

Hybrid-FTTH 망 구축 가능한 GW-PON 기술 동향

Overview on GW-PON technology for Hybrid-FTTH topology

김근영*, 김진희, 김정일
(Geun-Young Kim, Jin-Hee Kim, Chung-il Kim)

Abstract : This paper describes various FTTH topology such as FTTH-R, Hybrid-FTTH etc. Especially, we focus on GW-PON based Hybrid-FTTH topology. Furthermore, the optical link technology and the features of the developed GW-PON system were explained in detail.

Keywords: Hybrid-FTTH, GW-PON, FTTH

I. 서론

수동 광 가입자망(PON) 기술은 FTTH(Fiber To The Home)의 주된 기술로 전세계적으로 자리매김을 하고 있다. 현재 KT를 비롯한 아시아 지역 통신 사업자들 위주로 시분할 다중화 기반의 E-PON 기술이 가장 경제성이 있는 기술로 평가되어 FTTH 망 구축에 적용되고 있고, 북미, 유럽을 중심으로 ITU-T 표준화 완료된 G-PON 기술이 점진적으로 힘을 얻고 있는 추세이다. 더불어, KT는 확장성, 보안성, 및 광대역 대역폭 제공이 가능한 파장분할 다중화 기반의 WDM-PON(Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network) 기술을 개발하고 상용화에 매진하고 있다. 특히, 기존 100M WDM-PON의 취약점인 비싼 장비를 극복하기 위해 한 파장을 여러 가입자가 공유할 수 있도록 ONU(Optical Network Unit)를 사용하여 망을 구성함으로써, 장비 가격 경쟁력을 높인 GW-PON(Giga WDM-PON)을 개발하고 상용화에 박차를 가하고 있다.

본 논문에서는 주거 밀집지역을 대상으로 Hybrid-FTTH 망 구축이 가능한 GW-PON 기술과 개발된 GW-PON 장비의 특징에 대해 살펴보고자 한다.

II. Hybrid-FTTH

현재 KT에 적용되고 있는 FTTH는 가입자당 50~100Mbps의 대역폭을 제공할 수 있으며, IP-TV를 비롯한 신 성장 사업의 원활한 수용에 필요한 품질보장과 고객별 차별화된 서비스 제공이 가능한 QoS 기능을 갖춘 광케이블 기반의 액세스 네트워크로 FTTC 및 FTTH를 포함하는 광의의 의미로 정의될 수 있다. 가입자 주거 형태 및 구내 통신 인프라 환경의 리모델링 유무에 따라 다른 기술 방식을 적용하여 가입자망이 구축되고 있으며, 기술방식 측면에서 보면 VDSL2, 100M VDSL, 이더넷 방식의 Ntopia, PON 기반의 FTTH-R(real)과 본 논문에서 기술하고자 하는 PON 기반의 Hybrid-FTTH로 구분할 수 있지만 궁극적으로 PON 기반의 FTTH-R과 PON 기반 Hybrid-FTTH로 적용 기술방식이 수렴될 것으로 예상된다.

PON 기반의 FTTH-R 기술 방식은 덕내까지 광을 직접 포설하여 초고속 인터넷 접속서비스를 제공하는 순수한 의미의 FTTH 망 구축에 적용되고 있으며 기존 동선기반의 품질열화 지역인 단독주택 위주로 경쟁 우위 확보를 위해 집중적으로 공급되고 있다. 또한, FTTH-R은 덕내까지 광이 직접 포설된 특등급 아파트에 대해

일부 적용되고 있다.

Hybrid-FTTH 기술방식은 전화국에서 가입자 배선 구역의 중심까지는 광으로 연결하고 이후부터 덕내까지는 동선 또는 UTP을 이용하여 망을 구축하는 FTTC 형태로 아파트와 같은 주거 밀집 지역 FTTH 망 구축에 주로 적용되고 있으며, Hybrid-FTTH 기술방식으로는 E-PON, GW-PON, G-PON, AON 등이 적용될 수 있다.

