

# 가변 특성 임피던스 전송 선로를 이용한 가변 이중 대역 대역 통과 여파기

## A Tuable Dual-Band Bandpass Filter Design Using Variable Characteristic Transmission Lines

Girdhari Chaudhary · 정용채 · 임종식\* · 김동수\*\* · 김준철\*\*

Girdhari Chaudhary · Yongchae Jeong · Jongsik Lim\* · Dongsu Kim\*\* · Jun-Chul Kim\*\*

### 요 약

본 논문에서는 이중 대역 대역 통과 여파기 설계에 이용 가능한 가변 특성 임피던스 전송 선로의 응용을 제시 하였다. 제안된 여파기는 고정된 첫 번째 통과 대역과 가변 가능한 두 번째 통과 대역을 갖는다. 스텐브 부하 공진기(Stub Loaded Resonator: SLR)는 직렬 공진기와 개방 단락 스텐브로 구성되는데, 개방 단락 스텐브를 결합 접지 구조(Defected Ground Structure: DGS) 전송 선로와 바랙터 다이오드로 구현함으로써 두 번째 통과 대역의 조정이 가능하다. 제안된 구조의 타당성을 보이기 위해 3개의 전송 영점을 갖는 2단 이중 대역 대역 통과 여파기를 설계하였고, 이론적인 예측값과 시뮬레이션 결과를 실험적으로 증명하였다.

### Abstract

In this paper, the application of a variable characteristic impedance transmission line that can be used to design a dual-band bandpass filter(BPF) is presented. The proposed filter offers a fixed first frequency passband and a controllable second passband. The tuning of the second passband is achieved by varying the characteristic impedance of and open shunt stub line in a stub loaded resonator(SLR) with the help of a defected ground structure(DGS) transmission line and varactor diodes. In order to validate the proposed structure, a two stage dual-band BPF with three transmission zeros was implemeted and experimentally verified based on its theoretical predictions and simulations.

Key words : Bandpass Filter, Stub Loaded Resonator, Defected Ground Structure, Dual-Band Filter, Varactor Diode

### I. 서 론

최근 여러 무선 통신 서비스의 급속한 발전으로, 다중 무선 통신 서비스 플랫폼(platform)에 적용 가능한 다중 대역 무선 통신 시스템의 요구가 급격히 늘어나고 있다. 가변 다중 대역 특성을 갖는 대역 통과 여파기는 다중 무선 통신 서비스 시스템에서 중요한

회로 중 하나이다. 그 중에 이중 대역 대역 통과 여파기 개발에 많은 노력이 이루어졌는데, 서로 다른 주파수 통과 대역을 갖는 두 개의 대역 통과 여파기를 병렬 접속하는 구조<sup>[1]</sup>, 저역 통과 및 고역 통과 여파기를 결합한 구조<sup>[2]</sup>들이 있었다. 근래에는 계단형 임피던스 공진기(Step Impedance Resonator: SIR)를 사용한 다중 모드 공진기들이 다중 대역 대역 통과

전북대학교 전자정보공학부 및 IT융합연구센터(Department of Electronics & Communication Engineering, IT Convergence Research Center, Chonbuk National University),

\*순천향대학교 전기통신공학과(Department of Electronics & Communication Engineering, Soonchunhyang University)

\*\*전자부품연구원(Korea Electronics Technology Institute)

· 논문 번호 : 20110527-13S

· 교신저자 : 정용채(e-mail : ycjeong@jbnu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2011년 8월 29일

여파기 설계에 이용되었다<sup>[3]</sup>.

반파장 공진기의 중앙에 바랙터 다이오드를 연결 하거나<sup>[4]</sup>, 계단형 임피던스 공진기에 커패시터를 부 하로 연결하는 방법<sup>[5]</sup>이 가변 대역 통과 여파기의 설 계법으로 제시되었다. 그러나 이러한 방법들은 대역 통과 여파기의 중심 주파수를 조절하기 위해서 가변 리액턴스 소자의 사용에 초점이 맞춰져 있다.

