# 차세대 광가입자망 국제표준화 동향

이한협, 이상수, 이종현
광가입자연구실, 광인터넷연구부, 한국전자통신연구원

## 요 약

본 고에서는 국제표준화 기구인 ITU-T와 국제표준화 단체인 IEEE 에서 진행중인 차세대 광가입자망 기술의 국제 표준화에 대해 알아본다. IUT-T의 study group 15 에서 TWDM-PON 기술과 PtP WDM 기술이 주내용인NG-PON2 기술표준화가 진행중이다. 그리고, 최근 IEEE 802.3 그룹에서는 NG-EPON 기술의 표준화 제안이 추진 중이다.

## Ⅰ. 서 론

유무선 트래픽은 고화질 Video 콘텐츠를 비롯한 초대용량 서비스, 무선 인터넷 서비스 등으로 계속 증가하고 있다. 특히, 최근에는 스마트기기 등의 확산으로 트래픽의 증가가 가속화 되고 있다. 앞으로 10년 내에 인터넷에 접속되는 기기가 1,000억대로 급증할 것으로 전망된다.

새로운 네트워크 환경에 대응하기 위하여 전세계적으로 가입자 네트워크의 양적 확충은 물론, 새로운 인터넷 기술을 개발하고 그 구조를 재설계하는 등의 투자가 이루어 지고 있다.

이러한 추세에 발맞추어, 우리나라는 정부주도로 2009년부터 가입자망 분야에서 기가인터넷 시범사업을 실시하여 가입자에게 최대 1 Gb/s 의 접속 속도를 제공하고 있다. 기가급 상용 인터넷 서비스를 경기도 및 세종시 등의 시범단지에서 제공하고 있으며, 2013년에는 기존 사업을 확대 실시할 예정이다.

광가입자망은 가입자망 서비스의 변화에 효율적으로 대처할 수 있는 기술로써, 통신 서비스 사업자와 서비스 가입자를 연결하는 중요한 네트워크인프라이다. 광가입자망 산업은 급격한 인터넷 서비스 가입자의 증가에 효과적으로 대응할 수 있는 핵심 산업으로 부각되고 있다.

수동형 광가입자망 기술은 가입자와 통신사업자간을 광선로로 직접 연결하는 기술로 기존의 구리선 기반 가입자망 기술인 ADSL등에 비해 매우 빠르고 관리가 수월한 인터넷 서비스 제공이 가능하다.

세계 광가입자망 장비 시장은 2010년 약 30억 달러에서 연평균 8%로 성장하여 2014년에는 약 45억 달러에 이를 것으로 예상된다. 결과적으로, 2016년에는 약 50억 달러 규모를 형성할 것으로 전망된다. 광가입자망 장비시장에서 Huawei, ZTE 등 중국 통신장비 업체들은 중국 정부의 지원을 기반으로 저가공세를 펼치며 중국뿐 아니라 유럽시장에서 약진 중이다.

광가입자망은 전화국사과 가입자 댁내를 직접 연결하는데 사용된다. 따라서, 광가입자망용 전송장비의 가격은 서비스 가격에 직접적인 관련이 있어 장비의 저가화가 필수적이다. 광가입자망 장비의 저가화를 위해서는 서로 다른 제조사의 장비들 간의 호환성이 매우 중요하다. 이러한 호환성을 보장하기 위해서 광가입자망 기술의 국제표준화는 매우 중요하다.

광가입자망 관련 기술의 표준화는 국제표준화기구인 IEC, ITU-T, IEEE 뿐만 아니라 FSAN (Full Service Access Network)등의 표준화 단체에서 활발히 진행 중이다.

광가입자망 기술의 국제표준화를 위해 각국의 통신사업자들은 FSAN을 구성하였다. FSAN은 통신사업자의 요구사항을 정리하여 발표하고, 이에 적합한 광가입자망 기술을 선정하는 것을 목표로 하고 있다.

지난 2010년 이후 FSAN은 XG-PON 이후의 차세대 광가입자망 기술 (NG-PON2: Next generation PON2)로써 TWDM-PON (Time and wavelength division multiplexing-PON)과 파장가변 PtP WDM 기술을 선정하였고, 구체적 구현기술에 대해 논의하였다. FSAN에서의 논의 결과를 바탕으로 ITU-T SG15 Q2에서 NG-PON2의 통신사업자 요구사항, 물리계층규격 및 전송수렴계층규격에 대한 국제표준화가 진행중이다.

