

# 차세대 광가입자망 기술 및 표준화 동향

Recent Trends on Technology and Standardization of Next-Generation  
Optical Access Networks

이한협 (H.H. Lee)	광가입자연구팀 선임연구원
조승현 (S.H. Cho)	광가입자연구팀 선임연구원
이지현 (J.H. Lee)	광가입자연구팀 선임연구원
명승일 (S.I. Myong)	광가입자연구팀 선임연구원
이상수 (S.S. Lee)	광가입자연구팀 팀장

\* 본 연구는 방송통신위원회의 차세대 통신네트워크 원천기술 개발사업 및 지식경제부/한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행되었음[KCA-10913-05002, 차세대 응용플랫폼을 위한 대용량 WDM-PON 시스템 개발, 10039170 OFDMA 기반 10Gb/s급 광 링크 및 유무선 융합 액세스 네트워크 기술개발].

광통신 기술의 발달과 인터넷 서비스 수요의 급격한 증가로 2000년대 초반부터 광가입자망 연구 및 상용화가 이루어졌다. 최근에는 스마트폰 등 모바일 단말의 확산과 IPTV의 수요 증대에 따른 폭발적 트래픽 증가에 대처하기 위하여 친환경, 에너지 절감형 차세대 초고속 대용량 광가입자망 기술에 대한 요구가 증대되고 있다. 차세대 광가입자망은 국내뿐 아니라 국외에서도 다양한 프로젝트를 통해 전송 거리, 분기 수 및 전송 용량을 늘리는 방향으로 연구 개발이 진행되고 있으며 기존의 TDM, WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술뿐만 아니라 무선 통신에서 사용되던 OFDM(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing) 등의 신호변조 기법들을 광가입망 기술에 접목하려는 시도들이 진행되고 있다. 이와 같은 광가입자망 기술들은 ITU-T, IEEE, IEC뿐만 아니라 FSAN(Full Service Access Network), BBF(Broadband Forum), MSF(Multi-service Forum) 등의 표준화 단체에서 활발히 국제표준화가 진행 중이다. 본고에서는 현재 진행되고 있는 차세대 광가입자망 기술에 대한 국내·외 기술개발 현황 및 표준화 현황을 살펴보고자 한다.

## 차세대통신기술 특집

- I. 서론
- II. 개요 및 응용 분야
- III. 국내·외 기술 동향
- IV. 표준화 동향
- V. 결론

## I. 서론

광통신 기술의 발달과 인터넷 서비스 수요의 급격한 증가로 2000년대 초반부터 광가입자망에 대한 기초 연구 및 상용화를 위한 기술개발이 활발히 이루어졌다. 초기에는 주로 한국, 일본 등의 아시아 국가들을 중심으로 광가입자망에 대한 연구 및 상용화가 진행되었고, 현재 북미와 유럽에서도 광가입자망 기술을 이용한 인터넷 서비스가 진행되고 있다.

최근에는 광가입자망의 전송 용량 및 분기 수를 확장하고, 또한 광가입자망 기술을 다양한 응용 분야에 적용할 수 있는 차세대 광가입자망 기술과 관련된 연구개발이 진행되고 있다. 이와 관련되어 국내뿐만 아니라 국외에서도 다양한 프로젝트를 통해 진행되고 있으며, 기존의 TDM, WDM 기술뿐만 아니라 무선 통신에서 사용되던 CDM, OFDM 등의 신호변조 기법들을 광가입자망 기술에 접목하려는 시도들이 이루어지고 있다.

ITU-T, IEEE, IEC와 같은 국제 표준화 기구뿐 아니라 FSAN, BBF, MSF 등의 표준화 단체에서도 광가입자망 관련 기술들의 표준화 작업이 활발히 진행 중이다.

본고에서는 서론에 이어 II 절에서 차세대 광가입자망 기술의 전반적인 개요 및 응용 분야에 대해 기술하고, III 절에서는 차세대 광가입자망 기술에 대한 국내외 기술개발 현황을, IV 절에서는 차세대 광가입자망 기술에 대한 표준화 현황을 살펴보고, 마지막으로 V 절에서는 차세대 광가입자망 기술의 향후 전망 및 대응 전략에 대해 논하고자 한다.

## II. 개요 및 응용 분야

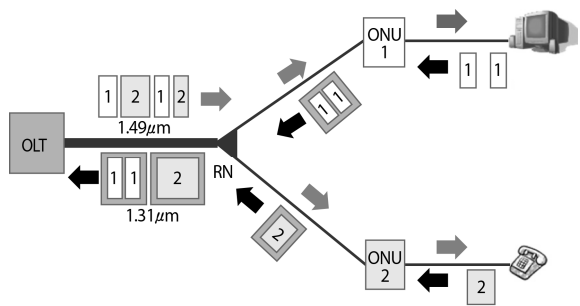
### 1. 차세대 광가입자망 기술 개요

광가입자망은 통신사업자 측에 설치된 OLT와 가입자 측에 설치된 ONU, 그리고 이들을 연결해주는 광선로

와 광분배 네트워크로 구성된다. OLT와 ONU 간의 신호 전송이 어떤 다중화 방법을 이용하는지에 따라 TDM-PON, WDM-PON, OFDM-PON 등으로 구분된다.

