

차세대 수동형 광가입자망 표준화 및 기술개발 동향

유학, 김근용, 김성창, 이동수, 김영선

한국전자통신연구원

요약

수동형 광가입자망 (PON: Passive Optical Network) 기술은 가입자의 단말과 국사의 장비를 광섬유로 직접 연결하여 기존의 전화선 및 동축케이블을 이용한 xDSL 및 HFC 등에 비해 전송속도가 빠르고 관리가 수월한 인터넷 서비스 제공이 가능한 기술이다. 본고에서는 ITU-T와 IEEE에서 진행중인 차세대 수동형 광가입자망 기술의 국제 표준화 동향에 대하여 알아보고, 관련 기술개발 현황 및 새롭게 부각되는 스마트 광 분배망 기술과 SDN (Software Defined Network) 기반 광가입자망 운용관리 등의 연구분야에 대하여 알아본다.

I. 서론

사용자가 인터넷을 사용할 때 인터넷 서비스의 차별화를 느끼는 기준은 “얼마나 빠르냐”이다. KT나 SKT와 같은 통신사업자는 인터넷 서비스를 광고하는 데 있어서 주요 전달 메시지로 “빠름”을 강조하고, “LTE Warf” 등의 광고 유행어를 만들면서 어떻게 하면 더 빠른 이미지를 만들어 낼 것인가에 주력하고 있다.

“빠름”을 평가하는 전문적인 기준은 전송속도이다. 1초 동안 얼마나 많은 디지털 데이터를 보내느냐를 bit per second (bps)로 표기하며, Mega (= 10^6 , M으로 표기) 또는 Giga (= 10^9 , G로 표기) 단위로 사용한다. 예를 들어 5G Byte의 영화 파일을 다운로드 받는데 100Mbps의 전송속도는 6분 40초가 소요되고, 1Gbps의 전송속도에서는 40초만 소요된다. 그러므로 사용자는 전송속도가 빠를수록 서비스 품질이 좋다고 체감하게 된다.

우리나라는 인터넷 서비스를 이용하는 환경에 있어서 세계 최고 수준을 제공한다고 볼 수 있다. 어디서나 이용 가능한 무선 LTE 망이 선도적으로 구축되었고, 초고속 인터넷을 위해 광섬유 망이 인구대비 가장 많이 보급되어 있어 이 부분에 있어서는 세계 1등 국가의 위상을 갖고 있다. 더불어 정부는 최근, 사용자에게 유선 1Gbps급 전송속도를 제공하는 서비스 및 인프라를

보급하여 “정보통신 최강국 건설”을 이루기 위한 정책과제를 추진 중에 있다. 그 일환으로 Giga Korea 사업이 ETRI 및 국내 산업체를 중심으로 추진되고 있다.

유선에서 초고속 인터넷 전송속도를 획기적으로 높인 기술이 수동형 광가입자망 (PON) 기술이다. PON 기술은 광섬유를 이용하여 가입자에게 빠른 전송속도를 제공하는 FTTH/B의 대표적인 기술로, 비교적 고가였던 광통신 기술을 낮은 비용으로 구축하고 운영하는 것을 가능하게 함으로 광섬유에 비해 속도의 한계를 갖고 있던 전화선 및 동축케이블을 이용한 xDSL 및 HFC 등 기존 기술을 빠른 속도로 대체해 나가고 있다.

PON 기술은 IEEE 및 ITU-T 국제 표준 기술로, 현재까지 PON 링크 당 1Gbps 또는 2.5Gbps의 전송속도를 제공하는 EPON 및 GPON 기술이 주로 사용되어 왔다. 그러나 PON에서는 PON 링크의 전송속도를 여러 명의 가입자가 시간 분할 방식으로 나눠서 사용하므로 가입자당 1Gbps 전송속도를 제공하기 위해서는 PON 링크가 10Gbps 이상으로 향상되어야 할 필요가 있다. 이를 위해 IEEE 및 ITU-T 국제 표준 회의에서는 10G급 광가입자망 기술로 10G EPON 및 XG-PON 기술을 개발하였으며, 후속 기술로 ITU-T에서는 40G급 용량의 NG-PON2 (시간 및 파장 분할 기술의 혼합 방식인 TWDM-PON 기술이 주요 기술임) 기술의 표준화가 2014년 최종 승인을 목표로 진행 중이며, IEEE에서는 NG-EPON 표준화에 대한 논의를 시작하고 있는 단계이다.

전세계 PON 장비 시장은 표준화된 기술과 더불어 성장하고 있다. IEEE Ethernet WG에서 2004년 6월에 EPON 표준을 처음 발표하면서 점차 시장이 확대되었으며, 2008년에 들어와 아시아를 중심으로 급격히 성장하였다. EPON은 표준 이후에 시장 도입기를 거친 후 2008년에서 2010년까지 성장기를 지내왔다. 마찬가지로 GPON은 ITU-T에서 2004년 6월에 표준이 발표되었지만 2009년부터 2012년까지 성장기를 지내왔다. 지금은 EPON 및 GPON 모두 성숙기를 지나고 있으며, 2013년부터 EPON은 쇠퇴기를 거칠 것으로 전망되고 있다.

현재 PON 장비 시장은 중국 및 북미에서의 GPON 장비 수요의 증가로 매출이 증가하고 있는 상황이다. EPON 장비는 중

국 및 일본에서 매출이 점차 줄어들고 있는 상황이지만, 북미에서 케이블 사업자를 대상으로 매출이 급속히 증가하고 있으며, GPON 장비는 중국에서 2013년에 64%의 매출이 증가하였으며, 미국 및 유럽에서도 각각 18% 및 6%의 성장을 보이고 있다. 전세계 PON 장비의 매출 규모는 2013년에 48억\$ 규모로 다소 정체지만, 2018년 이후 차세대 장비로의 전환이 진행되면서 다시 상승할 것으로 전망되고 있다[1].

