

소형 고 격리도 듀얼 밴드 MIMO 안테나

Compact Dual-Band MIMO Antenna with High Isolation Performance

염인수 · 정창원

Insu Yeom · Chang Won Jung

요약

본 논문에서는 PMP에 적용 가능한 소형의 듀얼 밴드(IEEE 802.11b: 2.4~2.5 GHz, 11a: 5.15~5.825 GHz) 이중 대역 MIMO 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 2 GHz 대역에서 동작하는 PIFA(평면형 역 F형 안테나)와 5 GHz 대역에서 동작하는 루프(loop) 안테나로 구성되었다. 두 포트의 안테나는 각각 PIFA와 루프로 구성되어 있으며, 상호 간의 격리도(isolation)를 높이기 위하여 편파 방향과 최대 방사 방향이 서로 수직이 되도록 그라운드 가장자리에 직교(orthogonal) 구조로 배치하였다. 또한, 상관도(correlation) 저감과 더욱 높은 격리도를 얻기 위해, 2 GHz 동작 주파수 대역에서 두 포트의 PIFA가 $\lambda_g/4$ 길이의 선(connecting line)으로 연결되어 있으며, 5 GHz 동작 주파수 대역에서는 그라운드 뒷면에 두 루프 안테나 사이를 연결하는 사다리꼴의 평면(connecting plane)을 이용하였다. 듀얼 밴드 MIMO 안테나는 WLAN 대역에서 충분한 이득을 가지며, PMP(Portable Media Player)에 적용 가능한 소형의 안테나로 설계되었다.

Abstract

A compact dual-band(IEEE 802.11b: 2.4~2.5 GHz, 11a: 5.15~5.825 GHz) 2-channel MIMO antenna for PMP applications is presented. The proposed antenna is composed of a planar inverted F-shape antenna(PIFA) operating at 2 GHz band and a loop antenna operating at 5 GHz band. The proposed antenna is orthogonally arranged at the edge of the ground plane for polarization and pattern diversities with excellent isolation characteristics. The two PIFA antennas operating 2 GHz have connecting line($\lambda_g/4$) face to the feed point for high isolation and low correlation at 2 GHz band. The two loop antennas connected each other in the bottom side to improve the isolation at 5 GHz band. The proposed antenna has a sufficient gain in WLAN service band and is compact sized for the portable media player (PMP) applications.

Key words : MIMO Antenna, High Isolation, Dual Band, Composed Loop and PIFA Antenna, WLAN

I. 서론

MIMO(Multiple Input Multiple Output) 시스템은 무선 통신 환경에서 가장 전망 있는 기술 중에 하나이다. 일반적으로 MIMO 시스템은 채널 용량과 신뢰성 측면에서 SISO(Single Input Single Output)보다 장점을 가지고 있다^[1]. 멀티미디어 서비스에 대한 요구가

급증함에 따라 이동 통신 시스템은 신뢰성 있는 고속의 데이터를 전송하도록 요구되고 있다. 제한된 대역폭과 전력을 이용하는 무선 채널을 통해서 고속의 데이터 전송이 가능하려면 용량의 증가가 필수적이다. 무선 통신 환경은 페이딩, 음영 효과, 전파 감쇠 및 간섭 등에 의해 수신 신호의 신뢰성이 크게 저하된다. 따라서, 고속의 데이터 통신이 가능하기 위해

「이 논문은 2010년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2010-0003086).」

서울산업대학교 NID 융합기술대학원(Graduate School of NID Fusion Technology, Seoul National University of Technology)

· 논문 번호 : 20100604-03S

· 교신저자 : 정창원(e-mail : changwoj@snut.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 8월 11일

서는 이러한 무선 채널 특성을 극복하거나 그 성질을 이용하기 위한 대안이 필요하며, 이러한 필요성에 따라 제안된 MIMO 기술에 적합한 다양한 MIMO 안테나 기술이 연구되고 있다^{[2]~[7]}. 그라운드 표면에 존재하는 상호 간의 전류와 안테나 사이의 커플링(coupling)은 안테나 사이의 높은 격리도(isolation)를 형성하기 어렵게 만든다. 이러한 상호 간의 간섭은 안테나 사이의 포락선 상관도(envelope correlation)를 증가시키며, 방사 효율을 또한 감소시킨다. 두 안테나 사이의 커플링(coupling)을 최소화하기 위해서 두 안테나 간의 간격을 동작 주파수의 반파장 이상을 유지해야 한다^[2]. 그러나 이 경우 사용 모바일의 제한된 공간 때문에 실제 제품화에 적용하기 어려운 단점이 있다.

