

PIN 다이오드를 이용한 편파 변환 마이크로스트립 원형 패치 안테나

A Circular Microstrip Patch Antenna for Switchable Polarization Using PIN Diodes

이 건 준 · 장 태 언 · 김 영 식

Kun-Joon Lee · Tai-Un Jang · Young-Sik Kim

요 약

본 논문에서는 PIN 다이오드를 이용하여 다양한 편파 변환 특성을 갖는 마이크로스트립 원형 패치 안테나를 제안하였다. 안테나의 방사 패치에 두 개의 튜닝 스텐브를 일정 거리를 두어 배치하고 PIN 다이오드로 각각의 튜닝 스텐브를 방사 패치에 대하여 전기적으로 단락과 개방으로 스위칭함으로써 편파 변환 특성을 갖도록 하였다. 각각의 PIN 다이오드의 on/off 특성에 따라 안테나의 방사 특성은 두 주파수대의 선형 편파와 원형 편파, 우회전 원형 편파와 좌회전 원형 편파의 특성을 나타내게 된다. PIN 다이오드가 모두 on 또는 모두 off일 때 선형 편파가 발생하게 되고, 둘 중에 하나만 on되면 원형 편파 특성을 나타내게 된다. 안테나 측정 결과, 선형 편파일 경우에는 -10 dB 임피던스 대역폭은 각각 57.0 MHz(2.4 %)와 50.0 MHz(2.1 %)이며 방사 패턴에 있어서는 -15 dB 이하의 교차 편차 특성을 나타내었다. 또한, 원편파로 동작하는 경우, 좌·우 회전 편파에 대하여 모두 약 1.3 %의 축비 대역폭을 가졌으며 축비의 최소값은 0.2와 0.9 dB로 측정되었다.

Abstract

In this paper, a circular microstrip patch antenna for switchable polarization is presented. For the switchable polarization, pairs of tuning stubs and two PIN diodes are utilized. By independently setting the PIN diodes on or off, the antenna produces either linear polarization or circular polarization. From the results, the -10 dB impedance bandwidths of 57.0 MHz(2.4 %) and 50.0 MHz(2.1 %) when operated in the linear polarization, and the 3 dB axial ratio bandwidth of 1.3 % with minimum of 0.2 and 0.9 dB in the circular polarization have been observed.

Key words : Microstrip Patch Antenna, Switchable Polarization, Cross Polarization, Tuning Stub, Axial Ratio

I. 서 론

최근의 무선 통신 시스템에서 편파 변환 안테나는 주파수 재사용과 전파 환경에서의 손실 문제 때문에 그 중요성이 증가하고 있다. Outdoor Fixed Wireless Access(FWA)와 같은 시스템, Wireless Local Area Networks(WLANs) 그리고 active tagging system 과 같은 무선 통신 영역에서는 불필요한 페이딩을

줄이거나 주파수의 자원을 재사용하기 위한 편파 변환 방법이 유용하게 사용되고 있다^{[1]~[3]}. 초기 통신 시스템에서 편파 변환을 위해서는 방사 특성이 서로 다른 안테나를 각각 설치하여 운영함으로써 이루어 졌나, 이러한 구성은 구조가 매우 복잡하고 시스템의 전체 크기가 커진다. 그러므로 안테나의 크기와 성능 개선 측면에서 하나의 안테나로 두 가지 이상의 방사 특성을 갖는 안테나가 통신 시스템에서 각

고려대학교 전자통신공학과(Department of Radio Communications Engineering, Korea University)

· 논문 번호 : 20051128-135

· 수정완료일자 : 2006년 1월 17일

광 받게 되었다. 안테나로는 마이크로스트립 패치 안테나를 많이 사용하는데, 안테나의 형태를 자유롭게 구현할 수 있고 안테나의 규칙적인 배열이 용이할 뿐만 아니라 소형화를 위한 MMIC 형태의 응용에 적합하기 때문이다^{[4],[5]}. 또한, 마이크로스트립 패치 안테나는 의도적인 기생 성분을 안테나에 추가하여 방사 모드를 쉽게 변환할 수 있는 장점이 있다^[6]. 즉, 마이크로스트립 패치 안테나에 수동 소자의 실장이 용이하므로 이러한 소자 등을 안테나에 삽입하여 이들을 전자적으로 제어함으로써 안테나의 편파 변환의 특성을 갖도록 하는 것이다^{[7],[8]}.

