

IEEE 802.11a용 광대역 안테나 설계

Design of Wideband Antenna for IEEE 802.11a

주 성 남 · 김 평 국 · 김 갑 기

Seong-Nam Ju · Pyoung-Gug Kim · Kab-Ki Kim

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11a를 대역을 포함하는 고이득, 광대역 마이크로 스트립 안테나를 설계 및 제작하였다. 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 넓히기 위해, 첫째 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전 방법을 사용하였고, 직사각형 패치에 U-Slot을 삽입하였다. 다음으로 안테나의 이득을 향상시키기 위해 2x2 배열 구조를 이용하였다. 측정 결과 입력 반사 손실 VSWR 2:1인 범위가 약 1 GHz(5.110~6.142 GHz)의 광대역 특성을 나타내었으며, 측정 이득은 E-plane과 H-plane의 5.15 GHz, 5.35 GHz, 5.50 GHz 그리고 5.85 GHz 모두에서 13 dBi 이상 특성을 나타내었다.

Abstract

In this paper, we have designed and fabricated the high gain and wideband microstrip patch antenna including IEEE 802.11a. To widen the bandwidth of microstrip antenna, firstly we have used the microstrip line-coaxial probe feeding method and inserted a U-slot in the rectangular patch. Secondly, to improve the antenna gain, we have used a 2x2 array structure. From the measured results, wideband characteristics of 1 GHz bandwidth(5.110~6.142 GHz) for VSWR<2 was obtained. The measured gain was 13 dBi in both the E-plane and H-plane at the frequency of 5.15 GHz, 5.35 GHz, 5.50 GHz, and 5.85 GHz.

Key words : IEEE 802.11a, U-Slot, Microstrip Line-Coaxial Probe Feed, E-plane, H-plane, Wideband Antenna, Array Antenna

I. 서 론

무선 통신이 급속도로 발달함에 따라서 하나의 통신 장비로 여러 가지 통신 서비스를 제공받을 수 있는 통신 장비의 개발과 이것을 뒷받침하기 위한 이중 대역 혹은 광대역에서 동작할 수 있는 안테나 개발이 요구되고 있다^[1].

휴대용 단말기 및 무선 랜 시스템에서 사용되는 내장형 안테나에는 부피가 작고, 제작이 간편하며, MMIC 설계에 적합한 마이크로스트립 안테나가 주로 사용된다^[2]. 하지만 대역폭이 좁다는 단점을 가지고 있기 때문에 이를 개선하기 위해 최근 들어 낮은

유전체 기판을 사용^[3]하거나 적층 구조 방식^[4] 및 급전 방식의 변화^[5] 그리고 방사 패치에 여러 가지 형태의 Slot을 삽입^[6] 등의 방법을 사용하는 광대역화 기법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

따라서 본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 좁은 대역폭 문제를 개선하여 IEEE 802.11a의 표준 규격을 모두 포함할 수 있는 5 GHz 대역 광대역, 고이득 안테나를 설계 제작하고자 한다.

안테나의 대역폭을 개선하기 위해서 첫 번째 프로브 급전 방식보다 대역폭이 넓으며 개구 결합 급전 방식보다 제작상의 오차를 줄일 수 있는 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전 방식으로 급전하였으

목포해양대학교 해양전자통신공학부(Department of Maritime Electronic and Communication Engineering, Mokpo Maritime University)

· 논문 번호 : 20060220-010

· 수정완료일자 : 2006년 5월 9일

며, 직사각형 패치에 U-슬롯을 추가하여 이중 공진 효과를 이용하였다. 또한 안테나의 이득을 개선하기 위해서 2x2 배열 구조로 안테나를 최종 설계하였다.

II. 안테나 설계 이론

2-1 U-슬롯 패치 이론

마이크로스트립 패치 안테나의 단점인 협대역 특성을 개선하기 위하여 최근에 방사 패치에 슬롯을 삽입하는 방법이 이용되고 있다. U-슬롯 안테나는 방사 패치 내에 U자형 슬롯을 파낸 구조로서 U-슬롯 자체의 공진과 사각형 패치의 공진 특성이 서로 결합하여 광대역 특성을 나타내며, 또한 슬롯에 의한 캐패시터 성분은 프로브에 의한 인덕턴스 성분의 보상으로 대역폭 확장이 이루어지게 된다.

