

Pseudo-Comblin을 이용한 이중대역 협대역 대역통과 여파기

Narrow Band-pass Filter with Dual-band Using Pseudo-Comblin

윤 기 철*
(Ki-Cheol Yoon)

이 현 옥**
(Hyun-Wook Lee)

이 맹***
(Meng Li)

이 재 영***
(Jae-Yeong Lee)

이 증 철****
(Jong-Chul Lee)

요 약

본 논문은 이중대역 Pseudo-comblin 협대역 대역통과 여파기를 제안한다. 제안한 이중대역 대역통과 여파기의 특징은 개방형 공진 스텐브를 사용하고 있으며 ITS와 X-밴드 위성 시스템에 적용이 가능하다. 이중대역 대역통과 여파기는 첫 번째 운용 주파수 대역의 중심 주파수 5.8 GHz 그리고 대역폭 3.6 %에서 삽입 및 반사 손실이 각각 1.72 dB 및 15.5 dB 이다. 또한 두 번째 운용 주파수 대역의 중심 주파수 8.5 GHz 그리고 대역폭 3%에서 삽입 및 반사 손실은 각각 1.92 dB 및 16.3 dB 이다.

Abstract

In this paper, a dual-band pseudo-comblin narrow bandpass filter is proposed. The proposed bandpass filter adopts the open resonant stubs and the proposed bandpass filter can be used for ITS(Intelligent Transport System) and X-band satellite systems application. The proposed bandpass filter has the insertion and return losses of 1.72 dB and 15.5 dB at the bandwidth of 3.6 % and center frequency of 5.8 GHz, respectively. Also, the second operating frequency band for insertion and return losses are 1.92 dB and 16.3 dB at the bandwidth of 3% and center frequency of 8.5 GHz, respectively.

Key words : Dual-band, Tapped-line, Open resonant stub, Pseudo-comblin, J-inverter

I. 서 론

현대의 이동 및 위성통신망은 실시간 통신이 가능하도록 넓은 지역에서 신속하고 정확한 통신 서비스를 제공할 수가 있어 21세기의 기반 산업으로 주목 받고 있고 차량의 수가 급증 하면서 지능

형 교통시스템 (ITS: Intelligent Transport System)은 체계적으로 기술이 발전되면서 유무선 통합 통신망을 구축하여 효율적으로 사용할 수 있도록 구축되고 있다[1]. 지능형 교통시스템의 적용을 위한 무선 통신 시스템에서는 주파수의 대역폭을 효율적으로 나누어 사용하기 때문에 대역폭을 분할하여 필요한

* 주저자 : 전자부품연구원 에너지디스플레이 연구본부

** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정

*** 공저자 : 광운대학교 전파공학과 석사과정

**** 공저자 및 교신저자 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

† 논문접수일 : 2011년 9월 16일

† 논문접수일 : 2011년 11월 8일

† 논문접수일 : 2011년 11월 25일

정보들만 전송시키게 되는데 이때 협대역을 갖는 대역통과 여파기를 사용하게 된다[2]. 또한 무선통신 시스템 및 부품의 기술이 발전함에 따라 다중형(Multi-type) 부품 활용도가 높아지면서 부품 개발에 주안점을 두고 있다[3]. 여파기의 경우, 한 개의 여파기에서 이중 대역의 통과 및 차단이 가능한 이중대역 대역통과 여파기를 예를 들 수가 있다[4].

이중대역 대역통과 여파기의 예로써는 ITS 혹은 무선 LAN 시스템과 X-밴드의 군사용 위성 레이더 시스템에 모두 적용이 가능하도록 설계된 대역통과 여파기이다. 이러한 이중대역 대역통과 여파기는 매우 경제적이면서 부품의 크기를 단축시키는데 매우 도움이 되고 여파기를 설계할 때는 응답특성이 매우 중요하겠지만 사용을 위한 부품의 단가 또한 중요하며, 대역통과 여파기에서는 결합선로를 이용한 방법이 있는데 이는 다른 시스템의 능/수동 회로와의 호환성이 우수하고 공정이 단순하여 매우 경제적이라 할 수 있다[5].

본 논문에서는 결합선로(coupled-line)와 탭-선로(tapped-line), 그리고 개방형 공진 스텐브(stub)를 이용한 협대역 이중대역의 Pseudo-compline 대역통과 여파기를 제안하였고, 3단의 구조로 적용하였으며, 체비셰프(Chebyshev)의 균등성(symmetric) 구조와 삽입손실 0.001 dB를 갖는 이중대역 여파기를 설계하였다.

