

# 여파기 변환 기법을 이용한 이중대역 Gysel 전력 분배기

## Dual-band Gysel Power Divider based on Filter Conversion Technique

류재현\*, 김 영\*<sup>0</sup>

Jae-Hyun Yoo\*, Young Kim\*<sup>0</sup>

### 요 약

본 논문은 대역저지 특성을 이용한 이중대역 Gysel 전력 분배기를 제안 하였다. 이것은 기존의 Gysel 전력 분배기를 집중소자를 이용한 단일 대역으로 설계한 후, 각 집중 소자들을 여파기 변환 기법을 이용하여 대역저지 특성을 갖도록 변환하여 이중대역 특성을 갖도록 설계하였다. 이러한 설계 방법의 특징은 분배기를 구성하고 있는  $\lambda/4$  전송선로를 집중소자로 대체함으로써 억압된 고조파 특성을 얻을 수 있는 것과 크기를 작게 할 수 있다는 것이다. 이러한 방법의 타당성을 확인하기 위하여 880 MHz와 1650 MHz에서 동작하는 Gysel 분배기를 제작하여 정상적으로 두 주파수에서 동작하는 것을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we present the design and measured performances of an dual-band Gysel power divider based on band-stop characteristic. After the Gysel divider is designed by lumped elements at single operating frequency, and then using filter conversion technique the lumped elements were changed a band-stop characteristic with dual-band characteristics. The features of this design method are that  $\lambda/4$  transmission line by replacing lumped elements suppressed harmonic characteristics and also can reduce the size. To validate of the proposed power divider, the divider has been designed and measured at 880 MHz and 1650 MHz dual frequencies. The measured performances of the Gysel divider agree with prediction results at two frequencies.

Key words : Gysel divider, Lumped element, Band-stop, Dual-band

### I. 서 론

통신 분야의 발전으로 인해 높은 화질의 사진, 음악 파일, DMB 서비스 등이 하나의 단말기로 이용이 가능해지게 되면서 대용량으로 데이터를 전송해야 하는 경우가 발생하게 되고, 이러한 서비스는 기존에 사용하는 주파수의 대역 이외에 또 다른 대역의 주파

수 사용을 필요로 한다. 이 때문에 하나의 장비로 여러 대역을 동시에 사용할 수 있는 것이 가능해야 한다.

이러한 필요에 의해 사용자의 용도에 따라 많은 소자들이 개발 되었다. 현재 개발되고 있는 초고주파 소자 중 전력분배기와 결합기는 현대 무선통신 시스템의 전력 증폭기, 선형화기 그리고 많은 종류의 시험 장비에 사용되는 중요한 수동 소자이다. 이러한

\* 금오공과대학교 전파통신과(Department of Radio Communication Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 제1저자 (First Author) : 류재현 (Jae-Hyun Yoo)

0 교신저자 (Corresponding Author) : 김 영 (Young Kim, +82-54-478-7506, youngk@kumoh.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 2월 8일 · 심사(수정)일자 : 2013년 2월 8일 (수정일자 : 2013년 2월 17일) · 게재일자 : 2013년 2월 28일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.01.033>

분배기는 기본적으로 전송선로를 이용하여 구현되기 때문에 작은 시스템에 적용하는데 크기에 대한 제한을 갖고 있다 [1]-[3]. 이러한 크기 제한에 대한 것을 해결하는 방법으로 전송선로를 등가회로로 변환하여 집중소자를 이용하여 구현함으로써 크기를 작게 구현하였다[4].

본 논문에서는 전송선로를 사용하여 구현된 전력 분배기를 작은 크기로 구현하기 위해서 집중 소자를 이용하여 이중대역 전력 분배기를 설계하였다[5],[6]. 이러한 설계 방법은 전력 분배기 설계 시 마이크로스트립 선로로 높은 임피던스를 구현하기 어려운데 이러한 어려움을 해결하였다. 또한 집중소자를 이용함으로써 고조파 특성을 억압할 수 있어 별도의 필터 없이 회로의 구현이 가능하다[7]-[9].