#### 가. TDM-PON 기술 개요

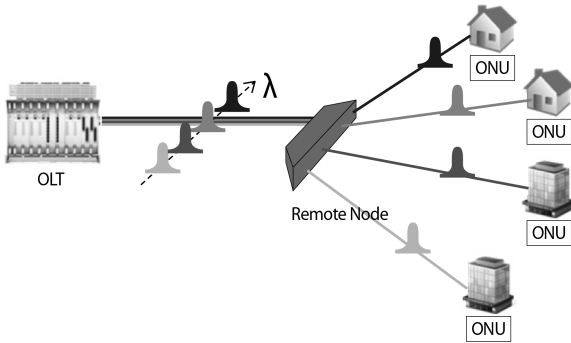
(그림 1)은 OLT에서 ONU 쪽으로 전달되는 하향 신호와 ONU에서 OLT로 전달되는 상향 신호가 TDM 방식으로 이루어지는 TDM-PON 구조의 개략도이다. 이때 효율적인 상향 전송을 위해서는 OLT와 ONU 사이의 광분배 네트워크로 광세기 분배기를 사용하므로 OLT와 ONU 간의 동적 대역폭 할당 기법이 필수적이다. TDM-PON의 경우 OLT에 놓인 하나의 광원으로 여러 가입자를 수용할 수 있는 장점은 있으나, 운용하는 ONU의 수가 증가할수록 가입자당 할당되는 대역폭이 줄어드는 단점이 있다. TDM-PON 기술로는 이더넷 기술 기반의 EPON과 GEM 프레임 기반의 GPON 기술이 존재하며, EPON은 일본 등 아시아 위주로, GPON은 미국과 유럽 등에서 상용화되고 있다.



(그림 1) TDM-PON 구조

#### 나. WDM-PON 기술 개요

WDM-PON의 구조는 (그림 2)와 같다. WDM-PON의 경우 OLT와 ONU들을 연결하는 광분배 네트워크가 광파장 분할기이며, 각각의 ONU들은 서로 다른 파장의 광신호를 사용한다. 따라서 운용되는 ONU의 수와 관계없이 항상 일정한 대역폭을 사용자에게 제공할 수

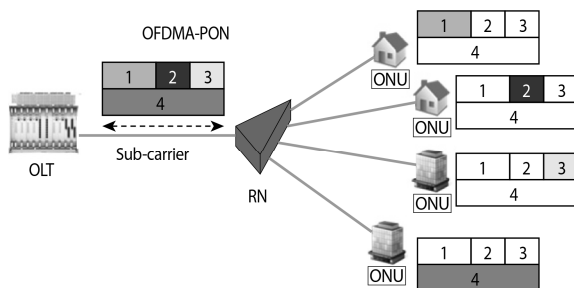


(그림 2) WDM-PON 구조

있으며, 채널 수, 전송 용량의 증가, 프로토콜이나 전송 속도에 무관하게 네트워크를 구성할 수 있는 장점을 지니는 반면, 가입자 수만큼의 광원을 보유하고 관리해야 하는 비용 부담이 존재한다. 이를 해결하기 위하여 파장 비의존성 WDM-PON에 대한 연구개발이 진행되었다. 최근에는 WDM 기술과 TDM을 복합적으로 적용한 하이브리드 PON 기술을 사용하여 전송 거리 및 분기율을 확장하는 시도가 진행 중이다.

#### 다. OFDM-PON 기술 개요

(그림 3)은 OFDM-PON 구조 개략도이다. OFDM-PON은 전송 시 분광학적 효율을 극대화시키기 위해 기존의 이동통신 기술에서 주로 사용되던 직교 주파수 분할 다중방식을 광가입자망에 도입한 것으로, OLT와 ONU는 광세기 분배기로 연결되어 있으며 WDM 방식을 동시에 적용할 경우 전체 시스템의 용량을 비약적으로 증대시킬 수 있다. OFDM-PON은 고속 DSP 기술을 기반으로 하므로 현재 기초 연구 단계에 있지만, 앞서



(그림 3) OFDM-PON 구조

설명한 TDM-PON, WDM-PON과 비교하였을 때 전송 거리와 대역폭 제한을 극복할 수 있어 상대적으로 유연한 망을 구성할 수 있다. 따라서, OFDM-PON을 WDM 및 TDM 기반의 하이브리드 PON 기술로 확장하려는 시도가 활발히 진행 중이다.

## 2. 차세대 광가입자망 기술 응용 분야

(그림 4)는 차세대 광가입자망의 대표적인 응용 분야를 도시한 것이다. 구체적인 응용 분야 및 요구사항들은 다음과 같다.

