

소형 광대역 동전형 안테나 설계

황 승 진 * · 이 중 철** · 장 재 삼*** · 이 문 수***

Design of a Miniature Broadband Dime Antenna

Sung Jin Hwang*, Jong Chul Lee, Jae Sam Jang, Mun Soo Lee*

요 약

본 논문에서는 소형 광대역 동전형 안테나를 설계한다. 안테나는 동축선로로 급전되고, 두개의 다른 주파수에서 공진하는 두개의 원통형 슬롯을 가진 두개의 스택 원형 패치로 구성된다. 마이크로스트립 패치 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해서, 스택 타입을 사용한다. 또한, 마이크로스트립 패치 안테나의 크기를 줄이고 이중 공진을 얻기 위해서, 두개의 단락벽을 사용한다. 실험결과 안테나 대역폭은 5.8GHz를 중심으로 약 26%이고 HFSS 7.0의 계산치와 거의 일치한다.

ABSTRACT

In this paper, A miniature broad-band dime antenna is designed. This antenna consists of two stacked circular patches that create two cylindrical slots resonating at two slightly different frequencies, fed by a strategically positioned coaxial probe. To increase the bandwidth of microstrip patch antenna, a configuration of stacked type is used. Furthermore, to reduce the size of microstrip patch antenna and obtain a double resonant behavior, two shorting-walls are used. Experimental results show that the antenna bandwidth is about 26% centered at 5.8GHz and are close agreement with the calculation results by HFSS 7.0 software.

키워드

동전형 안테나, 원통형 슬롯

1. 서 론

차세대 무선통신은 가정, 자동차 그리고 사무실 통신네트워크에 이르기까지 광범위하게 사용될 것이다. 그러므로 차세대 무선통신 시스템은 높은 데이터 전송율, 높은 스펙트럼 효율, 그리고 효과적인 페이딩 경감이 요구된다. 이러한 조건으로 인해, 안테나는 구조적인 특성(소형화, 경량화, 장착의 용이성), 전기적인 성능(광대역, 적절한 방사 특성, 고효율, 페이딩 경감) 그리고 제작상의 제한(저가성, 신뢰도, 패키징)에 대한 요구사항을 만족해야 한다. 일반적으로 널리 사용되고 있는 마이

크로스트립 안테나는 소형이고 경량이며 가격이 저렴하지만, 대역폭이 좁고 이득과 방사효율이 낮은 단점이 있다.

그러므로 마이크로스트립 안테나를 소형화하고 광대역화 하기 위한 노력이 필요하다. 소형화 방법은 $\lambda/4$ 단락패치(shorted patch)를 기본 방사소자로 사용하기 위해 단락벽(shorting wall)과 슬릿(또는 슬롯)을 사용하거나 고유전율의 기판을 사용하는 등의 방법이 있다^{1,2,3}. 대역폭을 개선하기 위한 방법은 기판두께 및 기판의 비유전율 조정⁴, 기생소자⁵, 임피던스 정합회로⁶, 파라미터 수정방

* 라인테크 엔지니어링(Rinetech Engineering)

**세기스타 (Segistar)

접수일자 : 2003. 11.20 ***경상대학교 컴퓨터정보통신연구소(Research Institute of Information Communication(RICIC))

식7을 사용하는 방법 등이 있다.

본 논문에서는 원형 마이크로스트립 패치에 슬릿과 단락벽을 사용하여 안테나의 크기를 줄이고 기생소자(다층구조)를 사용하여 대역폭을 개선하고자 한다. 기본 안테나 모양이 동전형이므로 동전형(dime)이라 하고, 접지면, 기본 방사소자 그리고 기생소자 사이에는 유전체 대신 공기로 채워져 안테나의 유전체 손실을 줄일 수 있다. 안테나의 측면은 단락벽과 방사슬롯으로 구성되며 단락벽의 길이(패치둘레 방향)를 조정하여 기본방사소자와 기생소자의 공진주파수 조정이 가능하므로 안테나의 대역폭을 증가시킬 수 있다. 그리고 프로브 급전 위치를 조정하여 안테나의 임피던스를 정합시킨다.

유한 요소법으로 작성된 HFSS 소프트웨어를 사용하여 5.8GHz를 중심주파수로 하는 동전형 안테나를 설계한다. 설계 제작된 안테나의 반사손실은 벡터 회로망 분석기로 측정하고, 근계 측정 장비(Scientific Atlanta, CT 1580)로 안테나 방사 패턴을 측정하여 계산치와 비교 검토한다.

