

# 동축 케이블 밸런이 부착된 30~1,000 MHz 대역용 EMI 다이폴 안테나의 안테나 인자 특성

## Antenna Factor Characteristics of EMI Dipole Antennas with Coaxial Cable Balun for Frequencies between 30 and 1,000 MHz

주 창 현 · 김 기 채

Chang-Hyun Ju · Ki-Chai Kim

### 요 약

본 논문은 두 개의 다이폴 안테나로 30~1,000 MHz 대역에서 사용할 수 있는 동축 케이블 밸런이 부착된 EMI 다이폴 안테나의 안테나 인자 특성을 검토하고 있다. 이론 해석으로는 안테나에 흐르는 전류 분포에 관한 적분 방정식을 구분 정현 함수를 사용한 Galerkin의 모멘트 법으로 그 해를 구하여 계산하고 있다. 동축 케이블 밸런이 부착된 EMI 다이폴 안테나의 안테나 인자 표현식은 전력 손실의 개념을 적용하여 유도하였다. 안테나 인자의 검토 결과, 2개의 안테나로 30~1,000 MHz 대역을 커버할 경우 적절한 안테나 인자를 가지는 EMI 다이폴 안테나를 실현할 수 있는데, 다이폴의 길이를 150 cm로 선택하면 30~300 MHz 대역에서, 다이폴의 길이를 30 cm로 선택하면 300~1,000 MHz 대역에서 적절한 안테나 인자를 가지는 EMI 다이폴 안테나를 구성할 수 있음을 확인할 수 있었다. 참조 안테나 법으로 측정된 안테나 인자의 측정치를 이론치와 비교하여 이론 해석의 타당성도 확인하였다.

### Abstract

This paper presents the characteristics of an antenna factor of two kinds of EMI dipole antennas with a coaxial cable balun used in the frequency range between 30 and 1,000 MHz. The integral equation for unknown current distribution is solved by the Galerkin's method of moments with piecewise sinusoidal functions. An antenna factor for EMI dipole antennas with the coaxial cable balun is derived by using the power loss concepts. We can realize two kinds of EMI dipole antennas with appropriate antenna factors in the frequency range from 30 to 1,000 MHz: 150-cm dipole length(30~300 MHz) and 30-cm dipole length(300~1,000 MHz). To check the validity of the theoretical analysis, the complex antenna factor was measured using by reference antenna methods. It is shown that the calculated complex antenna factor is good agreement with experimental results.

Key words : EMI Dipole Antennas, Antenna Factor, Reference Antenna Methods

### I. 서 론

장해 전자파의 측정 및 야외 시험장의 적합성 평가에 사용하는 EMI 안테나는 여러 가지 종류가 개

발되어 사용되고 있으며, 이러한 EMI 안테나의 특성을 평가하기 위해 안테나 인자(antenna factor)가 정의되어 사용되고 있다<sup>[1]~[3]</sup>. 최근에는 시간 영역의 전자파를 측정하기 위하여 복소 안테나 인자에 대한 해

「본 연구는 대학 IT연구센터인 충남대학교 전자파환경기술연구센터의 지원으로 수행되었습니다.  
영남대학교 전기공학과(Department of Electrical Engineering, Yeungnam University)

· 논문 번호 : 20060413-038

· 수정완료일자 : 2006년 5월 28일

석 결과도 여러 연구자들에 의해 보고되어 있다<sup>[4]~[6]</sup>.

전기전자 및 정보 통신 기기에서 발생하는 방사성 장해 전자파의 측정은 주파수 대역 30~1,000 MHz에서는 반파장 공진 다이폴 안테나의 사용을 기본으로 한다. 장해 전자파 측정의 자동화를 위해서는 반파장 공진 다이폴 안테나와 상관이 취해지면 광대역 안테나의 사용이 허용되며, 일반적으로 20~300 MHz 대역에서는 바이코니컬 안테나(biconnical antenna), 200~1,000 MHz 대역에서는 대수 주기 다이폴 안테나(log periodic dipole antenna)가 사용된다.