### 가. 주거 지역 가입자(FTTH)

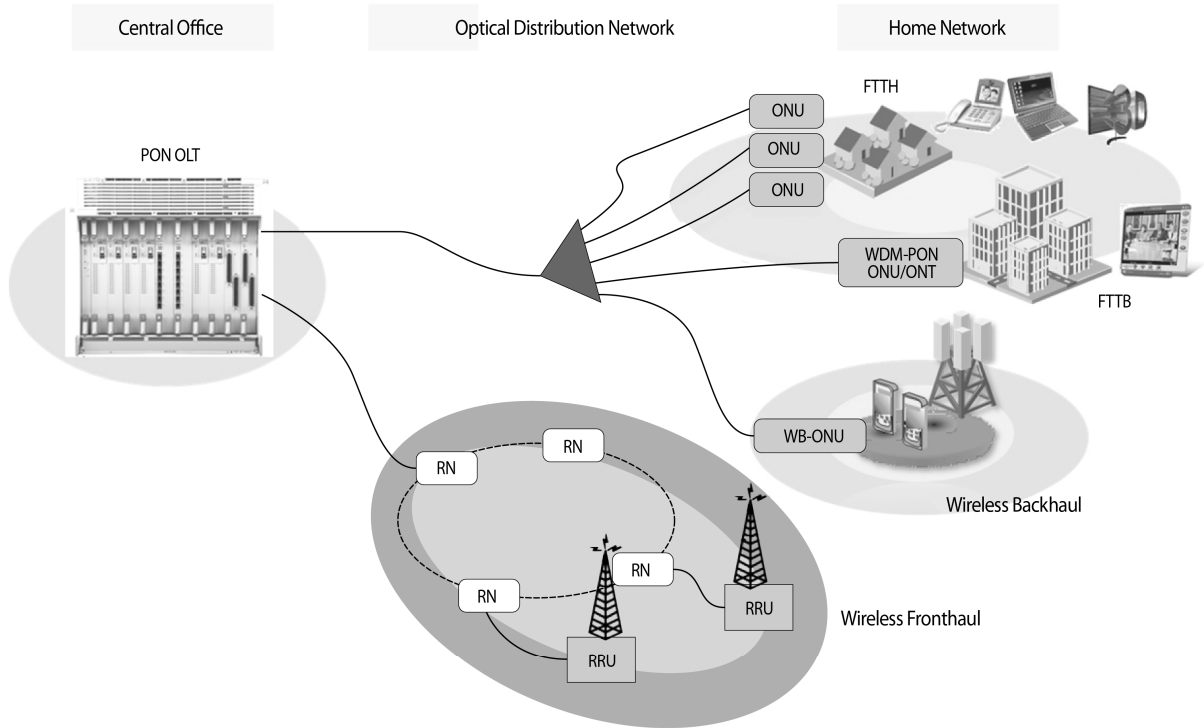
최근, 대용량 비디오 포맷의 등장과 화상회의 digital home, social networking service, cloud service, gaming-on-demand, P2P 등과 같은 다양한 서비스가 요구되고 있다. 이를 위해 현재의 100Mb/s급 서비스보다 열 배 이상 빠른, 1Gb/s급의 서비스가 제공되어야 하며, 이를 차세대 광가입자망 기술을 이용하여 제공할 수 있다.

### 나. 비즈니스 사업자(FTTB)

SOHO를 포함한, 비즈니스 사업자 그룹은 주거지 가입자 규모가 비교적 큰 링크 용량을 요구하며, 더불어 개선된 보안 메커니즘과 connection redundancy 등에 대한 추가적인 요구 사항이 존재한다. 이러한 추가적인 요구 사항들을 차세대 광가입자망 기술을 이용하여 해결할 수 있다.

### 다. 통신 사업자(Mobile Backhaul/Fronthaul)

모바일 단말의 활성화에 따라 사용자들이 요구하는 통신 대역폭이 빠르게 증가하여 통신 사업자들은 고속의 유선 통신 인프라와 무선 통신 인프라를 결합한 유·무선 통합망 구조를 포함한 차세대 광가입자 기술을 요구하고 있다. 특히 4세대 이동통신 기지국 시스템은 단



(그림 4) 차세대 광가입자망 응용 분야

순 구조의 기지국을 구성하기 위해 RU와 DU가 분리된 구조로 구성된다. 따라서 전화국사의 DU와 기지국의 RU 사이를 연결하는 CPRI 인터페이스 구간에서 저가형 WDM-PON 기술을 적용할 수 있어, 앞으로 wireless backhaul뿐만 아니라 wireless fronthaul 분야가 차세대 광가입자 기술의 새로운 응용 분야로 부각되고 있다.

### III. 국내·외 기술 동향

광가입자망 기술은 고속 및 대용량 전송, 장거리, 고분기 기술로 발전되고 있다. 본 절에서는 차세대 광가입자망 기술의 국내·외 동향을 간략히 살펴보고자 한다.

