

논문 2012-49TC-7-9

# CRLH-Stub를 이용한 이중대역 저지 초광대역 대역통과 여파기

( Ultra-Wideband Band Pass Filter with Controllable Dual Notched  
Bands Using the CRLH Stubs )

정 승 백\*, 양 승 인\*\*

( Seungback Jung and Seung-In Yang )

## 요 약

본 논문은 CRLH와 DGS 구조를 합성하여 초광대역 대역 통과 특성이 있으면서 통과대역 내에 조정가능한 이중대역 저지 기능이 있는 필터를 제안한다. 초광대역 대역통과 여파기는 WLAN과의 전파간섭을 피하기 위해 2.4GHz와 5.8GHz를 저지하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 CRLH구조를 이용하여 2중 저지 대역을 형성하였으며 통과 대역 이후 주파수에서 우수한 대역 저지 효과를 얻기 위해 DGS구조를 합성하였다. 실제 제작된 여파기 측정결과 2.4GHz 와 5.8GHz에서 30dB 이상의 저지 특성을 확인하였다. 차단 주파수는 CRLH의 파라미터를 변경함으로써 매우 쉽게 이루어질 수 있다. 제작된 여파기는 0.4dB(Lower Pass-Band), 0.7dB(Upper Pass-Band) 의 삽입손실과 0.6ns 이하의 작은 Group Delay를 확인하였다. 또한 크기가 17mm\*17mm 로 매우 소형이다.

## Abstract

In this paper, a compact UWB (Ultra Wideband) BPF(Band-Pass Filter) with dual notched bands is proposed using a hybrid Compositated Right-Left Handed (CRLH) and Defected Ground Structure (DGS). To avoid the interferences such as Wireless LAN (Center frequency: 2.4GHz and 5.8GHz), the CRLH is employed to obtain the dual notched bands and the DGS is used to obtain the wide stop-band above the pass-band. The fabricated filter has good performance and has more than 30dB rejection at the center frequency of 2.4 GHz and 5.8GHz. The dual notched bands are easily movable by changing the CRLH parameter. Also the insertion loss is less than 0.4dB in the lower pass-band and 0.7dB in the upper pass-band, and it has small group delay variation less than 0.6ns. The size of the fabricated filter is very compact (17mm\*17mm).

**Keywords** : UWB, Band-pass filter, Notched filter, resonator, CRLH

## I. 서 론

지난 2002년 미국 FCC(Federal Communication Commission)에서 UWB(Ultra Wide Band) 통신대역을 민간에 허용한 이후 많은 부문에서 연구가 진행되고 있

다.<sup>[1]</sup> 다양한 분야에서 UWB관련 연구가 진행되고 있거나 특히 안테나와 필터 등 소동 소자 부문에서 특히 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적으로 초광대역 특성을 얻기 위해 초광대역 대역통과 필터가 필요하다. 초광대역 대역통과 필터의 경우 넓은 통과 대역과 매우 낮은 군 지연 특성이 필수적이다. 또한 휴대용 기기를 위해 크기가 작아야만 한다. 그래서 많은 초광대역 대역통과 필터가 커플링 구조, 링 공진기 구조의 형태를 띠고 있다.

\* 정회원, 한국생산기술연구원  
(KITECH.)

\*\* 평생회원-교신저자, 송실대학교 정보통신전자공학부  
(School of Electronic Eng., Soongsil University)  
접수일자: 2012년3월30일, 수정완료일: 2012년7월17일

