

광통신 시스템

沈昌燮, 姜玟鎬*

(正會員)

韓國電子通信研究所 光通信研究室長,
通信情報技術研究團 前任研究委員*

I. 서 론

광통신이란 기존의 전기통신에서 전기신호 대신에 빛을 전송 매체로 이용하는 통신 방식을 말한다. 이러한 광통신은 1960년 레이저의 발명과 1966년 영국의 Kao 박사팀이 제안한 통신용 유리섬유의 실현 가능성이 제시됨으로서 시작 되었다.^[1] 그 후 1970년 미국의 코닝(Corning)사가 1km당 전송 손실이 20 dB인 광섬유를 최초로 제조 하였고, 1976년에는 일본에서 파장 1300nm에서 손실이 0.5dB인 광섬유를 발표했으며, 1979년에 이르러서 석영계 광섬유의 손실 이론 한계치에 가까운 0.2dB/km(파장 1550nm)인 광섬유의 제조가 가능하게 되었다.

저손실 광섬유의 개발과 더불어 광통신시스템을 구성하는데 필수적인 발광소자인 반도체 레이저는 1970년 벨(Bell) 연구소에서 단파장 GaAlAs 레이저의 연속 발전에 성공한데 이어 1976년 미국과 일본 등지에서 장파장 InGaAsP/InP 레이저(발진 파장 1300nm)를 개발 했으며, 1980년대 초 종래의 단일횡모드 레이저와 달리 1300nm와 1550nm 대역의 단일종모드 레이저가 개발됨에 따라^[2] 광통신 분야에 비약적인 발전이 이루어지게 되었다. 또한 광검출기는 1970년대 초에 단파장 Si 검출기가 개발되었으며, 광원과 광통신시스템의 개발이 장파장 쪽으로 감에 따라 장파장 대역인 Ge 검출기가 개발되었으며, 최근에는 종래의 Ge 검출기보다 성능면에서 우수한 InGaAs 검출기가 상용화 하기에 이르렀다.

광섬유, 광원 및 광검출기의 비약적 발전으로 짧은 기간 동안에 광통신 기술은 실험실내의 수준을 벗어나 외국의 경우 현장시험을 거쳐 1980년대 초에는 32Mb/s 급의 광통신시스템을 상용화 하기에 이르렀

다. 국내에서도 1978년 한국전자통신연구소에서 6.3 Mb/s 광전송시험에 성공하여 이듬해 광전송시스템의 현장시험을 통하여 본격적인 국내의 광통신시스템 개발이 이루어지게 되었다.^[3]

이러한 광통신 기술은 광섬유의 저손실, 광대역성과 소자들의 넓은 동작범위를 이용하여 장거리 대용량 전송이 가능하고, 기존의 전송방식에 비해 경제적인 서비스가 가능하기 때문에 국간 중계, 해저 통신 및 광가입자망등 다양한 분야에 이용되고 있다. 특히 가입자망에 광통신 기술을 도입한 광가입자망은 전화, 화상 정보 및 각종 데이터를 동시에 주고 받을 수 있고, 장래의 종합정보통신망(ISDN) 구성에 바로 수용할 수 있기 때문에 유럽, 일본, 미국등 여러 국가에서 각 나라 특성에 맞는 시스템 기술 개발을 서두르고 있는 실정이나 무엇보다도 값싼 광섬유 제조 및 케이블링 그리고 저렴한 광소자의 개발이 요구되고 있다.

이상에서 본 바와 같이 광통신 기술은 전송분야에 보편화된 기술로 큰 비중을 차지함에 따라 국간중계 광통신시스템에의 응용뿐만 아니라 경제적이고 양질의 서비스가 가능한 새로운 응용 분야가 계속 도출되고 있다. 따라서 본 고에서는 광통신시스템을 구성하는 기본 요소와 기술 분야 및 동향을 살펴 보기로 한다.

