

U-slot형 마이크로스트립 안테나 특성 연구

박용욱*

A Study on The Characteristics of U-slot Microstrip Antenna

Yong-Wook Park*

요약

인터넷이 보급된 이후로 현대사회는 본격적인 정보화시대에 진입하게 되었다. 정보화시대에 발 맞춰 인터넷은 유선인터넷에서 무선인터넷으로 발전하게 되었다. 무선인터넷의 수요가 급증하자 기존에 사용된 2.4GHz 대역의 통신은 포화상태에 이르게 되었으며 효율과 성능이 현저히 떨어지게 되었다. 이에 따라 5GHz 대역의 통신이 주목을 받게 되었다. 본 논문에서는 5GHz대역의 통신이 가능한 U-slot 마이크로스트립 안테나를 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 통해 분석 및 설계하였다. 설계된 안테나를 유전율 4.4의 FR4-epoxy기판을 이용해 제작하고 최종적으로 회로망 분석기(Network Analyzer)를 통해 안테나 특성을 분석하였다.

ABSTRACT

The modern society has become full-fledged entry into the information age since spread of Internet. In the information age, internet was developed from the wired access to the wireless Internet access. When a surge in demand for wireless Internet access, efficiency and performance of 2.4GHz band which leads to saturation of the communication was significantly fall. Accordingly, the communication of the 5GHz band came to be interested. In this paper, we studied the design and fabrication of u-slot microstrip patch antenna to be used in wireless communication systems operating at around 5GHz band. To obtain antenna parameters such as patch size, inter patch space, antenna was simulated by HFSS(High Frequency Structure Simulator). From these parameters, u-slot microstrip antenna is fabricated using FR-4 substrate of dielectric constant 4.4. The characteristics of fabricated antenna were analyzed by network analyzer.

키워드

U-slot, Microstrip Antenna, Wireless Communication, HFSS
U 슬롯, 마이크로스트립 안테나, 무선 통신, HFSS

** 교신저자 : 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과
• 접수일 : 2023. 11. 28
• 수정완료일 : 2024. 01. 05
• 게재확정일 : 2024. 02. 17

• Received : Nov. 28, 2023, Revised : Jan. 05, 2024, Accepted : Feb. 17, 2024
• Corresponding Author : Yong-Wook Park
Dept. of Electronics Engineering, Namseoul University
Email : pyw@nsu.ac.kr

I. 서론

무선통신은 현대에 빠르게 발전해왔다. 특히 무선 LAN(Local Area Network)은 회사 사무실이나 기타 이동 통신 환경에서 활용도가 매우 높다. 무선 LAN은 기존의 유선 LAN의 기능을 가지면서 많은 공간을 차지하지 않기 때문에 많은 장점을 가지고 있지만 점차 이용자가 급증하게 되면서 기존 이동 통신과 기존 와이파이(WiFi : Wireless Fidelity) 대역인 2.4GHz 대역의 통신 품질이 떨어지고 통신에 장애가 생기는 문제가 발생하고 있다. 때문에 5GHz대역의 무선 LAN등의 무선통신 대역을 사용함이 대안으로 떠올라 이미 많은 영역에서 사용되고 있다.

5G(5세대 이동 통신)로 전 세계가 화제가 되고 있다. 5G는 다운로드 최대속도가 20Gbps에 달하는 이동통신 기술로, 1Gbps의 속도인 LTE에 비해 20배의 최대속도가 빠르고 처리용량도 높은 장점을 가지며 또한 초저지연성과 초연결성을 통해 가상현실, 자율주행, 사물인터넷 기술 등을 구현할 수 있다. 전 세계 여러 국가가 기술과 시장 선점을 위해 치열한 경쟁을 벌이고 있는데 한국이 2018 평창 동계 올림픽에서 5G 기술을 적용해 화제를 모았다. 대표적으로 타임 슬라이스 기술이 5G를 통해 피겨스케이팅, 쇼트트랙, 아이스하키 등의 종목에 구현됐고 다양한 각도에서 찰나를 포착하는 타임 슬라이스는 여러 대의 카메라가 동시에 촬영한 영상을 5G 단말기로 실시간 전송해주는 기술이다. 이 기술은 고화질 이미지를 실시간으로 전송하기 때문에 초고속 대용량 통신이 필요하다. 한국 5G의 통신 주파수 할당 대역은 3.42~3.7GHz대역, 26.5~28.9GHz대역으로 무선 LAN으로 사용되는 2.4GHz대역을 벗어나 점차 더 높은 고주파수 대역으로 올라가고 있는 상황이다[1-5].

