

광전송 기술 및 동향

Technology and Trends on Optical Transmission Technology

김광준 (K. Kim)	광전송연구팀 팀장
고제수 (J.S. Ko)	광전송연구팀 책임연구원
이준기 (J.K. Lee)	광전송연구팀 선임연구원
정환석 (H.S. Chung)	광전송연구팀 선임연구원
윤지욱 (J.W. Youn)	광전송연구팀 책임연구원
양총열 (C.R. Yang)	광전송연구팀 책임연구원

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 원천기술개발사업의 일환으로 수행한 연구로부터 도출된 것임(과제관리번호: KI001911, 과제명: 100Gbps 급 이더넷 및 광전송 기술 개발).

지난 세기말까지는 통신의 주된 기능이 음성 전달에 머물렀지만 금세기에 들어와서는 동영상 위시한 다양한 정보들이 생산되고 유통되며 소비되고 있다. 데이터 트래픽은 음성 트래픽을 오래 전에 추월하고도 매년 기세가 꺾일 줄 모르고 기하급수적으로 증가 중이다. 이러한 정보화 시대를 뒷받침하는 여러 요소가 있으나 광전송 기술의 공로도 결코 작은 것이 아니며 앞으로도 누구나 최소한의 비용으로 무한한 정보를 생산하고 유통하며 향유하는데 선도적 역할을 할 것이다. 돌이켜보면 1960년대에 유리로 된 광섬유를 통해 신호를 전송하는 아이디어가 나왔으며 1970년대 말에 광섬유 전송이 실용화 되었다. 그리고 1980년대에 광증폭기 기술이 등장하여 1990년대 후반에 광섬유 선로 하나를 여러 신호가 공유하는 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 기술이 마침 시작된 트래픽 폭발을 뒷받침하여 빠른 속도로 확산되었다. 이제는 거의 무한대로 여겨지던 광섬유의 대역폭도 아껴 써야 하는 시대가 다가오고 있다. 한편 기존 광전송망의 에너지 소모, 비용, 상면적 등의 확장을 최소화하면서도 계속 증가하는 트래픽을 수용하여야 한다. 본고에서는 최근에 표준화가 이루어져 시장이 열리고 있는 100G급 기술을 중심으로 광전송 기술의 최근 동향을 요약하였다.

차세대통신기술 특집

- I. 개요
- II. 이더넷 광트랜시버 동향
- III. OTN 광트랜시버 동향
- IV. OTN 표준 동향
- V. 전송 에너지 절감 동향
- VI. 요약

I. 개요

스마트폰의 보급, 클라우드 서비스 도입 등으로 네트워크에서의 대역폭 확장 요구가 끊임없이 요구되고 있으며, 이로 인한 모바일 백홀 용량 증설과 기반 망인 광전송망 업그레이드가 필요하여 새로운 광전송 기술에 대한 수요가 계속 이어지고 있다.

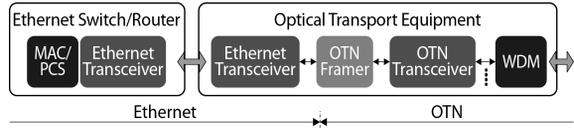
전송망 대역폭 증가에 신속하게 대처하기 위해서 WDM 파장의 증설과 함께 새로운 광전송 기술이 개발되어 실용화되고 있다. 파장당 속도를 높여 주는 40Gbps 및 100Gbps 전송 기술, 스펙트럼 효율을 높여주는 멀티레벨 광변조 기술, 광전송 기반의 패킷 신호 전달 기술, 대용량 트래픽 전달 기술 등이다.

근거리에 있는 컴퓨터 간의 통신 프로토콜로 출발한 이더넷(Ethernet) 기술은 인터넷의 대중화와 함께 가장 보편적인 통신 프로토콜로 자리매김하게 되었다. 이더넷의 표준을 담당하고 있는 IEEE 802.3 표준화 그룹에서는 데이터 트래픽의 폭발적 증가에 부응하여 기가비트 이더넷 표준화(1998년)에 이어 10기가비트 이더넷 표준(2002년)을 제정하였다. 그리고 2010년 6월에는 40G 및 100G 이더넷에 대한 표준을 정하게 되었다[1].

이에 따라 100G급 신호가 발생하게 되었고 백본망의 표준을 관장하는 ITU-T에서는 이를 수용하는 OTN 표준을 새로 정의함으로써 TDM 계층에서는 회선을, WDM 계층에서는 파장을 모두 포함하는 다양한 트래픽 형태를 제어하는 체계를 확장하였다[2].

100G 장거리 전송을 위해 OIF에서는 DP-QPSK 방식의 코히어런트 100G 송수신 기술을 제안하였으나[3], 복잡도로 인해 2013년 이후에나 실용화될 것이다. ETRI에서는 복잡도를 대폭 줄인 DC-DQPSK 방식의 100G 광송수신 기술을 개발하여 실용화를 앞당기는데 기여하고 있다[4].

데이터 센터 내 또는 빌딩 간의 단거리 구간에 이더넷 신호를 전달하기 위해서는 이더넷 광트랜시버가 필수적이며, 메트로 및 코어망에서 OTN 신호의 장거리



* 이더넷 스위치나 라우터 등의 장비가 이더넷으로 OTN 광전송 장비에 접속되어 WDM 망을 통해 멀리 떨어진 다른 장비들과 연결된다

(그림 1) 광전송 기술의 적용 예.

