

# 높은 교차편파 분리도를 가지는 이중편파 안테나 설계

이상호\*, 오택근\*\*, 하정제\*, 이용식\*\*\*

## Design of Dual-Polarization Antenna with High Cross-Polarization Discrimination

Sang-Ho Lee\*, Taeck-Keun Oh\*\*, Jung-Je Ha\*, Yong-Shik Lee\*\*\*

**요약** 도심의 빌딩 등 인구밀집지역에서 사용되는 소형 셀 기지국에서는 셀 용량 증대를 위해 이중편파 다중안테나(MIMO)가 주로 사용된다. 본 논문은 이중편파 다중안테나(MIMO)를 사용하는 소형 셀의 용량을 향상시킬 수 있는 높은 교차편파분리도(XPD)를 가지는 이중편파 슬롯 안테나를 제안한다. 제안한 안테나는 평형구조 및 차동 급전회로를 사용하여 교차편파를 효과적으로 억제하고 높은 교차편파분리도(XPD)를 가진다. 또한 두 편파가 동일한 방사특성을 가지게 되어 소형 셀 다중안테나(MIMO) 시스템에 적합한 특성을 가진다. 모의실험, 제작 및 측정결과 제안한 안테나는 반사계수 -10 dB를 기준 180 MHz (2.51 ~ 2.7 GHz)의 대역폭, 최대 4.5 dBi 방사이득(3.5 ~ 4.5 dBi), 85도의 반전력 빔폭을 가짐을 확인하였다. 또한 평균 교차편파 분리도(XPD)가 26.4 dB로 기존의 단일방사체에 서로 다른 급전을 이용하는 방법, 스위칭을 통해 편파를 선택적으로 사용하는 방법에 비하여 13.8 dB이상 개선된 특성을 가짐을 확인하였다.

**Abstract** In a small cell base station used in densely populated areas, a dual polarized multiple antenna(MIMO) is mainly used to increase the cell capacity. This paper demonstrates a dual-polarization antenna with high cross-polarization discrimination(XPD) that can improve the capacity of a small cell using a dual polarization multiple antenna (MIMO). By using the symmetric structure and differential feeding, high XPD in all directions is achieved. In addition, a very similar radiation pattern is observed between each polarization. Because of high XPD and similar radiation pattern in all directions, proposed antenna is well adopted for small-cell multiple-input multiple-output(MIMO) system. Experimental results shows that the proposed antenna has a bandwidth of 180 MHz (2.51 ~ 2.7 GHz), a maximum gain of 4.5 dBi (3.5 ~ 4.5 dBi), and a half-power beam width of 85 degrees. In addition, average XPD of 26.4 dB in all directions, more than 13.8 dB increase than previous dual-polarization antennas which use single emitter by using different feeding or selectively use polarization through switching.

**Key Words** : Cross-polarization discrimination(XPD), dual-polarization, multiple-input - multiple-output (MIMO), polarization, isolation, slot antenna, indoor cell.

### 1. 서론

모바일 기기 사용자수 및 대용량 콘텐츠 이용량 증가에 따라 제한된 주파수로 더 많은 데이터를

처리하기 위한 소형 셀의 사용이 급격히 많아지고 있다. 소형 셀은 기존의 높은 전송 전력과 넓은 커버리지를 가지는 셀과는 달리 낮은 전송 전력과 좁은 커버리지를 가지기 때문에 도심의 빌딩 등

\*Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University

\*\*LIG Nex1

\*\*\*Corresponding Author : Department of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University (yongshik.lee@yonsei.ac.kr)

Received April 28, 2017

Revised May 30, 2017

Accepted June 04, 2017

인구밀집지역에서 사용된다. 소형 셀은 셀 수의 증가와 불규칙한 커버리지로 인해 인접 셀 간 간섭에 영향을 많이 받는다. 특히 실내 소형 셀의 경우 반사체가 많아 효과적인 간섭제어를 위한 안테나 기술이 반드시 필요한데 이중편파 다중안테나(MIMO)가 가장 많이 사용되고 있다. 이 경우, 이중편파 MIMO 안테나를 사용하는 소형 셀의 용량은 두 편파 간 분리 정도에 큰 영향을 받는다 [1]-[3].

