

# 광액세스 고속화 및 가상화 기술 동향

## Recent Trends in High-Speed and Virtualized Optical Access Technologies

정환석 (HwanSeok Chung, chung@etri.re.kr)

나용욱 (YongWook Ra, nyw0242@etri.re.kr)

박찬성 (Chansung Park, chansung18@etri.re.kr)

이준기 (Joon Ki Lee, juneki@etri.re.kr)

광네트워크연구실 책임연구원

광네트워크연구실 책임연구원

광네트워크연구실 연구원

광네트워크연구실 책임연구원/실장

### ABSTRACT

This paper reviews the recent trends in optical access technologies and their future directions. As the number of hyper-connected, ultra-low-latency, and hyper-realistic services increases, the wireless path has become shorter and the optical access network has become deeply penetrated into the end user. The optical access network continues to evolve through endless innovation via high-speed, ultra-low-latency, and abstraction/virtualization technologies.

**KEYWORDS** 광액세스, 고속화, 초저지연화, 추상화, 가상화

## 1. 서론

광액세스망은 각 가정, 비즈니스 사업자, 모바일 기지국 등의 유무선 사용자를 인터넷망에 연결시켜 주는 네트워크를 지칭한다[1,2]. 사용자가 네트워크에 접속하기 위해 처음 접하게 되고, 사용자가 가장 가까이 존재하는 네트워크로 전통적으로는 통신사업자의 입장에서 모든 통신의 마지막이라는 뜻에서 'last mile'이라고 불려 왔다. 최근에는 사용자 관점에서 모든 것이 시작된다는 뜻으로 'first mile'이라고 부르기도 한다. 지리적으로는 모든 사

용자가 통신국사로부터 약 20km 이내에 분포하는 것으로 가정하여 광액세스망의 표준은 20km까지 서비스를 제공할 수 있도록 제정되어 왔다. 2000년 초반부터 액세스망에서 전통적인 구리선을 광섬유로 대체하면서 본격적인 광액세스 기술 개발이 진행되었다. 2000년대는 주로 덕 내에 초고속 인터넷을 제공하는 FTTH(Fiber-To-The-Home)에 집중했다면, 2010년대를 지나면서 폭증하는 모바일 트래픽의 수용을 위한 광액세스망, 즉 모바일 통신 지원을 위한 FTTA(Fiber-To-The-Antenna)로 그 적용 범위를 넓히고 있다[1-4]. 최근 들어 8K

\* DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350505>

\* 이 논문은 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임[No. 2019-0-00452, B5G 광액세스 고속화 및 슬라이싱 기술].



본 저작물은 공공누리 제4유형

출처표시+상업적이용금지+변경금지 조건에 따라 이용할 수 있습니다.

©2020 한국전자통신연구원

UHD, 몰입형미디어, 개인방송, 산업인터넷, 스마트 팩토리, 대용량 빅데이터와 인공지능의 결합, 과학연구, Massive IoT와 같은 새로운 서비스가 등장함에 따라 광액세스망은 새로운 변혁기를 맞이하고 있다. 2020년 이후는 모바일 인터넷에서 그 활용 범위가 더욱 확대되어 인간의 손으로 느끼듯 빠른 시간 내에 정보를 전달하는 촉각(Tactile) 인터넷 시대로 진화할 것으로 전망된다. 인간이 귀로 감각을 구분할 수 있으려면 1/10초, 눈은 1/100초, 촉각은 1/1,000초 이내에 정보가 전달되어야 한다. 이렇게 빠른 정보 전달이 가능한 인터넷이 '촉각 인터넷'이다. 자율주행차, 공장, 게임, 교육 및 문화 영역에서 촉각처럼 실시간 반응이 필요한 분야들과 생활공간 속에서도 다양하게 응용할 수 있다. 새로운 신규 서비스의 증가와 다양화로 광액세스망이 수용해야 할 트래픽은 지속적으로 증가할 전망이다. 특히 5G 등 대용량 트래픽을 발생하는 서비스의 등장으로 광액세스망의 용량은 대폭적인 증대가 필요하다. 전통적으로 요구되는 광대역 특성과 더불어 우리의 손으로 직접 느끼듯 정보를 전달하는 초저지연성이 추가로 필요할 것이며, 빠르게 변화하고 다양한 서비스별 특성에 최적화된 인프라를 제공하기 위해 광액세스망 추상화/가상화 기술이 필요하다.

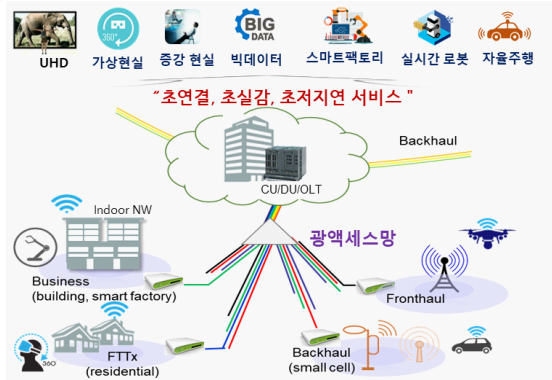


그림 1 광액세스망 구조도

본 고에서는 데이터 인공지능과 결합하여 미래 사회를 열어가는 광액세스망의 기술 현황을 소개하고 기술 발전 방향을 조망한다.