전송을 위해서는 OTN 광트랜시버가 필수적이다. 최근 OTN은 기가비트 신호 외에 다양한 대역폭 수용이 가능한 flexible ODU에 대한 표준화가 이루어져 그 효율성과 활용성을 더욱 높였다. 또한, 전송 트래픽의 고속화와 대용량화에 따른 전력 소비 문제를 극복하기 위한 노력이 진행되고 있다. (그림 1)은 광전송 기술의 적용 예를 보인 것이다.

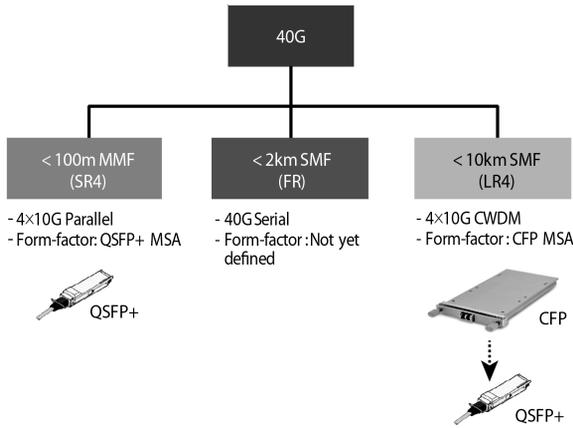
Dell'Oro Group의 광전송 5년 예측 보고서에 따르면, 광전송 시장은 향후 연간 성장률(CAGR) 10%로 성장하여 2011년 120억 달러에서 2016년에는 180억 달러에 이를 것으로 전망하고 있다[5].

본고에서는 광전송 망에서 단거리 전송을 위한 이더넷 광트랜시버, 중장거리 전송을 위한 OTN 광트랜시버, 광전송망인 OTN 표준, 그리고 전송 에너지 절감에 관한 최근의 동향을 기술한다.

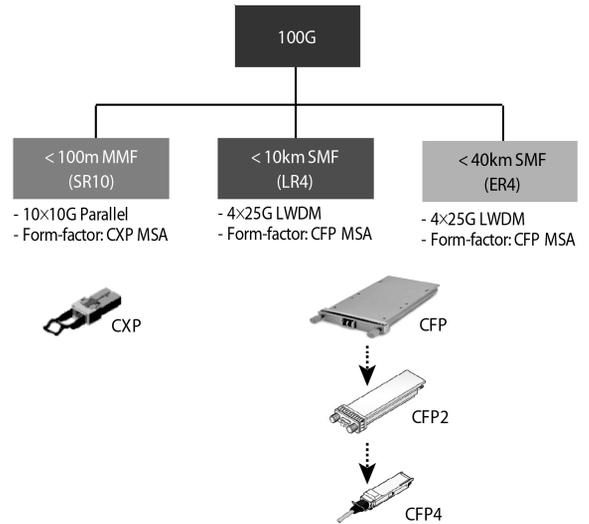
II. 이더넷 광트랜시버 동향

40G 이더넷 표준은 데이터 센터 내의 서버, 스토리지, 호스트 간의 단거리 통신을 목적으로 하고 있으며, SMF 10km, SMF 2km, MMF 100m, 구리 케이블 7m, 그리고 backplane 1m 등 다양한 물리계층(physical layer) 규격이 정해져 있다.

(그림 2)에서는 40G 이더넷 표준을 지원하는 광트랜시버를 종류별로 나타냈다. 물리계층 규격 중 광으로 전송하는 규격은 3가지 종류가 있으며, 이 중 100m OM3 MMF를 매질로 하는 40G 이더넷 전송 표준(SR4)



(그림 2) 다양한 규격의 40G 이더넷 광트랜시버

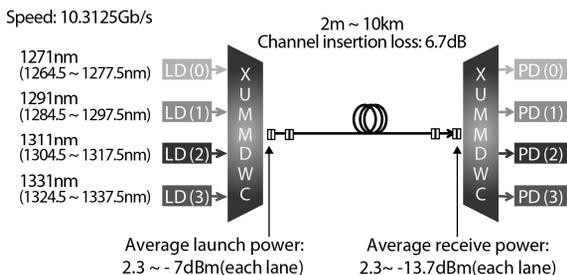


(그림 4) 다양한 규격의 100G 이더넷 광트랜시버

은 850nm VCSEL array를 이용하여 4×10Gb/s 병렬 (parallel) 전송하는 방식이다. 본 표준은 QSFP+MSA 광트랜시버로 구현되어 상용화되고 있다. SMF를 통해 2km까지 전송이 가능한 표준(FR)은 40G 이더넷 신호를 1530~1565nm 파장대역의 광신호로 직렬 전송하며 2011년 3월에 추가로 표준화되었다[6].

SMF 10km 전송을 위한 표준(LR4)은 4×10Gb/s CWDM 방식이 채택되었다. (그림 3)은 40GBASE-LR4 표준의 주요 광학적 규격이며, CWDM 중심파장은 1271nm, 1291nm, 1311nm, 1331nm으로 할당되어 있다.

40GBASE-LR4 표준을 지원하는 광트랜시버는 현재 CFP MSA form-factor로 상용화 되어 있으며, 향후 QSFP+MSA 폼 팩터(form-factor)로 소형화될 것으로 전망된다.

