

광트랜시버 기술 및 동향

Optical Transceiver Technology and Its Trend

광통신기술 특집

이준기 (J.K. Lee) 광전송기술팀 선임연구원
김광준 (K.J. Kim) 광전송기술팀 팀장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 10 Gb/s 광트랜시버 동향
 - III. 40 Gb/s 광트랜시버 동향
 - IV. 100 Gb/s 광트랜시버 동향
 - V. 광트랜시버 요소 기술
 - VI. 결론

광트랜시버는 광전송 시스템, 대용량 라우터 및 스위치 등의 광통신 장치에서 전기 신호를 광신호로 바꿔 광섬유를 매체로 송신하며 송신된 광신호를 수신하여 다시 전기 신호로 바꿔주는 광송신과 광수신 기능을 담당하는 모듈을 말한다. 광 송수신 모듈은 초창기 155M, 622M, 2.5 Gb/s SDH/SONET 시스템에 사용되었을 때에는 광송신기와 광수신기가 분리되어 있는 구조였으나, 2000년 이후에 들어서서 광송신기와 수신기가 하나의 패키지 안에 구현된 지금의 광트랜시버 모듈이 등장하였다. 또한, 광트랜시버 모듈 업체를 중심으로 시스템 업체, 부품업체들이 모여 산업체 표준(MSA)을 정하면서 개발 비용과 시간 단축의 효과를 거두는 동시에, 기술면에서도 비약적인 발전을 거듭하고 있다. 이러한 광트랜시버의 발전 방향은 고속화, 소형화, 고성능화, 저가격화로 요약할 수 있다. 본 고에서는 10 Gb/s, 40 Gb/s, 100 Gb/s 광트랜시버를 중심으로 기술동향을 설명하고, 광트랜시버를 개발하는 데 필요한 요소기술에 관하여 살펴본다.

I. 서론

1970년대 말에 저손실 광섬유와 1550 nm 대역 레이저 발명으로 핵심 기술을 확보한 광통신은 1980년대부터 상용화되기 시작하였다. 초기에 비동기식 광전송(PDH) 시스템과 동기식 광전송(SDH/SONET) 시스템을 통해 TDM 방식으로 전송 속도를 꾸준히 늘려 왔으며, 1990년대 후반에 파장 분할 다중화(wavelength division multiplexing) 기술이 상용화 되면서 광섬유 당 전송용량이 획기적으로 늘어났다. 그 결과 2000년대 이후 기존의 전화 트래픽을 넘어 폭발적으로 증가하는 인터넷을 필두로 한 데이터 트래픽을 수용하는 데 중요한 역할을 하고 있다. 현재도 더 저렴하고 편리하게 전송 속도와 전송 거리를 확대하기 위한 경쟁은 계속되고 있다.

인터넷의 대중화와 발전은 컴퓨터 간의 통신 프로토콜로 출발한 이더넷(Ethernet) 기술의 발전을 견인하였으며, 1998년 기가비트 이더넷 표준화에 이어 2002년 10 기가비트 이더넷 표준을 제정하게 되었다. 2006년 7월에는 IEEE 802.3 HSSG이 만들어져 40G 및 100G 이더넷에 대한 논의를 시작하였으며 2010년 6월에 표준화 완료를 목표로 하고 있다.

이더넷은 상대적으로 짧은 거리 전송을 위해 개발되었으며 40 km가 최장거리이다. 따라서 이러한 신호를 장거리 전송하기 위해서는 메트로 네트워크나 백본 네트워크의 주류를 이루고 있는 DWDM/ROADM 시스템에 연결할 수 있어야 한다. DWDM/ROADM 시스템으로 이루어진 광전달망은 2.5G와 10G, 그리고 40G를 수용할 수 있게 설계하고 있는 경향이지만 최근 들어 10G가 광범위하게 쓰이기 시작했고 40G가 일부 사용되고 있다. 앞으로 10 Gb/s 전송 속도를 넘어 40 Gb/s와 더 나아가 100 Gb/s 전송을 원활하게 받아들이기 위해 다양한 관련 기술 개발이 이루어지고 있다.

광트랜시버는 전기 신호를 받아 광신호를 생성하며 또한 광신호를 수신하여 전기 신호로 바꿔주는

모듈로서 광 전송 시스템과 대용량 라우터 등의 끝단에서 광 인터페이스를 담당한다. 광트랜시버는 전송 시스템의 가격과 성능을 결정하는 핵심 부품으로 현재 10 Gb/s급의 제품이 시장에서 전성기를 누리고 있다. 40 Gb/s급 제품은 대용량 데이터 센터와 백본 네트워크에서 초기 시장을 형성하고 있는 단계에 와 있으며 이더넷 표준화가 완료되는 2010년 이후에 본격적으로 시장이 확대될 전망이다. 100 Gb/s급 광트랜시버는 효율적인 광 전송을 위한 방안들이 연구되고 있는 단계로 이더넷 용도의 경우 병렬(parallel) 전송방식이 제안되어 있다.

광트랜시버와 관련된 표준으로는 동기식 전송 네트워크와 DWDM/ROADM 네트워크로 이루어진 텔레콤 분야에 있어서는 ITU-T, Telcordia, OIF 규격이 있으며, 이더넷을 기반으로 하는 데이터콤 분야에 있어서는 IEEE 802.3 규격이 대표적이다. 또한, 광트랜시버 모듈 업체들 사이에서 이루어지는 MSA 형태의 산업체 표준이 존재한다. ITU-T, IEEE와 같은 국제 표준 규격의 경우, 주로 광학적 특성 및 지터와 관련된 규격을 다루고 있으며, 산업체 표준의 경우 모듈의 물리적 규격, 전기적 규격, 운용 및 관리 측면의 규격 등 보다 더 상세한 사항에 관하여 규정하고 있다.

본 고에서는 10 Gb/s급 이상의 광트랜시버에 대한 산업체 표준과 최근 표준화 작업이 진행중인 40G, 100G 이더넷에서 물리계층(physical layer) 표준화 동향에 대하여 알아본다. 마지막으로 광트랜시버를 개발하는 데 필요한 기술에 대하여 살펴보고자 한다.

