

《主 題》

초고속 초장거리 광전송 기술

— Optical transmission technology of Ultra high-speed and Ultra long-distance —

이 봉 영

(한국통신연구개발단)

■ 차 례 ■

I. 서 론

II. 통신기술의 진화

III. 초고속 광전송기술

IV. 초장거리 광전송기술

V. 요소기술

VI. 초고속 초장거리 광전송기술의 발전방향

VII. 결 론

요 약

지난 20여년간 광섬유전송방식의 고속화는 괄목할만한 성장을 이룩했다. 최근에는 어븀첨가광섬유증폭기의 개발로 인하여 10Gb/s의 초고속 광기간통신전송방식도 실용화를 앞두고 있다. 한편, 가입자에게도 광섬유가 포설되어 화상을 주체로한 서비스가 제공되는 향후의 B-ISDN망에서는 전송로는 물론 노드까지도 초고속의 신호전송·처리가 필수이다. 그러나, 전기적인 처리를 기반으로한 종래의 전송·처리기술로는 속도의 한계에 도달할 가능성이 많아서 이를 대체 할 수 있는 광소자개발 및 새로운 기술구축이 요구된다. 또한, 광솔리톤은 광섬유의 분산에 의해서 광펄스폭이 넓어지지 않고 안정적으로 광섬유를 전파해가는 성질을 충분히 잘 활용한 기술로써 장거리 통신기술로 적합하게 개발되었다. 이와같은 배경으로 부터 본고에서는 차세대기간통신을 위한 초고속 초장거리 광전송기술 즉, 향후에 Tb/s 전송의 주역이 될 광주파수 다중기술 및 무중계 장거리 전송이 가능한 광솔리톤기술의 연구현황을 살펴보고 기술적인 문제점 해결을 위한 향후의 연구동향을 소개한다.

Abstract

High speed optical fiber transmission technology has been remarkably improved during the past 20 years. This paper presents recent research status and future technological issues for the future information society, that is, the Tb/s transmission by frequency division multiplexing and the ultra long-distance by optical soliton transmission. Erbium-doped fiber amplifier and recent optical technology have brought optical transmission system of up to 10 Gb/s to the point of commercialization. Taking into account the future super information highway, that is, B-ISDN network, ultra wide-band picture-based information can be provided for many subscribers via existing optical fiber cables. However, to achieve the high speed transmission, the technologies must be developed not only for transmission lines but also

for transmission nodes. Since the conventional signal transmission/processing technique using electronics has the limit in its speed, novel photonic technology is being developed for this purpose. On the other hand, optical solitons propagate stably through optical fibers, without pulse broadening effect of the fiber dispersion. Since the pulse broadening effect becomes serious as the transmission speed increases, optical solitons is the important technologies to realize the high speed, long distance transmission.

1. 서 론

최근 20여년사이에 통신의 전송분야에서 전기신호를 광신호로 대체함으로써 전송거리의 장기려화 및 광섬유전송방식의 고속화는 눈부신 발전을 이룩했다. 이것은 오직 전송매체인 광섬유의 저손실성과 광대역성을 충분히 활용한 경우이다. 전송매체의 우수한 특징을 잘 활용하기 위한 광반도체기술 및 LSI기술의 기여가 대단히 컸다. 최근은 광신호를 광자원에서 직접증폭 할 수 있는 어블집가광섬유증폭기가 개발되어 짐으로써, 10Gb/s의 초고속광전송방식의 실용화도 가능하게 되었다.

일반적으로 전자분야와 광분야를 혼용한 광전송방식은 전기영역에서 직방렬속도변환 등의 신호처리로 E/O 변환계, 혹은 O/E변환계를 통해서 광영역의 신호로 변환하는 절차를 가진다. 따라서 전송속도의 제한은 전기신호처리계의 속도, E/O변환계의 반도체레이저 혹은 외부광변조기의 속도, APD(Avalanche photodiode) 혹은 PIN PD(Photodiode)등으로 구성된 O/E변환계의 속도에 의해서 제한되고 있다. 한편, 전송로인 광섬유에 관해서는 전송속도의 형상에 따라서 변조광신호 Chirp의 유무, 광섬유의 분산, 각종광비선형성 등의 영향으로 광펄스의 왜곡이 속도제한요인으로 작용한다. 예를들면, 어블집가광증폭기로 광섬유의 손실을 보상하더라도 전송속도와 전송거리의 곱은 일정한 값을 갖아야 하기 때문에 제한요인이 된다.

한편, 각가입자까지 광섬유가 포설되어 화상을 주체로한 서비스가 제공되는 향후의 B-ISDN에서는 전송로 및 노드까지도 초고속신호처리·전송이 필수이다. 한편, 통신망의 경제성을 고려해 볼 때, 망의 운용성 및 유지보수성이 용이하여야 하므로 통신망의 기본구성요소인 전송로와 노드는 전송속도에 대처할 수 있는 유연성이 상당히 요구된다.

오늘날 컴퓨터를 이용한 멀티미디어기술의 발달로 인하여 화상신호 및 대규모의 데이터 교환이 필요해짐에 따라서 지금까지 실용화된 기술만으로는 기하

급수적으로 증가하는 미래의 엄청난 정보량을 만족시키기 어려운 상황에 직면하고 있다. 이로 말미암아 수Gb/s에서 부터 수Tb/s에 달하는 초고속 초장거리 광통신시스템들에 관한 연구가 진행되게 되었다.

본문에서는 현재까지의 통신망 형성을 위한 전송 및 처리기술의 현황 및 그 의의를 살펴보고, 국제화 추세에도 대응할 수 있는 차세대성 광기술이란 관점에서 향후 초고속 초장거리 광전송기술에 대해서 개관함으로써 앞으로의 연구발전 동향을 전망해 보고자 한다.

II. 통신기술의 진화

1970년대 초에 광섬유가 개발되어 머리카락 굵기의 광섬유 하나에 진화 1000회선 이상이 가능하게 되어 정보전달의 규모도 엄청나게 변화되고 있다.

현재, 2000년이 되기 전에 전기통신망을 완전 디지털화시키고자 적극적으로 디지털화를 추진하고 있다. 이 디지털화의 궁극적 목표는 (1) 디지털통신망을 음성으로 부터 영상까지의 정보를 일원적·경제적으로 전달하고, (2) 디지털통신망과 컴퓨터에 의한 정보 처리를 유기적으로 통합한다는 것이다.

한편, 90년대 통신망기술은 개종구조를 고려하여 통신망 기능을 분분화하고 정리·체계화하는 방향으로 진화되어 왔다.

64kb/s - 1.5Mb/s의 종합정보통신망은 디지털화를 목표로 시범서비스를 시작하였다. 디지털기술의 발전과 더불어서 종합정보통신망 관련기기의 경제화를 추진시켜서 다양한 이용을 개발하여 종류가 서로다른 전달매체를 하나로 통합시키는 작업을 하고 있다. 통신망의 완전 디지털화는 고속·고품질서비스제공과 상대에는 진보 단일 요건을 가능하게 하고 통신망을 표준화하여 각종의 통신망과 상호접속이 가능하도록 하는 것이다.

협대역종합통신망은 음성과 정보통신에는 충분한 효과를 발휘하고 있지만, 영상통신에는 불충분하다.

영상압축기술을 사용하지 않고 현재의 TV방송 품질로 영상통신도 가능한 고도·광대역망은 64kb/s ~ 155 Mb/s는 물론 600Mb/s, 2.5Gb/s까지의 광범위 정보를 전송할 수 있는 통신망이 요구된다. 이것은 21세기의 다양한 서비스를 수용할 수 있는 다중매체광대역종합통신망으로 발전 할 것이다.

