

1Gbps x 16채널 WDM-PON 필드 테스트

정회원 김근영*, 박형진, 김진희, 정기태

1Gbps x 16 channel Wavelength Division Multiplexing-Passive Optical Network Field Trial Test

Geun-Young Kim*, Hyung-Jin Park, Jin-Hee Kim, Ki-Tae Jeong *Regular Members*

요약

본 논문에서는 가입자당 40Mbps 대역폭 보장이 가능한 광대역 광 가입자망(FTTH) 기술인 FP-LD 파장 주입 잠김 기반의 1Gbps x16채널 WDM-PON 시스템을 개발하고 필드에 적용한 실험 결과를 보고하였다. 필드 테스트 결과 안정적이고 빠른 인터넷과 고품질 영상 제공이 가능하고 필드 테스트 기간 동안 한 건의 장애도 발생하지 않을 정도로 장비 자체 안정성이 높아 상용화 가능한 수준임을 검증하였다.

Key Words : FTTH, Optical Access Network, WDM-PON, FP-LD Injection locking

ABSTRACT

In this paper, we report the results of the field trial test of 1GbpsX16channels Injection locking FP-LD based WDM-PON system which could guarantee 40Mbps minimum bandwidth per subscriber, We have confirmed the system reliability, also verified that the system could reliably deliver the service such as internet, VoD through the systems during the field trial test.

1. 서론

최근 들어 광대역을 필요로 하는 영상 서비스의 급속한 전개로 인해 기존 액세스망이 갖고 있던 문제점이 하나 둘 수면위로 나타나게 되었고, 네트워크의 키워드가 속도경쟁에서 품질 경쟁으로 무게 중심이 이동하는 과정에서 자연스럽게 가입자망 고도화에 대한 필요성이 대두되었다. 그 결과 유선 통신 사업자들은 기존 액티브 방식에서 탈피하여 TCO(Total Cost of Ownership: 총소요비용)를 최소화할 수 있는 수동 광 가입자망(Passive Optical Network: PON) 기술 기반의 FTTH(Fiber To The Home)를 공급을 하게 되었고, 특히 최근 들어 FTTH는 일반 주택 외에 아파트 등의 밀집 주거지역까지 확대 적용 되고 있는 추세이다.

PON 기술은 FTTH의 주된 기술로 전 세계적으로

로 자리매김을 하고 있다. 특히, 현재 KT를 비롯한 아시아 지역 통신 사업자들 위주로 시분할 다중화 기반의 E-PON(Ethernet-PON) 기술^[1]이 가장 경제성이 있는 기술로 평가되어 FTTH 망 구축에 적용되고 있고, 북미, 유럽을 중심으로 ITU-T 표준화 완료된 G-PON(Gigabit -Capable PON) 기술^[2]이 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. 이미 2004년에 100Mbps WDM-PON을 개발하여 상용화시킨 사례가 있으며^[3], 기존 100Mbps WDM-PON의 취약점인 비싼 장비를 극복하기 위해 한 파장을 여러 가입자가 공유할 수 있도록 ONU(Optical Network Unit)를 사용하여 망을 구성함으로써, 장비 가격 경

* KT 네트워크연구소 인프라연구담당(gykim@kt.com)

논문번호 : KICS2009-04-151, 접수일자 : 2009년 4월 10일, 최종논문접수일자 : 2009년 8월 20일

쟁력을 높인 기가비트 WDM-PON을 개발하고 상용화에 박차를 가하고 있다.

본 논문에서는 아파트와 같은 밀집 주거지역 적용을 목표로 개발된 기가비트 WDM-PON 장비 기술 개발 현황과 개발된 기가비트 WDM-PON을 실제 필드에 적용한 실험 결과에 대해 기술한다.

II. FTTH 기술방식 비교

FTTH 기술에 대해서는 이미 많은 논문을 통해 잘 알려져 있으므로 여기서는 PON 기술간의 상호 특징을 간략히 비교만 한다.