본 논문에서는, 이러한 관점에서 편파 변환을 위한 새로운 형태의 마이크로스트립 원형 패치 안테나를 설계 및 분석하였다. 제안된 안테나는 편파 변환을 위하여 튜닝 스테브와 PIN 다이오드를 이용하였다. PIN 다이오드는 방사 패치와 튜닝 스테브 사이에 위치하며 DC 전류에 의한 다이오드의 스위칭 조건에 따라 두 가지의 선형 편파 특성과 두 가지의 원형 편파 특성을 나타내게 된다.

II. 안테나의 구조 및 설계

단일 급전으로 이루어진 마이크로스트립 패치 안테나의 경우, 원형 편파 특성을 얻기 위하여 다양하게 이러한 기술이 이용된다. 즉, 방사 패치에 기생 성분을 추가하여 수직한 두 모드가 서로 90°의 위상차가 나도록 설계하는 것이다. 본 논문에서는 원형 패치 안테나에 튜닝 스테브를 일정 간격에 배치하고 그 간격 사이에 PIN 다이오드를 삽입하여 전기적으로 튜닝 스테브를 방사 패치로부터 단락과 개방으로 스위칭하여 편파 변환을 하도록 하였다. 다이오드가 동작하지 않는 경우의 초기 동작 주파수는 2.4 GHz로 설정하였으며 다이오드의 동작에 따른 동작 주파수의 변화와 안테나의 방사 모드를 관찰함으로써 단일 안테나로 편파 변환을 쉽게 제어할 수 있음을 보였다.

그림 1에서 제안한 원형 패치 안테나의 구조를 보이고 있으며 기판은 비유전율 $\epsilon_r=4.4$ 이고 높이 $h=1.6$ mm인 FR4 epoxy 기판을 사용하였다. 설계 주파수를 위한 안테나의 원형 방사 패치의 반지름 $R=17.0$ mm이며 그림에서 보이는 것처럼 원형 편파를

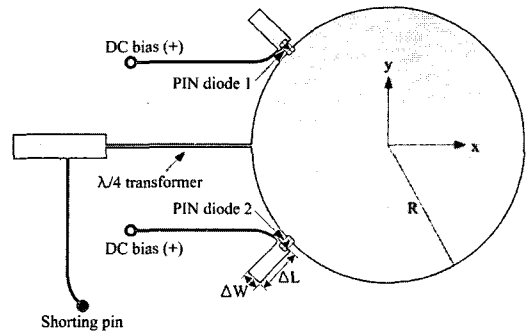


그림 1. 제안된 마이크로스트립 원형 패치 안테나의 구조

Fig. 1. Structure of proposed circular microstrip patch antenna.

발생시키기 위하여 길이와 폭이 $\Delta L=5.8$ mm와 $\Delta W=2.5$ mm인 두 개의 튜닝 스테브는 PIN 다이오드를 장착하기 위하여 급전 선로에 대하여 $\pm 45^\circ$ 방향에 방사 패치로부터 1.3 mm 간격을 두고 각각 배치되었다. PIN 다이오드의 on/off에 의하여 튜닝 스테브와 방사 패치 사이는 단락 또는 개방된다.