II. 10 Gb/s 광트랜시버 동향

2000년 이후 광통신 시장에서 품질 보장 및 비용 절감을 목적으로 광부품 업체, 광트랜시버 업체와 시스템 업체를 중심으로 광트랜시버의 물리적, 전기적 특성에 관한 규격을 정하는 작업을 하였으며, 여기에 참여한 업체들이 실질적으로 관련 시장을 선도하고 있다. 복수의 공급자들이 생산한 물품의 상호

호환성을 보장함으로써 사용자가 안정된 가격으로 늘 원하는 품질의 제품을 구할 수 있도록 하는 약속(MSA) 아래 10 Gb/s 광트랜시버에서는 (그림 1)에 소개한 것과 같이, 300 pin, XENPAK, XPAK, X2, XFP, SFP+ 의 총 6가지 종류의 규격이 통용되고 있다[1]-[6].

300 pin MSA는 10 Gb/s 광트랜시버 모듈 관련하여 가장 먼저 결성되어 표준화 되었으며, 2001년 4월에 첫번째 규격이 정해진 이후로 2002년 4월에 네번째 개정판이 발표되었다[7]. 300 pin MSA 트랜시버는 SERDES 칩을 내장하고 있으며, OIF의 10 Gb/s SERDES와 Framer 간의 인터페이스 규격인 SFI4-01.0 규격에 따라 16개의 600 Mb/s급 병렬 전기신호를 300 pin 커넥터를 통하여 주고 받는다[8]. 300 pin MSA 트랜시버의 운용 및 관리에 대한 표준은 2002년 2월에 첫 규격이 정해졌으며, 2007년 7월에 4.2 버전으로 개정되었다[9]. 300 pin MSA 트랜시버는 메트로 네트워크와 백본 네트워크에서 광링크 전송용으로 많이 사용되고 있다. 10 Gb/s 트랜시버 중에서 가장 기능이 많고 따라서 가장 큰 크기를 갖고 있으며, 최근에는 이에 파장 가변 기능과 optical duobinary 변조 방식을 적용하는 등의 장거리 전송이 가능하도록 진화하고 있다. 한편 초기 모델에 비해 소형화된 SFF type의 파장 가변 기능을 갖고 100 km 전송이 가능한 제품도 상용화되고 있다. 파장 가변 기능은 OIF에서 표준화된

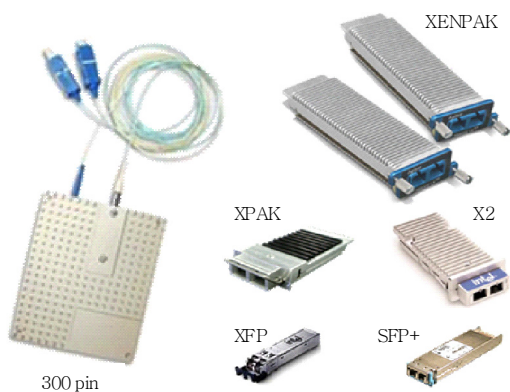
ITLA 표준에 따르는 tunable LD 모듈을 통해 주로 구현되며, C-band와 L-band 대역에서 ITU-T G.694.1에 규정된 파장 grid의 50 GHz 파장 간격을 갖는 제품들이 출시되어 있다[10],[11].

XENPAK MSA는 10 기가비트 이더넷 장비에서 사용할 것을 목표로 표준화 되었으며, 2001년에 Revision 1.0을 발표한 것을 시작으로 2002년 9월에 Revision 3.0까지 개정되었다. XENPAK 트랜시버는 IEEE 802.3ae XAUI 규격에 따라 4개의 3.125 Gb/s 병렬 전기신호를 70 pin 커넥터를 통하여 상호접속 한다[12].

XPAK과 X2는 XENPAK의 단점을 보완하고 응용 범위를 넓이기 위하여 표준화 되었다.

상기 MSA 트랜시버들은 모듈 내부에 SERDES 칩을 내장하여 10 Gb/s 직렬 전기 신호를 병렬 전기 신호로 변환하는 기능을 포함하고 있다. 반면, XFP와 SFP+ MSA 트랜시버는 SERDES 칩을 내장하고 있지 않아 상대적으로 작은 크기를 갖고 있다. XFP 및 SFP+ 트랜시버는 컴퓨터용 소형 부품과 통신용 소형 광트랜시버의 표준화를 위하여 1990년에 설립된 SFF Committee에서 MSA를 논의, 제정한다.

XFP는 10 Gb/s Small Form-factor Pluggable의 줄임말이며, 2002년 7월에 첫번째 Draft 문서가 발표되었고 2005년 8월에 Revision 4.5로 개정되었다. XFP 트랜시버는 10 Gb/s 직렬 전기신호를 30 pin 커넥터를 통하여 입력 받아 전광 변환을 하는 송신 기능과 그 반대의 수신 기능을 수행한다. XFP 트랜시버는 시스템의 line card와 같은 host 보드에서 SERDES 칩과 인터페이스 되는 구조로 사용되므로, FR-4 PCB와 30 pin 커넥터를 거치면서 10 Gb/s 전기신호 고주파 대역의 많은 감쇠와 반사가 필연적이며 이로 인한 eye의 왜곡을 보상하기 위하여 트랜시버 내부에 CDR 기능을 내장하고 있다. 10 km, 40 km, 80 km 및 single 채널용과 DWDM 채널용 제품이 상용화 되어 있으며, SDH/SONET, DWDM/ROADM 시스템, 10 기가비트 이더넷 스위치 및 라우터, 10G fiber channel 장비 등



(그림 1) 다양한 MSA 규격의 10 Gb/s 광트랜시버

에 폭넓게 사용된다. 또한 전원이 켜져 있는 상태에서 실패장이 가능한 hot pluggable 모듈이므로 적용 거리에 따라 모듈을 교체할 수 있으며, SERDES 칩을 host 보드 내에 자유롭게 위치시킬 수 있어 상면적을 줄이는 장점이 있다.

XFP 트랜시버의 기술 현황 및 전망을 살펴보면, 10 km 제품은 1310 nm 파장대의 DFB LD를 직접 변조하며, PIN PD를 사용한다. 40 km 제품은 1550 nm 파장대의 EML과 PIN PD를 사용하고, 80 km 제품은 1550 nm 파장대의 EML과 APD를 사용한다. 광 선로에서 생긴 분산을 보상하기 위한 EDC 기능을 추가하거나, CML를 이용하여 120 km 이상의 단일 전송 거리를 갖는 제품이 상용화되고 있으며, 300 pin 트랜시버와 같이 C-band 또는 L-band 대역의 파장 가변 기능을 개발할 수 있을 것으로 예상되어 메트로 영역의 DWDM/ROADM 전송 시스템으로 시장을 넓혀갈 것으로 전망된다.