PON은 전화국사와 가입자 맥내를 직접 연결하는 구성을 가지고 있다. 따라서, PON 장비의 가격은 서비스 가격을 결정하는 데 직접적인 영향을 준다. 이러한 PON 장비의 저가화를 위해서는 국제표준에 의한 장비의 호환성 확보가 매우 중요하다. 현재, 국제표준화기구인 ITU-T와 IEEE를 비롯하여 광소자 표준을 추진하고 있는 IEC, 통신사업자 주도의 사전 표준화 논의기구인 FSAN 등이 광가입자망 기술 표준화를 활발히 진행하고 있다. 특히, FSAN은 통신사업자의 요구사항을 정리하여 발표하고, 장비사업자의 기술논의 결과를 수렴하여 ITU-T 표준을 위한 사전 표준안을 검토하는 단체로서, ITU-T 표준 기술에 통신사업자의 요구사항을 반영하는 중요한 역할을 하고 있다. 이 외에도 Broadband Forum에서는 광가입자망 시스템의 상호호환성 확보를 위한 권고안 및 서비스 운용에 대한 권고안을 제정하고 있다. <그림 1>은 광가입자망 관련 국제표준화 기구들의 현황과 관계를 나타낸다.

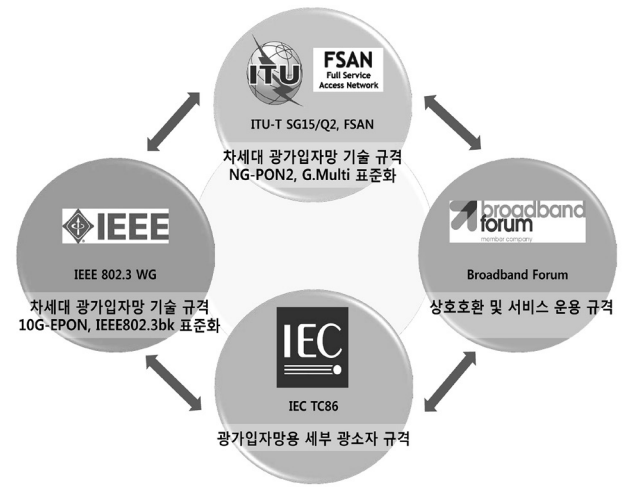


그림 1. 광가입자망 관련 국제표준화 기구

본고에서는 국제표준화 기구에서 진행중인 차세대 수동형 광가입자망 기술의 표준화 동향에 대하여 알아보고, 관련 기술개발 현황 및 새롭게 부각되는 스마트 광 분배망 기술과 SDN 기반 광가입자망 운용관리 등의 연구분야에 대하여 알아본다.

II. 본론

1. ITU-T NG-PON2 표준화

2010년 이후 10G급 광가입자망 기술인 XG-PON 기술 이후의 차세대 PON 기술로 NG-PON2 기술에 대한 후보 기술을 검토하던 FSAN에서는 2012년 4월 Bath 회의에서 시간 및 파장분할 방식의 혼합 구조인 TWDM-PON 기술과 PtP WDM overlay 기술을 NG-PON2 기술로 채택하였다. 이후 2013년 11월까지 구체적인 구현기술에 대한 논의를 진행하였으며 논의 결과를 바탕으로 ITU-T SG15/Q2에서 NG-PON2의 통신사업자 요구사항 (G.989.1), 물리계층규격 (G.989.2), 전송수렴계층규격 (G.989.3) 및 다과장 PON에서의 파장관리규격 (G.multi)에 대한 국제 표준화를 진행 중이다[2, 3, 4, 5].

<그림 2>는 FSAN과 ITU-T에서의 NG-PON2 표준화 일정 및 현재까지의 추진 결과를 요약한 것이다. 표준화 진행에는 프랑스 텔레콤, 알카텔 루슨트 (이상 프랑스), 코리언트, 버라이즌, 칼릭스 (이상 미국) 화웨이, ZTE, Fiberhome, FiberUnion (이상 중국) 브리티시 텔레콤 (영국), NTT, OKI (이상 일본), ADVA (독일), 및 ETRI, Ericsson-LG, SK텔레콤 (이상 한국) 등이 적극적으로 참여하고 있다.

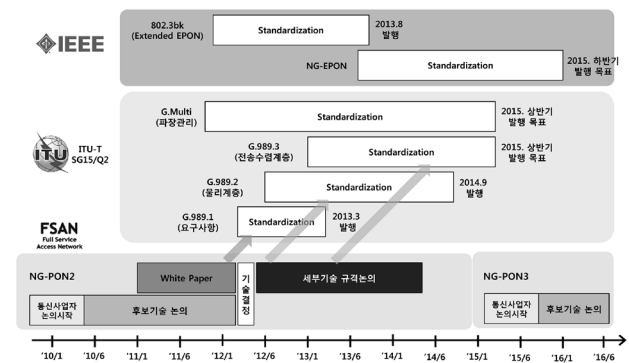


그림 2. FSAN 및 ITU-T의 NG-PON2 표준화 현황

2012년 9월 ITU-T 본회의에서 동의를 얻은 ITU-T G.989.1에 기술된 NG-PON2의 주요 요구사항은 아래와 같다. 이러한 요구사항을 토대로 TWDM-PON 기술은 주로 가입자 서비스에 적용되며 PtP WDM 기술은 전용선 서비스가 필요한 비즈니스 가입자나 무선 프린트홀/백홀 등에 사용될 수 있다.

- (1) 기존 PON 기술과 상호 공존성 유지
- (2) 최소 40Gb/s 하향 신호 용량, 최소 10Gb/s 상향 신호 용량
- (3) 최대 40Km 전송거리 및 허용 전송거리 차이 20Km
- (4) 최대 분기수는 1:256분기

- (5) 최소 4파장의 하향 및 상향신호 수용, 향후 8파장으로 확장 가능
- (6) 보호 절체 및 이중화
- (7) 점대점(PtP) 파장가변 WDM

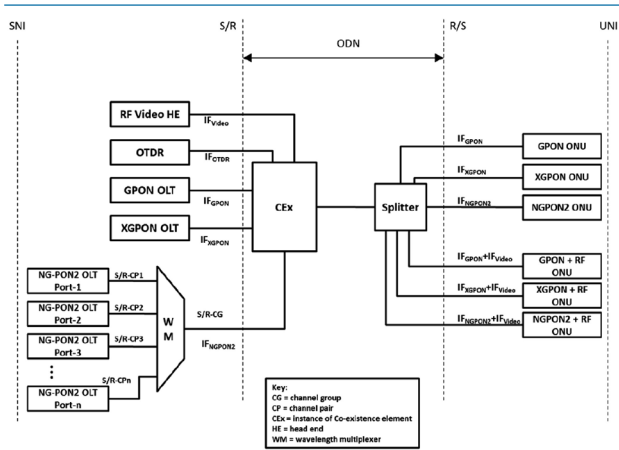


그림 3. NG-PON2 기능적 참조 모델[2]

〈그림 3〉은 ITU-T G.989.1에 기술된 NG-PON2의 기능적 참조 모델이다. NG-PON2 OLT(optical line terminal) 포트들은 WM (Wavelength MUX)을 이용하여 연결된 후 기존 PON의 OLT들 및 OTDR, RF Video서비스와 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 패널티 등을 고려하여 NG-PON2의 광링크 손실이 결정된다. 〈표 1〉은 G.989.2 초안에 기술된 NG-PON2 광 경로손실 클래스 규격이다.

