

RSOA기반 WDM-PON 링크와 Reach Extender를 이용한 2.5 Gbps 하이브리드 PON 링크 기술

정회원 김 광 옥*, 이 지 현*, 이 상 수*, 종신회원 장 윤 선**

2.5 Gbps Hybrid PON link Using RSOA Based WDM-PON and a Reach Extender

Kwang-ok Kim*, Jie-hyun Lee*, Sang-soo Lee* *Regular Members,*
Youn-seon Jang** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 기존 G-PON(Gigabit Passive Optical Network) 링크에 RSOA(Reflective Semiconductor Optical Amplifier) 기반 DWDM-PON(Dense Wavelength Division Multiplexing-PON) 기술과 O/E/O 변환 방식의 RE (Reach Extender) 기술을 적용하여 전송거리와 링크 용량 그리고 분기수를 증가시킬 수 있는 2.5 Gbps 하이브리드 PON 링크의 구조를 제안한다. RSOA 기반 DWDM-PON 기술은 간선 중계링크에 적용되어, 기존 G-PON 보다 최대 32배의 링크 전송용량을 제공할 수 있다. RE 기술은 원격노드에서 GTC(GPON Transmission Convergence) 프레임의 재 변조를 통해 DWDM-PON과 G-PON 사이의 파장변환 기능을 제공하며, 상향 프레임의 수신을 위한 버스트 모드 리셋 신호를 제공한다. 본 논문에서 제안된 하이브리드 PON은 상용 G-PON 시스템을 사용하여 WDM 신호 파장 당 최대 60 km의 전송거리와 128분기를 제공할 수 있다.

Key Words : Hybrid PON, TDMA-PON, WDM-PON, Reach Extender, LR-PON

ABSTRACT

We presents the architecture of the 2.5 Gbps hybrid PON link which can increase of the transmission distance and link capability, and split ratio by using a colorless DWDM-PON and O/E/O based reach extender into an existing G-PON link. A RSOA based DWDM-PON to apply the feeder fiber can provide a link capacity of 32 larger that of a legacy G-PON. The reach extender converts the wavelength of DWDM-PON to G-PON through GTC frame regeneration at the remote node, and can provide a burst reset signal in order to extract upstream burst signal, simultaneously. The proposed hybrid PON enable a legacy G-PON to operate over the maximum 60 km distance with a 128-way split per WDM wavelength.

I. 서 론

FTTH(Fiber to the Home) 망에 널리 적용되고 있는 PON 기술은 기존 동선 기반의 xDSL(Digital Subscriber Line)이나 케이블 망에 비해 운용비용을

최소화 하면서 가입자들에게 광대역을 제공할 수 있는 기술이다. PON 기술은 가입자간의 시분할 방법에 의해 서비스를 제공하는 TDMA-PON(Time Division Multiple Access-PON) 방식과 가입자에게 고유의 파장을 할당하여 서비스를 제공하는 WDM-PON(Wavelength

* 본 연구는 방송통신위원회의 차세대 통신 네트워크 원천 기술개발사업의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2011-1003519/10913-05002)

* 한국전자통신연구원 인터넷연구부분 광인터넷연구부 평가입자기술연구팀(kwangok, jhlee, soolee@etri.re.kr)

** 충남대학교 전자공학과 광통신시스템 연구실(jangys@cnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-03-155, 접수일자 : 2011년 3월 15일, 최종논문접수일자 : 2011년 5월 2일

Division Multiplexing-PON) 방식으로 분류된다. 또한, TDMA-PON 기술은 프로토콜 전송 방식에 따라 E-PON(Ethernet PON)과 G-PON으로 분류된다³⁾.

현재 FTTH 망에 적용되고 있는 TDMA-PON 기술은 서비스 제공자 쪽에 설치되는 국사중단장치와 가입자 쪽에 설치되는 광 중단 장치, 그리고 수동형 광 스플리트를 통해 이들을 연결하는 광 분배 네트워크로 구성된다. 즉 PON 기술은 수동형 소자를 통해 통신사업자의 망 유지 보수비용을 효율적으로 절감할 수 있으며, 1 Gbps 이상의 전송대역을 가입자들에게 제공할 수 있는 차세대 광가입자망 기술이다. 또한 고품질 IPTV 서비스를 포함한 향후 신규 서비스와 광대역 기반의 미래 가입자 서비스의 요구를 충족시킬 수 있다²⁾. 특히, ITU-T SG15에서 표준화된 G-PON 기술은 GEM(G-PON Encapsulation Method) 프로토콜을 통해 다양한 전송 프로토콜을 수용하고 2.5 Gbps의 전송대역을 제공하기 때문에, 광가입자망 PON 기술로서 널리 사용되고 있다³⁾.

현재 국내의 통신사업자들은 액세스망의 운용 비용 절감과 효율적인 망 관리를 위해 G-PON의 전송계층에서 지원되는 최대 60 km의 전송거리까지 확장하여 가입자 망과 메트로 망을 통합하려는 노력을 진행하고 있다. 이런 요구에 따라 ITU-T에서는 2008년도에 기존 G-PON의 전송거리 확장을 목적으로 한 G-PON RE에 대한 권고안(G.984.6)을 마련하였다⁴⁾. 또한 최근 Green-IT 네트워크 구축 이슈에 따라 국사광역화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 국내에서도 KT가 현재 408개로 운용되는 전화국사 수를 2015년까지 50개로 줄이려는 LR-PON(Long Reach-PON) 프로젝트를 진행 중에 있다. 북미나 유럽에서도 장거리 전송 가능한 가입자망 기술에 대한 요구가 많으며, 다양한 프로젝트를 통해 연구 중에 있다¹⁾.

