

Spur-line과 PIN Diode를 이용한 편파변환 특성을 갖는 정사각형 패치 안테나

Square Patch Antenna with Switchable Polarization Using Spur-line and PIN Diode

장 태 언 · 성 영 제 · 김 영 식

Tai-Un Jang · Young-Je Sung · Young-Sik Kim

요 약

본 논문에서는 정사각형 패치 안테나에 핀 다이오드(PIN diode)를 사용하여 편파변환 특성을 갖는 새로운 형태의 안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 정사각형 패치면 위에 한 쌍의 스퍼라인(spur-line)과 스퍼라인 위에 핀 다이오드를 삽입한 구조이다. 스퍼라인은 핀 다이오드의 on/off 특성에 의해 I형 슬롯라인(slot-line)과 L형 스퍼라인의 형태로 변환되어 편파 변환 특성을 나타내었다. 안테나의 측정 결과 선형편파로 동작할 때에는 -15 dB 이상의 낮은 교차 편파 특성을 나타내었고, 원형편파로 동작할 때에는 0.83 dB의 좋은 축비 특성을 나타내었다. 안테나의 -10 dB 대역폭은 on/off 상태에 따라 각각 2.1 %와 4.1 %의 특성을 나타내었다. 또한, 원형편파로 동작하는 안테나의 축비 대역폭은 3.5 %의 비교적 넓은 대역폭의 특성을 나타내었다. 따라서 제안된 안테나는 동일한 대역폭 안에서 편파 변환 특성을 나타낼 수 있기 때문에 단일 안테나를 이용하여 주파수를 재사용하는 시스템에서 사용할 수 있다.

Abstract

In this paper, a novel microstrip patch antenna with switchable polarization is proposed. The proposed antenna has a simple structure, consisting of a square radiating patch, a pair of L-type spur-lines, and a microstrip line feed. It can produce either linear polarization or circular polarization by setting the diode on or off. From the measured results, low cross polarization levels when operated in the linear polarization, and good axial ratios in the circular state have been observed.

Key words : Switchable Polarization, L-type Spur-line, I-type Slot-line, Axial Ratio, Cross Polarization Level

I. 서 론

일반적으로 무선통신 시스템에서의 안테나는 감도가 좋은 선형편파를 많이 사용한다. 그러나 지상과 위성간의 통신이나 우천일 경우의 통신에는 선형편파의 감쇠특성 때문에 송·수신 시스템에 원형편파를 사용한다^[1]. 이러한 이유 때문에 시스템의 전송 환경에 따라 적절하게 단일편파 송·수신 안테나를

선택하여 사용하였다.

최근에 무선 통신 시스템에서는 다양한 전송 환경에서 통신을 할 수 있고, 더 많은 서비스를 제공하기 위해 서로 다른 편파에서 동작하는 안테나를 요구한다. 따라서 단일 안테나에서 다양한 편파를 얻기 위해서는 편파 변환 기술을 요한다. 또한, 편파 변환 기술은 주파수를 재사용하는 측면에서 매우 중요하다^[2].

패치 안테나는 소형, 경량화 및 박막형 구조를 목

고려대학교 전파공학과(Department of Radio Sciences and Engineering, Korea University)

· 논문 번호 : 20041004-129

· 수정완료일자 : 2004년 12월 6일

적으로 많이 사용하는데, 패치의 모양이나 급전의 배열상태를 달리하여 형성된 패치의 모드를 변화시킬 수 있다. 또한, 핀 다이오드나 직류 차단 캐패시터(DC Block Capacitor)와 같은 소자를 삽입하기 쉬운 장점을 갖고 있기 때문에 편파 변환 안테나를 구현하기 위해 패치 안테나를 많이 사용하고 있다^{[2]-[6]}.

최근에 마이크로스트립 패치를 이용하여 편파 변환을 구현한 안테나에 관한 연구가 많이 진행되었으며, 우회전 원형편파와 좌회전 원형편파간의 편파 변환 안테나^{[2]-[4]}, 선형편파와 원형편파간의 편파 변환 안테나^[5], 또한 이 모든 편파간의 편파 변환 안테나^{[5],[6]} 등 많은 문헌들이 발표되었다.