II. 광통신 시스템의 구성 요소

앞에서 살펴본 바와 같이 광통신 시스템을 구성하는 기본적인 요소들로서 광섬유, 광원, 광검출기등을 들 수 있으며, 이 장에서는 각각의 특성에 대해서 알아보자

1. 광섬유

광통신에 사용되고 있는 광섬유는 그림 1에서 보는 바와 같이 코아와 클래딩의 굴절율 분포에 따라 계단형, 언덕형과 삼각형등으로 나눌 수 있으며, 전파하는 모드의 수에 따라 다중모드와 단일모드 광섬유로 구분된다. 다중모드 광섬유는 많은 모드가 동시에 전송되므로(모드간 간섭), 손실 및 분산 특성이 단일모드 광섬유보다 훨씬 뒤떨어지므로 단거리 소용량일 경우를 제외하고는 단일모드 광섬유가 주로 쓰인다. 현재 대부분의 장파장 광통신시스템에 사용되고 있는 석영계 단일모드 광섬유는 코아와 클래딩의 굴절율 분포에 관계없이 1550nm에서 이론적인 손실값이 최소이나, 색분산은 코아의 굴절율 분포에 따라 최소분산 파장이 달라진다. 따라서 기존의 1300nm 광원을 사용하는 시스템과 광섬유의 손실특성을

최대로 이용한 1550nm 광원을 사용하는 시스템을 고려해서 기존의 1300nm에서 손실이 최소인 계단형 단일모드 광섬유외에 1550nm에서 색분산이 최소인 dispersion shifted 광섬유 또는 1300~1550nm에서 색분산이 최소인 광섬유의 개발이 이루어지고 있다. 특히 dispersion-shifted 광섬유는 대량생산 단계에 있기 때문에 CCITT에서도 1300nm 광섬유와 더불어 특성 표준화 연구가 이루어지고 있다. 그러나, 실제 시스템에의 사용은 기존에 포설된 1300nm 광섬유에 1550nm DFB LD를 광원으로 이용하려는 연구가 동시에 이루어지고 있으나, 1550nm 광원의 가격이 떨어지고 대량 생산이 가능해지면 1550nm 대역의 광전송시스템에 dispersion shifted 광섬유가 사용될 것이며, 이러한 시스템은 장거리 무계중 전송이 필요한 해저 통신에 매우 유리하다. 그리고 코히어런트 통신에 사용할 수 있는 여러가지 형태 및 특성을 가지는 편극유지 광섬유의 개발 및 연구가 진행되고 있다.^[4]

끝으로 차세대 광섬유로 각광을 받고 있는 불화계 광섬유는 2~4μm 파장에서 10⁻²~10⁻³ dB/km의 이론적인 손실 특성을 가지고 있어서 석영계 광섬유보다 10배 이상의 무중계 전송이 가능하므로 대륙 및 대양횡단용으로 사용될 전망이다. 아직까지는 연구단계에 있다. 최근에 미국의 해양연구소에서 2.55μm 근방에서 손실이 약 0.5dB/km인 광섬유를 제조함으로써^[5] 불화계 광섬유의 미래를 밝게하고 있다.

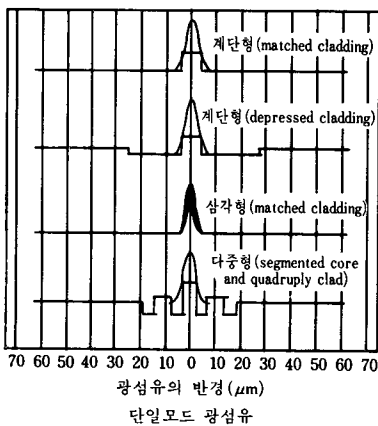
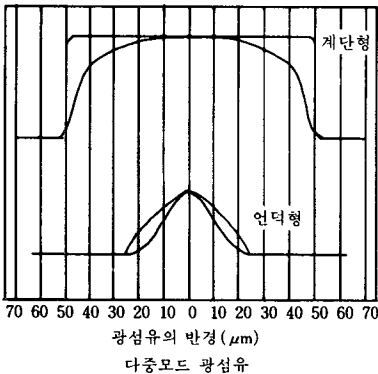


