



초고속 광전송기술 발전동향

심창섭

(삼성전자(주) 전송연구그룹장(이사))

1. 서론

1.1 개요

광통신기술은 통신기술의 발달과정에서 1960년대에 등장한 새로운 통신기술로 몇단계의 기술혁신을 거쳐 현재에 이르러는 보편화된 통신기술로 자리잡아 가고 있으며 2000년대 정보화 사회구축을 위한 핵심기술로 인식되고 있다. 이러한 광통신의 기본원리는 다음과 같다. 즉 우리가 통신에서 주로 이용하는 전화, 테이타, 영상정보등은 아날로그 또는 디지털 신호로서 이 신호들은 다중화및 변조과정을 거쳐 고속전기신호를 구성하며, 이 고속전기신호를 광신호로 변환하는 반도체 레이저(LD : Laser Diode)에서 고속광신호로 변환된다. 이광신호는 전송손실이 매우 적은 광매체인 광섬유를 통해 40km - 100km 정도를 무중계로 전송된다. 전송된 미약한 광신호는 광검출기(PD : Photo Diode)에서 전기신호로 변환된 후 복조및 역다중화과정을 거쳐 원래의 정보로 재현된다.

이러한 광통신원리를 이용한 광전송 기술은 기존의 동축이나 마이크로웨이브 전송기술에 비해 우수한 전송특성을 갖는다. 즉 광섬유가 가지는 거의 무한대의 전송대역폭(Bandwidth), 광소자의 높은 변조특성을 이용하여 현재에도 이미 10Gb/s급의 고속전송이 가능하며 2000년대 초반에는 수백 Gb/s급의 전송장치가 개발될 것으로 예상된다. 따라서 광전송기술은 현시대에 가장 경제적이고 신뢰성있는 통신수단으로 인식되고 있으며 초고속 정보 통신망 구축의 핵심기술이 될것으로 예측된다. 이에 광전송기술의 발달과정, 차세대 광 전송기술및 응용사례등을 살펴보고자 한다.

1.2 광전송기술의 발전과정

광전송 발달과정을 알기위해서는 광전송이 나타나기 이전의 통신기술의 환경을 알 필요가 있다.

본격적인 전기통신의 효시라 불리는 전기기술은 1830년대 Morse에의 발명되었으며, 이는 모오스 부호(짧고, 긴 전

기신호의 결합으로 숫자및 문자를 전송)를 이용한 디지털방식으로 전송속도는 10b/s 넘지 못하지만 연속중계를 통해 수천 km까지 전송이 가능해 1876년부터는 대서양횡단전신케이블이 운영될 수 있었다. 1876년 A.G. Bell이 발명한 전화는 연속적으로 변하는 음성전류신호를 직접 전송하는 아나로그 방식으로 이 방식은 근대 전기통신의 발전의 기본이 되었으며 이기술을 이용하여 범세계적인 전화통신망의 구축도 가능해졌다.

이러한 전화통신망에 초기의 실선케이블(Twisted pair cable)대신 새로운 동축케이블기술이 사용되면서 전송용량이 크게 늘어 1940년경에는 음성 300회선용량의 3 MHz 동축 전송기술도 출현하였다. 그러나 이 동축시스템도 고주파에서의 손실증가로 크게 대역폭을 넓힐 수 없었다. 이를 극복하기 위해 개발된 방법이 수 GHz 대의 전자파를 변조하여 통신하는 마이크로웨이브(M/W) 무선전송기술이다.

이러한 M/W전송은 전송거리를 10 - 20km정도로 넓힐 수 있었으나 반송주파수가 낮아 전송대역폭은 100 Mb/s수준을 넘을 수 없었다.

보통 전송시스템의 성능은 전송속도(B : b/s) x 전송거리(L : km) = B.L(b/s · km)로 표시하는데 그림 1은 전기통신 기술 발달의 따른 전송능력(BL)을 년도별로 도시한 것이다. 1970년대까지 꾸준한 기술발전에도 불구하고 전기통신방식의 성능은 100Mb/s · km 수준을 넘지못하였고 기술적 한계에 부딪쳐 있었다. 이러한 전기통신의 한계는 광전송기술이라는 새로운 기술에 의해 극복되었으며 획기적 발전을 이룩할수 있었다.

