

슬릿 구조와 다층 구조를 이용한 소형 원형 편파 마이크로스트립 안테나

A Compact Circular-Polarized Microstrip Antenna Using the Slit and Multi-Layer Structure

조상혁 · 표성민 · 김정민* · 이인영* · 김영식

Sang-Hyeok Cho · Seongmin Pyo · Jung-Min Kim* · In-Young Lee* · Young-Sik Kim

요 약

본 논문에서는 슬릿 구조와 다층 구조를 이용하여 소형 편파 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 다층 FR4 기판을 이용하여 설계 및 제작하였으며 넓은 임피던스 대역폭을 갖는 소형 안테나로써, 가볍고, 저렴한 장점을 가지고 있으며 GPS 대역 중심 주파수 1,575.42 MHz에서 원형 편파 특성을 갖는다. 또한, 기판의 최상층의 슬릿의 길이와 폭을 조절하여, 대역폭을 거의 유지한 상태로, 공진 주파수를 낮추어 보다 소형화 하였다. 안테나 크기는 20×20×4.0 mm³이고 측정된 안테나 이득은 0.5 dBi, 대역폭은 VSWR 2:1에서 4.4 % (1,542~1,612 MHz), 3 dB 축비(axial-ratio) 대역폭은 약 15 MHz(1 %)이다.

Abstract

In this paper, a planar microstrip patch antenna is proposed using the slit on the top layer of a multi-layered structure for GPS application. The proposed antenna has a circular polarization at 1,575.42 MHz. This proposed antenna is fabricated on multi-layered FR4 substrate. The slits embedded on the top plane may yield to lower a resonance frequency and sustain a broad bandwidth. The proposed antenna size is 20×20×4.0 mm³. The measured gain of 0.5 dBi, 10 dB bandwidth(VSWR 2:1) of 70 MHz(4.4 %), and 3 dB axial-ratio bandwidth of 15 MHz(1 %) have been obtained, respectively.

Key words : Microstrip Antenna, Circular Polarization, Slit Structure, Multi-Layer Structure

I. 서 론

최근 무선 기기들의 소형 경량화에 따라 안테나의 소형화에 대한 요구가 점점 증가되고 있다. 특히 오늘날 휴대용 무선 통신의 발달로 인해 크기의 소형화가 날로 중요시 되고 있으며, 전체 시스템에서 큰 부분을 차지하는 안테나의 소형화는 반드시 필요한 실정이다. 마이크로스트립 안테나는 경량, 작은

부피, 낮은 높이 등의 특성으로 널리 이용되고 있다. 안테나 소형화 방법으로는 유전체(20~50)를 사용하는 방법이 있지만, 이 방법은 대역폭과 방사효율 등의 안테나 특성이 저하되기 때문에, 소형화에는 그 한계가 있어 안테나 구조를 변경하는 소형화 연구가 진행되고 있다^[1]. 이러한 방법으로 3차원 구조로 안테나를 설계하는 소형화 방법이 연구되고 있지만, 제작 및 제품 생산에 어려움이 있다^[2]. 또한, 안테나

「이 연구에 참여한 연구자는 2단계 BK21사업 연구비를 지원받았음.」

고려대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea University)

*(주)아모텍 안테나 그룹(Department of Research and Development, AMOTECH)

· 논문 번호 : 20090106-001

· 수정완료일자 : 2009년 3월 11일

의 소형화를 위한 방법으로 패치(patch) 가장자리에 접지선(shorting post)을 연결하는 방법, 슬롯(slot)을 이용하는 방법, 자성체(magnetic substrate)를 이용하는 방법, 접지면에 슬롯을 넣는 방법 등이 연구되고 있다^{[3],[4]}. 특히 슬롯을 이용한 방법으로는 패치에 4개의 구부러진 슬롯(bend slot)을 넣는 방법, 가장자리(edge)에 x축과 y축 방향으로 길이가 다른 두 쌍의 슬롯을 삽입하는(inserted slit) 방법 등이 연구되고 있다^[5].