표 1. NG-PON2 광 경로손실 클래스

	Class N1	Class N2	Class E1	Class E2
Minimum Loss	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
Maximum Loss	29 dB	31 dB	33 dB	35 dB

지난 2013년 3월 ITU-T SG15 정기회의에서 상하향 광신호 파장대역, 전송속도 클래스 등 신호의 전송품질과 관련된 다양한 파라미터의 규격 등이 논의되었다. 그 결과, 상하향 파장 대역은 TWDM-PON과 PtP WDM 기술이 동일 ODN에 사용되는 경우(Shared Spectrum)와 그렇지 않은 경우(Full Spectrum), TWDM-PON ONU의 상향 광송신기의 calibration 정도 (Wide, Reduced, Narrow Range)에 따라 아래 〈표 2〉와 같이 정의되었다.

표 2. NG-PON 상하향 광신호 파장대역

Wavelength Compatible Systems	TWDM		PtP WDM
	하향	상향	상향/하향
GPON, RF Video, XG-PON1	1596-1603 nm	Wide Range 1524-1544 nm Reduced Range 1528-1540 nm Narrow Range 1524-1540 nm	Shared Spectrum 1603-1625 nm Full Spectrum 1524-1625 nm

TWDM-PON은 광신호의 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 전송 패널티를 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 등급

등급	파장가변시간
Class 1	< 10 s
Class 2	10 us to 25ms
Class 3	25 ms to 1 s

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 클래스3 과 같이 상대적으로 파장가변 속도가 느려도 관계없다.

NG-PON2의 전송거리는 최대 40 km(분산값: 840 ps/nm)이며 상/하향 신호의 최대 전송 속도는 10Gb/s 이다. TWDM-PON의 경우 기본 4 파장을 제공하며 8파장까지 확장할 수 있다. PtP WDM의 경우 가용한 범위 내에서 파장수의 제한이 없다.

PtP 파장가변 WDM은 비즈니스 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 PON 전송속도의 표준규격으로 논의하고 있다.

표 4. PtP WDM PON 전송속도 클래스 [3]

Line Rate Class	Nominal line rate [Gbit/s] –Symmetric DS/US	Supported UNI
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 10G Ethernet
4	6,144	CPRI line bit rate option 6, OBSAI

NG-PON2에서는 다파장의 상향 광신호를 OLT에서 WM 디바이스를 통해 역다중화하여 수신하고 ODN에서는 기존의 광스플리터를 사용한다. 따라서, ONU간의 광경로 차이에 의한 상향 수신 신호 파워의 차이가 최대 20dB까지 나타날 수 있으며 WM 디바이스의 아이솔레이션 스펙 (일반적인 AWG의 경우, 인접 채널에 대해 약 23dB, 비인접 채널에 대해 약 30dB를 가진다) 부족으로 채널간 크로스톡(crosstalk)에 의한 파워 페

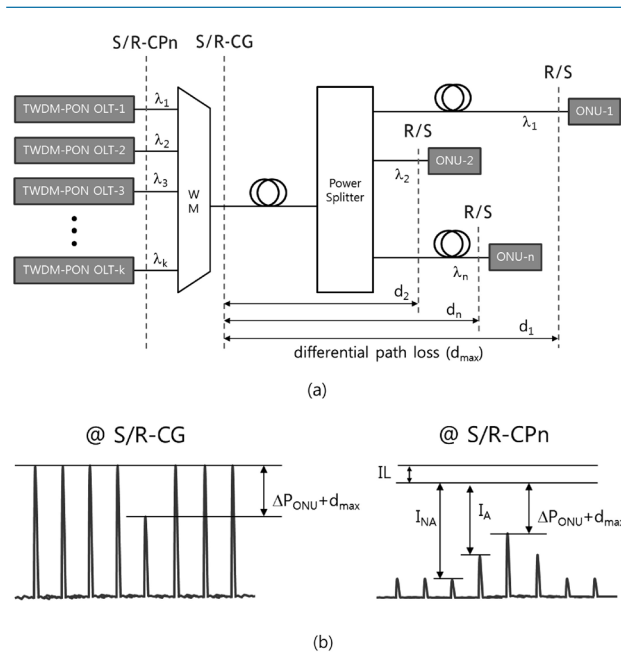


그림 4. TWDM-PON에서의 채널간 크로스톡 문제 (a)TWDM-PON 구성, (b) WM 디바이스 전후의 상향 신호 수신 스펙트럼

널티가 발생한다. 이를 해결하기 위하여, 아이솔레이션 스펙 향상을 위한 중첩 필터 구조의 WM 디바이스 구현 방안과 ONU 광송신 출력 세기를 조절하여 OLT에서의 수신 광파워의 다이나믹 레인지를 줄이는 방안이 있을 수 있으며, 후자의 경우는 ETRI의 주도로 G.989.3 TC 규격 표준에 포함하기 위한 논의가 진행 중이다.

2. IEEE NG-EPON 표준화

IEEE 802.3 이더넷 워킹그룹에서는 IEEE Std 802.3ah (1G-EPON)과 IEEE Std 802.3av (10G-EPON)의 표준화를 완료하였다. 그리고 EPON, 10 GEPON 장비들간의 상호호환 및 시스템운용과 관련된IEEE 1904.1 (Standard for Service Interoperability in EPON (SIEPON) 표준이 통신사업자들을 주축으로 완료된 바 있다.

또한, 기존 EPON 및 10G EPON의 분기수와 전송거리 확장을 위한 IEEE 802.3bk (Extended EPON)가 2013년 8월 승인되었다. <그림 5>에서와 같이, 기존 EPON의 19/23dB와 10G EPON의 20/24/29dB의 링크 버짓이 29/39 dB로 확장되었다. 이를 통해 더 높은 밀도와 장거리의 응용이 가능해져, 망사업자의 EPON 응용 영역이 더욱 확대될 것이다.

