

DWDM-PON 기술의 광가입자망 적용에 대한 연구

A Study on the Deployment of DWDM-PON Technologies to Optical Subscriber Networks

이 동 열*, 김 희 동, 진 재 환, 성 민 모

(Dong-yeal Lee, Hee-Dong Kim, Jae-Hwan Jin and Min-Mo Sung)

Abstract : DWDM(dense wavelength division multiplexing)-PON technology is applied to subscriber network as the same as E-PON or G-PON. And its network components consist of OLT, ONU and RN. Legacy DWDM technologies have been applied on the long-haul part of optical network due to its excessive high cost. But many researchers have successfully devised a few methods which can considerably reduce the cost of equipment. Nowadays DWDM-PON equipment's has arrived to a level having a competitive price in comparison to E-PON or G-PON on condition of giving equal bandwidth. Recently a major domestic ISP has deployed DWDM-PON equipments in one apartment complex area in the purpose of satisfying ever-increasing bandwidth demand. The ISP increased data transmission capacity from 1 G to 16G without any additional fiber deployment. In this paper we introduce roughly three technologies of implementing DWDM-PON's optic module and related optic devices. And we also describe pre-test of vendor's DWDM-PON equipment and discuss the result. Lastly we propose some of network configurations which adopt DWDM-PON technology. By adopting DWDM-PON technology ISP can greatly save the cost of deploying broadband subscriber network.

Keywords: DWDM, PON, FTTH, subscriber optical networks, OLT, ONU, RN

I 서론

가정고객 대상의 초고속인터넷서비스가 본격 보급된 지 10여 년이 지난 지금은 인터넷이 보편적, 필수 서비스가 되었고, 2008년 6월 현재 전국적으로 1,500만여 가구가 이용하고 있다[1]. 인터넷상에서 제공되는 서비스도 예전의 단순한 웹 접속을 넘어서 VoD형태의 영상 콘텐츠 관련 서비스가 많은 부분을 차지하고 있다. 뿐만 아니라 2008 말 10월 부터 현재의 인터넷기반의 실시간 방송을 제공[2]하게 되어있으므로 관련 서비스 사용자 증가와 더불어 가입자 구간 대역폭의 폭발적 증가가 예상된다. 이에 인터넷망사업자는 가입자 구간의 광대역화를 위해 다양한 방법을 강구하고 있다.

가입자망의 광대역화를 위한 적용기술에는 광동축혼합망(HFC)과 광가입자망(FTTx)이 있다. HFC망은 원래 방송전송망으로 구축하였으나 데이터 전송을 위한 DOCSIS 표준 및 장비의 등장으로 초고속인터넷서비스를 제공하지만, 상하향 비대칭 및 셀당 제공되는 대역에 제한을 받는다. 최근 상하향대역이 확대된 DOCSIS3.0 기술이 출시되었으나 HFC망 고유의 비대칭성은 그대로이며 IPTV 서비스에 필요한 가입자당 수십M의 대역을 제공하기에는 역부족이다.

광케이블이 건물 근처 혹은 옥내까지 도달하는 광가입자망(FTTx)은 하나의 광케이블로 수 기가 이상의 데이터를 전송하기 때문에, 가입자당 수십Mbps의 대역제공이 가능하다. 광가입자망은 원격노드(RN-Remote Node)에 대한 전원공급 유무에 따라 능동형과 수동형으로 구분되는데 최근에는 전원 공급이 불필요한 수동형이 선호된다. 수동형 광가입자망(PON-passive Optical network)은 가입자측 장비를 분기시키는 원격노드가 전원이 불필요한 수동소자이기 때문에 유지보수 비용을 획기적으로 줄일 수 있다.