무선인터넷에 있어서 가장 핵심이 되는 요소는 안테나 기술이다. 그중에서도 이동성과 확장성 등의 효율적인 요건을 가장 만족할 수 있는 안테나를 찾아야 하는 것이 관건이었다. 이와 같은 요구 조건 중에서 가장 주목을 받은 것이 마이크로스트립 안테나였다. 마이크로스트립 안테나는 유전체판의 한 면은 접지판으로 하고 다른 면은 마이크로스트립 선로로 회로를 구성하는 것으로 포토

리소그래피방법으로 제작하기 때문에 제작이 쉽고, 대량생산에 적합하며 취급이 용이한 장점이 있다. 대역폭이 좁고 이득이 낮은 단점이 있으나 제작의 간편성과 소형화에 있어서 가장 큰 효과를 보기 때문에 현재 무선랜 통신 이외에도 휴대폰 등과 같은 소형화 기기에서 사용되고 있다 [6-9].

본 논문에서는 5GHz대역의 무선인터넷을 위한 지향성 및 주파수특성이 우수한 U-slot 형태의 마이크로스트립 안테나를 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 설계 및 최적화하였다. 이와 같이 최적화된 안테나를 유전율 4.4의 FR4- epoxy기판을 이용해 포토리소그래피법으로 안테나를 제작하였으며 제작된 안테나의 특성을 회로망 분석기(Keysight E5071C)를 사용하여 특성을 평가 및 분석하였다.

II. 이론

2.1 패치의 폭(W)과 길이(L)

패치의 폭(W)은 사각 패치의 너비에 해당되는 파라미터를 의미한다. 공진주파수 f_r 에서 동작하도록 유전율이 ϵ_r 이고 두께가 h인 기판 위에 구형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하는 경우 실제 폭 W는 식(1)과 같으며 여기서 c는 광속도 $c=3 \times 10^8$ 이고 f_r 은 안테나의 공진주파수이다.

$$W = \frac{c}{f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (1)$$

패치의 길이(L)는 사각 패치의 높이에 해당되는 파라미터를 의미한다. 마이크로스트립 선로에서 대부분의 전기력선은 기판에 존재하고 그 일부는 공기에 존재한다. 즉, 파의 일부는 기판에 존재하고 다른 일부는 공기로 진행하기 때문에 선로에서 가장자리 효과와 전파를 계산하기 위하여 실효 유전율을 도입한다. 실효유전율 ϵ_{eff} 은 $W/h > 1$ 인 경우,

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad \dots (2)$$

으로 나타낼 수 있고, 특성 임피던스 Z_0 는

식 (3)과 같다.

$$Z_0 = \frac{\frac{60}{\sqrt{\epsilon_{re}}} \ln\left(\frac{8d}{W} + \frac{W}{4d}\right)}{120\pi \sqrt{\epsilon_{re} \left[\frac{W}{d} + 1.393 + 0.667 \ln\left(\frac{W}{d} + 1.444\right)\right]}} \quad \dots (3)$$

패치의 길이와 폭이 유한하기 때문에 패치 가장자리에서 프린징(Fringing)이 발생하게 된다. 프린징 효과 때문에 마이크로스트립 안테나의 공진 패치는 물리적인 크기보다 전기적으로 더 큰 것처럼 보인다. 기본 E-평면(x-y평면)에서, 길이에 대한 공진 패치 크기는 각 종단에서 Δl 만큼 확장되었다. Δl 은 해머스테드(Hammerstad) 실험식으로 프린징 필드(Fringing field)에 의한 확장 효과이며 식(4)과 같다.

$$\Delta l = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \quad \dots (4)$$

실효유전율 ϵ_{eff} 와 선로확장 Δl 에 의해 방사체 길이 L은

$$L = \frac{2}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta l \quad \dots (5)$$

이 된다.