최근 스트립 공명기(strip resonators)와 그라운드 벽과 같은 상당한 크기의 구조물들이 안테나 상호 간의 간섭을 줄이고, 격리도(isolation)를 향상시키기 위해서 사용되어지고 있다^{[3],[4]}. 그러나 이 경우, 많은 공간과 추가적인 구조물을 필요로 한다. 또한, 안테나 사이의 연결선과 크로스 바(crossbar)를 이용한 방법들이 소개되어지고 있다^{[5],[6]}. 그러나 이러한 방법은 오직 급전에서만 상호 간섭을 줄이고, 독립적인 편파와 방사 패턴을 형성하지 못한다. 또한, 보상 구조의 면을 사용한 안테나들이 고려되어지고 있다^[7]. 그러나 이 경우 S-parameters(S_{11} 과 S_{12})의 결과가 서로 상이하며, 동작 주파수에서 격리도가 다른 주파수 대역보다 낮은 값을 보인다.

본 논문에서는 PMP(i-station U43, Digital-Cube) 상에서 고 격리도(isolation)를 보여주는 소형의 듀얼 밴드(IEEE 802.11a/b) MIMO 안테나를 소개하였다. 고 격리도는 수직적으로 배열된 구조에 의해 형성되어진다. 더욱이 두 포트 사이를 연결한 라인은 2 GHz 대역에서 안테나 간의 격리도를 향상시킨다. 또한, 5 GHz 대역(IEEE 802.11a)에서의 격리도를 더욱 향상시키기 위해서 사다리꼴 모양의 면을 이용하여 그라운드 뒷면상에 두 루프 안테나 사이를 연결하였다. 제안된 안테나의 구조는 방사 패턴과 편파 다이버시티를 동시에 향상시킨다. 제안된 소형의 안테나는 MIMO 무선 통신 시스템에 필요한 우수한 독립 특성을 형성할 뿐 아니라, 높은 이득의 방사 패턴 특성을 보여 준다.

II. 안테나 구성과 설계

그림 1은 제안된 안테나의 구조를 보여 준다. 그림 1(a)는 안테나의 윗면, 그림 1(b)는 안테나의 뒷면을 보여 준다. 기판은 상대 유전율(ϵ_r) 4.4, $\tan \delta$ 0.02 인 FR-4를 사용하였다. 두께는 1 mm이다. 또한 기판의 크기는 $126 \times 71 \text{ mm}^2$ 이며, 제안된 두 MIMO 안테나의

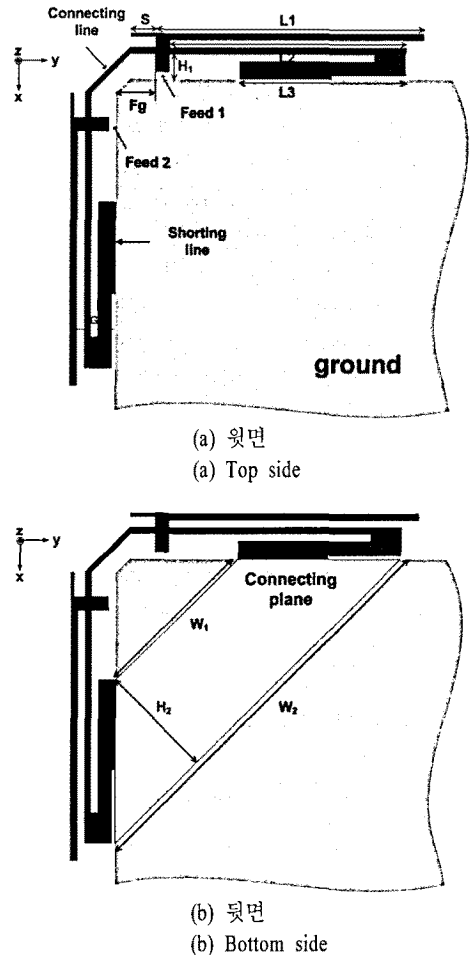


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of the proposed antenna.