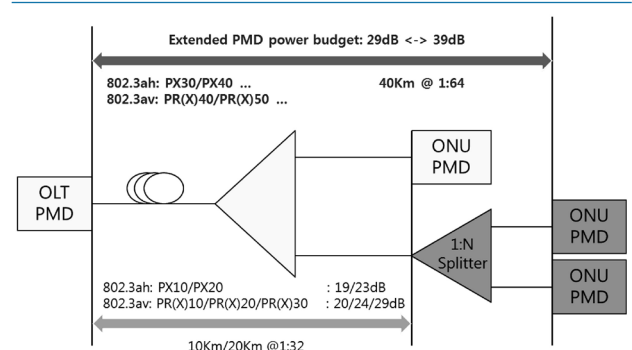


그림 5. Extended EPON 개념도

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[6].

NG-EPON의 목표 응용분야는 지역 및 상업지구의 가입자 서비스, 모바일 백홀, 그리고 음성, 비디오, 데이터 서비스 분야이다. 향후, 지속적인 논의를 거쳐 2015년 하반기 IEEE 표준 발행을 목표로 하고 있다.

3. 차세대 PON 기술 개발 동향

다수의 파장을 활용해 40G급 용량을 지원하는 차세대 PON 기술 개발의 주요 이슈는 주로 WDM 기술을 가입자망에 적용하는데서 발생하며 다음과 같은 기술 개발 이슈들에 대한 연구 및 개발이 진행 중이다.

- 1) 저가의 소형 파장가변 ONU 광트랜시버 개발 및 이를 이용한 PON 시스템의 파장 할당 및 변경 기술
- 2) 기존 광스플리터 기반 ODN 사용으로 발생하는 채널간, 파장 대역간 크로스톡에 의한 전송 페널티 이슈
- 3) 다파장 OLT시스템의 운용을 위한 트래픽 Load 분산과 전력 절감 기법, 그리고 서비스 도입과정의 점진적인 채널 사용 방안 (PAYG)
- 4) 에너지 절감 요구에 따른 ONU의 전력절감 기법

파장가변 ONU를 위한 광트랜시버는 파장가변 광송신기와 파장가변 광수신기로 구성된다. ONU에 적용하기 위한 소형화와 저가화가 기술개발의 가장 큰 걸림돌로 작용하고 있다. TWDM-PON 용 파장가변 ONU 광트랜시버는 사용채널 수가 한정되어 있기 때문에, 온도 조절을 통해 파장가변이 가능한 DFB-LD와 파장가변 필터를 적용하는 것이 경제적인 방법으로 고려되고 있다. 현재 파장가변 광수신기는 미국의 Aegis, Optoplex사에서 상용화 수준의 특성을 시장에 제시하고 있다. PtP WDM의 경우에는 사용하는 파장대역이 넓어 외부공진기형 파장가변 레이저 등이 후보로 고려되고 있다.

TWDM-PON에서 ONU의 등록과정에는 기존의 TDM-PON에서의 거리측정(Ranging) 과정 외에 파장 할당 및 변경 과정이 추가된다. 이를 위해서 기존의 거리측정 과정과 비슷하게 서비스 운영중인 ONU의 상향 트래픽을 잠시 멈추고 신규 ONU의 등록과정을 진행하는 Quiet Window를 열게 되는데, 이 때에는 사용하고 있는 모든 파장 채널에 동시에 Quiet Window를 열어 운영중인 ONU의 상향 트래픽 전송을 멈추어야 하는 부담이 생긴다. 이를 완화하기 위한 방법으로 Pilot tone을 사용한 보조 채널을 이용하여 ONU의 등록 과정을 진행하는 방안(AMCC, Auxiliary Management and Control Channel)에 대한 논의가 표준화 기구를 중심으로 진행 중이다.

다파장 시스템을 PON에 적용하면서 생기는 크로스톡 문제에 대한 연구도 활발히 진행 중이다. 표준화 기구에서는 주로 시스템상에서 어느 정도의 크로스톡이 발생할 것인가에 대한 분석 작업이 진행 중이며, 이를 해결하기 위한 WM 디바이스 구현은 개발자의 몫으로 남겨져 있는 상황이다. 앞서 언급한 바와 같이 상향 수신 광신호들의 다이내믹 레인지를 줄이기 위한 ONU 광

송신기 출력 세기 조절 방법이 현실적인 대안으로 연구가 진행 중이다[7].

다파장을 지원하는 시스템의 운용에서 발생하는 중요한 이점으로서 시스템의 트래픽 Load를 파장 채널별로 효율적으로 분산하거나, 사용하지 않는 파장 채널의 전원을 꺼서 OLT의 전력을 절감하는 기법에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 이는 기존의 10급 TDM-PON에서 ONU의 전력절감 기법에 대한 연구가 진행되었던 것과는 다르게 Load 분산과 전력절감 사이의 트레이드 오프를 분석하여 최적의 운영 조건과 운영 알고리즘을 도출하는 것이 주된 목적이다[8][9].

4. 스마트 광 분배망 기술 동향 [10]

최근 급격히 증가하고 있는 모바일 데이터 트래픽으로 인하여 이를 효과적으로 수용할 수 있는 PON 기술에 대한 요구사항도 높아져가고 있다. 특히, 서비스 제공 시간을 줄이고 망 신뢰성을 향상시키며 망 운용관리 비용을 줄이기 위하여 PON 인프라인 광 분배망(ODN: Optical Distribution Network) 링크에 대한 실시간 장애 검출 기술과 물리적 광 커넥션의 자동 인식 및 통합 관리 기술에 대한 활발한 연구 및 표준화가 진행 중이다.

빠르게 적용 범위를 넓히고 있는 PON 기술은 데이터 전송속도의 증대뿐만 아니라 장거리(>60Km), 고분기(>128분기)를 지원하는 방향으로 진화를 거듭할 것으로 예상된다. PON 기술이 가입자 구간에서 성공적인 확장을 계속 이루어 나가기 위해서는 네트워크 서비스 측면에서 다음과 같은 문제점들이 해결되어야 한다.

