

논문 2006-43TC-5-5

# ASE 주입형 R-SOA 기반 기가급 WDM-PON 연구

( Giga WDM-PON based on ASE Injection R-SOA )

신 흥 석\*, 현 유 정\*, 이 경 우\*, 박 성 범\*, 신 동 재\*, 정 대 광\*, 김 승 우\*,  
윤 인 국\*, 이 정 석\*, 오 윤 제\*, 박 진 우\*\*

( Hongseok Shin, Yoojeong Hyun, Kyungwoo Lee, Sung-Bum Park, Dongjae Shin, Daekwang Jung,  
Seungwoo Kim, Inkuk Yun, Jeongseok Lee, Yunje Oh, and Jinwoo Park )

## 요 약

낮은 구동 전류에서 이득 포화 현상을 일으키며 높은 변조 속도를 지원하기 위해 충분한 전광 응답 속도가 제공되는 반사형 반도체 광 증폭기(R-SOA)를 TO-can package 형태로 개발하고 기가급 파장분할다중방식 수동형 광가입자망(WDM-PON)에서 적용 가능성을 시험해 보았다. R-SOA의 제작에 Double trench 구조와 개선된 전류 차단층이 도입되어 고속 변조가 가능해졌다. 자기 방출광(ASE) 주입 방식 R-SOA를 기반으로 하는 기가급 WDM-PON에서 전송 가능하기 위해 필요한 주입 광세기 요구 조건과 사용 가능한 온도 범위를 측정하였다. 주입광의 스펙트럼에 따른 R-SOA의 전송 성능의 변화를 초과이득잡음, Q, 에러율 측정을 통해 분석하였다. 제안된 파형이 기 조성된 ASE 공급 방법을 사용하여 출력 스펙트럼 감소에 의한 전송 신호의 품질 저하를 보완할 수 있음을 확인하였다.

## Abstract

Reflective semiconductor optical amplifiers(R-SOAs) were designed with high gain, wide optical bandwidth, high thermal reliability and wide modulation bandwidth in TO-can package for the transmitter of wavelength division multiplexed-passive optical network(WDM-PON) application. Double trench structure and current block layer were introduced in designing the active layer of R-SOA to enable high speed modulation. The injection power requirement and the viable temperature range of WDM-PON system are experimentally analysed in based on Amplified Spontaneous Emission(ASE)-injected R-SOAs. The effect of the different injection spectrum in the gain-saturated R-SOA was experimentally characterized based on the measurements of excessive intensity noise, Q factor, and BER. The proposed spectral pre-composition method reduces the bandwidth of injection source below the AWG bandwidth and thereby avoids spectrum distortion impeding the intensity noise reduction originated from the amplitude squeezing.

**Keywords :** Optical communication, wavelength division multiplexing, passive optical network, optical access network, reflective semiconductor optical amplifier.

## I. 서 론

최근 인터넷을 비롯한 각종 데이터 서비스가 급격히 증가하고 있을 뿐만 아니라 HD(high definition)급 디지

털 방송의 실시, 고품질의 주문형 오디오 및 비디오, 화상회의, 원격 진료, 원격 교육, 등과 같은 각종 미래형 멀티미디어 서비스의 출현이 급증하고 있다. 또한, 홈 네트워크 기술의 발전에 따라 다양한 고화질 고품질의 멀티미디어 서비스에 대한 소비자의 요구와 홈 네트워크의 편리성에 대한 소비자의 인식 확대에 따라 보다 더 편리한 홈 네트워크의 구현에 대한 요구가 증대되고 있다. 이를 충족시키기 위하여 가입자 망에서 제공해야 하는 가입자당 통신 대역폭이 빠른 속도로 증가되고 있으며 가까운 미래에는 약 100 Mb/s의 가입자당 통신

\* 정회원, 삼성전자 통신연구소 차세대기술팀  
(Next Generation Technology Team, Telecommunication R&D center, Samsung Electronics Co.)

\*\* 평생회원, 고려대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Korea University)

접수일자: 2006년4월8일, 수정완료일: 2006년5월16일

대역폭이 필요할 것으로 추정된다. 이러한 추세에 따라, 정부에서는 BcN(broadband convergence network) 구축 계획을 통하여 2010년까지 100 Mb/s 이상의 통신 대역폭을 1000만 가입자에게 제공할 수 있는 광대역 가입자 망을 구축하고자 계획하였으며 단계별로 진행하고 있다<sup>[1]</sup>.

따라서 기존의 ADSL이나 VDSL의 경우와는 달리 전송 거리의 한계나 가입자당 안정적으로 제공될 수 있는 전송속도를 고려한 새로운 광가입자망의 필요성이 대두되었다. 이러한 광가입자망으로는 능동형 광가입자망(Active optical network: AON) 및 수동형 광가입자망(Passive optical network: PON) 기술로 분류되는데, 이들 기술은 다시 시간분할 및 파장분할 방식으로 세분화 할 수 있다.

가격적인 이슈에도 불구하고 전송용량, 보안성 및 확장성 등을 고려할 때, 향후 파장분할다중방식 수동형 광가입자망(wavelength division multiplexed-passive optical network: WDM-PON)이 각광을 받을 것으로 기대된다. 초기 파장분할다중방식 광원으로는 분산 케환 레이저나 다파장 레이저 등을 이용한 WDM-PON이 제안되었다<sup>[2]</sup>. 그러나 WDM-PON 시스템의 가격 경쟁력을 확보하기 위해서는 무엇보다도 저

가의 광원을 제공할 수 있는 기술에 대한 연구가 선행되어야 하는데, 파장 선택성과 안정화가 필요하지 않으며 파장 관리가 용이한 광원을 개발하는 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 최근에는, 발광 다이오드(light emitting diode: LED)<sup>[3]</sup>와 페브리트-페롯 레이저(fabry-perot laser diode: FP LD)<sup>[4]</sup>의 적은 파워와 모드 파티션 노이즈에서 기인하는 불안정한 동작성을 극복하기 위해 최근 파장 주입 반사형 반도체 광 증폭기(reflective semiconductor optical amplifier: R-SOA)가 전송용 광원으로 제시된 바 있다<sup>[5]</sup>.