이중편파 다중안테나(MIMO) 소형 셀 시스템의 용량 증가를 위해 기존에 다양한 연구가 진행되어 왔다 [4]-[6]. 일반적으로 이중편파 안테나는 편파 간 분리를 위해 단일 방사체에 편파별로 별도의 급전회로를 가지게 하는 구조를 가진다. 이러한 이중편파 안테나들은 교차 편파 분리도로 정의된 XPD 값이 방사각의 일부분에서만 40 dB 이상의 값을 가지나 모든 방향에 대한 평균 교차 편파 분리도는 낮은 특성을 보인다 [7]. 무엇보다 편파별로 다른 방사패턴을 가지고 있어 MIMO 채널 모델링 어려운 단점이 있다.

본 논문에서는 대칭적인 구조와 차동 급전을 이용하여 교차 편파의 발생을 최소화 시키는 이중편파 안테나를 제안한다. 제안한 안테나에 의한 방사패턴을 최소화 시키고, 두 직교 편파 간의 방사패턴이 비슷하여 소형 셀 MIMO 시스템에 최적의 특성을 가진다.

## 2. 본론

### 2.1 안테나 설계

그림 1은 제안된 이중편파 슬롯 안테나의 구조이다. 기판 전면의 사각형 슬롯은 두 쌍의 삼각형 급전 패치로부터 전류를 공급받아 두 개의 직교 편파를 발생시킨다. 각 편파에 대하여 서로 마주보는 삼각형 급전 패치의 50 Ω 포트는 100 Ω의 차동 임피던스를 가지는 포트에 동작한다. 수직편파는 포트 1+와 포트 1-에 차동전류가 인가되었을 때, 수평편파는 포트 2+와 포트 2-에 차동전류가 인가될 때 발생된다. 안테나 크기를 소형화하기

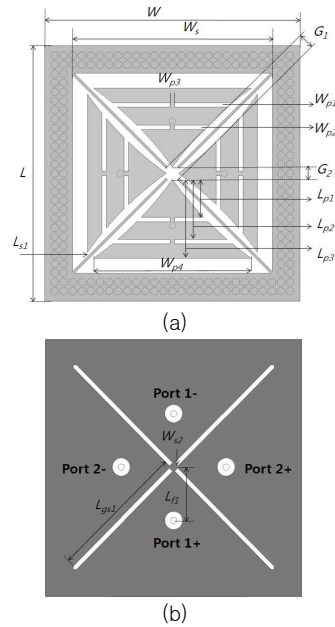


그림 1. 제안된 이중편파 안테나 구조 (a)전면, (b)후면  
 Fig. 1. Geometry of the proposed antenna((a) top view; (b) bottom view. (L = 57.5 mm, W = 57.5 mm, G1 = 2.75 mm, G2 = 3.6 mm, Ws1 = 0.5 mm, Ws2 = 1.5 mm, Lp1 = 9 mm, Lp2 = 14 mm, Lp3 = 17.5 mm, Wp1 = 1 mm, Wp2 = 1 mm, Wp3 = 0.5 mm, Wp4 = 34.05 mm, Lf1 = 16 mm, Ls1 = 30 mm, Lgs1 = 30.25 mm)

위해 삼각형 급전패치 내에 유효 전류경로 길이를 길게 해주는 슬롯을 추가하였고, 각 급전 패치 간 신호가 전달되는 것을 막기 위해 안테나 전면과 뒷면에 대각선 슬롯을 배치 하였다. 또한 반사손실

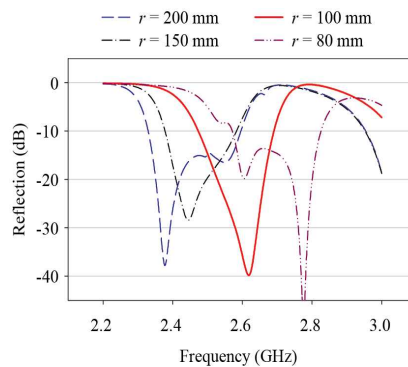
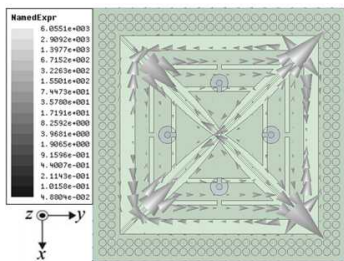


그림 2. 급전 패치 옆면의 반경에 따른 정합 특성  
 Fig. 2. Matching characteristic with respect to radius for the sides of a feeding patch.