따라서 본 논문에서는 장거리 전송 및 전송 용량의 극대화, 그리고 고 분기를 제공할 수 있는 차세대 광가입자망 기술로서 하이브리드 PON 구조를 제시하고, 실험을 통해 성능을 분석하였다. 본 논문에서 제시된 하이브리드 PON 링크 기술은 기존 G-PON 링크에 DWDM-PON 기술을 접목하여 광섬유의 전송링크 용량을 32배까지 확대하고, RE를 이용하여 60 km의 전송거리와 하나의 PON 포트 당 128분기 접속을 제공할 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존 G-PON 및 LR-PON의 구조와 이슈에 대해 분석한다. 3장에서는 제안된 하이브리드 PON 링크의 구조 및 적용된 핵심 요소기술에 대해서 설명한다. 4장에서는

실험을 통한 하이브리드 PON 링크의 성능을 분석한다. 끝으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 일반 G-PON 특징 및 LR-PON과의 비교

그림 1은 일반적인 G-PON 링크 구조를 보여준다. G-PON은 점대다중점 연결방식을 통해 하향으로 브로드캐스트와 상향으로 시간 분할 다중화접속방식을 사용하여 서비스를 제공한다. 그림 1에서처럼 G-PON은 전화국사와 가입자간에 수동형 소자인 스플리트를 사용하기 때문에, AON(Active Optical Network) 방식에 비해 망 관리 및 유지보수 비용이 적다⁵⁾. 그러나 현재 G-PON은 물리적으로 최대 20 km의 전송거리만을 제공하기 때문에, 20 km 반경마다 전화국사가 존재해야 한다. 따라서 현재 G-PON 기술로는 전화국사와 가입자간의 50 km 이상의 전송거리를 제공하는 국사광역화 및 그린 네트워크 구축을 제공할 수 없다. 또한 전화국사에서 20 km 이상 떨어진 원격지 거리 소수의 가입자들에게 새로운 전화 국사를 설치하여 FTTH서비스를 제공하기가 어렵게 된다⁷⁾.

그림 2는 G-PON과 LR-PON의 전화국사 분배 구조를 보여준다. 그림 2에서처럼 현재 G-PON에서는 반경 60 km에 존재하는 가입자들에게 서비스를 제공하기 위해서는 최소 7개의 전화국사가 요구된다. 반면에 LR-PON은 장거리 전송 기술을 통해 단일 통합국사만이 요구된다. 통합국사 운용은 통신사업자로 하여

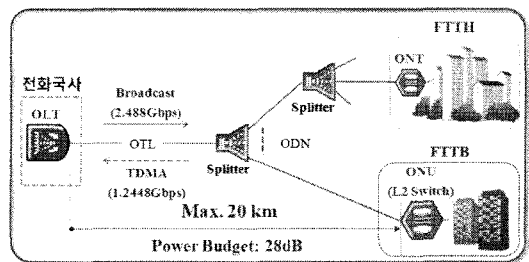


그림 1. 일반 G-PON 링크 구조

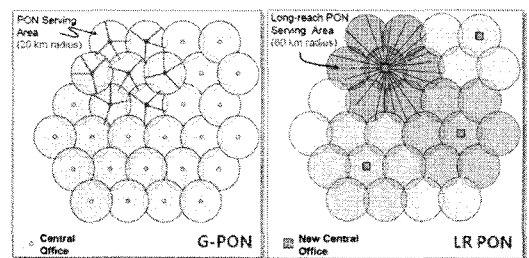


그림 2. G-PON과 LR-PON의 국사분배 구조

금 국사 운용비용을 절감하고, 그린 네트워크의 구축을 가능하게 하며, 네트워크 설계 시 유연함을 제공할 수 있게 한다. G-PON의 전송거리를 확장하기 위해서는 국사중단장치를 전화국사에서 벗어나 가입자 단까지 전진배치 하는 방법과 원격노드에 RE를 사용하는 방법이 있다. 그러나 전진배치 방법은 전송 거리 확장을 위한 표준화된 방법이 아니며, 오히려 전진 배치된 국사중단장치의 관리 비용이 증가될 수 있다⁵⁾.

그림 3은 ITU-T G.984.6 작업그룹에서 제시된 G-PON 거리 확장의 구조를 보여준다.

G.984.6 작업그룹에서는 전화국사와 원격노드간의 간선중계링크의 용량을 높이기 위해, 하나의 광섬유를 공유하는 WDM 기술을 적용하였다. 일반적으로 WDM 기술은 연속 모드 신호를 전송하므로, G-PON의 상향 버스트 모드 신호를 연속 모드로 변환하고, 다시 버스트 모드 신호로 변환하는 기능이 요구된다. 원격노드에서 장거리 전송을 가능하게 하는 RE 기술은 OA(Optical Amplifier) 방식과 O/E/O(Optical/Electronic/Optical) 방식을 이용해 구현할 수 있다. 그러나 OA 방식은 구조는 간단하나, 가격이 비싸고, 현재 상용화된 제품이 없다^{4,6)}. 따라서 본 논문에서는 저가의 FPGA를 이용한 O/E/O 기반 프레임 재 변조 방식의 RE 기술을 구현하여 하이브리드 PON 링크에 적용하였다.