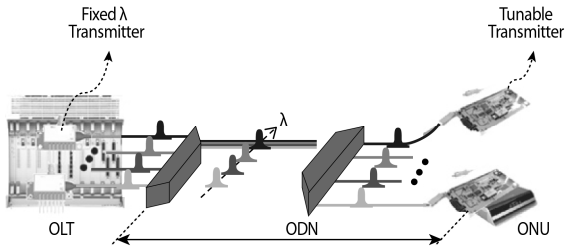
#### 1. 차세대 광가입자망 기술 국내 동향

국내에서는 광대역 통합망(BcN) 구축 기본 계획 등

초고속 인터넷 활성화 정책 등으로 WDM-PON과 EPON 기술이 상용화 수준으로 개발되었다. 그 결과 우리나라의 인프라 구축 현황은 OECD 브로드밴드 정책 및 구축 현황 중 최상위권을 유지하고 있다.

WDM-PON 기술의 상용화를 위해서는 광부품의 재고 관리 및 비용 효율화가 필수적이다. 이를 해결할 수 있는 파장 비의존성 WDM-PON 기술 연구가 국내·외적으로 활발히 이루어지고 있다. 이 중 씨앗광 주입 방식 WDM-PON 기술은 전 세계적으로 우리나라가 주도하고 있으며 원천 기술도 보유하고 있다. 이 기술들은 ETRI와 KAIST, LG-Ericsson을 중심으로 연구가 진행되었으며 각각 RSOA 기반 파장 재변조 방식 WDM-PON 링크 원천 기술 및 파장 잠김 FP-LD 기반 100Mb/s 및 1.25Gb/s 급 colorless WDM-PON 시스템 기술을 확보하고 있다[1].

파장가변 광원을 사용하는 파장가변 WDM-PON 기술은 씨앗광 주입방식보다 링크 구성이 간단하여 차세



(그림 5) 파장가변 WDM-PON

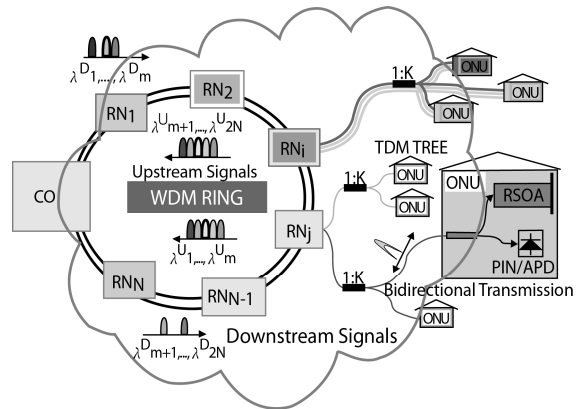
대 WDM-PON으로 연구되고 있다. 파장가변 WDM-PON의 주요 연구 분야로는 저가형 파장가변 레이저 개발 및 파장가변 광원의 파장 초기화/안정화 개발이 있다. 우리나라에서는 저가형 파장가변 광원을 구현하기 위해 RSOA와 폴리머 기반의 파장가변 필터를 이용한 직접변조가 가능한 외부 공진기형 파장가변 레이저를 개발하였으며, 현재, 10Gb/s급 전송이 가능한 저가형 파장가변 레이저를 개발하고 있다. 또한 다양한 파장 초기화 및 안정화 방식에 대해 ETRI와 KAIST를 주축으로 연구되고 있다[2].

(그림 5)는 파장가변 레이저를 이용한 WDM-PON의 동작원리를 도시한 것이다.

## 2. 차세대 광가입자망 기술 국외 동향

유럽, 미국, 일본 등은 원천 기술 확보 및 글로벌 시장 선점을 위해 대규모 투자를 추진하여 차세대 광가입자망 기술을 개발하고 있다.

유럽의 경우, 2007년부터 2013년까지 진행되는 FP7 프로젝트를 통해 미래 인터넷 기술부터 차세대 유·무선 융합망 및 집적 광소자 기술까지 광가입자 기술과 관련된 연구를 진행하고 있다. 좀 더 세부적으로 살펴보면, GigaWaM 프로젝트와 C3PO 프로젝트를 통해 각각 WDM-PON용 광모듈로 파장가변 레이저, VCSEL 어레이 광모듈에 대한 연구와 에너지 저감형 광전소자 설계 및 개발을 위해 InP 기반 변조기, SiGe 기반 Bi-CMOS 기술 연구 및 집적화 연구를 진행 중이다[3].



(그림 6) SARDANA 프로젝트 개요

ADVA Optical Networking은 OLT에 PIC 기반 어레이 광송신기 및 광수신기를 적용하고, ONT에는 파장가변 광원을 사용하는 WDM-PON 기술을 개발 중이다. 이 기술은 ONT의 파장가변 광원의 파장 초기화 및 안정화를 위해 OLT에 파장관리 블록을 사용한다[4].

France Telecom, Tellabs 등은 SARDANA 프로젝트를 통해 10Gb/s×32파장, 100km 환형 구조를 갖는 TDM/WDM 하이브리드 PON을 개발하였다. (그림 6)은 SARDANA 프로젝트의 개요이다. 원격 광 증폭, RSOA 기반 colorless ONU, 환형망 보호절체 및 legacy GPON을 수용하는 기술들이 연구되었으며, FT-Orange Lab은 SARDANA 프로젝트 결과물을 현장 시험한 결과를 2011년 OFC/NFOEC에서 발표하였다[5].

