

# WDM 기반을 이용한 EPON 진화 전략

준회원 현재명\*, 조원국\*, 정회원 김병휘\*\*, 종신회원 박영일\*

## EPON Upgrade Strategy Using WDM Overlay

Jae-Myoung Hyun\*, Wonkuk Cho\* *Associate Members*,  
Byoung-Whi Kim\*\* *Regular Member*, Youngil Park\* *Lifelong Member*,

### 요약

WDM 기반을 이용하여 기 설치된 EPON을 간편하고 경제적으로 업그레이드 하는 방안을 제시하였다. EPON ONU가 가지는 colorless 장점을 이용하기 위해 각 TDM-PON마다 파장변환 노드(WCN)가 사용되었으며, 이곳에서는 모든 일반 ONU로부터 전송되는 상향신호들을 모아서 고유파장으로 변환하는 기능을 담당한다. 원격노드 및 파장변환노드의 구성방법을 제시하였으며, 테스트베드를 이용한 시험결과를 보인다.

**Key Words** : EPON, TPON, WPON, RN, ONU, OLT, 파장변환노드

### ABSTRACT

A scheme to easily upgrade TDM-PON using WDM overlay is proposed. To maintain the colorless characteristics of ONU transmitters, a wavelength-conversion ONU is adopted for each TDM-PON group, where all upstream signals from regular ONUs are adjusted to an assigned wavelength. An implementation scheme for remote node and wavelength conversion node is suggested and the test results are shown.

### I. 서론

EPON 또는 BPON 등의 TDM-PON은 표준화에 이어 이제 상용화가 시작되었다<sup>[1]</sup>. 또한 TDM-PON의 대역폭 제한 문제를 해결하기 위해 한 개의 ONU에 고유 파장을 할당하는 WDM-PON도 여러 가지 방식으로 개발 및 시범사업이 진행되어 왔으며<sup>[2]</sup>, KT에서는 2006년부터 시작되는 PON 사업에 두 방식을 함께 이용하고 있다. 한편, 현재까지 개발된 PON 시스템은 대역폭 이용 및 비용 관점에서 각각 장·단점을 가지고 있으며, 따라서 설치에 앞서 업그레이드 방법의 검토가 요구되고 있다. EPON의 경우 여러 ONU가 한 가닥의 광케이블을 공유하기 때문에 이들 ONU와 OLT 사이에 동시에 많은 트래픽이 발생한다면 상·하향 전송 모두에 대역폭의

감소가 뒤따르게 된다<sup>[3,4]</sup>. 향후 BcN 서비스가 본격 시작되어 IP TV, VoD 등 QoS 보장을 요구하는 광대역 서비스가 보편화 되었을 때 이를 수용하기 어려운 상황이 될 수 있다. 또한 대규모 가입자 지역에 EPON이 설치되기 위해서는 중심국과 원격국 사이에 많은 개수의 파이버가 설치되어야 한다. 한편, 현재 제안되고 있는 WPON에서는 각 파장이 한 개의 ONU에 이용되고 있는데, 한 개 파장의 전송 능력(1 Gbps 이상)을 고려할 때 일반 가입자에게는 이를 이용할만한 상업용 서비스가 현재 존재하지 않는다<sup>[5]</sup>. 따라서 ONU로부터 각 가입자까지 다시 UPT 케이블 등을 이용하는 방법으로 한 개의 ONU가 여러 가입자를 수용하도록 하고 있는데, 이는 중심국부터 가입자까지 수동소자를 이용함으로써 관리 및 비용을 용이하게 하려는 PON의 취지에 어

※ 본 연구는 국민대학교 2005년 교내연구비 지원으로 수행되었음.

