

# ONU 파워 균등화 기능을 갖는 E-PON 송수신기에 관한 연구

준회원 임 충 환\*, 정 인 권\*, 정회원 박 영 일\*

## A Study on the E-PON Transceiver with ONU Power Equalization Function

Chung-hwan Lim\*, In-kwun Jung\* *Asspcoate Members*, Youngil Park\* *Regular Member*

요 약

E-PON 시스템의 ONU 출력 광신호 크기가 가입자에 따라 많은 차이를 보이는 경우 OLT 수신단의 규격이 까다로워지고, 전체 PON 시스템의 안정된 동작을 보장할 수 없게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 OLT 수신단에서 ONU 각 채널의 송신 광신호 크기를 검출하고 이로부터 제어신호를 이용해 등록된 ONU 채널들의 크기를 일정하게 조절하는 방식을 제안하고 실험을 통해 이를 확인하였다. 또한 ONU 송신단에는 디지털 APC 회로를 이용하여 전송 신호 존재 시 수 bit 이내에 LD를 동작하고, 전송 신호가 없을 경우 LD 구동전류를 차단함으로써 다른 ONU의 전송을 보장하며, 소비전력을 감소할 수 있도록 하였다.

Key Words : E-PON Transceiver; power equalization; burst mode; digital APC

ABSTRACT

When optical signal power of ONU differs from each other the requirements of an OLT receiver becomes strict and the stable operation of a total PON system can't be obtained. To solve this problem each ONU channel's signal power is measured at the OLT side and control signals to equalize them are generated and sent to each ONU. The proposed scheme is tested after implementation A digital APC circuit is proposed and tested so that it can start or stop LD operation without delay. It helps other ONU to transmit signals without interference and to reduce consuming power.

### I. 서 론

최근 다양한 멀티미디어 서비스들이 점차 현실화 되면서 통신 수요가 대폭 증가하는 가운데 백본망의 전송용량은 상당히 늘어난 반면, 가입자 망에서의 전송능력의 변화는 거의 없는 실정이다. 이는 가입자 망에 다양한 멀티미디어형 서비스들을 제공할 경우 가입자망과 백본망 사이에서 병목현상이 생겨날 수 있음을 의미한다. 따라서 정보 전송량과 전송거리의

한계를 극복하기 위하여 FTTH의 도입이 필연적이다. 그러나 만일 중심국에서 가입자까지 점대점 형태로 광선로를 포설한다면 비용이 너무 높아지며, 이를 해결하기 위한 방법으로 PON (Passive Optical Network) 구조가 각광을 받고 있다<sup>[1,2]</sup>.

PON은 중심국에 있는 하나의 OLT와 가입자 측에 해당하는 다수의 ONU 사이에 수동 광 분배기를 설치하여 이들 간에 상·하향 전송을 하도록 하는

\* 국민대학교 전자정보통신공학부 광통신 연구실(<http://optcomm@kookmin.ac.kr>),

논문번호: 040050-0202, 접수일자: 2004년 2월 2일

※이 논문은 한국과학재단 특정기초연구(R01- 2002-000-00458-0)지원으로 수행되었음.

가입자 망이다. 하향전송의 경우 그림 1(a)와 같이 OLT는 시분할 다중화(TDM)된 신호를 단일 광섬유를 통해 모든 ONU에 브로드캐스트(broadcast)하고 각각의 ONU는 자신의 주소를 갖는 데이터만을 수신한다. 상향전송의 경우 그림 1(b)와 같이 모든 ONU들이 충돌 없이 상향전송 채널을 공유하기 위해 시분할 다중접속(TDMA) 기술을 사용하여 해당 ONU에 미리 할당된 시간슬롯에 실어 OLT로 송신한다<sup>[3,4]</sup>.