본 논문에서 편파 변환을 위해 제안된 안테나는 정사각형의 패치를 사용하였으며, 모드를 변환시켜 원형편파를 일으키기 위해 스퍼라인을 사용하였고^{[7],[8]}, 편파 변환을 시켜주기 위해 스퍼라인 위에 핀 다이오드를 삽입하였다.

본 논문의 안테나 구조에 관한 구체적인 설명은 II장에서 기술하였으며, III장에서는 모의실험을 위해 사용한 상용 툴인 HFSS를 통한 시뮬레이션 결과와 실험·측정에서 얻어진 반사손실 및 방사패턴 결과들을 정리하였고, IV장에서는 결론 및 실험의 고찰을 기술하였다.

II. 안테나의 구조 및 설계

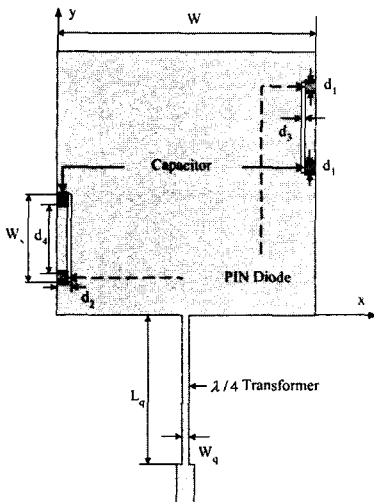


그림 1. 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of proposed antenna.

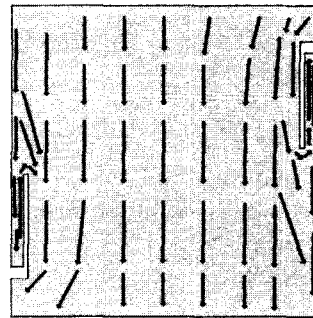
본 논문에서 제안된 안테나의 구조를 그림 1에 나타내었다. 안테나를 제작하기 위해 유전율(ϵ_r) = 4.4, 높이(h) = 1.6 mm인 FR4 epoxy 기판을 사용하였으며, 안테나의 각 구조에 대한 수치는 표 1에 나타나 있다.

그림 1에서 본 바와 같이 L형 스퍼라인은 임피던스에 큰 영향을 미치지 않는 마이크로스트립 급전선로를 기준으로 패치면의 양쪽에 마주보는 변 위에 존재한다. L형 스퍼라인은 원형편파를 여기시키기 위해 왜곡된 TM_{01} 모드를 형성하고, TM_{10} 모드와 TM_{01} 모드의 변환에 의해서 원형편파의 특성을 나

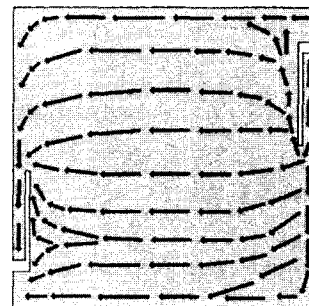
표 1. 제안된 안테나의 수치

Table 1. Dimension of proposed antenna. (unit: [mm])

W	45.3	d_1	1.4
W_s	14	d_2	2.3
W_q	1.4	d_3	0.7
L_q	26.4	d_4	11.2

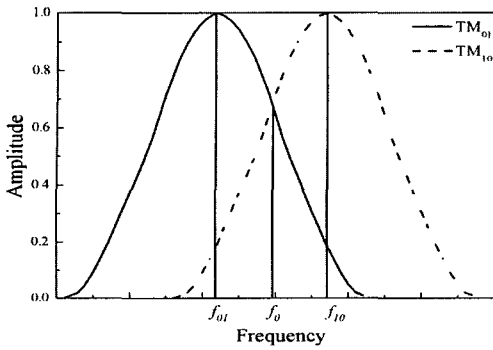


(a) 1.54 GHz에서의 TM_{10} 모드
(a) TM_{10} mode at 1.54 GHz

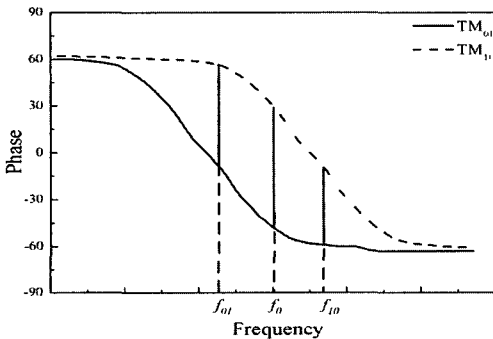


(b) 1.52 GHz에서의 TM_{01} 모드
(b) TM_{01} mode at 1.52 GHz with on-state

그림 2. On 상태일 때, 모드에 따른 전류분포
Fig. 2. Current distribution.



