

원형편파를 갖는 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나

Printed Annular Ring Slot Antenna for Circular Polarization

이태훈 · 김명석 · 김영두 · 이홍민

Tae-Hun Lee · Myung-Suck Kim · Young-Do Kim · Hong-Min Lee

요 약

본 논문에서는 기존 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 방사소자 일부를 제거하고, 길이가 서로 다른 십자슬롯을 부설하여 원형편파를 구현하고, 안테나 크기를 소형화시킨 새로운 구조의 안테나를 제안하였다. 급전구조는 입력단 설계가 간단하고 정합이 쉬운 전자파 결합방식을 사용하였고, Ansoft HFSS V8.0으로 최적화한 후 제작 및 측정하였다. 제안된 안테나는 GPS(1.5 GHz)대역에서 1.9 %의 축비 대역폭($AR \leq 3$ dB)을 나타내었고, LHCP · RHCP 각각의 구조에서 7.74 %의 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)을 나타내었다. 이는 기존의 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 임피던스 대역폭 및 축비 특성을 보다 더 개선한 것이다.

Abstract

This paper presents novel compact circularly polarized(CP) operation of a annular ring slot antenna with a 45° truncated in the patch and a cross-slot of unequal slot lengths. A simple configuration based on a cross-slot of unequal slot lengths on the annular ring patch is adopted to realize a small-size element antenna and used a proximity coupled feed method. Experimental results show that much wider impedance bandwidth of 7.74 % and axial ratio bandwidth of 1.9 % in GPS band(1.5 GHz).

Key words : 원형편파, 원형 링 슬롯 안테나, 십자슬롯, GPS

I. 서 론

최근 무선통신분야는 위성을 이용한 서비스를 위하여 국·내외적으로 많은 연구가 진행 중에 있다. 이러한 위성을 이용한 통신시스템은 편파의 음영지역을 해소하고, 위치 추적 및 확인이 가능하며, 주문형 비디오(VOD)등과 같이 다양한 무선통신 서비스로 확대되고 있다. 편파 측면에서 위성을 통한 통신 시스템에서는 기존의 육상 이동통신(cellular, PCS)에서 사용하는 편파방식과 달리 원형편파(circular polarization : CP) 특성을 갖는 안테나가 필요하다. 원형편파를 이용한 안테나는 전리층을 통한 편파면의 회전이나, 위성과 지상간의 극성변환이 우려되는

통신 환경(구름, 비, 안개 등)에서 우수한 전송 특성을 가지고 있고, 신호의 다중경로에 대한 지연시간 특성이 우수하다.

이러한 원형편파를 구현하기 위한 급전구조에는 방사소자와 급전구조를 직접 연결하는 접촉식 급전 방식과 비 접촉방식이 있다. 접촉식 급전방식의 경우 동축 프로브를 사용하여 안테나에 이중급전을 하거나, 방사소자에 슬롯(slot)이나 슬릿 slit, 또는 corner truncated를 이용하여 단일급전하는 방법이 있다. 이런 방법들은 양호한 축비(axial ratio)특성을 나타내지만 방사소자와 직접 접촉하여 급전하는 방식을 사용하므로 임피던스 대역폭이 좁은 단점이 있다. 따라서 비 접촉급전 방식을 이용하여 임피던

경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

· 논문 번호 : 20021102-12S

· 수정완료일자 : 2002년 12월 17일

스 대역폭과 축비 대역폭을 동시에 만족할 수 있는 안테나에 대한 연구가 최근에 활발히 진행 중에 있다. 그 중에서 비접촉 급전방식을 사용하고, 원형 패치 안테나보다 넓은 임피던스 대역폭을 가지는 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나(annular ring slot antenna)는 위성통신시스템이 요구하는 사양을 충족할 수 있는 구조로 각광을 받고 있다^{[2]~[4]}.

