

광증폭기 연구개발연구실

과학기술부 지정

차세대 광증폭기 국가지정연구실

National Research Center for Next Generation Optical Amplifier

박남규

서울대학교 전기/컴퓨터공학부

연구실 소개

서울대학교 전기/컴퓨터 공학부 광통신 시스템 연구실은 광주과학기술원의 광섬유연구실 (오경환 교수)과 함께 2000년도부터 국가지정 연구실로 지정받아 100-200nm 급에 해당되는 대역폭을 가지는 차세대 광증폭기를 연구하고 있다. 본 글에서는 이러한 광대역 증폭기의 기술적 중요성에 대해 언급하고, 기술 및 시장동향, 그리고 본 연구진이 현재까지 수행한 연구결과 및 연구방향을 소개하려 한다.

기술의 개요

예측을 넘어서는 통신수요의 폭발적 증가로 인하여 초고속 대용량 네트워크의 물리적인 기반이 되는 광전송 시스템의 용량은 조만간 한계에 접근할 것으로 예견된다. 지난 수년간 이를 해결하기 위하여 사용된 기술은 크게 보아 EDFA (어븀 첨가 광섬유 증폭기 : Erbium Doped Fiber Amplifier) 와 WDM (파장 다중분할 : Wavelength Division Multiplexing)으로 대변된다. 이 기술들의 특징은 광섬유내에 여러 가지 파장의 광원에서 변조된 독립적인 종속신호 채널들을 모아 실어준 후, 광섬유 손실한계 거리마다 광증폭기를 두어 전기적인 신호로 바꾸지 않고 그대로 광학적으로 증폭시켜 주면서 수신단까지 보내어 주는 점에 있는데, 이 경우 전기적 regenerator에 의해 걸렸던 bottleneck이 사라지게 되므로 전체 전송망의 용량은 결국 각 광섬유와 광증폭기가 수용할 수 있는 전송채널수 (혹은 파장대역)에 의해 결정되게 된다.

되돌아 보아 10년간의 EDFA 개발 기간이 지난 지금 단일 광섬유당 광전송 용량은 10년전에 비하여 약 500 배에 가까운 성장을 보였는데, 이는 결국 EDFA의 대역폭 확장을 통한 전송용량의 증가에 기인한 것이다. EDFA를 이용한 WDM 통신방식은 이제 기존의 광선로의 추가포설에 필요한 막대한 경비를 절감하여 주며 미래의 수요 변화에 유연하게 대처할 수 있는 기술로 확고히 자리를 잡았다. 그러나 기존의 EDFA는 1530nm부터 1560nm까지의 30nm의 제한된 대역폭만을 제공하여 기술적으로 포화상태에 이르게 되었다. 이러한 상황하에서는 DWDM의 근간을 이루는 광대역 광증폭기의 개발이 통신망의 고속화에 있어서 필수적인 요소로써 작용하게 된다. 결국 이후의 광통신망에서의 추가 용량 증대는 선택 가능한 소스의 파장과 소스 파장 대역에서 증폭 특성을 가지는 광 증폭기의 존재 유무에 의하여 결정된다. 소스의 파장 선택성에 대해서는 많은 진보가 이루어진 상태로서 최근에

는 WEDFA의 출현으로 말미암아 1560-1610nm 대역의 광원들이 지난 1년간의 짧은 기간에 상용화되어 제품으로 출시가 되었는데, 이는 광대역 광증폭기의 기술적 중요도와 타 산업에의 파급효과를 동시에 보여주는 사례라고 하겠다. 또한 많은 장비 사업자들이 40nm 대역폭을 지원하는 장비를 출시한지 1년이 지나지 않은 시점에서 초기 version의 WEDFA를 탑재한 system을 출시하여 타 장비 사업자와의 차별화를 피하고 service provider의 요구에 부응하는 모습을 보여주는 것은 광대역 광증폭기의 기술 수목상에서 또 다른 방향으로의 파급효과를 보여준다.

그러나 수년 이내로 대용량 전송시스템에서 WEDFA가 제공하는 증폭대역용량 (약 70 nm) 까지도 포화상태에 도달하게 되리라는 것이 보편적인 수요 예측이므로 수백nm에 달하는 잠재적인 광섬유의 대역폭 중에서 사용 가능한 새로운 증폭대역에서의 광증폭기술을 선점하려는 연구가 일본의 NTT등의 거대 기업들과 본 연구실을 포함한 몇 개의 선진적인 연구 그룹에서 이루어지고 있다.

요약하여, 차세대 광증폭기 기술의 목표는 광통신의 1차적인 bottleneck을 크게 해소하여 주었으나 다시 그 기술적 한계로 인해 광섬유의 전송대역을 제한하고 있는 기존 광증폭기 (EDFA)의 대역폭을 크게 확장하여 새로운 통신 수요를 수용할 수 있도록 하여 주는 것에 있다. 광대역 광증폭기는 통신 service provider에게 있어서는 통신망 topology를 보다 다양하고 flexible 하게 구성, 안정된 통신자원을 공급할 수 있도록 하며, 장비 사업자에게는 제품의 차별화를 시켜 주고, 기술상 거의 대부분의 광소자를 그 구성요소로 포함하므로 2, 3차 산업, 혹은 부품에서 서어비스 산업까지를 총체적으로 자극, 촉진시키는, 광통신의 허리부분에 해당되는 기술이라고 말할 수 있다.

