

主 題

40Gb/s 시분할다중 광전송 시스템

ETRI SDH전송팀 이 상 수

ETRI SDH전송팀 한 기 호

ETRI 광통신연구부 이 종 현

차 례

- I. 서 론
- II. 40Gb/s 광전송 시스템의 성장 가능성
- III. 40Gb/s 광전송 시스템의 연구 개발 현황
- IV. 40Gb/s 광링크 구성 및 시뮬레이션
- V. 결 론

I. 서 론

최근 정보화, 멀티 미디어 시대를 맞이하여 기존의 음성 신호 이외에 화상 회의, 고화질 디지털 TV, 영상 전화와 같이 고품질이 요구되는 동화상 중심의 데이터 전송이 증가하고 있다. 특히 인터넷 이용자의 증가에 의한 전송 속도에 대한 불만족을 해소하기 위해 디지털 가입자 전용 회선(digital subscriber line)의 보급이 급증하게 되었다. 이와 같이 다양한 서비스의 제공은 전송 용량의 증가를 요구하기 때문에 고속 기간 통신망의 수요가 급속히 증가하고 있는 실정이다. 따라서, 많은 정보를 보다 효율적으로 전달하기 위한 기술적 연구가 계속 진행되어 왔다.

일반적으로 광통신 시스템에서 전송 용량을 증가시키기 위한 방법으로는 파장 영역에서 서로 다른 파장을 갖는 여러 개의 변조된 신호를 하나의 광섬유로 입력시켜 전송하게 되는 파장 분할 다중 방식(wavelength-division-multiplexing ; WDM)과 시간 영역에서 펄스의 폭을 짧게 만들어 주어 전

송 속도를 높여 주는 시분할 다중 전송 방식(time-division-multiplexing ; TDM)이 있다.

WDM 방식은 광섬유가 갖는 대역폭을 보다 효율적으로 이용할 수 있으며, 기존 전자 소자 기술을 이용하여 쉽게 전송 용량을 증가시킬 수 있다는 장점을 지니고 있다. 또한 채널만 추가함으로써 기존 시스템의 용량 확장이 용이하고, 전송 노드에서 광 레벨에서의 채널 삽입/추출(add/drop)이 가능하므로 망(network) 구성에 있어 많은 다양성을 제공할 수 있다. 그렇지만, 다중/역다중 소자의 비용이나, 장거리 전송을 위해 필수적으로 사용되는 색분산, 편광모드 분산 보상 비용이 결국 채널 수에 비례하여 증가하기 때문에 동일한 전송 용량의 TDM 시스템에 비해 경제적이지 못하다는 단점이 있다. 그러므로, 현실적 10Gb/s급 이상의 TDM 시스템의 개발이 요구되는 실정이며, 또한 WDM 관점에서 볼 때에도 채널 당 전송 속도를 가급적 높이는 것이 좋으므로, 전세계적으로 40Gb/s급 시분할 다중 광전송 시스템에 대한 개발을 활발히 진행하고 있다.

본 논문에서는 이러한 추세에 부응하여 40Gb/s 광통신 시스템의 시장 상황, 개발 현황, 시스템 구현을 위해 필요한 광 및 전자 소자 기술 동향 및 40Gb/s 광링크 구성에 대하여 알아보았다.

II. 40Gb/s 광전송 시스템의 성장 가능성

1. 전송 용량의 증가 현황

현재 인터넷 트래픽은 일반적인 예상을 뛰어넘는 수준으로 급격히 증가하고 있으며, 특히 (그림 1)에 나타난 바와 같이 2004년 이후 급격한 증가가 예상되고 있다. 따라서 2006년에는 전 세계적으로 요구되는 총 트래픽이 약 750Tb/s에 이를 것으로 예상되고 있으며, 그 이후에도 급격히 증가될 것으로 예상된다. 따라서 이러한 대용량의 트래픽을 수용하기 위해서는 테라비트급 전송 기술 및 네트워크 기술이 요구된다.

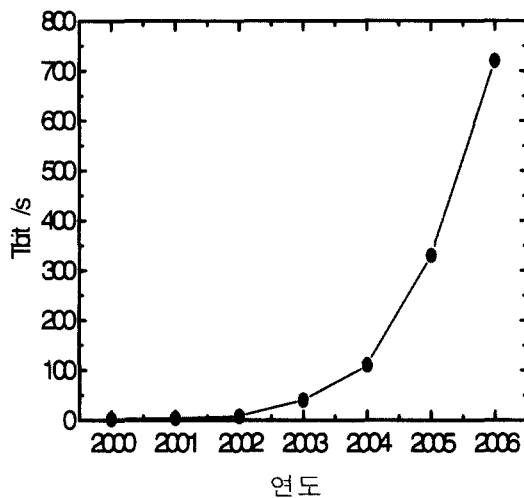


그림 1. 인터넷 트래픽의 성장 예측(The Insight Reports 2001)

네트워크를 구현하는 기술을 확보하는데 주력하고 있다.