\* 국민대학교 전자정보통신공학부 광대역통신 연구실 (ypark@kookmin.ac.kr), \*\* 한국전자통신연구원 WPON기술팀  
논문번호 : KICS2006-09-391, 접수일자 : 2006년 9월 22일, 최종논문접수일자 : 2006년 10월 12일

곳이며, 기존의 메트로 시스템들과 경쟁을 해야 하는 구조가 된다<sup>6)</sup>. 또한 한 가입자에 한 개의 파장을 할당하는 구조는, 가입자마다 각기 다른 파장의 LD를 이용해야 하고 서비스 회사는 파장별로 재고 물품을 관리해야 하기 때문에 비용 상승의 주원인이 된다.

본 논문에서는 WDM 오버레이를 이용해 기 설치된 EPON을 업그레이드 하되, 각 가입자가 별도의 파장을 갖는 구조 대신 한 개의 PON을 구성하는 가입자 그룹별로 상·하향 파장을 이용하는 방식을 이용함으로써 EPON의 경제성과 WPON의 대역폭 장점을 동시에 수용하는 방안을 제시하였다.

## II. 제안된 WDM 기반 EPON 구조

본 논문에서는 그림 1에서 보이는 바와 같이 상·하향 데이터 전송에 WDM(파장분할 다중화) 광신호를 이용하고, 각 파장에는 다시 시간분할 다중화(TDM) 데이터를 전송함으로써 기존 TDM-PON에 비해 파장 개수 배만큼 많은 수의 가입자를 서비스 하는 구조를 제시한다. 이를 위해 중심국에 위치하는 OLT(Optical Line Terminal)는 각 가입자 그룹과 통신을 할 때 고유의 파장을 가지고 송수신을 해야 한다. OLT는 중심국에 위치하고 있으며, 한 개의 송신단을 이용하여 다수 가입자에게 데이터를 전송하기 때문에 미리 지정된 고유 파장을 가진 WDM LD를 이용해 데이터를 전송하도록 한다. 그러나 가입자 지역에 위치한 많은 개수의 ONU(Optical Network Unit)가 각기 고유한 파장을 갖도록 하는 것은 비용 및 관리의 어려움을 발생한다. 따라서 본 논문에서는 ONU에서 특정 파장이 아닌 기존 TDM-PON에 많이 이용되는 1310 nm 대역의 파장을 이용하여 상향 데이터를 전송하고, RN(Remote node: 원격노드)는 이 ONU 상향 신호

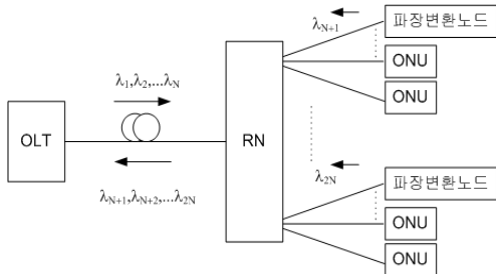


그림 1. 파장변환 노드를 이용한 WDM 기반 TDM-PON 기본 구성도

들을 가입자 그룹별로 미리 지정된 파장변환노드로 라우팅을 하여 이곳에서 지정된 파장으로 신호를 변환한 후 OLT로 재전송을 하는 방법에 관해 연구하였다. 각 ONU에서 OLT로의 상향 전송 신호들은 시간다중화 되어있기 때문에 이들은 파장변환노드에서 재전송 하더라도 서로 충돌하지 않는다.

그림 1에서의 RN은 기존 PON에서와 같이 가입자 지역 근처에 위치하여 하향 신호를 분배하며, 상향 신호를 결합하는 역할을 수행하는데, 특히 본 논문에서는 다음과 같은 기능을 수행한다. 즉, 하향 신호는 파장별로 분리를 하여 각 가입자 그룹으로 전송을 하고, 상향 신호 중 ONU에서 전송되는 1310 nm 대역의 신호는 파장변환노드로 라우팅을 하며, 다시 파장변환노드에서 재전송되는 신호는 OLT로 상향전송을 하는 기능을 갖도록 설계되어야 한다.