그림 1은 U-슬롯 안테나의 기본 구조이다.

마이크로스트립 안테나의 공진 패치에 적용되는 U-슬롯의 기능을 보면 길이 방향의 슬롯은 기본 모드의 전류 분포를 변화시킴으로서 인접 주파수에서 공진을 만들어 대역폭을 넓히게 된다. 이럴 경우의 도하지 않은 폭 방향의 전류 흐름이 생겨 교차 편파를 증가시키는데 이러한 영향을 최소화하기 위해서 폭 방향의 슬롯을 만들어 주게 된다^{[7],[8]}.

그림 1의 공진 패치를 보면 일반적인 U-슬롯 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 공진

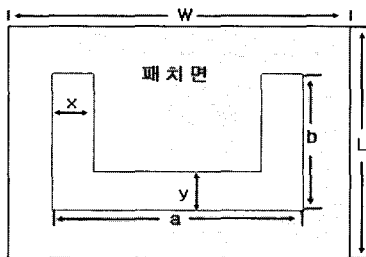


그림 1. U-슬롯 패치 구조
Fig. 1. The geometry of U-slot patch.

표 1. U-슬롯 패치 파라미터
Table 1. Parameter of U-slot patch.

W	Width of Patch	x	Width of Slot b
L	Length of Patch	y	Width of Slot a
a	Slot-Length in the direction of W	t	Thickness of the conductor (0.5 mm)
b	Slot-Length in the direction of L	h	Height of the Air (3 mm)

주파수를 합치기 위한 U-슬롯의 변형이 필요하다. 따라서 최적의 U-슬롯 패치 안테나를 설계하기 위한 각 변수를 표 1과 같이 결정하였다.

U-슬롯 단일 패치 안테나 설계 변수들 a 와 b , 그리고 x, y, h 의 길이 변화에 따른 시뮬레이션 결과를 고찰하였다.

그림 2에서 a 가 증가함에 따라서 대역폭이 감소하고, 반사 손실 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 또한 그림 3에서 b 가 감소하면 대역폭이 줄어들어 공진 주파수가 하나가 되고 b 의 길이가 증가하면 또 다른 공진 주파수가 생기게 되는데 일정 범위를 벗어나면 여전히 반사 손실은 좋아지지만 공진 주파수가 다시 하나가 된다. 따라서 a, b 는 안테나 특성에 영향을 미치는 중요한 변수임을 알 수 있다.

그림 4부터 그림 6은 x, y, h 변수의 변화에 따른 결과로서 x 는 안테나 특성에 별로 영향을 미치지 않지만 y 와 h 는 안테나의 특성에 영향을 미치는 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있다.

위의 변수들의 결과를 토대로 광대역 특성을 얻

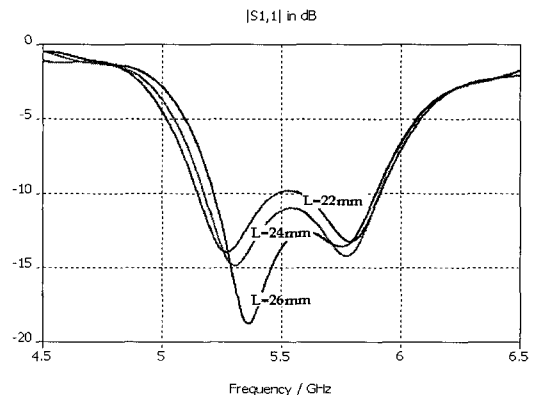


그림 2. (a)에 따른 S_{11} 변화
Fig. 2. The variation of S_{11} in terms of (a).

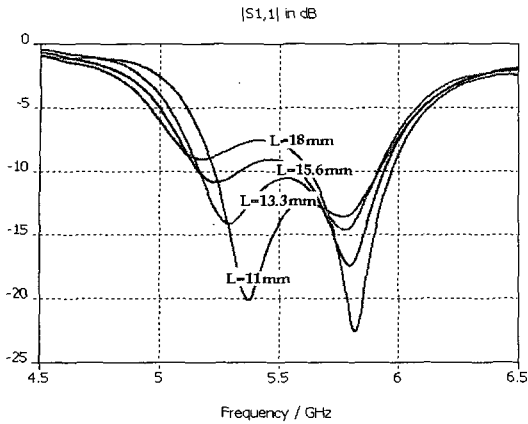


그림 3. (b)에 따른 S_{11} 변화
 Fig. 3. The variation of S_{11} in terms of (b).

