

비대칭 U자형 슬롯 접지면을 이용한 편파변환 마이크로스트립 안테나

이동효¹, 윤원상^{1,2}, 한상민³, 표성민¹, 김영식^{1*}

¹고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과, ²삼성탈레스, ³순천향대학교 정보통신공학과

A Switchable Circularly Polarized Microstrip Antenna using Asymmetric U-shaped Slotted Ground Structures

Dong-Hyo Lee¹, Won-Sang Yoon^{1,2}, Sang-Min Han³, Seongmin Pyo¹
and Young-Sik Kim^{1*}

¹Dept. of Computer and Radio Communications Eng., Korea Univ.

²Samsung Thales

³Dept. of Information and Communication Eng., Soonchunhyang Univ.

요약 본 논문에서는 원형편파 변환에 적합한 정사각형 마이크로스트립 안테나를 제안하였다. 제안한 안테나는 접지면의 비대칭 U자형 슬롯의 구조적 특징으로 인하여, 90도의 위상 차이를 갖는 직교전계가 형성되어 원형편파 특성을 형성한다. 또한 비대칭 U자형 슬롯의 대칭축에 따라 원형편파의 방향을 쉽게 조절할 수 있는 장점을 가지고 있다. 비대칭 U자형 슬롯의 대칭축은 두 개의 스위칭 다이오드를 이용하여, 전압조건의 상태에 따라 좌회전편파와 우회전편파를 각각 실험적으로 구현하였다. 측정된 원형편파의 축비는 2.46 GHz 동작주파수에서 편파방향에 상관없이 약 1.5 dB의 높은 축비특성을 보여주며, 29 MHz (약 1.2 %) 축비 대역폭을 가짐을 실험적으로 확인하였다.

Abstract In this paper, a new microstrip antenna using asymmetric U-shaped slotted ground is proposed for a switchable circular polarization sense. The proposed antenna is achieved a circularly polarization from orthogonal E-field distributions with 90 degree phase difference due to the asymmetrical U-shaped slot. Moreover, the circular polarization sense of the proposed antenna can be easily switchable with changing the symmetric plane of the U-shaped slots. As a result, the proposed antenna is implemented by two PIN diodes with two different bias condition for ON/OFF states. The measured axial ratios are about 1.5 dB without the dependence of the polarization sense and 3-dB axial ratio bandwidth are achieved 29 MHz with respect to about 1.2 % at 2.46 GHz operating frequency.

Key Words : Microstrip Antenna, Switchable Circular Polarization, Asymmetric U-shaped Slot, Slotted Ground Plane.

1. 서론

최근 통신의 발달로 각기 다른 전송 환경에서의 통신과 더 많은 서비스의 제공을 위하여 단일 안테나에서 다양한 편파 특성을 구현할 수 있는 편파변환 기술이 요구됨에 따라, 편파변환 안테나 시스템이 다양하게 개발되어 왔다 [1-3].

편파변환 특성을 갖는 안테나는 다중동작 시스템에서 유용하게 적용되고 있을 뿐만 아니라, 무선통신 시스템에서도 매우 편리한 안테나로 활용되고 있다. 특히 주파수 효율을 높이기 위해 일부 시스템에서는 우선형편파와 좌선형편파를 동시에 사용하기도 한다 [4-6].

마이크로스트립 패치 안테나는 두께가 얇고 제작이 간편하다는 장점을 가지고 있다. 특히 구조상 PIN 다이오

이 연구에 참여한 연구자는 2단계 BK21사업 연구비를 지원받았음.

*교신저자 : 김영식(yskim@korea.ac.kr)

접수일 09년 11월 09일

수정일 09년 12월 09일

게재확정일 10년 01월 20일

드나 캐패시터와 같은 집중 정수 소자와 능동소자를 삽입하여 공진주파수, 임피던스, 편파와 패턴의 가변이 쉽기 때문에 편파변환 안테나 제작에 많이 사용된다 [7,8].