아울러 PBG(Photonic Band Gap)나 DGS(Defected Ground Structure) 같이 변형된 접지 구조를 갖는 전 송 선로에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이 것들을 다양한 초고주파 회로의 설계에 널리 이용하 고 있다<sup>[6]-[8]</sup>. 본 논문에서는 DGS 전송 선로의 가변 특성 임피던스 개념을 이용하여 두 번째 통과 대역 이 조정 가능한 새로운 이중 대역 대역 통과 여파기 의 설계 방법을 제안하였다.

## II. 공진기의 공진 특성과 가변 특성 임피던스 전송 선로

### 2.1 스텐브 부하 공진기(SLR)의 특성

그림 1은 직렬 공진 회로와 직렬 공진기의 중간 지점에 연결된 개방 단락 스텐브로 이루어진 제안된 가변 스텐브 부하 공진기의 구조를 보이고 있다. 제 안된 구조의 직렬 공진 회로와 개방 단락 스텐브의 특성 어드미턴스와 전기적 길이를 각각  $Y_1$ ,  $\theta_1$ 와  $Y_2$ ,  $\theta_2$ 로 가정한다면, 제안된 구조의 입력 어드미턴 스는 다음과 같이 유도된다.

$$Y_{in} = jY_1 \frac{2Y_1 \tan \theta_1 + Y_2 \tan \theta_2}{Y_1 - (Y_1 \tan \theta_1 + Y_2 \tan \theta_2) \tan \theta_1} \quad (1)$$

전송 선로  $Y_1$ 의 전기적 길이  $\theta_1$ 가  $90^\circ$  근처의 값 을 갖는다면, 입력 어드미턴스  $Y_{in}$ 은 식 (2)와 같이

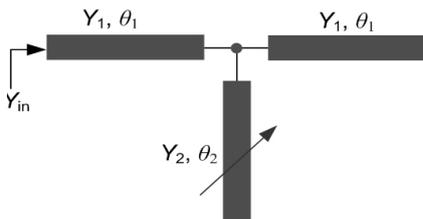


그림 1. 가변 공진 부하 스텐브 구조  
Fig. 1. Structure of tunable stub loaded resonator.

거의 “0”이 된다.

$$Y_{in} = \lim_{\theta_1 \rightarrow 90^\circ} jY_1 \frac{2Y_1 \tan \theta_1 + Y_2 \tan \theta_2}{Y_1 - (Y_1 \tan \theta_1 + Y_2 \tan \theta_2) \tan \theta_1} \cong 0 \quad (2)$$

$\theta_1 = 90^\circ$ 에 해당하는 특정 주파수가 스텐브 부하 공진기의 첫 번째 공진 주파수  $f_1$ 이다. 직렬 공진 회로의 전체 전기적 길이는 첫 번째 공진 주파수의 반 파장에 해당한다. 그러므로, 개방 단락 스텐브는 첫 번째 공진 특성에 아무 영향을 끼치지 않는다. 다른 고차 주파수는  $Y_{in} = 0$  조건으로부터 얻을 수 있다. 일반적으로, 스텐브 부하 공진기의 처음 두 공진 주 파수(가장 낮은 두 공진 주파수)를  $f_1$ 과  $f_2$ 라고 가정 하면, 두 번째 공진 조건은 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$2Y_1 \tan(a\theta_1) + Y_2 \tan(a\theta_2) = 0 \quad (3)$$

여기에서  $a=f_2/f_1$ 로서 첫 번째 공진 주파수에 대한 두 번째 공진 주파수의 비를 의미한다. 식 (3)로부터, 두 번째 공진 조건은 개방 단락 스텐브의 전기적 길이와 특성 어드미턴스에 따라 결정됨을 알 수 있다. Matlab 프로그램을 이용하여 공진 주파수 비 ( $f_2/f_1$ )와 SLR의 임피던스 비( $Z_2/Z_1$ ) 간의 상관 관 계를 그림 2에 나타냈다.