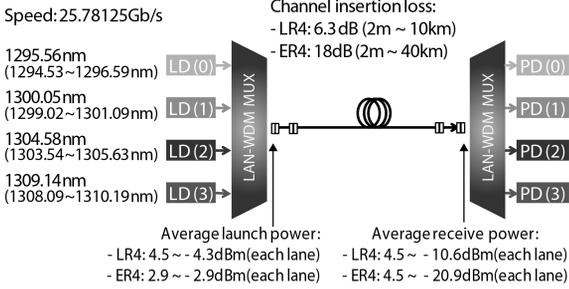


(그림 3) 40GBASE-LR4 표준의 주요 광학적 규격

CFP MSA 광트랜시버는 40G 및 100G 이더넷 신호를 전송하기 위한 대표적인 광모듈로 2009년 3월에 Finisar, Opnext 등 주요 업체들이 모여 MSA를 결성하였다[7]. 모듈 크기는 14.5×8.2×1.4cm³이며, 148핀의 커넥터를 통해 전기적으로 호스트 보드와 접속된다.

100G 이더넷 표준은 Wide-Area Network(WAN), 네트워크 aggregation(빌딩 간) 등을 목적으로 하고 있으며, 물리계층의 규격은 SMF 40km, SMF 10km, MMF 100m, 구리 케이블 7m로 구성되어 있다. (그림 4)에서 100G 이더넷 표준을 지원하는 광트랜시버들을 보여준다. 광 접속규격에는 세 종류가 있으며, 이 중 100m OM3 MMF를 매질로 하는 100G 이더넷 전송 표준(SR10)은 850nm VCSEL array를 이용하며 10×10Gb/s 병렬 전송한다. 본 표준은 CXP MSA form factor로 구현되어 상용화되었다.

SMF 10km 및 40km 전송을 위한 표준(LR4/ER4)은 4×25Gb/s LAN-WDM 방식이 표준으로 채택되었다. (그림 5)는 100GBASE-LR4와 ER4 표준의 주요 광학적 규격이며, CWDM은 채널 간격이 20nm로 넓은 반면, LAN-WDM은 채널 간격이 800GHz(4.5nm@1310nm 파장대역)로 정해져 있다.



(그림 5) 100GBASE-LR4, ER4 표준의 주요 광학적 규격

100GBASE-LR4와 ER4 표준을 지원하는 광트랜시버는 현재 CFP MSA form factor로 상용화되었으며, LR4용 광트랜시버의 광학적 규격은 (그림 5)와 같다. 송신부의 경우, 10개의 10Gb/s 전기신호가 입력되면 10:4 gear box에서 4개의 25Gb/s 전기신호로 다중화되며, 각각의 전기신호는 구동 증폭기에서 증폭된다. 증폭된 전기신호는 EML을 통하여 광신호로 변환되고, 4:1 WDM MUX를 통하여 하나의 광섬유로 다중화된다. 수신부의 경우, 광섬유를 통하여 전송된 광신호가 1:4 WDM DMUX를 통하여 4개의 광신호로 분리되고, PIN PD를 거쳐 전기신호로 변환된다. 변환된 전기신호는 TIA를 통해 증폭되며 4:10 gear box에서 10개의 10Gb/s 전기신호로 출력된다. 간혹 이러한 표준을 벗어나는 사례도 있어서 NeoPhotonics는 2km, 10km에 적용하는 비표준 방식의 10×10G MSA 모듈을 출시하고 있다.

III. 이더넷 광트랜시버 동향

OTN 광트랜시버는 고속의 전기신호를 장거리 전송에 적합한 광신호로 변환하여 송신하는 기능과 전송된 광신호를 수신하여 다시 전기신호를 재생하는 기능을 겸비한 핵심 모듈이다. 현재 10G OTN 광트랜시버가 양적인 측면에서 시장을 주도하고 있고 40G 및 더 나아가 100G 신호를 광전송망(OTN)에 원활하게 수용하기 위한 다양한 연구 개발이 이루어지고 있다[8].

〈표 1〉 40G 광트랜시버 변조 방식 비교

Format	NRZ	DPSK	DQPSK	DP-QPSK
Detection	Direct	Direct	Direct	Coherent
Company	ETRI/ Finisar	ETRI/ Opnext/ Finisar	ETRI/ Opnext	Ciena/ Oclaro
Availability	○	○	○	○
Application	Metro	Core/ Metro	Core/ Metro	Core
Symbol rate(GBd)	43	43	21.5	10.75
WDM grid (GHz)	100	100	50	50
OSNR(dB) (BER 10 ⁻³)	15.5	12.5	14.2	12
GVD(ps/nm)	<50	50	210	>>500
PMD(ps)	3	3	6	>>10

〈표 1〉은 40G급 광트랜시버의 종류를 변조 방식별로 정리한 것이다. 10G 광트랜시버와 마찬가지로 40G 광트랜시버도 300 pin MSA 인터페이스를 따르며, OIF의 SFI-5 규격에 따라 40Gb/s SERDES와 framer 간에 16개의 2.5Gb/s급 병렬 전기신호로 접속된다[9]. 기존의 10G급 광트랜시버에서 널리 사용된 NRZ 변조 방식은 구조가 매우 간단한 장점이 있으나, 40G 속도에서는 일반 단일모드 광섬유(SMF)에 존재하는 색분산, 편광모드 분산으로 NRZ 신호 전송에 어려움이 크다. 따라서 전통적인 OOK 변조 방식에서 탈피하여 DPSK, DQPSK 등의 위상 변조 방식이 적용된 광트랜시버가 개발되었다. 기존의 OOK 방식이 광 세기 크기로 0과 1을 구별하였다면, DPSK 방식은 인접 비트 간의 위상 비교로 0과 1을 구분하는 방식이며, balanced receiver를 사용하기 때문에 요구되는 신호대 잡음비가 약 3dB 낮은 장점이 있다[8]. DQPSK 방식은 한 심볼당 2비트를 전송하는 방식으로 NRZ나 QPSK 방식에 비해 심볼 속도를 반으로 낮출 수 있으므로 차지하는 대역폭이 좁아지고 색분산 등의 영향을 줄일 수 있는 장점이 있다.