본 논문에서는 단일 방사 소자인 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나 구조를 이용하여 임피던스 대역폭 및 축비 대역폭을 동시에 만족할 수 있는 안테나에 대한 연구를 하였다. 방사소자의 대각선 방향으로 원형 모서리를 truncated 하여 양호한 축비 특성을 얻었으며, 45° 방향으로 길이가 서로 다른 십자슬롯을 두어 안테나의 크기를 소형화하고, 더욱 개선된 축비 특성을 얻을 수 있었다. 제안된 안테나는 GPS대역(1.5 GHz)에서 1.9 %의 축비 대역폭을 가지고, LHCP, RHCP 각각의 구조에서 7.74 %의 임피던스 대역폭을 나타내었다. 이는 기존의 십자슬롯을 갖는 원형 패치 안테나^[5]보다 임피던스 대역폭이 4.3 % 증가한 것이며, 방사소자의 크기 또한 27 % 감소시켰다.

II. 본 론

2-1 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나

원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 일반적인 구조는 그림 1에 나타낸 바와 같이 폭(W_g)의 원형 슬롯을 두어 동일 레이어(layer)에 접지면과 방사소자가 원형 슬롯에 의해서 분리된 형태이다. 급전방식은 입력단 설계가 쉬운 전자파 결합(proximity coupling) 급전방식을 사용하고 있다. 원형 패치 안테나와는 달리 원형 링 슬롯 안테나는 최저차 모드(TM_{11} Mode)로 동작하는데 있어 원주의 1/2 길이로 반파장을 얻을 수 있기 때문에, 지름이 반 파장이 되어야 하는 원형 패치 안테나보다 더욱 소형화된 크기로 안테나를 설계할 수 있다^[6]. 또한 마이크로스트립 형태이므로 대량생산에 용이하고 비 평면에 부착이 용이하다. 그러나 광대역 특성을 갖는 안테나들에 비해 상대적으로 좁은 임피던스 대역폭을 가지므로 위성을 이용한 통신을 위해서는 광대역

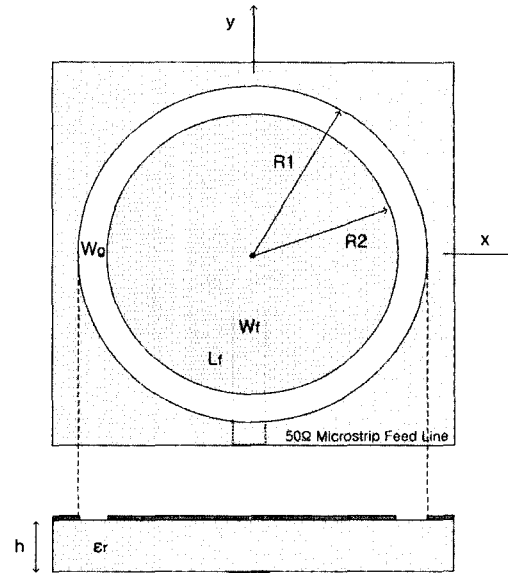


그림 1. 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나
Fig. 1. Annular ring slot antenna.

특성을 갖는 구조에 대한 연구가 요구되고 있다. 최근에 이런 단점을 극복하기 위해 제안된 구조로는 급전구조에 저 임피던스를 갖는 스텐드를 사용하거나^[8], 내부동심원(R_2)을 중심으로부터 일정길이 만큼 offset을 두어 대역폭을 확장하는 방법^[6]등이 제안되었다. 이런 방법들은 수십 %의 임피던스 대역폭을 가지므로 기존에 지적되어왔던 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 단점을 극복할 수 있다. 하지만 위성을 통한 통신을 위해서는 임피던스 대역폭뿐만 아니라 축비 대역폭 또한 만족하여야 하므로 이에 대한 연구가 큰 관심의 대상이 되고 있다.