E-PON은 통신망에서 널리 사용되는 이더넷 프레임의 PON 구간에서 변형하여 사용함으로써 장비 제조업체 및 통신 사업자들에게 손쉽게 다가설 수 있는 장점을 갖고 있다. 반면, PON 구간에서 MAC(Media Access Control) 프레임 처리 과정을 추가적으로 거쳐야 되므로 상대적으로 지연(delay)에 민감한 게임이나 영상전화 서비스를 원활히 제공하기 위해서는 일부 기술적인 검토가 요구되고 있다. 또한, 이중 MAC칩 간의 상호 연동성(interoperability) 문제도 해결되어야 될 중요한 과제이다^[4]. 하지만 E-PON이 갖는 뛰어난 경제성과 효율적인 상향 대역폭 활용 능력에 덧붙여 다양한 서비스 제공에 필요한 현장의 요구사항이 신속히 반영될 수 있다는 점으로 인해 당분간 PON의 대표적인 기술로 자리 매김 할 것으로 예상된다.

G-PON은 OSP(Outside Plant)측면에서 광스플리터를 기반으로 한다는 점에서는 E-PON과 동일하나, OLT(Optical Line Termination)와 ONU(Optical Network Units)간 전달계층에서 이더넷 프레임의 오버헤드만 일부 변형하여 사용하는 E-PON과 달리 G-PON은 GEM(G-PON Encapsulation Method) 프레임의 사용하므로 ATM, 전용회선 등 다양한 형태의 서비스를 수용할 수 있는 장점을 갖고 있다. 또한, 전송속도 및 광 스플리터 분기수가 E-PON의 2배인 2.5Gbps/64분기가 가능하도록 표준화 되어 있다. 특히, G-PON은 일반적인 TDM 장치가 갖는 125μsec 주기의 프레임 전송제어를 근간으로 하는 기술이므로 PSTN 신호수용이 용이하다. E-PON의 경우 맥내에 ONT(Optical Network Terminals)를 설치하더라도 PSTN 서비스 유지로 인해 동선을 철거할 수 없으므로, 기존 배관이 복잡한 경우 광케이블 포설에 어려운 점이 있다. 반면, G-PON ONT는 PSTN 서비스 수용이 가능하므로 동선을 철거하고 맥내에 광케이블만 포설하면 되므로 OSP 측면에서 유리한 이점을 갖고 있다. 하지만, 음성전화가 VoIP로 전환될 경우를 생각하면 G-PON이 갖는 장점은 많이 희석될 수밖에 없다.

WDM-PON은 이미 장거리 광전송에서 기술적 안정성이 충분히 검증된 WDM 기술에 저가의 광소자 기술을 적용하여 가입자 지역으로 내린 기술로 별도의 프레임 없이 이더넷 신호를 광전/전광 변환 후 패킷처리 과정만을 거쳐 전송하는 기술로 ONT나

표 1. PON 기술 비교

| 분류 | E-PON | G-PON | WDM-PON |
|--------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 전송능력/광코어 | 1G | 2G | 3.2G, 16G |
| 최대/최소 속도 | 100Mbps/30Mbps @ 32분기, 1G 공유 | 100Mbps/30Mbps @ 64분기, 2G 공유 | 100Mbps/100Mbps(dedicated) |
| 표준 | IEEE802.3ah EFM | ITU-T G.984.x | FSAN 표준화 논의 중 |
| 핵심 프로토콜 | DBA, MPCP | DBA | 별도 프로토콜 없음 |
| PON 구간 전송 프레임 | 가변길이 Ethernet 프레임(IP 수용 용이) | GEM 프레임 | 별도 프레임 없음 단순 광전/전광 변환만 수행 |
| 핵심소자 기술 | MAC칩, Burstmode TRx | MAC칩, 고속 Burstmode TRx | colorless TRx |
| 전송거리 | 20km | 20km | 20km |
| 다단분기 용이성 | 쉬움(스플리터) | 쉬움(스플리터) | 다소 어려움 |
| 상호 호환성(Interoperability) | 다소 어려움 | 용이 | 뛰어남(조건: 동일 광링크 기술 사용) |
| 장점 | 저가이고 망 구축효율성 높음 | 망 구축 효율성이 높음 | 광대역, 보안 우수함 |
| 단점 | 칩셋 호환성 미흡 | 밴더 소수 | 다소 고가, 다단분기 어려움 |

