

MIMO 구조의 마이크로스트립 패치 안테나 분석

김 선 웅*, 박 정 진*, 최 동 유^o

Analysis Microstrip Patch Antenna of MIMO Structure

Sun-woong Kim*, Jung-jin Park*, Dong-you Choi^o

요 약

본 논문에서는 단일 패치 안테나에 다중 포트를 결합하여 무선 통신 기기의 응용에 적합한 MIMO구조의 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 MIMO 패치 안테나는 비 유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.0035, 두께 1.52 mm를 갖는 TRF-45 기판을 통해 설계되었으며, 안테나의 중심 주파수는 ISM (Industrial Scientific and Medical) 대역의 2.45 GHz이다. 제안된 MIMO 패치 안테나는 2.16 ~ 2.66 GHz 대역에서 500 MHz의 대역폭을 보였으며, 비 대역폭은 24.1%이다. 안테나의 반사손실 및 정재파비 결과는 제안된 대역에서 2.45 GHz의 ISM 대역에서 -62.05 dB, 1.01이다. 대역폭에 포함된 각각의 대역은 2.3 GHz의 WiBro 대역은 -17.43 dB, 1.33, 2.4 GHz의 WiFi 대역은 -31.89 dB, 1.05, 2.5 GHz의 WiMax 대역은 -36.47 dB, 1.03이다. 대역폭에 포함된 대역의 방사패턴 분석은 지향성의 패턴을 보였으며, 2.3 GHz의 WiBro 대역은 4.22 dBi, 2.4 GHz의 WiFi 대역은 4.12 dBi, 2.45 GHz의 ISM 대역은 4.06 dBi, 2.5 GHz의 WiMax 대역은 3.96 dBi의 이득을 보였다.

Key Words : ISM band, MIMO antenna, Microstrip patch antenna

ABSTRACT

This study proposed a patch antenna with a MIMO structure which is applicable for wireless communication equipment by combining a single patch antenna with a multi port. The proposed MIMO patch antenna was designed through the TRF-45 substrate with a relative permittivity of 4.5, loss tangent equal to 0.0035 and dielectric high of 1.6 mm, and the center frequency of the antenna was 2.45 GHz in the ISM (Industrial Scientific and Medical) band. The proposed MIMO patch antenna had a 500 MHz bandwidth from 2.16 ~ 2.66 GHz and 24.1% fractional bandwidth. The return loss and VSWR were -62.05 dB, 1.01 at the ISM bandwidth of 2.45 GHz. The Wibro band of 2.3 GHz was -17.43 dB, 1.33, the WiFi band of 2.4 GHz was -31.89 dB, 1.05, and the WiMax band of 2.5 GHz was -36.47 dB, 1.03. The radiation patterns included in the bandwidth were directional, and the WiBro band of 2.3 GHz had a gain of 4.22 dBi, the WiFi band of 2.4 GHz had a gain of 4.12 dBi, the ISM band of 2.45 GHz had a gain of 4.06dBi, and the WiMax band of 2.5 GHz had a gain of 3.96 dBi.

* 이 논문은 2015학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음

• First Author : Chosun University Department of Information and Communication Engineering, woongskim1@naver.com, 학생회원

o Corresponding Author : Chosun University Department of Information and Communication Engineering, dychoi@chosun.ac.kr, 종신회원

* Chosun University Department of Information and Communication Engineering, jungjin00@hanmail.net, 정회원

논문번호 : KICS2015-04-101, Received April 2, 2015; Revised May 14, 2015; Accepted May 14, 2015

I. 서론

해양에서의 다중경로에 의한 페이딩 현상은 다른 경로를 거쳐 수신되는 서로 다른 크기와 위상을 갖는 신호의 합으로 심각한 왜곡을 초래한다. 이와 같은 페이딩 현상은 고속 디지털 통신이 해결해야 할 과제 중의 하나이다. 이 과제를 해결하기 위해 등장한 방법 중의 하나가 MIMO (Multiple Input Multiple Output) 시스템이다. MIMO 시스템은 기존의 SISO (Single Input Single Output) 시스템을 발달시킨 형태로 송신 측과 수신 측에 복수 개의 안테나를 사용한다. 안테나를 복수 개로 사용함에 따라 복수 신호를 한 번에 보내고 받는 것은 기본이며, 이를 통해 대역폭을 더 이상 늘리지 않고 기존의 시스템보다 더욱 많은 데이터를 보내는 장점이 있다^[1].

