

5 GHz 대역의 마이크로스트립 패치 안테나 특성 연구

박용욱*

Study of Microstrip Patch Antenna for 5 GHz

Yong-Wook Park*

요약

무선 인터넷의 수요가 급증하여 기존에 사용된 2.4 GHz 대역의 통신은 포화상태가 되었으며 혼선이 잦아지고 여러 가지 장애가 발생하게 되었다. 이에 따라 5 GHz 대역의 무선 인터넷 기술 개발이 진행 되었다. 본 논문에서는 5 GHz 대역의 무선통신이 가능한 사각형 슬롯 마이크로스트립 패치 안테나를 연구하였다. 연구는 HFSS를 통해 안테나를 설계 및 분석 하였고 포토리소그래피법을 이용해 안테나를 실제 제작 하였다. 최종적으로 제작된 안테나를 회로망 분석기를 통해 특성을 비교 및 분석하였다.

ABSTRACT

Because of an rapid increase of using a wireless Internet, the originally used communication of 2.4 GHz band was saturated and crossed and there were some problems. According to this, the development of a wireless Internet technology of 5 GHz Band proceeded. In the thesis we researched a Square Slot Microstrip Patch Antenna available in 5 GHz band of wireless communication. The research designed and analyzed the Antenna through HFSS. Ultimately, we compared and analyzed made Antenna through a Network Analyzer.

키워드

Microstrip Antenna, 5 GHz, Rectangular Slot, HFSS

마이크로스트립 안테나, 5 GHz, 사각형 슬롯, HFSS

1. 서론

전자·정보 기술의 발달과 인터넷의 보급이 증가되면서 정보화 시대로 진입하게 되었다. 그 중 컴퓨터나 멀티미디어, 통신 분야가 매체의 주종을 이루면서 이에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있다. 이에 따라 사용자의 편의를 우선으로 한 통신 기술이 보급 되고 있는데 장소에 상관없이 사용자가 통신장비를 이용하여 무선으로 통신망에 자유롭게 접속 할 수 있는 장

점을 가진 무선 인터넷 기술이 주목 받게 되었다.

무선 인터넷을 위한 2.4 GHz 대역의 무선랜 기술은 전 세계적인 표준 대역으로 보급 되었다. 하지만 무선인터넷 사용자의 증가로 인해 포화상태가 되어 혼선이 잦아지고 여러 가지 장애가 발생하게 되었다. 이를 보완하기 위해 더 넓은 주파수 대역을 필요로 하게 되었다[1-2]. 그 결과 5 GHz대역의 무선랜 기술 개발이 진행 되었고 무선 인터넷용 장비는 휴대용 소형 장치에 장착되기 때문에 경량화, 소형화가 이루어

* 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과

• 접수일 : 2018. 10. 29
• 수정완료일 : 2018. 12. 22
• 게재확정일 : 2019. 02. 15

• Received : Oct. 29, 2018, Revised : Dec. 22, 2018, Accepted : Feb. 15, 2019

• Corresponding Author : Yong-Wook Park
Dept. of Electronics Engineering, Namseoul University
Email : pyw@nsu.ac.kr

저야 하며, 초고주파 집적회로와 함께 구현 할 수 있는 마이크로스트립 패치 안테나가 많이 사용되고 있다. 마이크로스트립 안테나는 유전체 판의 한 면을 접지판으로 하고 다른 면은 스트립 선로나 슬롯 선로로 회로를 구성하는 것으로 제작이 쉽고 대량생산이 가능하다는 장점을 갖고 있다. 이득이 낮고 대역폭이 좁은 단점이 있으나 대역폭을 넓히기 위한 연구가 진행되고 있다[3-5].

본 논문에서는 5 GHz 대역의 무선 인터넷 용 마이크로스트립 안테나를 설계 제작 하였다. 대역폭이 좁은 마이크로스트립 안테나의 단점을 개선하기 위해 사각 패치에 사각형 슬롯을 설치하여 대역폭 확대와 고이득의 특성을 가지는 안테나 특성에 중점을 두어 설계 제작하였고 안테나를 설계하기 위해 HFSS(High Frequency Structural Simulator)를 사용하여 안테나를 설계하였고, 포토리소그래피 방법을 사용하여 FR-4 기판에 제작된 무선 인터넷용 5 GHz 안테나 특성에 대해 연구를 수행하였다.