ONU당 광대역의 전용 속도(dedicated bandwidth)를 보장할 수 있는 장점이 있다. 결과적으로 WDM-PON 상용화는 높은 보장 대역을 필요로 하는 서비스가 언제 출현하는지에 달려 있다고 생각해도 크게 틀리지 않을 것이다. 한편, 일반 인터넷 가입자 보다는 광대역의 독립된 통신망을 갖기를 원하는 사무용 빌딩이나 PC방에 기업 전용의 형태로 적용하는 것도 한 가지 방안이 될 수 있다. WDM-PON 기술의 상용화를 위해 시급히 해결해야 될 문제로는 장비 가격을 낮추는 것과 더불어 적용될 수 있는 포지셔닝을 찾는 것이다. 지금까지 TDM 기술은 가입자 점점 지역에, WDM은 비트당 전송 비용과 광케이블 소모를 줄이기 위해 국간에 적용되어 왔던 사례로부터 미루어 짐작해 보면 WDM-PON은 TDM-PON과 결합된 형태로 메트로-엑세스 융합과 같은 네트워크 광역화에 수반되는 광케이블 절감과 광대역을 보장할 수 있는 차세대 액세스 네트워크 구축의 핵심 PON 기술로 떠오를 전망이다.

III. 기가비트 WDM-PON 필드 테스트

본 절에서는 개발된 기가비트 WDM-PON 시스템 특징, 사용된 광링크 기술, 필드 테스트 망구성 및 실험 결과에 대해 기술한다.

3.1 기가비트 WDM-PON 시스템

KT 인프라연구소는 Hybrid-FTTH 망 구축에 최적인 기가비트 WDM-PON 시스템을 개발하였다⁵⁾.

기가비트 WDM-PON을 이용한 Hybrid-FTTH 망 구성에서는 전화국사에 1.25Gbps의 전송속도를 갖는 여러 채널을 파장이 다른 광반송파(optical carrier)에 실어 광학적으로 다중화한 뒤 한 가닥의 광섬유로 전송하는 파장분할 다중화 기술이 적용된 OLT가 위치한다. 아파트 통신실이나 맨홀에는 OLT에서 전송된 파장 다중화된 광신호를 광학적으로 역다중화한 후 각 ONU 마다 1.25Gbps의 전송속도를 갖는 서로 다른 채널을 전송하거나 역으로 각 ONU에서 전송된 서로 다른 파장의 광신호를 광학적으로 다중화한 뒤 OLT로 전송하는 기능을 수행하는 AWG(Arrayed Waveguide Grating)나 thin film 필터 형태의 수동 광소자 RN(Remote Node)이 설치된다. 동 지하나 층 단자함에는 PON 광신호를 중단하고 1Gbps의 대역폭을 최대 24가입자가 공유할 수 있도록 가입자 실내 환경에 적합한 동선 또는 UTP(Unshielded Twist Pair) 형태의 인터페이

스를 갖는 ONU가 놓이게 된다. OLT는 가입자가 생성한 다양한 서비스 트래픽을 서비스 속성에 따라 분류하고 집합한 후 개별 서비스망으로 분기할 수 있도록 레이어-3 (L3) 스위칭 기능을 갖고 있고 ONU는 기존 이더넷 스위치가 갖고 있는 레이어-2(L2) 스위칭 기능을 갖고 있다. 그 외, IP-TV나 VoD와 같은 미디어 서비스 전달에 필요한 멀티캐스팅 패킷 처리를 위한 IGMP(Internet Group Membership Protocol), IGMP snooping, PIM (Protocol Independent Multicast) 프로토콜과 QoS 기능이 구현되어 있다.

개발된 기가비트 WDM-PON은 다음과 같은 특징을 갖고 있다. ONU마다 1Gbps의 대역폭을 갖는 파장 채널 하나가 전용으로 할당되고, 24포트 ONU를 사용할 경우 24가입자가 1Gbps의 대역폭을 공유하게 되므로 가입자당 최소 40Mbps에서 최대 1Gbps의 속도를 제공할 수 있다. 또한 간선 광코어 한 가닥에 16파장 채널을 수용함에 따라 가입자당 40Mbps 대역폭을 보장하면서 간선당 384가입자까지 수용할 수 있는 시스템이다. 더욱이, 망 설계 단계에서 가입자당 보장 속도를 10Mbps로 설계할 경우 1Gbps 대역폭을 여러 개의 ONU가 공유할 수