Alcatel-Lucent는 REAM-SOA과 QD-MLL(seed-light)를 이용한 colorless 10G WDM-PON에 대해 연구하고 있으며, RAM 응용 분야에서 많은 연구 경험을 보유하고 있다[6].

유럽은 산학연 합동 연구 프로젝트에서 얻은 결과를 바탕으로 표준화 활동을 병행함으로써, 연구개발된 결과물이 상용화로 이어질 수 있도록 많은 노력을 기울이고 있다.

미국의 경우, NSF의 주도하에 미래 인터넷의 네트워크 아키텍처, 프로토콜, 알고리즘 등을 연구개발하고 있으며, 이의 대표인 활동으로 GENI 프로젝트가 있다.

Google은 자체적으로 FTTH 방식으로 초고속 인터넷 서비스를 제공하는 시범 사업을 실시 중이다. Google은 2011년 여름 Stanford 대학 캠퍼스에서 trial 서비스를 시행했으며 2012년에는 Missouri Kansas City를 시작으로 서비스를 시작할 계획이다. Google은 가입자당 1Gb/s symmetric bandwidth 제공할 수 있는 WDM-PON을 본 서비스에 적용할 계획을 발표하였다[7]. AT&T는 기존 10G GPON 또는 10G EPON 기술을 사용하되, CWDM 파장 간격으로 상·하향 4파장을 각각 운용하여 전체용량을 40Gb/s로 증가시키는 기술을 발표하였다[8].

일본은 2001년 e-Japan 전략을 발표하는 등 국가 IT 발전 계획을 기반으로 백만 명 이상의 가입자를 대상으로 ATM 전용선, 1G EPON 기술 등을 이용하여 상용 서비스를 제공하고 있다. 또한 NICT 주관으로 수행하고 있는 EXAT 과제를 통해 학계 및 산업계에서 multi-core fiber를 이용한 공간분할다중화 기술, multi-level 변조 기술, 모드 다중화 기술 등에 대해 선행 연구를 진행하고 있다[9].

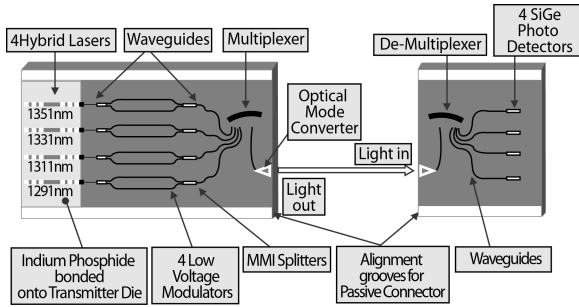
중국의 경우 정부의 주관으로 인터넷 전화 및 방송망 통합을 시도하고 있으며, 이의 일환으로 ZTE, Fiber Home, 칭화대학교 등을 중심으로 WDM-PON 기술 개발을 진행하고 있다. China Mobile에서는 DU와 RU 사이의 CPRI 구간에서 CWDM 기술을 접목시켜 상용화하는 등 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 또한, Huawei 및 ZTE는 차세대 광가입자망 기술의 표준화에도 주력하고 있다.

최근, 고속 DSP 기술 및 고속 신호 변환기 제작 기술의 지속적인 성장으로 인해 수 기가급의 OFDM 광모뎀의 구현이 가능해졌다. 2009년 영국의 Bangor 대학은 실시간 직접 검출 방식의 광 OFDM 모뎀 시연 및 부가 시스템의 개발 결과를 최초로 보고하였다[10]. 총 제곱 대역폭은 약 11.25Gb/s이며 64 QAM 변조 방식을 채택하여 25km 단일 모드 광섬유 전송 후  $10^{-3}$  BER 이하를 달성하였고, 분광학적 효율은 5.625b/

s/Hz를 달성하였다[11]. 비슷한 시기에 Alcatel-Lucent는 간섭성 검출 방식을 사용하고, 10GS/s의 DAC를 갖는 총 용량 12.1Gb/s급의 광 OFDM 송신부를 이용한 WDM 전송 시험 결과를 발표하였다[12]. 2010년 멜버른 대학에서는 3.1Gb/s급 간섭성 검출 방식을 이용한 수신기를 제작하여 이에 대한 결과에 대해 보고하였다[13]. 가장 최근에 NEC Lab은 직접 검출 방식의 41.25 Gb/s급 8 QAM 복조가 가능한 수신기의 제작 결과를 발표하였다[14].

기존 기술과 대비하여 망 자원의 효율적인 이용이 가능하고 유연성이 보장된 OFDM-PON의 경우 서비스 제공자 및 가입자들 사이에서 유용한 광학적 대역폭을 동적으로 할당할 수 있는 기능이 기본적으로 요구되며, 더불어 물리계층의 전송 효율성을 고려한 적응형 변조 방법 및 대역폭 가감 등과 같은 기술이 부가적으로 제공되어야 한다. 이를 위해 2011년 AIT는 OFDM-PON을 위한 MAC 프로토콜 설계 내용과 동적 대역폭 할당을 위한 상·하향 전송 시 고려사항 등을 발표하였다[15]. NEC Lab은 ONU들 간의 동기화가 필요 없고 고 대역폭/저지연 특성을 갖는 OFDM 부반송파 제어와 관련된 MAC 프로토콜의 설계 내용에 대해 보고하였다[16].