그림 1. 굴절율 분포에 따른 광섬유의 구조와 파위 분포

2. 광원(발광소자)

통신용 소자는 600~900nm 대역의 단파장 소자와 1000~1700nm 대의 장파장 소자로 구분할 수 있다. 발광소자는 크게 LD와 LED로 구분할 수 있다. LD는 도파로 구조에 따라 크게 이득 도파형과 굴절율 차이의 이용한 굴절율 도파형으로 분류하며 이득 도파형은 스트라이프(stripe) 형이 있고 굴절율 도파형은 현재 통신용 반도체 레이저의 대부분을 이루고 있으며 그 구조를 그림 2에 나타내었다. LED는 SLED(surface emitting LED)와 ELED(edge emitting LED)로 구분할 수 있으며, 그림 3에 그 예를 나타내었다.

LD의 특성은 고출력, 좁은 스펙트럼, 고속변조가 가능하기 때문에 장거리 대용량 광통신 시스템에 사용되며, LED는 소용량과 근거리 광통신 시스템에 사용되고 있다. 발광소자는 좋은 성능을 가지는 소자 제작도 중요하지만 무엇보다도 신뢰도가 중요하다. 현재 LD의 경우 10만 시간 이상의 수명을 요구

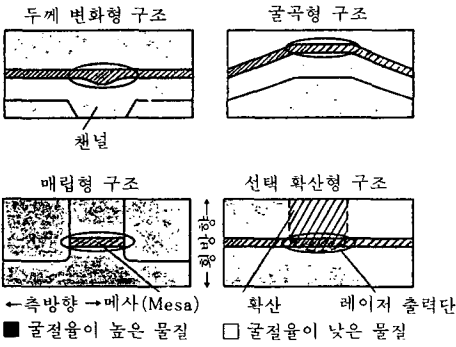


그림 2. 굴절율도파형 레이저의 구조

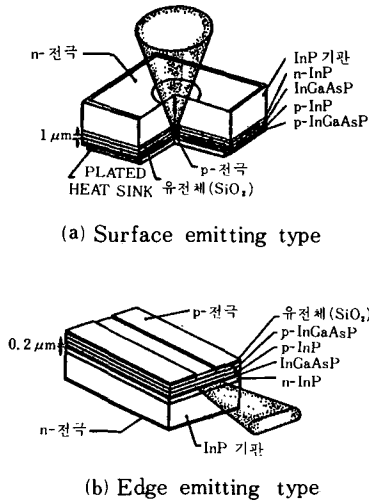


그림 3. LED의 구조

하고 있다. 그리고 광섬유와 항상 연결된 상태로 사용해야 하므로, 신뢰도에 영향을 끼치는 패키징(packaging) 기술도 중요한 부분에 속한다. 초기의 광통신 시스템은 GaAs 계의 단파장 광원을 사용하였으나, 석영계 광섬유가 1000~1600nm 영역에서 최저 손실 및 최소 분산 특성을 가지므로 InP 계의 장파장 광원쪽으로 연구개발이 진행되어 발전 파장이 1300nm인 InGaAsP/InP 레이저가 현재 광통신 시스템의 주종을 이루고 있으며, 해저 광통신, 대륙횡단과 같은 초고속 장거리 통신 및 코히어런트 통신을 위해 단일 횡모드 LD에서 단일종모드 LD의 광원이

개발되어 상용화된 단계에 있다. 단일종모드(또는 단일주파수) LD는 광섬유의 분산 특성을 최대한 이용할 수 있으므로 1300nm와 1550nm가 동시에 연구 개발되고 있으나 장래에는 1550nm 파장대가 유리할 것이다. 광가입자 및 단거리 통신을 위해서는 현재 LD 뿐만 아니라 경제성 문제를 고려해서 LED를 사용한 시스템의 실험도 진행되고 있다.^[6]

3. 광검출기(수광소자)

수광소자는 크게 APD와 PIN 형으로 구분할 수 있으며, 그림 4에 그 구조를 나타내었다.