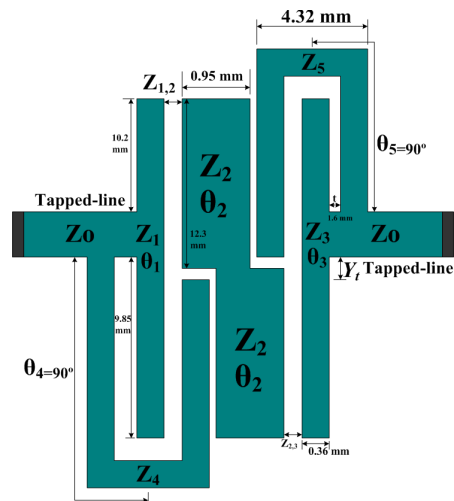
II. Pseudo-Compline 대역통과 여파기

일반적인 Pseudo-compline 대역통과 여파기는 $\lambda/2$ 개방형 스텐브들과 스텐브 사이에 용량성(capacitance) 결합(coupling) 그리고 입출력의 급전선로(feeding-line) 단에 탭(tapped-line)들이 각각 연결되어 있다[6]. 탭선로의 장점은 대역폭을 조절할 수가 있고 저지대역에 감쇠-극점(Attenuation-pole)을 추가하여 통과 대역의 주파수 선택도를 향상시킬 수가 있으며 여파기의 구현을 용이하게 할 수가 있다[6]. Pseudo-compline 대역 통과 여파기는 협대역

으로 구현이 용이하며 이는 탭-선로의 위치를 조절하면서 대역폭을 자유롭게 변형할 수가 있다는 장점이 있다. 또한 Pseudo-compline 대역 통과 여파기는 반파장의 개방형 스텐브와 갭(gap)-결합 구조로 구성되어 있어 단가 면에서도 경제적이면서 비아-hole(via-hole)의 설계가 필요 없으므로 비아의 흡수 손실과 무관하게 되면서 여파기의 응답 특성이 우수하게 된다. 그러나, 일반적인 Pseudo-compline 대역 통과 여파기는 주로 단일대역(single-band) 전용으로만 사용할 수 있다는 단점이 있다[7]. 만일 이중대역(dual-band)으로 설계하기 위해서는 또 다른 설계 방법을 제안해야 할 필요가 있다.

III. 이중대역 Pseudo-Compline 대역통과 여파기 구조 및 설계

이중대역 Pseudo-compline 대역통과 여파기는 3단의 구조를 갖고 있고 높은 임피던스를 갖는 개방형 스텐브 (Z_1, Z_3)들과 불연속 구조의 낮은 임피던스를 갖는 개방형 스텐브(Z_2) 등 각각 병렬로 구성되어 있고, 스텐브들의 사이에는 각각 용량성 갭($Z_{1,2}, Z_2, Z_3$)이 <그림 1>과 같이 연결되어 있다.



<그림 1> 이중대역 Pseudo-compline 대역통과 여파기 (Fig. 1) A dual-band Pseudo-compline bandpass filter Pseudo-compline

대역통과 여파기는 추가적으로 개방형 공진 스테르브(Z_4, Z_5)들이 중간의 불연속 구조를 갖는 스테르브(Z_2)와 용량성 겹으로 연결되어져 있는데 이 모든 공진 스테르브들은 양 끝단의 탭-선로 위치에 연결이 된다. 이중대역이 가능하게 하기 위해 개방형 공진 스테르브(Z_4, Z_5)들을 삽입 하였고 본래의 Pseudo-comblne 스테르브($Z_1 \sim Z_3$)들은 첫 번째 운용주파수 대역(5.8 GHz)을, 그리고 개방형 공진 스테르브(Z_4, Z_5)들은 두 번째 운용 주파수 대역(8.5 GHz)을 통과 시켜주기 위한 역할을 하게 된다.

이중대역 Pseudo-comblne 대역통과 여파기의 물리적 길이는 $\theta_1 \sim \theta_3$ 까지 각각 180° 의 길이를 갖게 된다. 첫 번째 운용 주파수의 대역 통과에 해당되는 Pseudo-comblne 대역통과 여파기를 설계하기 위해서는 사용되는 식이 여러 가지의 방법이 있겠지만 본 여파기에서는 식(1)에 해당되는 간단한 풀이 방식으로 제시를 하였다.

$$\theta = \frac{\pi}{2} \left(1 - \frac{FBW}{2} \right) \tag{1}$$

$$Y_t = \frac{Y_1}{\tan \theta}$$

여기서, FBW은 대역폭 (Frational Bandwidth)이고, Y_1 은 특성 어드미턴스 (Admittance)이다.

