

유선 가입자망 기술 동향 및 발전 방향

| 작 성 | SK브로드밴드 이충복 (choongbok.lee@sk.com)
SK브로드밴드 이정현 (ljhmet008@sk.com)

- 『AI Network Lab 인사이트』는 인공지능, 클라우드, 5G, 양자암호통신 등 4차 산업 혁명의 핵심인 지능정보기술과 네트워크 신기술에 대한 동향을 간략하고 심도 있게 분석한 보고서입니다.
- 본 연구보고서는 과학기술정보통신부의 방송통신발전기금조성사업, 한국정보화진흥원의 『초연결 지능형 연구개발망 구축·운영사업』의 연구과제 결과이며, 한국정보화진흥원에서 기획·발간합니다.
- 본 연구보고서의 내용의 무단 전재를 금하며, 가공·인용할 때는 반드시 출처를 『한국정보화진흥원(NIA)』 이라고 밝혀 주시기 바랍니다.

발행처 한국정보화진흥원

발행인 문용식

기획 한국정보화진흥원 지능형인프라본부 인프라기획팀

보고서 온라인 서비스 www.nia.or.kr



Contents

보고서 요약

(1) 보고서 요약	5
------------------	---

보고서 주요 내용

(1) 광 가입자망 기술 진화 과정	7
1) 광 가입자 액세스 망 구축 방식	7
2) TDM PON의 진화 과정	9
(2) 광 가입자망 기술 표준화 히스토리 및 동향	11
1) Giga	11
2) 10Giga	13
3) 25G/50G 표준화 동향	18
(3) 글로벌 사업자 동향	23
(4) 광 가입자망 가상화 기술 동향	28
참고문헌	32
[부록 1] 가입자 망 구성도	33
[부록 2] 가입자 환경과 트래픽	34

개요

- 가입자 통신은 초기에 전화선을 기반으로 하는 MODEM 통신으로 시작하여 DSL 방식으로 발전하였으며, ADSL에서 VDSL 방식을 거쳐 지속적으로 속도를 향상시켜 최대 양방향 100Mbps까지 속도가 향상되었다.
- 최근에는 G.hn 기술이나 G.fast 기술을 기반으로 1Gbps까지 속도를 향상시키고 있지만, DSL 기반의 기술적 한계로 인해 거리가 길어질수록 큰 폭으로 신호 감쇄가 발생하고, 이로 인해 고속의 데이터 서비스를 제공할 수 있는 거리가 짧아진다는 단점이 있다. 또한 DSL 기술을 사용할 경우 이웃하는 회선 간의 신호간섭 (crosstalk) 현상으로 인해 Link 끊김이나 Bit Error가 발생할 수 있으며, 이로 인한 서비스 품질의 저하가 발생할 수 있다.
- IPTV 서비스의 도입으로 인해 고품질의 통신 품질에 대한 요구가 증가하고 있어 기존의 전화선을 기반으로 하는 가입자 통신 서비스는 점차 줄어들고 있는 추세이며, 이를 대신하여 광통신 기술을 기반으로 하는 FTTH 기술이 가입자 망의 주요 기술로 적용되고 있는 상황이다.
- 현재 광 가입자 망의 주요 기술인 PON 기술의 발전 과정 및 PON 기술의 동향과 미래 PON 기술의 진화 방향에 대해 알아보고, 글로벌 가입자망 사업자들의 기술 대응 동향에 대해 설명하였다.

보고서 요약

(1) 광 가입자망 기술 진화 과정

- 초고속인터넷, 실시간 IPTV 등 고품질, 광대역을 필요로 하는 서비스들의 등장은 광 통신 기술의 발전 및 전환을 촉진시켰다.
- 가입자망 구성 방식은 AON과 PON 방식으로 구분이 되나 사업자들은 투자비, 효율적인 유지보수 및 비용 절감을 위하여 PON 기술 방식으로 가입자망을 구성하고 있다.
- TDM PON은 A-PON/B-PON을 거쳐 E-PON/G-PON으로 진화되어 왔으며 최근에는 10Giga 제공이 가능한 10G-EPON 및 XGS-PON/NG-PON2 기술까지 상용화되었다.

(2) 광 가입자망 기술 표준화 및 상용화 History

- E-PON은 Ethernet 기술을 기반으로 빠른 표준화가 이루어졌으며, G-PON은 E-PON 대비 엄격한 기술 기준으로 표준화가 수립되었다.
- 우리나라에서는 사업자들의 가입자망 PON 장비 시설 확대 등에 따라 1Giga 서비스 제공이 가능한 E-PON/G-PON 기술을 바탕으로 '14년 Giga 서비스의 상용화가 개시되었다.
- 10Giga 기술은 1Giga 서비스 제공을 위해 시설되어 있는 기존 ODN 서비스를 그대로 활용하여 10Giga와 1Giga 서비스를 동시에 제공하도록 설계되었다.
- 전 세계적으로 10Giga 플랫폼 투자가 본격화되고 있으며, 많은 사업자들이 G-PON 계열의 XGS-PON을 10Giga 기술로 채택하고 있다.
- IEEE는 파장당 25Gbps를 제공할 수 있는 기술을 표준화 완료하였으며, ITU-T는 파장당 50Gbps를 제공할 수 있는 기술을 표준화 진행 중에 있다.
- 25G/50G 기술을 상용화하여 유·무선 서비스를 동시에 하나의 광케이블에 제공할 수 있도록 Co-DBA 등의 기술을 개발 중에 있다.

(3) 글로벌 사업자 동향

- 현재 IOP (InterOPerability) 등의 이슈와 Vendor 종속성에서 탈피하기 위한 시스템의 Disaggregation 및 가상화 등 다양한 사업자들의 노력이 이어지고 있다.

(4) 광 가입자망 가상화 기술 동향

- PON 가상화를 위한 대표적인 오픈 소스 프로젝트로 ONF (Open Networking Foundation)의 SEBA(SDN Enabled Broadband Abstraction)/VOLTHA(Virtual OLT Hardware Abstraction)와 BBF(Broadband Forum)의 OB-BAA(Open Broadband-Broadband Access Abstraction)가 추진되고 있다.

(5) 가입자 환경과 트래픽

- 우리나라는 재개발, 재건축 등으로 기축 전화선, 동축 매체 등을 더 고속의 서비스를 제공할 수 있는 UTP 및 광케이블로 고도화 진행 중에 있다.
- 가입자의 트래픽 사용은 COVID-19으로 인해 화상회의, Media 사용 및 게임의 사용 비중이 높아지고 있으며 글로벌하게 사용자들은 Web 기반의 서비스가 아닌 YouTube, Netflix 등의 영상 기반 Application을 즐겨 사용하고 있다.

※ 시사점

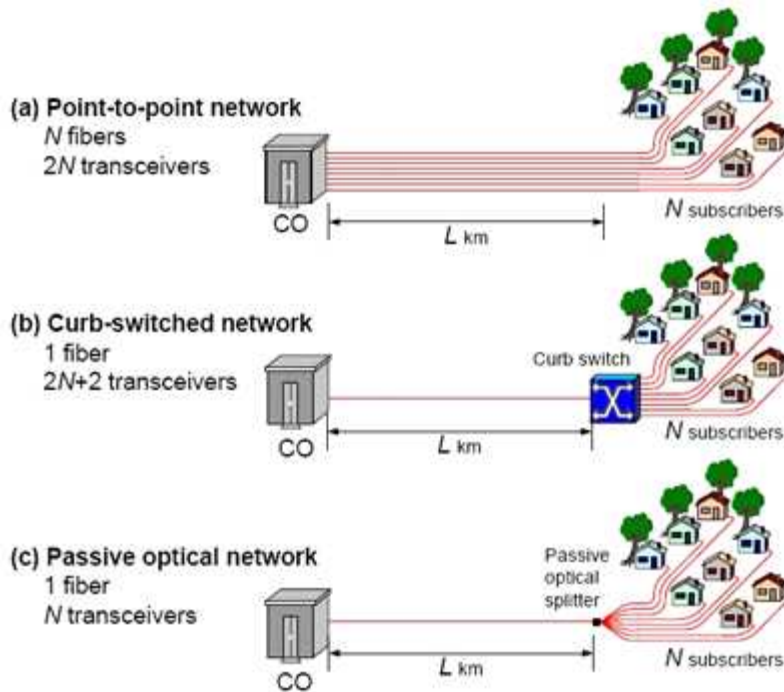
- 영상, 게임 등 고화질/대용량 콘텐츠 소모 증가에 따라 고속 서비스에 대한 수요가 증가하고 있으며, 10기가인터넷은 에코시스템 활성화에 따라 점차 확대될 것으로 보인다.
- 가입자망 진화 방향은 Vendor 종속성 탈피를 위해 가상화 및 Disaggregation을 지향 중이며, 이를 원활히 진행하기 위한 기술 확보 및 적용 노력이 필요하다.
- 기존 유선 초고속인터넷 뿐 아니라 무선 5G 서비스 커버리지 확보를 위해 유/무선 서비스를 동시에 수용 가능한 유/무선 통합 가입자망 진화 전략을 수립하여 나갈 계획이다.

주요 내용

(1) 광 가입자망 기술 진화 과정

1) 광 가입자 액세스망 구축 방식

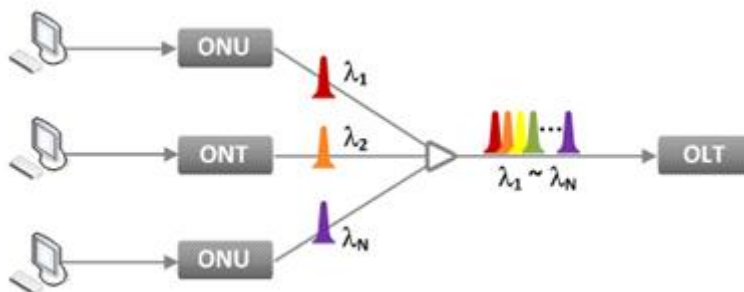
○ IPTV 서비스와 같은 고품질의 고속 통신 기술을 필요로 하는 서비스가 점차 증가함에 따라 가입자 액세스 망 구축을 위해 광통신 기술이 도입되기 시작했다. 광통신을 통해 가입자 액세스 망을 구축하는 방식은 아래와 같이 Point-to-Point 방식 및 Point-to-Multi-Point 방식이 있으며, Point-to-Multi-Point 방식은 다시 AON (Active Optical Network) 방식과 PON (Passive Optical Network) 방식으로 구분할 수 있다.



[그림 1. 광액세스 망 구성 방식]

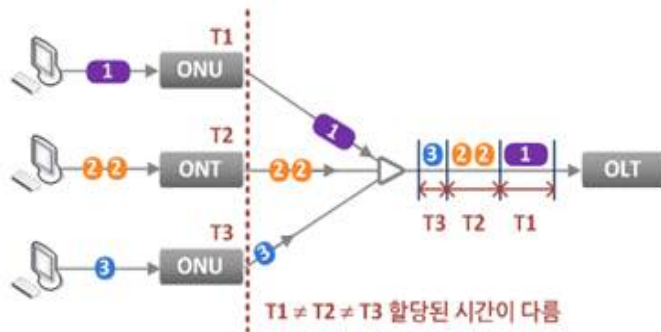
○ Point-to-Point 방식은 CO (Central Office) 장치에서 각 가입자까지 별도의 광 케이블을 구축해야 하므로 광 케이블 구축 비용이 너무 큰 단점이 있으며, 광 트랜시버(Transceiver) 역시 가입자 별로 CO 장치와 가입자 장치 양측에 장착되어야 하므로 N 가입자 수용을 위해 $2N$ 개의 광 트랜시버를 사용하여 많은 비용이 소모된다는 단점이 있다.

- Point-to-Multi-Point 방식은 CO 장치에서 가입자가 밀집된 지역까지 하나의 광 케이블을 구축하고 가입자 근처에서 각 가입자까지 개별 광 케이블을 구축하는 방식이다. 이 방식은 광 신호를 전기 신호로 변경한 후 각 가입자까지 다시 광 신호를 생성하여 전달하는 AON (Active Optical Network) 방식과 광 신호를 전기 신호로 변환하지 않고 그대로 각 가입자까지 전달하는 PON (Passive Optical Network) 방식으로 구분할 수 있다.
- AON 방식은 가입자가 밀집된 지역에 별도로 전원이 공급되는 장치를 운용해야 하며, 이를 위한 온도 관리 장치 등이 필요해 유지보수 비용이 높아진다는 단점이 있다. 이에 따라 CO에서 전달된 광 신호를 전기 신호로 변환하지 않고, 수동 광 스플리터 (Splitter)를 통해 광 신호를 분리하여 각 가입자에게 전달하는 PON 방식이 광 가입자 액세스 망의 주요 기술로 부상하였다.
- PON의 일반적인 구조는 CO에 OLT 장치가 설치되고, OLT 장치에서 광 스플리터까지는 1개의 광 선로를 통해 연결되고, 광 스플리터에서 각 가입자 장치인 ONU까지는 개별 광 선로를 통해 연결되는 방식이다.
- PON 기술은 각 가입자 트래픽을 다중화 하는 방식에 따라 WDM (Wave-Division Multiplex) PON과 TDM (Time Division Multiplex) PON으로 구분할 수 있다.
- WDM PON은 각 가입자 별로 서로 다른 파장 (wavelength)의 광 신호를 사용하여 하나의 광 케이블을 통해 여러 가입자의 광 신호를 다중화 하는 방식이다. WDM PON은 각 가입자가 서로 독립적인 광 파장의 신호를 사용하므로 관리가 아주 단순하고 각 가입자의 트래픽이 완전히 분리되어 가입자간 트래픽 간섭을 최소화 할 수 있는 장점이 있다. 반면에 각 가입자 별로 독립적인 광 파장의 신호를 사용하기 위해 광모듈을 CO 장비 측과 가입자 측에 이중으로 설치해야 하고, 가입자측에 적용하기에는 고가의 광모듈이 필요하여 망 구축을 위해 많은 비용이 필요하다는 단점이 있다.