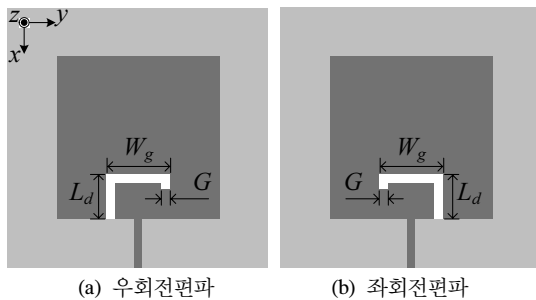
접지면에 슬롯을 이용한 결합 접지 구조 (Defected Ground Structure : DGS)는 여파기나 전력분배기에 주로 사용되어지나 [9-12], 본 논문에서는 안테나의 접지면에 슬롯을 이용하여 편파 변환 특성을 구현함으로써 패치면을 이용하여 편파 변환 특성을 갖는 안테나에 비하여 급전 회로에 의한 방사패턴의 왜곡을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 선형편파 특성을 갖는 정사각형 구조의 패치 안테나 접지면에 비대칭 U자형 슬롯을 구성하고 편파변환을 하기 위하여 두 개의 PIN 다이오드를 삽입하였다. 제안한 안테나는 DC 전압에 의하여 독립적으로 조정되는 PIN 다이오드의 ON / OFF 특성을 이용하였다. PIN 다이오드 D_1 이 ON 되고 D_2 가 OFF되면 D_1 방향으로 전류의 흐름을 유도하여 두 개의 직교하는 공진모드를 형성함으로써 좌회전편파 특성이 나타나며, D_2 가 ON되고 D_1 이 OFF되면 D_2 방향으로 전류의 흐름을 유도하여 우회전편파 특성이 나타날 수 있도록 설계하였다.

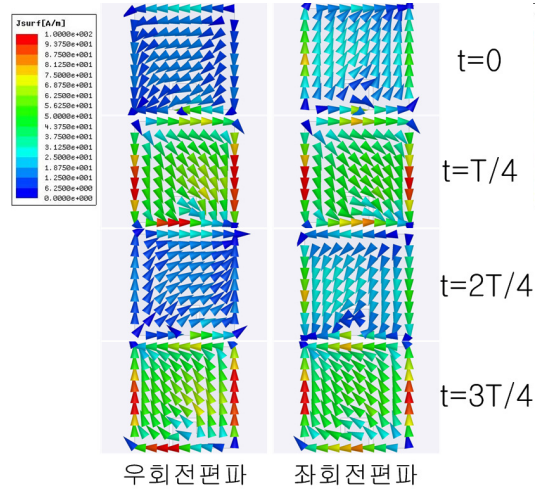
2장에서는 패치 안테나의 설계 변수와 제안된 안테나의 구조를 설명하고, 3장에서는 제안된 안테나의 모의실험 결과와 측정결과를 제시한다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 안테나 기본 구조 및 설계

편파변환을 위한 기본 원형편파 안테나의 구조는 그림 1에 나타내었다. 비유전율 4.4, 두께 1.6 mm의 FR4 기판의 윗면에는 한변의 길이 (L)가 27 mm의 정사각형 패치 안테나를 구성하고 50 Ω 급전선로와 정사각형 패치 사이에 $\lambda/4$ 변환기를 삽입하였으며,