SFP+ 트랜시버는 가장 최근에 표준화가 이루어진 제품으로 Enhanced Small Form-factor Pluggable의 약어이다. 10 Gb/s 광트랜시버 중 가장 소형화된 모듈(57.5×13.55×8.55 mm³)로, 2006년 8

월에 첫번째 MSA 문서가 발표되었으며, 2008년 11월에 Revision 3.2까지 개정되었다. 기능은 XFP 트랜시버와 유사하여 10 Gb/s 전기 신호를 20 pin 커넥터를 통하여 host 보드와 인터페이스 하도록 되어 있으며, CDR 기능을 내장하지 않은 것이 차이점이다. 광 송신부의 경우 PCB 패턴과 SFP+ 용 20 pin 전기 커넥터에서 유발되는 고주파 성분 손실과 반사로 인하여 광 출력에 많은 지터가 발생되기 때문에 SERDES 칩 출력에서 고주파 성분을 미리 보상하는 pre-emphasis 기능을 필요로 한다. 광 수신부의 경우에도 SERDES 칩의 EDC 및 CDR 기능을 이용하도록 되어 있다. SFP+ 트랜시버의 모듈 크기는 XFP의 56%(부피 기준) 수준이므로 시스템의 집적도를 더욱 높일 수 있고, 소모전력과 가격 면에서 장점을 갖고 있어 10 km 미만의 단거리 용도에서 많이 사용될 것으로 예상된다. 그러나 모듈 크기의 제약으로 인하여 DFB, FP LD나 VCSEL을 이용한 10 km 이내 10G 이더넷 용도 제품이 주로 상용화 되었으며, 일부 선도업체에서만 EML 또는 CML을 이용한 40 km 제품을 상용화 하였거나, 80 km 제품에 대한 개발을 진행중이다.

〈표 1〉 10 Gb/s 광트랜시버 MSA별 주요 규격

Feature	300 pin MSA	XENPAK	XPAK	X2	XFP	SFP+
Form factor (mm)	76×56×14	120×36×17	85×40×10	91×36×12	78×18×10	58×14×9
Electrical interface	SFI4(16 bit)	XAUI(4 bit)	XAUI & SFI4.2 (4 bit), XFI(1 bit)	XAUI&SFI4.2 (4 bit), XFI(1 bit)	XFI(1 bit)	SFI(1 bit)
Connector type	300 pin	70 pin	70 pin	70 pin	30 pin	20 pin
Power consumption(W)	6~14	3~6	3~4	3~4	1.5~3.5	1~1.5
Optics reach	300 m, 10 km, 40 km, 80 km, >120 km	300 m, 10 km, 40 km, 80 km	300 m, 10 km, 40 km(future)	300 m, 10 km, 40 km(future)	300 m, 10 km, 40 km, 80 km, 120 km	300 m, 10 km
Primary applications	OC-192, WDM	10GbE	10GbE, OC-192, 10G FC	10GbE, OC-192, 10G FC	10GbE, OC-192, 10G FC, WDM	10GbE, 8G FC, 10G FC
Key benefits	Long reach, tunable	Hot pluggable	Hot pluggable	Hot pluggable	Hot pluggable, small form factor, many applications	Hot pluggable, small form factor, low cost

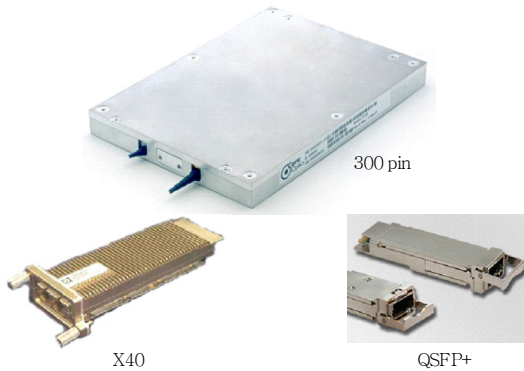
이상으로 10 Gb/s 광트랜시버 기술동향을 살펴 보았으며, <표 1>에 주요 규격을 정리하였다.

Ⅲ. 40 Gb/s 광트랜시버 동향

1. 산업체 표준(MSA)

현재까지 (그림 2)와 같이 300 pin, QSFP+, X40 MSA 3종류의 40 Gb/s 광트랜시버 관련 MSA가 존재한다.

10 Gb/s 광트랜시버와 마찬가지로, 300 pin MSA



(그림 2) 40 Gb/s 광트랜시버

가 가장 먼저 표준화 되었다. 2001년 3월에 Edition 1이 정해졌으며, 2002년 7월에 Edition 3까지 발표된 이후 더 이상의 개정이 이루어지지 않았다[13]. 트랜시버 운용 및 관리에 대한 표준은 10 Gb/s 300 pin MSA 문서와 함께 정의되어 있으며, 300 pin을 통한 전기 인터페이스는 OIF의 40 Gb/s SERDES와 Framer 간의 인터페이스 규격인 SFI5-01.0 규격에 따라 16개의 2.5 Gb/s급 병렬 전기신호로 인터페이스 한다[14].

40 Gb/s 광 전송을 위한 초기 시장은 Mintera, Stratalight 사에서 보드 형태의 제품으로 시스템 업체에 OEM 판매하는 형태로 이루어졌으나 현재는 소형화가 많이 진척되어 300 pin 형태로 시장이 형성되어 있다. 일반 단일모드 광섬유(SMF)에서 40 Gb/s 속도의 NRZ 신호를 전송하는 것은 색분산, 편광모드 분산, 광섬유의 비선형 현상 등에 의하여 많은 제약이 생겼으며, 이로 인해 전통적인 OOK 변조 방식에서 탈피하여 DPSK, DQPSK 등의 위상 변조 방식적용이 필요하게 되었다.

