

# FTTH 기반 가입자망 최적화를 위한 PON 다중 중계 장치

## Multiple PON repeater/aggregator for the optimization of FTTH based access networks

윤 호 성\*, 김 종 안, 박 재 형, 김 진 회  
(Hosung Yoon, Chongahn Kim, Jaehyoung Park, and Jin Hee Kim)

**Abstract :** We propose a PON repeater system which transports multiple PON channels at the same time over the physical limit of the standard E-PON reach. To increase the physical reach up to 60km, we used the O-E-O (optic-electric-optic) signal regeneration on an active remote terminal which is placed between a central office and passive remote nodes. Also, by incorporating the well-established WDM technology to aggregate multiple E-PON channels, we successfully increased the split ratio (the number of subscribers per fiber core) to over 256.

**Keywords:** Passive optical network, E-PON, TDM-PON, Repeater

### I. 서론

P2P(peer-to-peer) 등을 통한 대용량 파일 교환, IPTV (Internet protocol TV), SoIP (Service over IP) 등, IP 기반의 트리플 플레이 서비스가 점차 보편화되면서, 가입자망의 요구 대역폭이 크게 증가하고 있다. 그러나 국사에서 가입자까지 동선 기반의 망 기술을 이용할 경우, 전송 거리와 가입자 수용 정도에 따라 제공 가능한 대역폭과 품질이 제한되는 한계를 갖고 있다. 이에 따라 광섬유 기반의 FTTH (fiber-to-the-home)로 가입자망을 고도화하는 작업이 전세계적으로 확산되고 있다.

FTTH는 국사와 가입자 간의 광섬유 비용을 절감하기 위하여 점대다점(point-to-multipoint) 구조를 중심으로 그 기술이 발전되어 왔다. 점대다점 구조란, 국사측 장비인 OLT(optical line termination)와 가입자측 장비인 ONU(optical network unit) 사이에 분기/결합 기능을 갖는 원격 노드(remote node, RN)를 두고, 국사와 RN 사이는 1~2코어의 광섬유로 연결한 다음 RN에서 각각의 ONU까지 광섬유 선로를 제공해 주는 구조를 말한다. 이 때, RN이 이더넷 스위치 등의 능동형 분기장치일 경우 AON(active optical network)이라 칭하며, 반대로 전력이 공급되지 않는 수동형 분기장치일 경우를 PON(passive optical network)이라 부르게 된다. PON의 경우 원격에 위치하는 RN이 수동소자로 구성되기 때문에 전력 공급이 불필요하고, 물리적인 케이블 접속부 외에는 옥외 장치에 대한 관리가 필요하지 않아 망 운용비용을 절감할 수 있기 때문에 많은 각광을 받고 있다.

현재 국내에서는 KT에서 E-PON (Ethernet PON) [1] 기술을 이용하여 일반주택 지역을 중심으로 FTTH 망 구축을 진행하고 있으며, 또 다른 국내 사업자인 하나로 텔레콤에서는 G-PON (Gigabit-capable PON) [2] 기술을 이용하여 FTTH를 구축할 예정인 것으로 알려져 있다. 해외의 경우에는, 일본과 중국이 E-PON을 채용하여 망 구축이 진행되고 있으며, 북미와 유럽은 G-PON을 차세대 가입자망 기술로 채택하고 있으

나 본격적인 망 구축은 지연되고 있는 실정이다.

E-PON과 G-PON은 모두 TDM-PON으로 분류되는 기술로서, 시분할 기법을 사용하여 가입자 ONU들이 OLT와 RN 사이의 광섬유를 공유하게 된다. 그리고 하향 신호를 분배하고 상향 신호를 결합하기 위하여, 광 파워 스플리터가 RN으로 사용된다. 광 파워 스플리터는 저가의 수동 소자라는 장점이 있으나, 분기를 증가에 따라 삽입 손실이 증가하는 단점을 갖고 있다. 이로 인하여 TDM-PON에서는 분기율과 전송거리를 동시에 증가시키기 어려우며, 이로 인하여 현재 E-PON과 G-PON의 경우에는 32~64분기에 10~20km의 전송거리를 표준으로 제공하고 있다.