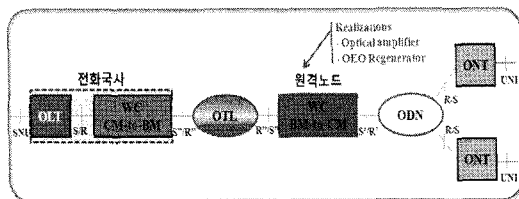


그림 3. G-PON 거리 확장 구조

III. 제안된 하이브리드 PON 링크 기술

본 논문에서 제시된 하이브리드 PON 링크 기술은 기존 G-PON 링크의 간선중계링크에 DWDM-PON 기술을 적용하고, 이들 간의 정합은 RE를 통해 제공하는 방식이다. 따라서 하이브리드 PON 링크 기술은 기존 G-PON 장비의 구조적인 변경 없이 상호 호환성을 제공한다. 그림 4는 제안된 하이브리드 PON 링크의 구조를 보여준다. 하이브리드 PON 링크는 크게 상용 G-PON 시스템과 DWDM-PON 시스템, RE로 구성된다. 상용 G-PON OLT와 DWDM-PON OLT 장비는 전화국사에 위치하며, 파장분할기(AWG)와 RE는 원격 노드에 위치한다. 그리고 광 분배망은 기존 G-PON 분배 망을 사용한다. 간선중계링크 구간에는 하나의 광섬유 당 32파장의 DWDM 채널을 수용하므로, DWDM-PON OLT 장비는 RE의 32개 포트와 연결된다. DWDM-PON OLT는 PON 포트에 직접 장착되며, 32개의 하향 G-PON 신호는 외부 씨앗광원(Seed light)을 이용하여 C밴드 (1535.04~1558.98 nm)의 32개의 독립 파장으로 변환하여 다중화 된다. 반면에 상향에서는 32개의 C밴드 파장이 상향 G-PON 신호로 역 다중화 된다.

제안된 하이브리드 PON 링크는 메트로 망과의 통합을 위해 간선중계링크 구간이 10~50 km 이내의 단일 광섬유로 구성되며, 분배 망 구간은 10 km 이내에서 128분기를 수용하는 구조로 구성된다.

3.1 RSOA 기반 DWDM-PON 기술

RSOA 기반 파장 재활용 방식의 DWDM-PON 기술은 하향 광 신호를 상향 신호 전송의 광원으로 사용하기 때문에 인벤토리 문제 해결하고, 전화 국사에만 하나의 씨앗광원을 사용하기 때문에 경제적이다. 또한

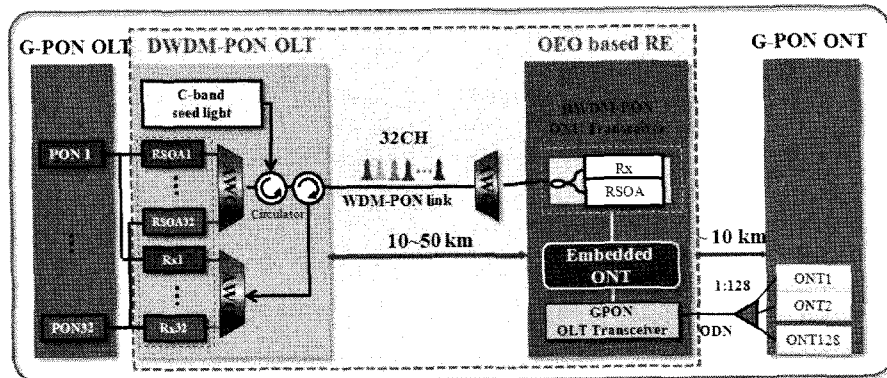


그림 4. 하이브리드 PON 링크 구조

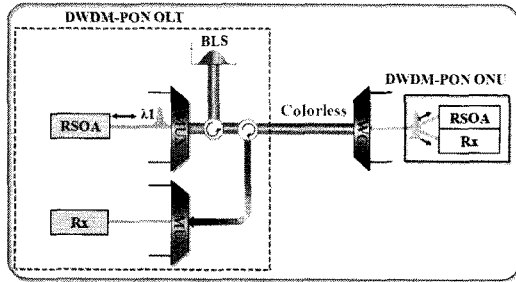


그림 5. RSOA 기반 DWDM-PON 링크 구조

상/하향 동일 파장을 사용하므로 파장 활용도가 높은 장점을 제공한다^{8,9)}. 이러한 장점에도 불구하고, 현재 DWDM-PON은 TDMA-PON에 비해 상대적으로 고가이며, 가입자들에게 파장 당 제공되는 전송대역에서 서비스할 콘텐츠들이 없어 망에 쉽게 적용되지 못하고 있다. 따라서 본 논문에서 제시된 하이브리드 PON 방식은 현재 고가의 DWDM-PON기술의 경제적인 활용이 가능한 합리적인 솔루션을 제공할 수 있다.

그림 5는 RSOA 기반 DWDM-PON 링크의 구조를 보여준다. RSOA 기반 파장 재활용 방식의 DWDM-PON 링크의 동작원리는 다음과 같다.

- ① 전화국사에 위치한 BLS(Broadband Light Source) 모듈에서 발생한 32파장 씨앗광원들이 첫 번째 씨클레이터를 통해 MUX에서 파장분할 된 후 각 OLT RSOA 광 송신기로 입력된다.
- ② 입력된 신호들은 2.5 Gbps로 직접 변조된 후 MUX를 통해 파장 다중화가 된 후 광 링크로 전송되며, 상/하향 파장이 동일하기 때문에 두 번째 씨클레이터를 사용하여 하향과 상향 신호를 분리한다.