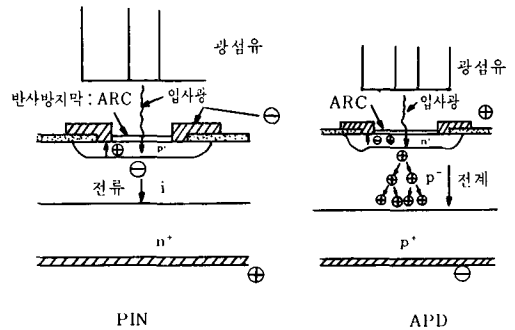


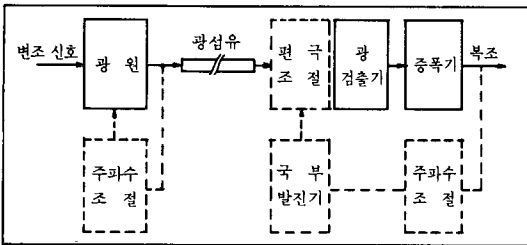
그림 4. 광검출기의 구조

수광소자는 단파장대의 Si, 장파장대의 Ge이 사용되고 있으며, 최근에는 장파장 영역에서 Ge 검출기보다 감도가 우수하고, 잡음이 적으며, 온도 특성이 우수한 InGaAs 계의 검출기가 개발되었다. 수광소자는 사용하는 광원과 시스템의 설계조건에 따라 거기에 맞는 특성을 가지는 검출기가 선택되는데, 단파장 시스템의 경우 Si, 장파장 대의 증용량 시스템에는 Ge검출기가 사용되고 있으나, 시스템이 점차 고속 대용량화 됨에 따라 종래의 Ge-APD는 암전류가 크고 잡음 특성이 좋지 않아 이보다 특성이 우수한 InGaAs/InP 검출기가 사용될 것이며, InGaAs APD의 경우 이득 대역폭(gain-bandwidth)이 60GHz의 성능을 가지는 것도 보고되고 있다.^[7] 한편, 최근에는 PIN의 경우 10GHz 이상의 차단주파수(cutoff frequency)를 가지는 검출기가 실험실 수준에서 보고되고 있으며, 광대역 특성을 가지도록 저잡음 특성을 가지는 FET(field-effect transistor) 증폭기와 결합

하거나 아예 하나의 기관위에서 제작을 해서 PIN의 성능을 향상시키는 방법도 연구중에 있다.⁶⁾

III. 변조방식

변조란(정보) 신호의 세기나 변위, 주파수 또는 위상등을 전송매체의 특성에 맞는 적합한 신호 형태로 변환하는 것을 말한다. 변조 방식에는 광의 세기를 직접 변조하여 그 강약의 신호를 전송하는 강도변조-직접 검파방식(IM-DD)과 광을 반송파로 사용하여 진폭, 주파수, 위상등을 변조하여 신호를 전송하는 코히어런트 방식으로 나눌 수 있으며, 그림 5에 IM-DD와 코히어런트 방식을 비교해서 나타내었다.



여기서, 점선은 코히어런트 방식때 첨가되는 부분임
그림 5. IM-DD와 코히어런트 방식의 비교

1. 강도변조-직접 검파방식

현재 실용화되어 사용되고 있는 대부분의 광통신 시스템은 이 방식으로 이루어져 있다. 그것은 필요한 광원의 특성이 광의 세기와 안정도 밖에 없고 전송 속도가 수백 Mb/s 이하에서는 광원의 특성을 규정할 필요가 거의 없기 때문이다. 또한 반도체 레이저의 구동전류에 신호전류를 중첩하여 용이하게 광신호를 얻을 수 있으며, PIN이나 APD로 광신호를 간단히 전기신호로 재생할 수 있다. 이러한 강도변조 방식을 아날로그와 디지털 변조로 구분해서 설명하면 다음과 같다.