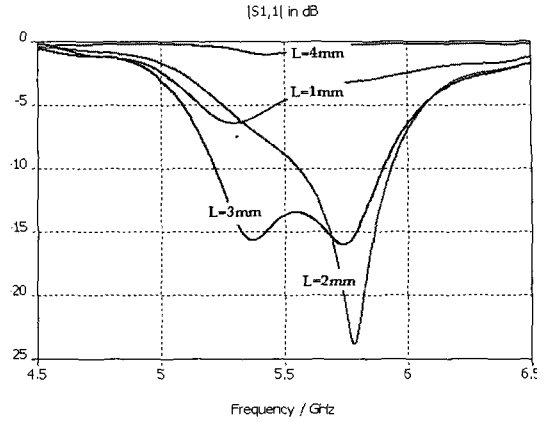


그림 6. (h)에 따른 S_{11} 변화
 Fig. 6. The variation of S_{11} in terms of (h).

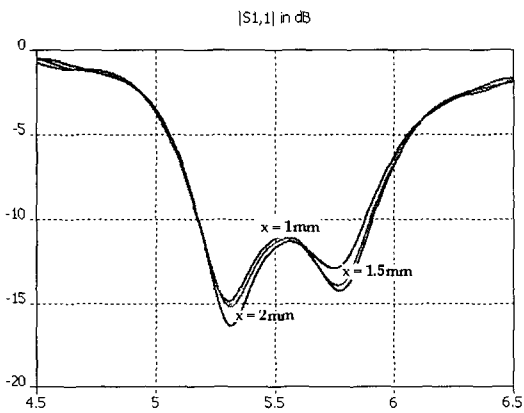


그림 4. (x)에 따른 S_{11} 변화
 Fig. 4. The variation of S_{11} in terms of (x).

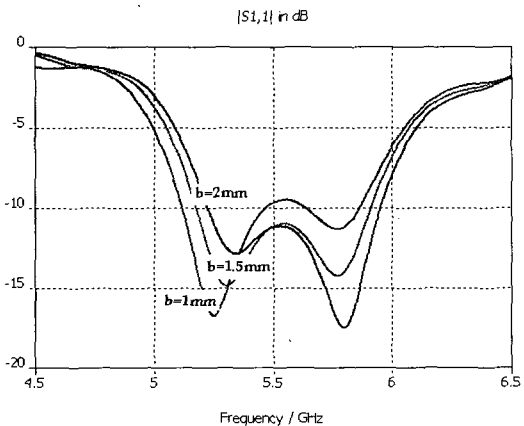


그림 5. (y)에 따른 S_{11} 변화
 Fig. 5. The variation of S_{11} in terms of (y).

기 위해서 최적화된 단일 U-슬롯 패치는 전체 직사각형 공진 패치의 크기 $W=30$ mm, $L=24.3$ mm에서 $a=22$ mm, $b=19$ mm, $x=y=2$ mm가 되었다.

본 논문에서는 광대역 특성을 얻기 위해서 방사 패치에 동일한 전력을 공급할 수 있도록 급전 회로를 마이크로스트립 라인으로 구성하였으며 접지면과 방사 패치의 간격을 공기층 3 mm의 두께로 분리하고, 프로브를 통하여 급전하였다.

2-2 급전 회로 설계

마이크로스트립 안테나의 급전 방식인 마이크로스트립 급전은 공진 패치에 비해서 폭이 매우 좁고, 기판의 두께가 증가함에 따라서 표면파와 기생 급전 방사가 증가하여 실제 설계보다 대역폭이 좁다. 또한 동축 프로브 급전은 제작과 정합이 용이하지만 대역폭이 역시 좁으며, 모델링하기가 어렵고, 각 방사 패치를 배열 구조로 구성하기가 힘들다.