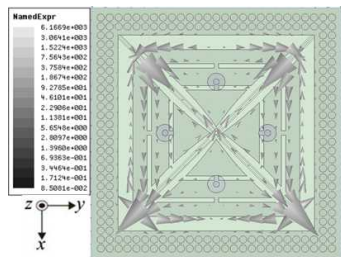
을 줄이기 위해 급전패치의 옆면은 곡면으로 설계하였다.

그림 2는 곡면의 반경에 따른 정합특성을 나타내는 그림이다. 이를 바탕으로 급전 패치 옆면의 최적 반경  $r=102.5\text{ mm}$  이며 제안된 안테나 급전 패치의 옆면이  $r=102.5\text{ mm}$  크기의 곡면을 이루도록 설계하였다. 안테나의 외곽에는 전면과 후면의 접지 면을 연결하기 위한 반경  $r_{via}=0.85\text{ mm}$  비아홀(via hole)을 배치하였다.

제안된 안테나는 x축, y축에 대하여 각각 대칭적인 구조이고 두 편파로 동시에 동작이 가능하다. 각 편파는 차동으로 급전하며 하나의 편파가 동작 시 다른 편파의 급전 포트에는 크기와 위상이 같은 신호가 유도되므로 공통 모드 제거(common-mode rejection)로 인해 두 편파 간 격리도가 매우 높다. 또한, 안테나의 교차편파 성분을 효과적으로 억제하여 높은 XPD를 얻을 수 있게 해준다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 포트 1 (b)포트 2 전력을 인가했을 경우 표면 자기전류 밀도 모의실험 결과(HFSS)

Fig. 3. Simulated surface magnetic current densities when (a) Port 1 or (b) Port 2 is excited.

그림 3은 포트 1과 포트 2에 전력을 인가했을 때 안테나 전면에 발생하는 자기전류밀도를 HFSS로 모의 실험한 결과이다 [8].

그림 3(a)는 포트 1+와 포트 1-에 크기는 같고 위상은  $180^\circ$  차이 나도록 급전했을 때 발생된 자기전류밀도이다. 이때 두 대각선 슬롯에 발생된 자기전류에 대하여 벡터 합을 하면 y방향 성분은 같은 방향으로 발생되어 보강되지만, x방향 성분은 서로 반대방향으로 발생되어 서로 상쇄된다. 결과적으로 포트 1에 전력을 인가하면 y방향의 자기전류성분만 발생하며 이 전류 성분에 의한 방사가 발생한다. 즉, 교차편파성분은 상쇄되고 주 편파 성분은 보강되어 높은 XPD를 가지게 된다. 그림 3(b)는 포트 2+와 포트 2-에 크기는 같고 위상이  $180^\circ$  차이 나도록 급전했을 때 발생되는 자기전류 밀도이다. 포트 1의 동작과 유사하게 포트 2에 전류가 인가될 때는 y 성분의 자기전류는 상쇄되어 x방향 성분의 자기전류만 발생한다. 제안된 안테나를 그림 3와 같이 동작시키기 위해서는 차동급전을 위한 소자가 필요하며, 통상적으로 발룬이 차동급전을 위해 많이 사용 된다 [9]-[10].

하지만 실제 발룬의 출력은 위상 및 크기 불균형이 불가피하며 이러한 발룬을 활용해 제안된 안테나를 구동할 경우 XPD가 다소 낮아질 수 있다.

