광전송 기술의 현황과 발전 전망

Current Status and Prospect of Optical Communication Technology

김광준(K.J. Kim) WDM기술팀 책임연구원
고제수(J.S. Ko) TDM기술팀 책임연구원
주무정(M.J. Chu) 광응용기술팀 책임연구원

1960년대에 발명된 광섬유를 이용한 광통신기술은 1980년대 이래 빠르게 보급되었다. 특히 인터넷 트래픽이 폭발적으로 증가하기 시작한 1990년대 후반에 파장 분할 다중화(WDM) 기술이 상용화 되었으며 이 기술은 불과 수년 사이에 하나의 물리적인 광섬유 한 가닥을 통해 독립적인 수백 채널의 신호를 전송할 수 있는 수준에 이르렀다. 이에 더하여 ETDM 기술의 발전으로 채널 당 10Gbps 내지 40Gbps에 이르는 신호를 전송할 수 있게 되어 광섬유 선로 당 전송 용량은 테라급이 가능해졌다. 전송 용량의 빠른 확장과 과장된 수요 예측은 결국 공급 과잉을 초래하여 최근 수 년간 광전송 분야 시장이 침체된 바 있다. 그러나 매년 약 두 배씩 꾸준히 증가하는 트래픽 덕에 최근에는 과잉 공급 분이 소진되어 가고 있으며 새로 시장이 활성화되고 있다. 새 시장에서는 종래의 점대점 방식을 넘어 메시형의 WDM 광 네트워크가 등장할 것이며 이에 따른 다양한 요소 기술을 요구하게 될 것이다. 본 고에서는 광전송 기술의 핵심 분야인 광 트랜스폰더 기술, 광 증폭기 기술, 그리고 광 네트워크 기술을 중심으로 현황과 발전 전망을 알아본다.

I. 서 론

유선 통신의 출현 이래 도선을 통한 전기 신호전송이 주류를 이루었으나 1980년대부터 전기 신호를 광신호로 변환하여 광섬유를 통해 전송하는 기술이 일반화되기 시작하였다. 광전송망에서 DS-n 단위 계층의 전송을 기반으로한 비동기식 광전송장비인 PDH(Plesiochronous Digital Hierarchy)를 거쳐 현재의 광전송장비 대부분을 차지하고 있는 SONET/SDH 계열, 그리고 최근의 코어 및 메트로 백본에서 사용되고 있는 WDM 장비에 이르기까지 다양한 기술을 사용한 장비들이 계속해서 개발되었다.

또한 서비스 제공자가 네트워크에서 점하는 위치에 따라 각기 다른 형태의 광전송 장비가 사용되고 있다. 액세스, 메트로 망 구간에서는 가입자들의 트래픽을 다중화하기 위하여 SONET/SDH 또는 MSPP(Multi-Service Provisioning Platform), 광이더넷 장비들이 개발되어 사용되고 있다. 이들 트래픽들을 한데 모아 서비스 제공자의 백본망으로 전달하는 메트로 백본 및 지역간 전송망에서는 파장분할 다중 장비인 WDM 장비의 도입이 점차로 증가하는 추세이다. 코어 백본 망에서는 수백 Gb/s급 이상의 장거리 대용량 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 시스템의 사용이 일반화되어 있고 2,000km 이상의 초장거리 대용량 WDM 장비도 등장하고 있다.

광전송장비는 네트워크의 구성방식에 따라 두 지점 사이를 점대점 방식으로 연결하는 선형시스템에서, 광전송망을 링으로 구성하여 각 노드에서 일부 트래픽 또는 채널을 삽입/추출할 수 있도록 해주는 ADM 또는 OADM 장비로 발전하였고, 그물(mesh)형 망으로 구성되는 백본 및 트래픽 교차 지점에서 손쉽게 광신호를 다른 광신호로 바꾸어 전송해 줄 수 있는 광회선분배 장비(transparent OXC)가 출현할 것으로 예상된다.

Ⅱ. WDM 및 ETDM 전송 요소 기술별 현황 및 전망

WDM 및 ETDM(Electrical Time Division Multiplexing) 전송 시스템은 다양한 기술로 구성되어 있으나 크게 보아 ETDM 기술을 포함하는 광 트랜스폰더 분야와 광신호 증폭을 포함하여 광선로에서 발생하는 제반 광신호 품질 저하 요인을 보정하는 광증폭 기술을 핵심으로 꼽을 수 있다. 이에 더하여 광 전달망 구조의 진화를 다루는 광 네트워크 기술에 대하여 알아본다.

1. 광 트랜스폰더 기술 분야

최근 수 년간 세계적인 광통신 관련 업체 및 기관들 사이에 광부품의 전기적, 물리적 특징을 규정짓는 표준 규약인 MSA(Multi-Source Agreement)를 통하여 시스템 내에서의 상호 호환성 및 표준화가 이루어지고 있다. 최근 광전송 네트워크에 본격적으로 도입되기 시작한 10Gbps급 광송수신 모듈(또는 광트랜시버)의 MSA들에 대한 기술동향과 또한 가까운 장래에 실용화가 예견되는 40Gbps급 광송수신 모듈 기술을 살펴 본다.

가. 10Gbps급 광 트랜시버

10Gbps 광 트랜시버와 관련하여 300pin[1], XENPAK[2], XFP[3], XPAK[4], X2[5] 등의 MSA 그룹들이 결성되어 있다. 이러한 그룹들은 세계 주요 광통신 업체 중심으로 구성되어 있으며 실질적인 기술적인 표준을 선도하고 있다.

300pin MSA는 10Gbps 광 트랜시버 모듈 관련하여 가장 먼저 결성되어 표준화 되었으며, 10Gbps SONET/SDH 전송장치와 WDM 전송장치의 트랜시버로 사용되고 있다. XENPAK MSA는 10Gigabit Ethernet 장치를 목표로 표준화 되었으며, XPAK과 X2는 XENPAK의 단점을 보완하고 응용 범위를 넓이기 위하여 표준화 되었다.