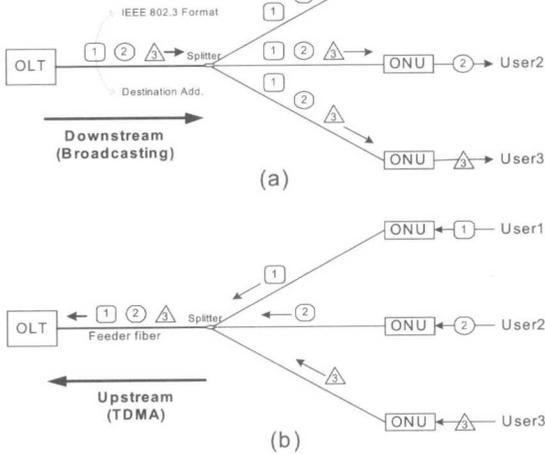


그림 1. E-PON에서의 상·하향 트래픽 흐름  
(a) 상향 트래픽 (b) 하향 트래픽

송수신 신호의 특성을 살펴보면, 하향전송의 경우 ONU 수신 신호는 그림 2의 Downstream과 같이 신호크기가 일정한 연속모드 신호이다. 그러나 상향전송의 경우 그림 2의 Upstream\_1과 같이 각각의 ONU로부터 OLT까지의 전송경로 차이로 인해 다른 광 손실을 발생시켜 수신하는 신호의 크기가 달라지는 버스트 특성을 가지고 있다. 따라서 이러한 입력 신호의 정확한 판별이 가능한 버스트 모드 수신기가 필요하다.

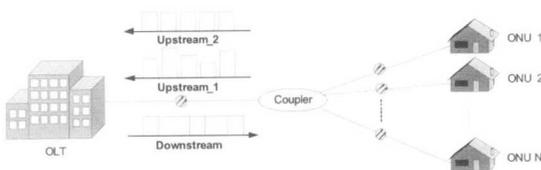


그림 2. 원격 신호크기 제어 전·후의 패킷신호  
(Downstream : 연속신호, Upstream\_1 : without power control, Upstream\_2 : with power control)

이를 구현하기 위해 수 비트 이내에 기준 전압을 판단하고 신호를 복구하는 버스트모드 수신기가 필요하며, 이의 제작을 위해 많은 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 이러한 버스트 신호의 송수신을 용이하게 할 수 있는 전송 제어방식을 제안하였다. 송신단의 경우 버스트 특성을 향상시키고 전력손실을 줄일 수 있는 디지털 APC(Automatic Power Control)를 구현하였고, 수신단의 경우 원격 신호크기 제어방식을 통해 그림 2의 Upstream\_2와 같이 입력 버스트들의 신호레벨을 일정레벨로 수신하여 입력신호의 판별 기준값이 일정 전압에 고정되게 함으로써 버스트 신호 수신을 매우 용이하게 하는 수신기를 구현하였다. 이를 통해 버스트 모드 수신기 성능의 기준이 되는 동작범위(Dynamic Range)의 문제해결은 물론 회로의 단순화와 프리앰블 시간(Preamble time)을 줄일 수 있는 가능성을 제시하였다.

## II. ONU 파워 제어를 위한 버스트 모드 송수신기의 구현

E-PON 구조에서 상향전송의 경우만 버스트 모드 신호이고 하향전송의 경우는 연속 모드 신호이기 때문에 ONU의 경우는 버스트 모드 송신기와 연속 모드 수신기가 필요하고, OLT에서는 연속 모드 송신기와 버스트 모드 수신기가 필요하며, 본 절에서는 버스트 모드 부분에 대해서만 기술한다.

### 2.1 제안된 버스트 모드 ONU 송신단의 구조

버스트 모드 광 송신기는 일반적으로 그림 3과 같은 구조로 구성이 된다. LD(Laser Diode)의 선형 구간 내에서 동작하도록 적절한 바이어스 전류와 변조 전류를 공급해 주기 위한 LD 구동회로(Driver), 입력 전기신호를 광신호로 바꾸어주는 LD, 이 광신호의 출력 파워를 제어하는 APC로 구성이 된다.