차세대 광가입자망의 최근 연구개발 분야로는 에너지 저감형 광가입자망 분야가 있다. 가입자망은 전달망에 비해 사용되는 전송장치의 수가 매우 많아 전체 네트워크 에너지 소모량의 약 70%를 차지하고 있다[17]. ADSL, LAN 기반의 가입자망의 전력소모량이 광가입자망이 전력소모량보다 매우 많아, ADSL, LAN 기반의 가입자망을 광가입자망으로 교체하는 것이 필요하다. 또한, 절전 기능이 포함된 광가입자망용 OLT와 ONU를 사용하여 에너지 소모량을 감소하는 연구가 진행되고 있다 [18]. 국내·외적으로 광집적회로 방식을 사용하여 광전송장치를 소형화, 저전력화, 저가화하려는 연구가 진행되고 있다. (그림 7)은 최근 인텔사에서 발표된 광집적화된 4채널 Si-Photonics 광송신기 및 수신기의 구조도이다[19].

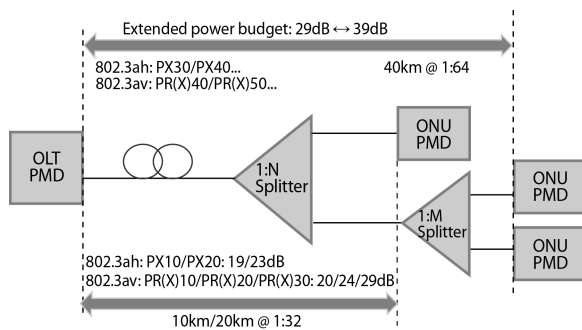


(그림 7) 광집적화된 4채널 Si-Photonics 광송신기 및 수신기 [19]

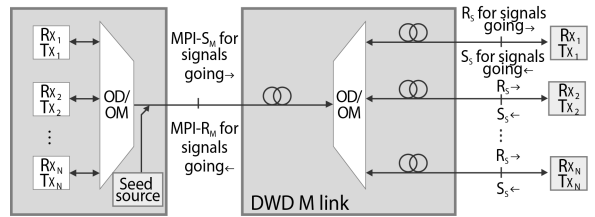
#### IV. 표준화 동향

광가입자망 기술의 국제표준화는 ITU-T, IEEE, IEC와 같은 국제 표준화 기구뿐 아니라 FSAN, BBF, MSF 등의 표준화 단체에서 이루어지고 있다. 본 절에서는 각각의 표준화 기구 및 단체에서 진행되고 있는 광가입자망 관련 표준화 작업에 대해 간략히 소개한다.

TDM-PON 기술은 ITU-T와 IEEE에서 각각 진행되어 왔다. ITU-T SG15 Q.2에서는 ATM-PON, BPON, GPON의 표준화에 이어서, 최근에 10G GPON 표준화를 완료하였다[20]. IEEE에서도 EPON 및 10G EPON 표준화를 완료하였다. 그리고 최근에 EPON 시스템의 운용방식에 대한 표준화를 각국 통신사업자들의 요구로 완료하였다[21]. (그림 8)과 같이 또한 장거리, 고분기를 지원할 수 있도록 기존 EPON 물리 계층의 규격을 확대하는 Extended EPON PMDs 표준화 작업을



(그림 8) EPON Extended PMD 개념도



(그림 9) ITU-T G.698.3의 Reference Diagram

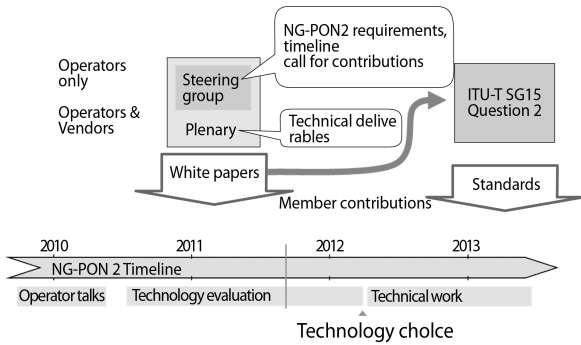
IEEE 802.3에서 진행 중이다[22]. 2012년 현재 29dB 및 39dB 물리계층 규격을 만족할 수 있는 광전/전광 방식 또는 전전광 방식의 EPON reach extender에 대한 기술이 논의 중에 있다.

WDM-PON 기술의 국제 표준화는 KT와 노베라 옵티스에 의해 ITU-T SG15 Q.2의 사전표준화 단계인 FSAN에서 지속적으로 제안되었고, 2010년 상반기부터 ITU-T SG15 Q.6에서 LG-Ericsson, ETRI, KT, KAIST 주도로 저가형 WDM-PON 기술인 씨앗광 주입방식 WDM 전송기술의 표준화(G.sdapp)가 진행되었다. 최종적으로, 2011년 12월 ITU-T SG15 정기회의에서 (그림 9)와 같은 표준 광링크 구성을 대표로 하는 ITU-T G.698.3 표준으로 승인되어 2012년 2월 표준으로 발행되었다[23].