MIMO 시스템은 다중 경로의 신호를 감소시켜 시스템 성능을 개선시키는 장점이 있어 이와 같은 성능을 달성하기 위해서는 안테나간의 격리도가 필요하게 된다. MIMO 구조로 구성된 시스템은 다중의 안테나간의 반파장이상의 격리도가 요구된다. 하지만 다중 안테나가 차지하고 있는 부피로 인해 현대의 소형 기기의 요구조건에 제한이 따른다^[2].

따라서 본 논문에서는 다중 안테나가 아닌 단일 패치 안테나에 다중 포트를 결합하여 소형화 기기의 응용에 적합한 MIMO 안테나를 제안하였다. 제안한 MIMO 패치 안테나는 윗면이 안테나 역할을 하는 복사소자가 있고 반대쪽에는 접지평면을 가진 구조로 구성된다.

MIMO 패치 안테나의 설계에 최적화를 위하여 Taconic사의 TRF-45 기판을 통하여 주파수 영역에서의 반사손실, 정재파비 및 방사패턴 등을 분석하였다. 이를 위해 제2 장에서는 마이크로스트립 패치 안테나의 이론을 통해 설계를 제안하였으며, 제3 장에서는 HFSS 툴을 통해 시뮬레이션을 하였다. 제4 장에서는 결론을 맺는다.

II. 안테나 설계 및 구조

제안된 안테나는 유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.0035, 두께 1.52 mm를 갖는 Taconic사의 TRF-45 기판을 통해 설계되었으며, 안테나의 중심 주파수는 ISM (Industrial Scientific and Medical) 대역의 2.45 GHz이다. 2.45 GHz 대역의 주파수는 WLAN (Wireless Local Area Network), Bluetooth, RFID (Radio Frequency Identification) 기반의 무선 통신 및 무선 어플리케이션

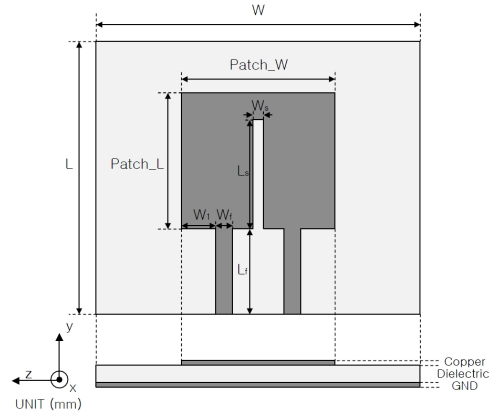


그림 1. 제안된 MIMO 패치 안테나의 구조
Fig. 1. Structure of MIMO patch antenna proposed

선에 널리 사용되고 있으며, 안테나는 유전체 기판의 한쪽 면에는 안테나 역할을 하는 복사소자가 있고 반대쪽에는 접지평면을 갖는 구조로 그림 1과 같다^[3,4].

2.1 제안된 안테나의 설계

마이크로스트립 패치 안테나는 구조적으로 간단하고 효율이 높으며, 공형(conformal)이기 때문에 널리 사용된다. 마이크로스트립 안테나의 가장 일반적인 형태 중 하나는 사각형 패치이다.