아날로그 강도 변조는 그림 6에서와 같이 직접 강도변조(AM-IM)와 아날로그 신호를 FM, PFM, PDM, PWM, PIM등의 신호로 바꾸어 강도변조하는 방식으로 나눌 수 있다.

직접 강도변조는 하드웨어 구현이 제일 간단하므로 양호한 전송품질을 요구하지 않는 곳에 사용이 가

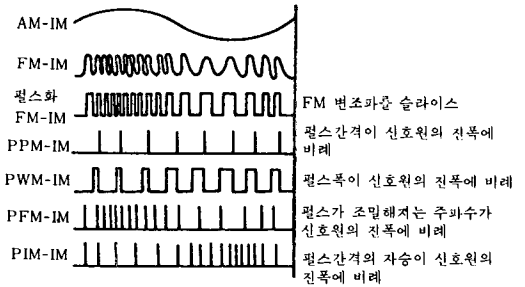


그림 6. 변조 파형의 예

능하다. 그러나, 나머지 변조방식은 대역폭이 넓게 되므로 고품질의 전송이 가능하다. 전송품질에서 특히 문제가 되는 것은 전송신호의 찌그러짐이다. 이러한 찌그러짐은 단일소자에 의한 것과 다른 구성요소와의 조합에 의해 발생하는 것이 있다. 전자의 경우 광원의 구동전류와 광출력 간의 비직선성에 기인한 것으로 LED가 LD보다 직선성이 좋으나, 소자 기술의 발달로 통신용 LED와 LD는 거의 같은 성능의 직선성을 가지고 있다. 후자의 예로서 LD의 출력광이 다중모드 광섬유를 전파할 때 LD의 코히어런트한 성질때문에 각 모드간의 간섭 스펙클이 발생한다. 이 스펙클은 LD의 온도변화에 의한 파장변화와 광섬유내에서의 전파모드 조건의 미세한 변화에 따라 흔들리게 된다. 이러한 흔들림이 모드 잡음으로 작용해서 전송신호의 찌그러짐을 발생시킨다.

디지털 강도 변조방식은 펄스 부호화에 의한 강도 변조(PCM-IM)가 일반적이다. PCM-IM은 아날로그 강도변조인 FM, PFM, PPM, PIM 등과 대역폭이 같은 정도이거나 그 이상이며 전송 품질면에서는 우수하다. 예로서, 아날로그 영상전송으로 양질의 화질을 얻기 위해서는 40~50dB의 신호대 잡음비(SN비)와 신호의 찌그러짐을 억압하는 것이 필요하지만 디지털 변조방식에 의하면 20dB 정도의 SN비만 확보하면 된다. 디지털 전송의 경우 재생 중계기에 의해 여러개의 중계기를 거쳐 장거리 전송을 하여도 각 중계기에서 발생하는 품질의 열화가 거의 없어서 고품질의 신호전송이 가능한 장점이 있다. 그러나 디지털 전송을 위한 변조회로를 실현하는데 많은 양의 회로가 필요한 단점이 있다. 그러나 LSI 기술의 진보에 따라 회로의 규모는 큰 문제가 되지 않게 되었다. 따라서 디지털 전송기술의 경우는 아날로그 전송기술보다 광섬유 통신에 적합하여 앞으로 점점 더 더

지를 전송기술이 일반화될 것으로 예상된다.

광원의 변조속도의 한계는 사용하는 소자의 특성에 의하여 제한된다. 예를 들면 LED는 보통 수 십 Mb/s 정도가 한계이지만 재료나 구조의 연구를 통하여 1Gb/s 정도의 고속을 달성한 예도 있다. LD의 경우는 바이어스 조건에 따라 다르지만 수 Gb/s 정도까지 비교적 쉽게 변조 가능하다. 재료의 물리 정수에 의해 결정되는 본질적인 상한은 10Gb/s 정도가 되는 것으로 생각된다.