본 논문에서는 두 개의 다이폴 안테나로 30~1,000 MHz에서 사용할 수 있는 EMI 다이폴 안테나를 제시하고 안테나 인자의 주파수 특성을 검토하고 있다. 일반적으로 다이폴 안테나는 단일 주파수에서 사용되고 있으나, 본 논문에서는 간단한 구조로서 광대역에 걸쳐 EMI 측정에 사용할 수 있는 다이폴 안테나를 제시하였다. 광대역 특성을 갖는 밸런을 실현하기 위해 2개의 동축 케이블로 구성된 밸런(이하, 동축 케이블 밸런)을 구성하여 다이폴 안테나 소자에 부착하였다. 참고문헌 [8]에서는 동축 케이블 밸런이 부착된 EMI 다이폴 안테나의 복소 안테나 인자를 전력 손실의 개념<sup>[7]</sup>을 사용하여 해석하고 있는데, 본 논문에서는 참고문헌 [8]과 같은 방법으로 전력 손실의 개념을 이용하여 안테나 인자의 표현식을 구하고 2개의 다이폴 안테나로 30~1,000 MHz 대역을 커버할 수 있는 EMI 다이폴 안테나의 안테나 인자 특성을 검토하고 있다.

이론 계산 결과, 동축 케이블 밸런이 부착된 2개의 다이폴 안테나로 30~1,000 MHz의 주파수 대역에서 사용할 수 있는 EMI 안테나를 실현할 수 있음을 확인하였다. 즉, 동축 케이블 밸런이 부착된 150 cm 길이의 다이폴 안테나를 주파수 범위 30~300 MHz용으로 사용하고, 30 cm 길이의 다이폴 안테나를 300~1,000 MHz용으로 사용할 수 있으며, 두 개의 다이폴 안테나로 30~1,000 MHz 대역을 커버할 수 있음을 확인할 수 있었다.

이론 해석의 타당성을 확인하기 위하여 참조 안테나 법을 사용한 안테나 인자의 실험 결과와도 비교하였다.

## II. 동축 케이블 밸런이 부착된 다이폴 안테나

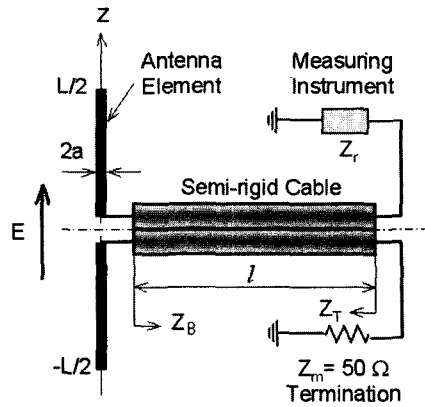


그림 1. 동축 케이블 밸런이 부착된 EMI 다이폴 안테나

Fig. 1. An EMI dipole antenna with a coaxial cable balun.

그림 1은 동축 케이블 밸런이 부착된 EMI 다이폴 안테나의 구조와 좌표계를 나타내고 있다. z축 상에 길이가 L, 반경이 a인 EMI 다이폴 안테나가 놓여져 있다. 길이가 l인 2개의 동축선으로 구성된 동축 케이블 밸런이 그림 1에서처럼 다이폴 안테나의 단자에 연결되어 있다.

2개의 동축 케이블의 내부 도체는 다이폴 소자에 연결되고, 동축 케이블의 외부 도체는 서로 전기적으로 연결되어 있다. 그림 1에서 보는 것처럼, 하나의 동축 케이블은 종단 부하(50 Ω)에 연결되어 있고, 다른 하나의 동축 케이블은 측정용 수신기에 연결되어 있다. 안테나 소자가 대칭이면, 밸런의 양단에 나타나는 전압은 진폭이 같고 위상이 π만큼 차이가 난다. 따라서, 이 구조는 한 포트에서 3 dB의 손실을 가지며 광대역의 밸런으로 생각할 수 있다.

## III. 복소 안테나 인자와 전달 함수

그림 1과 같이 평면파가 EMI 안테나에 입사될 때 동축 케이블 밸런이 부착된 안테나의 유효 길이를  $h_e$ , 안테나의 입력 임피던스를  $Z_a = R_a + jX_a$ , 안테나에 연결된 수신기의 입력단 전압을  $V_r$ , 수신기의 입력 임피던스를  $Z_r = R_r + jB_r$ 이라 하면, 안테나의 복소 안테나 인자는 다음 식으로 나타낼 수 있다<sup>[8]</sup>. 구체적인 유도 과정은 참고문헌 [8]을 참조하기 바란다.