### 2.2 가변 특성 임피던스 전송 선로

본 논문에서의 중심 개념은 이중 대역 대역 통과 여파기 설계에 가변 특성 임피던스 전송 선로를 이 용하는 것이다. 그림 3에서는 일반적인 마이크로스 트립 신호 선로와 DGS 접지 섬(island), 그리고 마이 크로스트립 선로 접지면 부착된 바랙터 다이오드로 구성된 가변 특성 임피던스 전송 선로의 구조를 보 여준다. 바랙터 다이오드는 일반적인 마이크로스 트립 전송 선로 하부의 DGS 접지 섬과 접지면 사이에 부착된다. 바랙터 다이오드의 동작에 따라 마이크로 스트립 라인 접지면의 등가 커패시턴스 변화를 일으 켜서, 변형된 마이크로스트립 라인의 특성 임피던스 는 조정할 수 있다. 가변 특성 임피던스 전송 선로 의 물리적인 값들은 그림 3에 나타냈는데, 사용된 기판은 유전율이 2.2이고, 유전체 두께가 31 mil 인 Rogers사의 RT/Duroid-5880이다. 이 변형된 접지 구

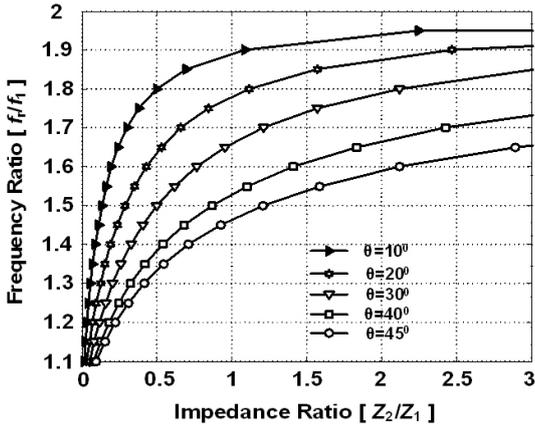


그림 2. 개방 스텐브의 특성 임피던스에 따른 공진 주파수 비율의 관계

Fig. 2. Dependence of resonant frequency ratio according to characteristic impedance of open stub.

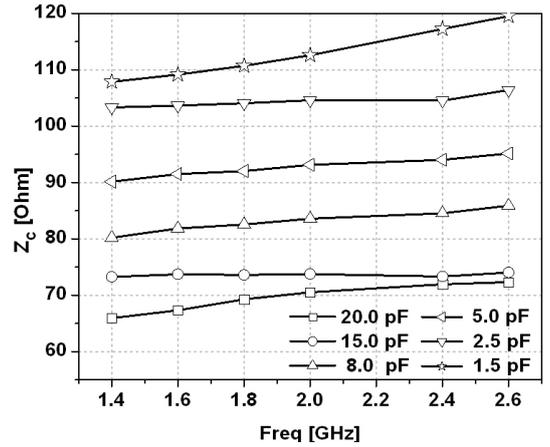


그림 4. 제안된 가변 임피던스 전송 선로의 특성 임피던스

Fig. 4. Calculated characteristic impedances of the proposed variable impedance microstrip line.

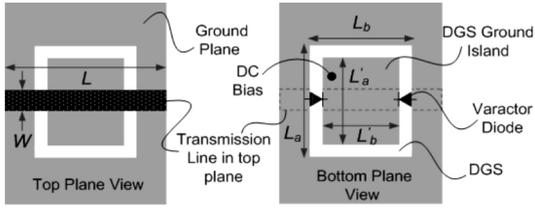


그림 3. 접지면의 DGS와 바랙터 다이오드로 구성된 가변 특성 임피던스 전송 선로( $L=12$ ,  $L_a=7$ ,  $L_b=7.8$ ,  $L'_a=5.2$ ,  $L'_b=6$ , and  $W=1.42$  mm)

Fig. 3. Variable characteristic impedance transmission line with DGS ground island and varactor diodes( $L=12$ ,  $L_a=7$ ,  $L_b=7.8$ ,  $L'_a=5.2$ ,  $L'_b=6$ , and  $W=1.42$  mm).

조를 갖는 전송 선로의 특성 임피던스를 계산하기 위해 사용된 식은 참고문헌 [9]에서 찾을 수 있다. 참고문헌 [9]에서 서술된 방법을 이용해서, 제안된 구조를 Ansoft사의 HFSS v11로 시뮬레이션하였고, 그림 4에 계산된 특성 임피던스를 나타냈다. 커패시턴스가 20~1.5 pF 사이에서 변화할 때, 전송 선로의 특성 임피던스는 64~107 Ω 범위에서 변화하였다.

