

이중 대역 소형 평면 패치 안테나

A Dual-Band Compact Folded Patch Antenna

김태영 · 정종호 · 박동국* · 박익모

Tae-Young Kim · Jong-Ho Jung · Dong-Kook Park* · Ikmo Park

요 약

본 논문에서는 동일 편파 특성과 높은 격리도 특성을 갖는 이중 대역 소형 평면 패치 안테나를 제안하였다. 안테나의 크기를 줄이기 위해 고유전율의 유전체를 사용하였으며, 대역폭 확장을 위해 급전부에 개방 스티브를 부착하였다. 크기가 4 mm×3 mm×5 mm 인 최적화된 안테나는 VSWR ≤ 2를 기준으로 5.6 GHz 대역과 5.8 GHz 대역에서 각각 3.0 %와 2.8 %의 대역폭을 가졌고, 격리도 특성은 두 대역에서 평균적으로 -26 dB 이하를 얻었다.

Abstract

In this paper we proposed a novel dual-band compact folded patch antenna with the same linear polarizations and high isolation characteristic between the two frequency range. The antenna is loaded with a high permittivity dielectric material in order to reduce the antenna size and open circuit stubs are used in order to broaden the bandwidth. The fractional bandwidths of the optimized antenna with demensions 4 mm×3 mm×5 mm are 3.0 % at 5.6 GHz band and 2.8 % at 5.8 GHz band, respectively. The isolation characteristic between the two ports is less than -26 dB within the operating frequency range.

Key words : Antenna, Small Antenna, Dual-Band Antenna, Dual-Feeding Antenna, Isolation

I. 서 론

오늘날 무선통신 시스템은 음성, 데이터, 동영상 등 다양한 정보를 시간과 장소에 제약없이 교환할 수 있는 장점이 있다. 이런 무선통신의 편리성으로 인해 이용자가 급속히 급증하고 있으며 무선통신 시스템 또한 빠른 속도로 발전하고 있다. Cellular, PCS, IMT-2000, Bluetooth, PDA, W-LAN, 위성통신 등과 같은 다양한 무선통신 시스템의 발전은 고기능, 고성능의 개인 휴대용 단말기 개발과 더불어 소형, 경량, 박형의 안테나 개발 필요성을 요구하고 있다. 이러한 요구 조건에 부합되는 판형 역 F 안테나

(PIFA: planar inverted F antenna)와 단락 마이크로 스트립 안테나(short-circuit microstrip antenna) 등 내장형 안테나^[1]에 대한 많은 연구 결과가 발표되었다. 그러나 이들 내장형 안테나는 설계가 간단하고 제작비용이 낮다는 장점이 있지만 반면에 대역폭이 좁다는 단점이 있다^[2]. 내장형 안테나의 단점을 개선하기 위해 다양한 방법이 연구되고 있으며, 그 중에서 적층 패치를 사용하거나, 패치의 내부에 슬롯 혹은 단락핀, 리액턴스 부하 등을 이용해 이중 대역을 얻는 이중 대역 안테나에 대한 상당한 연구가 이루어지고 있다^{[3]-[6]}. 그러나 이들 안테나는 단일 급전 방식을 사용하기 때문에 송수신 신호를 분리하

아주대학교 전자공학부(School of Electrical and Computer Engineering, Ajou University)

*한국해양대학교 전자통신공학과(Dept. of Electric and Communication Engineering, Korea Maritime University)

· 논문 번호 : 20021102-08S

· 수정완료일자 : 2002년 12월 9일

기 위한 별도의 소자가 필요하다. 단일 급전 방식의 문제를 해결하기 위해 이중 급전 방식을 사용하는데 일반적인 이중 급전 안테나는 두 대역간에 서로 다른 직교 선형 편파를 구현함으로써 높은 격리도 특성을 갖는다^[7]. 이런 방법은 위성통신과 같이 서로 다른 직교 선형 편파를 사용하는 시스템에서는 적합하지만 Cellular, PCS, IMT-2000, Bluetooth, PDA, W-LAN 등과 같은 동일 편파를 사용하는 시스템에서는 부적합하다.