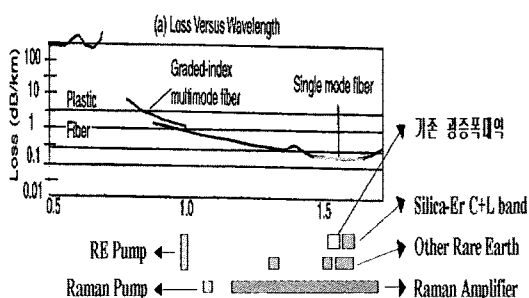


그림 1. 광섬유 손실대역 및 광증폭기의 증폭대역 (x축 : 파장 단위=1000nm)

국내외 시장규모

광대역 광증폭기 자체가 보유하고 있는 시장만을 고려하여도 2004년에는 광대역 광증폭기 시장의 규모가 미국 시장만을 기준으로도 수십억불에 이를 것으로 market forecasting 기관들은 예측하고 있다.

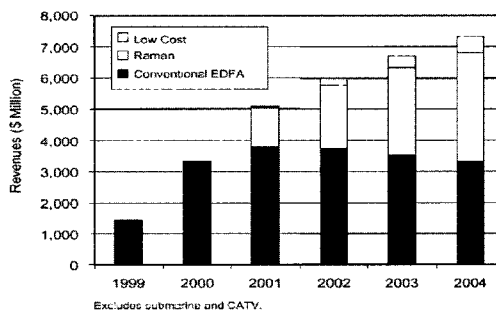


그림 2. 증폭기 시장규모 예측 자료

국내외 개발동향

세계적으로 광증폭기를 생산하는 회사는 40여개를 넘어서고 있으나 이들 중에서 초광대역 광증폭기에 대한 연구를 진행중인 곳은, 기술적 난이도와 연구장비의 제약등으로 인해 Lucent (미국), Alcatel (프랑스), NTT (일본) 등 대규모 통신 서어비스/장비 사업자에 국한되어 있다. 기존의 EDFA 대역폭 (30nm급)을 뛰어넘는 100nm급 (수십Tera bps급)의 초광대역 광증폭기를 구현하기 위하여서 거론되는 기술은 크게 보아 세가지로 구분되어 진다. 기존의 Silica-Erbium 도핑계열의 광증폭기 (Lucent, NTT, NEC, Corning), Raman 계열의 비선형 현상을 이용한 광증폭기 (Lucent, Alcatel, NTT, Tyco), Fluoride-Thulium (NTT, NEC, Alcatel) 도핑계열의 광증폭기가 그것이다.

이중에서, 실용성의 측면에서 보아서 Silica-Erbium 계열의 광증폭기가 가장먼저 상용화 되어 80nm 급의 증폭대역을 제공하고

National Research Center for Next Generation Optical Amplifier

있으나 그 증폭효율 및 설계기법에 대한 해석이 완전히 이루어지지 않은 상황이고, Raman 계열의 광증폭기는 증폭대역의 확장 및 중심파장의 선정 등에 있어서는 유연성을 가지나 어떠한 형태의 구조를 사용할 것인지에 대한 구체적인 연구가 아직 충분하지 않은 실정이다. 하지만, 최근에 이르러 연구가 급진전된 여기광원 결합기 등이 응용되어, Raman 증폭기에 대한 연구또한 급격히 활성화되고 있으며 기존전송로의 성능을 향상시키는 제품들부터 상용화될 것으로 예측된다. Fluoride-Thulium 계열의 경우에는 일본을 중심으로 활발한 연구가 진행중이며, TDFA의 시제품이 시장에 공급되기 시작하였다. 또한 시스템에 상당히 매력적인 대역폭을 제공하는 GS-TDFA는 증폭 특성에 대한 해석이 충분히 이루어지지 않은 상황에서도 많은 가능성들이 모색되고 있다.

국내의 상황을 살펴볼 때에, 광증폭기에 대한 연구는 1990년대 초반 KIST에 의해 시작된 이후, 삼성전자, LG전선, LG정보통신, 대우통신, ETRI, 한국통신, 충남대학교 등에 이르기 까지 다양한 기관에서 진행되어 왔으나, 8년에 이르는 일반적 EDFA 개발 역사에 비하여 초광대역 광증폭기 기술에 대한 연구는 97년말 본 연구진에 의한 국내학회 보고 이후로 산정하여, 2년 이내로 일천하다. 이후 본연구진을 중심으로 ETRI, 삼성전자, 한국전력, 서울대등이 지난 2년간 SCI 국제학술지와 학술회의에 많은 공동 연구결과를 보고하여 국제적인 광대역 광증폭기 기술강국으로 부상하고 있다. 그러나 이러한 연구는 앞서 기술한 바와 같이 주