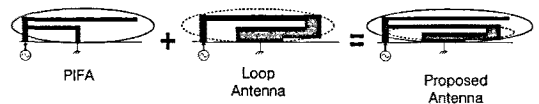


그림 2. 제안된 안테나의 PIFA/loop 결합 구조
Fig. 2. The PIFA/loop-combination structure of the proposed antenna.

표 1. 안테나의 최적화된 크기

Table. 1. The optimized size of the proposed antenna.

분류	단위(mm)	분류	단위(mm)
L_1	18.45 ($1/4 \lambda @ 2.4 \text{ GHz}$)	G(gap)	0.6
L_2	17.15	H_2	8.5
L_3	12	W_1	12.7
H_1	1.8	W_2	29.7
F_g	2.85		

크기는 동일하다. 그림 2는 제안된 안테나의 기본 구조를 보여주며, 기본 구조는 2 GHz 대역에서 동작하는 PIFA와 5 GHz 대역에서 동작하는 루프 안테나의 결합 구조이다. 그림 1(a)와 그림 1(b)에서처럼 안테나의 최적화된 크기를 표 1에 정리하였다. 급전의 너비는 1 mm이고, 쇼팅 라인은 6.5 mm이다. 안테나의 스테브 매칭(S)은 WLAN 대역의 넓은 주파수 범위를 향상시킨다. 스테브(S)의 길이는 1.85 mm이고, 너비는 0.2 mm이다. 사다리꼴 모양의 연결 평면은 그림 1(b)에서처럼 기판 뒷면에 설계되었다. 모바일 케이스 내에서의 안테나 시뮬레이션 결과와 측정 결과는 안테나의 실용적인 사용 측면에서 PCB-bare 상태의 안테나 측정 결과보다 더욱 중요하다고 생각되며, 사용된 PMP 목업(mock-up) 케이스의 전체적인 크기는 $135 \times 80 \times 23 \text{ mm}^3$ 이며, 상대 유전율은 3.2이다.

본 논문에서는 두 안테나 사이의 격리도를 향상시키기 위해 3가지 방법을 소개하였다. 첫 번째 방법으로, 그라운드 가장자리에 직교 구조로 안테나를 배치되었다. 이러한 안테나 구조는 편파 방향과 최대 방사 방향이 서로 수직이 되고, 안테나 간의 우수한 독립된 특성을 보여 준다. 그림 3은 연결 라인이 없는 상태에서의 S_{11} (반사 손실), S_{12} (격리도)의 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 전반적으로 우수한 격리도(isolation)를 보여 주고 있으나, 2 GHz 대역에서 효과적으로 격리도(isolation)가 형성하지 않는다는 것을 알 수 있다. 이를 더욱 향상시키기 위하여, 두 번째로, 급전 근처의 연결 라인을 통해 격리도를 향상시켰다^[8]. 이 연결 라인은 사용 주파수의 $\lambda/4$ 에 상응하는 길이를 갖는다. 이를 통해 두 안테나 간의 간섭을 억제할 수 있다. 이와 같은 $\lambda/4$ 길이의 연결 라인을 통한 간섭 억제는 두 안테나가 비교적 인접해 있

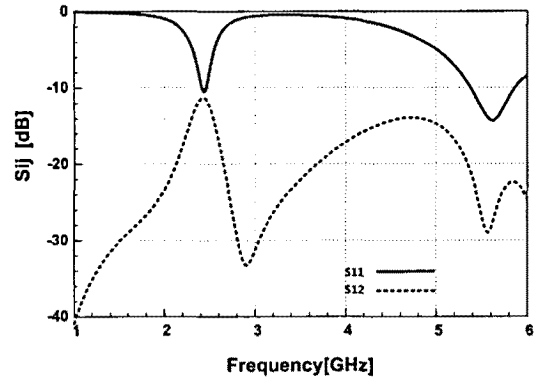


그림 3. 연결 라인이 없는 상태에서의 시뮬레이션된 S-parameter 결과
Fig. 3. Simulated S-parameters in condition of the antenna without connecting line.