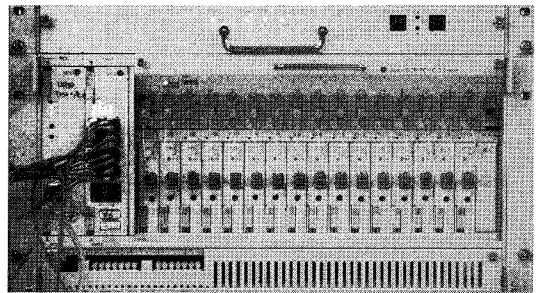


그림 1. 기가비트 WDM-PON OLT 형상

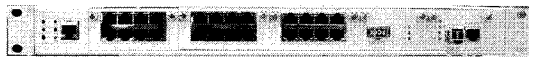


그림 2. 기가비트 WDM-PON ONU 형상

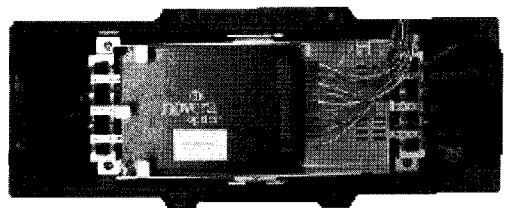


그림 3. 기가비트 WDM-PON RN 형상

있도록 ONU 스택킹(최대 ONU 4개를 다단 연결)이 가능해지게 되고 이러한 경우 간선 광코어 한 가닥에 최대 1536가입자를 수용할 수 있게 된다. 물론, 관리나 장애복구 어려움 등으로 ONU를 다단 연결하는 스택킹 구조는 지양되고 있지만 현실적으로 수용률과 광코어 부족, 광케이블 포설을 위한 마케팅 어려움 등의 이유로 불가피하게 이루어지고 있다. 아파트 구내 환경이 변화될 경우, 일례로 1등급에서 광케이블 리모델링을 통해 특등급 아파트로 업그레이드 될 경우, 기가비트 WDM-PON은 추가적인 장비 대개체 없이 ONU의 가입자측 인터페이스만 Tx에서 Fx로 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 RN에 의해 송신기 파장이 결정되는 파장 무의존성(colorless) 광원⁶⁾을 채택함으로써 별도의 파장관리기 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.

3.2 기가비트 WDM-PON 광링크 기술

기가비트 WDM-PON 광링크 기술로는 “스펙트럼 분할된 외부 주입광에 의한 FP-LD(Fabry-Perot Laser Diode) 모드 잠김” 방식⁷⁾, “R-SOA (Reflective Semiconductor Optical Amplifier)를 이용한 재변조” 방식⁸⁾, “비간섭성 광케리어 주입 R-SOA” 방식⁹⁾, “외부 공진기를 이용한 파장 가변 광원¹⁰⁾” 방식 등 파장 무의존성 특성을 갖는 다양한 광링크 기술이 적용될 수 있지만 개발된 기가비트 WDM-PON 시스템에는 외부 주입광에 의한 FP-LD 파장 잠김 방식과 R-SOA를 이용한 재변조 방식이 채택되어 적용되고 있다.

간략히 두 기술에 대해 살펴보면, FP-LD 파장 잠김 방식은 넓은 스펙트럼 분포를 갖는 광대역 광원을 폭이 좁은 광필터를 통과시켜 스펙트럼 분할된 광원으로 만들고, 분할된 외부 광원을 여러 발진 모드를 갖는 FP-LD에 주입시켜 특정 모드만 선별적으로 발진(selectively lasing)시켜 고속 전송에 적합한 WDM-PON용 광원으로 만드는 기술이다.