기존의 OOK 방식이 광 세기 크기로 0과 1을 구별하였다면, DPSK 방식은 인접 비트간의 위상 비교로 0과 1을 구분하는 방식이다. 광신호의 위상 정보를 세기 정보로 변환하기 위하여 수신단에 1 비트

<표 2> 40 Gb/s 광트랜시버 용도별 분류

용도 구분	모듈 구분	주요 특징
Transport interface (DWDM, OTN)	300 pin	<ul style="list-style-type: none"> • 2.5 Gb/s × 16 electrical interface • C/L-band tunable, MZ modulator, PIN PD • Modulation format: NRZ/RZ, Duobinary, DPSK, DQPSK • Major vendor: Finisar, Mintera, Opnext
Client interface	300 pin	<ul style="list-style-type: none"> • 2.5 Gb/s × 16 electrical interface • Fixed wavelength, EML, PIN PD • Modulation format: NRZ • Major vendor: Finisar, Opnext
Ethernet interface	4 × 10G CWDM	<ul style="list-style-type: none"> • 10 Gb/s × 4 electrical interface, pluggable • Uncooled DML, CWDM wavelength, 10 km SMF • 2008. 9. 서울 회의에서 baseline으로 채택 • Related MSA: X40 • Major vendor: Finisar, ExceLight
	4 × 10G parallel	<ul style="list-style-type: none"> • 10 Gb/s × 4 electrical interface, pluggable • VCSEL, 850 nm wavelength, 100 m OM3 MMF • 2008. 5. 뮌헨 회의에서 baseline으로 채택 • Related MSA: QSFP, QSFP+ • Major vendor: Luxtera, MergeOptics

길이 차이를 가지는 광 간섭계(delay interferometer)를 사용한 DPSK 복조기(demodulator)가 필요하며, balanced receiver를 사용하기 때문에 주어진 BER에 대하여 기존의 OOK 방식에 비해 요구되는 신호대 잡음비가 약 3 dB 낮은 장점이 있다[15]. 따라서 NRZ 방식보다 장거리 전송이 가능하다.

40 Gb/s 300 pin MSA 트랜시버는 <표 2>와 같이 광전송 시스템에서 client 및 DWDM/ROADM 광 링크 전송용으로 주로 사용된다. Client 인터페이스용은 파장 가변 기능을 필요로 하지 않기 때문에 EML을 광원으로 사용하며 상대적으로 크기가 작다.

40 Gb/s 광트랜시버는 현재 텔레콤 영역을 중심으로 300 pin MSA 제품이 시장을 형성하고 있으며, 데이터콤 영역 시장은 다음 장에서 소개할 40G 이더넷 표준화가 완료되는 2010년 이후에 본격적으로 형성될 전망이다. 현 시점에서 300 pin MSA 이외에 QSFP+ MSA가 표준화되고 있다.

QSFP+ MSA는 SFF Committee에서 논의되고 있으며, 2008년 8월 Revision 0.1 문서가 작성되었다. QSFP+ MSA는 2004년부터 표준화 작업이 시작되어 2006년 12월에 Revision 1.0이 발표된 QSFP MSA를 기반으로 하고 있다. QSFP는 Quad Small Form-factor Pluggable의 줄임말로 4개의 독립된 채널을 송수신하도록 설계되어 있다. 4채널 850 nm VCSEL array를 사용하며, 광 인터페이스는 리본 광섬유가 연결된 MPO 커넥터를 사용한다. 다음 장에서 살펴볼 40GbE 100 m MMF 전송을 위한 IEEE 802.3ba 표준 규격을 지원할 광트랜시버로 QSFP+ 가 사용될 것으로 보인다.

40 Gb/s 광트랜시버에서 마지막으로 소개할 MSA는 X40 MSA 이다. X40 MSA는 4개의 10 Gb/s CWDM 채널(1271 nm, 1291 nm, 1311 nm, 1331 nm)을 이용하여 40 Gb/s 전송을 하는 방식이며, 모듈 크기는 XENPAK 크기를 목표로 하고 있다 [16]. 2006년 11월경에 MSA 그룹을 결성하였으나 아직 MSA 문서를 발표하지 않은 상태로 있다 [16]. 본 MSA는 IEEE 802.3ba 표준의 40GbE 10

km SMF 전송을 위한 표준의 baseline으로 채택된 40GBASE-LR4 규격과 동일한 구조를 갖고 있다.

2. IEEE 표준화 동향

40 Gb/s, 100 Gb/s 속도의 이더넷 기술(MAC, PHY) 표준화는 IEEE 802.3 이더넷 워킹 그룹 산하의 IEEE 802.3ba Task Force에서 진행되고 있다 [17]. 본 그룹은 2006년 7월 Study Group을 결성하여 2007년 12월에 정식으로 프로젝트로 인준을 받아 표준화를 추진하고 있다. 2010년 6월 표준화 완료를 목표로 하고 있으며, 현재 각 objective에 대한 baseline이 확정되었다. <표 3>에 PMD 규격이 정리되어 있다. 광트랜시버로 구현되는 규격들에 대하여 회색으로 구별했다. 2008년 9월 서울 회의에서 Draft 1.0 문서화 작업을 시작하였다.

40G 이더넷 표준은 데이터 센터 내의 서버, 스토리지, 호스트 간의 단거리 통신을 목적으로 하고 있으며, physical layer의 규격은 10 km on SMF, 100 m on MMF, 10 m over cu cable, 1 m on backplane으로 구성되어 있다. 100G 이더넷 표준은 WAN, 네트워크 aggregation(빌딩 간) 등을 목적으로 하고 있으며, physical layer의 규격은 40 km on SMF, 10 km on SMF, 100 m on MMF, 10 m over cu cable로 구성되어 있다.

OM3 MMF를 매질로 하는 40G 이더넷 100 m 전송표준은 850 nm VCSEL array를 이용하여 4 × 10 Gb/s 병렬 접속하는 방식으로 2008년 5월 뮌헨

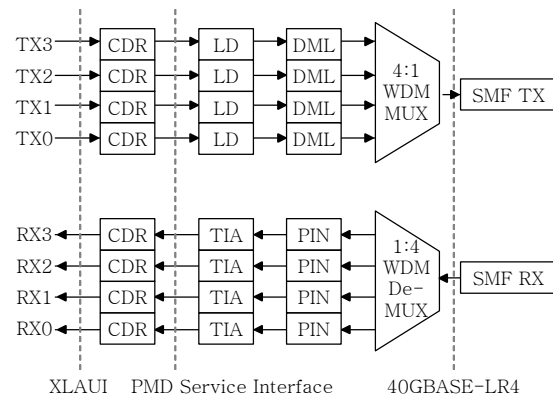
<표 3> IEEE 802.3ba Physical Layer Specifications

	40GbE	100GbE
1 m backplane	✓ 40GBASE-KR4	
10 m cu cable	✓ 40GBASE-CR4	✓ 100GBASE-CR10
100 m OM3 MMF	✓ 40GBASE-SR4	✓ 100GBASE-SR10
10 km SMF	✓ 40GBASE-LR4	✓ 100GBASE-LR4
40 km SMF		✓ 100GBASE-ER4

회의에서 baseline이 채택되었다. 본 표준은 앞에서 설명한 QSFP+ 광트랜시버를 염두에 두고 정해진 것으로, 실제 구현을 위한 상세 규격은 QSFP+ MSA에서 더 논의될 것으로 보인다.