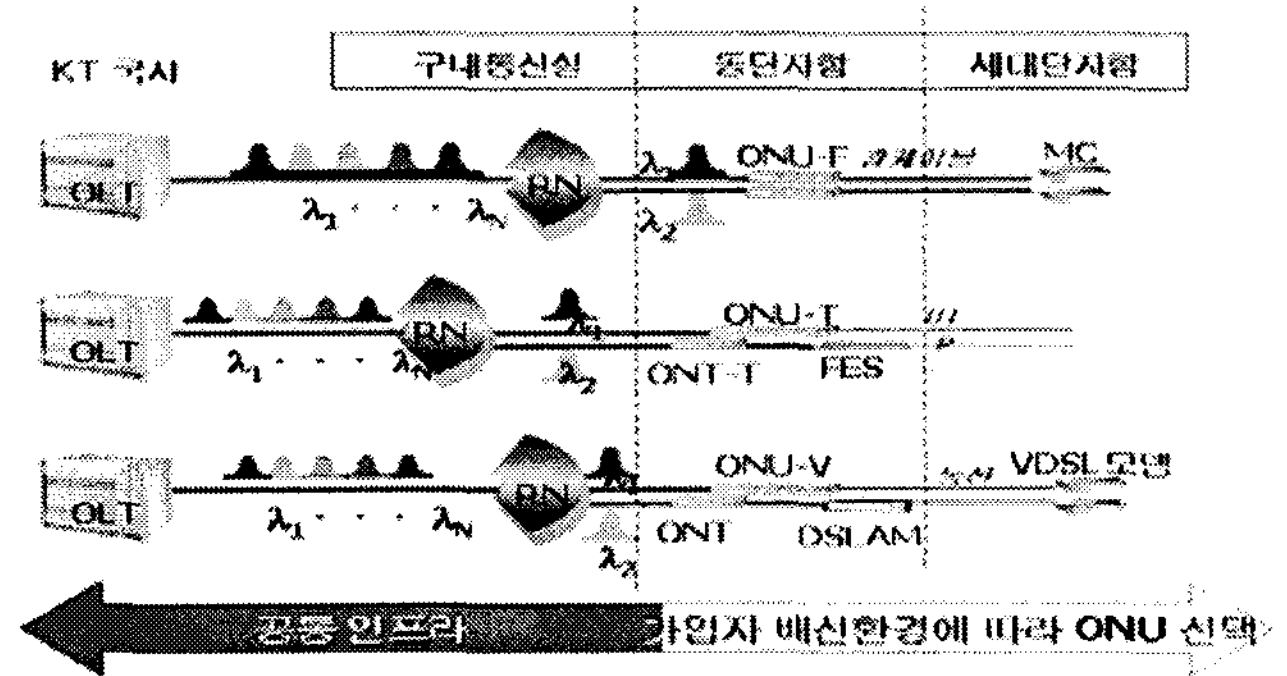


그림 1. PON 기반 Hybrid-FTTH topology

특히, PON 기반의 Hybrid-FTTH 망 구축방식은 가입자의 다양한 통신 인프라환경(동, UTP)을 광케이블로 리모델링 하지 않고 ONU를 개량 개선하여 PON 기술에 AON 또는 VDSL 기술을 혼용 결합하여 초고속 인터넷 접속서비스를 제공할 수 있는 복합형 망 구축방식이다. 즉, 고객의 통신 인프라 환경에 자유롭게 대처할 수 있으므로 UTP가 이미 포설되어 있어 FTTH-R을 공급하려면 추가적인 광케이블 공사가 필요한 신축 다세대 건물이나 현실적으로 구내 환경 열악 또는 마케팅 어려움으로 광케이블 공사가 어려운 아파트 같은 지역에 적기에 FTTH를 공급할 수 있고, 또한 동일 플랫폼으로 다양한 애플리케이션 등급(특등급, 1, 2 등급, 3 등급) 모델에 탄력적으로 적용할 수 있으므로 사업자 측면에서는 투자효율을 극대화할 수 있고, 고객측면에서는 최고의 품질을 보장할 수 있는 망 구축방식이다. 이러한 Hybrid-FTTH는 AON 수준의 투자비로 FTTH-R 수준의 속도 품질 제공이 가능하므로 FTTH-R의 고객 유인효과를 가져올 수 있고 또한 PON의 장점인 수동소자 사용에 따른 운용 비용 절감을 가져올 수 있어 사업자에게 크게 어필되고 있다. Hybrid-FTTH 기술방식으로는 E-PON, GW-PON, AON 등이 적용될 수 있다.