〈그림 1〉은 FSAN과 ITU-T에서의 NG-PON2 기술표준화 일정을 요약한 것이다. 프랑스 텔레콤, 알카텔 루슨트 (이상 프랑스), 코리언트, 버라이즌, 칼릭스 (이상 미국) 화웨이, ZTE, Fiberhome, FiberUnicom (이상 중국) 브리티시 텔레콤 (영국), NTT, OKI (일본), ADVA optical network system (독일) 및 ETRI, Ericsson-LG (이상 한국) 등이 표준화에 적극 참여

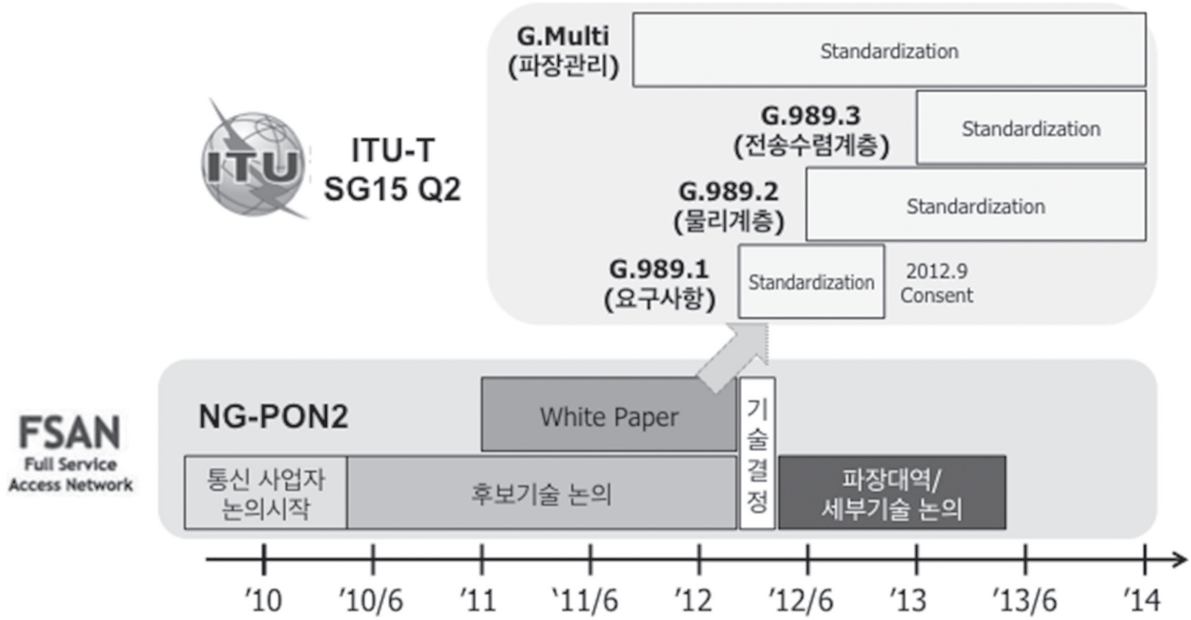


그림 1. FSAN 및 ITU-T 표준화

중 이다.

ITU-T와 더불어 EPON, 10G EPON 그리고 10G EPON의 운용기준인SIEPON 표준화가 IEEE에서 완료되었다. 2013년 7월 IEEE 802.3 Ethernet Working 그룹에서 NG-EPON 표준화를 위한 관련 산업체들간의 논의가 시작되었다.

본 고에서는 국제표준화 기구인 ITU-T의 study group 15에서 TWDM-PON 기술과 PtP WDM 기술이 주내용인NG-PON2 기술표준화 동향에 대해 살펴본다. 그리고 NG-PON2 표준의 주요 내용에 대해 설명한다. 또한, IEEE 802.3 그룹에서의 NG-EPON기술 표준화에 대해 소개하고 향후 전망에 대해 알아본다.

## Ⅱ. 본 론

### 1. ITU-T NG-PON2 표준화

ITU-T Study Group (SG) 15 (Networks, Technologies and Infrastructures for Transport, Access and Home)는 광 전달 망의 인프라 구조, 시스템, 장비, 광 파이버에 대한 표준과 DSL, FTTH, PON등의 엑세스 망 기술에 대한 표준, 그리고 스마트 그리드와 홈 네트워킹에 대한 표준을 개발하는 그룹이다.

ITU-T SG15는 총 18개의 Question들이 3개의 Working Party (WP) 에 할당되어 운영되고 있으며 이중 WP1의 Q2는 Optical systems for fibre access networks로써 광가입자망 관련 표준화를 담당하고 있다. 그동안 ITU-T에서 표준화된 G-PON 계열의 광가입자망 기술은 〈표 1〉과 같다.