영상정보는 시간적으로 발생하는 정보량이 대폭적으로 변화하는 특성을 갖고 있고, 다중매체통신은 통신량 변동을 예측하기가 대단히 어렵다. 그리하여 광대역종합정보 통신망은 유연하고 효율적인 기능을 갖는 것이 중요하다. 저속에서 부터 고속까지의 광범위한 신호교환기능과 기대한 교환능력을 갖는 차세대교환기기 즉 비동기교환방식에 대한 연구개발이 적극적으로 이루어지고 있다.

통신망은 단순히 정보를 전달하는 것만이 아니라 통신망이 축적, 변환, 분배, 결합 등의 기능을 갖고 있어서 다양한 서비스를 제공할 수 있는 방향으로 발전하고 있다. 이러한 목적으로 설치된 것이 공동선신호망인데 종래의 교환기간선호전송에서 볼 수 없었던 새로운 서비스를 제어할 수 있는 기능이 필요하게 되었다. 따라서 이러한 기능을 전달계층에서 독립시켜 생각하는 방안으로 고기능계층이 제안되고 있다. 고기능계층은 공동선신호망, 망서비스제어국, 망서비스보조국으로 구성되어 있으므로 새로운 서비스를 할 경우 서비스제어기능, 가입자정보의 관리, 통신망관리 등의 임무를 담당하게 될 것이다.

한편 사회의 변화에 따른 정보시스템의 발전은 더욱더 향상된 통신망신뢰성을 요구하고 있다. 따라서 복잡하고 고도화된 통신망운용은 효율적이고 정확한 지능화 기능이 필요하다. 이 기능을 운용관리통신망이라 부르고, 현재의 통신망에 대한 운용보수를 일괄적으로 관리하는 시스템으로써 장애진단시스템과 제어망시스템 등의 기능이 부가될 것이다.

표 1, 2와같이 광통신기술이 발전되어서 대량의 정보를 멀리까지 값싸게 보낼 수 있는 광통신이 완성된다면 통신의 혁명이 일어날 것이다.

광섬유를 이용한 광전송기술의 흐름을 살펴보면 0.85 μ m대로 부터 1.3 μ m대로 바뀌었는데 앞으로는 전송손실이 가장 적은 1.55 μ m대를 사용하므로 다중파장화가 될 것이다. 광섬유는 멀티모드에서 섬유왜곡이 거의 없는 단일모드로, 광원은 공진기형레이저로 부터 가간섭현상을 최대로 이용한 안정화레이저 광원 DFB-LD로 바뀌고 있다. 이와같은 광기술의 발전으로 전송용량이 증대하고, 중계구간이 길어지고 있다.

또한 광학회로도 개별부품기술에서 집적회로기술로 변하고 있다. 앞으로는 광회로와 전자의 집적회로가 하나의 반도체에 집적 될 것이다. 이는 경제적이고 저전력인 광송수신시스템이므로 정보시스템에 적극적으로 도입되고 있다.

광정보의 무중계전송거리는 100Mb/s에서 수십km 정도 였던 것이 10Gb/s에서 수십km까지 전송 할 수 있는 정도이다.

<표 1> 광통신기술의 변화

구 분	1990년 까지	향 후
사용과장	0.85 μ m → 1.3 μ m →	1.55 μ m → 다중파수이용
섬 유	다중모드 → 단일모드 →	0 분산손실 → 광대역 0 분산손실
광 원	FP-LD → DFB레이저 →	가간섭화
광 회로	개별부품 →	OIC, OEIC } → 단일기반화
전자회로	개별부품 → IC	

<표 2> 전송기술의 진화

단 순 화	대용량화	정보 전송속도 : 수백Mbps ⇒ 수Gbps
		전송매체 : 협대역 ⇒ 광대역(F/O, 위성, M/W)
		다중방식 : 비동기식 ⇒ 동기식
용 통 성	다가능화	망기능 : PTP전송 ⇒ 분기/결합 전송
		망구성 : Mesh형 ⇒ 링형, 성형
지 능 화	지 능 화	전송대역 : 음성, Data ⇒ 동화상, 고속Data
		가입자접속 : 서비스별 ⇒ 통합접속
지 능 화	망OAM기능 : 수동, 반자동 ⇒ 전자화, 자동화	

PTP : Point to Point OAM : Operation, Administration & Maintenance

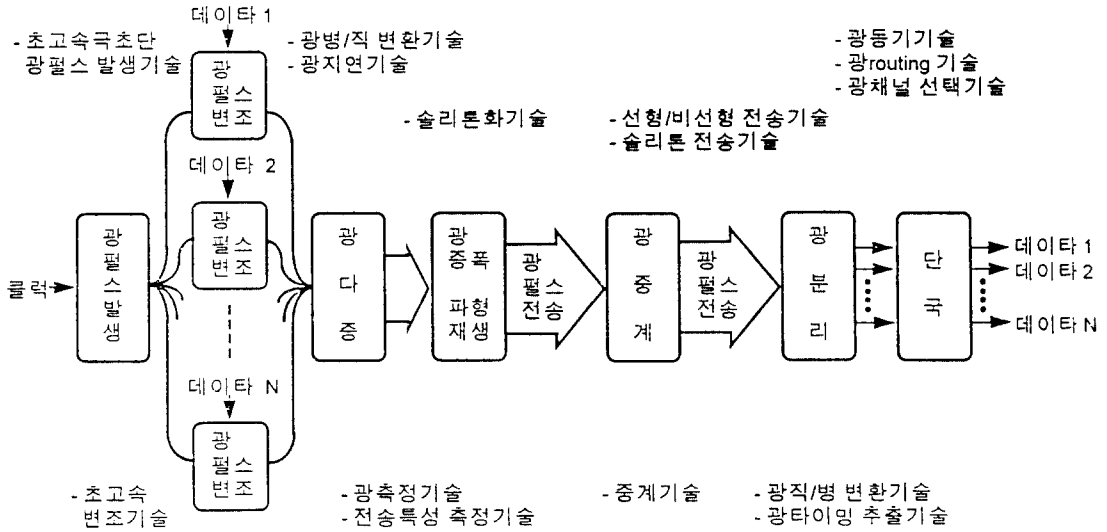


그림 1. 미래 광전송시스템의 구성과 주요기술
 Fig 1. Important technology and diagram of future optical transmission system

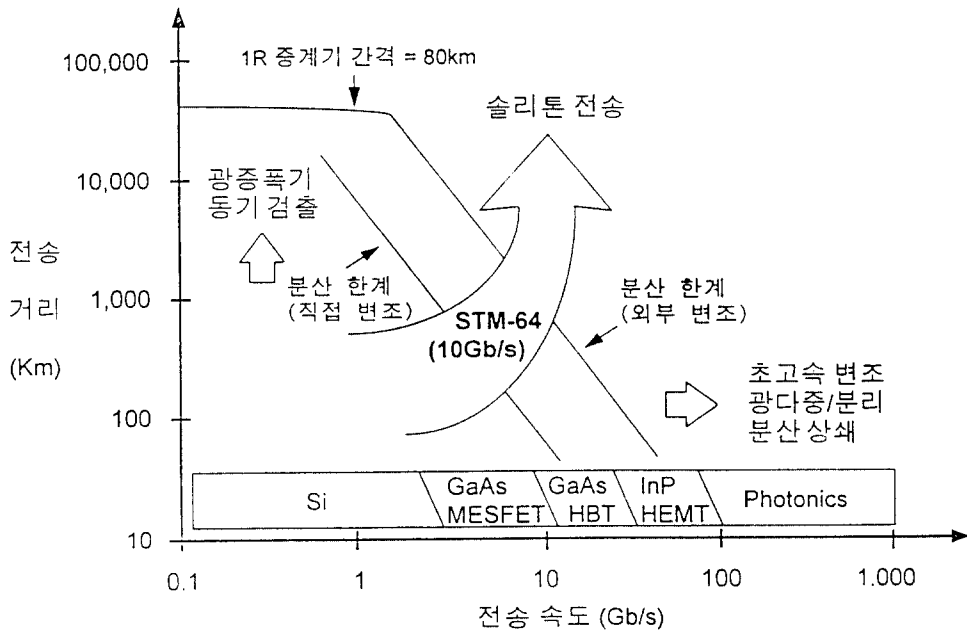


그림 2. 전송거리와 전송속도에 따른 광전송기술의 발전전망
 Fig 2. Optical transmission technology trend due to transmission distance and transmission speed

