

Wi-Fi 6 및 6E용 이중광대역 모노폴 안테나

신동기¹, 이영민¹, 정영탁¹, 이영순^{2*}
¹국방기술품질원, ²금오공과대학교

Dual Wideband Monopole Antenna for Wi-Fi 6 and 6E

Dong-Gi Shin¹, Young-Min Lee¹, Yeong-Tak Jung¹, Young-Soon Lee^{2*}
¹Defence agency for Technology and Quality(DTaQ)
²Kumoh National Institute of Technology

요약 무선통신 기술의 발전과 함께 다양한 연구 개발이 진행되어 오늘날 무선통신 기기는 우리 실생활의 필수품이 되었다. 이에 따라 무선통신을 지속적으로 사용하기 위한 수단인 Wi-Fi에 대한 관심도 높아졌으며, 현재 카페와 학교는 기본이고 심지어 교통 이동수단인 버스와 열차 내부까지 Wi-Fi 환경을 조성하고 있는 실정이다. 이러한 시대적 환경을 반영하듯 고속의 전송속도, 대용량 전송 기술 등 Wi-Fi 관련 연구 또한 활발하게 이뤄지고 있다. 본 논문에서는 기존에 사용되어왔던 Wi-Fi 주파수를 사용할 수 있으면서, 확장 표준이 새롭게 제시된 Wi-Fi 6 및 6E 대역까지도 사용이 가능한 이중 광대역 모노폴 안테나를 설계하여 제안하고자 한다.

제안된 안테나는 유전율 4.3, 유전체 두께 1.6 mm의 FR-4 기판에 $24 \times 36 \text{mm}^2$ 크기로 설계되었다. 안테나를 구성하고 있는 역-U 형태, 두 개의 역-L 형태의 스트립의 임피던스 정합 특성과 하모닉 특성으로 전체 주파수 대역을 만족시켰다. 측정된 임피던스 대역폭은 2.4 GHz 대역에서 360 MHz (2.30 ~ 2.69 GHz), 5 ~ 6 GHz 대역에서는 2360 MHz (4.96 ~ 7.32 GHz)으로 와이파이 6 및 6E 대역에서 사용할 수 있는 결과다. 특히 별도의 정합 구조가 삽입된 형태가 아닌 기본 모노폴 구조를 사용하여 방사패턴의 왜곡을 해소하였고, 이를 통해 사용하고자 하는 전체 주파수 대역에서 X-Z plane(H-Plane)의 안정적인 무지향성 방사패턴을 얻을 수 있었다. 안테나의 이득은 주파수 대역별 각각 1.51 dBi, 2.43 dBi를 얻었으며, 제안하는 안테나는 향후 광대역 Wi-Fi를 필요로 하는 모바일 기기용 안테나로 적용이 될 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract With the development of wireless communication technology, various research and development has been carried out, and wireless communication equipment has become a necessity in our life. As a result, interest in Wi-Fi as a means of continuous wireless communication has increased, and not only cafes and schools, but also buses and trains are now creating a Wi-Fi environment. Wi-Fi research on high-speed transmission speed and high-capacity transmission technology is also actively being conducted. In this study, we designed a dual broadband monopole antenna that can use the Wi-Fi band and newly presented Wi-Fi 6 and 6E bands.

The proposed antenna was designed on a FR-4 substrate with a dielectric constant of 4.3, thickness of 1.6 mm, and size of $24 \times 36 \text{mm}^2$. The antenna satisfies the entire frequency band of interest by adjusting the harmonic characteristics and impedance matching through an inverted-U type strip and two inverted-L type strips. The measured impedance bandwidth is 360 MHz (2.30 - 2.69 GHz) at 2.4 GHz and 2360 MHz (4.96 - 7.32 GHz) at 5 ~ 6 GHz. A basic monopole structure was used instead of an additional matching structure to eliminate the distortion of the radiation pattern, through which stable omnidirectional radiation patterns in the X-Z plane (H-plane) could be obtained in the entire frequency band to be used. The gain of the antenna is 1.51 dBi and 2.43 dBi for each frequency band, and it is considered that the proposed antenna can be applied to wireless communication devices for broadband Wi-Fi in the future.

