
백 플레인 개구의 크기 변화에 따른 대칭 전송선로의 삽입 손실

정성우* · 조준호** · 김기채***

Characteristics of Insertion Loss of Transmission Line with Equal Line Length Due to a Rectangular Aperture Size in a Backplane

Sung-woo Jung* · Jun-ho Cho** · Ki-chai Kim***

본 연구는 지식경제부의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(IITA-2009-(C1090-0902-0034))

요 약

본 논문에서는 백 플레인의 사각형 개구를 관통하는 대칭 평행 2선 전송선로에 대하여 백 플레인 개구의 크기 변화가 전송선로의 특성에 미치는 영향을 검토하였다. 사각형 개구의 가로 및 세로 길이 변화에 따른 삽입 손실 특성을 계산하여 백 플레인의 개구 크기가 전송 선로에 미치는 영향을 고찰하였다. 그 결과, 특정 주파수 대역에서 개구 길이가 전송선로와 가까울수록 삽입 이득과 삽입 손실 특성이 현저하게 나타나고 가로의 크기는 $a=50\text{ mm}$ 세로의 크기는 $b=20\text{ mm}$ 이상에서 삽입 손실의 크기는 무시할 수 있을 정도로 작은 것을 확인할 수 있었다. 전송 선로 부하단의 전류값을 구하고 삽입 손실을 측정하여 수치계산 결과와 비교하여 이론해석의 타당성도 확인하였다.

ABSTRACT

This paper presents the backplane effects due to a rectangular aperture size for two-wire transmission line with equal line length crossing the changeable rectangular aperture in an infinite ground backplane. It is used to determine the characteristics of the backplane insertion loss of the transmission line from the load section in accordance with the backplane aperture size. The results show that the insertion gain and insertion loss are obtained for the specific frequency range when the transmission line is closed to the backplane aperture size. The insertion loss is decreased that the aperture horizontal length and vertical length is more than $a=50\text{ mm}$ and $b=20\text{ mm}$. The measurements of insertion loss are performed to verify the theoretical analysis.

키워드

전송 선로, 삽입 손실, 백 플레인, 개구 크기

Key word

transmission line, insertion loss, backplane, aperture size

* 영남대학교 전기공학과
** 자동차부품연구
*** 영남대학교 전기공학과(교신저자)

접수일자 : 2009. 06. 10
심사완료일자 : 2009. 07. 02

I. 서 론

최근 디지털 기술과 전자산업의 급격한 발달로 전기, 전자, 정보처리기는 디지털화, 소형화, 경량화, 저전력화, 고속화되어 가고 있으며, 장애 전자파의 주파수 대역이 넓어지고 각종 부품들의 고밀도화로 인해 전자파 환경은 더욱 악화되고 있다. 특히 기기 내부에는 PCB (Printed Circuit Board)가 내장되어 있으며, PCB의 배선으로부터 방사되는 전자파가 다른 기기에 오작동을 유발하는 등 많은 문제를 야기시키고 있다. 기기 내부에서 발생한 전자계는 케이스에 설치된 여러 가지 형태의 구멍과 I/O 케이블을 통하여 기기의 외부로 방사되거나 전도의 형태로 전달된다. 무한히 넓은 백 플레인의 개구를 통과하는 선로에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 연구되었으며[1]-[3], 백 플레인의 개구를 관통하는 길이가 다른 전송 선로 구조의 삽입 손실 특성에 대한 연구도 보고되어 있다[4]. 그러나, 평행 2선 선로가 통과하는 백 플레인의 개구 크기 변화가 삽입 손실에 미치는 영향에 대해서는 검토되어 있지 않다.

본 논문에서는 백 플레인의 개구를 통과하는 대칭 평행 2선 전송 선로에 대하여 개구의 가로 길이(y방향)와 세로 길이(x방향)의 변화에 따른 전송 선로 부하단에서 삽입 손실 특성을 계산하여 개구의 크기가 전송 선로에 미치는 영향을 검토하였다. 이론해석에는 CST Microwave Studio(CST MWS)를 사용하였으며, 백 플레인이 존재할 때와 존재하지 않을 때의 부하단 전류로부터 삽입 손실을 정의하여 백 플레인의 개구 변화가 전송 선로의 부하단에 미치는 영향을 고찰하였다. 수치계산 결과의 타당성을 검증하기 위해 전송 선로 부하단의 전류값을 측정하고 삽입 손실 값을 구하여 수치계산 결과와 비교하여 이론해석의 타당성도 확인하였다.