(a) 크기
(a) Amplitude



(b) 위상
(b) Phase

그림 3. TM_{10} 모드와 TM_{01} 모드의 정규화된 임피던스의 변화

Fig. 3. Variation of normalized impedance of TM_{10} and TM_{01} mode.

타낸다. 그림 2와 3에서 나타낸 바와 같이 TM_{10} 모드와 TM_{01} 모드의 공진주파수(f_{01} 과 f_{10}) 사이에서 임피던스 정합이 되고 두 주파수 사이에 90° 의 위상차가 나는 동일한 주파수(f_0)에서 가장 좋은 축비의 원형편파가 방사된다. 이 때의 모드는 TM_{01} 모드가 TM_{10} 모드보다 위상차가 90° 빠르기 때문에 우회전 원형편파(RHCP)의 특성을 나타내었다^{[4],[7]}. L형 스퍼라인 위에 on/off 특성으로 스위칭 역할을 할 수 있는 핀 다이오드를 삽입하여 L형 스퍼라인과 I형 슬롯라인의 형태로 변환해 줌으로써 패치면 위에 흐르는 전류를 제어하였다. 이로 인해 왜곡된 TM_{01} 모드의 형성을 억제함으로 선형편파로 변환시켜줄 수 있다. 그림 1에 다이오드의 위치가 나타나 있으며, 다이오드의 사이즈를 고려하여 스퍼라인의 입구에 해

당하는 부분의 넓이는 $1.4 \text{ mm} \times 1.6 \text{ mm}$ 이다. 그림상 다이오드의 반대편에 있는 직류차단 캐패시터는 다이오드의 동작을 위한 직류 바이어스 전압을 고주파 신호와 직류 신호를 분리시켜 주기 위해 30 pF 의 캐패시터를 사용하였다.

다이오드의 off 상태일 때에는 다이오드가 캐패시터로 동작을 하기 때문에 L형 스퍼라인의 형태로 보이며, 이때의 캐패시턴스 값은 0.35 pF 의 특성을 보인다. 반대로, 다이오드의 on 상태일 때의 다이오드는 저항의 특성으로 동작을 하고, 이때의 저항 값은 3Ω 의 특성을 보인다.

다이오드가 on 상태로 동작할 때, 패치면 위의 L형 스퍼라인은 I형 슬롯라인의 형태로 보이게 되어 패치면 외각에 흐르는 전류는 기존의 정사각형 패치가 갖는 특성 그대로 흐르기 때문에 L형 스퍼라인에 의해 형성된 TM_{01} 모드는 억제되어 정사각형 패치 안테나는 TM_{10} 모드로만 동작을 하게 된다. 이때, 안테나는 선형편파의 특성을 나타내게 된다.

III. 실험 결과

안테나의 모의 실험은 안테나 특성 분석 모의 실험 툴인 Ansoft사의 HFSS를 사용하였으며, 모의 실험에서 핀 다이오드의 on 상태는 다이오드를 패치면과 동일한 도체로 연결하였으며, off 상태는 다이오드의 연결부분을 단락시켜 주었다.

그림 4는 핀 다이오드의 on/off 상태에 따른 안테나의 모의 실험과 실제 측정된 반사손실 결과이다. 그림 4에서 모의 실험과 측정 자료를 비교하였을 때, 측정 결과의 주파수가 전체적으로 30 MHz (1.9%) 정도 상승하였다. 그 이유는 모의실험에서 고려하지 못한 패치면 위에 추가된 다이오드의 등가적인 캐패시턴스 값에 의한 원인과 실험상 안테나의 유한 접지면 테두리에서 회절 효과가 발생하여, 주파수가 모의 실험상의 결과보다 상승하였다^[10].