이러한 설계 방법의 타당성을 보기 위하여 880 MHz와 1650 MHz 두 주파수에서 동작하는 Gysel 전력분배기를 제작하여 그 특성을 확인 하였다.

## II. 이중대역 Gysel 전력분배기

### 2-1 집중소자를 이용한 전송선로의 등가회로

그림 1 의 (a) 전송선로는 Gysel 전력 분배기에 사용되는  $\lambda/4$  전송선로를 나타낸 것이다. 이 전송선로의 전송 파라미터는 다음과 같은 값으로 나타낸다 [10].

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}_{TL} = \begin{bmatrix} 0 & jZ_0 \\ jY_0 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $Z_0$ 는 전송선로의 특성 임피던스,  $Y_0$ 는 전송선로의 어드미턴스이다.

또한, 이 전송선로를 집중소자를 이용한 T형 등가회로로 변환시킨 것은 그림 1의 (b)에 나타내었다. 이 회로의 전송 파라미터를 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & j\omega L_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ j\omega C_p & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & j\omega L_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

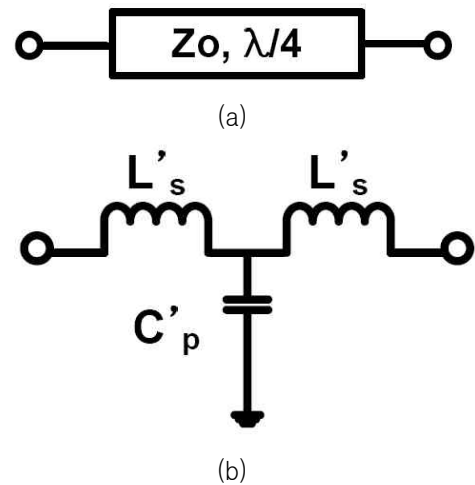


그림 1. (a) 전송선로 (b) 집중소자 등가회로  
Fig. 1. (a) Transmission line (b) Equivalent circuit with lumped elements

표 1. Gysel 전력 분배기 등가회로 소자 값 (@ 880 MHz)

Table 1. Equivalent circuit elements values of Gysel Power divider (@ 880 MHz)

특성 임피던스 (Ω)	$L_s$ (nH)	$C_p$ (pF)
50	9.04	3.62
70.7	12.8	2.56

식 (1) 과 식 (2)의 결과가 동일하면 등가 회로로 볼 수 있기 때문에 이러한 조건으로 식을 정리하면 다음과 같이 각각의 집중 소자 값을 구할 수 있다.

$$L_s = \frac{Z_0}{\omega} \quad (3)$$

$$C_p = \frac{1}{\omega Z_0} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)는 전력 분배기에서 사용되는 전송 선로의 임피던스 값을 이용하여 T형 등가회로로 변환 시 특정 주파수에서 인덕터와 캐패시터의 집중소자 값으로 설계할 때 사용되는 관계식이다.

Gysel 전력 분배기는  $\sqrt{2} Z_0$ 의 특성 임피던스를 가지는  $\lambda/4$  전송선로 2개와  $Z_0$ 의 특성 임피던스를 가지는  $\lambda/4$  전송선로 2개 그리고  $Z_0$ 의 특성 임피던스를 가지는  $\lambda/2$  전송선로 하나로 이루어진다. 하나

의  $\lambda/2$  전송선로는  $\lambda/4$  전송 선로 2개와 같다. 각 구간의 전송선로를 집중소자 등가회로로 대체하게 되면 880 MHz에서는 표 1과 같은 값을 갖게 된다.

2-2 대역차단 특성을 이용한 이중대역 Gysel 전력 분배기 설계

앞 단에서 구현한 집중소자의 전력 분배기를 이중 대역으로 설계하기 위해서 그림 2와 같이 대역 차단 특성을 이용하여 단일 대역의 집중 소자를 이중 대역에서 만족할 수 있도록 변환 시켜주어야 한다. 기본형의 집중 소자 전력분배기 소자 값을 여파기 변환 기법을 이용하여 이중 대역을 갖도록 소자 값을 변환 하여 설계 하였다[7-9].