II. 평행 2선 전송 선로의 구조와 삽입 손실

그림 1은 무한히 넓은 백 플레인 상에 가로 길이가 a , 세로 길이가 b 인 직사각형 개구가 설치되어 있고, 길이가 같은 대칭 평행 2선 전송 선로가 직사각형 개구를 관통하고 있다.

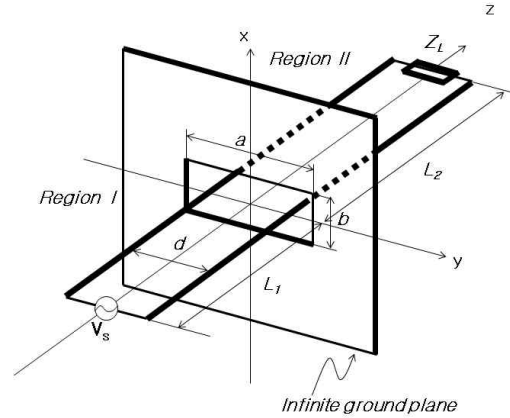


그림 1. 백 플레인의 개구를 통과하는 대칭 전송 선로

Fig. 1. Two-wire transmission line with equal length crossing a rectangular aperture in a backplane.

반경이 r 인 2개의 평행 2선 전송 선로의 중심간 간격은 d 이며, 영역 I의 선로 끝단에서 전압 V_s 로 급전되고 있다. 백 플레인을 기준으로 전원이 있는 영역 I의 전송 선로 길이는 L_1 이며, 부하 임피던스 Z_L 이 있는 영역 II의 전송 선로 길이는 L_2 이다. 백 플레인 및 전송 선로는 모두 완전도체로 구성되어 있으며, 손실이 없다고 가정하고 있다. 영역 II의 부하 임피던스 Z_L 은 전송 선로의 특성임피던스 Z_0 와 같게 하여 정합이 취해지도록 하였다. 전송 선로의 반경이 r 이고 선로의 간격이 d 인 평행 2선 전송 선로의 특성임피던스는 다음 식으로 주어진다[6].

$$Z_0 = \frac{120}{\sqrt{\epsilon_r}} \ln \left[\frac{0.5d}{r} + \sqrt{\left(\frac{0.5d}{r}\right)^2 - 1} \right] \quad (1)$$

여기서, ϵ_r 은 전송 선로가 놓여 있는 공간의 비유전율이다. 선로의 간격에 따른 전송 선로의 특성임피던스를 계산하기 위해 위의 식 (1)을 사용하였으며, 앞에서 언급한 바와 같이 부하 임피던스는 주어진 선로 간격의 특성임피던스에 정합이 취해지도록 선택 하였다.

백 플레인의 개구 크기가 전송 선로의 부하단에 미치는 영향을 검토하기 위해 다음과 같은 삽입 손실을 정의한다[5].

$$IL = 20 \log_{10} \left(\frac{I_s}{I_{ns}} \right) \quad (2)$$

여기서, I_{ns} 는 백 플레인이 없을 때 부하단의 부하 임피던스 Z_L 에 흐르는 전류이며, I_s 는 백 플레인이 있을 경우 부하 임피던스 Z_L 에 흐르는 전류이다.

III. 수치계산 결과 및 검토

수치계산에 사용한 백 플레인의 크기는 무한히 넓은 완전도체의 평판이며, 백 플레인에 설치된 개구의 크기는 $a=12 \sim 150 \text{ mm}$, $b=3 \sim 150 \text{ mm}$ 로 변화시켰다. 전송 선로의 반경은 1 mm 로 하였고 선로의 간격을 $c=8 \text{ mm}$, 전원측 전송 선로의 길이를 $L_1=200 \text{ mm}$, 부하측 저항은 247Ω 을 사용하고 전송 선로의 길이를 $L_2=200 \text{ mm}$ 로 고정하고 급전 전압은 $V_s=1 \text{ V}$ 로 가정하였다.