(그림 2)에는 WDM 방식과 OTDM(optical time-division-multiplexing) 방식을 이용하여 구현한 전송 용량 증가 현황을 나타내었다. OTDM 방식의 경우에는 일본의 NTT를 중심으로 90년대 초반부터 전송 용량을 증가시키는 연구를 지속적으로 수행해 왔으며 최근에는 1Tb/s까지 가능한 것으로 보고하고 있다. 그렇지만 OTDM 방식은 시스템의 실상 용화 측면에서 문제점을 가지고 있기 때문에 다른 통신 장비 업체들은 WDM 방식을 이용하여 전송 속도를 높이는 연구를 수행하고 있다. WDM 방식을 이용하는 경우에는 2000년을 전후로 하여 1Tb/s의 전송용량을 넘어섰으며, 최근에는 단위 채널 당 전송속도를 40Gb/s로 하여 전송 용량이 수Tb/s에 이르고 있다. 특히 2001년도 OFC에서는 일본 NEC의 연구진에 의해 10Tb/s급 전송 실험 결과가 보고되었다[1].

따라서 세계적인 주요 통신장비업체들은 40Gb/s를 기반으로 하는 WDM 기술을 이용하여 테라비트급 (표 1)에는 2001년도 OFC 및 ECOC를 통해 발표된 주요 통신 장비 업체들의 40Gb/s를 기반으로

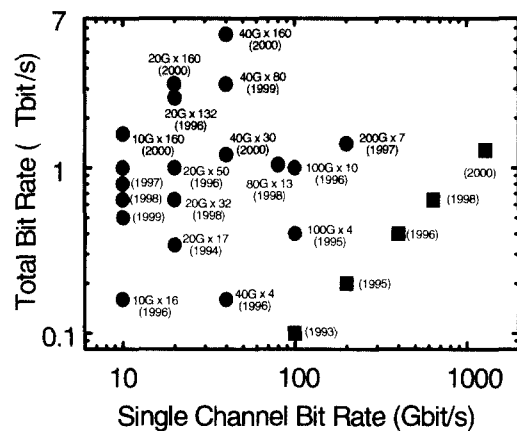


표 1. 테라비트급 전송 기술 현황

내 용	특 징	기 관	발 표
5 T b / s - 1 2 0 0 k m transmission using NZ-DSF	-40Gb/s x 125채널 WDM 방식 - using FEC(10.66Gb/s, 7% OH) - EDFA(C/L-band) + Raman amplifier	Alcatel (Germany)	ECOC'01
1 . 2 8 T b / s - 4 5 0 0 k m transmission using SMF	-40Gb/s x 32채널 WDM 방식(RZ방식) - using FEC(10.66Gb/s, 7% OH) - EDFA(C-band) w/o Raman & 3R 기능	TyCom(USA)	ECOC'01
4 . 1 6 T b / s - 1 3 5 k m un repeatered transmission	-40Gb/s x 104채널 WDM 방식 - w/o FEC - S/C/L-band amp., Distributed Raman	Alcatel (France)	ECOC'01
1 0 . 9 2 T b / s - 1 1 7 k m transmission	-40Gb/s x 273채널 WDM 방식 - w/o FEC - S/C/L-band amp., Distributed Raman - PSCF+RDF	NEC(Japan)	OFC'01
3.2Tb/s-246km field trial	-40Gb/s x 80채널 WDM 방식 - using FEC(10.66Gb/s, 7% OH) - C/L-band amp., Distributed Raman - SSMF 246km(82km x 3)+DCF	WorldCom(USA) Siemens(Germany)	OFC'01

앞서 언급한 바와 같이 일본 NEC에서는 10.92Tb/s (273 x 40Gb/s) 신호를 117km 전송한 실험 결과를 발표하였다. 이 경우 50GHz 간격으로 S/C/L-band에 모두 273채널을 배열하였으며, 각 대역에서는 GS-TDFA와 C/L-band EDFA 및 distributed Raman 증폭기가 사용되었다. 또한 전송용 광섬유로는 비선형 현상의 영향이 적은 pure silica core fiber를 사용하였으며, reverse dispersion fiber를 사용하여 분산 기술기에 따른 채널 별 색분산 차이를 정확히 보상하였다.

