

무선랜용 U-Slot 2x2 배열 마이크로스트립 광대역 안테나 설계

주성남* · 김갑기**

Design of U-Slot 2x2 array microstrip wideband antenna for wireless LAN

Seong-nam Ju* · Kab-ki Kim**

요 약

본 논문에서는 5 GHz 대역 무선랜용 광대역, 고이득 패치 안테나를 설계 제작하였다. 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 개선하기 위해서 첫 번째 직사각형 패치에 U-Slot을 삽입하여 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식으로 급전시켰으며, 두 번째 안테나를 2×2 배열 형태로 구현하여 이득을 개선하였다. 따라서 결과적으로 본 연구에서는 5 GHz 대역 광대역 U-Slot 2×2 배열 패치 안테나를 설계 제작한다. 제작된 안테나는 Anritsu 37169A VNA (Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정한 결과 입력 반사손실 VSWR 2:1인 범위가 5.110 GHz ~ 6.142 GHz까지 약 1 GHz라는 광대역 특성을 나타내었다. 또한 5.15 GHz, 5.35 GHz, 5.50 GHz, 5.85 GHz에 대하여 방사패턴을 측정한 결과 E-평면과 H-평면에서 안테나 이득 13 dBi 이상, 3 dB 빔폭 30° 이상이라는 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, the high Gain and the wideband microstrip patch antenna, which is applicable to 5 GHz band wireless LAN, is designed and fabricated. Firstly to widen the bandwidth of microstrip antenna, U-Slot in rectangular form patch is inserted and used the microstrip line-Coaxial probe feeding method. Secondly, the antenna gain is improved to be embodied in 2×2 array form. As a result, in this paper, is designed and fabricated 5 GHz Band wideband U-Slot 2×2 array patch antenna using microstrip line-coaxial probe feeder. The U-Slot 2×2 array patch antenna were fabricated on the PEC using press-technique that is based on the simulation results. And the Anritsu 37169A vector network analyzer has been used in measurement of a prototype antenna. As a result, it was measured that the superior characteristic of wideband showing approximately 1 GHz (5.110 GHz ~ 6.142 GHz) of input return loss (VSWR < 2) in resonant frequency of 5 GHz band. And the antenna gain is 13 dBi, in both the E-plane and H-plane measured at 5.15 GHz, 5.35 GHz, 5.50 GHz, and 5.87 GHz.

키워드

U-Slot, microstrip line-coaxial probe feeder, array antenna, E-plane, H-plane

I. 서 론

마이크로스트립 안테나는 소형, 경량, 저가 이면서 제작이 용이하다는 장점이 있다. 이러한 좁은 임피던스 대역폭을 개선하기 위하여 적층구조, 기생 패치 구조, 방사

소자에 슬롯을 삽입하는 방법, 임피던스 정합 회로 결합 등의 방법이 제안 되었다. 적층 구조의 경우 일반적으로 구조가 복잡하고 기생 패치 구조의 경우 방사패턴의 왜곡이 생기는 단점을 가지게 된다^{[1][3]}.

일반적으로 공기층이나 폼을 사용하여 적은 설계 변수

로 쉽게 광대역 효과를 얻을 수 있다. 이러한 공기층을 이용한 안테나에서 주로 이용되는 프로브 급전은 방사소자와 직접 연결하기 때문에 개구결합 안테나의 제작상의 오차를 줄일 수 있고 급전부분과 방사 소자가 격리되어 있기 때문에 양호한 전후방비를 가지는 장점을 가지게 된다^[4]. 그러나 대개 긴 프로브에 의한 인덕턴스 성분으로 인해 대역폭 향상에 제한을 받게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 급전구조를 변형하거나 방사 소자에 슬롯을 삽입하는 방법이 사용되며, 슬롯에 의한 캐패시터 성분의 증가는 프로브에 의한 인덕턴스 성분의 보상으로 대역폭 확장이 이루어지게 된다^{[5],[6]}.

