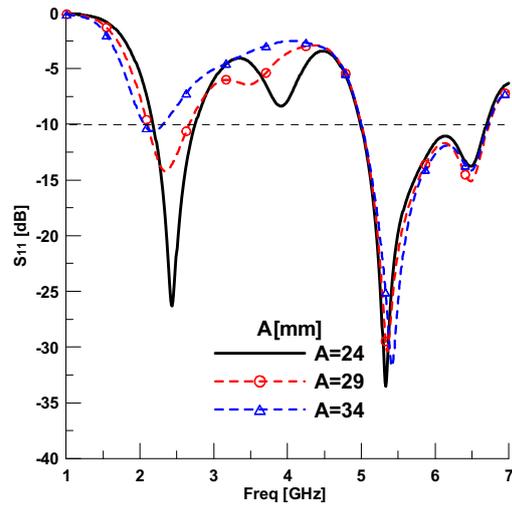


그림 2. A의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 2. Simulated return losses for different values of parameter A.

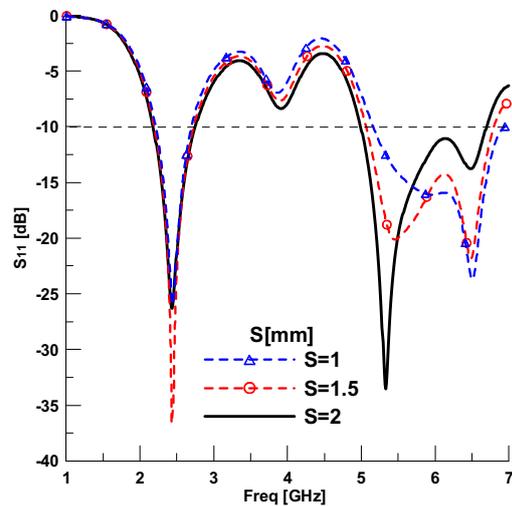


그림 3. S의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
Fig. 3. Simulated return losses for different values of parameter S.

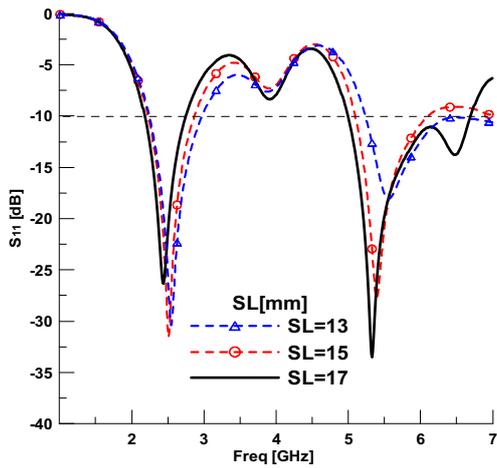


그림 4. SL의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
 Fig. 4. Simulated return losses for different values of parameter SL.

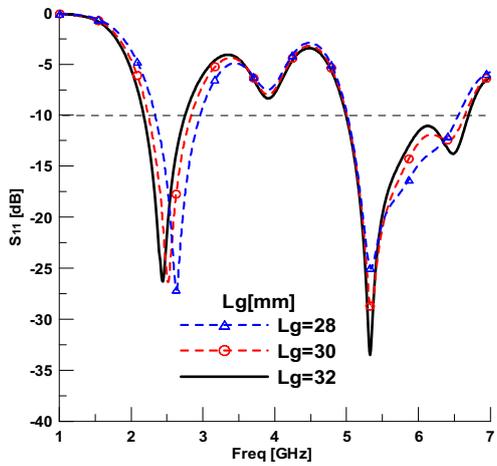


그림 5. Lg의 변화에 따른 모의실험 결과 반사계수
 Fig. 5. Simulated return losses for different values of parameter Lg.