그림 2와 같은 변환은 아래와 같은 식을 이용하여 각 소자 값을 구할 수 있다.

$$\omega' = \Delta \left( \frac{\omega}{\omega_0} - \frac{\omega_0}{\omega} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$\Delta = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_0} \quad (6)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega_1 \omega_2} \quad (7)$$

여기서  $\omega_1, \omega_2$ 는 설계하고자 하는 이중대역의 중심 주파수를 나타낸다.

위의 식을 이용하여 그림 2의 각 소자 값을 구하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{p1} = L'_s \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_1 \omega_2} \quad (8)$$

$$C_{p1} = \frac{1}{L'_s} \frac{1}{\omega_2 - \omega_1} \quad (9)$$

$$L_{s1} = \frac{1}{C'_p} \frac{1}{\omega_2 - \omega_1} \quad (10)$$

$$C_{s1} = C'_p \frac{\omega_2 - \omega_1}{\omega_1 \omega_2} \quad (11)$$

여기서  $L'_s$ 와  $C'_p$ 는 기본형 여파기의 소자 값이다. 또한  $L_{p1}, C_{p1}, L_{s1}, C_{s1}$ 은 이중대역 전력분배기의 소자 값이다.

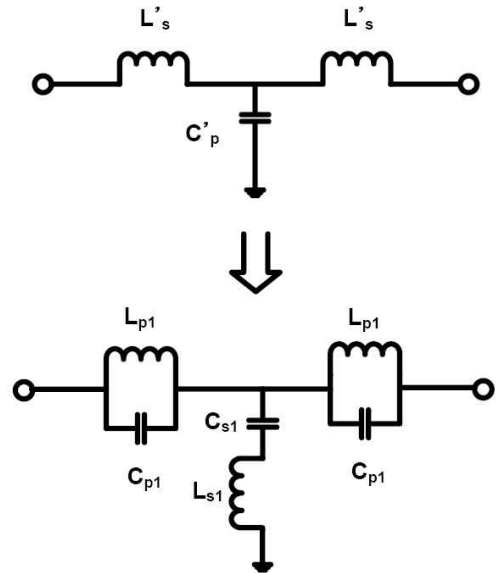


그림 2. 대역 차단 특성을 이용한 이중대역 구조의 등가회로

Fig. 2. Dual-band equivalent circuit using band-stop filter conversion method.

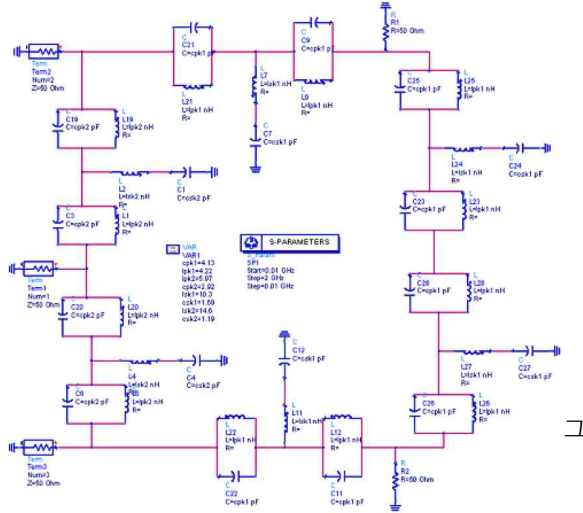
표 2. 대역 차단특성을 이용한 이중대역 전력 분배기 설계 값

Table 2. Element values of dual-band power divider using band-stop characteristic

특성임 피던스 (Ω)	$L'_s$ (H)	$C'_p$ (F)	$L_{p1}$ (nH)	$C_{p1}$ (pF)	$L_{s1}$ (nH)	$C_{s1}$ (pF)
50	50	0.02	4.22	4.13	10.3	1.69
70.7	70.7	0.01	5.97	2.92	14.6	1.19

위 식을 이용하여 880 MHz와 1650 MHz의 두 주파수에서 동일한 특성을 갖는 이중대역 전력 분배기를 설계하였다. 설계된 이중대역 전력분배기는 대역 저지 특성을 보이는 변환을 이용하였고, 위의 식들을 이용하여 구한 이중 대역 전력 분배기의 설계 값을 표 2에 나타내었다. 표 2에서 구한 값을 이용하여 이중대역 Gysel 전력 분배기 회로는 그림 3에 나타내었고, 이것을 시뮬레이션한 결과는 그림 4에 전달특성

과 반사특성 그리고 격리도 특성을 나타내었다. 880MHz와 1650 MHz에서의 특성을 정리하면 표 3과 같이 두 포트에 3 dB로 분배되는 특성을 얻을 수 있음을 보여주고 있다.