### III. 시뮬레이션 및 측정 결과

그림 5는 신호 면의 스텐브 부하 공진 회로, 접지면의 접지면 DGS섬과 바랙터 다이오드로 이루어진 제안된 이중 대역 대역 통과 여파기의 구조를 보여준다. 마이크로스트립 선로는 회로 크기를 줄이기

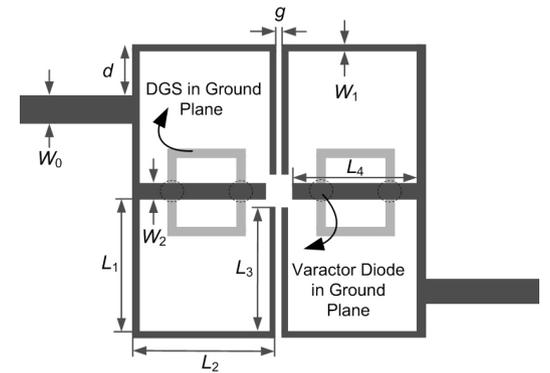


그림 5. 제안된 이중 대역 대역 통과 여파기의 평면도 ( $L_1=11.68$ ,  $L_2=12.80$ ,  $L_3=10.95$ ,  $L_4=11.50$ ,  $W_0=2.38$ ,  $W_1=0.65$ ,  $W_2=1.42$ ,  $d=4.74$ , and  $g=0.41$  mm)

Fig. 5. Proposed dual-band bandpass filter in top view ( $L_1=11.68$ ,  $L_2=12.80$ ,  $L_3=10.95$ ,  $L_4=11.50$ ,  $W_0=2.38$ ,  $W_1=0.65$ ,  $W_2=1.42$ ,  $d=4.74$ , and  $g=0.41$  mm).

위해 개 루프의 형태로 접었다. 본 논문에서는 첫 번째 고정 통과 대역 주파수 1.575 GHz와 조정 가능한 두 번째 통과 대역 주파수 2.48 GHz를 갖는 이중 대역 대역 통과 여파기를 설계하였다. 전기적 길이  $\theta_1$  과  $\theta_2$  는 1.575 GHz에서 각각 90°와 30°로 계산되었다. 또한, 최초의 스텐브 부하 공진 회로의 특성 임피던스들은 각각  $Z_1=100$  Ω와  $Z_2=64$  Ω으로 계산되었다.

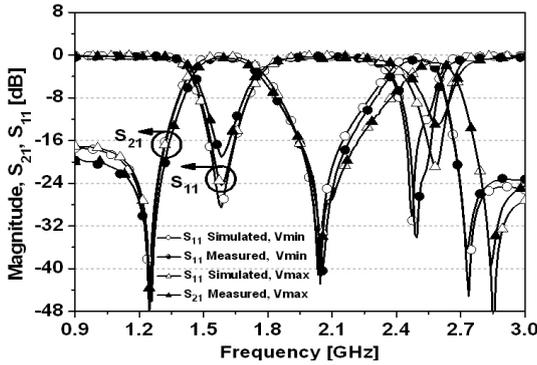


그림 6. 바랙터 다이오드 바이어스 전압( $V_{min}=0$  V,  $V_{max}=7.6$  V)에 따른 반사 손실과 삽입 손실의 시뮬레이션 및 측정 결과

Fig. 6. Simulated and measured results of return loss response and insertion loss response according to varactor diode bias voltage( $V_{min}=0$  V,  $V_{max}=7.6$  V).

제안된 여파기의 물리적인 값들은 그림 5에 나타났다. 사용된 바랙터 다이오드는 Skyworks사의 SMV1234-011LF로서 15~0 V의 바이어스 범위에서 1.8~30 pF의 커패시턴스 범위를 갖는다. 커패시턴스는 정확성을 기하기 위해 실험실에서 측정된 값을 사용하였다. 바랙터 다이오드 바이어스 전압에 따른 이중 대역 대역 통과 여파기의 시뮬레이션 및 측정 결과들은 그림 6에 나타났다. 시뮬레이션과 측정 결과는 거의 일치함을 보이는데, 첫 번째 통과 대역은 거의 일정하게 1.575 GHz에서 중심 주파수를 갖고, 3 dB 주파수 대역폭은 16.9 %이며, 최대 0.59 dB의 삽입 손실을 갖는다. 반사 손실은 19 dB 이상의 양호한 특성을 갖는다. 바랙터 다이오드의 바이어스 전압을 0~7.6 V 내에서 조정함에 따라, 두 번째 통과 대역의 중심 주파수는 2.48~2.60 GHz 범위 내에서 조정되었고, 그 특성을 그림 7에 나타냈다. 측정된 삽입 손실은 0.985~1.485 dB로 변하지만, 3 dB 주파수 대역폭은 거의 7.5 %를 유지하였다. 전체 가변 범위 내에서 14 dB 이상의 반사 손실을 갖는다.