2.2 슬롯 마이크로스트립 안테나

마이크로스트립 안테나는 평면 안테나에 속한다. 절연체 양면에 접촉한 도체판 중 한쪽의 도체판을 스트립으로 한 것을 마이크로스트립 선로라고 하는데, 이러한 스트립과 다른 도체판이 2개의 급전선이 된다. 이러한 급전선을 동축 선로에 연결한 것이 최종적으로 마이크로스트립 안테나의 가장 기본적인 형태이다. 스트립의 폭을 넓게 하면 주파수 대역폭이 넓어지고 전과도 방사하기 쉽게 된다. 정사각형으로 한 마이크로스트립 안테나를 네모형 패치 안테나 또는 사각 패치 안테나, 원으로 한 것을 원형 패치 안테나라고 한다. 본 논문에서는 네모형태에 U-slot을 가지는 패치 안테나를 연구하였다. 이는 마이크로스트립 안테나는 인쇄기판으로 제작하기 때문에 대량 생산에 적합하며, 높이가 낮고 평면상으로 되어 있어 견고하기 때문이

다. 이와 같은 장점으로 대량의 작은 안테나를 필요로 하는 배열 안테나 소자로서 많이 사용된다[10-13].

마이크로스트립 안테나에서 송신 또는 수신된 신호를 처리하거나 임피던스정합을 하기 위해서 여러 가지 급전방식을 사용한다. 급전방법은 직접결합, 전자기 결합, 그리고 개구결합과 같이 세 가지로 분류할 수 있다.

마이크로스트립 안테나 설계에 있어서 일반적으로 $\lambda/4$ 변환기를 이용한 마이크로스트립 가장자리 급전과 슬롯을 활용한 삽입형 마이크로 스트립 급전방식이 활용되고 있다. $\lambda/4$ 변환기를 이용한 마이크로스트립 가장자리 급전방식은 마이크로스트립 전송선로의 $\lambda/4$ 정합부를 이용하여 임피던스를 손쉽게 변환시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 급전선의 폭이 좁아지는 특성을 가지고 있어 포토리소그래피법을 이용한 안테나 구현에 있어서 어려움이 생기는 단점이 존재한다.

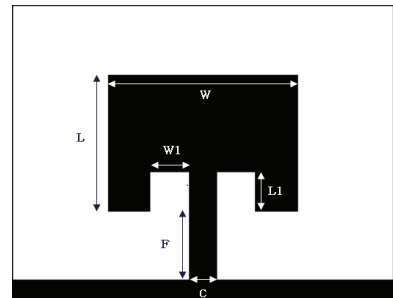


그림 1. U-Slot 마이크로스트립 안테나 구조
Fig. 1 Geometry of U-slot Microstrip antenna

$\lambda/4$ 변환기를 이용한 마이크로스트립 가장자리 급전방식의 단점을 보완할 수 있는 다른 급전방식으로 삽입형 마이크로스트립 급전방식이다. 이는 평면형이며, 예칭하기 쉬운 뿐만 아니라 삽입 구조를 바꿔서 입력 임피던스를 조정할 수 있다는 장점이 있다. 본 논문에서 연구한 삽입형 마이크로스트립 급전방식에 하나인 U-slot형은 그림 1과 같이 기본 패치에 급전선 양쪽에 U자 모양의 슬롯을 넣은 구조를 갖는다. 방사하는 면의 모서리의 밑 부분에 위치한 슬롯은 기본 공진 모드를 발생시키는 지향성과 전파특성을 우수하게 만드는 특성을 가지고 있다.