## II. 광액세스 기술의 동향 및 발전

그림 1과 같이 광액세스망은 20km 이내의 거리에서 비즈니스, 모바일, 초고속 인터넷 사용자에게 광섬유를 통해 서비스를 제공하는 네트워크이다. 가상현실, 증강현실, 빅데이터, 자율주행 등 초연결, 초저지연, 초실감 서비스의 도입과 확산, 가상세계와 현실 세계를 넘나드는 비접촉 시대로 진입함에 따라 그 접점에 있는 광액세스망의 중요

표 1 광액세스망 기술 특성 비교

	ITU-T			IEEE		
	GPON	XGS-PON	NG-PON2	E-PON	10G-EPON	50G-EPON
표준	ITU-T G.984	ITU-T G.9807.1	ITU-T G.989	IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av	IEEE 802.3ca
하향/상향 속도(Gb/s)	2.5/1.25	10/10	40/40 (4x10G)	1.25/1.25	10/10	50/(20,50) (2x25/2x10, 2x25)
분기수	1:64	1:64	1:64	1:32	1:32	1:32
Coexistence	-	GPON	GPON/XGS-PON	-	E-PON	10G-EPON/GPON

성은 날로 확대되고 있다. 큰 대역폭을 필요로 하는 5G 서비스가 확대될수록 높은 무선 캐리어 주파수로 인해 무선구간은 짧아지고 광액세스망은 더욱더 사용자 깊이 들어 올 것이다. 전례 없는 트래픽의 급증과 신규 서비스의 등장에 대비하려면 광액세스망의 끝없는 기술혁신이 수반되어야 하는 이유이다.

### 1. 광액세스 고속화 기술

P2MP(Point-to-MultiPoint) 구조의 ODN(Optical Distributed Network)을 가지면서 별도 전원을 분배망에서 사용하지 않는 수동형 광액세스망의 대역폭 확장과 표준화는 그림 2와 같이 지속적으로 진화되어 왔다[5-13]. 광액세스 기술은 ITU-T와 IEEE에서 각각 진행되고 있으며, 파장당 1~2.5Gb/s를 사용하는 표준에서부터 시작하여 파장당 10Gb/s 하향, 또는 상하향 10G/s 속도를 제공하는 10G-EPON과 XGS-PON 표준이 IEEE와 ITU-T에서 완료되었다[5-7]. 파장당 10Gb/s를 기반으로 다수개의 파장을 사용하여 40Gb/s의 용량을 제공하는 NG-PON2 기술 표준이 ITU-T에서 2016년에 제정되었으며[8], 주요 사양은 총 전송 용량 40Gb/s, 가입자당 10Gb/s,

수용 가입자수 64 이상 등이다. NG-PON2는 ONU (Optical Network Unit)에서 서로 다른 파장을 사용하는 광트랜시버를 준비해야 하는 문제를 해결하기 위해 ONU용 광트랜시버에서 파장가변광원 사용을 표준화 하였으나, 이로 인해 가격과 성능을 동시에 만족하는 기술을 찾아야 하는 것이 이슈로 대두되고 있다. IEEE에서는 파장당 속도를 25Gb/s로 증가시키고, 두 개의 서로 다른 파장을 사용하는 50G-EPON 기술의 표준을 2020년 완료하였다. NG-PON2 기술이 WDM을 사용하지만 ONU당 용량은 10Gb/s에 머무르고 있는 반면, 50G-EPON은 ONU당 최소 25Gb/s를 보장하고, 파장들을 엮어서 용량을 확장하는 채널본딩 기술을 적용하여 최대 50Gb/s까지 제공할 수 있다[9,10]. ITU-T에서도 하나의 파장을 사용하면서 상하향 속도를 최대 50Gb/s까지 제공하는 PON (Passive Optical Network) 기술의 표준화를 진행하고 있고, 5G 모바일 신호의 수용을 위한 요구사항을 정리한 보조문서(G.sup66) 표준을 완료하였다[11]. 최근에는 모바일 트래픽의 수용을 위한 25Gb/s급 WDM-PON과 TDM-PON 표준제정 필요성이 활발히 논의되고 있다. 한편, 하나의 광섬유를 전용으로 사용하면서 양방향 통신을 하는 point-to-point single fiber bidirectional(P2P BiDi) 전송에 관한 표준이 각각 ITU-T와 IEEE에서 제정되었다 [12,13]. 표 1은 표준화가 완료된 PON의 주요사항을 정리한 것이다.

그림 3은 최근 ITU-T에서 진행 중인 단일 채널 50Gb/s PON의 광송수신기 구조를 나타낸다

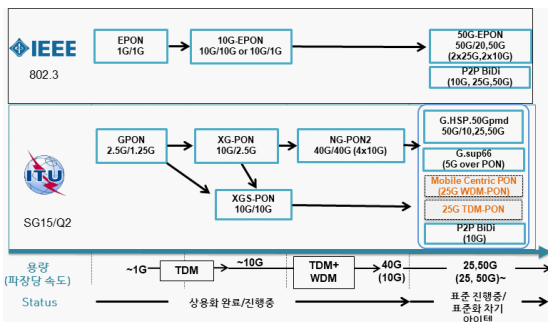


그림 2 수동형 광액세스망 표준화 현황 및 로드맵

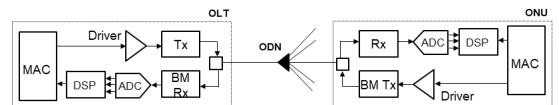


그림 3 단일 채널 50G PON 구조도(ITU-T G.HSP,50GpmD)

[14]. 30dB 이상으로 높은 파워버짓을 요구하는 광 액세스망의 요구조건을 충족하기 위해 전통적인 NRZ(Non-Return-to-Zero) 변조방식을 사용하였고, 높은 대역폭을 가지는 광전자 모듈 사용 부담을 경감하기 위해 25Gb/s급의 모듈을 사용한다. 대역폭 한계로 인해 광송수신 및 전송과정에서 신호의 심한 찌그러짐이나 열화 발생이 필연적이며, 신호의 품질을 보장하기 위해 불가피하게 수신부에서 고속 ADC(Analog-to-Digital Converter)와 디지털신호처리 기술을 사용할 수밖에 없다. 따라서 PON에서 요구하는 비용 문제를 해결할 수 있을지에 대한 이슈가 남아 있다.