위의 기능들을 수용하기 위한 RN의 구조로서 다음 그림 2(a)~(c)의 세 가지 방식을 제안한다. 그림 2(a)는 파장을 분리하는 소자인 Arrayed Waveguide Grating(AWG), 지정 방향으로만 광신호를 전달하는 광순환기(Optical Circulator) 및 입력 광신호를 다수 출력포트로 나누어주는 광분배기(SP: Optical Splitter)를 이용하여 원격국의 기능을 구현하는 방법이다. 하향 신호는 AWG에 의해 파장 분리된 후 광순환기를 통과하여 광분배기로 공급되고, 이곳에서 1:N으로 분배되어 그룹 내 각 ONU로 전송된다. 각 ONU에서 상향 전송하는 신호들은 광분배기를 통해 광순환기로 입력되고, 이를 통해 파장변환노드로 전송되어 이곳에서 파장이 변환된다. 이후 다시

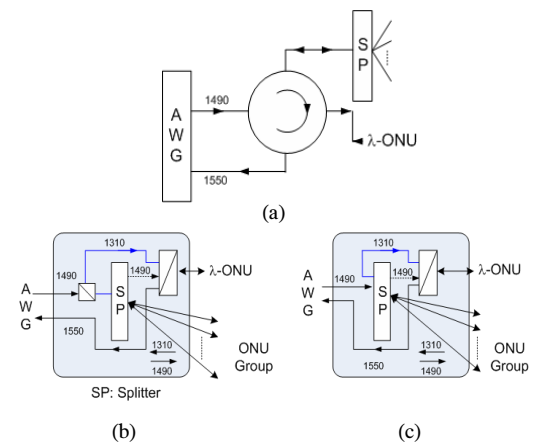


그림 2. RN 구성 제 방법

상향 전송된 신호는 광순환기 및 AWG를 차례로 거쳐 OLT로 전송된다. AWG는 상·하향에 동시에 이용되며 임의 포트 통과 파장에 다시 FSR(Free Spectral Range) 값이 더해진 파장은 동일 포트를 통과할 수 있는 AWG의 원리에 의해 각 포트 입력 파장을 정확히 계산하고 이를 상·하향 WDM LD 파장 결정에 활용한다. 그림 2(b)의 3계층 방법은 그림 2(a)와 동일한 기능을 수행하지만 광순환기보다 저렴하며 장기 이용 시 더욱 안정적인 CWDM (Coarse WDM) 소자 2개를 이용하여 원격국을 구성한 것이다. 즉, 하향 신호와 광분배기 사이에 1490/1310 nm CWDM 소자(파장 값은 가변)를 이용하여 하향 신호에 해당하는 1490 nm 대역의 신호는 광분배기를 통해 각 ONU로 전송한다. 또한 각 ONU에서 전송하여 광분배기를 상향으로 통과한 1310 nm 대역의 신호는 1490/1310 nm CWDM 필터에 의해 분리된 후 다시 1310/1490/1550 nm CWDM 필터에 의해 결합되어 파장변환노드로 전송된다. 파장변환노드의 1550 nm 대역 송신 신호는 원격국에서 1310/1490/1550 nm CWDM 필터에 의해 분리 후 AWG에 입력되어 OLT로 전송된다. 즉, 2개의 CWDM 필터는 상·하향 신호를 각각 분리함으로써 서로의 간섭을 차단하는 기능을 한다. 그림 2(c)의 2계층 방법은 그림 2(b) 3계층 방식의 AWG와 광분배기 사이에 위치하는 1490/1310 nm CWDM 필터를 제거한 것이다. 원래 이 필터의 기능은 ONU에서 상향 전송되는 1310 nm 대역의 신호가 직접 OLT로 전송되는 것을 막는 것이지만, 실제로 이 경로를 거쳐 OLT에 도달하는 ONU 전송 광세기는 파장변환노드 전송 광세기에 비해 충분히 작기 때문에 상향 전송성능에 거의 영향을 미치지 않는다는 사실을 계산과 실험에 의해 확인하였다.