한편, 광신호가 가지고 있는 두 개의 편광 성분을 이

용하고 각 편광 성분을 QPSK로 변조하여 한 심볼당 4 비트를 전송할 수 있는 DP-QPSK 방식이 Ciena에 의해 개발된 이후 상용화를 위한 많은 후속 연구가 진행되고 있다[10]. 이 방식은 40G급 신호 전송을 위해 10-Gbaud 속도의 심볼을 이용하고 있으며, 전기적인 신호 처리를 이용하여 편광 성분을 분리하고 색분산 및 편광 모드 분산의 영향을 제거할 수 있다.

100G급 광트랜시버는 40G급 광트랜시버에 비해 전송 속도 및 심볼 속도가 2.5배 높아지므로 광학소자, 전자소자의 대역폭 한계, 광선로의 색분산 및 편광모드 분산, 수신기에서의 광신호대 잡음비 등 다양한 요소의 종합적인 고려가 필요하며, 광변조 방식의 중요성이 더욱더 부각되고 있다.

〈표 2〉는 100Gbps 신호를 OTN 망에 수용하여 장거리 전송하기 위한 변복조 방식을 정리한 것이며, 크게 직접수신 방식과 코히어런트 수신 방식으로 나누어 볼 수 있다[11]–[14]. 우선, 5비트를 2개의 심볼에 매핑하여 전송하는 3ASK-DPSK 방식은 ADVA사에서 제안하고 개발되었다[11]. 이 방식은 심볼레이트가 44Gbaud로

서 기존의 40기가 트랜시버에서 사용하는 광/전자소자를 이용할 수 있는 장점이 있지만, 요구되는 OSNR이 매우 높고 색분산 허용치가 낮은 단점이 있다.

28Gbaud의 심볼 속도를 이용하면서 두 개의 캐리어와 DQPSK 변복조 방식을 이용하는 DC-DQPSK 방식이 ETRI에서 개발되었으며, 이 방식은 편광모드 분산 및 색분산 조건이 비교적 여유롭고 연속적인 편광 트래킹이나 코히어런트 변조 방식에서 필수적인 고속의 ADC와 DSP 등을 사용하지 않아도 되는 장점이 있다 [12].

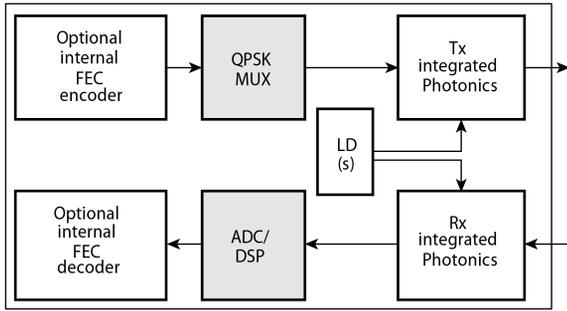
광신호의 세기를 측정하여 신호를 검출하는 직접 수신 방식과 달리 코히어런트 수신 방식은 광신호의 위상을 추적하여 신호를 검출한다[13]. 이 방식은 낮은 OSNR에서도 신호의 수신이 용이하여 수신 감도가 좋고, 전기적인 디지털 신호처리 기술과 결합하여 편광 다중화된 신호의 분리와 색분산 보상이 가능한 장점을 가지고 있다. 이론적으로는 무한대의 색분산과 편광모드 분산을 보상할 수 있으므로 광선로의 제한 요소에 상관없이 채널당 전송 속도를 증가시킬 수 있으나, 많은 탭 수가 요구되는 등화기(equalizer)를 구현하기가 용이하지 않다.

DP-QPSK 방식에서는 멀티레벨로 매핑된 신호를 하나의 캐리어에 실어 전송하는 반면에 OFDM 방식은 신호를 여러 개의 캐리어에 나누어 전송한다. 이 경우 각 서브 캐리어의 속도는 1Gbps 이하로 낮출 수 있기 때문에 one-tap 등화기로 용이하게 신호를 복구할 수 있어 등화기의 구현이 용이한 장점이 있으나, 트랜시버에 사용되는 광/전자소자의 선형성이 상대적으로 높아야 한다.

OIF에서는 코히어런트 방식 광통신 시장에서 품질 보장 및 비용절감을 목적으로 광부품 업체, 광트랜시버 업체와 시스템 업체를 중심으로 코히어런트 광트랜시버와 부품의 물리적, 전기적 특성에 관한 규격을 정하는 작업을 하였다. 이러한 광부품은 DP-QPSK뿐만 아니라 OFDM 방식에서도 동일하게 사용할 수 있다. (그

〈표 2〉 100G 변복조 방식 비교

Format	3ASK-DPSK	DP-DQPSK	DC-DQPSK	DP-QPSK	OFDM
Detection	Direct	Direct	Direct	Coherent	Coherent
Company	ADVA	Ciena	ETRI	Ciena, ALU, OpNext	Ofidium
Availability	○	○	○	○	×
Application	Metro	Core/Metro	Core/Metro	Core	Core
Symbol rate	44GBd	28GBd	28GBd	28GBd	
WDM grid (GHz)	100	50	50×2/100	50	50
OSNR(dB) (BER 10 ⁻³)	23	18	16	16	17
GVD(ps/nm)	<40	100	100	>>500	>>500
PMD(ps)	2.5	4	4	>>10	>>10