원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나를 설계하는데 있어 링 슬롯의 내부 반경 R_2 와 외부 반경 R_1 를 결정해야 한다. 유전체의 높이 h 는 파장에 비해 매우 작다고 가정하면, fringing field에 의한 확장 길이 ΔC_2 는^[7]

$$\Delta C_2 = \ln\left(\frac{R_2}{2 \times h}\right) + 1.41 \times \epsilon_r + 1.7726 + \frac{h}{R_2} \times (0.286 \times \epsilon_r + 1.65) \quad (1)$$

실효 외부반지름 R_{1eff} 는 식 (2)에 의해 결정된다.

$$R_{1eff} = R_2 \cdot \sqrt{1 - \frac{2 \cdot h}{\pi \cdot a \cdot \epsilon_r} \cdot \Delta C_2} \quad (2)$$

또한 R_2 의 실효 내부반지름도 식 (3)과 식 (4)에 의해 결정된다.

$$\Delta C_1 = \ln\left(\frac{R_1}{2 \times h}\right) + 1.41 \times \epsilon_r + 1.7726 + \frac{h}{R_1} \times (0.286 \times \epsilon_r + 1.65) \quad (3)$$

$$R_{2eff} = R_1 \cdot \sqrt{1 - \frac{2 \cdot h}{\pi \cdot a \cdot \epsilon_r} \cdot \Delta C_1} \quad (4)$$

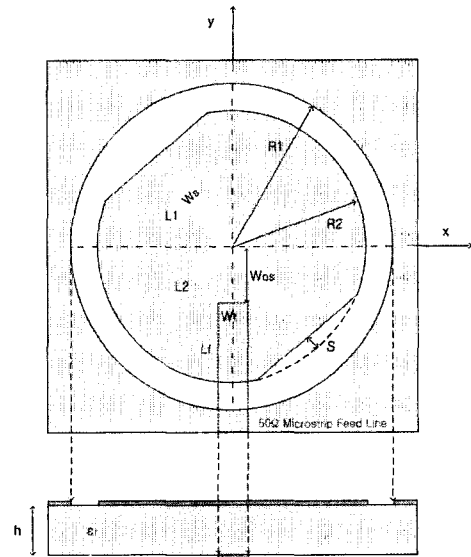
방사소자의 슬롯 폭(W_g)이 넓어질수록, 중심점으로부터 선로의 offset 길이가 길어질수록 공진주파수와 임피던스 대역폭은 증가하며 방사소자의 크기가 커질수록 공진주파수는 떨어진다.

2-2 제안된 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나의 구조

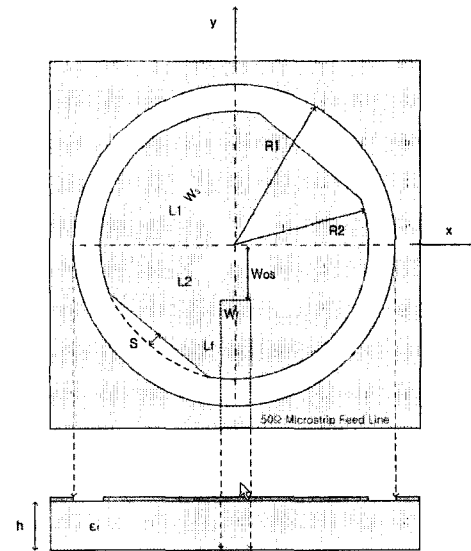
일반적인 원형 링 마이크로스트립 슬롯 구조로는 축비 특성을 만족할 수 없으므로 안테나의 급전구조나 방사소자를 변형하여 설계해야 한다. 최근에 이런 축비 특성을 만족하기 위해 제안된 구조로는 방사소자에 meandered-slot를 사용하여 급전 층에서 인가되는 전류의 위상차를 orthogonal mode를 갖게 하여 축비 특성을 만족한 방법^[9]과 방사소자의 중앙으로부터 길이가 같은 십자슬롯을 두고 45° 방향에 동축 프로브로 급전하여 축비 특성을 만족하는 방법^[10]이 제안되었다. 이런 방법들은 양호한 축비 특성을 가지지만 안테나가 크고, 임피던스 대역폭이 좁은 단점이 있다.