그림 3에서는 본 논문에서 제시하는 파장변환노드의 구조를 역할에 따라 두 가지로 구분하여 보이고 있다. 그림 3(a)는 파장변환 전용으로만 이용되는 독립 파장변환 노드형으로서 가입자 ONU들과는 완전히 분리된 지역에 위치한다. CWDM 필터를 통해 입사되는 1310 nm 대역 파장의 ONU 전송 신호는 파장변환 노드 수신기(Rx)의 포토다이오드에서 전기신호로 변환된 후 다시 1550 nm 대역에서 고유하게 할당된 파장의 WDM LD에 의해 변조된 후 재전송된다. 그림 3(b)는 ONU 겸용 파장변환 노드의 구조로서 3개 입출력포트를 가진 CWDM 필터를 이용해 OLT 하향 신호 및 ONU 전송신호를 분

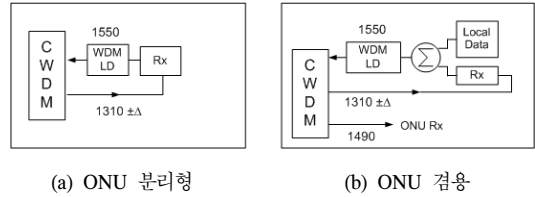


그림 3. 기능에 따른 파장변환노드의 분류

리한다. 분리된 각 ONU 전송신호는 수신기에서 전기신호 변환 후 파장변환 ONU 지역 발생 신호와 전기적으로 합해지고, 이는 WDM LD의 변조에 활용된다. 독립 파장변환노드형의 경우 일반 가입자와 분리되어 있기 때문에 안정성을 확보할 수 있다는 장점이 있으며, ONU 겸용 구조의 경우 파이버 및 ONU 비용을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

파장변환 노드에서의 신호재생에는 1R 재생과 2R 재생의 두 가지를 이용할 수 있다. 1R 재생은 파장변환 노드에 수신된 각 ONU 신호를 DC-커플 수신하여 증폭 후 다시 DC-커플 광송신하는 방식이다. DC-커플 송수신하는 이유는 여러 ONU로부터 전송되어 파장변환노드에 입력되는 수신 광신호들은 ONU마다 신호 크기 및 위상이 다른 버스트 특성을 가지며, 이들의 신호 특성을 왜곡시키지 않고 최대한 유지하기 위해서이다. 1R 재생방식은 간단하고 경제적인 방식이지만, 각 ONU의 소광비 (Extinction Ratio, ER) 차이는 그대로 OLT에 전달되어 ONU간 성능 차이를 발생할 수 있다. 그림 4에서 이 관계를 보이고 있다. 즉, 그림의 재생기 수신 신호와 같이 TDM-PON의 ONU에서는 일반적으로 소광비로 인한 파워페널티 발생을 줄이기 위해 소광비를 제어하여 신호를 전송한다. 그런데 이 신호들은 파장변환노드에 수신될 때 ONU에 따라 광세기 차이가 존재할 수 있으며, 송신기의 자동광세기제어회로(APC)가 평균 광세기를 일정하게 유지하려 하기 때문에 결국 파장변환노드의 송신 신호는 ONU 신호마다 다른 소광비를 가지게 된다. 1R 재생기를 ONU 파장변환노드에 적용했을 경우 각 ONU에서 전송되어 온 광세기는 다음과 같이 표현된다.

$$P_i = m_i \cdot (2P_{APC}) \quad (1)$$

$P_{APC}$ 는 파장변환된 송신출력 광세기이고  $m_i$ 는 ONU<sub>i</sub>에서 전송되어온 신호가 파장변환노드 송신단 APC회로에 의해 새롭게 설정된 변조지수이다. 따라서 각 ONU 신호의 소광비 및 수신 감도는 각각