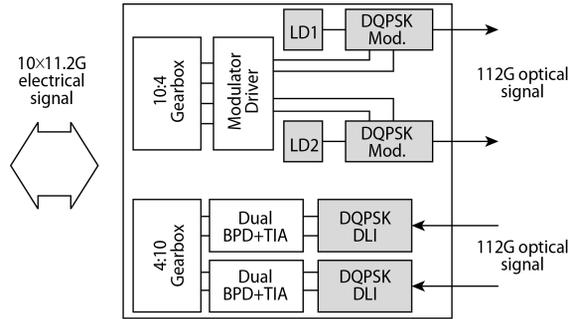


(그림 6) DP-QPSK 방식 트랜시버 구조 개요

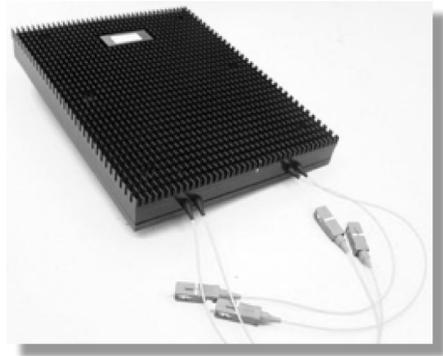
그림 6)은 OIF에서 정의된 DP-QPSK 방식 코히어런트 광트랜시버를 나타낸다[14].

코히어런트 광트랜시버에서는 광신호의 위상을 추적하여 송신된 정보를 추출하므로 정밀한 위상 동기화 필요하다. 이를 실현하기 위한 핵심 기술로는 수신 신호를 디지털 신호로 변환하는 고속 ADC와 변환된 디지털 신호를 처리하여 원래의 송신 신호를 추출하는 디지털 신호 처리(DSP) 기술이 있다. DP-QPSK 방식 기술은 Ciena, Cisco, Alcatel-Lucent, Opnext, NEC, Fujitsu 사 등 자본과 기술력이 뛰어난 시스템 업체 중심으로 개발되고 있다. 이 결과 자체 개발 능력이 없는 여타의 중소 시스템 업체에서는 이 기술을 적용할 수 없어 종래의 시장 구조가 변화하고 있다.

(그림 7)은 ETRI에서 개발된 DC-DQPSK 방식 광트랜시버의 구조와 형상을 나타낸다. OIF에서 정의된 168핀 전기적 인터페이스 규격을 따르고 있으며, 상용화된 전자소자 및 광학소자를 이용하여 구현 가능하므로 고속 ADC/DSP 개발을 위한 별도의 투자가 필요하지 않은 장점이 있다. 그리고, 모듈 형태로 구현되어 어느 전송 시스템 장비에든 라인카드에 장착이 용이하며 파워소모가 코히어런트 방식에 비해 50% 이상 작아 에너지 절감형 광 인터페이스 구현이 가능하다. DC-DQPSK 방식 광트랜시버는 100G 시장의 최대 수요처로 전망되는 20~600km의 전송 거리 구간을 주 타겟으로 하고 있으며, 최대 1,000km까지 전송이 가능하여 코히어런트 방식에 뒤지지 않는 성능을 보여준다.



(a) 기능 구조



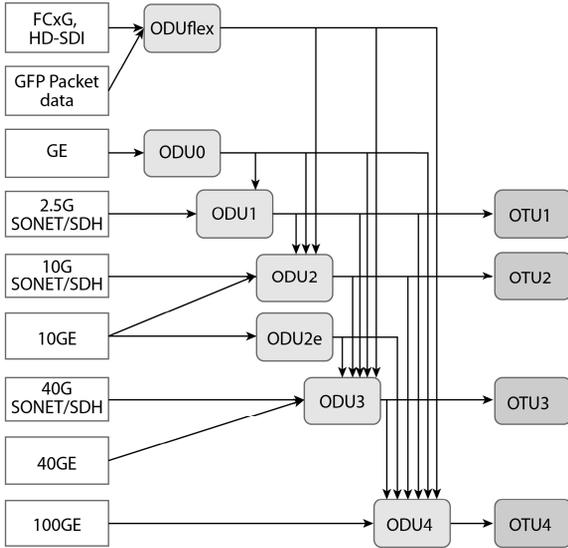
(b) 완제품 외형

(그림 7) DC-DQPSK 방식 광트랜시버

IV. OTN 표준 동향

OTN 관련 표준화는 ITU-T SG15를 중심으로 신호 매핑 방식과 광 인터페이스 등의 분야에서 진행되고 있다. 2007년 5월에 G.709 표준에 100G 이더넷 신호를 수용하기 위한 OTU4 프레임이 새로이 제안된 후, 2010년 7월에 IEEE 802.3ba 표준에서 정의하고 있는 40G 이더넷과 100G 이더넷을 수용하는 G.709 버전 3 Amd.1 표준이 승인되었다[15].