[그림 2. WDM-PON]

- TDM PON 방식은 각 가입자 별로 Time 슬롯을 할당하고, 각 가입자는 할당된 Time 슬롯 기간에만 트래픽을 송신하여 가입자 별 트래픽을 다중화하는 방식이다. 이 방식은 각 가입자 별로 Time 슬롯을 할당하기 위해 복잡한 알고리즘을 사용해야 하므로 구현이 다소 복잡하고, Time 슬롯 할당 알고리즘에 따라 성능 차이를 보이는 단점이 있다. 하지만, TDM PON을 사용할 경우 CO 장치에는 하나의 광모듈만 사용하면 되므로 비용 대비 고성능의 가입자 액세스 망 구축이 가능하다.

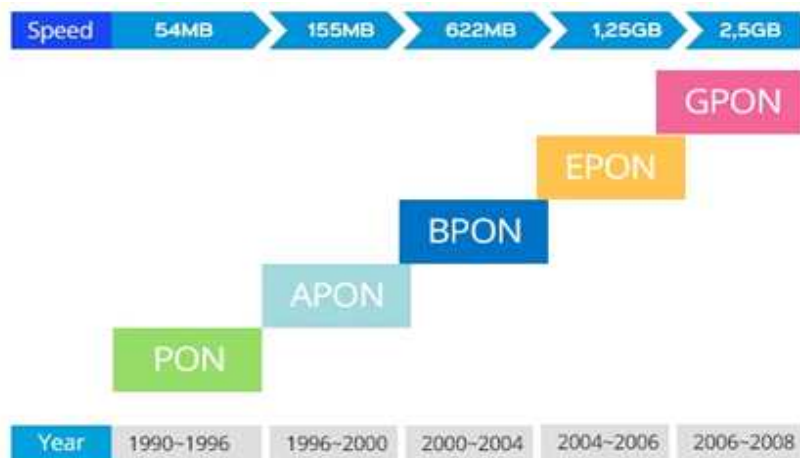


[그림 3. TDM-PON]

- 최근에는 TDM PON 방식만 사용하여 10Gbps 이상의 고속 서비스를 제공하기에는 기술적인 한계가 있어 TDM PON 기술과 WDM PON 기술의 장점을 결합한 TWDM (Time-Wave Division Multiplex) PON 방식으로 기술이 발전하고 있다.

2) TDM PON의 진화 과정

- TDM PON은 A-PON (ATM PON)/B-PON (Broadband PON), EPON (Ethernet PON) 및 GPON (Gigabit-capable PON)으로 진화되어 왔으며, 최근에는 10Gbps 서비스를 제공하기 위해 10G-EPON 및 XG-PON/XGS-PON으로 기술이 발전해 왔다.



[그림 4. PON 기술의 초기 진화 과정]

- A-PON은 1990년 후반 ITU (International Telecommunication Union)에서 최초로 제안된 ATM (Asynchronous Transmission Mode) 패킷 기반의 PON 기술이다. A-PON은 수동 소자인 광 스플리터와 ATM 패킷 기반의 통계적 다중화 방식을 이용하여 OLT 장치의 광 선로를 공유하여 사용하는 최초의 PON 방식의 표준이었으며, 이를 기반으로 기존의 SDH (Synchronous Digital Hierarchy) 장치에 비해 망 구축 비용을 20~40% 절감할 수 있어 많은 관심을 받았다. 이후 Ethernet 기술이 급격하게 발전함에 따라 ATM 패킷 기반의 A-PON을 업그레이드하여 Ethernet 서비스를 수용할 수 있는 B-PON (Broadband PON) 표준이 제안되었다.
- B-PON 표준은 하향 622Mbps, 상향 155Mbps의 속도를 지원하고, PON 이중화 기술 및 각 가입자 별로 대역폭을 동적으로 할당하는 방식이 추가되었다. B-PON 기술은 이를 기반으로 Ethernet 서비스, 비디오 전송 서비스 및 전용선 서비스를 모두 수용할 수 있게 되었지만, ATM 방식을 기반으로 동작하기 때문에 가변 길이의 Ethernet 패킷을 수용할 경우 발생하는 효율 저하로 인해 저비용화가 어려운 단점이 있었다.

(2) 광 가입자망 기술 표준화 히스토리 및 동향

- 광 가입자망 Trunk 기술은 광케이블 사용 효율이 우수한 PON 기술 중심으로 표준화가 진행되어 왔다.
- PON 기술은 IEEE의 E-PON 과 ITU-T의 G-PON 기술 방식이 경쟁하고 있으며 중국, 일본, 한국 일부 사업자는 E-PON 기술을 사용 중이나 북미, 유럽 등 그 외 대부분의 사업자들은 G-PON 기술을 사용 중이다.

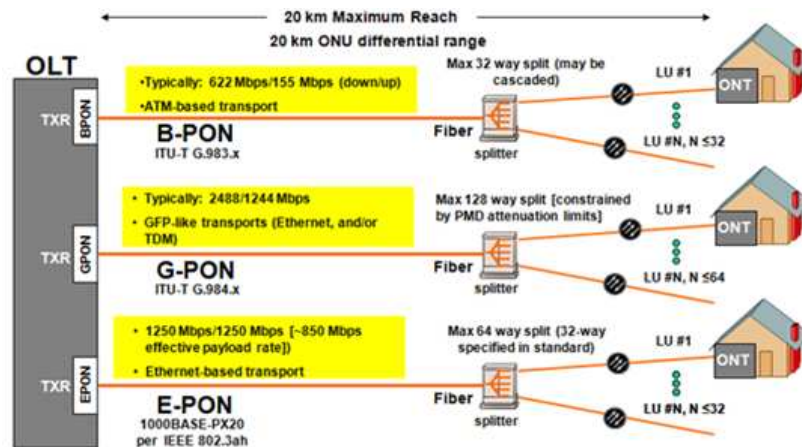
1) Giga

가. E-PON

- E-PON은 B-PON의 구축 비용을 줄이기 위해 Ethernet 기술 기반의 PON 기술로 표준화가 제안되었다. E-PON은 저비용으로 고속의 서비스를 제공할 수 있도록 Ethernet 기술과 PON 기술의 장점을 결합하여 표준화를 진행하였다. 이를 통해 Ethernet 기술을 기반으로 다양한 서비스를 쉽게 수용할 수 있게 되었으며, E-PON이 광 가입자 망의 주요 PON 기술로 부상하였다. 현재 E-PON은 한국, 중국 및 일본에서 대규모로 상용화하여 서비스가 진행 중에 있다.

나. G-PON

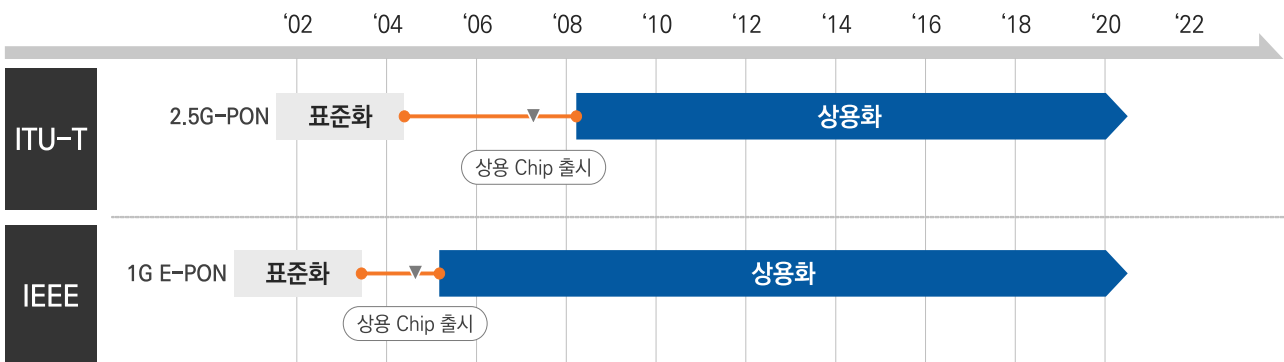
- G-PON은 모든 전기통신 서비스를 수용한다는 B-PON의 목적은 그대로 유지하면서 Ethernet 프레임은 효율적으로 수용하기 위해 ATM 프레임이 아닌 GEM (G-PON Encapsulation Method) 프레임을 사용한다. GEM 프레임은 기존 전기통신 서비스의 기본 시간 단위와 같은 125us 주기로 동작하므로 Ethernet 프레임 외 전화 및 전용선과 같은 기존 서비스도 효율적으로 수용할 수 있는 장점이 있다.



[그림 5. B-PON/E-PON/G-PON 기술]

다. 표준화

- IEEE의 경우 Vendor들 간에 기술 표준을 정하는 것이고, 기존의 Ethernet Frame을 기반으로 하기 때문에 상대적으로 E-PON의 표준화 수립이 빠르며 이에 비해 ITU-T의 경우 Vendor 뿐만 아니라 통신사업자가 모두 참여하여 표준을 정하기 때문에 G-PON 표준화 수립에 많은 시간이 소요되었다.
- 특히, 초기에는 Packet 망 뿐만 아니라 Circuit 망 까지 모두 의견을 받아서 표준화를 진행하였으며, 광 신호 규격 관련하여서도 E-PON 대비 G-PON이 더 엄격하여 상용화시에도 더 높은 기술 수준이 요구되었다.



[그림 6. E-PON/G-PON 표준화 및 상용화 일정]

- '99년 ADSL 서비스 상용화에 따른 초고속인터넷의 등장 이후 통신사에서는 처음에는 AON 방식 기반의 서비스를 제공하다가 '05년 100M 광랜 서비스 출시, PON 기술 상용화 및 광케이블 사용 비중 확대에 따라 '06년 이후 PON을 가입자망 Trunk 기술로 활용하여 광랜 서비스를 제공하기 시작하였다.
- PON은 국사에서 접속점까지 하나의 광선로만 포설하면 되고, 접속점을 중심으로 여러 회선을 분배할 수 있어 효율적인 운용이 가능하다.
- ADSL, VDSL로 대표되는 xDSL 기술의 한계를 극복할 수 있는 PON 기술은 고화질, 고용량 데이터를 전송할 수 있는 특징에 힘입어 100M 서비스에서 '14년 Giga 서비스의 상용화까지 이끌어 낼 수 있었다.
- E-PON과 G-PON 같은 Giga급 PON 기술은 100M 서비스 및 Giga 서비스 초기 시장에는 적합한 기술이나 Giga 서비스 성숙기와 10Giga 급 서비스를 제공하기에는 Trunk 용량이 부족하다.

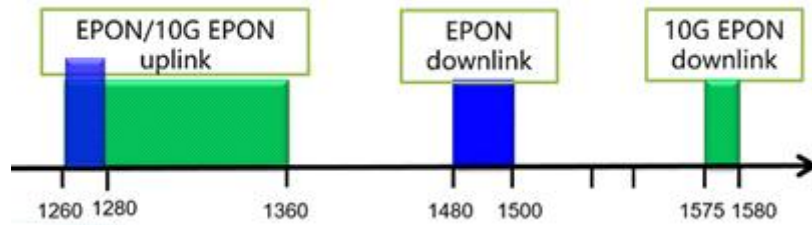
구분	표준	제공 속도 ^{하향/상향}	분기 수
IEEE 계열	IEEE 802.3ah	1Gbps/1Gbps	64
ITU-T 계열	ITU-T G.984	2.5Gbps/1.25Gbps	128

2) 10Giga

- TDM PON 기술은 크게 IEEE에서 표준화한 E-PON 기술과 ITU-T에서 표준화를 진행한 G-PON 기술로 구분되며, 대부분의 망 사업자들은 E-PON 혹은 G-PON 기술을 이용하여 광 가입자 액세스 망을 구축하였다. E-PON은 Ethernet 프레임 을 기반으로 상향 및 하향 모두 최대 1Gbps의 속도를 지원하고, G-PON은 GEM 프레임 을 기반으로 하향 2.5Gbps, 상향 1.25Gbps의 속도를 지원한다. 하지만, IPTV 및 많은 전송대역을 필요로 하는 다양한 서비스가 등장함에 따라 광 가입자 액세스 망의 전송 용량 증가에 대한 요구가 점차 커지고 있으며, 이에 따라 고속 서비스 제공을 위해 IEEE에서는 E-PON 이후 10G-EPON을 표준화 하고, ITU-T에서는 G-PON 이후 NG-PON의 표준화를 진행하였다.

