

상향 두 파장 TDM-PON을 이용한 전송효율의 향상

준회원 정 준 회*, 박 재 옥*, 최 병 철*, 정회원 유 재 훈**, 김 병 휘**, 종신회원 박 영 일*

Improvement of Upstream Bandwidth Utilization Using Two-Upstream-Wavelengths TDM-PON System

Junhoi Chung*, Jaek Park*, Byungchul Choi* Associate Members
Jeahoon Yoo**, Byoung-Whi Kim** Regular Members, Youngil Park* Lifelong Member

요 약

TDM-PON의 상향전송 데이터 프레임은 여러 가지 오버헤드를 포함하고 있으며, 각 ONU 전송시간 사이에는 가드밴드가 존재한다. 이들은 수신단의 동기 및 전송성능 유지를 위해 중요한 요소들이지만, 상향 대역폭 낭비의 원인이 되고 있다. 본 논문에서는 상향 전송에 두 종류의 파장을 이용해 대역폭 이용효율을 극대화하는 방식의 TDM-PON을 제안하였다. ONU들에 두 파장을 고르게 배치하고, 각 ONU는 전송 패킷의 오버헤드를 중첩하여 전송함으로써 이용 효율을 100%에 근접하도록 하였으며, 이를 위한 OLT 다중화회로를 구현하였다.

Key Words : TDM-PON, Bandwidth Utilization, GE-PON, Overhead, Guard band

ABSTRACT

Upstream data frame of TDM-PON includes various types of overheads, and there exist guard bands between consecutive frames from different ONUs. Although they are indispensable in synchronization and performance, they cause bandwidth waste at the same time. To solve this problem, a new TDM-PON that uses two types of wavelengths in upstream transmission is suggested. By even distribution of two wavelengths among ONUs and overhead overlap between frames that use different wavelengths, almost 100% bandwidth efficiency could be achieved. A serializer that multiplexes signals from two wavelengths is implemented for this purpose.

1. 서 론

IPTV, VoD 서비스 등 멀티미디어 트래픽의 증가와 함께 Passive Optical Network (PON) 시스템 설치의 급격한 증가가 예상되고 있다. 여러 방식의 PON 시스템 중 WDM-PON은 각 Optical Network Unit (ONU)에 고유 파장을 사용함으로써 대역폭 및 보안특성이 우수하고 프로토콜에 투명하다는 장점을 가지고 있지만, 높은 설치비용으로 인해 현재까지는 제한적으로 이용되고 있다^[1]. 반면에 TDM-

PON은 각 ONU에 같은 파장을 사용하며 다중화에 Multi-Point Control Protocol (MPCP) 등 시간 분배를 통한 접속 프로토콜을 이용하는 방식으로서 간단한 설치로 비용의 부담이 적어 사용자가 급속히 증가하고 있다^[2]. 그러나 트래픽의 증가와 함께 현재 설치 및 이용 중인 GE-PON의 대역폭 이용 효율이 너무 낮다는 지적을 받고 있다. 낮은 효율의 주원인으로는 프레임 오버헤드, 제어채널 오버헤드, 가드밴드(Guard band) 오버헤드, FEC (Forward Error Correction) 등을 들 수 있으며, 이들로 인해

* 본 연구는 한국전자통신연구원 연구과제 지원으로 수행되었음.

* 국민대학교 전자공학부 광대역통신 연구실(yipark@kookmin.ac.kr), ** 한국전자통신연구원 WPON기술팀
논문번호 : KICS2008-01-040, 접수일자 : 2008년 1월 24일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 21일

GE-PON 상향 대역폭 이용률은 최저 60~70%에 머무르고 있다³⁾. 한편 GPON의 경우 GE-PON에 비해 음성서비스 등 기존의 통신서비스 수용 및 대역폭 이용 관점에서 효율적이라는 이유로 유럽과 북미에서 관심을 받고 있지만, 짧은 가드 밴드를 요구하고 있어 이의 구현을 위한 송수신단 비용 상승의 문제가 예상되고 있다^{4,5)}.

본 연구에서는 TDM-PON의 ONU에 두 종류의 파장을 이용함으로써 GE-PON의 대역폭 이용 효율 문제와 GPON의 짧은 가드밴드 비용 문제를 해결할 수 있는 방안을 제안하였다. 이의 구현을 위해 두 파장의 신호를 Optical Line Terminal (OLT) 수신부에서 하나로 정렬할 수 있는 다중화 회로를 구현하였다.