따라서 본 논문에서는 5 [GHz] 대역 무선랜 시스템에서 사용할 수 있는 고이득, 광대역을 제작하기 위해서 다음과 같은 방법을 사용하였다. 먼저 안테나의 대역폭을 개선하기 위해서 첫 번째 직사각형 패치에 U-slot을 추가하여 이중 공진 효과를 이용하였으며, 두 번째 프로브 급전방식보다 대역폭이 넓고 개구결합 급전방식보다 제작상의 오차를 줄일 수 있는 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식을 사용하였다. 그리고 안테나의 이득을 개선하기 위해서 2x2 배열 구조로 안테나를 최종 설계하였다.

II. U-slot 안테나 설계

2.1 직사각형 안테나 설계 이론

사각 패치 안테나의 설계에 있어서 공진패치의 길이 L 은 공진주파수를 결정하는 요소이며, 공진패치의 폭 W 는 임피던스 대역폭과 입력 임피던스에 영향을 준다. 또한 공진패치의 내부에 존재하는 TM_{01} 와 그 이상의 고차모드의 공진주파수에 영향을 준다. TM_{01} 모드의 공진주파수 대역에서 고차모드의 발생을 억제하기 위한 공진패치의 폭 W 는 $\lambda/2$ 보다는 길고 λ 보다는 작은 값이어야만 한다.

TM_{01} 모드 상태에서 길이 L 을 일정하게 하고 폭 W 를 늘리면 첫째 입력저항이 작아지고, 둘째 Q 값이 작아지며, 셋째 임피던스 대역폭이 커지며, 넷째 복사 영역이 넓어짐으로 지향성이 커진다. 따라서 마이크로스트립 안테나에서 대역폭을 넓히기 위해 고차모드가 복사패턴에 큰 영향을 주지 않는 범위에서 폭 W 를 크게 하는 것이 좋다.

위와 같은 이론을 바탕으로 안테나 수치해석 프로그램인 PCAAD 3.0^[7]을 사용하여 공진패치의 폭과 길이를 구하였다. 공진패치의 입력 임피던스를 100 Ω 으로 적용

하였을 때 중심주파수 5.5 GHz에서 공진패치의 폭 W 는 29.145 mm, 길이 L 은 25.132 mm가 되었다.

2.2 단일 U-slot 패치 안테나 설계

U-slot 안테나는 방사패치 내에 U자형 슬롯을 파낸 구조로서 U-slot 자체의 공진과 사각형 패치의 공진 특성이 서로 결합하여 광대역 특성을 나타내며, 또한 슬롯에 의한 캐패시터 성분의 증가는 프로브에 의한 인덕턴스 성분의 보상으로 대역폭 확장이 이루어지게 된다.

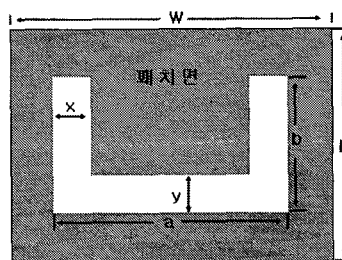


그림 1. U-slot 안테나 구조
Fig. 1 The geometry of U-slot antenna

마이크로스트립 안테나의 공진패치에 적용되는 U 슬롯의 기능을 보면 길이 방향의 슬롯은 기본 모드의 전류 분포를 변화시킴으로서 인접 주파수에서 공진을 만들어 대역폭을 넓히는 역할을 한다. 이럴 경우 의도하지 않은 폭 방향의 전류 흐름이 생겨 교차 편파를 증가시키는데 이러한 영향을 최소화하기 위해서 폭 방향의 슬롯을 만들어주게 된다. 그림 1은 U-slot 안테나의 구조이다.