가. 10G-EPON

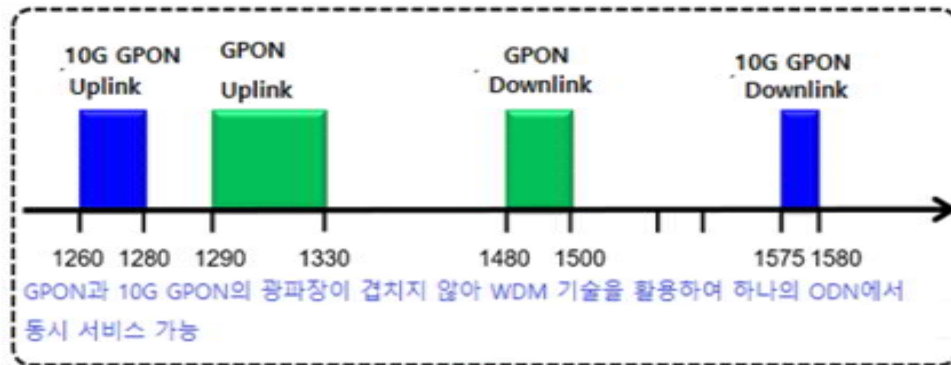
- 10G-EPON은 표준화 초기에 상/하향 속도에 따라서 비대칭형 구조와 대칭형 구조를 갖는 두 개의 시스템 시나리오로 진행하였다. 비대칭 시스템은 하향 10Gbps, 상향 1Gbps의 전송 속도를 제공하는 반면, 대칭 시스템은 상/하향 모두 10Gbps 전송 속도를 제공한다. 비대칭 10G-EPON 표준은 많은 대역폭을 요구하는 비디오 서비스가 집중되어있는 하향 서비스에 비해 고속을 필요로 하는 상향 서비스가 많지 않은 특징을 이용하여 하향만 10Gbps 전송 속도를 갖는 구조이다. 이는 비교적 가격에 민감한 PON 시스템을 상용화할 때, 전체 투자 비용 중 차지하는 비중이 높은 ONU를 저가의 ONU로 개발하기 위해 상향으로 저가의 광 송신 모듈을 사용할 수 있도록 비대칭형 구조에 대해서도 표준화를 진행하였다.
- 10G-EPON 권고안은 물리계층에서의 광신호 속도만 10Gbps로 변경하고, 그 외의 대부분의 MAC 제어계층의 내용은 E-PON 프로토콜의 규격을 그대로 사용한다.
- 10G-EPON은 아래 그림과 같이 하향으로 E-PON 신호와 다른 파장의 신호를 사용하여 전송하며, 이를 통해 기존의 E-PON 신호와 10G-EPON 신호가 하나의 광 케이블에서 동시에 서비스가 될 수 있도록 한다. 이는 E-PON 망을 10G-EPON 망으로 전환할 때 두 가지 서비스가 공존할 수 있도록 하여 서비스 전환을 쉽게 하기 위해서 채택된 방식이다. 반면에 상향으로는 E-PON ONU와 10G-EPON ONU가 사용하는 파장이 겹치기 때문에 시분할 방식으로 서비스를 공유하도록 표준화되었다. 다만, 최근에는 G-PON에서 정의한 Reduced 상향 파장을 사용한 광 모듈을 채택하여 상향 서비스도 E-PON과 10G-EPON을 동시에 수용할 수 있다.



[그림 7. E-PON 및 10G-EPON의 광파장]

나. NG-PON2

- NG-PON은 기존 G-PON 및 E-PON 기술에 비해 더 많은 대역을 제공하기 위한 차세대 PON 기술을 의미한다. 대부분의 통신사업자는 기존 망을 구축하기 위해 많은 시간과 돈을 투자하였으므로 NG-PON에서도 가급적 기존 망을 그대로 사용하기를 희망한다. 따라서, NG-PON 표준은 단일 광 선로에서 G-PON 및 NG-PON 서비스가 공존할 수 있고, NG-PON 서비스의 제공을 위해 기존 G-PON 가입자의 서비스 중단을 최소화 할 수 있어야 한다는 요구사항이 반영되었다.
- NG-PON의 기술적인 특징은 기존의 ODN (Optical Distribution Network)을 사용하여 G-PON 서비스와 10G-GPON 서비스가 공존할 수 있도록 사용하는 광 파장을 분리한 것이다. 이를 통해 기존 G-PON 가입자의 서비스를 방해하지 않으면서 각 가입자가 개별적으로 NG-PON으로 업그레이드할 수 있다.

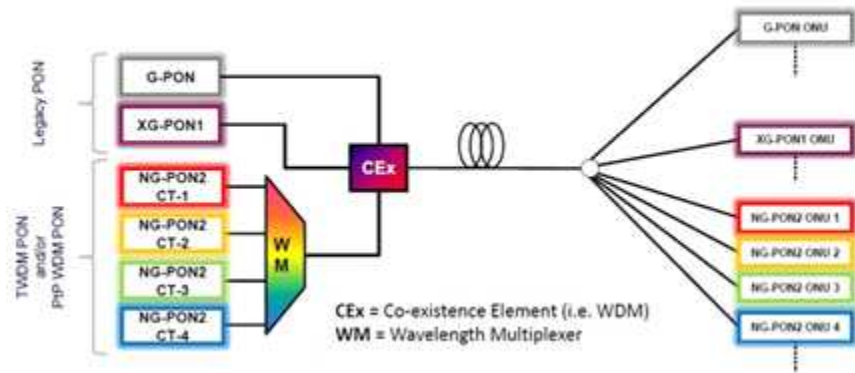


[그림 8. G-PON과 10G G-PON의 광파장]

- NG-PON의 표준화는 2단계로 나누어 진행되었다. 우선 기존 ODN을 공유하여 사용할 수 있으며 2015년까지 구현 가능한 기술을 기반으로 NG-PON1 표준을 진행하고, 그 이후에 완전히 새로운 기술을 기반으로 기존 PON의 제약사항을 극복하기 위해 기존 G-PON과의 호환성을 보장하지 않는 NG-PON2 표준화를 진행하기로 협의하였다. 하지만, 새로운 PON 구조에 대한 사업자의 관심이 줄고 시장이 둔화되어

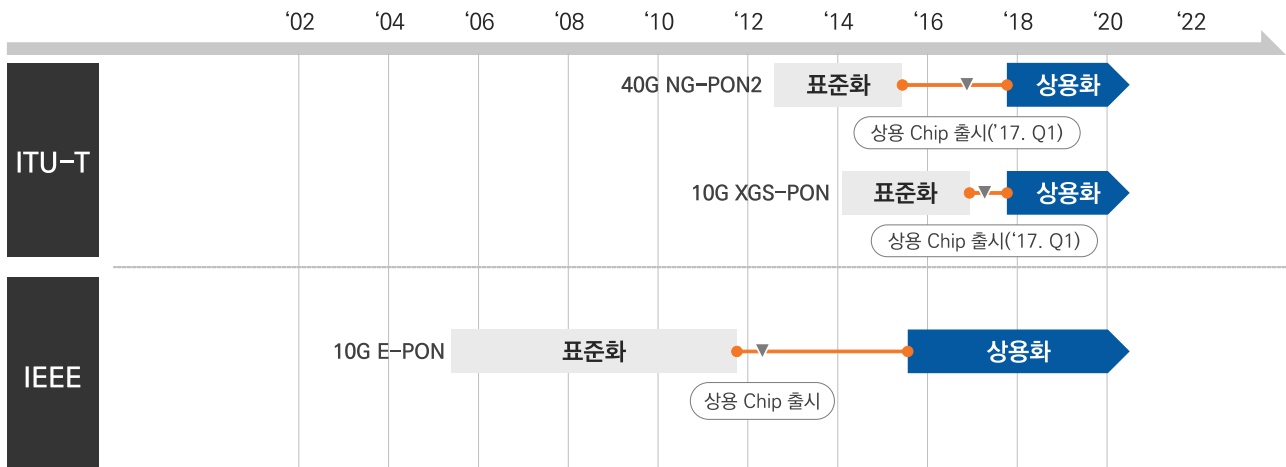
광 가입자망에 대한 사업자의 투자가 감소됨에 따라 완전히 새로운 기술을 도입하기 보다는 기존의 G-PON 서비스와 공존할 수 있는 호환 가능한 기술로 NG-PON2 표준화가 진행되었다.

- NG-PON1 표준은 상향 속도에 따라 XG-PON1(XG-PON)과 XG-PON2(XGS-PON)로 구분된다. XG-PON1은 하향 10Gbps, 상향 2.5Gbps 속도를 제공하고, XG-PON2는 상/하향 대칭적으로 10Gbps 속도를 제공한다. XG-PON2는 양방향으로 동일한 속도를 제공하는 대칭성을 강조하여 XGS-PON (10G Symmetrical PON)으로도 불린다. XG-PON1은 10G급 PON 기술의 개발 초기에 상향 속도를 2.5Gbps 이상으로 증가 시킬 경우 ONU의 광모듈의 가격이 상승할 것을 우려하여 상/하향 비대칭 속도의 파장을 사용하도록 규정하였다.
- 10G-GPON(XG-PON) 표준 완료 이후 차세대 광가입자망 기술 (NG-PON2) 표준화를 위해 각 통신사업자의 요구사항을 조사하여 2010년 후반부터 NG-PON2 표준화를 진행하였다. NG-PON2 표준화 논의 결과 총 전송 용량 40Gbps, 전송 거리 40km 및 PON 선로 당 64 가입자 수용 등이 통신사업자의 NG-PON2에 대한 주요 요구사항으로 도출되었다. 이러한 요구사항을 만족하는 기술로 40Gbps TDM-PON, WDM-PON, TWDM-PON 및 OFDM-PON (Orthogonal Frequency Division Multiplex-PON) 등이 후보 기술로 제안되었으나, 기술 성숙도 및 투자 비용 등을 고려하여 TWDM-PON과 파장가변 PtP WDM-PON이 표준 기술로 선정되었다.
- TWDM-PON은 OLT에서 ONU로 송신되는 하향 신호의 용량을 40Gbps 이상 지원하기 위해 서로 다른 4개 파장의 10Gbps 광 신호를 WDM 방식으로 송신한다. TWDM-PON은 WDM 방식을 사용하므로 ONU는 파장 가변 기능이 있어야 한다. 이를 위해 TWDM-PON의 ONU 광모듈은 4개 파장의 광 신호들 중 하나의 광 신호를 선택하기 위한 파장가변 광송/수신기를 사용한다.
- NG-PON2는 기존의 G-PON 및 XG-PON 서비스와의 상호간섭을 피하기 위하여 기존의 서비스가 점유하고 있는 광 파장 대역을 회피하여 사용하고 있으며, 이를 통해 아래 그림과 같이 G-PON, XG-PON 서비스와 NG-PON2 서비스가 하나의 ODN을 이용하여 공존할 수 있다.



[그림 9. G-PON 및 XG-PON 서비스와 NG-PON2 서비스의 공존]

○ IEEE에서는 10G 기술인 10G-EPON의 표준화를 2000년대 중반부터 시작하여 '11년에 완료하였으나 ITU-T의 경우 XG-PON으로 진행하다가 IEEE 대비 늦은 표준화 일정과 낮은 속도로 인하여 파장당 10G, 최고 40G까지 제공할 수 있는 NG-PON2 표준화를 XGS-PON 표준화에 앞서 먼저 진행하였다.

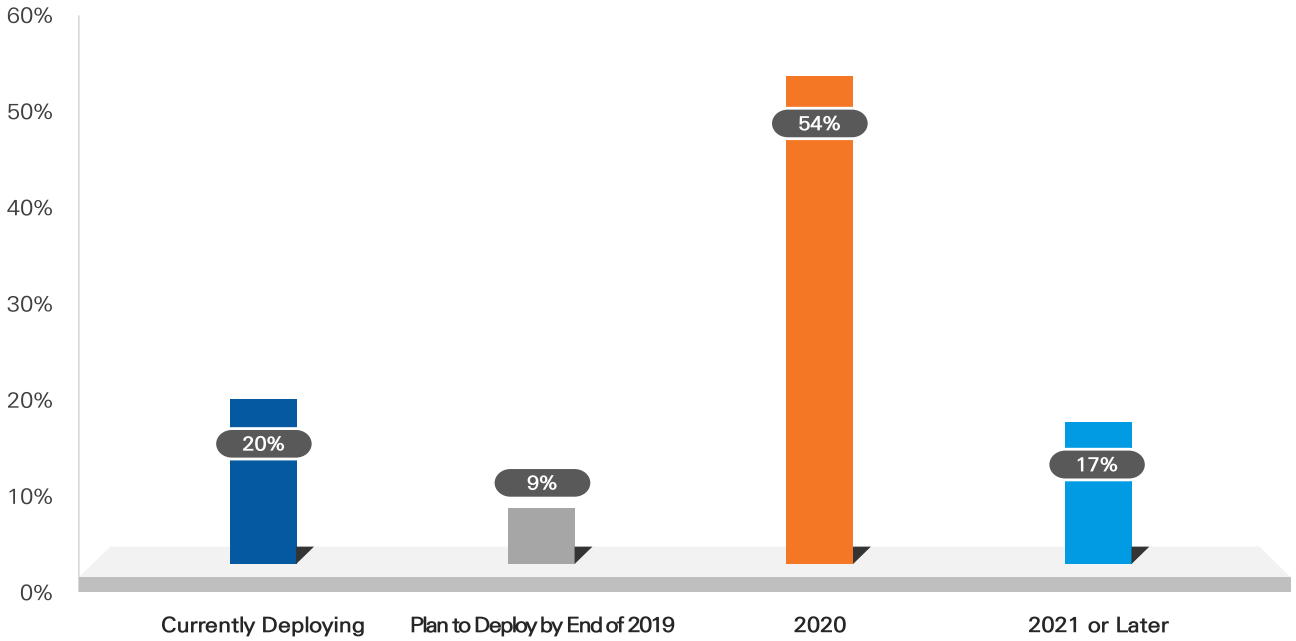


[그림 10. 10Giga PON 기술 상용화]

○ NG-PON2는 Tunable optic module을 사용하여 파장을 변환하는데 Tunable optic module의 기술 성숙도 및 높은 가격으로 인하여 상용화가 지연되었다.