본 논문에서 제안한 MIMO 구조의 마이크로스트립 패치 안테나는 비 유전율 ϵ_r 을 갖는 기판 위에 패치 폭 W와 길이 L을 갖는 전형적인 사각형 패치 안테나이다. 마이크로스트립 기판은 전자장 일부가 유전체 안에 있으며, 일부는 공기 중에 있어 $1 < \epsilon_{eff} < \epsilon_r$ 의 관계를 만족하고 ϵ_{eff} 는 기판의 두께와 선로 폭에 의해 결정된다.

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

마이크로스트립 안테나는 프링징 효과로 인해 물리적인 크기보다 전기적으로 더 큰 것처럼 보인다. 이와 같은 현상으로 인해 패치 크기는 각 종단에서 거리 ΔL 은 실효 유전율 ϵ_{eff} 과 폭, 유전체 기판의 두께의 비 (W/h) 에 대한 함수이다. 실효 유전율의 ϵ_{eff} 는 정규화된 확장 길이에 대한 전략적인 관계이며, 식 (2)와 같다^[5].

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (2)$$

패치 길이는 양측으로 ΔL 만큼 확장되었으므로 패치의 실효 길이는 식 (3)과 같다.

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \quad (3)$$

마이크로스트립 패치 안테나를 설계하기 위해서는 몇 가지 중요한 설계 조건을 만족해야 하는데 안테나의 유전율 ϵ_r 과 기관의 높이 h 그리고 안테나의 공진 주파수 f_r 등이다. 특히, 패치 안테나의 방사소자 폭 W 는 효율적인 방사를 결정하는 변수로 식 (4)와 같다.

$$W = \frac{C}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

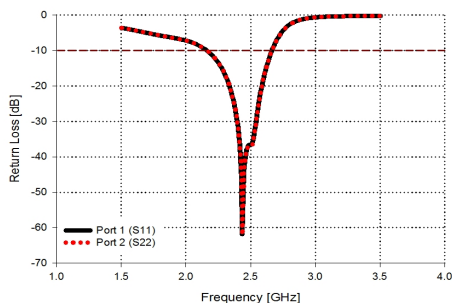
패치 안테나의 방사소자 길이 L 은 패치 안테나의 공진 주파수를 결정하는 변수로서 식 (5)와 같다⁶⁾.

$$L = \frac{1}{2f_r \sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (5)$$

마이크로스트립 패치 안테나의 설계 이론을 기반으로 설계된 MIMO 패치 안테나의 상세 크기는 표 1과 같다.

표 1. 제안된 안테나의 실제 크기
Table. 1. Specific size of the antenna proposed

W	70 mm	L	70 mm
Patch_W	36 mm	Patch_L	34 mm
W _s	3 mm	L _s	27 mm
W _f	5 mm	L _f	20 mm
W ₁	7 mm		



(a) Return loss

III. 안테나 특성 분석

3.1 안테나 대역폭 분석

안테나의 설계는 초고주파 해석 시뮬레이션 프로그램인 Ansys사의 HFSS를 이용하여 전산모의 하였다⁷⁾.

단일 산란계수 S_{11} 과 반사계수 Γ 는 단일포트회로의 안테나 성능에서 소스와 안테나 사이에 생기는 임피던스 부정합으로 인한 반사의 신호양을 의미한다. 반사손실(return loss, S_{11}) 및 정재파비(VSWR: Voltage Standing Wave Ratio)는 다음과 같이 주어진다.

$$Return Loss [dB] = -20 \log |\Gamma| \quad (6)$$

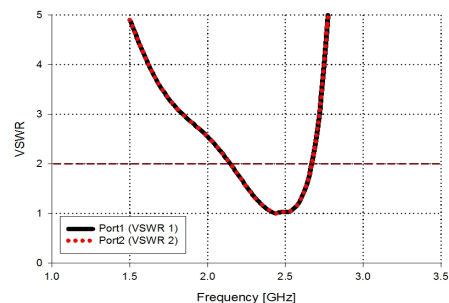
$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (7)$$

최적의 VSWR은 $|\Gamma| = 0$ 또는 $VSWR = 1$ 이며, 통상적인 안테나 임피던스 대역폭은 -10 dB 반사손실 및 $VSWR \leq 2$ 로 정의된다. 이는 입력전력이 약 11%가 반사되는 것을 의미한다⁸⁻¹⁰⁾.