그림 2는 백 플레인의 가로 길이(y방향 길이)가 $a=12 \text{ mm}$, $a=30 \text{ mm}$, $a=50 \text{ mm}$, $a=100 \text{ mm}$ 일 때, 세로 길이(x방향 길이)를 파라미터로 하여 계산한 삽입 손실의 주파수 특성을 나타낸다. 그림 2 (a)에서 보는 것처럼, 부하측 전송 선로의 길이 $L_2=200 \text{ mm}$ 는 1500 MHz 에 대하여 1과장 길이에 해당하는데 이 주파수부근에서 세로 길이가 전송 선로와 가까울수록 1과장의 크기에서는 삽입 이득 특성이 현저하게 나타남을 알 수 있고 삽입 손실 또한 1200 MHz 부위에서 나타남을 확인할 수 있다. 이러한 삽입 이득 특성이 나타나는 이유는 부하측 전송 선로의 개구 크기가 선로와 가까울 때 선로와 개구의 공진현상에 의한 것으로 생각된다. 1900 MHz 부근에서 세로 방향의 크기가 커질수록 삽입 손실이 증가함을 확인할 수 있다.

그림 3은 백 플레인 개구의 세로 길이 $b=3 \text{ mm}$, $b=20 \text{ mm}$, $b=50 \text{ mm}$, $b=100 \text{ mm}$ 로 고정하고 가로 길이를 파라미터로 했을 때 삽입 손실 주파수 특성을 나타낸다. 그림 3 (a)에서 보는 것처럼, 850 MHz 와 1500 MHz 부근에서 삽입 이득 특성이 나타나며 1250 MHz 와 1950 MHz 부근에서는 삽입 손실이 커진다. 특히 가로 길이가 $a=50 \text{ mm}$ 이상에서는 삽입 이득의 변화가 $a=100 \text{ mm}$ 와 $a=150 \text{ mm}$ 에서 동일하게 나타나고 가로 길이가 $a=50 \text{ mm}$ 이상에서

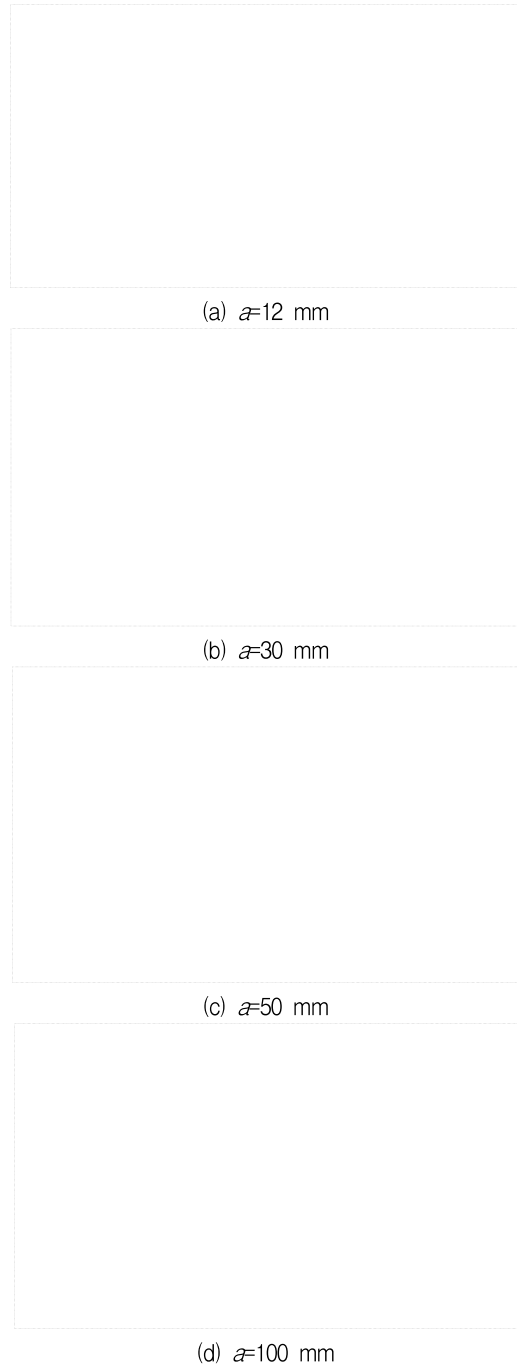


그림 2. 백 플레인 개구의 가로 길이를 고정하고 세로 길이를 파라미터로 했을 때 삽입 손실의 주파수 특성
 Fig. 2. Frequency characteristics of insertion loss as a parameter of a vertical length of the aperture.