특히 기가급 WDM-PON은 그 사용범위가 넓고 적용 가능성에 있어서도 시장의 요구와 근접하여 있기에 그에 대한 기술 개발이 시급하다 할 수 있겠다. 채널당 기가급을 전송할 수 있는 시스템은 사설 기업망, 캠퍼스망, enterprise network과 storage area network 뿐 아니라 광가입자망의 Fiber-to-the-Building 등에도 적용이 가능하다. 현재 가입자망의 구조와 통신 사업자가 구상하고 있는 미래의 진화된 구조를 [그림 1]에서 비교해 보았다. 현재 N-topia(KT)와 광랜(하나로통신, 데이콤)이라는 상품명으로 제공되고 있는 AON 방식의 가입자망 구조는 다단 스위치 구조에 인한 최종단 스위치의 상태 파악 및 제어 불가능, 서비스 사업자 소유가 아닌 아파트의 다용도실에 스위치를 위치함에 따른 유지 비용 발생, 그리고 중앙 관리국(central office: CO)에서 지역기지국(remote node: RN)까지의 전송 용량 한계와 그에 따른 가입자망 보장 대역이 적게 되는 등의 단점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 기가급 WDM-PON을 사용하여 CO와 RN 사이의 단일 광섬유에 16~32 기가의 대역폭을 확보하고, RN에서는 전원 공급이 필요하지 않는 수동형 소자인 도파로형 회절 격자(arrayed waveguide grating: AWG)만을 두어 유지 비용을 없애며, 하나의 파장 할당을 통한 직접 연결을 이루어 아파트 동 지하에 위치한 스위치를 상태감시 및 제어할 수 있는 방법을 고려하고 있다. 이를 기술적으로 해결하기 위한 방법 중 가장 적합한 것이 R-SOA를 광송신기로 사용하는 WDM-PON이라고 여겨지며, 그에 대한 기술 개발을 진행하였다.

본고에서는 삼성전자에서 연구 중인 R-SOA를 이용한 기가급 WDM-PON 기술 동향에 대해 기술한다. 우선, II장에서는 WDM-PON 광원으로 사용하기 위한 R-SOA의 요건과 개발 과정에 대해 기술하고, III장에서는 개발된 R-SOA를 기가급 WDM-PON에 적용하여 시험한 결과에 대해 기술하였다. 다음으로 IV장에서 기

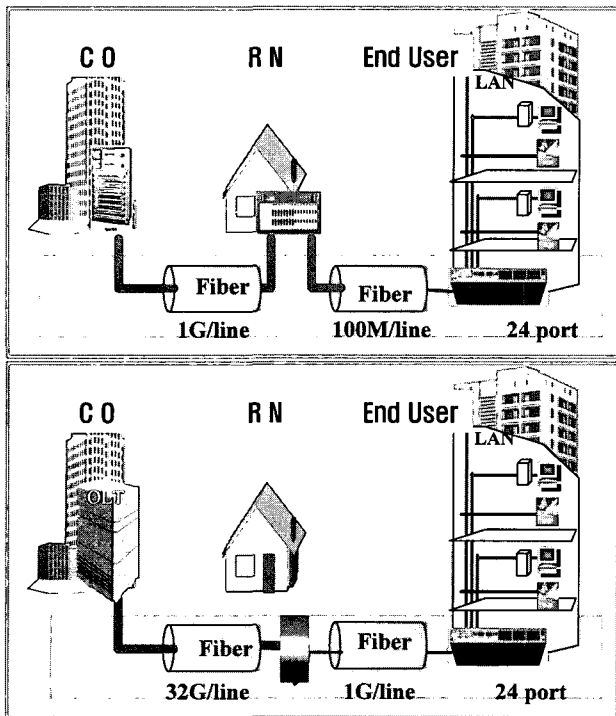


그림 1. 현재 가입자망 구조도(AON, 위)와 미래 진화된 가입자망 구조도(기가급 WDM-PON, 아래)  
Fig. 1. Architectures of optical access network (upper : AON, lower : Giga WDM-PON).

조성된 주입 광원 사용의 필요성과 그 효과에 대해서 기술하고, V장에서 맺음말로 본 보고를 정리하였다.

## II. R-SOA 기반 WDM-PON의 구조와 광원으로 이용되는 R-SOA의 개발

R-SOA를 광송신기로 사용하는 파장분할 다중방식 수동형 광 가입자망의 기본 구조도는 [그림 2]와 같다. 자기 방출 광원(amplified spontaneous emission: ASE)이 AWG에 파장 분할이 되어 R-SOA에 공급되면, 이전의 넓은 R-SOA의 출력 파형은 입력된 파형을 증폭하여 출력하는 파형으로 바뀐다. 동시에 R-SOA를 변조시켜 전송 신호를 실어 보내고, 이 신호를 AWG를 통해 파장 다중을 시켜 전송선로를 통해 전송한다. R-SOA는 입출력단은 반사 방지 코팅을, 그 반대면은 높은 반사 코팅을 하여 구성한다. ASE 광원으로는 어븀 첨가 광섬유 증폭기(erbium-doped fiber amplifier: EDFA), 반사형 반도체 광 증폭기, 초발광 다이오드(super-luminescent light emitting diode: S-LED) 등이 가능하다. WDM-PON을 경제적으로 구성하기 위해서는 상향과 하향의 파장을 서로 다른 파장 밴드로 할당하고 이를 한 가닥의 전송 광섬유를 통해 양방향 전송하는 것이 바람직하다. 각 채널의 파장은 AWG의 주기(free spectral range: FSR)에 의해 반복되면서 나타나기 때문에 그 중 한 영역을 상향 혹은 하향에 쓰도록 하고, 상하향 구분용 파장분할 필터는 송수신기에 위치하도록 한다.

앞선 연구에서 알려진 바와 같이 주입용으로 사용되는 파장 분할된 ASE를 고속 전송에서 사용하는 경우, 자기 방출-자기방출 비트 잡음(spontaneous-spontaneous

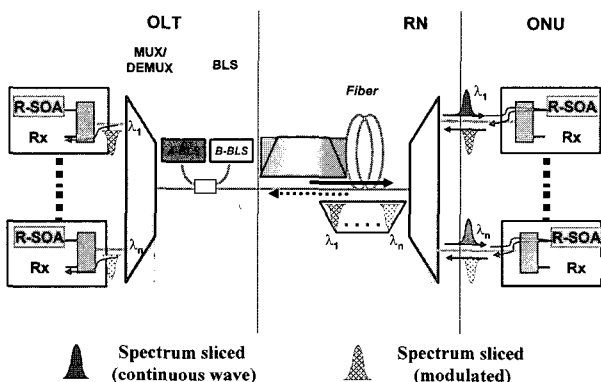


그림 2. R-SOA 기반 WDM-PON 기본 구조도  
Fig. 2. The basic structure of WDM-PON based on ASE-injected R-SOA technology.

beat noise)에 의하여 초과 강도 잡음(excessive intensity noise: EIN)이 크기 때문에 충분한 신호 대 잡음비(Signal-Noise Ratio: SNR)를 가지기 위해서는 선평이 충분한 ASE를 제공해야 한다. 그러나 선평이 넓은 광원을 광섬유로 전송할 경우 분산 효과에 의한 전송 손실이 발생하고 WDM 방식에서는 파장 사용 효율이 줄어들어 이는 한계가 있어 기가급 고속 통신에서는 사용이 제한되어 왔다. 이러한 한계를 R-SOA의 이득 포화 영역에서 사용하여 크기 변동을 최소화하여 WDM-PON 전송 방식에서 spectrum sliced 광원이 가지고 있는 EIN를 효과적으로 줄여 줌으로써 가능하다<sup>[6]</sup>.