식(2)는 Pseudo-comblne 대역통과 여파기의 J-인버터와 우(even)와 기(odd) 모드(mode)의 어드미턴스 및 임피던스(impedance)에 관한 식이다.

$$J_{i,i+1} = \frac{Y_t}{g_i g_{i+1}}, \quad Y_{i,i+1} = J_{i,i+1} \sin \theta \tag{2}$$

$$Z_{eoi,2} = \frac{1}{Y \pm Y_{1,2}}, \quad Z_{con,n-1} = \frac{1}{Y \pm Y_{n,n+1}}$$

$$Z_{e,oi,i+1} = \frac{1}{Y \pm (Y_{i,\pm 1}) \pm (Y_{i,i+1}) \pm (Y_{i+1,i})}$$

g_i 는 저역통과 여파기의 기본형에서 주어지는 파라미터이고, $J_{i,i+1}$ 와 $Y_{i,i+1}$ 은 우 및 기 모드에 관한 인버터와 어드미턴스이며 n 은 comblne의 마지막 단을 의미한다. 또한 $Z_{e,0}$ 는 우 및 기모드에 관한 특성

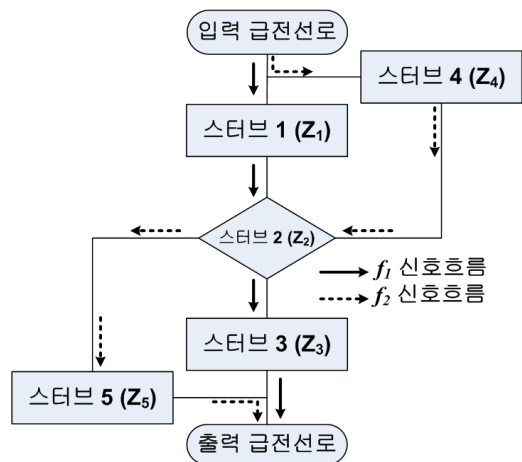
임피던스이다 [8]. 두 번째 운용 주파수 대역을 통과 시켜주기 위한 급전선로에 바로 연결된 90° 길이를 갖는 임피던스는 8.5 GHz에서 128 Ω 을 갖게 된다. 불연속 스테르브 구조 (Z_2)와 겹으로 연결된 개방형 공진 스테르브 (Z_4, Z_5)들의 임피던스는 식(3)과 같이 주어진다.

$$\frac{1}{2}(Z_e - Z_o) = JZ_0^2 \tag{3}$$

여기서 Z_0 는 특성 임피던스를 의미하게 된다.

제안한 이중대역 Pseudo-comblne 대역통과 여파기의 동작원리는 <그림 2>와 같다. 그림과 같이 실선의 화살표는 첫 번째 운용 주파수의 신호이다.

점선의 화살표는 두 번째 운용 주파수의 신호를 나타낸다. 이때, 첫 번째와 두 번째의 운용주파수의 대역들이 모두 입력 급전선로로 입사하게 되며 첫 번째 운용 주파수 대역의 신호는 스테르브($Z_1 \sim Z_3$)의 순서대로 통과하게 된다. 반면에 두 번째 운용 주파수 대역의 신호는 입력 급전선로(feeding-line)에 연결된 공진 스테르브(Z_4)를 통해 전송되면서 불연속 구조를 갖는 스테르브와 결합되면서 다음의 개방형 공진 스테르브(Z_5)로 투과하게 된 후 마지막으로 두 번째의 급전선로로 통과하게 된다.

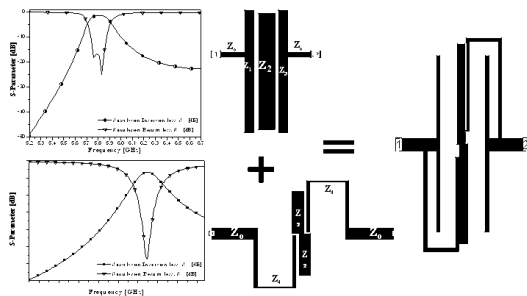


<그림 2> 제안한 이중대역 대역통과 여파기의 신호 흐름도
(Fig. 2) Signal flow chart for the proposed dual-band bandpass filter