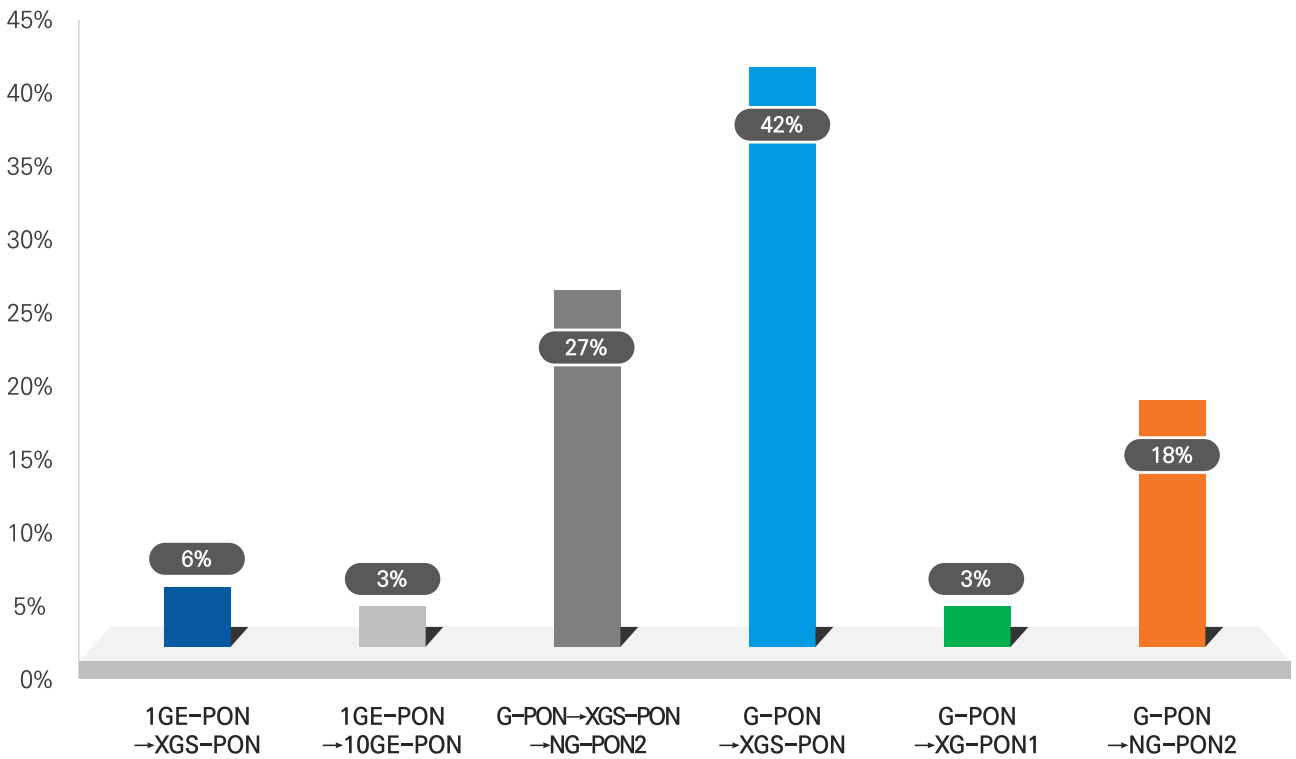
다. 10G 트렌드

○ 초고화질, 초고용량 데이터 증가로 국내 뿐 아니라 해외에서도 본격적인 10G 장비의 설치 시대가 도래한 것으로 보인다.



[그림 11. Timing of 10G PON Deployment]

○ 글로벌 사업자 동향을 보면 G-PON 계열 기술인 XGS-PON 및 NG-PON2로의 고도화를 선택하는 경우가 E-PON 기술을 선택하는 경우보다 훨씬 많다.

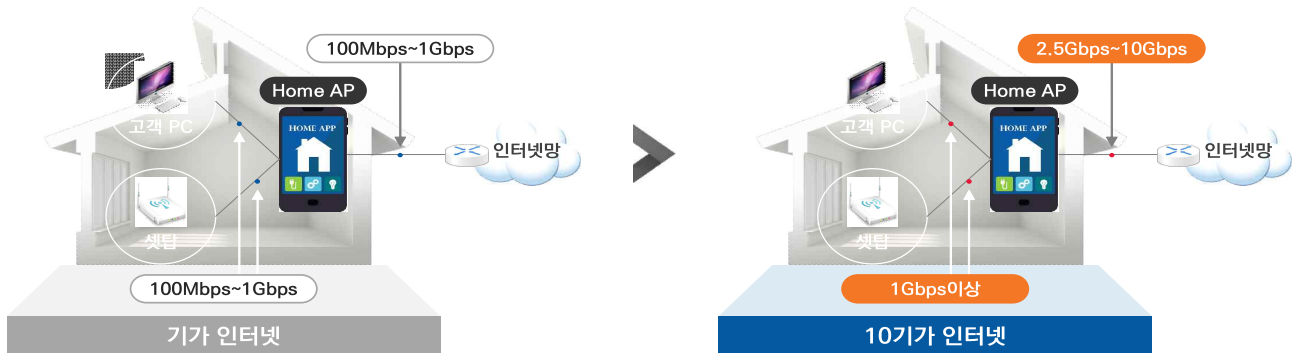


[그림 12. 10G PON Migration 계획(N=45)]

○ 가입자망 Trunk 구간의 10G 전송이 가능한 PON 기술 및 가입자 구간의 10G급 기술 표준화로 가입자 개인에게 10G급 서비스를 제공할 수 있는 기반이 마련되었다.

구분	100M	1G	2.5G	5G
이더넷	100BASE-TX	1000BASE-T	2.5G BASE-T	5G BASE-T
표준 기술	IEEE 802.3u	IEEE 802.3ab	IEEE 802.3bz	
표준 일정	1995년	1999년	2016년	

○ 정부에서는 ‘17년 7월 국정 운영 5개년 계획 발표를 통해 ‘18년 10기가인터넷 상용화를 정부 100대 국정과제 중 하나로 선정하였으며 과기정통부는 ‘17년 6월 10기가인터넷 기본계획 전담반 구성 후 ‘17년 12월 인터넷 기본계획 공표를 통해 10기가 인터넷 서비스를 “단말별 1Gbps 이상, 가구별 2.5Gbps 이상 최대 10Gbps급을 제공하는 서비스”라고 정의하였다. 이에 통신사들은 ‘18년 하반기 10기가인터넷을 상용화하여 서비스 제공 중에 있다.



[그림 13. 1G 인터넷과 10G 인터넷 서비스 정의]

3) 25G/50G 표준화 동향

○ 가입자망 기술은 10G를 넘어 25G/50G 용량을 전송할 수 있는 차세대 기술 표준화를 완료하였거나 진행 중에 있다.

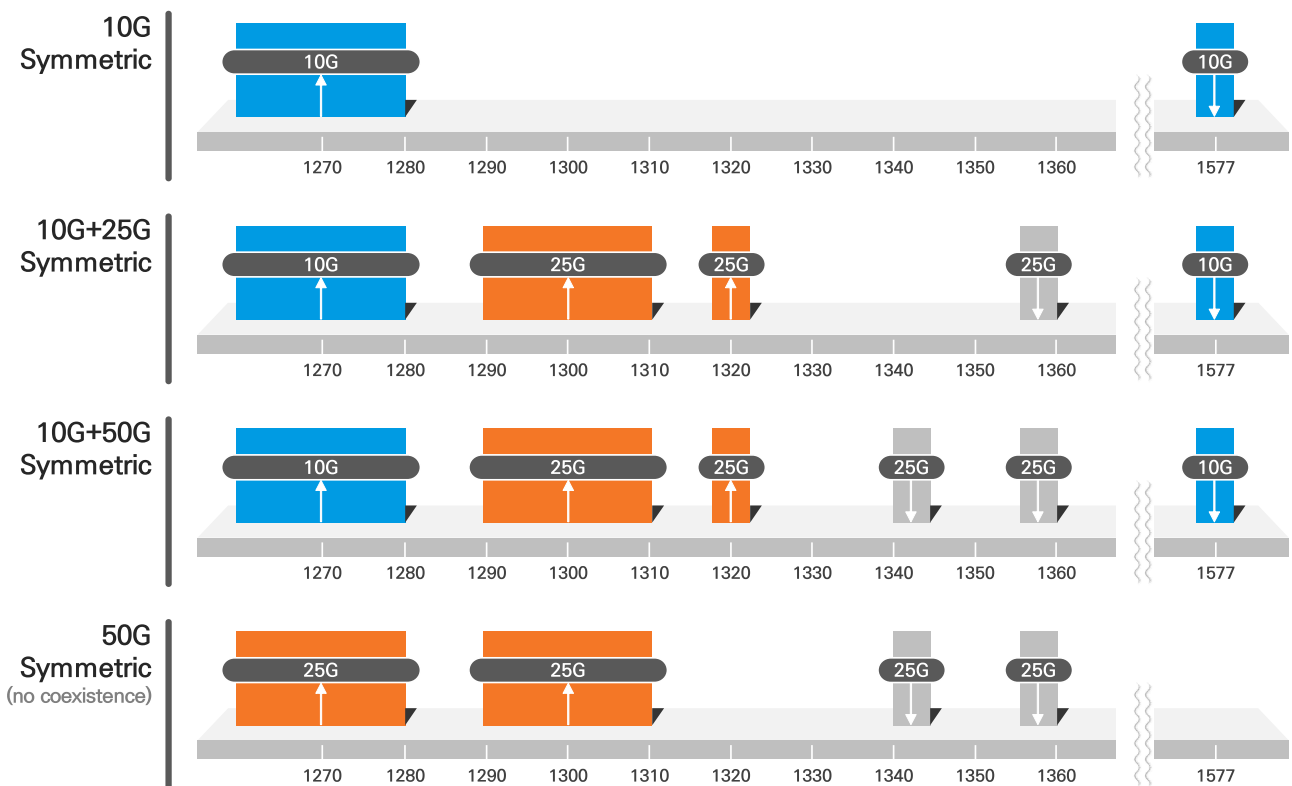
가. 25G/50GE-PON

○ IEEE에서는 2020년 6월에 IEEE 802.3ca 25G/50GE-PON 표준을 승인하였다. 이 표준은 채널당 25Gbps를 지원하고, 2개 채널을 사용해서 50Gbps까지 지원할 수 있는 Ethernet 기반의 PON에 대한 상세한 기술 규격을 정의하고 있다.

○ NG-PON2와는 달리 IEEE 802.3ca PON은 ONU에서 Tunable 광모듈을 사용하는 대신 각 파장 별로 고정된 광모듈을 사용한다. 이를 통해 NG-PON2에 비해 낮은 비용으로 25G/50G EPON 망을 구축할 수 있게 되었으며, 채널당 10Gbps를 지원

하여 최대 40Gbps를 지원할 수 있는 NG-PON2에 비해 고속(50Gbps)의 서비스를 제공할 수 있다. 25G/50G-EPON은 기존의 10G-EPON의 ODN을 함께 사용하여 동시에 서비스를 제공할 수 있도록 광파장 규격을 표준화하였다.

- 표준화 초기에 IEEE P802.3ca TF는 4개의 25G-EPON 채널을 묶어서 최대 100Gbps까지 서비스를 제공하는 것을 목표로 하였으나, 여러 기술적인 제약사항과 경제적인 요소를 고려하여 4채널을 이용한 100Gbps 규격의 표준화는 포기하였다.



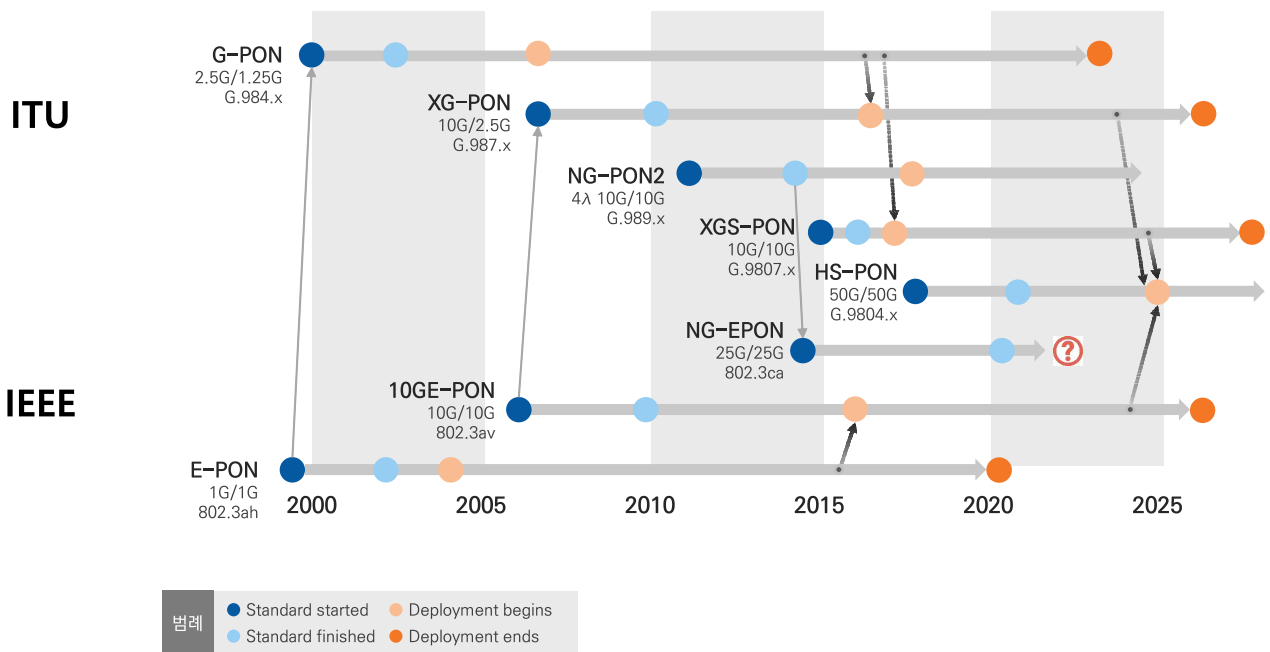
[그림 14. 25GE-PON 파장]

나. G.HSP(Higher-Speed PON)

- ITU에서는 광파장 별 10Gbps를 제공하는 NG-PON2 이후의 PON 기술로 G.HSP (Higher Speed PON)에 대해 논의를 진행하고 있다. G.HSP 논의 중 가장 중요한 결정 사항은 광 파장 당 속도를 결정하는 것이다. 처음에는 광파장 당 20Gbps, 25Gbps, 50Gbps 및 100Gbps의 속도가 옵션으로 논의되었다. PON 설치 및 운용의 경험을 고려할 때 다음 세대의 PON 기술을 대규모로 설치하는 시간 간격은 대략 7~8년이며, 다음 세대 PON의 속도 차이도 4배 정도 향상되었다. 이 외에도 기술적인 성숙도, 장비 플랫폼의 발전 및 서비스 요구사항 증가와 같은 점을 고려할 때 차세대 PON 기술은 기존의 XGS-PON 대비 4 ~ 5 배 정도의 속도 증가가 필요

할 것으로 분석되었다.