본 논문에서는, 이러한 TDM-PON의 기술적 제약을 극복하기 위한 PON 다중 중계 장치(ACE; ACcess reach Extender)를 제안하고, 그 성능에 대해서 논의하도록 한다.

### II. PON 다중 중계장치 구조

개발된 PON 다중 중계장치는 E-PON을 대상으로 하여 다음의 세 가지의 목적을 가지고 설계되었다.

1. 10~20km로 제한된 E-PON의 전송거리를 60km 이상으로 확장: 이를 위하여 광-전-광 (O-E-O; optic-electric-optic) 신호 재생 기술이 사용되었다.
2. E-PON 집선을 통하여 간선 사용 효율을 8배 증대: WDM을 통한 파장 다중화 기술이 사용되었으며, 이를 위하여 WDM 파장에 맞게 파장을 변환하는 과정이 O-E-O 재생 과정에 추가되었다.
3. 기존의 E-PON 인프라 재사용: RN과 ONU의 경우 100% 재사용을 목표로 하였으며, OLT의 경우에는 서로 다른 OLT 형상에 적합한 접속 장비를 개발하여 현재 설치된 OLT에 모두 적용 가능하도록 하였다.

그림 1에서는 PON 다중 중계장치를 이용한 목표 FTTH 망구성을 보여주고 있다. 중계장치는 E-PON OLT와 RN 사이에 설치되며, 각각 국사 장치(ACE COT; ACE Central Office Terminal)와 원격지 장치(ACE RT; ACE Remote Terminal)로 구

\* 책임저자(Corresponding Author)

윤호성, 김종안, 김진회 :KT인프라연구소 FTTH&U-City개발담당  
(hsyoon@kt.com, cakim@kt.com, kimjh1@kt.com)

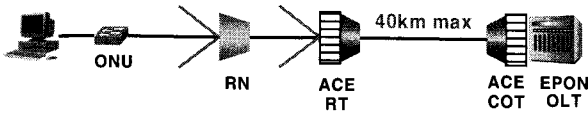


그림 1. PON 다중 중계장치 (ACE) 망 구성  
 Fig. 1. FTTH network configuration incorporating multiple PON re-peater aka ACE (ACcess reach Extender)

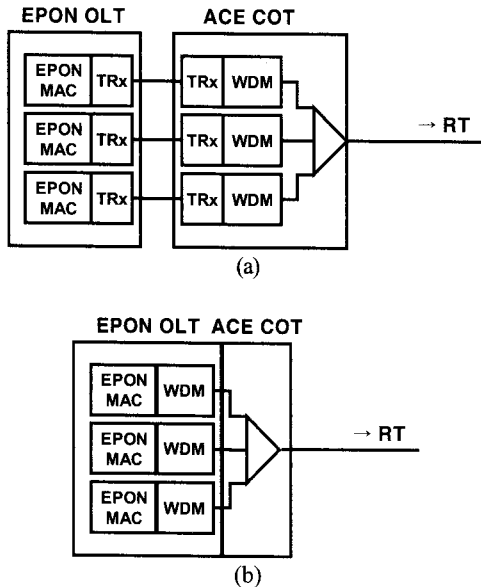


그림 2 (a) 분리형 및 (b) 통합형 ACE COT 구성  
 Fig. 2. Configuration of ACE COT in (a) a separated form and (b) an integrated form

성된다.

ACE COT는 E-PON OLT 8채널을 결합하여 하나의 광 코어로 WDM 집선하는 장치이다. ACE COT는 OLT와의 결합형태에 따라 분리형, 통합형으로 구분되는데, 그림 2에서는 분리형과 통합형 각각에 대한 ACE COT 구성 및 E-PON OLT와의 결합 형태를 도시하고 있다.