Keywords : Wi-Fi 6E, Monopole, Omni-directional Radiation Patterns, Printed Antenna, Microstrip Feed

*Corresponding Author : Young-Soon Lee(Kumoh National Institute of Technology)

email: yslee@kumoh.ac.kr

Received January 31, 2023

Accepted March 3, 2023

Revised February 23, 2023

Published March 31, 2023

1. 서론

오늘날 5G 무선 통신의 발전과 더불어 자율주행, 사물인터넷(IoT, Internet of Things), 가상현실(VR, Virtual Reality), 증강현실(AR, Augmented Reality) 등 4차 산업기술이 접목된 다양한 기기가 개발되고 상용화 되고 있는 실정이다. 이에 따라 기존의 무선 통신보다 데이터의 전송속도가 더욱 빠르고 대용량이며서 다양한 접속이 가능한 단말의 수요가 증가하는 추세이다. 이에 따라 다중 대역(광대역)을 소화할 수 있는 모바일 단말용 안테나, 무선랜(Wi-Fi) 기기 등 차세대 무선통신 네트워크와 관련된 연구개발이 활발히 이루어지고 있다[1-3].

기존 무선 네트워킹 기술로 우리 실생활과 매우 밀접하게 사용되어왔던 Wi-Fi의 경우 사용 주파수 대역은 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역으로써 산업, 과학, 의료용으로 사용할 수 있도록 지정된 대역이다. 이러한 ISM 주파수 대역 중에서도 Wi-Fi 6는 IEEE 802.11ax 표준에 따라 2.4GHz(2.4 ~ 2.484GHz) 및 5GHz(5.15 ~ 5.825GHz) 무선랜(Wireless LAN) 대역으로 Wi-Fi 통신을 사용했으며, 관련 연구도 지속적으로 수행되어 왔다[4]. 하지만 무선 주파수의 포화 상태로 인한 통신 간섭 문제 해결 요구와 더불어 보다 빠른 통신 속도 요구에 따라서 더 넓은 대역폭의 환경이 필요하게 되었고, 2020년 우리나라 또한 IEEE 802.11ax 표준에 따라 6 GHz(5.925 ~ 7.125 GHz) 대역을 Wi-Fi 6E 주파수 대역으로 지정을 하였다. 이러한 6 GHz 대역을 사용하는 Wi-Fi를 Wi-Fi 6E 라고 명명한다. 기존 Wi-Fi 6도 최고 9.6Gbps의 전송속도를 지원하지만 두 대 이상의 AP가 인접해 있음으로써 설치되는 공간에서는 채널간섭 문제로 현실적으로 160 MHz 채널 분당이 어렵다. 그러나 6 GHz 대역을 사용하는 Wi-Fi 6E는 160 MHz 채널 분당으로 설계가 가능, 기존 Wi-Fi 6보다 2배 이상 빠른 전송속도를 제공할 수 있다[5-7]. 그러므로 기존의 2.4 GHz 및 5 GHz 주파수 대역을 사용하는 Wi-Fi 6 무선기기도 사용 가능하면서 새로운 6 GHz 주파수 대역의 Wi-Fi 6E 환경의 무선기기도 사용가능한 소형 저가의 인쇄형(printed) 안테나 개발의 필요성이 대두되고 있다.

따라서 본 논문에서는 기존연구[8]에서 제안한 PCB 기판에 인쇄된 3중 대역 굴곡형 모노폴 안테나 구조를 바탕으로 Wi-Fi 6 및 Wi-Fi 6E 대역을 만족하는 개선된 안테나를 설계하여 제시하고자 한다.