그림 1의 공진패치를 보면 일반적인 U-slot 안테나에서 W 방향 슬롯의 길이 a 는 낮은 두께의 공기층이 사용될 경우 길이가 길어지게 되며 두 개의 공진이 멀리 떨어진 주파수에서 발생하게 된다. 또한 높은 두께의 공기층이 적용된다면 공기층 자체의 광대역 효과로 인해 두 개의 공진을 연결할 수 있지만, 낮은 공기층을 사용할 경우 두 개의 공진주파수를 합치기 위한 U-slot의 변형이 필요하다.

따라서 최적화면 단일 U-slot은 $W=30\text{mm}$, $L=23.6\text{mm}$, $a=24\text{mm}$, $b=16\text{mm}$, $x=2\text{mm}$, $y=2\text{mm}$, $h=3\text{mm}$ 가 되었다.

2.3 급전회로 설계

마이크로스트립 안테나의 급전방식인 마이크로스트립 급전은 공진패치에 비해서 폭이 매우 좁고, 기판의 두께가 증가함에 따라서 표면파와 기생 급전방사가 증가하여 실제

설계보다 대역폭이 좁다. 또한 동축 프로브 급전은 제작과 정합이 용이하지만 대역폭이 역시 좁으며, 모델링하기가 어렵고, 각 방사패치를 배열 구조로 구성하기가 힘들다. 그리고 최근 슬롯 안테나에 주로 사용하는 개구결합 급전방식은 제작하기가 매우 어렵고, 대역폭이 좁다는 단점이 있다.

그러나 본 논문에서 사용한 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식은 프로브 급전방식에 비해 넓은 광대역 특성을 가지며, 동시에 공진패치의 크기를 줄일 수 있다. 또한 마이크로스트립 라인을 이용함으로써, 프로브 안테나의 배열구조 구현의 어려움을 해결하고, 배열 안테나로 설계가 가능하다. 그림 2는 본 논문에서 사용하는 급전회로의 기본 구조를 보여주고 있다.

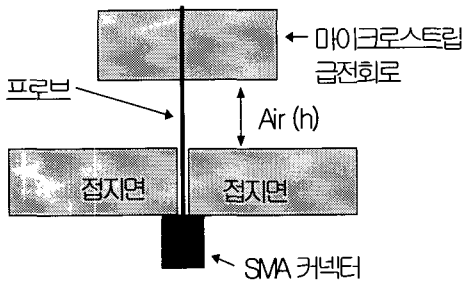


그림 2. 안테나 급전구조
Fig. 2 The geometry of antenna feed

마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식에서는 광대역 특성을 얻기 위해 접지면과 방사패치의 간격을 유전율이 1인 공기층 3mm의 두께로 분리하고, 방사패치에 동일한 전력을 공급할 수 있도록 구성되어진 급전회로를 마이크로스트립 라인으로 구성하며, SMA 형태의 커넥터를 접지면 하단에 연결하여 급전하게 된다.

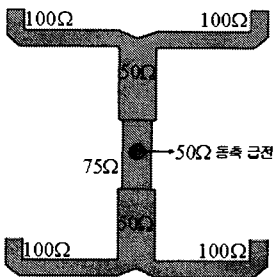


그림 3. 안테나 급전선
Fig. 3 The feed line of antenna

또한 2x2 배열 안테나의 급전회로의 구성은 상호결합을 줄이고 주어진 소자 개수에서 최대이득을 얻으며 급전선 간의 충분한 공간을 확보하고자 $\lambda/2$ 이상 되도록 선택하는데, 방사패치간의 상호결합을 고려하여 약 0.76 λ 간격으로 균일분포 형태로 하였다. 그림 3에서 처럼 중앙의 50Ω 급전점에서 75Ω의 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 통해서 50Ω 전력분배기와 결합되고, 양쪽 100Ω 급전선으로 각 방사패치 안테나에 전력을 공급하여 안테나를 여기 시킨다.