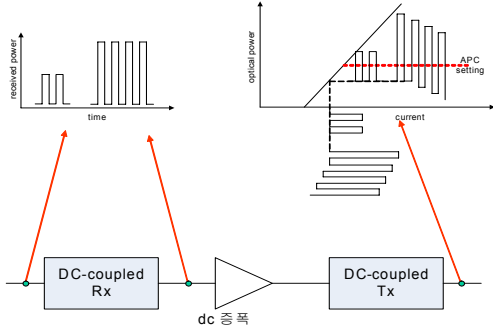


그림 4. 1R 재생에 의한 버스트 모드 송신 광신호

식 (2), (3)과 같게 된다.

$$er_i = \frac{P_{APC} + P_i/2}{P_{APC} - P_i/2} \quad (2)$$

$$P_{rec,i} = \left( \frac{er_i + 1}{er_i - 1} \right) \frac{\sigma_T Q}{R} = \frac{1}{m_i} \frac{\sigma_T Q}{R} \quad (3)$$

R은 수신단의 부하 임피던스,  $\sigma_T$ 는 열잡음, Q는 Q-factor를 각각 나타내며, 식 (3)으로부터 각 ONU 상향 신호의 파워페널티를 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} Power\ Penalty [dB] &= 10\log_{10} \left( \frac{P_{rec,i}}{P_{rec,er=\infty}} \right) \\ &= 10\log_{10} \left( \frac{1}{m_i} \right) = -10\log_{10}(m_i) \quad (4) \end{aligned}$$

그림 5에서는 입력 ONU 신호세기 차이에 따른 소광비 차이 및 파워 페널티를 보이고 있다. 파장변환 노드에 수신된 광세기가 작은 ONU 송신신호는 상대적으로 변조지수가 작아짐에 따라 그림에서와 같이 파워 페널티가 커지며, 변조지수가 0.5가 되면 OLT(Optical Line Terminal)에서의 페널티는 약 3 dB에 이르는 것을 볼 수 있다.

그림 6의 2R 재생 방식에서는 이러한 소광비 문제를 해결할 수 있음을 보여준다. 즉, 버스트모드용 리미팅 증폭기를 이용한 2R 수신기는 버스트 특성을 갖는 ONU 신호들을 그림과 같이 동일한 크기로 재생한다. 이 때 각 ONU는 소광비를 제어하여 전송했기 때문에 파장변환노드 수신단에서의 소광비에 의한 파워 페널티는 거의 없다고 가정한다. 동일 크기로 정렬된 신호는 다시 DC-커플링 송신기에 의해 변조 및 전송된다. 이 때 송신기의 입력신호 크기는 시간에 따라 동일하기 때문에 소광비 제어를

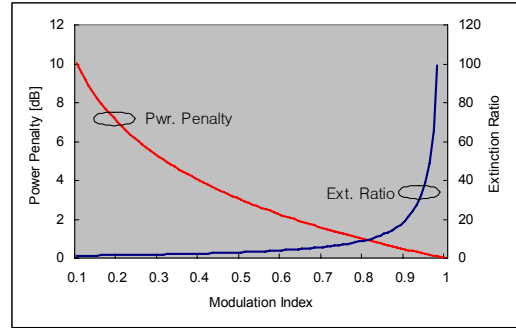


그림 5. 파장변환노드에서 변조지수에 의한 소광비(ER) 및 파워페널티의 변화

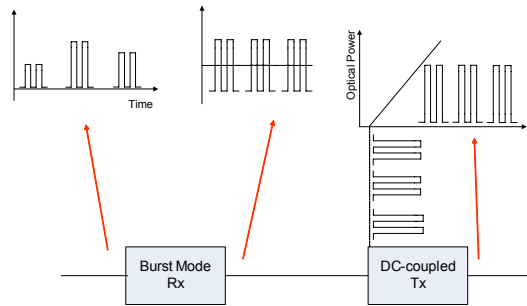
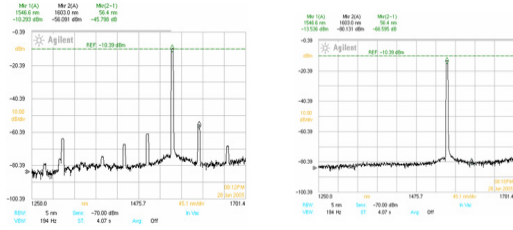


그림 6. 2R 재생에 의한 버스트 모드 송신 광신호

하여 최적의 소광비를 가진 광신호를 송신할 수 있게 된다.