두 PIN 다이오드에 모두 DC 전원을 인가하지 않으면 두 개의 튜닝 스테브는 방사 패치와 전기적으로 개방되어 있으므로 안테나의 기본 모드인 TM_{11} 모드로서 선형 편파 특성을 나타내게 된다^{[9],[10]}. 또한, 두 개의 PIN 다이오드가 모두 on되면 전기적으로 두 개의 튜닝 스테브가 방사 패치에 각각 단락이 되어 기생 성분으로 작용하게 되지만, 안테나가 x-축에 대하여 대칭 구조를 이루기 때문에 이것 역시 선형 편파 특성을 나타내게 된다. 그러나, 튜닝 스테브에 의해 방사 패치에서의 전기적인 길이가 PIN 다이오드가 동작하지 않는 경우에 비하여 길어지기 때문에 공진 주파수는 약간 내려가게 된다.

PIN 다이오드 1에만 DC 전류가 인가되면 인가된 쪽의 튜닝 스테브는 방사 패치에 전기적으로 단락되고 안테나 모드의 왜곡을 초래하게 된다. 원형 방사 패치에서 튜닝 스테브를 경유하여 나온 파는 튜닝 스테브만큼의 전기적인 길이가 길어지게 되므로 직진하는 파와 위상차를 보이게 된다. 즉, 원형 방사 패치 안테나의 공진 모드에 비추어 방향이 서로 수직이고 위상차가 90°인 두 개의 TM_{11} 모드에 의하여 원형 편파의 특성을 나타내게 된다. 이 경우의 안테

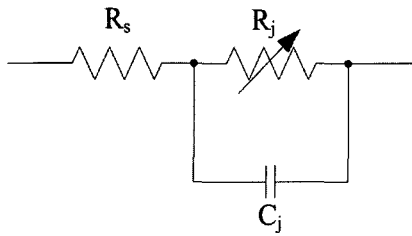


그림 2. PIN 다이오드의 등가 모델
Fig. 2. Equivalent circuit model of PIN diode.

나는 이중 급전에서 +y-축에서 위상이 90° 늦은 파가 입사하는 경우와 유사하게 좌회전 원형 편파 특성을 나타내게 된다. 반대로, PIN 다이오드 2에 전류가 인가되면 우회전 원형 편파 특성을 나타내게 된다.

PIN 다이오드의 등가 모델은 그림 2와 같이 나타낼 수 있다. PIN 다이오드의 내부 직렬 저항인 R_s 와 접합 캐패시터 C_j , 그리고 접합 저항 R_j 로 표현되며 각 성분의 값은 식 (1)~(3)으로 구할 수 있다. R_j 는 직렬 저항 R_s 와 DC 바이어스에 의한 접합 저항 R_j 의 합으로 표현되며, C_T 는 다이오드의 패키지에 의한 기생 병렬 캐패시턴스 C_p (등가모델에서는 생략)와 접합 캐패시턴스 C_j 의 합으로 표현된다. R_j 는 인가된 DC 전류량에 따라 변하는 값으로, 결국, 다이오드의 총 저항 R_T 는 다이오드에 흐르는 DC 전류에 지배적으로 의존하게 된다. 인가된 다이오드의 DC 전류가 클수록 R_j 와 R_T 는 작아지므로 RF 신호의 도통이 가능해지며, 다이오드에 DC 전류가 흐르지 않으면 R_j 는 매우 높은 값을 갖게 되므로 결국, RF 신호의 흐름을 차단하게 된다. 그렇지만, 그림 2와 식 (2)에서 알 수 있듯이 접합 캐패시턴스는 다이오드 내에 항상 존재하므로 PIN 다이오드가 off 상태인 경우에도 항상 기생 성분으로 작용하게 되며 안테나의 교차 모드 방사 패턴 특성을 열화시키게 된다.

$$R_T = R_s + R_j \tag{1}$$

$$C_T = C_p + C_j \tag{2}$$

$$R_j = \frac{20}{I^{0.9}} \tag{3}$$

PIN 다이오드에 RF적으로 영향을 주지 않고 DC 전류 공급을 위해서는 바이어스 회로가 필요하다. 설계된 안테나에서 두 개의 PIN 다이오드는 서로 독립적으로 동작하도록 각각 DC 전원에 연결되도록

하였다. DC 바이어스의 접지를 위한 바이어스 회로는 두 개의 PIN 다이오드에 대하여 공통으로 사용된다. 공통 접지 바이어스 회로는 안테나의 방사 특성에 주는 영향을 최소화 하도록 $\lambda/4$ 트랜스포머 이전에 놓이도록 하였으며 바이패스 캐패시터와 단락핀으로 접지시켰다.