그림 2는 1974년 이후 광전송 시스템의 발달과정을 보여주고 있는데 약 20년동안 성능(BL)이 약 $10^3 - 10^4$ 배 정도 향상되었음을 알 수 있다. 이러한 광전송시스템의 실제적용은 우선 통신량이 많은 대도시간 전송로나 해저 케이블분야에 활용되었는데 최초의 광전송시스템(보통1세대 광전송이라 분류)은 1975년 전후로 0.8um GaAs 레이저와 다중모드 광섬유를 이용해 개발되었으며, 전송속도는 50Mb/s - 100Mb/s, 중계거리는 10 km 정도로서 BL은 500Mb/s.km 정도이다. 이때의 중계거리 10km는 동축케이블 전송의 1 km

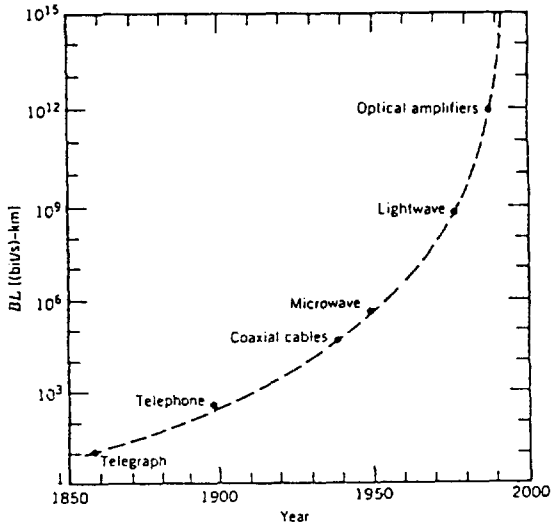


그림 1. 전기통신기술의 발전추세

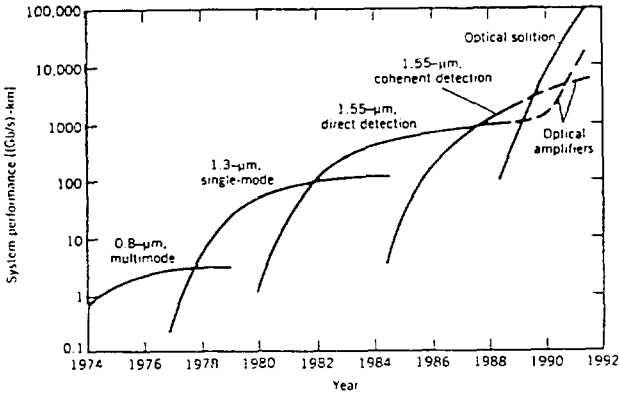


그림 2. 광전송기술의 발전추세

보다 상대적으로 매우 긴 것으로 증계기 설치 및 유지 비용이 크게 절감되어 혁신적 기술로 받아들여졌다.

그 후 1977년 파장 1.3μm의 장파장 InGaAsP 레이저가 개발되어 전송 손실이 1dB/km 이하의 장파장 영역을 이용하는 2세대 광전송 시대가 열리게 되었다. 그러나 초기의 2세대 광전송은 다중모드 광섬유를 이용하였으므로 다중모드 광섬유의 모드 분산 때문에 전송 속도는 100Mb/s를 넘지 못하였으나 단일모드 광섬유가 개발되면서 전송 속도는 500Mb/s급을 거쳐 1987년에는 1.6Gb/s 시스템까지 급속히 증가하였다.

단일모드 광섬유의 경우 1.3μm에서의 손실은 0.5dB/km 정도로 1.55μm에서의 0.2 dB/km 보다 매우 커서 증계거리가 줄어든다. 그러나 1.55μm 광원을 쓰는 경우에는 분산이 크므로 (18ps/nm.km) 고속신호를 장거리 전송하면 분산에 의해 증계거리가 제한을 받는다.

이러한 문제를 해결하기 위해 광섬유 분야에서는 1.55μm 영역에서 손실도 최소이고, 분산도 최소가 되는 분산전이 광섬유(Dispersion Shifted Fiber)를 개발하였으며, 광소자 쪽에

서는 기존의 선폭 4nm의 Fabry-Perot형 다중모드 레이저 다이오드(LD) 대신 선폭 1nm 이하의 DFB-LD를 개발하였다. 이러한 기술을 이용한 1.55μm 파장의 광전송 시스템을 3세대 광전송 시스템으로 분류하며 보통 BL이 500 Gb/s · km 정도를 갖는다.