림 3. 대역 차단 특성을 이용한 이중대역 전력 분배기 회로도

Fig. 3. Schematic of dual-band power divider using band-stop characteristic

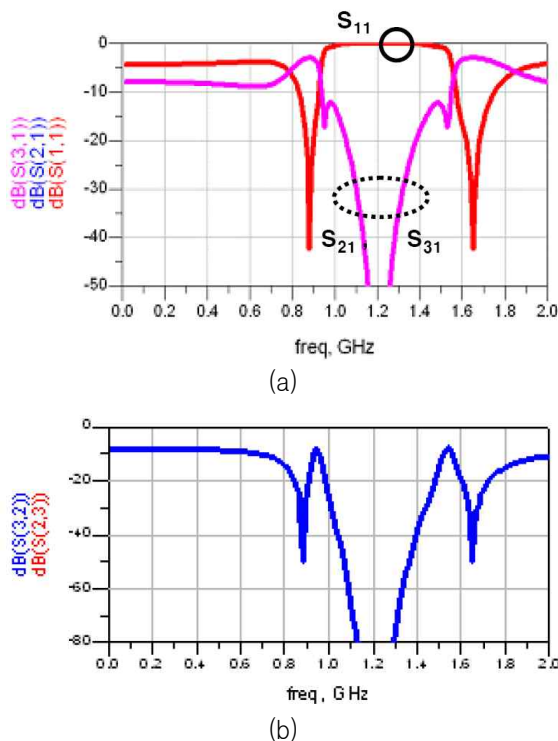


그림 4. 대역 차단 특성을 이용한 이중대역 전력 분배기 시뮬레이션 결과 (a) 전달특성 (b) 격리도

Fig. 4. Simulation results of dual-band power divider using band-stop characteristic (a) Transmission characteristic (b) Isolation characteristic

표 3. 대역 차단 특성을 이용한 이중대역 전력 분배기 시뮬레이션 결과

Table 3. Simulation results of dual-band power divider using band-stop characteristic

주파수	S <sub>11</sub> (dB)	S <sub>21</sub> (dB)	S <sub>21</sub> (도)	S <sub>31</sub> (dB)	S <sub>31</sub> (도)	S <sub>23</sub> (dB)
880 MHz	-42.3	-3.01	-89.3	-3.01	-89.3	-49.5
1.65 GHz	-42.3	-3.01	90.9	-3.01	90.9	-49.8

### III. 이중대역 Gysel 전력 분배기 제작 및 측정

본 논문의 이론들을 최종적으로 확인하기 위해서 이중대역 전력분배기를 제작 하고 결과를 측정함으로써 이론뿐만 아니라 실제 구현 가능성을 확인한다.

앞 장에서 구한 소자 값을 이용한 각 공진기의 특성을 확인하고 또한 공진기의 공진 주파수를 맞추어 설계의 소자 값들을 설정 하였다. 설정된 소자 값을 토대로 시뮬레이션을 통해 타당한 설계인지 확인하고, 설계된 전력분배기의 신뢰성을 높였다.

이러한 과정을 통해서 표 4에 제작 가능한 즉 표준 캐패시터와 인덕터 값을 구하여 이중대역 전력 분배기의 설계 값을 나타내었다. 여기서 나타낸 소자 값은 Gysel 분배기를 구성하는 전송선로를 변환시킨 소자 값을 이용하여 공진기 특성을 확인한 결과를 바탕으로 그 값들을 결정하였다.

제작에 사용된 PCB는 타코닉사의 TLX-9 유전율이 2.5, 두께가 0.787 mm인 것을 사용하였다.