전송용량의 문제를 타파 할 수 있는 방법으로는 여러파장을 사용하는 방법으로 하나의 광섬유에 여러개의 광파장을 동시에 전송하는 것으로 이는 거의 한 파장이라고 고려할 수 있을 정도(광원의 주파수변화 폭이 KHz 정도)의 광원이 필요하다. 따라서 광섬유 하나에 100개의 광파를 전송할 수 있다고 하면 전송용량은 $10\text{Gb/s} \times 100 = 1000\text{Gb/s} (=1\text{Tb/s})$ 가 된다. 이것을 64kb/s 음성회선수로 환산하면 1600만회선이다. 광증폭기술이 상당히 발전하여 실용화 단계에 있으므로 광증폭기술을 이용한 전광통신망도 실현 가능하게 되었다. 그림 1은 미래의 광전송시스템의 구성과 앞에서 언급되어진 주요기술들을, 그림 2는 전송거리와 전송속도에 따라 광전송기술의 발전방향을 보여준다.

Ⅲ. 초고속 광전송기술

모든 가정까지 광섬유를 포설하는 FTTH(Fiber To The Home), 슈퍼컴퓨터 및 워크스테이션 간의 초고속 전송망의 Giga Bit Testbed 또는 정보 Super Highway의 구성인 B-ISDN의 실현에 관계된 각종 계획 등이 21세기 초 구현을 목표로 활기차게 진행되고 있다.

B-ISDN에서는 기존의 음성정보보다는 차원 높은 대용량데이터 및 고화질동영상정보까지도 수용하고 장거리 전송 할 수 있는 것이 필수적이며 사회의 발달과 경제활동의 범세계화 추세에 따라서 이러한 요구는 더욱 커질 것이다. 앞으로는 경제활동과 사회생활 등에도 컴퓨터가 필수품이 될 것이다. 따라서 사회의 신경망인 통신시스템은 상당히 높은 신뢰도를 유지하여야 하고, 가입자의 요구 및 통화량의 변동에 신속하게 대응 할 수 있도록 간단하면서도 유연한 통신망구성을 요구한다.

이러한 통신망에서 처리되는 정보량은 대략적으로 테라비트를 넘을 것이다. 테라비트를 감당하기 위해서는 전송로 및 노드도 상당히 고속으로 전송 및 처리가 가능한 초대용량의 통신망을 실현시키기 위한 기술이 필요하다. 이러한 요구에 대한 접근으로 대단히 높은 주파수 성질을 갖고 있는 광을 이용하고자 한다. 실현성이 있는 두가지 이용법은 광주파수다중화법(광FDM: Optical Frequency Division Multiplexing)과 시분할다중화법(TDM: Time Division Multiplexing)이다. 광FDM은 광주파수의 서로 다른 복수의 광파들을 독립적인 정보 전달체로 이용하는 것이다. TDM은 짧은 광펄스폭을 갖는 광펄스를 이용하므로써 시간

영역에서 정보를 전달하고자 하는 것이다. 전자는 100과정도를 이용한 광FDM이 확인되어 있는 상태이다. 이 전송기술도 10Gb/s 를 100과 이용한다면 테라비트 전송이 실현 가능하게 될 것이다.

그렇지만, 음성, 영상, 데이터 등이 혼재하는 미래의 통신에서는 초대용량전송로 실현을 위한 전송비용의 저렴화가 필수적이다. 멀티미디어 환경에서도 어떻게 효율성을 갖게 할 것인가와 통신용량의 제한을 어떻게 이용하여 통신량의 변동과 가입자의 요구에 신속하게 대처 할 수 있을 것인가도 중요한 요소이다. 간단하면서도 유연성을 갖는 통신망을 구현하는 것이 대단히 중요하다. 이와같은 긴지에서, 향후에 어떠한 다중화기술을 통신망에 이용할 것인가와 어떠한 방식으로 다중화기술을 이용하면 좋을 것인가가 중요한 판단이 된다. 통신에 이용되는 정보의 종류 및 양에 따라서 통신망의 경제성, 유연성 및 보수성, 이용성 등을 종합적으로 고려하여야 할 필요가 있다.

이상의 이유로 TDM에 의한 고속화·대용량화의 접근은 기술의 한계를 고려해 볼 때, 수십~백Gb/s가 당면한 속도로 생각된다. 이 기술의 적용형태로는, 전송로에서는 수십~백Gb/s의 초고속광신호를 전송가능한 초고속광전송방식, 노드에서는 초고속신호의 다중·분리·삽입 혹은 방법변경 등이 가능한 다중화장치(MUX/DEMUX), Cross Connect 등의 장치가 기본으로 필요하다.

고속화 기술은 실리콘(Si)의 미세가공기술을 중심으로한 전자회로 기술에 크게 의존해 왔다. 실리콘미세가공기술도 10Gb/s 이상의 고속화는 곤란 할 것으로 전망된다. 통신시스템은 신호전송은 광소자를, 신호처리는 전자소자를 이용하는 방식을 채택하고 있으므로 광전변환소자의 한정된 대역폭이 전체 광통신시스템의 속도를 제한하는 요인으로 작용되어 왔다. 따라서 초고속 동작이 필요한 곳에는 고속 화합물 반도체를 이용하여 문제점을 해결하고자 노력하고 있으나 궁극적으로는 전자소자들을 전부 광소자로 대체하고자 하는 노력을 기울이고 있다.

Ⅳ. 초장거리 광전송기술

광통신의 초고속화를 목표로 활발하게 연구가 진행되고 있는데, 전송속도의 한계는 주로 광섬유의 군속도분산(GVD: Group Velocity Dispersion)에 의한 광펄스폭의 넓어짐 현상으로 정해진다. 파장이 $1.5\mu\text{m}$ 대인 경우는 군속도분산이 영이되는 분산천이 광섬

유가 개발되어 있지만, 신호광의 파장을 광섬유의 영 분산 파장에 정확하게 일치시키는 것이 어렵기 때문에, 분산에 의해서 광펄스폭이 넓어지지 않도록 하는 것은 불가능하다. 그리하여, 분산에 의한 제한을 받지 않고 초대용량의 광통신을 실현시킬 수 있는 방법으로 광솔리톤통신이 주목을 받게 되었다.

솔리톤의 연구는 19세기전반까지 거슬러 올라간다. 운하를 건너다주는 배의 앞부분으로 부터 발생한 단독의 파도가 수마일에 걸쳐서 흐트러지지 않고 전달되는 것을 1838년에 J.S.Russell이 보고한 것이 솔리톤 연구의 효시라고 한다[1]. 광섬유에서도 솔리톤이 존재할 수 있는 것을 1973년에 Bell연구소에 근무하던 Hasegawa와 Tappert가 알아냈다[2].

광솔리톤은 광섬유에서의 군속도분산과 자기위상 변조효과인 비선형광학효과가 서로 상호보완 관계성을 갖고 있으므로 장거리에 걸쳐서 파형을 흐트러뜨리지 않고 전파하는 광펄스이다. 분산에 의한 광펄스의 넓어짐이 없기 때문에 좁은 광펄스를 이용할 수 있으므로 고속장거리광통신을 실현시킬 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 최근 수년의 광솔리톤연구가 상당히 진전되어 솔리톤광통신 실현을 지해했던 광원, 광증폭기 등의 소자 및 솔리톤광기술들이 개발되었으므로, 솔리톤광통신기술을 이용한 무중계 장거리전송 즉, 해저광섬유 및 대륙간광섬유 등의 광전송도 수년내에는 상용화가 이루어질 전망이다. 광섬유에서 광의 손실을 보상하는 증폭기술 (1R 중계), 재 동기화기술 (2R 중계), 광펄스의 파형을 재생시키는 파형재생기술 (3R 중계) 등에 관한 연구도 진행되고 있다. 한편으로는 시스템의 성능을 평가 및 분석으로 시승팀의 성능을 향상시키기 위한 광계측 기술에 대해서도 상당한 관심이 집중되고 있다.