그러나 본 논문에서 사용한 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전 방식은 프로브 급전 방식에 비해 넓은 광대역 특성을 가지며, 동시에 공진 패치의 크기를 줄일 수 있다. 또한 마이크로스트립 라인을 이용함으로써, 프로브 안테나의 배열 구조 구현의 어려움을 해결하고, 배열 안테나로 설계가 가능하다.

그림 7은 본 논문에서 사용하는 급전 회로의 기본 구조를 보여주고 있다.

마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전 방식에서는 광대역 특성을 얻기 위해 접지면과 방사 패치의

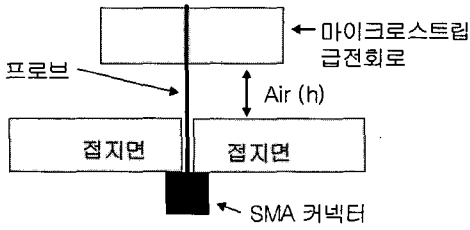


그림 7. 급전 구조
Fig. 7. Structure of feed.

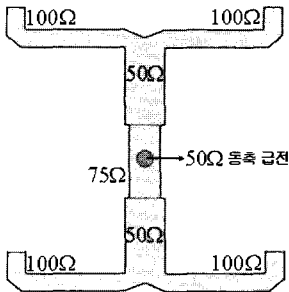


그림 8. 급전선 설계
Fig. 8. Design of feed line.

간격을 유전율이 1인 공기층 3 mm의 두께로 분리하고, 방사 패치에 동일한 전력을 공급할 수 있도록 구성되어진 급전 회로를 마이크로스트립 라인으로 구성하며, SMA 형태의 커넥터를 접지면 하단에 연결하여 급전하게 된다.

또한 2x2 배열 안테나의 급전 회로의 구성은 상호 결합을 줄이고 주어진 소자 개수에서 최대 이득을 얻으며 급전선 간의 충분한 공간을 확보하고자 $\lambda/2$ 이상 되도록 선택하는데, 방사 패치간의 상호 결합을 고려하여 약 0.76λ 간격으로 균일 분포 형태로 하였다. 그림 8에서처럼 중앙의 50 Ω 급전 점에서 75 Ω의 $\lambda/4$ 임피던스 변환기를 통해서 50 Ω 전력 분배기와 결합되고, 양쪽 100 Ω 급전선으로 각 방사 패치 안테나에 전력을 공급하여 안테나를 여기시킨다.

III. U-슬롯 2x2 배열 안테나 설계

기존 IEEE 802.11a의 표준 규격(가. 5.15~5.25 GHz, 나. 5.25~5.35 GHz, 다. 5.725~5.875 GHz)은 5 GHz 대역의 주파수를 이용하여 최대 통신 속도 54 Mbps를 가지며 무선 랜 전용 대역이기 때문에 2.4 GHz대처럼 다른 기기의 영향을 받지 않는 이점이

표 2. 안테나 설계 사양
Table 2. Specification of patch antenna.

	U-Slot 2x2 Array Antenna
Frequency Range	5.150~5.875 [GHz]
V · S · W · R	≤ 2
Input - Impedance	50 [Ω]
Radiation Pattern	Directional
Antenna Gain	≥ 13 [dBi]
Half Power Beam Width	≥ 30 [deg.]

있다^[8]. 따라서 본 논문에서 기존 IEEE 802.11a의 표준 규격을 하나로 통합할 수 있는 고 이득의 광대역 안테나를 설계하기 위해서 다음과 같은 설계 사양을 결정하였다.

표 2는 본 논문에서 제작하고자 하는 안테나 설계 스펙을 보여준다.

그림 9는 본 논문에서 제안한 U-슬롯 패치를 이용

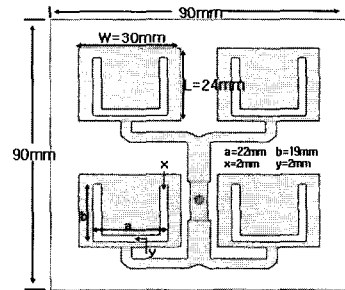


그림 9. U-슬롯 배열 안테나
Fig. 9. The antenna of U-slot array.