표 1. PON 표준

| 구분 | 상향 | 속도 | 비고 | 관련표준 |
|---|---|---|---|---|
| G-PON | 2.5 G | 1.25 G | 단일채널 | G.984.xx |
| XG-PON | 10 G | 2.5 G | 단일채널 | G.987.xx |
| NG-PON2 | 40 G | 10 G | WDM 채널 | G.989.xx |

ITU-T의 NG-PON2관련 표준들은 통신사업자의 요구사항 (G.989.1), 물리계층규격 (G.989.2), 전송수렴계층 규격 (G.989.3) 그리고 파장관리관련 표준(G.multi)으로 구분된다 [1, 2, 3, 4].

ITU-T는 새로운 기술의 표준화시 이전 표준들과의 상호 공존을 필수적으로 고려한다. 예를 들어 새로운 서비스 즉, NG-PON2서비스를 제공하는 경우 기존 G-PON 서비스, XG-PON 서비스 또는 CATV서비스를 위해 사용중인 Optical distribution Network (ODN)을 변경하지 않고 사용할 수 있도록 표준 규격을 결정한다. 이외에도 새로운 어플리케이션 분야에 대해 지원할 수 있도록 한다. 아래는 G.989.1에서 기술된 주요 요구사항이다.

(a) 기존 PON 기술과 상호 공존성 유지

(b) 최소 40 Gb/s 하향신호 용량, 최소 10 Gb/s 상향신호 용량

(c) 최대 40 km 전송거리 및 허용 전송거리 차이 20 km
(d) 최대 분기수는 1:256 분기
(e) 최소 4파장의 하향 및 상향신호 수용 및 향후 8 파장으로 확장가능
(f) 보호 절체 및 이중화
(g) 점대점(PtP) 파장가변 WDM

위와 같은 요구사항을 만족하는 NG-PON2 기술은 TWDM-PON기술과 파장가변형 PtP WDM 기술로 구분된다. TWDM-PON기술은 주로 가입자 서비스에 적용되며 PtP WDM은 전용선 서비스가 필요한 비즈니스 가입자나 무선백홀 등에 사용될 수 있다.

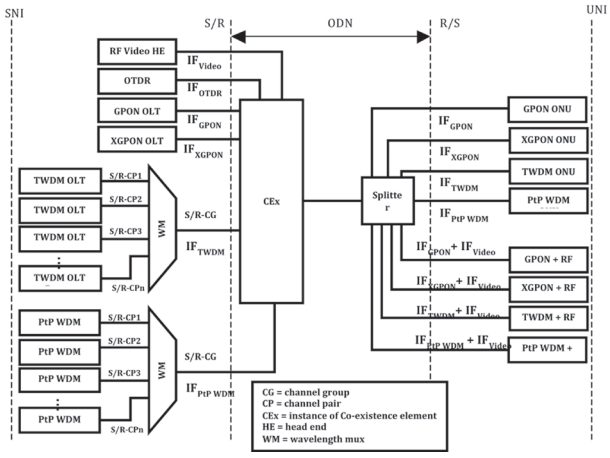


그림 2. NG-PON2 물리계층 구성 [2]

〈그림 2〉은 NG-PON2의 물리계층 구성이다. NG-PON2 OLT(optical line terminal)는 다수의 TWDM-PON OLT와 다수의 PtP WDM OLT가 WM 를 이용하여 연결된 후 기타 다른 서비스들과 CEx 로 연결된다. 모든 하향 신호는 ODN을 거쳐 파장가변 ONU (optical network unit)로 입력된다. 이때 기존에 원격지에서 사용되는 광스플리터 및 광선로의 손실 그리고 광전송 패너티 등을 고려하여 TWDM-PON과 PtP WDM의 광링크 손실이 결정한다.

지난 2013년 7월 ITU-T SG15 정기회의에서 상하향 광신호 파장대역, 전송속도 클래스 등 신호의 전송품질과 관련된 다양한 파라메터의 규격 등이 논의되었다. 특히, TWDM-PON과 PtP WDM이 상호 공존하는 경우, 각 파장대역에 대해 심도 있게 논의되었다. 그 결과 아래 〈표 2〉와 같이 두 기술이 상호 공존하는 경우와 그렇지 않은 경우에 대한 파장대역이 결정되었다.

표 2. Summary of NG-PON2 Wavelength Plans

| Wavelength Compatible Systems | TWDM | | PtP WDM |
|---|---|---|---|
| | 하향 | 상향 | 상향/하향 |
| GPON, RF Video, XG-PON1 | 1596-1603 nm | Wide Range 1524-1544 nm<br>Narrow Range 1524-1540 nm | Shared Spectrum 1603-1625 nm<br>Full Spectrum 1524-1625 nm |

TWDM-PON은 광전송신호의 수신성능을 향상시켜 광링크의 버짓을 증가시키기 위하여 FEC (forward error correction)를 필수적으로 사용한다. 이때 하향신호의 BER기준은 $10^{-3}$ 이며 상향신호의 BER은 $10^{-4}$이다. 또한, EDC (electrical dispersion compensation)를 적용하여 색분산에 의한 전송패널티를 보상할 수 있다. 그러나, EDC는 전기적으로 구현기술이 매우 다양하여 표준에서는 구체적인 구현방법을 기술하지 않는다.