모의 실험상의 -10 dB 반사 손실 대역폭은 다이오드가 off 상태일 때는 $1.5 \sim 1.56 \text{ GHz}$ ($60 \text{ MHz} : 3.92 \%$)이며, 다이오드가 on 상태일 때에는 $1.54 \sim 1.56 \text{ GHz}$ ($20 \text{ MHz} : 1.3 \%$)인 결과를 나타내었다. 모의실험을 통한 안테나의 축비 대역폭은 그림 5에 나타나 있다. 축비 대역폭은 $1.5 \sim 1.545 \text{ GHz}$ (약 45 MHz

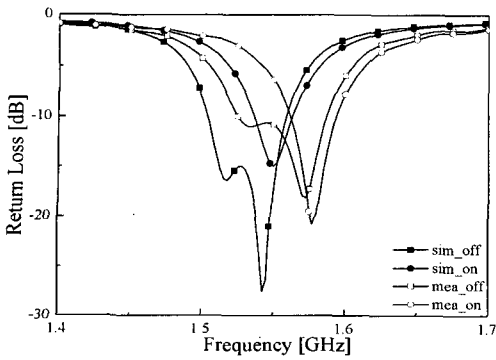


그림 4. 모의 실험과 실험상의 반사 손실 결과
Fig. 4. Simulated and measured results of return loss.

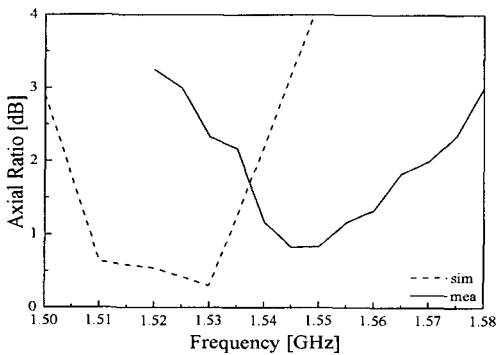


그림 5. 모의 실험과 실험상의 축비 대역폭 결과
Fig. 5. Simulated and measured results of axial ratio bandwidth.

: 3 %)의 결과로 제안된 안테나가 원형편파로의 편파로 동작할 때에 -10 dB 반사 손실 대역폭 안에 축비 대역폭이 모두 포함되었다^[4]. 또한, 반사 손실 대역폭에 비해 비교적 넓은 축비 대역폭 특성을 나타내었다^{[2],[4]}. 실제로 원형편파 안테나의 경우에는 반사 손실 대역폭보다는 축비 대역폭이 더 중요한 요소이다.

이 주파수 대역은 안테나가 다이오드 on 상태인 선형편파로 동작하는 주파수 대역폭을 일부 포함한다. 그러나 선형편파의 대역폭을 전부 포함하고 있지는 않다. 그 이유는 선형편파로 동작하는 기본적인 TM_{10} 모드의 공진 주파수가 약 1.54 GHz이고, 스피라인에 의한 왜곡현상으로 일어난 TM_{01} 모드의 공진 주파수가 TM_{10} 모드의 공진 주파수보다 더 낮은 1.52 GHz이기 때문에 안테나의 축비가 가장 좋은 점은 그림 4와 5에서 볼 수 있듯이 원형편파 안테나

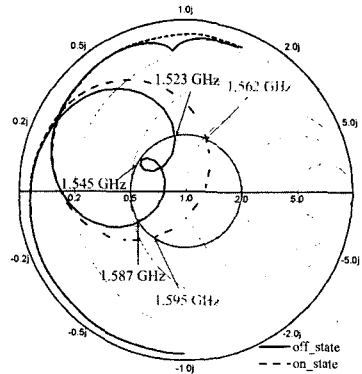


그림 6. 측정상의 스미스 차트 결과
Fig. 6. Measured results of smith chart.

의 두 공진 주파수 사이인 약 1.53 GHz이기 때문이다. 이는 기본적인 TM_{10} 모드와 왜곡에 의해 생긴 TM_{01} 모드에 의해 생성된 것이며, 그림 6의 스미스 차트(smith chart)에서 더 자세히 볼 수 있다. 그림 6에서 다이오드의 on 상태인 선형편파인 경우에는 VSWR 2:1인 원 내에서 선형적인 양상을 나타냈다. 반면, 다이오드 off 상태인 원형편파인 경우에는 VSWR 2:1인 원 내에 고리모양의 루프(loop)가 형성되는 것을 볼 수 있다. 루프가 형성되는 현상은 서로 다른 두 개의 모드가 90° 의 위상차로 결합이 되었을 때 생성된다. 스미스 차트의 결과를 통해서 원형편파가 방사되는 것을 알 수 있다^[9].

