

결합 미엔더 선로를 이용한 모바일 RFID/PCS/WiBro 삼중 대역 소형 칩 안테나

Triple-band Compact Chip Antenna Using Coupled Meander-line Structure for Mobile RFID/PCS/WiBro

임 형 준 · 이 흥 민

Hyoung-Jun Lim · Hong-Min Lee

요 약

본 논문에서는 결합 선로를 적용한 변형된 미엔더 라인과 기본적인 형태의 미엔더 라인을 커플링 결합을 통하여 적층함으로써 모바일 RFID, PCS 그리고 WiBro의 삼중 공진 대역 특성을 나타내는 소형 칩 안테나를 제안하였다. 결합 선로의 길이와 미엔더 선로의 간격을 제어하여 모바일 RFID, PCS 대역을 확보한 후 기본 형태의 미엔더 선로를 적층하여 WiBro 대역을 구하였다. 제안된 안테나는 LTCC 공정을 통하여 10.98×22.3×0.98 mm의 크기로 제작되었다. 공진 주파수는 각각 905 MHz, 1.77 GHz 그리고 2.32 GHz에서 공진을 하고 있는 것을 확인하였다. 임피던스 대역폭(VSWR≤2)이 24 MHz, 140 MHz 그리고 92 MHz를 나타내었다. 각 공진 주파수에서의 최대 이득은 0.34 dBi, 2.58 dBi 그리고 0.4 dBi를 나타내었다.

Abstract

The proposed triple-band compact chip antenna using coupled meander line and stacked meander structure for mobile RFID/PCS/WiBro. The proposed antenna is designed to operate at 900, 1,800, and 2,350 MHz, and is realized by parasitic coupled and stacked a meander line. Meander lines are using extend length of effective current path more than monopole and contribute miniaturization. The coupled meander line controls the excitations of the mobile RFID and PCS, stacked meander line controls the excitation of the WiBro. The fabricated antenna size is 10.98×22.3×0.98 mm. The resonance frequencies are 905 MHz, 1.77 GHz and 2.32 GHz. The impedance bandwidths are 24 MHz, 140 MHz and 92 MHz. The maximum gains of antenna are 0.34 dBi, 2.58 dBi and 0.4 dBi at resonance frequencies.

Key words : Triple-band, Compact, Mobile RFID, WiBro, Meander Antenna

I. 서 론

최근 무선 이동 통신 단말기의 소형화와 함께 고속 데이터 통신을 이용한 멀티미디어 서비스를 하나의 단말기 내에 제공하는 시스템들의 연구가 많이 진행되고 있다. 이러한 시스템들은 이동 통신 단말기로 통합되어가면서 부품들의 소형화 및 집적화가

요구되어지고 있으며 이중 시스템 소요 면적이 비교적 큰 안테나 역시 소형화 및 다중 대역 특성이 중요한 문제로 대두되고 있다. 본 논문에서는 현재 많은 연구가 진행 중인 모바일 RFID(Mobile Radio Frequency Identification)와 4G의 가장 대표적인 와이브로(WiBro: Wireless Broadband, 휴대 인터넷)를 결합한 다중 대역 소형 칩 안테나를 제안하고자 한다.

「본 연구는 2005학년도 경기대학교 학술연구비(일반과제) 지원에 의하여 수행되었음.」

경기대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyonggi University)

· 논문 번호 : 20051105-15S

· 수정완료일자 : 2006년 1월 12일

모바일 RFID는 UHF 대역인 900 MHz를 이용하여 근접 거리의 태그를 인식, 정보를 얻고자 한다. 모바일 RFID의 경우 고정형 리더기가 존재하지 않는 특화된 지역에서 고정된 태그를 인식하고자 한다. 이로 인해 인식 거리가 다른 RFID에 비하여 짧으며 -2 dBi 정도의 이득을 가질 시 1 m 내외의 인식 거리를 확보가 가능할 것으로 예상된다^{[1],[2]}.