또한 WorldCom과 Siemens 공동으로 3.2Tb/s (80 x 40Gb/s) 신호를 Dallas와 Richardson 간에 현장 포설된 246km의 광섬유를 이용하여 전송한 결과가 보고되었다. C-band와 L-band에 모두 100GHz 간격으로 40채널씩 배열하였으며, FEC를 사용하여(7% 오버헤드 증가) 시스템 마진을 높였다[2].

장거리 전송 측면에서는 TyCom에서 ECOC 2001

에서 1.28Tb/s (32x 40Gb/s)신호의 4500km 전송 결과를 발표하였다. 이 경우 신호는 RZ 패턴을 사용하였으며, FEC와 C-band EDFA를 사용하였다[3].

위의 전송 실험 결과를 볼 때 전세계적으로 40Gb/s 기반의 WDM 기술을 이용하여 향후 도래할 테라비트급 네트워크 시대에 준비하고 있음을 알 수 있다. 기술적 측면에서는 전송 거리가 2000km가 넘어가는 경우에는 RZ 신호를 이용하는 경우가 많고, 전송 거리가 1000km 이상인 경우에는 기존의 NRZ 코딩 방식에 순방향 에러 정정(forward error correction; FEC)을 이용하는 방법을 많이 사용하고 있다. 또한 신호의 증폭을 위해 EDFA와 분포형 라만 광증폭기를 함께 사용하는 경우가 많으며, 대역폭이 증가하는 경우에는 S/C/L-band를 모두 사용하므로 EDFA 이외에 TDFA의 사용도 일반적으로 이용되고 있다.

2. 40Gb/s 광전송 시스템의 도입 예측

40Gb/s 광전송 시스템의 최초 도입이 2001년경에 이루어질 것이라는 것이 일반적인 예상이었으나, 전세계적인 경기 침체로 인한 전반적인 수요의 위축으로 도입이 당분간 지연될 전망이다. 그렇지만, 기술의 발전 속도와 경기 회복에 따른 수요 증가를 고려할 때 가까운 시일 내에 40Gb/s 광전송 시스템이 도입될 전망이다.

역사적으로 보면, 지금까지 광전송 시스템의 전송 속도가 4배 증가하는 경우 시스템 구현 비용은 2.5배 증가에 그쳤다. 이를 40Gb/s 광전송 시스템에 동일하게 적용시킨다면, 결국 40Gb/s라는 전송 속도를 달성하는데 소요되는 비용이 WDM 방식으로 16채널(2.5Gb/s 기반) 혹은 4채널(10Gb/s 기반)을 이용하는 것 보다 시분할 다중 방식으로 40Gb/s의 전송 속도를 달성하는 것이 경제적이다. 실제로 40Gb/s 급 광소자 및 전자소자의 수요가 본격적으로 발생하게 되면, 관련 부품의 가격이 합리적인 수준으로 떨어질 전망이다. 특히 WDM의 경우에는 다중/역다중, 색분산 및 편광모드분산 보상을 채널 당 비용 개념으로 고려하기 때문에 전송 채널이 증가함에 따라 시스템 비용은 상승하게 된다.

사회적 측면에서 볼 때에 인터넷 수요의 폭발적인 증가에 따라 테라비트급 네트워크의 당위성이 대두되고 있으며, 이러한 사회적 현상은 대용량 전송 시스템의 도입을 유발하는 계기가 될 수밖에 없다.

또한 기술적 측면에서 보면, 10Gb/s까지 발전해 온 SDH 및 SONET 기술의 관성에 의해 40Gb/s 급 광소자 및 전자소자의 개발이 활발히 진행되고 있으며, 특히 전세계적인 벤처 창업의 붐에 의해 주요 통신 장비 업체에서 spin-off되거나 창업한 기업들이 모기업의 기술력을 바탕으로 관련 소자의 개발에 참여하고 있기 때문에 40Gb/s 광전송 시스템의 실용화에 걸림돌이 되었던 기술적 한계들이 해소될 전망이다.

(그림 3)에는 2006년까지 예상되는 SDH/SONET 장비 현황을 나타내었다. 현 시점인 2001년을 기준으로 볼 때 전세계적으로 2.5Gb/s(OC-48)급 시스템의 시장이 약 120억불로 가장 크게 나타났으며, 10Gb/s(OC-192)급 시스템의 시장이 약 60억불로 나타났다. 그렇지만, 증가 추세를 고려해 볼 때 2.5Gb/s의 경우에는 성장세가 크게 둔화되는 반면, 10Gb/s의 경우에는 계속 증가함을 알 수 있다. 또한 40Gb/s(OC-768)의 경우 현재의 시장 규모는 미미한 실정이지만, 연간 200% 정도의 지속적인 성장이 예상되며, 2006년경에는 약 100억불의 시장 규모를 형성할 것으로 예상된다.