2. 코히어런트 변조방식

광의 본질적인 성질을 이용하는 코히어런트 전송 방식은 변조방법과 검출방법에 따라 다르지만 직접 변조방법에 비해 2배 이상의 대용량화와 10~20dB의 수신감도가 개선되므로 전송거리 및 무중계 거리를 증가시킬 수 있다. 코히어런트 변조 방식의 기본 구성도는 그림 7과 같으며, 방식으로는 ASK(amplitude shift keying), FSK(frequency shift keying) 및 PSK(phase shift keying)등이 있다.

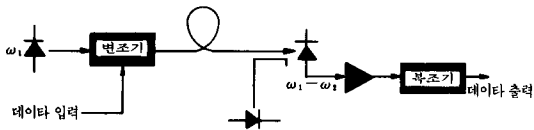


그림 7. 코히어런트 변조방식

도파로형 LiNbO₃를 이용하여 ASK, PSK 및 DP-SK(differential PSK) 변조가 가능하며 반도체 레이저의 발진 주파수가 주입전류에 따라 변하는 성질을 이용하여 FSK 변조를 하고 있다. 신호의 재생은 국부 발진기(local oscillator)에 의한 국부 레이저광파 변조된 송신광을 헤테로다인 및 호모다인 검파방법으로 수신하므로 발진 스펙트럼 폭이 좁고 중심주파수가 안정된 단일주파수 광원이 필요하며, 도파되는 광의 편극 상태가 보존되게 하거나 검출단에 편극조절 장치가 첨가되고 있다. 편극조절을 위한 다양한 방법들이 연구되고 있으나, 편극 유지광섬유를 사용해서 해결할 수 있다. 이 방법에 실용화를 위해서는 단일주파수 레이저의 신뢰도 증가와 주변장치의 성능 향상이 뒤따라야 할 것이다.

IV. 광통신 시스템 기술

1. 국간 중계 시스템

디지털 광통신 시스템은 일반적으로 디지털 계위에 따른 전송속도를 가지게 되는데 북아메리카 디지털 계위의 경우 DS-1(1.544Mb/s), DS-2(6.312 Mb/s), DS-3(44.736Mb/s), DS-4(139.264Mb/s)와 DS-5(564.992Mb/s)의 5개 계위를 가지고 있다. 대용량 전송이 가능한 디지털 광통신시스템은 DS-3, DS-4, DS-5의 전송속도를 가지도록 설계하거나 DS-3의 n배가 되도록 설계한다.

국외의 경우 400~500Mb/s급 광전송시스템이 보편적으로 사용되고 있으며, 일본, 미국 등에서는 1.6 Gb/s~2.4Gb/s의 전송속도를 가지는 시스템의 상용화 단계에 이르렀다. 그리고 실험실 수준에서 좋은 특성을 가지는 LD를 이용하여 8Gb/s의 전송속도에서 무중계거리 70km 및 4Gb/s 근방에서 무중계거리 104km등의 전송실험이 보고되고 있다. 한편, 광 자체의 다중화 기술인 OTDM(optical time division multiplexing)을 이용하여 16Gb/s의 전송 속도에서 8 km 거리의 전송실험이 최근에 보고되고 있다.^[9]

국내에서는 1978년부터 광통신 시스템 개발에 착수한 이래 45Mb/s(672회선 수용)와 90Mb/s(1344회선) 시스템을 개발하여 현재 국간 중계용으로 사용되고 있으며, 개발완료 단계에 있는 565Mb/s 광전송 시스템도 머지않아 실용화될 전망이다. 그림 8에는 565Mb/s 광전송시스템의 구성도를 나타내었다.