[그림 3]에서는 R-SOA의 이득 포화에 의한 spectrum sliced 광원의 EIN이 줄어드는 과정을 설명하고 있다. R-SOA 및 SOA는 광 증폭기로서 소자 내의 입력 신호를 증폭한다. 입력 광세기가 소자의 이득포화에 비해 작을 때는 입력 신호의 광세기가 증가함에 따라 출력 광세기가 일정하게 증가한다. 이는 입력 신호의 광세기에 무관하게 항상 일정한 이득을 갖는 것을 의미한다. 입력 광세기가 증가하여 이득포화영역보다 커지게 되면 입력 신호의 광세기가 증가할수록 이득이 감소하는 현상이 나타나며 이는 입력 광세기 증가에 출력 광세기가 점점 적게 증가하게 된다. 궁극적으로 입력 신호의 광세기가 변화하더라도 출력 광세기는 거의 변하지 않는 상태를 얻을 수 있다. 또한 EDFA와는 달리 입력광세기

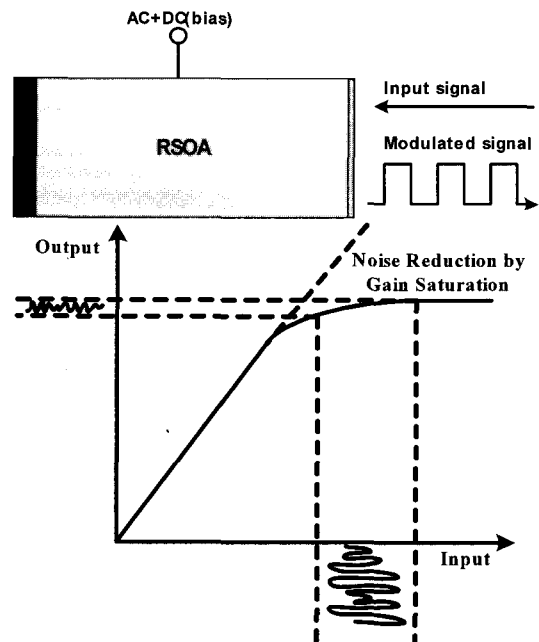


그림 3. R-SOA의 이득 포화에 의한 noise reduction  
Fig. 3. Noise reduction by gain-saturated R-SOA.

의 변화에 따른 이득포화현상은 매우 빠르게 일어나므로 EIN 중에 수 GHz의 주기를 갖는 성분에 해당하는 noise도 줄여 줄 수 있다. 위의 현상을 이용하면 WDM-PON 전송 시스템에서 비간섭광에 존재하는 EIN을 효과적으로 억제하여 보다 높은 변조속도를 갖는 신호 전송이 가능하다.

R-SOA도 LD와 마찬가지로 그 물질의 특성 때문에 온도 변화에 민감한 변화를 보인다. 온도가 상승함에 따라 동일한 공급 전류에 대한 출력 세기가 줄어드는 현상을 보이게 되는데, 이는 광송신기의 출력 세기를 일정하게 만들려는 것에 대해 장애 요소가 된다. 광가입자망 장치는 기간망 전송장치와 달리 항온 환경을 제공할 수 없을 수도 있으므로 일정 범위의 온도 변화를 견딜 수 있어야 한다. 그러므로 가능하면 온도 변화에 대해 덜 민감하도록 R-SOA가 설계되어야 한다. 동일한 시기에 개발한 두 가지 종류의 active layer에 따른 R-SOA의 출력 세기 변화를 비교를 통하여 어떤 종류의 active layer가 광송신기 구조에 적합한지 확인하여 보았다. 기존 증폭용 상용 SOA는 주로 Bulk type의

active layer를 사용하는데, 이를 적용한 R-SOA는 편광 의존 이득을 적은 장점을 가진 반면, 온도 변화에 민감하여 60 °C 정도의 온도 상승에 대해 5 % 미만의 출력 세기를 보였다. 전송용 LD에 많이 사용하는 구조인 Multi-quantum well (MQW) type의 active layer를 사용한 R-SOA는 비교적 온도 변화가 적어 자동 출력 제어를 적용시킬 수 있다<sup>[7]</sup>.

기존 증폭용 상용 SOA의 경우, 구동 전류 영역에 큰 제약을 받지 않아 비교적 높은 전류로 구동되었다. R-SOA는 변조를 시켜야 하기 때문에 LD Driver가 지원하는 전류 규격을 고려해야 하는데, 대부분의 LD Driver는 구동 전류가 100mA 미만이다. 그러므로 낮은 전류 영역에서 높은 이득을 얻을 수 있는 R-SOA가 필요하다. R-SOA 이득 값을 결정짓는 것 중의 하나는 active layer의 길이인데, 길이를 길게 할수록 높은 이득을 얻을 수 있으나, package의 크기에 한계가 있으므로 무한정 길게 할 수 없다. 또한 동일한 조건에서 이득이 커지면 R-SOA가 lasing을 할 확률이 높아지게 되므로 이에 대한 대응은 tilt angle을 조절하여 해결하였다.