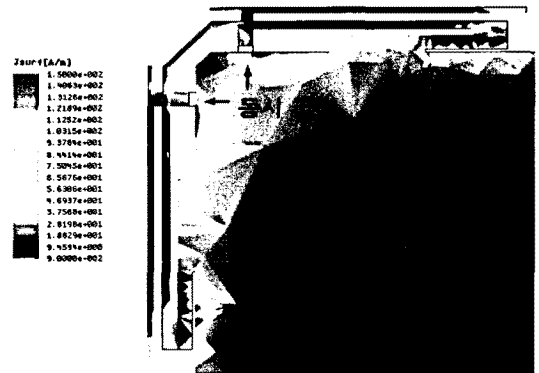
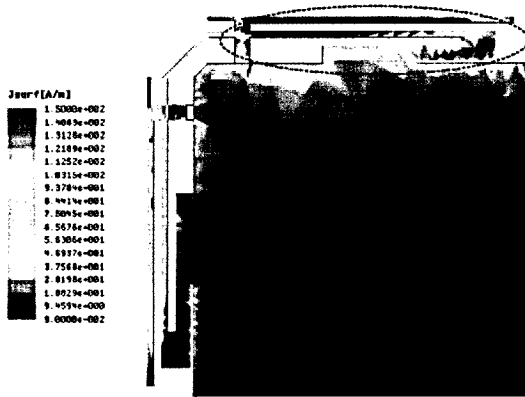
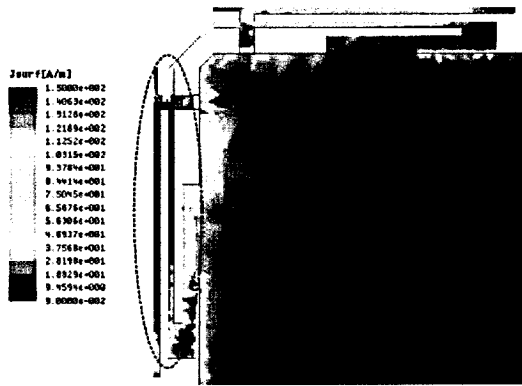


그림 4. 동일한 위상 조건에서 포트에 동시 급전되었을 때 표면 전류 밀도의 시뮬레이션 결과
Fig. 4. Simulation results of the surface current distributions for concurrent feed in condition of identical phase at 2.45 GHz.

는 상태에서도 안테나 간의 간섭을 억제할 수 있다는 점에서 장점이 있다. 그림 4는 2.45 GHz의 40° 위상에서 포트 1과 포트 2에 동시에 급전되었을 때 전류 밀도를 보여 준다. 안테나 1과 안테나 2에 전류가 동시에 집중되어 있음을 알 수 있다. 그림 5는 2.45 GHz의 동일 위상(40°)에서 포트 1과 포트 2에 각각 급전되었을 때 전류 밀도의 비교를 보여 준다. 그림 5(a)는 포트 1에 급전되었을 때 전류 밀도가 안테나 1에 집중되어 있음을 보여 주고, 그림 5(b)에서는 포트 2에 급전되었을 때 전류 밀도가 안테나 2에 집중되어 있음을 보여 준다. 이를 통해 연결 라인(connec-



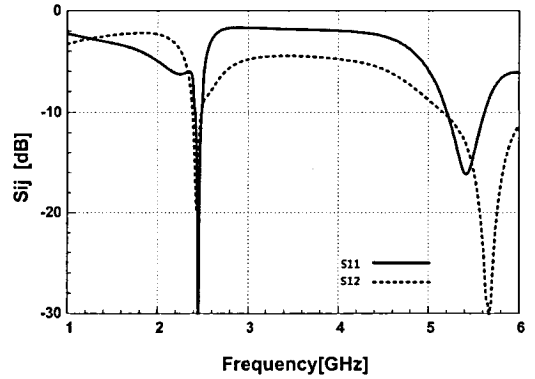
(a) 포트 1에 급전
(a) Feed port 1



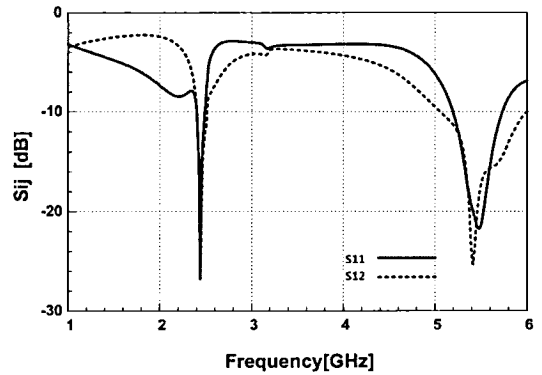
(b) 포트 2에 급전
(b) Feed port 2

그림 5. 동일한 위상 조건에서 각각의 포트에 급전되었을 때 표면 전류 밀도의 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of the surface current distributions for feed port 1 and port 2 while other feed is terminated in condition of identical phase at 2.45 GHz.