그림 4는 현재까지 표준화가 완료되었거나, 표준화가 진행 중이면서 파장이 확정된 PON 기술의 파장 플랜을 정리한 것이다. 파장당 10Gb/s급 이하의 G-PON, E-PON, XGS-PON, 10G-EPON은 전통적으로 하향 전송 파장은 1.5 $\mu$ m 대역의 C-band를 사용하고, 상향 전송 파장은 1.3 $\mu$ m 대역의 O-band를 사용하였다. 이는 광섬유 색분산의 영향을 억제하면서도 저가의 광원을 이용하여 ONU용 광트랜시버를 구현하기 위함이었으며, 통신국사 외부에 있는 ONU용 광트랜시버가 온도에 변화에 따라 파장이 변함으로써 발생하는 패널티를 감소시키기 위해 넓은 파장폭을 가지는 광원이 사용되었다. NG-PON2에서는 상하향 모두 C-band를 사용하도록 파장이 제정되었으며, 파장가변과 색분산 효과 억제를 위해 좁은 대역폭을 가지는 광원이 사용되어야 한다. 이와 같이 전통적인 PON 파장 플랜은 IEEE에서 시작한 50G-EPON에서부터 큰 변화를 맞이하게 된다. 파장당 속도가 10Gb/s에서 25Gb/s로 증가함에 따라 광선로의 색분산을 별도로 보상하지 않으면 C-band에서 전송이 불가능하기 때문에 상하향 전송을 모두 O-band에서 수행하게 된다. 하나의 파장만

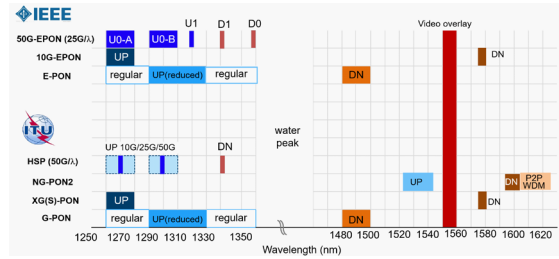


그림 4 수동형 광액세스망 파장(PON) 플랜

을 사용하여 25Gb/s급 용량을 제공할 때는 하향은 D1, 상향은 기존 PON 기술과의 공존을 고려하여 U0-A 또는 U0-B를 사용한다. 이 플랜에 D1과 U1을 추가하여 최대 50Gb/s의 용량을 제공할 수 있다. 현재 표준화가 진행되고 있는 ITU-T 50G TDM-PON에서도 IEEE 50G-EPON과 동일한 1,342nm를 하향 파장으로 사용하게 되며, 상향은 U0-A, U0-B와 동일한 파장대역에서 Narrow band와 Wide band 옵션이 논의 중이다. 한편, PON기술이 진화하고 다양해짐에 따라 O-band에서 사용 가능한 대역은 점점 고갈되어 가고 있으며 PON의 고속화가 지속됨에 따라 심화될 전망이다. 새로운 광섬유를 포설하기에는 많은 비용이 소요되므로, 무선 주파수 할당과 같이 광섬유 내 파장 사용에 대한 노력과 관심이 국내에서도 필요하다.

## 2. 광액세스 초저지연화 기술

모바일 신호 수용을 위해 프런트홀은 4G에서는 CPRI(Common Public Radio Interface) 혹은 CPRI 압축기술을 적용하고, 하나의 채널당 2.5Gb/s급 전송이 널리 사용되었다. 그러나 5G에서 요구하는 셀당 용량 20Gb/s를 만족하기 위해서는 파장당 100Gb/s급 이상 고가의 광송수신기가 여러 개 필요한 문제에 직면하게 되었다. 3GPP, eCPRI(enhanced CPRI), Small Cell Forum, ORAN(Open Ra-

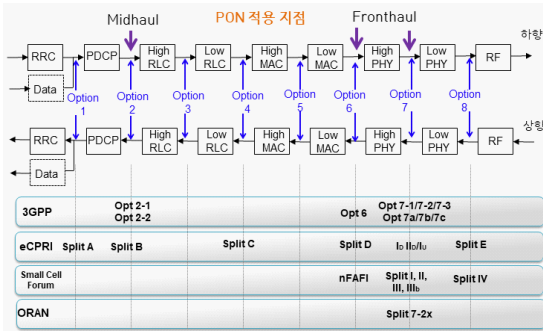


그림 5 모바일 트래픽 수용을 위한 프런트홀/미드홀 구간에서 Function Split 구조

dio Access Network) 등의 표준화단체에서는 광전송 비용 문제해결을 위해 기존 통신국사 내 기지국 장비에 포진하던 기능을 다시 원격지로 옮기는 CU(Central Unit)-DU(Distributed Unit)-RU(Radio Unit) 구조의 function split 구조를 그림 4와 같이 정의하였다. 모바일 네트워크의 구현을 위해 광액세스망과 모바일을 함께 고려해야 된다는 인식이 정착되었다고 할 수 있다. 대부분의 표준화단체에서는 MAC 계층 split의 경우 option 2로, PHY 계층의 option 6 또는 option 7을 사용하는 것을 확정하였다. CU, DU, RU의 설치 위치에 따라 많은 광연결 구간이 필요하게 될 것이며, 짧아지는 무선구간과 확대되는 광액세스 구간을 수용하기 위해 분기형 point-to-multipoint 구조인 PON은 쉽게 프런트홀, 미드홀 구간의 광연결성을 제공할 수 있는 장점이 있다.

