

U-형태의 기생 패치를 가지는 U-슬롯 마이크로스트립 안테나

U-slot Microstrip Antenna with U-shaped Parasitic Patches

김지형 · 오동진 · 박익모 · 박용배

Jihyung Kim · Dongjin Oh · Ikmo Park · Yong Bae Park

요 약

본 논문에서는 U-형태의 기생 패치를 가지는 U-슬롯 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. U-슬롯에 의해 발생하는 2개의 공진에 기생 패치에 의한 공진을 추가하여 더 넓은 대역폭을 가지도록 설계하였다. 유전체를 포함한 안테나 복사 소자의 크기는 $64 \times 53 \text{ mm}^2$ 이며, 접지면과 유전체를 포함한 안테나의 전체 크기는 $150 \times 150 \times 11.5 \text{ mm}^3$ 이다. 제안된 안테나는 VSWR<2를 기준으로 1.85~2.40 GHz의 대역폭을 가져 DCS 1900, WCDMA, WiMax 등의 서비스 대역을 모두 만족하도록 설계하였다. 안테나의 복사 특성은 대역폭 내에서 비교적 일정한 형태를 유지하고, 빔 폭은 60° 정도이며, 7 dBi 이상의 이득을 갖는다.

Abstract

In this paper, we propose an U-slot microstrip antenna with the U-shaped parasitic patches. U-slot and parasitic patches make two resonant frequencies and one additional resonant frequency, respectively, so that the impedance bandwidth of the antenna is expanded. The size of radiator part is $64 \times 53 \text{ mm}^2$ and the entire size of the antenna is $150 \times 150 \times 11.5 \text{ mm}^3$. The measured bandwidth is 1.85~2.40 GHz. Thus, our antenna can be used for DCS1900, WCDMA and WiMax services. The radiation characteristic is almost same in the bandwidth, the beam width is about 60° , and the gain is more than 7 dBi.

Key words : Microstrip Antenna, U-Slot, Parasitic Patch

I. 서 론

근래에 이동통신 기술이 급격하게 발달하면서 휴대용 단말기를 통해 TV, 영화 등의 다양한 멀티미디어 서비스를 제공받는 시대가 도래하였다. 현재 휴대용 단말기를 통해 DCS1900(1.85~1.99 GHz), WCDMA(2.11~2.17 GHz), WiMax(2.30~2.39 GHz) 등의 다양한 무선 통신 서비스가 제공되고 있으며, 앞으로도 더 많은 종류의 서비스가 제공될 것이다^[1]. 이러한 다양한 서비스를 제공하기 위해 각각의 서비스 대역을 만족하는 안테나^[2]를 이용하는 것보다 여러 서비스를 동시에 제공할 수 있는 안테나^{[3],[4]}를 이용

하는 것이 비용, 공간, 효율 등의 측면에서 이점을 갖는다. 이를 위해 안테나는 여러 주파수 대역을 모두 포함하는 광대역 특성을 가져야 하며, 원활한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해 높은 이득 특성을 가져야 한다. 한편, 마이크로스트립 안테나는 평면 구조로 제작이 용이하고 비용이 저렴하여 널리 사용되고 있다. 하지만, 일반적인 마이크로스트립 안테나는 협소한 대역폭을 가지므로 다양한 서비스를 제공하기가 어렵다는 문제점이 지적되고 있다^[5]. 따라서, 충분한 이득과 넓은 대역폭을 갖는 마이크로스트립 안테나에 대한 연구가 필요하다.