본 논문에서는 다층(multi-layer) 구조를 이용한 3차원 구조와 슬릿(slot) 구조를 사용하여 소형화하는 방법을 연구하였다. 제안한 안테나는 다층 구조를 이용하여 3차원 구조로 구현하였으며, 낮은 유전체를 이용하여 광대역 특성을 갖는 패치 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 총 2개의 층으로 이루어져 있으며, 안테나를 이루는 2개의 금속 면(metal plate)과 하나의 접지면으로 이루어져 있다. 각각의 안테나 면은 비아 홀(via-hole)로 연결되어 있다. 제안한 안테나의 공진 주파수는 슬릿 길이와 기판(substrate) 높이를 조절하여, Global Positioning System (GPS) 대역에서 중심 주파수 1,575.42 MHz를 포함하는 소형 광대역 패치 안테나를 설계 및 제작하였다. 제안한 안테나 설계는 Ansoft사의 HFSS 10.0을 사용하여 검토하였으며, 최적화된 안테나는 Agilent사의 E5071B와 무반사실을 사용하여 측정하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안한 안테나는 그림 1에서와 같이 급전부와 단락부로 구성되어 있다. 안테나의 접지면(ground plane)의 크기는 $70 \times 70 \text{ mm}^2$ 로 상대 비유전율(ϵ_r)은 4.4~4.6, 두께 1 mm인 FR4 기판을 사용하였으며, 급전 구조는 50 Ω 동축선을 사용하였다. 그림 2는 제안한 안테나 각각의 층 구조를 보여준다. 제안한 안테나는 FR4 유전체 기판을 사용하여 2개의 층으로 구성되었고, 안테나 소형화를 위하여 접힌(folded) 구조를 이용하였다. 접힌 구조는 다층 구조를 이용하여 구현하였으며, 제안한 안테나 크기는 $20 \times 20 \times 4 \text{ mm}^3$ 이며, 각 층의(1st layer, 2nd layer) 두께는 3.2, 0.8 mm이다. 안테나의 이득을 높이기 위하여 안테나의 높이를 높게 설계할 수 있다^[2]. 하지만, 실

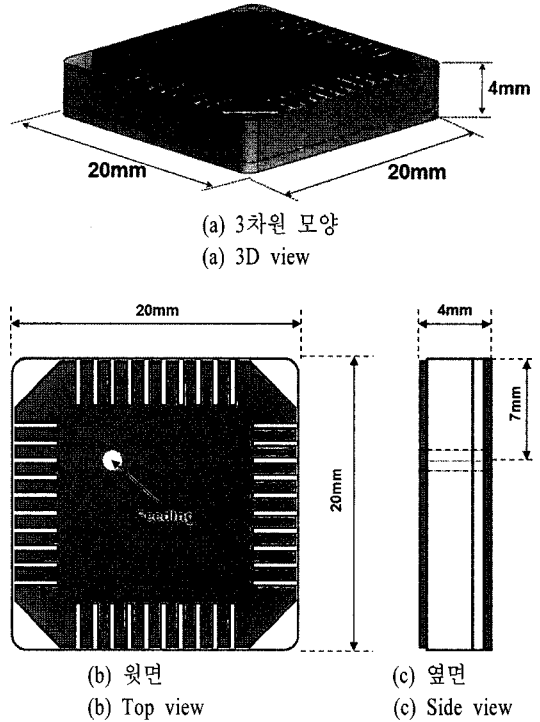


그림 1. 제안한 안테나

Fig. 1. Configuration of the proposed antenna.

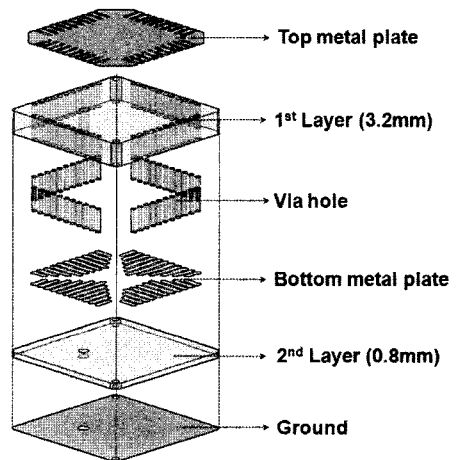


그림 2. 제안한 안테나의 각 층별 구조

Fig. 2. Multi-layer structure of the proposed antenna.