최근 10Gb/s의 광펄스신호를 두 개의 채널로 다중화하여 20Gb/s로 115km 전송한 결과도 있었고[3] 8Gb/s의 신호를 네 개의 채널로 다중화하여 32Gb/s-50km의 광전송을 한 결과가 보고되어 있다. 6.3Gb/s의 광펄스신호를 16 채널로 다중화하여 100Gb/s의 속도로 50km 전송한 실험 결과가 보고되었는데 여기에는 파장가변 모드 동기 광섬유레이저를 사용하여 피코초 영역의 안정된 광펄스를 얻는 초단광펄스 발생기술과 고안정 광다중화 기술, 그리고 편광보존 NOLM(Nonlinear Optical Loop Mirror) 회로를 사용한 저전력 광분리 기술과 PLL(Phase Locked Loop) 회로의 초고속 클럭 추출 기술 등을 결합되었다[4].

초장거리 광전송시스템의 대명사는 해저광섬유시스템이다. 중계기를 이용한 대서양횡단 광섬유시스템 TAT-8을 1988년에 미국과 프랑스 사이에 상용화시킨 것이 최초의 초고속 초장거리 통신 서비스이다. 이 시스템은 280Mb/s의 전송 속도, 중계구간 50~70km를 갖고 있다. 그 이후 1.55 μm 의 파장 영역을 사용하여 중계거리 1000km 이상, 전송속도 Gb/s급인 태평양횡단 광섬유시스템이 구축되고 있다. 1992년부터 구축되기 시작한 TPC-5는 미국 본토-하와이-괌-일본 24,000km을 연결하여 1995년말 혹은 96년에 5Gb/s의 전송 속도로 서비스를 개시할 것이며, 우리나라와 일본, 러시아를 연결하는 R-J-K 해저광섬유 시스템도 1995년에 완성될 계획이다[5].

V. 요소기술

5.1 가입자계 전송기술

광섬유는 저손실, 광대역의 특징을 갖고 있으므로 서비스의 고속, 광대역화 하는데 적격이다. 그리하여 영상통신시대를 위한 가입자계동선케이블을 광섬유로 대체하여야 한다. 현재의 동선에 비교해서는 경제성이 뒤지지만 광섬유의 다심화, 접속방법, 배선방법, 공사방법 등의 기본적인 개발이 필요하다.

한편, 시스템적으로도 경제성이 중요하므로 광섬유를 사용하여 통신과 영상분배의 양자를 서비스하는 경우도 종합적으로는 경제성이 있기 때문에 기술개발이 이루어지고 광증폭기, 분파회로, 파장다중 등의 기술발전예 의해서 실현 가능성이 크다.

앞에서 기술했듯이 광섬유는 저손실이고 가입자전송거리가 길기 때문에 변환노드의 집약이 가능하고 보수, 운용을 포함한 운용비용을 줄일 수 있다. 다양한 서비스 제공, 다채로운 망 이용이라는 관점에서부터 Total Operation기술확립이 요구된다.

5.2 광증폭 기술

광섬유 네트워크에서는 제한된 광파워를 여러 노드(node)로 분배하게 되므로 지원 가능한 노드의 수가 제한된다. 또한 다중화기(Multiplexer)나 분리기(Demultiplexer) 등에 관련된 전광처리기술에서는 큰 광펄스를 필요로 한다. 전송속도가 커질수록 BER(Bit Error Rate)이 커지므로 수신단에서 요구하는 감도를 만족시키기 위해서 광통신시스템의 파워는 전송속도에 비례하여 커져야 한다. 광솔리톤 전송에서도 펄스

의 크기는 펄스폭의 제곱에 반비례하므로 평균 파워는 전송속도의 제곱으로 증가해야 한다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 여러가지 원인으로 인해 발생하는 손실을 광증폭기로 보상해야 할 필요가 있다. 따라서 초고속 광통신에서는 파워를 키울 수 있는 광증폭기술이 필수불가결하다.

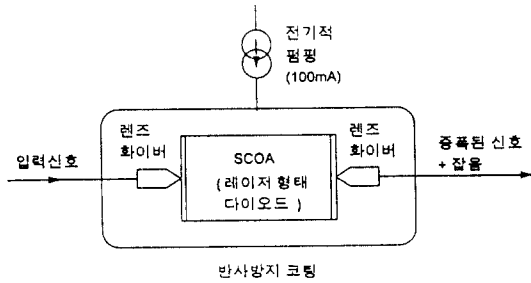


그림 3. 반도체 광증폭기의 구조
Fig 3. Semiconductor optical amplifier system

현재 광증폭기로는 반도체 광증폭기(Semiconductor Optical Amplifier)와 어븀첨가 광섬유 광증폭기(EDFA, Erbium Doped Fiber Amplifier)가 대표되는 광증폭기로 연구되고 있으며 실용화 단계에 접어들고 있다. 그림 3은 반도체 광증폭기의 구조가 보이고 있다. 반도체 광증폭기는 광섬유 증폭기에 비해서 크기가 작고, 파워 소모가 작으며 집적회로와 양립하는 구조를 가질 수 있다는 점 등에서 장점을 가지지만 큰 이득을 얻기 힘들며 이득이 짧은 시간 내에 회복됨으로 인하여 포화영역에서 신호가 왜곡된다는 단점이 있

다. 그러나 마지막에 언급된 단점은, 증폭기의 이득이 전기적인 조절에 의해 고속으로 변조될 수 있다는 것을 의미하므로 광스위칭에서는 장점으로 이용될 수도 있을 것으로 기대된다[6]. 반도체 광증폭기로 20dB 이상의 광섬유-광섬유 이득을 얻은 결과가 보고되었으며 광섬유 버스구조에서 반도체 광증폭기를 사용하여 노드의 수를 최소한 열 배 이상 증가시킬 수 있음이 증명되었다[7].

그림 4의 EDFA 증폭기는 반도체 광증폭기에 비해서 여러가지 장점을 가지고 있다. 이득이 50dB 이상으로 크고[8] 전송되는 빛의 편광에 영향을 주지 않으며, 광섬유와의 접속손실이 0.5dB 정도로 낮고, 채널누화(channel crosstalk)가 작다. 그리고 고속 신호 전송에서도 응답특성이 열화되지 않으며 잡음지수(noise figure)는 이론적 한계인 3dB 정도로 낮다. 뿐만 아니라 포화출력파워는 크고 또 회복가능한 펄스파워에 비례하여 증가한다. 이와 같은 장점들로 인해서 1989년에 5Gb/s 광통신시스템에 처음으로 EDFA가 사용된 이래[9] 고속 trunk line 전송, 다채널 광섬유네트워킹시스템 등에 EDFA를 적용하려는 연구가 활발히 계속되고 있다[10][11].

