

# 수동 광섬유정렬을 이용한 Nonhermetic 플라스틱 패키지 광모듈

정회원 임 동 철\*, 이 원 종\*, 강 석 업\*\*, 종신회원 박 효 달\*

## Nonhermetic Plastic Packaged Optical Modules of Passive Optical Fiber Alignment Method

Dong-cheol Lim\*, Won-jong Lee\*, Suk-young Kang\*\* *Regular Members,*  
Hyo-dal Park\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문은 GE-PON 등 FTTH용 광액세스망 시스템에 사용되는 저가격 광모듈 제작을 위하여, 1.31/1.49um 양방향 구성의 하이브리드집적 PLC칩을 사용한 효율적인 광모듈 패키징 기술을 제안하였다. 수동 광섬유정렬기술과 nonhermetic 플라스틱 패키지 기술을 적용하여 광모듈을 제작하였으며, 광결합효율과 전기-광학적 특성을 측정하였다. 제작된 광모듈의 광결합효율은 광축정렬 허용오차 40um내에서 0.5dB이하의 광결합손실을 나타내었고, -24dBm 이하의 수신감도와 광출력 1.5mW이상, 소광비 10dB이상, tracking error 0.3dB이하의 온도특성이 GE-PON ONU용 광모듈 규격을 만족함을 확인하였다.

**key Words** : FTTH, GE-PON, OSA, Passive Alignment, Nonhermetic

### ABSTRACT

In this paper, We proposed a efficient OSA(Optical Sub-Assembly) packaging method in use 1.31/1.49um bi-directional hybrid-integrated PLC chip for low-cost OSA in optical access network system applications as GE-PON in FTTH. Fabricated OSA with passive optical fiber alignment and nonhermetic plastic package method and measured optical coupling efficiency and electric-optical characteristics. Its performance is feasible to satisfy the GE-PON ONU specifications with the results as less than 0.5dB coupling losses within 40um alignment of z-axis and less than -24dBm sensitivity. It also has good temperature characteristics to sustain optical output power more than 1.5mW and 10dB extinction ratio, less than 0.3dB tracking error.

### I. 서 론

최근에 초고속, 광대역 가입자통신망으로 FTTH (Fiber To the Home)가 적용되고 있고, 특히 PON (Passive Optical Network)방식이 경제성과 망구성의 유연성을 장점으로 많이 이용되고 있다. 이러한 광액세스망 시스템의 보급이 확대되기 위해서는 초

고속 양방향 디지털 광통신링크 광송수신기용 광모듈의 저가격화, 소형화, 다기능화, 대량생산이 가능한 기술이 필요하다.

이와 같은 요건은 대부분 광모듈 패키징 기술의 발전과 개선을 통해 구현되고 있다. 특히 현재 패키징 기술로 가장 많이 이용하는 능동 광정렬기술과 Hermetic sealing 기술은 고가의 광정렬장비와 많은

\* 인하대학교 전자공학과, \*\* 한국해양대학교 전파공학과

논문번호 : KICS2006-09-385, 접수일자 : 2006년 9월 16일, 최종논문접수일자 : 2006년 11월 16일

광부품 사용, 소형화 및 공정자동화의 어려움 등으로 저가격, 대량생산에 한계가 있고, 대안으로써 수동 광정렬기술을 이용하여 저가격, 대량생산이 가능한 패키징 기술이 연구되고 있다. 특히 하이브리드 집적 PLC(Planar Lightwave Circuit)기반 수동 광정렬기술<sup>[1,2]</sup>은 다양한 광전소자를 집적하여 부품수와 소형화를 구현하고 있으며, Nonhermetic 플라스틱 패키지 기술과<sup>[3-5]</sup> 수동 광정렬을 이용하여 패키지 비용절감과 자동화를 통한 대량생산 기술이 연구되고 있다.