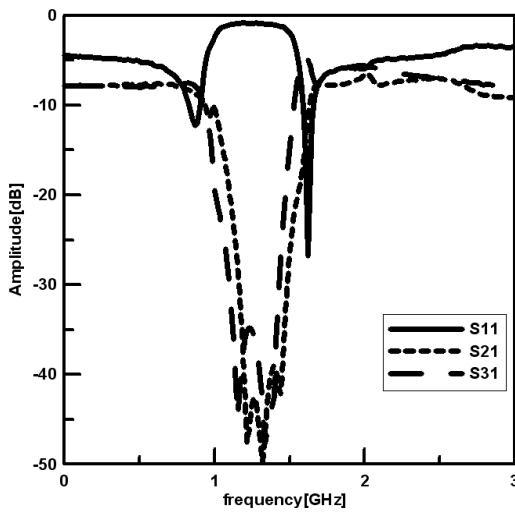
표 4. 제작 가능한 이중대역 전력 분배기 설계 값  
Table 4. Design values of dual-band power divider

특성임피던스 (Ω)	L <sub>p2</sub> (nH)	C <sub>p2</sub> (pF)	L <sub>s2</sub> (nH)	C <sub>s2</sub> (pF)
50	4.7	3.9	6.8	2.5
70.7	8.2	1.5	12	1

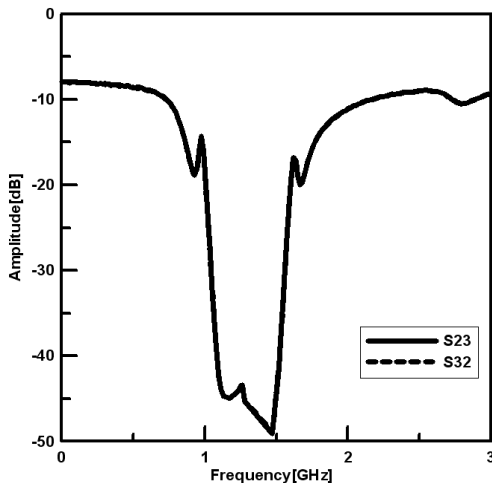


그림 5. 제작된 이중대역 전력분배기

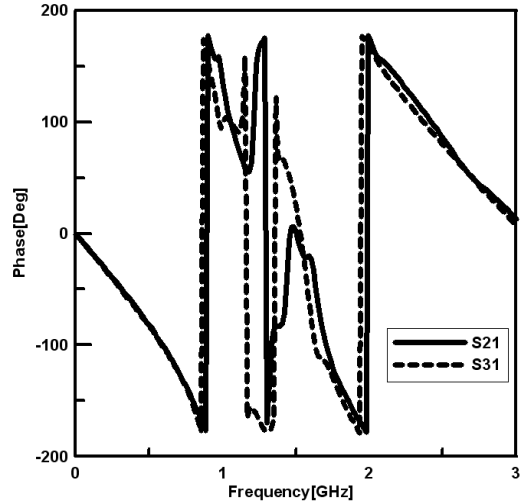
Fig. 5. Implemented dual-band Gysel power divider



(a)



(b)



(c)

그림 6. 제작된 이중대역 전력분배기 결과 (a) 전달 특성 (b) 격리도 (c) 위상 특성

Fig. 6. Measured results of dual-band Gysel power divider (a) Transmission (b) Isolation (c) Phase characteristic

그림 5는 PCB로 제작된 Gysel 전력 분배기 사진을 나타낸 것이며, 그림 6은 제작된 분배기의 측정 결과 전달 특성, 고립도 특성 그리고 위상특성을 나타낸 것이다.

실험 결과 전력 분배기는 880 MHz에서 S21과 S31이 각각 -8.84 dB와 -8.12 dB로 또한 1650 MHz에서 S21과 S31이 각각 -8.55 dB와 -6.5 dB로 나타났다. 이렇게 손실이 큰 이유는 각 전송선로를 대체한 집중소자로 구성된 각 공진기의 Q값이 작고 또한 총 36개의 집중 소자를 사용하며 각 단에서 소모되는 전력이 많기 때문으로 판단된다.

표 5는 본 논문에서 제안한 집중소자를 이용한 이중대역 전력분배기의 측정 결과를 정리하였다.