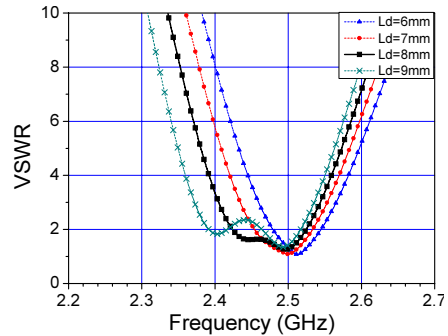
[그림 1] 편파변환을 위한 기본 원형편파 안테나의 구조



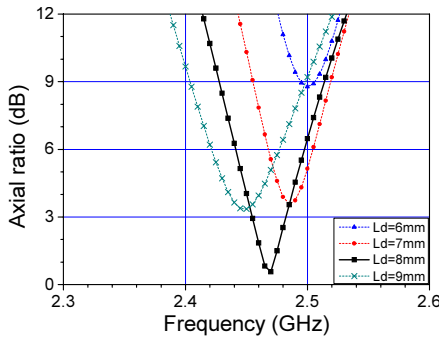
[그림 2] 원형편파 모드 별 전류 분포

아랫면에는 비대칭 U자형 슬롯을 가로 길이 (W_g)의 중앙이 급전선로의 연장선에 위치하도록 구성하였다. 비대칭 U자형 슬롯의 좌측과 우측을 각각 제거함으로써 우회전편파와 좌회전편파를 구현하였다. 이때 슬롯이 없는 부분으로 전류가 교란되어 직교모드가 형성되고 원형편파를 발생시킬 수 있다.

그림 2는 제안된 안테나의 원형편파 모드 별 전류분포를 모의실험을 통하여 나타내었으며, 각 원형 편파 별로 전류의 회전방향이 시계 방향 또는 반 시계 방향으로 변화함을 확인하였다. 접지면에 비대칭 U자형 슬롯의 세로 길이 (L_d)는 제안된 안테나에서 원형편파 특성을 구현함에 있어서 축비 특성에 영향을 미치는 변수이다. 본 실험에서는 비대칭 U자형 슬롯의 세로 길이 (L_d)를 6 mm, 7 mm, 8 mm, 9 mm로 설정하고, 비대칭 U자형 슬롯의 가로 길이 (W_g)는

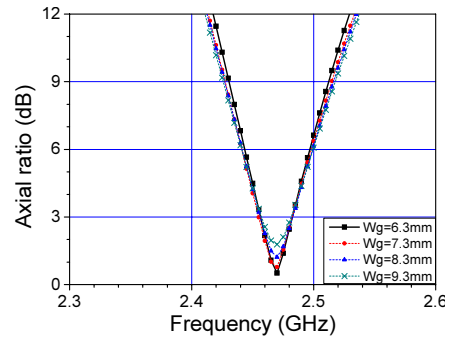


(a) 정재파비



(b) 축비 특성

[그림 3] L_d 변화에 따른 안테나 특성 변화



(b) 축비 특성

[그림 4] W_g 변화에 따른 안테나 특성 변화

입의의 값인 8 mm, 슬롯의 폭 (G)은 입의의 값인 1 mm로 설정하여 각 길이의 변화에 대하여 나타나는 정재파비와 축비 특성을 살펴보았다.

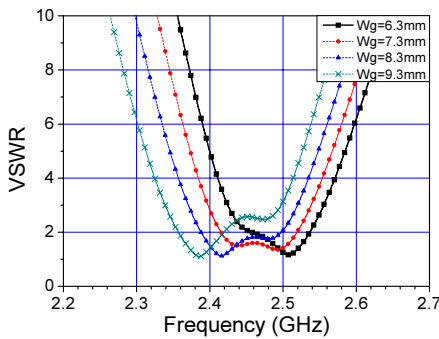
L_d 의 변화에 따른 안테나 특성 변화에 대한 모의실험 결과를 그림 3에 그래프로 나타내었다. 그림 3 (a)는 L_d 의 변화에 따른 정재파비의 결과를 보여준다. 모의실험 결과, L_d 가 커질수록 공진주파수는 내려가고 직교 모드간의 주파수 간격이 커지며, $L_d = 8$ mm일 때 2.47 GHz에서 0.5 dB의 최소 축비를 갖게 된다. 그림 3 (b)는 L_d 의 변화에 따른 축비 특성의 결과를 보여준다.

접지면에 비대칭 U자형 슬롯의 가로 길이 (W_g)는 제안된 안테나에서 중심주파수와 축비 특성에 모두 영향을 미치는 변수이다. 본 실험에서는 비대칭 U자형 슬롯의 세로 길이 (L_d)는 실험을 통하여 얻은 값인 8 mm로 설정하고, 슬롯의 폭 (G)은 입의의 값인 1 mm로 설정한 후 비대칭 U자형 슬롯의 가로 길이 (W_g)를 6.3 mm, 7.3 mm, 8.3 mm, 9.3 mm로 설정하여 각 길이의 변화에 대하여 나타나는 정재파비와 축비 특성을 살펴보았다.