II. 2W-PON 전송 원리

그림 1은 TDM-PON ONU 전송 신호간의 가드 밴드와 본 논문에서 제안한 상향 두 파장에 의한 가드 밴드를 비교한 것이다. 가드 밴드는 ONU LD의 on/off 시간, OLT PD에서의 자동이득조절 시간, 클럭 및 데이터 복구 시간 등을 고려한 ONU 신호간 시간 마진을 말한다. 일정 크기 이상의 가드 밴드를 확보하지 않으면 ONU 전송신호 간 충돌이 발생할 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안된 2W-PON (2-Upstream-Wavelengths PON) 방식에서는 그림 1(b)와 같이 두 개의 서로 다른 ONU 파장을 교대로 전송함으로써 가드밴드를 없앨 수 있다. 또한 이 방식은 프레임링 오버헤드, 제어채널 오버헤드 등 GE-PON 전송에 소요되는 기타의 오버헤드만큼을 두 파장이 중첩하여 전송하도록 하고

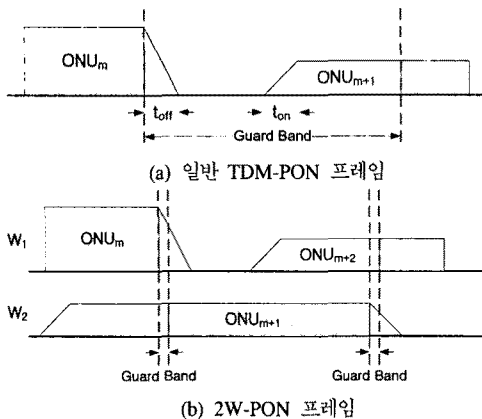


그림 1. 일반 TDM-PON과 제안된 2W-PON 가드밴드 비교

OLT 수신부에서는 이를 제거한 후 다중화하는 방법을 통해서 전송효율을 극대화할 수 있다⁶⁾.

각 ONU의 상향 전송 시간은 OLT에서 MPCP를 이용하여 할당하는 현재 방식을 사용하되 식 (1)과 같이 각 ONU의 오버헤드가 중첩될 수 있도록 할당한다.

$$t_{ONU.(n+2)} = \max \left\{ \begin{array}{l} t_{ONU.(n+1)} + \Delta t_{(m+1)} - oh_{enc} - oh_{ctrl} - oh_{fec} \\ t_{ONU.(m)} + \Delta t_m + oh_{gb} \end{array} \right. \quad (1)$$

위 식의 $t_{ONU.m}$ 은 ONU_m 의 전송 시작시간, Δt_m 은 ONU_m 의 패킷 전송 시간이고, oh_{enc} , oh_{gb} , oh_{ctrl} , oh_{fec} 는 각각 프레임링, 가드밴드, 제어채널, FEC 오버헤드 시간에 해당한다. 즉, 직전 전송 ONU와 각종 오버헤드의 합만큼 중첩되게 전송하되 만일 같은 파장을 이용한 ONU_m 이 다른 파장을 이용한 ONU_{m-1} 보다 전송이 더 늦게 끝난다면 ONU_m 의 전송시간에 가드밴드만큼을 더한 값을 ONU_{m+2} 의 전송시간으로 정해야 한다는 의미이다.

제안된 2W-PON 시스템의 구조를 그림 2에서 보이고 있다. 그림의 각 ONU들은 두 개의 파장 W1, W2 중에서 하나를 선택하여 사용한다. 최초 설치 시 W1과 W2를 각각 상향 파장으로 사용하는 ONU의 개수가 균형을 이루도록 한다. OLT는 식 (1)에 의해 두 파장의 ONU를 교대로 전송하도록 전송시간 및 대역폭을 할당한다. 전송된 상향 신호는 OLT 입력단에 위치한 WDM 필터를 통하여 두 개의 파장으로 분리된 후 각각의 PD로 입력되어 전기신호로 변환되고, 다시 2W-다중화 회로에 입력된다. 이 회로의 기능은 두 신호로부터 오버헤드를 제거한 후 한 개의 신호로 합하여 상위의 OLT MAC (Media Access Control)으로 전송하는 것이다.