본 논문에서는 원형편파를 구현하기 위해 방사소자의 중앙으로부터 대각선 방향으로 truncated를 하였고, 45° 방향으로 길이가 서로 다른 십자 슬롯을 두어 방사소자의 크기를 보다 소형화하고 축비 특성을 개선한 새로운 안테나 구조를 제안하였다. 제안된 안테나의 구조를 그림 2에 나타내었다. 방사소자에 십자슬롯의 부설은 기존 orthogonal mode 상태의 전류 실효길이(effective length)를 증가시키므로 공진주파수를 낮추어, 소형화된 안테나를 구현하는 방법을 사용하였다.

제안된 안테나의 십자슬롯 부설에 의한 공진주파수와 대역폭의 변화를 표 1에 나타내었다. 십자슬롯을 추가하면 안테나의 공진주파수가 70 MHz 가량



(a) LHCP



(b) RHCP

그림 2. 원형편파를 갖는 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나

Fig. 2. Annular ring slot antenna for circular polarization.

떨어지고, 임피던스 매칭을 위한 원점과 마이크로스트립 선로사이의 offset 길이(W_{os})는 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 기본 저차모드(TM_{11} Mode)에서 방사소자 중심에 위치하는 voltage-null 지점이, 일정 폭을 갖는 슬롯에 의해 voltage-null 지점이 부설

표 1. 십자슬롯을 갖는 안테나의 특성
Table 1. Characteristics of antenna with cross-slot.

안테나의 Slot의 유·무	L1 [mm]	L2 [mm]	W_{os} [mm]	f [MHz]	BW [MHz]
Without cross-slot	0	0	7	1634	227
With cross-slot	24	10	10	1565	215

된 슬롯의 폭에 의해 임피던스 매칭점이 이동됨을 알 수 있다.

그림 3에 길이가 서로 다른 십자슬롯을 부설하였을 때 방사소자의 중앙지점에서 50Ω 마이크로스트립 선로의 offset 길이(W_{os})변화에 따른 안테나의

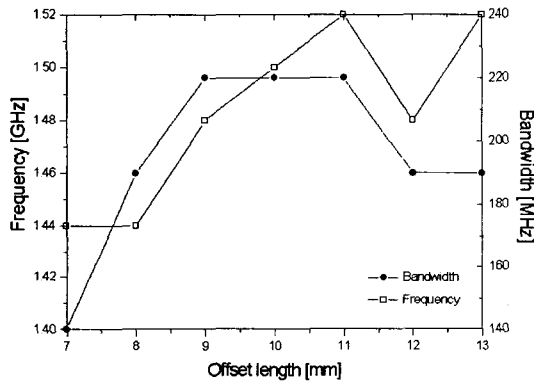


그림 3. offset 길이에 따른 공진주파수와 대역폭
Fig. 3. Resonant frequency and bandwidth for different length.

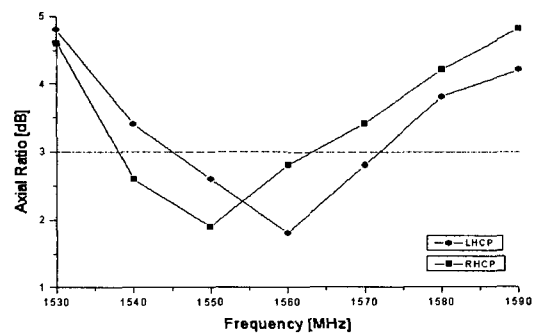


그림 4. 제안된 안테나의 축비특성
Fig. 4. Axial ratio vs. frequency of proposed antenna.

공진주파수와 대역폭의 변화를 나타내었다. 설계된 안테나는 공진주파수 1.5 GHz에서 공진하며 원하는 임피던스 대역폭을 얻기 위해서 offset 길이를 10 mm로 하였다.

그림 4에서는 제안된 안테나의 축비 특성을 나타내었다. 원점으로부터 대각선 방향으로 S 를 3 mm truncated 하였을 때 만족할만한 축비 특성을 얻을 수 있었다. 45° 각으로 자른 모서리 부분의 모드와 자르진 않은 모드의 위상차를 이용하여 원형편파를 얻는 구조로써 면적의 감소분은 전체의 3 % 정도로 하는 것이 일반적이다^[1]. LHCP와 RHCP 각각의 구조에서 30 MHz 정도의 축비 특성을 관찰할 수 있다. LHCP구조와 RHCP구조를 비교해 볼 때 LHCP 특성이 더 양호한 것을 알 수 있는데, 이것은 길이가 서로 다른 십자슬롯의 방향이 LHCP 구조에 유리하게 동작되기 때문이다.