현재 개발 중인 대부분의 시스템은 3세대 시스템으로 전송 속도 10 Gb/s 정도의 광전송 시스템이 세계 각국에서 개발 중에 있으며 이 정도가 광전송 관련 소자들의 성능 한계도를 고려할 때 3세대 광전송 기술의 한계로 보여진다.

이러한 기술적 한계를 극복하기 위해 최근에 새로이 대두 되는 차세대 광전송 기술로는 초장거리 전송이 가능한 광증폭 및 Soliton 기술과 여러 파장의 광신호를 1개의 광섬유에 전송하여 광대역 전송을 가능케 하는 파장분할 다중 방식(WDM : Wavelength Division Multiplex) 등이 연구되고 있다.

2. 차세대 광전송 기술

2.1 광증폭 기술 및 Soliton 기술

기존의 광전송 방식에서의 증계 장치는 광신호를 전기신호로 변환하고 전기적 증폭 및 신호 재생 과정을 거쳐서 다시 광신호로 변환하여 송신하게 된다.

이에 비하여 새로운 광증폭 방식은 광전, 전광 변환 없이 광을 광으로 직접 증폭하는 방식으로 복잡한 증계기를 간단히 대체할 수 있다. 광증폭 방식은 반도체 소자를 증폭 매체로 사용하는 반도체 증폭 방식과 Er(Erbium)이 첨가된 광섬유를 이용하는 광섬유 증폭 방식이 있다.

반도체 증폭기는 대역폭이 넓고 소자의 응용이 다양할 수 있는 장점이 있으나 이득의 편광 의존성 등 문제점이 있어 통신 시스템에 응용이 제한되고 있다. Er이 첨가된 광섬유를 이용한 증폭 방식(EDFA : Er-Doped Fiber Amplifier)은 기본적으로 전송용 광섬유와의 결합 손실이 작고 전송 특성도 우수해 전송 시스템에 응용이 용이하다. 따라서 전송 시스템용으로 국한할 때의 광증폭 방식으로서 광섬유 증폭 방식이 유력시 되고 있다.

그림 3은 EDFA의 광 증폭 원리 및 증폭 특성을 보여 준다. 그림에서 보듯이 광 섬유를 통해 입사된 미약한 광 신호는 EDF(Er-Doped Fiber)에서 Pumping Laser에너지를 받아서 증폭된 광신호로 출력된다. 이는 기존의 Transistor의 증폭 원리와 유사하다. 증폭되는 파장 영역은 1520nm ~ 1560nm 정도이다.

EDFA는 전송 속도와 전송 방식에 무관한 증폭 특성을 지니므로 어떤 방식의 전송 시스템에라도 광 신호 전력을 높이기 위한 목적으로 사용 가능하며, 그 위치에 따라 광 송신부에서는 송신되는 광 출력을 높이기 위한 광후치 증폭기(광 출력 booster), 광 전송로에서는 reshaping 기능을 갖는 IR 광 증계기, 광 수신부에서는 수신 감도를 높이기 위한 광전치 증폭기(optical preamplifier)로 동작된다. 이로써 손실 문제를 궁극적으로 극복할 수 있게 되자, 최근의 광전송 시스템의 구조