단광펄스 증폭에서는 이단의 EDFA에 의해 90mW의 낮은 펌핑 파워로써 2Mb/s에서 105W의 최대 출력 파워를 얻은 결과가 보고되었으며[12], CW 광의 증폭에서는 1mW의 입력 신호 파워와 180mW의 펌핑 파워로 1.48 μ m에서 140mW의 출력 파워를, 1.1W의 펌핑 파워로 0.98 μ m에서 530mW의 출력 파워를 얻었다[13]. 또한 광솔리톤 전송에서는 전체 광섬유 내에서 손실을 균일하게 보상하는 것이 이상적이므로 현

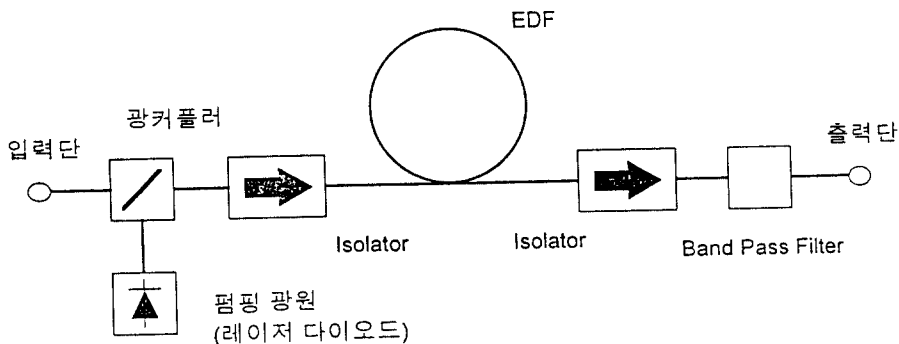


그림 4. 어븀첨가광케이블(EDFA) 증폭시스템 구성
Fig 4. Erbium doped fiber amplifier system

제 긴 광섬유에 어둡이 균일하게 분포하는 EDFA에 대한 연구가 진행되고 있다.

5.3 Coherent 전송기술

전송기술의 기본적인 과제는 초고속광통신으로 대용량(높은 bit rate)의 시스템을 실현시킬 것인가 혹은 광다중전송기술로 중계거리가 긴 시스템을 실현시킬 것인가였다.

광전송기술의 개발도 이 과제에 대한 도전으로 발전하고 있다. 바꾸어말하면, 광섬유의 손실제한과 파장분산제한을 어떻게 극복 할 것인가에 달려있다.

대략 10년전 부터 이러한 과제들을 해결하기 위한 기술로서 Coherent전송방식의 연구개발이 이루어지고 있다.

한편 실용화되어 있는 광전송시스템에서는 광섬유의 특징이기도한 저손실성과 광대역성에 착안하여 반도체레이저등의 펄스너지를 전기적으로 ON/OFF 함으로서 디지털신호를 전송하는 방식이 이용되고 있다.

이것은 원리적으로 1838년 발명된 동선케이블전신 방식(전기에너지를 기계적으로 제어하는 방식)과 유사하고, 이 방식은 2.4Gb/s까지 실용화되고 있다.

또, EDFA의 출현으로 10Gb/s의 전송시스템의 종래의 80km중계구간에서 실현가능하다는 것이 확인되었다. 그러나, 종래기술의 연장선상에서 수십Gb/s 이상의 전송시스템을 실현시키는 것은 진자회로 등의 제약에 의해서 대단히 곤란하다.

근래 이 요구를 만족할만한 수단으로 광이 갖고 있는 파의 성질 즉 광의 주파수를 Carrier로 사용하여 대용량전송을 달성하고자 하는 연구가 광파통신방식이라 하여 여기저기서 이루어지고 있다. 현재로, Coherent 통신과 Multi-Carrier방식의 조합 등이 이것의 예이다.

현재의 광섬유는 1.3/1.5 μ m 파장대역의 저손실영역에서 약 30THz(30×10^{12} Hz)의 이용이 가능하다. 이 파장역에 다수의 광 Carrier주파수를 발생시킬수 있다면, 광주파수다중이 가능하게 되어 전송용량의 비약적증대가 가능하게 된다. 현재로, 10GHz 간격으로 광주파수다중을 하면 30THz의 영역에 3000채널의 다중화가 가능하게 되어 1bit/10Hz로 전송하는 경우 3Tb/s의 정보를 하나의 광섬유로 전송할 수 있게된다. 또한 Coherent기술과 주파수다중기술의 조합은 단순히 대용량화의 수단으로만이 아니라 통신방 구성에 커다란 자유도와 신뢰도를 부여한다는 의미에

서 기대되어지는 바가 대단히 크다.

5.4 선형광전송 기술

광증폭기술의 발전으로 말미암아 중계기를 사용하지 않거나 또는 사용하더라도 그 간격을 크게 늘리고 여기에 종래의 강도변조 직접검파(IM-DD: Intensity Modulation Direct Ditection) 방식을 적용한 고속 장거리 선형광전송에 관한 연구가 진행되고 있다. 송신단에서 외부적으로 변조된 출력 파워가 EDFA와 같은 후치증폭기(postamplifier)에 의해서 대략 20dB 이상 증가할 수 있으며 수신단의 감도가 전치증폭기(preamplifier)에 의해서 10dB 이상 개선될 수 있다면 그만큼 멀리까지 광신호를 전송할 수 있게 된다. 이 방식의 과제로서는 첫째 분포피드백(distributed feedback) 등을 이용하여 레이저 다이오드(LD)의 스펙트럼폭을 좁게 하여야 하며 이에 더불어 레이저광을 고속으로 변조하는 기술의 개발이 필요하다. 둘째로 저잡음 APD개발이나 PIN PD와 FET(Field Effect Transistor) 모듈의 최적화 등에 의해서 수신단의 감도를 개선해야 한다. 셋째 분산전이광섬유나 분산보상기술 또는 비선형정보상기 기술 등을 개발하여 전송로의 저손실 광대역화를 이루어야 한다. 뿐만 아니라 초고속 진자회로 기술의 개발도 필요하다.

무중계 전송으로는 분산전이광섬유를 이용하여 10Gb/s의 광신호를 252km 전송할 예가 있으며[14], 2.5Gb/s의 광신호는 357km를, 622Mb/s의 광신호는 401km를 전송한 결과가 보고된 바 있다[15]. 또한 26개의 EDFA를 광섬유의 50km 지점마다 위치시켜서 재송기회나 파형재생이 없이 2.5Gb/s-1316km 전송에 성공한 바 있다[16].

5.5 초광대역(Tb/s) 전송기술

광통신시스템을 이용한 다양한 통신서비스의 제공과 통신선비 이용효율의 극대화를 위해서는 다중화/분리(억대중화) 기술 확보가 필수적이다. 시간 영역에서 채널을 다중화하는 방법인 시간분할다중화법(TDM)과 주파수 영역에서 채널을 다중화하는 방법인 파장분할다중화방식(WDM)이나 주파수분할다중화방식(FDM 또는 dense Wavelength Division Multiplexing)이 연구되고 있다.

초고속 광통신 네트워크에 필요한 광TDM 기술은 시일 내에 실현이 가능한 핵심 기술 중의 하나로 부각되고 있다. 앞서 소개된 각종 광관련 기반 기술들을 사용하고 여기에 광TDM 기술을 접목시킨 초고속 대

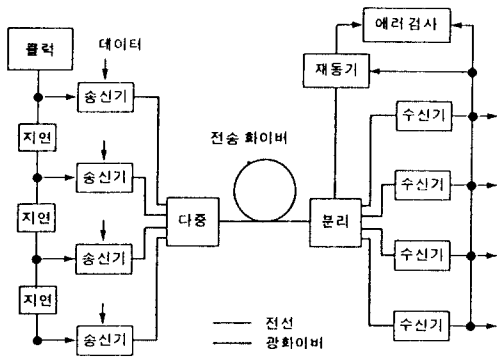
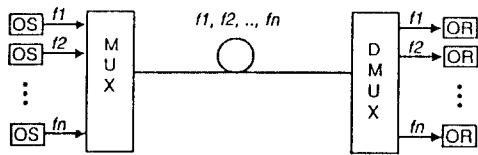


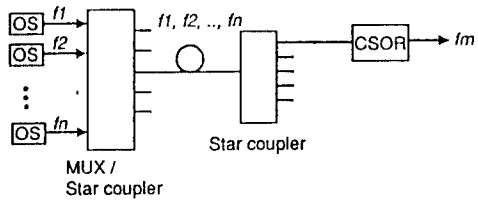
그림 5. 4×4 TDM 광전송시스템의 구성도
Fig 5. 4×4 TDM optical transmission system

용량 광섬유전송기술에 관한 연구가 활발해지고 있다[17].