실험을 통하여 직접 제작 및 측정된 결과 값들은 다음과 같다. -10 dB 반사 손실 대역폭은 다이오드가 off 상태일 때는 $1.523 \sim 1.587$ GHz(64 MHz : 4.1 %)이며, 다이오드가 on 상태일 때에는 $1.562 \sim 1.595$ GHz(33 MHz : 2.1 %)인 결과를 나타내었다. 축비 대역폭은 $1.525 \sim 1.58$ GHz(약 55 MHz : 3.5 %)의 결과로 모의 실험보다 더 넓은 축비 대역폭 특성을 나타내었다. 측정 결과 또한 모의 실험과 유사한 특성으로 약 1.545 GHz에서 가장 좋은 축비 특성을 나타내었다.

다이오드 off 상태인 원형편파의 특성을 나타내는 방사패턴 실험 결과는 그림 7에서 볼 수 있다. 그림 7은 y-z 평면상에서 안테나의 우회전 원형편파에 대한 스피닝 선형 패턴(spinner pattern)을 측정한 결과이며, 이때의 측정 주파수는 1.545 GHz이다. 측정 결과 좋은 원형편파의 특성을 나타내었다. 안테나가 원형편파로 동작할 때, 최대 지향성의 축비

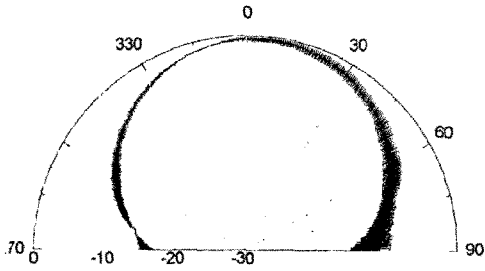


그림 7. 1.545 GHz에서의 y-z 평면상의 스피닝 선형 방사패턴 측정 결과
 Fig. 7. Measured spinning linear radiation pattern when diodes are off state at 1.545 GHz(y-z plane).

는 약 0.83 dB이며, 안테나 이득은 2.2 dBi를 얻었다^[11].
 다이오드 on 상태인 선형편파의 특성을 나타내는 안테나 방사패턴의 실험 결과는 그림 8에서 볼 수 있다. 그림 8의 (a)와 (b)는 각각 y-z 평면과 x-z 평면의 방사패턴 특성을 나타낸 그림이며, 이때의 측정 주파수는 다이오드의 on 상태인 선형편파일 때의 공진 주파수인 1.58 GHz이다. 측정 결과 주편파대 교차편파의 비는 -15 dB 이상의 차이를 나타내었다.

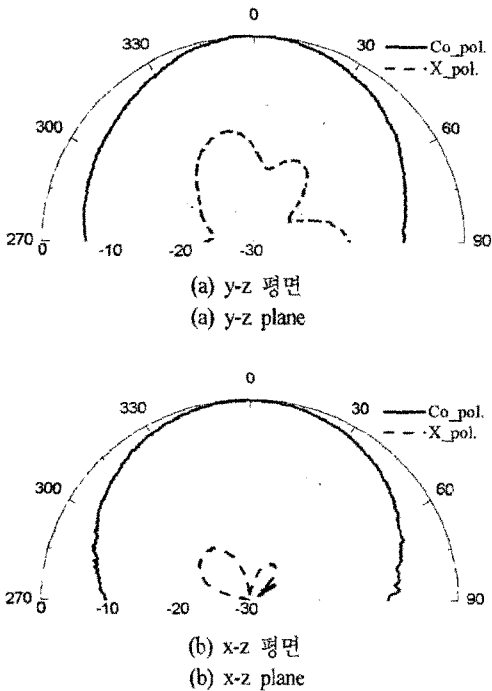
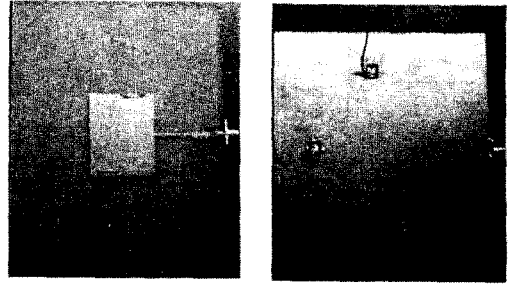


그림 8. 다이오드가 on 상태인 선형 편파의 1.58 GHz에서의 방사 패턴 측정 결과
 Fig. 8. Measured radiation pattern of linear polarization when diode is on state at 1.58 GHz.