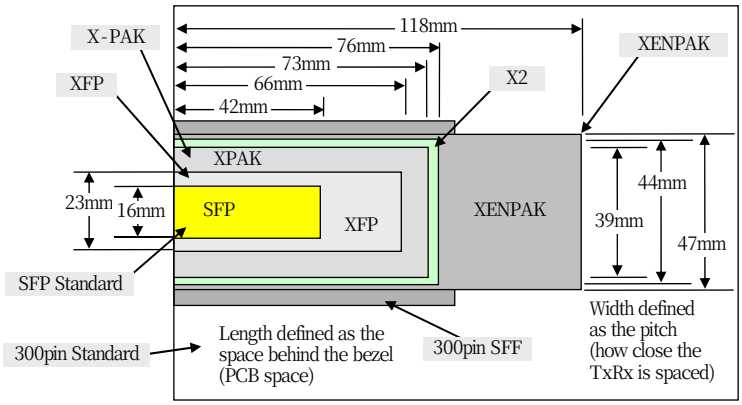
<표 1>은 상기 언급된 여러 MSA 표준 그룹들이 지정한 기술 규격을 나타낸다. 이렇게 MSA 규격 모듈들의 분류 기준은 전기적 접속 기준 즉, XAUI 또는 XFI의 전기적 접속 신호 및 접속 커넥터의 pin 수에 따라 크게 분류된다. 각각의 MSA 규격 모듈은 내부 소모전력 및 외형 크기도 표준화된 규격을 갖는다. <표 1>에 나온 MSA 표준별 크기 비교가 (그림 1)에 있다.

현재 여러 MSA들 증에서 300pin MSA가 메트로 또는 long-haul 전송 시스템에의 사용 빈도가 가장 높으며, 장비에서의 활용도는 접속 신호에 따라 다르지만 XPAK 또는 XENPAK의 형태가 많이 사용된다. 하지만, (그림 2)와 같이 광모듈이 소형화, 단순화되는 경향이 뚜렷하여 전세계적으로 10Gbps급 광신호를 처리하는 데 XFP 형태의 모듈이 많이 활용될 것이 예상된다.

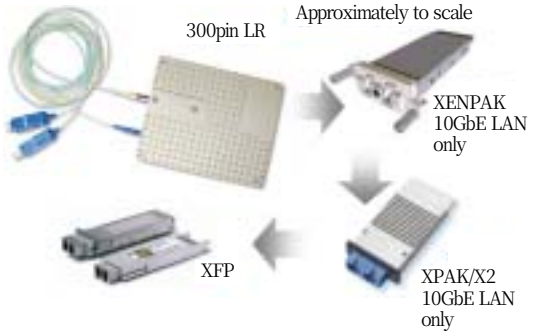
XFP MSA는 SERDES 칩을 내장하고 있지 않아 SONET/SDH 장치, WDM 장치, 10Gigabit Ethernet, 10Gbps Fiber Channel 장치 등에 폭넓게 사용될 수 있다는 장점이 있다. 또한 전원이 켜져 있는 상태에서 실탈장이 가능한 hot-pluggable 모듈이므로 적용 거리에 따라 모듈을 교체할 수 있으며, SERDES를 메인보드 내에 자유롭게 위치시켜 상면적을 크게

<표 1> 10Gbps급 광 트랜시버 표준별 기술 규격

	300Pin	XENPAK	XPAK	X2	XFP
Access of Application	CC192, 10GbE	10GbE	CC192, 10GbE, 10G Fiber Channel	CC192, 10GbE, 10G Fiber Channel	CC192, 10GbE, 10G Fiber Channel
Type of Electrical Interface	SFI4 16bit	XAUI 4bit	XAUI and SFI4-Phase 2 4bit	XAUI and SFI4-Phase 2(XFI) 4bit(1bit)	XFI 1bit
Type of Connector	300pin	70pin	70pin	70pin	30pin
Size(mm^3)	127×127×18	120×36×17	85×40×10	100×36×12	78×18×10
Power Consumption(W)	6~14	3~6	3~4	3~4	1.5~3.5



(그림 1) MSA 표준 그룹에서 지정한 외형 규격 비교



(그림 2) 10Gbps급 광 트랜시버 표준 모듈 변화 동향

줄일 수 있는 장점이 있다.

현재 XFP를 이루고 있는 기능 소자들 중, 광학 소자인 TOSA과 ROSA는 성능 측면에서 최대 40km 수준이나 80km 이상의 전송에 적합하도록 연구 개발이 진행되고 있으며, 전기 소자인 Limiting Amp., CDR, High Speed Drive용 Amp., 그리고 LD Driver까지 소형화 및 집적화가 빠르게 이루어지고 있다. 또한 300pin MSA에 적용하려던 EDC (Electronic Dispersion Compensation) 기능 소자가 XFP에도 적용할 수 있도록 소형화하는 추세를 보인다.

300pin MSA 모듈은 XFP의 기능에 SERDES가 추가된 형태로 단일 플랫폼의 형태로 구성된다. 또한 나름대로의 장점을 살리기 위해 300pin MSA 그룹의 파장 표준을 선택적으로 조절할 수 있도록 발전시키고자 파장 가변형 레이저의 제작업체 그룹[6]들과 OIF tunable MSA 그룹[7]이 결성되어 기술 표준 작업을 하고 있다.

나. 40G급 광 트랜스폰더

ETDM 기술은 PDH에서 SDH로 발전하여 왔으며, 그에 따른 전송속도도 DSn(n=1, 2, 3, 4)에서 STM-N(N=1, 4, 16, 64, 256)으로 고속화되었고, 2000년 이후 10Gbps급 SDH 장비가 상용화되어 전송망에 도입 운용되고 있다. 또한 차세대 네트워크에 적용될 OTH(Optical Transport Hierarchy) 신호 프레임 속도인 OTUk(k=1, 2, 3)가 표준화되어 관련 기술 및 장비 개발이 추진되고 있다.

현재 ETDM 방식으로 실현 가능한 속도로 40Gbps까지 표준화되어 있으나 40G 부품/소자의 경우 일부 업체에서 고가로 소량 제작하여 공급중이며, 특히 광 트랜스폰더(optical transponder)에서 핵심 부품인 40G SDH 처리기와 43G급 OTN 프레이머/FEC는 아직 개발 진행중이다.

40G SDH 및 OTN 신호프레임 기술은 ITU-T G.707 및 G.709에서 표준화가 이루어져 있으며, OIF PLL WG에서 40G 광모듈간의 접속 규격을 SFI-5(2.5G×16)로 정의하였고, 향후 SFI-5 Phase 2(10G×4)를 개발할 예정이다. 또한 11개 기업체로 구성된 MSA 그룹에서 단거리형 300pin 40Gb 트랜스폰더 규격을 정의한 바 있다.