안테나의 소형화를 위해 외부에 집중 소자를 부설하는 방법, 슬릿을 부설하여 실효 전류 경로를 확장한 방법, 단락 편이나 단락 벽을 이용하여 전계의 영점을 이동하는 방법, 3차원으로 패턴을 확장하는 방법 등이 있으며 다중 대역 안테나에서 2차원적인 방사 소자에 슬릿을 부설하여 실효 전류 경로를 다중화한 다중 대역 안테나는 3차원 구조의 안테나보다 방사 소자의 소형화 측면에서 단점이 있다^{[3]~[6]}.

기존의 제안되어진 미엔더 라인을 이용한 다중 공진 안테나에 대한 연구는 미엔더 라인의 슬릿의 간격을 이용한 형태, 미엔더 라인의 그라운드를 변화시키는 방법, coupled 라인을 이용 방법 등이 있다^{[4]~[6]}.

본 논문에서는 LTCC 공정을 이용하여 결합 선로가 적용한 변형된 미엔더 라인과 적층된 기본 형태의 미엔더 라인을 이용하여 삼중 공진과 안테나의 소형화를 이루었다.

II. 전기적 소형 안테나

전기적 소형 안테나의 크기는 $\lambda/2\pi$ 보다 매우 작다. 이는 안테나 리액턴스보다 작은 방사 저항과 안테나의 크기에 무관한 원거리장 방사 패턴의 특징을 가진다. 그러나 안테나 소자를 소형화 하는 것은 근본적인 한계가 있다. 기본적인 한계는 소형화되지 않고 있거나 소형화되고 있는 안테나 소자가 결합되어야 하는 자유 공간 파장(λ)에 의하여 결정된다.

안테나 전체와 전송 선로 및 발진기가 반경 r 인 구면으로 둘러싸여 그 안에 있다는 가정 하에서 전기적 소형 안테나의 한계점을 Chu에 의하여 처음 제시되었으며, 이후 Wheeler에 의하여 소형화의 한계를 인덕터와 캐패시터의 한계로부터 유도하였다.

무손실 안테나의 경우, 각 구면 모드에 대한 등가 회로는 직렬 C 와 병렬 L 로 구성된 단일 회로망이

된다. 일반적으로 $L-C$ 회로망 한 개는 각 모드 한 개에 해당이 되며, 부정 저항은 정규화된 안테나의 방사 저항을 나타낸다. 따라서 L, C 성분이 추가적으로 가질 때 안테나의 소형화가 이루어진다.

모노폴 안테나의 리액턴스 성분을 0이 되도록 인덕터를 추가하여 공진을 취하는데 이를 인덕티브 로딩이라 한다. 이를 안테나 소형화 방법 중 제한된 면적에 소형 안테나를 표현할 수 있는 효과적인 방법 중의 하나인 미엔더 안테나에 적용하였다. 미엔더 안테나는 일반적인 공진 형태의 안테나와 동일하게 기본적으로 $\lambda_g/2$ 공진 길이를 가진다. 물리적으로 접힌 구조(folded structure)를 인덕티브 로딩과 같다고 할 수 있다. 이로 인하여 소형화가 가능하며, 평면형 구조로 설계가 용이하므로 단말기를 비롯한 Bluetooth용 장비 등에도 널리 사용되어지고 있다. 전기적 소형 직선 편파 안테나의 최소 Q_L 값은 다음과 같다.

$$Q_L = \frac{1}{k^3 a^3} + \frac{1}{ka} \quad (1)$$

여기서, k 는 $\frac{2\pi}{\lambda}$, a 는 안테나의 최대 길이이다. Q_L 은 안테나의 최대 길이와 반비례 관계임을 알 수 있으며 Q_L 과 임피던스 대역폭과의 관계를 식 (2)에 나타내었다.

$$BW = \frac{S-1}{QV S} \quad (2)$$

여기서, S 는 VSWR 값을 나타낸다. 식 (1)과 식 (2)에 의하여 안테나의 최대 길이가 길어지면 안테나의 임피던스 대역폭은 증가함을 알 수 있다.

안테나의 소형화는 대역폭의 감소를 야기시킴으로 마이크로스트립 선로로 미엔더 안테나를 설계할 경우 대역폭이 현저히 줄어들게 되는 현상이 생긴다. 또한 단일 미엔더 라인을 이용할 경우, 공진 주파수에 따라서 방사 소자의 증가가 지속적으로 되어 소형화의 한계를 가져온다.