상용 PON 기술방식으로는 IEEE 표준인 E-PON[3]과 ITU-T 표준인 G-PON[4]이 있다. E-PON은 상하향 전송속도가 1.25Gbps으로 동일하며, G-PON은 상하향 각각 최대 2.5Gbps 까지 비대칭 전송이 가능하다. 이 두 PON 기술은, 상하향 트래픽을 단일 파장으로 전송하기 때문에, 다수의 가입자 단말은 단일파장으로 제공되는 전송대역을 시분할다중화(TDM-Time Division Multiplex)방식으로 공유한다. 반면에 파장 분할다중화(WDM-Wavelength Division Multiplex) 방식은 단일 광케이블상에 다수의 파장을 실을 수 있으므로 TDM 방식에 비하여 전송능력이 탁월하다. PON은 망과 접속하는 OLT(Optical Line Termination)와 가입자를 수용하는 다수의 ONU(Optical Network Unit), 가입자 장치인 ONU를 분기하는 RN으로 구성된다. 일반적으로 OLT는 사업자 국사에, ONU는 가입자 측내에 위치한다. 그림 1. 은 TDM-PON 과 WDM-PON의 동작 개념을 보여준다.

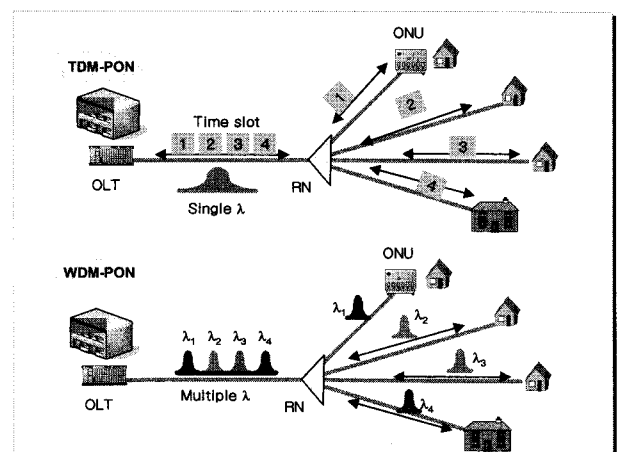


그림 1. TDM-PON vs. WDM-PON 구성 개략도
Fig. 1. Operation flows of both TDM-PON and WDM-PON

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2008 7.25., 채택확정 : 2008. 8. 1.

이동열 : LG데이콤, 김희동 : 외국어대학교,

(ldy@lgdacom.net, kimhd@hufs.ac.kr)

WDM 방식에는 인접파장간 간격이 넓은 저밀도방식(CWDM-CoarseWDM)과 간격이 좁은 고밀도방식(DWDM-DenseWDM)이 있다. 100GHz(0.8nm) 간격의 DWDM은 C밴드(1530~1565nm)에서만 32 채널을 수용할 수 있으나, CWDM은 20nm 채널간격으로 정의되어 파장밴드(1470~1610nm)에서 겨우 8 채널만 수용한다[5][6].

서론에 이어 2장에서는 국내 DWDM-PON 기술개발 현황과 기술의 특징을 설명하고, 3장에서 DWDM-PON 장비의 광특성 시험에 대해 논의하고, 4장에서는 광가입자망 적용 방안을 제시하고 마지막으로 5장에서 마무리 한다.

II. DWDM-PON 기술 개요

DWDM 기술은 기존 광케이블 인프라를 그대로 이용하면서 전송용량을 기존대비 수십 배 확장하는 장점을 갖고 있다. 이러한 이유로 통신사업자들은, 1990년대 이후 고가임에도 불구하고 기간망의 대역폭을 확장하는데 DWDM 장비를 구축하여 왔으나 가입자 구간은 경제성 문제로 고려하지 않았다. 그러나 저가형 Colorless 광모듈 기술이 개발되고, 온도비의존성 파장 다중화 수동소자의 출현으로 관련장비의 저가화가 가능해졌다. 이 기술을 적용한 가입자망용 DWDM-PON 장비가 국내에서 세계 최초로 개발되었고 국내 K사는 가입자망 고도화를 위한 방안으로서 타당성을 검증하기 위하여 일부 지역에 시범적용 중이다. 지금까지 국내에서 개발된 DWDM-PON 광모듈은 1) injection locking, 2) wavelength reuse, 3) tunable ECL 의 세 가지 기술방식으로 분류된다.