## 2.2 모의실험 및 구현결과

그림 4는 제작된 안테나의 사진이다. 중심주파수  $2.6\text{ GHz}$ 이며  $3.5$ 의 유전율,  $3.04\text{ mm}$ 의 두께를 갖는 Taconic사의 RF-35 기판에 제작하였다. 최종 안테나 구조는 HFSS를 활용하여 최적화 하였고, 최종 구조는 그림 1에 제공되어 있다. 안테나의 방사 특성을 측정하기 위해 무반향실 내에서 Agilent사의 N5 227A 벡터 네트워크 분석기를 이용하여 측정하였다. 그림 5는 모의실험을 통한 S-파라미터와 측정된 S-파라미터를 비교한 결과이다. 모의실험은 혼합 모드 S-파라미터 기법을 사용하여 구했고 [11], 측정 시윌킨슨 전력분배기에 둘 중 한쪽 출력에  $180^\circ$  전송선로로 구성된 발룬을 사용하였다.

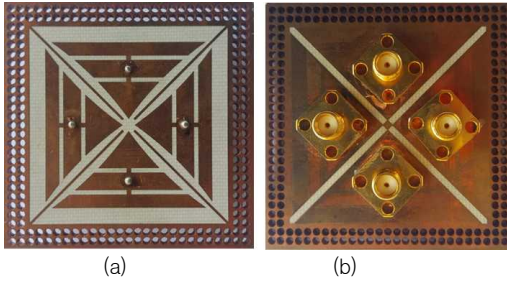


그림 4. 제작된 안테나 사진 (a)전면, (b)후면  
Fig. 4. Photograph of the fabricated antenna: (a) top view; (b) bottom view.

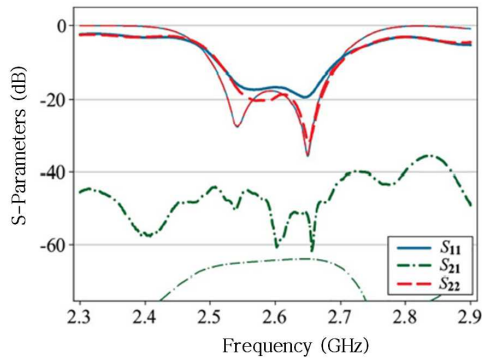
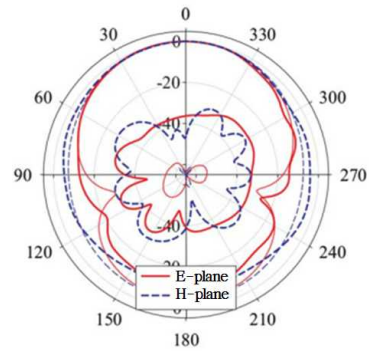


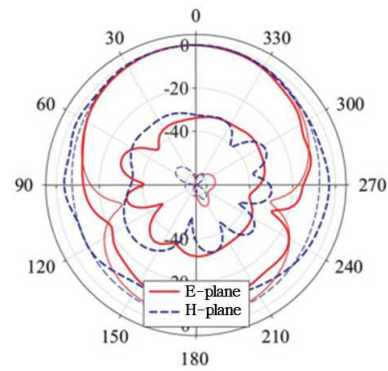
그림 5. 모의실험(얇은 선) 및 측정된(굵은 선) S 파라미터  
Fig. 5. Simulated (thin line) and measured (thick line) S-parameters.

비교결과 모의실험을 통한 S-파라미터와 측정된 S-파라미터의 차이가 잘 일치함을 확인할 수 있다. 각각의 직교 편파로 동작하는 두 안테나의 반사계수 S11, S22 값 사이에 조금의 차이가 발생한 이유는 이상적인 발룬 특성이 아니기 때문이다. 즉, 사용된 발룬의 두 출력사이에 크기 차이가 최대 0.5 dB, 위상 차이가 최대 150 만큼 2.5 ~ 2.7 GHz 대역 내에서 그로 인해 두 편파 안테나의 반사 특성이 달라진다. 그럼에도 불구하고 두 안테나는 반사계수 -10 dB를 기준으로 약 180 MHz (2.51 ~ 2.7 GHz)의 대역폭을 가지며 시뮬레이션 결과와 매우 유사하다.

그림 6 은 2.6 GHz에서 모의실험을 통한 방사 패턴과 측정된 방사패턴을 비교한 것이다. 대칭 구조이기 때문에 두 편파의 방사패턴이 거의 비슷하고 반 전력빔폭은 85o 이상임을 확인할 수 있다.