마이크로스트립 안테나의 대역폭을 확장하기 위

「이 연구는 2008학년도 아주대학교 교내연구비 지원(20083770)에 의하여 이루어졌음.」

아주대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Ajou University)

· 논문 번호 : 20090128-013

· 수정완료일자 : 2009년 4월 14일

하여 유전율이 낮은 기판을 사용하거나 두꺼운 유전체를 사용하는 방법^[6]과 적층 구조를 사용하는 방법^[7] 등이 제안되었다. 그러나 이러한 방법들은 부피와 제작비용이 증가하는 단점을 가지고 있다. 또한, 패치 안테나에 U-슬롯을 삽입하면 이중 공진으로 더 넓은 대역폭을 얻을 수 있지만^{[8]~[11]}, 이 방법으로는 여러 서비스 대역을 모두 만족하기에는 한계가 있다. 최근에 직사각형 패치 안테나에 U-형태의 기생 소자를 삽입하여 기생소자에 의한 공진을 유도하여 대역폭을 확장시킬 수 있었지만, 대역폭이 좁아 여러 서비스 대역을 포함하지는 못하였다^[12].

본 논문에서는 U-형태의 기생 패치를 가지는 U-슬롯 마이크로스트립 안테나를 제안한다. U-슬롯이 삽입된 주 패치에서 발생하는 두 개의 공진과 기생 패치에 의하여 발생하는 하나의 공진을 포함하는 다중공진을 발생시켜 대역폭을 확장시킨다. 또한, 동축 급전을 이용하여 임피던스 정합을 용이하게 하였다. 최적화된 안테나는 VSWR<2 기준으로 측정한 결과, 1.85~2.40 GHz의 대역폭을 가지므로 DCS1900, WC-DMA, WiMax 등의 서비스 대역을 모두 만족한다. 또한, 동작 대역폭 내에서 7 dB이상의 이득과 비교적 일정한 복사 패턴을 유지하므로 증계기용 소형 안테나로 사용하기에 적합하다.

II. 안테나 구조 및 특성

U-형태의 기생 패치를 가지는 U-슬롯 마이크로스트립 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 제안된 안테나는 직사각형 형태의 주 패치와 U-형태의 기생 패치로 구성되어 있다. 주 패치에 U-형태의 슬롯을 형성하였고, 주 패치를 기준으로 좌우 측면에 U-형태의 기생 패치를 삽입하였다. 안테나의 복사부와 접지면 사이에 10 mm 높이의 공기층을 형성하였으며, 접지면은 150×150×0.4 mm³의 크기를 갖는다. 안테나의 복사부와 접지면은 동축 선로로 급전하였다. 주 패치의 U-슬롯에 의해 발생하는 두 개의 공진에 기생 패치의 길이가 한 파장(λ)이 되는 주파수에서 일어나는 공진을 추가하여 광대역 특성을 가지도록 설계하였다. 안테나 설계를 위한 EM 시뮬레이터는 CST사의 Microwave Studio를 사용하였고, 비유전율(ϵ_r)이 3이고 1.524 mm의 두께를 가지는 RO 3003

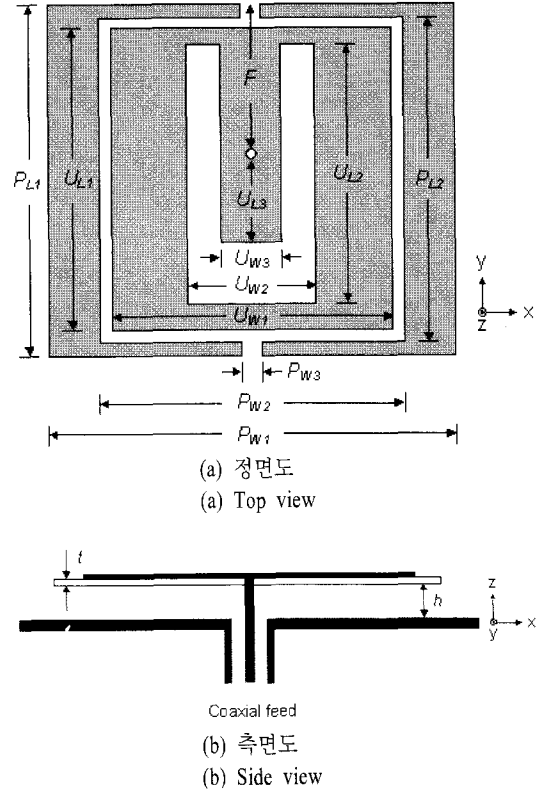


그림 1. 제안한 안테나 구조
Fig. 1. Proposed antenna structure.