2.4 U-slot 2x2 배열 안테나 최적 설계

그림 4는 본 논문에서 제안한 U-slot 패치를 이용한 2x2 배열 안테나의 최적 설계된 구조를 보여주고 있다. 최적화된 각 변수는 직사각형 패치의 L=24mm, W=30mm, a=22mm, b=19mm, x=2mm 그리고 y=2mm 임을 알 수 있었다.

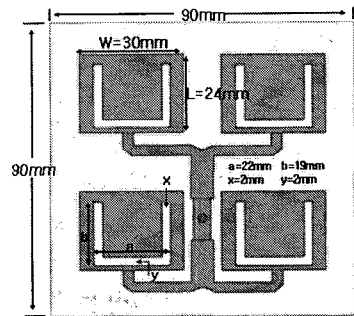


그림 4. U-슬롯 배열 안테나
Fig. 4 The antenna of U-slot array

최적화된 U-slot 2x2 패치 안테나의 시뮬레이션 결과로 그림 5에서 공진패치는 5GHz 대역에서 공진이 일어났으며, 반사손실 -10dB (VSWR 2:1)가 되는 대역폭은 5.1343GHz ~ 6.0149GHz까지 약 880MHz정도임을 알 수 있었다.

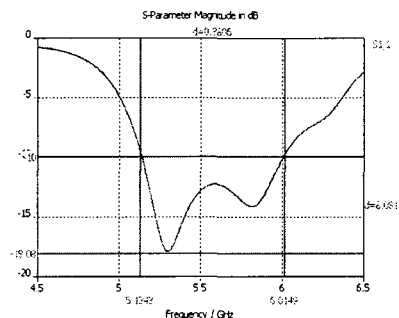


그림 5. 시뮬레이션 반사손실
Fig. 5 The simulated return-loss

III. 안테나 제작 및 측정

시뮬레이션에 의해 최적으로 설계되어진 5 GHz 대역 무선랜용 광대역 U-slot 2x2 배열 마이크로스트립 패치 안테나는 제작비용이 저렴한 프레스물 기법을 사용하여, 접지면과 4개의 방사패치에 동일한 전력을 공급하기 위해서 마이크로스트립 라인에 의해 설계되어진 전력분배기와 연결된 임피던스 변환기의 중심에 비하를 뚫어 직접 급전하는 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전방식으로 제작하였다. 또한 공기층에 의해 분리되어진 방사패치와 접지면을 연결하는 프로브 및 방사패치의 유동에 의한 안테나 파손을 막기 위해서 비유전체 봉을 사용하여 고정하였다.

제작된 안테나를 Anritsu 37169A VNA (Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정하였으며, 그림 6은 측정결과를 보여주고 있다.

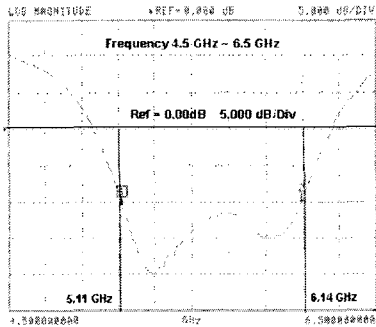


그림 6. 반사손실 측정
Fig. 6 The measured return-loss

그림 6에서 보여주는 것과 같이 4.50 GHz ~ 6.50 GHz까지의 주파수 범위에서 입력 반사손실이 -10 dB 이하 (VSWR = 2:1)인 범위가 5.110 GHz ~ 6.142 GHz까지 약 1 GHz라는 광대역 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

그림 7과 그림 8은 제작된 안테나의 방사패턴과 이득을 측정한 결과를 보여주고 있다. 측정결과 E-평면과 H-평면에 대하여 5.15 GHz, 5.35 GHz, 5.50 GHz, 5.85 GHz에서의 방사패턴은 전체적으로 13 dBi 이상의 이득을 가지며 3 dB 빔폭은 30° 이상의 값을 나타내었다. E-평면과 H-평면의 방사특성에 있어서 E-평면 방사패턴의 주빔은 4°, 그리고 H-평면의 주빔은 약 3° 정도 틀어졌다.