FP-LD 파장 잠김 방식에 사용되는 광대역 광원(Broadband Light Source: BLS)으로는 OLT에서 ONT로 내려가는 하향 광신호를 위해서 E 밴드 파

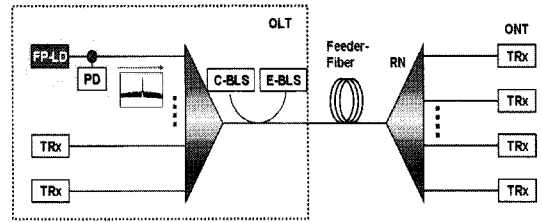


그림 4. FP-LD 모드 잠김방식(FP-LD: Fabry-Perot Laser Diode, PD:Photo-Diode, BLS: Broadband Light Source, RN: Remote Node, TRx: Transceiver)

장 대역의 광대역 광원이 사용되고, ONT에서 OLT로 올라오는 상향 광신호를 위해서 C 밴드 파장 대역의 EDFA(Erbium Doped Fiber Amplifier) 광원이 사용된다. ONT에 주입되어 상향 광신호의 파장을 결정짓는 외부 광원으로 사용될 C밴드 광대역 광신호는 OLT에서 1.25Gbps로 변조된 E밴드 하향 광신호와 같이 RN을 지나 ONT까지 동일 광코어를 타고 전송된다. C 밴드 광대역 광원은 RN에 지나면서 스펙트럼 분할된 광신호로 나누어져 ONT의 C 밴드 FP-LD에 주입되어 ONT의 상향 신호광의 파장으로 사용될 특정 파장을 발진시키고, 하향 E 밴드 신호광은 ONT 트랜시버의 C/E 밴드분리 필터에 의해 분기된 후 광검출기(PD)로 입력되어 광전 변환과정을 거친 후 이더넷 스위치에서 패킷 처리 과정을 거쳐 가입자에게 전달된다. FP-LD 파장 잠김 방식은 저가의 FP-LD를 사용하여 OLT 및 ONT 광원의 파장이 외부에서 주입되는 광원에 의해 결정된다는 소위 파장 무의존성 WDM-PON을 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

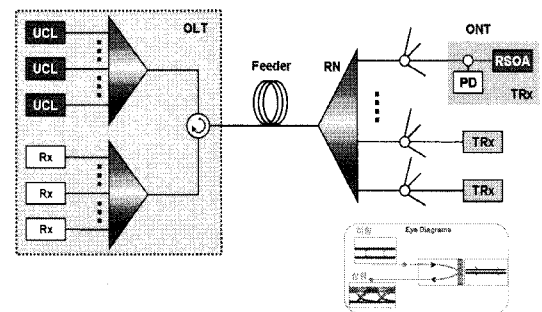


그림 5. RSOA 재변조 방식(UCL: Uncooled Laser)

전송 성능 제한이 발생될 수 있다는 단점이 있다.

RSOA를 이용한 재변조 방식은 별도의 외부 주입광을 사용하는 FP-LD 모드 잠김 방식과 달리 데이터 신호로 변조된 하향 신호광을 반사형 반도체 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.

OLT의 하향 신호광은 uncooled DFB(Distributed Feedback)와 같은 저가의 간섭성 광원을 1.25Gbps로 직접변조한 후 광 전송로를 통해 RN을 거쳐 ONU까지 전송된다. ONU로 전송된 하향 신호광은 광증폭기에 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 에러 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 전송품질을 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 발생할 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(beat) 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 반

사를 최대한 줄여 일정 수준 이하로 광선로 반손실(optical return loss)을 유지해야 하고, 이를 위해 모든 커넥터는 APC(Angled Physical Contact) 타입의 커넥터를 사용하고 OFD에서는 광커넥터 단면 관리에 충분한 주의를 요해야 한다. 또한, RSOA 재변조 방식과 같은 광링크 기술의 경우 일반적으로 통신에서 사용되고 있는 직접변조나 외부 변조 방식과 다른 새로운 방식이므로 기존에 정해진 아이마스크(eyemask) 기준이나 소광비 기준 값에 대한 재정립이 필요한지에 대해 검토가 필요하다.

3.3 기가비트 WDM-PON 필드테스트 망 구성

개발된 기가비트 WDM-PON은 광원으로 스펙트럼 분할된 광대역 외부 주입광에 의해 특정 모드만 선별적으로 발진되어 colorless 특성을 갖는 FP-LD 모드 잠김 방식을 사용하고 있다. 상하향 각각 E/C 밴드를 사용하고, 채널속도 및 채널 수는 1.25Gbps x16채널이다.