II. 마이크로스트립 원형패치 안테나

그림 1은 반경이 a인 원형패치 안테나이다.

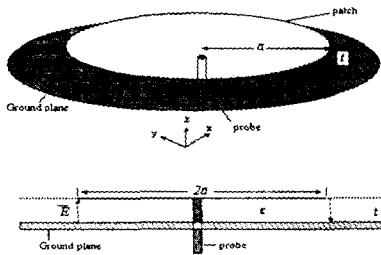


그림. 1. 원형 마이크로스트립 패치 구조.
Fig. 1. Circular microstrip patch geometry.

그림 1의 캐비티 내의 전계는⁸

$$E_z = E_0 J_1(k_{11} \rho) \cos \phi \quad (2-1)$$

이고, 여기서 $k_{11} = \frac{1.841}{a}$ 이며,

자류는⁸

$$\vec{E}_s \times \hat{n} = \hat{z} E_z \times \hat{\rho} = E_z \hat{\phi} \quad (2-2)$$

이다.

그리고, 방사 전계는⁸

$$\begin{aligned} E_\theta &= -\frac{jk}{2\pi R} e^{-jkR} \int_0^{2\pi} \cos(\phi - \phi') V_0 a \cos \phi' \\ &\quad \exp[jk a \sin \theta \cos(\phi - \phi')] d\phi' \\ &= -\frac{jk}{R} V_0 a J_1'(ka \sin \theta) \cos \phi, \\ E_\phi &= -\frac{jk V_0 a}{R} \frac{J_1'(ka \sin \theta)}{ka \sin \theta} \theta \cos \phi \sin \theta \end{aligned} \quad (2-3)$$

이며, 여기서 $V_0 = E_0 t J_1(k_{11} a)$ 은 가장자리 ($\rho = a, \phi = 0$)에서의 전압이고 $k = 1.841/a\sqrt{\epsilon_r}$ 이다.

III. 마이크로스트립 패치 안테나의 소형화

안테나의 소형화 기술은 여러종류가 있다. 예를들면 단락벽 또는 편 사용¹, 슬릿(slot)²의 사용, 고유전율의 기판³사용 등이 있다.⁹

1. 단락벽(shorting wall) 사용

패치의 측면 일부분을 단락벽으로 단락시키면 $\lambda/2$ 마이크로스트립 안테나의 크기를 $\lambda/4$ 로 줄일 수 있다. 그림 2(a)는 단락벽, 단락판, 단락편을 사용한 그림이며 그림 2(b)는 이중 공진 특성을 얻기 위해 주 방사패치와 기생패치의 측면 일부분을 단락벽으로 단락시켜 다층구조로 배열한 안테나이다. 또한 단락벽의 크기를 조정하면 안테나의 공진 주파수를 낮출 수 있으므로 안테나의 크기를 줄일 수 있다.⁹

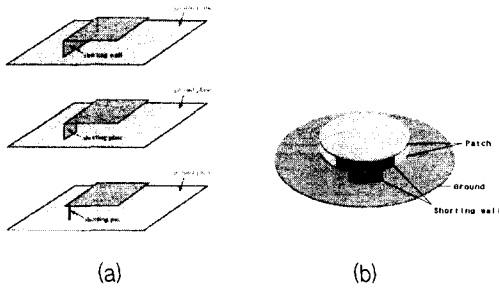


그림. 2. 단락벽;
(a) 사각 패치의 단락벽, 단락판과 단락봉,
(b) 적층 원형 패치의 단락벽.

Figure. 2. shorting wall;
(a) shorting wall, shorting plate and shorting pin of the rectangular patches,
(b) shorting walls of the stacked circular patches.

2. 슬릿(Slit) 및 슬롯(Slot) 사용.

안테나의 방사 패치에 슬릿(slit) 또는 슬롯(slot)을 두면 안테나의 크기를 줄일 수 있다.