ting line)이 2 GHz에서 대역 저지 필터(BSF)와 같은 동작을 하고 있음을 확인할 수 있다. 마지막 세 번째 방법으로, 5 GHz 대역의 격리도를 향상시키기 위해서 그라운드 뒷면에 연결 평면(connecting plane)을 이용하였다. 그림 6(a)는 연결 평면이 없는 상태의 안테나 조건에서 S_{11} (반사 손실), S_{12} (격리도)의 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 동작 주파수(2.4~2.5 GHz) 내에서 반사 손실은 -30 dB 이하이고, 격리도는 -15 dB 이하이다. 그림 6(b)는 연결 평면이 있는 상태에서의 S_{11} 과 S_{12} 의 시뮬레이션 결과를 보여 준다. 안테나 뒷면의 연결 평면이 효과적으로 5 GHz 대역에서



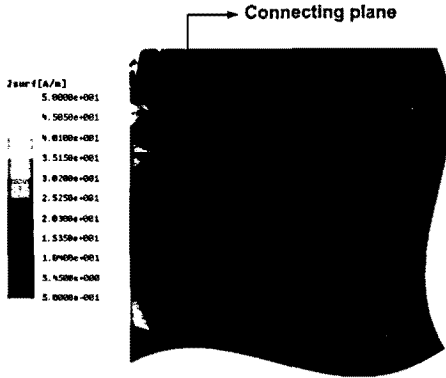
(a) 연결 평면이 없는 상태에서의 S-parameter
(a) Simulated S-parameter without connecting plane



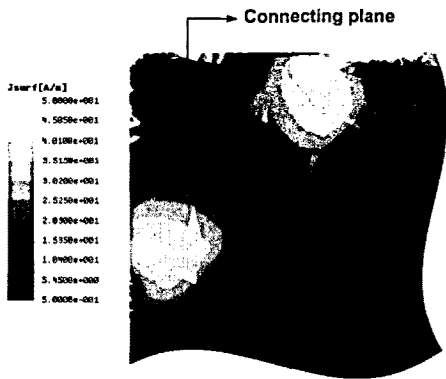
(b) 연결 평면이 있는 상태에서의 S-parameter
(b) Simulated S-parameter with connecting plane

그림 6. 연결 평면의 유, 무에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulated S-parameters in condition of the antenna with and without connecting plane.

격리도를 향상시키고 있음을 알 수 있다. 5 GHz 대역에서는 그라운드 표면에 흐르는 표면 전류에 의해 안테나 간에 상호 간섭이 일어나고, 높은 격리도를 형성하지 못한다. 본 논문에서 제안한 사다리꼴 모양의 연결 평면에는 5 GHz 대역에서 그라운드 표면상의 존재하는 표면 전류가 커플링(coupling)되어 형성된 전류가 흐른다. 여기에서 이러한 연결 평면은 인덕턴스 성분으로 해석할 수 있으며, 그라운드와의 공간은 캐패시턴스 성분으로 해석할 수 있다. 따라서 인덕터 및 캐패시터가 병렬로 연결된 일종의 밴드 스탑 필터로 해석될 수 있다. 그림 7(a)는 2.45 GHz에서 그라운드 표면에 존재하는 전류 밀도를 보여 준다. 상호 간섭을 일으키는 그라운드 표면에 존재하는 전류에 의한 영향이 크지 않다는 것을 확인



(a) 2.45 GHz



(b) 5.45 GHz

그림 7. 2.45 GHz와 5.45 GHz에서 그라운드 표면에 흐르는 표면 전류의 시뮬레이션 결과

Fig. 7. Simulation results of the surface current distributions in the ground plane at 2.4 GHz and 5.45 GHz.

할 수 있다. 그림 7(b)는 5.45 GHz에서 그라운드 표면에 존재하는 전류 밀도를 보여 준다. 5.45 GHz 대역에서 상호 간섭을 일으키는 그라운드 표면에 존재하는 전류는 연결 평면 상에 커플링(coupling)되고, 그림에서와 같이 중간에서 서로 상쇄되고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 이유로 동작 주파수(5.15~5.825 GHz)에서 두 안테나 간의 격리도가 향상됨을 확인할 수 있다.