- 차세대 PON 기술에서 광파장 당 25Gbps로 진화하는 것은 10Gbps와 속도 차이가 크지 않아 망 사업자들이 25G-PON을 설치한 후 다시 다음 세대의 PON 장치 설치가 필요할 수 있으며, 이로 인해 막대한 투자비가 중복적으로 투입될 것이 우려된다. 반면에 100Gbps는 속도 관점에서는 만족스럽지만 현재의 PON 산업의 관점에서 해당 기술을 구현하기가 너무 어려울 것으로 예상된다. 이러한 여러 가지를 고려하여 ITU에서는 차세대 PON 기술은 광 파장 당 50Gbps를 지원하는 것으로 결정하였다.
- HSP 표준의 중요한 특징 중 하나는 차세대 PON 기술로 원활한 Upgrade가 가능하도록 하기 위해 기존의 Legacy PON 시스템과 HSP 시스템이 동일한 ODN에서 동시에 서비스가 가능하도록 표준화하는 것이다. 차세대 PON 망으로 Upgrade 할 때 기존 시스템의 서비스 중단을 최소화해야 하므로, HSP는 G-PON, XG-PON/XGS-PON 및 10G-EPON과 같은 기존 PON 세대의 기술을 지원하는 다양한 업그레이드 조합에 대해서도 서비스 공존이 가능하도록 표준화하였다. PON 기술 진화의 여러 가능한 발전 경로는 아래 그림과 같다.

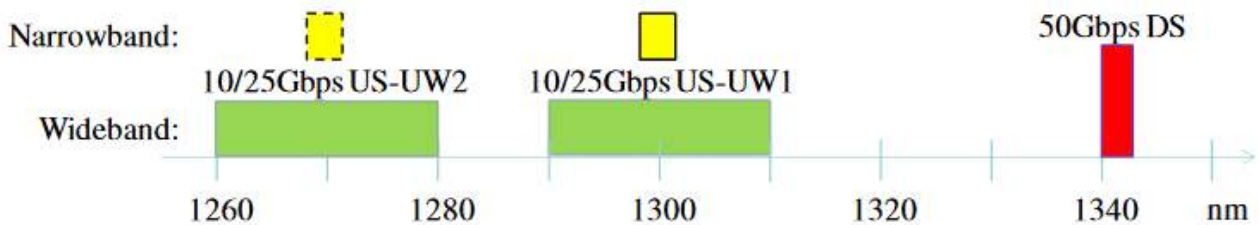


[그림 15. ITU and IEEE standards history]

- XG-PON/XGS-PON 시스템은 50G TDM PON으로 쉽게 업그레이드 가능하며, 두 개의 PON 세대의 기술이 동일 ODN에서 서비스 될 수 있다. 이는 대부분의 망

사업자들에 해당되는 PON 서비스 업그레이드 시나리오이다. 또한 G-PON 시스템을 포함하여 세 개의 PON 세대 기술이 함께 공존하는 것도 가능하다. 하지만, 이를 위해 G-PON 시스템의 경우에 G.984.5 [7]에 정의된 Narrow Upstream 광 파장 옵션을 이용해야 한다.

- 기존 서비스와의 공존을 위해 50G TDM PON에서 사용하는 광 파장 대역은 아래 그림과 같이 거의 표준화가 완료되었다. 50G TDM PON의 하향 파장은 1340 ~ 1344nm로 합의되었다. 다만, 50G TDM PON의 상향 파장은 여러 옵션이 정의되었다. 이유는 각 망 사업자 별로 서로 다른 Legacy PON 시스템을 운용하고 있기 때문이다. 일부 망 사업자는 G-PON 시스템과의 서비스 공유에 관심이 큰 반면에 다른 일부는 G-PON 시스템과의 서비스 공유가 필요하지 않은 경우가 있다.

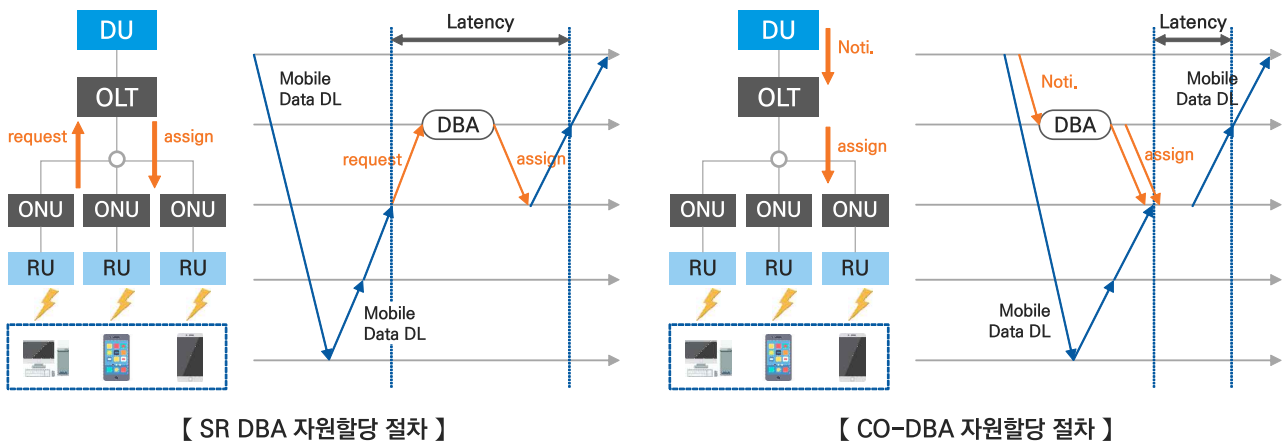


[그림 16. 50G PON 파장]

- 이처럼 다양한 서비스 공존 요구사항을 반영하여 G.HSP 표준에서는 2가지 옵션을 채택하였다.
 - Option 1: WDM을 사용하여 XG/XGS-PON 및 10G-EPON과 함께 서비스 하는 경우 Wideband 1290 ~ 1310nm, Narrowband는 1298 ~ 1302nm를 사용
 - Option 2: GPON의 상향 파장으로 Narrow (1300 ~ 1320nm) 및 Reduced (1290 ~ 1330nm) 대역을 사용하는 G-PON과 함께 서비스하는 경우 Wideband (1260 ~ 1280nm) 를 사용 (Option 2의 경우 Narrow band 옵션에 대해서는 아직 논의 진행 중이다.)
- Wideband (20nm) 옵션은 Narrowband에 비해 저비용의 ONU용 광모듈을 구현할 수 있기 때문에 표준으로 정의되었으며, 꼭 필요한 경우가 아니면 Narrowband 보다는 Wideband를 사용할 것으로 예상된다.

다. CO-DBA

- 25G/50G 기술은 10G 초고속인터넷 및 무선 5G의 트래픽을 동시에 제공하기 위해 검토되고 있다. 기존에는 유선과 무선 트래픽 처리를 위하여 별도의 광케이블을 시설하여 서비스를 제공하는 것이 일반적인 방식이었으나 최근에는 증가하는 투자비를 줄이고 광케이블 사용 효율을 높이기 위하여 PON 기술을 이용해 하나의 광케이블에 유선과 무선을 동시에 전송하는 방법을 검토 중이다.
- PON 구간에 무선 트래픽을 전송하고 5G 저지연 서비스 기준을 만족하기 위해서는 상향의 무선 트래픽에 대한 지연 없는 처리가 중요하며, PON 에서 유선 및 무선 트래픽의 동시 처리를 위해 기존 SR DBA (Status Reporting Dynamic Bandwidth Allocation) 방식에서 CO-DBA (Cooperative-Dynamic Bandwidth Allocation) 기술 방식을 개발 검토 중이다.

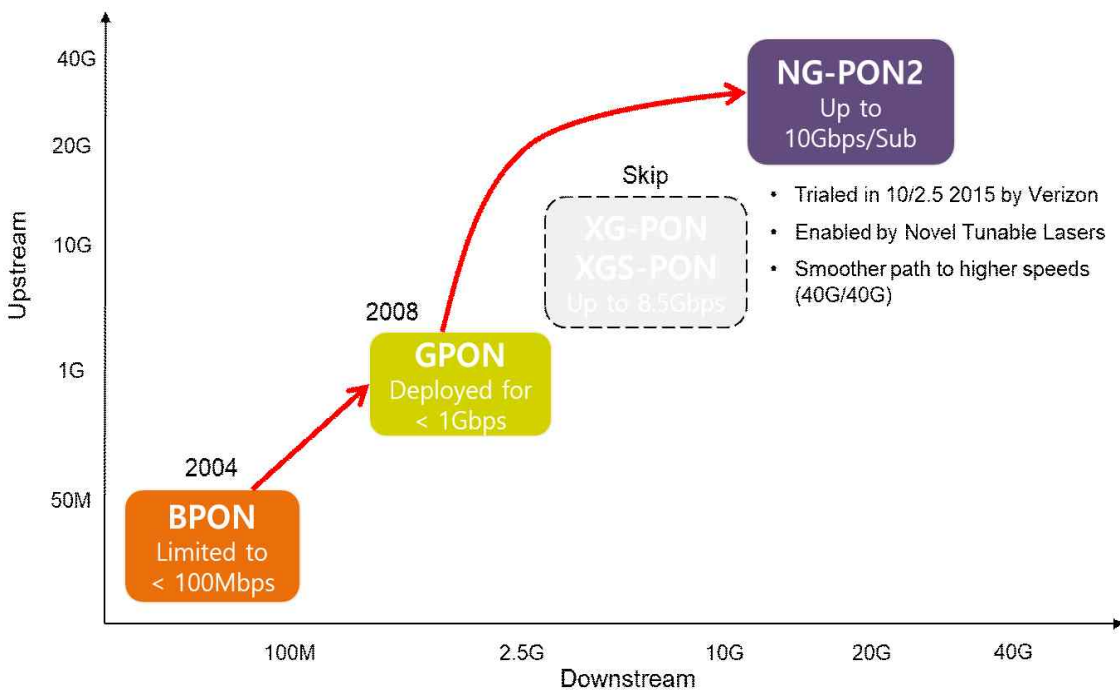


[그림 17. 기술방식별 Dynamic Bandwidth Allocation 절차]

(3) 글로벌 사업자 동향

가. Verizon

○ Verizon은 G-PON 이후에 XG-PON/XGS-PON 서비스를 대신하여 NG-PON2 서비스로 업그레이드를 진행하고 있으며, Verizon의 5G 망에도 NG-PON2 기술을 도입하여 하나의 광 선로를 통해 5G 모바일 서비스, 비즈니스 서비스 및 가입자 서비스를 함께 제공할 예정이다.