1. DWDM-PON 구성 요소

DWDM-PON의 구성요소는 OLT, RN 및 ONU이며 각각 다음과 같은 기능을 수행한다.

1) OLT(Optical Line Termination)

- N개의 서로 다른 파장으로 동작하는 광모듈(optical transceiver)을 관리하면서 N개의 파장(광 신호)을 다중화하여 하향 전송하며, RN에서 상향 전송된 광 신호를 N개의 광 신호로 분기(역다중화)하여 해당 광 모듈로 분배한다. 장치내의 망 모듈은 상위망과 연동한다.

2) RN(Remote Node)

- N개의 ONU로부터 상향 전송된 광 신호를 다중화하여 단일 광케이블을 통해 OLT로 전송하고 OLT의 하향전송 광 신호를 N 개로 분기하여 해당 ONU로 전송한다.

3) ONT(Optical Network Termination)

- 단일 파장으로 RN의 해당 포트에 접속하고 내부 망 모듈을 통해 사용자 장치와 연동한다.

DWDM-PON에서는 RN 수동소자로 AWG(Arrayed Waveguide Grating)를 사용하는데, 망측으로 단일 포트가 제공되고 가입자 측으로 채널 수만개의 포트가 제공된다. 또한 하나의 가입자측 포트에서 단일 파장 채널만 통과하는 non-cyclic AWG와 FSR(Free Spectral Range)밴드에서 같은 위치에 해당하는 복수의 파장채널을 통과시키는 cyclic AWG가 있다.

2. Injection locking 방식

[8]에서는 1%내외의 전면 반사율을 가진 AR(Anti-

Reflection)코팅된 FP-LD(Fabry Perot-Laser Diode)에 외부 광원(seed light source)을 주입하여 특정파장을 발진시키는 Injection-locking방식을 제안, 연구하였다. 외부 광원으로는, 고출력(~20 dBm)의 광대역(>40 nm) 광원(BLS: Broadband Light Source)이 AWG를 거쳐 나온 spectrum slice를 사용한다. AWG는 전술한 바와 같이 FP-LD 주입용 광원 생성을 위한 spectrum slice를 생성할 뿐만 아니라 채널별 광 신호의 다중화, 역다중화 역할을 수행한다.

국내의 N사에서 상용 장비에 적용한 injection locking 방식의 DWDM-PON 메커니즘은 다음과 같다. OLT에는 두 개의 광원이 있는데 하나는 E밴드를 증폭한 E-BLS이고 다른 하나는 C밴드를 증폭한 C-BLS이다. E-BLS는 하향전송 광모듈용 FP-LD의 광원으로 사용되고, C-BLS는 상향전송 광원으로 사용된다. 그림 2와 같이 하향으로는 E밴드의 광신호와 증폭된 C-BLS 동시에 전송되나 상향 광신호는 C밴드의 광신호만 전송된다. 이 메커니즘에서 사용되는 AWG는 C, E밴드를 동시에 동일 포트에 분기하여야 하므로 Cyclic성질을 가진다.

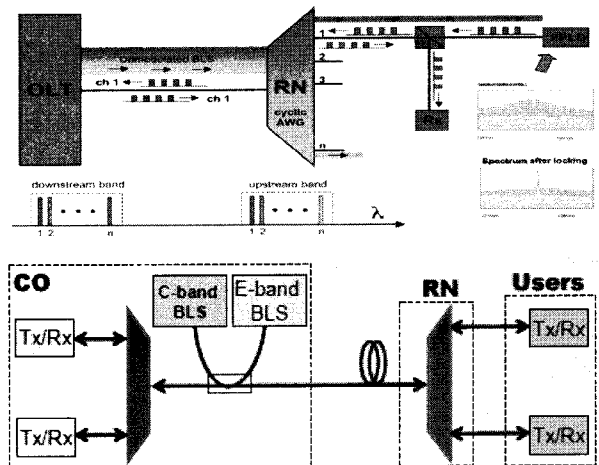


그림 2. Injection locking 방식의 원리(상)와 PON 개념도(하)