TWDM-PON은 파장가변 광소자를 사용하므로, 이와 관련된 파장가변시간 및 파장가변 간격 등의 새로운 규격들이 신설되었다. 특히, 파장가변 소자의 파장가변시간의 경우, 어플리케이션에 따라 〈표 3〉과 같은 클래스로 구분된다.

표 3. 파장가변시간

| | |
|---|---|
| Class 1 | 〈 10 uS |
| Class 2 | 10 uS to 25 ms |
| Class 3 | 25 ms to 1 s |

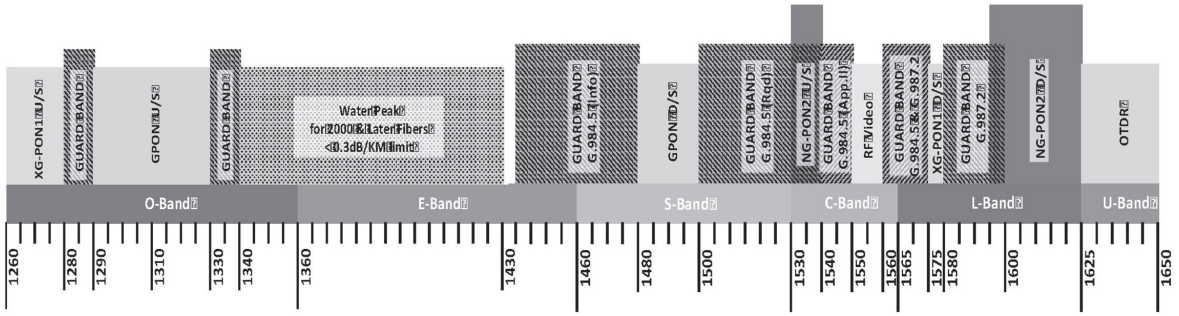


그림 3 G-PON, XG-PON, NG-PON2 신호파장대역

예를 들어, ONU의 상하향 신호 파장을 TDMA-PON의 DBA(dynamic bandwidth allocation) 동작과 같이 매우 빠른 시간에 ONU의 파장 변경이 요구되는 경우에는 파장가변소자의 가변 시간은 클래스1과 같이 10 us 이하가 요구된다. 반대로, ONU가 초기 활성화 상태인 경우, 광신호의 파장을 빠른 속도로 변경할 필요가 없어 클래스3과 같이 상대적으로 파장가변 속도가 느려도 관계없다.

NG-PON2의 전송거리는 최대 40 km(분산값: 840 ps/nm)이며 상하향 신호의 최대 전송 속도는 10Gb/s 이다. TWDM-PON의 경우 최대 송수신 파장은 8파장이며 PtP WDM의 경우 가용한 범위내에서 파장수의 제한이 없다.

TWDM-PON은 TDM방식을 사용하여 다수의 ONU와 OLT가 연결된다. 따라서, ONU 송신기는 정해진 시간에만 광신호를 송신하는 버스트 모드로 동작하며 〈그림 4〉와 같이 버스트 신호를 구성한다.

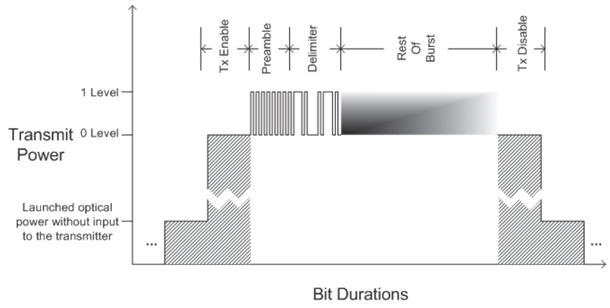


그림 4. 버스트 신호의 구성

이때, 각 ONU 송신기는 신호송신이 할당되지 않은 시간에는 어떠한 광신호도 출력하지 않아야 한다. 즉, 이 시간 동안에 버스트모드 광송신기의 출력은 매우 낮아야 한다. (G-PON ONU용 광송신기의 경우 -45 dBm 이하임) 만일 할당되지 않은 시간에 광신호를 출력하게 된다면, 그 광신호 역시 OLT 수신기로 입력되어 신호의 크로스톡을 유발한다. 따라서, 버스트모드 광송신기의 규격 중 Launched optical power without input to the transmitter 는 매우 주요하다. 동일한 파장을 공유하는 ONU의 수가 많을수록 그 효과가 커지게 된다.