III. GW-PON 시스템

KT 인프라연구소는 Hybrid-FTTH 망 구축에 최적인 GW-PON 시스템을 개발하였다. GW-PON을 이용한 Hy-

* 책임저자(Corresponding Author):

KT 인프라연구소 FTTH 솔루션개발담당
(gykim@kt.co.kr)

brid-FTTH 망 구성에서는 전화국사에 1.25Gbps 의 전송속도를 시분할 다중화 기술을 이용하여 32 가입자에게 평균 30Mbps 의 대역폭을 할당하는 TDM-PON 용 OLT(Optical Line Terminal)와 달리, 1.25Gbps 의 전송속도를 갖는 여러 채널을 파장이 다른 광반송파(optical carrier)에 실어 광학적으로 다중화한 뒤 한 가닥의 광섬유로 전송하는 파장분할 다중화(WDM)기술이 적용된 OLT 가 위치하며, 아파트 통신실이나 전주 및 맨홀과 같은 곳에는 광파워를 분기하는 TDM-PON 용 광스플리터와 달리 전송된 파장 다중화된 광신호를 광학적으로 역다중화한 후 각 ONU 마다 1.25Gbps 의 전송속도를 갖는 서로 다른 채널을 전송하거나 역으로 각 ONU 에서 전송된 서로 다른 파장의 광신호를 광학적으로 다중화한 뒤 OLT 로 전송하는 기능을 수행하는 AWG(Arrayed Waveguide Grating)나 thin film 형태의 수동 광소자인 RN 이 놓이며, 동 지하나 층 단자함에는 PON 광신호를 종단하고 1Gbps 의 대역폭을 최대 24 가입자가 공유할 수 있도록 가입자 대내 환경에 적합하도록 동선 또는 UTP 형태의 인터페이스를 갖는 ONU 가 놓이게 된다. OLT 는 가입자가 생성한 다양한 서비스 트래픽을 서비스 속성에 따라 분류하고 집합한 후 개별 서비스망으로 분기할 수 있도록 L3 스위칭 기능을 갖고 있고, ONU 는 기존 가입자 집선스위치가 갖고 있는 L2 스위칭 기능을 갖고 있다. 그 외, IP-TV 나 VoD 와 같은 미디어 서비스 전달에 필요한 멀티캐스팅 패킷 처리를 위한 IGMP, IGMP snooping, PIM 프로토콜과 QoS 기능이 구현되어 있다.

개발된 GW-PON 은 다음과 같은 특징을 갖고 있다. ONU 마다 1Gbps 의 대역폭을 갖는 파장 채널 하나가 전용으로 할당되고, 24 포트 ONU 를 사용할 경우 24 가입자가 1Gbps 의 대역폭을 공유하게 되므로 가입자당 최소 40Mbps 에서 최대 1Gbps 의 속도를 제공할 수 있다. 또한 간선 광코어 한 가닥에 16 파장 채널을 수용함에 따라 가입자당 40Mbps 대역폭을 보장하면서 간선당 384 가입자까지 수용할 수 있는 시스템이다. 더욱이, 망 설계 단계에서 가입자당 보장 속도를 10Mbps 로 설계할 경우 1Gbps 대역폭을 여러 개의 ONU 가 공유할 수 있도록 ONU 스택킹(최대 ONU 4 개를 다단 연결)이 가능해지게 되고 이러한 경우 간선 광코어 한 가닥에 최대 1536 가입자를 수용할 수 있게 된다. 물론, 관리나 장애복구 어려움 등으로 ONU 스택킹 구조는 지양되고 있지만 현실적으로 수용률과 광코어 부족, 광케이블 포설을 위한 마케팅 어려움 등의 이유로 불가피하게 이루어지고 있다. 아파트 구내 환경이 변화될 경우, 일례로 1 등급에서 광케이블 리모델링을 통해 특등급 아파트로 업그레이드 될 경우, GW-PON 은 추가적인 장비 대개체 없이 ONU 의 가입자측 인터페이스만 Tx 에서 Fx 로 교체함으로써 서비스를 지속시킬 수 있으므로 가입자 구내 배선 환경 변화에 유연하게 적용될 수 있는 우수한 현장 적용성을 갖고 있다. 또한, ONU 송신기가 미리 결정된 고정된 파장을 사용하지 않고 RN 에 의해 송신기 파장이 결정되는 파장 무의존성(colorless) 광원을 채택함으로써 별도의 파장관리가 필요 없어 설치 및 유지보수가 편리할 뿐만 아니라 ONU 마다 별도의 예비광원을 확보할 필요가 없으므로 예비 광원 확보 비용을 줄일 수 있어 OPEX 비용을 절감할 수 있는 효과를 얻을 수 있다.