본 논문에서는 소형 평면 패치 안테나^[8]를 이용하여 두 대역에서 동일 편파 특성과 높은 격리도 특성을 갖는 이중 대역 안테나 설계 방법에 대해 기술하였다. 본 논문의 II 장에서는 이중 대역 안테나의 구조 및 동작 원리를 설명하였고, III 장은 제안된 이중 대역 안테나의 설계 변수에 따른 안테나 특성을 정리하였으며, 이를 토대로 이중 대역 안테나를 제작 측정하여 반사 손실과 복사 패턴 그리고 격리도 특성에 대해 알아보았다. IV 장에서는 결론을 기술하였다.

II. 안테나 구조 및 동작 원리

일반적으로 전기적 길이에 비해 크기가 소형인 안테나는 안테나 자체의 높은 Q 값과 좁은 대역폭을 갖는 단점이 있다^[9]. 따라서 전기적으로 소형의 안테나를 설계하는데 있어 낮은 Q 를 갖도록 설계하는 것이 최우선으로 고려되어야 한다. Mclean^[10]이 연구한 바에 의하면 최소 Q 값은 안테나를 포함하는 가상 구의 최소 부피와 관계가 있다고 보고되었다. 즉, 안테나를 포함하는 복사 소자 내에 최대의 전기적 길이를 보상하여 안테나를 구현하였을 때 대역폭을 넓힐 수 있다는 것이다.

그림 1은 위의 이론을 바탕으로 설계한 안테나 구조도이다. 제안된 안테나는 분리된 상판 패치 2개, 미앤더 라인이 있는 하판 패치가 비아에 의해 연결되어 있으며, 하판 패치도 접지면에 단락핀으로 연결되어 있다. 이 때, 비아와 단락핀의 지름은 0.5 mm이고 상판 패치와 하판 패치 사이에는 안테나의 크기를 줄이기 위해 고유전율($\epsilon_r = 45$)을 갖는 유전체를 삽입하였다. 이로 인해 안테나의 크기는 작아 지지만 대역폭이 감소되기 때문에 급전선에 개방

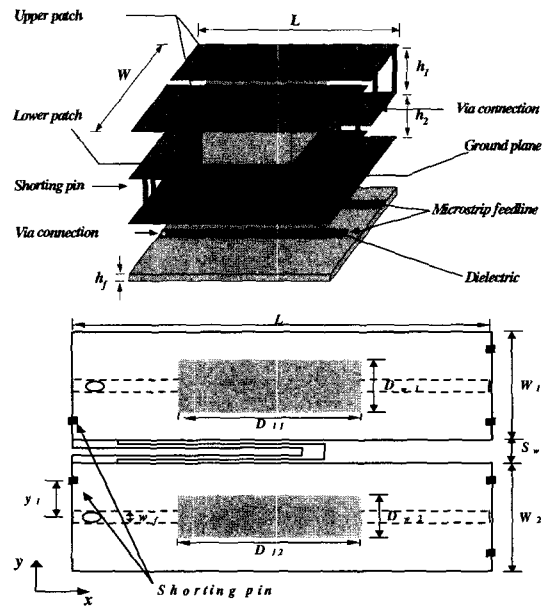


그림 1. 제안된 안테나의 구조도
Fig. 1. The geometry of the proposed antenna.

스터브를 부착하여 대역폭을 확장하였다. 제안된 안테나에서 사용한 급전 방식은 복사 소자와 급전부가 격리되어 있기 때문에 급전선에 의한 불필요한 복사를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 개구면 결합 마이크로스트립 안테나^[11]에서 발생하는 개구면에 의한 후방 복사에 대해 고려할 필요가 없다. 또한 비아에 의해 급전선과 복사 소자를 연결하는 방식으로 프로브 급전 방식의 문제점을 최소화할 수 있고, 급전선에 자유롭게 정합 회로를 설계할 수 있는 장점이 있다. 급전선 구현을 위해 사용한 유전체 기판은 RT/Duroid 6010으로써 비유전율 $\epsilon_{ef} = 10.2$, $h_f = 0.635$ mm, 50Ω 선폭 $w_f = 0.6$ mm이다.