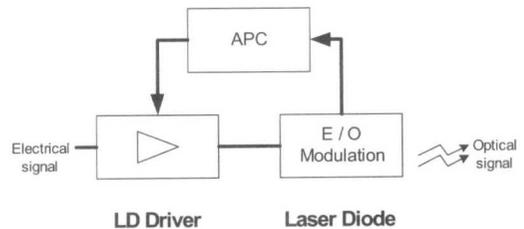


그림 3. 버스트 모드 광 송신기 구성도

버스트 모드 ONU 송신단은 자신의 시간 슬롯에만 LD 작동 후 데이터를 전송해야 한다. 만일 아날로그 광세기 제어를 한다면 휴식 시간동안 데이터를 전송하지 않고 있다가 자신의 시간 슬롯에서 데이터를 전송할 때 광송신기를 갑자기 작동시키면서 생기는 turn-on-delay 문제가 발생하며, 이를 피하기 위해 LD OFF 시 LD 공급 전류의 경로만 다른 곳으로 바꾼다면 자신의 휴식 시간 동안에도 다음 식 (1)과 같은 파워를 소모한다<sup>[5]</sup>.

$$P = V_{DD}(I_{MOD} + I_{BIAS}) \quad (1)$$

위 식에서  $I_{MOD}$  및  $I_{BIAS}$ 는 각각 LD 변조전류 및 바이어스 전류를 의미한다. 본 연구에서는 turn-on-delay와 출력 광세기의 불안정성, 전력 소모를 포함한 버스트 모드 신호 송신성능을 향상시키기 위해 디지털 APC를 사용한 버스트 모드 송신을 제안하고 그림 4와 같은 구조로 이를 구현하였다.

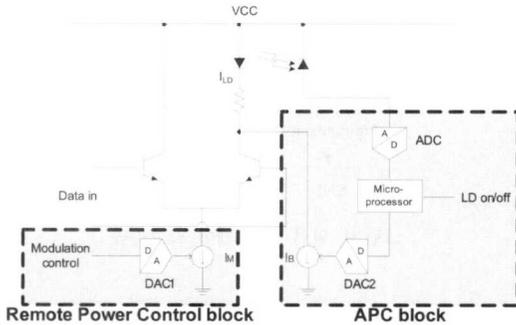


그림 4. 디지털 APC를 포함한 버스트 모드 송신단

그림 4와 같은 구조는 신호가 없을 때 DAC1과 DAC2를 제어함으로써 휴식시간 동안은 광파워를 OFF할 수 있다. 따라서 제안된 LD 구동회로의 평균 파워 소모는 식 (2)와 같게 된다.

$$P = V_{DD} \cdot I_{ON} \cdot K \quad (2)$$

여기서,  $I_{ON}$ 은 자신의 시간슬롯일 때의 LD에 흐르는 전류( $=I_{MOD}+I_{BIAS}$ )이며, K는  $1 \div (\text{ONU 개수})$ 이다. 식 (2)는 식 (1)에 비해 전력소모를 50% ~ 90%까지 절감할 수 있음을 보여준다. 또한 스위칭 신호를 통해 LD를 ON/OFF하기 때문에 기존의 아날로그 방식에서는 가질 수 없는 짧은 스위칭 시간을 가질 수 있다. 그리고 LD가 OFF되기 직전의 바이어스 전류( $I_{BIAS}$ )값을 마이크로프로세서가 기억하고 있다가

LD가 ON 되었을 때 이 값으로 APC를 구동하므로 빠르고 정확한 광세기 제어를 할 수 있다. 또한 'Remote Power Control Block'에서는 8비트의 해상도로 DAC1을 제어하여 변조전류( $I_{MOD}$ )의 크기를 조정하고 있다. 휴식 시간동안은 00(Hex)를 보내 변조전류를 OFF 시킨다.