### III. 실험 결과

그림 7은 2(c)도에서 제시한 2계층 원격구조를 이용 시의 광스펙트럼을 측정된 결과이다. 7(a)는 RN 에 있는 AWG를 통과한 직후의 신호로서 ONU의 1310 nm 상향신호, 파장변환노드의 1550 nm 상향신호 및 이의 측대역 모드들이 관측되었으며, 이 때 파장변환노드에서 송신한 1550 nm 신호와 기타 신호의 세기 차이는 40 dB 이상임을 확인하였다. 이러한 차이는 ONU 송신신호는 광분배기에서의 분배손실 및 AWG에서의 파장 불일치 손실 등을 경험하는 반면, 파장변환노드 송신신호는 이러한 손실을 경험하지 않기 때문에 발생한다. 그림 7(b)는 OLT에서 파장분리를 위해 다시 한 번 AWG를 통과한 이후의 광스펙트럼을 보이는 것으로 신호 세기 차이는 60 dB 이상으로 무시할 수 있는 상황이 되었다. 따라서 RN에서 그림 2(b)의 1490/1310 nm CWDM 필터는 생략될 수 있으며 본 논문에서는 그림 2(c)를 경제적 RN 구성방안으



(a) RN (상향) (b) OLT(상향)

그림 7. 2계층 방법 RN 구성 시 광스펙트럼

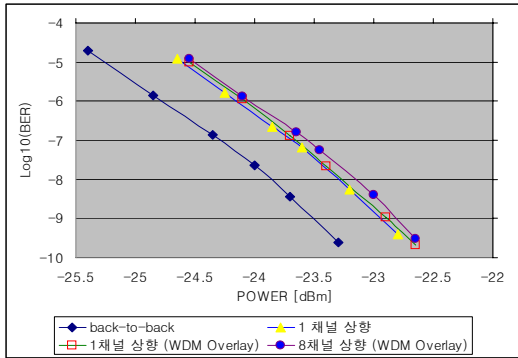


그림 8. WDM 기반 TDM-PON 구조 이용 시 상향 전송실험 결과

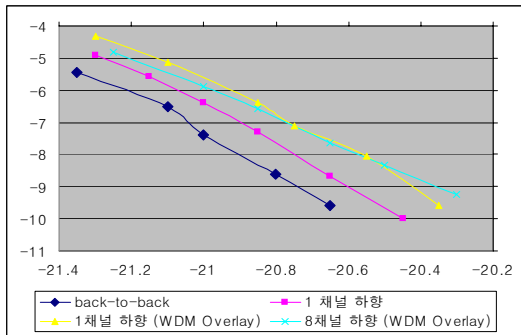


그림 9. WDM 기반 TDM-PON 구조 이용 시 하향 전송실험 결과

로 제안한다.

본 논문에서 제시한 파장변환 노드를 이용한 WDM 기반 TDM-PON을 구성하고 전송실험을 수행하였다. 8개의 파장을 이용해 상향전송을 수행한 전송성능 결과는 그림 8과 같다. 이 때 파장변환 노드에는 2R 재생방식을 이용하였고, RN의 구성에는 그림 2(c)의 2계층 방식을 이용하였다. 8채널 전송 시의 전송성능은 WDM을 이용하지 않은 TDM-PON Back-to-back 전송과 비교하여 약 0.7 dB정도의 차

이로서 본 논문에서 제시된 방식의 WDM 기반을 충분히 이용할 수 있음을 보인다. 그림 9에서는 하향 전송실험 성능을 보이고 있다. 이 경우에도 8채널 전송 시 약 0.5 dB 정도의 성능 열화만을 보임으로써 제안된 방식이 WDM 기반을 도입하더라도 상·하향 모두에서 전송성능을 유지함을 확인하였다.

