

십자형 접지면 슬롯을 이용한 재구성 가능한 원형 편파 マイクロストリップアンテナ

A Reconfigurable Circularly Polarized Microstrip Antenna on a Cross-Shape Slotted Ground

윤원상 · 한상민** · 이동효* · 이경주* · 표성민* · 김영식*

Won-Sang Yoon · Sang-Min Han** · Dong-Hyo Lee* · Kyoung-Joo Lee* ·
Seongmin Pyo* · Young-Sik Kim*

요약

본 논문에서는 비대칭 십자형 접지면 슬롯 구조를 갖는 원형 편파 마이크로스트리ップ 안테나와 접지면 슬롯 구조를 재구성하여 편파 특성을 변환시키는 방안을 제안하였다. 접지면의 슬롯 구조에 의해 방사 소자의 전류 흐름이 교란되어 원형 편파가 발생되며, PIN 다이오드의 on/off 동작 상태를 조정하여 비대칭 십자형 슬롯의 구조를 대칭적으로 변환시켜 원형 편파 특성을 재구성할 수 있다. 제안된 안테나는 원형 편파 형성을 위한 perturbation이 접지면에 위치하므로, PIN 다이오드 상태 조정을 위한 바이어스 회로 또한 접지면에 위치하게 되어 구현의 복잡도가 낮아지며, 이로 인해 방사 패턴의 왜곡을 감소시킬 수 있다. 제안된 안테나는 2.4 GHz 대역의 동작 주파수에서 임피던스 대역폭 150 MHz, 축비 대역폭 35 MHz, 최대 안테나 이득 1.7 dBi의 특성을 나타내었다.

Abstract

A compact circular microstrip patch antenna with a switchable circular polarization(CP) is proposed at 2.4 GHz. An unequal cross-shaped slot on a ground plane is utilized as a perturbation. By switching pin diodes mounted on the slot, the CP sense of each antenna can be simply switched from left-handed(LH) CP to right-handed(RH) CP vice versa. Since the perturbation can be made on the ground plane and no bias circuit is required on the patch side, the bias circuit has not effect on the main beam radiation. From the experimental results, the impedance bandwidth and CP bandwidth of the proposed antenna have shown up to 150 MHz and 35 MHz, respectively. The peak gain of the proposed antenna is 1.7 dBi for both CP senses.

Key words : Microstrip Patch Antennas, Circular Polarization, Reconfigurable Antennas, Cross-shape Slots, Pin Diodes

I. 서 론

최근의 무선 통신 시스템은 단일 단말기를 이용하여 복합 서비스를 제공하기 위하여 다양한 전송 환경에서의 통신이 가능하도록 연구 개발되고 있다.

이를 위하여 단일 안테나를 이용하여 복합 기능-다중 주파수, 다중 편파, 다중 방사 특성의 지원이 가능한 재구성 안테나의 연구가 많이 진행되어 왔다^{[1]~[3]}. 한편, 원형 편파는 선형 편파와 달리 송수신 단말의 방위에 구애 받지 않고 일정한 링크 이득을 유지시

*삼성탈레스 통신연구소(Communication R&D Center, Samsung Thales)

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

***순천향대학교 정보통신공학과(Department of Information and Communication Engineering, Soonchunhyang University)

· 논문 번호 : 20091009-116

· 교신 저자 : 김영식(e-mail : yskim@korea.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2009년 12월 24일

킬 수 있는 장점을 가지고 있어 무선 주파수 인식 시스템(RFID)이나 위성 통신 시스템 등의 다양한 무선 통신 시스템에서 다양하게 요구되고 있으며, 원형 편파 다이버시티를 이용하여 채널의 용량을 증가시키거나 변조 방식으로 활용할 수 있다^{[4],[5]}. 마이크로스트립 패치 안테나는 가볍고, 제작이 용이하고, 제작 비용이 적게 드는 장점을 가지고 있어서 많은 무선 통신 시스템에서 사용되고 있으며, 이중 급전 구조를 이용하여 직교하는 2개의 선형 편파를 형성하거나, 전류 교란 구조를 이용하여 용이하게 원형 편파를 생성할 수 있는 장점을 가진다. 따라서, PIN diode 등의 스위칭 소자를 이용하여 좌회전 및 우회전 편파 변환이 가능한 편파 변환 마이크로스트립 안테나의 연구가 이루어지고 있으나, 능동 소자의 조립과 구동용 바이어스 회로의 포함으로 인해 안테나의 복잡도가 높아지고 안테나 방사 패턴의 왜곡이 발생하는 문제점을 포함하고 있다^{[6]~[9]}.