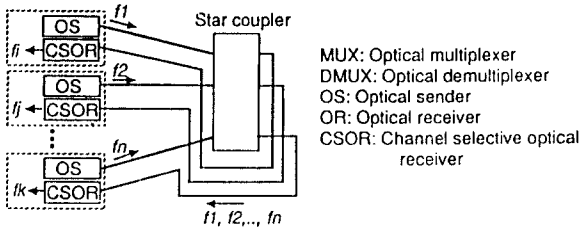
TDM에 있어서 현재까지 광신호의 다중화/분리는 하나의 클락에서 비롯되는 신호계열을 분리다중화하여 이를 각각 변조하는 수준이며 복수의 신호계열을 다중화시키는 수준에는 이르지 못하고 있다. 4채널 TDM 광통신시스템의 예를 그림 5에 보이고 있다. 여기에 사용되는 광다중화기는 지연선과 결합기로 구성되는데 다중화시킬 때 지연시간을 제어하는 문제가 아직까지 해결되지 못하고 있다. 지연선으로는 기존의 광섬유 또는 위상조정성이 우수한 편광보존광섬유 등이 사용되어 왔으나 모두 안정성에 문제가 있었다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. FDM/WDM 광전송시스템 구성 (a) Point-to-Point 전송(기간전송) (b) Point-to-Multipoint 전송(정보 분배전송) (c) Multipoint-to-Multipoint 전송(LAN 등)

Fig 6. FDM/WDM optical transmission system (a) Point-to-Point Transmission(Key transmission) (b) Point-to-Multipoint Transmission(Information distribution transmission) (c) Multipoint-to-Multipoint Transmission (LAN etc.)

FDM/WDM은 전자소자들의 동작 속도로 인한 제한을 극복하면서 1.3 μ m-1.6 μ m 영역에서 50THz 이상인 광섬유의 기대한 대역폭을 최대한 사용하고자 하는 기술이다. 그림 6는 FDM/WDM의 원리를 나타내고 있다. 이 그림에는 일반적인 광통신시스템과 함께, 양방향 신호전송이 가능한 분리광통신시스템과 둘 이상의 주파수 채널을 갖는 다중광통신시스템을 보이고 있다. 여기에 사용되는 다중화기/분리기를 구현하기 위해서는 간접 필터나[18], 방향성결합기[19], 또는 굴절격자 등이 이용되나 이러한 소자들을 사용함에 있어서 극도로 정밀성이 요구된다는 단점이 있다. 또한 잡음지수의 열화를 막기 위해서는 채널 간의 이득을 동일하게 해주어야 하며[20] 라만누화로 인한 단파장 쪽의 파워공핍을 해결해야 장거리 전송이 가능하다는 문제점도 해결해야 한다[21].

5.6 광솔리톤 기술

광솔리톤 기술은 광섬유의 대역을 제한하는 분산 특성과 비선형의 영향을 서로 상쇄시켜서 초고속 초장거리 통신을 가능하게 하는 전송 기술로서 활발한 연구가 진행되고 있다. 적절한 laser 광원만 선택된다면 솔리톤전송시스템은 기존의 선형광전송시스템에 비해서 전송 거리와 전송 속도를 상당히 증가시킬 수 있으며, 펄스의 생성, 전송, 상호작용 등의 물리적 측면에서 뿐만 아니라 잡음, 신호의 분별성, 에러 확률 등의 통계적 측면에서 이론적으로 증명되었다[22]. 광솔리톤 전송에서는 광섬유의 분산이나 광펄스의 강도를 전체 전송로에 걸쳐서 일정하게 유지하는 것이 중요하며 시스템 설계의 관점으로부터 안정성, 내구성 등을 고려한 허용 범위를 밝힐 필요가 있다. 또한 기술적인 과제로서 초고속화에 관해서는 솔리톤

의 상호작용을 감소시켜 펄스와 펄스 사이의 간격을 가능한 한 줄일 수 있어야 하며, 초장거리화에 관해서는 Gordon-Haus 한계의 극복법 등이 연구될 필요가 있다. 또한 이외에도 1R 광중계기 사이의 간격이, 솔리톤 주기가 감소됨에 따라 함께 줄어들어야 하는 문제로 인한 전송거리의 제한이나 광증폭에 의한 신호대잡음비(Signal-to-Noise Ratio)의 열화 등의 문제점을 해결할 필요가 있다[23].

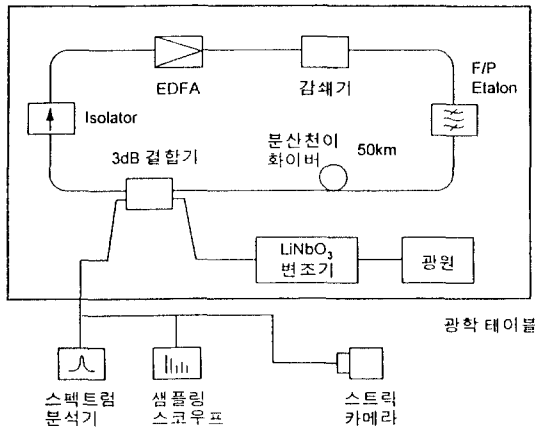


그림 7. 루프구조의 장거리 솔리톤광전송시스템
Fig 7. Ultra long distance soliton optical transmission system of Loop type

최근 광솔리톤 전송에서는 여러 개의 광결합기로 하나의 기관 위에 지연선을 형성시키는 PLC(Phase Locked Coservation)형 광다중화기를 개발하여 100Gb/s에서의 안정 동작을 실현하고 있다[4]. 한편 광분리기에 있어서 비선형이나[24] Kerr 스위치[25] 또는 4파혼합을 이용한[26] TDM 광분리기 등이 개발되었으며 모두 20Gb/s 이상의 고속 동작이 가능함을 실증한 바 있다. 그러나 이들 광분리기는 주발진기에서 제공되는 클락에 의해서 구동될 뿐, 다중화된 신호에서 클락 신호를 추출해 내지 못했다. 그러나 최근 광섬유의 Kerr효과를 이용하여 64Gb/s의 다중화된 신호계열을 8Gb/s의 독립된 신호계열로 분리해 내는 광분리기에서는 에러가 거의 없이 클락을 추출해 내는 기능이 실현되고 있다[27].

장거리 전송계에서는 그림 7과 같은 광섬유루프를 사용하여 5Gb/s의 속도로 15,000km를 전송하였으며[28], 시간 영역과 주파수 영역에서 솔리톤을 제어함으로써 10Gb/s의 솔리톤 데이터를 일백만 km 전송한

바 있다[29]. 다중화 기술과 접목한 실험으로는 네 개의 독립적인 10Gb/s 채널을 LiNbO₃변조기로 하나의 편광을 갖도록 시간영역에서 다중화된 40Gb/s-205km 전송 등이 실현되었으며[30] 초고속 전송에는 시간/편광분할다중화방식을 적용하고 전기광학적인 광분리 기술을 이용하여 80Gb/s-80km의 전송에 성공하였다[31].

VI. 초고속 초장거리 광전송기술의 발전방향

기간전송기술은 광통신의 중심기술로서 광기술전체를 이끌어가는 주축기술이다. 그러나 현재의 기술발전을 토대로 향후의 동향을 예측한다는 것은 대단히 어렵다. 그 이유의 하나는 본격적인 광통신의 개발을 시작하지 못한 10년이 지나, 기간전송의 H/W에서는 초고속전송, 가간섭전송, 광증폭을 주축으로 개발이 진전되었으나, 현재는 기술적 분기점에 도달해 있다. 향후는 특히 21세기를 향해서 보다 고성능의 전송시스템을 구축할 수 있는 소자, 시스템, 통신망 등의 선전에 걸친 새로운 기술개발로 발전이 이루어질 것이다.