광액세스망에서 용량 증대와 함께 latency를 본격적으로 고려하기 시작한 것은 최근의 일이다. 1:N 구조의 P2MP망에서는 상향 전송링크를 TDM을 통해 공유하게 되며, 통신국사 장치인 OLT(Optical Line Terminal)의 전송 허가가 있어야만 데이터 전송이 가능하다. 미드홀과 프런트홀이 요구하는 latency는 각각 수 ms와 수백  $\mu$ s 이하이며,

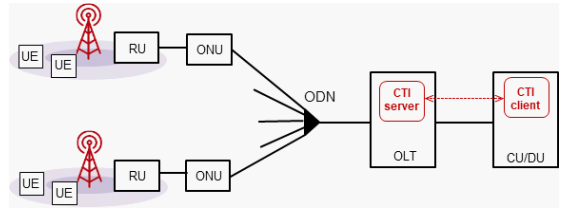


그림 6 CTI를 활용한 초저지연 모바일 트래픽 수용

미드홀에서 요구하는 전송지연 시간은 PON망의 MAC 계층에서 사용하는 DBA(Dynamic Bandwidth Allocation)의 일부 변경만으로도 가능하다. 그러나 프런트홀을 수용하기 위해서는 별도의 스케줄링 방식이 필요하다. 이에 ORAN에서는 모바일 장비와 광장비의 스케줄링 정보 교환을 통해 트래픽 전송을 빠르게 하는 CTI(Cooperative Transport Interference) 표준을 제정하였다[15]. 초저지연성을 요구하는 모바일 트래픽의 전송 시간을 모바일 장비가 광장비에 알려서 ONU에서 트래픽이 기다리는 시간 없이 전송이 이루어지도록 하는 방식이다. 스케줄링 정보의 교환은 CTI를 통해 이루어지고, 이를 활용한 대역폭 할당을 CO-DBA(cooperative DBA)가 담당한다. 마치 신호등 제어를 통해 특정 차량이 빠르게 교차로를 지나가도록 하는 것과 같은 방식이다.

### 3. 광액세스 추상화/가상화 기술

기존의 광액세스망 장비는 관리제어, MAC, PHY 계층이 하나의 쉘프 내에 라인카드 형태로 장착되어 있는 목적지향적 기능 고정형 장치로 구현되었다. 이에 따라 새로운 기능의 교체와 추가에 제약이 있었고, 미래의 도래할 기능을 예측할 수 없어 하나의 장비에 많은 기능을 구현하여 비용이 상승되는 문제를 안고 있었다. 그림 7은 이러한 문제를 해결하기 위해 MAC/PHY 계층과 관리

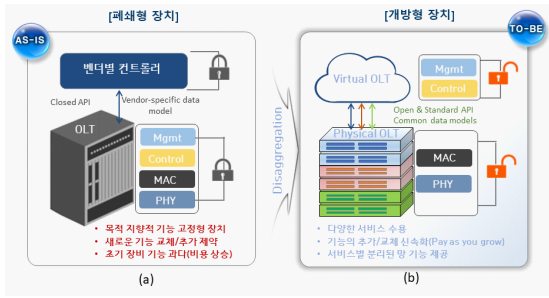


그림 7 Disaggregation과 software를 활용한 광액세스망의 유연화

제어 계층을 분리(Disaggregation)한 구조를 나타낸다. MAC/PHY 계층은 하드웨어로 구현하면서 화이트박스 형태로 구현하여 필요할 때마다 용량의 증설이 용이하게 하고, 관리/제어 계층은 소프트웨어로 구현하여 새로운 기능의 교체/추가/삭제가 용이하다. 즉, 기존에 하나로 통합된 OLT 장비가 virtual OLT와 physical OLT로 분리되고 이 사이는 공통의 스탠다드 인터페이스로 연결된다. 이를 통해 기능의 추가/교체를 신속하게 할 수 있고 다양한 서비스를 수용하면서 서비스별로 서로 다른 물리계층 인프라를 제공할 수 있다.

광액세스망을 위한 추상화/가상화 기술은 SDN과 NFV로 거슬러 올라간다. 네트워크 처리량, 대기 시간 및 보안에 대한 요구가 증가함에 따라 레저시 제어 네트워킹 개념에서 네트워크의 아키텍처를 빠르게, 비용 효율적으로 구축하기 위한 디자인 패러다임으로 SDN(Software Defined Networking)과 NFV(Network Function Virtualization)가 등장한다. 기존의 네트워크는 네트워크 요소들이 분산되어 있어 유지 관리가 매우 복잡하고, 기본적으로 각 네트워크 요소에서 별도로 구성 및 제어를 해야 한다. SDN의 접근 방식은 네트워크 장비를 데이터 평면과 제어 평면으로 분리하는 것으로, 원래 SDN은 스탠포드 대학에서 OpenFlow 프로토콜을

사용한 이더넷 스위치 구성 및 제어 목적을 위해 연구되었다[16]. 추후에 SDN 원칙은 다중 계층 전송 네트워크로 확장되고, 현재는 광액세스망을 포함하여 통신 네트워크 전반에 걸쳐 SDN이 널리 적용되는 추세이다.

추상화 기술은 계층적 측면에서 SDN 추상화 기술과 하드웨어 추상화 기술로 크게 분류될 수 있다. 네트워크 인프라와 네트워크 서비스 간의 추상화를 제공하는 SDN 기술이 주목받고 있는 이유는 서버에서 실행되는 하나의 엔티티에서 네트워크 인텔리전스를 중앙 집중화하고, 이로 인해 네트워크 관리, 네트워크 구성 및 문제해결을 동시에 처리할 수 있기 때문이다. 이와 같은 접근 방식은 소프트웨어 기반 관리 및 구성을 통해 동적이고 유연하며 확장 가능한 네트워크를 만든다. 또한, 기존의 광액세스망은 다양한 기술별로 서로 다른 인터페이스를 갖는 하드웨어 장비들이 혼재되어 있어 벤더별 장비에 의존적이다. 이를 극복하기 위해, 통신 사업자들은 네트워크 장비와 제어 평면 사이에 그림 7(b)와 같이 단일 인터페이스를 갖도록 하여 벤더 의존적인 한계성을 탈피할 수 있도록 하는 하드웨어 추상화 기술에도 많은 관심을 기울이고 있다. 이 절에서는 광액세스망을 위한 가상화/추상화 기술들과 최신 연구 개발 동향에 대하여 분석한다.