표 1. 광대역 광증폭기 관련 연구결과 요약표

	연구그룹	연도	전송 거리 (km)	증폭대역	전송속도	신호이득 /잡음지수	증폭효율 (PCE)	기타
Silica base Wide band EDFA	NTT	1999	100	200nm			L band 12-15%	C+L EDFA 와 TDFA
	Lucent	2000	300	82 채널	3.28 Tbps		L band 12-15%	
	서울대	1999 2000		80nm		L band 6dB	L band 27%	L band의 증폭효율개선
	충남대/서울대	1999	2,400	52nm		L band 4dB		
Raman Amplifier	NTT	1998		(1531~1606nm)	9X2.5 Gbps			EDFFA + Raman Amp.
	Tyco Submaine Bell Lab. & Lucent	1999	10,000	100nm				Multi-Pump
	Russia Academy	1998	7,200	7.2nm	100Gbps (10x10)		40dB/4.5dB	1300nm 대역
S ⁺ band	서울대	2000		100nm				평탄도 1dB
	NTT	1998	120	(1450~1485nm)	8 × 10 Gbps	> 25dB	N / C	
	NTT	1999		(1460~1510nm)		> 25dB		TDFA+ Raman Amp
TDFA	NEC	1999		(1475~1510nm)		> 25dB		1.56μm 보조펌프
	Alcatel	2000		< 24nm			< 20 %	1117nm 보조펌프
S band	NTT	2000	130	(1480~1510nm)	8 × 10 Gbps	30dB		highly dopping technic
	서울대	2001		(1480~1510nm)				pump 파장해석

로 1-2년내의 상용화에 중점을 두어 이루어진 Silica-Erbium 계열의 WEDFA에 집중된 연구결과이며, 선진국중심으로 이루어지고 있는 Raman 계열의 광증폭기나 Fluoride-Thulium 계열로는 연구가 일천한 상황이다. 제한된 인력을 가지고 당장 수익을 달성하여야 하는 제조업체의 입장과, 또한 IMF이후 재정 및 연구의 폭이 있어서 운신의 폭이 줄어든 연구기관, 투자소요 액수에 비하여 부족한 연구비와 다급한 project 일정에 쫓기는 학교에서 이루어지는 국내의 초광대역 광증폭기 관련 연구는 학계와 연구소에서 Silica-Erbium 계열에 국한되어 그 축적된 역량을 확산 시킬 기회를 찾지 못하고 있다.

한편, 기존 EDFA 시장의 경우, 선진사들은 비정상적인 고가의 원천특허 사용료를 요구하여 신규 사업자의 진입을 방해하고 있기도 한데, 이미 일부 국내 업체는 이로 인하여 광증폭기 시장진입에 제약을 받고 있는 상태이다. 현재 문제가 되고 있는 기존의 광증폭기에 대한 원천 특허가 만료되는 2-3년 뒤에 수십THz급 광증폭기 생산과 수출에 변화의 가능성이 있을 수 있다고 가정하여 본다면, 국내 산업체들은 이러한 미래기술에 대비할 인적, 물적, 시간적 여력이 없어 또 한번의 기회를 놓치고 있는 것이 아닌가 여겨진다.

비록 연구실 차원이기는 하나 본 연구실에서는 이러한 광대역 광증폭기의 기술적 중요성에 대하여 조기에 인식하고, 실험실이 설립된 지난 1997년 3월 이후 매우 진취적으로 인력을 양성하고 실험실의 확장을 도모하여 지난 1998년 6월 이후부터 현재까지 3년의 짧은 기간에 걸쳐서 광증폭기 및 광대역 광증폭기에 대한 수많은 연구결과들을 (국제 SCI 등재 학술지 십 수편) 선보이고 있고, 그 역량을 더욱 확장하고 있는 중이다. 본 연구실은 이미 WEDFA 및 EDFA에 대한 수건의 국제특허를 선도 출원후, 국내 산업체(삼성전자)에 양도한바 있다.

다음의 표는 지금까지 수행된 광대역 광증폭기 관련 최근 결과들의 요약표로서 국내외의 기술수준과 각 기술들의 장단점을 보여주고 있다.

향후전망을 고려하여 볼 때, 광대역 통신망에 대한 수요가 수년간 지속적 증가 양상을 띠는 시장 예측 하에서 판단해 본다면, 여명기에 있는 광대역 광증폭기 기술에 대한 육성은 확실성 있는 미래지향적 계획이라 하겠다. 또한 광대역 광증폭기 기술은 기존의 EDFA와는 다른 물리적 특성을 통해 획득되는 것이기는 하나, 이제까지 진행되어온 EDFA에 대한 연구들을 통해 축적된 know-how를 바탕으로 기술진입이 용이하고 그 응용에 있어서는 기존의 광시스템과의 호환성을 쉽게 기존 system에 접목이 가능하다는 점은 차세대 기술개발에 있어서의 성공사례로 남을 가능성이 크다고 할 것이다.

국내외 연구동향

가. 세부기술 개요

● Silica - WEDFA

최근에 이르러 40nm이상의 대역폭을 기존의 EDFA 구조변경을 통하여 제공할 수 있음이 알려지고 이에 대한 연구가 활성화되면서 현실적으로 가장 빠르게 80nm이상의 대역폭을 제공할 수 있는 기술인 Silica based WEDFA에 대한 관심이 집중되고 있다. Silica based EDFA의 구조 변경을 통한 WEDFA는 지난 3년간 본격적으로 연구되기 시작하였으나 2000년초 기준으로 발표된 논문이 수십 여편에 불과할 정도로 그 연구역사가 짧다. 하지만, 급증하는 통신 수요에 대응하기 위한 통신서비스 제공자들의 필요성에 의하여 지난 1년간의 집중적 투자를 통하여 시제품도 나오고 있을 정도로 가장 성공확률이 보장되어 있고 단기간의 수요를 충족시켜 줄 수 있는 기술이기도 하다. 80nm의 대역폭은 기존 포설된 광섬유의 손실이 최소인 영역 1500nm부터 1600nm까지 100nm의 80%에 해당하며 앞으로의 광네트워크에서의 핵심기반기술로서 특히 WEDFA는 시장 진입 단계에 들어서고 있다. 현재의 기술적 상황과 이러한 WEDFA 기술에의 수요증가 추세에 따르면 늦어도 2-3년내에 WEDFA의 대역폭을 이용한 Tb/s급의 광대역 전송이 곧 현실화될 것으로 보인다. 그러나 그 구조의 최적화와 dynamics가 정확히 밝혀지지 않은 상태이며, 본 연구진은 이에 대한 집중적 연구를 수행, 1999년 1월 이후 국제 학술지에 WEDFA 관련, 5편의 논문게재 실적을 자랑한다.