제 제품 적용에서는 높이 제한이 있어 제안한 안테나는 높이 4 mm로 설계하였다. 제안한 안테나는 GPS 대역 1,575 MHz에서 동작하며, 원형 편파 특성을 갖도록 설계하였다. 최상층 금속 패턴, 비아 홀, 중간층의 금속 패턴은 모두 연결되어 있으며 하나의 공

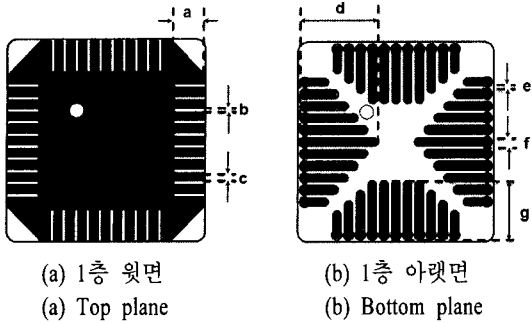


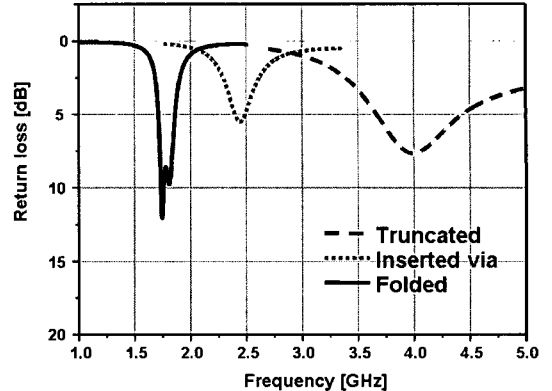
그림 3. 제안한 안테나의 상층 구조
Fig. 3. Detail structure of the 1st layer.

표 1. 제안한 안테나의 치수

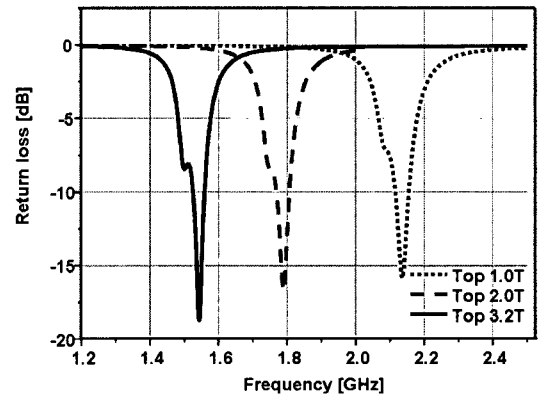
Table 1. Dimensions of the proposed antenna.

Part	Dimension [mm]	Part	Dimension [mm]
a	3.18	e	0.4
b	0.4	f	0.8
c	0.8	g	5.9
d	7.9	via	ϕ 0.8