II. 안테나 설계

2.1 마이크로스트립 안테나

마이크로스트립 안테나는 아주 얇은 금속체인 스트립을 접지면 위에 올려놓은 구조로 되어있다. 절연체 재료에 금속 패치를 프린팅 하여 제작되기 때문에 두께가 얇고 평면과 비평면에 안테나 제작이 용이하다. 그 외에도 간단한 급전으로 선형과 원형편파의 구현이 가능하다. 절연체 양면에 도포된 도체판 중 한쪽의 도체판을 스트립으로 한 것을 마이크로스트립 선로라고 하며, 다른 도체판은 그라운드가 된다. 이러한 두 개의 도체판은 급전선이 되며 급전선을 동축 선로에 연결한 것이 마이크로스트립 안테나의 가장 기본적인 형태이다. 마이크로스트립 안테나는 인쇄기판으로 제작하기 때문에 대량생산에 적합하며 높이가 낮고 견고하다는 특성이 있다. 패치의 형태는 사각형, 삼각형, 원형, 타원형태 등 다양한 형태로서 구현이 가능하며 배열 안테나의 개별 안테나 소자로도 이용된다[6-8].

2.2 패치의 폭(W)과 길이(L)

패치의 폭(W)은 사각 패치의 너비에 해당된다. 공

진주파수 f_r 에서 동작하도록 유전율이 ϵ_r 이고 두께가 h 인 기판 위에 구형 마이크로스트립 패치 안테나를 설계하는 경우 실제 폭 W는 식 (1)과 같으며 여기서 f_r 은 안테나의 공진주파수 이고 c 는 광속도 $c=3 \times 10^{-8}$ 을 의미한다.

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

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, 식 (2)로 나타낼 수 있다.

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

프린팅 효과(Fringing effect) 때문에 마이크로스트립 안테나의 공진 패치는 물리적인 크기보다 전기적으로 더 큰 것처럼 보인다. 기본 E-평면($x \sim y$ 평면)에서, 길이에 대한 공진 패치 크기는 각 종단에서 Δl 만큼 확장되었다. Δl 은 해머스테드(Hammerstad) 실험식으로 프린징 필드(Fringing field)에 의한 확장 효과이며 수식적으로는 식(3)과 같다.

$$\Delta l = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

실효유전율 ϵ_{eff} 와 선로확장 Δl 에 의해 방사체 길이 L은 식 (4)와 같이 정의된다[9].

$$L = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta l \quad (4)$$

2.3 급전방식

급전방식은 임피던스 정합을 통해 손실을 최소화하여 전력이 최대로 전달될 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다. 마이크로스트립 안테나의 급전방식은 동축 프로브로 급전하는 방법, 개구면 커플링을 사용하는 방법, 기생소자를 사용하는 방법, 패치 안테나의 개구면 결합과 임피던스 정합 회로를 사용하는 방법 등이 있다[10-12].

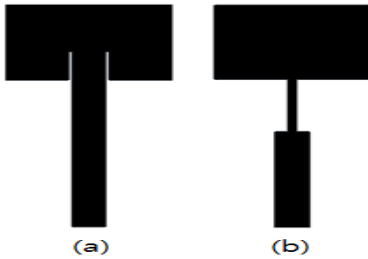


그림 1. 마이크로스트립 안테나의 급전방식: a) 가장자리 급전, b) 삽입형 급전

Fig. 1 Feeding type of microstrip antenna: a) Edge b) Insert

마이크로스트립 안테나 설계에 있어서 일반적으로 $\lambda/4$ 변환기를 이용한 마이크로스트립 가장자리 급전과 슬롯을 활용한 삽입형 마이크로스트립 급전방식이 활용되고 있다. 그림 1(a)와 같은 $\lambda/4$ 변환기를 이용한 마이크로스트립 가장자리 급전방식은 마이크로스트립 전송선로의 $\lambda/4$ 정합부를 이용하여 임피던스를 손쉽게 변환시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 하지만 급전선의 폭이 좁아지는 특성을 함께 가지고 있어 포토리소그래피법을 이용한 안테나 구현에 있어서 어려움이 생기는 단점이 있다. $\lambda/4$ 변환기를 이용한 마이크로스트립 가장자리 급전방식의 단점을 보완할 수 있는 다른 급전방식으로는 그림 1(b)의 슬롯을 활용한 삽입형 마이크로스트립 급전방식이 있다. 이는 급전선의 폭이 좁아지는 특성이 없기 때문에 에칭하기 쉬울 뿐만 아니라 삽입 구조를 바꿔서 입력 임피던스를 조정할 수 있다는 장점이 있다.