1.25 Gb/s의 높은 변조속도에서 구동 가능한 R-SOA를 제작하기 위해서 광 증폭기로 사용하는 SOA와는 달리 고속변조가 가능한 구조를 설계해야 한다. 일반적으로 광 증폭기로 사용하는 SOA의 경우 비교적 낮은 변조속도를 갖는데, 이는 FP-LD 등에 비해 칩의 크기가 크고 lasing을 하지 않으며, 전류 차단층을 비롯한 소자에 존재하는 큰 기생 capacitance가 존재하기 때문이다. 칩의 변조 속도를 향상시키기 위해 p-n blocking layer 대신 p-n-i-n blocking layer를 사용하였으며, 전송용으로 많이 사용되는 DFB-LD 등에 적용되는

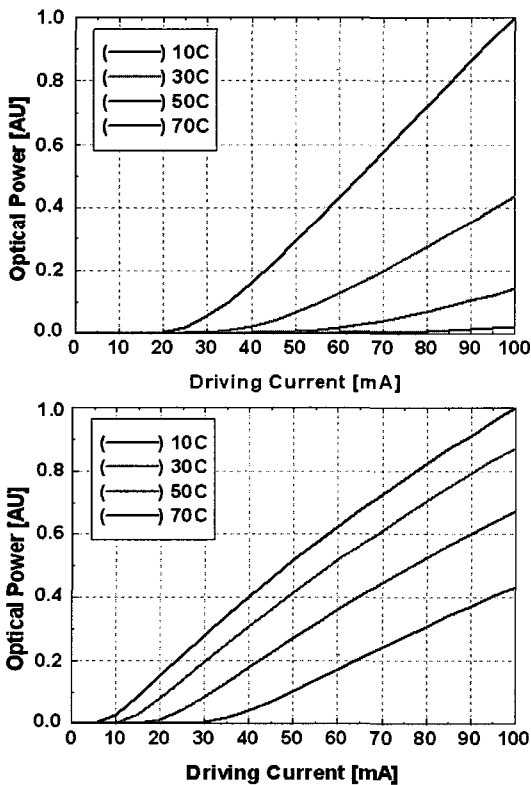


그림 4. Active layer 종류에 따른 R-SOA의 온도에 대한 출력 세기 변화: Bulk type(위)과 MQW type(아래)

Fig. 4. R-SOA output power versus driving current in various temperatures (upper : Bulk type, lower : MQW type).

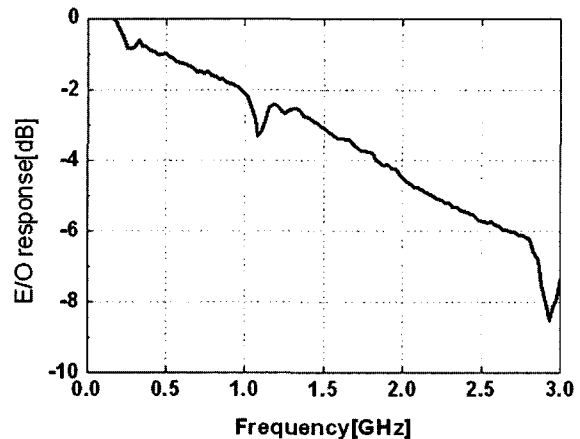


그림 5. 제작된 R-SOA의 전광 응답 반응  
Fig. 5. The measured E/O response of fabricated R-SOA.

Double trench 공정을 도입해서 도파로 주변의 기생 capacitance 용량 성분을 줄였다. 이러한 과정을 바탕으로 제작된 R-SOA의 전광 응답 반응을 측정된 결과 [그림 4]는 50 mA의 구동 전류를 인가하였을 경우 3 dB 지점에서 약 1.1 GHz이었으며, 이는 1.25 Gbit/s로 변조하기 위한 조건인 850 MHz를 만족한다. R-SOA는 TO-can 형태의 package를 채택하여 제작되었으며, 이에 따라 온도 조절 제어부를 제거함으로써 저가의 송신 모듈 제작이 가능함을 보였다.

### III. R-SOA 기반 WDM-PON 전송 실험 결과

R-SOA를 이용하여 [그림 5]와 같이 파장 주입형 WDM-PON에서 하향광원의 전송 시험을 위해 구성하였다. 두 개의 광 증폭기(ASE source와 EDFA)에 의해 생성된 광대역 광원을 도파로형 회절격자 AWG1로 파장 분할한 후 원하는 파장만을 R-SOA에 주입하였다. R-SOA에서 증폭되고 동시에 변조된 출력 신호는 AWG1을 지나, 순환기(Circulator)에 의해 우회하여 광섬유에 전송된 후, AWG2를 통해 수신기에 도착하게 하였다. 가변 광 감쇄기 VOA1, VOA2는 각각 R-SOA에 주입되는 광세기와 수신기의 입력 광세기를 조절하기 위하여 사용되었다. AWG1과 AWG2는 Flat-top형으로, 채널 간 파장 간격이 100 GHz이며, 채널의 반치폭(FWHM)은 0.45nm이다. 해당 실험에서 사용된 R-SOA 모듈은 TO-can package를 적용하여 온도 조절부가 존재하지 않기 때문에 주변 온도는 챔버를 이용하여 설정하였으며, LD controller로부터 공급되는 구동 전류와 Pattern Generator로부터 공급되는 변조 전류 폭을 Bias-Tee를 이용하여 결합하여 R-SOA로 인가하였다.

각 온도에서 입사광이 존재하지 않는 상태에서

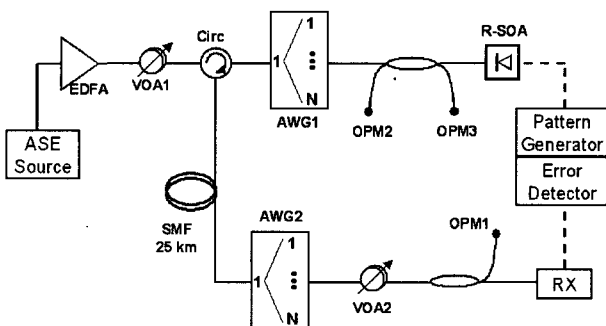


그림 6. R-SOA 기반 WDM-PON의 실험 구성도  
Fig. 6. Experimental setup for 1.25 Gbit/s WDM-PON using R-SOA.

R-SOA의 자기 방출 스펙트럼을 측정하였다. 이를 토대로 온도에 따른 R-SOA의 이득 곡선의 변화를 추정할 수 있다. 스펙트럼 수집은 해당 온도에서 고정 출력 세기에 해당하는 공급 전류를 제공한 상태에서 이루어졌다. R-SOA의 주변 온도가 자기 방출 스펙트럼의 중심 파장은 장파장으로 이동하며, 그 비율은 약 0.5 nm/°C 임을 확인하였다. AWG의 1번과 16번 채널에 해당하는 파장을 표시하였다.