III. 측정 결과

안테나의 시뮬레이션은 2.5 D 시뮬레이션 툴인 IE3D를 이용하였다. PIN 다이오드로는 HSMP-3892를 이용하였으며 다이오드의 동작을 위한 전압은 0.9 V, 10 mA이다. PIN 다이오드의 기생 성분의 특성을 모두 고려하기 위하여 다이오드의 on/off 상태일 때의 성분들을 바이어스 회로와 함께 모두 시뮬레이션에 포함하였다. 데이터 시트에서 제공하는 다이오드의 직렬 저항은 $R_s=0.5 \Omega$ 이고 접합 캐패시턴스 $C_j=0.12 \text{ pF}$ 을 포함한 캐패시턴스 합은 $C_T=0.2 \text{ pF}$ 이다. PIN 다이오드가 on일 경우는 저항으로만 대체할 수 있다. 등가 접합 저항은 식 (3)에 의해 $R_j=2.52 \Omega$ 으로 계산되며 식 (1)에 의해 총 저항은 약 $R_T=3.2 \Omega$ 이다. 다이오드가 off 인 경우에는 역 전류는 $10 \mu\text{A}$ 이하이므로 접합 저항은 $2,000 \Omega$ 이상으로 매우 높기 때문에 무시할 수 있으며 등가 회로는 직렬 저항 $R_s=0.5 \Omega$ 와 총 캐패시턴스 $C_T=0.2 \text{ pF}$ 만으로 대체할 수 있다. 그림 3은 다이오드가 모두 off(antenna 1) 되거나 on(antenna 2) 되었을 때의 측정된 반사 손실 특성을

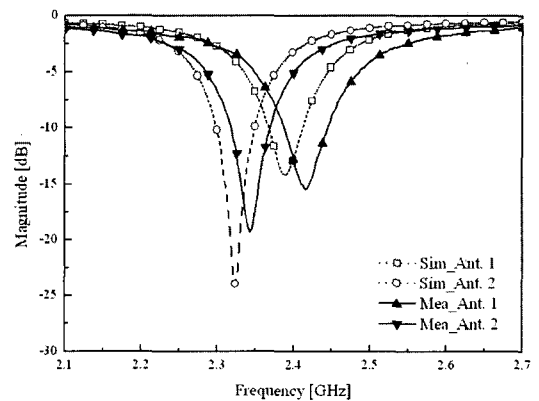


그림 3. 선형 편파인 경우의 반사 손실(안테나 1, 2)
Fig. 3. Simulated and measured return losses for linear polarization(Antenna 1, 2).

시뮬레이션 결과와 비교하고 있다. 두 개의 다이오드 모두가 off일 때의 설계 주파수는 2.4 GHz이다. 전체적으로 측정 주파수는 시뮬레이션 값보다 약 20 MHz(0.8 %) 상승하였는데 이는 시뮬레이션 상에 기판을 무한 접지면으로 설정함으로써 생기는 접지면 가장자리의 회절 특성과 PIN 다이오드의 패키징에 의한 기생 캐패시턴스를 정확히 고려하지 못하였기 때문이다.

편파 변환 안테나에 있어서 선형 편파 모드와 원형 편파 모드의 임피던스는 다르므로 임피던스 정합 측면에서 보면 둘 사이에는 trade-off 관계에 있다. 즉, 두 편파 모드에 대하여 모두 만족할 수 있는 반사 손실 특성을 얻기가 쉽지 않다. 본 논문에서는 원형 편파 모드에서의 임피던스 정합에 비중을 두었기 때문에 선형 편파 모드를 위한 반사 손실 특성은 원형 편파 모드에서의 그것보다 좋지 않다. 선형 편파 모드에서 측정된 -10 dB 임피던스 대역폭은 두 개의 다이오드가 모두 off인 경우 57.0 MHz(2.36 %)이고, 모두 on인 경우는 50.0 MHz(2.13 %)이다. 시스템상에서 두 가지 경우의 선형 편파 특성을 모두 사용한다면 약 4.5 % 이상으로 가용 주파수 대역을 확장시킬 수 있다.

