

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2021.21.6.17>

JIIBC 2021-6-3

더욱 소형화된 와이파이 이중대역용 직사각형 2단 계단식 슬롯 안테나

More compact rectangular two stepped slot antenna for Wi-Fi dual band application

김민우*, 이영민*, 이희재**, 이영순***

Min-woo Kim*, Yeong-min Lee*, Hee-jae Lee**, Young-soon Lee***

요약 본 논문에서는 와이파이용으로 더욱 소형화된 이중대역 슬롯 안테나를 새롭게 제안하였다. 제안된 안테나는 이중 주파수 대역에서 정재파 공진을 발생시킬 수 있는 개방종단의 직사각형 2단 계단형 슬롯과 L-형 마이크로스트립 급전선으로 구성된다. 측정결과 임피던스 대역폭은 저주파수 대역에서는 58 MHz(2.412 ~ 2.470 GHz) 및 고주파수 대역에서는 452 MHz(5.451 ~ 5.903 GHz)로 각각 측정되었다. 더욱이 제안된 안테나의 크기 $14 \times 21 \text{ mm}^2$ 는 기존의 유사소형 슬롯 안테나의 크기 $20 \times 21 \text{ mm}^2$ 에 비해 30% 정도의 크기로 줄어든 결과이다. H-Plane 상에서 무지향성을 가지는 전형적인 다이폴 안테나의 방사패턴 특성을 가지고 있어 Wi-Fi와 같은 상용 무선 네트워크 용도로 사용하기에 매우 적합하다고 판단된다.

Abstract In the present study, a more compact dual-band slot antenna is newly proposed for Wi-Fi application. The proposed antenna is composed of rectangular two stepped slot with open end which can generate standing wave resonance at dual frequency bands and L-type microstrip feed line. The measured impedance bandwidths are 58 MHz(2.412 ~ 2.470 GHz) at low frequency band and 452 MHz(5.451 ~ 5.903 GHz) at high frequency band respectively. Furthermore its size of $14 \times 21 \text{ mm}^2$ is reduced by 30% compared to the size of $20 \times 21 \text{ mm}^2$ of a conventional similar compact slot antenna. It has the omni-directional radiation pattern characteristics of a typical dipole antenna on the H-Plane, so it is suitable for commercial wireless network applications such as Wi-Fi.

Key Words : more compact, rectangular two stepped slot antenna, open end, dual band, Wi-Fi