(a) 패치면 (a) Patch
 (b) 접지면 (b) Ground plane

그림 9. 제작한 안테나
 Fig. 9. Fabricated antenna.

안테나가 선형편파로 동작할 때, 안테나 이득은 1.6 dBi를 얻었다^[11].

IV. 결 론

본 논문에서는 정사각형 마이크로스트립 패치 안테나에 핀 다이오드를 사용하여 새롭게 간단한 구조의 편파 변환 특성을 갖는 안테나를 제안하였으며, 실험을 통해 가능성을 검증했다. 측정 결과 다이오드의 on/off 상태에 따른 제작된 안테나는 접지면의 크기와 핀 다이오드의 등가특성의 캐패시턴스의 영향으로 모의 실험과 약간의 차이가 있었지만, 모의 실험과 측정 결과 모두 동일한 주파수에서 편파 변환이 가능하였다. 선형편파 동작시 낮은 교차편파의 특성을 나타냈으며, 원형편파 동작시 좋은 축비와 넓은 축비 대역폭의 특성을 나타냈다. 편파 변환시 선형편파와 원형편파간의 두 가지 특성의 변환이 뚜렷하였기 때문에 차후 위성통신과 무선통신을 겸하는 단말기나 시스템에 적용할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and* John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [2] Fan Yang, Yahya Rahmat-Samii, "A rec patch antenna using switchable slots polarization diversity", *IEEE Micro Compon. Lett.*, vol. 12, no. 3, pp. 9'
- [3] M. Boti, L. Dussopt, and J. -N. curally polarised antenna with

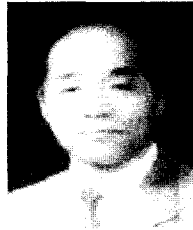
- isation sense", *Electronics Lett.*, vol. 36, no. 18, pp. 1518-1519, Aug. 2000.
- [4] Nanbo Jin, Fan Yang, and Yahya RahmatSamii, "A novel reconfigurable patch antenna with both frequency and polarization diversities for wireless communications", in *2004 IEEE Antennas Propagat. Int. Symp. Dig.*, pp. 1796-1799, Jun. 2004.
- [5] Mattias K. Fries, Mischa Grani, and Rudiger Vahldieck "A reconfigurable slot antenna with switchable polarization", *IEEE Microwave Wireless Compon. Lett.*, vol. 13, no. 11, pp. 490-492, Nov. 2003.
- [6] 장태언, 성영제, 김영식, "편파 변환 특성을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나", 한국통신학회 하계종합학술발표회, 2004년 7월.
- [7] David Sanchez-Hernandez, Ian D. Robertson, "Analysis and design of a dual-band circularly polarized microstrip patch antenna", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 43, no. 2, Feb. 1995.
- [8] D. Sanchez-Hernandez, I. Robertson, "Triple band microstrip patch antenna using a spur-line filter and a perturbation segment technique", *Electronics Lett.*, vol. 29, no. 17, pp. 1565-1566, Aug. 1993.
- [9] Fa-Shian Chang, Kin-Lu Wong, and Tzung-Wern Chiou, "Low-cost broadband circularly polarized patch antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, vol. 51, no. 10, pp. 3006-3009, Oct. 2003.
- [10] R. Garg, P. Bhartia, and I. Bahl, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, pp. 293-296, 2001.
- [11] H. Schrank, T. Milligan, "Polarization loss in a link budget when using measured circular-polarization gains of antennas", *IEEE Antennas Propagat. Mag.*, vol. 38, no. 1, pp. 56-58, Feb. 1996.

장 태 언



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

김 영 식



1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업대학 전자과 조교수
 1988년 5월: University of Massachusettsrsts at Amherst (공학박사)
 1988년 5월~1989년 2월: University of Massachusettsrsts 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

성 영 제



2000년 2월: 고려대학교 전기전자전파공학부 (공학사)
 2000년 3월~2002년 2월: 고려대학교 전파공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 고려대학교 박사과정

[주 관심분야] 넓은 저지대역을 갖는 DGS 구조, DGS 구조를 이용한 RF 소자의 성능 개선, Reconfigurable patch antenna, 밀리미터파 대역 배열 안테나