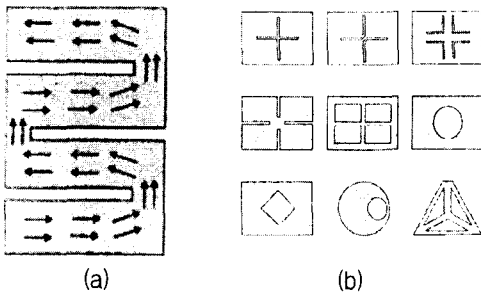


그림. 3. 패치에서 슬릿과 슬롯; (a) 표면전류 분포, (b) 슬롯 패치.

Figure. 3. Slit and slot in the patches; (a) surface current distributions (b) some slotted patches.

그림 3(a)에서와 같이 패치에 슬롯을 둔 경우, 안테나 방사패치에 여기된 표면전류의 경로가 길어져 안테나의 공진 주파수를 낮출 수 있으므로 패치 안테나의 크기를 줄일 수 있다. 그림 3(b)는 패치안테나에 사용되는 여러 가지 슬릿 및 슬롯의 모양이다.

IV. 마이크로스트립 패치 안테나의 광대역화

1. 기판의 두께 및 비유전율 조정

일반적으로 마이크로스트립 안테나의 대역폭은 약 1~5%이다. 마이크로스트립 안테나의 동작회로는 RLC공진기이며 전기적으로 얇은 유전체 기판으로 인해 높은 Q를 갖는다. 그림 4는 안테나 패치에서 유전체기판의 두께와 유전율에 따른 대역폭과 방사효율의 변화를 나타낸 것이다.

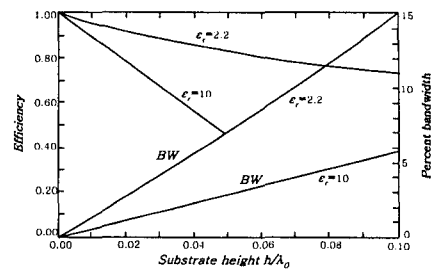


그림. 4. 정사각형 패치에서의 유전체 기판의 두께와 대역폭 관계.

Fig. 4. Bandwidth and efficiency for a microstrip antenna element versus substrate thickness.

대역폭을 증가시키기 위해 두꺼운 기판에 프로브 급전을 할 경우 프로브 리액턴스가 증가하여 임피던스 정합이 어렵고, 마이크로스트립 급전인 경우 패치 안테나 급전부에서 불연속에 의한 불요방사가 증가하는 문제점이 있다. 그리고 기판의 유전율이 증가함에 따라 대역폭이 감소되며, 유전율이 낮고 두꺼운 기판일수록 대역폭이 증가된다. 반면에 유전율이 크고 두꺼운 기판은 표면파에 의한 불요방사로 방사패턴과 안테나 효율이 저하된다.

2. 기생소자(다층구조)

그림 5는 안테나의 주 공진 패치에 기생패치를 결합한 구조를 나타낸 것이다. 주 공진 패치의 공진주파수에 인접한 주파수에서 기생소자가 추가 공진함으로써 안테나 대역폭을 개선할 수 있다. 그림 5(a)와 같이 다층구조를 사용하면 그림 5(b)의 평면형 보다 안테나 구조가 복잡하지만, 안테

나 크기를 줄일 수 있는 잇점이 있다.

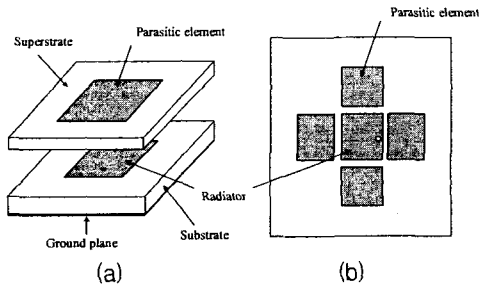


그림 5. 단일 급전 마이크로스트립 패치 안테나 구조에 대한 대역 증가; (a) 스택형, (b) 사이드 바이 사이드 형.

Fig. 5. Single feed microstrip patch antenna configurations for increase bandwidth; (a) stacked type, (b) side-by-side type.

V. 소형 광대역 동전형 안테나의 구조 및 특성

그림 6은 동전형 안테나를 뒤쪽, 옆쪽, 그리고 45°각도에서 본 모습이다.