*정회원, 국방기술품질원

**학생회원, 금오공과대학교 전자공학과

***정회원, 금오공과대학교 전자공학부 교수 (교신저자)

접수일자 2021년 9월 27일, 수정완료 2021년 11월 1일
게재확정일자 2021년 12월 10일

Received: 27 September, 2021 / Revised: 1 November, 2021 /

Accepted: 10 December, 2021

*Corresponding Author: yslee@kumoh.ac.kr

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

I. 서 론

최근 2.4 GHz 주파수 대역을 기반으로 하는 블루투스(Bluetooth), 지그비(Zigbee) 그리고 2.4 GHz 및 5.5 GHz 주파수 대역을 기반으로 하는 와이파이(Wi-Fi)와 같은 무선 네트워크 통신기술은 우리의 삶과 매우 밀접한 관계를 맺고 있다. 특히 최근 10년간 아주 빠른 발전을 하는 이동통신, 위성통신의 경우 관련 종사자들뿐만 아니라 무선 네트워크의 편의성으로 인해 대부분의 사람들과 밀접한 관계를 맺고 있다. 이러한 이유로 여러 분야에서 사용되는 무선 통신 기술에 쓰이는 안테나는 여러 가지 주파수 대역을 필요로 하고 이로 인해 하나의 무선 통신기에 다수의 안테나가 동시에 사용될 수 있도록 설계하기도 한다. 하지만 무선통신기는 최근까지도 소형화 추세에 있기 때문에 이를 위한 안테나의 소형화 또한 필수적이라고 할 수 있겠다^[1]. 현재 소비자들은 보다 다양하고 많은 기능을 가지는 스마트폰, 태블릿 PC와 같은 소형 무선통신 스마트기기를 요구하고 있기 때문에 추가적인 부품을 넣기 위해 무선 통신용 안테나에 할당된 공간은 보다 협소해지고 있는 추세에 있다. 또한, 여러 개의 안테나가 사용될 경우 각 안테나 간 결합 및 간섭의 문제점이 발생할 수 있는데, 이러한 문제점을 해결하기 위해 이중 대역 안테나, 삼중대역 안테나 같은 하나의 안테나가 여러 개의 대역이 있는 다중대역 안테나에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^[2-7]. 그중 가장 활발히 연구되고 있는 안테나는 Zig Bee, Bluetooth, WIFI, 의료장비, 가정용 기계 등이 모두 사용하는 ISM 주파수 대역을 만족하는 안테나라고 할 수 있다. 이와 같은 무선 네트워크 기술 중에서도 Wi-Fi 기술이 스마트 무선기와 무선 인터넷 네트워크 기술로 사용되어 각광을 받고 있으며^[1], 최근 기존의 Wi-Fi 기술보다 저전력, 빠른 데이터 및 대용량 전송으로 진일보된 기술로 2018년에 Wi-Fi6 표준이 도입되어, 2020년부터 출시되고있는 스마트폰, 태블릿 PC 및 노트북들이 Wi-Fi6를 공식 지원하고 있다. 따라서 본 논문에서는 Wi-Fi6 무선통신 표준 기술중의 하나인 IEEE803.11 규격에서 제시하는 2.4 GHz 저주파수 대역(Low frequency band : 2.4 ~ 2.484 GHz) 및 5.5 GHz 고주파수 대역(High frequency band : 5.47 ~ 5.725 GHz)포함하는 소형화된 이중 대역 안테나 설계를 제안한다. 또한, 이렇게 사용되어질 안테나는 저가 및 대량 생산이 필수적이고, 이를 위해 단순한 평면형 형태를 가져야 할 필요성이 있다. 참고문헌 [1]에서는 Wi-Fi용 이중대역 소형화 안테

나 설계를 위하여 마이크로 스트립 선로로 급전되는 개방 종단을 가진 직사각형 3단 계단형 슬롯을 가지는 구조를 제안하였다. 본 논문에서는 이를 더욱 소형화하기 위하여 슬롯 구조를 개방종단을 가진 직사각형 2단 계단식 슬롯으로 변경한 구조를 설계 결과로 새롭게 제시하고자 한다. 본 논문에서의 안테나 모의시험 설계는 CST사의 MWS를 사용하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

제안된 안테나의 구조는 그림 1과 같다. 그림 1에서 보는바와 같이 윗면은 L-형 마이크로 스트립 급전 선로이고, 아래면은 PCB의 접지면(Ground surface)에 식각된 직사각형 2단 계단형 개방종단 슬롯 복사구조이다. 개방 종단의 의미는 접지면에 위치한 본 논문의 슬롯의 세로방향으로 2배 길이를 가지는 대칭형 슬롯을 가로 대칭축인 PCB의 절단면을 따라서 반으로 절단한 의미이다. 그 결과 정재파 발생의 공진길이는 전형적인 반 파장 공진 슬롯을 1/4 파장으로 소형화 하여 줄일 수 있다는 것이다. W와 L은 PCB의 가로길이와 세로길이이고, L1, L2,는 L-형 급전선로의 길이이고, W1은 L-형 급전슬롯의 폭에 해당한다. 또한, W2와 W3은 각각 그라운드 부분에 식각되어있는 직사각형 2단 계단형 슬롯의 1단 및 2단 슬롯의 폭에 해당하며 L3과 L4의 경우 각각 이중 발진 슬롯의 1단 및 2단 슬롯의 길이에 해당한다.