PtP 파장가변 WDM은 비지니스 가입자 서비스, 무선 백홀 및 무선 프론트홀을 주요 응용분야로 고려하고 있다. 이와 같은 서비스들을 위해 4 G, LTE 등의 기지국과 전화국 사이에 광전송 규격으로 사용되는 CPRI (common public radio interface) 및 OBSAI (Open Base Station Standard Initiative) 규격 수용이 요구된다. 현재, 〈표 4〉와 같은 전송속도를 PtP WDM 전송속도 의 표준규격으로 논의하고 있다.

표 4. PtP WDM 전송속도

| Line Rate Class | Nominal line rate [Gbit/s] - Symmetric DS and US | Supported service protocols |
|---|---|---|
| 1 | 1.24416, 1.25, 1.2288 | STM-8 1 G Ethernet, CPRI line bit rate (option 2) |
| 2 | 2.48832, 2.4576, 2.666 | OC-48, STM-16, CPRI line bit rate (option 3) OTU1 |
| 3 | 9.95328, 9.8304, 10.709, 11.09 10.3125 | OC-192, STM-64, CPRI line bit rate (option 7) OTU2, OTU2e 10GBase-ER |
| 4 | 6.144 | CPRI line bit rate (option 6), OBSAI |

## 2. NG-PON2 구현 기술

TWDM-PON은 ONU에 파장가변 광송수신기를 사용하므로 ONU와 OLT간의 상하향 광신호의 파장을 통신사업자의 관리 정책에 따라 변경이 가능하다. 따라서 통신사업자는 트래픽 상황을 고려하여 TWDM-PON의 광링크 구성을 조절할 수 있으며, 사용하지 않는 OLT의 전원을 차단하여 전력저감효과를 얻을 수 있다.

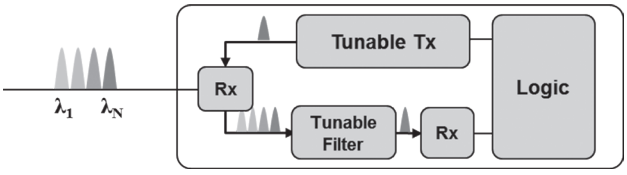


그림 5. 파장가변 ONU 구조

NG-PON2 ONU의 구조는 〈그림 5〉와 같다. TWDM-PON의 경우 초기 사용파장대역이 넓지 않아(100 GHz×4) 온도조절로 파장가변이 가능한 DFB-LD를 파장가변 송신기로 고려하고 있다. PtP WDM의 경우 상대적으로 사용파장대역이 넓어 외부공진기형 파장가변 레이저 등이 후보로 고려되고 있다.

NG-PON2 ONU 를 구성하는 파장가변수신기는 다양한 기술로 구현될 수 있지만, 단순하게 온도조절로 파장선택이 가능한 파장가변 수신기가 후보기술로 고려되고 있다[5].

〈그림 6〉과 같이 Aegis technologies는 박막 필터 기반의 파장가변 수신기를 제작하였고, 이에 대한 결과를 2008년 OFC Post-Deadline 논문으로 발표하였다. 200 GHz 채널 간격으로 1540.55 nm에서 1545.32 nm 사이의 4개 채널로 파장가변

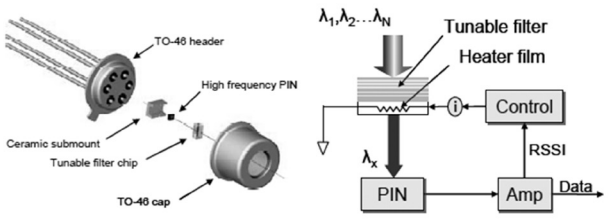


그림 6. 파장가변 수신기 구조 [6]

이 가능하며, 2.5 Gb/s 신호를 수신하는 경우, $10^{-10}$ BER 성능에서 −18 dBm의 수신감도 성능이 보고되었다.

현재 4 × 2.5 Gb/s 규격을 프로토타입으로 제작하였으며, 4 × 10 Gb/s의 파장가변 수신기 개발을 목표로 하고 있다. 그러나, 현재 발표된 파장가변 수신기의 경우, 투과대역폭이 협소하여 50 GHz 간격의 10 Gb/s신호를 수신하는 경우 전송 패널티가 급격하게 증가한다. 따라서, 앞으로 관련 기술의 연구개발이 시급한 실정이다.

2012년 차이나 텔레콤은 Huawei사와 공동으로 ITU-T 표준화 방향에 부합하는 TWDM-PON 프로토타입 시스템을 개발하고 시험 결과 발표하였다[6][7].