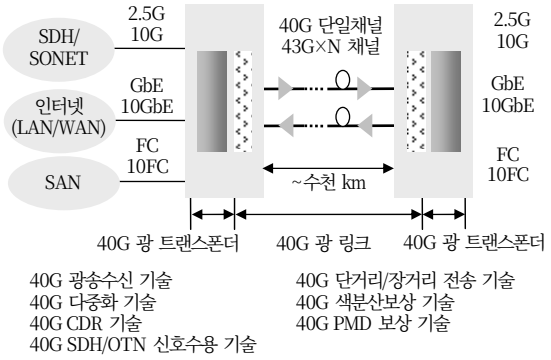
2004년 상반기에 Cisco에서 개발한 초고속 라우터(CRS-1)에 40G 포트를 채용하였으며, 현재 미국 MCI와 Sprint에서 이 라우터에 StrataLight와 Mintera사에서 개발한 40G 광 트랜스폰더를 기존 10G 기반 DWDM 장비를 이용해 접속하여 장거리 광전송 현장

시험을 실시하고 있다. 40G ETDM 광전송 관련 요소기술은 (그림 3)과 같다.

40G 광 트랜스폰더는 적용에 따라 단일 채널용(TDM 광 트랜스폰더)과 다채널용(OTN 광 트랜스폰더)으로 분류한다. 단일채널용의 경우 SDH 신호(STM-16, STM-64) 또는 GbE/10GbE 신호 등을 종속신호로 수용하여 40Gbps 신호로 시분할다중하여 광 전송하는 단순 TDM 방식의 경우와 STM-256 신호형태로 전송하는 SDH 방식이 있다.

다채널용의 경우는 WDM 방식의 광 전송 시스템에서 SDH 신호(STM-16, STM-64, STM-256), GbE/10GbE 신호, 또는 FC 신호 등을 종속신호로 수용하여 OTN의 40G급 신호인 OTU3(Optical channel Transport Unit-3) 신호로 변환시켜 전송하도록 한다.

OTU3 신호수용의 경우 2.5G 또는 10G 신호에



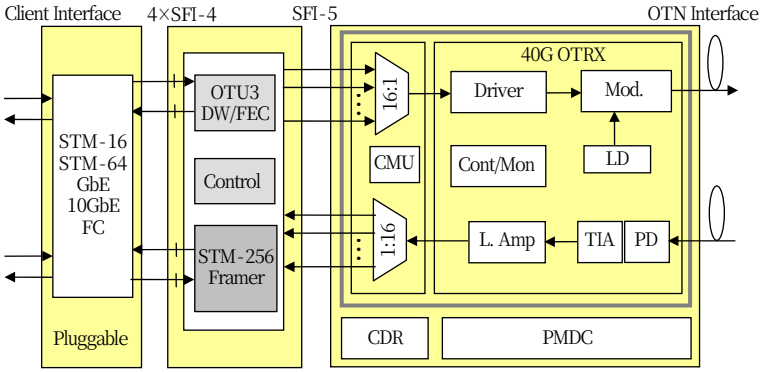
(그림 3) 40G ETDM 광전송 요소기술

대한 신호 매핑 및 다중화(MUX) 기능, OTU3(43 Gbps급) 신호 프레임 및 오버헤드 처리를 위한 디지털 래퍼(Digital Wrapper: DW) 기능, 그리고 전송오류정정(Forward Error Correction: FEC) 기능으로 이루어진다. (그림 4)와 같이 클라이언트 인터페이스측은 64개의 622Mb/s 신호(4×SFI-4)로 접속하고 OTN 인터페이스측은 16개의 2.7Gbps 신호(SFI-5)로 접속한다.

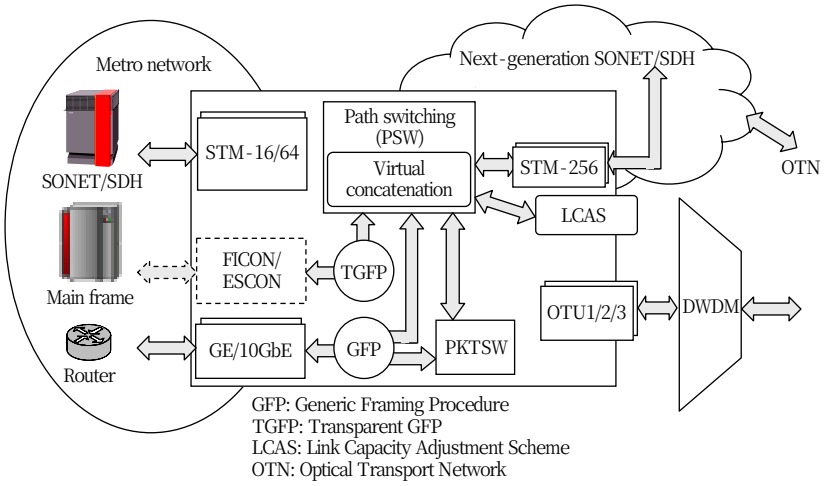
40G SDH 신호를 수용하기 위해서는 STM-256 프레이밍이 필요하며, NG-SDH 기반 신호수용을 위해 가장 핵심이 되는 요소기술로 GFP(Generic Framing Procedure), VCAT(Virtual Concatenation) 및 LCAS(Link Capacity Adjustment Scheme)가 있다. GFP 기능은 G.7041에서 정의하고 있는데, SDH 장치가 이더넷, FC 등과 같은 SDH와 다른 포맷의 신호를 수용할 수 있도록 절차를 규정한 것이다[8]-[10]. (그림 5)는 NG-SDH 및 OTN 적용을 위한 요소기술을 보여 주고 있다.

궁극적으로 40G 트랜스폰더는 (그림 4)와 같이 2.5G/10G SDH, GbE/10GbE, FC/10FC 등의 다양한 종속신호를 pluggable하게 수용할 수 있도록 하고, 40G급 SDH 및 OTN 신호 형성 및 처리를 위한 STM-256 및 OTU3 프레이머 칩을 개발하여 적용하고, 광 트랜시버 등 주요 기능을 모듈화 또는 접적화하여 통합 수용하는 구조로 발전할 것이다.

최근 40Gbps 관련 전송실험 동향을 보면, 2003년도까지는 새로운 광섬유와 새로운 변조방식을 도



(그림 4) 40G급 OTN 광 트랜스폰더의 구조



(그림 5) NG-SDH 요소기술 및 OTN 적용

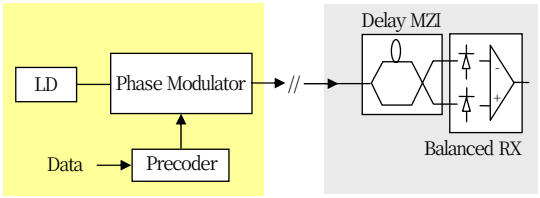
입하여 수천 km 전송하여 단순히 bit rate × distance를 높이는 발표가 많이 있었는데, 2004년도에는 좀 더 실용적인 측면에서 NRZ 변조와 SMF를 사용하여 1,600~2,500km 정도 전송한 발표가 있었으며, CSRZ-DPSK와 같은 새로운 변조 방식을 이용하는 경우에는 대역폭을 축소하여 채널 배열 간격을 좁히는 것과 무중계 전송실험 등이 보고되었다.