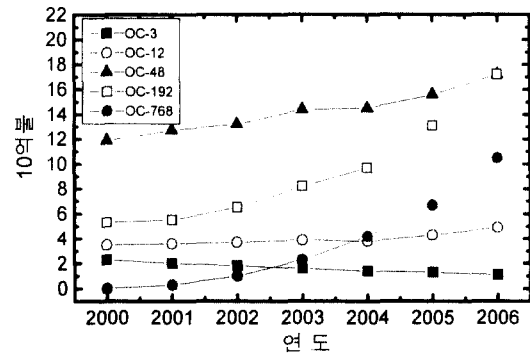


그림 3. SDH/SONET 장비의 시장 예측

(그림 4)에는 전송 비용을 고려할 때 최소 비용으로 구현 가능한 전송 속도를 전송거리에 따라 나타내었다. 현 시점에서 100km 미만의 Metro 구간은 2.5~10Gb/s가 가장 경제적이며, Long-haul의 경우에는 10Gb/s가 가장 경제적인 것으로 나타나 있으나, 약 2년이 경과한 후의 시점에서 보면 Metro와 Long-haul에서 모두 40Gb/s가 가장 경제성을 갖는 것으로 나타났다. 다만 1000km 이상의 장거리 전송의 경우에는 색분산이나 편광모드분산 비용의 증가로 인해 10Gb/s가 여전히 경제성을 갖는 것으로 나타났다.

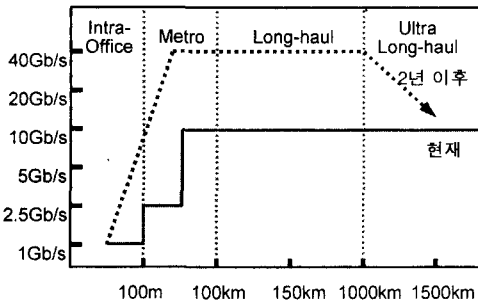


그림 4. 전송 비용을 고려한 전송 거리 별 최적의 전송 속도 예측

따라서, 인터넷 트래픽의 예상 증가 추이와 이에 따른 테라비트급 네트워크의 필요성, 그리고 향후 경기 회복에 따른 수요 발생 시점을 고려할 때 40Gb/s 시분할다중 광전송 시스템의 도입은 2003년을 전후로 하여 이루어질 전망이다. 또한 적용되는 분야도 Metro에서 Long-haul에 이르기까지 광범위하게 이루어질 것이다.

Ⅲ. 40Gb/s 광전송 시스템의 연구 개발 현황

1. 40Gb/s급 소자의 개발 현황

40Gb/s 시스템에서 사용되는 주요 광소자 및 전자 소자는 다음과 같다.

가. 40Gb/s급 변조기

40Gb/s에서는 색분산에 의한 전송 제한이 더욱 심각해 지기 때문에 외부 변조기를 사용하여 신호를 변조하게 된다. 외부 변조기로는 기존에 많이 이용되던 LiNbO₃ Mach-Zehnder형 변조기와 전계 흡수형 변조기가 연구되고 있다. 현재 일본의 Sumitotmo, 미국의 Agere Systems, Codeon 등에서 구동 전압이 5V_{p-p} 이하인 40Gb/s급의 LiNbO₃ Mach-Zehnder형 변조기를 상용화하였다. 그리고, Alcatel, CyOptics등에서는 InP 소자 기술을 이용하여 구동전압이 3V_{p-p} 이하인 40Gb/s 전계 흡수형 변조기에 대한 연구를 진행하고 있으며, 곧 상용화가 될 예정이다. 또한 영국의 GEC-Marconi에서는 GaAs 기술을 이용하여 50Gb/s 급에서 동작하는 Mach-Zehnder형 변조기를 개발하였다.

표 2. 고속 전자소자 개발 현황

Device	구분	HEMT		HBT		
		GaAs	InP	GaAs	InP	SiGe
Baseband Amplifier		56GHz	58GHz 90GHz	50GHz 55GHz	50GHz	45GHz
Distributor			100GHz		40GHz	
EXOR			40GHz			
Limiting Amplifier		30GHz	40GHz	32GHz		49GHz
2:1 Selector					40Gb/s	
Frequency Divider			45GHz 60GHz	40GHz	53GHz	
DEMUX		40Gb/s	40Gb/s	30Gb/s		40Gb/s
MUX		45Gb/s	52Gb/s 80Gb/s	40Gb/s	40Gb/s	
Driver		40Gb/s, 2.9V		20Gb/s, 4V	30Gb/s, 2.2V	

나. 40Gb/s급 수신기

40Gb/s급 고속 전자 소자의 개발은 일본 NTT에서 '96년도에 최초로 이루어졌다. 0.1 μ m의 게이트 길이를 갖는 InP HEMT 기술을 이용하여 광수신기의 주요 전자 소자를 구현하였다. 현재에는 NEL, Discovery, CyOptics등에서 40Gb/s급 수광 소자 및 증폭기가 개발되었다.