2. 안테나 설계

기존연구[8]에서 제시된 인쇄형 모노폴 안테나는 2.4 GHz, 5 GHz, Wi-Fi 6 대역과 3.5 GHz 5G 대역을 만족하는 안테나이다. 본 논문에서는 Wi-Fi 전용 안테나 설계를 위해 3.5 GHz 대역을 제외하고 대신에 6 GHz(5.925 ~ 7.125 GHz)를 포함하는 안테나를 설계하려 하는데, 6 GHz 대역이 5 GHz(5.15 ~ 5.825 GHz)와 매우 인접해 있어 5 GHz와 6 GHz 모두를 포함하는 5.15 ~ 7.125 GHz의 광대역 안테나를 설계하고자 한다. 5 GHz 및 6 GHz를 포함하는 광대역 특성을 얻기 위하여 좌측에 위치하며 폭이 좁은 7 GHz 근방에서의 공진 스트립을 추가하여 광대역 설계를 하였다. 또한, 새롭게 추가된 7 GHz 공진 스트립은 5 GHz 공진 스트립 보다 하단에 위치하고 있어 5 GHz 공진 주파수 대역의 정합을 위한 개방 스트러브(open stub) 역할을 할 수 있어 기존 안테나 구조[8]에서 5 GHz 주파수 대역 정합을 위해 사용된 DGS(Defected Ground Structure)를 설계하지 않아도 되는 이점이 있다. 본 논문의 안테나 구조가 DGS가 없어 구조의 단순한 이점도 있지만, 모노폴 안테나 구조가 가지는 무지향성 방사패턴이 DGS에 의해 다소 왜곡이 발생하는 문제점도 해소할 수 있다는 이점이 있다. 또한, 기존 참고문헌 [8]의 안테나 전체 크기는 $28 \times 40 \text{ mm}^2$ 이었는데 본 논문에서 제안하는 안테나의 크기는 최적화 모의 실험 설계를 통해 $24 \times 36 \text{ mm}^2$ 으로 전체 면적을 기준으로 약 20% 이상 소형화하여 설계되었다. CST MWS(Microwave studio)를 이용하여 안테나 설계를 진행하였으며, 실제 시료 제작 후 특성을 측정 결과와 비교하여 제시하였다.

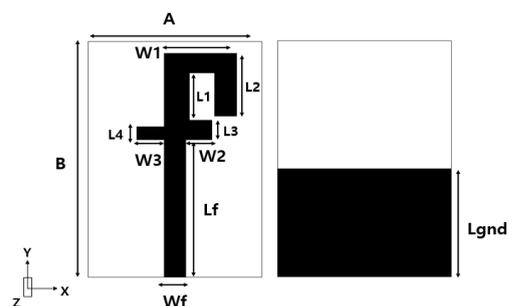


Fig. 1. The geometry of proposed antenna. (top&bottom)

본 논문에서 제안하고자 하는 안테나의 구조를 Fig. 1에 나타내고 있다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 좌측 그림은 PCB 기판의 윗면에 인쇄된 공진 모노폴 스트립이고 우측 그림은 PCB 기판의 뒷면으로 접지면(ground plane)이다. Lgnd는 접지면의 높이로 길이 Lf로 표현된 급전선의 급전 길이에 해당된다. 좌측 그림에서 역-U 형태로 공진 길이가 가장 긴 굵은 스트립이 2.4 GHz 공진 스트립이고, 우측 역-L 형태의 스트립이 5 GHz 대역의 공진 스트립이며, 좌측 하단의 폭이 좁은 역-L자 형태의 스트립이 7 GHz 대역의 공진 스트립 겸 5 GHz 대역 임피던스 정합을 위한 개방 스텔브 역할을 한다.

모의실험 조건은 보편적으로 안테나에 사용되는 FR4 에폭시 기판의 전기적, 물리적 특성 값을 반영하여 유전 상수 4.3, 유전체 두께 1.6mm, 동박 두께 1 oz로 설계하였다. Fig. 1에서 PCB의 가로 및 세로 길이는 파라미터 A와 B이며, 윗면(Top)에는 급전선, 개방 스텔브 등으로 구성되어 있다. 제안하는 안테(top&bottom)나의 모의 실험 설계 결과를 살펴보기 위해 안테나를 구성하고 있는 중요한 설계 파라미터들에 대한 공진주파수의 변화 및 반사계수 특성 모의실험 결과들을 Fig. 2에서부터 Fig. 6까지에 제시하였다.

Fig. 2는 PCB의 세로 길이를 나타내는 파라미터 B를 36 mm에서 38 mm까지 1 mm 간격으로 변화하였을 때, 반사계수와 공진주파수의 변화를 나타낸 경향이다. PCB의 세로 길이가 길어질수록 6.5 GHz 대역에서의 반사손실 개선이 관찰된다. 파라미터 B의 값이 36 mm 일 때, 안테나의 소형화 및 사용하고자 하는 주파수 대역에서의 대역폭을 얻을 수 있다.