(a)

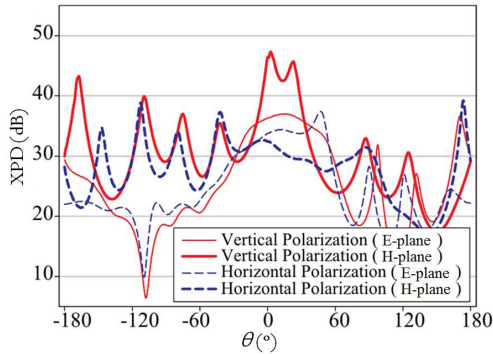


(b)

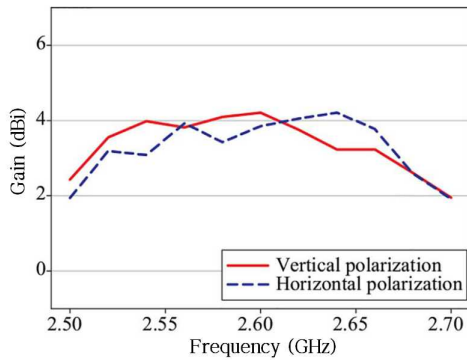
그림 6. 중심주파수 2.6 GHz에서 모의실험(얇은 선) 및 측정된(굵은 선) 방사패턴 (a) 수직편파 (b) 수평편파  
Fig. 6. Simulated (thin line) and measured (thick line) radiation patterns at 2.6 GHz. (a) Vertical polarization. (b) Horizontal polarization.

그러므로 제안한 안테나로 다중배열을 만들었을 때 편파방향에 상관없이 동일한 방사패턴을 가지게 되어 MIMO 시스템에 적용될 경우 채널 모델링을 쉽게 할 수 있다.

그림 7(a)는 그림 6의 측정된 방사패턴 값으로부터 계산되어진 안테나의 XPD를 나타낸다. 측정시 사용된 발룬 때문에 모의실험을 통해서 얻어진 XPD 값보다 측정을 통해 얻어진 XPD 값이 나쁘지만 최대 47.3 dB의 값을 가지며 반 전력 빔 폭 내에서는 29.9 dB 이상의 값을 가진다. 그림 7(b)는 측정된방사이득을 나타내는 그래프로 -10 dB



(a)



(b)

그림 7. (a) 2.6 GHz에서 측정된 XPD, (b) 10 dB 반사 대역폭 내의 최대이득 그래프

Fig. 7. Measured (a) XPD at 2.6 GHz and (b) peak gain within a 10 dB reflection bandwidth.

반사계수 기준으로 두 편파가 3.5 ~ 4.5 dBi 범위 내에서 방사이득을 가짐을 확인하였다.

표 1에서는 기존에 제안되었던 이중편파 안테나들과 제안된 안테나의 성능을 비교하였다. 제안된 안테나는 26.4 dB의 평균 교차 편파 분리도(XPD)를 제공하였고 이는 기존 제안된 안테나보다 최소 13.8 dB 만큼 성능이 뛰어나다.

표 1. 이중편파안테나의 특성 비교

Table 1. COMPARISON OF THE DUAL-POLARIZED ANTENNAS

References	Size( $\lambda_0^2$ )	Maximum Gain (dBi)	Maximum XPD (dB)	Average XPD (dB)
[4]	-	7.1	33.8	12.3
[5]	0.91 × 0.91	4.2	24.2	12.6
[6]	0.36 × 0.36	7	40.3	4.2
Proposed	0.5 × 0.5	4.2	47.3	26.4

### 3. 결론

본 논문에서는 높은 교차 편파 분리도(XPD)를 가지는 이중편파안테나를 제안하였다. 제안된 안테나는 대칭적인 구조와 차동급전으로 교차편파 성분을 효과적으로 감쇄시킬 수 있었다. 또한 대칭구조로 각 편파가 동일한 방사패턴을 가지고 있어 소형 셀 다중안테나(MIMO)시스템에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다. 모의실험, 제작 및 측정결과 제안한 안테나는 반사계수 -10 dB를 기준 180 MHz (2.51 ~ 2.7 GHz)의 대역폭, 최대 4.5 dBi 방사이득(3.5 ~ 4.5 dBi), 85도의 반 전력 빔폭을 가짐을 확인하였다. 또한 평균 교차편파 분리도(XPD)가 26.4 dB로 기존의 단일방사체에 서로 다른 급전을 이용하는 방법, 스위칭을 통해 편파를 선택적으로 사용하는 방법에 비하여 13.8 dB 이상 개선된 특성을 가짐을 확인하였다.