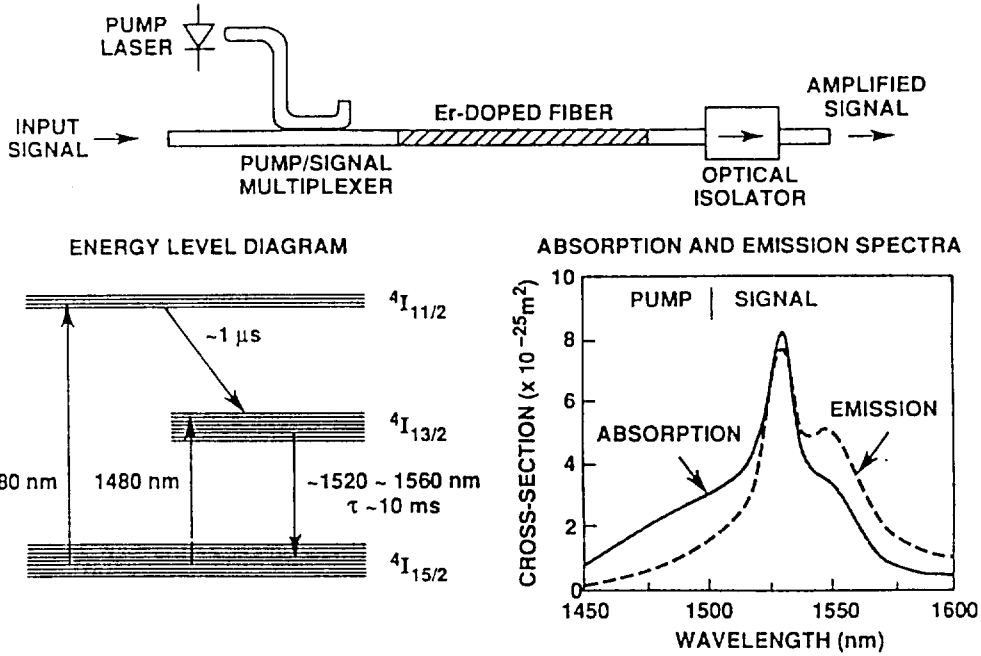


그림 3. 광증폭기의 증폭원리 및 특성

에도 근본적인 변화가 오고 있으며 모든 광전송방식의 성능이 동시에 괄목하게 향상되고 있는 추세이다.

장거리 전송의 경우, 그림 4-a에서 보듯이 3R기능 즉 reshaping, retriming, regenerating의 기능을 갖는 기존의 전자식 재생형 증폭기에 의존하던 기존의 증계장식이 송수신단에는 광후치 및 광전치증폭기를 사용하고, 전송로 구간에는 광 증계기를 사용하는 방식으로 변화하여, 전송속도 및 전송방식이 바뀔 때마다 교체 되어야 하며 고속화 될 수록 개발이 어려워지는 전자식 증계기의 수를 대폭 줄이거나 없앨 수 있게 되었다. 비교적 단거리인 도시간 및 육지간 전송의 경우, 송수신 단에서만 광증폭기를 사용하고 그 사이에는 증계기 없이 전송하는 무증계전송도 가능하게 되었다.

이러한 EDFA 기술은 최근 몇년 사이에 급속한 발전을 이룩하여 이를 이용한 다양한 시스템개발이 진행되고 있는데, 95년 설치예정인 대서양횡단 TAT - 12 해저케이블시스템은 5 Gb/s 신호를 200여개의 EDFA 증계기를 통해 8,000km를 증계전송할 예정이다.

Soliton기술은 광섬유의 장파장 대역에서 강도가 높은 초단펄스가 광섬유내로 전송될 때, 광섬유의 분산(dispersion) 효과가 광섬유의 비선형 효과에 의해 상쇄됨으로써 초단펄스의 폭이 그대로 유지된 채 전파되는 원리를 이용한 새로운 광전송방식이나, 최근 soliton 전송의 주요 연구목표는 광섬유 증폭기술을 이용해 광섬유의 손실과 분산을 동시에 보상하여 줌으로써 초고속 신호의 초장거리 전송을 구현하는 것이다. 초기에 soliton 전송은 극초단펄스생성법 광섬유손실을 보상하는 광증폭방법등에 어려움이 있었으나 최근에 반도체 레이저를 이용한 극초단 펄스 생성법과 EDFA 광증폭기가 개발되어 soliton전송기술이 급속히 발전되고

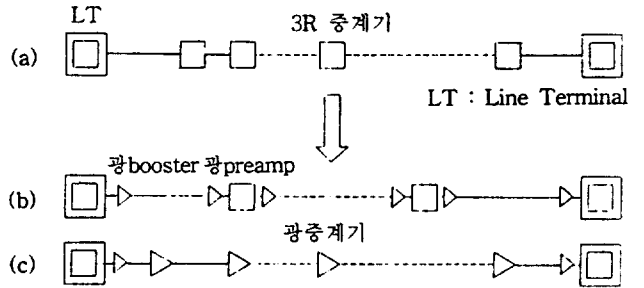


그림 4. EDFA를 이용한 장거리 광전송 시스템

- (a) 전기식 3R증계기만 사용하는 경우
- (b) 광 booster 및 광 preamp를 사용하는 경우
- (c) 광 증계기만을 사용하는 경우

있다. 이 분야연구는 최근 10Gb/s 신호 1,500 km 전송과 20 Gb/s신호 1,000 km 전송실험이 보고되는등 Soliton 기술이 성숙되고 있음을 알 수 있다.