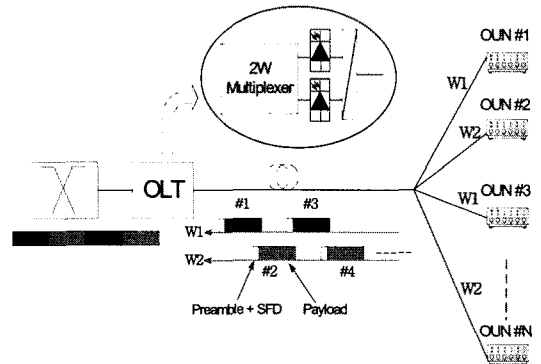


그림 2. 2W-PON 시스템의 구조

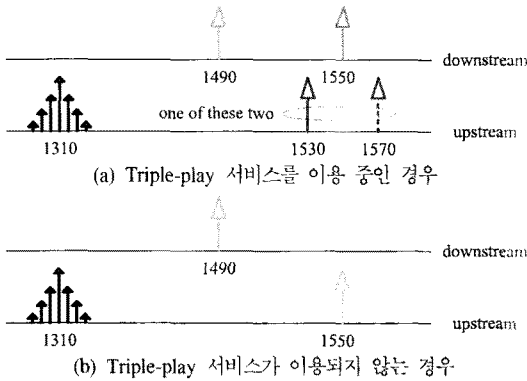


그림 3. 상향 전송 파장의 선택

상향 전송에 사용된 두 개의 파장은 다음 그림 3과 같이 1310 nm, 1550 nm 영역에서 이용할 수 있다. PON의 triple-play 서비스에 의해 1550 nm 파장의 CATV 신호가 하향 전송에 이용되는 경우 상향 전송을 위한 또 하나의 파장은 그림 3(a)와 같이 1530nm와 1570nm 중 하나를 선택할 수 있다. CATV 서비스가 IP-TV 서비스로 대체되어 1490 nm에 통합됨으로써 하향 1550 nm가 이용되지 않는 경우 그림 3(b)와 같이 1550nm를 상향 전송에 이용할 수 있다. 이 경우 1310nm 전송에는 FP 타입의 다중모드 LD를 이용할 수 있으나, 1550nm 파장은 일반 단일모드 광선로에서 색분산 값이 크므로 DFB 타입의 단일모드 LD를 적용해야 한다.

III. 2W-PON 성능 분석 및 구현

기존 GE-PON 시스템의 상향전송과 본 논문에서 제안된 2W-PON의 상향전송 성능을 시뮬레이션을 통해 비교하였다. GE-PON 시뮬레이션에는 16개의 ONU, 사이클 시간 750 μ s, 가드밴드 2 μ s, OLT-ONU 전송 속도 1 Gbps, 그리고 ONU 각 포트의 입력신호 속도 100 Mbps를 가정하였다. 750 μ s 사이클 시간은 최대 음성 지연시간을 1.5 msec로 제한하기 위함이다⁷⁾. 또한 2 μ s 가드밴드는 상용화를 위해 구현을 용이하게 하기 위함이다. 또한 각 ONU에는 10개의 패킷 소스와 10 Mbyte 버퍼를 할당하였고, 패킷은 self-similar 트래픽을 가정하였다. 한편 2W-PON에서는 16개의 ONU가 파장 1과 파장 2를 각각 절반씩 이용하는 것으로 가정하였고 다른 조건은 GE-PON의 경우와 동일하게 하였다. 대역폭 할당 방식에는 두 경우 모두 고정 대역폭인 Fixed 방식과, 최대 윈도우 사이즈 범위 내

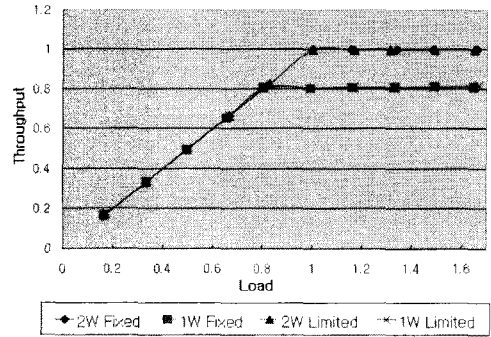


그림 4. GE-PON과 제안된 2W-PON 전송효율 비교

에서 각 ONU가 요청한 대역폭을 할당하는 Limited 방식을 사용하였다. 또한 본 시뮬레이션에는 가드밴드 오버헤드와 frame delineation 오버헤드만을 고려하였고 FEC, 8B/10B, 제어채널 등에 의한 오버헤드는 성능 계산에서 제외하였다⁸⁾.