그러나 통과 대역 내에 2.4GHz 와 5.8GHz를 사용하는 무선 랜과의 간섭문제 때문에 5.8GHz 대역을 기준으로 대역통과 필터를 2개 제작하는 것이 일반적이다. 따라서 본 논문은 하나의 대역통과 필터를 이용하여 2.4GHz 와 5.8GHz 의 주파수 대역을 효과적으로 차단하면서 크기가 작은 필터를 제안하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 CRLH(Composite Right/Left Handed) 구조와 DGS 구조를 합성하였다. CRLH 구조는 1968년 러시아의 물리학자 Veselago가 메타 물질의 이론적인 특성에 관한 결과를 발표하였고, 이후 2001년 Pendry에 의해 인류 최초로 음의 투자율 매질(SRR: Split-Ring Resonator)이 제안되었다.<sup>[1]-[3]</sup> 특히 LHM(Left Handed Material) 특성을 보이는 물질과 RHM(Right Handed Material)의 특성을 보이는 물질을 혼합한 CRLH구조<sup>[4]</sup>를 이용하여 기존의 소자들의 성능을 향상시키면서 크기를 감소시키는 연구가 진행 중이다. CRLH 전송라인은 전력분배기, 그리고 필터<sup>[5-7]</sup>, 스위치<sup>[8]</sup>, 안테나<sup>[9,15]</sup> 등에 폭넓게 사용되고 있다. 본 논문에서는 CRLH구조의 비선형 주파수 응답 특성을 이용하여 2.4GHz와 5.8GHz를 차단하기 위해 사용되었으며, DGS구조는 통과 대역이후의 주파수를 차단하기 위하여 사용되었다. 이 두 가지 구조를 PCB 양면에 합성하여 제작함으로써 크기를 줄이면서도 성능이 우수한 필터를 제작할 수 있었다. 그림 1 은 본 논문에서 제안하고 있는 필터의 구조이다. 그림 1 중간의 아령모양이 점선과 H 형태의 전송라인이 통과대역 이후의 주파수를 차단하기 위한 DGS 저역통과 필터이다.

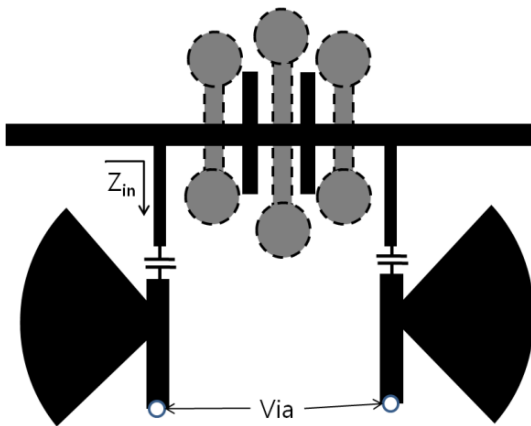


그림 1. 제안하는 CRLH-Stub를 사용한 UWB BPF의 구조  
Fig. 1. Structure of the proposed UWB BPF using CRLH-TL.

## II. CRLH-Stub 설계하기

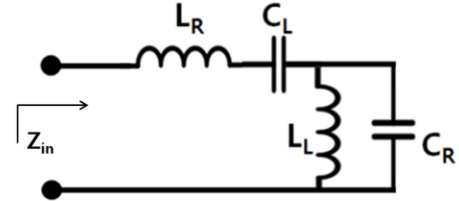


그림 2. CRLH-Stub 의 구조  
Fig. 2. Structure of the CRLH-Stub

그림 2는 비 주기적인 이중대역 주파수 차단을 위한 CRLH 스템브의 등가 회로이다. 주파수 차단 특성을 얻기 위해 입력 임피던스는 반드시 0 이어야 하며 S<sub>11</sub>의 크기는 1 이어야 한다. 이때 입력 임피던스는 식(1)으로 구할 수 있다.

$$Z_{in} = j\omega L_R + \frac{1}{j\omega C_L} + (j\omega L_L \parallel \frac{1}{j\omega C_R}) \quad (1)$$

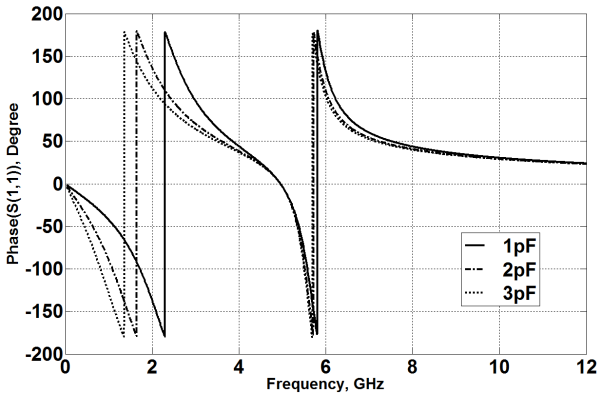
또한 차단되는 주파수는 식 (2)를 통하여 알 수 있다. 이때 C<sub>R</sub> 과 C<sub>L</sub>의 변화를 통하여 매우 쉽게 차단 주파수의 이동이 가능하다.