2.2 파장분할다중기술

파장분할 다중방식은 광섬유의 저손실대역을 파장분할하여 사용하는 것이다. 단일모드 광섬유의 저손실대역을 주파수로 환산하면 약 30THz의 대역을 얻을 수 있다. 이를 완전히 이용하기 위해서는 광펄스의 폭이 수십 femto sec 크기 이어야하나 수십 femto sec 크기의 펄스는 아직 실용적이지 못하므로 파장분할다중방식을 통해 이를 활용하는 것이 효과적이다. 또한 광섬유 증폭기의 개발로 파장분할다중 및 역다중시 발생하는 손실을 보상할 수 있을 뿐 만 아니

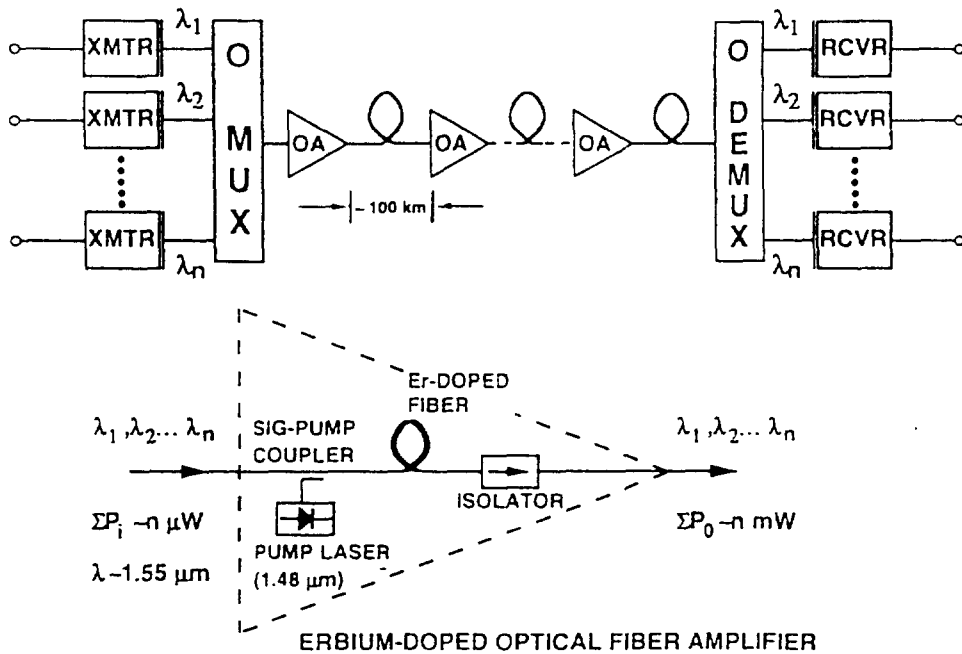


그림 5. 광증폭기를 이용한 WDM전송

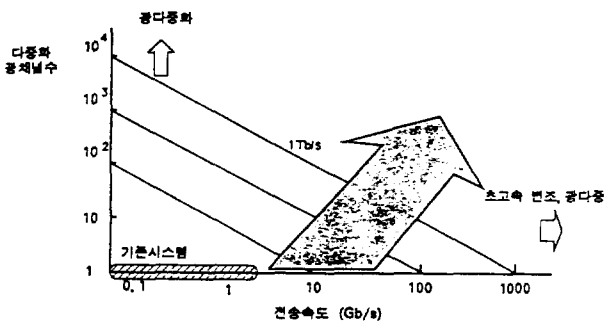


그림 6. WDM을 이용한 초고속/대용량화 추세

(waveguide grating)의 스펙트럼 특성은 시스템설계에서 고려할 중요한 사항이다. 특히 다중/역다중부에서 채널결합/분리를 위해 사용될 도파로회절격자는 제조기술이나 DFB 레이저 어레이 기술이 보편화될 경우 파장분할 다중시스템은 본격적인 개발이 가능할 것이며 이 기술을 통해 총전송용량이 수백 Gb/s 되는 전송시스템도 개발가능할 것이다.