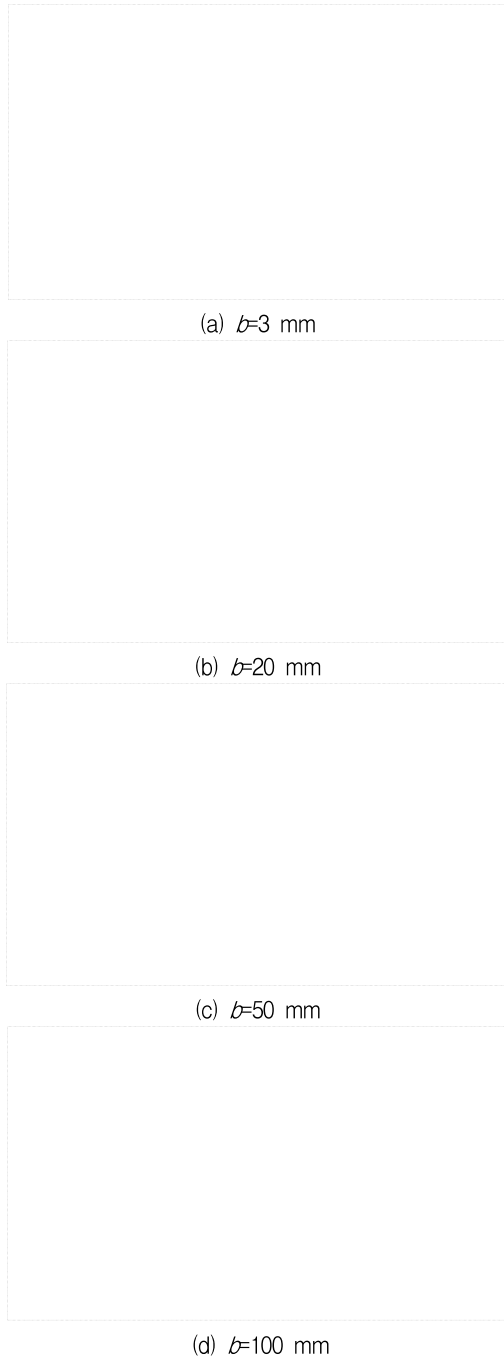


그림 3. 백 플레인 개구의 세로 길이를 고정하고 가로 길이를 파라미터로 했을 때 삽입 손실의 주파수 특성
 Fig. 3. Frequency characteristics of insertion loss as a parameter of a horizontal length of the aperture.

는 $b=3$ mm가 전송 선로에 가해지는 특성을 자세히 볼 수 있다. 그림 3 (b)에서 알 수 있는 것처럼, $b=20$ mm는 전송 선로와 개구의 간격이 그림 (a)에 비해 커졌을 때 삽입 이득 현상은 나타나지 않고 가로축 보다 세로축에 의해 삽입 이득 현상이 나타남을 확인할 수 있다.

그림 4는 백 플레인의 영향이 미치지 않는 가로 길이와 세로 길이를 ($a=200$ mm, $b=200$ mm) 고정하고 삽입 이득과 삽입 손실의 변화가 나타나는 주파수 대역에서 세로 길이와 가로 길이의 변화에 따른 삽입 손실 특성을 나타낸 그래프이다.