다. 40Gb/s급 전자소자

Siemens의 연구 그룹에서는 Si-BJT 기술을 이용하여 고속 전자 소자를 개발하고 있는데, 최고 50Gb/s에서 동작하는 Si 전자소자의 개발을 진행하고 있다. 미국의 Rockwell에서는 GaAs HBT를 이용한 고속 전자 소자에 대한 연구를 진행하여 40Gb/s에서 동작하는 4:1 MUX를 구현하였다. 그리고, 일본의 Anritsu와 독일의 SHF사에서는 각각 4:1 MUX와 1:4 DEMUX를 상용화하였으며, GiGa, AMCC, Vitesse등에서는 40Gb/s급 16:1 MUX 및 1:16 MUX에 대한 연구를 진행하고 있다. (표 2)에는 HEMT와 HBT 기술을 이용하여 구현된 고속 전자 소자의 개발 현황을 나타내었다[4].

2. 40Gb/s 광링크 및 시스템 주요 기술

40Gb/s 신호의 전송을 위해 필요한 주요 광링크 기술로는 OSNR에 의한 제한 극복 기술, 색분산 보상 기술, 편광모드 분산 제어 기술 및 비선형 현상 제어 기술등이 있으며, 시스템 구현 기술로는 고속 다중/역다중화 기술, 구간 오버헤드 처리 기술, 디지털 wrapper 기술등이 있다.

40Gb/s에서는 이론적으로 신호의 OSNR이 10Gb/s에 비해 6dB 좋아야만 한다. 따라서 이러한 조건을 만족하지 못하면 신호의 장거리 전송이 불가능하게 되어 시스템의 적용에 제약이 따르게 된다. OSNR에 의한 제한을 극복하기 위한 방법으로는 무손실 분산 보상 기능을 이용한 저잡음 광증폭기와 같

이 본질적으로 잡음지수가 적은 광증폭기를 사용하거나[5], 분포형 라만 증폭기를 이용하는 방법, 그리고 여러 정정 기법을 이용하는 방법등이 이용되고 있다. 첫 번째 방법은 분산 보상용 광섬유에 라만 이득을 갖도록 하여 손실이 없는 상태로 만들어 주는 방법이다. 이 경우 분산 보상용 광섬유의 손실에 의해 발생하는 전체적인 광증폭기 잡음 지수를 줄일 수 있으므로, 저 잡음 광증폭기를 구현할 수 있게 된다. 두 번째 방법인 분포형 라만 증폭기를 이용하는 방법은 전송용 광섬유에서 라만 이득을 갖게함으로써, 전송되는 신호의 세기가 일정하게 유지되도록 하는 방식이다. 이 방식을 이용하는 경우 광증폭기로 입력되는 신호의 세기가 높아지게 되므로 광증폭기의 다단 연결에 따른 OSNR의 열화를 최소화시킬 수 있다.

전송 속도가 높아짐에 따라 색분산에 의한 영향은 매우 심각하게 나타난다. 특히 40Gb/s의 경우에는 색분산 tolerance가 60ps에 불과하기 때문에 정밀하게 색분산을 보상해 주지 않으면 전송 품질이 떨어지게 된다. 지금까지 알려진 가장 일반적인 방법은 분산 보상용 광섬유를 사용하는 방법인데, 40Gb/s의 신호에 대해 분산 보상을 하려면, 10Gb/s 신호에 비해 매우 정밀하게 색분산 보상을 해야만 한다. 이를 위해 tuneable dispersion compensator와 같은 색분산 보상량이 조절되는 소자를 함께 이용하는 방법이 사용되고 있다. tuneable dispersion compensator는 기존의 처프된 광섬유 회절 격자에 stretch를 인가하여 분산량을 조절하는 방법을 이용한 소자로서, 40Gb/s 혹은 그 이상의 광통신 시스템에서 유용하게 사용될 전망이다.