### 가. 가상화 기술

NFV는 SDN 개념을 보완하여 하드웨어와 소프트웨어를 분리하고 유연한 네트워크 구축 및 동적 운영이 가능하다[17]. NFV 하드웨어 기반 네트워크 서비스는 서버에서 소프트웨어로 실행되며 VNFs(Virtual Network Functions)라고 부르고, VNF가 배포되는 환경을 구축하는 모든 하드웨어 및 소프트웨어 구성요소를 NFVI(NFV Infrastructure)로 정의한다. NFVI는 여러 지역에 분산될 수 있으며,

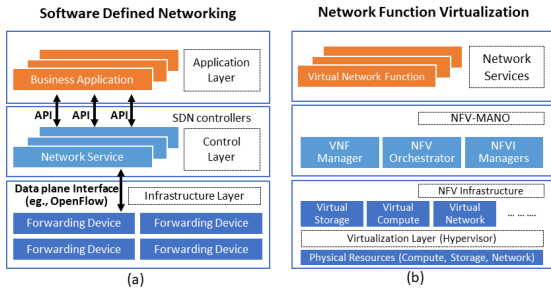


그림 8 SDN(a)과 NFV(b)의 기본 구조

이 영역들 간 물리적 네트워크 상호 연결은 NFVI의 일부로 포함된다. 앞에서 언급한 바와 같이, SDN과 NFV의 개념은 상호 보완적으로 SDN은 네트워크 요소별로 데이터 평면과 제어 평면이 수직적으로 통합된 구조를 갖는 전통적인 네트워크(그림 7(a))로부터 데이터 평면과 제어 평면을 분리(그림 7(b))하고자 하였고, NFV는 하드웨어와 소프트웨어를 분리하여 네트워크 기능을 가상화된 계산 자원으로써 사용하고자 하는 아이디어에서 출발하였다.

그림 8은 SDN 및 NFV의 기본 구조를 보여주고 있다. 이들 구조는 SDN을 통해 제어 평면을 중앙 집중화하여 네트워크 요소의 제어 및 관리를 제공하고, NFV를 통해 가상화된 환경을 사용하여 어플리케이션 민첩성을 제공할 수 있게 한다. 따라서 SDN과 NFV의 개념적 조합은 빠르고, 유연하며, 비용 효율적인 네트워크 구축을 가능하게 한다. 즉, 이 조합은 네트워크 인프라 계층의 하드웨어 자원을 추상화하여 데이터 평면을 소프트웨어로 제어할 수 있을 뿐만 아니라 추상화된 자원에 대한 네트워크 기능을 제어 평면에 구현함으로써 지연, 대역폭 등과 같은 사용자 요구사항에 적합하도록 서비스 제어 플로우를 동적으로 생성하고 상황에 맞는 제어 로직과 오퍼레이션의 결정에 빠른 대처가 가능하다는 장점을 갖는다[18].

### 나. SDN 컨트롤러 기술

SDN 개념은 네트워크 인프라와 서비스 간의 추상화를 제공하기 위해 다음과 같은 기능을 갖도록 요구받고 있다. 직접 프로그래밍이 가능해야 하고, 민첩성을 제공해야 하며, 중앙 관리 및 프로그래밍 방식으로 구성을 할 수 있어야 하며, 개방형 표준 기반 및 벤더 중립적이어야 한다[16]. 이러한 요구사항을 만족하는 SDN 컨트롤러 중 가장 널리 알려진 오픈소스 솔루션은 ODL(OpenDayLight)[19]과 ONOS(Open Network Operating System)[20]가 있으며, 오랫동안 정기적인 개발 및 안정화가 진행되고 있다.

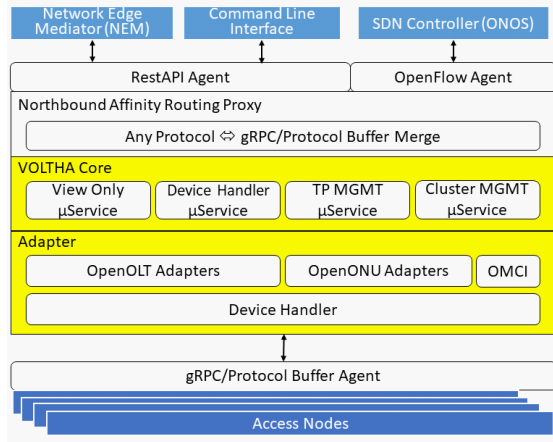
ONOS는 ONLab(Open Networking Lab)에서 최초 개발되어 현재는 ONF(Open Network Foundation)에서 관리 중인 프로젝트로, JAVA로 작성된 오픈 소스 컨트롤러이다. 이 컨트롤러는 처음에 WAN(Wide Area Network) 및 서비스 제공업체 네트워크를 위한 솔루션으로써 확장성과 고가용성을 제공하기 위해 설계되었다. ONOS는 크게 어플리케이션, NB(NorthBound) API(Application Programming Interface), 분산 코어 서비스, SB(SouthBound) API 네 개의 계층으로 구성되어 있으며, application-driven abstraction을 유지한다. 라우팅, 스위칭, 방화벽 등의 네트워크 운용에 필요한 네트워크 기능은 어플리케이션 계층에서 구현되고, 분산 코어 서비스는 어플리케이션이 활용 가능한 추상화된 네트워크 형상 및 내부 자원을 제공한다. 또한, 분산 코어 서비스는 여러 개의 인스턴스로 확장 가능해서 고가용성을 보장해 준다. 그림 8(a)에서 보여 주듯이, NB API와 SB API는 분산 코어 서비스 입장에서 각각 위/아래 방향의 API로, business application 및 forwarding device 제어에 필요한 다양한 프로토콜 제어를 담당한다. 플로우 규칙을 나열함으로써 전체 플로우에 대한 파이프라인을 개발자가 수

작업으로 연결하는 방식 대신, ONOS에서는 인텐트 프레임워크(Intent Framework)를 제공하여 네트워크 운용자의 추상적인 의도를 그에 맞는 네트워크 상태 및 플로우 규칙의 조합으로 변환해 준다.