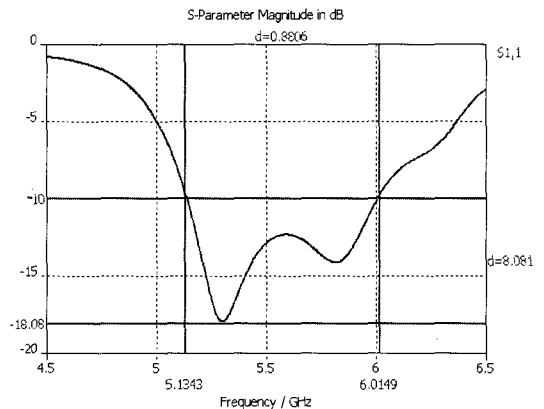


그림 10. 시뮬레이션 반사 손실
Fig. 10. The simulated return-loss.

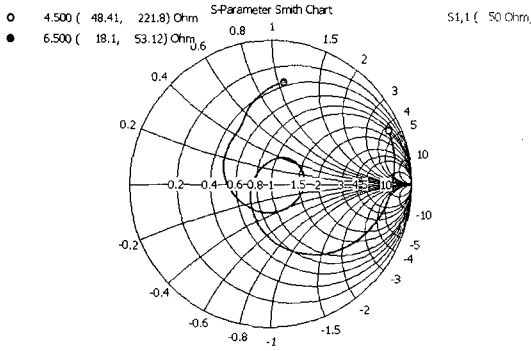


그림 11. 시뮬레이션 입력 임피던스
Fig. 11. The simulated input impedance.

한 2x2 배열 안테나의 최적 설계된 구조를 보여주며, 그림 10과 그림 11은 최적화된 U-슬롯 2x2 패치 안테나의 시뮬레이션 결과를 보여준다.

설계는 CST사의 Microwave Studio로 하였으며, 설계된 안테나에서 반사 손실 -10 dB(VSWR 2:1)가 되는 대역폭은 5.1343 GHz~6.0149 GHz까지 약 880 MHz 정도임을 알 수 있었다. 또한 그림 11에서와 같은 입력 임피던스 궤적을 갖는다.

IV. 제작 및 측정 결과 분석

시뮬레이션에 의해 최적으로 설계되어진 5 GHz 대역 무선랜 용 광대역 U-슬롯 2x2 배열 마이크로스트립 패치 안테나는 제작 비용이 저렴한 프레스물 기법을 사용하여 제작하였으며 공기층에 의해 분리되어진 방사 패치와 접지면을 연결하는 프로브 및 방사 패치의 유동에 의한 안테나 파손을 막기 위해서 비유전체 봉을 사용하여 고정하였다. 제작된 안테나를 Anritsu 37169A VNA(vector network analyzer)를 사용한 측정 장치 배치 사진, 그리고 측정 결과를 그림 12와 그림 13에서 보여주고 있다.

그림 13에서 보여주는 것과 같이 4.50 GHz~6.50 GHz까지의 주파수 범위에서 입력 반사 손실이 -10 dB 이하(VSWR=2:1)인 범위가 5.110 GHz~6.142 GHz 까지 약 1 GHz라는 광대역 특성을 나타냄을 알 수 있었다.

그림 14와 그림 15는 제작된 안테나의 방사 패턴을 통한 이득 측정 결과를 보여주고 있다.

측정 결과 E-평면과 H-평면에 대하여 5.15 GHz,

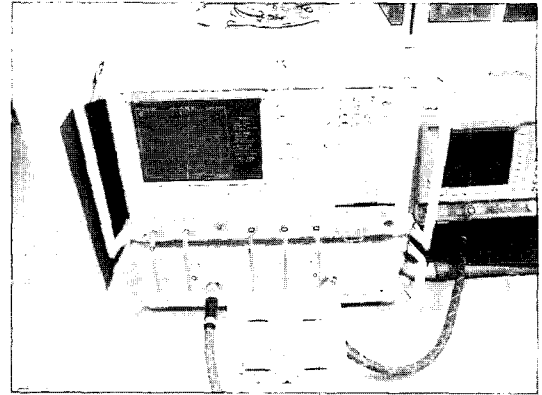


그림 12. 측정 장치 사진
Fig. 12. Photograph of test equipments.