그림 6은 WDM을 이용한 초고속 대용량 광 전송시스템의 개발 추세를 보여준다. 그림에서 보듯이 10Gbps급 이상의 초고속 전송을 위해서는 WDM기술의 도입이 불가피 할 것이다.

3. 광전송기술의 응용

현재 광전송기술의 적용이 가장 활발히 이루어지는 분야는 공중통신망의 전화국간 또는 도시간을 연결하는 장거리 전송로나, 대륙간을 연결하는 해저 광케이블분야이며, 또 최근에는 각 가정에까지 광섬유가 연결되는 광가입자망에의 응용이 확대되고 있다.

일반적으로 전송망을 구분하면 주로 국간전송을 위주로 하는 장거리 전송망과 가입자망으로 나누어 생각할 수 있다. 국간전송이란 전화국과 전화국간의 대용량 전송을 의미하는 것으로서 개개 가입자들로 부터의 신호를 큰다발로 묶어 정보의 종착점에 가장 가까운 전화국까지 전송하는 것이며 대개 중간에 여러개의 중계기를 필요로 하는 장거리인 경우가 많다. 따라서 중계기간 간격이 넓을수록, 초당 전송용량이 클수록 경제적인 시스템이 된다. 장거리 전송망의 특수한 경우로서 해저 케이블 시스템이 있는데 태평양의

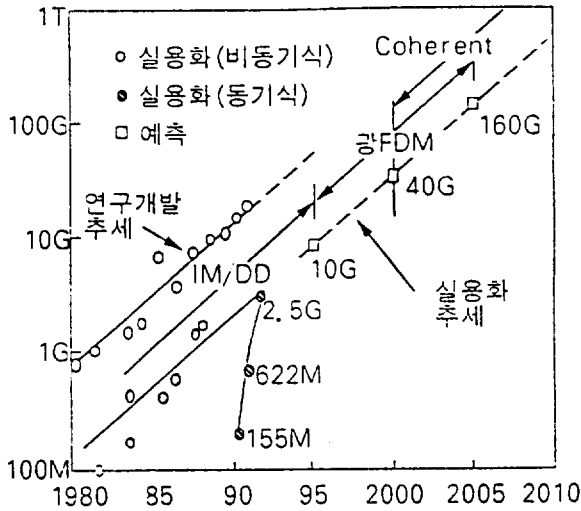


그림 7. 광전송시스템의 연구개발 추세

나 대서양등의 대양을 횡단하는 초장거리 전송시스템이다.

한편 가입자망이란 전화국과 각가정의 가입자간을 연결하는 통신망이다. 국내의 경우 대부분의 시내시외의 국간전송이 이미 광화되어 있는데 비하여 가입자망은 기술적 경제적으로 고려되어야 할 점들이 많고 아직은 통신서비스가 전화(음성)위주인 고로 기존의 동선만으로 충분하므로 광화 초기계획단계에 머물고 있다. 그러나 광가입자망 분야는 본고에서 언급하지 않는다.

3.1 국간전송기술

국간전송의 경우 지난 약 15년간 꾸준히 광전송화가 진행되어 현재 대부분의 통신 선진국들은 전국규모의 광선로망을 구축하고 고속광전송시스템을 운영하고 있다.

미국의 경우 전국 약 5만 6,000km 이상의 구간에 광케이블을 설치하고 90Mb/s(전화1344회선용량), 417Mb/s, 1.7Gb/s 및 2.5Gb/s 광전송장치를 지속적으로 개발대체하면서 사용하고 있으며, 일본, 유럽들도 유사한 광전송망을 구축하여 사용하고 있다.

국내에도 한국통신이 약 6,500km 이상의 전국도시구간에 광케이블을 설치하였으며 국내 기술진들이 개발한 90Mb/s, 565Mb/s 광전송장치를 설치하여 운영중에 있고 또 2.5Gb/s 광전송장치도 개발완료단계에 있어서 광전송에 관한한 상당히 선진국대열에 있는 셈이다.

앞으로도 광전송시스템의 용량은 계속 증가할 것이다. 그림 7은 광전송의 실용화 추세를 보여주고 있는데 보는 바와 같이 전송용량은 매 5년당 4배꼴로 증가하는 추세에 있으며 전송거리(중계기간 거리)도 급격히 늘어나고 있다. 앞으로도 이러한 현상은 새로운 광전송기술의 도입을 통해 더욱 가속화 될 것이다.