본 논문에서는 결합 선로를 이용하여 임피던스를 유도하여 소형화와 다중 대역을 가지는 안테나를 제안하였다.

III. 안테나 설계

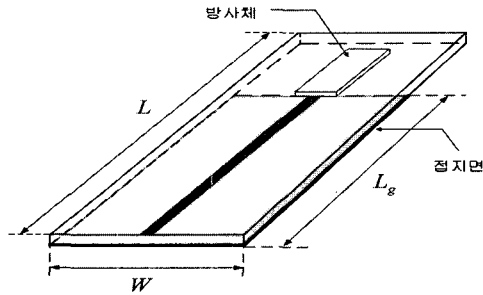


그림 1. 안테나 급전 구조
Fig. 1. Feeding structure of antenna.

제안하는 안테나는 마이크로스트립 급전을 설정하였으며 그림 1에 나타내었다. 모의실험에 사용한 점지면 크기는 40×80×0.8 mm인 FR4($\epsilon_r=4.4$)기판으로 설정하여 휴대 이동 통신 단말기의 일반적인 크기를 고려하였다. 방사 소자는 유전율 7.8인 그린시트를 LTCC(Low Temperature Co-firing Ceramic) 공정을 이용하여 제작된 세라믹으로 설정하였다.

미엔더 구조에서의 방사가 주로 Y-축에서 발생하고, X-축의 전류는 서로 상쇄가 되는 점을 이용 서로 다른 길이를 가진 두 개의 미엔더 라인을 결합한 후 수평부의 길이가 짧은 쪽에서 긴 쪽으로 결합 선로

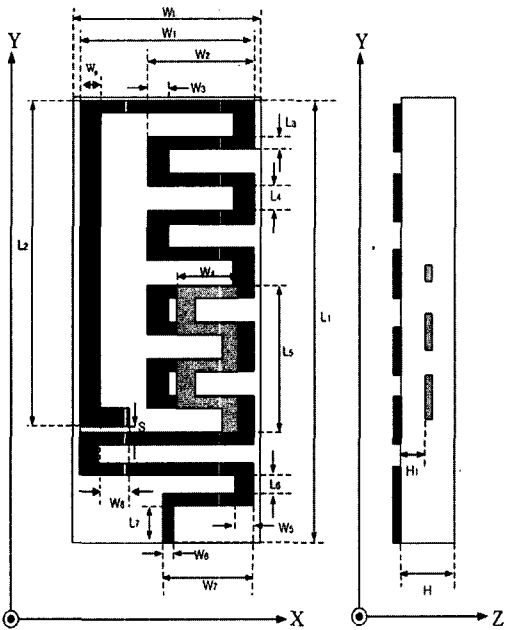


그림 2. 제안된 안테나 구조
Fig. 2. Structure of proposed antenna.

표 1. 제안된 안테나의 파라미터(단위: mm)

Table 1. The parameter of proposed antenna(Unit: mm).

W_L	11	W_1	10	L_L	22.5	L_1	20.05
W_2	6.8	W_3	1.2	L_2	16.45	L_3	0.4
W_4	4.2	W_5	1	L_4	1.45	L_5	7.4
W_6	1	W_7	4.2	L_6	1.1	L_7	1.5
W_8	2	W_9	1	H	1	H_1	0.3
S	0.2						

를 형성하여 모바일 RFID와 PCS 대역을 구현하였다. 결합 선로와 미엔더 라인의 Y-축의 간격이 조절하여 커플링을 조절하였고 결합 선로의 아래 부분의 면적을 크게 하여 공진되어지는 부분의 영역을 넓게 하여 캐패시턴스 성분을 늘려주었다. 그림 2와 표 1에 제안된 안테나 구조와 파라미터를 나타내었다.