위에서 살펴본 직접변조 방식외에 최근에는 안정된 단일주파수의 LD가 개발됨에 따라 코히어런트 광통신시스템의 연구도 활발하여 이 기술이 안정화되면 가까운 시일내에 코히어런트 광통신시스템이 개발될 것으로 기대된다. 이러한 코히어런트 기술은 초장거리 국간 중계용이나 광가입자 및 해저 광통신시스템에서도 응용될 것이다. 앞으로 광소자 기술의 발전에 따라 광전송시스템의 전송속도는 계속 증가하여 10Gb/s 근방의 전송속도를 가지는 광통신시스템이 출현할 것으로 예상된다.

2. 광가입자 시스템

가입자망이란 전화국에서 일반전화 가입자까지의 구간을 말하며, 단거리, 저통화량의 특징을 가지고 있다. 그러나, 사회가 발전함에 따라 가입자가 현재 전화, 저속 데이터서비스외에 영상서비스(ATV, HD-TV, 영상전화등)와 고속데이터 서비스를 요구함에 따라 기존의 동선 방식으로는 사용자의 요구에 부응하기 힘들게 되었다. 따라서 광통신 기술이 급격히

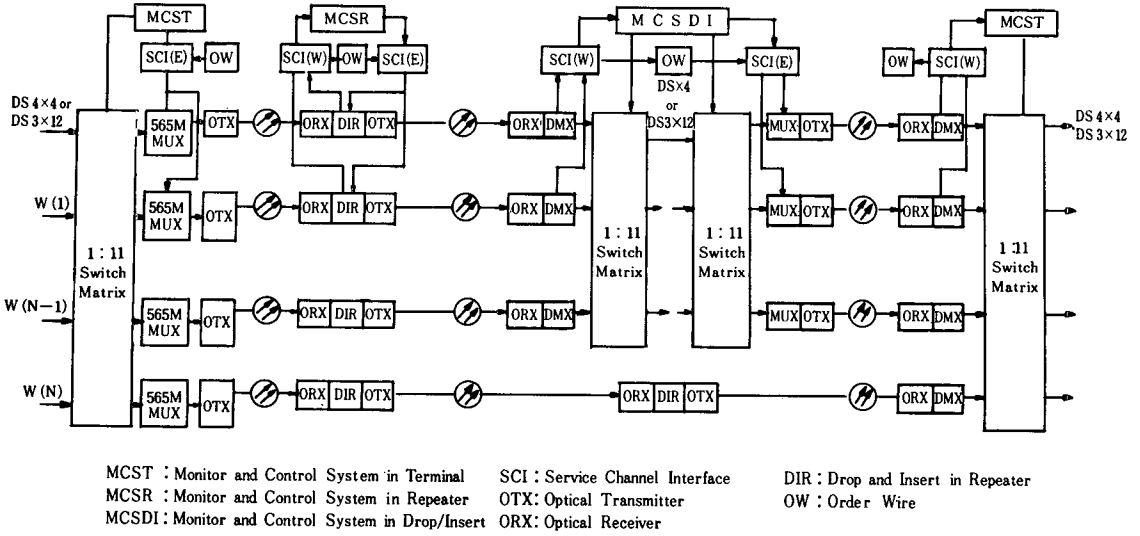


그림 8. 565Mb/s 광전송시스템의 구성도

발전함에 따라 저손실, 광대역의 특성을 가지는 광섬유를 이용해서 광통신시스템이 가입자망에의 응용이 가능하게 되었다. 광통신 기술의 가입자망 응용은 미래의 통신 환경과 경쟁되는 전송매질 및 전송 방식에 비해 얼마나 경제적으로 구성하느냐에 달려 있다. 현재는 광섬유, 광소자(광원, 수광소자, 광결합기, WDM 등)의 광부품 가격이 고가이며, 포설 및 접속비용이 다른 전송매질에 비해 비싸므로 경제적으로 큰 매력이 없으나, 제조기술의 발전과 대량생산으로 비용이 하락하고 있으므로 가까운 장래에 경제성을 가지리라 예상된다.