ODL은 Linux Foundation에서 주관하고 있으며 ONOS와는 독립적인 철학을 가지고 시작하였지만, 현재의 ONOS와 ODL은 서로가 가진 장점을 수용하여 유사한 형태로 발전하고 있다. ODL의 특징으로는 ODL 프로젝트가 다양한 장비 제조업체에 의해 주도되고 있어서, 표준적인 SB 인터페이스인 OpenFlow 및 Netconf만을 지원하는 ONOS와는 다르게 레거시 장치까지도 수용 가능한 SNMP(Simple Network Management Protocol)를 지원한다는 점이다. 또한, application-driven abstraction을 유지하는 ONOS와는 다르게 ODL은 model-driven abstraction으로 발전된다.

**다. 하드웨어 추상화 기술**

앞서 언급하였듯이, 추상화 기술은 네트워크 인프라와 서비스 간의 추상화와 벤더별로 서로 다른 스펙을 갖는 하드웨어 장치 추상화로 구분될 수 있다. 네트워크 인프라와 서비스 간의 추상화 기능을 제공하는 SDN에서 한발 더 나아가 광액세스용 장비 추상화 기술은 물리계층의 상세 특성을 감추고 서로 다른 스펙을 가진 광액세스망 장치(예, OLT, ONU 등)를 벤더에 의존하지 않고 일관된 방식으로 제어를 가능하게 한다. 추상화된 상위 레벨 명령은 추상화 모듈을 통하여 OLT 및 ONU의 세부 설정을 위한 명령어로 변환된 후 장치에 전달되어 실제 역할을 수행한다. PON 또는 광액세스망 요소 추상화를 위한 대표적인 오픈소스 프로젝트는 ONF의 VOLTHA(Virtual OLT Hardware Abstraction) [21] 및 VOLTHA에 NEM(Network Edge Mediator)과 SDN 컨트롤러를 추가한 SEBA(SDN-Enabled



**그림 9 VOLTHA v2.3 소프트웨어 구조**

Broadband Access)[22], 그리고 BBF(Broadband Forum)의 OB-BAA(Open Broadband-Broadband Access Abstraction)[23,24]가 있다.

VOLTHA는 ONF의 광액세스용 장비 추상화 기술로 다양한 액세스 기술(GPON, XGS-PON, NG-PON2 등)을 제공하는 멀티벤더 OLT 및 ONU 장치들을 동시에 수용하여 단일 SDN 컨트롤러로 제어 관리할 수 있게 해 주는 소프트웨어이다. VOLTHA는 OLT 및 ONU 장치들의 물리적인 자원을 추상화하여 논리적인 스위치 구조로 관리하며, OLT 및 ONU 장치의 단일화된 통합 제어를 위해 SB 인터페이스 기능을 제공하는 OpenOLT와 OpenOMCI를 정의한다. 또한, VOLTHA는 NEM, ONOS, CLI(Command Line Interface) 등의 다양한 상위 NB 인터페이스에 의해 제어될 수 있는데, 이를 프로토콜 버퍼 모델링 언어로 통합하고 gRPC 프로토콜을 사용하여 복잡도를 낮추었다.

그림 9는 VOLTHA v2.3의 소프트웨어 구조를 보여주고 있으며, VOLTHA 구조는 물리적인 장치와의 정합 부분인 어댑터, 코어 로직 처리부, 제어 평면의 다양한 프로토콜을 통합 처리하는 proxy로 나누어진다. 특히, 코어 로직은 기능적으로 독립



된 부분을 최소 기능 단위로 분리하여 마이크로 서비스로 구현함으로써 고가용성이 손쉽게 실현되도록 디자인되었다. 2017년 9월에 VOLTHA v1.0 출시를 시작으로 2020년 3월에 v2.3이 출시되었으며 현재는 v2.4가 개발 중이다.

전통적인 통신국사에 SDN/NFV 기술을 적용한 ONF의 R-CORD(Residential Central Office Re-architected as a Datacenter) 프로젝트는 CAPEX 및 OPEX를 절감하고, 화이트 박스 형태의 하드웨어와 오픈소스 기반 소프트웨어 빌딩 블록으로 구현하여 유연하게 용량과 기능 확장이 가능하다[25]. SEBA는 R-CORD의 변형을 기반으로 경량화된 플랫폼이며 NEM, ONOS, VOLTHA로 구성되어 있다[22]. VOLTHA를 통해 추상화된 물리적인 정보를 기반으로 ONOS는 광액세스망 관점에서 관리하고, 해당 네트워크에 적용 가능한 가입자 인증 절차 상태 머신, 가입자별 VLAN 관리, 동적 대역폭 할당 알고리즘 등 다양한 제어 기능을 어플리케이션 형태로써 제공한다. 또한, NEM의 XOS(eX-tensible cloud Operating System)는 ONOS가 가진 다양한 어플리케이션 및 VOLTHA의 논리적 자원을 모델링하여 포괄적으로 내려다보고, 각 모델 간의 의존성 등을 설정해서 운용자의 입맛에 맞는 워크플로우를 정의하는 것이 가능하다. SEBA는 쿠버네티스를 기반으로 광액세스망의 추상화 및 가상화를 위한 소프트웨어 빌딩블록을 패키지하여 마이크로 서비스로 배치하며 v2.1까지 출시되었다.

ONF board는 2019년 6월 개발 플랫폼으로써 SEBA 업그레이드에 대한 비중을 절반으로 낮추고, production ready MVP(Minimum Viable Product) 플랫폼의 제공을 가속화하기로 합의했다. 이를 위해, SEBA/VOLTHA 커뮤니티는 ONF(10), Infosys(7), AT&T(5), DT/Radisys(4), DT/Infosys(4), Netsia(2), Ciena(3), Adtran(2), EdgeCore(3) 등 다수

의 통신 사업자 및 장비업체들의 주도하에 40 FTEs(Full Time Equivalents)를 갖는 7개의 surge brigades team을 구성하였다. 이 brigades team은 unit test 및 scale test를 포함한 MVP 1.0 안정화 작업을 활발하게 진행 중이며, 또한 2021년 SEBA MVP 2.0 출시를 목표로 하고 있다.