2.4 설계목표

WLAN 기능을 내장한 단말의 설치 위치와 방향에 구애 받지 않고 떨어진 장소에 있는 통신 상대와 안

정적으로 통신을 수행할 수 있는 성능이 반드시 필요하다. 이를 위해 단말에 내장된 안테나의 반사손실, VSWR 안테나의 사이즈가 중요한 매개변수로 적용된다. 마이크로스트립 안테나를 체계적으로 설계하기 위해 표 1과 같이 설계목표를 설정하였다. 미국 전기전자학회에서 개발한 무선랜 규격 IEEE 802.11a를 만족하는 주파수 대역을 기준으로 중심주파수, 입력반사손실, -10 dB 이하 대역폭, VSWR(정재파비)에 대한 목표 값을 설정하였다. 이에 대한 결과 값은 S_{11} 파라미터 그래프를 통해서 확인하였고 임피던스는 스미스 차트를 이용해서 확인하였다. 본 논문에서는 5 GHz 대역 중 중심주파수는 5.4 GHz로 설정하였고 중심주파수 대역에서 동작하는 안테나를 제작하기 위해 입력반사손실은 -30 dB 이하로 설정하였으며 -10 dB 이하 대역폭은 광대역 통신의 기준으로서 데이터 전송량을 고려하여 200MHz로 설정하였다. 상용 안테나로 사용하기 위해서는 VSWR이 1.5 또는 1.3이하를 요구하기 때문에 1.3 이하로 설정하였다.

표 1. 안테나 설계
Table 1. Design of antenna

Frequency	5.4 GHz
Input Return Loss	≤ -30 dB
-10 dB Bandwidth	200 MHz
VSWR	≤ 1.3

III. 실험결과 및 고찰

본 논문에서 마이크로스트립 안테나를 제작하기 위해서 FR4-epoxy 재질의 PCB 동판을 사용하였다. 기판의 규격은 표 2와 같다.

표 2. 동판의 제원
Table 2. Spec of substrate

Metal Thickness	$17\mu\text{m}$ (0.5 oz copper)
Board Thickness	1.6 mm
Permittivity	4.4
Loss tangent	0.0004

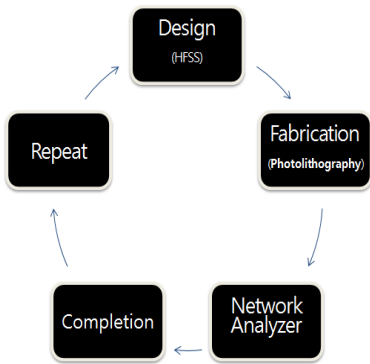


그림 2. 마이크로스트립 안테나 제작과정
Fig. 2 fabrication Process of microstrip antenna

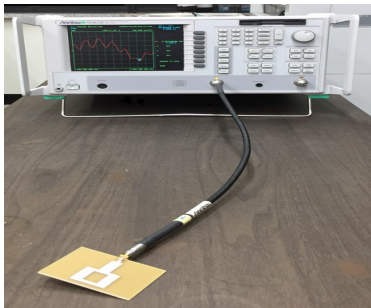


그림 3. 안테나 측정 시스템
Fig. 3 Measuring system

마이크로스트립 안테나를 제작하기 위해 그림 3과 같이 실험을 진행하였다. 안테나를 설계하기 위해 Ansoft사의 HFSS를 활용 하였고 설계 목표 값과 유사한 값이 나온다면 포토리소그래피법을 활용하여 실제 안테나를 제작하였다. 최종적으로 제작된 안테나는 그림 3와 같은 회로망 분석기(Anritsu MS4623B Network Analyzer)를 통해 비교 및 분석 하였다.

시뮬레이션 결과 값과 회로망 분석기를 통한 측정값이 일치 한다면 손실을 최소화한 특성을 갖는 안테나가 제작이 된다. 만약 결과 값과 측정값의 오차가 크면 그림 2의 과정을 반복하여 설계목표 값과 일치 하는 적절한 수치를 이끌어 내었다.