기판을 이용하여 안테나를 구현하였다.

그림 2에는 주 패치의 세로 길이(U_{L1})의 변화에 따른 반사 손실 특성 변화를 나타내었다. U_{L1} 이 46 mm에서 47 mm, 48 mm로 증가함에 따라 U-슬롯에 의한 낮은 공진주파수가 1.984 GHz에서 1.922 GHz로 감소하며 임피던스 정합 특성이 향상되었으며, U-슬롯에 의한 높은 공진 주파수는 2.276 GHz에서 2.29 GHz로 증가하였다. 기생 패치에 의한 공진 주파수는 2.406 GHz에서 2.36 GHz로 감소하였다. 이러한 특성 변화로부터 주 패치의 세로 길이인 U_{L1} 이 증가함에 따라서 U-슬롯에 의한 낮은 공진 주파수는 감소하는 반면에 높은 공진 주파수는 증가하므로 안테나의 대역폭은 향상되지만 임피던스 정합 특성은 나빠지는 것을 알 수 있다.

그림 3에서는 급전 부위에서 U-슬롯의 하단까지의 길이(U_{L3}) 변화에 따른 반사 손실 특성 변화를 나타내었다. U_{L3} 을 10 mm에서 12 mm까지 1 mm 간격으로 증가시켜본 결과, U-슬롯의 의한 낮은 쪽 공진

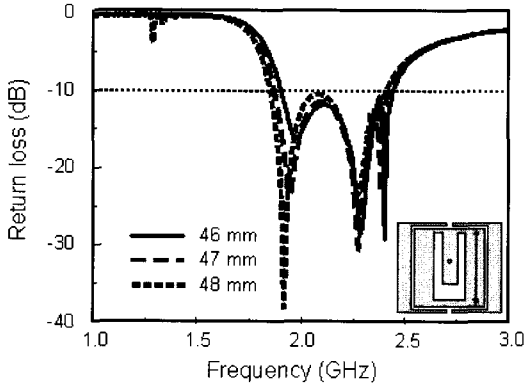


그림 2. U_{L1} 변화에 따른 반사 손실 특성 변화
Fig. 2. Return loss characteristic with respect to U_{L1} variation.

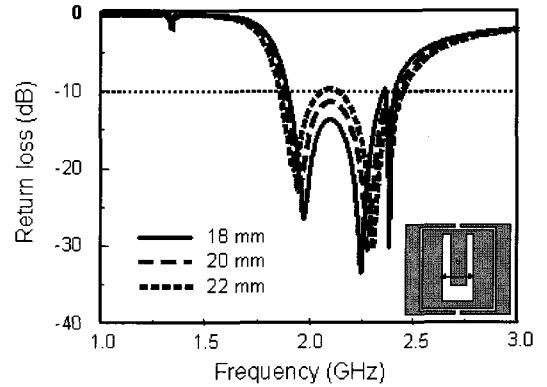


그림 4. U_{W2} 변화에 따른 반사 손실 특성 변화
Fig. 4. Return loss characteristic with respect to U_{W2} variation.

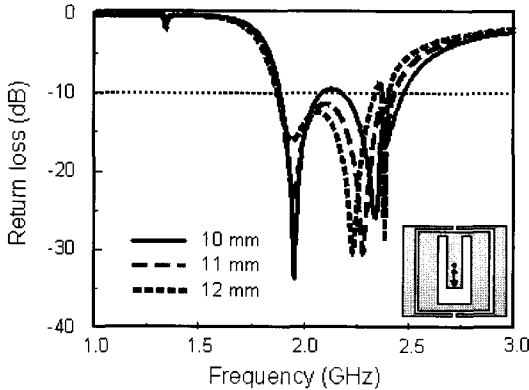


그림 3. U_{L3} 변화에 따른 반사 손실 특성 변화
Fig. 3. Return loss characteristic with respect to U_{L3} variation.