OTN 망은 다양한 형태의 신호들을 전송하기 위한 전달망으로 사용되기 때문에 신호의 형태에 무관하게 모든 신호들을 효율적으로 ODU 신호에 매핑시킬 수 있어야 한다. 이를 위해 ITU-T에서는 기존의 다양한 클라이언트 신호뿐 아니라 새로운 형태의 모든 클라이언트 신호들을 효과적으로 수용하기 위한 범용 매핑 절차



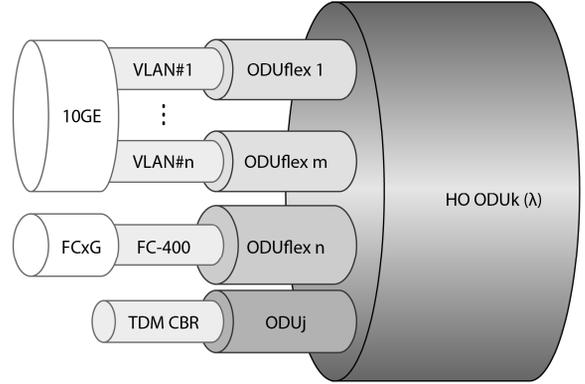
(그림 8) OTN 다중화 계위

(GMP) 기술에 대한 표준인 G.709 버전3 표준을 2009년 12월에 승인하였다. (그림 8)은 클라이언트 신호형태에 따른 OTN 다중화 계위를 나타낸다. 기가비트 이더넷을 수용하기 위한 용도인 ODU0 외에 다양한 대역폭을 가지는 신호들을 수용하여 망의 효율성을 극대화하기 위해서 새로이 ODUflex 신호를 정의하였다.

(그림 9)는 ODUflex를 이용하여 하나의 파장 내에 다양한 대역폭을 가지는 다수의 신호들을 할당하는 예를 보여준다. ODUflex는 다수 개의 1.25Gbps 용량 종속 슬롯(TS)으로 구성되며, $n \times 1.25\text{Gbp}$ ($n=1 \sim 80$)의 대역폭을 가진다.

ITU-T에서는 버스트 특성을 가지는 패킷 데이터를 보다 효과적으로 수용하기 위한 목적으로, 운용 중인 서비스에 영향을 주지 않으면서 ODUflex를 구성하고 있는 종속 슬롯 개수를 1개부터 최대 80개까지 증감하는 기술인 HAO를 G.7044 표준으로 2011년 9월에 승인하였다[16]. HAO는 LCR 프로토콜 오버헤드와 BWR 프로토콜 오버헤드로 구성된 RCOH를 통해서 수행된다.

현재 OTN 관련하여 추진되고 있는 주요 표준화 이슈는 OTN shared mesh protection과 다양한 네트워크



(그림 9) ODUflex 대역폭 할당 예

도메인 간 APS 요소들을 전달하기 위한 protection switching interworking이다. OTN SMP는 기존의 제어 평면 기반의 signaling 대신 데이터 평면 기반의 signaling을 사용하는 방안으로 표준화가 진행 중에 있으며, protection switching interworking과 함께 2012년 5월 임시 회의에서 논의될 예정이다. Protection switching interworking과 관련하여서는 멀티 도메인 간 연동 시 노드 장애를 극복하기 위한 distributed OTN 선형 보호절체 방식이 검토되고 있다.

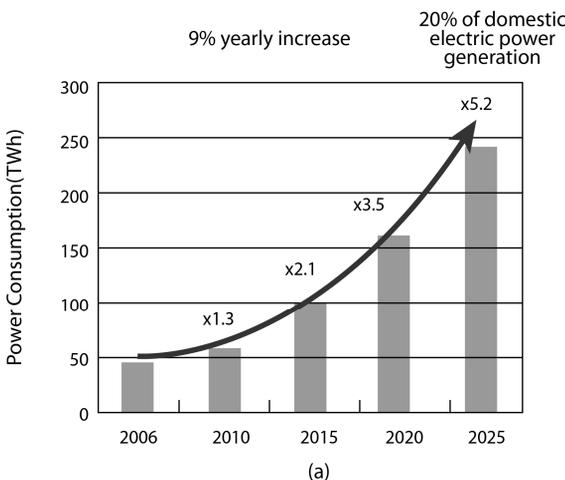
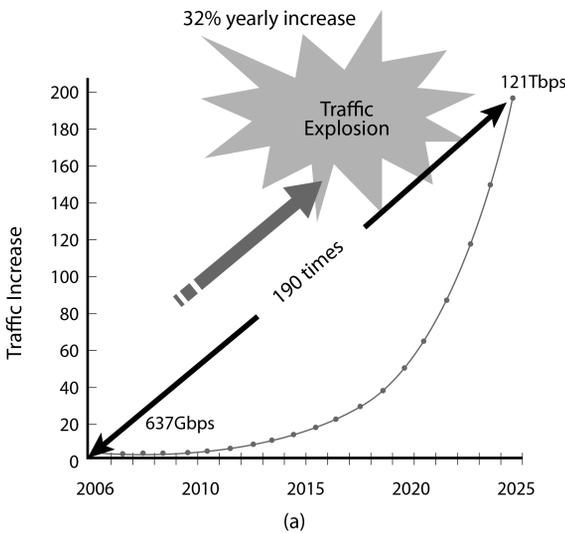
향후 표준화 전망은 크게 두 가지 방향으로 진행될 것으로 예상된다. 가장 큰 흐름은 OTU5 프레임의 전송 속도를 정하는 것이다. 현재 IEEE 802.3에서는 400G 이더넷 또는 1T 이더넷 표준화를 예상하고 있으며, ITU-T에서는 IEEE 802.3에서 400G 이더넷 또는 1T 이더넷 표준화를 본격적으로 시작하는 시점 이후로 OTU5에 대한 논의를 연기하고 있다. 이는 1T 이더넷용 광 모듈의 경우 400G 이더넷용 광 모듈과 달리 새로운 기술이 필요하며, 100Gbps 이상의 전송 속도에서는 광 성능이 심각하게 저하될 수 있기 때문이다.