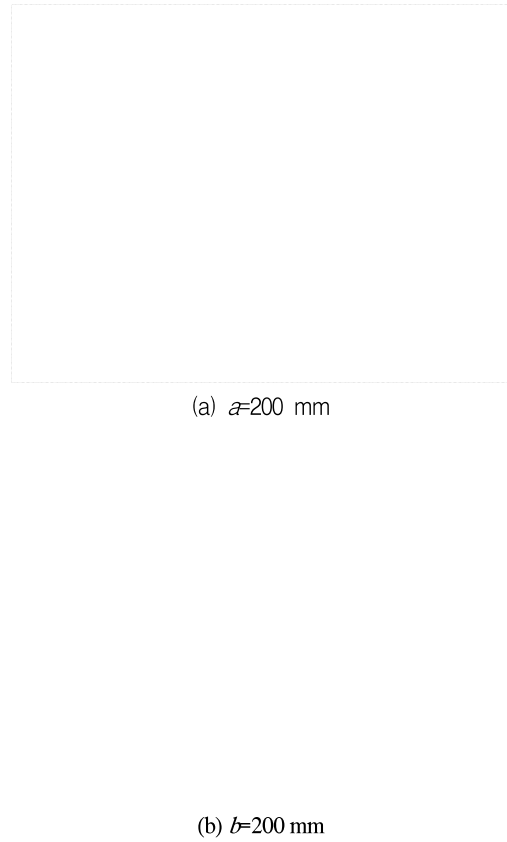


그림 4. 백 플레인 개구의 가로와 세로 길이 주파수를 고정하고 세로와 가로 길이 변화의 삽입 손실 특성

Fig. 4. The fixed frequency and horizontal and vertical length of insertion loss as a parameter of a vertical and horizontal length.

그림 (a)에서 알 수 있는 것처럼, 가로 길이의 영향은 무시하고 세로 길이의 영향만을 살펴볼 때 세로 길이가 3~10 mm 범위에 존재하게 될 때 특정 주파수에서 삽입 이득과 삽입 손실 현상이 두드러지게 나타나고 세로 길이가 60 mm 보다 큰 범위가 될 때는 ± 1 dB 범위 안에서 0 dB에 가깝게 수렴해서 신호의 손실이 거의 없는 것을 알 수 있다. 이러한 삽입 손실과 삽입 이득이 일어나는 이유는 전송 선로와 백 플레인이 안테나 역할을 하기 때문인 것 같다. 그림 (b)에서 나타나는 것처럼, 세로 길이의 영향은 무시하고 가로 길이의 영향만 살펴볼 때 가로 길이가 12~20 mm 범위에서 삽입 이득과 삽입 손실 현상이 나타나고 가로 길이가 20 mm 범위 보다 크면 ± 1 dB 범위 안에서 0 dB에 가깝게 수렴해서 신호의 손실이 거의 나타나지 않음을 알 수 있다. 여기서, 가로 길이 보다 세로 길이의 범위가 전송 선로에 미치는 영향이 큼을 확인할 수 있다.

IV. 실험 결과 및 검토

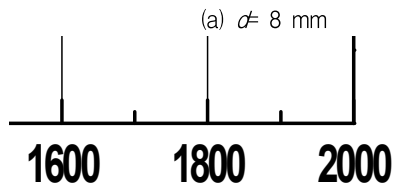
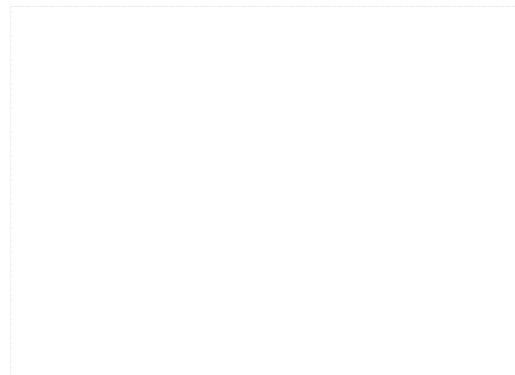
수치해석 결과의 타당성을 검증하기 위해 백 플레인과 전송 선로를 그림 5와 같이 제작하여 영남대학교 전자과무향실에서 실험을 실시하였다. 전송 선로의 부하단에서의 전류값을 측정하여 삽입 손실 값을 이론 계산치와 비교하였다.

그림 5는 제작된 평행 2선 전송 선로가 백 플레인의 개구를 관통하는 상태를 나타낸 사진이다. 실험에 사용한 백 플레인은 알루미늄판을 사용하였으며, 백 플레인의 크기는 1000×1000 mm이고 백 플레인의 중심에 가로방향의 크기는 60 mm로 고정하고 세로방향의 크기를 변화시키면서 전류값의 크기를 비교하였다. 전송 선로는 반경 $r=1$ mm인 황동봉을 사용하였으며 선로의 간격은 $d=8$ mm로 선택하였다. 전원측 선로길이는 $L_1=200$ mm, 부하측 선로길이는 $L_2=200$ mm로 고정하였다. 부하에서의 전류값은 네트워크 분석기와 소형 루프 안테나를 부하측 부분에 상하좌우로 측정하여 평균값을 구하였다.

그림 6은 전송 선로의 부하단 삽입 손실 측정치와 이론 계산치를 비교한 것이다.