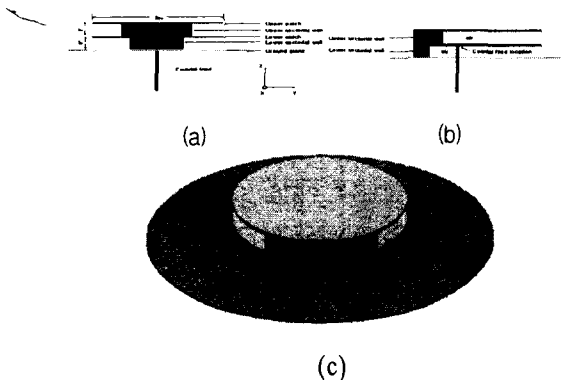


그림 6. 동전형 안테나 구조; (a) 뒷면, (b) 옆면, (c) 45°에서 본 안테나.
Figure 6. Structure of the dime antenna; (a) back view, (b) side view, (c) view at 45°.

맨 아랫 부분에 접지면이 있고 그 위에는 직경이 $\lambda/4$ 인 하부 원형 패치와 상부 원형 패치가 있다. 접지면, 하부 패치, 상부 패치 사이에는 공기

로 채워져 있고, 접지면과 상-하부 패치는 단락벽으로 연결되어 있다.

그림 7은 상부 패치와 하부패치를 위에서 본 그림이다. 상부패치는 반경 r_a , 슬롯 S_u , 그리고 단락벽 W_u 으로 구성된다. 하부패치는 반경 r_a , 슬롯 S_l , 단락벽 W_l , $2\theta_s$ 크기의 슬릿으로 구성되며, 하부 패치의 중심점으로 부터 S_m 만큼 떨어진 위치에서 프로브 급전된다. 그리고 급전점에서 슬릿사이의 거리는 d_m 이다.

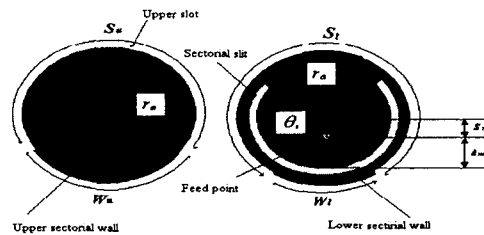


그림 7. 상부패치와 하부패치 구조.
Figure 7. Structure of the upper patch and lower patch.

그림 7에서 상부 슬롯길이 S_l , 하부 슬롯길이 S_u , 패치의 반경 r_a 와 공진주파수 사이의 관계식은 다음과 같다¹⁰.

$$S_l \cong \frac{c}{2f_{rl}} \quad (5-1)$$

$$S_u \cong \frac{c}{2f_{ru}} \quad (5-2)$$

$$r_a = \frac{S_l + w_l}{2\pi} \quad (5-3)$$

여기서 f_{ru} : 높은 쪽의 공진주파수
 f_{rl} : 낮은 쪽의 공진주파수
 w_l : 하부 단락벽의 길이

이다. 따라서, S_l, S_u 및 r_a 에 의해 상부 공진주파수와 하부 공진주파수가 결정된다.

VI. 안테나 설계 및 실험

1. 안테나 설계

V장의 동전형 안테나 설계 절차를 근거로 해서 중심 주파수가 5.8GHz인 안테나를 설계하였다. 최적의 설계를 위해 유한요소법(finite element method)으로 작성된 HFSS 소프트웨어를 사용하였다. 상-하부 패치, 상-하부 벽 및 접지판은 두께가 0.3mm인 동판을 사용하였고 급전 프로브는 내부직경이 0.6mm인 SMA 커넥터를 사용하였다. 그림 8은 설계된 동전형 안테나의 형상이다.

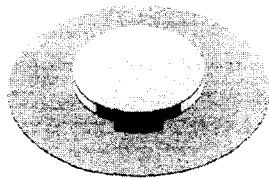


그림 8. 동전형 안테나 구조.
Fig. 8. Structure of the dime antenna.

그림 9는 동전형 안테나의 분해도를 나타낸 것이다.

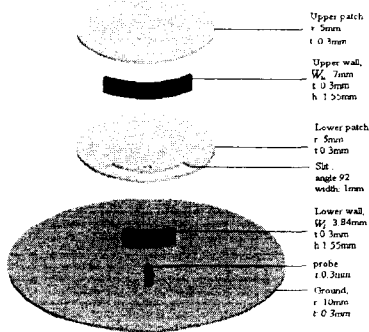


그림 9. 분해도.
Fig. 9. Break-down of dime antenna.