제안된 여파기는 각 바이어스 전압에서 3개의 전송 영점을 갖는다. 입출력 전송 선로와 SLR의 접합 단자에서 SLR의 개방 지점까지의 물리적 길이에 의하여 결정된다. 첫 번째 통과 대역과 관계되는 두 개의 전송 영점들은 고정되어 있는데 반하여, 두 번째

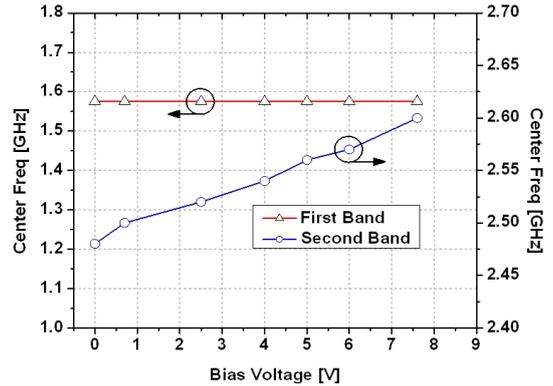


그림 7. 바이어스 전압에 따른 중심 주파수의 측정 결과

Fig. 7. Measured center frequencies according to bias voltages.

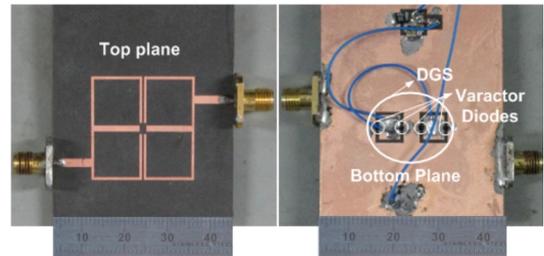


그림 8. 제작된 이중 대역 대역 통과 여파기의 사진  
Fig. 8. Photographs of the fabricated dual-band band-pass filter.

통과 대역의 높은 주파수 대역에 위치한 전송 영점은 DGS 마이크로스트립 선로의 특성 임피던스 조정 에 따라 함께 움직인다. 이 제안된 여파기의 전송 영점들의 특성은 저지 주파수 대역의 선택도를 향상시킨다. 제작된 여파기의 사진은 그림 8에 나타났다. 본 논문에서 제안한 여파기의 외부 접지면에 바이어스 패드를 만들고, 여기에 바이패스 캐패시터를 부착하여 전원 잡음을 제거하였다. DGS 접지점과 바이어스 패드를 얇은 전원선으로 연결함으로써 전원잡음에 의한 여파기 특성 저하를 방지할 수 있었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 스텐브 부하 공진 회로의 가변 특성 임피던스 전송 선로를 이용하여 두 번째 통과 대역을 조정 가능한 이중 대역 대역 통과 여파기의 새로운 설계법을 제시하였다. 전송 선로의 특성 임피

던스는 결합 접지 구조(DGS)와 접지면에 부착한 바랙터 다이오드를 이용하여 조정할 수 있다. 제안된 구조의 타당성을 보이기 위해 이론적 분석과 실험을 수행하였다.

제안된 여파기는 GPS와 WLAN 통신 주파수 대역에 이용할 수 있으며, 두 번째 통과 대역의 전체 가변 범위에서 낮은 삽입 손실을 제공한다. 두 번째 통과 대역의 조정 범위를 증가시키는 것이 향후 연구 과제이며, 넓은 조정 범위를 갖는 두 번째 통과 대역을 적절히 이용할 수 있다면 여러 서비스 주파수 대역 중에 하나를 선택할 수 있는 이중 대역 대역 통과 여파기가 될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] H. Miyake, S. Kitazawa, T. Ishizaki, T. Yamada, and Y. Nagatomi, "A miniaturized monolithic dual band filter using ceramic lamination technology for dual-mode portable telephones", *IEEE MTT-S Int. Dig.*, pp. 789-792, 1997.