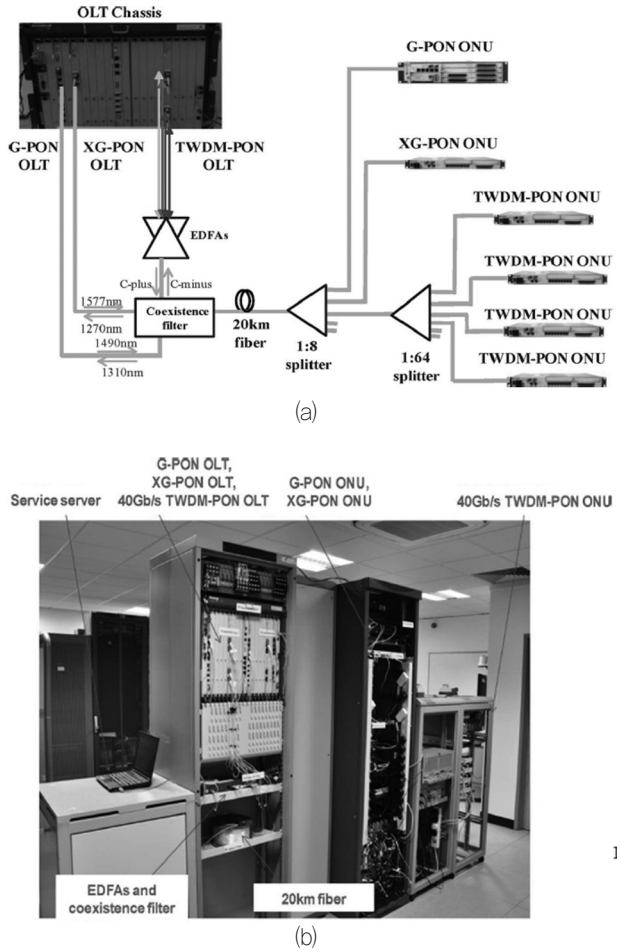


그림 7. G-PON 및 XG-PON과 상호운용 가능한 40 Gb/s TWDM-PON 프로토타입 (a) 구성 (b) 사진

〈그림 7〉은 G-PON 및 XG-PON과 상호운용 가능한 40 Gb/s TWDM-PON 프로토타입의 구성과 시연사진이다. 하향으로 40 Gb/s, 상향으로 10 Gb/s를 전송하였으며, 1:512 분기비율로 20 km 전송한 경우 약 38 dB의 파워 버짓을 제공하였다.

ONU에는 파장가변수신기 및 온도조절 DFB-LD기반 파장가변송신기를 사용하였다. 그리고 G-PON 및 XG-PON과 상호운용 시험을 완료하였다.

## 3. 파장가변PON의 파장관리 표준화

TWDM-PON과 같이 다수의 광파장을 상하향 신호들로 사용하는 PON의 운용파장을 관리하기 위한 표준인 MW-PON (Mulitiple wavelength Passive Optical Networks) 표준화 (G.multi)가 ITU-T에서 진행되고 있다. G.multi는 ONU의 파장초기화, 파장변경, 파장관리 등에 필요한 OLT와 ONU 간 일반적인 메시지 교환방법에 대해 설명한다. 그리고, 부록에는 다양한 PON 에 적합한 세부적인 기술을 기술하고 있다. 현재, WDM-PON, 10G EPON, XG-PON 을 사용하는 경우에 대해 각각 부록으로 구분하고, 관 련기술을 논의중이다.

〈그림 8〉은 ITU-T G.multi표준초안의 참조 구조도이다. OLT는 다 파장 광송수신기로 구성되며 원격노드는 파장분할 다중화/역다중화로 구성될 수도 있고 또는 광세기 분배기로 구성된다. ONU는 파장가변송수신기로 구성된다.

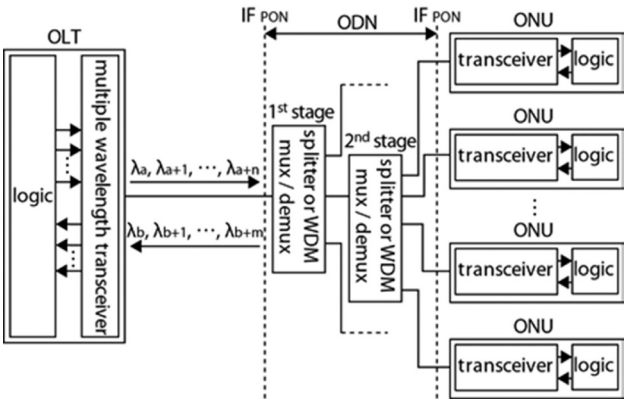


그림 8. G.multi 의 참조도

## 4. IEEE NG-EPON

IEEE 802.3 Ethernet working그룹에서는 IEEE Std 802.3ah (1G-EPON)과 IEEE Std 802.3av (10G-EPON)의 표준화를 완료하였다. 그리고 EPON, 10 GEPON 장비들간

의 상호호환 및 시스템운용과 관련된IEEE 1904.1 (Standard for Service Interoperability in EPON (SIEPON) Working Group) 표준이 통신사업자들을 주축으로 완료되었다. 〈그림 9〉는 IEEE 802.3 Ethernet working 그룹의 광가입자망 표준화 현황이다.