그림 5. 제작된 평행 2선 전송 선로와 백 플레인
Fig. 5. Picture of the two-wire parallel transmission line with the backplane.



(z)

(b) $d=8$ mm

그림 6. 부하단 삽입 손실 크기의 주파수 특성 이론치와 측정치
Fig. 6. Measured and theoretical magnitude of the load insertion loss.

그림 6에서 보는 것처럼, 이론해석에 손실이 포함되지 않은 점과 선로의 제작 오차 및 측정 오차 등을 고려하면 이론 계산치는 측정치와 비교적 그 경향이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 백 플레인의 개구를 관통하는 평행 2선 대칭 전송 선로에 대하여 백 플레인의 개구 크기를 변화시켰을 때의 삽입 손실을 FDTD 법으로 검토하였다. 그 결과, 특정 주파수 대역에서 개구의 길이가 전송 선로와 가까울 때 삽입 이득과 삽입 손실 특성이 현저하게 나타나고 가로 길이는 $b=20\text{ mm}$ 세로 길이는 $a=50\text{ mm}$ 이상이 되면 삽입 손실의 크기는 -1 dB 범위 안에 존재하고 삽입 손실의 크기는 무시할 수 있을 정도로 작은 것을 확인할 수 있었고 백 플레인의 개구를 설계할 때 가로의 길이보다 세로의 길이를 크게 하는 것이 삽입 손실을 줄일 수 있는 것으로 사료된다.

감사의 글

"본 연구는 지식경제부의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"
(IITA-2009-(C1090-0902-0034))

참고문헌

- [1] R. Lee, D. G. Dudley, and K. F. Casey, "Electromagnetic coupling by a wire through a circular aperture in an infinite planar screen," *J. Electromag. Waves Appl.*, vol. 3, no. 4, pp.281-305, 1989.
- [2] J. E. Schutt-Aine and R. Mittra, "Scattering parameter transient analysis of transmission lines loaded with nonlinear terminations," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 36, pp.529-536, Mar. 1988.

- [3] F. G. Canavero, V. Daniele, and R. D. Graglia, "Spectral theory of transmission lines in presece of external electromagnetic sources," *Electromag., Special Issue on 'Electromagnetic Coupling to Transmission Lines,'* vol. 8, pp.125-157, 1988.
- [4] 정성우, 김기채, "백 플레인의 개구를 통과하는 길이가 다른 전송 선로의 삽입 손실 특성", 한국전자과학기술회 논문지, 제 19권 제 2호, pp.237-243, 2008.
- [5] V. Daniele, M. Gilli, and S. Pignari, "EMC prediction model of a single wire transmission line crossing a circular aperture in a planar screen," *IEEE Trans. on Electromagnetic Compt.*, vol. 38, No. 2, pp.117-126, May 1996.
- [6] Carl T. A. Johnk, *Engineering Electromagnetic Fields and Waves*, 2nd Wiley, 1988.

저자소개



정성우(Sung-woo Jung)

2002년 2월: 영남대학교
전기공학과 (공학사)
2008년 8월: 영남대학교
전기공학과 (공학석사)

2008년 9월 ~ 현재: 영남대학교 전기공학과 박사과정
※ 관심분야: EMC/EMI 및 RECTENNA



조준호(Jun-ho Cho)

2004년 2월: 경일대학교
전기공학과 (공학사)
2008년 2월: 영남대학교
전기공학과 (공학석사)

2008년 ~ 현재: 자동차 부품 연구원
※ 관심분야: EMC/EMI



김기채(Ki-chai Kim)

1984년 2월: 영남대학교 전자공학과
(공학사)

1986년 3월: Keio University
전기공학과 (공학석사)

1989년 3월: Keio University 전기공학과 (공학박사)

1989년 4월~1993년 3월: 한국표준과학연구원
전자파연구실 선임연구원

1993년 4월~1995년 8월: 일본 후쿠오카 공업대학
정보공학과 조교수

1995년 9월~현재: 영남대학교 전기공학과 교수,
한국전자파학회 부회장

1988년 IEICE Japan, Young Scientist Awards.

1994년 IEE Japan, Paper Presentation Awards.

※ 관심분야: EMC/EMI 관련 안테나 및 전자파 차폐,
전자파 이론 및 응용