$$\omega = \frac{\sqrt{(L_R C_L + L_L C_R + L_L C_L) \pm \sqrt{(L_R C_L + L_L C_R + L_L C_L)^2 - 4L_R L_L C_R C_L}}}{2L_R L_L C_R C_L} \quad (2)$$

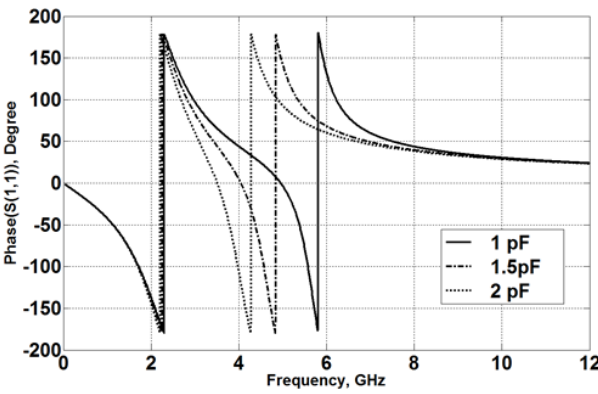
다음으로 그림 3은 그림 2의 등가회로에 대한 주파수 응답 S<sub>11</sub>의 특성을 보여준다. 미리 설명한 것과 같이 C<sub>R</sub> 과 C<sub>L</sub>의 변화에 따라 비 주기적 특성이 있는 두 군데에서 위상 쉬프트가 발생하는 것을 확인할 수 있으며 이때 C<sub>R</sub>과 C<sub>L</sub>의 변화에 따른 위상응답이 서로 독립적인 것을 알 수 있다.

그림 4는 1단 구성의 이중대역 저지 초광대역 대역통과 필터이다. 본 논문에서는 그림 4 구조의 여파기를 2 단으로 연결하고 가운데 부분에 DGS구조의 저역통과 필터를 합성한다. 그림 4에서 Stub 부분이 CRLH 구조이며 이 구조의 등가 회로는 그림 2와 같다. 이때 마이크로스트립 전송선이 인덕턴스는 L<sub>L</sub>과 L<sub>R</sub>이며 그 값은 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$L(nH) = 2 \times 10^{-4} \left[ \ln \left( \frac{l}{W+t} + 1.193 + 0.2235 \frac{W+t}{l} \right) \right] \cdot K_g \quad (3)$$



(a)



(b)

그림 3. CRLH-Stub에서 파라미터 변화에 의한 모의실험 결과. (a)  $C_L$ 의 변화에 의한 위상변화 ( $C_R=1\text{pF}$ ) (b)  $C_R$ 에 의한 위상변화( $C_L=1\text{pF}$ ), ( $L_R=3.515\text{nH}, L_L=1.03\text{nH}$ )

Fig. 3. Simulation results of proposed CRLH transmission line by changing parameters. (a) Phase response with parameter of  $C_L$  ( $C_R=1\text{pF}$ ), (b) Phase response with parameter of  $C_L$  ( $C_R=1\text{pF}$ ), ( $L_R=3.515\text{nH}, L_L=1.03\text{nH}$ ).

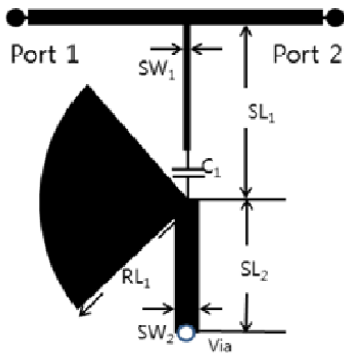


그림 4. CRLH-Stub를 사용한 일단구조의 이중대역 저지 대역 통과 여파기

Fig. 4. One-stage dual-band notched filter by using CRLH stub.

표 1. 이중대역 저지필터의 크기 (그림 4)

Table 1. Dimension of dual-notched filter (Fig. 4).

Para.	Value	Para.	Value
SW <sub>1</sub>	0.3 mm	SL <sub>2</sub>	3 mm
SW <sub>2</sub>	0.5 mm	RL <sub>1</sub>	3.5 mm
SL <sub>1</sub>	3.5 mm	C <sub>1</sub>	1 pF
Radial Angle	100°		

여기서  $W, t, l$  는 마이크로스트립 라인의 폭과 두께 그리고 길이를 나타낸다. 그리고  $Kg=0.57-0.145*\ln(W/h)$  이다. 이상의 결과로부터 그림 4의 크기와 소자의 값은 표 1과 같이 결정하였다.