SMF 10 km 전송을 위한 표준은 미국의 Finisar를 중심으로 하는 4×10 Gb/s CWDM 방식과 일본의 Fujitsu를 중심으로 하는 40 Gb/s Serial 방식이 경합을 벌이다가 2008년 9월 서울 회의에서 4×10 Gb/s CWDM 방식이 baseline으로 채택되었다.

(그림 3)은 40GBASE-LR4 규격을 만족하는 광트랜시버 구현의 예시이다. 4개의 DFB LD, LD Driver와 CWDM MUX로 구성된 송신부와 CWDM DMUX와 PIN PD, TIA로 이루어진 수신부로 구성되어 있다. CWDM 파장은 1271 nm, 1291 nm, 1311 nm, 1331 nm으로 할당되어 있으며, 단기적으로는 10 Gb/s 광트랜시버의 X2 size를 거쳐 최종



(그림 3) 40GBASE-LR4 광트랜시버 구현 예

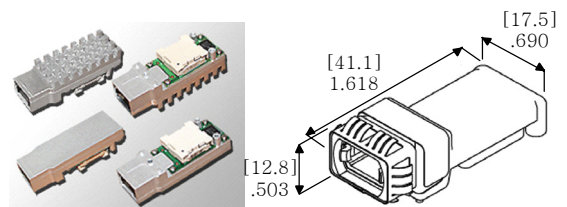
적으로 QSFP size를 목표로 하고 있다. 상용화의 관건은 현재 출시되어 있는 단일 채널 부품들을 집적화하여 하나의 부품으로 만드는 기술이며, 그 중에서도 4개의 DFB LD와 CWDM MUX를 하나의 TOSA로 집적화하는 것과, 4개의 PIN PD, TIA와 CWDM DMUX를 하나의 ROSA로 집적화하는 것이 핵심이라고 할 수 있다.

IV. 100 Gb/s 광트랜시버 동향

1. 산업체 표준(MSA)

아직 상용화된 100 Gb/s 광트랜시버는 없다. 다양한 형태의 개발이 이루어지고 있지만 그 중에서 SNAP12(12 channel pluggable optical module)라는 광트랜시버가 가장 빠르게 상용화가 가능할 것으로 보인다. SNAP12 광트랜시버 외형과 규격이 (그림 4)에 나와 있다. 2002년 5월에 MSA Revision 1.1이 발표되었다[18].

본 트랜시버는 송신기와 수신기가 분리되어 있는 구조이며, 리본 광섬유가 연결된 MPO 커넥터를 통



(그림 4) SNAP12 광트랜시버

〈표 4〉 100 Gb/s 광트랜시버 용도별 분류

용도 구분	모듈 구분	주요 특징
Transport interface (DWDM, OTN)	300 pin	<ul style="list-style-type: none"> 10 Gb/s×10 electrical interface(not determined) Modulation format: NRZ/RZ, 2×50G DQPSK, 4×25G polarization mux-DQPSK
Ethernet interface	4×25G LAN WDM	<ul style="list-style-type: none"> 10 Gb/s×10 electrical interface, pluggable Cooled EML, LAN WDM(1310 nm 대역의 800 GHz spacing) wavelength, 10 km & 40 km(w/SOA) SMF 2008. 7. 덴버 회의에서 baseline으로 채택
	10×10G parallel	<ul style="list-style-type: none"> 10 Gb/s×10 electrical interface, pluggable VCSEL, 850 nm 파장, 100m OM3 MMF Related MSA: SNAP12 2008. 5. 뮌헨 회의에서 baseline으로 채택

해 12채널을 병렬로 송, 수신하게 되어 있다. 개별 채널별로 850 nm VCSEL을 통해 10 Gb/s 속도까지 지원한다.

DWDM/ROADM 시스템에서 광링크 전송을 위한 100 Gb/s 광트랜시버에 대한 논의는 아직 산업체 표준에서 다루어질 단계는 아니며, 다양한 변조 방식에 대한 연구가 시스템 개발업체와 부품업체를 중심으로 활발히 진행되고 있다.

<표 4>에는 100 Gb/s 광트랜시버에 대하여 용도별로 주요 특징을 정리하였다.

2. IEEE 표준화 동향

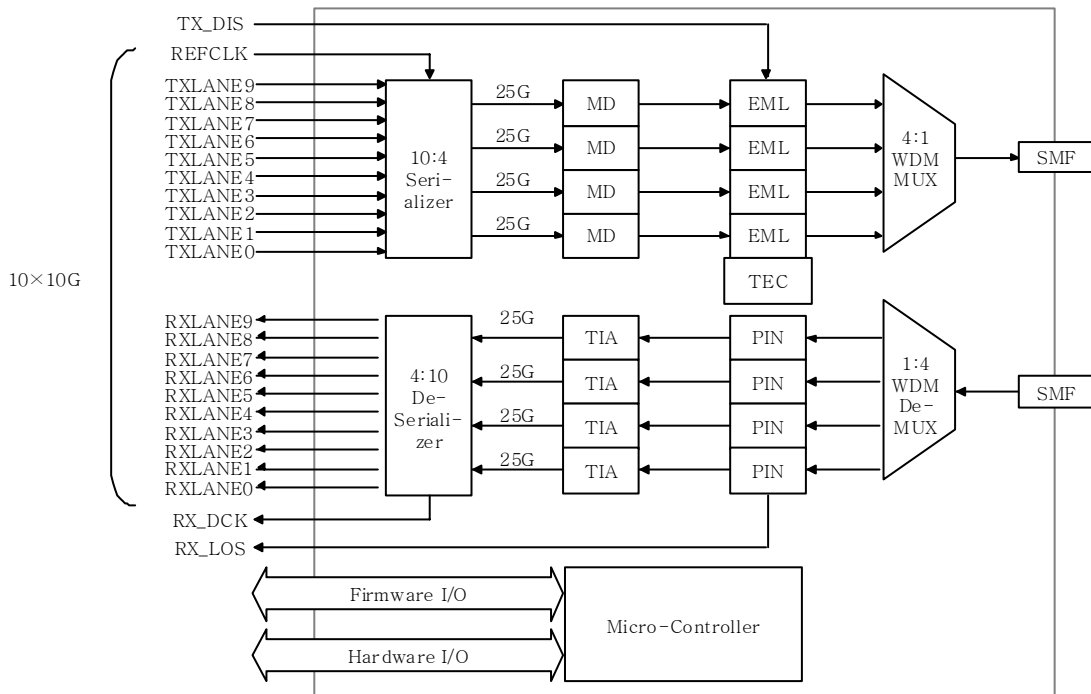
100G 이더넷 표준의 physical layer의 규격은 <표 3>에서 설명한 바와 같이, 40 km on SMF, 10 km on SMF, 100 m on MMF, 10 m over cu cable로 구성되어 있다. 이 중 OM3 MMF 100 m 전송을 위한 표준은 850 nm VCSEL array를 이용한 10×10 Gb/s 병렬 전송하는 방식이 2008년 5월