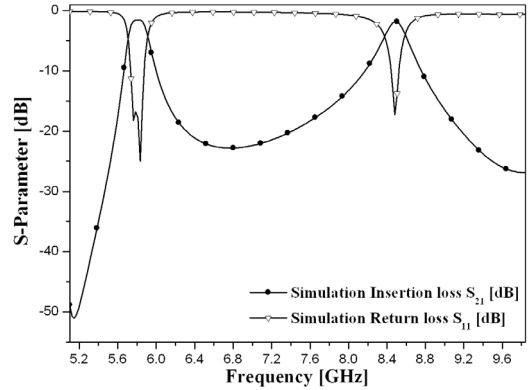
이때, 첫 번째와 두 번째의 운용 주파수 대역 그리고 저지대역들은 서로 독립적으로 동작하면서 전송이 이루어진다. 또한 독립적으로 전송이 가능하도록 스텔브 Z_2 사이를 둔 Z_4 와 Z_5 의 길이 및 임피던스 그리고 용량성, 불연속 구조는 적절한 조절을 통하여 우수한 특성을 얻도록 한다.

제안한 이중 대역의 대역통과 여파기를 설계하기에 앞서 먼저 순서대로 설계를 하여 실험적 접근법을 통해 동작의 반응에 대하여 관찰을 한다.

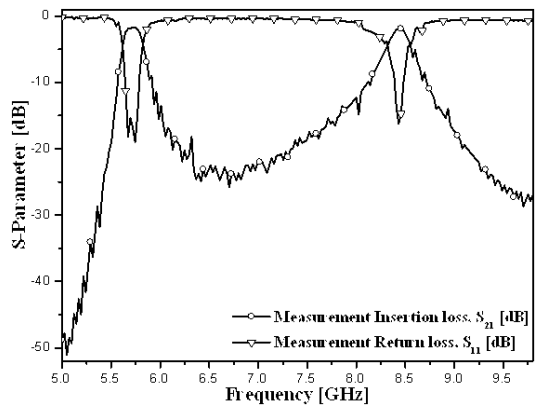
이러한 설계 순서 과정을 <그림 3>에 제시하였다. 이때, 서로 다른 주파수를 갖는 Pseudo-combine 대역통과 여파기와 개방형 공진 스텔브가 연결된 대역통과 여파기를 각각 설계 하여 응답 결과에 대한 것을 관찰 및 확인 한 후 두 여파기를 합성을 하여 <그림 1>과 같이 새로운 이중대역의 대역통과 여파기가 구현되도록 설계를 하였다. 이때, 합성 결과로써 저대역 대역통과와 고대역 대역통과의 특성에서 많은 삽입손실 (약 1.2 dB정도)을 발생 하였다. 그 이유는 서로 다른 구조적인 특성상 임피던스의 차이 즉, Z_2 와 Z_5 사이의 캐패시턴스로 인한 손실 및 Z_2 의 상측과 하측의 중간지점에 대한 불연속 구조로 삽입손실과 반사손실이 발생하게 되는데 이때 급전선로(Z_0)에 연결된 Z_5 의 위치(t)를 이동시키면서 Z_2 와 Z_5 사이의 결합계수(coupling)의 양을 조절함으로써 삽입손실과 반사손실을 개선시킬 수가 있었다. 또한 급전선로의 위치의 이동에 따라 대역폭이 조절되고 공진 스텔브 및 combline의 길이를 조절함에 따라 주파수가 결정되며 결합 계수에 따라 손실 등이 개선된다.



<그림 3> 이중대역통과 여파기의 설계 순서
<Fig. 3> Design sequence for the dual-band bandpass filter



(a)



(b)

<그림 4> 이중대역 Pseudo-combine 대역통과 여파기의 실험결과 (a) 시뮬레이션 결과 (b) 측정 결과
<Fig. 4> Experimental results for the dual-band Pseudo-combine bandpass filter (a) simulation result (b) measurement result

<그림 4>는 제안한 이중대역의 Pseudo-combine 대역통과 여파기에 관한 실험결과이고, <표 1>에 실험 결과에 대한 값들을 제시하였다.