그림 4에서는 원형 편파 모드일 경우의 반사 손실 특성을 보이고 있다. 측정 결과, 주파수는 약 20 MHz 상승하였다. -10 dB 임피던스 반사 손실 대역은 좌·우 회전 원형 편파(Antenna 3, 4)에 대하여 모두 2.33~2.43 GHz(105.0 MHz: 4.41 %)로 시뮬레이

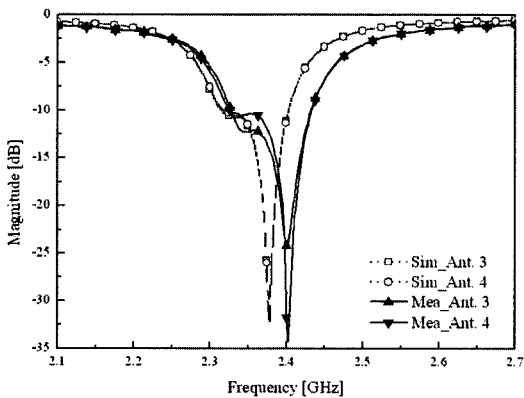


그림 4. 원형 편파인 경우의 반사 손실(안테나 3, 4)
Fig. 4. Simulated and measured return losses for circular polarization(Antenna 3, 4).

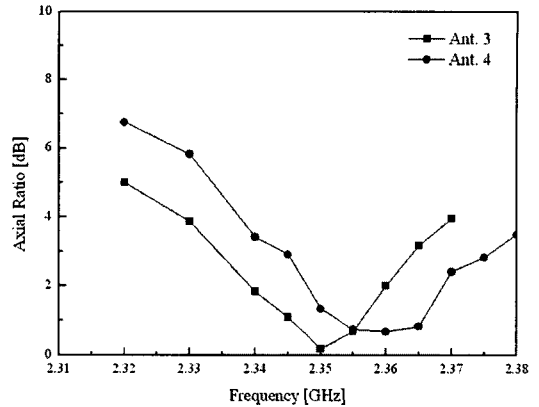


그림 5. 측정된 축비 대역폭(안테나 3, 4)
Fig. 5. Measured axial ratio versus frequency(Antenna 3, 4).

션 값보다 대역폭이 약간 넓게 측정되었다. 안테나의 축비 대역 특성은 그림 5에서 보이고 있는데, 측정된 축비 대역폭은 좌·우 회전 원형 편파에 대하여 각각 2.34~2.37 GHz(1.28 %)와 2.34~2.38 GHz(1.36 %)이다. 측정 결과, 좌·우 회전 원형 편파의 축비는 2.35 GHz에서 최소값 0.18 dB와 2.36 GHz에서 최소값 0.9 dB를 나타내었다.

PIN 다이오드 on/off 상태에 따른 방사 패턴 실험 결과는 그림 6과 7, 그리고 8에서 보이고 있다. 그림 6(a)와 (b)는 두 개의 PIN 다이오드 모두가 off일 때의 x-z 평면과 y-z 평면상의 방사 패턴을 나타낸 것이다. 측정 주파수는 반사 손실 특성이 가장 좋은 2.42 GHz이며 안테나의 이득은 3.57 dBi이다. 그림

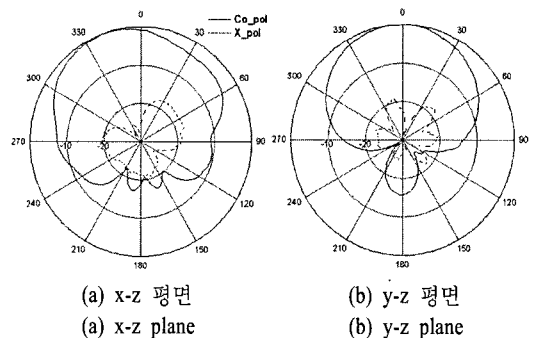


그림 6. 안테나 1의 2.42 GHz에서의 방사 패턴(선형 편파)
Fig. 6. Measured radiation pattern of antenna 1 at 2.42 GHz(linear polarization).