본 논문에서는 십자 형태의 접지면 슬롯과 PIN diode를 이용하여 재구성 가능한 원형 편파를 방사하는 마이크로스트립 안테나를 제안하고자 한다. 본 논문에서 연구된 안테나에서 편파 재구성을 위한 PIN diode와 직류 바이어스 공급 회로가 기판 하단의 접지면에 위치하게 되므로 구현의 복잡도가 낮아지고 안테나의 방사 특성에 대한 왜곡도 적어지는 장점을 갖는다. 안테나의 구조와 원형 편파의 생성 원리 및 재구성 안테나의 설계를 Ⅱ장에 기술하였으며, 제안된 안테나의 측정 결과를 Ⅲ장에 나타내었다. Ⅳ장에서 본 논문을 통해 제안된 안테나의 설계 결과와 적용 가능 분야를 언급하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

2-1 안테나 기본 구조

제안된 원형 편파 안테나는 그림 1에 나타내어진 것과 같이 유전체 기판 상단부의 원형 패치와 하단부의 십자 형태의 슬롯을 포함하는 접지면으로 구성되며, 그림 1에 나타난 것과 같이 원형 패치의 중심에서 x축 방향으로 $+d_f$ 만큼 이격된 위치에 급전점이 위치한다.

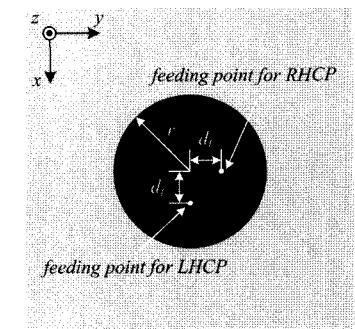
일반적인 원형패치 안테나의 경우 선형 편파를 갖게 되지만, 접지면에 비대칭적인 구조를 갖는 십

자형 슬롯을 만들어 주면 원형 패치에 인가되는 전류가 교란되어 degenerate 모드가 형성되고 원형 편파를 발생시킬 수 있다.

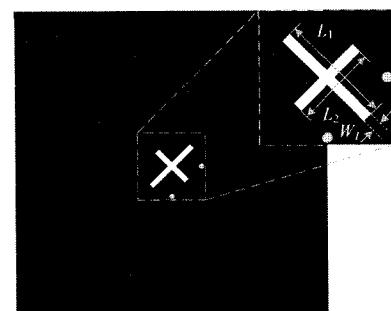
이 때, 급전점의 위치를 $+x$ 축 위에 위치시키게 되면 원형 패치위의 전류 방향이 시계 방향으로 회전하게 되어 좌회전 원형 편파가 발생한다. 또한, 급전점의 위치를 반시계 방향으로 90도 회전시키게 되면 전류의 회전 방향이 반시계 방향으로 바뀌어 우회전 원형 편파가 발생된다. 이에 대한 모의실험을 Ansoft 사의 EM 시뮬레이터인 HFSS를 이용하여 진행하였으며, 그림 2에 나타난 것과 같이 주어진 비대칭 십자 슬롯 구조에서 급전점의 위치에 따라 전류의 회전 방향이 시계 방향 또는 반시계 방향으로 변화함을 알 수 있다.

2-2 슬롯 크기에 따른 안테나 특성 변화

접지면의 비대칭 십자형 슬롯의 크기에 따른 안



(a) 윗면
(a) Top view



(b) 아랫면
(b) Bottom view

그림 1. 제안된 원형 편파 안테나의 구조
Fig. 1. Configuration of the proposed CP antenna.