<표 1> 제안한 여파기 실험결과
<Table 1> Experimental results of the proposed filter

중심 주파수 [GHz]	대역 폭 [%]	시뮬레이션 결과		측정 결과[dB]		
		삽입손실 S21 [dB]	반사손실 S11 [dB]	삽입손실 S21 [dB]	반사손실 S11 [dB]	
f_1	5.8	3.6	1.53	16.0	1.72	15.5
f_2	8.5	3.0	1.76	17.4	1.92	16.3

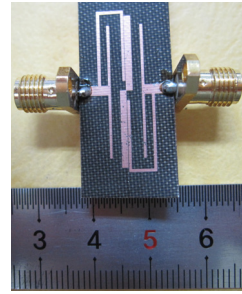
여기서 Z_2 의 경우는 불연속 구조로 구성되어 반사파가 발생되므로 약간의 삽입손실이 발생 할 수가 있다. 뿐만 아니라 실험적 접근 방법을 관찰하였을 때 5%의 협대역 미만에서는 대역폭이 좁아지면서 삽입손실이 발생되는 것을 확인 할 수가 있었다. 본 실험 결과에서는 최적화를 하여 삽입손실을 최소화 하는데 기여하였다. 기존의 comblin 대역통과 여파기는 구조적인 특성상 탭선로 위치 이동에 따라 대역폭이 5%-20% 사이로 동작하였다 [7]. 만일 그 이하로 좁아지게 된다면 삽입손실 값이 현저히 떨어지기 때문에 이를 절충하여 대역폭을 결정 할 필요가 있다. 만일 시스템에 적용하기 위해서는 3%의 대역폭과 그에 해당되는 삽입손실 값 까지는 허용이 된다고 판단이 된다. 추가적으로 저대역과 고대역 대역통과 지점에서는 주파수의 차이로 인해 삽입손실 값 또한 차이가 발생 할 수도 있다.

<표 2>는 제안한 이중대역 대역통과 여파기와 기존에 출간된 대역통과 여파기들과의 비교에 대해 제시를 한다. 표에서 참고문헌의 경우, 4.4의 유전율(ϵ_r) 값을 갖는 기판을 사용한 이중대역 대역통과 여파기로서 Self-귀환 구조를 적용하였다 [9]. 이때 제안한 여파기 보다 높은 유전율을 사용하였는데도 불구하고 크기에 대한 차별성이 구분되지가 않다.

뿐만 아니라 대역폭이 10%가 넘기 때문에 시스템의 적용이 어려울 수가 있다. 표에 명시된 다음 참고문헌의 경우, 제안한 여파기 보다 특성이 우수

<표 2> 이중대역 대역통과 여파기의 특성 비교
(Table 2) Comparison for characteristic of the dualband bandpass filters.

Ref [#]	주파수 [GHz] (f_1/f_2)	삽입 손실 [dB] (f_1/f_2)	반사 손실 [dB] (f_1/f_2)	대역폭 [%] (f_1/f_2)
This work	5.80/	1.72/	15.5/	3.6/
	8.50	1.92	16.3	3.0
[9]	2.46/	1.85/	13.0/	16/
	5.60	1.90	13.0	34
[10]	8.92/	3.25/	13.0/	3.5/
	9.87	3.15	14.0	3.5



<그림 5> 이중대역 Pseudo-comblin 대역통과 여파기 사진
(Fig. 5) Photograph of the dual-band Pseudo-comblin bandpass filter

하지가 않는 것으로 보아 제안한 여파기는 삽입손실과 반사손실 면에서 우수함이 증명 된다 [10]. <그림 5>는 유전전율 2.54, 기판 높이 0.54 mm 그리고 도체 높이 0.18 μm 인 마이크로스트립(microstrip) 선로를 갖는 테프론 (Teflon) 기판을 이용하여 wet-etching 을 통해 제작된 Pseudo-comblin 대역통과 여파기에 관한 사진이다. 여파기의 크기는 $9.55 \times 26.1 \text{ mm}^2$ 이다.

IV. 결 론

본 논문은 이중대역으로 동작이 가능한 협대역 Pseudo-comblin 대역통과 여파기를 제안 하였다. 제안한 여파기는 기존의 여파기와 같이 3단의 스테브들과 각 급전선로 부분에 개방형 공진 스테브를 삽입하여 이중대역이 가능하도록 설계를 하였다. 이중 대역의 Pseudo-comblin 대역통과 여파기는 소자 하나로 ITS와 X밴드를 모두 적용 할 수가 있다. 설계된 여파기는 첫 번째 운용 주파수 대역에서 중심 주파수 5.8 GHz, 대역폭 3.6 % 그리고 삽입 및 반사 손실에서는 1.72 dB 및 15.5 dB의 값을 각각 얻었으며, 두 번째 운용 주파수 대역에서는 중심 주파수 8.5 GHz, 대역폭 3 % 그리고 삽입 및 반사 손실은 1.92 dB 및 16.3 dB의 결과 값을 각각 얻었다.