다른 한 가지 흐름은 광 전달망 전송효율을 증대시키기 위해 다수의 40G 이더넷 신호를 하나의 광 모듈을 통해 전송하는 $N \times 40\text{G}$ 이더넷 전송 기술에 대한 표준화이다. 현재 OIF에서 표준화가 진행 중인 MSA-100 GLH 표준[17]은 최대 3개의 40G 이더넷을 수용할 수 있도록 핀 맵을 규정하고 있다.

V. 전송 에너지 절감 동향

최근 급격히 증가하고 있는 에너지 소비는 주목할 만한 경제적 환경적 문제로 인식되고 있다. 통신 분야는 특히 기하급수로 늘어나는 데이터 트래픽을 수용하여야 하기 때문에 에너지 효율화가 절실하다. (그림 10)은 향후 일본의 트래픽 증가와 ICT 전력소모 증가를 예측 결과를 보여준다[18].

세계적으로 여러 기구에서 통신 분야 에너지 절감을



(그림 10) ICT의 통신 트래픽(a) 및 에너지 소모물(b) 증가 예측[18]

위한 다양한 노력이 이루어지고 있다. ETSI에서는 통신장비와 관련 인프라의 에너지 소모 감소 및 대체 에너지원 이용 등을 포함하는 ISO 표준을 연구하고 있다. TIA에서는 환경설계 및 패키징에 대한 핵심 프로젝트를 다루고 있다. ATIS에서는 망 인터페이스, 전력, 전기 및 물리적 보호 등의 표준 개발을 비롯하여 통신장비에 필요한 에너지를 평가하기 위해 물리층과 망계층에 관한 그린 기술에 초점을 맞추기 위한 노력을 하고 있다.

초고속 이더넷은 시간대에 따라 대역폭이 낭비되는 경우가 많다. 통계적으로 대부분의 이더넷 링크는 5% 이하만 사용되면서도 항상 최고 속도로 동작하므로 전력을 낭비하게 된다. 이를 해결하기 위하여 트래픽이 없을 때는 낮은 에너지 소모 상태로 대기하는 Low Power Idle(LPI) 기법이 IEEE 802.3az의 EEE 기술에 적용되었다. 이는 구리선 기반의 단일 링크를 사용하는 10Base-T_e, 100Base-TX, 1000Base-T, XGXS(XAUI), 10Gbase-T, 10GBase-KX4, 10GBase-KR 등에 적용되는 에너지 절감 기술 표준이다[19].

한편, IEEE 802.3ba 표준 40/100Gbps 이더넷은 고속 신호를 저가로 제공하기 위해 4개 또는 10개의 광선로 및 광송수신기를 병렬로 배치한 다중레인 PHY를 사용한다[19]. 이러한 구조에서 소모전력 절감 방법으로 고려할 수 있는 방법은 다음과 같다.

첫 번째 방법은 기존 단일 레이용 EEE 기법을 각 레인마다 적용하는 방법이다. 이 방법은 Multi-Lane Distribution(MLD)을 수행하는 PCS 및 BitMux를 수행하는 PMA와 상관없이 모든 PMD 레인으로 sleep 및 refresh 신호를 보낼 수 있는 장점이 있다. 하지만 LD의 큰 on/off 지연시간 때문에 잦은 on/off로 프레임 전송효율만 감소시키고 에너지 절약의 이점을 살릴 수 없는 문제점이 있다.

두 번째 방법은 부하가 낮은 경우 멀티 레인 중에서 일부의 레인은 sleep시키고, 나머지 레인으로만 데이터가 전송되도록 하는 방법이다. 이 경우 MLD 기능을 수행하는 PCS가 sleep 중인 레인에 대해서는 바이트 열

을 분배하지 않도록 하는 기능이 추가되어야 하며, PMA에서도 해당 레인에 대한 다중화 기능을 수행하지 않아야 비트 순서가 지켜질 수 있다. 하지만 이러한 기능을 모두 지원하려면 기존 PCS와 PMA 기능부를 재설계해야 하는 문제점이 있다.

세 번째 방법은, 일부 레인의 동작을 sleep시키는 방법과 유사하지만, 특정 링크를 sleep하는 대신에 완전히 off시키는 방법이다. 이 방법은 일부 레인이 off되기 때문에 off된 레인에서는 refresh 메시지가 전송되지 않으므로 전력이 소모되지 않는다. 이렇게 함으로써 모든 레인에 LPI 방식을 사용하는 것보다 특정 레인을 on 또는 off 시키는 것이 에너지 절감 및 성능에 유리하다. ETRI에서는 이를 기반으로 다중레인 운용 40G/100G 이더넷 에너지 절감 기술을 개발하였다.

VI. 요약

지금까지 최근 고속 광전송 분야의 기술동향을 살펴보았다. 전자 부품이 갖는 대역폭의 물리적 한계 때문에 신호 속도의 한계로 여겨지던 40Gbps 전송 속도를 뛰어 넘는 100Gbps 전송 시대가 열렸다. 이를 위해 병렬 전송, 다양한 변조 방식 등 새로운 개념들이 속속 도입되고 있다. 광전송 기술은 비용과 에너지 절감을 이루면서 미래의 통신 트래픽을 감당해야 하는 과제를 지속적 기술 혁신을 통해 달성해 갈 것으로 기대된다.