수평/수직부 비가 다른 미엔더 라인에 결합 선로를 연결함으로써 인덕티브 로딩에 의한 실효 공진 길이가 늘어나 주파수가 하향된다. 결합 선로와 미엔더 라인의 수평부가 H-평면 배치에 의한 발생되어지는 상호 임피던스에 의해 로딩이 발생하게 된다. 이를 확인하기 위해 미엔더 라인과 결합 선로의 간격 S 를 변화시켰을 때 결합 선로의 길이에 증가에 의한 실효 공진 길이의 증가와 간격 S 가 좁아지면서 발생되어지는 소자간의 결합에 따른 주파수 변화를 확인할 수 있다. 따라서 공진 주파수의 하향은 결합 선로의 증가에 의한 실효 공진 길이의 증가와 간격

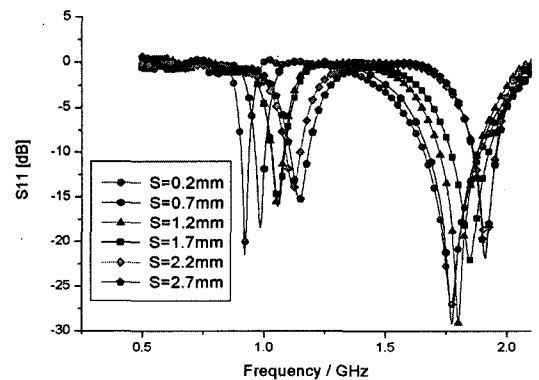


그림 3. 간격 S 변화에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 3. Variance of resonance frequency according to the variance of spacing S .

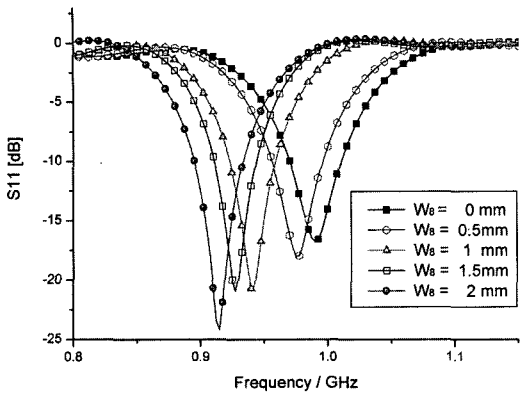


그림 4. 길이 W_8 변화에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 4. Variance of resonance frequency according to the variance of length of W_8 .

S에 의한 상호 임피던스의 영향을 고려해 주어야 한다. 결합 선로의 길이의 증가에 의한 다른 주파수 변화량과 결합 선로와 미엔더 라인의 수평부의 마주하는 면적에 따른 변화를 그림 3과 그림 4에 나타내었다.

결합 선로의 W_6 의 변화에 의해 생성되어지는 상호 임피던스의 영향이 실효 공진 길이의 증가보다 공진 주파수에 더 많은 영향을 준다는 사실을 확인하였다. 따라서 이러한 결합 선로 구조를 통하여 발생되어지는 상호 임피던스를 이용하여 UHF 대역의 모바일 RFID 대역의 실효 공진 길이를 $\frac{1}{16}\lambda_g$ 인 22.5 mm로 소형화 하였다.

삼중 공진을 구하기 위하여 기본 형태의 미엔더 라인을 비아를 사용하지 않고 커플링 급전 방식으로 연결하였다. 전계 밀도가 높은 PCS 미엔더 라인부에 수직으로 적층하여 다른 주파수에 영향을 주지 않도록 하였다. 공진 주파수를 확보하기 위해 상/하층부의 미엔더 라인의 수직부의 길이를 동일하게 조정하고 수평부의 길이와 높이를 변화시키어 커플링 량을 조절하였다. 그림 5에 수평부 W_4 변화에 따른 주파수 변화를 나타내었다.

IV. 측정 및 결과

그림 6에 제작된 안테나를 나타내었다. LTCC 공정을 통하여 세라믹 내부에 적층을 하였다. LTCC-body를 구성하는 시트는 Dupont사의 Dp9599 계열의 비 유전 상수 값이 7.8 ± 0.1 인 재료를 사용하여 850 °C

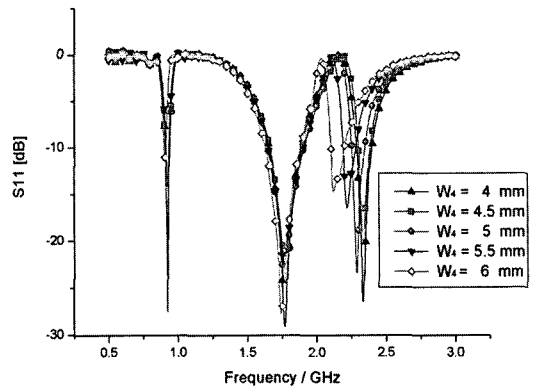


그림 5. 수평부 W_4 변화에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 5. Variance of resonance frequency according to the variance of horizontal part W_4 .