그림 4에서와 같이 한 개의 파장을 사용한 기존 GE-PON의 경우 효율은 0.8에서 포화되었다. 위에서 나열한 여러 가지 오버헤드에 의해 20% 정도의 전송효율 손실을 본 것이다. 반면 본 논문에서 제안한 2W-PON 방식에서는 두 개 파장의 중첩으로 이들 오버헤드를 완전히 제거할 수 있었기 때문에 전송 효율이 1.0에 이른 것을 볼 수 있다. 두 경우 모두 대역폭 할당 방식과 전송 효율은 큰 상관관계가 없었다.

그림 5에서는 ONU에 발생한 패킷이 OLT에 이르는 데 걸리는 전송 지연시간을 보여주고 있다. GE-PON의 경우 부하 0.7 이상에서 지연시간이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. Fixed DBA 경우 부하가 작을 때에도 각 ONU에 할당하는 전송 윈도우 크기가 동일하기 때문에 Limited DBA와 비교할 때 상대적으로 큰 지연시간을 보이고 있다. 한편 2W-PON 전송 방식의 경우 부하가 0.95 이상이 되어야 지연시간이 급격히 증가하고 있다. 따라서 GE-PON과 비교할 때 트래픽이 매우 큰 환경에서도 양질의 전송을 할 수 있으며, 특히 VoIP 및 실시간 멀티미디어 신호 등 지연시간에 민감한 신호의 처리에 유용하게 이용할 수 있음을 알 수 있다.

두 개의 파장으로부터 입력되는 신호에서 각종 오버헤드를 제거하고 하나의 출력으로 내보내기 위한 2-파장(2W) 다중화 회로 (2W-Multiplexer)를 그림 6과 같이 구성하였다. 이 회로를 구성한 이유는 기존 GE-PON MAC (Media Access Control)을 할

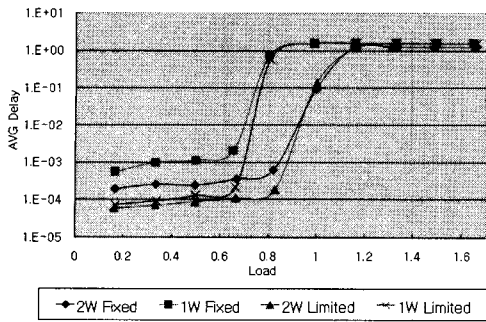


그림 5. GE-PON과 제한된 2W-PON 전송지연 비교

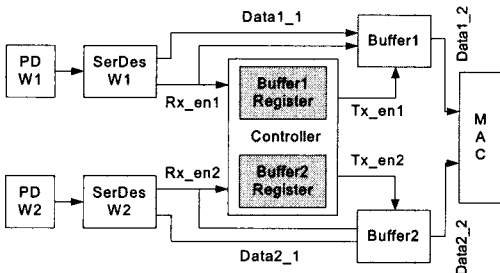


그림 6. 두 파장 신호의 다중화 회로 (2W-Multiplexer)

용하기 위해서이다. 먼저 각 파장에 해당하는 PD에 의해 전기신호로 바뀐 데이터는 Serializer/Deserializer (SerDes)를 통해 오버헤드가 제거되고 비트 단위의 데이터 Data1(2)_1으로 변환된다. 이와 동시에 SerDes는 데이터의 입력을 알리는 Rx_en1(2) 신호를 출력한다. Rx_en 신호는 Controller와 각 파장에 해당하는 Buffer의 활성화 신호이다. Data는 Rx_en에 의해 해당 버퍼에 임시 저장되고, Rx_en 신호가 비활성화 되면 버퍼 저장을 멈춘다. 각 패킷이 저장되는 버퍼의 해당 주소는 Controller 내부에 있는 Buffer Register에 저장되며, 패킷 저장이 새롭게 이루어질 때마다 이 주소는 갱신된다. 이와 동시에 Controller는 First In First Out (FIFO)방식으로 두 버퍼에 Tx_en 신호를 보내 데이터들을 다음 단의 MAC으로 전송한다. 이 전송은 MAC의 데이터 처리 단위인 바이트 형태로 병렬 전송된다.

그림 7과 그림 8은 SerDes와 Controller 블록에서 이루어지는 일들의 동작순서를 나타내고 있다. 그림 7에서 SerDes는 Starting Frame Delimiter (SFD)를 감지한 후 데이터의 병렬변환을 시작한다. 이 때 SFD 및 기타 오버헤드는 병렬 변환 전 제거된다. 그림 8에서 보는 바와 같이 Controller 블록은 송신과 수신을 따로 처리하고, Buffer는 데이터의 저장과 출력을 동시에 할 수 있도록 설계하였다.