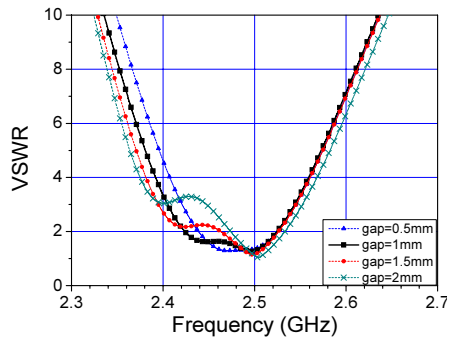
W_g 의 변화에 따른 모의실험 결과를 그림 4에 그래프로 나타내었다. 그림 4 (a)는 W_g 의 변화에 따른 정재파비의 결과이며, 그림 4 (b)는 W_g 의 변화에 따른 축비 특성의 변화를 보여준다. 그림에서 W_g 가 커질수록 공진주파수는 내려가고 직교모드간의 주파수 간격이 넓어지게 되며, $W_g = 6.3$ mm일 때 2.47 GHz에서 0.5 dB의 최소 축비를 갖게 된다.

접지면에 비대칭 U자형 슬롯의 폭 (G)은 직교모드에 영향을 미치는 변수이다. 본 실험에서는 비대칭 U자형 슬롯의 세로 길이 (L_d)는 실험을 통하여 얻은 값인 8.3 mm로 설정한 후, 슬롯의 폭 (G)을 0.5 mm, 1 mm, 1.5 mm, 2 mm로 설정하여 각 길이의 변화에 대하여 나타나는 정재파비와 축비 특성을 살펴보았다.

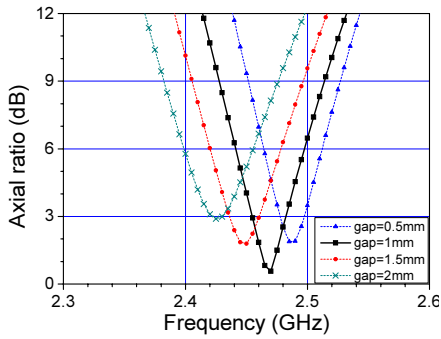
G 의 변화에 따른 모의실험 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5 (a)는 G 의 변화에 따른 정재파비의 결과를 보여준다. 모의실험 결과, G 가 작아 질수록 직교모드간의 주파수 간격이 좁아지게 되며,



(a) 정재파비



(a) 정재파비



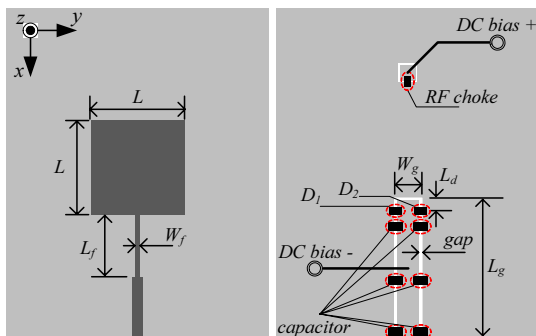
(b) 축비 특성

[그림 5] gap 변화에 따른 안테나 특성 변화

$G = 1$ mm일 때 2.47 GHz에서 0.5 dB의 최소 축비를 갖게 된다. 그림 5 (b)는 G 의 변화에 따른 축비 특성의 결과를 보여준다.

3. 편파변환 안테나 설계

본 논문에서 제안된 편파변환 안테나의 구조를 그림 6에 나타내었다. 윗면에는 한변의 길이 (L)가 27 mm의 기본적인 정사각형 패치 안테나를 구성하고 50 Ω 급전선로와 정사각형 패치 사이에 $\lambda/4$ 변환기를 삽입하였으며, 아랫면에는 비대칭 U자형 슬롯을 포함한 접지면으로 구성되었다. 그림 6에서 본 바와 같이 비대칭 U자형 슬롯은 패치면의 급전선로를 기준으로 대칭될 수 있도록 접지면에 구성하였으며, PIN 다이오드 동작을 위한 급전선로를 구성하고 RF choke가 삽입되었다. 비대칭 U자형 슬롯에는 6 개의 캐패시터 그리고 2 개의 PIN 다이오드가 삽입되었다.