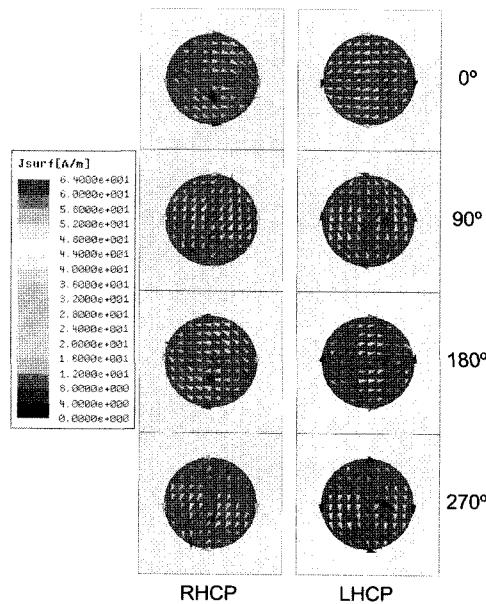


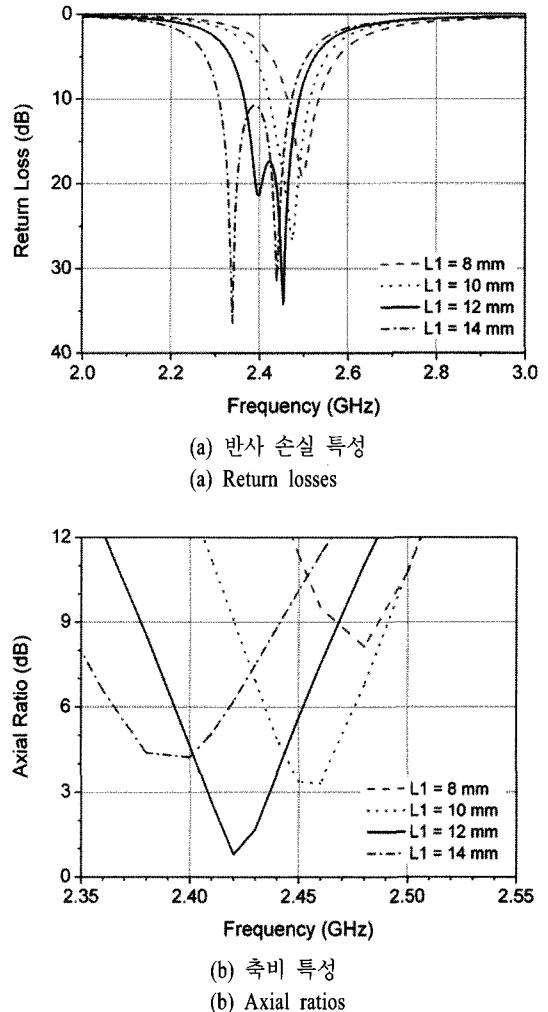
그림 2. 편파 변화에 따른 전류 분포도

Fig. 2. Current distributions of the proposed antenna.

테나 특성의 변화를 모의 실험한 결과를 그림 3, 4에 나타내었다. 원형 패치의 반지름 r 을 16 mm, 슬롯의 폭 W_1 을 1 mm로 고정시킨 상태에서 십자 슬롯의 긴 축의 길이 L_1 을 변경시켰을 때의 반사 손실 및 축비 특성은 그림 3에 나타난 것과 같다. L_1 이 증가함에 따라 2개의 직교 모드의 주파수 및 위상 차이가 변화하며, L_1 이 12 mm일 때 축비가 3 dB 이하가 되는 원형 편파가 형성되는 것을 알 수 있다. 또한 L_1 값을 12 mm로 고정하였을 때, 짧은 축의 길이 L_2 를 변경하여 직교 슬롯 길이의 비율 ra 를 0.4에서 0.8 사이에서 변화시켰을 때의 안테나 특성을 그림 4에 나타내었다. ra 가 커질수록 직교 모드간 주파수 간격이 좁아지게 되며, ra 가 0.7일 때 2.41 GHz에서 0.5 dB의 최소 축비를 갖게 된다.