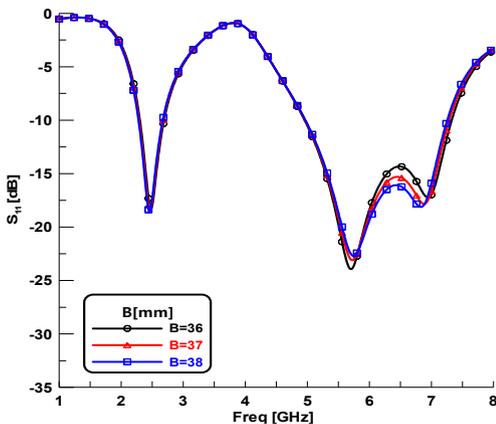


Fig. 2. Simulated return loss for different values of parameter B.

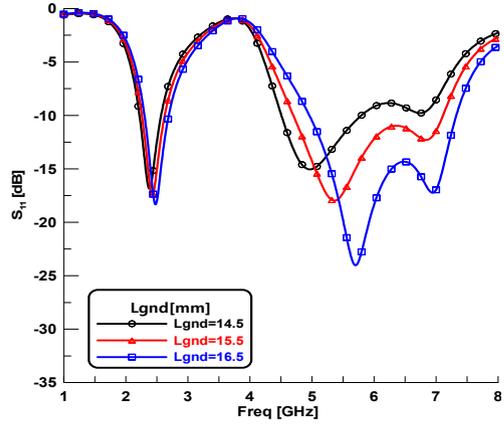


Fig. 3. Simulated return loss for different values of parameter Lgnd.

Fig. 3은 PCB의 접지면 높이를 의미하는 Lgnd 파라미터의 경향을 나타내고 있다. 접지면의 높이가 14.5 mm에서 16.5 mm 까지 1 mm 간격으로 증가시켰을 때 공진주파수 및 반사계수 변화 특성을 보면 전 대역에서의 특성 변화가 일어나는 것을 확인할 수 있다. 해당 파라미터를 16.5 mm로 설정하였을 때, 가장 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

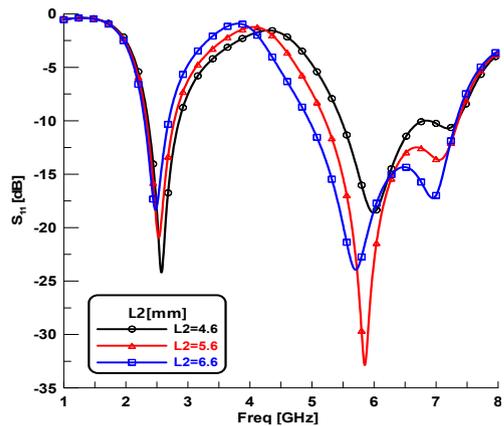


Fig. 4. Simulated return loss for different values of parameter L2.

Fig. 4는 안테나의 공진 길이가 가장 긴 2.4 GHz 대역의 공진을 결정하는 구부러진 스트립에 해당되는 L2 파라미터의 경향을 나타낸 그림이다. 해당 파라미터를 4.6 mm에서 6.6 mm 까지 1 mm 간격으로 증가시켰을 때, 2.4 GHz 대역 및 6 GHz 대역 전체 대역에서의 공진 주파수 및 반사계수의 변화가 나타난다. 특히 해당 파라

미터 L2 길이가 길어질수록 예측한 바와 같이 2.4 GHz 대역에서의 공진주파수가 낮아짐을 알 수 있다. 추가로 6GHz 대역에서도 반사계수 및 공진주파수의 변화가 관찰된다. 이것은 하모닉 특성으로 생긴 3차 공진모드의 공진으로 판단된다. 해당 파라미터의 값을 6.6 mm 일 때 가장 좋은 특성을 만족할 수 있었다.

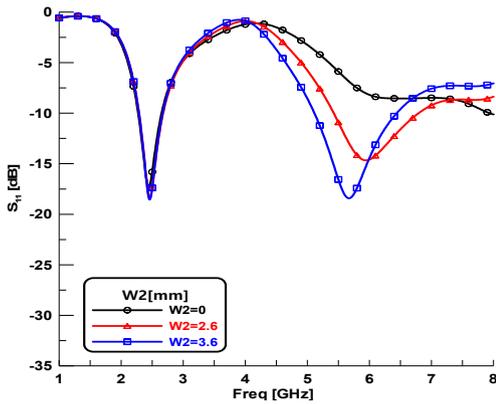


Fig. 5. Simulated return loss for different values of parameter W2.