그림 5(a)는 AC 커플링 된 일반 광송신기의 입력 전류 대 출력 광파워의 특성곡선을 보이고 있으며, 입력신호의 크기는 평균 광세기에 영향을 주지 않기 때문에 평균 광세기를 이용하여 APC 회로를 구동하면 된다. 그러나 버스트 모드 송신기는 DC 커플링이 필요하므로 입력신호의 크기에 따라 평균 광세기가 변화하며, 이를 이용하여 APC 회로를 구동하면 DC 오프셋이 변화하여 수신단에서는 넓은 동작범위를 필요로 하게 된다. 따라서 이를 피하기 위해 그림 5(b)와 같이 최저 광세기를 기준으로 APC 동작을 구현하는 것이 수신성능에 유리하며, 본 연구에서는 디지털 APC의 구현에 이러한 알고리즘을 적용하였다.

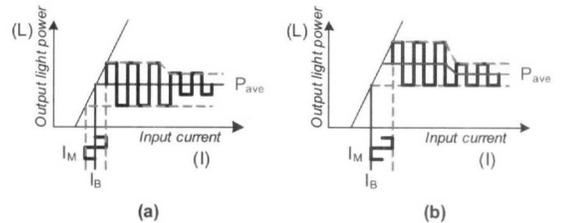


그림 5. 광송신기 L-I(Light intensity vs. current) 특성곡선  
(a) AC 커플링 특성곡선 (b) DC 커플링 특성곡선

## 2.2 제안된 버스트 모드 OLT 수신단의 구조

버스트 모드 광 수신기는 일반적으로 그림 6과 같은 구조를 갖는다[6]. 즉, 입력 광신호를 전류신호로 바꾸어주는 PD(Photo Detector), 이 전류신호를 전압신호로 변환하는 Preamp, 신호의 크기가 다른 각 버스트들을 증폭시켜 일정한 진폭의 신호로 만들어 주는 Main Amp, 새로운 위상으로 신호를 복구하기 위한 CDR로 구성된다.

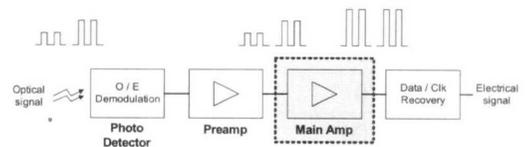


그림 6. 버스트 모드 광 수신기 구성도

주 증폭기의 입력신호가 버스트이기 때문에 Main

Amp에서 판별 기준전압 및 이득을 조절하지 않으면 파형왜곡 현상 및 오류가 발생한다. 따라서 수신단에서 신호레벨이 다른 버스트 패킷을 레벨 복구하기 위해 짧은 시간 내에 입력 신호의 최대값과 최저값을 측정 후 식 (3)과 같이 이의 평균값을 판단 기준으로 사용하는 방법이 연구되고 있다<sup>[7]</sup>.

$$V_{Ref} = (V_{TOP} + V_{BOT}) / 2 \quad (3)$$

이 방식은 각 버스트 신호레벨의 변화를 충분히 수용하여 빠르고 정확한 판별 기준전압을 찾아야 하므로 그 구현이 매우 복잡하다. 본 논문에서는 위와 같이 버스트 신호의 복잡한 판단 과정을 수신기의 하드웨어적 기능에 의존하지 않고 ONU 등록과정에서 미리 각 ONU 신호의 파워를 기준값 크기로 맞춤으로써 모든 ONU 채널의 크기를 비슷하게 만들어 수신을 매우 용이하게 만드는 방식을 제안하였다. 이를 위한 OLT 수신단의 구조를 그림 7과 같이 구성한다<sup>[8]</sup>.