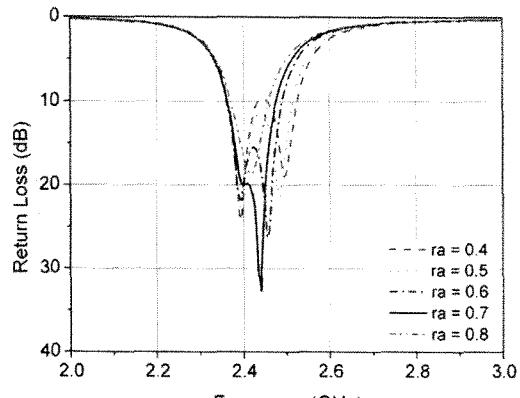
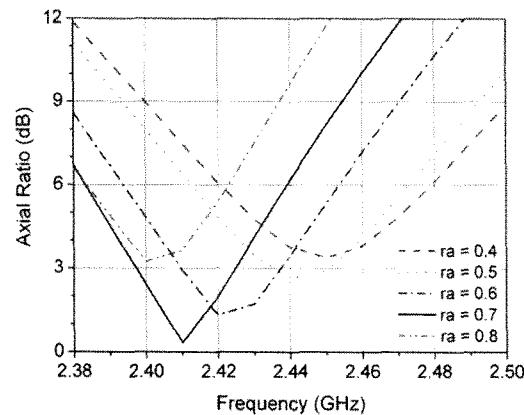
2-3 재구성 원형 편파 안테나 설계

앞 절에서 설계된 원형 편파 안테나를 이용하여 단일 급전점을 갖고, 전기적으로 원형 편파 특성을 재구성할 수 있는 안테나를 제안하였다. 그림 5와 같이 접지면에 한 축의 길이가 l_s 인 십자형 슬롯을 구현하고, 비대칭 특성을 인가할 수 있도록 PIN 다이오드들을 슬롯 위에 위치시켰다. D_1, D_4 의 극성과

그림 3. L_1 값에 따른 안테나 특성 변화Fig. 3. Effect of L_1 on antenna properties.

D_2, D_3 의 극성을 반대로 위치시켜, 표 1과 같이 PIN 다이오드의 on/off 상태를 제어하여 편파 특성이 변환될 수 있도록 하였다. 또한, 제안된 접지면에 짧은 선 폭 w_2 를 갖는 슬롯을 추가하고, 이를 캐패시터로 연결하여 PIN 다이오드의 on/off 상태를 제어를 위한 직류 전위차를 인가할 수 있도록 하였다.

편파 재구성을 위한 바이어스 회로가 접지면에 위치하기 때문에 방사 소자에 전원을 인가하기 위한 전원 라인, 초크 인덕터 등이 사용되지 않아 방사 패턴의 왜곡이 최소화된다. 또한, 그림 6에 나타난 것과 같이 접지면을 분리하기 위한 슬릿에 의해 안테나의 공진 주파수가 낮아지게 된다.

(a) 반사 손실 특성
(a) Return losses(b) Axial ratios
(d) 축비 특성그림 4. 슬롯 길이 비율에 따른 안테나 특성 변화
Fig. 4. Effect of ra on antenna properties.

III. 안테나 제작 및 측정

제안된 재구성 원형 편파 안테나를 비유전율 4.4, 두께 1.6 mm를 갖는 유전체 기판을 이용하여 2.4 GHz에서 동작하도록 설계하였다.

원형 패치 안테나의 동작 주파수는 원형 패치의 반지름 r 에 의해서 식 (1)과 같이 정의된다.

$$f_r = \frac{c}{4\pi\sqrt{\epsilon_e}} \quad (1)$$

이 때, c 는 자유공간에서의 빛의 속도를, ϵ_e 는 유전체 기판의 유효유전율을 나타낸다. 이에 의해 원형 패치의 반지름은 16 mm가 얻어지나, 2-3절에 언급

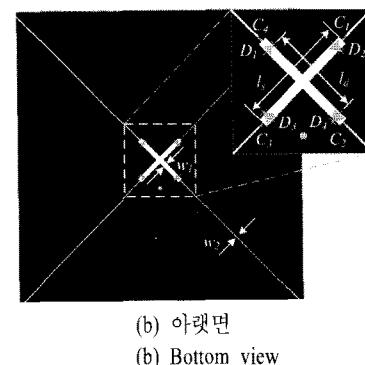
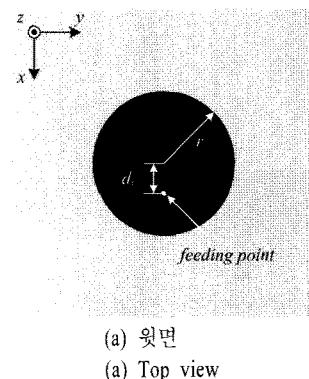


그림 5. 제안된 재구성 원형 편파 안테나의 구조

Fig. 5. Configuration of the proposed reconfigurable CP antenna.