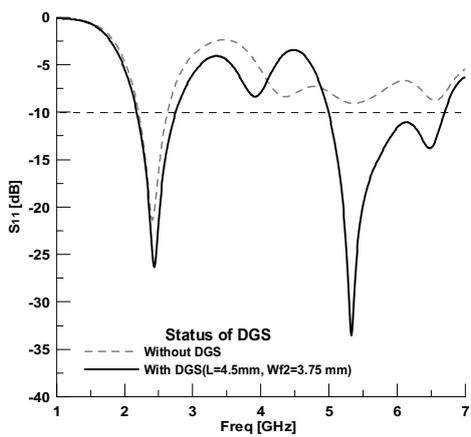
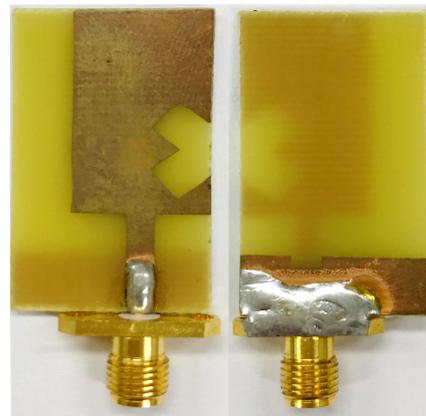


그림 6. DGS의 유무에 따른 모의실험 반사계수
 Fig. 6. Simulated return losses for status of DGS.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터

Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna.

parameter	value [mm]	parameter	value [mm]
A	24	L	4.5
B	41	SL	17
W	14.2	P	12.5
Wf	3	S	2
Ws	4	G	8.5
Wg	3.75	h	1.6



(a) Top (b) Bottom

그림 7. 제작된 안테나

Fig. 7. Fabricated antenna.

III. 제작 및 측정결과

위에서 제시한 그림 2~6에서는 주요 파라미터의 변화에 따른 경향을 나타내었다. 이것을 토대로 모의 실험결과 도출된 최적의 안테나 구조 파라미터 값을 표 1에 제시하였다. 본 논문에서 제안하고자 하는 최적화된 안테나 구조와 참고문헌 [5]에서의 PCB 전체 크기를 비교해 보면 $42 \times 52 \text{mm}^2$ 에서 $24 \times 41 \text{mm}^2$ 로 전체 크기로 따져 약 55% 가량 소형화된 결과를 가진다. 이는 급전구조를 CPW 급전에서 마이크로스트립 급전으로 변경함과 동시에 기판의 오른쪽 가장자리로 방사패치를 이동시키고 불필요한 부분을 잘라내었고 또한, X-형태의 슬롯을 y축 기준으로 절반으로 절단하여 개방시킴으로써 소형화가 가능했다. 또한, DGS를 사용함으로써 서론에서 언급된 목표인 5 GHz 대역에서의 반사손실 개선을 확인 할 수 있다.