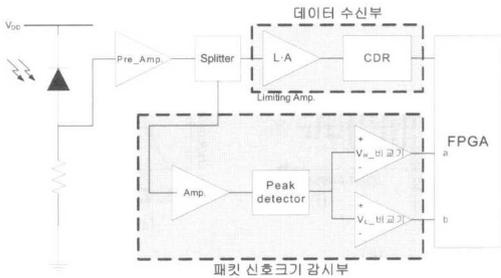


그림 7. 원격 파워 제어를 위한 OLT수신단의 구성

먼저 PD에서 수신한 버스트 신호는 Preamp 및 분배기(Splitter)를 통해 데이터 수신부와 신호크기 감시부로 나누어진다. 감시부에서 검출된 신호의 피크 값은 두 개의 비교기로 구성된 윈도우와 비교함으로써 현재의 크기 상태를 판단하여 표 1과 같이 두 비트의 신호 ab로 표현한 후 FPGA에 넘겨준다.

표 1. 패킷 신호크기 감시를 통한 제어신호 발생

제어 신호	입력신호 크기
ab = "11"	above window
ab = "01"	inside window
ab = "00"	below window

이 값은 그림 8의 E-PON 메시지 프레임을 통해 ONU로 전송한다. 프레임에서 'OP CODE'에는 파워

제어 메시지임을 나타내고, 'MESSAGE'에는 표 1에 주어진 제어신호를 대입하여 전송하는 과정을 반복한다. 그림 9에서는 위 원격 파워 제어 알고리즘을 나타내고 있다. 각각의 ONU는 최초 망 접속 시 최대 출력으로 전송을 시작하고 하향 제어신호에 따라 적절한 출력 파워를 찾아갈 때까지 제어를 반복한다.

LJID	CRC	MAC DA	MAC SA	TYPE	OP CODE	TIME STAMP	MESS AGE	FEC
preamble		(6)	(6)	(2)	(2)	(4)	(40)	(4)

그림 8. E-PON 제어 메시지 프레임

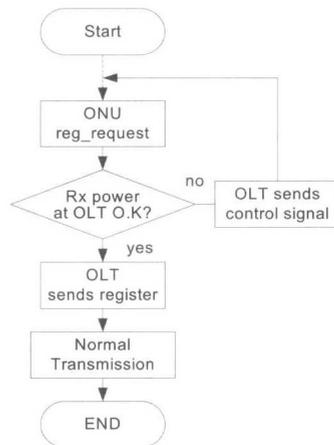


그림 9. 원격 파워 제어 알고리즘

### III. 제안된 구조의 E-PON 송수신기 구현 및 전송시험 결과

그림 10은 본 논문에서 제안한 원격 신호크기 제어와 디지털 APC의 개념을 검증하기 위해 제작한 OLT와 ONU의 전체 블록도이다. ONU에는 디지털 APC와 원격 신호크기 제어를 위한 출력 광파워를 조절하는 부분이 포함되어 있고, OLT에는 수신 신호의 크기를 감시하는 부분이 포함되어 있다. OLT 및 ONU에서 MAC 컨트롤러의 기능 구현은 FPGA가 담당하고 있다. OLT 및 ONU 블록을 구현한 회로의 사진을 그림 11에 보이고 있다. 그림 12는 ONU 디지털 APC의 동작을 보이고 있다. 자신의 시간슬롯에만 LD가 ON 되고 그 외 시간에는 광신호가 완전히 사라지는 것을 볼 수 있다.

ONU 송신단 변조제어용 DAC의 변화에 따른 OLT 수신신호의 피크전압 값을 표 2에서 나타내고

있다. DAC의 입력 값은 FPGA에서 보관하고 있으며, OLT 전송 제어신호를 읽어 그 값을 증가 혹은 감소시키며 적절한 값을 찾아간다.

통해 만족할 때까지 OLT는 ONU의 파워를 반복 제어한다.