우선, 종래의 기술개발의 연장선상에서 한걸음 더 나아가고 고속화와 광대역화가 이루어질 것으로 예상된다.

국제표준의 SDH(Synchronous Digital Hierarchy)에 근거한 2.4Gb/s(STM-16) 광통신시스템이 실용화되고 있고, 차기시스템인 10Gb/s 광통신기술 개발이 활발히 이루어지고 있다. 이것을 64kb/s의 음성회로로 단순히 환산하면 155,000회선이 된다. 예를들면, STM-1(155Mb/s)를 환회선의 영상채널로 이용한다면 10Gb/s도 64회선만 사용할 수 있다. 21세기의 영상정보/고속Data통신망을 구축할 수 있는 기간 기술은 수Mb/s에서 부터 Tb/s의 초고속광통신 기술개발이 중요한 과제이다.

Tera bite 광통신기술의 실현을 위한 개발동향과 향후의 전망으로서, 기간전송방식은 상도변조/직접검파방식과 기간섭변복조방식 등이 중점적으로 개발되어야 할 것이다.

이중 고속화는 현재 10Gb/s의 시스템개발까지 소자, 시스템, 통신망 각각에서 진전되었으며, 머지않아 20Gb/s, 40Gb/s, 100Gb/s 시스템 등의 실현을 위해 기술개발이 지속적으로 이루어질 가능성이 있다. 변조기술은, 종래의 광변조기의 고속화와 더불어 최근 4채널의 5Gb/s 신호를 광차원에서 시분할다중화하고

분산이 적은 광섬유를 이용하여 20Gb/s-13,000km('93 AT & T 기록)까지 광전송을 성공한 예를 보더라도 괄목 할만한 발전을 이룩했다. 또한 이 실험에서는 EDFA로 광신호를 증폭시킨후 광섬유에 입력함으로써, 광Kerr Effect에 의한 광펄스 압축으로 파장분산의 영향을 적게하였다. 광섬유의 비선형광학효과의 영향은 EDFA의 진보(출력·이득의 증폭)로 현재 특히 10,000km 등의 장거리전송 등에서 문제가 되고 있는데, 장래 100Gb/s 시스템 등의 고속전송을 위한 경우에는 보다 짧은 거리의 전송이라도 이러한 문제가 제기 될 것이다.

한편 광대역화에 관해서는 FDM/WDM 기술을 중심으로 기술개발이 이루어질 것이다. 그 경우 광출력과 채널간격의 압축기술의 진전에 의해서 여기서도 4광파혼합(Four Wave Mixing) 등의 비선형효과의 영향도 검토하여야 할 것이다.

반도체를 이용한 비축되4광파혼합방법(Four Wave Mixing)은 변조Probe광으로 신호광 주파수를 변조시키면 신호광 광주파수가 변환되어 신호대역이 GHz 대인 광대역을 얻을 수 있다. 이때 Probe광과 신호광은 위상공역의 관계에 있기 때문에 광섬유전송에서의 분산보상 등에 이용할 수 있으므로 앞으로의 진전이 기대되는 기술이다. 따라서 반도체광증폭기를 이용한 파장다중전송과 주파수변환 등의 기술도 시스템에 응용되리라 기대된다.

다른 한편으로는 비선형특성을 적극적으로 이용하고자 하는 시도도 있다. 광Kerr Effect를 이용한 광펄스 압축이 한 예이다. 비선형광학효과는 고속응답 및 광대역특성을 갖고 있기 때문에, 향후 완전 광Interface에 의한 광전송의 실현을 위한 연구개발이 활기를 띠게 될 것이다.

육상의 광통신시스템에서 신동기 디지털망이 도입되고 있으므로 기간광선로에서는 STM-16을 Interface로 하는 2.5Gbit/s의 전송방식이 발전 할 것이다. 이 기술의 발전추세에 의해서 해저광섬유망식도 머지않아 Gb/s 전송기대가 도래 할 것이다. Gb/s 해저전송에 적용될 수 있는 기술로서는 종래의 재생중계전송 방식과 현재 연구가 진행중에 있는 EDFA 기술을 사용한 광증폭중계전송방식이 검토되고 있다. 광증폭 기술이 빠르게 발전하여 경제성 측면에서도 유리하게 되면 EDFA 기술이 적용 될 것이고, 앞으로 EDFA 기술을 사용한 광증폭중계전송방식의 연구개발에 관심이 집중되어 있다. 더 나아가 솔리톤전송을 이용한 광증폭중계방식도 대용량 장거리 전송을 실현시킬려

는 차후의 기술로서 연구가 활발히 이루어질 것이다.

Ⅶ. 결 론

초고속 초장거리 광기술은 향후에 B-ISDN의 핵심 기술이고 기간전송로와 노드의 기본적인 구성기술이 될 것이다. 현시점에서는 본격적인 연구가 그다지 많이 이뤄져있지 않아 실용적인 기술로 실용적인 시스템을 만들 수 있는 단계는 아니지만, 선진국에서는 레이저기술, 전광다중분리기술, 광동기기술, 광솔리톤 전송기술 등을 100Gb/s 정도의 속도영역에서 초고속 전송 및 처리회로를 구성하여 기본기능 및 기본 동작의 확인과 미흡한 상태의 기술 및 소자를 개발해가고 있다.

이러한 기술을 실용화단계까지 끌어올리는데는, 현재 주로 광섬유의 비선형성을 현재의 기술발전이 어떻게 해결할 것인가 하는데 많은 기대를 걸뿐만 아니라, 재료 및 소자기술의 진전을 바라보면서, 신재료 및 소자에서 새로운 원리를 이용한 초고속 전송기술·신호처리기술 등을 폭넓게 검토하고 있다. 또한, 이 기술은 단지 통신분야에의 적용 뿐만이 아니라, 초고속계측기술 및 광컴퓨팅 등 폭넓은 의미에서 광처리기술등 요소기술 및 응용분야관해서도 검토를 하고 있다.

광솔리톤통신은 소형이면서 1.5 μ m대의 광통신에 적합한 EDFA를 실용화시킬려고 노력하고 있다. 집중형의 광증폭에도 솔리톤전송을 이용하고자 한다. 이미 광에 의한 다중/분리 등은 선진국에서는 많은 성과를 올렸다. 멀지 않아서 EDFA를 이용한 수십 Gb/s의 전송속도로 1000km 이상 광솔리톤전송을 할 수 있는 기술도 개발되고, 테라비트통신을 향해서도 발전할 것이다.

우리나라는 광통신기술이 아직은 걸음마 수준이지만, 21세기에는 고도정보화사회로 발전하여 슈퍼컴퓨터와 거미줄과 같은 통신망이 유기적으로 연결되어 정보망의 변화에 따른 INFRASTRUCTURE 기능을 갖는 시스템을 구축하여야 할 것이다. 광기술과 정보처리기술이 현재 이상으로 불가결한 요소기술이므로 가능한 빨리 고도정보화 사회에서 필요한 요소기술을 구사한 새로운 서비스를 제공함으로써 새로운 산업의 창조와 복지사회 건설로 새로운 문화의 구축이 기대된다. 따라서 초고속 초장거리 광통신기술, 광소자기술 등의 분야가 더욱 활성화되어 차세대의 고도정보화사회의 Infrastructure가 될 선진기술의 조기

축적과 새로운 기술개발이 이루어질 수 있는 정력적인 연구개발이 절실히 요구된다.