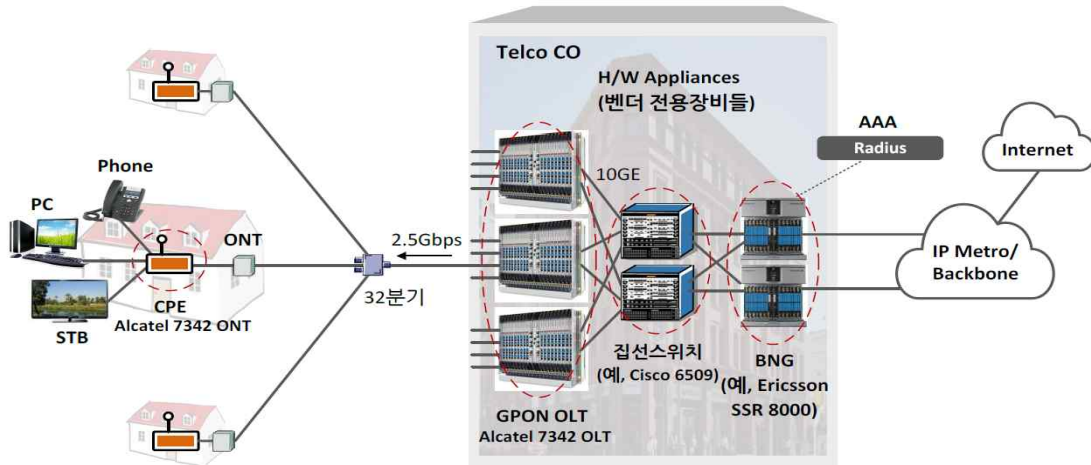


출처 : Verizon, Verizon PON Deployment and the Strategy for PON Evolution, June 2018

[그림 18. Verizon의 광 액세스 망 진화 전략]

나. AT&T

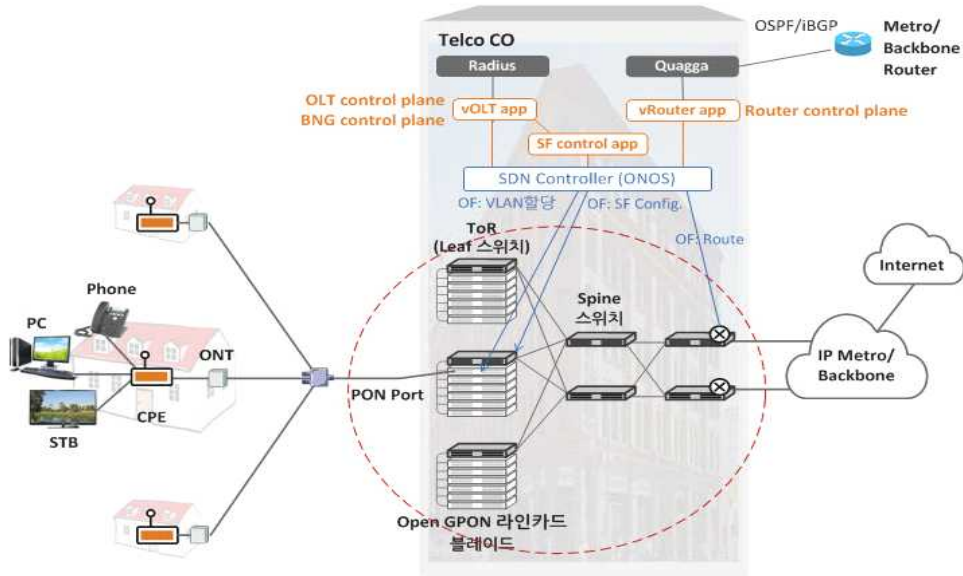
○ AT&T는 G-PON 시스템을 이용하여 GigaPower라는 Giga 인터넷 서비스를 2014년부터 제공하기 시작했으며, 지속적으로 가입자를 늘여가고 있다. 이 과정에서 AT&T는 고가의 Alcatel(현재 Nokia) OLT 장비로 인한 고비용의 CAPEX와 복잡한 기능을 수행하는 태내 L3 CPE의 장애 관련 AT&T 기사의 고객 방문으로 인한 OPEX 비용의 증가를 줄이기 위해 새로운 가입자 액세스 망 구조를 고민하게 되었다.



출처 : H.J.Son, Chris Yoo, "AT&T's CORD-the ultimate architecture born after decades of innovation in the communications network"

[그림 19. AT&T의 Giga Internet 망 구조]

- AT&T는 기존 망 구조에서 발생하는 CAPEX와 OPEX 비용을 줄이기 위해 가상화 기술을 활용한 CORD (Central Office Re-architected as a Datacenter) 구조를 도입하고, XGS-PON 서비스는 가상화 기술을 기반으로 제공하고 있다.
- CORD 구조에서는 OLT 장비를 분리하여 스위칭 보드와 PON 라인 카드를 Vendor 종속성이 없는 H/W 기반의 White-Box 스위치 및 White-Box OLT 장치로 구현하고, 필요한 제어 기능은 가상화하여 x86 서버에서 동작하도록 구조를 변경하였다. 이를 통해 AT&T의 가입자 액세스 망은 아래 그림과 같이 변경된다.

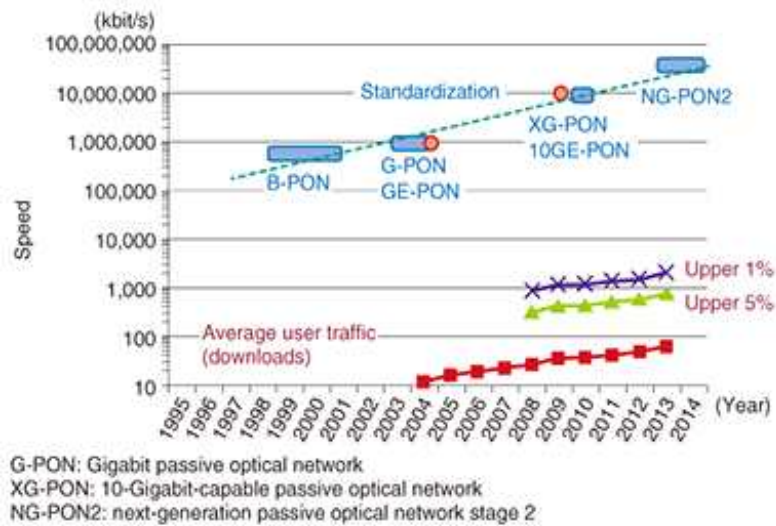


출처 : H.J.Son, Chris Yoo, "AT&T's CORD-the ultimate architecture born after decades of innovation in the communications network"

[그림 20. AT&T의 CO 내부 구조 - OLT, Ethernet Switch 및 BNG의 Disaggregation]

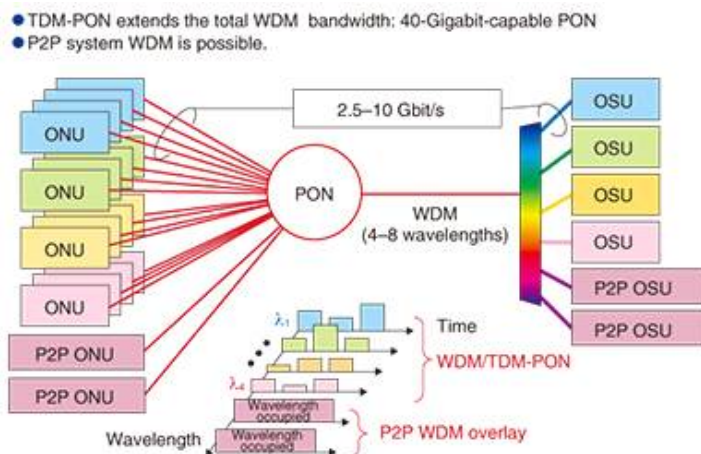
다. NTT

○ NTT는 유선 가입자 망의 FTTH 서비스를 위해 E-PON 시스템을 도입하여 운영하고 있으며, 고속 인터넷 서비스를 위해 10G-EPON 시스템의 도입을 시작하였다. 하지만, NTT에서 파악한 일본 내의 유선 가입자 망에서의 평균 가입자 트래픽 사용량은 가파르게 증가하고 있지 않으며, 현재의 시스템으로도 사용자의 트래픽 사용량을 충분히 제공할 수 있을 것으로 판단하여 유선 가입자 망에 차세대 PON 기술의 도입을 빠르게 진행하지는 않을 것으로 보인다.



[그림 21. 가입자 망의 사용자별 평균 트래픽 동향 - 출처 : [18]

○ NTT는 Mobile 망에서의 데이터 요구량은 급격히 증가하고 있고, 5G 망으로 진화할 경우 셀 크기 축소로 밀집된 셀 운용이 필요하며, 무선 주파수 대역의 확장으로 인해 더 많은 광 선로가 필요할 것으로 예측하고 있다. 따라서, 이러한 기술적 요구사항을 만족시키기 위해 NTT에서는 5G 망에 NG-PON2 시스템을 도입하여 운용하는 것을 고려하고 있다.



[그림 22. NG-PON2의 특징]

- NG-PON2 시스템은 하나의 광 선로에 4개의 광 파장을 다중화하여 40Gbps까지 서비스 가능하지만, 단순히 40Gbps를 지원하는 PON 시스템이 아니다. NG-PON2에서는 파장을 동적으로 설정하여 트래픽 양에 따른 유연한 대역폭 관리가 가능하다. 또한 NG-PON2에서는 PtP WDM 기술도 지원하여 항상 고정 대역폭의 보장을 필요로 하는 기지국에도 서비스를 제공할 수 있다.
- NTT는 5G 망에서 필요로 하는 셀의 밀집화 및 이로 인한 많은 광 선로의 추가 확장에 대응하기 위해 PON 기술을 도입할 예정이며, 5G 망 운용에 필요한 유연한 트래픽 관리와 여러 장점을 이유로 5G 망에 NG-PON2 기술의 도입을 고려하고 있다.

라. BBWF 2020으로 본 글로벌 동향

○ 화웨이

- 화웨이에서는 FMC(Fixed Mobile Convergence)가 글로벌 트렌드이며, 이동 통신 사업자가 풀서비스 사업자로 전환하려면 FTTH 네트워크 구축이 필요하다고 하고 있다.
- Blade OLT, Digital Quick ODN, AI ONT 등으로 구성된 에어폰 솔루션이 모바일 사업자가 고품질 기가비트 광섬유 광대역 서비스를 신속하게 개발할 수 있도록 돕는다고 얘기하고 있으며, 에어폰이 광섬유 구축 비용 및 ROI 기간을 대폭 단축해준다고 홍보하고 있다.
- 이 에어폰 솔루션을 브라질 통신업체 Oi와 공동 출품하여 Best Fixed Access Solution Awards를 수상하였다.

○ 노키아

- 노키아에서는 고정 연결성(Fixed connectivity)의 중요성을 얘기하고 있으며, 초 광대역 솔루션, 가정 내 네트워킹, WiFi, AI, 가상화 등 다양한 영역에 대한 세션 발표 및 전시를 진행하였다.
- 다양한 영역 중 광 가입자망 가상화 플랫폼에 대한 언급이 많았는데, 실제로 세계 양대 가입자망 가상화 프로젝트인 OB-BAA(Open Broadband-Broadband Access Abstraction)와 VOLTHA(Virtual OLT Hardware Abstraction) 프로젝트에 모두 참여 중에 있으며, Legacy 가입자망 장치와 Control Plane이 분리된 White-Box 장치를 모두 수용하고자 하고 있다.

○ ZTE

- ZTE는 IEEE 802.11ax PHY 워킹그룹의 chairman 으로, WiFi 6 관련 77개 표준을 제안하였다고 한다.
- WiFi 6의 throughput은 9.6Gb/s 으로 WiFi 5의 6.9Gb/s 보다 약 1.4배 높아 고화질 UHD 영상도 커버 가능하며, 낮은 Latency와 보다 많은 연결이 가능하다고 강조하고 있다.
- 업계 최초로 WiFi 6 에 스마트 간섭 방지 기술을 적용 개발하였다고 하며, 특별한 추가 안테나를 통해 아주 민감하게 Latency 관리를 한다고 한다.
- 이외에도 타사보다 3dB 강한 광 파워 덕분에 WiFi 범위가 넓는데 이로 인해 많은 스마트홈 디바이스 연결이 가능하다고 하고 있다.

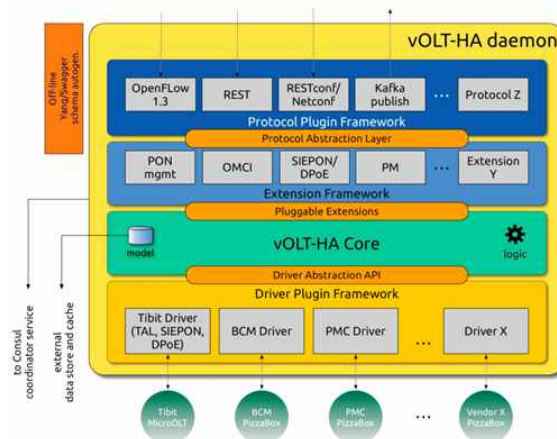
○ DZS

- DZS는 차세대 가입자망 기술로 10G, G.fast, Optical LAN을 제시하였다.
- WiFi를 중심으로 모든 장치들의 연결이 될 것이며, 초저지연 기술이 적용된 5G의 중요성을 강조하였다.
- SDN/NFV 기반의 망 가상화가 가속화 될 것이라고 예상하고 있다.

(4) 광 가입자망 가상화 기술 동향

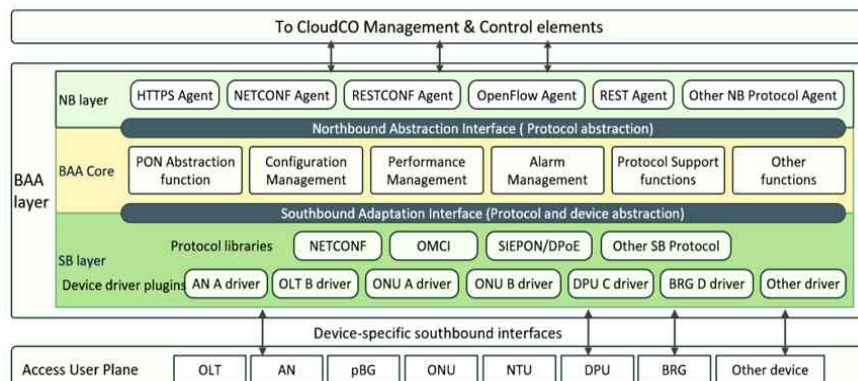
가. 광 액세스 추상화 기술

- 광 액세스 추상화 기술은 가입자망 장비의 물리적 기능을 논리적으로 추상화하는 기술이다. 추상화된 상위 명령은 추상화 모듈을 통하면 장비의 세부 설정으로 변환된 후 전달되어 실제 역할을 수행한다. 광 액세스망의 추상화를 위한 대표적인 오픈소스 프로젝트는 ONF의 SEBA/VOLTHA 와 BBF의 OB-BAA가 있다.
- SEBA(SDN Enabled Broadband Access)/VOLTHA (Virtual OLT Hardware Abstraction) : VOLTHA는 ONF (Open Networking Foundation) 의 광 액세스 추상화 프로젝트로 다양한 멀티 벤더 장비를 동시에 수용하여 단일 SDN 컨트롤러로 제어/관리하는 것을 목표로 하고 있다. 다양한 벤더들의 다양한 액세스 기술(GPON, XGS-PON, NG-PON2 등)의 OLT들을 단일 SDN (Software Defined Network) 컨트롤러로 제어/관리할 수 있게 해주는 소프트웨어인 것이다. VOLTHA는 2016년 9월 AT&T의 가입자망 가상화 구조인 R-CORD로 시작되어 여러 사업자의 참여로 2017년 5월 VOLTHA라는 오픈소스 프로젝트로 발전하였다. 2017년 9월 v1.0으로 시작하여 현재는 v2.5 까지 출시되었다. SEBA는 광 액세스의 가상화를 위한 오픈소스 프로젝트로 VOLTHA 와 같은 통신 사업자 가입자망 가상화 시스템을 실제 구현하기 위한 플랫폼이다. 현재 v2.0이 출시되어 있다.