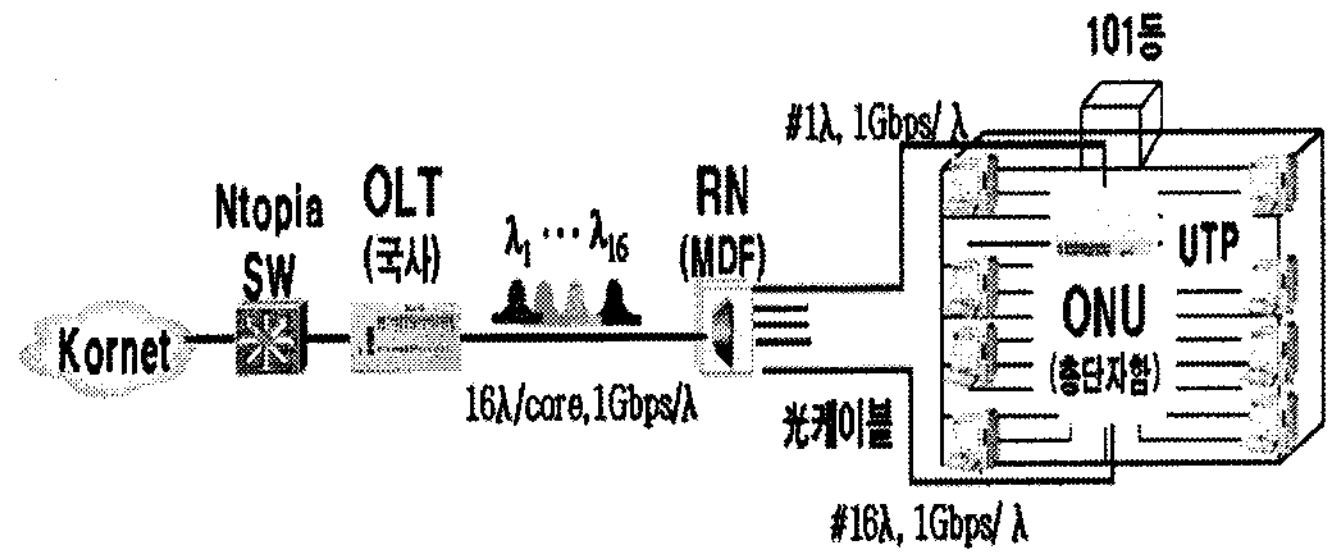


그림 2. GW-PON 시스템기반 Hybrid-FTTH 망 구성

IV. GW-PON 광 링크 기술

GW-PON 광링크 기술로는 “스펙트럼 분할된 외부 주입광에 의한 FP-LD(Fabry-Perot Laser Diode) 모드 잠금” 방식[1], “R-SOA(Reflective Semiconductor Optical Amplifier)를 이용한 재변조” 방식[2], “비간섭성 광케리어 주입 R-SOA” 방식[3], “외부 공진기를 이용한 파장 가변 광원[4]” 방식 등 파장 무의존성 특성을 갖는 다양한 광링크 기술 [5]이 적용될 수 있지만 개발된 GW-PON 시스템은 외부 주입광에 의한 FP-LD 파장 잠금 방식과 R-SOA 를 이용한 재변조 방식이 채택되어 적용되고 있다.