파장 다중을 위한 AWG의 사용에 있어 유의점은 인접한 채널의 작동에 의해 해당 채널의 송신 신호에 대해 손실 여부를 확인하는 것이다. AWG의 규격으로 25 dB의 인접 채널 크로스톡을 규정하고 있는데, 이것이 해당 시스템의 작동에 적당한 규격인지 확인할 필요가 있다. 인접 채널의 존재 유무와 전송 신호 유무에 대한 손실을 측정하였으며 광섬유는 포함되지 않았다. 아래

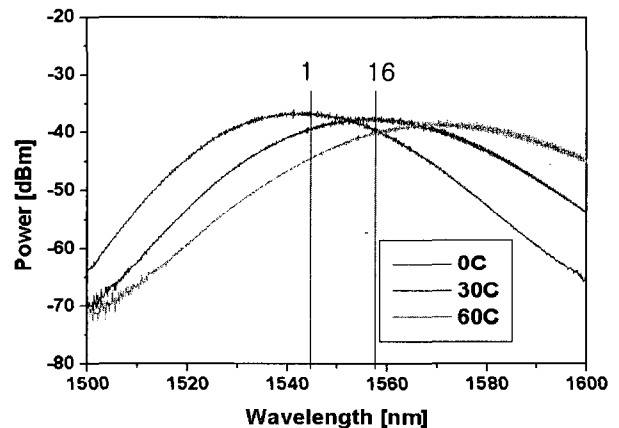


그림 7. 온도에 따른 R-SOA의 자기 방출 스펙트럼  
Fig. 7. The spectral bandwidth of R-SOA without injection light at the temperatures of 0, 30 and 60 °C.

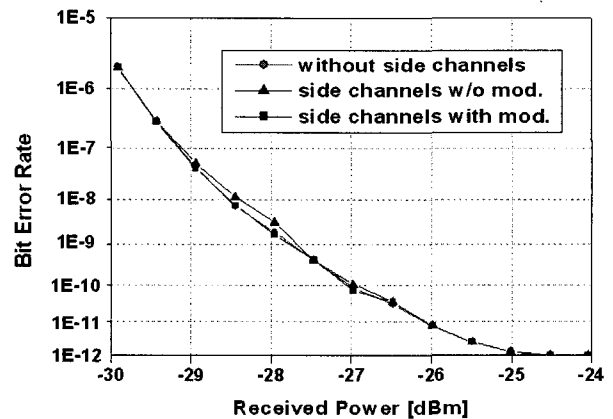


그림 8. 인접 채널의 존재와 변조 유무에 따른 BER 변화  
Fig. 8. BER curve comparison by the presence of the side channels and their modulation.

[그림 7]의 에러 오율(bit error rate: BER) 곡선과 같이 주변 채널의 변조 여부와 상관없이 인접 채널에 의한 손실은 없는 것을 확인하였다.

파장 주입형 R-SOA 전송에 있어서 분산 손실은, 선평이 다른 전송 방식에 비해 크기 때문에 비교적 민감한 시스템 제한 요소가 될 수 있다. R-SOA를 10 혹은 25 km의 표준 광섬유를 통해 전송할 경우의 분산 손실을 측정하였다. 다른 손실 요소를 배제하기 위해 비교적 높은 주입 광세기인 -10 dBm에서, 온도 25 °C로 고정된 환경에서 측정하였다. BER이 10<sup>-9</sup>에서 back-to-back 수신감도는 -26.6 dBm이며, 10 그리고 25 km 전송 후 분산에 의한 손실은 각 0.2 dB와 0.7 dB 이었다. 이로서 WDM-PON 시스템 설계에서는 분산에 의한 손실을 고려해야 함을 확인하였다.

위와 같은 연구 결과를 바탕으로 WDM-PON 시스템의 기본 규격을 아래 표 1과 같이 정하고 전송에 필요한 주입 광세기 규격을 정하는 실험을 수행하였다. 전송 성능 평가 기준 BER은, 수동 광 가입자 중의 다른 경쟁 기술인 AON과 B-PON에서 규정한 표준화 규격에 해당하는 10<sup>-10</sup>으로 채택했다. 채널 간격은 충분한 선평의 주입 광원을 확보하기 위해 100 GHz 간격으로 두었으며, AWG는 송신광의 파형을 보존하기 위해 Flat-top 형태를 사용하였다. 또한 온도 영역도 옥내 기기 동작 조건을 충분히 확보할 수 있도록 0 ~ 60 °C 범위로 두었다.

주어진 WDM-PON 시스템 규격을 바탕으로 광 링크를 형성하고, R-SOA의 주변 온도와 주입 광세기를 변화하면서 수신단의 BER을 측정하여 주입 광세기 요구

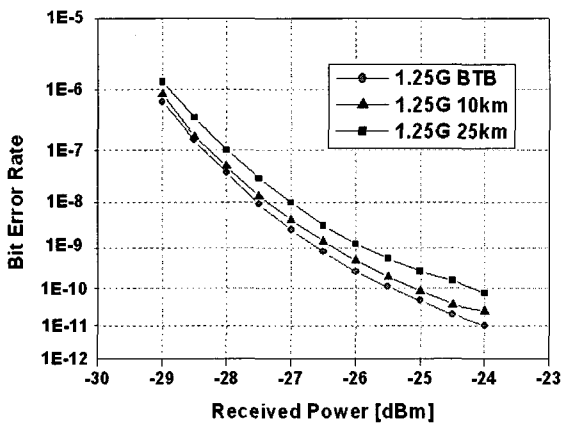


그림 9. 표준 광섬유 전송 전후의 분산 손실에 따른 BER 변화

Fig. 9. BER curves of 1.25Gbit/s transmission over back-to-back, 10 and 25km of SMF.

표 1. WDM-PON 시스템 규격(위) 및 Power budget (아래)

Table 1. System specification of 1.25 Gbit/s WDM-PON based on ASE-injected R-SOA(upper) and Signal power budget of the network(lower).

Classification	Value	
Wavelength Band	S-band	Down-stream
	C-band	Up-stream
Number of Channels	16	
Data rate	1.25 Gbps	
Transmission fiber	25 km	SMF
Channel spacing	100 GHz	
AWG loss	6 dB	Flat-top
BER	10 <sup>-10</sup>	
Temperature	0 ~ 60 °C	

Loss / Power	Value	Unit
AWG	12	dB
Fiber	5	dB
Coupler	3.5	dB
Connector	2.5	dB
Margin	3	dB
Total	26	dB
Minimum sensitivity at Receiver	-26	dBm
Slicing loss at Transmitter	4	dB
Required power at Transmitter	+4	dBm

조건을 구하였다. 1번 채널에 대하여 BER이 10<sup>-10</sup>이 되기 위한 주입 광세기 요구 조건은 -12.8 dBm 이다. 낮은 온도에서는 작은 구동 전류에 의한 jitter의 증가로, 높은 온도에서는 구동 전류에 비하여 변조 전류 폭의 부족함으로 인해 BER의 저하를 보이고 있다. 주입 광세기 요구 조건이 높은 온도의 결과에 의해서 제한되어졌으므로, 충분하게 큰 변조 전류 폭의 제공이 가능한 LD Driver의 사용을 통해 시스템에서 필요한 주입 광세기 요구 조건을 완화시킬 수 있을 것으로 기대한다. 16번 채널에 대하여 BER이 10<sup>-10</sup>이 되기 위한 주입 광세기 요구 조건은 -15.5 dBm 이다.