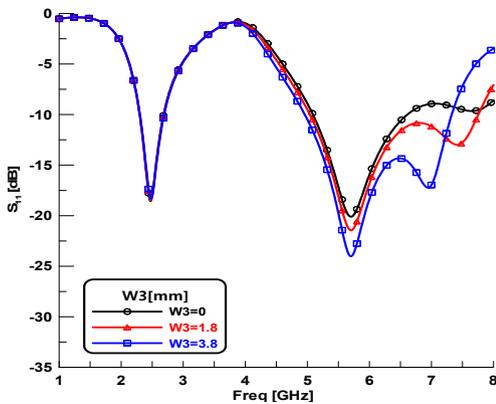


Fig. 6. Simulated return loss for different values of parameter W3.

메인스트립 우측에 역-L자 형태로 위치한 공진 스트립 길이를 결정하는 파라미터 W2의 변화에 따른 반사계수와 공진주파수의 변화 경향을 Fig. 5에 제시하였다. W2가 증가함에 따라서 2.4 GHz 대역에서는 영향을 주지 않는다는 특성을 확인할 수 있고, 반면에 5~7 GHz 대역에서의 공진 주파수가 낮은 주파수 대역으로 이동하는 것을 확인할 수 있다.

메인스트립 좌측에 역-L자 형태로 위치한 공진 스트립 길이를 결정하는 파라미터 W3에 대한 반사계수 모의

실험 결과를 Fig. 6에 제시하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 2.4 GHz 대역에서는 변화가 없고 그래프의 제일 높은 주파수 대역인 7 GHz 대역에서 W3가 증가함에 따라 공진주파수가 낮아지는 것을 볼 수 있고, 이와 더불어 5.7 GHz 근방에서는 공진주파수 변화는 없지만 반사계수 크기의 변화를 볼 수 있어 예측한 바와 같이 좌측 하단에 위치한 역 L-자 형태의 스트립이 7 GHz 공진주파수 및 5 GHz 대역 임피던스 정합 스티브 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 이러한 모의실험 결과를 토대로 최적화된 안테나의 설계 파라미터를 Table 1에 제시하였다.

Table 1. Optimization parameter of the proposed antenna.

Parameter	Value[mm]	Parameter	Value[mm]
A	24	W1	10
B	36	W2	3.6
L1	7.2	W3	3.8
L2	6.6	Lgnd	16.5
L3	3	Wf	3
L4	2	Lf	21

3. 제작 및 측정결과

Table 1에 제시된 최적화된 파라미터 수치들을 안테나 구조에 적용하여 제작한 최종 안테나를 Fig. 7에 제시하였다. 시료 제작에는 모의실험과 동일하게 유전상수 4.3, 유전체 두께 1.6mm, 동박 두께 1 oz인 기판을 사용하였다.

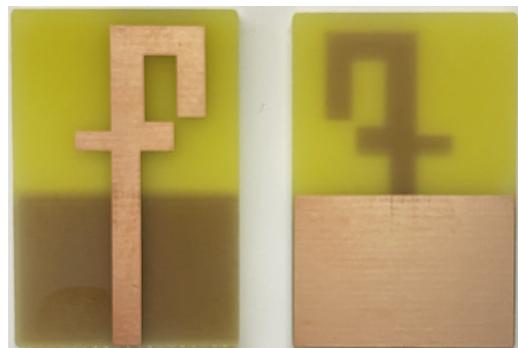


Fig. 7. Fabricated antenna.

Fig. 8은 안테나 모의실험 결과와 실제 제작된 안테나의 반사손실 측정 결과를 함께 제시하였다. 모의실험에서는 임피던스 대역폭($|S_{11}| \leq -10$ dB) 기준으로 2.4 GHz 대역에서 360 MHz (2.30 ~ 2.69 GHz), 6 GHz 대역에서 2360 MHz (4.96 ~ 7.32 GHz)의 넓은 대역폭을 얻었으며, 실제 제작된 안테나의 임피던스 대역폭($|S_{11}| \leq -10$ dB)은 2.4 GHz 대역에서 450 MHz (2.37 ~ 2.82 GHz), 5~7 GHz 대역에서 2340 MHz (5.10 ~ 7.44 GHz)로 사용하고자 하는 Wi-Fi 6 및 Wi-Fi 6E 대역을 모두 만족하는 것을 확인할 수 있다. 또한, 목표로 하는 대역의 안테나 이득은 각각 1.51 dBi, 2.43 dBi 및 효율은 90% 이상을 얻었다.