그림 5는 truncated 된 방사소자에 길이가 서로 다른 십자슬롯이 있을 경우와 없을 경우의 축비 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 방사소자가 truncated 되어 있을 때 십자슬롯이 있는 경우가 축비 특성이 다소 양호한 것을 알 수 있다.

2-3 제작 및 측정 결과

그림 6에 Rogers(社)의 duroid 5880 기판을 사용하여 LHCP와 RHCP 특성을 갖는 두개의 제작된 안테나를 나타내었다. 안테나는 80 mm×80 mm의 크기로서 비유전율 $\epsilon_r=2.2$ 의 기판을 사용하였고 기

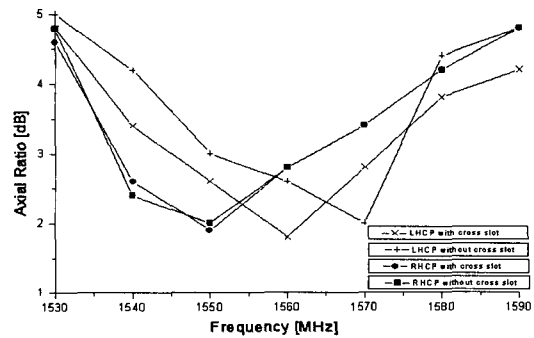


그림 5. 십자슬롯 유무에 따른 각 안테나의 축비 특성
Fig. 5. Axial ratio vs. frequency of antennas with or without slot.

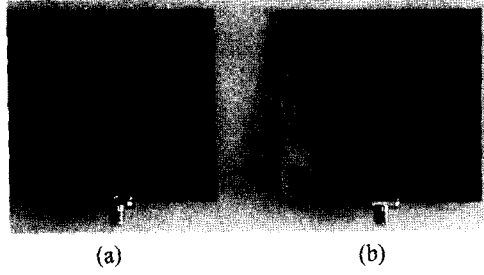


그림 6. 제작된 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나 (a) LHCP, (b) RHCP
Fig. 6. Fabrication of proposed antenna.

판의 두께는 1.6 mm이다.

그림 7의 (a), (b)는 LHCP, RHCP 구조일 때 각각의 반사손실 특성을 모의실험 값과 측정값으로 나타내어 비교하였다. 모의실험 값과 측정값에 나타나는 공진주파수는 거의 일치하는 것을 알 수 있으며, 2 GHz 이상에서 나타나는 공진은 -10 dB 이하로 떨어지지 않으므로 다른 서비스 밴드에 일어날 수 있

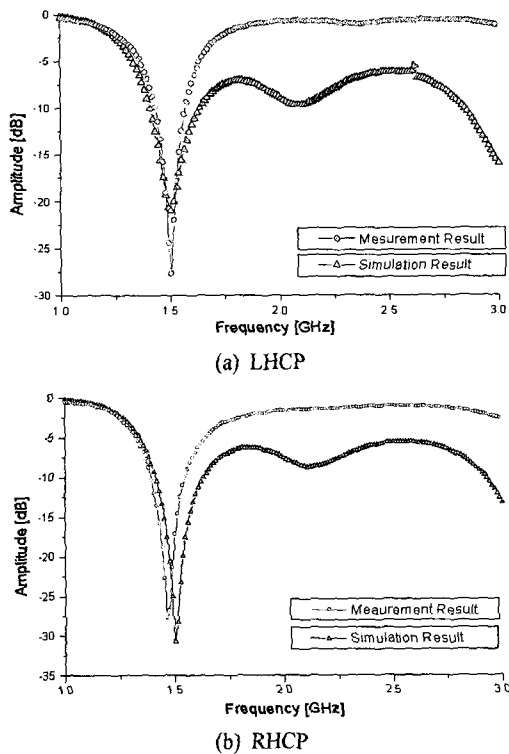


그림 7. 반사손실의 측정값과 모의실험값
Fig. 7. Measured and simulated return loss.