40Gb/s의 신호에 대해서는 색분산과 함께 광섬유의 편광모드 분산도 신호의 전송을 제한하는 요인이 된다. 편광모드 분산은 광섬유의 non-circularity나 외부의 stress에 의해 발생한 복굴절에 의해 두 개의 모드가 서로 다른 속도로 진행하게 되어 최종 수신단에서 두 편광 모드 간의 간섭에 의해 페널티가 발생하게 되는 현상이다. 일반적으로 전송 주기의

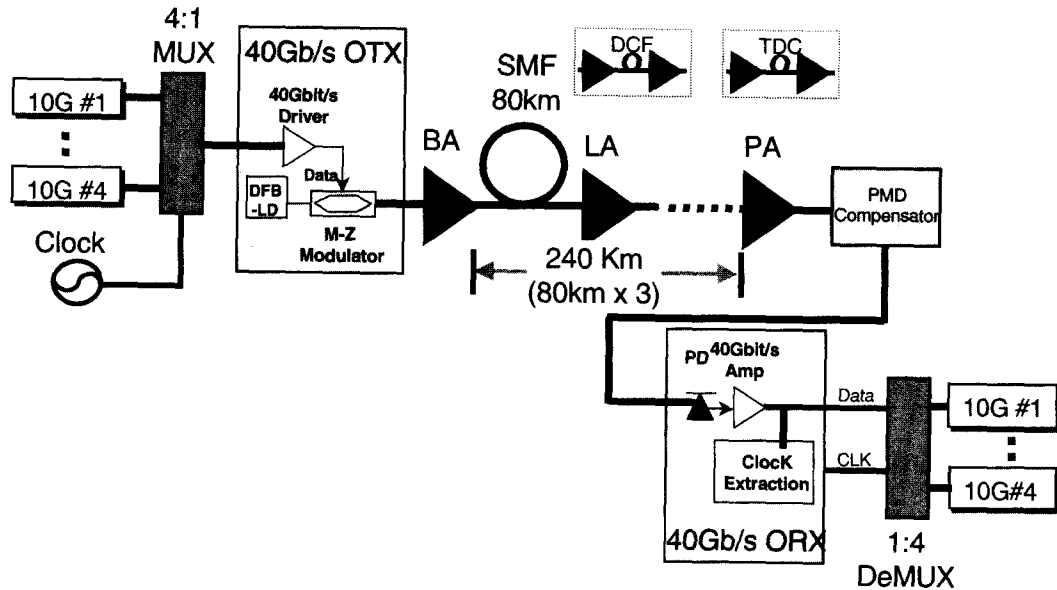


그림 5. 40Gb/s 광링크 구성도

10% 미만을 시스템 요구사항으로 보고 있으므로 40Gb/s에서의 편광모드 분산 허용치는 2.5ps가 된다. 현재 편광 모드 분산을 보상하기 위한 방법들이 활발히 논의되고 있으나, 아직까지 실용화된 기술은 없는 실정이다.

고속 다중 및 역다중 기술은 40Gb/s 신호를 발생시키기 위한 가장 기본적인 기술이 된다. 초기에는 상용 소자를 이용하여 10Gb/s 신호 4채널을 전기적으로 다중화하여 40Gb/s 신호를 만들고, 다시 수신단에서는 O-E 변환된 40Gb/s 신호를 10Gb/s 신호 4채널로 역다중화하는 기술을 많이 이용하고 있다. 그렇지만, 현재 진행되고 있는 OIF의 표준화 동향을 볼 때에 향후 시스템 실 상용화 시점에는 16:1 다중(2.5Gb/s × 16) 및 1:16 역다중 기술로 진화될 가능성이 많다.

디지털 wrapper는 SDH 프레임 밖에 별도의 오버헤드를 할당하여 광채널 감시제어 기능 구현 및 FEC 기능을 갖도록 하기 위해 사용된다. 일반적으로 Reed-Solomom code를 이용하여 송신단에서

encoding시켜주고, 수신단에서 이를 decoding 시켜주는 방식을 이용하며, 현재에는 7%의 오버헤드 증가를 이용하는 coding 방법을 많이 사용한다. 이 경우 최초에 9.95Gb/s의 신호는 10.66Gb/s로 증가하게되며, 40Gb/s에 대해서는 약 43Gb/s로 전송속도가 증가하게 된다. 따라서 디지털 wrapper를 사용하는 경우에는 광소자 및 전자소자의 대역폭이 43Gb/s 이상이 되도록 하여야 한다. 순방향 여러 정정 기술을 이용하는 경우 얻을 수 있는 이득은 약 6dB 정도로 알려져 있으며, 최근 거론되고 있는 super FEC를 이용하는 경우의 이득은 약 8dB 까지 가능한 것으로 알려져 있다.