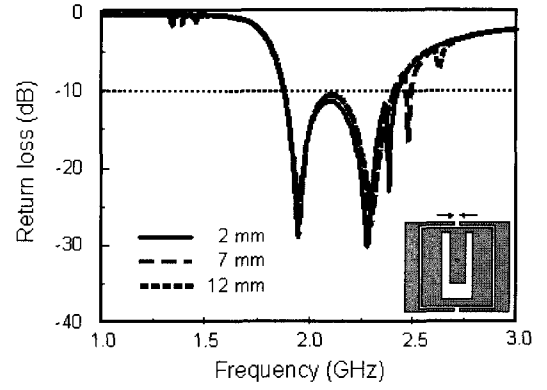


그림 5. P_{W3} 변화에 따른 반사 손실 특성 변화
Fig. 5. Return loss characteristic with respect to P_{W3} variation.

주파수는 1.95 GHz로 거의 일정하였지만 정합이 잘 되지 않음을 알 수 있다. 그리고 높은 쪽 공진 주파수는 길이가 증가함에 따라 2.338 GHz에서 2.28 GHz, 그리고 2.24 GHz로 점차 감소하여 정합 특성은 향상되지만 안테나의 대역폭은 감소하게 된다. 또한, 기생 패치에 의한 공진 주파수는 2.39 GHz로 일정하였지만 길이가 증가함에 따라 정합 특성이 좋아졌다.

그림 4는 U-슬롯의 가로 길이(U_{W2})의 변화에 따른 반사 손실 특성 변화를 나타내었다. 길이 U_{W2} 가 18 mm에서 19 mm, 20 mm로 증가하면서 U-슬롯에 의한 낮은 공진 주파수는 1.972 GHz에서 1.922 GHz로 감소하였고, 높은 공진 주파수는 2.248 GHz에서 2.306 GHz로 증가하였다. 또한, 기생 패치에 의한 공진 주파수는 2.384 GHz로 일정하게 유지되지만 정합

은 잘 되지 않는다.

그림 5에서는 기생 패치 사이의 간격(P_{W3})의 변화에 따른 반사 손실 변화를 나타내었다. 간격 P_{W3} 를 2 mm, 7 mm, 그리고 12 mm로 증가함에 따라 U-슬롯에 의한 공진 주파수는 거의 일정하게 유지되지만, 기생 패치에 의한 공진 주파수는 2.478 GHz에서 2.626 GHz로 증가하였다. 이러한 특성 변화로부터 기생 패치 사이의 간격 변화가 추가 공진 주파수를 형성함을 알 수 있었다. 주 패치의 가로 길이(U_{W1})의 변화에 따른 반사 손실 특성 변화도 이와 유사한 특성을 갖는다.

그림 6에서는 안테나의 복사부와 접지면 사이의 거리(h)의 변화에 따른 반사 손실 변화를 나타내었다. h 를 6 mm에서 10 mm까지 2 mm 간격으로 증가

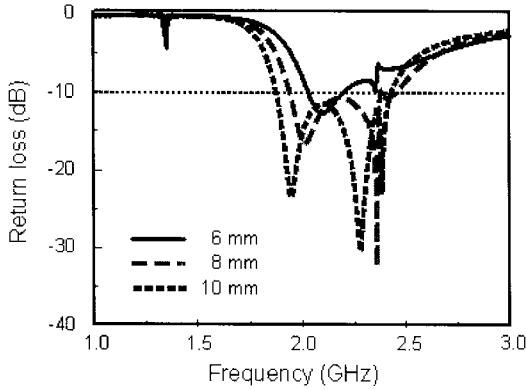


그림 6. h 변화에 따른 반사 손실 특성 변화
 Fig. 6. Return loss characteristic with respect to h variation.

표 1. 최적화 된 설계 변수
 Table 1. Optimized antenna parameters.