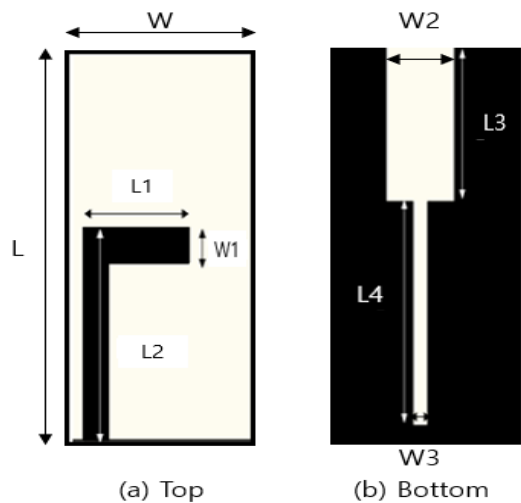


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna

제안된 안테나의 최적화 설계를 위한 모의실험 설계에 사용된 PCB 기판은 유전상수 4.3, 두께 0.8 mm인 FR-4 유전체 기판으로 하였다. 참고문헌[1]의 3단 계단형 슬롯을 축소한 2단 계단형 슬롯으로 모의실험 설계를 한 결과, 2.4 GHz 공진 주파수 대역이 다른 주파수 대역으로 큰 폭으로 이동하는 변화가 있어, 이러한 문제점을 접지면에 식각된 계단형 슬롯의 2단 슬롯의 길이 L4 및 폭 W3의 변화 설계 및, 전면부의 L-형 급전선의 길이 L1 및 폭 W1의 설계변화는 통과해 해결하였다. 제안된 안테나의 모의실험결과 중요한 파라미터 변화에 따른 공진 주파수 및 반사계수 변화를 분석하였다.

그림 2에서는 우선 접지면에 식각된 1단 슬롯의 길이인 L3의 파라미터의 변화에 따른 결과를 제시하였다. L3의 길이를 8.5 mm부터 10.5 mm까지 1 mm 간격으로 증가시키며 대역폭의 변화와 반사 계수의 크기를 비교하였다. 2.4 GHz 대역의 경우 L3가 길어짐에 따라 대역폭이 증가하였고, 반면에 5.5 GHz 대역의 경우 불규칙하게 대역 이동을 하는 것을 확인할 수 있었지만, 공진주파수의 변화는 거의 없으므로 무시할 만하고 반사 계수의 크기는 L3 = 9.5 mm 일 때, -24.8 dB로 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

그림 3에서는 1단 슬롯의 폭인 W2의 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. W2의 변화에 따라 5.5 GHz 대역의 경우 반사 계수와 공진주파수가 큰 영향을 받으며, W2 = 6 mm 일 때 충분히 만족스러운 값을 끌어낼 수 있다고 생각한다.

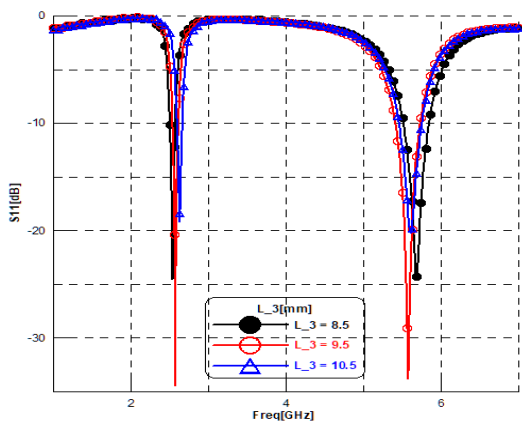


그림 2. L3의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 반사계수
 Fig. 2. simulated reflection coefficients for different values of parameter L3

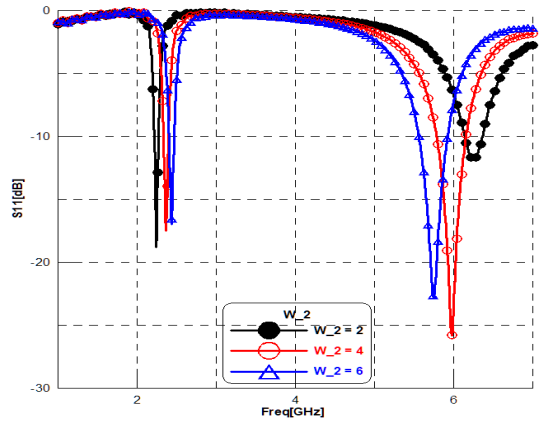


그림 3. W2의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 반사계수
 Fig. 3. simulated reflection coefficients for different values of parameter W2

그림 4에서는 접지면에 식각된 2단 슬롯의 길이인 L4의 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. L4의 변화에 따라서 2.4 GHz와 5.5 GHz 대역 모두 반사 계수와 공진주파수가 큰 영향을 받았다. 예상했던 대로 두 대역폭 모두 L4의 공진 길이가 길어짐에 따라 공진 주파수 대역이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 L4 = 9 mm 일 때 가장 적절한 설계 결과값을 가짐을 알 수 있다.