IV. 40Gb/s 광링크 구성 및 시뮬레이션

1. 40Gb/s 광링크 구성

(그림 5)에는 단국형 40Gb/s 광링크의 구성도에

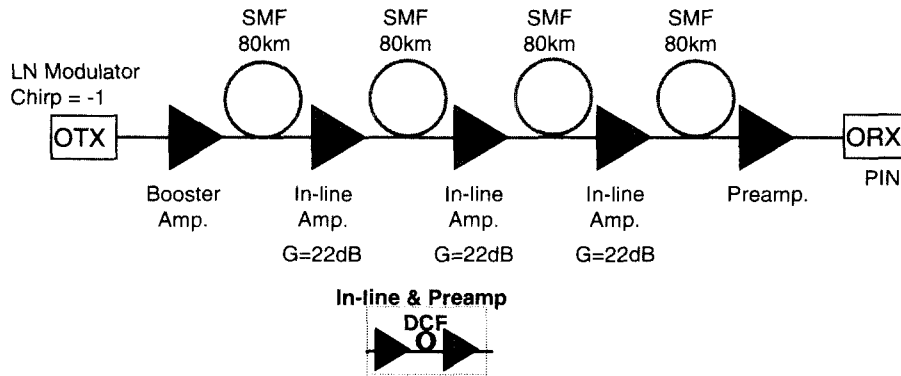


그림 6. 시뮬레이션을 위한 40Gb/s 광링크 구성도

대해 나타내었다. 송신단에서는 10Gb/s의 전송속도를 갖는 4채널의 신호가 다중화기로 입력되며, 다중화기에서는 시스템 동기화 클럭을 이용하여 입력되는 4채널의 신호를 시분할 다중하여 40Gb/s의 신호를 생성하게 된다. 발생된 40Gb/s 신호는 드라이버에 의해 증폭된 후, LiNbO₃ 외부변조기로 입력되며, 외부 변조기의 출력단에서는 E-O 변환된 40Gb/s 신호를 얻을 수 있다. 변조된 광신호는 광증폭기에 의해 증폭된 이후 광섬유를 통해 전파되며, 광섬유의 손실을 보상하기 위해 일정 구간마다 광선로 증폭기를 사용한다. 사용되는 광선로 증폭기는 분산 보상용 광섬유를 포함하고 있다. 전송되어 온 신호는 광전치 증폭기에 의해 증폭된다. 이때 광전치 증폭기에는 tuneable dispersion compensator를 이용하여 분산 보상을 하며, 색분산을 정밀하게 보상할 수 있도록 한다. 증폭된 신호는 편광모드 분산 제어기로 입력되어 편광모드 분산을 보상하게 된다. 편광모드 분산이 보상된 신호는 40Gb/s 수신기로 입력되어 O-E 변환되며, 또한 40Gb/s 클럭을 추출하게 된다. 수신기에서 출력되는 데이터와 클럭은 1:4 여다중화기로 입력되어 10Gb/s 4채널로 분리되며, 10Gb/s 레벨에서 신호의 비트 오류율을 측정하여 전송 성능을 평가할 수 있게 된다.

2. 40Gb/s 광링크 시뮬레이션

40Gb/s 광링크에서 색분산 및 편광모드 분산의 영향을 알아보기 위해 20Gb/s RZ/NRZ 신호와 40Gb/s RZ/NRZ 신호에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 광링크의 구성은 (그림 6)과 같도록 하였다. 송신기는 처핑 계수가 -1인 LiNbO₃ 외부변조기로 가정하였으며, 전송 거리는 단일모드 광섬유 320km (80km × 4구간)로 하였다. 광섬유의 분산계수는 17ps/nm.km였으며, 손실은 0.275dB/km로 하였다. 분산 보상은 분산 보상용 광섬유를 사용하였으며, 80km 구간에 대한 분산 보상용 광섬유의 분산값은 -1360ps, 그리고 편광모드 분산은 0.07ps/km^{1/2}로 가정하였다. 또한 광링크의 색분산은 분산 보상용 광섬유를 이용하여 정확히 보상하였다고 가정하였다.

시뮬레이션 결과를 (표 3)에 나타내었다. 이때 수신감도는 비트 오류율 10⁻¹²을 기준으로 하였다. 시뮬레이션 결과 20Gb/s의 경우 전송용 광섬유의 편광모드 분산이 1ps/km^{1/2}가 되어도 신호의 형태에 거의 무관한 전송 특성을 보임을 알 수 있다. 그렇지만 40Gb/s의 경우에는 편광모드 분산에 따라 전송 페널티가 크게 발생하는 것으로 나타났다. 편광모드 분산이 0.5ps/km^{1/2}인 경우에는 신호의 형태에 따라 큰 차이가 없었지만, 편광모드 분산이 1ps/km^{1/2}인