Fig. 2. Principle of injection locking method(upper) and related PON concept diagram(lower)

3. Wavelength reuse 방식

이 방식은 반사형 반도체 광증폭기(R-SOA)의 광대역 증폭 특성(>50 nm)을 이용하고 하향 광신호의 일부를 광원으로 R-SOA에 주입함으로써 저가형 WDM-PON 광모듈을 구성한다. 그림 3과 같이 R-SOA의 전면은 광원이 잘 주입될 수 있도록 AR(Anti-Reflection) 코팅하고 후면의 내벽은 반사가 잘되도록 HR(High-Reflection) 코팅 처리한다. 하향 전송 광신호(λ_1)의 일부가 R-SOA에 주입되면 내부에서 증폭되고 동시에 상향 전송 신호의 직접 변조가 이루어진다. 이 방식은 BLS를 OLT측 광 모듈의 광원에만 사용하고 ONT측 광 모듈의 광원은 하향 전송 신호의 일부를 재사용한다. [7]에서는 이 방식의 DWDM-PON을 long-reach 전송 실험을 수행하였다.

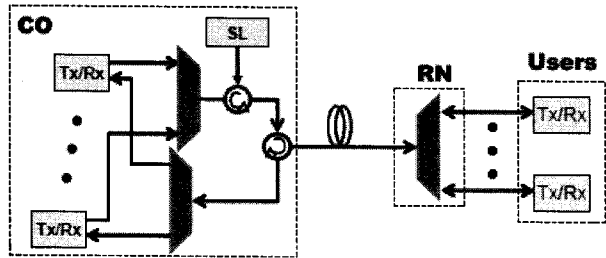
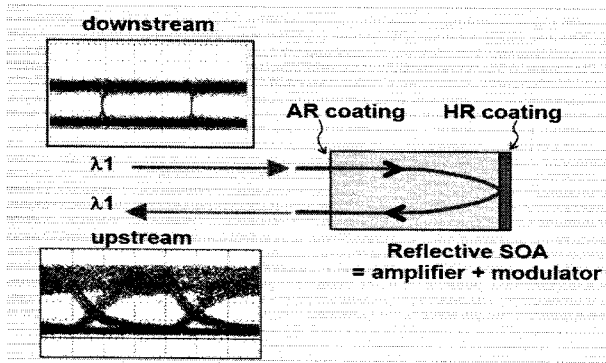


그림 3. Wavelength reuse 방식의 원리(상)와 PON 개념도(하)
 Fig. 3. Principle of wavelength reuse method(upper) and related PON concept diagram(lower)

4. Tunable ECL 방식

외부 광원을 이용한 DWDM-PON 방식은 저가형 광모듈 개발을 위해 시도된 신선한 아이디어이다. 그러나 BLS가 추가됨으로써 시스템이 복잡해지고, Spectrum slice를 광원으로 사용함으로써 intensity noise가 유발되어 변조 속도에 제한을 초래하는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Tunable ECL을 이용한 광모듈 개발이 시도되었다. 기본 구성은 FP-LD, 온도제어기(heater)가 부착된 WBG(Waveguide Bragg Grating) 및 지지를 위한 구조물이 있다. 구조물은 PLC(planar Lightwave circuit) 혹은 폴리머가 될 수 있으며, 아래 그림은 PLC기반 ECL 이다. WBG는 external cavity 역할을 하며, 온도 제어기는 발진 파장을 조정한다.