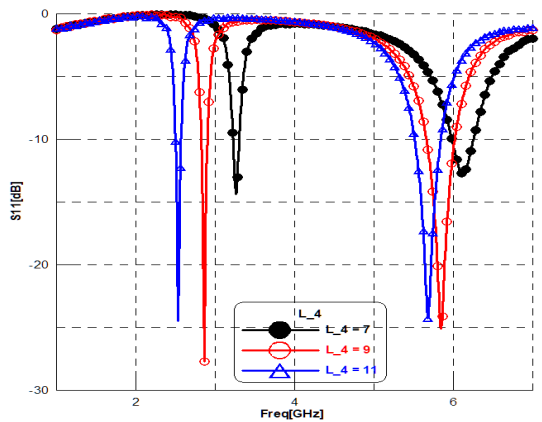


그림 4. L4의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 반사계수
 Fig. 4. simulated reflection coefficients for different values of parameter L4

그림 5에서는 전면부의 L-형 급전선의 길이인 L1의 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. 확실히 마이크로스트립 선로에서의 전류밀도와 가장 큰 연관이 있는 전면부이만큼 가장 많은 영향을 주었는데 예상했던 대로 L1의 길이가 길어짐에 따라 대역폭이 감소하는 것

을 확인할 수 있었으며, L1길이가 줄어들에 따라 마이크로 스트립의 전체적인 형태가 기존 설정했던 것과 크게 달라져 반사 계수도 매우 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 이로 인해 L1의 길이는 8 mm가 가장 적절하다는 결론을 도출해 낼 수 있었다.

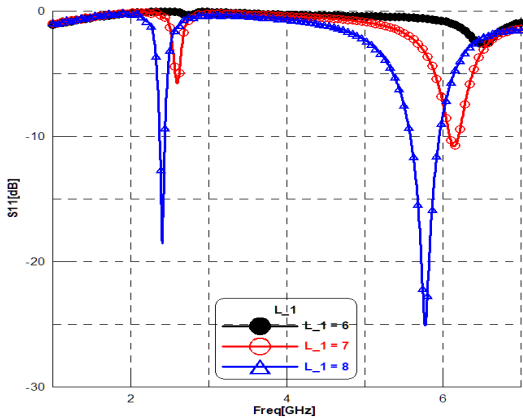


그림 5. L1의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 반사계수
Fig. 5. simulated reflection coefficients for different values of parameter L1

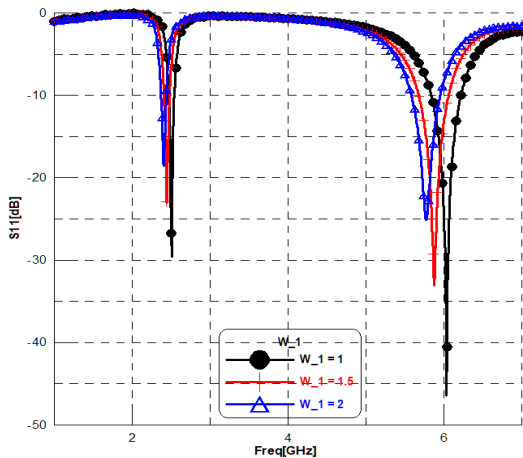


그림 6. W1의 변화에 따른 시뮬레이션 결과 반사계수
Fig. 6. simulated reflection coefficients for different values of parameter W1

그림 6에서는 L-형 급전선의 폭인 W1의 파라미터의 변화에 따른 경향을 제시하였다. 예상했듯이 전면부 L 슬롯의 폭이 좁아질수록 반사 계수가 좋아지는 것을 확인할 수 있었으며 반사 계수 또한 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

III. 제작 및 측정결과

안테나 설계과정에서 시행한 시뮬레이션 결과를 토대로 최적화된 구조를 표 1에 나타내었으며 이 값을 토대로 제작한 안테나를 그림 7에 제시하였다. 제작에는 시뮬레이션과 동일한 조건인 유전체 두께 0.8 mm, 유전 상수 4.3, 구리 두께 0.035 mm인 FR-4 유전체 기판을 사용했으며 그림 8에서는 실제로 제작한 안테나의 반사 계수 측정 결과와 모의실험 결과를 비교하여 나타내었다.