FSAN에서는 NG-PON1 표준 완료 이후의 차세대 광가입자망 기술(NG-PON2) 표준화를 위해 Next Generation-Passive Optical Network Task Group(NG-PON TG)을 결성하여 각국의 통신사업자의 요구사항을 조사하고, 이를 만족할 수 있는 광가입자망 기술들에 대해 검토하고 있으며 (그림 10)과 같은 일정으로 표준화가 진행될 예정이다.

NG-PON2의 주요 요구사항은 총 전송 용량 40G, 가입자당 1.25Gb/s, 전송 거리 40km, 수용 가입자 수 64가입자 이상 수용 등이 있다. 이러한 요구사항을 만족하는 기술로 40Gb/s TDM-PON, WDM-PON, OFDM-PON 및 하이브리드 PON 등이 후보 기술로 제안되고 있다.

FSAN에서의 WDM-PON 표준화는 2011년 상반기에 ADVA, Ericsson, ETRI, LG-Ericsson, NSN, ZTE,



(그림 10) FSAN NG-PON2 표준화 추진 일정 [24]

Fujitsu Semiconductor Europe 등 8개 회원사를 중심으로 WDM-PON 국제표준화 협력그룹이 형성되어 공동으로 기술 기고를 진행하고 있다. 제안된 WDM-PON 기술로는 파장가변 광원을 이용하는 기술, 파장 재할용 방식을 이용하는 기술, 초고밀도 파장분할 기반 기술, self-seeded 기술 등의 여러 기술들이 거론되고 있다.

OFDM-PON에 대해서는 Alcatel Lucent, Ericsson, ITRI, Mitsubishi, NTT, NEC Lab America, AIT, France Telecom, ZTE 등의 회원사들이 중심이 되어 기고문을 제출하고 있으며, 주로 광링크 파워 버짓, OFDM 신호의 광전 변환 방법, 비용 절감을 위한 DSP 기법 등 OFDM-PON 성능 개선과 복잡도 해결 등의 기술적 요구 사항에 대해 제안되고 있다.

FSAN 및 ITU-T와 IEEE에서 차세대 광가입자 기술의 시스템 운용 규격을 정하는 반면, IEC에서는 세부 광소자 규격과 관련된 표준화가 진행 중이다. IEC에서는 GPON, EPON, WDM-PON 등 신규 표준 기술에 적합한 광소자 표준화가 제안되고 있다. 2012년에는 ITU-T 표준과 연계한 광부품의 IEC 표준화가 진행될 예정이다.

## V. 결론

최근의 통신사업자들은 설치비용 및 운용비용 절감을

위해 지역국사 축소와 동시에 서비스 가입자에게는 고품질 인터넷 서비스 제공이 가능한 차세대 광가입자망을 요구하고 있다. 따라서, 2000년대 후반까지 주를 이루었던 TDM-PON 방식 이외에 WDM, OFDM 기술 등을 사용하는 차세대 광가입자망 기술들에 관한 연구 및 상용화가 활발히 이루어지고 있다. 차세대 광가입자망 기술을 이용할 경우, 변화된 네트워크 서비스의 환경에 맞추어 초고속, 장거리, 고분기 네트워크의 구성이 가능하다. 이와 관련되어 ITU-T, IEEE 등의 국제 표준화 기구에서도 지속적으로 광가입자망의 표준화가 이루어지고 있다.

앞으로, 전 세계 광가입자망 장비시장은 연평균 8%로 성장할 것으로 예측되며 2016년에는 약 50억 달러 규모로 형성될 것으로 전망된다[25].

이러한 상황을 고려해볼 때, 차세대 광가입자망을 구현하여 상용화시키기 위한 기술개발과 표준화 작업에 노력과 지원이 매우 필요한 시점이다.

### 용어해설

**WDM-PON 기술** 파장분할 다중화 방식을 이용하여 전화국사의 광전송장치와 각 가입자의 광전송장치들이 통신하는 광가입자망 기술로, 현재, 기가급 이상의 인터넷 서비스가 가능한 상용품이 출시되고 있음.

**OFDM-PON 기술** 직교 주파수 다중화 방식을 이용하여 전화국사의 광전송장치와 각 가입자의 광전송장치들이 통신하는 광가입자망 기술로, 기존의 단일 캐리어 기반의 전송 방식이 가지고 있는 대역폭/거리 제한 극복을 위해 연구되고 있음.