● TDFA

어븀 이외의 희토류 이온이 첨가된 광섬유 증폭기는 첨가된 희토류 이온의 종류에 따라서 각기 다른 증폭대역을 가지므로 새로운 파장 대역의 윈도우 형성이 가능하다. TDFA나 PDFA는 Raman 증폭기와 비교하여 볼 때 증폭대역의 유연성이 부족하나 중기적으로는 시스템에 포함된 광증폭기가 동적인 대역폭 재설정 필요성이 없으므로 시스템에의 도입가능성이 크고 저출력의 pump 광원을 사용할수 있다는 점과 Silica 계열의 WEDFA를 보완하는 증폭대역을 제공한다는 이점이 있다. Erbium 이외의 희토류 원소가 첨가된 광섬유 증폭기들중 통신대역에서 사용될 수 있는 것은 틀림이 첨가된 광섬유 증폭기(Thulium Doped Fluoride Fiber Amplifier : TDFFA)와 프로시디뮴이 첨가된 광섬유 증폭기(Praseodymium Doped Fiber Amplifier : PDFA)가 있다. 특히 TDFFA는 EDFA의 증폭대역과 인접한 S⁺ (1450~1480 nm) 대역과 S (1480~1520 nm) 대역의 증폭이 가능하고, 광평평기술의 발전과 플로오르 광섬유의 안정성이 확보됨에 따라 차세대 증폭기의 유력한 대안중 하나로 부각된다. 본 연구진은 최초로 S⁺ 대역과 S 대역의 TDFFA 수치해석 모델을 개발하여 해석을 완료하고 2001년 OFC 학회에 그 결과를 발표하였다.

● Raman 광증폭기

비선형 현상을 이용한 광증폭기인 Raman 증폭기는 고출력 여기광원이 기술적으로 구현 가능해지고 1500nm대역에서의 증폭을 위한 1400nm대역에서의 여기광원 반도체의 제작이 상용화 됨에 따라서 주목받고 있다. Raman 증폭은 Stimulated Raman Scattering을 통해 Pump로 주입되는 빛의 에너지가 주파수가 상대적으로 낮은 대역(신호대역)으로 이동하는 과정을 통해서 빛의 증폭이 이루어진다. Raman 증폭기는 적절한 Pump광의 존재여부와 구성에 따라서 증폭대역의 폭과 그 중심파장의 이동이 자유로우며, 잡음특성이 우수하다는 점, 그리고 전송매질로 사용되는 광섬유가 동시에 증폭매질로 사용될 수 있다는 점, 그리고 distributed Raman 증폭기의 경우 전송로에의 입력 power가 상대적으로 낮기 때문에 비선형효과에 의한 성능 저하를 줄일 수 있다는 점등으로 그 잠재적 가능성이 매우 뛰어나며 선진국의 급격한 연구투자가 이루어지는 분야이다. 현재 Raman 광증폭기의 개발에는 선진국의 거의 모든 연구소들이 집중적인 투자를 하고 있으며 다음 세대의 광증폭기 시장에서 막대한 영향력을 행사할 것으로 보인다. Raman 광증폭기에 대한 기초적인 연구 및 투자는 여타의 다른 광증폭기가 대역의 변화에 따라 계속되는 중복투자를 요구할 수 밖에 없는 점에 비해 일단 확보된 기술 자체가 대역의 변화에 상관 없다는 절대적인 이점을 가지고 있으므로 상대적으로 투자에 비한 파급효과가 상당히 크다.

나. 기술의 국내외 세부적 진행상황

● Silica - WEDFA

1990년 British Telecom의 J. F. Massicott는 EDFA가 1570~1610nm의 대역 (L band)에서도 높은 이득을 가질수 있음을 지적하였으나, 1997년경까지 국내, 외의 모든 연구기관들은 기존의 C band에서 작동하는 EDFA 개발에 역량을 집중하여 오다 최근에 이르러서야 급격히 증가하는 대역폭의 수요를 충족시키기 위하여 L band까지 증폭대역을 확장시킨 WEDFA에 관심과 연구자원을 집중시키고 있다.

기본적인 WEDFA의 증폭특성에 대한 연구는 일본의 NTT를 중심으로 진행되고 있는데 연구 성과로는 L band에서의 증폭특성과 C band에서의 증폭특성의 비교에 대한 보고 (1998), fluoride계열의 EDFFA를 통한 대역폭의 확장(1999), C band와 L band의 병렬 구조에 대한 보고 (1997)가 있다. 이러한 광대역광증폭기를 이용한 실제 전송실험의 결과는 여러 가지가 있으나 최근의 보고로 Lucent의 경우 2000년 OFC 2000에 silica-based EDFA의 C band와 L band를 결합하고 또한 distributed Raman amplifier의 이득을 이용하여 82채널의 300km 전송실험(3.28 Tb/s) 이 있으며, NTT의 경우는 1999년 WEDFA의 C, L band와 Thulium의 1464nm부터 1478nm까지를 병렬연결하여 세 가지 대역에서의 100km의 전송을 보고함으로써 앞으로의 200nm에 달하는 대역폭에 대한 광대역광증폭기의 가능성을 보여주고 있다.