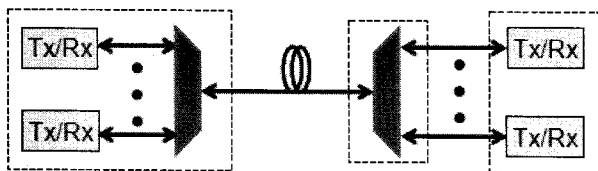
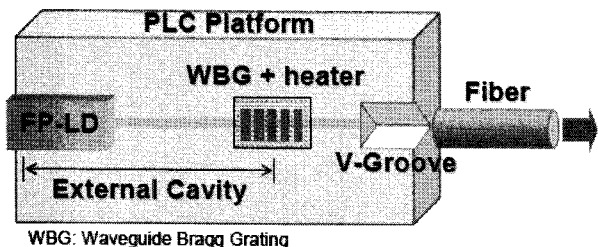


그림 4. Tunable ECL 방식의 원리(상)와 PON 개념도(하)
 Fig. 4. Tunable ECL method(upper) and related PON concept diagram(lower)

A사는 폴리머 거치형 tunable ECL 방식의 광모듈을 개발하였다. A사의 OLT는 광모듈은 장착되는 위치에 따라 백플레인 슬롯 위치 정보를 받아 적절한 L밴드의 grid 값을 가지게 된다. 또한 ONU는 RN의 연결 포트에 따라 적절한 C밴드의 grid 값을 가진다. Grid 간격은 채널간 주파수(파장) 간격이며 C밴드(상향)인 경우 100GHz(0.8nm), L밴드(하향)인 경우 97.4GHz(0.8nm)이다.

III. 광특성 시험 리뷰

이 절에서는 국내 C사에서 개발한 DWDM-PON 시스템의 광특성을 살펴보기로 한다. 이 장비는 wavelength reuse 방식으로 개발되었으며, C밴드상에서 1.6nm(200GHz) 간격으로 16 채널을 지원한다. 국내 ISP인 K사는 이 장비를 현장에 구축하여 실가입자를 대상으로 시범서비스를 제공 중이다.

1. 시험 항목 및 구성

DWDM-PON의 광특성을 파악하기 위하여 다음과 같은 시험항목을 선정하였다.

- 1) C밴드에서 16채널로 16Gbps 데이터 전송이 가능하여야 한다.
- 2) ONU는 임의의 RN 포트에 연결하여 정상 동작하여야 한다. (colorless특성)
- 3) OLT와 ONU간의 손실범위는 물리적인 거리가 10km기준으로 5.5dB이하이며, RN의 삽입 손실은 전체 채널과 장에 대하여 4.5dB 이하이다.
- 4) RN에 연결된 물리적 위치의 차이로 ONU들간 손실 차이가 3dB 이하에서 정상 동작하여야 한다.
- 5) 커넥터 등으로 인한 OLT로의 반사 잡음이 -32dB이하에서 정상 동작하여야 한다.

상기의 시험 항목을 수행하기 위하여 다음 그림과 같이 테스트베드를 구성하였다.

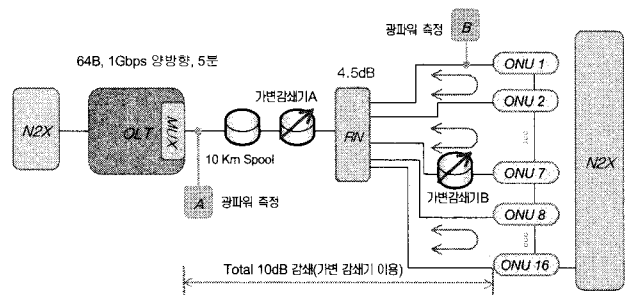


그림 5. DWDM-PON 시스템의 광특성 시험 구성도
 Fig. 5. Testbed for the optical quality of DWDM-PON system

그림 5에서 N2X는 망측과 가입자측의 트래픽을 송수신하는 에플레이터이다. 각각 64바이트 패킷을 1Gbps 속도로 송수신한다. OLT는 16개의 채널을 통해 해당 ONU와 패킷을 주고 받는데, 에플레이터의 연결포트가 제한되어 ONU 16만 N2X와 직접 연결하고 나머지는 daisy chain형태로 OLT를 경