	설계 변수	길이(mm)
주 패치 설계 요소	U_{L1}	47
	U_{L2}	43
	U_{L3}	11
	U_{W1}	45
	U_{W2}	20
	U_{W3}	10
	F	28
기생 패치 설계 요소	P_{L1}	53
	P_{L2}	51
	P_{W1}	64
	P_{W2}	49
	P_{W3}	2
기판, 공기층	h	10
	t	1.524

시커본 결과 U-슬롯에 의한 낮은 공진 주파수는 2.1 GHz에서 1.948 GHz로 감소하였으며, 높은 공진 주파수는 2.354 GHz에서 2.28 GHz로 감소하였다. 기생 패치에 의한 공진 주파수는 2.28 GHz에서 2.384 GHz로 증가하였다. 복사부와 접지면 사이의 거리가 커질수록 정합 특성이 향상되는 것을 알 수 있었다. 이러한 특성 변화를 바탕으로 최적화시킨 안테나의 설계 변수는 표 1과 같다.

최적화된 설계 변수를 토대로 제작한 안테나의 사진을 그림 7에 나타내었으며, 안테나의 반사 손실을

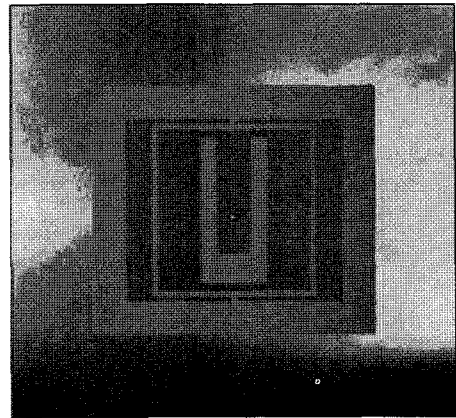


그림 7. 제작된 안테나 사진
 Fig. 7. Photograph of the manufactured antenna.

벡터 네트워크 분석기(vector network analyzer)를 이용하여 측정하였다.

그림 8에는 최적화된 안테나의 시뮬레이션 결과 및 측정된 반사 손실과 기생 패치가 없을 경우의 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 반사 손실의 시뮬레이션 결과와 측정 결과를 각각 점선과 실선으로 나타내었는데, 두 결과가 매우 유사함을 확인할 수 있었다. 최적화된 안테나의 반사 손실을 측정 한 결과, 1.85~2.40 GHz의 대역폭을 가졌다. 측정 한 결과는 시뮬레이션 결과에 비해 낮은 쪽 주파수로 약간 이동한 것을 볼 수 있다. 이는 제작상의 오차 때문에 발생한 것으로 사료된다. 또한, 기생 패치가 없을 경우에 시뮬레이션 한 결과, 1.94~2.39 GHz의 대역폭을 가짐을 확인할 수 있었다. 따라서, 기생 패치가 삽입된 경우 기생 패치가 없을 경우에 비하여 약 100

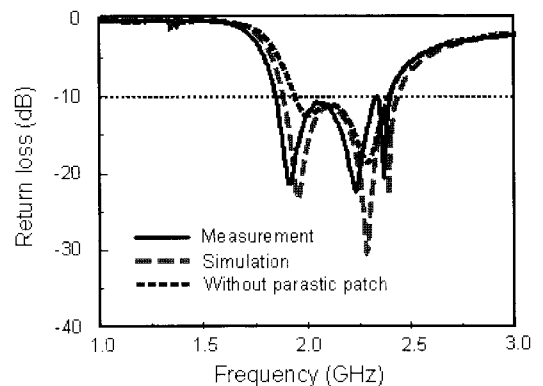


그림 8. 최적화된 안테나의 반사 손실
 Fig. 8. Return loss of the optimized antenna.