- Resource Utilization: 매년 증가하는 광섬유, 노드에 비해 광 가입자 인프라 관리는 매뉴얼 방식(종이 라벨 기반의 광 분배 포트 인식)으로 수행하고 있기 때문에 약 30%의 광통신 인프라 자원이 낭비
- Service Provisioning: 광 접속점들의 매뉴얼 연결 및 인식 방식은 네트워크 토폴로지 정보의 정확성을 떨어뜨려 빠른 서비스 제공이 어려움
- Fault Locating: PON망 결함의 위치/원인 정보를 파악하는데 긴 시간이 소요됨에 따라 유지보수 관리 비용이 증가

<그림 6>은 상기에서 언급한 Resource Utilization 및 Service Provisioning의 관점에서 살펴본 광 분배망의 현재 관리실태로서 현장 엔지니어에 의한 수동 관리로 광 분배망내의 광섬유 및 포트 식별이 매우 어렵고 부정확하여 약 30%의 자원이 낭비되고 있다 [11]. 이는 PON 인프라의 특징으로서 모든 광

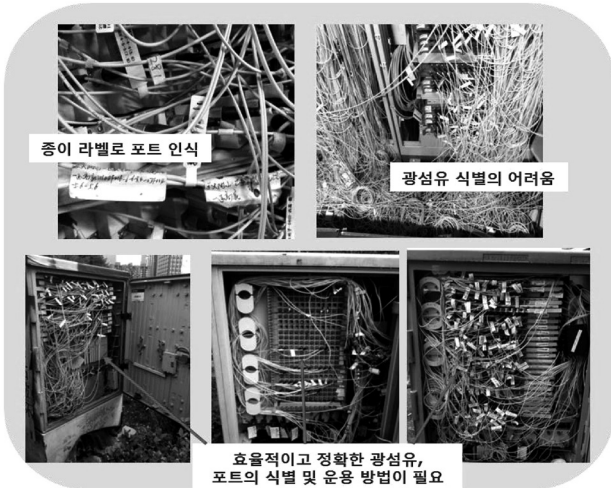


그림 6. 광 분배망의 비효율적 관리 실태

분배망의 장비들은 수동소자를 사용함으로써 네트워크 관리자의 입장에서는 블랙박스로 보일 수밖에 없는 한계를 지닌다.

특히, <그림 7>의 FTTH 네트워크 운용비용을 살펴보면 전체 망 비용 중 장비비용은 36%에 그치는 반면 광 분배망의 설치 및 관리에 64%의 비용이 지출되고 있다. 이러한 이유로는 망 장애 감지/복구 (Fault Locating) 등을 위한 관리 목적의 빈번한 엔지니어의 파견에서 운용비용이 소요되고 있기 때문이다.

FTTH NETWORK 운용 비용

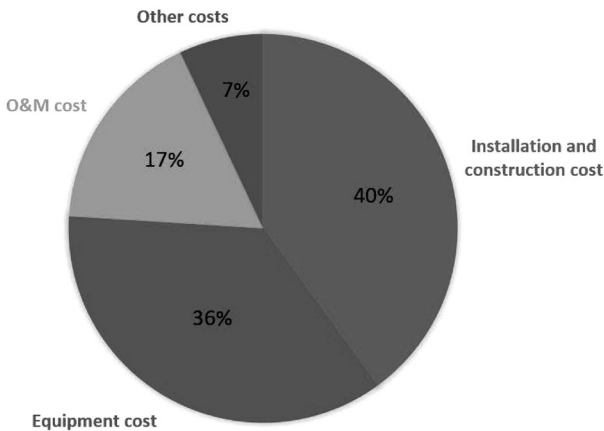


그림 7. FTTH 네트워크 운용 비용 [12]

스마트 광 분배망 기술이란 매뉴얼 방식의 비효율적인 광 분배망 운용관리 체계를 효율적이고 자동화된 방식으로 전환시킴으로써 똑똑한 광 분배망 인프라를 실현하는 기술로 정의될 수 있으며, 세부적으로는 실시간 광 분배망 장애 감시 기술과 광 분배망 자동인식 및 통합관리 기술로 분류할 수 있다.

광분배망 장애를 감시하는 기술로 상용화된 시스템에 도입

된 대표적인 기술은 OTDR(Optical Time Domain Reflectometry) 기술이다. PON용 OTDR은 (그림 8)과 같이 OLT 외부에 설치되고 다수의 OLT 포트를 공유하는 형태로 운용된다. ONU 측에는 감시광 반사필터를 사용하여 특정 감시광 파장(1625nm, or 1650nm)만 반사하도록 하고 OTDR은 수신된 감시광의 피크를 시간축 상에서 판별하여 특정 ONU 링크의 장애 유무를 판별하는 기술을 사용한다[13].

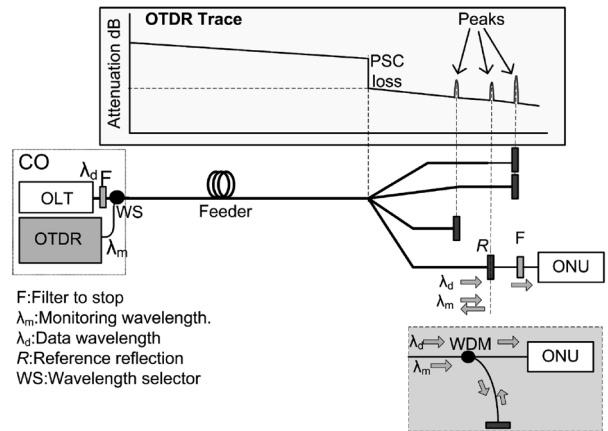


그림 8. 반사필터를 사용한 외장형 OTDR 시스템

기존 광선로 감시를 위한 OTDR 시장을 주도하고 있는 기업인 EXFO(미국), JDSU(미국), Anritsu(일본) 등은 자사 OTDR 장비를 활용한 광계층 감시 시스템 구축을 통해 자동화된 감시 및 알람 기능을 포함하는 통합 솔루션 형태의 제품을 출시하고 있다.

EXFO는 NQMSfiber라는 웹기반의 EMS 시스템과 연동되는 원격 시험 유닛(Remote Test Unit)을 포함하는 통합 솔루션을 제공하고 있다. 이 솔루션은 자동화된 감시 및 시험 운용, 웹기반의 EMS 연동을 통한 원격 관리 시스템 제공, PtP 뿐만 아니라 PtMP의 FTTH 시스템에 적용 가능한 RTU 장비, GIS 위치 정보 기반의 장애 상황 리포트 및 보고서 작성 기능 등을 포함한다.