(a) 윗 면

(b) 아랫면

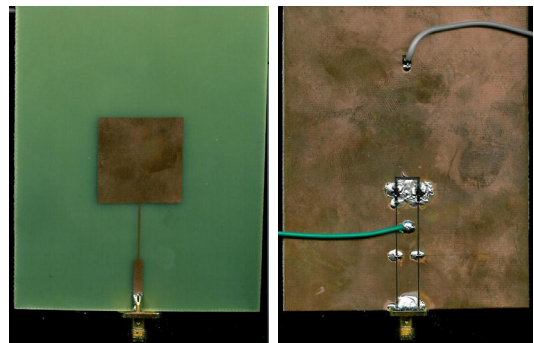
[그림 6] 제안된 편파변환 안테나

[표 1] PIN 다이오드 상태에 따른 편파변환 모드

	우회전편파	좌회전편파
D1	OFF	ON
D2	ON	OFF

[표 2] 제안된 편파변환 안테나의 치수

L	L_f	L_g	L_d
27	17.8	42.9	3.5
W_f	W_g	gap	단위
0.5	8.3	0.8	mm



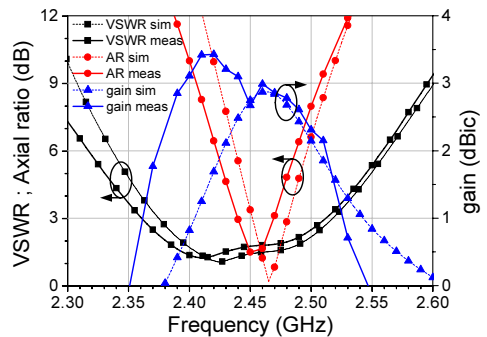
(a) 윗 면

(b) 아랫면

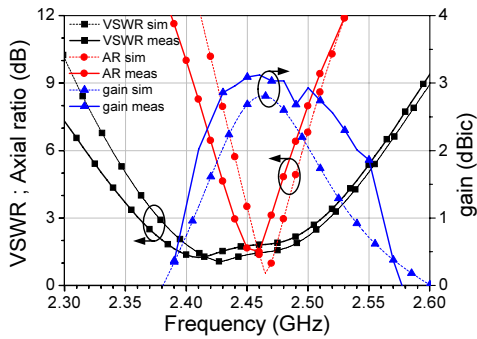
[그림 7] 제작된 편파변환 안테나

RF choke 는 PIN 다이오드 동작을 위한 DC 전압을 인가하고 RF 신호를 막기 위하여 구성되었고, 캐패시터는 PIN 다이오드의 동작을 위하여 분리된 접지면을 연결하고 DC 전압을 차단하기 위하여 삽입되었다.

각각의 PIN 다이오드 (D_1 , D_2)는 편파변환을 위해 독립적으로 조정 되었다. PIN 다이오드 D_1 이 ON되고 D_2 가 OFF되면 D_1 방향으로 전류의 흐름을 유도하여 두 개의 직교하는 공진모드를 형성함으로써 좌회전편파 특성을 나타내며, D_2 가 ON되고 D_1 이 OFF되면 D_2 방향으로 전류의 흐름을 유도하여 우회전편파 특성을 나타낸다.



(a) 우회전편파



(b) 좌회전편파

[그림 8] 편파변환 안테나의 모의실험 결과와 측정 결과

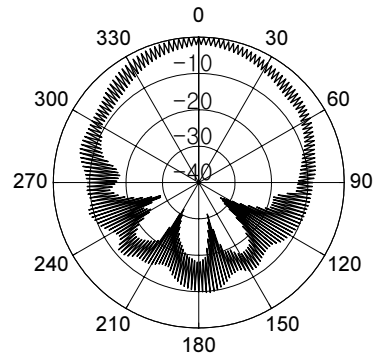
제안된 안테나의 모의실험은 유한요소법을 기반으로 하는 Ansoft 사의 HFSS를 이용하였으며, 모의실험에서 PIN 다이오드 D_1 과 D_2 의 ON / OFF 상태는 마이크로스트립 선의 유무로 조절하였다. 각 PIN 다이오드의 상태에 따른 편파변환 모드는 표 1에 정리하였다.