### REFERENCES

[1] Yue Li, Zhijun Zhang, Jianfeng Zheng, Zhenghe Feng, "Channel Capacity Study of Polarization Reconfigurable Slot Antenna for Indoor MIMO System", *Microwav Opt Technol lett*, vol.53, pp. 1209-1231, Jun, 2011.

[2] J. Hoydis, M. Kobayashi, and M. Debbah, "Green small-cell networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.6, no.1, pp.37 - 43,

March, 2011.

[3] O. Stanze and A. Weber, "Heterogeneous networks with LTE-Advanced technologies," *Bell Labs Tech. J.*, vol.18, no.1, pp.41 - 58, Jun, 2013.

[4] D. H. Lee, J. H. Kim, J. H. Jang, and W. S. Park, "Dual-frequency dualpolarization antenna of high isolation with embedded mushroom-like EBG cells," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol.49, no.7, pp.1764 - 1768, July, 2007.

[5] G. Adamiuk, S. Beer, W. Wiesbeck, and T. Zwick, "Dual-orthogonal polarized antenna for UWB-IR technology," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol.8, pp.981 - 984, 2009.

[6] K. Lau, K. Luk, and D. Lin, "A wide-band dual-polarization patch antenna with directional coupler," *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol.1, pp.186 - 189, 2002.

[7] D. C. Cox and H. W. Arnold, "Comparison of measured cross-polarization isolation and discrimination for rain and ice on a 19-GHz space-earth path," *Radio Sci.*, vol.19, no.2, pp. 617 - 628, 1984.

[8] High Frequency Structure Simulator. ver. 10.0, Ansoft Corporation, Pittsburgh, PA, USA, 2005.

[9] Icheln, Clemens, Joonas Krogerus, and Pertti Vainikainen. "Use of balun chokes in small-antenna radiation measurements." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* vol.53, no.2, pp.498-506, 2004

[10] Yeoh, W. S., K. L. Wong, and W. S. T. Rowe. "Wideband miniaturized half bowtie printed dipole antenna with integrated balun for wireless applications." *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* vol.59, no.1,

pp.339-342, 2011

[11] D. Bockelman and W. Eisenstadt, "Combined differential and common-mode scattering parameters: Theory and simulation," *Radio Sci.*, vol.43, no.7, pp.1530 - 1539, 1995.

---

저자약력

---

**이 상 호(Sang-Ho Lee)**

**[정회원]**



<관심분야>

- 1998년 2월 : 연세대학교 전파공학과 (공학사)
  - 2000년 2월 : 연세대학교 전기컴퓨터공학과 (공학석사)
  - 2000년 2월 ~ 2005년 1월 : LG 이노텍 선임연구원
  - 2005년 1월 ~ 2014년 12월 : 한국산업기술평가관리원 책임연구원
  - 2010년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정
- 초고주파 회로, 안테나 등

**오 태 근(Taeck-Keun Oh)**

**[정회원]**



<관심분야>

- 2010년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사)
- 2015년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2015년 2월 ~ 현재 : LIG넥스원 선임연구원

초고주파 회로, 안테나 등

**하 정 제(Jung-Je Ha)**

**[정회원]**



<관심분야>

- 2009년 2월 : 연세대학교 전기전자공학부 (공학사)
- 2011년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
- 2017년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

초고주파 회로, 안테나 등



이 용 식(Yong-Shik Lee)

[정회원]



- 1998년 2월 : 연세대학교 전과 공학과 (공학사)
- 2004년 4월 : University of Michigan (공학박사)
- 2004년 10월 : Purdue University (Post-doc-torial Research Associate)
- 2005년 7월 : EMAG Technologies, Inc., Senior Research Engineer
- 2005년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 정교수

<관심분야>

초고주파 회로, 안테나, 메타물질 등