1.25Gbps 전송속도를 갖는 여러 채널을 파장이 다른 광 반송파에 실어 광학적으로 다중화한 뒤 한 가닥의 광섬유를 통해 전송하는 WDM 기술이 적용된 OLT가 전화국에 위치하며, 아파트 통신실(MDF: Main Distribution Frame)에 RN인 AWG가 놓이고, 동 지하에 PON 신호를 종단하고 1Gbps의 대역폭을 24가입자가 공유할 수 있도록 UTP 인터페이스를 갖는 ONU가 설치되었다. OLT는 가입자가 생성한 다양한 서비스 트래픽을 서비스 속성에 따라 분류하고 집합한 후 개별 서비스 망으로 분기할 수 있도록 L3 스위칭 기능을 갖고 있으며, ONU는 L2 이더넷 스위칭 기능을 갖고 있다. 그 외, IP-TV나 VoD와 같은 미디어 서비스 전달에 필요한 멀티캐스팅 패킷 처리를 위한 IGMP, IMGP snooping,

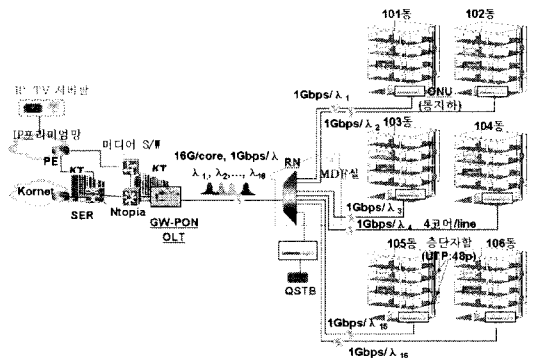


그림 6. GW-PON 필드 테스트 망 구성도

PIM 프로토콜과 QoS 기능이 구현되어 있다. 또한, 개발되어 필드에 적용된 기가비트 WDM-PON 장치는 가입자당 최소 40Mbps 대역폭 보장이 가능하고, 광 코어 한 가닥에 384~1536가입자를 수용할 수 있다.

ONU 입력 광세기는 평균 -8.44dBm이며, RN 포트의 평균 손실은 5.34dB이고, ONU의 출력 광세기는 평균 3.38dBm으로 측정되었다. 전화국사에 설치된 OLT 출력단에 측정된 상하향 스펙트럼을 그림 10에 나타내었다. 16채널 E 밴드(1430nm~1470nm) 하향 신호광과 FP-LD에 주입되어 상향 신호광으로 사용될 C밴드(1530nm~1565nm) 광대역 광원의 스펙트럼을 볼 수 있다.

3.4 필드테스트 결과

기가 WDM-PON 필드 테스트를 통해 시스템 안정성과 서비스 제공 능력을 실험적으로 검증하였다. ONU 가입자 포트에서 측정된 인터넷 속도 측정결과를 그림x에 나타내었다. 객관성을 유지하기위해 모든 측정에 동일한 노트북을 사용하였으며 속도측정 사이트는 일반 인터넷 사용자들이 자주 이용하는 “www.benchbee.co.kr” 사이트를 이용하였다.

측정결과 가입자 포트의 물리적 속도한계가 100Mbps로 설계된 상태에서 각각의 ONU에 대해 상하향 모두 평균적으로 94Mbps로 측정되었다. 100Mbps를 여러 가입자가 공유하여 4Mbps 보장속도를 제공하는 기존 인터넷 제공방식과 달리 기가비트 WDM-PON은 평균적으로 40Mbps의 높은 보장속도 제공으로 인해 체변시 비체변시 구별 없이 높은 속도측정 결과를 얻을 수 있었다. 또한, 높은 보장속도로 인해 평균 8Mbps 정도의 대역폭을 점유하는 메가TV와 같은 영상서비스 시청과 무관하게 일정한 높은 인터넷 속도측정 결과가 나오는 것