유하여 상호간 연결된다. 1) 항목은 광과장 측정기로 OLT측에서 16채널의 파장을 확인한다. 2) 항목은 ONU들의 RN 연결 위치를 변경하였을 때 시스템의 정상 동작여부를 확인한다. 3) 항목은 10km spool과 RN사이에 삽입된 가변감쇄기A를 조정하여 OLT에서 ONU 커넥터까지 10dB가 되도록 한다. 4) 항목은 RN과 ONU 7 사이에 삽입된 가변감쇄기B를 조정하여 타 ONU 대비 수신 신호감도가 3dB 작게 되도록 한다. 5) 항목은 OLT 측 광케이블 임의의 위치에 광반사기를 설치하고 -32dB의 하향 광신호가 역채환되게 한다.

2. 시험 결과

각 시험 항목 구성에서 5분간의 트래픽을 가하였으며, 결과로써 N2X 시험기는 송신 경로와 수신 경로에 각각 패킷 손실이 발생하지 않았음을 보여주었다. 다음 그림은 OLT 측 광과장 측정기(OSA-Optical Spectrum Analyzer)를 이용하여 16 채널의 파장을 캡춰한 것이다.

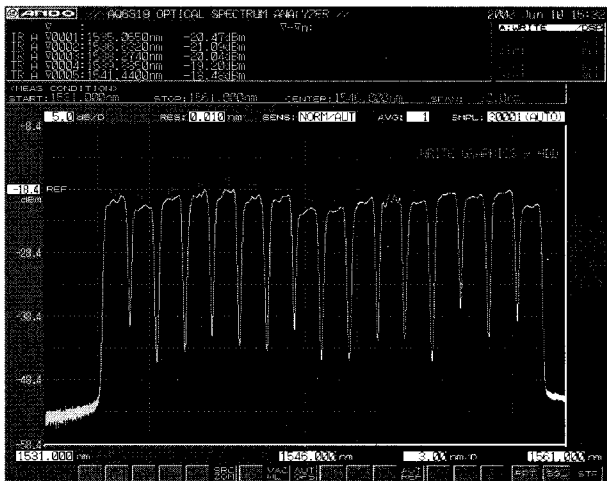


그림 6. DWDM-PON 시스템의 OSA 스펙트럼 측정
Fig. 6. Display of DWDM-PON system's optical spectrum measured by OSA

그림 6을 보면 출력 스펙트럼의 범위는 1531nm ~ 1561nm이며 이는 C밴드(1530nm ~ 1565nm)에 포함된다. 또한 스펙트럼 내에 16 채널의 파장이 1.6nm 간격으로 나타남을 알 수 있다.

IV. 광가입자망 적용 방안

초고속인터넷시장에서 ISP가 경쟁 우위를 유지하기 위해서는 가입자망이 데이터, 음성뿐만 아니라 실시간 IPTV까지 수용할 수 있는 망을 확보하여야 한다. 이를 위해서는 가입자 구간의 대역폭 확대가 불가피하다. 따라서 기존 광케이블 인프라를 최대한 이용하면서 가입자당 대역을 늘릴 수 있는 경제적인 방안을 제시한다.

1. 아파트 지역 가입자 적용 방안

ISP의 기존 아파트단지의 초고속 인터넷 환경은 다음과 같다. 국사의 가입자 수용장비와 아파트 단지 MDF실 장비간에는 단일 광케이블로 연결되며, 제공 속도는 1Gbps이다. 또

한 MDF실 장비(L3 스위치)와 각 동의 스위치간에도 광케이블로 연결되며 1G혹은 100M 인터페이스를 제공한다. 이 방식에서는 국사와 MDF실 L3스위치간에 제공되는 1G 대역을 아파트단지의 모든 가입자들이 공유하기 때문에, 가입자 수가 많은 아파트 단지인 경우에는 TPS(음성+데이터+IPTV)에 필요한 가입자당 수십Mbps정도의 대역을 제공할 수 없다. 그러나 그림 7과 같이 DWDM-PON시스템을 구축하면 가입자당 대역 문제는 해결할 수 있다.