4. 안테나 제작 및 측정

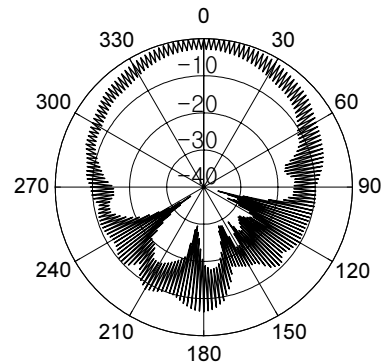
제안된 편파변환 안테나를 비유전율 4.4, 두께 1.6 mm 를 갖는 FR4 기판을 이용하여 2.46 GHz에서 동작하도록 설계하였다. PIN 다이오드는 Agilent Technologies사의 HSMP-3860을 사용하였으며, 안테나의 각 설계 변수는 표 2에 정리된 것과 같다. 제작된 편파변환 안테나의 사진을 그림 7에 나타내었다.

안테나는 전파무향실 (anechoic chamber) 내에서 측정되었다. 측정시 안테나 동작을 위한 급전 선로의 늘어짐 현상으로 인해 급전 선로에 의한 방사 패턴의 왜곡이 우려되었으나, 급전 선로를 흡수체 사이로 위치하고 안테나 거치대에 고정함으로써 급전 선로로 인한 방사패턴의 왜곡을 최소화 하였다.

그림 8에 제작된 안테나의 정재파비, 축비 특성 및 안테나 이득 측정 결과를 나타내었다. 각 원형편파에서 2:1 정재파비 대역폭은 2.375 ~ 2.48 GHz (105 MHz)이었으며, 축비 대역폭은 우회전편파에서 2.434 ~ 2.463 GHz (29 MHz), 좌회전편파에서 2.44 ~ 2.469 GHz (29 MHz) 를 나타내었다. 각 원형 편파 모두 2.46 GHz에서 1.5 dB 의 최소 축비 특성을 보였으며, 약 3 dBic의 이득을 나타내었다. 그림 9 (a)와 (b)는 편파변환 안테나의 선형 회전 방사 패턴을 나타내었으며, 그림에서 안테나의 주비 방향 (+z 축) 으로 원형편파가 잘 형성되고 있음을 알 수 있다.



(a) 우회전편파 (2.45 GHz)



(b) 좌회전편파 (2.46 GHz)

[그림 9] 원형 편파의 선형 회전 방사 패턴

5. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 패치 안테나의 접지면에 비대칭 U자형 슬롯과 PIN 다이오드를 사용하여 편파변환 특성을 갖는 안테나를 설계 하였다. PIN 다이오드의 ON/OFF 특성을 독립적으로 조절하여 좌회전편파와 우회전편파 특성을 나타내었다. 모의실험 결과에서 편파변환이 가능함을 확인 하였고 실험을 통하여 증명하였다. 모의실험 결과와 측정 결과 모두 동일한 주파수에서 편파변환이 가능하였다. 원형편파 동작시 편파 방향에 관계없이 1.5 dB의 축비 특성과 29 MHz의 축비 대역폭을 보였으며, 3-dB 축비 대역폭을 포함하는 2:1 정재파비 대역폭을 보였다.