표 1. PIN 다이오드 상태에 따른 안테나 편파 특성
변환

Table 1. Polarization control of the proposed antenna.

PIN diode 상태	편파 특성
D_1, D_4 : On D_2, D_3 : Off	우회전 원형 편파(RHCP)
D_1, D_4 : On D_2, D_3 : Off	좌회전 원형 편파(LHCP)

한 것과 같이 접지면 분리 슬롯에 의한 공진 주파수 변화를 고려하여 원형 패치의 반지름을 14 mm로 구현하였으며, PIN 다이오드는 Infineon Technologies사의 BAR64-02W를 사용하였다. 안테나의 각 설계 변수는 표 2에 정리된 것과 같다.

제작된 안테나의 반사 손실 측정을 위해 네트워크 분석기 Agilent사의 5071C을 사용하였으며, 무반사 실을 이용하여 안테나 이득, 방사 패턴을 측정하였

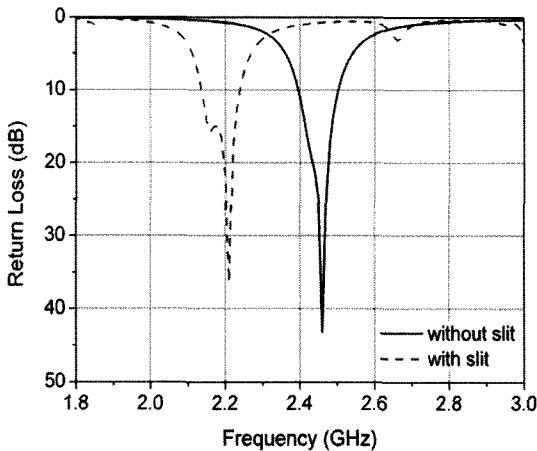


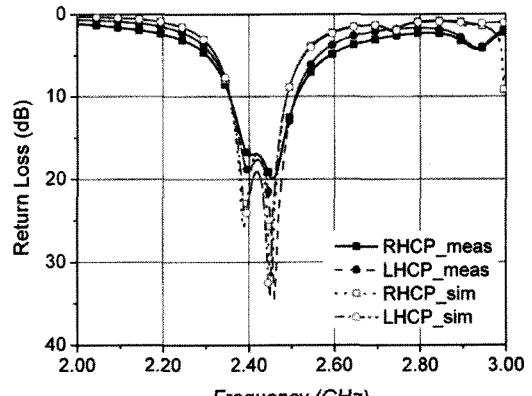
그림 6. 접지면 분리 슬릿에 의한 안테나 공진 주파수 변화

Fig. 6. Resonant frequency shift due to the narrow slit.

표 2. 구현한 재구성 원형 편파 안테나의 설계 변수
Table 2. Design parameters of the proposed reconfigurable antenna.

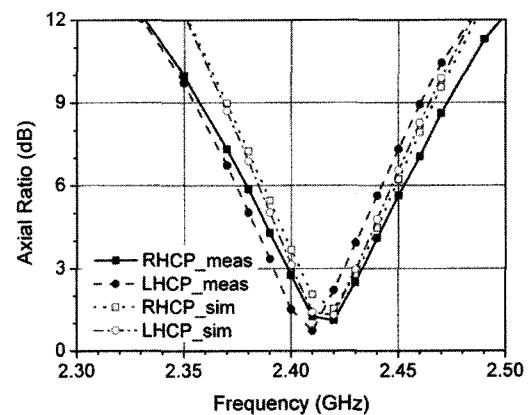
설계 변수	설계 값
r	14 mm
L_s	11 mm
L_d	8 mm
d_f	5.8 mm
W_1	1 mm
W_2	0.2 mm