III. 안테나의 설계 및 제작

U-slot 마이크로스트립 안테나를 설계하기 이전에 안테나로서 가져야 하는 중요한 설계목표를 표 1과 같이 정의하였다. 표 1에서와 같이 -10dB 대역폭을 150MHz로 확대하기 위한 지향성 특성이 우수하도록 설계파라미터를 확인하였고 또한 VSWR 특성을 향상시키기 위해 마이크로스트립 안테나의 이론에 입각하여 그림 2와 같은 방법으로 안테나를 설계 제작하였다. 설계된 U-slot 마이크로스트립 안테나의 주파수 특성을 분석하기 위해 고주파 구조를 설계 분석할 수 있는 HFSS를 이용, 광대역의 대역폭 및 우수한 반사 손실 특성을 갖는 안테나 특성을 구현하기 위하여 안테나를 설계 및 시뮬레이션을 통하여 3차원적 고주파 전파 특성을 분석하였다.

표 1. 안테나 설계목표
Table 1. Element values of antenna spec

Frequency	5 GHz
Input Return Loss	≤ -30 dB
-10dB Bandwidth	150 MHz
VSWR	≤ 1.2

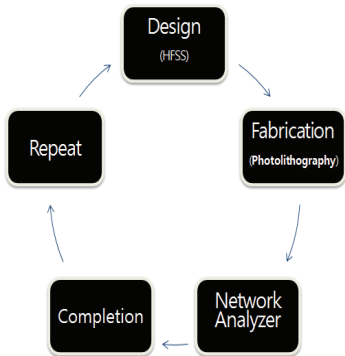


그림 2. 마이크로스트립 안테나 제작과정
Fig. 2 fabrication Process of microstrip antenna

설계된 안테나의 주파수 특성이 설계 목표값을 만족하면 설계된 안테나의 파라미터를 이용하여 포토리

소그래피방법으로 유전율 4.4, 기판두께 1.6mm 그리고 loss tangent 0.0004의 특성을 갖는 FR-4 기판을 이용하여 실제 안테나를 제작하였고 최종적으로 제작된 안테나를 회로망 분석기(Keysight E5071C)를 사용하여 특성을 분석 및 평가 하였다.

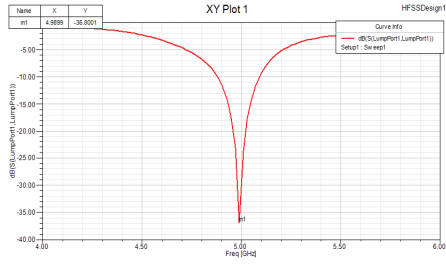
IV. 실험 및 결과

본 연구에서는 5GHz 중심주파수대역에서 입력 반사 손실 -30dB 이하 VSWR이 1.2 이하인 특성을 갖는 그림 2와 같은 U-slot을 갖는 마이크로스트립 안테나를 설계하기 위해 그림 2와 같은 제작과정을 수행하여 안테나의 특성에 큰 영향을 미치는 파라미터들의 안테나 주파수 특성을 분석하였다. W, L은 안테나의 공진 주파수를 결정하는 패치의 폭과 길이이며, F와 W1, L1은 사각패치소자에 전력을 공급하는 마이크로스트립 선로, 즉 피드라인의 설계 파라미터를 의미한다. 이와 같은 U-slot 마이크로스트립 안테나 패치의 크기와 U-slot의 형태에 대한 동작 특성을 분석하고 최적의 안테나 파라미터를 추출한 안테나 설계규격은 표 2와 같이 설계되었다. 표 2와 같이 최적화된 안테나를 HFSS를 사용하여 분석된 주파수 특성은 그림 3과 같다.