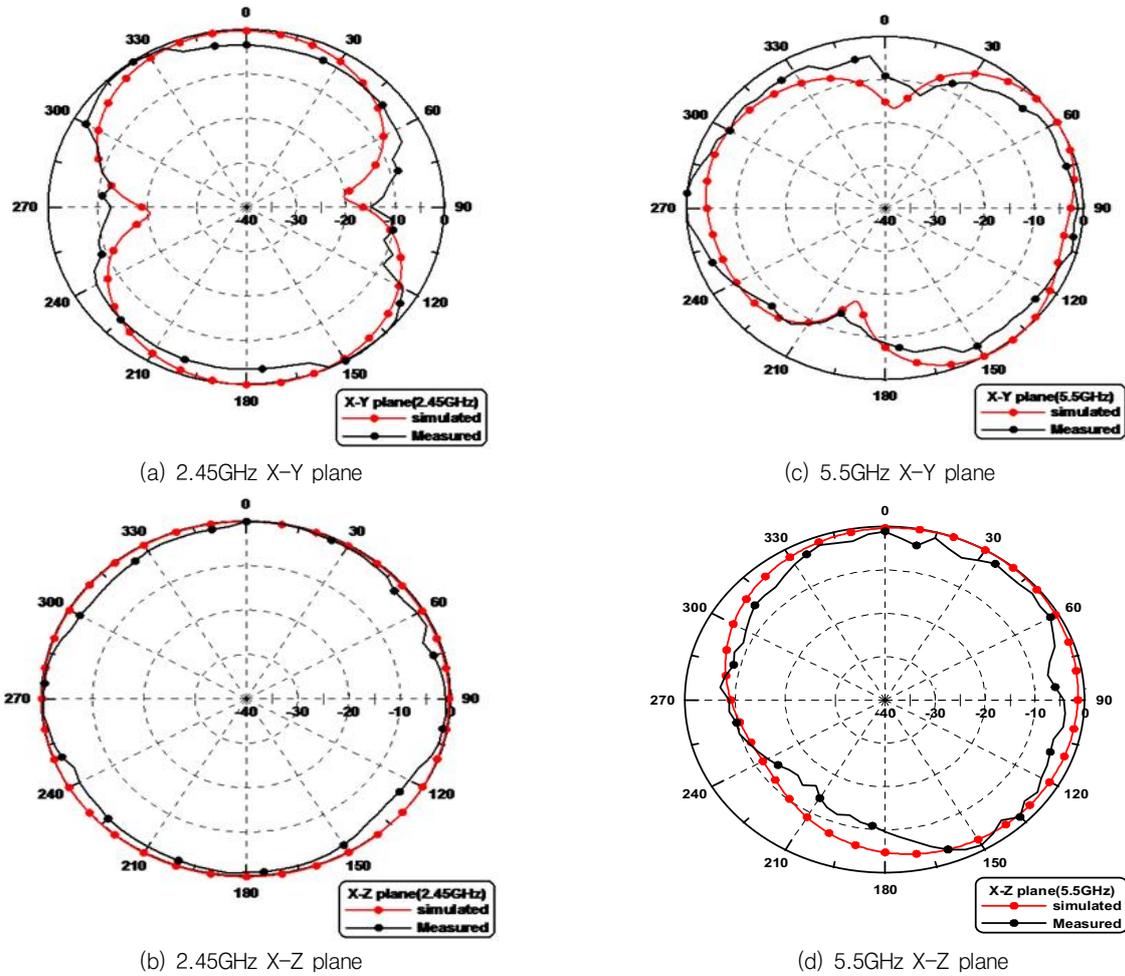


그림 8. 안테나의 2D 방사패턴 (a)~(d)
Fig. 8. 2D radiation patterns of antenna (a)~(d).

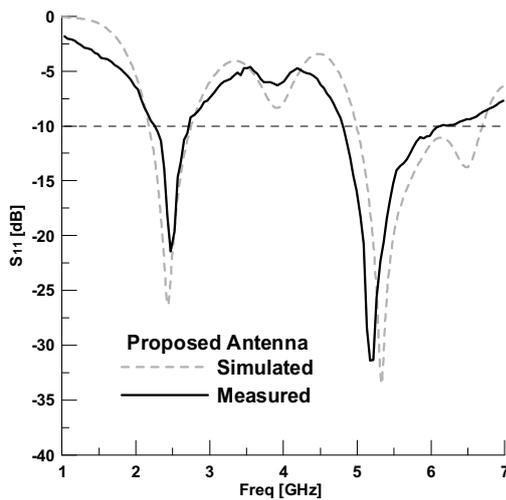


그림 9. 모의실험과 제작된 안테나의 반사계수 비교
Fig. 9. Comparison of the return losses of simulated and fabricated antenna.

앞서 분석된 결과를 토대로 최적화된 파라미터들의 수치로 안테나 구조에 적용하여 제작한 안테나를 그림 7에 제시하였다. 제작에는 모의실험에서와 같이 두께 1.6 mm, 유전율 4.3인 FR-4기판이 사용되었다.

다음으로 2.4 GHz 및 5 GHz 두 주파수 대역에서의 X-Y 평면(E-plane)과 X-Z 평면(H-plane)에서의 2D 방사패턴의 모의실험 결과와 측정결과를 그림 8에서 순서대로 나타내었다. 측정결과가 모의실험결과와 비교적 잘 일치하며, 5.5 GHz 대역의 X-Z Plane(H-plane)의 방사패턴을 보게 되면 $\theta=90^\circ$ 지점에서 즉, 슬롯이 개방된 지점에서 안테나의 최대 방사가 일어나는 것을 확인할 수 있다. H-plane상에서는 무지향성 방사패턴, E-plane상에서는 8자 형의 방사패턴을 보이므로 전형적인 모노폴 안테나의 그것과 같다. 약간의 왜곡이 발생하였는데, 제작상의 이유나 측정 시 거치의 문제로 사료된다.