표 1. 제안된 안테나의 최적화 파라미터
Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna

parameter	Values [mm]	parameter	Values [mm]
L	21	W	14
L1	8	W1	2
L2	11.5	W2	6
L3	8.5	W3	1.3
L4	12		

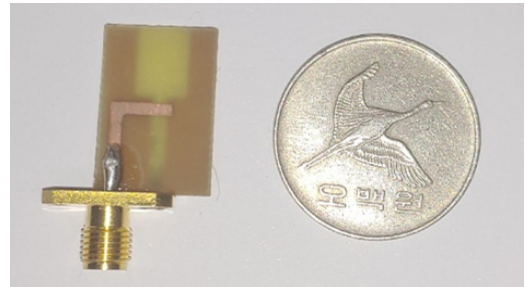


그림 7. 제작된 안테나
Fig. 7. Fabricated antenna

그림 8에서 보는 바와 같이 모의실험 결과 $|S_{11}| \leq -10dB$ 인 임피던스 대역폭이 2.4 GHz 저주파수 대역에서는 62 MHz (2.420 ~ 2.482 GHz), 그리고 5.5 GHz 고주파수 대역에서는 423 MHz (5.460 ~ 5.583 GHz)의 대역폭을 가지고 있음을 시뮬레이션을 통해 확인할 수 있었으며 이는 IEEE803.11의 Wi-Fi 표준에 적합하다는 것을 확인할 수 있었다. 실제 제작한 안테나를 VNA를 통해 측정된 결과 2.4 GHz 저주파수 대역에서는 58 MHz (2.412 ~ 2.470 GHz), 그리고 5.5 GHz 고주파수 대역에서는 452 MHz (5.451~ 5.903 GHz)의 대역폭을 가지고 있음을 측정할 수 있었으며 이 또한 IEEE803.11의 Wi-Fi6 규격에 적합하다는 것을 확인할 수 있었다.

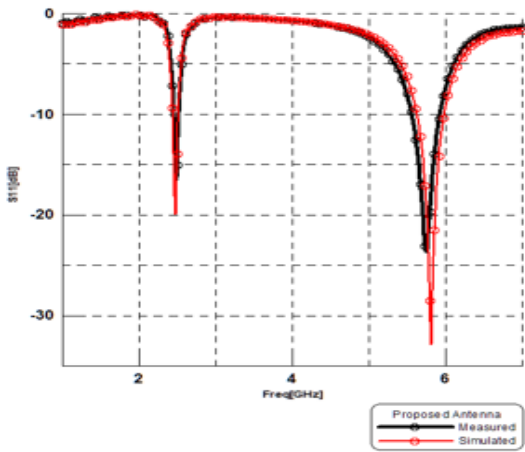
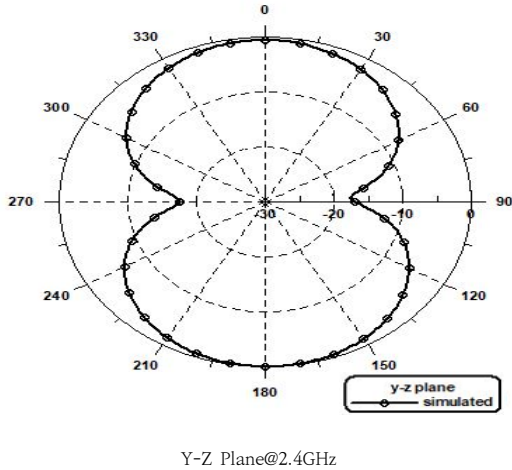
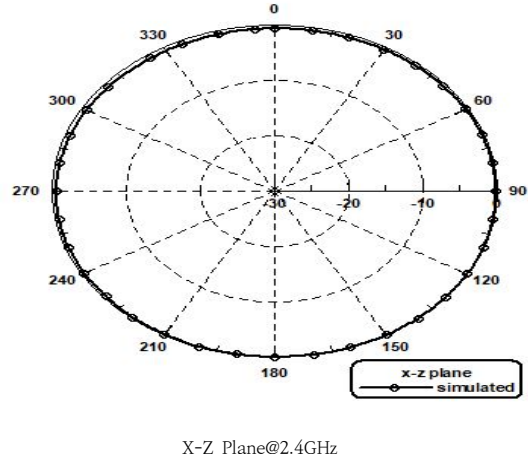