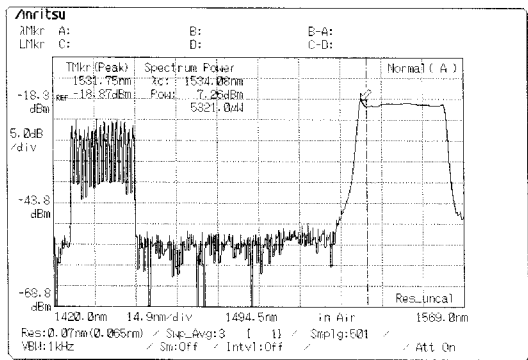


그림 7. OLT 출력단에서 측정된 상하향 스펙트럼

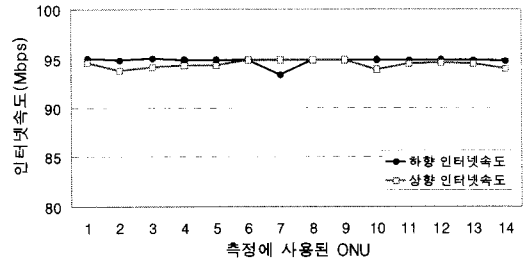


그림 8. 인터넷 속도 측정 결과

로 관측되었다.

OLT 업링크 기가포트를 통해 측정된 체변시 상/하향 평균 사용 트래픽 측정결과를 그림9에 나타내었다. 측정기간 10일 동안 1시간 단위로 샘플링하여 1분 평균한 결과로, 순간적인 피크 트래픽이라기보다는 사용자 평균 트래픽을 측정한 것이다. 상/하향 평균 트래픽 양은 100Mbps이하이고, 특정 시간대에 상향으로 최대 190Mbps까지 사용한 것으로 측정되었다. 이는 특정 ONU에 수용된 소수의 가입자에서 발생된 것으로 PtP(Point-to-Point)속성을 갖는 트래픽에서 기인된 것으로 밝혀졌다.

그림 10에 기가 WDM-PON을 통해 전달된 영상 채널에 대해 한 달 동안 측정된 영상품질지수 (Video Mean Opinion Score: VMOS)를 측정한 결과를 나타내었다. 측정에 사용한 채널은 여의도 송출국으로부터 송출된 233. 18.158.91 멀티캐스팅 주소를 갖는 시험 채널로, ONU 미사용 가입자 포트에 영상화질 측정용 STB을 연결하여 측정하였다. VMOS 값은 실제 STB 디코더에 의해 나타나는 영상자체의 blurriness, blockness, jerkness를 측정하여 계산되어졌다. 측정된 VMOS값은 “good” 단계에 속한 3.88로 좋은 화질 제공이 가능함을 알 수 있었다. 측정된 VMOS값은 영상 스트림 서버, 중간 전달망 노드 구간, STB 등에 의해 발생된 품질 열

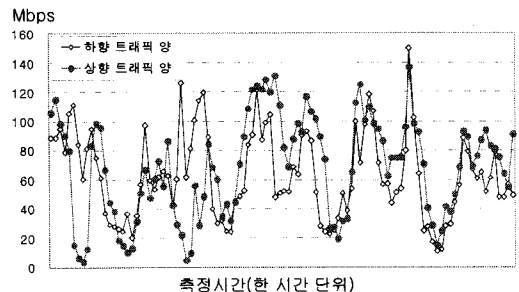


그림 9. OLT 기가비트 업링크에서 측정된 상하향 트래픽

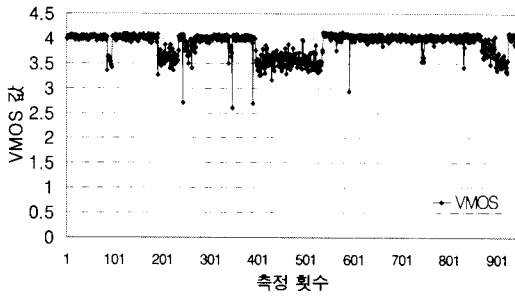


그림 10. STB에서 측정된 VMOS 측정값

화를 포함하고 있으므로 기가비트 WDM-PON 구간 에 의한 품질열화를 별도로 관찰할 수는 없었다.

인터넷 품질, 영상 품질 외에 필드 테스트 기간 동안 기가비트 WDM-PON 장비 EMS(Elementary Management System)를 통해 OLT, ONU, RN의 장비 자체 안전성을 분석한 결과 장비 관련 장애 “0”건을 달성하여 채택된 광링크 기술이 상용사업 에 적용될 정도의 안정성을 갖고 있음을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 가입자당 40Mbps 이상의 대역폭 보장과 파장 무의존성 기술을 사용함으로 인해 운 용비용을 절감할 수 있는 1Gbps x16채널 WDM -PON 시스템에 대한 특징과 적용된 광링크 기술 및 개발된 시스템을 필드에 적용한 결과를 보고하 였다. 필드 테스트 결과 안정적인 인터넷 속도 제공 과 높은 영상화질 제공이 가능하고, 더불어 광 링크 를 비롯한 장비 자체 안정성 높아 상용화 가능할 수준임을 검증하였다.