국내의 경우 ETRI에서 40Gbps 광송수신기, 다중 역다중화부를 포함한 40G 프로토타입을 제작하여 단일 모드 광섬유로 320km 전송한 바 있다. 2004년도에는 KT 선로를 이용하여 40G×40 채널을 SMF 525km에 걸쳐 전송하였으며, 현재 10G×4 신호를 다중화한 40G TDM 트랜스폰더 시제품 개발을 진행하고 있다[11].

단기적으로는 현재 지속적으로 도입이 진행되고 있는 10Gbps 기반의 WDM 광전송 시스템에서 향후 10Gbps 광채널이 40Gbps급으로 점진적으로 교체되는 형식으로 40Gbps 기술이 도입될 가능성이 크다. 하지만 색분산, 비선형 현상 등의 광섬유 특성으로 인한 고속 신호 전송 한계를 극복할 수 있는 광전송 기술에 대한 선행 연구가 요구된다.

다. 차동 위상 변조 기술

차동 위상 변조(Differential Phase-Shift Keying: DPSK)는 기존의 세기 변조 방식이 아닌 위상 변조



(그림 6) DPSK 방식 송신 및 수신 개요도

방식 기술이다. 기본 송/수신 구성도는 (그림 6)과 같다. PSK(Phase-Shift Keying) 변조는 절대적인 위상 값이 중요하지만 DPSK는 앞 뒤 비트의 상대적인 위상차가 0 또는 π가 되도록 변조하는 것이다. 이러한 위상 신호는 수신단에서 세기 변조로 바뀌어 수신기에 인가된다. 세기 변조로 복조하는 여러 기술들 중 1비트 지연 간섭계를 이용한 직접 검출 방법이 대세이다. 간섭계의 한쪽 경로를 1비트 지연시켜 앞 뒤 비트가 간섭을 일으키게 되며 그 위상차가 0이냐 π냐에 따라 1 또는 0의 신호를 출력하게 된다.

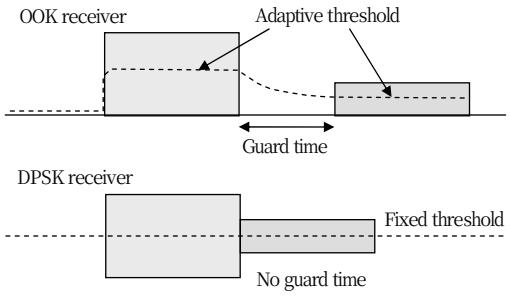
OOK(On-Off Keying) 변조 방식과 비교해 보면 차동 위상 변조 방식은 광섬유 비선형 현상의 영향이 적고[12], 밸런스 수신기를 사용하였을 경우는 수신감도가 3dB 정도 좋다[13],[14]. 따라서, 전송거리를 늘리거나 전송속도를 높이는 데 있어서 장점이 있다.

광전송 분야에서는 전송속도, 전송거리, 스펙트럼 효율이 가장 중요한 변수들이다. 전송속도에 있

어서는 RZ-DPSK(Return-to-Zero Differential Phase-Shift Keying) 변조 방식을 사용하고, 이에 OTDM 및 편광 다중 기술을 더하여 단일 채널 640Gbps, 160km 전송을 보인 예가 있다[15]. 또한 전송거리에 있어서는 수신 감도와 비선형 저항성이 높은 CSRZ-DPSK(Carrier Suppressed RZ-DPSK) 변조 방식을 이용하여 40채널의 42.7Gbps 신호를 10,000km 전송한 사례가 있다[16].

스펙트럼 효율을 높이기 위해서, 편광 다중을 사용하거나 필터를 사용하여 스펙트럼 폭을 제거하는 VSB, SSB 등의 기술을 사용해 왔다[17]. DPSK 기반의 변조 방식에 더하여 효율을 두 배로 높일 수 있는 것은 DQPSK(Differential Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방식이다. DQPSK는 구현이 복잡한 단점이 있으나 색분산, 편광분산에 저항성이 크고 전기 소자의 설계 조건이 완화되는 등 장점이 많다. 최근에 160% 스펙트럼 효율의 85.4Gbps 64채널 RZ-DQPSK 전송이 이루어졌다[18].

TDM 기반 광가입자망에서는 각 가입자와 중앙국간의 거리가 다르므로 버스트 형태의 크기가 다른 데이터들이 수신기에 전송된다. 따라서, 기존의 CW 신호용 수신기가 아닌 adaptive threshold를 갖는 버스트 모드 수신기가 요구된다. 밸런스 수신기를 사용하는 DPSK 변조 신호는 (그림 7)과 같이 고정된 판별 레벨을 기준으로 신호를 검출할 수 있으므로 광가입자망에 적용 시 수신기 설계가 쉬워질 수 있다는 장점이 있다[19]. 최근에는 LOA를 사용하여 25dB의 넓은 다이나믹 범위를 제공하는 DPSK 변조의 버스트 모드 수신기 실험이 이루어졌다[20].



(그림 7) OOK 방식과 DPSK 방식의 비교

2. 광 증폭기 기술 분야

WDM 기술이 가능하게 된 데에는 광선로상 다수의 광신호들을 광/전 변환 없이 광학적으로 동시에 증폭하여 주는 광 증폭기 기술이 큰 역할을 하였다. 특히 EDFA(Erbium-Doped Fiber Amplifier)의 뛰어난 특성으로 인하여 광전송 기술이 저렴한 가격으로 높은 품질을 제공할 수 있게 되었다. 한편으로 광증폭 성능을 강화하거나 광신호 사용 대역폭 확장을 위하여 라만 광 증폭기를 비롯하여 반도체 광 증폭기가 광범위하게 연구되고 있고 또한 optical parametric amplifier 등의 전혀 새로운 원리로 동작하는 광 증폭기도 논의되고 있다.

가. EDFA

EDFA는 C 밴드(1525~1560nm) 혹은 L 밴드(1565~1600nm) 대역의 광신호를 증폭하는 광 증폭기다. EDFA는 증폭 효율이 높고, 잡음지수가 낮으며, 편광 의존성이 매우 작은 특성들을 갖는다. 특히, 2.5G/s 이상의 고속 신호에서 상호 간섭(cross-talk)이 없어서 초고속 다채널 광전송 시스템의 전송거리를 증가시키는 핵심 모듈로 자리잡고 있다.