#### IV. R-SOA 기반 기가급 WDM-PON에서 기 조성된 ASE의 필요성과 그 효과

R-SOA는 파장 선택성이 없으며 넓은 파장영역에서 큰 이득을 제공할 수 있고, 주입되는 ASE의 세기 변동

을 최소화함으로써 EIN을 줄이는 장점을 바탕으로 기가급 WDM-PON의 전송용 광원으로 사용하는 것이 연구되고 있다. 그러나, 줄어드는 잡음은 파장 손실에 민감하게 반응하기 때문에, AWG 등의 파장 분할 다중기를 거치면서 반치폭이 줄어들면, 이득포화 현상으로 인하여 얻어진 주파수 성분의 상호 관계를 깨어 신호 품질을 떨어뜨리게 된다<sup>[8]</sup>. 그런 이유로, Flat-top AWG를 사용하거나 수신 쪽 파장 분할기의 반치폭을 더 크게 하는 방법을 사용하여 파장 손실을 최소화하는 방법을 사용하여왔다. 이 장에서는 파형이 기 조성된 ASE를 주입광으로 사용하여 파장 손실을 줄여 전송 신호의 품질을 높이는 방법을 제안하고, EIN, Q factor, 그리고 Eye diagram을 측정하여 기존 광대역 광원의 사용과 비교하였다. 실험 구성은 [그림 5]와 유사하나 AWG는 Gaussian 형태의 것을 사용하였고, 파형이 기 조성된 ASE는 EDFA와 0.25 nm의 반치폭을 가지는 band pass filter의 조합으로 구성하였다.

일반적으로 넓은 자기방출 광원을 파장 분할하여 전송하는 방식은 수신단에 도착되는 파장의 대역폭을 증가시킬수록 EIN이 낮아지고 그에 따라 SNR이 커져서

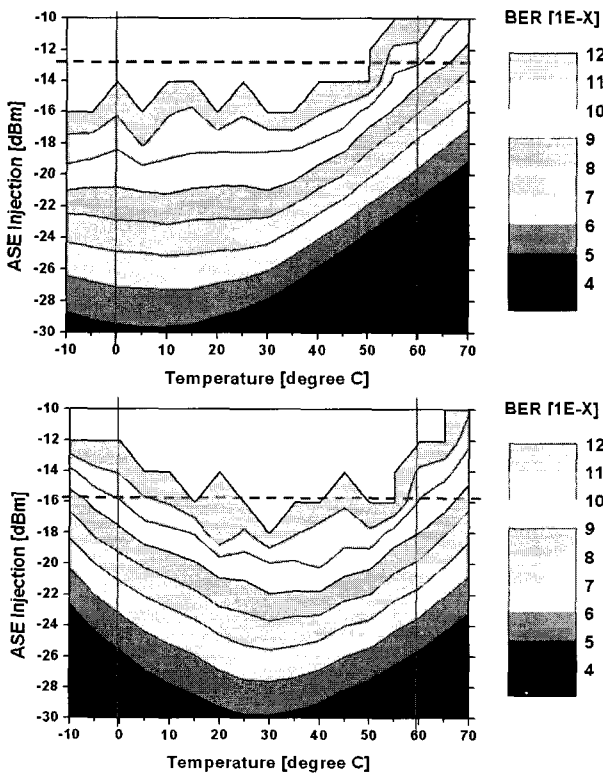


그림 10. 주어진 WDM-PON 시스템에서 주입 광세기 요구 조건을 구하기 위한 BER contour chart  
Fig. 10. BER results of transmission over 25km of SMF as a function of injection power and temperature in a given WDM-PON link.

전송 품질이 좋아진다. 때문에 [그림 10]에서 주입광의 세기가 낮은 영역에서는 보다 넓은 파장을 수신할 수 있는 광대역 광원의 경우가 더 낮은 EIN을 보인다. 주입 광의 세기를 증가시키면 R-SOA의 이득포화 현상으로 인하여 EIN이 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 그리고, 주입광의 세기가 큰 영역에서는 기 조성된 ASE가 R-SOA 출력 광 파형을 보존하는 데 기여하기 때문에 더 낮은 EIN을 얻을 수 있다.

[그림 11]에 나타난 대로, 측정된 Q factor는 위의 EIN 측정 결과와 경향이 일치함을 보이고 있다. 이것은 파장 주입형 R-SOA에 의해 출력된 신호의 품질은 주로 EIN에 의해 결정된다는 것을 보여준다. 그림 내부의

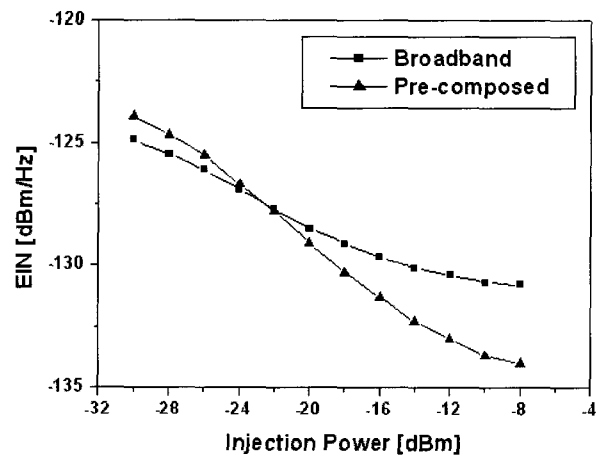


그림 11. 다른 종류의 ASE를 R-SOA에 주입함에 따른 EIN 변화  
Fig. 11. EIN comparison by the different kinds of ASE injection to R-SOA.