III. 측정 결과

그림 8은 PMP 목업(mock-up)(i-station U43, Digital-Cube)상에 연결 평면이 포함된 MIMO 안테나의 측정된 격리도(S_{12})와 반사 손실(S_{11})을 보여 준다. 반사 손실은 동작 주파수(2.4~2.5 GHz, 5.15~5.825

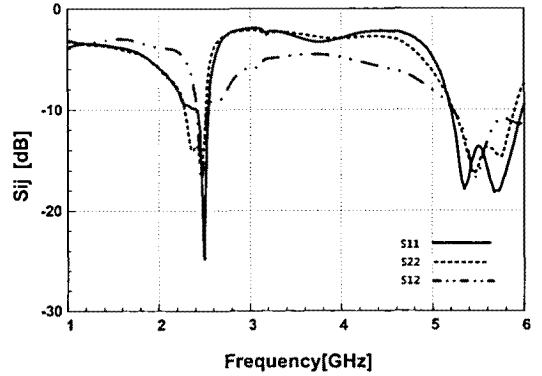
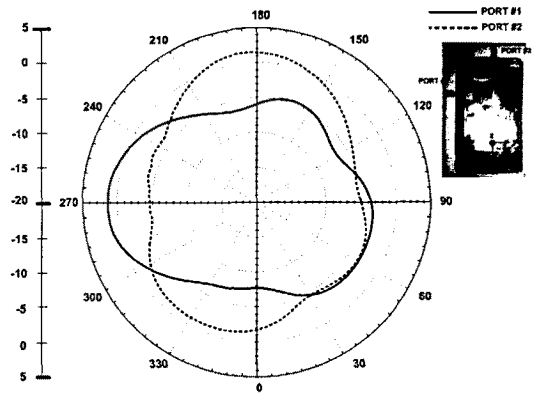
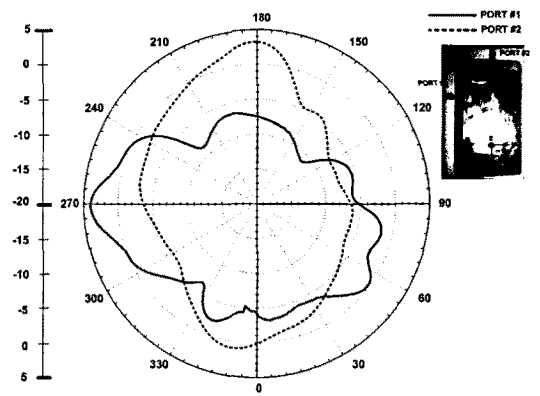


그림 8. 제안된 MIMO 안테나의 측정된 반사 손실 및 격리도

Fig. 8. Measured isolation and return loss of the proposed MIMO antenna.



(a) 2.45 GHz



(b) 5.45 GHz

그림 9. x-y 평면상에서의 측정된 방사 패턴

Fig. 9. Measured radiation patterns at x-y plane.