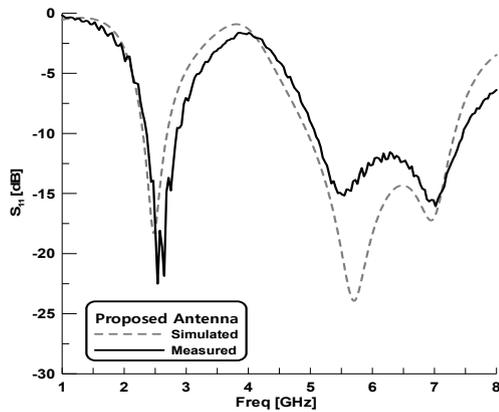


Fig. 8. Comparison of the return losses of simulated and fabricated antenna.

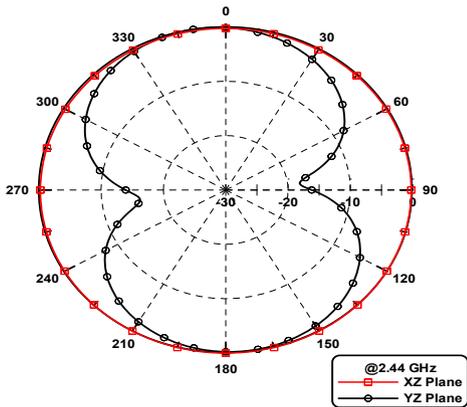


Fig. 9. Simulated radiation patterns of the proposed antenna. (2.44 GHz)

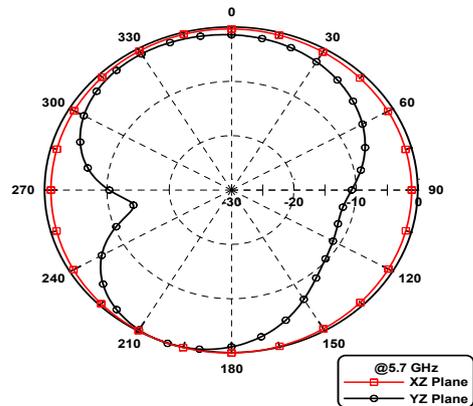


Fig. 10. Simulated radiation patterns of the proposed antenna. (5.7 GHz)

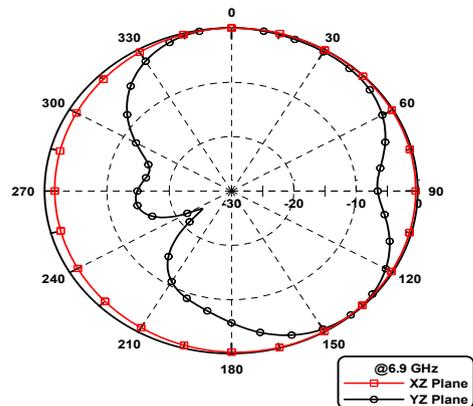


Fig. 11. Simulated radiation patterns of the proposed antenna. (6.9 GHz)

다음으로 2.4 GHz 대역 및 6 GHz 대역의 공진주파수에서 Y-Z 평면(E-plane)과 X-Z 평면(H-plane) 2D 방사패턴 모의실험 결과를 Fig. 9~11에 각각 제시하였다. E-plane에서는 8-자 형태를 H-plane에서는 무지향성 경향의 방사패턴을 확인하여 서론에서 언급한 모노폴 안테나의 특성을 확인할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 Wi-Fi 6 및 Wi-Fi 6E 대역(2.4 ~ 2.484 GHz, 5.15 ~ 7.125 GHz) 모두에서 사용이 가능한 모노폴 형태의 인쇄형 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안하는 안테나는 $24 \times 36 \text{ mm}^2$ 의 크기를 가지며, 사용하고자 하는 주파수 대역에서 하모닉 성분의 주파수와

임피던스 특성을 제어하여 기존연구[8]에서 5 GHz 공진 주파수 대역의 정합을 위한 DGS 대신 간단한 구조를 가지면서 동시에 방사패턴의 왜곡 또한 개선한 결과를 얻을 수 있었다.