본 여파기는 구조의 특성 임피던스를 이용하여 추후 MMIC(Monolithic Microwave Integrated Circuit)

공정을 통해 대량 생산이 가능할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2011년도 광운대학교 연구년 수행에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 허유진, 이일근, 김상암, 박종민, 이영훈, “이동 위성업무를 위한 다중빔 위성망 하향링크 간섭 조정,” *한국정보기술학회논문지*, vol. 8, no. 2, pp.43-49, 2010년 2월.
- [2] 김경근, 임영석, “이중 공진기를 이용한 이중대역통과 필터,” *한국전자과학회 논문지*, vol. 21, no. 3, pp.253-261, 2010년 3월.
- [3] 고영혁, 박성일, “위성DMB/WiBro 중계기용 LHCP 안테나 설계 및 제작,” *한국정보기술학회 논문지*, vol. 8, no. 10, pp.35-43, 2010년 10월.
- [4] 김군태, 고재형, 백현, 권소현, 김형석, “SIR을 이용한 RFID용 이중대역 필터 설계 연구,” *대한전기학회 하계학술대회 논문집*, pp.1603-1604, 2009년 7월.
- [5] 이승구, 하정제, 이용식, “결합선로 이중 대역필터의 대역폭이 줄지 않는 설계,” *한국전자과학회 논문지*, vol. 21, no. 3, pp.245-252, 2010년 3월.
- [6] 윤기철, 이동기, 남희, Li Meng, 최교순, 이중철, “협대역 Pseudo-comblin 이중대역 대역통과 여파기,” *한국 ITS학회 추계 학술대회 논문집*, pp.145-148, 2010년 10월.
- [7] J. S. Hong and M. J. Lancaster, *Microstrip filters for RF/Microwave applications*, John Wiley & Sons, 2001.
- [8] G. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave filters, impedance matching networks, and coupling structures*, Artech House, Dedham, MA, 1980.
- [9] X. Chen, G. Han, R. Ma, J. Gao, and Wenmei Zhang, “Design of balanced Dual-band bandpass filter with Self-feedback structure,” *J. ETRI*, vol. 31, no. 4, pp.475-477, August 2009.
- [10] C. Lugo and J. Papapolymerou, “Dual-mode reconfigurable filter with asymmetrical transmission zeros and center frequency control,” *IEEE Microwave Wireless Components Lett.*, vol. 16, no. 9, pp.499-5011, September 2006.

저자소개



윤 기 철(Yoon, Ki-Cheol)

2011년 10월 ~ 현 재 : 전자부품연구원 에너지디스플레이 연구본부
 2011년 9월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자정보공과대학 전자통신공학과 강사
 2009년 3월 ~ 현 재 : 동양공업전문대학 전기전자통신학부 외래교수
 2011년 8월 : 광운대학교 대학원 전파공학과(공학박사)
 2007년 2월 : 광운대학교 대학원 전파공학과(공학석사)
 2005년 2월 : 우송대학교 컴퓨터전자정보공학부(공학사)



이 현 옥(Lee, Hyun-Wook)

2011년 9월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자정보공과대학 전자통신공학과 강사
 2011년 3월 ~ 현 재 : 동양공업전문대학 전기전자통신학부 외래교수
 2008년 1월 ~ 2009년 11월 : 전자부품연구원 위촉연구원
 2009년 3월 ~ 현 재 : 광운대학교 대학원 전파공학과 박사과정
 2009년 2월 : 광운대학교 대학원 전파공학과(공학석사)



이 멩(Li, Meng)

2010년 ~ 현 재 : 광운대학교 대학원 전파공학과 석사과정
 2009년 7월 : Yanshan Univ(China), EE Dept(공학사)



이 재 영(Lee, Jae-Yeong)

2010년 ~ 현 재 : 광운대학교 대학원 전파공학과 석사과정
 2010년 2월 : 광운대학교 전자정보공과대학 전파공학과 (공학사)



이 중 철(Lee, Jong-Chul)

1996년 3월 ~ 현 재 : 광운대학교 전자융합공학과 전임강사/조교수/부교수/교수
 1994년 4월 ~ 1996년 2월 : 현대전자 광소자 개발실 선임연구원
 1994년 5월 : Texas A&M Univ, EE Dept(공학박사)
 1989년 12월 : Arizona State Univ, EE Dept(공학석사)
 1985년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학석사)
 1983년 2월 : 한양대학교 전자공학과(공학사)