에서 40분간 소결하였다. 전극 재료는 외부 프린터 용으로 Tanaka 제품인 TR651 CM Ag Paste를 사용하였다. 또한 측정을 위하여 무전해 도금 방법을 이용해 전극 부분을 도금하였다. 모의 실험에서의 안테나의 크기는 $11 \times 22.5 \times 1$ mm 제한하였다. 그러나 LTCC 공정상의 공차로 인하여 안테나의 크기는 $10.98 \times 22.3 \times 0.98$ mm로 제작되었다.

모의 실험 결과 각각의 공진 주파수 910 MHz, 1.78 GHz 그리고 2.35 GHz에서 임피던스 대역폭($VSWR \leq 2$)은 32 MHz, 220 MHz 그리고 100 MHz를 나타내었다. 제작된 안테나를 Wiltron 360B를 이용하여 측정하였고, 급전 프로브는 상용 SMA 커넥터를 이용하였다. 측정된 안테나는 각각 905 MHz, 1.77 GHz

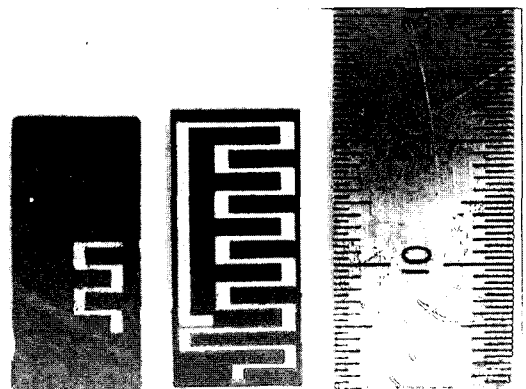


그림 6. 제작된 삼중 대역 소형 칩 안테나
Fig. 6. Fabricated triple-band compact chip antenna.

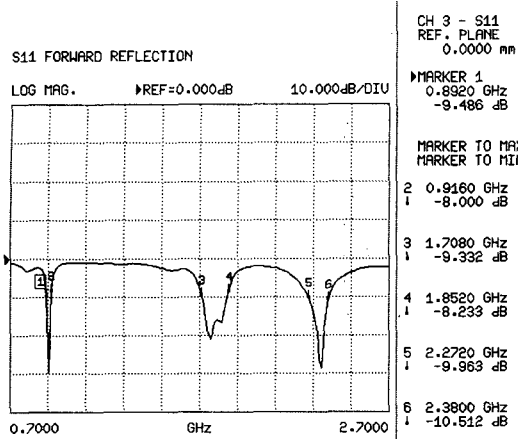


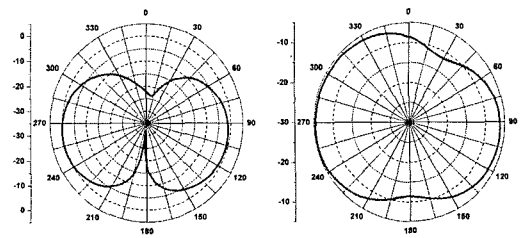
그림 7. 측정된 안테나 반사 손실
Fig. 7. Measured return loss of antenna.

그리고 2.32 GHz에서 공진을 하고 있는 것을 확인하였다. 그러나 측정된 공진 주파수에서의 임피던스 대역폭(VSWR≤2)이 24 MHz, 140 MHz 그리고 92 MHz를 나타내어 모의 실험과는 다소 차이가 발생하였다. 그림 7에 측정된 안테나의 반사 손실을 나타내었다.