OB-BAA는 BBF에서 주관하는 광액세스망 장치 추상화 프로젝트로, 그 역할 및 내부 구성요소가 VOLTHA와 유사하다. 그러나 VOLTHA는 독립적인 소프트웨어 구성요소가 될 수 있고, SEBA 또는 MVP라는 운영 플랫폼이 함께 고려되고 개발되어 네트워크 운용 및 제어를 위한 전체적인 스택이 제공되는 반면, OB-BAA는 상위 SDN 컨트롤러의 연동 부분을 고려하지 않고 오롯이 OB-BAA를 활용할 개발자에게 그 역할을 남겨두었다. 따라서 전체 네트워크 운용을 고려한 플랫폼적인 차원에서 볼 때 성능도가 떨어진다. VOLTHA와 비교해서 OB-BAA의 차별화 포인트는 지원되는 장치와 이를 제어하기 위한 프로토콜이다. VOLTHA는 제어 및 설정/관리를 위해 OpenFlow, RestAPI 및 gRPC/proto가 사용되며, 고려되는 광액세스망 장치는 화이트박스 형태의 것만을 취급한다. 반면에, OB-BAA는 Netconf/YANG, Restconf 및 SNMP 호환 프로토콜을 지원함으로써 OLT/ONU

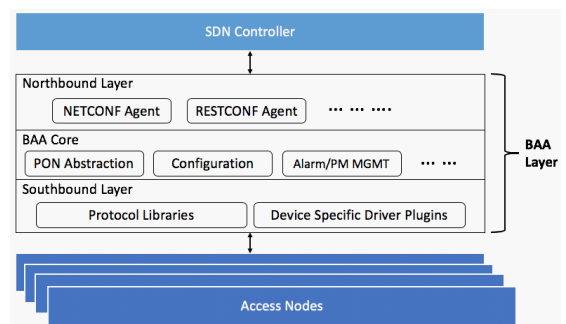


그림 10 OB-BAA v3.0 소프트웨어 구조

뿐만 아니라 DSL 등 다양한 광액세스망 장치 및 기존 레저시 네트워크 장치가 수용 가능하다는 장점을 가진다. 그림 10은 OB-BAA를 구성하는 NB, BAA Core, SB 세 개의 계층 구조를 보여준다. OB-BAA는 2018년 7월 v1.0 출시를 시작으로 2019년 7월 v2.1이 출시되었으며 2020년 2월 v3.0이 출시되었다.

### III. 국내 기술동향

ETRI와 통신사업자, 장비업체, 광모듈업체는 2019년부터 5년의 기간 동안 광액세스 고속화, 초저지연화, 추상화/가상화 기술 개발을 위해 BOSS(B5G high speed Optical acceSs and Slicing) 프로젝트를 시작하였다. BOSS는 B5G의 광대역/초저지연 서비스를 광액세스망으로 수용하기 위해 SDN 기술 적용 및 광액세스망을 모델링하고, 가상화/추상화 기술 및 광액세스망 슬라이싱 기술을 통해 광액세스망 서비스(residential, business, mobile fronthaul 및 mobile backhaul services) 제공을 목표로 한다. BOSS는 기술적인 측면에서 데이터 평면과 제어 평면을 분리하고, 광액세스망의 고속화 및 초저지연화를 위한 physical PON과 가상화/추상화 기술을 적용하는 virtual PON으로 구성된다. Physical PON은 ONU 장치당 25Gb/s 이상의 속도를 제공하고, 파장분할 다중화를 통해 용량 확장이 가능하다. ORAN의 CTI를 적용하여 P2MP망에서 P2P망과 유사한 초저지연 전달특성을 달성하여 5G 프런트홀을 수용한다.

Virtual PON은 서비스별 다른 특성을 갖는 현재의 광액세스 장비의 신규 서비스를 가상화/추상화 기술에 따라 빠르게 도입 및 교체하기 위한 방편으로 물리적인 네트워크가 가상화/추상화되어 SDN 컨트롤러와 연동하는 기능 모듈화된 플랫폼이며,

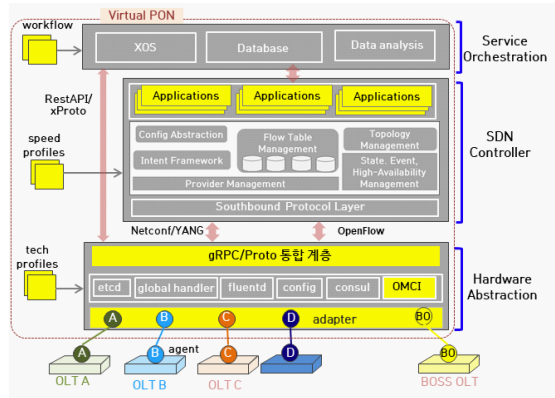


그림 11 Virtual PON 기능 구조

이를 도식화한 기술 개념도를 그림 11에 나타내었다. 현재 개발 중인 BOSS 프로젝트의 Virtual PON은 크게 3가지 특징을 가진다. 첫째, 추상화 계층의 설계를 통해 다양한 physical PON들을 추상화하고, physical PON 장비의 종류와 관계없이 단일화된 관리 기능 및 제어 기능을 제공한다. 둘째, Netconf, REST API 및 OpenFlow 등의 다양한 외부 인터페이스를 수용하고, 이를 gRPC 인터페이스로 내부적으로 변환하여 구현의 복잡성을 단순화시킨다. 셋째, 어플리케이션 기능 블록은 계층적 구조로 구현하여 구현의 복잡성을 감소시키고, 분산 Core 방식을 통해 제어기기를 분산하여 구성하고 이를 통해 고가용성 및 부하 분산 기능을 가능하게 한다.