JDSU는 자사의 OTDR 장비인 OUT-8000 시리즈를 활용한 ONMSi라는 원격 광선로 시험 시스템을 제공하고 있다. EXFO와 마찬가지로 OTDR 및 광 스위치를 포함하는 원격 시험 유닛과 XML 기반의 웹서버 (또는 SNMP 수용 가능)와 관리 소프트웨어, GIS 위치정보를 활용한 통합 솔루션 형태의 망 감시 및 관리 솔루션을 제공한다.

하지만 최근 들어 국사의 PON 포트의 수가 증가하면서 광선로 감시를 위한 OTDR 을 OLT 외부에 별도로 두고 여러 OLT가 공유하는 전통적인 방식은 여러 OLT의 PON 포트들을 실시간으로 감시하려는 망사업자의 요구를 충족시키지 못하고 있다.

이에 따라, OTDR을 이용한 PON 망 감시 기술은 실시간 감시 및 OPEX 절감, 효율적인 복구 등의 이유로 PON 라인카드에 OTDR 기능을 통합하는 Embedded OTDR 형태로 발전하고 있다. 그 중에서 OLT 광트랜시버에 OTDR 기능을 내장하는 내장형 OTDR의 개발이 활발히 이루어지고 있으나 외장형에 비해 감시 성능이 낮고 OLT 광모듈 가격이 높아진다는 점은 여전히 해결해야 할 과제로 남아있다.

내장형 OTDR 개발 동향을 살펴보면, Alcatel Lucent는 2010년 9월 자사의 PON 시스템에 OTDR기능을 내장한 제품을 발표하였다. <그림 6>에 나타난 스마트 트랜시버라 불리는 OTDR 내장형 광모듈은 OTDR 센서 기능을 내장하고 ALU의 Intelligent Service Access Manager (ISAM) OLT에 장착된다. 다단으로 구성된 분배망의 두번째 스플리터까지 시험이 가능하며 자사의 SW기반 망분석기(Motive Network Analyzer)와 연동하여 OTDR 시험 기능을 수행할 수 있다.

Neo-Photonics사는 2012년 10월 내장형 OTDR을 포함한 SFP(Small Form Factor Pluggable) 타입의 GPON OLT용 광모듈을 발표하였다. 2010년 PMC-Sierra는 OTDR기능이 포함된 광송수신기 구성방법과 운용방법에 대한 특허를 출원하였고, 출원된 특허를 기반으로 OTDR 기능이 포함된 10GEPON 시스템용 MAC chip을 개발중이다.

Huawei에서는 OFC 2014에서 OTDR 기능 내장형 트랜시버를 접목한 NG-PON2 시제품을 전시하여 많은 눈길을 끌었다.

<그림 6>에서 살펴본 바와 같이 광 분배망 내에서 광 커넥터와 포트간의 접속관리는 현장 엔지니어에 의해 종이 라벨로 식별을 하는 매뉴얼 방식으로 이루어 지고 있다. 따라서 망을 운영하고 있는 통신사업자의 입장에서도 광 분배망이 어떤 식으로 체결되어 있는지 엔지니어가 직접 현장에서 눈으로 확인하지 않는 한 알기 어려운 것이 현실이다. 신규 네트워크 서비스 가입자 또는 기존 가입자의 탈퇴로 인해 광 분배망의 광 커넥터 환경설정을 주기적으로 변경하다 보면 광 분배망 내의 광 커넥터와 포트간 식별이 어려워 잦은 결속 에러 및 서비스 개통 지연과 같은 문제점이 발생한다.

이와 같은 매뉴얼 방식의 광 분배망 관리의 문제점을 해결하기 위해서 NTT에서는 <그림 9>와 같이 광 분배망을 구성하는 광 커넥터, 스플리터, 광 단자함 등에 바코드 또는 QR 코드 등을 활용하여 광 섬유 인프라의 인식이 쉽도록 연구 개발을 진행해 왔다. 한편, Huawei에서는 <그림 10>과 같이 전자 ID 태그를 이용한 광 분배망 관리 플랫폼으로 Intelligent ODN 시스템을 개발하여 마케팅 및 표준화에 노력하고 있다[14].

Intelligent ODN 시스템은 Intelligent ODN equipment, Intelligent Field Tool, Management System과 OSS로 구

성된다. Intelligent ODN equipment는 스플리터, 광분배 프레임, 패치 코드, 광커넥터 등 ODN을 이루고 있는 구성요소에 ID 태그를 부착한 장치를 의미하며 이들 장치의 ID 정보는 PDA 등으로 구현된 Intelligent Field Tool에 의해 수집되어 Management System으로 전송된다. Management System은 ID 데이터를 통합 저장하고 OSS와 연동하여 광 분배망을 관리한다.

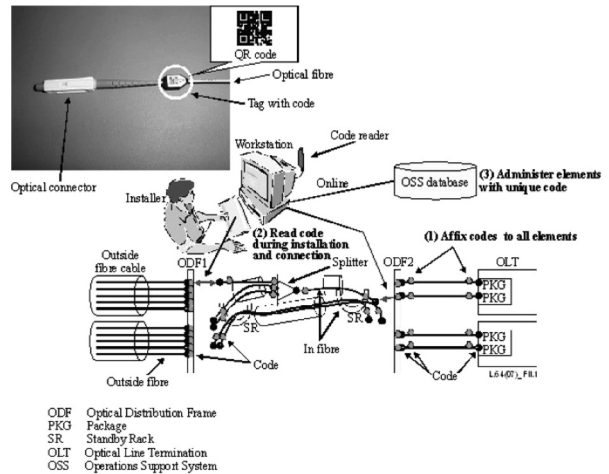


그림 9. NTT의 광 분배망 관리 시스템

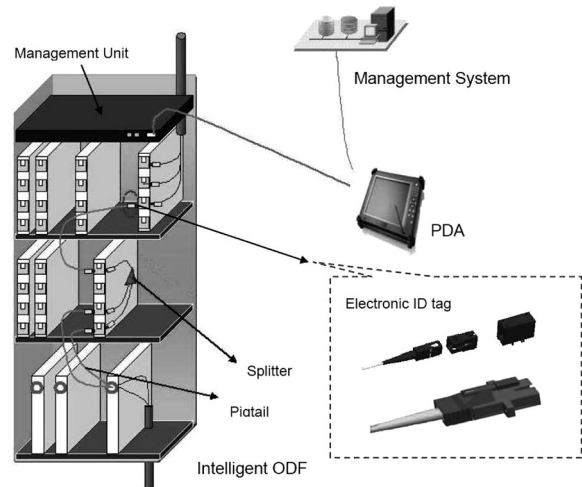


그림 10. Huawei의 광 분배망 관리 시스템

5. SDN 기반 광가입자망 운용관리 기술

스마트 광 분배망 기술이 물리적인 광 분배망의 감시 및 관리를 효율적으로 하기 위한 노력이라면, SDN (Software Defined Network) 기반의 광가입자망 운용관리 기술은 논리적인 가입자망 자원의 효율적인 사용 및 전달망, 코어망을 아우르는 통합