국내에서는 본연구실의 결과로 WEDFA의 구조변경을 통한 광대역광증폭기의 효율향상에 대한 연구(2000)와, 삼성전자의 효

을 향상 연구 (1998), ETRI의 광대역광증폭기 동작특성연구(1999)등의 결과가 있다. 이후 본연구실과 충남대의 연구진은 공동으로 80nm 급의 WEDFA를 제작하고 2400km 전송의 결과를 성공적으로 보고하였다. 이는 국내의 연구결과가 선진국에 비하여 결코 뒤떨어지지 않으며 일부분의 분야에서는 오히려 더욱 발전적임을 보여준다. 특히 WEDFA의 수치해석을 통한 동작원리 해석에 있어서 본 연구실은 국내의 어느 연구실보다도 많은 know-how를 축적해 놓은 상태이다.

● TDFA

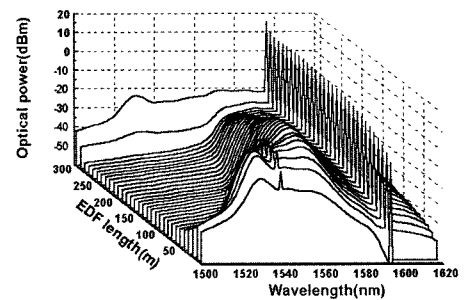
TDFFA의 가능성이 제기된 것은 1980년대 후반부터이다. Thulium의 전이 대역 중에서 관심의 대상인 S⁺(1450~1480 nm) 대역은 self terminating system으로 동작하므로 안정적인 3, 4 level system에 비해서 효율이 떨어지는 단점이 있다. 1990년대 중반부터 영국의 British Telecom과 일본의 NTT를 중심으로 효율을 향상시키는 기법들이 제안되었는데, 그 중 가장 유력한 upconversion 펌핑 방식을 사용하여 1998년도에 25dB 이상의 소 신호 이득과 35nm이상의 3dB bandwidth를 가지는 TDFA를 10Gbps×8채널 WDM으로 구성하여 120km 전송한 실험이 NTT에서 발표되었고, 1999년에는 역시 NTT에서 TDFA와 C-band EDFA와 L-band EDFA를 병렬 구조로 결합시켜 1.45μm -1.65μm 대역에서 3개의 전송 윈도우를 가지는 WDM전송 실험이 발표되어 초광대역 증폭의 가능성을 제시하였다. 최근 수개월간은 EDFA의 C-band에 보다 근접한 S (1480~1520 nm) 대역의 증폭 특성을 가지는 GS-TDFA (Gain Shifted TDFA) 의 구조를 NEC, Alcatel, NTT가 경쟁적으로 발표하고 있다 (표 1 참조). 그러나 현재까지 TDFA dynamics에 대한 해석적인 접근은 거의 이루어져 있지 않아 상용 시스템에의 적용에 불안요소로 작용하고 있다.

본 연구진은 지난 1년간 TDFA에 대한 기초연구를 수행하여 S와 S+대역에 대한 수치 해석 모델을 개발하였고 (OFC 2001) dynamics 해석과 최적화에 대한 연구를 수행중이다. TDFA 수치해석 모델은 발표된 적이 전혀 없으므로 본 연구진은 외국과의 경쟁에서 유리한 무기를 가지고 있다고 판단된다.

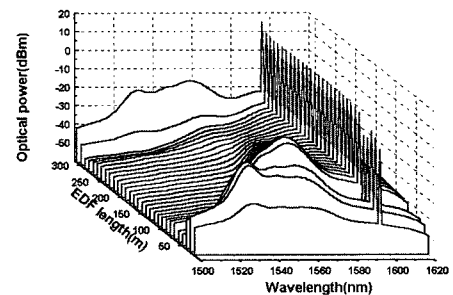
● Raman 광증폭기

Raman 증폭기에 관련된 연구는 영국과 일본을 중심으로, 미국과 러시아의 연구그룹에서도 다양한 방향으로 연구를 진행하고 있다. NTT (일본) 에서는 광대역 증폭기의 설계를 위해서 Silica-Erbium 도핑계열의 증폭기와 함께 Raman 증폭기를 상호보완하여 복합형 광대역 광증폭기를 구성하는 연구를 진행하고 있으며 Raman 증폭만을 이용하여 전송하는 distributed Raman amplifier와 discrete Raman amplifier의 모든 가능성을 타진하고 있다.