[그림 23. VOLTHA 소프트웨어 구조]

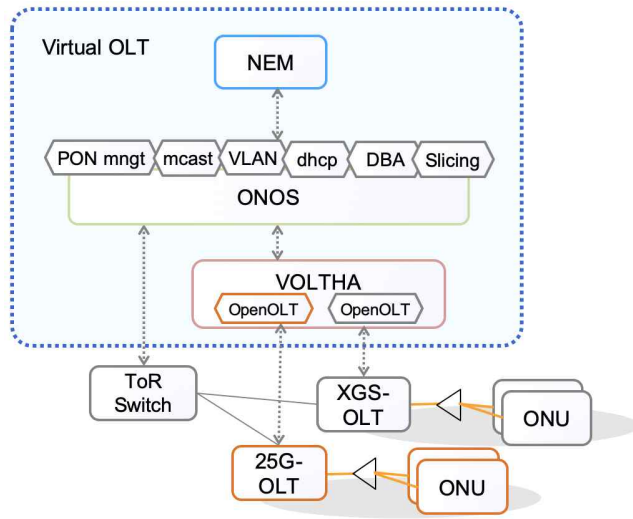
- OB-BAA (Open Broadband-Broadband Access Abstraction) : OB-BAA는 BBF (Broadband Forum) 에서 주관하는 광 액세스 추상화 프로젝트로 OLT/ONU 와 같은 액세스 장치를 수용하는 것을 목표로 하고 있다. Cloud CO 구조에서 유선 가입자망의 다양한 장비를 통합 관리/제어하기 위해 기능을 추상화 하고 표준 interface를 제공하는 것이다. 현재 v3.1 이 출시되어 있고 v4.0 개발 을 진행하고 있다.



[그림 24. OB-BAA 소프트웨어 구조]

- SEBA/VOLTHA와 OB-BAA는 크게 보면 광액세스 추상화/가상화 라는 같은 목적 을 가지고 있는 프로젝트이지만 세부적으로 보면 조금 다른 개념을 가지고 있다. 우선 SEBA/VOLTHA는 기존 레거시 액세스 장치는 고려하지 않고 신규 White-Box OLT(vOLT) 만 수용한다. 여기서 White-Box OLT란 기존 Control Plane과 Data Plane으로 구성되어 있는 OLT에서 Control Plane은 가상화하고 Data Plane 기능만 남아 있는 OLT를 의미한다. 즉, OLT 제어/관리 기능은 분리 하여 가상화되고 Data 전송 기능만 남은 OLT 인 것이다. White-Box OLT는 기능 추가, 업그레이드 등의 작업을 SW를 통해 일괄 진행할 수 있고 벤더별 같은 규격으로 제작되기 때문에 망 운용의 효율성과 안정성의 확대 효과를 기대할 수 있다. 이에 반해, OB-BAA는 VOLTHA와 달리 OLT의 Data Plane과 Control Plane의 분리를 반드시 요구하지 않는다. 신규 분리형 장비와 기존의 일체형 장비를 모두 수용하는 구조로 진행하고 있다. 기존에 운용 중이었던 Legacy OLT도 포함하여 한번에 제어/관리하는 개념이기 때문에 범용성, 통합 망 운용 측면에서 강점이 있다.
- 현재 글로벌 벤더인 Nokia에서 주도적으로 OB-BAA 및 SEBA/VOLTHA를 추진 하고 있으며, 각 프로젝트의 성격이 상이한 부분이 있기 때문에 국가별, 사업자별 로 다른 선택을 하고 있다. Nokia는 두 프로젝트를 모두 추진 중이고, 화웨이를

필두로 한 중국의 사업자들은 광액세스 가상화를 고려하지 않아 OB-BAA만 고려하고 있으며, AT&T는 SEBA/VOLTHA를 도입하여 운용 중에 있다.



[그림 25. SEBA 기반 Virtual OLT 구조]

구분	장점	단점
(A) VOLTHA	- 기술 성숙도 높음	- WB-OLT 만 수용 - Full SW 지원 안됨
(B) SEBA	- Full SW 스택 지원	- WB-OLT 만 수용
(C) BAA	- Legacy I/F 수용	- Full SW 지원 안됨
(D) VOLTHA/BAA	- WB-OLT 및 Legacy OLT 모두 수용	- 구현 복잡 및 정합이 어려움
(E) SEBA/BAA	- WB-OLT 및 Legacy OLT 모두 수용 - 표준 단체 정합 추진	- 구현 복잡

나. 광 액세스 가상화 국내 현황

- 국내 통신사 중에서는 SK군 (SKT&SKB) 만 국책사업 참여를 통해 광 액세스 가상화 프로젝트를 진행 중인 것으로 알려져 있다. 아직 상용화 단계는 아니며, R&D 차원의 설계 및 개발 단계이다.

[참고] B5G 광 액세스 고속화 및 슬라이싱 기술 과제

- 과학기술정보통신부 주관의 5개년(2019~2023년) 연구개발 국책과제로 유/무선 서비스를 하나의 광 액세스망에 수용하기 위해 고속화(25G), 가상화, 초저지연 등의 기술 개발을 목표로 한다. 해당 과제에서 광 액세스 가상화 기술로 SEBA/VOLTHA를 채택했는데 이는 ETRI와 통신사업자, 장비사업자가 함께 후보 구조안을 도출하고 장단점을 분석하여 최종 선택한 것이다.

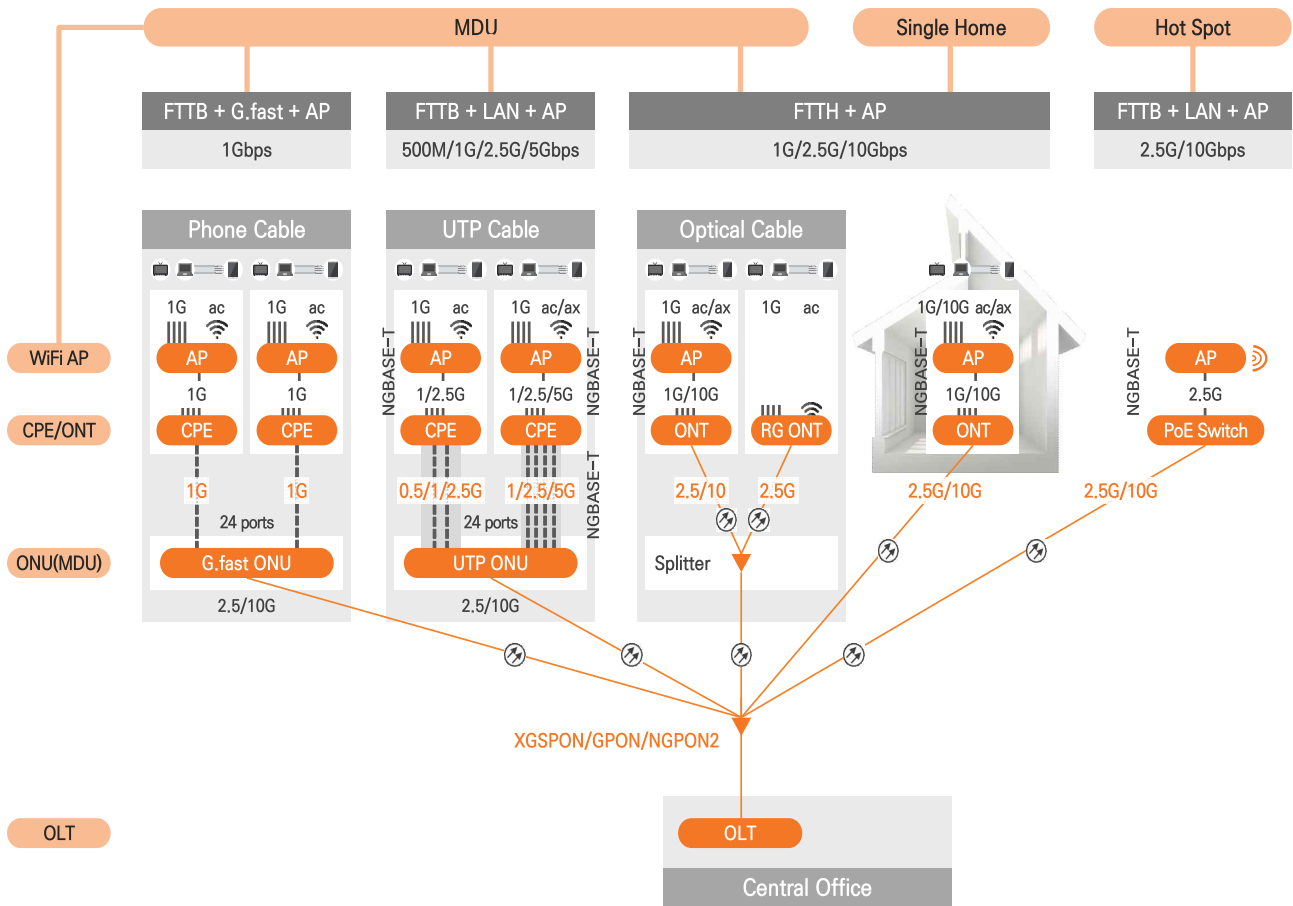
참 고 문 헌

- [1] HYC Co., Ltd, "A comprehensive Overview of APON, BPON, EPON, GPON", <http://hycsystem.medium.com/a-comprehensive-overview-of-apon-bpon-epon-gpon-a008ec9562ab>
- [2] 김광옥 외, "GPON 기술 표준 규격 및 개발 동향," ITFIND, <http://www.itfind.or.kr/WZIN/jugidong/1232/123201.htm>
- [3] Tomas Horvath et al., "Passive Optical Networks Progress: A Tutorial", MDPI, 2020. 07.
- [4] IEEE802.3av 10G EPON Standard
- [5] ITU-T Recommendation G.987 series
- [6] "Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): enhancement band," ITU-T Recommendation G.984.5, 2018, <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5/en>.
- [7] G.989: 40-Gigabit-capable passive optical network (NG-PON2) systems: Definitions, abbreviations and acronyms
- [8] G.989.1: 40-Gigabit-capable passive optical network (NG-PON2): General requirements
- [9] G.989.2: 40-Gigabit-capable passive optical network (NG-PON2) Physical media dependent (PMD) layer specification
- [10] G.989.3: 40-Gigabit-capable passive optical network (NG-PON2): TC layer specification framework
- [11] J. S. Wey, "The outlook for PON standardization: a tutorial," J. Lightwave Technol, 38, 31-42 (2020)
- [12] Dezhi Zhang, et. al., "Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization", 2020.03
- [13] FSAN, <https://fsan.org>
- [14] 윤빈영, 두경환, 김광옥, "차세대 광가입자망 표준화 동향", 전자통신동향분석, 2009.02.
- [15] 이한협, 이상수, 이종현, "차세대 유선 광가입자망 동향 분석", 전자통신동향분석, 2012
- [16] 이한협, 이상수, 정환석, 이종현, "40Gbps TWDM-PON 기술 및 표준화 동향", 전자통신동향분석, 2015

- [17] 정환석, 나용욱, 박찬성, 이준기, "광액세스 고속화 및 가상화 기술 동향", 전자통신동향분석, 2020.10
- [18] Akihiro Otaka, "Future Optical Access Technologies for Flexible Service Deployment," NTT Technical Review, 2015.03.
- [19] 유선통신서비스 가입자 통계, 과학기술정보통신부, 2020.09.
- [20] Broadbandtrends "Global Service Provider Survey, 2019 10G PON Deployment Strategies", 2019.11.
- [21] 방송통신산업기술개발사업(네트워크분야) 2019 연차보고서, ETRI 컨소시엄, 2019.12
- [22] Cisco 비주얼 네트워킹 인덱스 2017 ~ 2022년 전망 및 추세
- [23] SANDVINE, "The Global Internet Phenomena Report", 2020.10.