엔 회의에서 baseline으로 채택되었다.

SMF 10 km 및 40 km 전송을 위한 표준은 4×25 Gb/s LAN WDM 방식이 2008년 7월 덴버 회의에서 baseline으로 채택되었다. CWDM은 채널 간격이 20 nm로 넓은 반면, LAN WDM은 <표 5>와 같이 채널 간격이 800 GHz(1310 nm 파장 대역에서 약 4.5 nm)로 정해져 있다. 즉 25 Gb/s 속도의 광신호가 40 km 전송한 후에 겪게 될 색분산 현상 때문에 채널 간격을 좁히게 된 것이다. 또한, pulse broadening 현상 때문에 DML 방식보다 EML 방식을 선호하고 있다.

<표 5> 100GBASE-LR4, ER4의 파장 할당

Lane	Center frequency	Center wavelength	Wavelength range
L ₀	231.4 THz	1295.56 nm	1294.53 to 1296.59 nm
L ₁	230.6 THz	1300.05 nm	1299.02 to 1301.09 nm
L ₂	229.8 THz	1304.58 nm	1303.54 to 1305.63 nm
L ₃	229.0 THz	1309.14 nm	1308.09 to 1310.19 nm



<자료>: IEEE 802.3ba 표준화 회의 자료, Finisar, 2008. 5.

(그림 5) 100GBASE-LR4 광트랜시버 구현 예

100GBASE-LR4 표준은 4×25 Gb/s LAN WDM 방식으로 구현되며, (그림 5)에 구현 예가 나와 있다.

송신부의 경우, 10개의 10 Gb/s 전기신호가 입력되면 10:4 serializer에서 4개의 25 Gb/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 deserializer에서 10개의 10 Gb/s 전기신호로 출력된다.

(그림 5)는 SMF 10 km 전송을 위한 광트랜시버 구조이며, 40 km 전송을 위해서는 수신부의 1:4 WDM DMUX 앞 단에 광섬유 손실을 보상하기 위해서 SOA가 추가된다.

3. 장거리 광링크 연구 동향

DWDM/ROADM 광전달망에서 단일 파장을 통하여 100 Gb/s급 신호를 수백 km 이상 전송하기 위한 다양한 변조 방식과 광링크 기술 연구가 수행되고 있다. 초기에는 NRZ-OOK를 이용하는 방식이 많이 보고되었으며, 이후 DQPSK 방식이 전면에 등장하였고, 1,000 km 이상의 장거리 전송 결과들이 발표되고 있다. 최근에는 편광 다중화와 코히어런트(coherent) 수신방식을 이용하는 변조 방식이 주를 이루고 있으며, 수신 후 여러 가지 디지털 신호 처리 과정을 거쳐 신호의 품질을 향상시키는 등화 기술을 사용하는 결과들이 보고되고 있다.

현재 100 Gb/s급 광전송 기술로 연구되고 있는 변조 방식은 하나의 심볼에 몇 개의 비트를 보낼 수 있는냐에 따라 분류해 볼 수 있다[19].

심볼 당 1 비트 전송의 경우는 광신호의 세기를 변화시키는 OOK 변조 방식과, 위상을 변화시키는 DPSK, 세기와 위상을 동시에 변화시키는 duobinary 방식이 있다. 이들은 광 송수신기의 구조가 상

대적으로 간단한 장점이 있으나 100 Gb/s급 광전송에서는 100 GHz급 대역폭을 가지는 광/전기 소자가 필요하기 때문에 현재 기술 수준으로는 상용화에 어려움이 있을 것으로 판단된다.

심볼 당 2 비트를 전송하는 대표적인 변조 방식은 QPSK 방식이다. 이 변조 방식은 입력되는 00, 01, 11, 10의 비트 정보를 광신호의 위상 0, 90, 180, 270도에 각각 매핑한다. 수신을 위해서는 1 심볼의 길이 차이를 가지는 광 간섭계를 사용하는 차동(differential) 방식, 즉 DQPSK 방식이나 별도 광원과의 간섭을 이용하는 코히어런트 방식을 사용한다. 심볼 당 2 비트 전송의 경우, 광/전기소자의 대역폭이 50 GHz 정도로 낮아질 수 있어서, 40 Gb/s 전송을 위해 개발된 전자 소자 기술을 사용할 수 있을 뿐 아니라 100 GHz 채널 간격의 DWDM 광전달망에서 100 Gb/s급 광신호를 전송할 수 있는 장점이 있다.

편광 다중화(polarization multiplexed)-(D)QPSK 나 광신호의 진폭과 위상을 동시에 이용하는 16-QAM 방식 등을 사용하면 심볼 당 4 비트 전송이 가능하다. 이들 기술은 25 GHz 대역폭의 광/전자 소자를 사용할 수 있는 장점이 있으나, 송수신기의 구성이 복잡한 단점이 있다.

이용 가능한 광전자 소자의 대역폭과 광신호 대 잡음비 요구조건, 10G/40G DWDM 시스템과의 호환성 및 업그레이드를 고려하였을 때, 1개의 심볼 당 2 비트를 전송하는 (D)QPSK 광변조 방식이 향후 많이 이용될 것으로 판단된다.