간략히 두 기술에 대해 살펴보면, FP-LD 파장 잠금 방식은 넓은 스펙트럼 분포를 갖는 광대역 광원을 폭이 좁은 광필터를 통과시켜 스펙트럼 분할된 광원으로 만든 후 이 외부 광원을 FP-LD 에 주입시켜 특정 모드만 선별적으로 발진시켜 고속 전송에 적합한 WDM-PON 용 광원을 만드는 기술이다. FP-LD 파장 잠금 방식에 사용되는 광대역 광원(Broadband Light Source: BLS)으로는 OLT 에서 ONU 로 내려가는 하향 광신호를 위해서 E 밴드 파장 대역의 광대역 광원이 사용되고, ONU 에서 OLT 로 올라오는 상향 광신호를 위해서 C 밴드 파장 대역의 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier) 광원이 사용되었다. ONU 에 주입되어 상향 광신호의 파장을 결정짓는 외부 광원으로 사용될 C 밴드 광대역 광신호는 OLT 에서 1.25Gbps 로 변조된 E 밴드 하향 광신호와 더불어 RN 을 지나 ONU 까지 동일 광 전송로를 타고 전송된다. C 밴드 광대역 광원은 RN 에 지나면서 스펙트럼 분할된 광신호로 나누어져 ONU 의 C 밴드 FP-LD 에 주입되어 ONU 의 상향 신호광의 파장으로 사용될 특정 파장을 발진시키고, 하향 E 밴드 신호광은 ONU 트랜시버의 C/E 밴드분리 필터에 의해 분기된 후 광검출기(PD)로 입력되어 광전 변환과정을 거친 후 이더넷 스위치에서 패킷 처리과정을 거쳐 가입자에게 전달된다. FP-LD 파장 잠금 방식은 저가의 FP-LD 를 사용하여 파장 무의존성 WDM-PON 을 구현 했다는 점과 더불어 이미 필드에서 운용되고 있는 100M WDM-PON 시스템에 적용된 기술적 성숙도가 매우 높은 기술이라는 장점이 있는 반면, 1Gbps 이상의 고속 전송을 위해서는 높은 출력 광세기를 갖는 광대역 광원이 필요하고, 광대역 광원으로 사용되는 비간섭성 광원의 잠음특성으로 인한 전송 성능 제한이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

RSOA 를 이용한 재변조 방식은 별도의 외부 주입광을 사용하는 FP-LD 모드 잠금 방식과 달리 데이터 신호로 변조된 하향 신호광을 반사형 광증폭기(RSOA)를 사용하여 반사-증폭-변조의 과정을 거쳐 상향 신호광으로 재사용하므로 상향 신호광의 파장이 하향 신호광의 파장과 동일하게 되어 자동적으로 파장 무의존 특성을 갖는 기술이다. OLT 의 하향 신호광은 uncooled DFB 와 같은 저가의 간섭성 광원을 1.25Gbps 로 직접변조한 후 광 전송로를 통해 RN 을 거쳐 ONU 까지 전송된

다. ONU로 전송된 하향 신호광은 광스플리터에 의해 나누어진 후 일부는 광검출기를 거쳐 데이터 신호로 복구되고, 나머지 분배된 하향 신호광은 RSOA에 입력되어 재변조 과정을 거쳐 상향 신호광으로 재사용되어 상향 데이터를 동일 광 코어를 통해 OLT까지 전송하는데 사용된다. 변조된 하향 신호광의 일부가 상향 신호광으로 재변조 된다는 점에서 하향 신호광의 소광비와 RSOA의 포화특성에 따라 상향 신호광의 전송 품질이 결정된다. 하향 신호광의 소광비는 광검출기에서 하향 데이터 신호를 에리 없이 복원할 정도로 커야 되지만, 상향 신호광의 전송 품질에 영향을 주지 않기 위해서는 적절히 낮은 수준을 유지해야 한다. 하향 신호광의 소광비가 지나치게 크거나 RSOA에 입력되는 하향 신호광의 광세기가 RSOA를 포화시킬 수 없을 정도로 낮을 경우 하향 신호광의 변조 성분이 상향 신호에 있어서는 잡음으로 작용하여 전송 품질을 저하시킬 수 있다. 따라서, RSOA 재변조 방식에 있어서 좋은 전송 품질을 갖기 위해서는 충분히 낮은 입력 광신호 세기에 대해서도 포화가 될 수 있는 RSOA, 입력 광신호 세기에 따른 넓은 포화 특성을 갖는 RSOA, 그러면서도 상향 신호광을 충분히 증폭시킬 수 있도록 높은 이득을 갖는 RSOA를 제작하여야 하는 기술적 어려움이 존재한다. 동일 광선로를 이용하여 상하향 신호를 전송할 경우 또 다른 기술적 이슈로는 반사에 의한 영향이다. RSOA 재변조 방식은 상하향 동일한 파장을 사용하므로 광 링크에서 반사된 신호는 원 신호와 같은 파장을 가지면서 일정한 위상차를 유지하므로 광검출에서 비팅(beatting) 노이즈를 유발하여 수신 품질을 저하시킬 수 있다. 또한, 광링크에서 반사된 상향 신호광은 RSOA에 다시 입력되어 상향 신호광의 품질을 저하시킬 수 있다. 결과적으로 RSOA 재변조 방식은 광선로 반사를 최대한 줄여 일정 수준 이하로 광선로 반산 손실(optical return loss)를 유지해야 하고, 이를 위해 모든 커넥터는 APC 타입의 커넥터를 사용하고 OFD에서는 광커넥터 단면 관리에 충분한 주의를 요해야 한다.