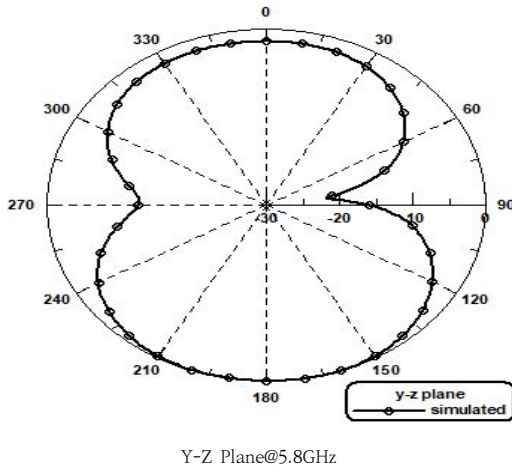
그림 8. 제작된 안테나의 반사계수
 Fig. 8. Measured return loss of Fabricated antenna



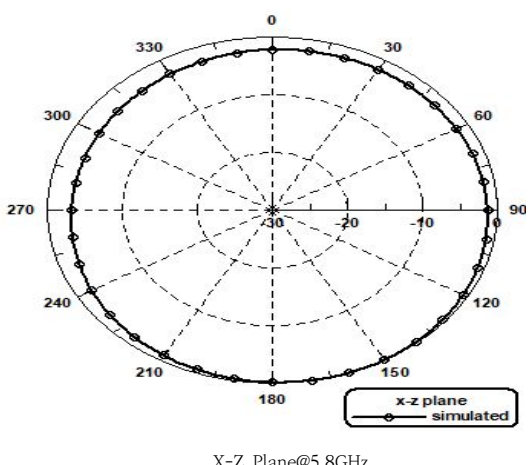
Y-Z Plane@2.4GHz



X-Z Plane@2.4GHz



Y-Z Plane@5.8GHz



X-Z Plane@5.8GHz

그림 9. 제작된 안테나의 2D 방사 패턴(Y-Z Plane)
 Fig. 9. 2D radiation patterns of the antenna(Y-Z Plane)

그림 10. 제작된 안테나의 2D 방사 패턴(X-Z Plane)
 Fig. 10. 2D radiation patterns of antenna(X-Z Plane)

그림 9에서는 Wi-Fi6의 주파수대역에서 각각의 중심 주파수인 2.4 GHz와 5.5 GHz를 기준으로 Y-Z평면 (E-Plane)에서의 2D 방사 패턴의 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 그림 9에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션 결과의 방사 패턴이 전방과 후방을 지향하는 8자 형태를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 그림 10에서는 마찬가지로 WLAN의 중심주파수인 2.4 GHz와 5.5 GHz의 X-Z평면(H-Plane)에서의 2D 방사 패턴의 시뮬레이션 결과를 제시하였다. 원에 가까운 방사 패턴을 확인함으로써 본 안테나가 다이폴 안테나의 전형적인 특성인 무지향성 특성을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 5.5GHz가 2.4GHz에 비해 조금 찌그러진 보습을 가지고 있음을 확인할 수 있었는데, 전형적으로 고주파수 대역폭이 저주파수 대역폭에 비해 방사 패턴의 모양이 깔끔하지 않기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 2.4 GHz 주파수 대역에서 임피던스 대역폭이 58 MHz(2.412 ~ 2.470 GHz) 그리고 5.5 GHz 주파수 대역에서는 452 MHz(5.451 ~ 5.903 GHz)을 가지는 2중 대역 Wi-Fi 6용 L-형 마이크로스트립으로 급전되는 직사각형 2단 계단형 슬롯 안테나를 설계 및 제작 하였다. 특히 제작된 안테나의 크기는 $14 \times 21 \text{ mm}^2$ 으로 동일하게 2.4 GHz 및 5.5 GHz 이 중대역용 참고문헌 [1]의 기존 안테나 크기 $20 \times 21 \text{ mm}^2$ 에 비해 30% 정도의 크기로 줄어든 결과이다. 또한 본 논문의 안테나가 H-Plane 상에서 무지향성을 가지는 전형적인 다이폴 안테나의 방사패턴 특성을 가지고 있어 Wi-Fi와 같은 상용 무선 네트워크 용도로 사용하기에 매우 적합하다. 그리고 본 논문이 제안하는 원형(prototype) 안테나는 평면 인쇄형(printed) 안테나로 하나의 PCB상에서 무선 기기의 회로들과의 집적화(즉, 내장형 안테나로) 활용이 가능하다. 이 경우 제안된 안테나는 절단된 개방 중단면을 가지고 있어, PCB의 한쪽 모서리에 위치시킬 수 있고, 소형화 설계로 안테나의 점유 공간이 매우 적어 보다 많은 공간을 무선기기 회로 설계 공간으로 제공이 가능하다. 그러므로 본 논문의 안테나는 저가 및 대량 생산이 가능하며, 또한 하나의 PCB에 집적화되어 사용될 경우 스마트폰 및 태블릿 PC와 같은 소형무선 스마트 기기의 내장형 안테나로 직접 사용될 것으로 기대된다.