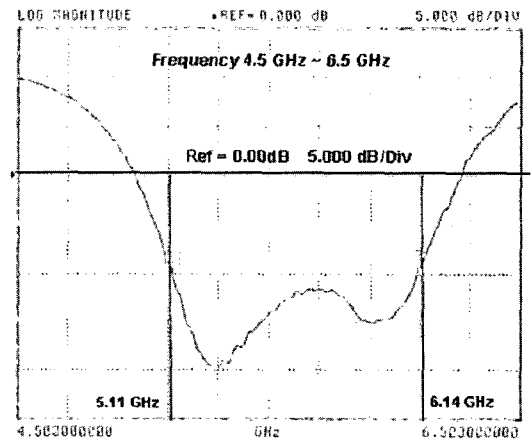


그림 13. 반사 손실 측정
Fig. 13. The measured return-loss.

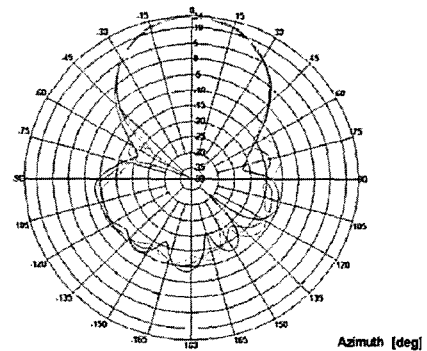


그림 14. E-평면 방사 패턴
Fig. 14. The radiation pattern of E-plane.

5.35 GHz, 5.50 GHz, 5.85 GHz에서의 방사 패턴은 전

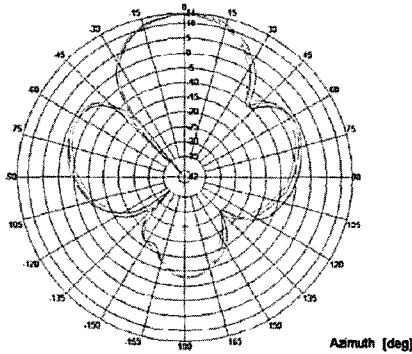


그림 15. H-평면 방사 패턴
Fig. 15. The radiation pattern of H-plane.

표 3. 이득과 3 dB 빔 폭 측정 결과
Table 3. Measurement result of gain and HPBW.

	Measurement Frequency	Antenna gain [dB]	Half Power Beam Width [deg.]
Radiation Pattern of E-plane	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.]
Radiation Pattern of H-plane	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.]

체적으로 13 dBi 이상의 이득 값을 나타내었다. E-평면과 H-평면의 방사 특성을 살펴보면 E-평면 방사 패턴의 주빔은 약 4°, 그리고 H-평면의 주빔은 약 3° 정도 틀어졌다.

표 3은 위의 측정 주파수에 대한 E-평면과 H-평면의 이득 및 3 dB 빔폭에 대한 측정 결과를 표로 보여주고 있다.

최종적으로 안테나 시뮬레이션 결과와 제작된 안테나의 측정 결과를 비교 분석한 결과를 표 4에서 보여주고 있다.

시뮬레이션 결과 입력 반사 손실 -10 dB 이하의 주파수 대역폭은 5.134~6.014 GHz, 안테나 이득 13 dBi, 그리고 3 dB 빔 폭은 30° 이상이라는 특성을 확인하였다.

표 4의 시뮬레이션 결과를 토대로 안테나를 제작

표 4. 측정 결과 비교
Table 4. Comparison of measurement result.

	Simulation Result	Measurement Result
Frequency Range	5.1343~6.0149 [GHz]	5.110~6.142 [GHz]
V · S · W · R	≤ 2	≤ 2
Radiation Pattern	Directional	Directional
Gain	≥ 13 dBi	≥ 13 dBi
Half Power Beam Width	≥ 30 deg.	≥ 30 deg.

하여 측정한 결과 안테나 주파수 대역은 시뮬레이션 결과보다 약 120 MHz 정도 더 넓은 특성을 나타내었다. 또한 각 측정 주파수에 따른 방사 패턴에 대한 E-평면과 H-평면에 대한 안테나의 이득은 전반적으로 13 dBi 이상 그리고 3 dB 빔폭은 30° 이상이라는 특성을 나타내었다.