EDFA는 특수 광섬유인 EDF(Erbium-Doped Fiber), 펌핑용 레이저 다이오드, 파장결합 커플러, 아이솔레이터 등 다양한 광소자로 구성된다. 따라서 이러한 광소자 기술을 확보한 기업들이 EDFA 기술을 선도하고 세계 시장의 상당 부분을 점유하고 있다. 예를 들면, Bookham, Avanex, JDS-Uniphase 등의 다국적 기업들이 여기에 해당한다[21]-[23]. 이러한 EDFA의 규격을 통일하기 위하여 앞서 기술한 주요 업체를 중심으로 2003년도에 MSA 규격이 확정되었으나 이는 주로 크기가 작은 소형 EDFA에 한정되었다.

최근에는 전송 용량의 증가나 네트워크의 구조가 진화하면서 고출력, 광대역, 고속제어 등의 기술에 대한 요구가 거세지고 있으므로, EDFA는 초기의 단일 채널 증폭기의 단순 구조에서 점점 더 복잡한 구조로 변화하고 있다. 사용 대역을 예로 들면, 대부분의 전송 시스템이 C 밴드 대역을 사용하고 있으나

전송 용량이 더 증가함에 따라서 L 밴드 대역의 동시 사용도 가까운 장래에 이루어 질 것이다. 이 경우에는 병렬구조 C/L 밴드 광대역 EDFA가 사용될 것으로 보인다.

제어를 예로 들면, 네트워크의 구조가 선형에서 환형, 메시형으로 진화하고 있고, 각 노드에서는 채널들의 애드/드롭이 발생한다. 이러한 전송 시스템에서는 사용하는 채널의 수가 가변적이므로 EDFA에서는 채널 수에 따른 이득제어가 필요하게 된다. 특히 채널 수 변화가 동적으로 발생하는 R-OADM, OXC 등이 포함된 메시 네트워크 구조에서는 이득제어를 고속으로 처리하는 기술이 요구되는바 관련 고속제어 기술이 활발히 연구되고 있다.

국내에서 EDFA 관련 연구활동은 연구소 혹은 대기업을 중심으로 진행이 되고 있으나 LiComm, LUXPERT 등 전문 중소기업에서도 활발한 개발 및 생산이 이루어지고 있다[24],[25].

나. 라만 광 증폭기

라만 광 증폭기는 전송로를 직접 광학적으로 펌핑하여 라만 이득을 얻는 방식인 분포형 증폭(distributed amplification) 방식을 주로 이용하며, 이 증폭 방법은 분리형(discrete) 증폭 방식의 EDFA에 비하여 더 좋은 광신호 대 잡음비(optical signal to noise ratio)를 얻을 수 있다. 따라서 더 먼 거리의 전송이 가능하다.

1530~1610nm 대역에서 이득을 가지는 EDFA와 달리 라만 증폭기의 이득 밴드는 펌프광의 파장에 의해 결정된다. 펌프광의 주파수에서 13THz (1550nm 영역에서 약 100nm) 정도 낮은 주파수 영역의 광신호들을 증폭시킨다. 이와 같은 특성을 이용하여 적절한 펌프 파장을 선택함으로써 C와 L 밴드뿐만 아니라 S 밴드, U 밴드 등에서도 신호 증폭이 가능하다. 또한 EDFA의 경우 입력 파워나 펌프 파워의 변화에 따라 이득 스펙트럼의 모양의 변화가 현저하지만 라만 증폭기에서는 전체 이득 스펙트럼의 모양이 일정하게 유지된 상태로 이득 값이 일정 부분 변화한다.

라만 증폭기는 위와 같은 장점들 때문에 대용량 장거리 전송에 있어서 없어서는 안될 중요한 서브시스템이 되었다. 최근에는 라만 증폭기를 이용하여 repeater 없이 350km의 단일 구간 해저 광링크가 설치된 사례가 보고된 바 있으며[26], 분포형과 분리형 라만 증폭기 모두를 이용하는 All-Raman 방식의 대용량 초장거리 전송 시스템의 개발이 이루어졌다[27].

아직 증폭기 관련 시장은 메트로 시스템에서 이용되는 저가, 소형의 EDFA 위주의 증폭기가 시장의 대부분을 형성하고 있으나, 최근 대용량 장거리 전송의 수요가 다시 증가함에 따라 라만 증폭기 관련 시장도 커질 것으로 판단된다.

다. 반도체 광 증폭기

SOA(Semiconductor Optical Amplifier)는 이득매질로 크기가 매우 작은 반도체를 이용한다. 광섬유 증폭기가 입사하는 빛을 증폭하기 위해서 별도의 펌핑용 빛을 필요로 하는 것과는 달리 반도체 이종접합 구조에 전기장을 형성하도록 하여 전류를 주입함으로써 증폭에 필요한 에너지를 공급한다.

따라서 SOA는 크기가 매우 작고, 자동화된 반도체 공정에 의한 대량 생산이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 입사하는 빛의 편광에 대한 의존성이 높고 고속 변조 신호의 이득에 대한 비선형성이 크다. 최근의 연구 결과에 의하면 이득고정(gain-clamped) SOA, 양자점(quantum dot) SOA 등은 이러한 단점을 극복하고 있어 고속 전송용 광 증폭기로 사용될 가능성이 높아지고 있다[28],[29]. 다른 한편으로 SOA의 큰 비선형 특성을 오히려 장점으로 살려 파장 변환기, 시간분할 역다중화기 등 광신호 처리용 소자로써 응용하는 연구도 활발하게 추진중이다[30].

비록 SOA가 아직까지 시장에서 큰 비중을 차지하고 있지 않지만 다양한 SOA 구조와 기능 개발을 통해 점차 수요가 많아질 가능성이 높다. 특히, EDFA가 증폭할 수 없는 파장 대역에서 광대역 증폭을 하거나, 가격이 매우 중요한 가입자 네트워크

에서 저가형 광증폭을 하는 등 SOA의 활약에 대한 기대가 크다. Avanex, Covega, Finisar[31]-[33] 등에서는 꾸준히 SOA를 시장에 내놓고 있다.