$$K_c = \frac{2}{h_e} \sqrt{\frac{R_a}{R_r}} \sqrt{\frac{(Z_B + Z_a)^2}{4R_a Z_B}} \sqrt{2} e^{j\beta l} \quad (1)$$

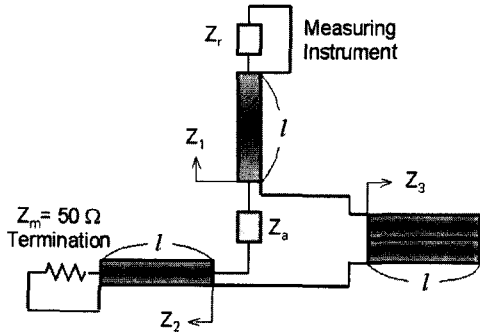


그림 2. 동축 케이블 밸런이 부착된 EMI 다이폴 안테나의 등가회로  
Fig. 2. An equivalent circuit of the EMI dipole antenna with a coaxial cable balun.

여기서,  $Z_B$ 는 그림 2의 등가회로에서  $Z_3=0$ 임을 고려하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_B = Z_1 + Z_2 + Z_3 = Z_0 \frac{Z_r + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_r \tan \beta l} + Z_0 \frac{Z_m + jZ_0 \tan \beta l}{Z_0 + jZ_m \tan \beta l} \quad (2)$$

식 (2)에서  $Z_0$ 는 동축 케이블의 특성 임피던스를 나타내며,  $Z_m$ 은 수신기의 입력 임피던스이다. 만약  $Z_r = R_r = Z_0$ ,  $Z_m = Z_0$ 이면 동축 케이블 밸런의 입력단에서 수신기 쪽을 바라본 입력 임피던스  $Z_B$ 는 다음과 같다.

$$Z_B = Z_1 + Z_2 + Z_3 = 2Z_0 \quad (3)$$

위의 식 (3)을 안테나 인자의 식 (1)에 대입하면 복소 안테나 인자는 다음과 같이 간단한 식으로 표현된다.

$$K_c = \frac{1}{h_e} \left( 2 + \frac{Z_a}{Z_0} \right) e^{j\beta l} \quad (4)$$

이 식은 S-파라미터로 도출한 복소 안테나 인자와 일치한다<sup>[6]</sup>.

안테나의 감도 특성을 고찰하기 위하여 안테나의 길이로 정규화 한 정규화 전달 임피던스를 다음과 같이 정의한다.

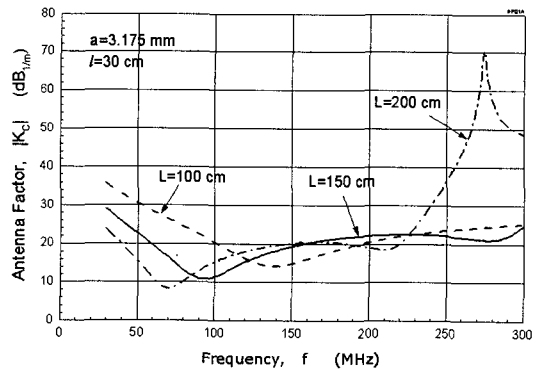
$$T_N = \frac{V_r}{EL} = \frac{h_e}{2\sqrt{2}} \sqrt{\frac{R_r}{R_a}} \sqrt{\frac{4R_a Z_B}{(Z_B + Z_a)^2}} \frac{e^{-j\beta l}}{L} \quad (5)$$

여기서,  $L$ 은 안테나 소자의 길이를 나타낸다.