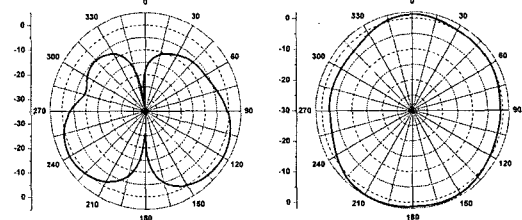
그림 8에 원거리장 무반사 측정실에서 측정된 방사 패턴을 나타내었다. 모바일 RFID 대역과 PCS 대역에서의 방사 패턴과 이득은 모의 실험 결과와 유사한 값을 가지나 WiBro 대역에서의 방사 패턴이 조금 일그러지며 이득이 약간 감소한 것을 확인하였다. 이는 WiBro 대역을 비아를 사용하지 않고 커플링 급전 방식을 사용하였기에 제작 공정을 거치면서 방사체의 높이가 수축되어 패턴간의 간격의 변화가 발생하게 되어 급전량의 변화가 발생한 것으로 사료된다. 각 공진 주파수에서의 최대 이득은 0.34 dBi, 2.58 dBi 그리고 0.4 dBi를 나타내었다.

V. 결 과

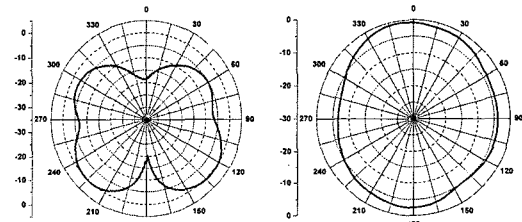
본 논문에 LTCC 적층 기술을 이용하여 모노폴 안테나의 슬릿 부설을 이용한 미엔더 라인 구조, 결합 선로 이론, 적층 기법 등을 적용하여 안테나의 소형화 및 다중 대역 동작 특성을 확보하였다. 이들이 각각 가지고 있는 정성적인 의미는 인덕티브 성분으로 등가화 할 수 있으며 소형화에 따른 방사 소자의 캐패시티브 성분을 인덕티브 로딩에 의하여 상쇄시킬



Y-Z 평면 X-Z 평면
(a) 905 MHz



Y-Z 평면 X-Z 평면
(b) 1.77 GHz



Y-Z 평면 X-Z 평면
(c) 2.32 GHz

그림 8. 측정된 안테나 방사 패턴
Fig. 8. Measured radiation pattern of antenna.

수 있음을 알 수 있었다. 방사 소자가 가질 수 있는 캐패시티브 성분과 인덕티브 성분을 결합 선로와 미엔더 라인의 간격을 제어하여 조절할 수 있음을 확인하였다. 이러한 조건을 활용하여 단일 대역 안테나만이 아니라 다중 대역 안테나에서도 인덕티브 로딩과 결합 선로를 이론에 의한 소형화를 적용하고 분석함으로써 휴대 단말기에 적용될 다중 대역 소형 안테나 접근 방법을 제시하였다.

참 고 문 헌

[1] 윤병태, 김용진, 이성수, 김영일, "모바일 RFID의 인식거리(Read Range)", 한국전자과학회지 전자

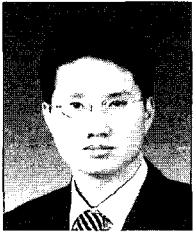
파기술, 16(3), pp. 61-65, 2005년 7월.

- [2] 손해원, 모희숙, 성낙선, "Ultra high frequency radio frequency identification technology", 2005 전자통신동향분석, 20(3), pp. 67-80, 2005년 6월.
- [3] Dongsheng Qi, Binhong Li, and Haitao Liu, "Compact triple-band planar inverted-F antenna for mobile handsets", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 41, no. 6, Jun. 2004.
- [4] Cho-Kang Hsu, Cheng-Nan Chiu, "Nonuniform meandered and fork-type grounded antenna design", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 42, no. 4, Aug. 2004.

crowave and Optical Technology Letters, vol. 42, no. 4, Aug. 2004.

- [5] Hyun Jun Kim, Sewoong Kwon, and Sung Hun Sim, "Dual-frequency small-chip meander antenna", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 35, no. 4, Nov. 2002.
- [6] Horng-Dean Chen, "Triple-band triangular-shaped meander MONOP olean tenna with two coupled lines", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 37, no. 3, May 2003.

임 형 준



2004년 2월: 경기대학교 전자공학과 (공학사)
 2004년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, RF 이동통신 시스템

이 홍 민



1972년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 1974년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 전파 전파, RF 수동소자