또한 Raman 증폭기는 pump 광원의 파장에 따라 증폭대역이 결정되므로 여러 파장의 pump 광원을 동시에 사용하게 되면 광대역 증폭기를 구현할 수 있게된다. 최근의 연구는 12개의 Pump 파장을 동시에 광섬유에 주입시킴으로써 100nm에 이르는 증폭대역과 10,000km의 초장거리 광전송이 가능함을 보여주었다. 이러한 결과들은 수신단에 Raman 증폭 소자를 하나 추가함으로써 현존 시스템을 단일채널에서 multi-channel로 변환시키고 손쉽게 전송용량을 늘릴 수 있음을 보여준다. Raman으로 얻을 수 있는 또 한가지 이점은 1300nm 대역에서의 WDM 전송이다. 1300nm 대역은 신호의 왜곡이 가장 적은 영역이지만, 증폭이 불가



Evolution of forward propagating waves in coupled structure (@1nm RBW)



Evolution of forward propagating waves in uncoupled structure (@1nm RBW)

그림 3. L band EDFA내에서의 전력변환을 향상함에 관한 본 연구실의 수치해석(IEEE PTL, 2000, May)

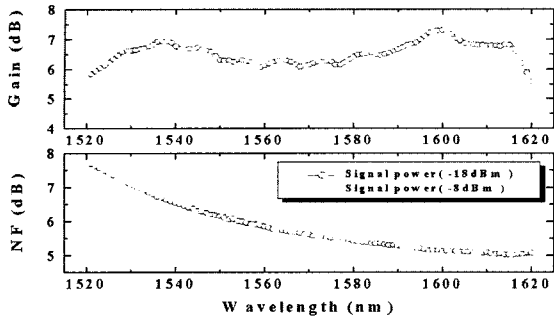


그림 4. Raman 증폭기의 이득과 잡음지수에 대한 본연구실의 수치해석 결과 (2000, IEEE PTL)

능하기 때문에 고려되지 않았었다. 그러나 Raman 증폭기를 이용한 다면 1300nm대역에서도 10Gbps의 error free 전송이 가능하다는 것이 실험적으로 입증되었다. 그 외에도 1520nm 대역, 1600nm 대역 등과 같은 영역에서의 연구도 이루어지고 있다.

본 연구팀에서는 Raman 증폭기에 대한 수치해석과 Rayleigh scattering 문제해결을 위한 fiber 구조개선에 대한 결과를 국내학회 및 국제학술지에 발표한 바 있는데, KJIST의 오경환 교수팀에서 이러한 해석을 바탕으로 하여 새로운 구조를 갖는 Raman 광증폭기용 fiber를 제작할 계획이며 KJIST team은 역시 자체적으로 Raman 광증폭기를 위한 high power fiber pump source를 개발중에 있다.

다. 현 기술의 취약성 및 대처방안

● Silica - WEDFA

첫 번째 문제는 현재까지 구현된 WEDFA의 낮은 전력변환률이다. 본 연구실은 이러한 낮은 전력변환률을 보상하기 위한 기술에 대하여 세계적으로 선두에 서있으며 이러한 사실은 최근의 본 연구실의 수평의 논문 (PTL 1999 - 2000) 로써 알 수 있다. 여러 가지 접근을 통한 전력효율 향상은 Silica-WEDFA 광증폭기에서 극복해야 할 최우선의 과제이다. 또 다른 과제는 L band에서의 잡음지수(Noise Figure) 개선이다. 일반적 EDFA의 경우는 이론적인 잡음지수의 한계점에 거의 근접하는 정도의 성능을 보이거나 WEDFA는 이러한 한계값에 비하여 상당히 열악한 잡음 성능을 보이고 있다. 이러한 잡음지수의 차이는 기본적으로 pump 광원의 파장에 의하여 이론적으로 한계가 주어지지 않게 되나 L band에서의 증폭은 기존의 pump 광원의 파장에 의하여 결정되는 것이 아니라 pump 광원의 전력을 대부분 가지게 되는 ASE에 의하여 원리적으로 높은 잡음지수를 가지게 되며 따라서 기존의 C band에 비하여 전송거리를 제약하는 원인으로도 작용할 수 있다. 따라서 L band에서의 잡음지수를 이론적 한계까지 끌어내리는 기술의 개발이 필요하다. 최근에 본연구진과 충남대 연구팀은 이의 개선을 위한 연구결과를 발표하였으며 (EL 1999) dynamics에 대한 수치해석 또한 완료한 상태이다.

● TDFFA

TDFFA는 self terminating system으로 동작, 효율이 급격히 떨어지는 단점과 플로오르 계열 광섬유의 화학적, 물리적 안정성이 문제가 되었으나 근래에는 upconversion 펌핑을 사용하여 효율을 현저히 개선시키는 방안이 소개되었고, 안정성 문제도 상당히 개선되었다. 특히 TDFFA의 S와 S+의 대역은 시스템에서 사용이 가능한 유용한 대역이어서 증폭특성이나 전송특성에 대한 실험결과들이 발표되고 있고, S+ 대역의 TDFFA 시제품은 최근에 시장에 출하되었다. 그러나 TDFFA의 경우, 시스템 적용을 위하여 필수적인 수치적 또는 해석적 모델을 사용한 동작원리에 대한 탐색은 물리적 모델의 복잡성으로 인하여 거의 연구된 바가 없다. 전송로에서의 손실특성등이 상대적으로 우수한 S band의 GS-TDFFA는 극히 최근에 알려지기 시작하였으며 특성해석이나 동작원리에 대한 깊은 이해가 결여된 상황에서 특허를 선점하기 위한 치열한 경쟁이 벌어지고 있다. 현재 발표된 구조는 평균 밀도 반전을 낮추기 위한 2차 펌프나 parasitic process등을 이용하므로 펌프광의 낭비가 크다. 따라서 내부 동작의 이해를 바탕으로 한 디자인 원칙 정립과 최적화가 필요하다. 본 연구진은 S와 S+대역에 대한 수치해석 모델을 개발하였고 (OFC 2001), dynamics 해석과 최적화에 대한 연구를 수행중이다. TDFFA 수치 해석 모델은 기존에 발표된 적이 없는 새로운 것이므로, 본 연구진은 외국 기업들과의 경쟁에서 유리한 무기를 가지고 있다고 판단된다.