본 논문에서는 하이브리드집적 PLC기반 광소자를 Nonhermetic 플라스틱 패키지 기술과 수동 광섬유 정렬기술을 이용하여 제작하였다. 특히 저가격, 대량생산 제조기술이 축적된 반도체 IC 패키징 기술에서 많이 이용되는 COB(Chip on Board) 패키징 기술을 광모듈에 적용하였다. 제작한 광모듈의 광결합효율과 전기-광학적 특성이 GE-PON(Gigabit Ethernet PON) ONU(Optical Network Unit)용 양방향 광송수신기 규격(IEEE 802.3ah, 1000BASE-PX-10)을 만족하는지 측정하였으며, 향후 신뢰성시험과 상용화를 만족시키기 위한 연구 방향을 제시하였다.

## II. 광모듈 구조 및 제작방법

제작한 광모듈을 그림 1에 나타내었다. 이 광모듈은 반도체 IC와 동일하게 PCB(Printed Circuit Board)에 표면실장이 가능하고 14핀 구조로 만들어졌으며, 본체의 크기는 7(W)x15(L)x2.95(H)mm이다. 1.31/1.49um 양방향 단일광섬유 광송수신이 가능하도록 되어있고, SFF(Small Form Factor) 구조의 광송수신기에 내장될 수 있는 초소형 크기로 제작하였다.

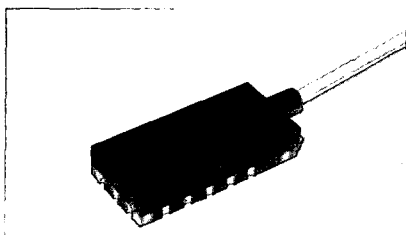


그림 1. 제작한 광모듈(크기: 7x15x3mm)

### 2.1 광모듈 내부구조

광모듈 내부구조는 그림 2에서와 같이 임피던스 정합과 전기적 노이즈를 최소화하는 구조로 패턴을

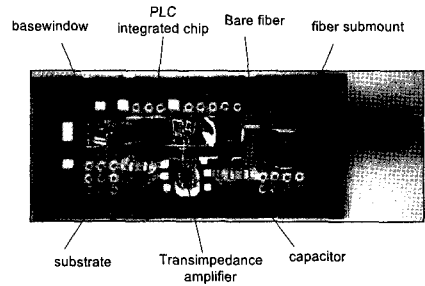


그림 2. 광모듈 내부구조

형성한 FR4재질의 기판위에 하이브리드집적 PLC칩과 광섬유가 정렬되어 고정되고, 광섬유의 인장강도를 보완하기 위한 U홈의 광섬유 submount, 그리고 광섬유 자켓을 고정하고 광모듈 내부소자를 보호하기 위한 basewindow로 구성되었다. basewindow와 submount, Lid는 플라스틱재질로 사출성형하였다. 광전류를 증폭하는 TIA(Trans-Impedance Amplifier) 칩과 노이즈 필터용 캐패시터가 도전성 에폭시로 기판의 패턴위에 접착되었고, 각 부품간의 연결은 굽기 1mil-Au와이어로 본딩되어 있다.

### 2.2 하이브리드집적 PLC칩 구조

본 논문에서 광모듈 제작에 사용한 하이브리드집적 PLC칩의 구성을 그림 3에 나타내었다. 실리콘 기판위에 실리콘으로 광도파로를 형성하고, SMP(Surface Mount Photonics)기술을<sup>[6]</sup> 이용하여 광도파로위에 광소자를 플립칩본딩하여 광결합하고, V-groove를 통해 단일모드 광섬유와 광도파로간 Butt-coupling이 형성되게 하는 구조이다. 하이브리드집적 PLC칩의 구성 및 동작은, 1.31um FP-LD 광출력이 PLC 광도파로를 통해 진행하며, 일부는 모니터 PIN-PD에 분기되어 들어가고 나머지는 광도파로를 따라서 진행하다가 박막광필터에서 반사되어 광도파로와 V-groove에 정렬된 광섬유를 통해서