그림 2는 안테나의 격리도 특성을 최소화하기 위해 미앤더 라인이 적용된 하판 패치의 전류 분포를 나타낸 그림이다. 포트에 의한 간섭을 최소화하기 위해 포트를 패치 가장자리의 단락핀 사이에 위치시켰다. 또한 패치에 의한 간섭을 줄이기 위해 하판 패치 사이에 미앤더 라인을 삽입하였다. 미앤더 라인은 누설 전계(fringing-field)에 의한 패치 간의 간섭을 줄여 준다. 즉, 하판 패치에 흐르는 전류가 미앤더 라인에 의해 180° 위상차가 생겨 미앤더 라인에 흐르는 전류의 상쇄 효과를 가져와 누설 전계에

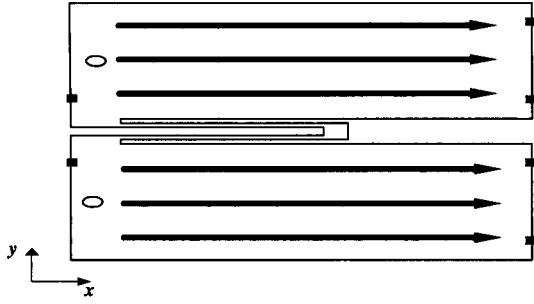


그림 2. 하판 패치에서의 전류 분포
Fig. 2. The current distribution of the lower patch.

의한 패치 간의 간섭을 최소화할 수 있다.

제안된 안테나의 복사 패턴은 상판 패치와 하판 패치에 흐르는 전류 분포에 많은 영향을 받는다. 상판 패치와 하판 패치의 전류는 미앤더 라인과 마찬가지로 180° 위상차에 의한 상판 패치와 하판 패치의 흐르는 전류의 상쇄 효과를 가져와 제안된 안테나의 복사 패턴은 모노폴 안테나의 복사 패턴과 유사할 것으로 예상된다.

III. 안테나 특성

제안된 안테나에서 공진 주파수와 안테나의 정합 특성에 가장 큰 영향을 주는 설계 변수는 비아의 간격 y_1 과 단락핀의 지름이다. 그림 3은 y_1 을 변화시켰을 때 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 이 때 모든 경우에 있어 하판 패치의 단락핀의 수는 1개이다. y_1 이 작아질수록 공진 주파수가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 비아의 위치가 하판 패치에 흐르는 전류 경로에 영향을 주어 전기적 길이가 변하기 때문이다.

그림 4는 단락핀의 지름을 0.3 mm, 0.4 mm, 0.5 mm로 변화시켰을 때 안테나의 반사 손실을 나타내었다. 비아의 간격 y_1 과 마찬가지로 단락핀의 지름이 커질수록 공진 주파수가 높아지는 것을 확인할 수 있다. 위와 같은 결과는 급전선과 하판 패치를 연결하는 비아와 단락핀을 2선식 선로로 설명할 수 있다^[12]. 이런 특성 때문에 안테나의 패치 크기를 결정하더라도 비아의 간격 y_1 과 단락핀의 지름에 의해 공진 주파수가 변화한다. 따라서, 안테나의 설계 단계에서 패치의 크기를 결정할 때 설계 변수에 의한

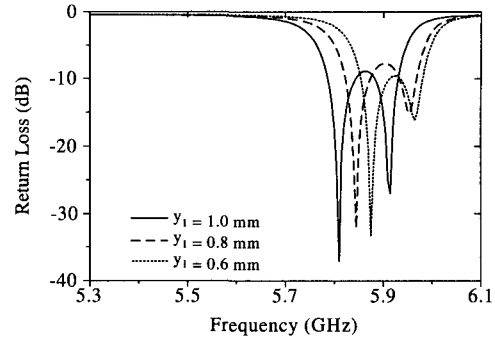


그림 3. 비아의 간격 y_1 에 따른 반사 손실
Fig. 3. The return loss by via distance y_1 .

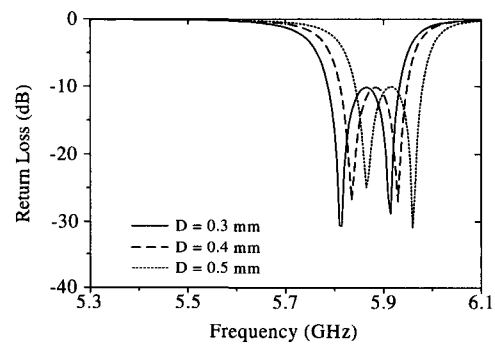


그림 4. 단락핀 지름에 따른 반사 손실
Fig. 4. The return loss by shorting pin diameters.