표 3. 20Gb/s 및 40Gb/s 광링크 시뮬레이션 결과

전송 속도	색분산 및 PMD	수신감도(RZ 패턴)	수신감도(NRZ패턴)
20Gb/s	색분산	-28.93dBm	-37.81dBm
	색분산+PMD(1ps/km ^{1/2})	-37.49dBm	-36.54dBm
40Gb/s	색분산	-32.01dBm	-31.73dBm
	색분산+PMD(1ps/km ^{1/2})	-19.20dBm	Error Floor
	색분산+PMD(0.5ps/km ^{1/2})	-30.55dBm	-28.62dBm

경우에는 편광모드 분산을 고려하지 않은 경우와 비교하여 RZ 패턴에 대해서는 약 13dB의 페널티를 나타내었으며, NRZ 패턴의 경우에는 error floor가 발생하는 것으로 나타났다.

따라서 40Gb/s 신호의 전송에서는 광섬유의 편광모드 분산의 영향이 심각하게 나타날 수 있음을 광링크 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다.

V. 결 론

향후 급격히 증가할 것으로 예상되는 인터넷 트래픽을 비롯한 다양한 통신 수요의 증가에 대해 보다 효율적으로 대처하기 위해 전세계적으로 40Gb/s 시분할다중 광전송 시스템 및 40Gb/s 신호를 기반으로 하는 WDM 방식 전송 시스템의 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와함께 40Gb/s 광소자 및 전자소자의 연구 개발도 활발히 진행되고 있으며, 향후 상용화 단계에서는 이러한 소자의 가격이 많이 하락하게 되어, 시스템 측면에서 WDM 시스템과 비교하여 경제적 우위를 점할 수 있을 것으로 예상된다.

40Gb/s 광전송 시스템의 시장 도입은 2003년을 전후로 하여 이루어질 것으로 전망되며, 그 기간 동안 기술 축적을 통해 세계 주요 통신 장비 업체와의 경쟁력을 확보해야 한다. 이를 위해서는 40Gb/s 광소자 및 전자소자의 국내 개발을 유도하여 시스템 기술과 함께 발전할 수 있어야 한다.

※참고문헌

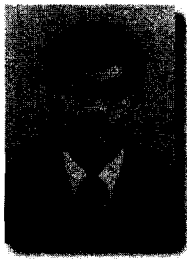
- [1] K.Fukuchi et al., "10.92Tb/s (273x40Gb/s) triple-band/ultra-dense WDM optical-repeated transmission experiment", Technical Digest of OFC 2001, postdeadline paper PD 24, 2001.
- [2] D.Chen et al., "3.2Tb/s field trial (80x40Gb/s) over 3 x 82km SSMF using FEC, Raman and tunable dispersion compensation", OFC 2001, postdeadline paper PD 36, 2001.
- [3] j.-X. Cai et al., "1.28Tb/s 932x40Gb/s transmission over 4,500km", Technical Digest of ECOC 2001 postdeadline paper PD.M.1.2, 2001.
- [4] E. Sano, "InP HEMT lightwave communication ICs for 40Gb/s and beyond", Technical digest of Indium Phosphide and Related Materials, pp.299-304, 1999.
- [5] Wang-Yuhl Oh et al., "16-channel c-band hybrid fiber amplifier comprising an EDFA and a single diode laser pumped dispersion compensating Raman amplifier", Technical Digest of ECOC 2000, paper 4.4.5, 2000.

이 상 수

1984년~1988년 인하대학교 응용물리학과(공학사), 1988년~1990년 인하대학교 응용물리학과(공학석사), 1997년~2001년 인하대학교 전자재료공학과(공학박사), 1990년~2001년 한국전자통신연구원 WDM 시스템팀 선임연구원, 2001년~현재 한국전자통신연구원 SDH 전송팀장, (주관심분야) 시분할 다중 광전송 기술, 광증폭 기술, 파장분할 다중 광전송 기술, 비선형 광섬유 광학, 광통신 시스템

한 기 호

1990년~1994년 연세대학교 물리학과(이학사), 1994년~1996년 한국과학기술원 물리학과(이학석사), 1996년~2001년 한국과학기술원 물리학과(이학박사), 2001년~현재 한국전자통신연구원 SDH전송팀 선임연구원, (주관심분야) 광섬유 센서, 시분할 다중 광전송 기술, 광증폭 기술, 편광모드 분산, 비선형 광섬유 광학, 광통신 시스템



이 종 현

1977년~1981년 성균관대학교 전자공학과(공학사), 1981년~1983년 성균관대학교 전자공학과(공학석사), 1989년~1992년 성균관대학교 전자공학과(공학박사), 1983년~현재 한국전자통신연구원 광통신연구 부장, 1991년 전기통신 기술사, (주관심분야) 광인터넷 기술, 광통신 기술, 광전달망 기술