### IV. 결론

본 고에서는 현재의 광액세스 기술 수준과 이슈, 향후 발전 방향을 살펴보고 정리하였다. 초연결, 초저지연, 초실감 서비스의 증대에 따라 무선 구간은 점점 짧아지고 광액세스망은 더욱더 사용자 깊이가 들어 올 것이다. 전례 없는 트래픽의 급증과 신규 서비스의 등장에 대비하기 위해 광액세스망은

초고속, 초저지연, 추상화/가상화를 통해 끊임 없는 기술혁신을 지속하고 있다.

**용어해설**

**CTI/CO-DBA** 1:N 연결구조를 가지는 광액세스망에서 트래픽 전달시간을 수백  $\mu$ s 이하로 감소시키기 위해 광장비와 모바일 장비 사이에 스케줄링 정보를 교환하는 제어 방식과 동적대역할당 방식

**NEM** 광액세스망을 서비스 관점에서 제어/관리하고, 서비스 생성 및 운용 관리를 지원하는 오케스트레이터

**약어 정리**

ADC	Analog to Digital Converter
BiDi	Bi-Directional
CPRI	Common Public Radio Interface
CTI	Coporative Transport Interface
CU	Central Unit
DBA	Dynamic Bandwidth Allocation
DU	Distributed Unit
eCPRI	enhanced Common Public Radio Interface
FTTA	Fiber-To-The-Antenna
FTTH	Fiber-To-The-Home
IoT	Internet of Thing
MAC	Medium Access Control
NB	North Bound
NEM	Network Edge Mediator
NFV	Network Functions Virtualization
NRZ	Non Return to Zero
OB-BAA	Open Broadband-Broadband Access Abstraction
ODL	OpenDayLight
ODN	Optical Distributed Network
OLT	Optical Line Terminal

ONOS	Open Network Operation System
ONU	Optical Network Unit
ORAN	Open Radio Access Network
P2MP	Point To Multi-Point
P2P	Point To Point
PHY	Physical Layer
PON	Passive Optical Network
RU	Remote Unit
SB	South Bound
SDN	Software Defined Networking
SEBA	SDN-Enabled Broadband Access
TDM	Time Division Multiplexing
UHD	Ultra High Definition
VNF	Virtual Network Functions
VOLTHA	Virtual OLT Hardware Abstraction
WDM	Wavelength Division Multiplexing
XOS	eXtensible cloud Operating System
YANG	Yet Another Next Generation

**참고문헌**

- [1] X. Liu et al, "Emerging Optical Access Network Technologies for 5G Wireless [Invited]," J. Opt. Commun. Netw. 8(12), 2016, pp. 70-79.
- [2] K. O. Kim et al, "High Speed and Low Latency Passive Optical Network for 5G Wireless System," J. Lightwave Technol., 27(12), 2019, pp. 2873-2882.
- [3] ITU-R, "Framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," 2015.
- [4] IEEE 5G, IEEE 5G and Beyond Technology Roadmap White Paper, Oct. 2017. [Online]. <https://5g.ieee.org/roadmap>
- [5] ITU-T SG15 G.984, Gigabit-capable passive optical networks(GPON): General characteristics, April 2012.
- [6] ITU-T SG15 G.9807.1, 10-Gigabit-capable symmetric passive optical network(XGS-PON), Jun. 2016.
- [7] IEEE P802.3av 10G-Ethernet Passive Optical Network Task Force, <http://www.ieee802.org/3/av/>
- [8] ITU-T SG15 G.989.1, 40-Gigabit-capable passive optical networks(NG-PON2): General requirements, Aug. 2015.
- [9] V. E. Houtsma and Ed Harstead, "Recent progress on

- standardization of next generation 25, 50 and 100G EPON,” J. Lightw. Technol., 35(6), Mar. 2017, pp. 1228-1234.
- [10] IEEE P802.3ca 50G-EPON Task Force, “Physical Layer Specifications and Management Parameters for 25 Gb/s and 50 Gb/s Passive Optical Networks,” <http://www.ieee802.org/3/ca/>
- [11] ITU-T SG15 G.sup.66, 5G wireless fronthaul requirements in a passive optical network context, July 2019.
- [12] IEEE P802.3cp, “Bidirectional 10 Gb/s, 25 Gb/s, and 50 Gb/s Optical Access PHYs Task Force,” <http://www.ieee802.org/3/cp/>
- [13] ITU-T SG15 G.9806 Higher speed bidirectional, single fibre, point-to-point optical access system.
- [14] D. Zhang et al., “Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization,” J. Optical. Comm. Network., 12(10), 2020.
- [15] ORAN Cooperative Transport Interface Transport Control Plane Specification (O-RAN.WG4.CTI-TCP.0-v01.00 )
- [16] [https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined\\_networking](https://en.wikipedia.org/wiki/Software-defined_networking)
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/Network\\_function\\_virtualization](https://en.wikipedia.org/wiki/Network_function_virtualization)
- [18] B. Yi et al., “A comprehensive survey of network function virtualization,” Computer Networks, vol. 133, 2018, pp. 212-262.
- [19] [https://en.wikipedia.org/wiki/OpenDaylight\\_Project](https://en.wikipedia.org/wiki/OpenDaylight_Project)
- [20] <https://en.wikipedia.org/wiki/ONOS>
- [21] <https://wiki.opencord.org/display/CORD/VOLTHA>
- [22] <https://wiki.opencord.org/display/CORD/SEBA>
- [23] <https://obbaa.broadband-forum.org/overview/>
- [24] Broadband Forum Technical Report TR-384, “Cloud Central Office Reference Architectural Framework,” 2018.
- [25] <https://wiki.opencord.org/display/CORD/Residential+CORD>