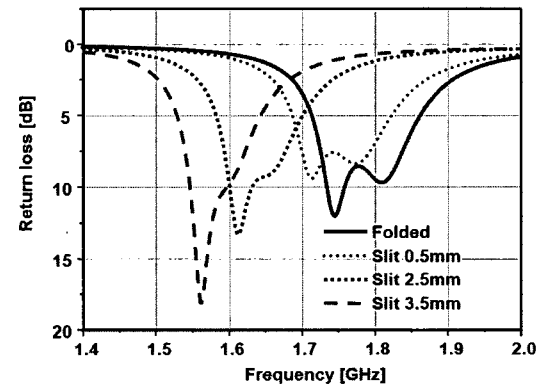
진기를 만든다. 금속 패턴은 안테나 몸체(body)를 감싸는 형태의 접힌 구조를 가지고 있으며, 이러한 구조는 제한된 공간에서 공간 재활용할 수 있는 장점이 있다⁶⁾. 또한, 그림 3(b)는 1층의 바닥면 금속 패턴으로 하나의 면으로 설계할 수 있으나, 하나의 면으로 설계할 경우 공진 주파수가 더욱 내려가 소형화에는 유리하지만, 금속 패턴과 접지면의 근접으로 결합(coupling) 값이 증가하여 이득 감소가 발생한다. 이러한 이득 감소를 최소화하기 위해서 1층(1st layer) 바닥 면의 구조를 슬릿 구조로 제안하여 이득 감소를 줄일 수 있었다. 제안한 패치 안테나의 급전 위치는 금속면의 대각선(diagonal)에 위치하고 있다. 이는 접힌 안테나의 금속면 길이를 최대로 하기 위하여 금속면을 45° 회전하여 설계한 것이다. 그림 4(a)는 안테나 각각의 구조에 따른 공진 주파수를 비교한 결과이며, 각각의 구조는 일반적으로 사용하는 coner-truncated 사각 패치 구조, 비아 홀을 삽입한 구조, 접힌 구조의 공진 주파수를 비교한 결과이다. 각 구조의 공진 주파수는 4.0 GHz, 2.4 GHz, 1.7 GHz이며, 시뮬레이션 결과와 같이 제한된 공간 내에서 구조를 변경할 경우 공진 주파수가 내려가는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 안테나 길이가 길어지



(a) 구조에 따른 반사 손실 변화
(a) Structural modification



(b) 1st 기판 두께에 따른 변화
(b) 1st layer substrate thickness varying from 1.0 to 3.2 mm

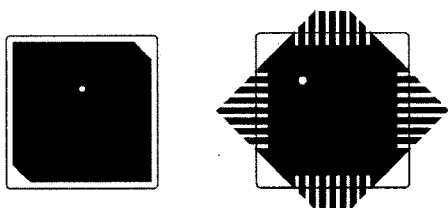


(c) 슬릿 길이별 반사 손실 변화
(c) Slit length varying from 0 to 3.5 mm

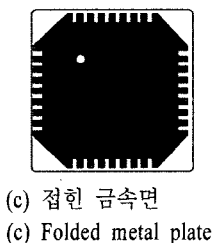
그림 4. 반사 손실 모의실험 결과
Fig. 4. Simulated return losses.

는 효과와 금속면과 접지면 사이의 결합 값의 증가로 인하여 공진 주파수가 내려가는 것으로 해석할 수 있다. 그림 4(b)는 안테나의 2nd 레이어의 두께를

0.8 mm로 고정된 후에 1st 레이어의 두께를 1.0, 2.0, 3.2 mm로 변경하여 모의 실험한 결과이다. 시뮬레이션 결과와 같이 안테나의 높이가 증가함에 따라 공진 주파수가 내려가는 것을 확인할 수 있다. 그림 4(c)는 제안한 안테나의 1층 상면에 슬릿을 삽입하여 슬릿 길이 변화에 따른 공진 주파수를 비교하였다. 각각의 공진 주파수는 1.80 GHz, 1.75 GHz, 1.65 GHz, 1.57 GHz이며, 시뮬레이션 결과와 같이 슬릿의 길이가 길어짐에 따라 공진 주파수가 내려가는 것과 그림 6과 같이 대역폭이 거의 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 기존 folded 소형 안테나(0.232λ)보다 더 작은 0.105λ 로 소형화한 것이라 설명할 수 있으며, 안테나 1층 상면의 슬릿을 삽입한 효과라 할 수 있다⁶⁾. 안테나가 소형화 되면서 대역폭이 유지되는 것은 낮은 유전체를 사용하는 것과 제안한 구조와 같이 안테나 1층 상면에 슬릿 구조를 삽입하여 다중 경로가 구현된 것으로 해석될 수 있다⁵⁾. 제안한 안테나의 원형 편파 특성은 그림 5(a)와 같이 일반적으로 사용되는 coner-truncated square patch antenna와 동일한 구조로 모서리를 잘라(truncated) 위상차가 발생하도록 그림 5(b)와 같이 설계하였으며, 이 모서리 부분이 그림 5(c)와 같이 접히는 구조를 갖는다. 이러한 구조는 right-hand circular polarization(RHCP) 또는 left-hand circular polarization(LHCP)