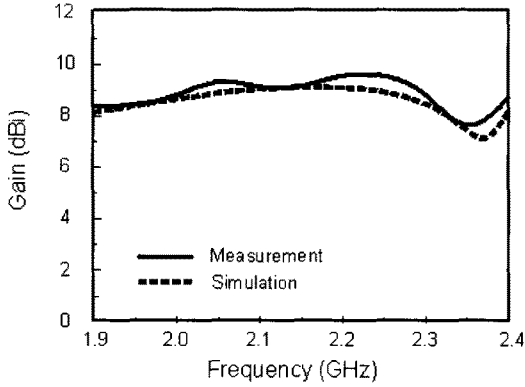
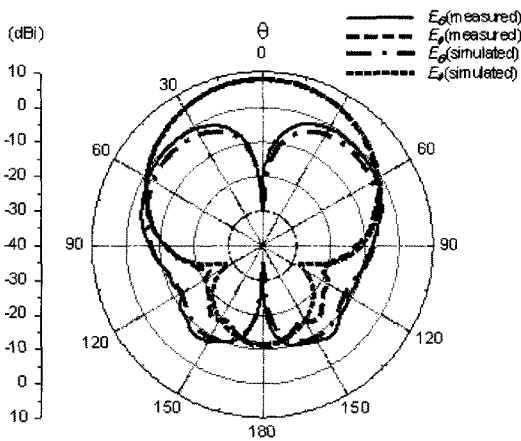


그림 9. 최적화된 안테나의 이득
Fig. 9. Gain of the optimized antenna.

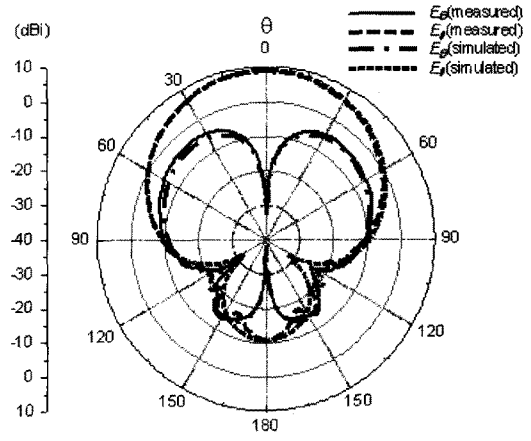
MHz의 대역폭을 추가로 확보할 수 있다.

그림 9에는 주파수의 변화에 따른 안테나의 최대 이득을 나타내었다. 안테나의 이득은 전파 무반사실에서 측정하였으며, 시뮬레이션 결과와 측정 결과가 유사함을 확인할 수 있었다. 측정된 최대 이득은 측정된 동작 대역폭 안에서 9.68~7.03 dBi로 비교적 일정한 이득을 유지하였다.

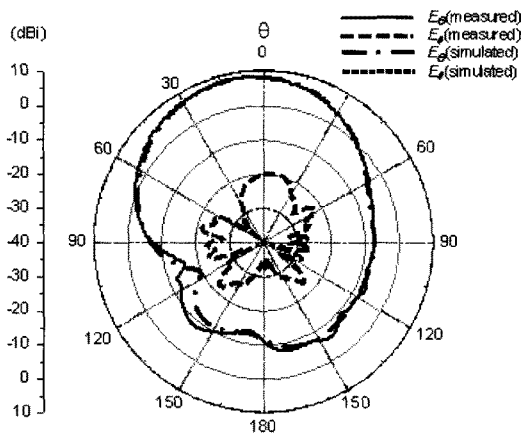
그림 10~12는 1.9 GHz부터 2.3 GHz까지 200 MHz 간격으로 x-z 평면과 y-z 평면에서의 복사 패턴을 나타내었다. U-슬롯으로부터 발생한 공진주파수의 복사 패턴은 z축 방향으로 지향성을 가지며^[9], 1λ 길이의 기생 패치로부터 발생한 공진 주파수의 복사 패