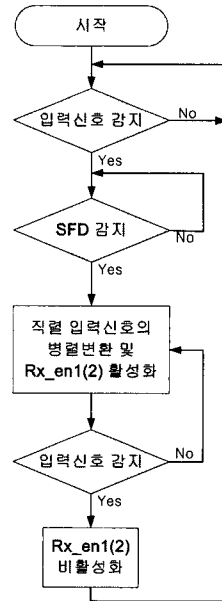


그림 7. SerDes 블록 동작 순서도

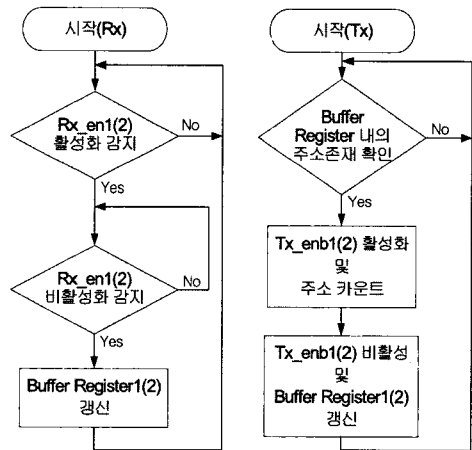


그림 8. Controller 블록 동작 순서도

제시된 2W-다중화 회로의 동작확인을 위해 VHDL 프로그램을 작성하고 Modelsim 시뮬레이션을 이용해 이를 검증하였다. 그림 9는 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 그림 6에 제시된 각 신호의 동작이 그림 7 및 그림 8의 순서도에 따라 정확히 이루어지고 있으며, 최종 출력인 OLT_Out은 두 개의 파장으로부터 입력된 신호의 오버헤드가 제거되고 합해진 형태임을 확인할 수 있다.

위에서 검증된 논리회로를 FPGA에 다운받아 구현한 결과를 그림 10에서 보이고 있다. 그림 10(a)에서는 두 파장의 전송 신호 중 오버헤드 부분이 정확히 중첩되어 전송되고 있는 경우의 처리 결과

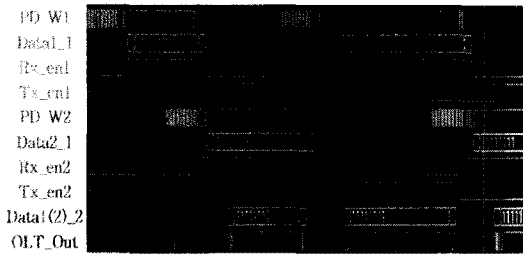
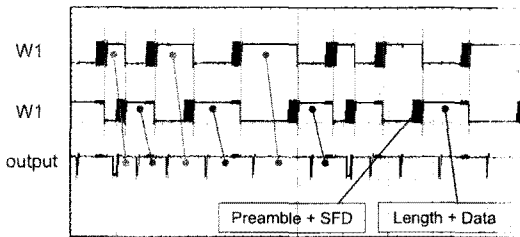
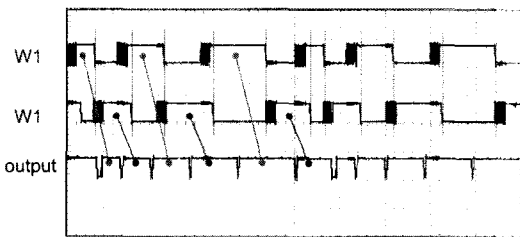


그림 9. Modelsim 시뮬레이션 결과



(a) 두 파장의 오버헤드가 고정 중첩된 경우



(b) 두 파장의 오버헤드가 임의 중첩된 경우

그림 10. 2W-PON 다중화부 회로의 FPGA 구현 결과

를 보여주고 있다. 이를 위해서는 OLT에서 오버헤드 크기를 계산하여 이를 고려한 각 ONU 전송시간을 계산하고 이를 MPCP 프로토콜에 의해 각 ONU에 전달함으로써 이루어진다.