### 약어 정리

BBF	Broadband Forum
BER	Bit Error Rate
CDM	Code Division Multiplexing
CPRI	Common Public Radio Interface
DSP	Digital Signal Processing
DU	Data Unit
EPON	Ethernet Passive Optical Network
FP-LD	Fabry-Perot laser diode
FSAN	Full Service Access Network



FTTB	fiber to the building
FTTH	fiber to the home
GEM	GPON Encapsulation Method
GENI	Global Environment for Networking Innovations
GPON	Gigabit Passive Optical Network
MAC	Media Access Network
MSF	Multi-service Forum
OFDM	Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
OLT	Optical Line Termination
ONU	Optical Network Unit
P2P	Peer to Peer
PIC	Photonics Integrated Circuit
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
REAM	Reflective Electro-absorption modulator
RSOA	Reflective Semiconductor Optical Amplifier
RU	Radio Unit
SOHO	Small Office Home Office
TDM	Time Division Multiplexing
WDM	Wavelength Division Multiplexing

## 참고문헌

- [1] 윤빈영 외, “차세대 광가입자망 표준화 동향,” 전자통신 동향분석, vol. 24, no. 1, 2009. 2, pp. 50–58.
- [2] 문실구 외, “Wavelength Self-initialization of Tunable Laser Employing Wavelength Recognition Using Power Difference in WDM-PONs,” *OFC/NFOEC*, 2010, JTh2A,61.
- [3] Colourless and Coolerless Components for low Power Optical Networks. <http://www.greenc3po.eu/>
- [4] K. Grobe, et al., “Cost and Energy Consumption Analysis of Advanced WDM-PONs,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 2, 2011, pp. 25–32.
- [5] Scalable Advanced Ring-based Passive Dense Access Network Architecture. <http://www.ict-sardana.eu/>
- [6] C. Kazmierski et al, “Remote Amplified Modulators: Key Components for 10 Gb/s WDM PON,” *OFC/NFOEC*, OWN6, 2010.
- [7] C.F. Lam et al., “The Road to Scalable 1gb/s FTTH Access Networks” *ECOC*, 2011, Tu.6.C.2.
- [8] P. P. Iannone, et al., “Bi-Directionally Amplified Extended Reach 40Gb/s CWDM/TDM PON with Burst-Mode Upstream Transmission,” *Proc. Opt. Fiber Commun. Conf. (OFC)*, 2010, Post-deadline paper, PD6.
- [9] T. Kamiya et al., “Toward Extremely Advanced Transmission (EXAT) Technology,” *Photon. Global Conf. (PGC)*, 2010.
- [10] X.Q. Jin et al., “Real-time Transmission of 3 Gb/s 16-QAM Encoded Optical OFDM Signals Over 75km SMFs with Negative Power Penalties,” *Opt. Exp.*, vol. 17, no. 17, 2009, pp. 14574–14585.
- [11] R.P. Giddings et al., “Experimental Demonstration of a Record High 11.25 Gb/s Real-time Optical OFDM Transceiver Supporting 25km SMF End-to-end Transmission in Simple IMDD Systems,” *Opt. Exp.*, vol. 18, no. 6, 2010, pp. 5541–5555.
- [12] F. Buchali et al., “Realisation of a Real-time 12.1 Gb/s Optical OFDM Transmitter and Its Application in a 109 Gb/s Transmission System with Coherent Reception,” *ECOC*, 2009, PD2.1.
- [13] Q. Yang et al., “Real Time Reception of Multi-gigabit Coherent Optical OFDM Signals,” *Opt. Exp.*, vol. 17, no. 10, 2009, pp. 7985–7992.
- [14] D. Qian et al., “41.25 Gb/s Real-time OFDM Receiver for Variable Rate WDM-OFDMA-PON Transmission,” *OFC*, 2010, PDPD9.
- [15] K. Kanonakis et al., “An Overview of MAC Issues in OFDMA-PON Networks,” *ICTON*, 2011, Tu.B6.2.
- [16] J. Zhang et al., “An Efficient MAC Protocol for Asynchronous ONUs in OFDMA PONs,” *OFC*, 2011, JWA71.
- [17] Y. Zhang, et al., “Energy Efficiency in Telecom Optical Networks,” *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 12, no. 4, 2010, pp. 441–458.
- [18] S.-W. Wong et al., “Demonstration of Energy Conserving TDM-PON with Sleep Mode ONU Using Fast Clock Recovery Circuit,” *Proc. Opt. Fiber Commun. Conf. (OFC)*, 2010, Paper OThW7.
- [19] B. Koch, et al., “A 4x12.5 Gb/s CWDM Si Photonics Link Using Integrated Hybrid Silicon Lasers,” *CLEO*, 2011, CThP5.
- [20] ITU-T Recommendation G.987 series.
- [21] IEEE P1904.1, Working Group Standard for Service Interoperability in Ethernet Passive Optical Networks (SIEPON).
- [22] IEEE 802.3, Extended EPON Study Group.
- [23] ITU-T Recommendation G.698.3, Multichannel seed-

ed DWDM applications with single-channel optical interfaces.

[24] WDM PON for NG-PON2 Standardization, Contributed by ADVA, Ericsson, ETRI, LG-Ericsson,

NSN, and ZTE, Endorsed by Fujitsu Semiconductor Europe, FTTH council, 2011.

[25] "PON and FTTH Equipment and Subscribers," Infonetics, 2010.