공진 주파수의 이동을 고려해야 한다. 표 1은 단락핀의 지름에 따른 공진 주파수와 대역폭을 비교한 것이다. 본 논문에서는 안테나의 격리도 특성(S_{21})을 최소화하기 위해 하판 패치에 미앤더 라인이 적용된 구조를 제안하였다. 그러나 이와 같은 방법으로 격리도 특성을 개선시키는데 한계가 있다. 일반적으로 격리도 특성을 높기 위해 적층 구조를 사용하여 각각의 급전선을 물리적으로 격리시킬 수 있으나^[13], 이는 안테나 제작비용의 상승을 가져올 수 있

표 1. 단락핀 지름에 따른 대역폭
Table 1. The bandwidth by shorting pin diameters.

단락핀 지름 (mm)	공진주파수 (GHz)	대역폭 (MHz)	% 대역폭
0.3	5.81	135	2.32 %
0.4	5.83	140	2.40 %
0.5	5.87	150	2.55 %

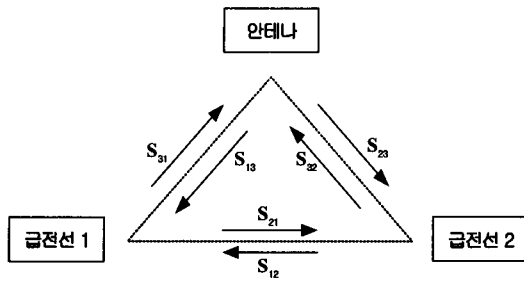


그림 5. 격리도 특성 동작원리
Fig. 5. The principle of isolation characteristics.

다. 따라서, 본 논문에서는 안테나의 격리도 특성을 개선시키기 위해 단층 기판에 서로 다른 두개의 급전선 구조를 갖도록 구현하였다. 제안된 안테나에서 각 공진 주파수 동작시 두 급전선 사이의 격리도 특성을 그림 5와 같이 설명할 수 있다. 급전선 1에 인가된 전력은 안테나와 급전선 2로 나누어진다. 이때 안테나에 들어간 전력은 복사되고, 급전선 2에 들어간 전력은 안테나의 동작을 왜곡시키게 된다. 이때 급전선 1에서 급전하는 경우 급전선 1은 공진 주파수 f_1 에서 안테나와 정합되어 있으며, 급전선 2도 공진 주파수 f_2 에서 안테나와 정합되어 있다. 즉 급전선 1과 안테나는 서로 정합되어 있으므로 인가된 전력은 복사(S_{31})하게 되고 급전선 2와 급전선 1은 서로 부정합이 되어 있으므로 격리도 특성(S_{21})을 높게 된다. 급전선 2에서 급전한 경우도 동일하다. 결과적으로 급전선 1과 급전선 2는 안테나에 정합되고, 반면에 급전선 1과 급전선 2는 서로 부정합이 되어 격리도 특성을 높일 수 있게 된다.

이를 바탕으로 마이크로스트립선로 급전과 변형된 결합선로 급전을 이용하여 안테나의 격리도 특성을 개선시켰다. 그림 6과 7은 각각 급전선 구조와 안테나의 반사 손실 및 격리도 특성을 나타낸 그래프이다. 그림 6(b)의 마이크로스트립선로 급전과 변형된 결합선로 급전이 그림 6(a)의 일반적인 마이크로스트립선로 급전보다 격리도 특성이 좋아짐을 알 수 있다. 이는 변형된 결합선로의 임피던스가 변화하기 때문에 마이크로스트립선로 급전보다 급전선 1과 급전선 2의 부정합이 늘어나 격리도 특성은 좋아지게 된다.

그림 8은 제안된 안테나에 정합 회로인 개방 스

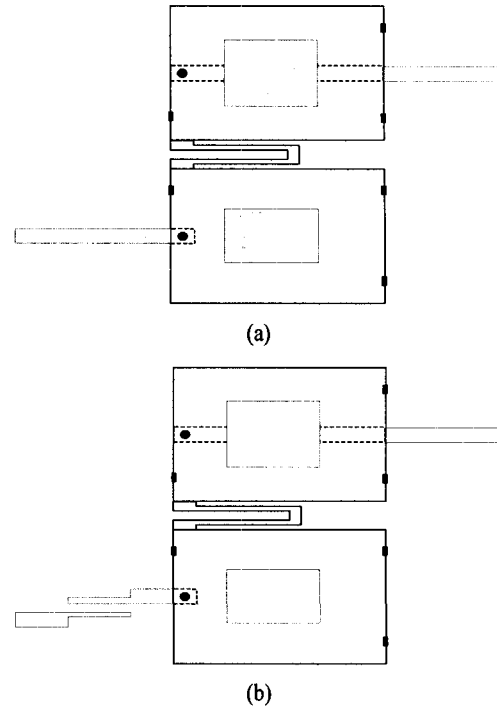


그림 6. 급전선 구조에 따른 안테나 평면도
(a) 두 개의 마이크로스트립선로 급전
(b) 마이크로스트립선로와 변형결합선로 급전
Fig. 6. The antenna top view.
(a) Two microstrip-line
(b) Microstrip-line & transformed coupled-line