### III. DGS 구조의 저역통과 필터의 설계<sup>[6]</sup>

본 논문에서는 그림 1과 같은 구조의 여파기를 제안하였다. 제안된 구조는 2단으로 연결된 대역통과 필터와 DGS구조의 저역통과 필터를 합성한 구조이다. 2장에서 대역통과 여파기와 이중대역 저지를 위한 CRLH

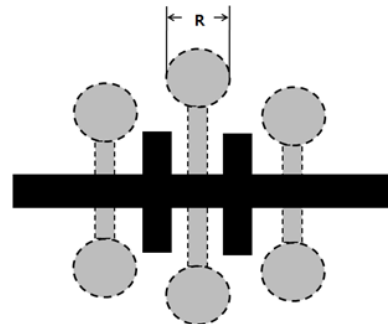


그림 5. DGS구조의 LPF 구조

Fig. 5. Structure of LPF using DGS.

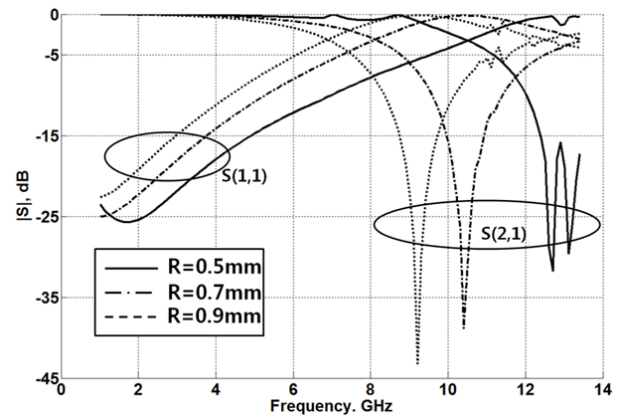


그림 6. LPF의 모의실험 결과

Fig. 6. Simulation results of LPF.

구조의 Stub를 설계하였으며 본 장에서는 DGS구조를 이용한 저역 통과 필터를 알아보고 최종적으로 제안하고자 하는 필터를 설계하고자 한다.

본 논문에서 적용한 DGS구조는 아령 형태로 PCB 접지면에 식각함으로써 저역통과 특성을 얻는다. 그러나 좀더 성능을 높이기 위하여 4개의 오픈 스텐브를 더 함으로써 Cut-Off 특성이 좋아짐을 알 수 있으며 이때 Cut-Off 주파수는 그림 5의 R 값을 조정함으로써 쉽게 주파수 이동이 가능하다.<sup>[6]</sup> 그림 5 와 6은 본 논문에서 사용한 DGS구조와 모의실험 결과를 보여준다.

### IV. 제작 및 측정

II장과 III장에서 설계한 결과를 바탕으로 실제 제작하였으며 그 사진은 그림 7에 보였다.

제작된 필터는 Taconic-32 기판을 사용하였으며 기판의 유전율은 3.2 두께 0.76mm 이다. 제작된 필터의 크기는 17mm\*17mm로 제작되었다.

측정은 HP 8719D Network Analyzer 로 이루어 졌으며 측정 결과와 모의실험 결과를 그림 8에 보였다.

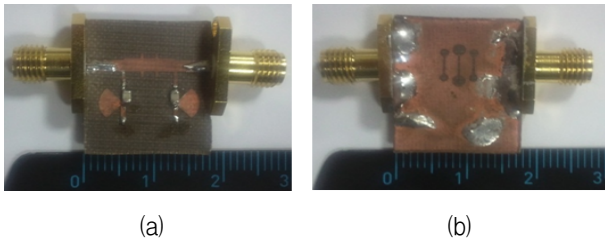


그림 7. 제작된 UWB BPF  
 (a). 윗 면 (b)바닥면(DGS부분)  
 Fig. 7. Fabricated Ultra Wide Band band-pass filter.  
 (a) Top view (b) Bottom view (DGS part)

표 2. 성능 비교  
 Table 2. Performance Comparison.