참 고 문 헌

1. J.S.Russell, "Report of The Committee on Waves," Report of the 7th meeting of British Association for the Advancement of Science, p.417, 1838.
2. A.Hasegawa and F.Tappert, "Transmission of Stationary Nonlinear Optical Pulses in Dispersive Dielectric Fibers," I. Anomalous dispersion, Appl. Phys. Lett., 23, No.3, pp.142-144, 1973.
3. B.Wedding and T.Pfeiffer, "20Gb/s Optical Pattern Generation Amplification and 115km Fiber Propagation Using Optical Time Division Multiplexing," ECOC '90, pp.453-456, 1990.
4. S.Kawanishi et al., "100Gb/s 50km Optical Transmission Employing All-Optical Multi/Demultiplexing and PLL Timing Extraction," Tech. Dig. OFC'93 (Conf. Optical Fiber Communication), Postdeadline Papers PDP2, 1993.
5. "Submarine Systems in the Asia-Pacific Region," Asian Comm., Vol.7, No.3, pp.31-34, Mar. 1993.
6. J. Augé et al., "Progress in Optical Amplification," Microwave Journal, Vol.36, No.6, pp.62-74, Jun., 1993.
7. S.S.Wagner, "Optical Amplifier Applications in Fiber Optic Local Networks," IEEE Trans. Commun., Vol. 35, No.4, pp.419-426, Apr. 1987.
8. H.Masuda and A.Takada, "High Gain Two-Stage Amplification with Erbium-Doped Fiber Amplifier," Electron. Lett., Vol.26, No.10, pp.661-662, May 1990.
9. B.Wedding et al., "5Gb/s Transmission over 146km using Erbium-doped Fiber Amplifier," ECOC '89, Göttingen, pp.86-89.
10. H.Tagata et al., "IM-DD Four-Channel WDM Transmission Experiment over 1500km Employing 22 Cascaded Optical Amplifiers," Electron. Lett., Vol. 29, No.5, pp.485-486, Mar. 1993.
11. K.Nakagawa et al., "Trunk and Distribution Network Application of Erbium Doped Fiber Amplifier," IEEE J. Lightwave Tech., Vol.9, No.2, pp. 198-208, Feb. 1991.
12. H.Takara et al., "A Highly Efficient Two-Stage Er³⁺ Doped Optical Fiber Amplifier Employing an Optical Gate to Effectively Reduce ASE," IEEE Photon. Tech. Lett., Vol.4, No.3, pp.241-243, Mar. 1992.
13. J.F.Massicott et al., "Efficient, High Power, High Gain, Er³⁺ Doped Silica Fibre Amplifier," Electron. Lett., Vol.26, No.14, pp.1038-1039, Jul. 1990.
14. G.Grandpierre et al., "252km Repeaterless 10Gbit/s Transmission Demonstration," IEEE Photon. Tech. Lett., Vol.5, No.5, pp.531-533, May 1993.
15. P.M.Gabla et al., "401km, 622Mbit/s and 357km, 2.488Gbit/s IM/DD Repeaterless Transmission Experiments Using Erbium-Doped Fiber Amplifiers and Error Correcting Code," Topical Meeting on Optical Amplifiers and Their Application, PD15, 1992.
16. P.M.Gabla et al., ECOC/IOOC'91, Postdeadline Papers PDP4, pp.72-75, 1991.
17. D.K.Hunter and D.G.Smith, "New Architectures for Optical TDM Switching," IEEE J. Lightwave Tech., Vol.11, No.3, pp.495-511, Mar. 1993.
18. B.H.Verbeck et al., "Integrated Four-Channel Mach-Zehnder Multi/Demultiplexer Fabricated with Phosphorous Doped SiO₂ Waveguides on Si," J. Lightwave Tech., Vol.16, No.6, pp.1011-1015, Jun. 1988.
19. I. Januar and A.R.Mickelson, "Dual-Wavelength ($\lambda = 1300-1650\text{nm}$) Directional Coupler Multiplexer-Demultiplexer by the Annealed-Proton-Exchange Process in LiNbO₃," Opt. Lett., Vol.18, No.6, pp. 417-419, Mar. 1993.
20. E.L.Goldstein et al., "Inhomogeneously Broadened Fiber-Amplifier Cascade for Wavelength-Multiplexed Systems," IEEE Photon. Tech. Lett., Vol.5, No.5, pp.543-545, May 1993.
21. M.Kao and J.Wu, "Extending Transmission Distance of High-Density WDM Systems Using Post Transmitter Fiber Raman Amplifiers," IEEE J. Lightwave Tech., Vol.9, No.3, pp.394-399, Mar. 1991.
22. S.M.Shirokov, "The Statistical Characteristics of Soliton Optical Communications Systems," Telecommunications and Radio Engineering, Vol.47, No.5, pp. 36-40, May 1992.
23. 岩月勝美 外, "超高速光ソリトン傳送技術," NTT R&D, Vol.42, No.5, pp.651-660, 1993.
24. D.M.Patrick et al., "Bit Rate Flexible All-Optical Demultiplexing Using a Nonlinear Loop Mirror,"

- Electron. Lett., Vol.29, No.8, pp.702-703, Apr. 1993.
25. T.Morioka et al., "Ultrafast Polarisation-Independent Optical Demultiplexer Using Optical Carrier Frequency Shift through Crossphase Modulation," Electron. Lett., pp.1070-1071, 1992.
 26. P.A.Andrekson et al., "32Gb/s Optical Soliton Data Transmission over 90km," IEEE Photon. Tech. Lett., pp.76-79, 1992.
 27. S.Kawanishi et al., "64 to 8Gb/s All-Optical Demultiplexing Experiment with Clock Recovery Using New Phase Lock Loop Technique," Electron. Lett., Vol.9, No.2, pp.231-233, Jan. 1993.
 28. L.F.Mollenauer et al., "Demonstration of Error-Free Soliton Transmission over More Than 15000km at 5Gb/s, Single Channel, and over More Than 11000km at 10Gb/s in Two-Channel WDM," Electron. Lett., pp.792-794, 1992.
 29. M.Nakazawa et al., "10Gbit/s Soliton Data Transmission over One Million Kilometers," Electron. Lett., Vol.27, No.14, pp.1270-1272, Jul. 1991.
 30. A.D.Ellis et al., "Transmission of True Single Polarisation 40Gbit/s Soliton Data Signal over 205km using a Stabilised Erbium Fiber Ring Laser and 40 GHz Electronic Timing Recovery," Electron. Lett., Vol.29, No.11, pp.990-992, May 1993.
 31. K.Iwatsuki et al., "80Gb/s Optical Soliton Transmission over 80km with Time/Polarization Division Multiplexing," IEEE Photon. Tech. Lett., Vol.5, No. 2, pp.245-2485, Feb. 1993.
 32. 광기술동향조사보고서Ⅷ, 일본광산업기술진흥협회, 1992.

이 보 영

- 1978년 3월 ~ 1985년 2월 : 고려대학교 물리학사
- 1987년 4월 ~ 1989년 3월 : 오사카대학 물리계석사
- 1989년 4월 ~ 1992년 3월 : 오사카대학 물리계박사
- 1978년 7월 ~ 1981년 4월 : 군복무
- 1984년 12월 ~ 1985년 12월 : 삼성정밀연구소
- 1986년 4월 ~ 1987년 3월 : 오사카대학 연구생
- 논문, 특허등 주요연구 및 특기사항 :
박사논문 : "초고속 전기광학변조기/편향기와 그를 이용한 초단광펄스 생성에 관한 연구"
- 특허 : 1. Beam Splitter를 이용한 Pick-UP 광학 시스템 (삼성정밀 연구소 근무시)
2. 반도체레이저의 Alignment법 (삼성정밀 연구소 근무시)
- 연구활동분야 :
광솔리톤 전송 시스템 기술개발
광주파수다중(WDM)전송 시스템 기술 개발