라. Optical Parametric Amplifier

Fiber-based Optical Parametric Amplifier(OPA)는 광섬유의 특정한 분산 조건에서 3차 비선형성에 의한 Four Wave Mixing(FWM)이 간섭하는 광파들 간의 결맞음 상태를 유지하면서 증폭이 일어나는 현상을 이용하는 광 증폭기이다. 이 기술은 광 증폭, 파장 변환, Optical Time Domain Multiplexing(OTDM) 등 다양한 분야에 적용할 수 있는 가능성이 있어 최근 많은 연구가 진행되고 있다[34],[35].

OPA는 광대역의 고이득 증폭기 구성이 가능한 특징을 가지고 있다. OPA에서는 self-phase modulation 및 cross-phase modulation, 그리고 영분산이 조절된 광섬유의 사용에 의한 분산 특성의 조절 등의 효과에 의하여 간섭하는 광파간의 위상이 광섬유를 따라 진행하면서 거의 일정하게 유지될 수 있어 광대역의 증폭 특성을 얻을 수 있다. 또한 충분한 CW(Continuous Wave) 이득을 얻을 수 있는 방법에 대한 연구도 활발하다[35],[36].

그러나 이와 같은 장점에도 불구하고 OPA의 증폭기 적용을 위해서는 아직 해결되어야 할 과제가 많이 있다. 대표적인 것이 편광의존성과 채널간 cross-talk이다[37]. 광섬유의 birefringence가 편광의존성을 준다는 실험결과는 birefringence를 줄이지 않고는 편광의존성을 줄이는 것이 어렵다는 것을 시사하고 있다[38].

OPA를 신호 증폭기로 사용하고자 할 때 반드시 고려해야 할 특성 중의 하나가 잡음지수이다. OPA는 넓은 대역폭과 큰 이득을 갖는 특성으로 인하여 증폭기로서의 응용가능성이 제기되었으나, 아직 잡음지수 개선, 편광의존성 제거, cross-talk 제거, 잡음을 야기시키지 않는 펌프의 SBS(Sideband Brillouin Scattering) 억제 등 해결해야 할 문제가 많이 남아 있는 상황이다.

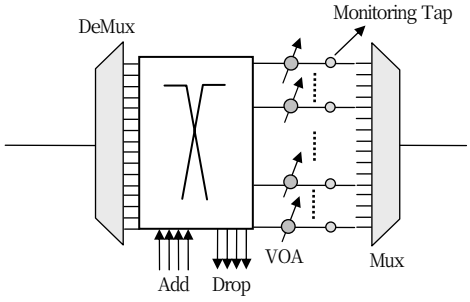
3. 광 네트워크 기술 분야

광전송 네트워크는 점대점 형태의 구조로 출발하였다. 그리고 OADM(Optical Add/Drop Multiplexer)의 등장으로 선형과 링형의 구조가 상용화되어 쓰이고 있다. 그러나 네트워크의 효율적인 구성과 망 자원의 이용률 극대화 등을 위하여는 전체 구조가 메시 형태로 발전하는 것이 필연적이다. 이러한 광 네트워크의 핵심 노드가 될 transparent OXC는 수년 전의 급격한 시장 붕괴로 말미암아 연구 개발이 주춤한 상태이다. 그러나 수요가 다시 증가하고 있고 망의 진화가 필연적인 상황에서 우선 R-OADM 노드 구조가 심도 있게 개발되고 있다. 또한 최적의 메시형 광 네트워크 구성 및 운용을 위하여 RWA 등의 분야가 활발히 연구되고 있다.

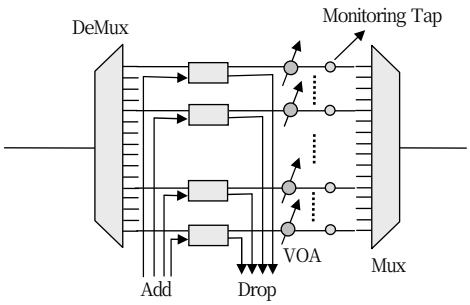
가. OADM

OADM 기술은 고정된 파장만을 분기/결합할 수 있는 F-OADM(Fixed OADM)과 임의의 파장을 분기/결합할 수 있는 R-OADM(Reconfigurable OADM)으로 구분되며, 지금까지는 주로 F-OADM이 적용되어 왔다. 그러나 보다 유연한 망을 선호하는 망 운용자(network operator)들은 원격지에서 망을 재구성할 수 있어 망의 효율성 제고 및 운용 비용의 절감을 가져올 수 있는 R-OADM을 점차 요구하고 있다.

R-OADM은 크게 스위치 기반의 구조와 broadcast and select 구조로 구분된다[39]. 먼저 스위치 기반의 구조는 (그림 8)과 같이 full-matrix 스위치를 사용하는 경우와 (그림 9)처럼 2×2 스위치를 사용하는 경우로 분류할 수 있다.



(그림 8) Full-matrix 광스위치로 된 R-OADM 노드 구조



(그림 9) 2×2 광 스위치들로 구성된 R-OADM 노드 구조

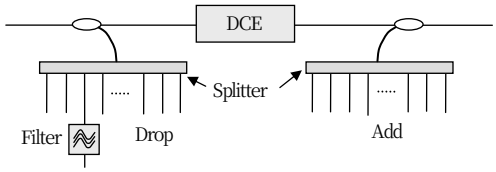
Full-matrix 스위치를 사용하는 경우는 역다중화된 입력 파장을 임의의 분기 포트로 출력할 수 있으며 결합 포트로 들어오는 파장을 임의의 출력 포트로 연결할 수 있으므로 파장 가변 광송신기를 사용하면 유연한 망의 구성이 가능하다.

2×2 스위치를 사용한 경우는 역다중화된 뒤에 개별 파장 별로 2×2 스위치를 사용하여 분기/결합을 결정한다. 각 스위치에는 고정된 파장의 송신기만 연결될 수 있어 파장 가변 광송신기를 사용하더라도 유연성이 다소 떨어진다.

Full-matrix 스위치는 구현이 어렵고 부피가 크며 가격이 높은 단점이 있으므로 유연성이 다소 떨어지더라도 현재에는 2×2 스위치를 사용한 구조의 모듈들이 시장에 많이 나오고 있다. 향후에는 스위치 기술의 향상에 따라 점차 full-matrix 스위치 기반의 유연한 R-OADM으로 발전할 것이다.

Broadcast and select 구조는 (그림 10)과 같은 형상을 갖는다. 분기 경로는 광분배기로 통과 경로와 분리하여 분기 파장 및 통과 파장을 모두 파장 다중화된 상태로 broadcast한 후 수신부에서 적절한 방법으로 필요한 파장을 선택할 수 있다. Broadcast and select 구조가 가능한 것은 wavelength blocker라고도 불리는 DCE(Dynamic Channel Equalizer)의 등장 덕분이다.