그림 10은 동전형 안테나의 반사손실을 계산한 것으로, 반사손실이 -10dB이하인 주파수 범위는 5.1GHz에서 6.5GHz까지이며 대역폭은 1.4GHz로서 24%이다.

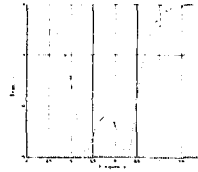


그림 10. 반사손실 시뮬레이션.
Figure 10. Simulated return loss.

그림 11은 5.2GHz에서의 E면과 H면의 방사패턴 시뮬레이션 결과이며, E면에서는 도넛형태를 나타내며 H면은 등방성의 특성을 나타낸다.

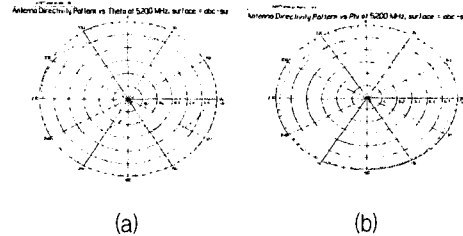


그림 11. 5.2GHz에서 HFSS로 계산한 E면과 H면 방사패턴;
Figure 11. E-plane and H-plane radiation pattern calculated by HFSS at 5.2GHz:

(a) E면 방사패턴, (b) H면 방사패턴.

Fig. 11. E-plane and H-plane radiation pattern calculated by HFSS at 5.2GHz:

(a) E-plane radiation pattern,
(b) H-plane radiation pattern.

2. 안테나 제작 및 측정

그림 12는 제작된 안테나의 모습이다.

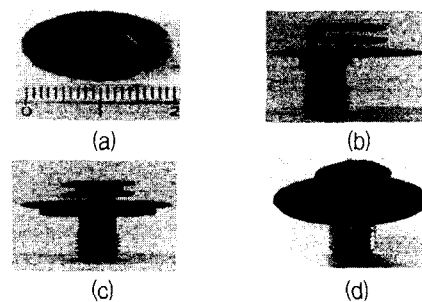


그림 12. 동전형 안테나;
Figure 12. Picture of dime antenna: (a) upper view, (b) side view, (c) front view, (d) view at 45°.

그림 13과 14는 회로망 분석기(network analyzer. Anritsu 37369A)를 사용하여 측정된 동전형 안테나의 반사손실과 입력 임피던스를 측정된 결과이다. 안테나의 반사손실이 -10dB 이하인 주파수 범위는 4.94GHz에서 6.445GHz이며 대역폭은 1.505GHz로서 26%이며 계산치 보다 대역폭이 약간 더 증가됨을 알 수 있다.

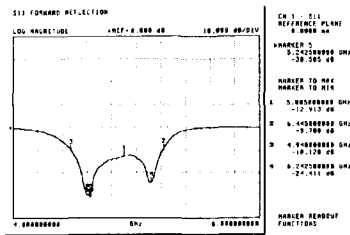


그림. 13. 반사손실 측정
Figure. 13. Measured return loss.

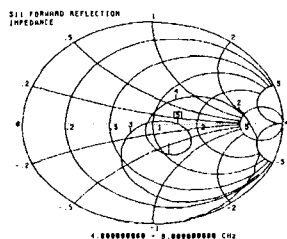


그림. 14. 입력임피던스 측정
Figure. 14. Measured input impedance.

그림 15와 16은 5.2GHz에서 측정된 E평면(x-z 평면)과 H평면(x-y 평면)의 방사패턴이다. E면은 약간 일그러진 동방성 특성을 나타내며, H면은 동방성으로 나타남을 알 수 있다.



그림. 15. 5.2GHz에서 E면 방사패턴 측정. Fig. 15. Measured E-plane radiation pattern at 5.2GHz.
그림. 16. 5.2GHz에서 H면 방사패턴 측정. Fig. 16. Measured H-plane radiation pattern at 5.2GHz.

VII. 결론

본 논문에서는 소형 광대역 동전형 안테나를 설계하였다. 안테나의 크기를 줄이기 위해 단락벽과 슬릿을 두었고, 대역폭을 넓히기 위해 기생소자를 두었다. 안테나는 유한 요소법으로 작성된 HFSS(Ansoft co) 소프트웨어를 사용하여 최적설계 하였고, 급전은 심선의 직경이 0.6mm인 동축프로브로 급전하였다. 벡터 회로망 분석기(Anritsu 37369A)로 안테나 임피던스와 반사손실을 측정하였으며, 근계 측정 장비(Scientific Atlanta. CT 1580)로 안테나 방사패턴을 측정하여 계산치와 비교 검토하였다.