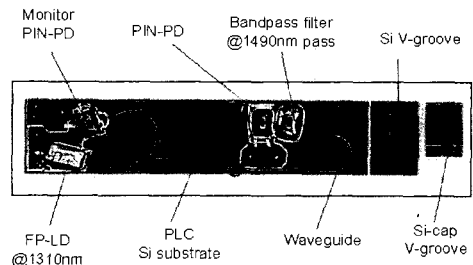


그림 3. 하이브리드집적 PLC칩 구조(크기 : 7.7 x 1.49 x 0.525mm, 美, Xponent社, P/N: XF3-0009)

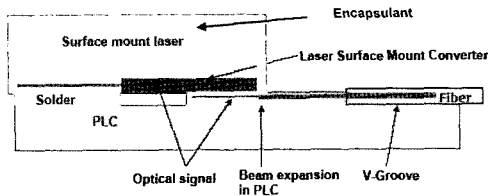


그림 4 SMP 기술로 구성된 PLC칩 구성원리

출력된다.  $1.49\mu\text{m} \pm 10\text{nm}$  파장의 입력광은 V-groove의 광섬유에서 PLC의 광도파로에 결합되고, 박막광 필터를 투과하여 PIN-PD에 입사되어 광전류를 출력하게 된다.

SMP 기술은 그림 4에서와 같이 PLC 기판위에 광도파로와 회로패턴을 형성하고, surface mount converter가 결합된 laser chip을 PLC 광도파로에 플립칩본딩하여 정렬하는 기술이다. 일반적인 edge-emitting laser구조에서 방출된 광신호는 surface mount converter에 입사되고, PLC 광도파로와 ADC(Adiabatic Coupling)<sup>[7]</sup> 기술로 광결합된다. 장점은, 먼저 광소자와 광도파로의 광축정렬오차는 수십 $\mu\text{m}$ , 수평축정렬오차,  $\pm 2\mu\text{m}$  정도로 기존의 광도파로 결합방식에 비해 정렬오차를 훨씬 크게 할 수 있고 100%까지도 광결합을 실현할 수 있다. 이것은 비교적 낮은 정밀도의 플립칩본딩을 이용하여 수율을 높힐 수 있다. 또한 레이저의 facet이 에칭으로 제작되어 크기를 작게 할 수 있어 laser효율이 높고, 모니터PD가 광도파로를 통해 laser 앞쪽에서 결합되어 tracking error를 줄일 수 있다. PLC에 고정된 광소자와 광도파로사이의 SMP 기술로 광결합되어 공간이 존재하지 않으며, 따라서 광소자를 적절한 encapsulant로 밀봉할 수 있게 된다. 이것은 광모듈 패키징에서 요구되는 hermetic sealing을 생략할 수 있게 되어 패키징비용을 대폭적으로 절감하고, 플라스틱 패키지를 사용할 수 있게 한다.

### 2.3 광모듈 제작 방법

광모듈 제작방법을 그림 5에 나타내었다. 전기적 패턴과 열경단자가 전해금도금(soft gold)으로 형성된 FR4 재질의 2층, 두께 1mm 기판위에 하이브리드집적 PLC칩, TIA, 캐패시터, 광섬유 submount를 도전성 에폭시와 열경화 에폭시로 고정하였다. 칩, 전기적패턴, 단자 간의 연결은 1mil 굵기의 Au-와이어로 ball-bonding하였다. 이 모든 작업은 die-bonder와 wire-bonder를 통해 이루어졌다. 플라스틱

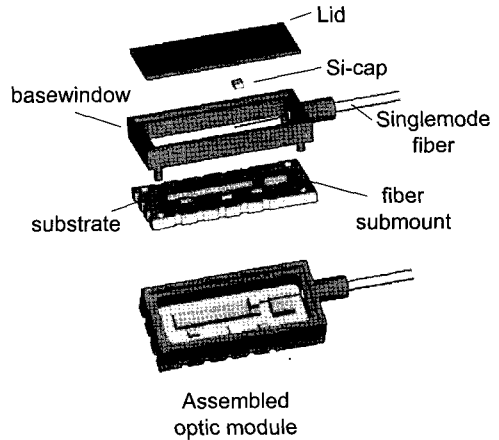


그림 5. 광모듈 제작방법

재질로 구성된 basewindow를 기판에 에폭시와 jig를 이용한 열압착방식으로 고정한다.