GHz)에서 -10 dB 이하이고, 격리도는 동작 주파수에서 -15 dB 이하이다. 반사 손실의 곡선과 격리도

의 곡선은 시뮬레이션 결과와 거의 일치한다. 포트 1에서의 반사 손실(S_{11})과 포트 2에서의 반사 손실(S_{22})은 PCB의 그라운드 크기가 대칭적이지 못하기 때문에 서로 정확하게 일치하지는 않는다. 그림 9는 측정하지 않는 급전은 터미네이션된 상태에서 각각의 포트 1과 포트 2에서의 방사 패턴을 보여 준다. 제안된 안테나의 직교 구조 때문에 그림 9(a), (b)에서와 같이 방사 패턴 역시 직교하는 모습을 보여 준다. 두 안테나의 최대 방사 방향은 패턴 다이버시티를 형성하는 90° 이다. 그림 9(a)는 2.45 GHz에서 x-y 평면의 방사 패턴을 보여 준다. 측정된 최대 이득은 PMP 목업(mock-up)에 실장되지 않은 상태의 시뮬레이션 이득 값(포트 1에서 1.29 dBi, 포트 2에서 0.94 dBi)과 유사한 포트1에 270° 에서 0.6 dBi 그리고, 포트 2에 180° 에서 -0.5 dBi이다. 그림 9(b)는 5.45 GHz에서 x-y 평면의 방사 패턴을 보여 준다. 측정된 최대 이득은 PMP 목업(mock-up)에 실장되지 않은 상태의 제안된 안테나 시뮬레이션 이득 값(포트 1에서 3.58 dBi, 포트 2에서 3.79 dBi)과 유사한 포트 1에 270° 에서 3.75 dBi 그리고, 포트 2에 180° 에서 3.9 dBi이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 소형의 듀얼 밴드(IEEE 802.11b: 2.4~2.5 GHz, 11a: 5.15~5.825 GHz) 2 채널 MIMO 안테나의 설계 방법과 측정 결과를 정리하였다. 제안된 안테나의 격리도를 향상시키기 위한 세 가지 방법을 소개하였으며, 측정된 S-parameter 결과는 고 격리도 특성을 보여 준다. 또한, 안테나는 목업(mock-up) 케이스 상에 내장된 상태에서 -0.5 dBi 이상의 충분한 최대 이득을 갖는다. 제안된 소형의 이중 대역 MIMO 안테나는 상용 모바일 기기에 적용 가능하며, 모바일 시스템 회로에서 또 다른 가장자리를 이용하여, 4채널의 MIMO 시스템으로 확장할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] G. S. Foschini, M. J. Gans, "On limits of wireless

communications in a fading environment when using multiple antennas", *Wireless Personal Communications*, vol. 6, pp. 311-335, 1998.

- [2] Kin-Lu Wong, Jui-Hung Chou, Chia-Lun Tang, and Shih-Huang Yeh K, "Integrated internal GSM/DCS and WLAN antennas with optimized isolation for a PDA phone", *Microwave Opt Technol Lett.*, vol. 46, no. 4, pp. 323-326, Aug. 2005.
- [3] K. Chung, J. H. Yoon, "Integrated MIMO antenna with high isolation characteristic", *Electron Lett.*, vol. 43, no. 4, pp. 199-201, Feb. 2007.
- [4] Ting-Wei Kang, Kin-Lu Wong, "Isolation improvement of 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN internal laptop computer antennas using dual-band strip resonator as a wavetrap", *Microwave Opt Technol Lett.*, 52, vol. 52, no. 1, pp. 58-64, Jan. 2010.
- [5] A. Diallo, C. Luxey, P. L. Thuc, R. Staraj, and G. Kossiavas, "Study and reduction of the mutual coupling between two mobile phone PIFAs operating in the DCS 1800 and UMTS bands", *IEEE Trans. Antennas*, vol. 54, no. 11, pp. 3063-3074, Nov. 2006.
- [6] C. Yu, B. Z. Wang, and S. Xiao, "Optimum design for compact diversity wire antenna with two highly isolated ports", *Electron. Lett.*, vol. 38, no. 4, pp. 154-155, Feb. 2002.
- [7] Tzuenn-Yih Wu, Shyh-Tirng Fang, and Kin-Lu Wong, "A printed diversity dual-band monopole antenna for WLAN operation in the 2.4- and 5.2-GHz bands", *Microwave Opt Technol Lett.*, vol. 36, no. 6, pp. 436-439, Mar. 2003.
- [8] Gyubok Park, Minchan Kim, Taesik Yang, Joonho Byun, and A. S. Kim, "The compact quad-band mobile handset antenna for mobile handsets", *Antennas and Propagation Society International Symposium*, 2008.

엽 인 수



2009년 2월: 서울산업대학교 전자공학과 (공학사)
2009년~현재: 서울산업대학교 나노/IT 융합 프로그램 석사과정
[주 관심분야] 안테나, RF, 방송통신 융합

정 창 원



2001년 12월: University of Southern California 전자공학과 (공학석사)
2005년 6월: University of California, Irvine 전자공학과 (공학박사)
1997년 1월~2000년 6월: LG 정보통신 연구원
2005년 7월~2005년 10월: University of California, Irvine, Post Doctor
2005년 11월~2008년 4월: 삼성종합기술원 전문연구원
2008년 5월~현재: 서울산업대학교 NID 융합기술 대학원 조교수
[주 관심분야] 안테나, RF, EMI/EMC, RF-MEMS, 센서