된 서비스 운용을 위한 노력이라고 할 수 있다.

최근의 트래픽 증가 추세는 네트워크 서비스 사업자에게 다양한 응용 서비스로부터 발생하는 통신망에서의 대용량 트래픽을 효율적으로 제어하고 관리하기 위한 해결방안이 요구되고 있는 상황이다. 우선적으로 신규 장비를 도입하여 시스템 용량을 확충하고 있으나, 이에 따른 설비 투자 비용과 다양한 응용 서비스 제공을 위한 운용 비용 증가 때문에 네트워크 서비스 사업자의 수익성이 감소하는 상황에 직면해 있다. 따라서, 향후 네트워크 고도화의 주요 경향은 네트워크 전송 용량을 증대시키면서 동시에 네트워크 효율성을 향상시킬 수 있는 기술을 이용하여 신규 설비 투자 비용 및 운용 비용을 절감하는 것이 될 것이다[15].

SDN 기술은 이러한 현재 네트워크 구조의 한계성을 극복하고 새로운 요구사항들을 수용하기 위해 등장했다. 통신 서비스 사업자나 기업의 환경변화에 대응하기 위한 네트워크 구성의 유연성 및 효과적인 관리 기능을 제공하면서, 하드웨어 중심의 네트워크를 소프트웨어 기반으로 전환시켜 기존 패러다임을 변화시킬 수 있는 실질적인 대안으로 여겨지고 있다.

다양한 이해관계자들이 적극적으로 참여하고 있는 SDN 연구 개발은 코어 네트워크와 전달망을 거쳐 점차 그 연구 범위를 확장하고 있는 추세이다. Hagen Woesner는 점차 융합되어가는 가입자망과 메트로망에서의 SDN과 OpenFlow의 적용으로 보다 많은 서비스 대역폭 제공과 유연하고 효율적인 네트워크 운용이 가능해질 것이라고 예상하고 있다. 이를 위해 서비스 플로우에 대한 관리 측면에서 <그림 11>과 같이 동일한 관리 체계가 유선 및 무선 가입자/Aggregation 네트워크에 공통으로 적용되어 유무선망의 융합을 가속화 할 것이라고 예상하였다[16].

Andrea Sgambelluri et al.은 I2RS(Interface to the Routing System) 프레임워크를 적용한 통합 SDN 컨트롤러를 통해 PON에서부터 메트로, IP/MPLS 네트워크까지의 상향 QoS 트

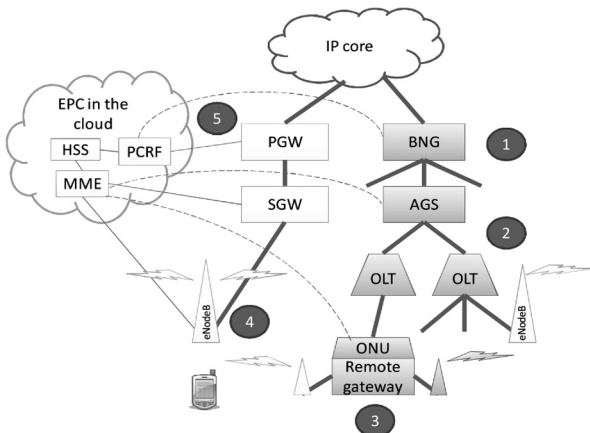


그림 11. OpenFlow 기반의 가입자/Aggregation 네트워크 통합

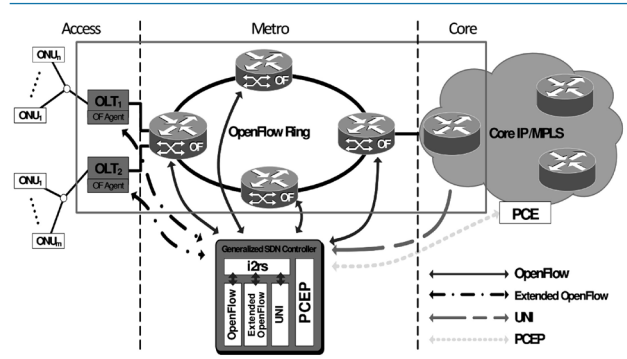


그림 12. I2RS 적용 가입자, 메트로, 코어 통합 SDN 제어 구조

래픽 관리를 테스트베드를 통해 구현하였다[17].

또한, NEC에서는 SDN과 OpenFlow 원리를 가입자와 aggregation 망에 적용하여 동적인 flex-grid 파장 서킷을 생성하는 방안을 제안하였다. 이를 통해, 셀당 150Mbps의 4G OFDM 모바일 백홀 신호를 10G PON상에서 전송하는 실험 결과를 발표하였다. 제안된 구조를 통해, 고속, 저지연 그리고 높은 QoS 품질을 가지는 응용서비스를 기존의 PON 망에서 On-demand 형태로 구현할 수 있다[18].

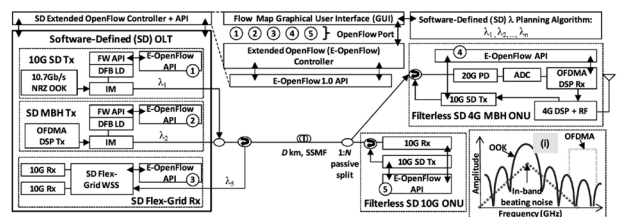


그림 13. OpenFlow 기반의 Flex-grid, Flex-I PON 구조 (NEC)

SDN 기반 광가입자망 운용관리 기술의 현재까지의 연구는 주로 메트로의 전달망과 가입자망의 통합 제어를 통한 대역폭의 효율적인 사용, 기존 가입자망의 트래픽 플로우 매핑을 통한 서비스 플로우의 통합 관리 및 응용서비스의 빠르고 효과적인 제공에 초점이 맞추어져 있다. 앞으로 가입자망과 메트로망이 점차 통합되는 형태로 발전하면서 SDN을 통한 통합 운용관리는 보다 실제 네트워크에서 그 필요성이 더욱 높아질 것으로 예상된다.