V. 광트랜시버 요소 기술

지금까지 본 고에서는 10 Gb/s 이상의 광트랜시버 동향에 대하여 살펴보았다. 본 절에서는 광트랜시버를 개발하는 데 있어 필요한 기술들에 관하여 언급하고자 한다. 광트랜시버의 요소 기술에 대해서는 다양한 분류가 가능하지만 여기서는 광 송수신기 기술, 고속 고밀도 PCB 설계 및 제작 기술, 제어 및 운용 기술, 시험 기술로 구분해서 설명하고자 한다.

광 송수신기 기술은 전기 신호를 광 신호로 변환하고, 광 신호를 전기 신호로 변환하는 과정에 필요한 부품과 관련된 기술로, 광트랜시버 종류에 따라 실제 구현 방법은 다를 수 있으나, 일반적으로 LD 전류, 광 출력 제어 및 안정화 기술, LD 온도 제어 및 안정화 기술, 파장 가변 기술, 광 변조기 바이어스 안정화 기술, 광 간섭계 제어 기술, 수신 광 전력 감시 기술, APD 바이어스 제어 기술 등이 있다. LD의 경우 전류 대 출력 함수 그래프의 기울기가 온도에 민감하기 때문에 고온으로 올라갈수록 동일한 광 출력을 얻기 위한 전류의 양이 증가하게 된다. 따라서 온도 변화와 상관없이 광 출력을 일정하게 유지하기 위해서는 광 출력을 모니터링하여 전류의 양을 조절해야 한다. 또한, 소광비를 일정하게 유지하기 위한 제어도 필요하다. DWDM/ROADM 광 전달망에서 사용되는 광트랜시버의 경우에는 파장의 안정도가 특히 중요하고, 위상을 변조하는 광트랜시버의 경우에는 광 변조기의 바이어스와 광 간섭계를 최적화 해야 한다.

광트랜시버에 있어 가장 중요한 진화 방향은 고속화와 소형화이다. 따라서, 많은 소형부품이 집적화되어 있는 PCB 상에서 고속 전기신호의 품질을 보장하기 위해서는 SI, PI 분석이 필요 조건이 되었으며, EMI를 고려한 PCB 설계 기술이 필요하게 되었다. DWDM용 XFP 트랜시버의 경우를 예로 들면, 손가락 두 마디 정도의 PCB 상에 10 Gb/s 속도의 전기 신호가 흘러 다니는 가운데, 2 V 이상

의 전압으로 EML을 구동하고, 온도 안정화를 위한 TEC 회로가 내장되며, 필요에 따라 30 V 전압으로 APD 바이어스를 공급하여야 하고, 여기에 모든 부품들을 감시, 제어하기 위한 회로들이 배치된다. 보드 상에는 송수신 데이터 경로와 관련된 아날로그 신호와 마이크로 컨트롤러와 관련된 디지털 신호가 혼재하며, 송신부와 수신부가 맞닿아 있기 때문에 송신 신호가 수신에 영향을 미치게 되는 상황이다. 이 모든 기능이 70°C 이상 온도에서도 정상 동작을 해야 하므로 광트랜시버 PCB를 설계하는 데는 전문적인 지식과 세심한 주의를 필요로 한다.

광트랜시버를 동작시키기 위해서는 하드웨어뿐만 아니라 마이크로 컨트롤러를 이용한 제어 및 운용 기술이 필요하다. 마이크로 컨트롤러는 광트랜시버를 구성하고 있는 부품들의 상태를 모니터링하고, 최적 값으로 제어하는 기능을 한다. 각 광트랜시버 MSA별로 운용을 위한 management 규격이 있어 이를 만족해야 한다. 또한 보드가 소형화되기 때문에 가능한 부품 수를 줄이고 동일한 기능을 마이크로 컨트롤러에서 소프트웨어로 처리하도록 요구되고 있다.

마지막으로 언급하고자 하는 기술은 시험 기술이다. 광트랜시버의 기능 및 성능을 시험하기 위해서는 광통신에 대한 전반적인 지식에서부터 응용분야에 따른 ITU-T, IEEE, Telcordia, MSA 등의 표준 규격을 이해하고 있어야 하며, 광트랜시버가 사용될

〈표 6〉 10 Gb/s 광트랜시버 주요 시험 항목 및 관련 표준

구분	주요 시험 항목	관련 표준
Optical specifications	<ul style="list-style-type: none"> Wavelength, transmit power, SMSR, ER, path penalty, eye mask, receiver sensitivity, stressed receiver sensitivity, overload, etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ITU-T G.959.1, G.698.1(SDH, OTN) IEEE 802.3ae(10GbE) GR-253-CORE(SONET)
Electrical performance	<ul style="list-style-type: none"> Crosstalk between TX and RX, asynchronous test High speed signal characteristics, low speed signal timing 	<ul style="list-style-type: none"> Optical transceiver MSAs
Jitter measurement	<ul style="list-style-type: none"> Jitter generation, tolerance, transfer 	<ul style="list-style-type: none"> ITU-T G.783(SDH) ITU-T G.8251(OTN) IEEE 802.3ae(10GbE) GR-253-CORE(SONET)
Regulatory	<ul style="list-style-type: none"> EMI & ESD Laser eye safety etc. 	<ul style="list-style-type: none"> JEDECJESD22-A114-B(EMI) EN61000-4-2(ESD)

시스템과의 인터페이스에 대한 요구사항을 잘 알고 있어야 한다. 객관적인 평가를 위해서는 개발 인력 외에 전문적인 시험 인력이 별도로 필요하다. 또한, 양산 단계에서는 많은 시험 항목들을 자동으로 측정하고 데이터베이스화 하는 기술이 필요하며, 여러 개의 광트랜시버를 동시에 측정할 수 있는 환경을 구축하는 것이 필수적이다.

10 Gb/s 광트랜시버에서 요구하는 주요 시험 항목과 관련 표준에 대하여 <표 6>에 정리하였다.

VI. 결론

2000년대 초반 전세계적인 IT 버블의 붕괴와 함께 광트랜시버 시장도 침체기의 긴 터널을 통과해야 했으나, 지금은 붕괴 이전의 시장 규모를 되찾았다. 버블 붕괴 이후로 선도 업체는 지속적인 M&A를 통하여 몸집을 불려왔으며, IEEE와 MSA 등 관련 표준을 주도하면서 시장을 이끌어 나가고 있다.