국내의 경우에도 전송용량이 2.5Gb/s의 각각 4배, 40배되

는 10Gb/s와 100Gb/s 전송시스템개발이 HAN - BISDN의 국가 프로젝트에 이미 반영되어 개발중에 있다. 이중 10Gb/s 시스템은 기존의 시분할 방식(TDM)에 광 증폭기술을 도입한 시스템으로 1996년까지의 개발완료할 예정이다. 100Gb/s 시스템은 파장분할다중방식(WDM)을 이용하여 10Gb/s 신호 10채널을 묶어 100Gb/s 용량의 전송시스템을 개발하는 것이다.

3.2 해저 광케이블 시스템

해저광케이블 분야는 전송거리가 매우 길어 광전송 기술의 활용이 가장 효과적인 분야로서 광전송기술개발 초기부터 활용연구가 지속적으로 추진되어왔다. 해저 케이블 시스템을 케이블과 중계기가 수천 m의 심해 바닥에 영구히 포설되므로 사고가 발생할 경우에 수리가 매우 힘들어 시스템의 신뢰성이 생명이다. 또한 중계기들을 동작시키기 위한 전원공급도 문제가 된다. 이를 위해 수천 km 떨어진 양 단국에서 수천 volt의 고압전류를 흘려주고 해저 중계기는 장거리로 오는 동안에 약화된 전압의 일부분을 사용하는 것이다. 시스템의 유지보수도 문제로서 해저에 가라앉은 상태의 수많은 무인중계기와 케이블상태를 언제나 파악하고 유사시에 예비채널을 가동할 수 있어야 한다.

해저 광케이블 시스템은 대서양 횡단용으로 1988년 최초로 설치되었다. 이를 TAT - 8(Trans Atrantic Telephone system)이라 부르며 그 이후로 각국에서 다투어 해저 광케이블을 설치하여 운영중에 있는데 그림 8은 세계 각국에서 현재 운영중이거나 설치예정인 해저 광케이블 시스템의 구간도이다.

최근 한국통신은 이러한 국제공동의 해저케이블사업에 적극 참여하고 있는데, HJK(홍콩-일본-한국연결), RJK(소련-일본-한국연결)사업참여는 물론 최근에는 지중해, 인도양, 극동지역을 연결하는 FLAG(Fiber optic Link Around the Globe)사업에도 참여를 서두르는 등 국제통신망 확충에 노력하고 있다. 국내용으로는 제주 - 고흥간에 280Mb/s속도의 해저케이블이 설치운용하고 있으며, 육지 - 울릉도를 연결하는 해저케이블도 설치중에 있다.

미래의 해저 광케이블 시스템에서 촉망받는 기술은 광증폭과 soliton 기술이다. 해저 시스템에서는 중계기의 수를 하나라도 줄일 수 있다면 시스템 전체의 경제성과 신뢰성 향상에 큰도움이 된다. 따라서 중계기 간격을 늘여야 하고, 특히 전력소모가 크고 복잡한 기존의 재생형 중계기를 단순한 광증폭기로 대체할 수 있다면 매우 바람직하다. 실제로 재생형중계기를 사용하지 않고 200여개의 Er 광섬유 증폭기만을 사용하여 태평양을 횡단하는 시스템이 1995년에 설치되어 서비스에 들어갈 예정으로 있다.

현재 개발 사용중인 해저 케이블 시스템의 전송속도는 5Gb/s정도이나 여기에 WDM기술을 적용할 경우 수년내에 수십 Gb/s용량으로 확장이 가능할 것이다. 이러한 해저 광케이블 시스템분야는 위성통신과 함께 이중화된 국제통신