다. 그림 7에 제작된 안테나의 임피던스 대역폭, 축비 대역폭, 안테나 이득에 대한 시뮬레이션 및 측정 결과를 나타내었다. 각 원형 편파에서 10 dB 이상의 반사 손실을 갖는 임피던스 대역폭은 2.36~2.51 GHz (150 MHz)이었으며, 축비 대역폭(축비 3 dB 이하)은 우회전 원형 편파에서 2.395~2.43 GHz(35 MHz), 좌회전 원형 편파에서 2.39~2.425 GHz(35 MHz)를 나타내었으며, 최소 축비 측정 결과 2.41 GHz에서 우회전 원형 편파에서 1.1 dB, 좌회전 원형 편파에서 0.7 dB를 나타내었다. 2.41 GHz에서 안테나 이득은 우회전 원형 편파 2.8 dBi, 좌회전 원형 편파 3.1 dBi의 값을 나타내었다. 그림 7에 나타난 바와 같이 시뮬레이션 결과값과 측정 결과값이 유사하게 나타났다.



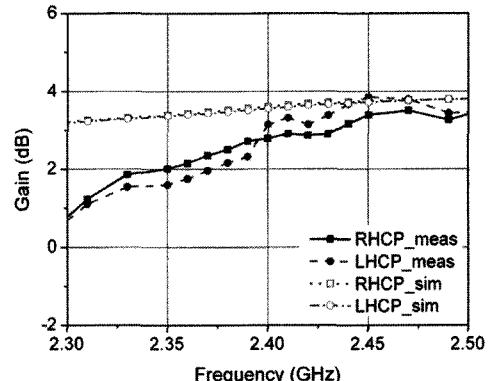
(a) 반사 손실

(a) Return losses



(b) 축비

(b) Axial ratios

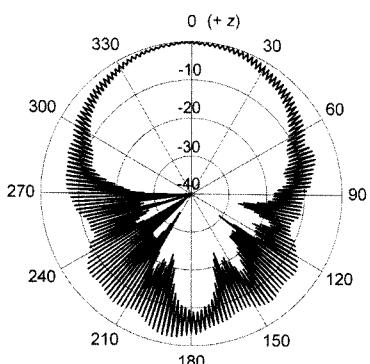


(c) 안테나 이득

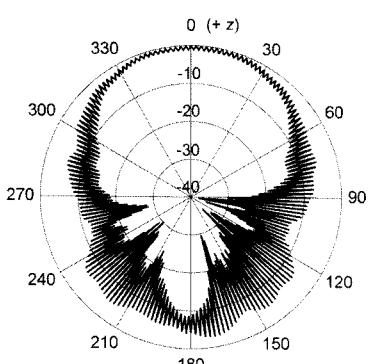
(c) Gains

그림 7. 재구성 안테나 측정 결과

Fig. 7. Measured results of the proposed reconfigurable CP antenna.



(a) 우회전 편파
(a) LHCP



(b) 좌회전 편파
(b) RHCP

그림 8. 선형 회전 방사 특성 측정 결과(2.41 GHz)

Fig. 8. Measured linearly spinning patterns of the proposed reconfigurable antenna at 2.41 GHz.

최소 축비점을 나타내는 2.41 GHz에서 측정한 선형 회전 방사 패턴을 그림 8에 나타내었으며, 측정 결과와 같이 각 원형 편파에서 안테나 주 범 방향(+z 축)으로 원형 편파가 잘 형성됨을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문을 통해 재구성 가능한 접지면 슬롯을 갖는 원형 편파 변환 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 접지면에 위치한 십자형 슬롯과 슬롯 위에 놓인 전류 경로에 의해 원형 편파를 방사하게 되며, 전류 경로의 위치를 변경하여 편파 특성을 변환할 수 있다. 제안된 안테나를 2.4 GHz의 공진 주파수를 갖도록 설계 및 제작하여 특성을 측정하였으며, 바