표 1. 제안된 안테나의 특성

Table 1. Characteristics of proposed antenna.

	Diode 1	Diode 2	Polarization	Frequency [GHz]	BW [%]	Gain [dBi]
Antenna 1	Off	Off	LP	2.42	2.36	3.57
Antenna 2	On	On	LP	2.34	2.13	1.75
Antenna 3	On	Off	LHCP	2.35	4.41	0.73
Antenna 4	Off	On	RHCP	2.36	4.41	1.06

7(a)와 (b)는 다이오드가 모두 on일 때의 방사 패턴으로서 측정 주파수는 2.34 GHz이며 이득은 1.75 dBi로 측정되었다. 다이오드가 모두 on인 안테나(Antenna 2)가 모두 off인 안테나(Antenna 1)보다 이득이 상대적으로 약 1.8 dB 낮게 측정되었는데, 이는 다이오드가 동작할 때 다이오드 내부의 기생 저항에 의하여 안테나에 공급된 에너지가 일부 손실되기 때문이다. 그림 6과 7의 선형 편파 방사 패턴에서 보인 것처럼 주 편파 대 교차 편파의 비는 주 방사 방향에 대하여 모두 -15 dB 이하로 나타났다. 그림 8은 x-z 평면상의 좌·우 회전 원형 편파에 대한 스피닝 선형 패턴(spinning linear pattern)을 측정한 결과이며, 이 때의 측정 주파수는 좌·우 회전 원형 편파에 대하여 측비가 가장 좋은 2.35 GHz와 2.36 GHz이다. 안테나의 이득은 각각 0.73 dBi와 1.06 dBi로 측정되었다^[11]. 그림 9에서는 제작된 안테나의 사진을 보이고 있으며, 표 1에서 두 개의 PIN 다이오드의 on/off 상태에 따른 안테나 각각의 방사 손실과 방사 패턴의 특성을 정리하였다.

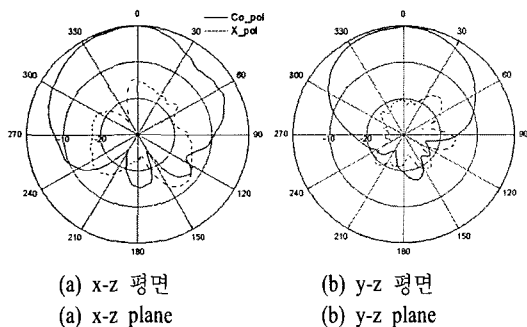


그림 7. 안테나 2의 2.34 GHz에서의 방사 패턴(선형 편파)
Fig. 7. Measured radiation pattern of antenna 2 at 2.34 GHz(linear polarization)

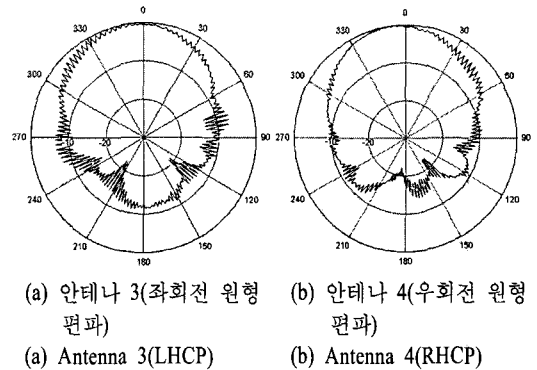


그림 8. 스피닝 선형 방사 패턴
Fig. 8. Measured spinning linear radiation pattern.