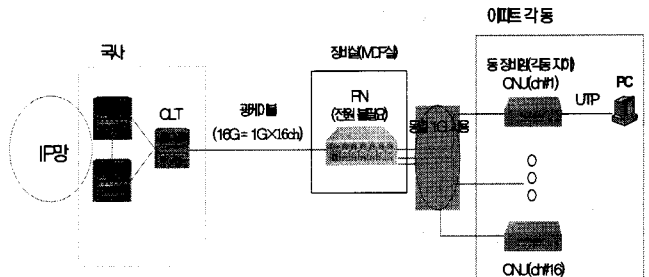


그림 7. 아파트 지역 DWDM-PON 시스템 적용 구성도
Fig. 7. Deploying DWDM-PON system to apartment complex

그림 7에서 OLT는 RN을 경유하여 16 대의 ONU와 16 개의 광링크를 유지한다. MDF실에 있는 RN은 수동소자이므로 전원이 불필요하다. 따라서 공간 확보 및 설치가 용이하다. RN은 각 동의 ONU와 광케이블로 연결되며 독립적인 1G대역을 제공한다. C사의 ONU는 UTP 라인을 통해서 최대 48 세대의 실가입자를 연결할 수 있다. 이 경우 가입자당 20Mbps 이상의 대역이 제공된다.

2. HFC 지역 가입자 적용 방안

기존 HFC 망은 국사(분배센터)에 있는 CMTS와 가입자 맥내에 있는 CM간에 데이터가 전송된다. 국사에서 ONU까지는 광케이블이, ONU에서 가입자 맥내까지는 동축선이 연결된다. 하나의 ONU가 커버하는 지역을 셀이라 하며 약 200여 CM을 수용한다. HFC망에서의 데이터 전송능력은 DOCSIS2.0을 기준으로 하향 40Mbps, 상향 10Mbps 이내이며 동일 셀에 속하는 CM 들이 이 대역을 공유한다. 최근 하향 200Mbps를 지원하는 DOCSIS3.0 관련 장비가 개발되고 있으나 가입자망 진화의 중극적인 해결책이 되기 어렵다. 다음 그림 8과 같이 기존 HFC 망 인프라를 이용한 주택지역의 가입자당 대역을 확대하는 방안을 제시한다.

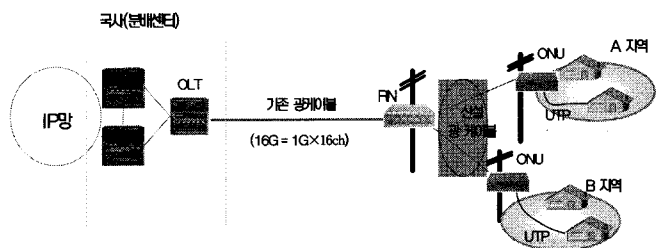


그림 8. 주택지역 DWDM-PON 시스템 적용 구성도
Fig. 8. Deploying DWDM-PON system to residential area

기존 HFC망에서 국사에 OLT를, ONU 위치에 RN을 설치한다. 따라서 기존 국사와 ONU간 광케이블은 재활용 가능하다. RN에서는 해당 지역을 16개의 서브지역으로 분할하여 각 서브지역마다 ONU를 설치한다. C사 DWDM-PON시스템의 ONU는 24 포트 혹은 48 포트 UTP 라인을 지원하므로 지역의 가입자수를 감안하여 서브지역을 분할한다. 이 경우에 RN에서 서브지역 ONU까지 광케이블을 신규로 설치하여야 하고 ONU에 대한 전원 공급 문제를 해결할 필요가 있다.