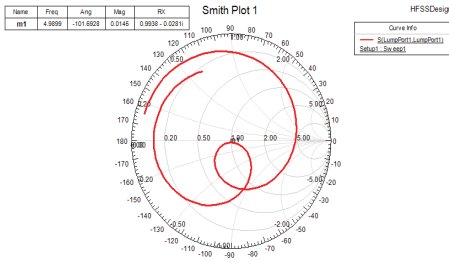
표 2. 최적화된 안테나 설계
Table 2. Optimization for antenna design

W [mm]	L [mm]	W1 [mm]	L1 [mm]	F [mm]	C [mm]
18	15	2.5	5	79	2.75

시뮬레이션 결과값을 토대로 FR-4 기판을 사용하여 U-slot 마이크로 스트립 안테나를 제작하였고 제작된 안테나의 사진은 그림 4에 나타내었다. 제작된 안테나의 주파수 특성을 확인하기 위하여 회로망 분석기(Network Analyzer)로 측정한 반사계수와 임피던스 결과값을 그림 5에 표시하였다. 제작된 안테나의 측정된 주파수 특성은 중심주파수 5.1 GHz에서 반사 손실은 -32dB, 안테나의 대역폭은 170MHz였으며, VSWR값은 1.2로 설계 목표값을 만족하였고 임피던스 값은 50Ω에 근접한 50.99Ω의 임피던스 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 3. 안테나의 시뮬레이션 결과:
(a) S11 파라미터, (b) 스미스차트
Fig. 3 Simulation results of antenna
(a) S11 parameter, (b) smith chart

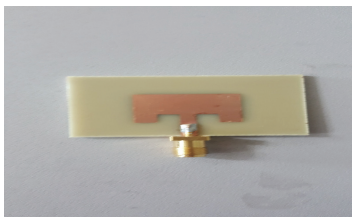
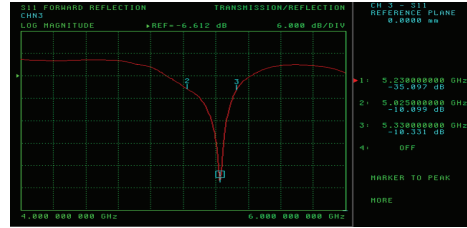


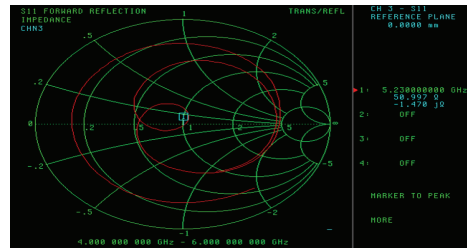
그림 4. 실제 제작한 안테나 사진
Fig. 5 Photo of fabricated antenna

측정된 결과값을 설계목표와 비교하면, 동작특성 중 중심주파수는 5.1 GHz 로 목표값에 근접한 결과를 보였고 입력반사손실 -2 dB, -10 dB 이하 대역폭은 목표치보다 20MHz 증가한 170MHz의 값을 가졌다. 이는 설계목표에 근접한 주파수 특성을 보였지만 중심주파수의 값이 약 0.1GHz 오차값을 보였는데 이는 시뮬레이션과 실제 제작에서 발생하는 공정상의 오차로 판단되며 이와 같은 오차의 발생은 HFSS의 외부 환경 설정과 제작 과정으로 인해서 발생하는 문제로 해석된다. 이와 같은 결과를 바탕으로 다음 실험

에서는 이와 같은 오차를 보정하여 설계시 파라미터를 수정하면 최적의 동작 특성을 구현할 것으로 기대된다.