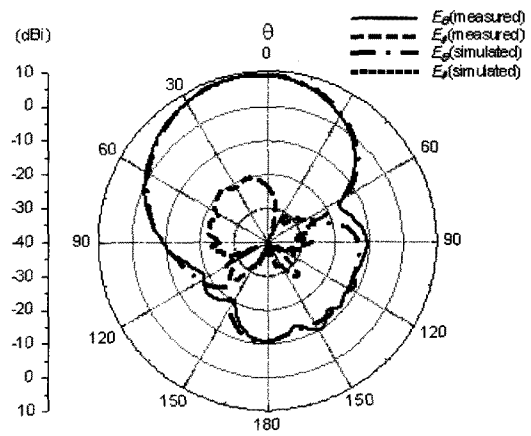
(a) x-z 평면
(a) x-z plane



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



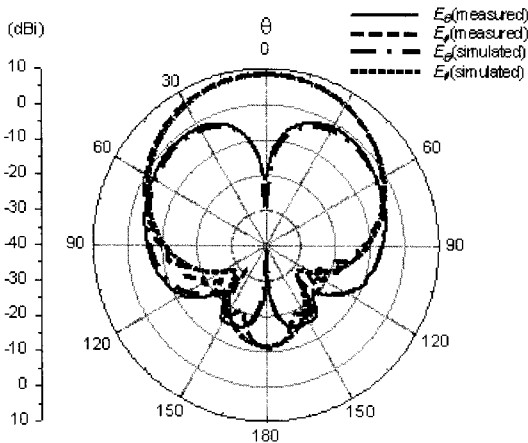
(b) y-z 평면
(b) y-z plane



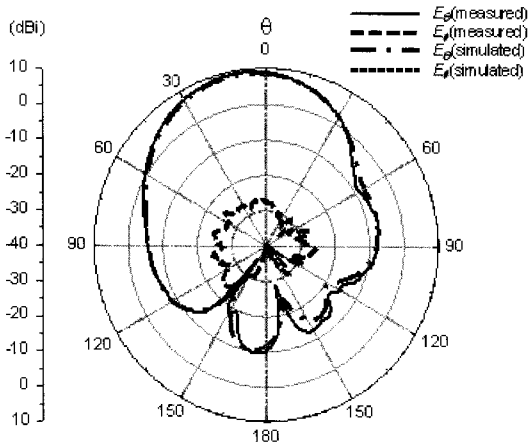
(b) y-z 평면
(b) y-z plane

그림 10. 1.9 GHz에서의 복사 패턴
Fig. 10. Radiation pattern at 1.9 GHz.

그림 11. 2.1 GHz에서의 복사 패턴
Fig. 11. Radiation pattern at 2.1 GHz.



(a) x-z 평면
(a) x-z plane



(b) y-z 평면
(b) y-z plane

그림 12. 2.3 GHz에서의 복사 패턴
Fig. 12. Radiation pattern at 2.3 GHz.

턴도 z축 방향으로 지향성을 가진다. 시뮬레이션 및 측정 결과의 복사 패턴이 거의 유사하며, 각 주파수에서 복사 패턴의 형태가 비교적 일정하게 유지되는 것을 볼 수 있다.

그림 13에 2.384 GHz에서의 전류 밀도 분포를 나타내었다. 제안된 안테나의 표면에 흐르는 전류 밀도는 기생 패치 부분에 강하게 흐르므로 기생 패치에 의하여 추가 공진이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 특성은 U-슬롯에 의하여 발생하는 두 개의 공진에 추가되어 안테나의 대역폭을 넓히는데 기여한다.

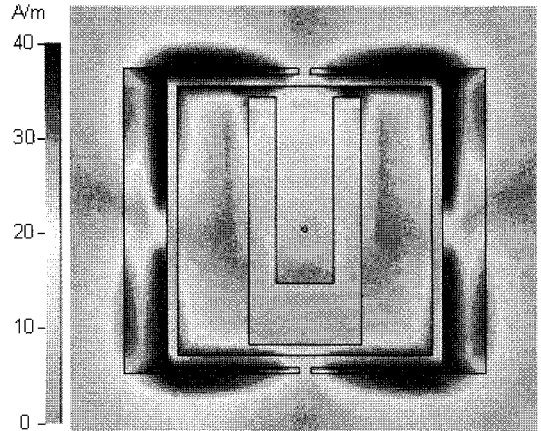


그림 13. 제안된 안테나의 전류 밀도
Fig. 13. Current distribution of the optimized antenna.