이는 시뮬레이션 과정과는 다르게 방사 패치와 접지면 사이의 프로브 길이가 정확히 3 mm로 연결되지 못해 공진 패치와 접지면 사이의 커플링 그리고 U-슬롯 내부에 의해 발생하는 캐패시터 성분과 프로브에 의한 인덕터의 상호 작용에 의해 시뮬레이션 결과보다 더 높은 주파수 쪽으로 대역폭이 증가되면서 전체적으로 주파수 대역폭이 확장된 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 안테나의 대역폭과 이득을 개선하기 위해서 마이크로스트립 라인-동축 프로브 급전 방식으로 급전시켰으며, 직사각형 패치에 U-슬롯을 삽입하여 다시 한 번 대역 특성을 개선하였고, 안테나를 2x2 배열 형태로 구현하였다.

제작된 안테나의 측정 결과 입력 반사 손실 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 대한 방사 패턴을 측정한 결과 E-평면과 H-평면에서 안테나 이득 13 dBi 이상, 그리고 3 dB 빔폭은 30° 이상이라는 안테나 특성을 나타내었다.

따라서 본 논문에서 사용한 설계 방식이 마이크

로스트립 안테나의 대역폭을 개선하는데 효과가 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 이행렬, 김일권, 육종관, 박한규, "폭이 넓은 평면 슬롯 안테나의 광대역 특성", 한국전자과학기술논문지, 14(3), pp. 260-277, 2003년 3월.
- [2] D. M. Pozar, "Microstrip antennas", *Proc. IEEE*, vol. 80, pp. 79-91, Jan. 1992.
- [3] J. R. James, P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antenna*, London : Peter Peregrinus, 1989.
- [4] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse, "An aperture coupled stacked patch antenna with 50 % bandwidth", *IEEE AP-S. Baltimore*, Maryland, pp. 18-21, Jul. 1996.
- [5] Naftall Herscovici, "A wide-band single-layer patch antenna", *IEEE AP-S, Atlanta*, Georgia, pp. 1108-1111, Jun. 1998.
- [6] K. F. Lee, K. M. Luk, F. Tong, S. M. Shum, T. Huynh, and R. O. Lee, "Experimental and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna", *IEEE Proc*, vol. 144, pp. 354-358, Oct. 1997.
- [7] 유명완, 이범선, "개구 결합 급전 방식의 Ku 밴드 U 슬롯 마이크로스트립 안테나 설계 및 제작", 한국전자과학기술논문지, 10(4), pp. 636-644, 1999년 8월.
- [8] 전주성, "PCS 기지국용 U-슬롯 어레이 안테나 설계", 한국전자과학기술논문지, 12(1), pp. 117-124, 2001년 1월.
- [9] 김범준, 조기형, 이창재, 최진성, "무선인터넷 표준화 동향 및 향후 전망(IEEE 802 무선 인터넷 표준화 중심)", 한국전자과학기술지 전자과학기술, 15(3), pp. 80-90, 2004년 7월.

주 성 남



2003년 2월: 목포해양대학교 해양 전자통신공학과 (공학사)
 2006년 2월: 목포해양대학교 전자 통신공학과 (공학석사)
 2006년 3월~현재: (주)코마테크 단 말연구소 연구원
 [주 관심분야] 마이크로파 회로설

계, 안테나 설계

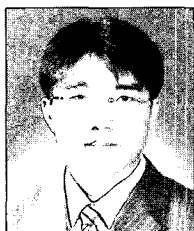
김 갑 기



1980년 3월: 광운대학교 통신공학과 (공학사)
 1984년 3월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
 1998년 3월: 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
 2001년 1월~2002년 2월: 뉴욕시립 대학 전자공학과 연구교수

1975년~현재: 목포해양대학교 해양전자통신공학부 교수
 [주 관심분야] 마이크로파 통신, 초고주파 회로설계, 해상 무선통신, 이동통신, 위성통신

김 평 국



2005년 2월: 목포해양대학교 해양 전자통신공학과 (공학사)
 2005년 3월~현재: 목포해양대학교 전자통신공학과 석사과정
 [주 관심분야] 마이크로파 회로설계, 안테나 설계