III. 결론

본고에서는 ITU-T와 IEEE에서 진행중인 차세대 수동형 광가입자망 기술의 국제 표준화 동향에 대하여 알아보고, 관련 기술개발 현황 및 새롭게 부각되는 스마트 광 분배망 기술과 SDN

기반 광가입자망 운용관리 등의 연구분야에 대하여 기술하였다. 2018년경에 이르러 기존의 기가급 PON 기술들이 차세대 PON 기술로 대체되면서, 수동형 가입자망 기술은 기존의 PON과 차별화된 새로운 서비스 운용과 망 관리 기술이 도입된 보다 빠르고, 유연하고 관리가 용이한 형태로 발전할 것으로 전망된다. 이러한 상황에서 차세대 광가입자망 핵심 기술의 국내 개발 및 상용화를 위해 보다 많은 노력과 지원이 필요한 시점이다.

Acknowledgement

본 연구는 미래창조과학부가 지원한 산업융합 원천기술개발사업[10047042, 하향 40Gbps 및 상향 10Gbps 전송속도를 지원하는 차세대 수동형 광가입자망 시스템 기술개발]의 연구 결과로 수행되었음.

참고 문헌

- [1] "PON, FTTH, and DSL Aggregation Equipment and Subscribers - Quarterly Worldwide, Regional, China, and Japan Market Share, Size, and Forecasts: 4Q13" March 2014, Infonetics
- [2] ITU-T G.989.1: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements (03/2013)
- [3] ITU-T G.989.2: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification
- [4] ITU-T G.989.3: 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): Transmission Convergence (TC) layer specification
- [5] ITU-T G.multi: Control aspects of multi-wavelength passive optical networks
- [6] http://www.ieee802.org/3/ad_hoc/ngepon/index.html
- [7] Hark Yoo et al., "ONU Transmit Power Levelling for TWDM-PONs" COIN2014, September, 2014.
- [8] N. Cheng, L. Wang, D. Liu, B. Gao, J. Gao, and X. Zhou, "Flexible TWDM PON with load balancing and power saving," ECOC, no. 1, pp. 6-8, 2013.
- [9] Y. Luo, M. Sui, and F. Effenberger, "Wavelength management in time and wavelength division multiplexed passive optical networks (TWDM-PONs)," GLOBECOM - IEEE Glob. Telecommun. Conf., vol. 2, no. September 2011, pp. 2971-2976, 2012.
- [10] 김성창, 김근용, 김재인, 유학, 이동수, 김영선, "스마트 광분배망 기술 및 표준화 동향", 전자통신동향분석 10월호 제출, 2014
- [11] China Telecom, "Intelligent ODN System," BBF Q2 Meeting, 2012, pp. 5.
- [12] Huawei, "Intelligent ODN System-Proposal for Architecture and Requirements," BBF Q2 Meeting, 2012, p. 4.
- [13] M. A. Esmail, H. Fathallah, "Physical Layer Monitoring Techniques for TDM-Passive Optical Networks: A Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, no. 2, 2Q. 2013, pp. 943-558.
- [14] ITT-T L.64: ID tag requirements for infrastructure and network elements management (10/2012)
- [15] 윤천주, 백용순, 김종희, "SDN 구현을 위한 광통신 핵심 요소 기술", 전자통신동향분석, Vol. 28. No. 5, pp. 43-56, 2013
- [16] H. Woesner and D. Fritzsche, "SDN and OpenFlow for Converged Access/Aggregation Networks," Opt. Fiber Commun. Conf. Fiber Opt. Eng. Conf. 2013, p. OTu3E.4, 2013.
- [17] A. Sgambelluri, F. Paolucci, F. Cugini, L. Valcarengi, P. Castoldi, and O. Ring, "Generalized SDN Control for Access / Metro / Core Integration in the framework of the Interface to the Routing System (I2RS)," pp. 1216-1220, 2013.
- [18] N. Cvijetic, A. Tanaka, P. N. Ji, K. Sethuraman, S. Murakami, and T. Wang, "SDN and OpenFlow for Dynamic Flex-Grid Optical Access and Aggregation Networks," J. Light. Technol., vol. 32, no. 4, pp. 864-870, Feb. 2014.

약 력



유 학

1998년 연세대학교 공학사
 2000년 한국과학기술원 공학석사
 2005년 한국과학기술원 공학박사
 2005년~현재 한국전자통신연구원 호남권연구센터
 선임연구원
 관심분야: 광가입자망 시스템 MAC 기술,
 스마트 광분배망 기술



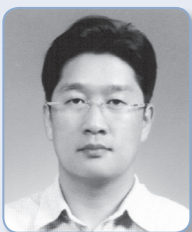
김근용

2004년 광운대학교 공학사
 2006년 광주과학기술원 공학석사
 2006년~현재 한국전자통신연구원 호남권연구센터
 선임연구원
 관심분야: 광가입자망 시스템 소프트웨어 기술,
 스마트 광분배망 기술



김성창

1999년 인하대학교 공학사
 2001년 한국과학기술원 공학석사
 2006년 한국과학기술원 공학박사
 2006년~현재 한국전자통신연구원 호남권연구센터
 선임연구원
 관심분야: 광가입자망 기술, 스마트 광분배망 기술



이동수

1993년 서강대학교 이학사
 2000년 한국과학기술원 공학석사
 2004년 한국과학기술원 공학박사
 2005년~현재 한국전자통신연구원 호남권연구센터
 광단말술루션연구실장
 관심분야: 광가입자망 기술, 스마트 광분배망 기술



김영선

1980년 고려대학교 공학사
 1982년 고려대학교 공학석사
 1991년 고려대학교 공학박사
 1982년~현재 한국전자통신연구원
 호남권연구센터장
 관심분야: 광통신 시스템, 광 통신 소자 기술