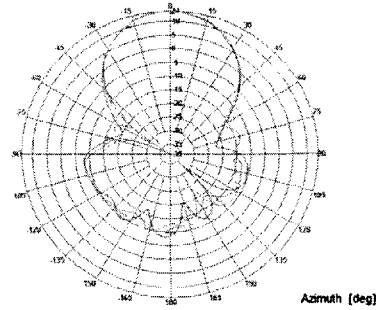


그림 7. E-평면 방사패턴
Fig. 7 The radiation pattern of E-plane

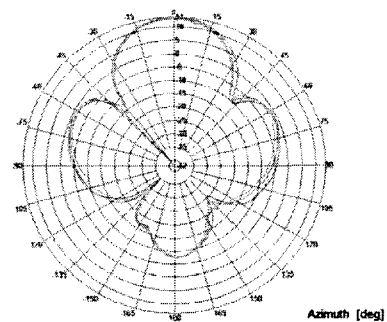


그림 8. H-평면 방사패턴
Fig. 8 The radiation pattern of H-plane

표 1은 각 측정주파수에 따른 E-평면과 H-평면의 방사패턴에 대한 안테나 이득과 3 dB 빔폭의 측정결과를 보여주고 있다.

표 1. 이득과 3 dB 빔폭 측정결과
Table 1. The measurement result of Gain and HPBW

	측정주파수	안테나 이득	3dB 빔폭
E-평면 방사패턴	5.15 [GHz]	13.75 [dB]	36.37 [deg.]
	5.35 [GHz]	13.82 [dB]	30.04 [deg.]
	5.50 [GHz]	13.52 [dB]	37.00 [deg.]
	5.85 [GHz]	13.77 [dB]	36.77 [deg.]
H-평면 방사패턴	5.15 [GHz]	13.60 [dB]	33.88 [deg.]
	5.35 [GHz]	13.23 [dB]	32.74 [deg.]
	5.50 [GHz]	12.91 [dB]	32.23 [deg.]
	5.85 [GHz]	13.54 [dB]	33.67 [deg.]

표 2는 안테나의 초기 설계 스펙에 대하여 시뮬레이션 결과와 측정결과를 비교하여 보여준다.

표 2. 측정결과 비교
Table 2. Comparison of measurement result

	안테나 설계 스펙	시뮬레이션 결과	측정결과
주파수범위	5.150 ~ 5.875[GHz]	5.1343 ~ 6.0149[GHz]	5.110 ~ 6.142 [GHz]
정재파비	≤ 2	≤ 2	≤ 2
방사패턴	Directional	Directional	Directional
이득	≥ 13 dBi	≥ 13 dBi	≥ 13 dBi
반전력 빔폭	≥ 30 deg.	≥ 30 deg.	≥ 30 deg.

논문에서는 5 GHz 대역을 하나의 안테나로 통합하여 사용할 수 있도록 광대역 고이득 안테나를 제작하기 위해 초기의 설계 대역폭을 입력 반사손실 -10 dB 이하의 범위에서 5.150 ~ 5.875 GHz, 안테나 이득은 13 dBi, 그리고 3 dB 빔폭 30° 이상으로 설정하였다.

시뮬레이션 결과 입력 반사손실 -10 dB 이하의 주파수 대역폭은 5.134 ~ 6.014 GHz를 나타내었으며, E-평면과 H-평면의 방사패턴에 대한 안테나의 이득은 13 dBi 이상, 그리고 3 dB 빔폭은 30° 이상이라는 특성을 확인하였다.

이러한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 실제 제작된 안테나의 측정결과 안테나 주파수 대역은 시뮬레이션 결과(5.134 ~ 6.014 GHz)보다 약 120 MHz 정도 더 넓은(5.110 ~ 6.142 GHz) 특성을 나타내었다. 또한 각 측정주파수에서 E-평면과 H-평면의 방사패턴에 대한 안테나의 이득은 13 dBi 이상을 나타내었으며, 3 dB 빔폭은 30° 이상이라는 특성을 나타내었다.