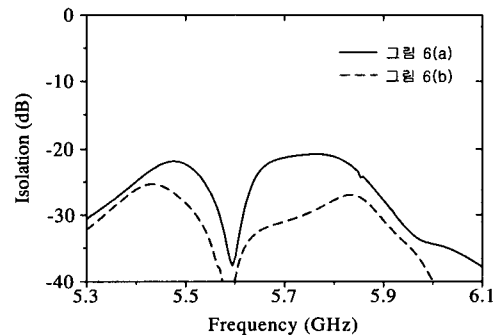


그림 7. 급전선 구조에 따른 격리도 특성
Fig. 7. The isolation characteristics by feeding.

터브를 구현하여 최적화시킨 안테나의 계산값과 측정값의 반사 손실 특성이다. 개방 스테르브로 정합 회로를 설계하였을 때 이중 공진 형태를 보이며 2개의

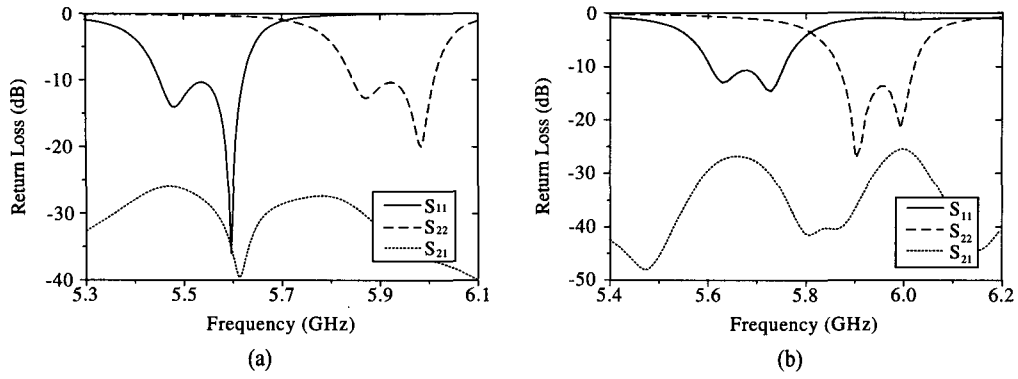


그림 8. 계산값과 측정값의 안테나 반사 손실
 (a) 계산된 반사 손실, (b) 측정된 반사 손실
 Fig. 8. The computed and measured return loss.
 (a) The computed return loss, (b) The measured return loss

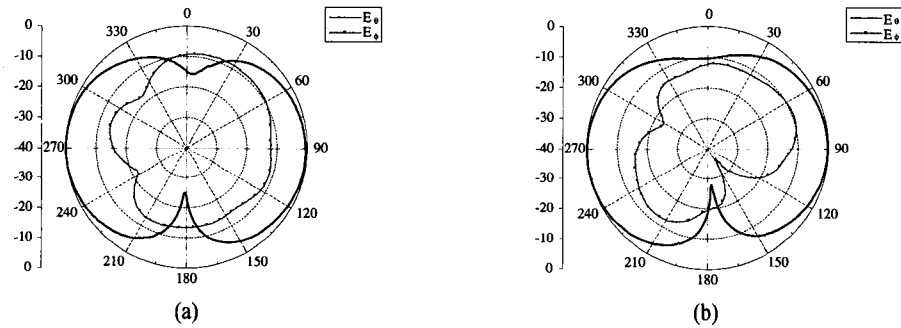


그림 9. 중심 주파수 5.65 GHz에서의 측정된 복사 패턴
 (a) xz-cut 복사 패턴, (b) yz-cut 복사 패턴
 Fig. 9. The measured radiation patterns at 5.65 GHz.
 (a) xz-cut, (b) yz-cut