제안된 MIMO 패치 안테나의 임피던스 대역폭을 분석하였으며, 그림 2와 같다.

그림 2의 결과, 제안된 MIMO 패치 안테나 예측 결과는 2.16 ~ 2.66 GHz 대역에서 -10 dB 반사손실 및 $VSWR \leq 2$ 를 만족하여 약 500 MHz의 대역폭을 만족하였으며, 제안된 2.45 GHz의 ISM 대역을 포함하여 2.3 GHz의 Wibro 대역, 2.4 GHz의 WiFi 대역, 2.5 GHz의 WiMax 대역을 포함하였다. 안테나의 비 대역폭 (fractional bandwidth)은 다음과 같이 정의된다¹¹⁾.

$$Bandwidth = \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} \times 100\% \quad (8)$$



(b) VSWR

그림 2. 제안된 안테나의 반사손실 및 VSWR 결과
Fig. 2. Return loss and VSWR result of proposed antenna

여기서 f_H 와 f_L 은 -10 dB 반사손실 및 $VSWR \leq 2$ 지점이다. 제안된 MIMO 패치 안테나의 비 대역폭은 24.1%를 보였으며, 대역폭에 포함된 대역의 반사손실 및 정재파비의 상세 결과는 표 2와 같다.

표 2의 결과, 반사손실 및 정재파비의 상세 결과는 제안된 2.45 GHz의 ISM 대역은 -62.05 dB, 1.01이며, 대역폭에 포함된 2.3 GHz의 WiBro 대역은 -17.43 dB, 1.33, 2.4 GHz의 WiFi 대역은 -31.89 dB, 1.05, 2.5 GHz의 WiMax 대역은 -36.47 dB, 1.03이다. 이는 안테나의 부정합으로 인한 반사가 적음을 의미한다.

표 2. 제안된 안테나의 상세 결과
Table. 2. Specific result of the antenna proposed

Antenna		
WiBro 2.3 GHz	Return loss	-17.43 dB
	VSWR	1.33
WiFi 2.4 GHz	Return loss	-31.89 dB
	VSWR	1.05
ISM 2.45 GHz	Return loss	-62.05 dB
	VSWR	1.01
WiMax 2.5 GHz	Return loss	-36.47 dB
	VSWR	1.03

3.2 안테나 방사패턴 및 이득 분석

안테나의 특성을 나타내는 요소 중 하나는 안테나가 어느 특정 방향으로 전파를 얼마나 많이 집중해 방사할 수 있는가 하는 점이다. 제안된 MIMO 패치 안테나의 대역폭에 포함된 각각의 대역을 E-평면(XZ plane)과 H-평면(XY plane)에서 방사패턴을 분석하였으며, 그림 3과 같다.

그림 3의 결과, 제안된 2.45 GHz의 ISM 대역은 특정 방향에서 전파에 대한 감도가 높아지는 지향성(directivity)의 특성을 보였으며, 대역폭에 포함된 2.3 GHz의 WiBro 대역, 2.4 GHz의 WiFi 대역, 2.5 GHz의 WiMax 대역 모두 지향성의 특성을 보였다.

제안된 MIMO 패치 안테나의 안테나 이득을 분석하였그림 4 및 표 3의 결과, 제안된 2.45 GHz의 ISM 대역은 4.06 dBi의 이득을 보였으며, 대역폭에 포함된 2.3 GHz의 WiBro 대역은 4.22 dBi, 2.4 GHz의 WiFi 대역은 4.12 dBi, 2.5 GHz의 WiMax 대역은 3.96 dBi의 이득을 보였다. 으며, 그림 4 및 표 3과 같다.