부 록 1

[가입자 망 구성도]

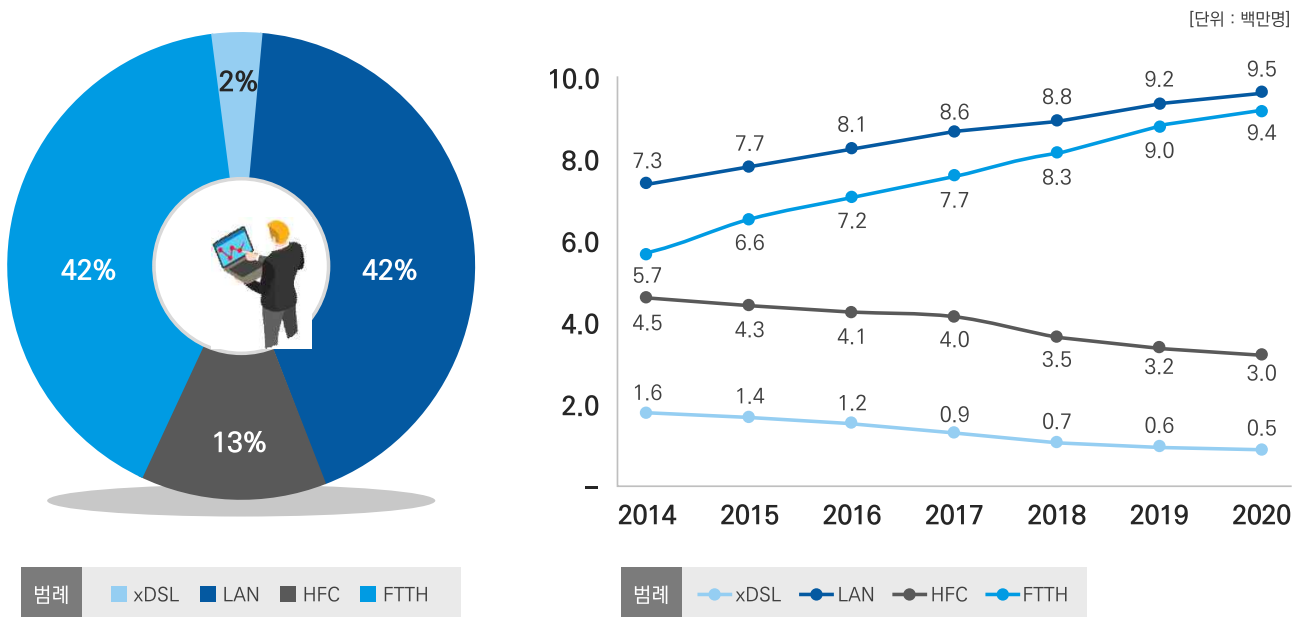


부 록 2

[가입자 환경과 트래픽]

가. 가입자 환경

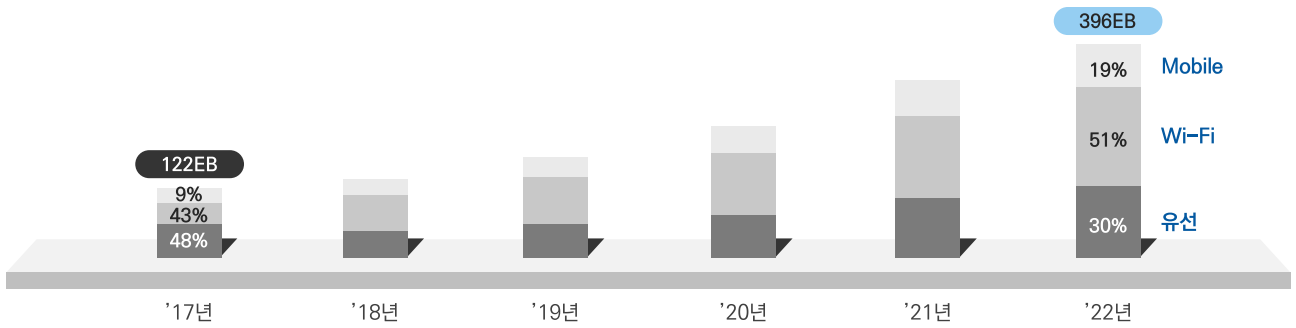
- 초고속인터넷과 IPTV 및 WiFi 서비스가 보편화 되고 고화질/대용량 콘텐츠 소비가 증가하면서 xDSL 서비스를 제공했던 전화선 및 동축케이블 등 기존 매체의 비중은 축소되고, 고품질, 광대역 전송이 가능한 광케이블 및 UTP 랜 케이블의 비중이 점점 확대되고 있다.



[그림 26. Last-mile 매체별 가입자 현황]

나. 가입자 트래픽

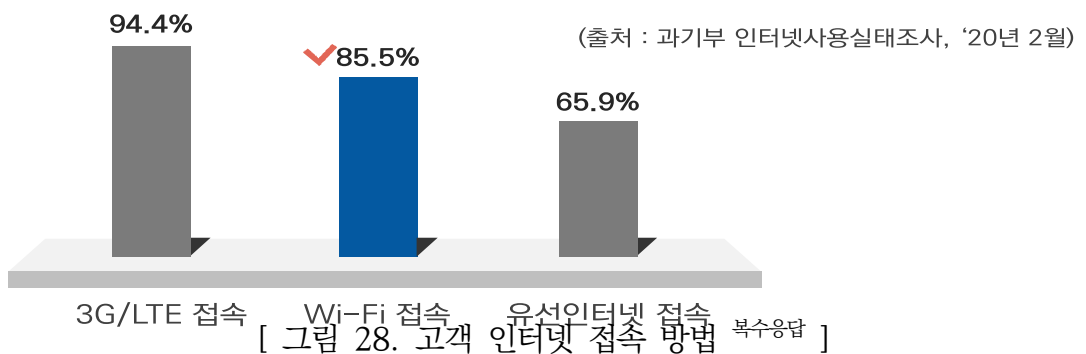
- 전 세계 IP 트래픽은 향후 5년간 3배 증가할 전망으로 2017년부터 2022년까지 전 세계 IP 트래픽은 26%의 연평균복합성장률 (CAGR)을 기록할 것으로 보인다. 2017년에 16GB였던 일인당 월 평균 IP 트래픽이 2022년에 50GB에 이를 것으로 예측된다.
- 가장 바쁜 시간 (최번시: 하루 중 가장 호가 많이 발생하는 1시간) 의 인터넷 트래픽은 평균 인터넷 트래픽보다 더 가파르게 증가하는 추세이며 2022년 최번시의 인터넷 트래픽은 2017년에 비해 4.8배 증가하고 평균 인터넷 트래픽은 3.7배 증가할 것으로 예상된다.



출처 : Cisco 비주얼 네트워킹 인덱스 2017~2022 전망 및 추세

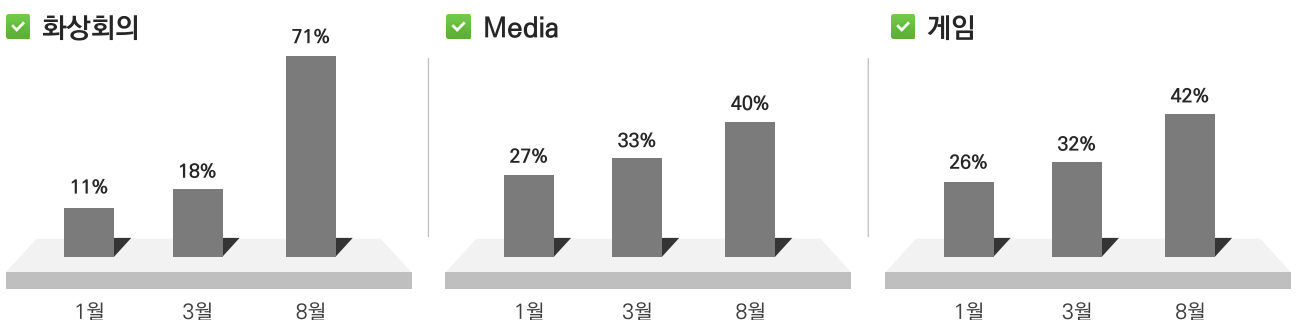
[그림 27. 세계연도별 트래픽량]

- 2018년에 전체 IP 트래픽에서 PC가 차지하는 비중은 41%였지만 2022년에는 19%에 그칠 것으로 예상되며, 반면에 전체 IP 트래픽에서 스마트폰이 차지하는 비중은 2017년 18%에서 2022년 44%로 증가할 전망입니다
- 2017년에 평균 2.4대였던 일인당 보유 연결 디바이스의 수가 2022년에 3.6대로 증가할 전망이며, 2017년에 총 180억 대였던 연결 디바이스 수가 2022년에 285억 대로 증가할 것으로 예측된다.
- 스마트폰, 태블릿 등의 확산으로 모바일 기기 보유율은 (94.9%) PC 보유율 (71.7%)를 앞섰으며 고객들은 인터넷 접속시 Wi-Fi를 통한 접속 비율이 점점 높아지고 있다.



[그림 28. 고객 인터넷 접속 방법]

- COVID-19 영향에 따른 비대면, 온라인 시장 등 홈 콘텐츠 이용 증가로 화상회의, Media, 게임 콘텐츠 사용 비율이 증가했다.(초고속 트래픽 월별 사용량은 '20년 1월 대비 22% 상승)



[그림 29. COVID-19 전, 후의 주요 Application 사용을 변화]

○ 글로벌 트래픽 동향을 보면 다운로드 트래픽 비중은 비디오 스트리밍, Web, SNS, 게임 등의 순으로 높고 업로드 트래픽 비중은 Web, File Sharing, 비디오 스트리밍, Cloud 등의 순으로 높다. 다운로드 트래픽과 업로드 트래픽 항목들을 보면, 약간의 순위 차만 있을 뿐 거의 비슷한 항목들이 상위권에 위치해 있다. 주요 항목들을 보면 고화질 영상 시청, 대용량 파일 공유, 이미지 및 동영상 업로드/다운로드, 고퀄리티 게임 등 고화질/대용량 콘텐츠의 소비가 증가했음을 예측해볼 수 있다.

✔ Downstream Traffic ↓					✔ Upstream Traffic ↑				
Rank	Rank Change	Category	Mar-Jul 2020	% Change	Rank	Rank Change	Category	Mar-Jul 2020	% Change
1	-	Video Streaming	49.0%	-0.4%	1	-	Web	33.9%	9.9%
2	-	Web	18.6%	-0.5%	2	+1	File Sharing	16.5%	-0.9%
3	-	Social Networking	9.7%	0.0%	3	-1	Video Streaming	14.2%	-4.9%
4	-	Gaming	7.8%	1.0%	4	-	Cloud	9.8%	-1.5%
5	-	Marketplace	4.2%	-0.6%	5	-	Messaging	9.8%	-0.7%
6	-	Messaging	3.2%	0.0%	6	+1	Social Networking	5.9%	-0.4%
7	-	File Sharing	2.7%	0.1%	7	-1	VPN and Security	5.5%	-1.5%
8	-	Cloud	2.1%	-0.4%	8	-	Gaming	2.6%	-0.2%
9	-	VPN and Security	2.2%	-0.2%	9	-	Marketplace	1.7%	0.3%
10	-	Audio	0.5%	0.0%	10	-	Audio	0.2%	-0.1%

[그림 30. Global Application Category Traffic Share - 출처 : [23]]

○ 글로벌 Application별 트래픽 동향에서는 YouTube와 Netflix가 압도적으로 높은 비중을 차지하는 가운데 Facebook, Instagram과 같은 SNS와 Play Station, Xbox와 같은 Console 게임이 뒤를 잇고 있다. 앞서 언급했듯이, 고화질/대용량 콘텐츠 소비 증가에 따라 자연스럽게 나타난 현상으로 볼 수 있다.

Rank	Rank Change	Application	Downstream	Downstream % Change	Upstream	Upstream % Change
1	-	YouTube	20.3%	-0.4%	4.2%	-0.8%
2	-	Netflix	15.7%	-0.5%	2.9%	-0.5%
3	+2	Facebook	4.3%	0.0%	2.7%	0.6%
4	-1	Instagram	4.2%	1.0%	2.3%	-0.5%
5	-2	Facebook Video	3.9%	-0.6%	0.9%	-0.7%
6	-	Play Station	2.9%	0.0%	0.7%	0.0%
7	+2	Xbok	2.3%	0.1%	0.5%	0.0%
8	+8	TikTok	2.1%	-0.4%	0.7%	0.5%
9	-2	Android Market	2.1%	-0.2%	1.0%	0.4%
10	-1	Amazon Prime	1.6%	0.0%	0.4%	0.0%



[그림 31. Global Application Traffic Share - 출처 : [23]]

○ 지역별 트래픽 현황도 크게 다르지 않다. 대륙별로 순위의 차이는 있으나 최상위권에는 여전히 Youtube와 Netflix가 자리해 있다. 아시아권에서는 Youtube, Netflix, Facebook 외에도 블록체인 기반 스트리밍 플랫폼인 BitTorrent가 상위 5개에 랭크되어 있는데 대체로 영상 스트리밍 Application을 많이 이용한다는 것을 예측해볼 수 있다. 아메리카 대륙에서는 Youtube, Netflix 다음으로 Xbox와 Playstation이 랭크되어 있는데 Console 게임을 즐기는 유저가 굉장히 많다는 것을 확인할 수 있다. 유럽 및 중동에서도 Youtube, Instagram, Netflix, Facebook 순으로 큰 차이가 없었다.

✓ APAC

Rank Change		Application	Downstream	Upstream
1	-	YouTube	22.9%	3.9%
2	-	Netflix	22.3%	2.6%
3	-	Facebook	5.9%	5.5%
4	-	Facebook Video	5.0%	1.0%
5	-	BitTorrent Transfer	3.6%	20.8%

✓ AMERICAS

Rank Change		Application	Downstream	Upstream
1	-	Netflix	22.6%	6.4%
2	-	YouTube	19.2%	6.0%
3	-	Xbox	3.9%	1.4%
4	-	PlayStation	3.7%	1.4%
5	-	Amazon Prime	3.6%	1.2%

✓ EMEA

Rank Change		Application	Downstream	Upstream
1	-	YouTube	20.5%	3.9%
2	-	Instagram	7.6%	3.5%
3	-	Netflix	6.8%	1.3%
4	-	Facebook Video	5.4%	1.1%
5	-	Facebook	5.4%	2.1%

[그림 32. 각 지역별 주요 Application 사용 현황 - 출처 : [23]]