일부 가입자 네트워크나 무선 네트워크용 광트랜시버와 달리, 본 고에서 살펴본 광통신용 광트랜시버의 경우 전세계적으로 표준화되어 있는 제품으로 세계 시장에서 선도 업체를 상대로 경쟁을 해야 한다. 미국 업체의 경우에는 표준화에 적극적으로 참여하여 자신들에게 유리한 방향으로 시장을 이끌어

가고 있으며, 일본 업체의 경우에도 광 부품 경쟁력을 바탕으로 확고한 시장을 차지하고 있다. 여기에 중국 업체는 가격 경쟁력을 앞세워 시장을 확대하고 있다.

국내 광트랜시버 업체들이 이렇게 쉽지 않은 환경 속에 놓여 있는 것이 사실이다. 따라서, 정부는 광부품의 국산화와 내수 시장 확대에 지속적인 지원을 해야 하며, 출연 연구소는 선행 기술 개발을 통해 기업체의 기술개발에 도움을 줄 수 있어야 한다. 앞으로 열리게 될 40G, 100G 이더넷 시장을 목표로 정부와 출연 연구소 및 기업체가 상생의 협력을 한다면 국내 관련 산업이 한 단계 도약할 수 있는 계기가 될 수 있을 것이다.

약어 정리

CDR	Clock and Data Recovery
CML	Chirp-Managed Laser
CWDM	Coarse Wavelength Division Multiplexing
DFB	Distributed Feedback Laser
DML	Directly Modulated Laser
DMUX	Demultiplexer
DPSK	Differential Phase Shift Keying
DQPSK	Differential Quaternary Phase Shift Keying
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
EDC	Electrical Dispersion Compensation
EMI	Electro-Magnetic Interference
EML	Electro-absorption Modulator with Laser
ER	Extinction Ratio
FP	Fabry-Perot
HSSG	High Speed Study Group
ITLA	Integrable Tunable Laser Assembly
LAN	Local Area Networks
LD	Laser Diode
MD	Modulator Driver
MMF	Multi Mode Fiber
MPO	Multi-fiber Push On
MSA	Multi-Source Agreement
MUX	Multiplexer
NRZ	Non Return to Zero
OIF	Optical Internetworking Forum

● 용어해설 ●

DWDM/ROADM: DWDM은 하나의 광 케이블상에서 여러 개의 빛 파장을 동시에 전송하는 광 전송방식/장치를 말하며, ROADM은 DWDM 시스템 보다 진보된 것으로 광 전송로 중간에서 광 파장을 자동으로 넣거나 뺄 수 있어 트래픽 요구 발생에 따라 원격지에서 자동으로 최적의 네트워크를 구성할 수 있다.

이더넷 방식에 대한 명명법(40G, 100G 이더넷의 경우): "100GBASE-LR4"와 같은 표현 방법에 있어서, 앞의 100G는 속도를 의미하고, "L"로 표현된 자리는 매체에 대한 것으로 S는 Short reach(100 m), L은 Long reach(10 km), E는 Extended long reach(40 km)를 의미한다. "R"로 표현된 자리의 경우 코딩방식에 대한 것으로 R은 64B/66B 코딩을 의미하며 "4"로 표현된 자리는 라인(lane)의 수를 의미한다.

OM3	Optical Mode 3
OOK	On-Off Keying
OTDM	Optical Time Division Multiplexing
PCB	Printed Circuit Board
PD	Photo Diode
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PI	Power Integrity
PMD	Physical Media Dependent
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QSFP	Quad Small Form-factor Pluggable
ROADM	Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer
ROSA	Receiver Optical Sub-Assembly
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SERDES	Serializer and DESerializer
SFF	Small Form Factor
SFI	Serdes Framer Interface
SFP+	Enhanced Small Form Factor Pluggable
SI	Signal Integrity
SMF	Single Mode Fiber
SMSR	Side Mode Suppression Ratio
SOA	Semiconductor Optical Amplifier
SONET	Synchronous Optical Network
TEC	Thermo-Electric Cooler
TIA	Trans-Impedance Amplifier
TOSA	Transmitter Optical Sub-Assembly
VCSEL	Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser
WAN	Wide Area Network
XAUI	10GbE Attachment Unit Interface
XFP	10 Gb/s Small Form-factor Pluggable

참 고 문 헌

[1] <http://www.300pinmsa.org>
 [2] <http://www.xenpak.org>
 [3] <http://www.xpak.org>

[4] <http://www.x2msa.org>
 [5] <http://www.xfpmsa.org>
 [6] <http://www.sffcommittee.com>
 [7] 300pin MSA group, "Reference Document for 300pin 10 Gb/s Transponder, Public Document Edition 3," www.300pinmsa.org, July 19, 2002.
 [8] OIF-SFI4-01.0, "Proposal for a Common Electrical Interface between SONET Framer and Serializer/Deserializer Parts for OC-192 Interfaces," www.oiforum.com, Sep. 26, 2000.
 [9] 300pin MSA group, "I2C Reference Document for 300pin MSA 10G and 40G Transponder, Public Document Edition 4.2," www.300pinmsa.org, July 26, 2007.
 [10] OIF-ITLA-MSA-01.1, "Integrable Tunable Laser Assembly MSA(ITLA-MSA)," www.oiforum.com, Nov. 22, 2005.
 [11] ITU-T G.694.1, "Spectral Grids for WDM Applications: DWDM Frequency Grid," June 2002.
 [12] IEEE 802.3ae Amendment 1, "Media Access Control(MAC) Parameters, Physical Layer, and Management Parameters for 10 Gb/s Operation," 2002.
 [13] 300pin MSA group, "Reference Document for 300pin 40Gb/s Transponder, Public Document Edition 3," www.300pinmsa.org, July 19, 2002.
 [14] OIF-SFI5-01.0, "Serdes Framer Interface Level 5(SFI-5): Implementation Agreement for 40 Gb/s Interface for Physical Layer Devices," www.oiforum.com, Jan. 29, 2002.
 [15] A.H. Gnauck and P.J. Winzer, "Optical Phase-Shift-keyed Transmission," *IEEE/OSA, J. of Lightwave Technol.*, Vol.23, No.1, Jan. 2005, pp.112-130.
 [16] <http://www.X40msa.com>
 [17] IEEE P802.3ba, <http://www.ieee802.org/3/ba/>
 [18] www.snapoptics.org
 [19] P.J. Winzer, "Advanced Modulation Formats for High-capacity Optical Transport Networks," *IEEE/OSA, J. of Lightwave Technol.*, Vol.24, No.12, Dec. 2006, pp.4711-4728.