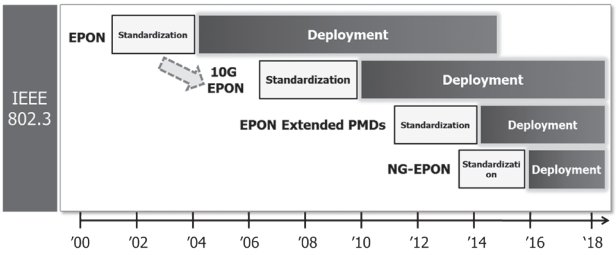


그림 9. IEEE 802.3 Ethernet working 그룹의 광가입자망 표준화

기존 EPON 물리 계층의 규격을 확장하여 장거리, 고분기를 지원할 수 있는 Extended EPON PMDs 표준화가 〈그림 10〉과 같이 진행 중이다. 2013년 현재 29 dB 및 39 dB 물리계층 규격을 만족할 수 있도록 EPON 거리확장기술에 대한 논의가 마무리 되고 있다.

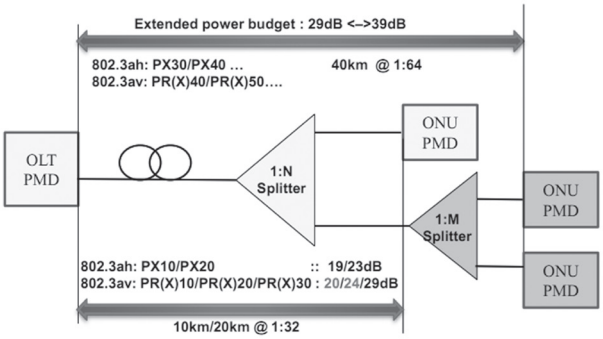


그림 10. EPON Extended PMD 개념도

지난 2013년 7월 IEEE 802.3 정기회의에서 NG-EPON 표준화가 산업체들 사이에서 논의되었다. Broadcom, ZTE, KDDI, ETRI 등 13개 회원사가 참여하였으며 새로운 스터디 그룹을 구성하기 위한 ICAID (Industry Connections Activity Initiation Document) 를 작성하였다[8].

NG-EPON의 목표 응용분야는 지역 및 상업지구의 가입자 서비스, 모바일 백홀, 그리고 음성, 비디오, 데이터 서비스 분야이다. 다음과 같은 내용이 표준화 될 수 있을 것으로 전망하고 있다.

(a) 사업자 요구사항
(b) 차세대 EPON 기술 및 경제성 측면 분석
(c) 최신 광가입자망 기술
(d) 향후 사용가능한 기술

향후, 지속적인 논의를 거쳐 2013년 11월 IEEE 802.3정기회의에서 표준화 주제로 제안할 예정이며 2015년 하반기 발행을 목표로 하고 있다.

## 5. 향후 전망 및 OFDM-PON 기술

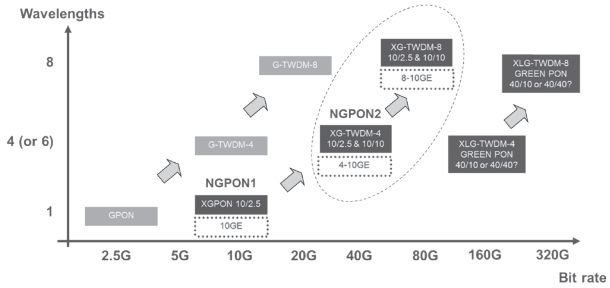


그림 11. TDMA-PON 진화방향

〈그림 11〉과 같이 Alcatel-Lucent는 전송속도와 사용파장에 따른 TDMA-PON 기술의 진화방향에 대해 제시하였다. 10G 이후 40G 전송기술이 PON 기술로 사용될 것이며 더불어 Green PON 기술이 필요할 것으로 전망하였다[9].

Huawei는 광가입자망 표준화 동향을 고려하여NG-PON2이후로 상하향 전송속도가 최대 250 G급인 NG-PON3표준화가 2020년 경에 완료될 것으로 예상하였다[10].