(a) 일반적인 (a) Conventional (b) 45° 회전 (b) Rotated 45° degree



(c) 접힌 금속면 (c) Folded metal plate

그림 5. 금속면의 구조
Fig. 5. Metal plate structure.

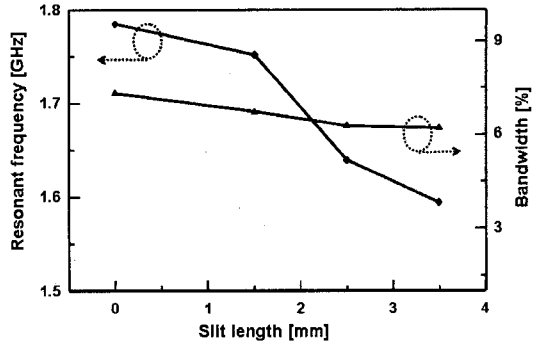


그림 6. 슬릿 길이에 따른 공진 주파수 및 대역폭
Fig. 6. Resonant frequency and bandwidth with various slit length.

와 같은 원형 편파 안테나를 구현할 수 있으며, 제안한 안테나는 RHCP 특성을 갖는다.

III. 제작 및 측정

그림 7은 제안한 안테나의 실제 사진이며, 안테나의 크기는 각각 $20 \times 20 \times 3.2 \text{ mm}^3$, $20 \times 20 \times 0.8 \text{ mm}^3$ 이다. 안테나 전체 크기는 $20 \times 20 \times 4.0 \text{ mm}^3$ 이며, 급전 방법으로는 50 Ω 동축선을 이용하였다. 접지면으로는 $70 \times 70 \text{ mm}^2$ 의 FR4 유전체($\epsilon_r = 4.4 \sim 4.6$), 두께 1 mm를 이용하여 측정하였다. 그림 8은 제안한 안테나의 반사 손실(return loss) 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 반사 손실 측정 결과, VSWR 2:1에서 대역폭은 70 MHz(4.4%)이며, 그림 7과 같이 3 dB 축비(axial ratio) 대역폭은 15 MHz(1%)이다. 소형화 기법으로 사용되는 고유전체를 사용하였을 경우 임피던스 대역폭이 감소하지만, 제안한 안테나는 저유전

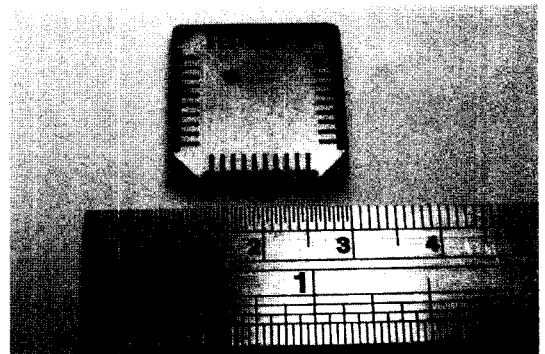


그림 7. 실제 제작한 안테나 사진
Fig. 7. Photograph of the fabricated antenna.

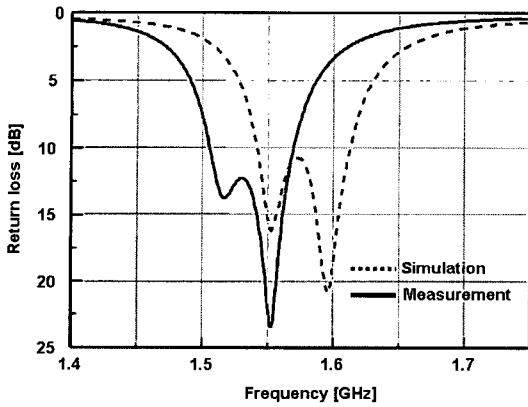


그림 8. 제안한 안테나의 반사 손실
Fig. 8. Return loss of the proposed antenna.