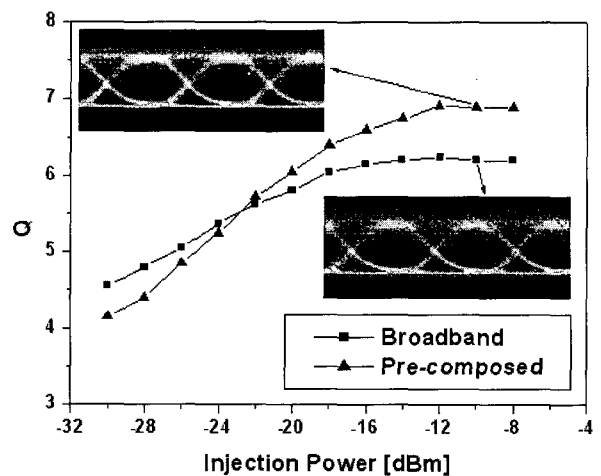


그림 12. 다른 종류의 ASE를 R-SOA에 주입함에 따른 Q factor와 Eye diagram 비교  
Fig. 12. Q factors and Eye diagram comparison by the different kinds of ASE injection to R-SOA.

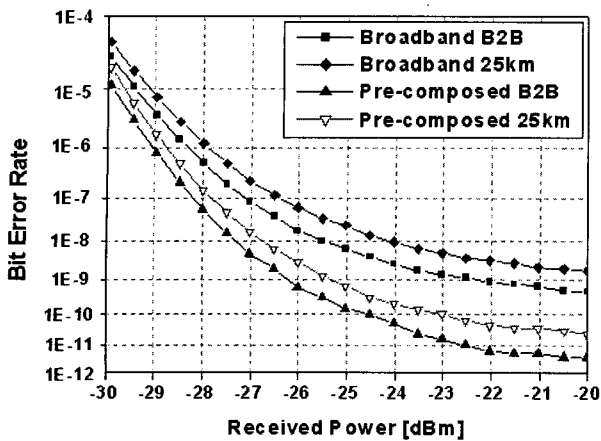


그림 13. 다른 종류의 ASE를 R-SOA에 주입함에 따른 BER 변화

Fig. 13. BER comparison by the different kinds of ASE injection to R-SOA.

Eye diagram들은 주입광의 광 세기가  $-10$  dBm에서 측정된 것이다. 기 조성된 ASE를 사용한 경우에서 '1' 레벨의 두께가 더 작고, 때문에 더 좋은 신호 품질을 보이고 있다.

전송 시험에서는 광대역광원을 사용하였을 경우 back-to-back에서 수신 광세기가 약  $-23$  dBm에서  $10^{-9}$ 의 BER을 얻는 것에 비해, 기 조성된 ASE를 사용하면 약  $3.5$  dB의 수신 감도 개선이 발생하였다.  $25$  km의 표준 광섬유 전송 후에도 표준 규격에서 요구하는 BER인  $10^{-10}$ 을 얻을 수 있었다.

이번 연구를 통하여 파장 주입형 R-SOA 전송에서는 출력 파형의 보존이 중요함을 확인하였고, 기 조성된 ASE 주입을 이용하여 손실이 적은 Gaussian 형태의 AWG를 파장 주입 방식 R-SOA를 이용한 WDM-PON에 사용할 수 있음을 보여주었다

## V. 결론

본고에서는 R-SOA를 이용한 기가급 WDM-PON 연구에 대한 소개와 WDM-PON 광원으로 개발된 R-SOA의 시험 결과를 소개했으며 시스템 성능 향상을 위해 기 조성된 주입 광원 사용의 제안과 그 효과에 대해서 기술적인 내용을 정리하였다.

기가급 WDM-PON에 사용되는 광원으로서의 R-SOA에서 가장 중요한 요소는 낮은 구동 전류에서 이득 포화 현상을 일으키는 것이며, 전송 링크 손실을 감안하여 일정 이상의 이득을 제공할 수 있어야 한다. 또한 높은 변조 속도를 지원하기 위해 충분한 전광 응

답 속도가 제공되어야 하며, 이를 위해서는 R-SOA의 전류 차단층의 capacitance 성분을 줄이는 것이 필요하다. 광가입자망 장치는 항온 환경을 제공할 수 없을 수도 있으므로 가능하면 일정 범위의 온도 변화에서도 동일한 출력을 제공할 수 있도록 설계되어야 한다. 이런 모든 요소가 결합되어 최소 필요 주입 광세기와 그에 맞는 광세기를 출력하는 ASE의 요건이 정해질 것이다.

파장 다중/역다중을 위한 필터의 투과 스펙트럼에 의하여 반치폭이 줄어들면 R-SOA를 사용하여 이득 포화를 통한 EIN을 줄임으로서 얻은 효과는 반감된다. 이에 대한 개선책으로 파형이 기 조성된 ASE 형태의 주입 광원을 사용하는 것을 제안하고, 이를 이용하여 전송 신호의 품질 개선과 저손실의 Gaussian 형태의 AWG 사용이 가능함을 확인하였다.

앞으로는 좀 더 넓은 이득 파장 범위를 가진 모듈을 이용하여 32채널에서 사용할 수 있음을 검증하는 단계가 필요할 것이다. 적용 회로 부분에서는 에러 정정 기법(forward error correction: FEC)을 적용하여 시스템 마진 확보에 대한 연구가 요구된다.

WDM-PON의 상용화를 위해서는 첫째, WDM-PON을 구성하는 광 소자의 가격을 낮추어 WDM-PON 시스템의 구현 비용을 줄여야 하며, 둘째, WDM-PON에서 제공하는 광 대역폭을 이용한 killer service를 개발하여야 한다. 첫째 조건과 둘째 조건은 서로 독립된 조건이 아니라 상호 연관성이 있다. 광 대역폭을 충분히 활용한 다양한 killer service가 개발된다면 WDM-PON 시스템의 구현 비용이 상대적으로 고가이더라도 상용화 가능성이 높아지며, 이와 달리, WDM-PON 시스템의 구현 비용이 낮아지면 killer service가 개발되지 않더라도 인터넷 서비스만으로 WDM-PON 시스템을 상용화할 수 있다. 본고에서는 WDM-PON에 대한 전반적인 기술과 현황에 대한 이해를 돕고자 최신 내용을 일반적으로 기술하였으며, 상용화를 위한 WDM-PON 시스템의 구현 비용 분석과 killer service의 개발에 관한 상세한 내용에 대해서는 향후 보고를 하고자 한다.