이는 시뮬레이션 과정과는 다르게 방사패치와 접지면 사이의 프로브 길이가 정확히 3 mm 연결되지 못해 공진 패치와 접지면사이의 커플링 그리고 U-Slot의 내부 슬롯 사이에 존재하는 캐패시터 성분과 프로브에 의한 인덕터의 상호 작용에 의해서 시뮬레이션 결과보다 더 높은 주파수 쪽으로 대역폭이 증가되면서 전체적으로 주파수 대역폭이 시뮬레이션 결과보다 더 개선된 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 논문에서는 안테나의 대역폭과 이득을 개선하기 위해서 직사각형 패치에 U-slot을 삽입하여 마이크로스트

립 라인-동축 프로브 급전방식으로 급전시켰으며, 안테나를 2×2 배열 형태로 구현한 5 GHz 대역 광대역 안테나를 설계 제작하였다.

제작된 안테나는 Anritsu 37169A VNA (Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정한 결과 입력 반사손실 VSWR 2:1인 범위가 5.110 GHz ~ 6.142 GHz까지 약 1 GHz라는 광대역 특성을 나타내었다. 또한 5.15 GHz, 5.35 GHz, 5.50 GHz, 5.85 GHz에 대하여 방사패턴을 측정한 결과 E-평면에서는 안테나 이득 13 dBi 이상, 3 dB 빔폭 30° 이상을 나타내었고, H-평면에서는 안테나 이득 13 dBi 이상, 3 dB 빔폭 30° 이상이라는 안테나 특성을 나타내었다.

따라서 본 논문에서 사용한 설계 방식이 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 개선하는데 효과가 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse and D. M. Pozar, "Design of Wide-Band Aperture-Stacked Patch Microstrip Antennas," IEEE Trans. AP. vol 46pp. 1245-1251, Sep. 1998.
- [2] C. L. Lee. B. L. Ooi, and X. D. A. Zhou, "Broadband Air-Filled Staked U-slot Patch Antenna," IEEE Asia Pacific Microwave Conference, vol. 1, pp. 174-177, 1999
- [3] Jeong Il Kim and Young Joong Yoon, "Design of wideband microstrip array antennas using the coupled lines," IEEE Int'l Symposium on Antennas and Propagation, vol. 3, pp. 1410-1413, 2000.
- [4] Rod B. Waterhouse, "Design of Prove-Fed Stacked Patches," IEEE Trans. Antenna and Propagation vol. 47, no.12, pp1780-1784 Dec. 1999.
- [5] N. Herscovici, "A Wide-band single-layer patch antenna", IEEE Trans. Antennas Propagat, vol. 46, pp.471-473. 1998.
- [6] K. L. Wong and W. H. Hsu, "Broadband triangular microstrip antenna with U-shaped slot", Electron Letters, vol. 33, pp 2085-2087, 1997.
- [7] <http://www.rfdh.com>

저자소개



주 성 남(Seong-nam Ju)

2003년 2월: 목포해양대학교 해양
전자통신공학과 (공학사)

2003년 3월 ~현재: 목포해양대학
교 전자통신공학과 (석사과정)

※ 관심분야: J RF 소자 및 마이크로파 회로설계, 안테나
설계



김 갑 기(Kab-ki Kim)

1980년 3월: 광운대학교 통신공
학과 (공학사)

1984년 3월: 건국대학교 대학원
전자공학과 (공학석사)

1998년 3월: 건국대학교 대학원 전자공학원 (공학박사)
2001년 1월~2002년 2월: 뉴욕시립대학 전자공학과 연구
교수

현재 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수

※ 관심분야: 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계, 해상
무선통신, 이동통신, 위성통신