제안된 안테나는 단일 급전 구조로서 구조가 간단하며 좋은 방사 특성을 나타내었다. 이러한 안테나는 무선 데이터 통신에 유용하게 사용될 것으로 사료되며, 향후 제안한 안테나의 소형화 기술에 대한 지속적인 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] S. T. Fang, "A novel polarization diversity antenna for WLAN applications", *2000 IEEE AP-S Dig.*, pp. 282-285, Jul. 2000.
- [2] T.-U. Jang, B. Y. Kim, Y.-J. Sung, and Y.-S. Kim, "Square patch antenna with switchable polarization using spur-line and PIN diode," in *Proc. 2005 Asia-Pacific Microw. Conf.*, vol. 4, pp. 4-7. Dec. 2005.
- [3] F. Yang and Y. Rahmat-Samii, "A reconfigurable patch antenna using switchable slots for circular polarization diversity," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 12, no. 3, pp. 96-98, Mar. 2002.
- [4] C. L. Hong, I. J. Wassel, M. P. Sellars, S. D. Greaves, and M. Noakes, "Switchable-polarisation antenna for measuring polarisation dependence of multipath in 3.5 GHz FWA systems", *Electron. Lett.*, vol. 41, no. 4, pp. 164-165, Feb. 2005.
- [5] H. M. Chen and K. L. Wong, "On the circular polarization operation of annular-ring microstrip antennas," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 47, no. 8, pp. 1289-1292, Aug. 1990.
- [6] 이상운, "지상 및 위성 DMB 표준화 추진", TTA 저널 제92호, pp. 103-108, 2004년 5월.
- [7] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 3rd. edition, New York: Wiley, 2005.
- [8] M. K. Fries, M. Grani, and R. Vahldieck, "A reconfigurable slot for circular polarized patch antenna," *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 13, no. 11, pp. 490-492, Nov. 2003.
- [9] 정지현, 윤화영, 박광식, 임종식, 최홍택, 안달, "DGS를 이용한 Kuroda 지역통과여파기 설계," 한국산학기술학회논문지, vol. 10, no. 4, pp. 765-770, 2009년 4월.
- [10] 강민기, 백승호, 이소현, 장대훈, 임종식, 최홍택, 안달, "광대역 특성을 갖는 N-way 저항성 전력 분배기 설계," 한국산학기술학회논문지, vol. 10, no. 5, pp. 968-966, 2009년 5월.
- [11] 임종식, 배주석, 최관순, 안달, "결합접지구조와 집중소자를 지닌 초고주파 전송선로의 전기적 특성 연구," 한국산학기술학회논문지, vol. 7, no. 4, pp. 616-624, 2006년 8월.
- [12] 오성민, 구재진, 박천선, 황문수, 안달, 임종식, "다층기판으로 구현된 마이크로스트립 선로와 결합접지구조의 초고주파 특성 및 등가회로 모델링," 한국산학기술학회논문지, vol. 7, no. 6, pp. 1106-1115, 2006년 12월.
- [13] A. K. Marcel, K. Roland, H. Hansruedi, and B. Werner, "An active tagging system using circular polarization modulation", *IEEE Trans. Microw. Theory*

Tech., vol. 47, no. 12, pp. 2242-2248, Dec. 1999.

- [14] V. Nalbandial and C. S. Lee, "Planar circularly polarized microstrip antenna with a single feed," *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 47, no. 6, pp. 1005-1007, Jun. 1999.
- [15] K. L. Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, New York: Wiley, 2002.
- [16] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip antenna design handbook*, Norwood, MA: Artech House, 2001.

이 동 효(Dong-Hyo Lee)

[준회원]



- 2008년 2월 : 남서울대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 석사과정

<관심분야>

Reconfigurable antenna, array antenna and system

윤 원 상(Won-Sang Yoon)

[정회원]



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

<관심분야>

Reconfigurable antenna, Microwave&RF front-end system, Active component for wireless system

한 상 민(Sang-Min Han)

[정회원]



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

- 2005년 1월 ~ 2007년 8월 : 삼성종합기술원 전문연구원
- 2007년 9월 ~ 현재 : 순천향대학교 정보통신공학과 조교수

<관심분야>

RF Systems, Low-Power Transceivers, Active Antennas

김 영 식(Young-Sik Kim)

[정회원]



- 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

<관심분야>

RF front-end system, Antennas

표 성 민(Seongmin Pyo)

[정회원]



- 2002년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
- 2004년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
- 2004년 1월 ~ 2007년 3월 : (주) 팬택&큐리텔 내수그룹 중앙연구소 전임연구원
- 2007년 3월 ~ 2008년 8월 : 고려대 정보통신기술연구소 연구원

- 2008년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터·전파통신공학과 박사과정

<관심분야>

Metamaterial-based RF circuit, device and system