보다 편리하고 다양한 서비스에 대한 가입자의 요구와 IT 산업 발전을 위한 국가의 정책 추세에 호응하고 국내 광산업의 진흥을 위하여 광가입자망 시스템 개발에 산학연 공동 또는 독자적으로 많은 연구와 개발이 진행되고 있으며, WDM-PON에 대해서도 저가형 광원의 개발, 전송 품질 향상을 위한 광링크 기술 개발 및 광 대역폭을 활용한 고품질/고화질/양방향 서비스의 개발을 위해 활발한 활동이 진행되므로 가까운 미래에



WDM-PON의 상용화가 이루어질 것으로 전망된다.

### 참 고 문 헌

- [1] Soo-Jin Park, et. al., "Fiber-to-the-Home Services. Based on Wavelength Division Multiplexing Passive Optical Network," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 22, No.11, pp. 2582-259, November 2004.
- [2] Robert D. Feldman et. al., "An Evaluation of Architecture Incorporating Wavelength Division Multiplexing for Broad-Band Fiber Access," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, Vol. 16, No. 8, pp. 1546-1559, September 1998.
- [3] D.K.Jung, et. al., "Spectrum-sliced bidirectional WDM PON," *Optical Fiber Communiation Conference*, pp. 160-162, Baltimore, USA, March 2000.
- [4] Hyun Deok Kim, et. al., "A low-cost WDM source with an AES injected Fabry-perot semiconductor laser," *IEEE Photonics technology Letters*, Vol. 12, No. 8, pp. 1067-1069, August 2000.
- [5] P. Healey et. al. "Spectral slicing WDM-PON using wavelength-seeded reflective SOAs," *Electronics Letters*, Vol. 37, No. 19, pp. 1181-1182, September 2001.
- [6] Sun-Jong Kim, et. al., "Intensity Noise Suppression in Spectrum-Sliced Incoherent Light Communication Systems using a Gain-Saturated Semiconductor Optical Amplifier", *IEEE Photonics technology Letters*, Vol. 11 No. 8, pp. 1042-1044, August 1999.
- [7] H.S. Shin, et. al, "16 x 1.25 Gbit/s WDM-PON based on ASE-injected R-SOAs in 60 °C Temperature Range", *OFC 2006 Proceedings*, OTuC5, Anaheim USA, March 2006.
- [8] A. McCoy et al, "Filtering effects in a spectrum-sliced WDM system using SOA-based noise reduction", *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 16, no. 2, pp. 680-682, February 2004.

### 저 자 소 개



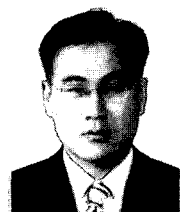
신 흥 석(정회원)  
1996년 부산대학교 전기공학과  
학사 졸업.  
1998년 코넬대학교 전자공학과  
석사 졸업.  
1998년 삼성전자 통신연구소  
선임연구원

2001년 TyCom Laboratory, 선임연구원  
2002년~현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
<주관심분야 : 광통신공학, 광가입자망>



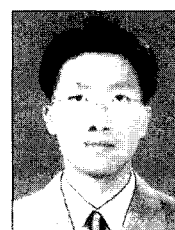
현 유 정(정회원)  
2003년 연세대학교 기계전자공학  
부 학사 졸업.  
2005년 연세대학교 전기전자공학  
과 석사 졸업.  
2005년~현재 삼성전자 통신연구  
소 연구원

<주관심분야 : 초고속통신, 가시광통신>



이 경 우(정회원)  
1998년 한양대학교 전파공학과  
학사 졸업.  
2000년 Texas A&M Univ. 석사  
졸업.  
2005년 Texas A&M Univ. 박사  
졸업.

2005년~현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
<주관심분야 : 가시광통신, 광센서, WDM-PON >



박 성 범(정회원)  
1997년 한양대학교 전파공학과  
학사 졸업.  
1999년 한국과학기술원 전기및  
전자공학과 석사 졸업.  
2003년 한국과학기술원 전자전산  
학과 박사 졸업.

2002년~현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
<주관심분야 : 광네트워크, 광전송, 디지털 통신>

저 자 소 개



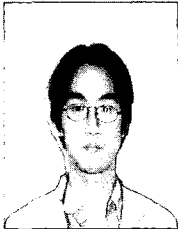
**신 동 재**(정회원)  
 1995년 한국과학기술원 물리학과 학사 졸업.  
 1997년 한국과학기술원 물리학과 석사 졸업.  
 2001년 한국과학기술원 물리학과 박사 졸업.

2001년 벨 연구소 박사후 연구원  
 2002년~현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
 <주관심분야 : Near Field Optics, 광가입자망, 가시광통신>



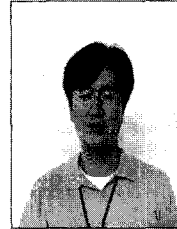
**정 대 광**(정회원)  
 1994년 한국과학기술원 전기및전자공학과 학사 졸업.  
 1996년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사 졸업.  
 2001년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사 졸업.

2001년~현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
 <주관심분야 : 광통신공학, 광가입자망>



**김 승 우**(정회원)  
 1999년 서울대학교 전기공학부 학사 졸업  
 2001년 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사 졸업  
 2001년~현재 삼성전자 통신연구소 선임연구원

<주관심분야 : 통신, 광소자, 신호처리>

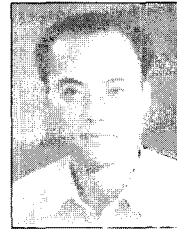


**윤 인 국**(정회원)  
 1999년 건국대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 2001년 건국대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 <주관심분야 : 광통신, 광소자, 통신>



**이 정 석**(정회원)  
 1990년 경희대학교 물리학과 학사 졸업.  
 1993년 서울대학교 물리학과 석사 졸업.  
 1997년 서울대학교 물리학과 박사 졸업.

1997년~현재 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
 <주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호처리, 반도체>



**오 윤 제**(정회원)  
 1985년 연세대학교 물리학과 학사 졸업.  
 1987년 연세대학교 물리학과 석사 졸업.  
 1995년 Rensselaer Polytechnic Institute 박사 졸업.

1995년 Rensselaer Polytechnic Institute 박사후 연구원  
 1996년 삼성종합기술원 선임연구원  
 1999년~현재 삼성전자 통신연구소 수석연구원  
 <주관심분야 : 광통신공학, 영상처리기술>



**박 진 우**(평생회원)  
 1979년 고려대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 1983년 클렘슨대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 1987년 버지니아 주립대학교 박사 졸업.

1988년 명지대학교 전자공학과 교수  
 1989년~현재 고려대학교 전자공학과 교수  
 <주관심분야 : 무선통신공학, 광통신공학, 광통신망>