표 5. 이중대역 Gysel 전력 분배기 특성

Table 5. Measured results of dual-band Gysel power divider

주파수 (MHz)	S <sub>11</sub> (dB)	S <sub>21</sub> (dB)	S <sub>21</sub> (도)	S <sub>31</sub> (dB)	S <sub>31</sub> (도)	S <sub>23</sub> (dB)
880	-12	-8.84	-180	-8.12	-190	-16.5
1650	-11.9	-8.55	-70	-6.5	-90.2	-18.8

#### IV. 결 론

여기서는 집중소자를 이용하여 단일대역 전송선로를 880 MHz와 1650 MHz의 이중대역에서 동작하는 Gysel 전력분배기를 구현한 것을 나타내었다. 또한, 집중소자를 이용함으로써 기존 전력분배기에 비해 크기의 소형화를 이루었고, 각 주파수에서 1:1 비율로 전력 분배가 이루어지는 것을 확인하였다. 또한 각 주파수에서 2번 포트 3번 포트의 격리가 이루어짐을 확인하였다.

집중소자를 이용한 전력분배기는 전송선로와 같은 반복성을 지니는 소자가 아니기 때문에  $f_0$ 의 정수배가 되는 주파수에서 고조파 성분이 생기지 않는다. 이 때문에 별도의 필터 없이 사용이 가능하며, 전력이 소모되는 저항을 2개로 나눔으로써 고 전력 회로의 사용에도 용이 하다.

#### Reference

- [1] H. Oraizi and A. R. Sharifi, "Design and Optimization of Broadband Asymmetrical Multisection Wilkinson Power Divider", *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. 54, No. 5. pp.2220-2231, May 2006.
- [2] U. H. Gysel, "A new N-way power divider/combiner suitable for high power application," *IEEE MTT-S Int. Microw. Symp. Dig.*, vol. 75, pp. 116-118, May. 1975.
- [3] E. Wilkinson, "An N-way hybrid power divider," *IRE Trans Microwave Theory Tech*, vol. 8, pp. 116-118, 1960.
- [4] F. Noriega and P.J. Gonzalez, "Designing LC Wilkinson Power splitters," *RF interconnects /interfaces*, pp. 18-24, 2004.
- [5] Myun-Joo Park and Byungje Lee "A dual-band Gysel power divider with the even mode input extension stub lines," *Microwave and Optical Tech. Lett.*, Vol. 53, No. 6, pp.1213-1216, June 2011.
- [6] M.-J. Park and B. Lee, "A dual-band Wilkinson power divider," *IEEE Microwave Wireless Comp Lett.*, vol.18, pp. 85-87, 2008.
- [7] T. Kawai, Y. Nakashima, Y. Kokubo and I. Ohta,

"Lumped-Element Wilkinson Power Dividers Using LC-Ladder Circuits," *Proc. of Int' Symp. on Radio Systems and Space Plasma*, pp. 35-38, Sep. 2007.

- [8] T. Kawai, Y. Kokubo, and I. Ohta, "A Design Method of Lumped-Element Wilkinson Power Dividers," *Proc. of the 2007 IEICE society Conf.*, C-2-49, Sep. 2007.
- [9] J.H. Yoo, and Y. Kim, "An Unequal Dual-band Lumped Element Power Divider," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol 15-4, pp. 578-584, Aug. 2011.
- [10] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3rd ed., Wiley, pp. 450-458

#### 류 재 현 (Jae-Hyun Yoo)



2010년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부 전자공학과(공학사)  
2010년 3월~ 2013년 2월: 금오공과대학교 대학원 전파통신공학과 졸업  
관심분야 : RF 회로 설계, Metamaterial, 수동소자 회로 설계

#### 김 영 (Young Kim)



1988년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
2002년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)  
1988년 1월 ~ 1993년 5월: 이즈텔 시스템즈(주) 연구소 선임연구원  
1993년 6월 ~ 1998년 2월: 삼성전자(주) 정보통신사업본부 선임연구원  
1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학 정보통신과 조교수  
2003년 3월 ~ 현재: 금오공과대학교 전자공학부 부교수  
관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계