References

- [1] J. Hu, D. Yang, N. Mao and W. Liu, "Compact Dual-band Slot Antenna for WIFI Applications", 2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), pp. 517-520, 2018. DOI : <https://doi.org/10.1109/ITOEC.2018.8740706>
- [2] A. Singh, J. A. Ansari, K. Kamakshi, A. Mishra, and M. Aneesh, "Analysis of F-shape microstrip line fed antenna for dualband operations", Proceeding of IEEE international conference on computer and communication technology (ICCCT), pp. 216-220, 2012. DOI : <https://doi.org/10.1109/ICCCT.2012.51>
- [3] A. R. Hazeri and F. Azizkhani. "A dual-band microstrip-fed antenna for WLAN applications", 2010 IEEE Region 8 International Conference on Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBIRCON), pp. 284-287, 2010. DOI : <https://doi.org/10.1109/SIBIRCON.2010.5555096>

- [4] Q. Luo, H. M. Salgado, and J. R. Pereira, "Compact printed monopole antenna array for dualband WLAN application," in Proceedings of the International Conference on Computer as a Tool (EUROCON '11), pp. 1-4, 2011. DOI : <https://doi.org/10.1109/EUROCON.2011.5929189>
- [5] K. D. Katore, M. B. Kadu, R. P. Labade and S. S. Dongare, "2.4/5.2 GHz Dual Band Rectangular Microstrip Antenna with Orthogonal Polarization for Bluetooth and WLAN Applications", International Conference on Communication and Signal Processing, pp. 2031-2035, 2017. DOI : <https://doi.org/10.1109/ICCSP.2017.8286759>
- [6] A. Ghaffar, X. J. Li and B. C. Seet, "Compact Dual-Band Broadband Microstrip Antenna at 2.4 GHz and 5.2 GHz for WLAN Applications", 2018 IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP), pp. 198-199, 2018. DOI : <https://doi.org/10.1109/APCAP.2018.8538297>
- [7] M. R. Khan, M. M. Morsy, M. Z. Khan and F. J. Harackiewicz, "Dual band antenna for wireless network (WLAN) applications", IEEE International Symposium on Antennas and Propagation (APSURSI), pp. 1397-1400, 2011. DOI : <https://doi.org/10.1109/APS.2011.5996553>

저 자 소 개

김민우(정회원)



- 2005년 2월 : 경북대학교 전자전기공학부 (공학사)
- 2007년 2월 : 경북대학교 의용생체공학과 (공학석사)
- 2009년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (박사수료)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원
- 관심분야 : 오실레이터, RF 회로설계, 시험측정

이영민(정회원)



- 2016년 8월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원
- 관심분야 : RF 회로 설계, 오실레이터, 안테나 설계 및 해석

이 희 재(학생회원)



- 2016년 3월 : 금오공과대학교 전자공학부 입학
- 2020년 3월 ~ 2021년 9월 : 금오공과대학교 전자파연구실 학부연구생
- 2021년 10월 ~ 현재 : DT&C 시험원
- 관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 수동회로 설계, 시험측정

이 영 순(정회원)



- 1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1981년 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
- 관심분야 : 전자기장 이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 전자기장 개구 결합 문제, 전자기장 수치해석