그림 9는 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과를 비교하여 나타낸 그림이며 비교적 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 모의실험 결과는 2.4 GHz 대역에서 약 571 MHz (2.18 GHz~2.75 GHz), 5 GHz대역에서 약 1704 MHz (4.99

GHz~6.69 GHz)의 대역폭을 가지는 것을 확인 할 수 있으며, 실제 제작된 안테나의 측정결과는 2.4 GHz 대역에서 약 450 MHz (2.27 GHz~2.72 GHz), 5 GHz대역에서 약 1340 MHz (4.79 GHz~6.13 GHz)의 대역폭을 가진다. 모의실험 결과와 측정결과가 이중대역용 WLAN 국제 규격인 IEEE 802.11n 에 정의된 이중대역의 대역폭을 충분히 만족하는 것을 알 수 있다. 각 대역의 중심주파수별 안테나 이득은 각각 1.31, 1.98 dBi로 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

WLAN 이중대역을 만족하며 DGS를 가지는 평면형 모노폴 안테나 설계를 제안하였다. 제안된 안테나는 기존의 CPW구조를 마이크로스트립 구조로 변경하고 기관의 오른쪽 가장자리로 방사패치를 이동시켜 불필요한 부분을 잘라내었다. 또한, X-형태의 슬롯을 y축 기준으로 절반으로 절단하여 개방시킴으로써 안테나의 소형화가 가능했다. $24 \times 41 \text{ mm}^2$ 의 크기로 참고문헌[5]의 PCB 크기보다 약 55% 가량 소형화 할 수 있었다. 또한 주요 파라미터에 대한 경향분석과 그 결과를 바탕으로 최종적인 안테나를 설계 및 제작한 결과 WLAN 이중대역을 충분히 만족하며, DGS의 사용으로 5 GHz WLAN 대역에서의 반사손실 개선 특성을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 방사패턴은 두 대역에서 안정되고 무지향성 경향의 방사패턴을 얻을 수 있었다.

끝으로 본 논문에서 제안한 안테나는 PCB 크기의 소형화와 좋은 반사손실 결과로 인해 다양한 무선 통신기기 및 이동통신 단말기에 활용이 될 것으로 예상되며, 향후 연구방향으로는 본 논문의 구조를 이용하여 MIMO(multiple-input-multiple-output) 안테나로의 적용을 연구 중에 있다.

Acknowledgement

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

References

- [1] I. F. Chen and C. M. Peng, "Microstrip-fed dual-U-shaped printed monopole antenna for dual-band wireless communication applications," *Electronics Letters*, Vol. 39, No. 13, pp. 959-956, July. 2003.
- [2] C. Y. Pan, C. H. Huang and T. S. Horng, "A new printed G-shaped monopole antenna for dual-band WLAN applications," *IEEE Antennas and Propagation Society Symposium*, Vol. 45, No.1, pp. 3099-3102, Sep., 2004.
- [3] L. Lizzi and A. Massa, "Dual-band printed fractal monopole antenna for LTE applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, No.1, pp.627-630, June 2011.
- [4] S. K. Mishra, R. K. Gupta, and A. Vaidya, "A compact dual-band fork-shaped monopole antenna for bluetooth and UWB Applications," *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters*, Vol. 10, No.1, pp. 760-763, July. 2011.
- [5] C. M. Wu, "Dual-band CPW-fed cross-slot monopole antenna for WLAN operation," *IET Microwaves Antennas & Propagation*, Vol. 1, No. 2, pp.542-546, Apr. 2007.
- [6] G. Breed "An introduction to defected ground structures in microstrip circuits," *High Frequency Electronics*, Vol. 1, No 1. pp.50-54, Jan. 2008.
- [7] I. S. Chang and B. S. Lee, "Design of defected ground structures for harmonic control of active microstrip antennas," *IEEE AP-S International Symposium*, Vol. 2, No.1, pp. 852-855, Aug. 2002.
- [8] D. Ahn, J. S. Park C. S. Kim, J. O. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, Vol. 49, No.1, pp. 86-93, Jan. 2001.
- [9] J. P. Geng, J. J. Li, R. H. Jin, S. Ye, X. L. Liang and M. Z. Li, "The development of curved microstrip antenna with defected ground structure," *Progress in Electromagnetics Research*, Vol. 98, No. 1, pp. 53-73, Jan. 2009.
- [10] R. Patel, A. Desai, and T. Upadhyaya, "An Electrically Small Antenna Using Defected Ground Structure for RFID, GPS and IEEE 802.11 a/b/g/s Applications," *Progress in Electromagnetics Research Letters*, Vol. 75, No. 1, pp. 75-81, Jan. 2018.



신 동 기 (Dong-Gi Shin)

2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
2018년 9월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학과 석사과정
※ 관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 소자 설계



이 영 순 (Young-Soon Lee)

1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
※ 관심분야 : 전자기이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합