초음파 절단기를 사용하여 제작한 단면절단된 광섬유(cleaved fiber)를 basewindow의 원통관을 통해 접근시키고, PLC칩에 형성된 V-groove에 제작한 수동정렬장치를 통해 광섬유 정렬하고 Si-cap으로 고정하였다. V-groove에 고정된 광섬유와 Si-cap은 열경화 에폭시를 사용하여 고정하였고, PLC 광도파로와 광섬유간의 공기 간극은 index matching gel로 충전, 열경화 시켰다. U홈 구조의 플라스틱 재질의 fiber-mount를 사용하여 광섬유를 열경화에폭시로 고정하여, 광섬유의 인장강도를 높였으며, 광섬유 자켓은 베이스윈도우의 원통관내에 열경화 에폭시로 역시 고정하였다. 끝으로 광모듈 구성칩과 와이어본딩의 수분 및 기계적진동 영향을 최소화하기 위한 encapsulant, 에폭시를 광모듈내부에 전체적으로 충전하고, basewindow와 동일한 재질의 lid를 열경화에폭시로 접착하여 제작하였다.

### III. 광결합효율 및 전기-광학적 특성 측정

저가격의 효율적인 광패키징을 위해서는 능동광소자와 single-mode 광섬유간의 광결합효율과 광정렬의 정밀도간의 적절한 trade-off가 매우 중요하다. 제작된 광모듈에서는 Tapered 광도파로와 단면절단된 single-mode 광섬유간의 butt-coupling을 V-groove를 통해서 그림 6과 같이 구현하였으며, 그림 7에서와 같이 PLC의 기판과 동일 평면상에 형성된 V-groove와 Si-cap의 V-groove에 의해 광섬유가 측면정렬(x-y축)이 되고, 그림 8에서와 같이

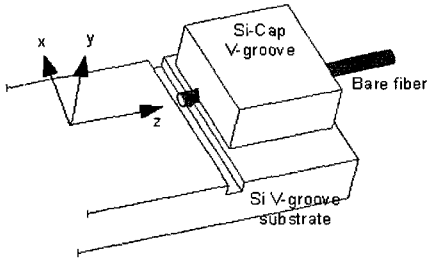


그림 6. V-groove를 이용한 PLC와 광섬유정렬

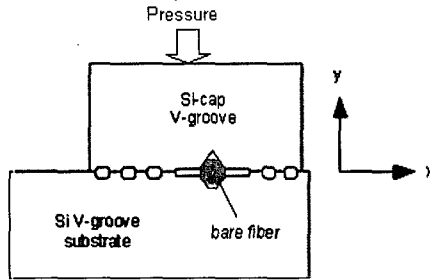


그림 7. V-groove를 이용한 측면정렬(x-y축)

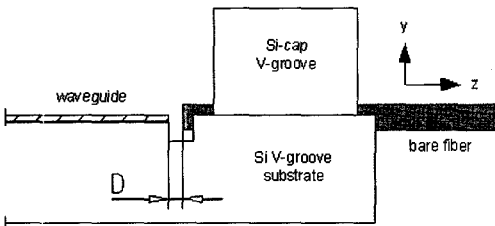


그림 8. V-groove를 이용한 광축정렬(z축)

PLC 광도파로 facet과 광섬유 facet이 광축정렬(z축)에 의해서 광결합이 결정된다. 측면정렬은 Si-cap을 일정압력 이상으로 고정함으로써 self-alignment가 구현되는 구조이다. 따라서 PLC와 Si-cap에 형성된 V-groove의 제작오차와 광섬유의 제작오차에 의해서 광결합효율이 결정된다.