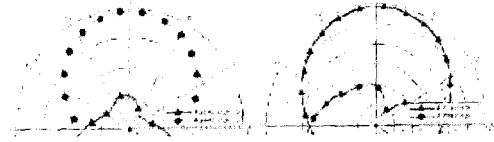


그림 8. 모의실험한 안테나의 축비 특성
Fig. 8. Simulated axial ratio patterns.

는 간섭은 적다.

그림 8에 모의실험한 안테나의 축비특성을 나타내었다. GPS대역에서 LHCP와 RHCP의 레벨 차이가 15 dB 이상이므로 양호한 축비(Axial Ratio) 특성을 나타내고 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 일반적인 원형 링 마이크로스트립 슬롯 안테나 구조에서 소형화와 광대역 특성을 구현하기 위해서 패치 중앙에 십자슬롯을 사용하고, 개선된 축비 특성을 얻기 위하여 45° 각도로 패치의 모서리를 truncated한 새로운 구조의 안테나를 제안하였다. 설계 제작된 안테나는 GPS대역에서 LHCP, RHCP 각각의 구조에서 120 MHz의 임피던스 대역폭을 가지며, 축비 특성도 3 dB이하를 나타내었다. 제안된 안테나는 기존의 원형 링 마이크로스트립 안테나에 비해 소형화되었으며, 광대역 특성과 원형편파 특성을 나타내고 있으므로, 향후 위성통신 및 이동통신 시스템 등에 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] NTT이동통신망(주) 안테나연구그룹, "초고주파 안테나의 기초와 이동통신 안테나 시스템", 국제테크노정보연구소, pp. 191-198, 1998년.
- [2] Kin-Lu Wong, *Compact and Broadband Microstrip Antennas*, Wiley & Son, 2002.
- [3] D. M. Pozar, B. Kaufamn, "Increasing the bandwidth of a microstrip antenna by proximity coupling", *IEEE Trans. Elect. Lett.*, vol. 23, no. 8, pp. 368-369, April 1987.

- [4] G. Kumar, K. C. Gupta, "Nonradiating edges and four edges gap-coupled multiple resonator broad-band microstrip antennas", *IEEE Trans. AP*, vol. AP-33, pp. 497-499, 1985.
- [5] Hisao Iwasaki, "A circularly polarized small-size microstrip antenna with a cross slot", *IEEE Trans. AP*, vol. 44, no. 10, Oct. 1996.
- [6] 서영훈, 박인모, "광대역 특성을 갖는 변형된 원형링 마이크로스트립 슬롯 안테나", 한국전자과학회 논문지, 11(5), pp. 773-781, 2000년 8월.
- [7] Javier Gomez-Tagle, Christos G. Christodoulou, "Extended cavity model analysis of stacked microstrip ring antennas", *IEEE Trans. AP*, vol. 45, no. 11, Nov. 1997.
- [8] H. S. Shin, N. Kim, "Wideband annular ring slot microstrip antenna with low impedance feed line", *IEEE AP Society International Symposium*. 2002.
- [9] Kin-Lu Wong, Chien-Chin Huang and Wen-Shan Chen, "Printed ring slot antenna for circular polarization", *IEEE Trans. AP*, vol. 50, no. 1, Jan. 2002.
- [10] W. S. Chen, C. K. Wu and K. L. Wong, "Compact circularly polarized circular microstrip antenna with cross slot and peripheral cuts", *Electron. Lett.* 34, pp. 1040-1041, May 28, 1998.

이 태 훈



2001년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
 2001년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] RF 능동소자 및 안테나 설계

김 영 두



2000년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF수동소자

김 명 석



1980년 2월: 동아대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학석사)
 2000년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 박사과정
 [주 관심분야] RF능동소자, 안테나

이 홍 민



1972년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
 1974년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학석사)
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수
 [주 관심분야] 안테나설계 및 해석, 전파전파, RF수동소자