- ③ 하향 광 신호는 광섬유를 통과한 후 원격노드에서 파장 분할기를 통하여 ONU로 입력된다.
- ④ 입력된 광신호의 일부는 광 커플러를 통해 광수신기로 입력되어 하향 신호를 복원하고, 나머지는 ONU RSOA 광 송신기에 주입되어 상향 신호로 변조된 후 반사되어 OLT의 수신 단으로 전송된다.

현재 RSOA 기반 파장 재활용 방식의 DWDM-PON기술은 Incoherent한 BLS 광원의 색 분산 및 상대 강도 잡음 문제와 ONU RSOA의 상향 신호 생성에 필요한 포화 입력 광 파워 성능 등을 고려하여 20 km까지 전송거리를 보장한다. 그러나 씨앗광원을 Coherent한 광원을 사용하고, 하향과 상향 신호가 동일한 파장을 사용하여 발생한 반사에 의한 잡음증가를 억제한다면 최대 60 km 전송 가능하다¹⁸⁾.

3.2 O/E/O 기반 Reach Extender 기술

본 논문에서 사용된 O/E/O 기반 RE 기술은 ITU-T G.984.6 기반의 Regenerator방식을 사용한다. RE는 원격노드에서 전송거리를 확장하기 위한 능동형 소자이다. 따라서 RE는 저 전력 구조를 갖도록 그림 6과 같이 DWDM-PON ONU 광 모듈과 G-PON OLT 광 모듈, Embedded MAC FPGA, BCDR (Burst Clock and Data Recovery) 칩으로만 구성되었다. RE의 하향 경로에서는 DWDM-PON 링크에서 선택된 단일파장 신호를 전기 신호로 변환한 후 다시 G-PON 파장 신호 대역으로 변환하여 가입자에게 전송한다. 하향 링크에서는 연속 모드 신호를 전송하기 때문에 단순한 O/E/O 변환을 수행하게 된다. 반면에 가입자로부터 송신되는 상향 신호들은 버스트 모드 특성을 가지기 때문에, 이를 정확하게 수신하기 위해서 버스트

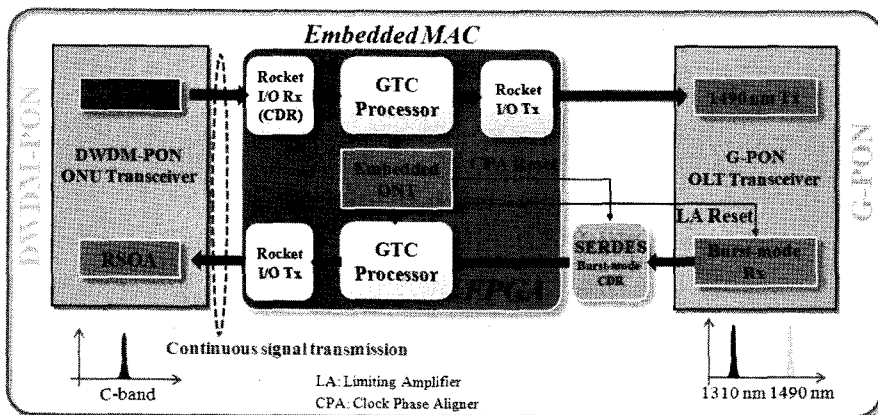


그림 6. O/E/O 기반 Reach Extender 구조

모드 LA (Limiting Amplifier)와 CPA(Clock Phase Aligner)의 안정된 동작을 위해 리셋신호를 제공한다^[7].

이를 위하여 O/E/O 기반 RE는 먼저 G-PON OLT와 등록절차가 수행된다. 이 절차를 통해 G-PON OLT와 RE사이의 RTD (Round Trip Delay) 계산이 완료되면, G-PON OLT로부터 거리 보상 값(EqD)을 받고 동기화가 완료된다. 따라서 Embedded MAC에서는 하향 신호로부터 각 G-PON ONT들에 전송되는 상향 대역 정보(Upstream Bandwidth Map: US BW Map)를 추출하여, 상향 버스트 신호의 도착 시간을 계산한 후 미리 리셋 신호를 제공한다.

RE와 G-PON ONT들의 거리 계산은 수식 (1)-(4)와 같다. 즉, 수식 (4)와 같이 각 G-PON ONT들의 T_{eqd} 값은 RE의 보상된 RTD($T_{eqd_{RE}}$)값이 추가된다.

$$RTD_{RE} = 2 \times T_{PD} + T_{OD} \quad (1)$$

$$T_{eqd_{RE}} = RTD_{RE} + EqD_{RE} \quad (2)$$

$$RTD(n) = T_{eqd_{RE}} + (2 \times T'^{PD}) + T'^{OD} \quad (3)$$

$$T_{eqd} = RTD(n) + EqD(n) \quad (4)$$

- T_{PD} : OTL구간 Fiber Propagation Delay
- T_{OD} : OTL구간 Optical Module Delay
- $T_{eqd_{RE}}$: Reach Extender의 Equalized RTD
- T'^{PD} : ODN구간 Fiber Propagation Delay
- T'^{OD} : ODN구간 Optical Module Delay
- T_{eqd} : G-PON ONT의 Equalized RTD

위 수식에서 $T_{eqd_{RE}}$ 는 보다 T_{eqd} 항상 값이 크다. 따라서 RE는 그림 7과 같이 G-PON OLT와의 등록절차가 완료된 후 GTC 프레임 동기화가 이루어지기 때문에, 하향으로 전송되는 각 ONU들의 US BW Map을 이용해 G-PON ONT들의 프레임 시작과 끝을 알 수 있게 된다. LA 리셋신호는 G-PON OLT 광 송수신기에 인가되고, 상향 버스트 모드 광 신호를 전기 신호로 변환한다.