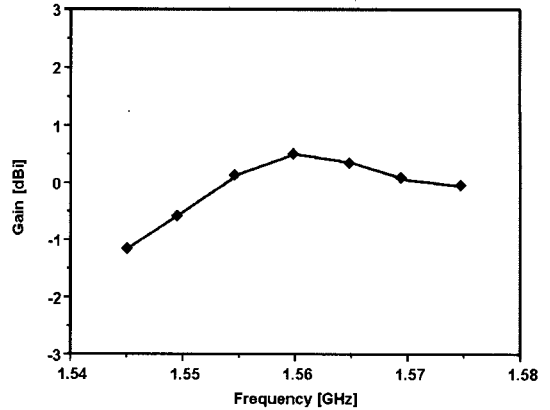


그림 11. 안테나 이득 측정 결과
Fig. 11. Measured antenna gain.

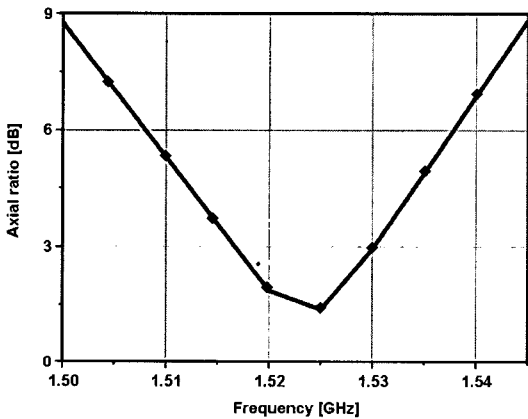


그림 9. 제안한 안테나의 축비 측정 결과
Fig. 9. Measured axial ratio of the proposed antenna.

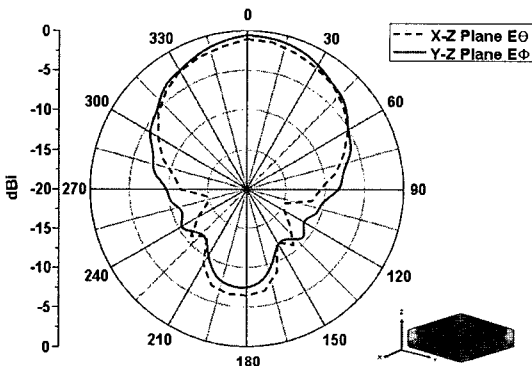


그림 10. 방사 패턴 측정 결과
Fig. 10. Measured radiation patterns.

체와 슬릿 구조를 이용하여 소형화한 결과 대역폭 감소를 최소화 할 수 있었다. 안테나 이득 및 방사 패턴은 3D 무반사실에서 측정하였다. 안테나 이득

(gain)은 표준 이득 안테나를 사용하여 측정하였으며, 측정 결과 그림 10과 같은 일반적인 패치 안테나 방사 패턴과 동일한 방사 패턴을 갖는다. 안테나 이득은 0.5 dBi 로 반파장 패치 안테나와 비교하여 낮은 이득을 보이지만 기존 소형화된 패치 안테나와 유사한 이득 특성을 보인다^[2]. 이러한 결과는 제한된 공간에서 접힌 구조를 이용하여 안테나 사이즈를 소형화한 효과와 이득 감소를 최소화하기 위하여 1층 bottom 금속면에 슬릿 구조로 설계한 것이 이득 감소를 최소화한 것으로 해석된다. 그림 11은 제안한 안테나의 이득 측정 결과를 보여준다.