#### IV. 결론

본 논문을 이용하여 대규모의 가입자에게 FTTH를 제공할 수 있다. 1,000세대 이상의 공동주택단지에 FTTH를 제공하기 위해서는 파이버를 최대한 효율적으로 이용하여야 하며 이 경우 WDM전송방식의 도입 가능성이 크다. 특히 FTTH 초기의 경제성으로 인해 현재 TDM-PON이 더 선호되고 많이 설치 중인 통신망 상황에서 향후 대규모 가입자 수용 및 전송속도 향상을 위해서는 다음 단계로 WPON의 오버레이가 필수적이 되는데, 이 경우 본 논문에서 제안한 방식을 이용하면 기존 TDM-PON의 ONU를 교체할 필요가 없으므로 경제적이며, 또한 업그레이드 소요 시간도 최소화 할 수 있을 것이다.

#### 참고 문헌

- [1] Light reading, "Teknovus, Corecess Win KT Deal", [www.lightreading.com/document.asp?doc\\_id=77089](http://www.lightreading.com/document.asp?doc_id=77089), July 12, 2005.
- [2] R.D. Feldman, E.E. Harstead, S. Jiang, T.H. Wood, M. Zirngibl, "An Evaluation of Architectures Incorporating Wavelength Division Multiplexing for Broad-Band Fiber Access", *Journal of Lightwave Technol.*, Vol. 16, no. 9, pp. 1546 - 1559, Sep. 1998.
- [3] "Ethernet in the First Mile Task Force", IEEE 802.3ah standard, approved 24 June 2004.
- [4] 김봉태, 김병휘, 유정주, 김태연, 김봉규, 정의석, 박재동, "WDM PON 기술", ETRI, 전자통신동향분석 제19권 제6호 pp. 43-54, 2004.12.
- [5] C.G.Park, H.S.Jung, D.H.Han, Y.T.Lee, "Performance analysis of DBA scheme with interleaved polling algorithm in an Ethernet PON", *Computers and Communications, Proceedings. ISCC 2004*.
- [6] G. Maier, M. Martinelli, A. Pattavina, E. Salvadori, "Design and cost performance of the multistage WDM-PON access networks", *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 18, Issue. 2, pp. 125-143, Feb. 2000.

현 재 명 (Jae-Myong Hyun)

준회원



2004년 2월 국민대학교 전자정  
보통신공학과 학사  
2004년 3월~현재 국민대학교 대  
학원 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 광가입자망, 광 전송  
장치, WDM-PON 시스템

김 병 휘 (Byoung-Whi Kim)

정회원



1983~1988 ETRI 근무  
1994 Univ. of Colorado at  
Boulder 박사  
1995~현재 ETRI 근무 WPON기  
술팀장  
<관심분야> WDM-PON,  
TDM-PON, SCM-PON

조 원 국 (Wonkuk Cho)

준회원



2005년 2월 국민대학교 전자정  
보통신공학과 학사  
2005년 3월~현재 국민대학교 대  
학원 전자공학과 석사과정  
<관심분야> 광통신 및 광네트워  
크, 광전송장치, 이동 IP네트워  
크

박 영 일 (Youngil Park)

종신회원



1987년 2월 서울대학교 전기공  
학과 학사  
1989년 2월 서울대학교 대학원  
전기공학과 석사  
1995년 5월 Texas A&M Univ.  
EE Dept. 박사  
1995년 8월~1999년 2월 KT 가  
입자망연구소  
1999년 3월~현재 국민대학교 전자정보통신공학부  
<관심분야> 광통신시스템, 광가입자망, 광인터넷