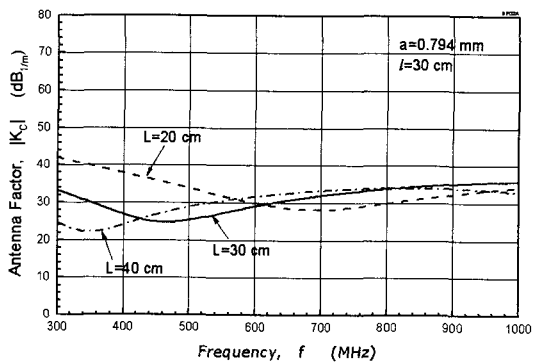
#### IV. 수치 계산 결과 및 검토

2개의 안테나를 사용하여 30~1,000 MHz 대역을 커버할 수 있는 EMI 다이폴 안테나를 검토하기 위해 안테나의 반경은  $0.007 \lambda$ 보다 작은 반경을 가지는 가는 도선으로 근사하고, 분할 간격은  $0.0125 \lambda$ 로 하여 Galerkin의 모멘트법을 적용하여 해석하였다. 30~1,000 MHz 대역을 2개의 대역으로 구분하여, 30~300 MHz 대역에서는 안테나의 길이를 150 cm로 선택하고, 300~1,000 MHz 대역에서는 안테나 길이를 30 cm로 선택하였다. 이론 계산에서 동축 케이블의 특성 임피던스  $Z_0$ 는 50 옴을 사용하였다.

그림 3은 다이폴 안테나 소자의 길이를 파라미터로 했을 때 식 (1)로 계산한 안테나 인자의 주파수 특성을 나타낸다. 그림 3으로부터 알 수 있는 것처럼, 다이폴 소자의 길이가 150 cm일 때는 30~300



(a) 30~300 MHz



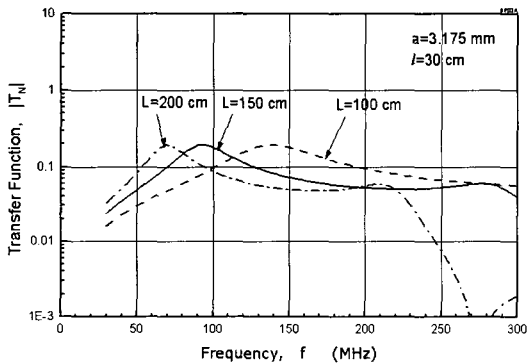
(b) 300~1,000 MHz

그림 3. 안테나 인자의 주파수 특성  
Fig. 3. Frequency characteristics of antenna factors.

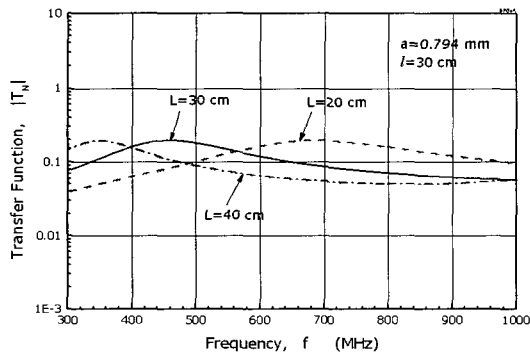
MHz 대역에서, 30 cm 또는 40 cm의 다이폴 소자의 길이에서는 300~1,000 MHz 대역에서 적합한 안테나 인자 특성을 가진다.  $L=200$  cm에서는 약 250 MHz 이상의 주파수에서 안테나 인자가 크게 되며 평탄도 특성도 나쁘다.

그림 4는 정규화 전달 함수의 주파수 특성을 나타낸다. 그림 4로부터 알 수 있는 것처럼, 감도는 0.1 정도의 값을 가지며, 주파수 특성의 평탄도는 30~300 MHz 대역에서는  $L=150$  cm, 300~1,000 MHz 대역에서는  $L=40$  cm인 경우가 가장 양호함을 알 수 있다.

그림 5는 반사 손실의 주파수 특성을 나타낸다. 그림 5에서 알 수 있는 것처럼, 안테나 소자의 길이가 반파장 공진 길이에서 양호한 정합 특성을 가지며 전형적인 다이폴 안테나의 반사 손실 특성을 나타낸다. 그림 3에서 검토한 바와 같이, 안테나 인자의 값은 적절하더라도 정합 특성이 좋지 않으면 신