1. 분리형 ACE COT

통상적인 E-PON OLT와 결합 가능한 COT 형태이다. 신호 전송 경로는, 하향 신호의 경우 E-PON OLT 광송수신기로부터 송신되는 표준 E-PON 광신호를 수신하여 광-전-광 과정을 통하여 각 광신호의 파장을 변환한 후 WDM으로 결합하게 된다. 상향신호의 경우, WDM 결합된 신호를 파장별로 분기한 다음, 광-전-광 신호 재생을 거쳐 표준 E-PON 광신호로 파장 변환하여 E-PON OLT로 전달하는 역할을 한다. 현재 구축된 E-PON OLT를 전혀 변경하지 않기 때문에 현장 적용성이 뛰어나다는 장점이 있다.

2. 통합형 ACE COT

그림 1에서의 망구성에서 보는 바와 같이, ACE COT는 E-PON OLT와 근접한 거리에 위치하게 된다. 따라서, 분리형 ACE COT에 사용되는 WDM 광송수신기를 E-PON OLT

에 직접 내장한다면, 장치 비용 절감 뿐만 아니라 광-전-광 변환이 한 단계 줄어들게 되면서 신호 품질의 향상을 꾀할 수 있게 된다. 이는, 기존 E-PON OLT의 광송수신기가 SFP(small form-factor pluggable) [3] 등의 형태로 착탈식인 경우 간편하게 적용할 수 있는 형태가 된다.

ACE RT는 COT의 역으로서 WDM 결합된 신호를 받아 통상적인 E-PON OLT 신호로 변환하는 장치이다. 분리형, 통합형 COT에 무관하게 RT의 구조는 동일하다. ACE RT는 광-전-광 변환에 전력이 소모되기 때문에, 분기국사나 단말국, 또는 아파트 통신실 등 전력 공급이 용이한 곳에 설치해야 한다.

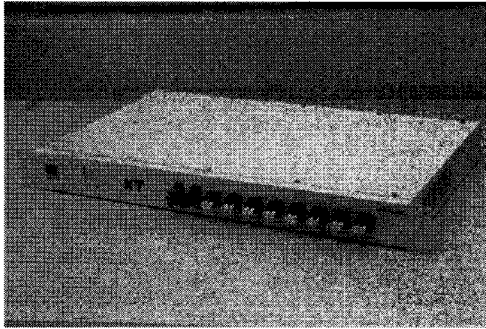
ACE COT와 RT 간의 WDM 파장은 표준 CWDM 파장 [4]을 사용하였다. CWDM은 사용 가능한 채널의 수가 제한되어 있고, 장비 운용시 광모듈의 파장 관리가 필요하다는 약점이 있으나, 전력소모가 낮고 환경 조건이나 모듈의 크기, 가격 등에서 DWDM에 비해 강점을 갖고 있다. 표준 CWDM 파장은 총 18개를 사용할 수 있으나, OH 피크 [5]에 근접한 1391nm와 1411nm를 제외한 16개 파장을 사용하였고, 상/하향에 각각 한 파장씩을 할당하여 총 8채널의 E-PON을 집선할 수 있도록 설계하였다. 다음의 표 1에서 WDM 기술별 장단점에 관하여 요약하였다.

표 1. PON 중계장치에 적용 가능한 WDM 기술별 장단점

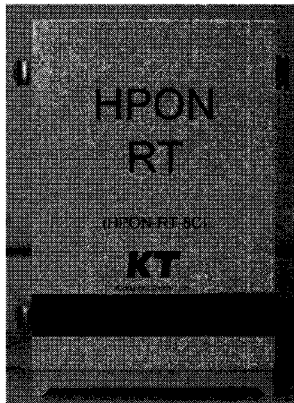
	DWDM DFB	DWDM Colorless	CWDM
전송 거리 (pin PD)	80km Typ.	20km Typ.	40km Max.
전송 속도 (DM)	2.5G	1.25G	2.5G
파장 관리	필요	불필요	필요
채널 수	40 Typ.	16 Typ.	8 Max.
전력 소모	High	High	Low
환경 조건	Good	Not good	Best
Footprint	Large	Large	Small
가격	High	Medium	Low

ACE COT와 RT 사이의 최대 광손실은 20dB로 최악 조건 파장(1371nm)을 기준으로 40km 전송을 목표로 하였다. 여기에 E-PON 전송거리 20km를 고려하면, OLT부터 가입자 ONU까지 최대 60km를 커버할 수 있게 된다. 또한 상, 하향에 다른 파장을 할당하였기 때문에, 장거리 선로에 수반되는 광 반사 등에도 강한 특성을 갖는다.