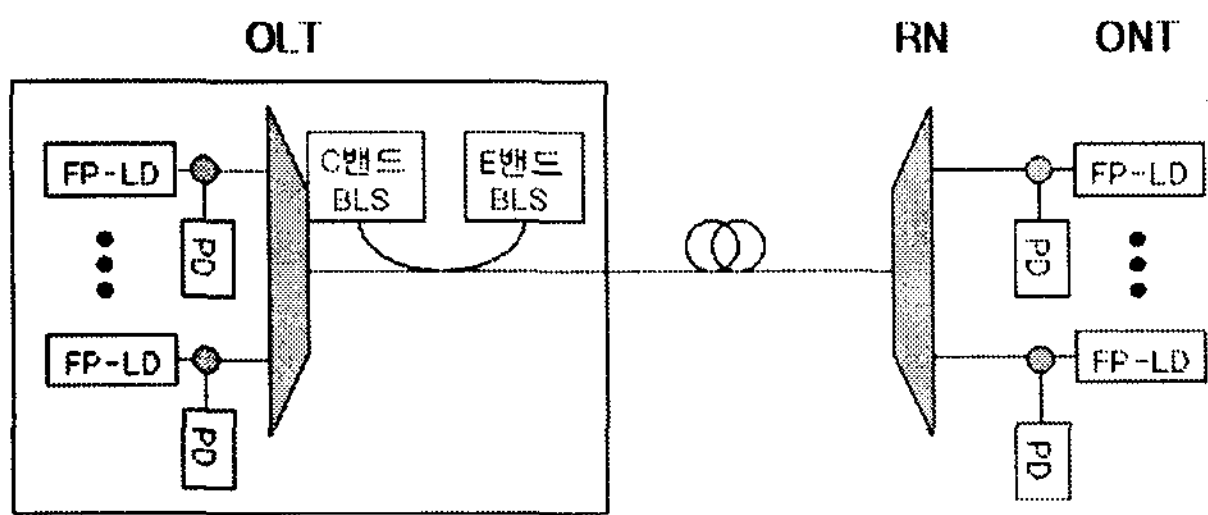


그림 3-a. 스펙트럼 분할된 외부 주입광에 의한 FP-LD 모드 잠김 방식

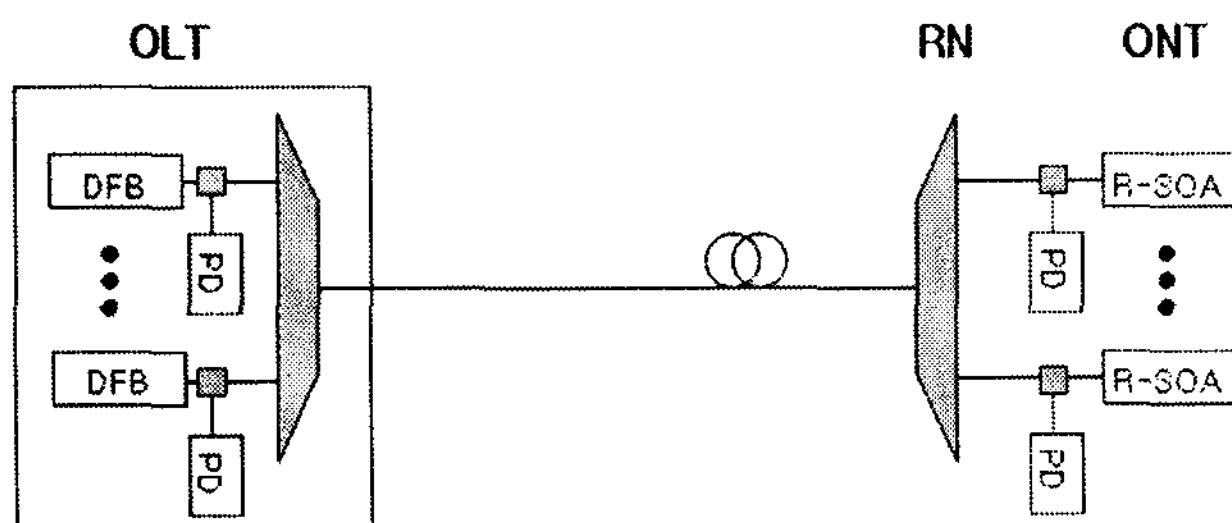


그림 3-b. R-SOA를 이용한 재변조 방식

V. GW-PON 기술적 특징

GW-PON의 기술적 특징을 미래 지향성, 경제성, 장비 운용성의 사업적 관점에서 살펴보도록 한다.

미래 지향성 측면에서 살펴보면, GW-PON은 대역폭 활용도가 뛰어나 OSP 또는 장치 재투자 없이 신규서비스나 가입자 추가 발생시도 신사업 수용이 가능한 장비이다. 일반적으로 PON 장비는 기술 수명 주기가 짧은 DSL 장비와 달리 5~7년의 긴 수명 주기를 가질 것으로 예상되므로 이 기간 동안 발생하는 신규 서비스는 새로운 투자 없이 수용 가능해야 하며 이를 위해서는 GW-PON과 같이 가입자당 충분한 대역폭을 할당할 수 있어야 한다.

광케이블 활용도 측면에서 보면, 현재 가입자 관로 시설은 어느 정도의 여유 시설이 있어 추가 광케이블 포설은 가능하나 관로 포설의 어려움을 감안하면 효율적 이용이 필요하며, 이러한 취지에 가장 잘 부합하는 기술이 바로 가입자망 광케이블(간선 및 인입망 광케이블) 활용도가 뛰어난 GW-PON 기술이다. 왜냐하면 GW-PON 시스템은 간선 광케이블 한 코어당 384~1536 가입자를 수용할 수 있으므로 간선 한 코어당 96 가입자를 수용하는 4분기 E-PON 기반 Hybrid-FTTH보다 최대 4~16배 광케이블 절감 효과를 가져 올 수 있다. 이러한 이유로 광케이블 소모량이 큰 대단지 아파트에 GW-PON이 적용될 경우 광케이블 절감 효과를 극대화할 수 있다.

경제성 측면에서 살펴보면, 특등급의 아파트 지역의 경우 가입자당 40Mbps 대역을 보장할 경우 장비비와 선로비를 합한 투자비 측면에서 경쟁 기술 대비 경쟁력 우위를 점유하고 있고, 가입자당 10Mbps 대역을 보장할 경우 다소 열세이지만, E-PON의 경우 트랜시버를 비롯한 주요 핵심소자 가격이 원자재 가격에 근접하여 더 이상의 큰 장비 가격 하락을 기대하기는 어려운 반면 GW-PON은 시장 진입 초기 단계로 가격 하락의 기회를 충분히 갖고 있어 대규모 시장이 형성될 경우 경쟁 기술 대비 충분한 가격 경쟁력을 가질 것으로 예상된다.