III. 결 론

본 논문에서는 U-형태의 기생 패치를 가지는 U-슬롯 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 직사각형 형태의 주 패치에 U-슬롯을 삽입하였고, U-형태의 기생 패치를 좌우에 배치하였다. 안테나의 복사부와 접지면 사이에 10 mm 높이의 공기층을 삽입하였다. 최적화된 기생 패치를 가지는 U-슬롯 마이크로스트립 안테나는 측정 결과 1.85~2.40 GHz 대역폭을 가지고, 동작 대역폭 안에서 이득은 7.03~9.68 dBi로 비교적 일정한 이득을 가졌다. 따라서 제안된 안테나는 DCS1900(1.85~1.99 GHz), WCDMA(2.11~2.17 GHz), WiMax(2.30~2.39 GHz) 등의 다양한 무선 통신 서비스 대역을 모두 포함하므로 다중 대역의 서비스를 제공하는 중계기용 소형 안테나로 사용하기에 적합하다.

참 고 문 헌

- [1] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, 2nd Ed., Prentice Hall, 2003.
- [2] 이진우, 이종철, 윤서용, "WLAN용 소형 광대역 H-모양 마이크로스트립 안테나", 한국전자과학회논문지, 41(3), pp. 15-20, 2004년 3월.
- [3] 김태우, 최재훈, "PCS/IMT-2000 기지국용 광대역 마이크로스트립 배열 안테나", 한국통신학회논문지, 26(11B), pp. 1620-1627, 2001년 11월.

[4] 오경진, 김봉준, 최재훈, "셀룰러/PCS/IMT-2000 기지국용 다중대역 평판 안테나 설계 및 구현", 한국전자과학회논문지, 15(8), pp. 781-787, 2004년 8월.

[5] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, 2nd Ed., Wiley, 1997.

[6] D. H. Schaubert, D. M. Pozar, and A. Adrian, "Effect of microstrip antenna substrate thickness and permittivity: comparison of theories with experiment", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 37, pp. 677-682, Jun. 1989.

[7] F. Croq, D. M. Pozar, "Millimeter-wave design of wide-band aperture-coupled stacked microstrip antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 39, pp. 1770-1776, Dec. 1991.

[8] G. Kummar, K. P. Ray, *Broadband Microstrip Antennas*, Artech House Publishers, 2002.

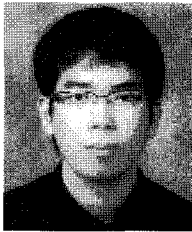
[9] K. F. Tong, K. M. Luk, K. F. Lee, and R. Q. Lee, "A broad-band U-slot rectangular patch antenna on a microwave substrate", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 48, pp. 954-960, Jun. 2000.

[10] 윤중환, 정계택, 최현규, 광경섭, "5.25 GHz 대역 무선 LAN 다중 U 슬롯 모양의 마이크로스트립 안테나 설계 및 제작", 한국통신학회논문지, 28(6A), pp. 414-424, 2003년 6월.

[11] K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, Y. L. Yung, and T. Huynh, "Experimental study of a two-element array of U-slot patches", *IEEE Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 418-420, Feb. 1996.

[12] S. H. Wi, Y. S. Lee, and J. G. Yook, "Wideband microstrip patch antenna with U-shaped parasitic elements", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 55, pp. 1196-1199, Apr. 2007.

김 지 형



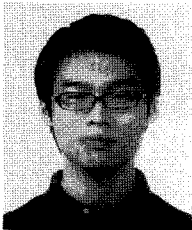
2009년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 2009년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전자장 해석, 전자파 산란, 안테나 설계

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)
 1989년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
 1994년: 일리노이대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
 1994년~1996년: LG전자기술원
 1996년~현재: 아주대학교 전자공학부 교수
 [주 관심분야] 초고주파 및 테라헤르츠파 수동소자(안테나 포함) 설계 및 해석

오 동 진



2009년 2월: 아주대학교 전자공학과 (공학사)
 2009년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 집적회로 설계, 안테나 설계

박 용 배



1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 2003년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 2003년 2월~2006년 8월: KT 인프라연구소 선임연구원
 2006년 9월~현재: 아주대학교 전자공학부 조교수
 [주 관심분야] 전자장 해석, 전자파 산란, EMI/EMC