ACE RT가 원격지에 설치되는 것을 고려하여, RT의 운용 상태를 COT에서 원격 감시할 수 있도록 COT와 RT 간의 광 감시채널을 구성하였다. 감시채널은 100M 이더넷 규약으로 구성되며, CWDM 표준 파장 중 데이터용으로 사용이 배제된 1391nm와 1411nm를 사용하도록 하였다. 앞서 언급한 바와 같이, 이 파장은 OH 피크로 인하여 손실이 크지만, 감시채널의 전송 속도가 다른 채널에 비해 1/10 이하로 낮은 점을 고려할 때, 전송 마진은 충분할 것으로 판단된다.



(a)



(b)

그림 3. 개발된 PON 다중 중계장치 시제품; (a) 통합형 ACE COT; (b) ACE RT

Fig. 3. Prototype of (a) ACE COT in an integrated form and (b) ACE RT

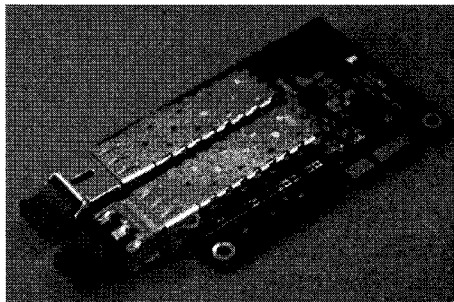
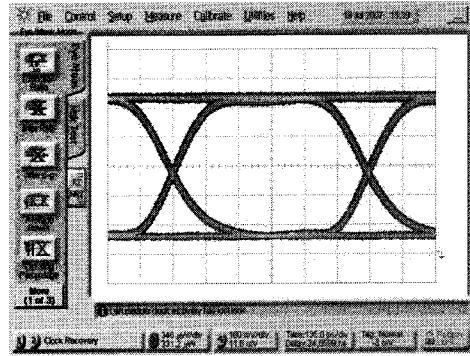


그림 4. ACE RT에 장착된 광-전-광 변환부  
Fig. 4. ACE RT channel card for the O-E-O conversion

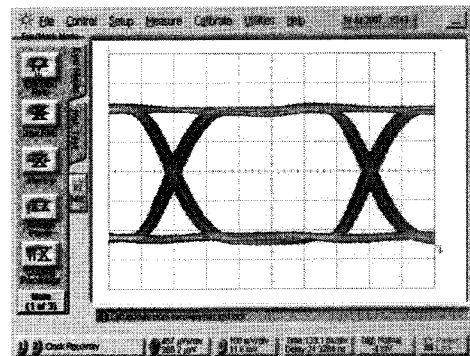
### III. PON 다중 중계장치 시제품 개발

그림 3에서는 개발된 PON 다중 중계장치의 시제품 사진을 보여주고 있다. 그림 3(a)의 ACE COT는 통합형으로 설계되었으며, 이에 따라 E-PON OLT에 삽입된 WDM 광송수신기와 연결되는 WDM 결합/분기장치, 광 감시채널용 광송수신기, 및 장비 운용을 위한 MCU로 구성되어 있다. 그림 3(b)에 도시된 ACE RT는 전주 설치를 고려한 함체형으로 제작되었으나, 통신사업자의 요구에 따라 큰 어려움 없이 셀프형이나 박스형으로 제작 가능하다.

그림 4에서는 ACE RT에서 사용되는 광-전-광 변환부를 보여주고 있다. WDM 신호를 중단하는 WDM 광송수신기와 E-



(a)



(b)

그림 5. 광-전-광 변환부의 (a) 입력 아이 다이어그램, 및 (b) 출력 아이 다이어그램

Fig. 5. Eye diagrams at (a) the input and (b) the output of O-E-O conversion channel card

PON OLT 광송수신기로 구성되어 있으며, 광송수신기 사이에 신호 재생부가 위치하고 있다. E-PON과 GPON에 동시에 적용 가능하게 하기 위하여 하향 신호는 2.5Gb/s, 상향 신호는 1.25Gb/s를 수용할 수 있도록 제작되었다.