[2] H. Joshi, W. J. Chappell, "Dual-band lumped element bandpass filter", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 12, pp. 4169-4177, Dec. 2006.

[3] Y. P. Zhang, M. Sun, "Dual-band microstrip bandpass filter using stepped impedance resonators with new coupling scheme", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 54, no. 10, pp. 3779-3785, Oct. 2006.

[4] X. Y. Zhang, Q. Xue, "Novel centrally loaded resonators and their applications to bandpass filters", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 56, no. 4, pp. 913-921, Apr. 2008.

[5] D. Girbau, A. Lazaro, E. Martinez, D. Masone, and L. Pradell, "Tunable dual-band bandpass filter for WLAN applications", *Microw. Optical Tech. Letts.*, vol. 51, no. 9, pp. 2025-2028, Sep. 2009.

[6] J. Lim, S. Oh, J. Koo, Y. Jeong, and D. Ahn, "A power divider with adjustable dividing ratio", *IEICE Trans. Electron*, vol. E91-C, no. 3, pp. 389-391, Mar. 2008.

[7] D. Ahn, J. Park, C. Kim, J. Kim, Y. Qian, and T. Itoh, "A design of the low-pass filter using a novel microstrip defected ground structure", *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.*, vol. 49, no. 1, pp. 86-93, Jan. 2001.

[8] Y. Jeong, S. Jeong, J. Lim, and S. Nam, "A new method to suppress harmonics using  $\lambda/4$  bias line combined by defected ground structure in power amplifier", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 13, no. 12, pp. 538-540, Jan. 2004.

[9] J. Lim, J. Lee, J. Lee, S. Han, D. Ahn, and Y. Jeong, "A new calculation method for the characteristic impedance of transmission lines with modified ground structure or perturbation", *Progress in Electrom. Research*, vol. 106, pp. 147-162, 2010.

### Girdhari Chaudhary



2004년 8월: B. E. in Electronics & Communication Engineering, NEC, Nepal  
 2007년 7월: M. Tech. in Electronics & Communication Engineering, MN-IT, Jaipur, India  
 2009년 3월~현재: 전북대학교 전자

정보공학부 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 수동 회로 설계

### 정 용 채



1989년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1996년 8월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1991년 2월~1998년 2월: 삼성전자

정보통신본부 선임연구원

2006년 7월~2007년 12월: 미국 Georgia Institute of Technology 방문연구교수

1998년 3월~현재: 전북대학교 전자공학부 교수

[주 관심분야] RF 및 Microwave 회로 해석 및 설계

임 중 식



1991년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학사)  
1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 초고주파과 (공학석사)  
2003년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)  
1993년 2월~1999년 3월: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단, 무선방송기술연구소 선임연구원

2003년 3월~2003년 7월: 서울대학교 BK21 정보기술사업단 박사후연구원  
2003년 7월~2004년 9월: 특허청 특허심사관  
2004년 9월~2005년 2월: 한국전자통신연구원 선임연구원  
2005년 3월~현재: 순천향대학교 전기통신공학과 교수  
[주 관심분야] 초고주파 능동/수동 회로 설계, 주기 구조의 모델링 및 회로 응용, 안테나 측정 시스템 등

김 준 철



1991년 2월: 서강대학교 물리학과 (공학사)  
1993년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)  
1998년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)  
1997년~현재: 전자부품연구원 패키징연구센터 수석연구원/센터장

[주 관심분야] RF 수동 소자, 필터, System on Package 등

김 동 수



1997년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
1999년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
2001년 2월: 미국 Georgia Institute of Tech. ECE (공학석사)  
2004년 2월: 미국 Georgia Institute of Tech. ECE (공학박사)

2004년~현재: 전자부품연구원 패키징연구센터 선임연구원  
[주 관심분야] RF 수동 소자, 안테나, System on Package, Ferroelectric Tunable Device, GaN 증폭기 등