이어스 전압을 제어하여 편파 특성이 변환되는 것을 확인하였다. 제안된 안테나는 RFID 리더 시스템 또는 WLAN 소형 기지국 시스템 등의 어플리케이션에 적용 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] A. C. K. Mak, C. R. Rowell, R. D. Murch, and C. -L. Mak, "Reconfigurable multiband antenna designs for wireless communication devices", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 7, pp. 1919-1928, 2007.
- [2] X. -S. Yang, B. -Z. Wang, and W. Wu, "Pattern reconfigurable patch antenna with two orthogonal quasi-yagi arrays", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2005*, 2B, pp. 617-620, 2005.
- [3] Y. -F. Wu, C. -H. Wu, D. -Y. Sai, and F. -C. Chen, "A reconfigurable quadri-polarization diversity aperture-coupled patch antenna", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 55, no. 3, pp. 1009-1012, 2007.
- [4] S. -T. Fang, "A novel polarization diversity antenna for WLAN application", *IEEE AP-S Dig.*, pp. 282-285, 2000.
- [5] M. -A. Kossel, R. Küng, H. Benedickter, and W. Bächtold, "An active tagging system using circular-polarization modulation", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 47, no. 12, pp. 2242-2248, 1999.
- [6] A. Khaleghi, M. Kamyab, "Reconfigurable single port antenna with circular polarization diversity", *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 57, no. 2, pp. 555-559, 2009.
- [7] W. -L. Liu, T. -R. Chen, S. -H. Chen, and J. -S. Row, "Reconfigurable microstrip antenna with pattern and polarisation diversities", *Electronics Letters*, vo. 43, no. 2, pp. 77-78, 2007.
- [8] W. -S. Yoon, S. -M. Han, J. -W. Baik, S. Pyo, J. Lee, and Y. -S. Kim, "A crossed dipole antenna with a switchable circular polarisation sense", *Electronics Letters*, vol. 45, no. 14, pp. 717-718, 2009.

[9] D. -H. Hyun, J. -W. Baik, S. H. Lee, and Y. -S. Kim, "Reconfigurable microstrip antenna with pola-

risation diversity", *Electronics Letters*, vol. 44, no. 8, pp. 509-510, 2008.

윤 원 상

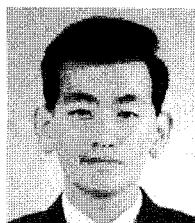


1997년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)
1999년 2월: 고려대학교 통신시스템학과 (공학석사)
2007년 8월~현재: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 박사과정
1999년 3월~현재: 삼성탈레스 통신

연구소 전문연구원

[주 관심분야] Antennas, Active Components for Wireless System, Microwave & RF Front-End System

한 상 민



1996년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학사)
1998년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
2003년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학박사)
2003년 10월~2004년 11월: 미국 UCLA Post-Doctoral Research Fellow

2005년 1월~2007년 8월: 삼성종합기술원 전문연구원
2007년 9월~현재: 순천향대학교 정보통신공학과 조교수
[주 관심분야] RF Systems, Low-Power Transceivers, Active Antennas

이 동 효



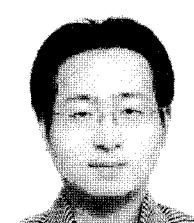
2008년 2월: 남서울대학교 정보통신공학과 (공학사)
2008년 3월~현재: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 석사과정
[주 관심분야] Reconfigurable Antenna, Array Antenna and System

이 경 주



2006년 8월: 고려대학교 전파통신공학 (공학사)
2009년 2월: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 (공학석사)
2009년 3월~현재: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 박사과정
[주 관심분야] Metamaterial-based RF Circuit, Active/Passive Antennas, Array Antenna and System

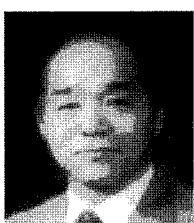
표 성 민



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

2007년 3월~2008년 8월: 고려대학교 정보통신기술연구소 연구원
2008년 9월~현재: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 박사과정
[주 관심분야] Metamaterial-Based RF Circuit, Device and System

김 영 식



1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업대학 전자과 조교수
1988년 5월: Univ. of Massachusetts at Amherst (공학박사)
1988년 5월~1989년 2월: Univ. of Massachusetts at Amherst, Post-Doc.
1989년 3월~1993년 2월: 한국전자통신연구원 이동통신연구단 무선기술연구실 실장
1993년 3월~현재: 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 교수
[주 관심분야] RF Front-End System, Antennas