3.1 설계 파라미터 설정

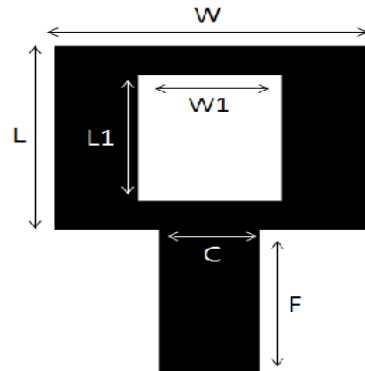


그림 4. 안테나 구조 및 파라미터 정의
Fig. 4 Geometry of Rectangular-slot antenna

표 1에서 제안된 안테나의 설계 목표를 달성하기 위하여 HFSS(High Frequency Structure Simulator)를 사용하여 안테나를 설계하고 그림 4와 같이 파라미터를 결정하였다. L과 W는 패치의 크기를 결정하는 길이와 폭 이며 L1과 W1은 패치에 삽입된 슬롯의 파라미터를 의미한다. C와 F는 패치에 전력을 공급하는 마이크로스트립 선로의 폭과 길이의 안테나 구조 파라미터이다.

3.2 최적 설계 파라미터

안테나 제작에 패치의 폭(W), 길이(L), 슬롯의 폭(W1), 길이(L1), 급전선의 폭(C),길이(F) 등 많은 파라미터를 가지고 있다. 본 논문에서는 표 3의 안테나 설계 파라미터를 기반으로 각 파라미터의 길이를 0.5 mm 단위씩 변화시키면서 각 파라미터별 시뮬레이션을 수행하여 확인된 주파수 특성을 바탕으로 안테나의 최적화된 설계 파라미터를 결정하였다. 최적 설계 파라미터는 표 4와 같다.

표 3. 안테나 설계
Table 3. Design of antenna

W [mm]	L [mm]	W1 [mm]	L1 [mm]	F [mm]	C [mm]
22.5	28.5	13	15	17.5	8

표 4. 최적화된 안테나 설계
Table 4. Optimization for antenna design

W [mm]	L [mm]	W1 [mm]	L1 [mm]	F [mm]	C [mm]
21	29.5	13.5	15.5	17.5	8.5

3.3 회로망 분석기 측정

최적 설계 파라미터 값을 근거로 하여 안테나를 설계 및 제작하였다. HFSS 를 통해 설계한 안테나의 시뮬레이션 결과 값은 표 5와 같다.

표 5. 최적화된 안테나 설계 시뮬레이션 결과
Table 5. Simulation results of optimization antenna

Freq [GHz]	Return Loss [dB]	-10dB Bandwidth	VSWR
5.4	-40	152 MHz	1.01 U

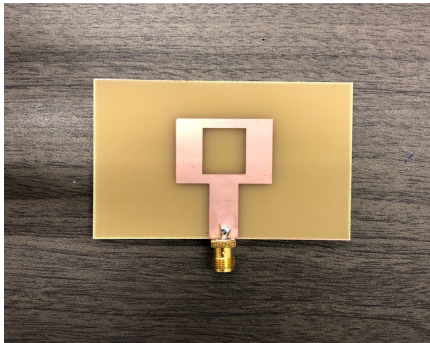


그림 5. 실제 제작한 안테나
Fig. 5 Photo of fabricated antenna

시뮬레이션에 대한 결과값은 중심주파수 5.4 GHz 를 기준으로, 입력반사손실 -40 dB, -10 dB 이하 대역폭 152 MHz, VSWR 1.01 U 의 결과 값이 나타났다. 이와 같은 결과는 설계목표와 비교하여 입력반사손실의 값이 초과하는 수치였다. 시뮬레이션 결과 값을 토대로 포토리소그래피법으로 실제 제작을 진행하였고 실제 제작한 안테나는 그림 5와 같고 결과 값은 표 6, 그림 8과 같다.

표 6. 실제 제작한 안테나의 결과값
Table 6. Measuring results of fabricated antenna

Freq [GHz]	Return Loss [dB]	-10dB Bandwidth	VSWR
5.4	-40	260 MHz	1.01 U

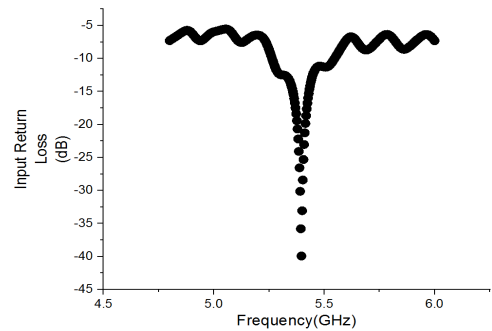


그림 6. 실제 제작한 안테나의 반사손실 측정값
Fig. 6 Measuring results of return loss for fabricated antenna