Ref.	Pass-Band [GHz]	5.8GHz Rejection Level[dB]	Group Delay Variation [ns]	Insertion Loss(lower/upper pass-band) [dB]	Return Loss(lower/upper pass-band) [dB]	Size [mm*mm]
[10]	3.1~10.1	23	0.5	0.5/0.7	9/10	30*30
[11]	2.96~10.72	24.7	0.28	0.5/0.9	14.3/11.6	17.55*17.55
[12]	2.4~11.2	25	0.5	1.6	13	42.2*15
[13]	3.4~9.8	28	0.4	1/2	11/9	10*18
[14]	3.7~11.6	20(at 7GHz)	0.4	0.22/0.45	25/12	17.8*9.6
Ours	<b>3.6~10.9</b>	<b>40</b>	<b>0.6</b>	<b>0.4/0.7</b>	<b>15/14</b>	<b>17*17</b>

측정 결과 -3dB 기준 통과 대역은 3.6GHz~10.9GHz 이다. 또한 2.4GHz와 5.6GHz에서 대역이 저지됨을 확인하였다. 이때 저지 특성은 30dB이상의 높은 저지 특성을 나타내었다. 또한 통과대역 내 삽입손실은 낮은 통과 대역과 높은 통과 대역에서 각각 0.4dB, 0.7dB 로

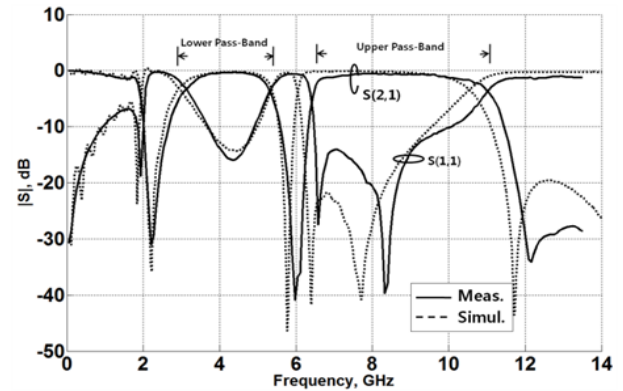


그림 8. UWB BPF의 측정 결과와 모의실험 결과  
 Fig. 8. Measured and simulated results of the fabricated UWB BPF.

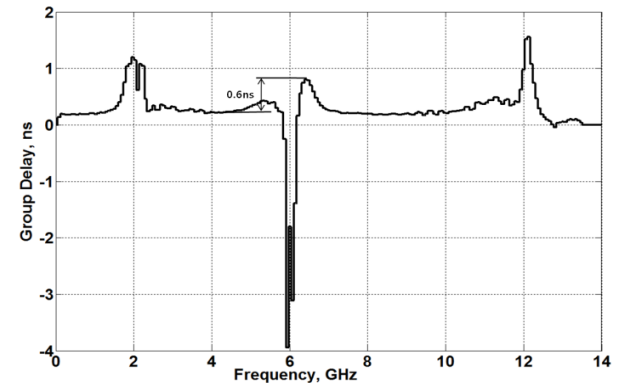


그림 9. UWB BPF의 군 지연  
 Fig. 9. Measured group delay of the fabricated UWB BPF.

매우 낮게 나왔으며, 반사 손실 역시 14dB 이상으로 우수한 특성을 확인하였다.

그림 9는 필터의 중요 성능 지표인 군 지연 특성 측정 결과를 보여준다. 결과와 같이 통과대역 내에서 0.6ns이하의 매우 평탄한 군 지연 특성을 보이고 있다.