용어해설

이더넷 방식에 대한 명명법(40G, 100G 이더넷의 경우) “100GBASE-LR4”와 같은 표현 방법이 있어, 앞의 100G는 속도를 의미하고, “L”로 표현된 자리는 매체에 대한 것으로 S는 short reach(100m), L은 long reach(10km), E는 extended long reach(40km), K는 backplane, C는 copper cable을 의미한다. “R”로 표현된 자리의 경우 코딩방식에 대한 것으로 R은 64B/66B 코딩을 의미하며 “4”로 표현된 자리는 레인(lane)의 수를 의미함.

DC-DQPSK 두 개의 광캐리어를 각각 DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying) 방식으로 변조하여 낮은 심볼 속도로 높은 전송 속도를 얻는 광변복조 방식. 4개의 비트를 1개의 심볼에 전송하므로 112Gb/s 전송 속도의 경우 심볼 속도는 28Gbaud임.

약어 정리

APS	Automatic Protection Switching
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions
BWR	Bandwidth Resize
CAUI	100GbE Attachment Unit Interface
CDR	Clock and Data Recovery
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DFB	Distributed Feedback Laser
DML	Directly Modulated Laser
DMUX	Demultiplexer
DPSK	Differential Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quarternary Phase Shift Keying
DSL	Digital Subscriber Line
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifier
EEE	Energy Efficient Ethernet
EML	Electro-absorption Modulator with Laser
FC	Fiber Channel
GMP	General Mapping Procedure
HAO	Hitless Adjustment ODUflex
ICT	information and Communication
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Networks
LCR	Link Connection Resize
LD	Laser Diode
LPI	Low Power Idle
MLB	Multi-Lane Distribution
MMF	Multi Mode Fiber
MSA	Multi-Source Agreement
MUX	Multiplexer
ODU	Optical channel Data Unit
ODUflex	flexible Optical channel Data Unit
OM3	Optical Mode 3
OOK	On-Off Keying
OTN	Optical Transport Network
OWDM	Optical Wavelength Division Multiplexer
PCB	Printed Circuit Board
PD	Photo Diode
PHY	Physical
PON	Passive Optical Network

QSFP	Quad Small Form-factor Pluggable
ROSA	Receiver Optical Sub-Assembly
SMF	Single Mode Fiber
SMP	Shared Mesh Protection
SONET	Synchronous Optical Network
TIA	Telecommunication Industry Association
TIA	Trans-Impedance Amplifier
TOSA	Transmitter Optical Sub-Assembly
TS	tributary slot
VCSEL	vertical-cavity surface-emitting laser
WAN	Wide Area Network

참고문헌

- [1] <http://standards.ieee.org/announcements/2010/ratification8023ba.html>
- [2] ITU-T Rec. G.709/Y.1331 v3.0, "Interfaces for Optical Transport Network (OTN)," 2009.
- [3] <http://www.oiforum.com/public/documents/OIF-FD-100G-DWDM-01.0.pdf>
- [4] 정환석 외, "DC-DQPSK 방식의 112 Gb/s 장거리 OTN 광트랜시버," COOC, 2011. 5.
- [5] Dell'Oro Group, "Optical Transport 5-Year Forecast Report," Feb. 2012.
- [6] IEEE P802.3ba. <http://www.ieee802.org/3/ba/>
- [7] <http://www.cfp-msa.org/>
- [8] P.J. Winzer and R.-J. Essiambre, "Advanced Modulation Formats for High-capacity Optical Transport Networks," IEEE/OSA, *J. Lightwave Technol.*, 2006, pp. 4711-4728.
- [9] 300pin MSA group, "Reference Document for 300pin 40Gb/s Transponder, Public Document Edition 3," July 19th, 2002, www.300pinmsa.org
- [10] H. Sun et al., "Real-time Measurements of a 40 Gb/s Coherent System," *Opt. Express*, 2008, pp. 873-879.
- [11] B.T. Teipen et al., "107 Gb/s DPSK-3ASK Optical Transmission over SSMF," *OFC/NFOEC*, paper NMB1, 2010.
- [12] H.S. Chung, et al., "Dual-Carrier DQPSK Based 112 Gb/s Signal Transmission over 480 km of SMF Link Carrying 10 Gb/s NRZ Channels," *OFC*, paper JW2A.3, 2012.
- [13] T.J. Schmidt et al., "Field Trial of a Real-time, Single Wavelength, Coherent 100 Gb/s PM-QPSK Channel Upgrade of an Installed 1800 km Link," *OFC*, paper PDPC2, 2010.
- [14] OIF Implementation Agreements, <http://www.Oiforum.com/public/impagreements.html#100G>
- [15] ITU-T Rec. G.709 Amd.1 "Interfaces for the Optical Transport Network (OTN) Amendment 1," July 2010.
- [16] ITU-T Rec. G.7044 "Hitless Adjustment of ODU-flex(GFP) (HAO)," Sept. 2011.
- [17] OIF, "Multisource Agreement for 100G Long-Haul DWDM Transmission Module-Electromechanical," June 2010.
- [18] K.-I. Sato, "Optical Technologies that Enable Green," *ICTON*, 2010.
- [19] Y. Zhang, "Energy Efficiency in Telecom Optical Networks," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 12, no.4, Fourth Quarter 2010, pp. 441-458.