이와 같은 광섬유정렬을 통한 광결합효율과 정렬오차를 측정하였다. 양방향 광송수신 광모듈의 특성을 동시에 모두 만족시키는 광결합 특성을 알아보기 위해서, 광송수신측은 FP-LD와 광섬유의 광결합효율을 LSE(laser slope-efficiency)[W/A] 값으로 측정하였고, 광수신측은 광섬유와 PIN-PD와의 광결합효율을 RES(responsivity)[A/W] 값을 측정하여 비교하였다.

그림 9에서는 측면정렬을 일정압력이상으로 고정

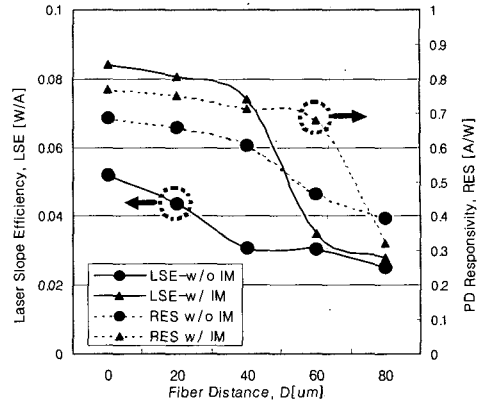


그림 9. 광축정렬(z축)오차와 광결합효율(LSE, RES)

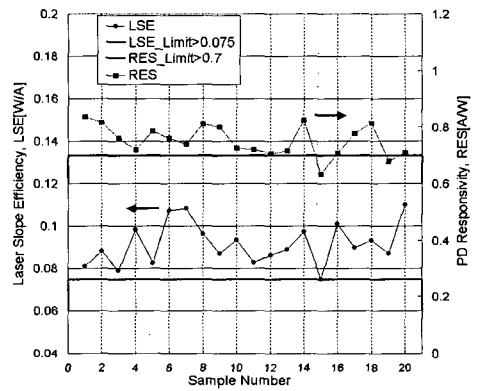


그림 10. 수동 광섬유정렬 제작한 샘플의 광결합효율

하고, 간격 D에 따른 광결합효율과 정렬오차를 측정하여 나타내었다. Index-matching gel을 충전한 경우 급격히 광결합효율이 증가 되었으며, 광축정렬 오차 40um에서 LSE 값이 0.5dB 감소하고, RES는 60um에서 0.5dB 감소한다. 따라서 LSE와 RES를 동시에 만족하는 광정렬오차는 약 40um 정도이며 허용오차의 평탄도가 좋다. 이것은 비교적 넓은 정렬허용오차로써, 광정렬의 허용오차가 넓은 수동 광섬유정렬이 가능하게 하는 요인이라고 할 수 있다. 그림 10에서는 이와 같은 정렬조건과 광파워 모니터링이 없이 수동 광섬유정렬 방법으로 제작된 20개 광모듈의 광결합효율 결과분포를 보여주며, LSE 0.075W/A이상, RES 0.7A/W이상 조건을 만족하고 있다.

제작된 광모듈의 전기적특성을 측정하였다. 그림 11은 제작된 광모듈의 +25°C~+85°C에서의 온도특성을 보여준다. 임계전류, Ith는 17~31mA, laser 순방향전압, Vf는 임계전류 이상에서 1.1~1.5V변화를

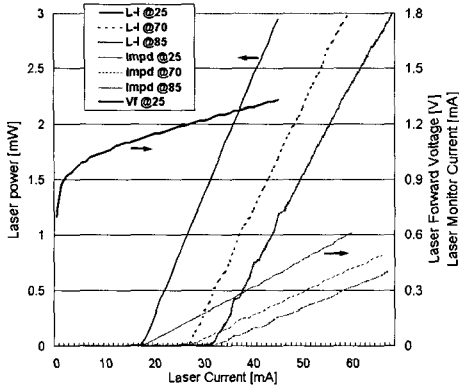


그림 11. LIV-곡선 및 모니터 광전류(@25,70,85degC)