## V. 결 론

본 논문은 CRLH 구조의 Stub를 2단 구조로 연결하고 그 사이에 DGS구조를 합성하여 성능이 우수하면서 크기가 작은 필터를 제안하였으며 제작하였다. 제작된 필터는 2.4GHz 와 5.8GHz에서 30dB 이상의 차단 특성을 보였으며 통과 대역에서는 0.6dB 이하의 삽입손실과 14dB 이상의 반사손실을 보였다. 또한 DGS저역통과 필터로 인해 10.6GHz 이후의 주파수 대역에서 25dB 이상의 차단 특성을 보였으며 최대 0.6ns 이하의 매우 평탄한 군 지연 특성을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 것이 타당함을 보이기 위해 표 2에서 본 논문에서 참고한 다른 필터와의 성능과 크기를 비교하였다. 그 결과 다른 필터에 비해 더 작은 크기 더 우수한 성능이 있음을 확인할 수 있다. 본 논문의 결과가 향후 UWB통신에 조금이라도 일조하기를 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] Revision of part 15 of the commission's rules regarding ultra-wideband transmission system, ET-Docket 98-153, First Note and Order, Federal Communication Commission, Feb. 14, 2002.
- [2] J.-S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*. New York: Wiley, 2001.
- [3] C.-L. Hsu, F.-C. Hsu, and J.-T. Kuo, "Microstrip bandpass filters for ultra-wideband (UWB) wireless communication", IEEE MTT-S Int. Dig., pp. 679 - 682, June 2005.
- [4] Christophe Caloz, "Dual Composite Right / Left-Handed (D-CRLH) Transmission Line Metamaterial", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 16, No. 11, pp. 585-587, Nov. 2006.
- [5] Ahn D, Park J-S, Kim C-S, Kim J, Qian Y, Itoh T, "A design of the low-pass filter using the novel microstrip defected ground structure", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 49, No. 1, pp. 86-93. Jan. 2001
- [6] Seungback Jung and Seung-In Yang, "A Ultra-Wideband Bandpass filter Using DGS Structure", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 46-TC, No. 5, pp.162-167, May 2009.
- [7] H. Ishida and K. Araki, "Design and analysis of UWB bandpass filter with ring filter", IEEE MTT-S Int. Dig., pp. 1307 - 1310, June 2004.
- [8] G. Monti, R. De Paolis, and L. Tarricone, "Design of a 3-State Reconfigurable CRLH Transmission Line Based on MemS Switches", Progress In Electromagnetics Research, PIER 95, 283-297, 2009.
- [9] R.-B. Hwang, H.-W. Liu, and C.-Y. Chin, "A Metamaterial-Based E-Plane Horn Antenna", Progress In Electromagnetics Research, PIER 93, 275-289, 2009.
- [10] Hussein Shaman, Jia-Sheng Hong, "Ultra-Wideband(UWB) Bandpass Filter With Embedded Band Notch Structures", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 17, No. 3, pp. 193-195, March 2007.
- [11] Xun Luo, Jian-Guo Ma, Kaixue Ma, Kiat Seng Yeo, "Compact UWB Bandpass filter With Ultra Narrow Notched Band", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 20, No. 3, March 2010.
- [12] Q. Li, Z.-J. Li, C.-H. Liang and B. Wu, "UWB bandpass filter with notched band using DSR", Electronics Letters, Vol. 46, No. 10, 13th May 2010.
- [13] Binyan Yao, Yonggang Zhou, Qunsheng Cao, "A UWB Bandpass Filter With Multi Notched Bands Using Microstrip/Coplanar Waveguide", Antennas, Propagation and EM Theory, 2008. ISAPE 2008. 8th International Symposium on Digital Object Identifier: 10.1109 / ISAPE.2008.4735294, Page(s): 637 - 640.
- [14] Saeid Pirani, Javad Nourinia, Changiz Ghobadi, "Band-Notched UWB BPF Design Using Parasitic Coupled Line", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 20, No. 8, pp. 444-446, Aug. 2010.
- [15] 주창복, "UWB용 사다리꼴 모노폴 마이크로스트립 안테나", 대한전자공학회, 전자공학회논문지-TC, 제46권 제2호 (통권 제380호), 134-140쪽, 2009년 2월

저 자 소 개



**정 승 백**(정회원)  
 2002년 2월 한라대학교  
 컴퓨터공학과 공학사  
 2002년 3월~2004년 2월  
 숭실대학교 산업기술정보  
 통신대학원 정보통신공학  
 과 공학석사

2009년 8월 숭실대학교 전자공학과 공학박사  
 2010년12월~현재: 한국생산기술연구원  
 <주관심분야 : 초고주파 회로설계, 초광대역 여파  
 기 설계등>



**양 승 인**(평생회원)  
 1974년 2월 서울대학교  
 전기공학과 공학사  
 1976년 2월 한국과학기술원  
 전기공학과 공학석사  
 1987년 8월 한국과학기술원 전기  
 및 전자공학과 공학박사

1978년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부  
 교수  
 2004년 1월~2005년 12월 한국전자과학회 회장  
 현재 한국전자과학회 명예회장  
 <주관심분야 : 초고주파 회로 설계, 고이득 안테  
 나, 전자파 산란, 메타물질 >