표 2. ONU의 DAC 값에 따른 OLT에서 수신한 신호크기

DAC1	OLT 수신신호 피크전압(mV)
127	432
150	471
200	556
255	650

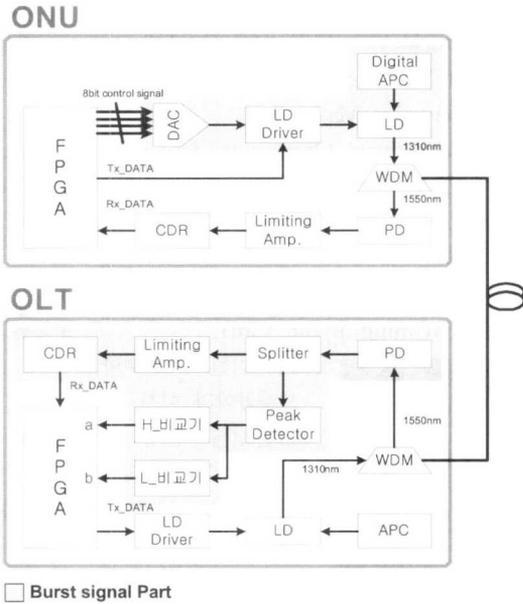


그림 10. E-PON 송수신기의 전체 블록도

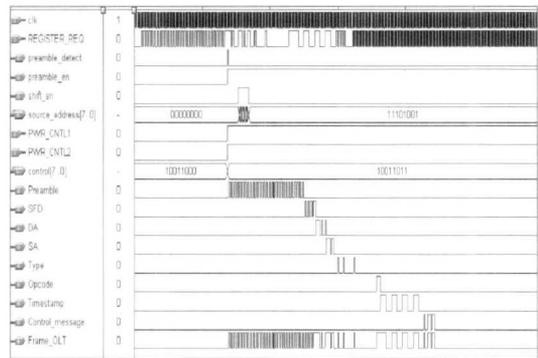


그림 13. OLT 제어 프레임 생성 시뮬레이션

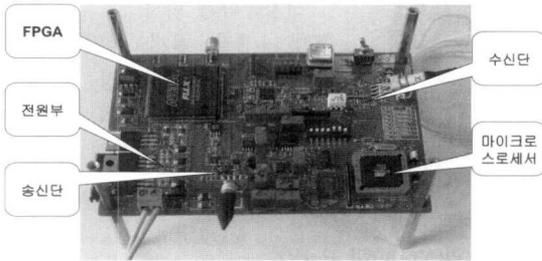


그림 11. 제작된 E-PON 송수신 모듈

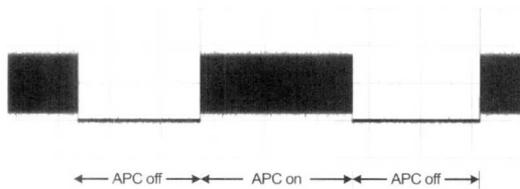
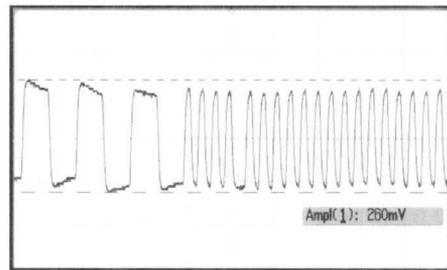
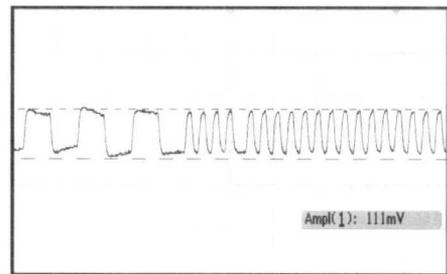


그림 12. 디지털 APC 실험결과

그림 13은 OLT에서 ONU의 버스트 수신신호의 신호크기를 감시해 제어 프레임을 만드는 VHDL 프로그램 실행 결과를 보여주고 있다. 이러한 과정을



(a)



(b)

그림 14. ONU 파워 제어 전후의 신호크기 변화 (a) 제어 전 (b) 제어 후

그림 14는 위에서 제시한 원격 파워 제어 전·후에 OLT에서 수신되는 신호를 보이고 있다. 그림 14(a)에서는 최초 전송 시 ONU에서 설정된 최대 출력으로 신호를 전송한 상태를 보이고 있고, 그림 14(b)에서는 파워 제어 후 OLT 설정값을 만족했을 때의 OLT 수신신호 크기를 보이고 있으며 기준전압의 설정범위에 들어오게 되었다.