IV. 결 론

본 논문에서는 GPS 대역을 만족하는 소형 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 제작한 안테나의 크기는 $20 \times 20 \times 4.0 \text{ mm}^3$ 로 반파장 패치 안테나 길이 0.5λ 를 슬릿 구조와 다층 구조를 이용하였으며, 0.105λ 로 소형화한 것이라 할 수 있다. 또한, 저유전체를 사용하여 넓은 임피던스 대역폭을 얻을 수 있으며, 기존 소형 안테나 대량 생산의 문제점을 printed circuit board(PCB) 공정의 via를 이용하여 쉽게 제작할 수 장점을 가지고 있다. 측정 결과, 제안한 안테나는 GPS 대역(1,575.42 MHz)에서 대역폭 70 MHz (4.4 %), 안테나 이득 0.5 dBi, RHCP 특성을 확인하였다. 제안한 안테나는 휴대용(portable) 무선 통신 기기에서 요구되는 소형 경량화에 적합한 크기이며, 제안한 구조를 Low Temperature Co-fired Ceramic

(LTCC) 공정을 이용하여 제작할 경우 더욱 소형화된 안테나 제작이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Wen-Shyang Chen, Chun-Kun Wu, and Kin-Lu Wong, "Compact circularly polarized microstrip antenna with bent slots", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 13, pp. 1170-1171, Jun. 1998.

[2] Wan-Lae Roh, Jong-myung Woo, "Miniaturization of microstrip antenna using folded structure with attaching plates for satellite communication terminal", in *Proc. IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, pp. 4709-4712, Jun. 2007.

[3] Shun-Shi Zhong, Jun-Hai Cui, Rui-Feng Xue, and Jun-Wei Niu, "Compact circularly polarized micro-

strip antenna on organic magnetic substrate", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 40, no. 6, pp. 497-500, Mar. 2004.

[4] Kin-Lu Wong, Hao-Chun Tung, "A compact patch antenna with an inverted U-shaped radiating patch", in *Proc. IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, pp. 728-731, Jul. 2001.

[5] Shaoqiu Xiao, Bing-Zhong Wang, Wei Shao, and Yan Zhang, "Bandwidth-enhancing ultralow-profile compact patch antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 53, no. 11, pp. 3443-3447, Nov. 2005.

[6] B. Lee, C. Jung, B. Yu, K. Kong, N. Choi, F. J. Harackiewicz, I. Lee, S. Cho, M.-J. Park, and Y.-S. Chung, "Design concept of compact antenna for SDARS applications", *Electron. Lett.*, vol. 43, no. 16, pp. 845-846, Aug. 2007.

조 상 혁



2005년 2월: 강원대학교 전기전자통신공학과 (공학사)
 2004년 11월~2008년 6월: (주)아모텍 안테나 그룹 주임연구원
 2008년 3월~현재: 고려대학교 전기통신공학과 석사과정
 2009년 1월~현재: (주)아모텍 안테나 그룹 전임연구원

[주 관심분야] 안테나 소형화 기법 및 RF 수동 소자

김 정 민



2006년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 2006년 11월~현재: (주)아모텍 안테나그룹 주임연구원
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

표 성 민

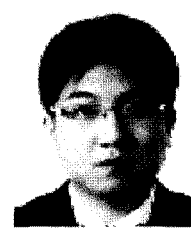


2002년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
 2004년 2월: 고려대학교 전파통신공학과 (공학석사)
 2004년 1월~2007년 3월: (주)팬택 & 큐리텔 내수그룹 중앙연구소 전임연구원

2007년 3월~2008년 8월: 고려대학교 정보통신기술연구소 연구원

2008년 9월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] Periodic Structures and Metamaterial-Based RF Systems

이 인 영



1997년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학사)
 1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 1999년 3월~2005년 8월: (주)KMW 연구소 선임연구원
 2006년 1월~현재: (주)아모텍 안테나그룹 책임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

김 영 식



1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업
대학 전자과 조교수

1988년 5월: University of Massa-ch-
srtts at Amherst (공학박사)

1988년 5월~1989년 2월: Universi-
ty of Massachsrtts at Amherst Po-
st Doc.

1989년 3월~1993년 2월: 한국전자통신연구원 이동통신연
구단 무선기 술연구실 실장

1993년 3월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 교수

[주 관심분야] RF Front-End System