V. 결론

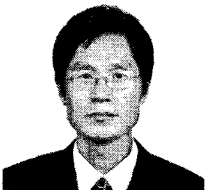
본 논문에서는 광가입자망의 가입자당 대역폭을 획기적으로 확장할 수 있는 DWDM-PON 기술을 소개하였다. 소개된 기술은 지금까지 기간망에 적용된 고가의 DWDM 기술이 아니라 가입자망에 적용할 수 있도록 저가화가 가능한 기술이다. 또한 DWDM-PON의 광 특성 시험을 통해서 현장에 적용 가능한 지를 검증하였다. 마지막으로 DWDM-PON기반의 가입자 대역 증대 방안을 두 가지 제시하였다.

DWDM-PON의 국내기술은 세계적으로 독보적 수준이다. 금년 10월에 IPTV 실시간 방송이 개시될 예정이며 향후에 유·무선망의 융합이 더욱 진전되면 유선 가입자 구간에는 현재보다 훨씬 많은 트래픽이 유입될 것이 확실하다. 따라서 이러한 트래픽 증가 추세를 무난히 수용하기 위해서는 광가입자망 인프라의 광대역화는 필수적이다. 본 논문에서 소개한 DWDM-PON 시스템은 이를 위한 가장 경쟁력 있는 솔루션 중의 하나라고 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] 방통위 정기 조사보고서, “유무선서비스가입자 현황-08년6월” 2008년7월
- [2] "IPTV 본방송 10월부터 시작된다.”, 머니투데이, 2008년 8월 7일 기사
- [3] IEEE Standard 802.3ah-2004, “Part 3: Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications Amendment: Media Access Control, Parameters, Physical Layers, and Management Parameters for Subscriber Access Networks”, Sept. 2004
- [4] ITU-T Recommendation G.984, ‘Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON)’
- [5] ITU-T Recommendation G694.2 (2003), Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid.
- [6] ITU-T Recommendation G694.1, “Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid,” May 2002
- [7] Soo-Jin park, Young-Bok Choi, Jung-Mi Oh, "An Evolution Scenario of a Broadband Access Network using R-SOA-Based WDM-PON Technologies”, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL.25, NO.11, Nov.2007, pp3479-3487
- [8] D. K. Jung, S. K. Shin, C. H. Lee, and Y. C. Chung, “Wavelength-division-multiplexed passive optical network based on spectrum-slicing techniques,” IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 10, no. 9, pp. 1334-1336, Sep. 1998.

이 동 열



1987년 : 한양대학교 전자통신과 (공학사)
 1991년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
 2008년 충남대학교 전자공학과 (공학박사)

1987년~1989년: 한국전자통신연구소(ETRI) 연구원
 1991년~1993년: KT 통신시스템연구단
 1993년~ 현재 : LG 테이콤 기술연구원 수석연구원
 관심분야 : HFC, FTTH, u-홈 서비스

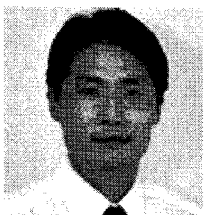
김 희 동



1981년 : 서울대학교 전기공학과 (공학사),
 1983년 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사),
 1987년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사),

1997년-현재 : 한국외국어대학교 정보통신공학과 교수
 관심분야 : 유무선통신망, 정보통신서비스, VoIP

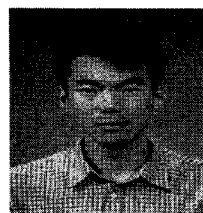
진 재 환



1995년 : 전남대학교 전기공학과 (공학사)
 2005년 : 세종대 정보통신공학(공학석사)
 1996년~ 현재 : LG 테이콤 기술연구원

선임연구원
 관심분야 : 유무선통신망, 가입자망(FTTx,HFC),QoS

성 민 모



1998년 연세대학교 전기공학과 졸업. 2000년 하나로텔레콤 연구소. 2006년~2007년 한국디지털케이블 연구원. 2007~현재 LG 테이콤 기술연구원 재직중. 관심분야는

HFC/IMS