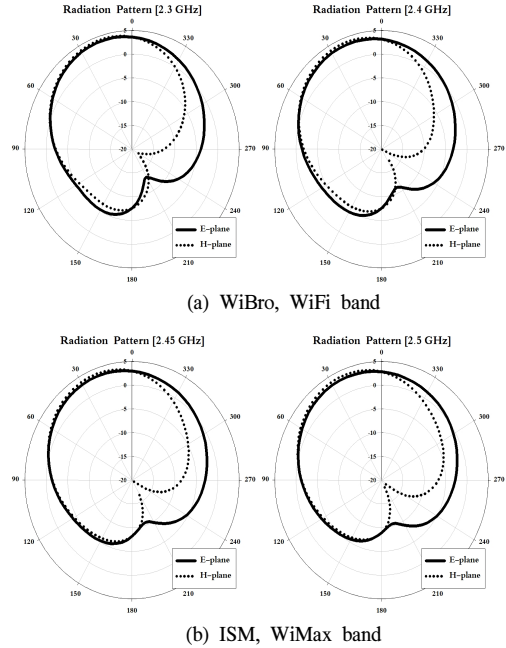


그림 3. 제안된 안테나의 방사패턴 결과
Fig. 3. Radiation pattern results of the antenna proposed

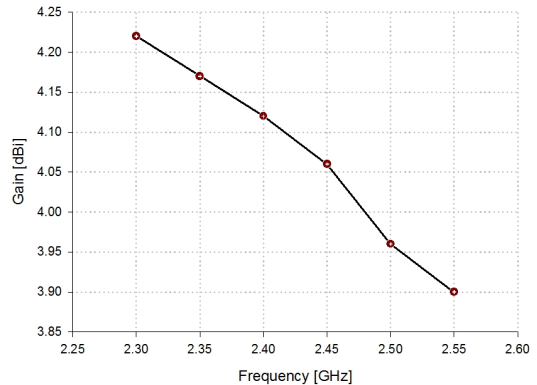


그림 4. 제안된 안테나의 이득 결과
Fig. 4. Gain result of the antenna proposed

표 3. 제안된 안테나의 이득
Table. 3. Gain of the antenna proposed

Gain	
WiBro 2.3 GHz	4.22 dBi
WiFi 2.4 GHz	4.12 dBi
ISM band 2.45 GHz	4.06 dBi
WiMax 2.5 GHz	3.96 dBi

IV. 결 론

다중경로에 의한 페이딩 현상은 다른 경로를 거쳐 수신되는 서로 다른 크기와 위상을 갖는 신호의 합으로 심각한 왜곡을 초래한다. 이러한 문제점은 MIMO 시스템으로 인해 다중경로의 신호를 감소시켜 시스템의 성능을 개선시키는 역할을 한다. MIMO 시스템은 복수개의 안테나가 필요하며, 복수개의 안테나는 반파장 이상의 이격거리가 필요하게 된다. 하지만 반파장 이상의 격리도로 인해 안테나의 부피는 커지게 되며, 이는 소형화 기기의 요구조건에 제한이 따른다. 따라서 본 논문에서는 복수개의 안테나가 아닌 단일 패치 안테나에 다중 포트를 결합하여 소형화 기기의 응용에 적합한 MIMO 패치 안테나를 제안하였다. 제안된 MIMO 패치 안테나는 비 유전율 4.5, 손실 탄젠트 0.0035, 두께 1.52 mm를 갖는 Taconic사의 TRF-45 기판을 사용하였다.