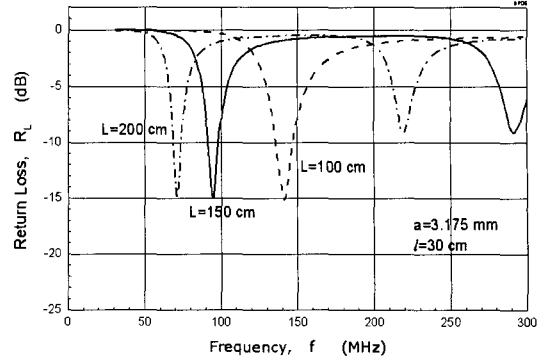


(a) 30~300 MHz

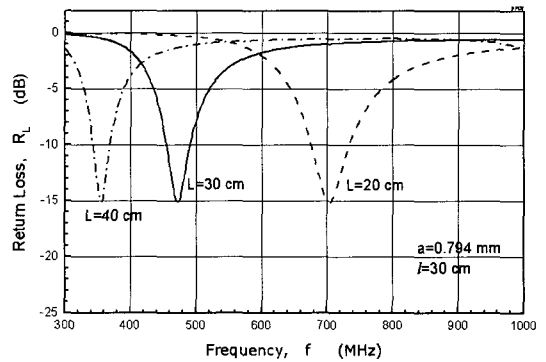


(b) 300~1,000 MHz

그림 4. 정규화 전달 함수의 주파수 특성  
Fig. 4. Frequency characteristics of normalized transfer functions.



(a) 30~300 MHz



(b) 300~1,000 MHz

그림 5. 반사 손실의 주파수 특성  
Fig. 5. Frequency characteristics of the return loss.

호를 증폭하기 위해 증폭기를 사용하여야 하는데, 이 경우에는 노이즈에 의한 신호 구분의 어려움이 따를 수 있으므로 주의가 필요하다.

이론 해석의 타당성을 확인하기 위해 참조 안테나 법을 사용하여 안테나 인자를 측정하였다. 실제의 안테나를 사용하여 자유공간의 안테나 인자를 측정하기란 매우 어려우므로, 본 논문에서는 이론 해석의 타당성 검증에 대한 실험에 주안점을 두고 15 cm의 스케일 모델 안테나를 제작하여 전자파 무향실에서 측정하였다. 실험에 사용한 안테나의 길이는 15 cm이며 특성 임피던스는 50 Ω을 사용하였고, 실험은 영남대학교에 설치된 전자파 무향실에서 실시하였다. 전자계 발생용 안테나로는 ICU에서 제작한 광대역 혼 안테나(broadband double-ridged horn antenna, model No. ICU-MA-04-2, 0.75~6 GHz)를 사용하였으며 참조 안테나법<sup>9)</sup>으로 측정된 안테나 인자의 측정 결과는 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 알 수 있는

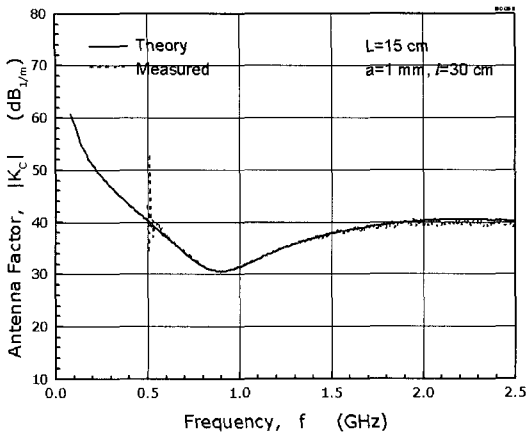


그림 6. 안테나 인자의 이론치와 실험치  
Fig. 6. The measured and calculated results of the antenna factor.

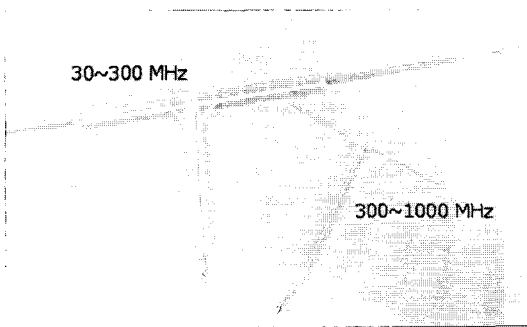


그림 7. 동축 케이블 밸런이 부착된 EMI 다이폴 안테나의 제작된 모양  
Fig. 7. The photograph of the EMI dipole antenna with a coaxial cable balun.

것처럼, 안테나 인자의 계산치는 측정치와 잘 일치하고 있다. 약 750 MHz 이하의 주파수 대역에서 나타나는 이론치와 측정치의 차이는 전자파 무향실과 혼 안테나의 하한 주파수 한계에 의한 것으로 생각된다.