실제 제작한 안테나의 결과 값은 중심주파수 5.4 GHz에서 입력반사손실 -40 dB, -10dB대역폭 약 260 MHz, VSWR 1.01 U 의 결과 값이 나타났다. 설계목표와 비교하여 중심주파수는 목표 값과 일치 하였으며 입력반사손실 +10 dB, -10 dB 이하 대역폭 60 MHz의 차이가 났다. 이는 설계목표에 근접한 수치였으며, 이를 근거로 설계목표에 만족하는 단일 안테나를 설계 하였다. 실제 제작된 단일 안테나는 그림 12 와 같다. 안테나의 시뮬레이션 결과 값과 실제 제작한 결과 값을 비교 분석하였다. 중심주파수는 5.4 GHz 로 일치 하였고, 입력반사손실 은 -40 dB로 일치하였고, -10 dB 이하 대역폭 108 MHz 의 차이가 났고 VSWR 값은 1.01 U 로 일치 하였다. 이를 통해 시뮬레이션과 실제 제작시의 나타나는 오차를 확인할 수 있었다. 이는 HFSS의 외부 환경 설정과 제작 과정으로 인해서 나타나는 오차로 파악된다.

IV. 결론

본 논문에서는 5.4 GHz 대역의 사각형 슬롯 마이크로스트립 패치 안테나를 설계 및 제작하였다. 설계

및 시뮬레이션은 HFSS를 사용하였고 실제 제작한 안테나는 회로망 분석기를 통해 측정 하였다. 실제 제작한 안테나의 측정값은 설계 목표 값과 근접한 결과를 확인하였다. 중심주파수 5.4 GHz에서 입력반사손실 -40 dB, -10dB 이하 대역폭 약 260 MHz, VSWR 1.01 U의 결과 값이 나타났다. 설계목표와 비교하여 중심주파수 5.4 GHz 로 일치 하였고, 입력반사손실 +10 dB, -10dB 이하 대역폭 60 MHz의 차이가 낮으며 설계 목표와 근사한 값을 얻을 수 있었다. 향후 주파수 특성을 보완하고 다중대역에서 사용 가능한 WLAN용 안테나를 연구를 수행하여 안테나 특성 개선 연구를 진행할 것이다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 남서울대학교 학술연구비 지원으로 수행되었습.

References

[1] J. H. Schiller, *Mobile Communication. 2nd ed.* Harlow: Addison-Wesley, 2003.

[2] H. Jeong, J. Lee, Y. Jeong, J. Lee, H. Kang, S. Yoo, B. Jeong, Y. Kim, S. Na, and J. Seok, "2015 Information and Communications Technology Market Forecast," *Korea Information Society Development Institute, Policy Research 14-04*, 2014, pp. 11-15.

[3] W. Lee, Y. Kim, S. Kang, H. Lee, C. Yoon, and H. Park, "Design and Fabrication of wireless LAN for Miniaturized Microstrip Antenna," *J. of The Korea Institute of Communication Sciences*, vol. 31, no. 9A, 2006, pp. 291-298.

[4] Y. Kang, H. Ceong, and S. Rhee "CPW-Fed π -Shaped Antenna for Wideband," *J. of The Korea Institute of Communication Sciences*, vol. 13, no.2, 2018, pp. 906-912.

[5] D. Im, S. Mun, and J. Yoon "Design and Manufacture of U-shaped Antenna for WLAN/WiMAX Applications," *J. of the Korea Institute of Communication Sciences*, vol. 9, no. 7, 2014, pp. 827-834.

[6] 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.

[7] C. Mak, K. Lee, and Y. Chow, "Experimental study of a Microstrip Patch Antenna with an L-shaped Probe", *IEEE Trans. on Antenna and Propagation*, vol. 48, no. 5, 2000, pp. 777-783.

[8] 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.

[9] G. Kim, "Design of slotted waveguide antenna with slot depth variation," *J. of the Korea Institute of Communication Sciences*, vol. 8, no. 4, 2013, pp. 535-540.

[10] G. Kim, "Optimum Design of a Dual-Band Microstrip Patch Antenna using the Square CSRR Construction," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 1, 2017, pp. 25-30.

[11] T. Choi, J. Kim, and J. Yoon, "A Design and Implementation of Dual-band Monopole Antenna with DGS," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 9, 2016, pp. 841-848.

[12] Y. Kim, "Pattern-Switchable Microstrip Patch Antenna with Loop Structure," *J. of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 13, no. 11, 2012, pp. 5447-5451.

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 ~ 현재 : 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : RF 소자, 안테나