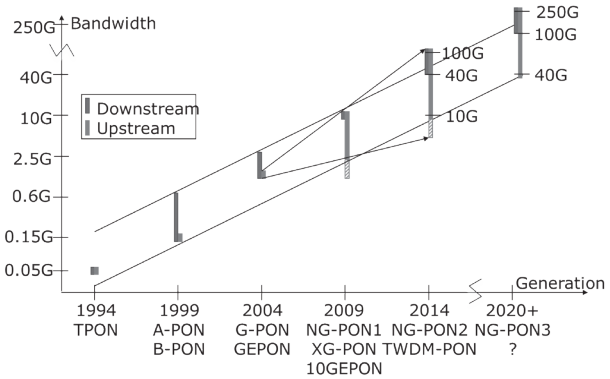


그림 12. TDM-PON의 용량 증가 동향 [10]

OFDM-PON (Optical frequency domain multiplexing-PON)은 광신호 전송 시 분광학적 효율의 극대화를 위해 기존 이동통신 기술에서 주로 사용되던 직교 주파수 분할 다중방식을 광가입자망에 도입한 것이다. OLT와 ONU는 광세기 분배기로 연결되며 OFDM방식과 WDM 방식을 동시에 적용할 경우 전체 시스템의 용량을 비약적으로 증대시킬 수 있다.

OFDM-PON은 고속 DSP 기술이 필요하여 현재는 기초 연

구 단계에 있다. 그러나, 앞서 설명한 NG-PON2와 비교하였을 때 전송 거리와 대역폭 제한을 극복할 수 있어 상대적으로 유연한 망을 구성할 수 있다. OFDM-PON 표준화 분야에서 Alcatel Lucent, Ericsson, ITRI, Mitsubishi, NTT, NEC Lab America, AIT, France Telecom, ZTE 들이 FSAN 등의 표준화 기구에 기고문을 제출하고 있다. 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.

## Ⅲ. 결 론

본 고에서는 ITU-T 및 IEEE에서 진행되고 있는 차세대 광가입자망 표준화 및 주요 기술동향 그리고 향후 전망에 대해 기술하였다. 앞으로, 전 세계 광가입자망 장비시장은 연평균 8%로 성장할 것으로 예측되며 2016년에는 약 50억 달러규모로 형성될 것으로 전망된다. 이러한 상황을 고려해볼 때, 차세대 광가입자망을 구현하여 상용화시키기 위한 기술개발과 표준화 작업에 노력과 지원이 매우 필요한 시점이다.

### Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.

## 참 고 문 헌

[1] ITU-T G.989.1: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements
[2] ITU-T G.989.2: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification
[3] ITU-T G.989.3: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Transmission Convergence (TC) layer specification
[4] ITU-T G.multi: Control aspects of multi-wavelength passive optical networks
[5] Tunable 2.5 Gb/s Receiver for Wavelength-Agile DWDM-PON, OFC2008
[6] Yiran Ma et al., Demonstration of a 40 Gb/s Time and Wavelength Division Multiplexed Passive Optical Network Prototype System, OFCNFOEC PD2012, PDP5D.7, 2012
[7] Yuanqiu Luo, et. al., Time- and Wavelength-Division Multiplexed Passive Optical Network (TWDM-PON) for Next-Generation PON Stage 2 (NG-PON2), JLT2013, Vol. 31, No. 4, Feb. 15, 2013
[8] http://www.ieee802.org/3/email_dialog/msg00091.html
[9] Ronald Heron et al., Capacity enhancement and hybrid solutions, FSAN Bath meeting, 2012
[10] Frank Effenberger, Progress in Optical Access Standards, Joint ITU/IEEE Workshop on Ethernet - Emerging Applications and Technologies, 2012.09

### 약 력

이 한 협

1999년 충남대학교 이학사
2001년 충남대학교 이학석사
2005년 충남대학교 이학박사
2006년 AT&T Lab-research 박사후 연수과정
2007년~현재 한국전자통신연구원 광인터넷연구부 광가입자연구실 선임연구원
관심분야: 광가입자망 전송기술, WDM-PON

이 상 수

1988년 인하대학교 공학사
1990년 인하대학교 공학석사
2001년 인하대학교 공학박사
2001년~현재 한국전자통신연구원 광인터넷연구부 광가입자연구실 실장
관심분야: 광가입자망 전송기술, WDM-PON

이 종 현

1981년 성균관대학교 공학사
1983년 성균관대학교 공학석사
1993년 성균관대학교 공학박사
1983년~현재 한국전자통신연구원 광인터넷연구부 부장
관심분야: 광통신 시스템, 광 인터넷 기술