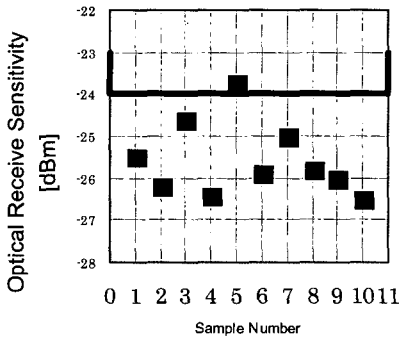
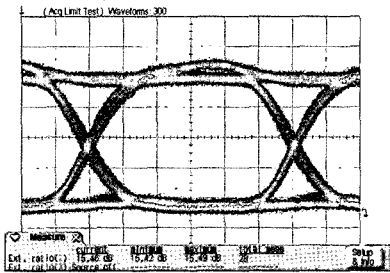
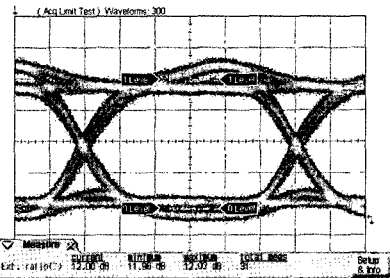


그림 12. 광수신기 수신감도 특성 (@1.25Gbps, 2<sup>23</sup>-1 PRBS, BER<10<sup>-12</sup>)



(a) Eye 특성(@25degC, Pout=1.2dBm, ER=14dB)



(b) Eye 특성(@85degC, Pout=1.5dBm, ER=12dB)

그림 13. 광송신기 eye 특성 (@1.25Gbps, 2<sup>7</sup>-1 PRBS, with OC-48 filter)

보이고, LSE는 0.11~0.08W/A이고, 온도의존 LSE 계수가  $-0.487 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$  정도를 나타내고 있다. 따라서 GE-PON용 광모듈의 평균 광출력인 1.5mW에서 요구되는 바이어스 전류는 50mA 정도이고, 변조전류는 40mA<sub>p-p</sub>이며, 이때 모니터 광전류, Impd는 약 200uA이다. 이것은 PON용 광모듈 규격과 광모듈의 소비전류와 laser 구동IC의 허용구동 전류값을 만족하는 성능을 보여준다. 또한 tracking error는 0.3dB 이하로써 매우 안정된 온도특성을 나타내었다.

또한 광송수신기용 광모듈로써 광수신부의 수신 감도와 광송신부의 eye특성을 측정하여 그림 12와 그림 13에 나타내었다. 이와 같은 특성은 GE-PON ONU용 광송수신기를 구성하는 광모듈로써 적합하다고 판단할 수 있다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 저가격 광모듈 제작을 위하여, 하이브리드집적 PLC칩을 사용한 효과적인 광모듈 패키징 기술을 제안하였다. 수동 광섬유정렬기술과 nonhermetic 플라스틱 패키지 기술을 적용하여 광모듈을 제작하고, 광결합효율과 전기-광학적 특성을 측정하였다. 제작된 광모듈의 광결합효율은 광축정렬 허용오차 40um이내에서 0.5dB이하의 광결합손실을 나타내었고, -24dBm 이하의 수신감도와 1.5mW 이상의 광출력 구동을 위한 온도특성이 GE-PON ONU용 광모듈 규격을 만족할 수 있음을 확인하였다.

제작된 광모듈은 FR4재질의 기판위에 여러 광전소자와 광섬유가 결합되고, nonhermetic 플라스틱 패키지로 구성되어 습도와 관련한 신뢰성특성이 취약할 수 있다. 기존 hermetic sealing 패키지에 적용하는 신뢰성항목을 만족하고, 상용화를 위해서는 제작된 광모듈의 신뢰성측정을 통하여 구성 재료의 열팽창계수와 열전도특성을 보완하여 개선해야 할 것이다. 또한 nonhermetic 패키징을 위한 encapsulation 방법에 관한 연구<sup>8)</sup>를 참조하여 취약한 습도 특성을 보완하여야 할 것이다.