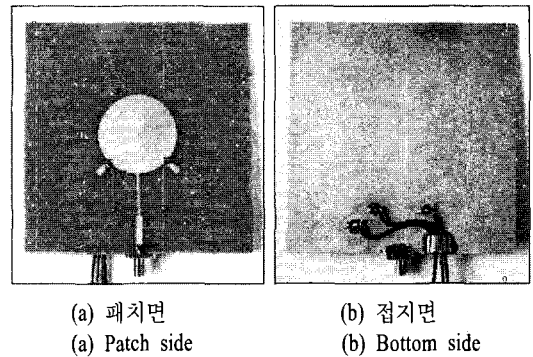


그림 9. 안테나의 실물사진
Fig. 9. Photograph of antenna.

IV. 결 론

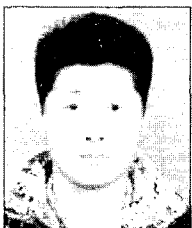
마이크로스트립 원형 패치 안테나에 PIN 다이오드를 사용하여 편파 변환 특성을 갖는 안테나를 구현하였다. 방사 패턴과 튜닝 스테리 사이를 PIN 다이오드를 이용하여 선택적으로 개방과 단락을 스위칭함으로써 선형 편파, 좌·우 회전 원형 편파 특성

을 나타낸다. 제안된 안테나는 단일 급전 방식이므로 구조가 간단하며 좋은 방사 특성을 나타내었다. 이러한 구조의 안테나는 위성 통신이나 무선 데이터 통신 시스템에 응용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] S. T. Fang, "A novel polarization diversity antenna for WLAN applications", *2000 IEEE AP-S Dig.*, pp. 282-285, Jul. 2000.
- [3] 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.
- [4] W. S. Chen, C. K. Wu, and K. L. Wong, "Novel compact circularly polarized square microstrip antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 49, no. 3, pp. 340-342, Mar. 2001.
- [5] K. L. Wong, Y. F. Lin, "Circularly polarised microstrip antenna with a tuning stub", *Electron. Lett.*, vol. 34, no. 9, pp. 831-82, Apr. 1998.
- [6] 장태언, 성영제, 김영식, "Spur-line과 PIN Diode를 이용한 편파변환 특성을 갖는 정사각형 패치 안테나", *한국전자과학회논문지*, 15(12), pp. 1178-1183, Aug. 2004.
- [7] Y. Fan, R. S. Yahya, "A reconfigurable patch antenna using switchable slot of circular polarization diversity", *IEEE Microwave Guide Wave Lett.*, vol. 12, no. 3, pp. 96-98, Mar. 2002.
- [8] K. F. Matthias, G. Mischa, and V. Rudiger, "A reconfigurable slot antenna with switchable polarization", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 13, no. 11, pp. 490-492, Nov. 2003.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., pp. 843-856, 2005.
- [10] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., pp. 470-484, 1989.
- [11] H. Schrank, T. Milligan, "Polarization loss in a link budge when using measured circular-polarization gains of antennas", *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 1, pp. 56-58, Feb. 1996.

이 건 준



1997년 2월: 원광대학교 반도체학과 (공학사)
 1997년 3월~1999년 2월: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 고려대학교 전파공학과 박사과정
 [주 관심분야] 초고주파 능동 회로

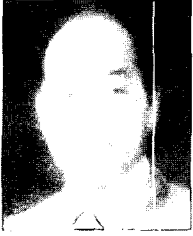
및 안테나 설계

장 태 언



2004년 2월: 순천향대학교 전기전자공학부 (공학사)
 2004년 3월~현재: 고려대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 수동소자 설계 및 해석

김 영 식



1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업
대학 전자과 조교수

1988년 5월: University of Massachu-
setts at Amherst (공학박사)

1988년 5월~1989년 2월: University
of Massachusetts at Amherst (Post
Doc.)

1989년 3월~1993년 2월: ETRI 이동통신연구단 무선기술
연구실 실장

1993년 3월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 교수
[주 관심분야] RF front-end system