참 고 문 헌

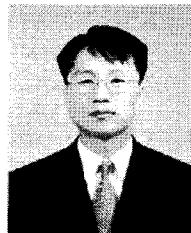
- [1] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force, ‘Ethernet Passive Optical Network’, 2004
- [2] ITU-T 984.x series, ‘Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON)’
- [3] Geun-Young Kim, et al, “FTTH Field Trial Test of Injection Locking Based WDM- PON System,” *APOC, Proceeding of SPIE*. pp. 6354-74, 2006.
- [4] Cheo Shen, “Progress of EPON inter operability test,” *Proceeding of FTTH Conferenc China*,

September 7, 2006

- [5] 김근영 외, “Hybrid FTTH 망 구축 가능한 기가 WDM-PON 기술개발 동향,” *한국정보통신 설비 학회 하계학술발표 대회*, pp. 85-89, 2007.
- [6] Soo-Jin Park, et. al, “Fiber-to-the-Home Services Based on Wavelength-Division- Multiplexing Passive Optical Network,” *IEEE J. Lightwave Technol*, vol. 22. no. 11, November, 2004.
- [7] H.D.Kim, S.G. Kang, and C.H.Lee, “A low cost WDM source with and ASE injected Fabry-Perot Laser Semiconductor laser,” *IEEE Photonic. Technol. Lett.*, Vol. 17, No. 8, pp. 1067-1069, Aug. 2000.
- [8] Lee, W.R., et. al., “Bidirectional WDM-PON based on gain-saturated reflective semiconduc tor optical amplifier,” *IEEE Photonic. Technol. Lett.*, Vol. 17, No. 11, pp. 2460-2462, 2005
- [9] Soo-Jin Park, Geun-Young Kim, Tae-sang Park, “WDM-PON system based on the laser light injected reflective semiconductor optical amplifier.” Vol. 3, pp. 25-29, Sept. 2005, ECOC2005
- [10] J.H. Lee, M.Y. Park, C.Y. Kim, S.-H. Cho, W. Lee, G. Jeong, and B. W. Kim, “Tunable External Cavity based on Polymer Waveguide Platform for WDM Access Network,” *IEEE Photonic. Technol. Lett.*, Vol. 17, No. 9, pp. 1956-1958, September, 2005

김 근 영 (Geun-Young Kim)

정희원



1994년 경북대학교 물리학과 이학사

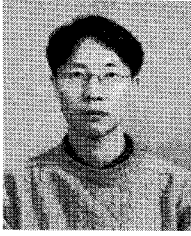
1996년 서울대학교 물리학과 이학석사

1997년~현재 KT 네트워크연 구소 인프라연구담당

<관심 분야> 장거리 광전송, 광 가입자망 기술

박 형 진 (Hyung-Jin Park)

정회원



1990년 연세대학교 전자공학과
공학사

1992년 연세대학교 전자공학과
공학석사

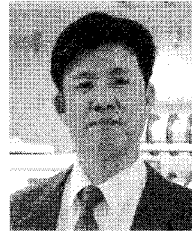
2002년~현재 KT 네트워크연구
소 인프라연구담당

<관심분야> 기가인터넷, 광가입

자망기술, PON관련기술, 미래융합서비스

정 기 태 (Ki-Tae Jeong)

정회원



1985년 경북대학교 전자공학과
공학석사

1996년 일본 동북대 전자공학
과 공학박사

1986년 KT 연구개발본부 입사
~현재 KT 네트워크연구소

인프라연구담당 상무

<관심분야> 광가입자망, IPv6 구현, IP네트워크보
안, Giag Internet 구현

김 진 희 (Jin-Hee Kim)

정회원



1987년 경북대학교 전자공학과
공학사

1991년 경북대학교 전자공학과
공학석사

1991년~현재 KT 네트워크연구
소 인프라연구담당 부장

<관심 분야> 광가입자망(PON)

전송기술