본 논문에서 제안된 기술은 광통신용 광모듈을 하이브리드집적 PLC칩을 이용하여, 성능과 신뢰성을 유지하며, 자동화 대량생산을 통한 저가격 구성이 가능하게 하는 데 참조가 될 것으로 판단한다.

#### 참고 문헌

[1] Y. Yamada et al., "Application of planar lightwave circuit platform to hybrid integrated

optical WDM transceiver/receiver module," *Electron. Lett.*, vol. 31, pp. 1366-1367, 1995.

- [2] N. Uchida et al., "Low-cost hybrid WDM module consisting of a spot-size converted laser diode and a waveguide photodiode on a PLC platform for access network systems," *IEICE Trans. Electron.*, vol. E80-C, pp. 88-97, 1997.
- [3] J.V. Collins et al., "New technology developments make passive laser/fiber alignment a reality," *Proceedings SPIE*, vol. 2610, pp. 108-116, 1995.
- [4] M. Fukuda et al., "Pigtail type laser modules entirely molded in plastic," *Technical Digest ECOC'95*, Brussels, Belgium, vol. We.A.3.5, p.549, 1995.
- [5] K. Tatsuno et al., "High-performance and low-cost plastic optical modules for the access network applications," *Technical Digest, OFC'97*, Dallas, vol. WB3, pp. 111-112, 1997.
- [6] David W. Vernoooy et al., "Alignment-Insensitive Coupling for PLC-Based Surface Mount Photonics," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, No. 1, pp. 269-271, 2004.
- [7] R.B. Smith, "Analytic solutions for linearly tapered directional couplers," *J. Opt. Soc. Amer.*, vol. 66, No. 9, pp. 882-892, 1976.
- [8] J.W. Osenbacht et al., "Temperature-Humidity-Bias Behavior and Acceleration Factors for Nonhermetic uncooled InP-Based lasers," *J. Lightwave Tech.*, vol. 15, No. 5, pp. 861-873, 1997.

**임 동 철 (Dong-cheol Lim)**

정회원



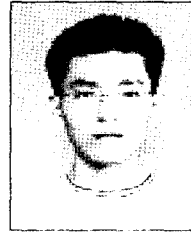
1992년 2월 인하대학교 전자공학과 공학사  
 1998년 2월 인하대학교 전자공학과 공학석사  
 1998년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정  
 1992년 1월~1996년 2월 LG전자

연구원

<관심분야> 이동통신, 안테나, 광통신, 광송수신기

**이 원 증 (Won-jong Lee)**

정회원



2002년 2월 초당대학교 정보통신공학과 공학사  
 2004년 2월 인하대 전자공학과 공학석사  
 2004년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 안테나설계, 전자장

이론, 능동소자설계, 광통신

**강 석 엽 (Suk-youb Kang)**

정회원



1997년 2월 인천대학교 전자공학과 공학사  
 1999년 2월 인하대학교 전자공학과 공학석사  
 2005년 8월 인하대학교 전자공학과 공학박사  
 2005년 5월~현재 (주)아이엔텍

대표이사

2006년 8월~현재 한국해양대학교 전파공학과 연구교수  
 <관심분야> 무선통신시스템설계, 안테나설계, 초고주파시스템설계, 광통신

**박 효 달 (Hyo-dal Park)**

중신회원



1978년 2월 인하대학교 전자공학과 공학사  
 1984년 (불)국립항공우주대 전자공학과 공학석사  
 1987년 (불)국립항공우주대 전자공학과 공학박사  
 1992년~현재 인하대학교 전자공

학과 정교수

<관심분야> 항공통신 시스템 설계, 초고주파 공학, 전자장 이론, 안테나 공학