CPA 리셋신호는 BCDR 칩에 인가되고, 하향에서 복원된 클럭을 이용해 13bit의 프리앰블 내에 데이터와 클럭을 복원한다. 이렇게 복원된 버스트 모드 신호는 Embedded MAC에서 신호가 없는 구간에 특정 패턴을 삽입하여 연속 모드 신호로 변환하고, DWDM-PON ONU 광 송수신기를 통해 WDM파장으로 변환

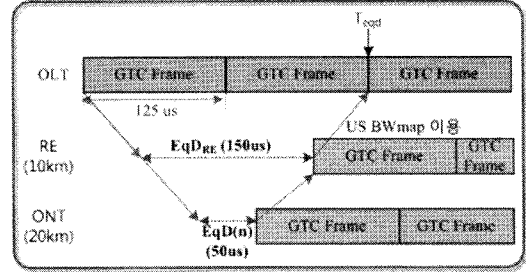


그림 7. 버스트 모드 리셋신호 제공방법

되어 전송된다. 즉, 연속 모드 신호의 변환은 간선중계링크 구간에 버스트 모드 WDM 광 송수신기를 사용하지 않아도 되기 때문에 경제적인 링크의 구성을 제공한다.

RE에서는 저가의 Embedded MAC 구현을 위하여 Xilinx Virtex5 FPGA(xc5v1x30t-1ff665)가 사용되었고, 이중 포트 구조를 가진다. 또한 별도의 채널을 사용하지 않고 G-PON의 OMCC(ONT Management and Control Channel) 채널을 통해 광 모듈 상태 모니터링 기능을 제공한다. Embedded MAC에 사용된 주요 블록의 기능은 다음과 같다.

- ① Rocket I/O(CDR) 블록: FPGA에서 제공되는 GTP (Gigabit Transceiver Protocol) 블록으로서, 광 모듈로부터 입력되는 직렬데이터로부터 클럭을 추출하고, 2.488 Gbps 시리얼 데이터를 16비트, 155.52MHz 병렬데이터로 변환하여 출력한다.
- ② 하향 GTC 프로세서 블록: 하향 데이터로부터 125 us 주기의 GTC 프레임 경계를 추출하고, 디스크램블링, FEC 디코딩 후에 다시 스크램블링하여 하향으로 전송하거나, 추출한 프레임을 Embedded ONT로 전달한다.
- ③ Embedded ONT 블록: 다른 ONT와 동일하게 OLT와 등록절차 상태를 관리하며, EqD 보상 기능, PLOAM과 OMCI 전송 및 추출, 상향 대역할당 정보 추출 등의 기능을 수행한다. 또한 버스트 모드 리셋을 제공한다.
- ④ Rocket I/O 블록: 병렬 데이터를 직렬데이터로 변환한다. 하향에서는 16비트 데이터를 2.488 Gbps 직렬데이터로 변환하며, 상향에서는 8비트 데이터를 1.244 Gbps 직렬데이터로 변환한다.
- ⑤ 상향 GTC 프로세서 블록: 다른 ONT로부터 수신된 데이터를 OLT에 전달하는 기능으로서, 상향 GTC 프레임 복원, GTC 프레임의 다중화 및 역다중화, 스크램블링, 디스크램블링 기능을 수행한다.

다. 또한 버스트 신호를 연속 신호로 변환한다.

IV. 전송실험 및 성능분석

본 논문에서는 제안된 하이브리드 PON 링크의 성능 분석을 위하여 그림 8과 같이 실험 링크를 구성하였다. 본 실험에서는 상용화된 G-PON OLT와 ONT 제품을 사용하였으며, G-PON OLT의 PON 포트 1과 포트 4의 최대 전송거리를 각각 40 km와 60 km로 설정하였다.

DWDM-PON 링크의 구성을 위해 G-PON OLT와 RE 사이에 20 km의 단일모드 광파이버를 사용하였으며, SFP 타입의 DWDM-PON OLT 광 모듈은 G-PON OLT의 PON 포트에 직접 장착하였다. 채널 다중화&역다중화 모듈은 내부에 2개의 써큘레이터와 100 GHz의 채널간격을 갖는 32채널 AWG를 사용하였으며, 원격노드의 파장분할 다중화기도 100 GHz의 채널간격을 갖는 AWG를 사용하였다. 씨앗 광원으로는 스펙트럼 분할된 ASE를 사용하였다. ASE 소스는 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier) 기반의 BLS를 이용하였다.^[9]

G-PON 링크의 구성을 위해 간선중계링크에 50 km 단일모드 광파이버를 사용하였으며, 광 분배 망에 5 km 단일모드 광파이버와 1:2 그리고 1:64 스플리트를 이용하여 분기하였다. 그리고 G-PON은 Class B+ 상용 광 모듈을 사용하였다.