- Raman 광증폭기

Raman 증폭기가 극복해야 할 중요한 문제는 크게 네 가지로 분류될 수 있다. 하나는 현재의 낮은 효율을 높이는 것인데, 이는 광섬유의 중앙에 germania content를 25~30mol정도로 높여주는 것이다. 그러나 이러한 경우, 광섬유의 손실이 커지고, Rayleigh scattering의 효과가 증가하는 단점을 가지고 있다. 본 연구진은 이의 개선을 위한 fiber 구조에 대한 해석 결과를 이미 보고한 바가 있다. 두 번째는 Raman 증폭기에서의 transient response와 이의 해결을 위한 적절한 gain control방법의 개발에 있다. 내부 연구에 의하면 Raman 증폭기에서의 transient response는 보통의 EDFA와는 다르게 긴 길이의 증폭매질이 사용되므로 여러 가지의 제어에 영향을 줄 수 있는 효과들이 존재하게 된다는 사실을 확인하였으며 또한 gain의 평탄화를 위하여 여러개의 펄핑광원을 사용하게 되는 경우 Raman 증폭기 특유의 inhomogeneity에 의하여 기존의 증폭기와는 다른 이득제어의 방법이 필요하게 된다. 따라서 광신호의 삽입/추출시의 안정성에 대한 연구가 필요하다. 세 번째는 Raman 증폭기 또는 hybrid Raman 증폭기에서의 광대역 광증폭을 위한 평탄화된 이득을 갖게하는 외부 parameter set의 도출이 필요하다. 현재와 같은 WDM 상황에서 이러한 기존의 광증폭기와 다른 이득 평탄화 기술의 선점은 선진국과의 경쟁에 있어서 필수적이라 할 수 있다.

본 연구실의 연구방향과 목표

가. 연구방법

광통신 시스템에 대한 연구개발은 많은 시행착오과정을 수반하게 된다. 따라서 본 연구실에서는 수치해석 모델을 통해 증폭과정을 미리 다각도로 분석하여, 새로운 개념 및 아이디어에 대한 선행연구를 수행한 후에 실제 상황에 근접한 조건하에서 실험을 실시하여 실제 시스템에서 적용될 수 있는 지에 대한 여부와 발생 가능한 여러 문제를 미리 조망할 수 있게 할 것이다. 해석을 통하여 얻어진 결과를 협력기관에 전해주어 기본소재의 개발에 도움을 주도록 한다. 한편으로는 얻어진 sample을 바탕으로 하여 광대역 증폭기를 구성하고 그 성능을 개선할 수 있도록 실험을 진행하며 실제 system 상황하에서 test 하여보도록 한다. 이러한 procedure에 대한 세부적 연구개발 방법들은 다음과 같다.

- 초광대역 광증폭기 성능 및 설계 수치해석적 모델 개발을 위한 기초 연구

기본적으로 본 연구실에서 가지고 있는 EDFA에 대한 수치해석적 모델을 확장하여 결과적으로 상용화 가능한 모든 희토류 이온과 그 조합에 대하여 수치해석을 하여 실제 시스템에 적용시 발생 가능한 모든 상황에 대하여 모의실험을 시행한다. 또한 다른 연구실과의 협조를 통하여 좋은 성능을 가지는 희토류 첨가 광증폭기를 실제로 제작하여 수치해석적 모델링의 결과와 비교한다.

- 광대역 광증폭기를 위한 소재개발

TDF의 모듈 개발에 소요되는 TDF는 국내 기술 기반이 미약한 fluoride 계열 광섬유 제작 기술이 필요하다. 이 경우 국내 연구기관의 확충에 기여하기 위하여 가능한 한 KJIST 등의 국내 기관의 기술개발을 독려한다. 단 적절한 기한내에 국내에서 증폭기 모듈이 요구하는 사양의 TDF의 생산이 불가능하다고 판단되는 경우는 외국에서 구매하거나 원하는 사양의 광섬유 제작을 의뢰한다. KJIST는 Raman 증폭기용 pump로 쓰이는 고출력 광섬유 레이저를 위한 fiber 또한 개발하도록 하며 본 연구진은 그 성능을 최적화 시키는 연구를 또한 진행한다.

- 광대역 광증폭기를 포함한 광전송 시스템의 해석과 실험

전송해석에서는 광증폭기 기반의 모델을 통한 해석 외에 본 실험실에서 구비하고 있는 광섬유 내에서의 비선형 등을 고려한 모델을 함께 결합하여 실험과 해석 사이의 차이점을 줄여가도록 한다. 최근에 당 연구실이 보유하게 된 BERT (10Gbps)와 수백

km에 이르는 전송용 광섬유, 그리고 recirculating loop을 사용하여 실제상황에 버금가는 실험을 통해 기술의 안정성 또한 검증하도록 한다.

나. 연구개발 목표

본 연구실이 향후 연구 종료시까지 제시하는 기술적인 최소한의 연구개발 목표는 다음과 같다.