또한 -10dB 이하의 반사계수를 만족하는 것으로 정의되는 임피던스 대역폭이 2.4 GHz 대역에서는 450 MHz (2.37 ~ 2.82 GHz), 5 ~ 6 GHz 대역에서 2340 MHz (5.10 ~ 7.44 GHz) 만큼의 대역폭을 가져 Wi-Fi 6 및 Wi-Fi 6E 표준의 대역폭을 충분히 만족함을 알 수 있고, 안테나 이득은 각각 1.51 dBi, 2.43 dBi 및 효율은 90% 이상의 높은 이득과 효율을 얻었다. 방사패턴의 경우도 전형적인 모노폴 안테나 패턴의 형태로 E-plane 은 8-자 형태를 H-plane 에서는 왜곡이 없는 무지향성 경향을 보여 무지향성 방사패턴을 요구하는 상업용 무선 기기 사용에 적합할 것으로 판단된다. 향후 본 안테나의 간단한 구조를 바탕으로 의복이나 간편한 플렉시블 전자 기기로의 적용을 연구 중에 있다.

끝으로 제안하는 안테나는 다양한 어플리케이션의 등장으로 더욱 많은 대역폭을 필요로 하는 통신환경에 적합한 안테나로 응용이 될 수 있을 것으로 사료된다.

References

[1] H. C. Ryu, "Design of a Broadband Sleeve Monopole Antenna by Using Matching Characteristics of the Sleeve", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 16, No. 10, pp. 6839-6845, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.10.6839>

[2] D. G. Shin, Y. M. Lee and Y. S. Lee, "Design of Wide band folded monopole slot antenna for 3G/4G/5G/Wi-Fi(dual band) services", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication (IIBC)*, Vol. 22, No. 1, pp.127-134, 2022. DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2022.22.1.127>

[3] T. S. Yun, "Broadband Patch Antenna for Wireless LAN Communication of 5GHz Band", *Journal of the KIECS*, Vol. 16, No. 3, pp. 395-400, 2021. DOI: <https://doi.org/10.13067/KIECS.2021.16.3.395>

[4] H. S. Yu, "5GHz Wi-Fi Design and Analysis for Vehicle Network Utilization", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.21, No.8 pp. 18-25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.8.18>

[5] T. I, KWON, [Future Forum] Evolving Wi-Fi Technology, etnews, 2017, <https://www.etnews.com/20211012000162>, [cited 2023 January 2]

[6] Information and Communication Terminology Dictionary, TTA (Telecommunications Technology Association) , <http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?subject=ISM+%EB%8C%80%EC%97%AD>, [cited 2023 January 2]

[7] IEEE 802.11ax: Wi-Fi 6 Technical Guide, CISCO, https://www.cisco.com/c/ko_kr/products/collateral/wireless/white-paper-c11-740788.html, [cited 2023 January 2]

[8] M. W. Kim, D. G. Shin, O. R. Ryu and Y. S. Lee, "A triple band printed monopole antenna with a bent branch strips for WiFi / 5G", *Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol.25, No.6, pp.536-542, 2021.

신 동 기(Dong-Gi Shin)

[정회원]



- 2018년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2020년 6월 ~ 2021년 10월 : LIG넥스원 연구원
- 2022년 4월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

RF 소자 설계, 안테나 설계 및 해석, 레이더, 유도무기

이 영 민(Young-Min Lee)

[정회원]



- 2016년 8월 : 금오공과대학교 전자공학부 (공학사)
- 2020년 8월 : 금오공과대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

RF 회로 설계, 안테나 설계 및 해석

정 영 탁(Yeong-Tak Jung)

[정회원]



- 2010년 12월 : 경희대학교 전자공학과 (공학사)
- 2019년 9월 : 경북대학교 회로 및 시스템 전공 (공학석사)
- 2011년 1월 ~ 2014년 8월 : 한국항공우주산업 연구원
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

전자공학, 유도무기, 회로 및 시스템

이 영 순(Young-Soon Lee)

[정회원]



- 1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학박사)
- 1981년 3월 ~ 2022년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
- 2022년 3월 ~ 현재 : 금오공과대학교 전자공학부 명예교수

<관심분야>

전자기장 이론, 안테나 산란문제, 도파관 불연속, 전자기장 개구결합 문제, 전자기장 수치해석