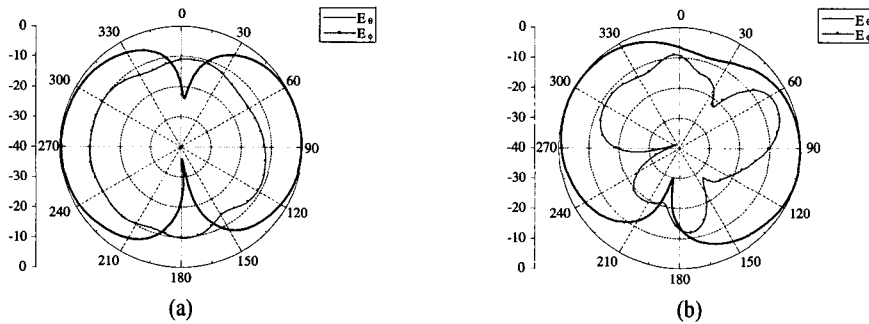


그림 10. 중심 주파수 5.89 GHz에서의 측정된 복사 패턴
 (a) xz-cut 복사 패턴, (b) yz-cut 복사 패턴
 Fig. 10. The measured radiation patterns at 5.89 GHz.
 (a) xz-cut, (b) yz-cut

표 2. 안테나의 설계 변수(단위: mm)
Table 2. The antenna design parameters(unit: mm).

설계 변수	L		3.0
		W	W ₁
	W ₂		1.5
	D ₁	D ₁₁	2.2
		D ₁₂	
	D _w	D _{w1}	1.2
		D _{w2}	1.0
	h ₁		3.0
	h ₂		2.0
	S _w		0.8
미앤더 라인 폭		0.15	

정합점을 가져 안테나의 대역폭을 확장시킬 수 있으며 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 계산값은 중심 주파수 5.48 GHz에서 170 MHz (부분 대역폭 3.0 %), 5.85 GHz 에서 160 MHz (부분 대역폭 2.73 %)의 대역폭을 얻었으며, 측정값도 계산값과 유사한 경향을 보였으며 중심 주파수 5.65 GHz에서 170 MHz (부분 대역폭 3.0 %), 5.89 GHz에서 165 MHz (부분 대역폭 2.8 %)의 대역폭을 얻었다. 그러나 공진 주파수가 높은 주파수로 이동하였는데 이것은 유전체와 패치를 연결하는데 있어 접착제로 인해 실효 유전율이 변했기 때문이다. 측정된 안테나 이득은 각각의 공진 주파수에서 -1.98 dBi와 -1.84 dBi를 얻었다.

그림 9와 10은 중심 주파수인 5.65 GHz 대역과 5.89 GHz 대역에서의 측정된 안테나 복사 패턴이다. 앞에서 상판 패치와 하판 패치에 흐르는 전류 흐름으로 예상하였듯이, 제안된 안테나의 복사 패턴이 모노폴 안테나의 복사 패턴과 유사한 것을 확인할 수 있다. 표 2는 위의 결과를 토대로 최적화된 안테나의 설계 변수이다. 제안된 안테나 구조를 해석에 Ansoft사의 HFSS를 이용하여 유한 접지면에서 시뮬레이션 하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 안테나의 크기를 줄이기 위해 단락편과 고유전율의 유전체를 사용하였고, 높은 격리도 특성을 갖기 위해 미앤더 라인과 서로 다른 두께

의 급전선 구조를 적용하여 동일 편파 특성을 가지면서 송수신 신호를 분리할 수 있는 이중 대역 소형 평면 패치 안테나를 설계하였다. 제안된 안테나는 단락편을 이용하여 $\lambda/2$ 가 아닌 $\lambda/4$ 에서 공진하고, 단락편의 길이가 안테나의 전기적인 길이에 포함되어 안테나의 크기를 많이 줄일 수 있었다. 또한 비아를 통한 급전 방식을 선택함으로써 복사 소자와 급전 선로부를 격리시켰으며, 마이크로스트립 급전부에 대역폭 확장을 위한 정합 회로를 구현하였다. 이중 대역 소형 평면 패치 안테나의 중요한 설계 변수인 비아의 간격 y_1 과 단락편의 지름 변화에 따른 대역폭 변화와 급전선 구조에 따른 격리도 특성을 조사하였다. 제안된 안테나의 복사 패턴은 상판 패치와 하판 패치에 흐르는 전류의 180° 위상차에 의한 상쇄 효과를 가져와 모노폴 안테나와 유사한 복사 패턴을 얻을 수 있었다.