(a)



(b)

그림 5. 제작된 안테나의 측정결과:
(a) S11 파라미터, (b) 스미스차트

Fig. 5 Measuring results of fabricated antenna: (a) S11 parameter, (b) smith chart

V. 결론

본 논문에서는 5GHz대역의 무선인터넷을 위한 지향성 및 주파수특성이 우수한 U-Slot 형태의 마이크로스트립 안테나를 HFSS를 이용하여 설계 및 최적화하였다. 이와 같이 최적화된 안테나를 유전율 4.4의 FR4 epoxy기판을 이용해 포토리소그래피법으로 안테나를 제작하였으며 제작된 안테나의 특성을 회로망 분석기(Network Analyzer)를 사용하여 특성을 평가 및 분석하였다. 제작된 안테나는 중심주파수 5.1 GHz에서 반사손실은 -32dB, 안테나의 대역폭은 170MHz였으며, VSWR값은 1.2로 설계 목표값을 만족하였고 임피던스 값은 50Ω에 근접한 50.99Ω의 임피던스 값을 얻을 수 있었다. 향후, 안테나 특성 개선 연구를 추가로 수행하여 주파수특성이 좀 더 보완된 다중대역에서 사용 가능한 WLAN용 안테나 개발을 위한 안테나 특성 연구를 계속 진행할 계획이다.

감사의 글

본 논문은 2023년도 남서울대학교 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] B. Kim, L. Yun, S. Le, Y. Park, and J. Hong, "Leg Fracture Recovery Monitoring Simulation using Dual T-type Defective Microstrip Patch Antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences* vol. 18, no. 4, 2023, pp. 587-594.
- [2] J. Yoon and C. Yu, "Design and Fabrication of Dual Linear Polarization Stack Antenna for 4.7GHz Frequency Band," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences* vol. 18, no. 2, 2023, pp. 251-258.
- [3] J. Jung and S. Kang, "A Study on Fault Diagnosis for Planar Active Phased Array Antenna," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences* vol. 18, no. 1, 2023, pp. 11-21.
- [4] J. Yoon and G. Choi, "A Design and Implementation of CPW-fed Antenna with Two Branch Strip for WLAN Applications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 4, 2015, pp. 455-462.
- [5] Y. Park, "Dual T type antenna study for LTE communication," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 1, 2015, pp. 7-11.
- [6] C. L. Tang and K. L. Wong, "Single-feed slotted equilateral-triangular microstrip antenna for circular polarization," *IEEE Trans. Antennas propagat.*, vol. 47, no. 11, 1999, pp. 1174-1178.
- [7] M. Nikolić, A. Djordjević, and A. Nehorai, "Microstrip Antennas With Suppressed Radiation in Horizontal Directions and Reduced Coupling," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. 53, no. 11, 2005, pp. 3469-3476
- [8] J. Yoon and Y. Rhee, "Design and Fabrication of Dual-Ring Monopole Antenna for Wideband Characteristics," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 9, 2013, pp. 1285-1291.
- [9] 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.
- [10] W. Cao, Y. Xiang, B. Zahng, A. Liu, T. Yu, and D. Guo, "A Low Cost Compact Patch Antenna With Beam Steering Based on CSRR-Loaded Ground," *IEEE Antenna Wireless Propagation Letters*, vol. 10, no. 1, 2011, pp. 1520-1523.
- [11] C. Mak, K. Lee, and Y. Chow, "Experimental study of a Microstrip Patch Antenna with an L-shaped Probe," *IEEE Trans. Antenna and Propagation*, vol. 48, no. 5, 2000, pp. 777-783.
- [12] S. Lee, H. Kim and Y. Lee, "Mitigation of co-channel interference in Bluetooth piconets," *IEEE Trans. Wireless Comm.* vol. 11, no. 4, 2012, pp. 1249-1254.
- [13] H. Chen, "Broadband CPW-fed square slot antennas with a widened stub," *IEEE Trans. Antennas Propagation*, vol. 51, no. 8, 2003, pp. 1982-1986.

저자 소개



박용욱(Yong-Wook Park)

1989년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업(공학사)

1991년 8월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1999년 2월 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)

2000년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : RF 디바이스, 센서