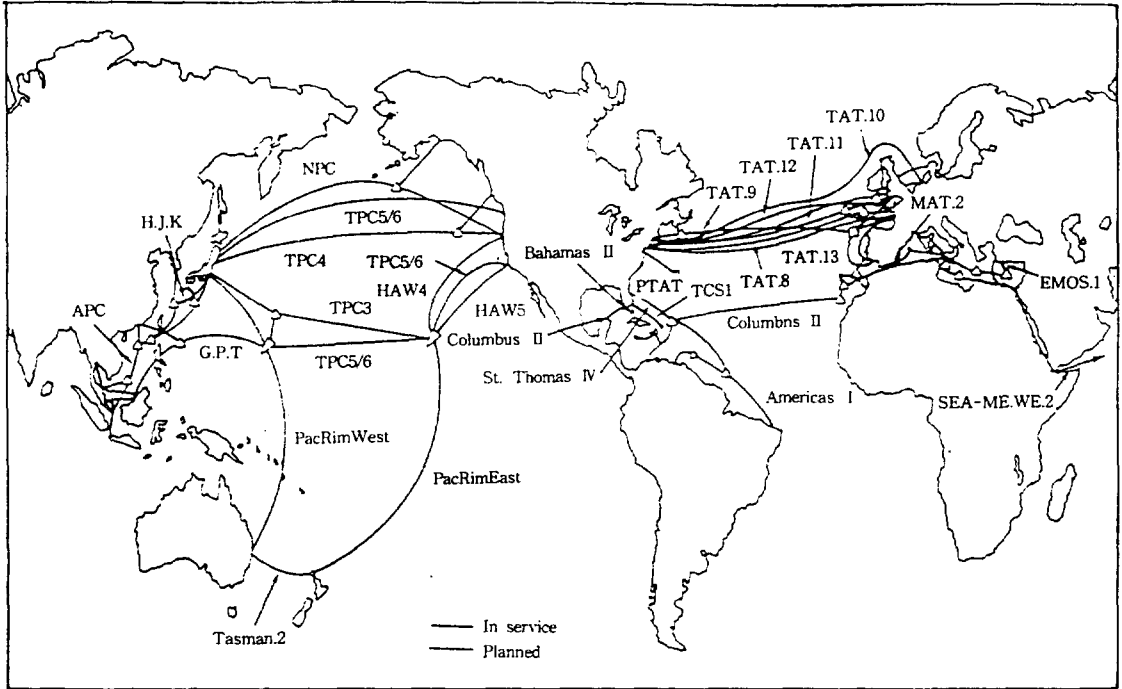


그림 8. 각국의 해저케이블 구간도

망을 구성함으로써 국제통신의 신뢰도를 크게 향상시킬 것이다.

4. 결 언

이 글에서는 광전송기술의 발전과정, 향후전망 및 응용사례 등을 살펴보았다.

광전송기술은 현재의 통신망에서도 매우 중요한 역할을 수행하고 있을 뿐만 아니라 2000년대 정보화 사회 구축을 위해서도 필수적인 기술로 인식되고 있다.

우리나라는 지난 15년동안 국책연구소 및 관련 기업들의 주문한 연구개발 활동결과로 광전송기술이 상당한 수준에 도달해 있으며, 현재 향후 5 - 6년 정도 집중적인 연구활동이 지속적으로 추진된다면 국내 광전송기술은 선진국수준에 도달할 수 있을 것이다.

따라서 이러한 기술기반을 토대로 지속적인 연구개발이 이루어지면 정부 주도로 추진중인 초고속 통신망 구축의 중요분야인 전송망 구축을 국내기술로 해결할 수 있을뿐만 아니라 유망한 수출산업으로도 발전시킬 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] 이창희, 심창섭 "10Gbps급 이상의 광통신 기술동향," ETRI 주간기술동향 92-48.
 [2] 심창섭의 "광섬유 증폭기술 동향," ETRI 주간기술 동향 92-21.

[3] Peter K. Runge, "Undersea Lightwave Systems," AT&T Technical Journal, pp5-13, Jan. 1992
 [4] M. Barrett, "The Challenge of Fiber in the Loop," IEEE LCS, pp12-16, Aug. 1990
 [5] K. Nosu et al, "100 Channel Optical FDM Technology and its Application to Optical FDM Channel-based Network," J. Lightwave Technol. vol.II, No.5/6, pp. 764-776, May/June, 1993
 [6] J. Johnson, "'95 OFC Tech. Digest," p.21, 1995

저 자 소 개



심창섭(沈昌燮)

1952년 5월 6일생. 1975년 2월 서울대 공대 응용물리학과 졸업. 1987년 8월 한남대 대학원 물리학과 졸업(석사). 1994년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과 졸업(공학박). 1975년 3월-82년 12월 국방과학연구소 광전자연구실 선임연구원. 1983년 3월-95년 10월 한국전자통신연구소 광통신 연구실장(책임연구원). 1995년 11월-현재 삼성전자(주) 전송연구그룹장(이사)