- ❖ 1450nm부터 1650nm 이상을 잠재적인 대역폭으로 하는 초광대역 광증폭기의 개발
- ❖ 80nm이상의 대역폭을 가지는 Silica based WEDFA기술의 조기 최적화 및 도핑농도 의존성 해석
- ❖ 출력효율성을 증가할 수 있는 광대역 광증폭기 구성방식도출 (C band 급의 효율성, 잡음지수<5dB)
- ❖ Pump 광원으로 사용되는 fiber laser 최적화 (위탁연구와 연계, 출력 2W 이상)
- ❖ Specialty fiber 의 설계규격제시 (위탁연구와 연계, Raman, Erbium, Thulium용 설계규격 및 시제작)
- ❖ 잡음특성 및 증폭특성 변화의 근본적 원인이 되는 온도특성변화에 대한 해석 및 대응방안 제시
- ❖ 과제종료시 광증폭기의 차후 발전방향에 대한 결론 도출
- ❖ 초광대역 WDM시스템 (수십 Tera bps 급 전송 시스템) 의 가능성을 탐색

기대성과

초광대역 광증폭기에 관련된 국내의 산업체를 우선 소재/소자 측면에서 파악하여 본다면, 부품사업에 있어서는 약 3-4개의 벤처기업과 (FiberPro, Orient Telecom, 두일...), 3-4 개의 대기업 소속 사업팀 (삼성전자, LG전선, 대우통신) 등 소수이나, 그 생산 품목에 있어서는 많이 다변화가 되어 (coupler, pump LD, Erbium doped fiber, Isolator, coupler, AWG, filter...) 97년 이후로 국외에 대한 수출이 부품차원에서 이루어 지고 있다. 광기술의 특성상 국내 시장만을 목표로 하여 사업을 진행하기에는 그 시장규모가 협소하므로, 광증폭기 세계시장 규모를 기술하여 본다면, 1996년 기준으로 4억불에 달하던 시장이 1999년 수요는 15억불을 상회하게 되고, 2004년에는 70억불에 이르는 것으로 추산되고 있다. 여기에 관련된 관련 광소자 수요를 합하고, 기술효과가 미치는 DWDM 시장까지를 고려한다면, 장치 산업전반에의 파급효과는 매우 크다. 통신사업자의 망설계 및 운용에 있어서의 부가가치는 산정해내기가 어려운 측면이 있으나, 통상적으로 광선로 1km 추가 포설시 소요되는 비용 (지하 duct km당 3억원정도)과, 초광대역 광증폭기가 응용될 경우 1개의 광섬유로 200개이상의 추가 선로 포설 효과 및 전기적 중계기를 제거하는데서 발생하는 이득을 고려한다면 통신망 구축 절감비용에서의 효과는 장비시장의 수배가 되리라 추산되고 있다.

본 연구진은 지난 4년간의 짧은 역사에도 불구하고 국제 SCI 논문지 17편의 논문게재 (1998. 6 -)와 20여편을 상회하는 국제 학술회의 발표실적을 자랑한다. 본 연구실의 성원들은 짧은 연구실 역사에도 불구하고, 대부분의 학부 4학년 때부터 연구실 소속이 되어 집중적으로 훈련 받았으므로, 연구과제가 끝날 시점에는 광대역 광증폭기는 물론, 광통신 전반에 걸쳐서 깊고 폭넓은 지식과 창의력을 가진 연구원으로 성장해 있을 것임을 확신한다. 또한 이들이 졸업 후에도 기업 등지에서 경쟁력을 갖춘 주도적인 연구인력이 될 것임은 본 연구진의 기존 연구 실적만 보아도 자명하다. 또한 본 연구진은 98년의 어려운 경제/연구여건 상황하에서도 연구비 지원 없이 자체 수행한 연구를 통해 얻어진 결과로서 출원된 EDFA / WEDFA 관련 6건의 국내특허와 3건의 국제특허를 민간기업에 양도하고 추가연구비를 지원 받은 바 있다. 이외의 과제들 역시 산업체에서 지원받은 과제가 대부분으로, 출원된 특허들은 모두 양도받은 민간기업에 의해 국제특허를 출원진행중이며 그 기대효과는 매우 크다. 향후 얻어지는 연구결과들에 대한 지적재산권 역시 산업체와의 이전을 통하여 국가경쟁력 발전에 이바지 할 수 있게 되기를 기대한다.

연구소의 발전비전

본 연구실은 1997년 3월 이후의 짧은 역사와 부족한 인력, 그리고 IMF에 기인된 경제난으로 인한 연구지원의 급격한 감소에도 불구하고 최대한의 역량을 결집시켜 인력적으로는 15인의 critical mass를 형성하였으며, 연구 결과에 있어서는 최근 3년간 십수편의 집중적인 국제논문 게재를 통해 단기간에 세계적인 광증폭기 전문 연구그룹으로 성장하였다. 본 연구실이 개발한 10여건의 기출원된 특허들은 대부분 산업체에 이전되어 국내 산업의 경쟁력을 강화하는 데에 보탬이 되고 있음에 대하여서도 연구실 성원들은 자부심을 갖고 있다. 현재 본 연구실은 제 2의 도약기를 맞이하여 광증폭기 이외의 연구에도 관심을 가지고 명실상부한 국제적 광통신 전문 그룹으로의 확장을 꾀하고 있다. 본 연구실 성원들은 보다 큰 사명감을 가지고 연구를 진행하고 사회에 나가서도 일선에서 선도적 연구리더로서의 역할을 수행할 수 있을것으로 기대되며, 지금 현재로서는 모든 성원이 연구에만 전력하고 있으나 연구실의 인적자원이 확장되는 대로 더욱 많은 공공기능을 수행할 수 있을 것으로 여겨진다.