그림 8에서 DWDM-PON 링크의 성능실험을 위해 C밴드의 1번 채널(1535.04 nm)과 32번 채널(1559.79 nm)을 사용하였다.^[10] 위 실험링크에서 BLS 모듈의 출력 파워는 약 +23 dBm이고, 다중화&역다중화 모듈의 출력 파워는 0 dBm/ch 이다. RE에서 측정된

DWDM-PON ONU 광 송수신기의 평균 수신 광 파워는 약 -15 dBm 이며, 평균 송신 광 파워는 약 -1 dBm 이다. 그리고 DWDM-PON OLT에서의 채널 별 수신 광 파워는 약 -14 dBm 수준이다. RE의 G-PON OLT 광 모듈의 출력 파워는 +2 dBm 이며, 광 분배 망의 전체 링크 손실은 약 -24 dB 이다. 성능 실험을 위해 G-PON 링크와 DWDM-PON 링크, 광 분배 망에 각각 VOA (Variable Optical Attenuator)를 삽입하여 최대 링크 버짓을 측정하였다.

그림 9는 DWDM-PON 링크의 각 TP(Test Point)에서 측정된 Optical Eye Pattern을 보여준다. RE는 외부 레퍼런스 클록을 이용해 입력 신호에서 데이터와 클록을 복원한다. 따라서 그림 9에서처럼 RE로 입력된 Eye Pattern(TP2)보다 출력된 Eye Pattern(TP3)이 약 11 ps의 peak-to-peak jitter 추가를 확인할 수 있다. 이는 RE에서 CDR을 통해 신호를 복원하기 때문이다. 그리고 RE의 상향 출력 포트에서 측정된 Eye Pattern(TP4)에는 하향 신호의 재 변조로 인해 '1' 레벨 영역에서 잡음이 발생하지만, 전송에는 문제가 없음을 보여준다.^[8] 그림 10은 G-PON 링크의 각 TP에서 측정된 Eye Pattern을 보여준다. RE를 통해 55 km의 전송거리와 128 분기를 제공하는 G-PON 링크에서도 약간의 지터만이 추가됨을 확인할 수 있다. RE를 통해 55 km의 전송거리와 128 분기를 제공하는 G-PON 링크에서도 약간의 지터만이 추가됨을 확인할 수 있다.

그림 11은 하이브리드 PON 링크에서 DWDM-PON과 G-PON 사이의 파장변환 결과를 보여준다. 그림 11에서처럼 G-PON 하향 파장(1490 nm)은 DWDM-PON OLT에서 C밴드 파장 (1535.04 nm)으로 변환된다. 반대로 RE의 출력 C밴드 파장 (1535.04 nm)은

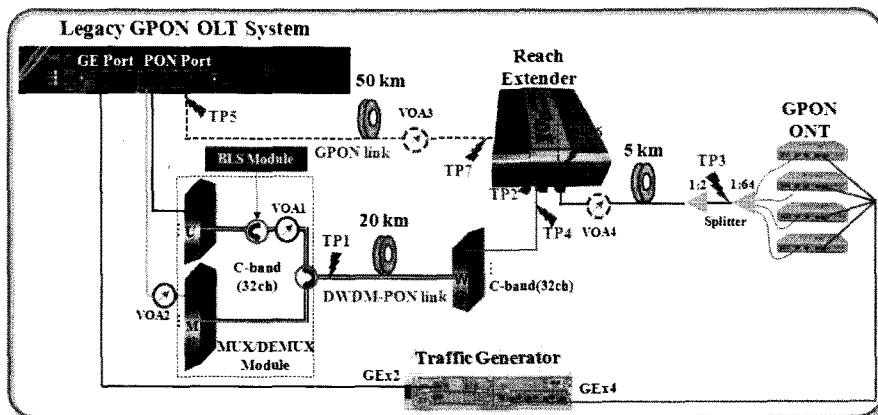


그림 8. 하이브리드 PON 링크 실험 구성도

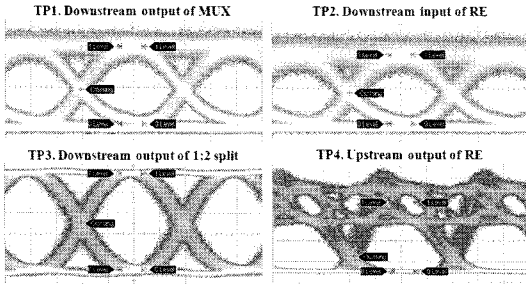


그림 9. DWDM-PON에서 측정된 Eye Pattern

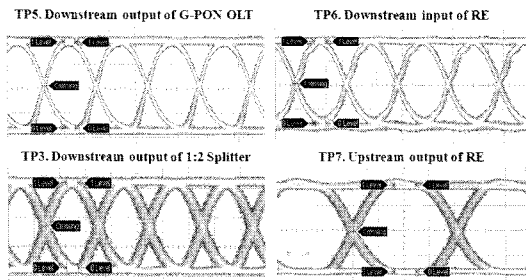


그림 10. G-PON에서 측정된 Eye Pattern

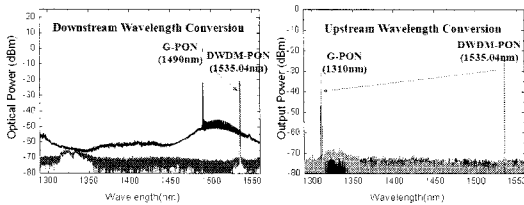


그림 11. 하이브리드 PON에서 파장변환 결과

DWDM-PON OLT에서 G-PON 상향 파장 (1310 nm)으로 변환된다.

그림 12는 하이브리드 PON 링크에 대한 하향 패킷손실을 측정결과를 보여준다. 본 실험을 위하여 트래픽 발생기에서 하향으로 2 Gbps의 트래픽을 전송하고, 64에서 1512 바이트의 가변 길이의 패킷 크기를 이용하였다. 그리고 DWDM-PON 링크의 광 파워 세기에 따른 성능분석을 위하여 VOA1를 사용하였다.