고객 측면에서도 GW-PON은 가입자에게 높은 보장 속도를 제공함으로써 IP-TV를 비롯한 TPS 서비스 확산 시에도 차별화된 인터넷 속도 품질 제공이 가능하며, 또한 MAC 계층이 없어 UCC나 P2P 서비스가 급증하는 상황에서도 영상전화나 PC 게임과 같은 지연(delay)에 민감한 서비스를 더 잘 수용할 수 있으므로 고객에게 차별화된 서비스를 제공할 수 있다.

장비 운용성 측면에서도 MAC 전달계층 없이 이더넷 신호를 광전변환 후 투명하게 전달하므로 기존 이더넷 스위치 운영에 익숙한 장비 운용자들에게 큰 거부감 없이 받아들여 질 수 있는 기술이다.

이와 같은 많은 기술적 장점으로 인해 GW-PON은 신속히 FTTH를 공급하고자 하는 사업자들에게 충분히 매력적인 기술로 인식되고 있고, KT에서도 조만간 현장 적용시험을 통해 GW-PON의 사업성을 분석한 후 본격적인 사업화 적용 여부를 결정할 계획이다.

소개는 마지막 장 좌측 하단에 예시된 것을 참조하면 된다.

VI. 결론

논문에서는 Hybrid-FTTH 망 구축 방안과, 아파트 등의 공동 주택에 FTTH를 조기 확산 시키기 위해 구내 통신 인프라를 그대로 수용하는 hybrid-FTTH 망 구

축을 위한 최적 솔루션인 GW-PON 시스템에 대한 소개와 특징 및 적용된 광링크 기술에 대해 살펴보았다. GW-PON 시스템은 경제성, 미래 지향성, 그리고 운용성 측면에서 기존 기술 대비 충분한 경쟁력을 확보하고 있으며, 더욱이 가입자당 40Mbps 이상의 대역폭을 보장함으로써 한번 투자로 장비 내용연수 내에서 추가적인 인프라 투자 없이 안정적으로 네트워크를 운영하고 신규 서비스를 적용할 수 있는 새로운 FTTH 기술로 국내 시장뿐만 아니라 세계 시장으로 진출할 수 있는 기술이다.

참고문헌

- [1] H. D. Kim, S. Kang, and C.-H. Lee, "A low-cost WDM source with an ASE injected Fabry-Perot semiconductor laser," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 12, no. 8, pp. 1067-1069, August, 2000.
- [2] W. Lee, M. Y. Park, S. H. Cho, J. Lee, C. Kim, G. Jeong, and B. W. Kim, "Bidirectional WDM-PON Based on Gain-Saturated Reflective Semiconductor Optical Amplifiers," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 17, no. 11, November, 2005.
- [3] Soo-Jin Park, Geun-Young Kim, Tae-Sang Park, "WDM-PON system based on the laser light injected reflective semiconductor optical amplifier," vol. 12, pp. 162-169, 2006
- [4] J. H. Lee, M. Y. Park, C. Y. Kim, S.-H. Cho, W. Lee, G. Jeong, and B. W. Kim, "Tunable External Cavity Laser Based on Polymer Waveguide Platform for WDM Access Network," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 17, no. 9, pp. 1956-1958, September, 2005
- [5] 윤호성, 박태상, 박근열, 김진희, "기가급 WDM-PON을 위한 광 기술 분석," 2006 한국정보통신설비학회 하계 학술대회논문집, pp 11-15, August, 2006

김 근 영

1994년 경북대학교 물리학과
1996년 서울대학교 물리학과(이학석사)
1997년 ~ 현재 KT 인프라연구소
관심 분야는 장거리 광전송, 광가입자망

김 정 일

1980년 고려대학교 전자공학과(공학사)
1985년 고려대학교 전자공학과(공학석사)
1997년 고려대학교 전자공학과(공학박사)
1980년 ~ 1983년 한국통신기술연구소
1984년 ~ 현재 KT 인프라연구소 FTTH솔루션개발담당
관심분야: 통신기술, 통신 서비스

김 진 희

1987년 경북대학교 전자공학과(공학사)
1991년 경북대학교 전자공학과(공학석사)
1991년 ~ 현재 KT 인프라연구소 FTTH개발 2부장
관심 분야는 광가입자망 전송기술, PON 기술