OLT의 이러한 부담을 덜어주기 위해서는 OLT는 ONU 전송부하 총합이 일정 시간 이상 1.0을 넘지 않도록 제어해주면 된다. 이 경우 각 ONU에서 전송하는 두 파장 신호는 임의적으로 중첩되며, 이 경우의 처리 결과를 그림 10(b)에서 보여주고 있다. 두 경우 모두에서 제안된 방식의 2W-PON 다중화 회로가 잘 동작하는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론 및 토론

본 논문에서는 상향 전송 대역폭의 이용 효율을 향상하기 위해 상향 전송에 두 종류의 파장을 이용

하는 2W-PON 방식을 제안하였다. 각 ONU를 두 그룹으로 나누고 각 그룹은 서로 다른 파장을 이용하도록 하며, 두 파장으로 전송되는 신호의 오버헤드를 서로 겹치도록 전송함으로써 20%의 전송효율 상승효과를 얻을 수 있었다. 또한 패킷 지연으로 인한 신호성능 저하도 줄일 수 있음을 알았다. 제안된 방식에 기존 상용화된 GE-PON의 MAC을 최대한 이용하기 위해서 2개 파장 신호를 하나의 출력으로 만드는 두 파장 신호의 다중화회로를 설계하고, FPGA를 이용하여 이를 시험하였다.

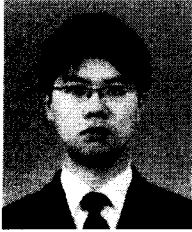
본 논문에서 제안된 상향 두 파장 전송방식을 이용하면 물리적으로 매우 짧은 가드밴드를 요구하는 GPON 혹은 10G-PON등을 용이하게 구현할 수 있고, 소자 규격을 완화함으로써 결과적으로 비용 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] A. Banerjee, Y. Park, F. Clarke, H. Song, S. Yang, G. Kramer, K. Kim and B. Mukherjee, "A review of WDM-PON Technologies for Broadband Access," OSA Journal of Optical Networking, Vol.11, pp.737-758, 2005.
- [2] IEEE 802.3ah: Media Access Control Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks, 2004.
- [3] G. Kramer, "Ethernet Passive Optical Networks", McGraw Hill, pp.173-181, 2005.
- [4] ITU-T G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON) Transmission convergence layer specification, 2004.
- [5] 김광욱, 최현균, 김승환, 권을, 김봉태 "GPON 기술 표준 규격 및 개발 동향", 주간 기술 동향, 2006.2.8.
- [6] J. Chung, J. Park and Y. Park, "Improvement of TDM-PON Upstream Bandwidth Utilization Adopting Two Wavelengths," pp.10-11, Proceedings of Optoelec. and Comm. Conf., 2007.
- [7] ITU-T G.114: One-way Transmission Time, 2003.
- [8] J. Park, B. Choi and Y. Park, "Application of Two Upstream Wavelength In Fairness and Priority Environments," pp.460-461, Proceedings of Optoelec. and Comm. Conf., 2007.

정 준 희 (Junhoi Chung)

준회원



2006년 국민대학교 전자정보통신
공학부 공학사
2006년~현재 국민대학교 대학원
전자공학과 석사과정
<관심분야> 광가입자망, 광전송
장치, 광대역통합망

유 제 훈 (Jeahoon Yoo)

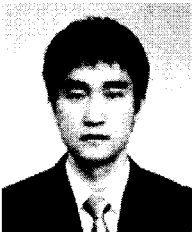
정회원



1980년~현재 한국전자통신연구
원 광통신연구센터
2008년 충북대학교 대학원 정보
통신공학과 공학박사
<관심분야> 광인터넷, FTTH 시
스템 구조 및 설계, 이동 네트
워크 구조 및 설계

박 재 욱 (Jaek Park)

준회원



2007년 국민대학교 전자정보통신
공학부 공학사
2007년~현재 국민대학교 대학원
전자공학과 석사과정
<관심분야> 광가입자망, 광대역
통합망, 센서네트워크

김 병 휘 (Byoung-Whi Kim)

정회원



1983년~1988년 한국전자통신연
구원
1994년 Univ. of Colorado at
Boulder 공학박사
1995년~현재 한국전자통신연구
원 WPON기술팀장
<관심분야> WDM-PON, TDM-PON,
SCM-PON

최 병 철 (Byungchul Choi)

준회원



2007년 국민대학교 전자정보통신
공학부 공학사
2007년~현재 국민대학교 대학원
전자공학과 석사과정
<관심분야> 광가입자망, 광전송
장치, 코드분할다중 전송방식

박 영 일 (Youngil Park)

종신회원



1995년 Texas A&M Univ. 공학
박사
1995년~1999년 KT 연구개발본
부 선임연구원
1999년~현재 국민대학교 전자
공학부 부교수
<관심분야> 광가입자망, 광대역
통합망, 무선네트워크