그림 7은 실제로 제작한 안테나의 모습을 나타낸다. 그림 7에서 큰 안테나는 30~300 MHz 대역용으로 제작된  $L=150$  cm인 다이폴 안테나(동축 케이블 밸런이 부착된)이고, 작은 안테나는 300~1,000 MHz 대역용으로 제작된  $L=30$  cm인 다이폴 안테나(동축 케이블 밸런이 부착된)이다.

2개의 다이폴 안테나로 주파수 대역 30~1,000 MHz를 커버하기 위한 동축 케이블 밸런 부착 EMI 다이폴 안테나를 제시하고 안테나 인자의 특성을 검토하였다. 안테나 인자의 표현식은 전력 손실의 관점에서 도출한 식을 사용하였으며, 이론 해석의 결과, 다이폴 안테나의 길이를 150 cm로 선택하면 30~300 MHz에서 사용할 수 있는 EMI 안테나의 구성이 가능하며, 다이폴 안테나의 길이를 30 cm로 선택하면 300~1,000 MHz에서 사용할 수 있는 EMI 안테나의 구성이 가능함을 확인할 수 있었다. 참조 안테나 법으로 안테나 인자를 측정하고 이론치와 비교하여 이론 해석의 타당성도 확인하였다.

### 참고 문헌

- [1] CISPR-16 part 1, "Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods-Part 1, Radio disturbance and immunity measuring apparatus", 1993.
- [2] ANSI C63.4-1991, "American national standard methods of measurement of radio-noise emissions from low-voltage electrical and electronic equipment in the range of 9 kHz to 1 GHz", 1991.
- [3] K. C. Kim, "EMI dipole antennas with forced resonance by reactance loading for frequencies below 80 MHz", *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E85-B, no. 11, pp. 2489-2494, Nov. 2002.
- [4] I. Sanchez Garcia, A. Rubio Bretones, and R. Gomez Martin, "Pulse-receiving characteristics of V-dipole antennas with resistive loading", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 40, no. 2, pp. 174-176, May 1998.
- [5] S. Ishigami, R. Gokita, I. Yokishima, and T. Iwasaki, "Measurement of fast transient fields in the vicinity of short gap discharge", *IEICE Trans. on Commun.*, vol. E78-B, no. 2, pp. 199-206, Feb. 1995.
- [6] H. Hosoyama, T. Iwasaki, and S. Ishigami, "Complex antenna factor of a V-dipole antenna with two coaxial feeders for field measurements", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 41,

no. 2, pp. 154-158, May 1999.

- [7] W. S. Bennett, "Properly applied antenna factors", *IEEE Trans. Electromag. Compat.*, vol. EMC-28, no. 1, pp. 2-6, Feb. 1986.
- [8] C. H. Ju, D. H. Jun, and K. C. Kim, "Complex antenna factors of emi antenna with coaxial cable

balun for measuring electromagnetic fields", *JKEES*, vol. 5, no. 2, pp. 66-71, Jun. 2005.

- [9] ANSI C63.5-1988, "American national standard for radiated emission measurements in electromagnetic interference(EMI) control", 1988.

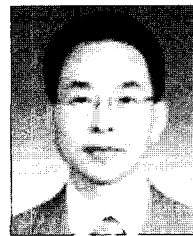
### 주 창 현



나

2002년: 경일대학교 전기공학과 (공학사)  
 2002년 2월~2004년 2월: 경일대학교 전기공학과 조교  
 2004년 3월~현재: 영남대학교 전기공학과 전파공학연구실 석사과정  
 [주 관심분야] EMI/EMC 관련 안테나

### 김 기 채



1984년: 영남대학교 전자공학과 (공학사)  
 1986년: Keio Univ. 전기공학과 (공학석사)  
 1989년: Keio Univ. 전기공학과 (공학박사)  
 1989년 4월~1993년 3월: 한국표준과학연구원 전자파연구실 선임연구원  
 1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카공업대학 정보공학과 조교수  
 1995년 9월~2004년 8월: 영남대학교 전자정보공학부 조교수, 부교수  
 2004년 9월~현재: 영남대학교 전기공학과 교수, 공과대학 부학장  
 2002년 1월~2005년 12월: 한국전자파학회 학회지 편집위원장  
 2006년 1월~현재: 한국전자파학회 국문논문지 편집위원장, 상임이사, 평의원  
 [주 관심분야] EMC/EMI 관련 안테나 및 측정시설, 소형 안테나, 전자파이론 및 응용