DCE는 통과 파장들의 광세기를 파장 별로 조절할 수 있고 특정 파장을 차단하는 기능을 갖고 있다. 이 구조에서 분기 신호의 역다중화는 광분배기(스플리터)로 수신기의 개수만큼 파장 다중화된 신호를 만든 후 파장 가변 필터를 사용하여 선택할 수 있고, 다른 방법으로는 AWG(Arrayed Waveguide Grating) 혹은 TFF(Thin Film Filter)와 같은 고정형 광역다중화기를 사용하여 선택할 수 있다.



(그림 10) Broadcast and Select 방식의 R-OADM 노드 구조

파장 가변 필터를 사용하면 광분배기에 의한 손실이 큰 단점이 있으나 임의의 포트에 임의의 파장을 선택할 수 있는 높은 유연성이 있으며 고정형 광역다중화기를 사용하는 경우는 삽입 손실을 현저히 줄일 수 있으나 분기/결합 포트에 특정 파장이 고정되므로 유연성이 다소 떨어지는 단점을 갖는다.

초기에는 삽입 손실 문제로 고정형 역다중화기를 사용하는 구조가 사용되겠지만, 파장 가변 필터를 사용하는 구조에서 광분배기와 파장 가변 필터를 대신할 수 있는 1:N 파장 선택 스위치(wavelength selective switch)가 개발되면 파장 고정형보다는 파장 가변형이 시장을 주도할 것이다.

지금까지는 R-OADM에 대한 수요가 미미하였으나 2004년도에 들어와 다수의 망 사업자들이 R-OADM 기능을 갖춘 노드 장비에 대한 RFP(Request for Proposal)를 발송한 것으로 알려져 있으며[40], 2004년도에 R-OADM 기능을 갖춘 시스템의 시장 규모는 약 8천 5백만 달러에 이를 것으로 추정되고 있다[41]. Moavaz가 스위치 기반의 R-OADM 시스템을 출시하고 있으며, Marconi, Ciena, Tropic Networks 등이 broadcast and select 구조의 R-OADM 시스템을 출시하고 있다[42].

나. RWA

WDM 시스템의 급속한 발전으로 망의 대부분의 비용을 차지하는 O/E/O 변환을 최소로 사용한 all-optical 메시 망이 차세대 인터넷 기간 망의 핵심을 이룰 것으로 기대되고 있다. 이를 위하여 transparent OXC와 같은 장비들이 주요한 네트워크 요소로 주목을 받고 있다.

WDM 메시 망의 자원을 효율적으로 이용하여 트래픽 변화에 지능적으로 즉각 대응하기 위하여 동적 경로 설정 및 파장할당(Routing and Wavelength Assignment: RWA) 방법이 요구된다. 동적 RWA는 WDM 망에서 실시간으로 연결을 설정/해제할 때 사용되는 광 경로(lightpath)를 계산하는 알고리듬이다. 한정된 망 자원을 효율적으로 사용하기 위해 여러 가지 동적 RWA 알고리듬들이 연구되어 왔으며, 동시에 이들 알고리듬에 대한 분석을 위한 트래픽 모델들도 연구되어 왔다.

RWA 문제는 파장변환기가 네트워크에 존재하느냐에 따라 다르고, 파장변환이 가능하다면 파장변환기의 개수, 파장변환의 범위, 공유 방법 등에 따라 달라진다. 또한 광신호는 전송되면서 품질이 저하되어 유한한 전송거리를 갖기 때문에 실제적인 RWA 문제 해결을 위해 광신호 품질 저하 문제도 고려하여야 한다[43].

동적 RWA를 이용하여 WDM 메시 망을 구축하기 전 예상되는 망의 규모, 투입된 자원의 양 및 트래픽 패턴 등에 근거한 시뮬레이션으로 망 설계 시에 중요하게 고려해야 할 파라미터들을 도출해 낼 수 있다. 투명한 WDM 메시 망에서는 입력채널과 출력채널의 파장이 동일해야 하는 파장 연속 조건이 요구된다. 이러한 파장 연속 조건을 충족하기 위해 파장 변환기가 필요한데, 각 노드 당 통과하는 광채널 수에 비해 상대적으로 작은 개수의 파장 변환기로도 네트워크의 효율을 크게 향상시킬 수 있다는 연구 결과들이 발표되었다[44]-[46].

이러한 연구 결과들은 값비싼 자원인 파장변환기의 한계 효용이 급격하게 감소함을 보여 준다. 그러므로 도출된 최적의 파장변환기 삽입 비율은 최소의 자원 투자로 최대의 성능을 가지는 WDM 메시 망을 구성하는 데 중요하다.

실질적인 WDM 메시 망의 성능 분석을 위하여 파장변환기 삽입 문제와 더불어 전송 품질 저하 문제를 동시에 고려하는 동적 RWA 방법이 연구되어야 한다. 또한 파장 변환기 삽입 비율, 재생 없이 전송 가능한 최대 거리 값, 파장변환기의 특성 그리고 파장변환기의 공유 방법 등에 따른 WDM 메시 망의 성능을 분석하여 과잉 투자 없이 성능을 최대로 하는 망을 구성하는 정량적인 근거로 활용될 수 있을 것이다.

Ⅲ. 요 약

방송 및 댁내 정보 가전기기의 디지털화에 따른 다양한 응용분야가 등장함에 따라 가입자망의 대역폭 요구가 증가하고 있으며, 정부에서도 현재의 2~8Mb/s에 머물고 있는 대역폭을 2005년까지 가입자에게 평균 20Mb/s 이상으로 확대하기 위한 계획을 발표하였고 VHDL 등이 보급되고 있다. 또한 FTTH에 대한 다양한 실용화 방안이 검토/진행되고 있어서 실용화가 곧 이루어 질 것이다. 이와 같은 고속의 인터넷 보급 및 관련 산업의 발전을 가능케 하기 위한 사회 기반 시설인 대용량 WDM 광통신 시스템의 개발과 핵심기술 보급은 대단히 중요하다. 정보통신 서비스를 가능케 하는 하부구조인 대용량 전송망은 현대 정보화 사회에서의 핵심 사회 간접자본이므로, WDM 및 ETDM 기반의 광 전송 기술에 대한 지속적인 연구개발이 추진되어야 한다.