그림 4에서 도시한 광-전-광 변환부의 입력 및 출력 아이 다이어그램을 보여 주고 있다. 광-전-광 변환 과정에서 지터 성능의 열화가 관찰되지만, 데이터 전송에는 문제가 없는 것을 확인할 수 있다. 또한 지연은 RTT (round trip time) 기준 100ns 이하로서, 광섬유 길이로 환산시 10m 가량에 불과하여 광-전-광 변환 과정에서 발생하는 지연은 전혀 문제가 되지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 COT, RT 간 40km의 광섬유를 연결한 상태에서 E-PON OLT 및 ONU 간의 트래픽 전송 시험에서도 패킷 손실은 발생하지 않았고, 전송 효율의 변화 또한 무시할 만한 수준이었다.

개발된 시제품을 바탕으로 하여 PON 다중 중계장치의 상용화가 추진되었다. 상용화 장치에서는 통합형 모델과 분리형 모델이 모두 개발되었으며, ACE RT는 19인치 랙에 실장 가능한 박스형으로 제작되었다. KT 인프라연구소에서는 상용화된 제품을 이용하여 FTTH 실가입자를 대상으로 한 시범 사업을 진행할 예정이다.

### III. 결론

본 논문에서는 PON 다중 중계장치의 개념과 기술적 특성

에 관하여 논의하였다. PON 다중 중계장치는 광-전-광 신호 재생을 통하여 전송거리를 증대시키는 것과 동시에, WDM으로 다수의 E-PON 신호를 하나의 광섬유에 다중화함으로써 분기율 향상을 통한 광코어 절감 효과를 제공한다. 이와 더불어 기존의 E-PON 인프라를 변경 없이 재사용 가능하다는 장점을 갖는다. 다만, CWDM을 사용함에 따라 집선 가능한 E-PON 채널 수가 8개로 제약되어 있으나, 향후 DWDM이나 colorless DWDM을 적용함으로써 16~32 채널로 집선 용량을 증대시키는 것도 충분히 가능하다.

가입자망의 최적화가 진행됨에 따라 현재 4km에 불과한 국사 커버리지는 향후 수십 km 수준으로 증대될 것으로 예상된다. PON 다중 중계장치는 전송거리와 분기율이 제한된 TDM-PON의 기술적 한계를 극복하는 방안으로서 각광을 받을 것으로 기대된다.

#### 참고문헌

- [1] IEEE standard 802.3ah, 2004
- [2] ITU-T recommendation G984.1, Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics, 2003
- [3] Small Form-factor Pluggable (SFP) Transceiver Multi Source Agreement (MSA), SFF-8075, 2000
- [4] ITU-T recommendation G604.2, Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid, 2003
- [5] ITU-T recommendation G652, Characteristics of a single-mode optical fibre and cable, 2005

#### 윤 호 성

1998년 서울대학교 전기공학부 (공학사).  
 2000년 서울대학교 전기공학부 (공학석사).  
 2005년 서울대학교 전기공학부 (공학박사).  
 2005년~현재 KT인프라연구소 FTTH & U-City개발담당 선임 연구원

#### 김 중 안

1992년 부산대학교 컴퓨터공학과 (공학사)  
 1994년 부산대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
 1995년~현재 KT인프라연구소 FTTH & U-City개발담당 책임 연구원

#### 박 재 형

1999년 서울대학교 전기공학부 (공학사)  
 2001년 서울대학교 전기공학부 (공학석사)  
 2006년 서울대학교 전기공학부 (공학박사)  
 2006년~현재 KT인프라연구소 FTTH & U-City개발담당 선임 연구원

#### 김 진 희

1987년 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 1991년 경북대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년~현재 KT인프라연구소 FTTH & U-City개발담당 수 석연구원