측정 결과, 안테나 반사손실이 -10dB 이하인 주파수 범위는 4.94GHz에서 6.445GHz이며, 중심주파수를 5.8GHz로 정할 때 대역폭은 26%로서 이는 계산치(24%)와 거의 비슷하였다. 안테나 크기는 전체 반경이 10mm이고 높이가 4mm로서, 안테나 크기를 크게 줄일 수 있었다.

본 연구에서는 두 개의 안테나를 적층시켰으나, 세 개 이상의 안테나를 적층시키면 보다 광대역특성을 가지는 소형 안테나 구현이 가능할 것으로 생각한다.

참고 문헌

- [1] G. Kossiavas, A. Papiernick, J. P. Voisser, and M. sauban., "The C-patch: A small microstrip element." *Electron. Lett.*, vol. 25, no 4, pp. 253-254. Feb, 1989
- [2] R. B. Waterhouse., "Small microstrip patch antenna." *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 604-605, 1995.
- [3] T. K. Lo., "Miniature-coupled microstrip antenna of very high permittivity." *Electron. Lett.*, vol. 33, pp. 9-10, 1997.
- [4] Balanis., Constantine A. "Antenna Theory (second edition)" John Wiley & Sons, Inc., pp. 760 - 762, 1997.
- [5] Pozar and David M., "A Review of Bandwidth Enhancement Technique for Microstrip Antennas" *IEEE Press*, pp. 157-167, 1995.

- [6] Pues, H. F. and A. R. Van de Capelle., "An Impedance-Matching Technique for Increasing the Bandwidth of Microstrip Antennas" IEEE Trans. Antenna & Propagat, AP-37, pp.1345-1321, 1989.
- [7] P. Bhartia and K. V. S., "Rao Millimeter-wave Microstrip and Printed Circuit Antennas." Artech House, pp. 185, 1991
- [8] Akira. Ishimaru., "Electromagnetic Wave Propagation, Radiation, and Scattering." Plentice Hall Inc., 1991
- [9] Kin. Lu. Wong., "Compact and Broadband Microstrip Antennas." John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [10] Luis Jofre, Bedri A, Franco DE Flaviis., "Miniature Multi-Element Antenna for Wireless Communications." IEEE Trans. Antenna & Propagat, vol. 50, NO.5, MAY 2

저자 소개



황승진(Sung Jin Hwang)

2000년 2월 경상대학교 전자공학과(공학사)

2003년 2월 경상대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

2003년 2월 ~ 현재 라인테크 엔지니어링 근무
 ※ 관심분야 : 마이크로스트립안테나



이종철(Jong Chul Lee)

1980년 2월 한양대학교 전자통신과 (공학사)

1983년 2월 영남대학교 대학원 전자과(공학석사)

1991년 3월 - 92년 8월 영진전문대 조교수
 2004년 현재 경상대학교 대학원 전자과(박사과정 재학), 세기스타 (주)근무
 ※ 관심분야 : 이동통신용 안테나 수치해석 및 설계 제작



장재삼(Jae Sam Jang)

1997년 2월 경상대학교 전자공학과 (공학사)

1999년 2월 경상대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

2002년 3월 ~ 현재 경상대학교 대학원 전자과(박사과정재학)

※ 관심분야 : 마이크로파공학, 이동통신



이문수(Mun Soo Lee)

1970년 2월 한국항공대학교 항공통신공학과(공학사)

1980년 2월 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학석사)

1984년 8월 한양대학교 대학원 전자통신공학과(공학박사)

1981년 3월~1986년 2월 제주대학교 통신공학과 부교수

1986년 8월~1987년 8월 미국 COMSAT 연구소 연구원

1986년 3월~현재 경상대학교 공과대학 전자공학과 교수

1997년 9월~1999년 8월 경상대학교 부설 정보통신 연구센터소장

1998년 8월~2000년 7월 전자파학회 영남지부 지부장

※ 관심분야 : 이동통신, 마이크로파, 안테나 GIS 등