참 고 문 헌

[1] http://www.300pinmsa.org/
[2] http://www.xenpak.org/
[3] http://www.xfpmsa.org/cgi-bin/home.cgi
[4] http://www.xpak.org/
[5] http://www.x2msa.org/
[6] http://www.tunablemsa.com/
[7] http://www.tunablelasermsa.com/
[8] ITU-T G.707/Y.1332, Network Node Interfaces for the Synchronous Digital Hierarchy(SDH), 2000.
[9] ITU-T G.709/Y.1331, Interfaces for the Optical Transport Network(OTN), 2003.
[10] ITU-T G.7041/Y.1303, Generic Framing Procedure(GFP), 2001.
[11] 이상수 외, "32 채널 × 10G/42.8G 혼합 신호의 단일모드 광섬유 전송," 한국광학회 2004년도 하계학술발표회, 2004. 7.
[12] X. Liu, "Nonlinear Effects in Phase Shift Keyed Transmission," *Proc. OFC'04*, ThM4, 2004.
[13] Walid A. Atia and Roy S. Bondurant, "Demonstra-

tion of Return-to-zero Signaling in Both LLK and DPSK Formats to Improve Receiver Sensitivity in an Optically Preamplified Receiver," *Proc. LEOS 12th Annu. Meeting*, Vol.1, 1999, pp.226-227.

[14] A.H. Gnauck et al., "Demonstration of 42.7-Gb/s DPSK Receiver with 45 Photons/bit Sensitivity," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.5, Jan. 2003, pp.99-101.

[15] V. Marembert et al., "Single-channel 640Gb/s DPSK Transmission over a 160km Fibre Lnk," *Proc. ECOC*, Th4.4.2, 2004.

[16] C. Rasmussen et al., "DWDM 40G Transmission over Transpacific Distance(10000km) Using CSRZ-DPSK, Enhanced FEC, and All-Raman Amplified 100-km Ultra Wave Fiber Spans," *J. Lightwave Technol.*, Vol.22, Jan. 2004, pp.203-207.

[17] J. Lee et al., "Optically Preamplified Receiver Performance Due to VSB Filtering for 40-Gb/s Optical Signals Modulated with Various Formats," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.21, Feb. 2003, pp.521-523.

[18] N. Yoshikane and I. Morita, "160% Spectrally-efficient 5.12Tb/s(64×85.4Gb/s RZ DQPSK) Transmission Without Polarization Demultiplexing," *Proc. ECOC*, Th4.4.3, 2004.

[19] H. Nixhizawa et al., "10-Gb/s Optical DPSK Packet Receiver Proof Against Large Power Fluctuations," *IEEE Photon. Technol.. Lett.*, Vol.11, June 1999, pp.733-735.

[20] Y. Su et al., "Wide Dynamic Range 10-Gb/s DPSK Packet Receiver Using Optical-limiting Amplifiers," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol.16, Jan. 2004, pp.296-298.

[21] http://www.bookham.com/

[22] http://www.avanex.com/

[23] http://www.jdsu.com/

[24] http://licomm.com/

[25] http://luxpert.com/

[26] "Using Raman Amplification, Nortel Extends Unrepeatered Submarine Links to 350km," Lightwave Web Exclusive, Mar. 13, 2003.

[27] "Xtera Uses Distributed, Discrete Raman for Greater Capacity, Longer Distance," Lightwave Web Exclusive, Feb. 20, 2002.

[28] D.A. Francis, S.P. DiJaili, and J.D. Walker, "A Single-chip Linear Optical Amplifier," presented at the Optical Fiber Communications Conf., Anaheim, CA, Postdeadline paper PD13, 2001.

[29] T. Akiyama, M. Ekawa, and D.M. Sugawara et al., "Recent Advances in Quantumdot Semiconductor Optical Amplifiers for Telecommunications," presented at the European Conf. on Optical Communication, Stockholm, Mo3.4.1, 2004.

[30] J. Leuthold, C.H. Joyner, and B. Mikkelsen et al., "100Gb/s All-optical Wavelength Conversion with Integrated SOA Delayed Interferometer Configuration," *Electron. Lett.*, Vol.36, No.13, 2000, pp.1129-1130.

[31] http://avanex.com/

[32] http://covega.com/

[33] http://finisar.com/

[34] Jonas Hansryd, Peter A. Andrekson, Mathis Westlund, Jie Li, and Per-Olof Hedekvist, "Fiber-based Optical Parametric Amplifiers and Their Applications," *IEEE Select. Topics Quantum Electron.*, Vol.8, No.3, 2002, p.506.

[35] M. Marhic, "Toward Practical Fiber Optical Parametric Amplifiers," OFC'03, paper ThT3, 2003.

[36] Min-Chen Ho, Katsumi Uesaka, Michel Marhic, Youichi Akasaka, and Leonid G. Kazovsky, "200-nm-bandwidth Fiber Optical Amplifier Combining Parameter and Raman Gain," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 19, No.7, 2001, pp.977-981.

[37] K.K.Y. Wong, M.E. Marhic, K. Uesaka, and L.G. Kazovsky, "Polarization Independent and Flat Gain CW Two-pump Fiber Optical Parametric Amplifier and Wavelength Converter," OFC '02, paper TuS5, 2002.

[38] S. Radic, C. Mckinstrie, and R. Jopson, "Polarization Dependent Parametric Gain in Amplifiers with Orthogonally Multiplexed Optical Pumps," OFC'03, paper ThK3, 2003.

[39] Ben Bacque and Dan Oprea, "Now You can Control the Light," Tropic Networks, Architectural White Paper, www.tropicnetworks.com, 2003.

[40] "SBC: ROADM Search Aint' Over," LightReading, July 7, 2004.

[41] "Supercomm: A ROADM Show?," LightReading, June 17, 2004.

[42] "Who Makes What: ROADMs," LightReading, July 26, 2004.

[43] Byrav Ramamurthy, Debasish Datta, Helena Feng, Jonathan P. Heritage and Biswanath Mukherjee, "Impact of Transmission Impairments on the Teletraffic Performance of Wavelength-Routed Optical Networks," *Journal of Lightwave Tech.*, Vol.17, No.10, Oct. 1999.

[44] S. Subramanim, M. Azizoglu, and A.K. Somani, "All

Optical Networks with Sparse Wavelength Conversion," *IEEE Trans. On Net.*, 1996.

[45] D. Mitra, C. Nuzman, and I. Saniee, "Optical Cross-Connect with Shared Wavelength Conversion under Dynamic Loading," OFC, 2002.

[46] Changhyung Lee and Kwangjoon Kim, "Blocking Probabilities in Fixed Routing WDM Networks Based on Optical Cross Connect with Limited Number of Wavelength Converters," *Proc. of COIN*, Korea, July 2002.