그림 12에서 실선 결과는 FEC를 사용해서 측정된 결과이며, 점선은 FEC를 사용하지 않은 실험결과를 나타낸다. 실험 결과에서 FEC를 사용하는 경우 C밴드의 1번과 32번 채널에서 모두 -25 dBm 까지 $PLR=10^{-10}$ 을 만족함을 볼 수 있다. 반면에 FEC를 사용하지 않은 경우 32번 채널에서 패킷 손실은 광 파워 세기에 상관 없이 계속 발생하는 것을 볼 수 있으며, 약 $PLR=10^{-7}$ 이하를 제공한다. 이는 하향 전송에 사

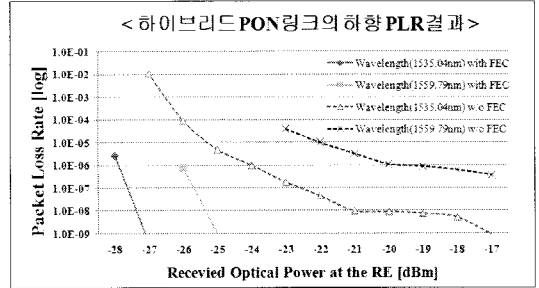


그림 12. 하향 PLR 측정결과

용된 RSOA가 장파장에서 상대 강도 잡음 특성이 열악하기 때문이다.^[11]

그림 13은 하이브리드 PON 링크에 대한 상향 PLR 측정결과를 보여준다. 본 실험을 위하여 각각의 G-PON ONT에 200 Mbps의 트래픽을 인가하고, 1번 G-PON ONT와 1번 채널을 사용하였다. 그리고 VOA2를 이용하여 상향 광 파워 세기를 조정하였다. DWDM-PON 링크는 하향 광 파워를 상향을 위한 주입광원으로 사용하기 때문에 하향 광 세기와 관련이 있다.

그림 13에서 하향 주입 광원이 -17 dBm 일때, 상향 FEC를 사용하는 경우 광 파워가 -23 dBm 까지 $PLR=10^{-9}$ 을 만족함을 볼 수 있다. 그러나 상향 FEC를 사용하지 않는 경우에는 상향 광 파워 세기에 상관 없이 패킷 손실이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 또한 주입 광원이 -19 dBm 이하에서는 상향 FEC를 사용하더라도 약 $PLR=10^{-7}$ 이하를 만족한다. 즉, 현재 DWDM-PON 링크에서 제공 가능한 링크 버짓이 -17 dBm 이며, 역의 노드의 다중화&역다중화 모듈의 삽입 손실과 단일 모드 광섬유 자체의 거리에 따른 손실을 고려할 때 약 20 km의 전송거리 까지 제공할 수 있음을 의미한다.

그림 14는 G-PON의 전송거리를 55 km까지 확장한 링크의 하향과 상향 PLR 측정결과를 보여준다. 본

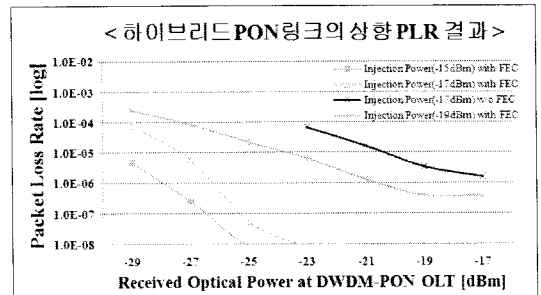


그림 13. 상향 PLR 측정결과

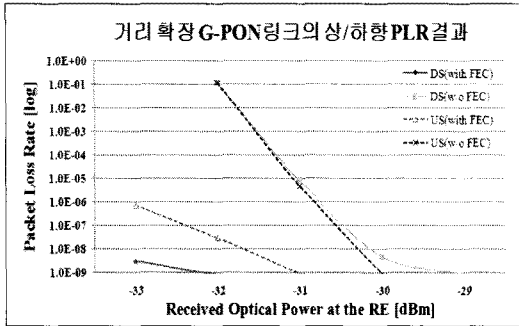


그림 14. 하향/상향 PLR 측정결과 1

실험에서는 DWDM-PON 링크가 아닌 RE만을 사용하여 G-PON의 전송거리를 확장한 후 측정하였다. 그림 14에서는 VOA3를 이용하여 간선중계링크 구간의 광 파워 세기를 조정하였다.

실험 결과에서 G-PON 링크는 FEC를 사용하지 않더라도 송신단에서 출력되는 송신파워가 0 dBm 임을 가정할 때 하향 신호의 경우 약 -29 dB의 파워 버짓을 그리고 상향 신호의 경우 약 -30 dB의 파워 버짓을 제공함을 보여 준다. 그림 14에서 하향보다 상향 PLR 측정 결과가 그래프가 가파른 이유는 하향 BIP 에러로 인해 RE에서 부정확한 리셋신호를 제공하기 때문이다. 즉, 딜리미터를 찾지 못하면 상향 GTC 프레임에 포함된 패킷들이 전부 손실로 발생한다.

그림 15는 거리확장 G-PON 링크의 VOA4의 조정에 따른 하향과 상향 G-PON 링크의 측정된 PLR 결과를 보여준다. 본 실험에서는 2개의 G-PON ONT에 대한 PLR 결과를 실험하였다.