본 논문에서 설계한 이중 대역 소형 평면 패치 안테나는 크기가 작기 때문에 소형 안테나를 필요로 하는 이동통신용 단말기에 적합하리라 사료된다. 또한 송수신 신호를 분리하기 위한 듀플렉서나 고차 필터가 필요치 않으며, 복사 소자와 급전 선로가 접지면으로 격리되어 있기 때문에 스택브를 이용해 대역폭을 확장하더라도 안테나의 크기에는 영향이 없으므로 안테나 제작비용의 증가 없이 쉽게 대역폭 확장이 가능하다. 제안된 안테나에 정합 회로를 부착하여 최적화하였을 경우 안테나의 크기는 4 mm×3 mm×5 mm이고, 측정된 대역폭은 중심 주파수 5.6 GHz와 5.8 GHz 대역에서 $VSWR \leq 2$ 를 기준으로 각각 3.0 %와 2.8 %의 대역폭을 얻었으며, 측정된 안테나 이득은 각각의 공진 주파수에서 -1.98 dBi와 -1.84 dBi를 얻었다. 격리도 특성은 5.6 GHz와 5.8 GHz 대역 내에서 계산된 격리도 특성보다 약간 높은 -26 dB 이하를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Fujimoto, J. R. James, *Mobile Antenna Systems Handbook*, Boston: Artech House Inc., 1994.
- [2] K. Hirasawa, M. Hancishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*, Boston: Artech House Inc., 1992.

- [3] S. A. Long, W. D. Walton, "A dual frequency stacked circular disc antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 27, pp. 270-273, 1979.
- [4] S. S. Zhong, Y. T. Lo, "Single-element rectangular microstrip antenna for dual-frequency operation", *Electron. Lett.*, vol. 19, pp. 298-300, 1983.
- [5] K. L. Wong, K. P. Yang, "Small dual-frequency microstrip antenna with cross slot", *Electron. Lett.*, vol. 33, pp. 1916-1917, 1997.
- [6] S. E. Davidson, S. A. Long and W. F. Richards, "Dual-band microstrip antennas with monolithic reactive loading", *Electron. Lett.*, vol. 21, pp. 936-937, 1985.
- [7] D. K. Park, R. Waterhouse, Y. Qian and T. Itoh, "Self-diplexed integrated antenna transceiver for wireless applications", *IEEE AP-S Int. Symp. Digest*, pp. 444-447, Boston, MA, July 2001.
- [8] 서영훈, 김태영, 김명기, 박익모, 서용교, 송기무, "전방향성 복사 패턴을 갖는 소형 평면 패치 안테나", 한국전자과학회 논문지, 12(7), pp. 1094-1101, 2001년 12월.
- [9] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons Inc., 1998.
- [10] J. S. Mclean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiation Q of electrically small antennas", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 44, pp. 672-676, May 1996.
- [11] I. Park, R. Mittra, "Aperture-coupled small microstrip antenna", *Electron. Lett.*, vol. 32, pp. 1741-1742, 1996.
- [12] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, New York: John Wiley & Sons Inc., 1998.
- [13] Y. Kim, W. Yun and Y. Yoon, "Dual-frequency and dual-polarization wideband microstrip antenna", *Electron Lett.*, vol. 35, pp. 1399-1400, 1999.

김 태 영



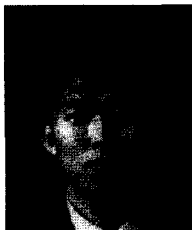
2000년 2월: 강남대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 3월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계, 수치 해석

정 중 호



2001년 8월: 아주대학교 전자공학부 (공학사)
 2001년 9월~현재: 아주대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 밀리미터파 수동소자 설계

박 익 모



1984년: 뉴욕주립대학교 전기전자공학과 (공학사)
 1989년: 일리노이 대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 1994년: 일리노이 대학교 전기전자공학과 (공학박사)
 1994년~1996년: LG 전자기술원
 1996년~현재: 아주대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 밀리미터파 수동소자, 수치해석

박 동 국



1987년 2월: 부산대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
 1994년 8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
 1994년 8월~1996년 3월: LG전자 선임연구원
 1996년 4월~현재: 한국해양대학교 전자정보통신공학부 부교수
 2000년 1월~2001년 1월: 미국 UCLA 전기공학과 방문교수
 [주 관심분야] 안테나, 이동통신 부품