제안된 MIMO 패치 안테나는 2.16 ~ 2.66 GHz 대역에서 500 MHz의 대역폭을 보였으며, 비 대역폭은 24.1%이다. 안테나의 반사손실 및 정재파비 결과는 제안된 대역에서 2.45 GHz의 ISM 대역에서 -62.05 dB, 1.01이다. 대역폭에 포함된 각각의 결과는 2.3 GHz의 WiBro 대역은 -17.43 dB, 1.33, 2.4 GHz의 WiFi 대역은 -31.89 dB, 1.05, 2.5 GHz의 WiMax 대역은 -36.47 dB, 1.03이다. 대역폭에 포함된 대역의 방사패턴 분석은 지향성의 패턴을 보였으며, 2.3 GHz의 WiBro 대역은 4.22 dBi, 2.4 GHz의 WiFi 대역은 4.12 dBi, 2.45 GHz의 ISM 대역은 4.06 dBi, 2.5 GHz의 WiMax 대역은 3.96 dBi의 이득을 보였다. 이를 통해 제안된 MIMO 패치 안테나는 무선통신에서의 응용에 적합하다 판단하였다.

References

[1] J. T. Y. Ho, "Analytical expression for average SNR of correlated dual selection diversity system," *3rd Australian Commun. Theory Workshop*, Feb. 2002.

[2] M. Cabedo, E. Antonino, M. Ferrando, V. M. Rodrigo, A. Vila, J. M. Molina, and L. Juan, "Compact planar antenna with multiple ports for MIMO and diversity applications," *Waves*, pp. 16-29, 2010.

[3] S. Shrestha, S. K. Noh, and D.Y. Choi, "Comparative study of antenna design for RF energy harvesting," *Int. J. Antennas and*

Propag., vol. 2013, pp. 1-10, 2013.

[4] D. Y. Choi, S. Shrestha, J. J. Park, and S. N. Noh, "Design and performance of an efficient rectenna incorporating a fractal structure," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 2014, no. 27, pp. 1-19, Jul. 2014.

[5] E. O. Hammerstad, "Equations for microstrip circuit design," in *Proc. Fifth European Microwave Conf.*, pp. 268-272, Sep. 1975.

[6] Constantine A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, Third edition, A John Wiley and Sons, INC. Publication.

[7] <http://www.ansys.kr/>

[8] K. Chang, *RF and Microwave Wireless System*, WILEY, pp. 74-75, 2000.

[9] D. Y. Choi, S. W. Kim, J. J. Park, M. A. Jeong, and S. R. Lee, "Design and implementation of tapered slot antenna for ship's indoor location-aware system," *J. KICS*, vol. 39C, no. 12, pp. 1307-1313, Dec. 2014.

[10] K. J. Jeon, B. H. Ko, S. C. Myung, S. R. Lee, and K. S. Kim, "Protograph-based block LDPC code design for marine satellite communications," *J. KICS*, vol. 39C, no. 7, pp. 515-520, Jul. 2014.

[11] K. H. Lee, E. H. Kwak, and B. G. Kim, "Effect of substrate thickness, perforation position and size on the bandwidth and radiation characteristics of a proximity coupled perforated microstrip patch antenna," *J. KICS*, vol. 39A, no. 6, pp. 301-321, Jun. 2014.

김 선 웅 (Sun-woong Kim)



2012년 2월 : 조선대학교 정보통신공학과 학사
 2014년 2월 : 조선대학교 정보통신공학과 석사
 2014년 3월~현재 : 조선대학교 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> 에너지 하베스팅, UWB 안테나

박 정 진 (Jung-jin Park)



1999년 2월 : 조선대학교 전자
공학과 졸업
2003년 8월 : 조선대학교 전자
공학과 석사
2013년 2월 : 조선대학교 정보
통신공학과 박사
<관심분야> 에너지 하베스팅,
전파전파, UWB 안테나

최 등 유 (Dong-you Choi)



1999년 2월 : 조선대학교 전자
공학과 학사
2001년 2월 : 조선대학교 전자
공학과 석사
2004년 2월 : 조선대학교 전자
공학과 박사
2007년~현재 : 조선대학교 정보
통신공학과 부교수
<관심분야> 에너지 하베스팅, 전파잡음, 마이크로파
강우감쇠