본 실험결과에서 G-PON 광 분배망은 약 -30 dB의 링크 버짓을 제공함을 볼 수 있으며, $PLR=10^{-11}$ 을 만족함을 확인할 수 있다. 즉, 재 변조 방식의 RE를 사용한 G-PON 링크는 약 59 dB의 링크 버짓을 제공하며, OA 방식보다 약 5 dB 개선된 링크 버짓을 제공할 수 있다⁶⁾.

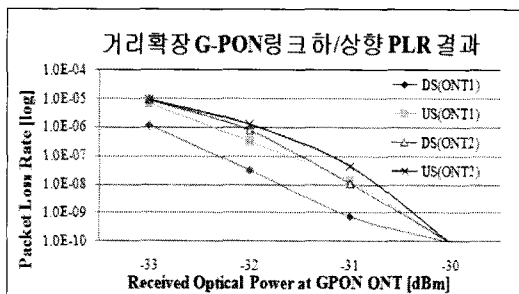


그림 15. 하향/상향 PLR 측정결과 2

V. 결 론

본 논문에서 제안된 하이브리드 PON 링크 기술이 기존 G-PON 시스템의 구조적인 변경 없이 DWDM-PON과 RE만을 추가하여 최대 60 km의 장거리 전송 및 PON 포트 당 128 분기 지원, 단일 간선중계링크에서 최대 32배의 전송링크 용량을 제공할 수 있음을 실험을 통해 증명하였다. 따라서 하이브리드 PON 기술을 이용해 가입자 망과 메트로 망의 통합된 국사를 운용할 수 있으며, 이를 기반으로 Green-IT 네트워크 구축을 실현할 수 있다. 또한 기존 G-PON 링크에 O/E/O 기반 RE만을 이용해 제한된 성능을 크게 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] R. P. Davey, P. Healey, "DWDM reach extension of a GPON to 135 km", *J. of Light Technol.*, Vol. 24, No. 1, pp. 29-31, Jan. 2006.
- [2] 윤빈영, 두경환, 김광욱, "차세대 광가입자망 표준화 동향," *전자통신동향분석*, 제23권 1호, 2008년 2월.
- [3] P. Iannone and K. Reichmann, "Strategic and tactical uses for extended PON," *FSAN meeting*, 2008.
- [4] ITU-T G.984.6, "Gigabit-capable passive optical networks: reach extension," March. 2008.
- [5] E. Trojer, S. Dahlfors, "Current and next-generation PONs: A technical overview of present and future PON technology," *Ericsson Review*, No.2, pp.64-69, 2008.
- [6] D. Nasset, S. Appathurai, R. Davey, "Extended reach GPON using high gain semiconductor optical amplifiers", *OFC/NFOEC 2008*, Feb. 24, 2008.
- [7] K. O. Kim, K. H. Doo, S. S. Lee, "Implementation of OEO based reach extender for 60km long reach GPON," *IEEE COIN2010*, pp.348-340, 2010.
- [8] S. H. Cho, S. S. Lee, D. W. Shin, "Improving upstream transmission performance using a receiver with decision threshold level adjustment in a loopback WDM-PON," *Optical Fiber Technologies*, 16, 2010.

- [9] H. H. Lee, S. H. Cho, and S. S. Lee, "Efficient excess intensity noise suppression of 100-GHz spectrum-Sliced WDM-PON with a narrow-bandwidth seed light source," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.22, pp.1542-1544, 2010.
- [10] S. H. Cho, J. H. Lee, J. H. Lee, E. G. Lee, E.S. Jung, S. S. Lee, "Demonstrations of RSOA based Loop-Back WDM-PON with 100 Gb/s Capacity Employing Spectrum Sliced Incoherent Light Injection," ECOC2011, 2010.
- [11] J. H. Lee, S. H. Cho, E. G. Lee, H. H. Lee, S. S. Lee, "Wavelength-dependent characteristics of RSOA for color-free operations," COIN2010, 2010.

김 광 옥 (Kwang-ok Kim)



정회원
 1999년 2월 조선대학교 정보통신공학과 공학사
 2001년 2월 전남대학교 대학원 전자공학과 공학석사
 2001년 3월~현재 ETRI 광인터넷연구부 근무
 <관심분야> 가입자망 전송기술, 유무선 백홀 기술

이 지 현 (Jie-hyun Lee)



정회원
 2000년 2월 충남대학교 전자공학과 공학사
 2003년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사
 2004년 6월~현재 ETRI 광인터넷연구부 근무
 <관심분야> 10Gbps WDM-PON, 백홀 기술

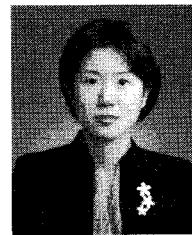
이 상 수 (Sang-soo Lee)



정회원
 1988년 2월 인하대학교 응용물리학과 공학사
 1990년 2월 인하대학교 대학원 응용물리학과 공학석사
 2001년 2월 인하대학교 대학원 전자재료공학과 공학박사
 2001년 3월~현재 ETRI 광인터넷연구부 근무

<관심분야> 가입자망 전송기술, WDM-PON

장 윤 선 (Youn-seon Jang)



중신회원
 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 공학사
 1994년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학석사
 1999년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 공학박사
 1999년 3월~2006년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원

2006년 3월~현재 충남대학교 전자공학과 조교수
 2010년 1월~2011년 1월 미국 커네티컷 대학 방문교수
 <관심분야> 광통신 전송시스템, 무선인지 기술, 수중통신망