위와 같은 실험 결과들을 통해 제안된 ONU 파워 제어가 잘 동작하고 있으며, 이를 통해 OLT 수신신호의 세기를 원하는 크기로 제어하여 수신성능을 개선할 수 있음을 보였다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 E-PON ONU 채널들의 파워 균등화 기능을 제안하고 이를 구현 후 시험하였다. 각 ONU의 초기 등록 과정에서 OLT 수신단에서는 미리 설정된 기준값과 각 ONU로부터 송신되어 온 광신호의 크기를 비교하여 각 ONU 파워의 조절 방향을 결정하고 이를 E-PON 표준으로 제안된 제어 프레임에 실어 하향 전송한다. ONU에서는 이 신호를 LD 구동회로의 전류원과 연결함으로써 변조크기를 제어함으로써 OLT단에서 바라보는 각 ONU 채널들의 크기를 일정하게 맞춘다. 한편, ONU 버스트 송신을 효율적으로 하고 전력 소모를 줄이기 위해 디지털 APC를 구현하였다. 본 연구에서 제안한 파워 제어 기능을 통해 E-PON 시스템을 안정적으로 운용하고 OLT 수신단의 수신성능을 향상할 수 있을 것으로 기대한다.

#### 참고 문헌

[1] 허재두, 김대웅, "PON 기술동향", *ETRI 주간기술동향* 2001.08.  
 [2] 심재찬, 허재두, 이형호, "Ethernet PON 기술 개발 동향", *ETRI 주간기술동향*, 2002.06.  
 [3] IEEE Draft P802.3ah/Draft 1.414 April 2003.  
 [4] Ivan Kaminow, Tingye Li, *Optical Fiber Telecommunications*, pp.454-463, Academic Press, 2002.  
 [5] E. Sackinger, Y. Ota, T. Gabara, W. Fischer, "A 15-mW, 155-Mb/s CMOS Burst-Mode Laser Driver with Automatic Power Control and End-of-Life Detection", *IEEE J.Solid-State*

*Circuits*, vol.35, no. 2, pp.269-275, Feb. 2000.

[6] 김봉규, 박상조, 장윤선, 문필주, "버스트 모드 광트랜시버 기술동향", *ETRI 주간기술동향*, 2002.02.  
 [7] Paolo Solina, Frank Effenberger, "Burst Mode Technology", IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force, May 2002. Presentation Material.  
 [8] Inkwun Jung, Chunghwan Lim, Youngil Park, "Remote Power Control of Ethernet PON System", OECC 2003, Vol. 23, pp. 743-744, Oct. 2003.

임 충 환(Chung-hwan Lim)

준회원



2002년 2월 : 국민대학교

전자공학과 학사

2002년 3월~현재 : 국민대학교

전자공학과 석사과정

<주관심분야> E-PON, 통신시스템, 광통신 공학

정 인 권(In-kwun Jung)

준회원



2002년 2월 : 국민대학교

전자공학과 학사

2002년 3월~현재 : 국민대학교

전자공학과 석사과정

<주관심분야> E-PON, 통신시스템, 광통신 공학

박 영 일(Youngil Park)

정회원



1987년 2월 : 서울대학교

전기공학과 학사

1989년 2월 : 서울대학교

대학원 전기공학과 석사

1995년 5월 : Texas A&M

Univ. EE Dept. 박사

1995년 8월~1999년 2월 :

KT 가입자망연구소

1999년 3월~현재 : 국민대학교 전자정보통신공학부 조교수

<주관심분야> 통신시스템, 광통신망, 광가입자망, 광센서, 홈네트워킹