광가입자의 전송방식은 아날로그와 디지털 방식으로 대별되며, 이는 영상신호의 전송방식에 따라 크게 좌우된다. 아날로그 방식은 간단하고, 경제적인 시스템을 구성할 수 있는 반면 장차 구축될 것으로 예상되는 ISDN 망을 고려하면 전체망의 디지털화에 큰 장애요소가 된다. 반면에 디지털 방식은 디지털 전송기술 및 반도체 집적기술의 발전으로 경제성이 급격히 향상되고 있으며 양질의 서비스를 제공할 수 있고 전체망의 디지털화 실현에 적합한 방식으로 선진각국의 광가입자 시스템도 보다 고속의 디지털 시스템으로 발전되어 가고 있다. 한 예로 서독 HHI는 1.12Gb/s의 전송량을 가입자에 제공하는 시스템을

소개하고 있다. 또한 코히어런트 전송방식을 응용하여 다채널의 서비스를 제공할 수 있는 시스템도 소개되고 있으나 실현 가능성은 미지수다.

시스템이 초고속 디지털 시스템으로 진화함에 따라 단일모드 광섬유를 사용하려는 방향으로 나아가고 있다. 단일모드 광섬유로 초고속 시스템 뿐만 아니라 국간 중계용이나 1.5Mb/s의 가입자 선로에 사용이 고려되고 있으므로 대량생산을 통한 가격 하락과 광섬유가 충분한 대역폭을 가지므로 장래에 새로운 광섬유의 포설이 필요없게 된다. 그러나, 단일모드 광섬유를 가입자망에 보다 경제적으로 사용하기 위해서는 단파장 영역에서의 사용(10Mb/s, 3~5km)과 LED(565Mb/s에서 25km 전송가능, 결합손실 9~18 dB) 또는 저가격 LD의 사용, 양방향 전송시 WDM 방식등을 이용해서 광섬유의 사용량을 줄이는 것등을 고려해야 한다.

한편, 일본이나 유럽의 각 나라는 이미 광가입자 시범망을 구성, 운용하고 있으며 일부는 상용단계에 있다. 표 1은 각국의 대표적인 광가입자 시스템을 요약해 놓은 것으로 대부분은 시범단계의 시스템이다. 대부분은 다중모드 광섬유를 사용하였고, 망구조는 스타형이나 미니 스타형을 채택하고 있다. 이들 나라는 더욱 진보된 광가입자 시스템을 구상하고 있으

표 1. 세계 각국의 광가입자시스템 현황

프로젝트명	기 관	년 도	망구조	서 비 스	변 조	다 중 화	광 섬 유	규 모	비 고
Elie	DCCFG, CTCA (캐나다)	1981	switched-star	영상(양방향) 7FM 오디오 데이터 (192kb/s)	영상 : VSB-AM FM 오디오 : VHF 데이터 : FSK	FDM, SDM	다중모드, 3/sub, 5km	150가입자, Elie	현장 시험
Marsens	PTT (스위스)	1983	star	2 영상 17 FM 오디오 화상전화	영상 : VSB FM 라디오 : VHF	FDM	다중모드, 1~2sub, 1.5km	32가입자, Marsens	현장 시험
DIVAC	PTT, PRL (네덜란드)	1983	star	2 영상 FM 오디오 4 전화	영상 : PCM (140Mb/s) FM 오디오 : PCM (2Mb/s)	TDM, WDM (1.3, 0.82, 0.845 μ m)	다중모드, 2/sub, 5km		실험 실내 시험
BIGFON	DBP (독일)	1983~	star	2~30 ISDN 2~4 영상 화상전화 FM 오디오 (2 or 4)	영상 : AM, FM, PCM, DPCM FM 오디오 : PCM, VHF	TDM, FDM, WDM, SDM (양방향 전송분리)	다중모드, 1~2/sub	350가입자, 10개 도시	현장 시험
INS	NTT (일본)	1984~	star	1영상(양방향) 데이터 (64kb/s) 1영상(단방향) 고속데이터 (0.77/1.5 Mb/s)	PFM, DIM	FDM, WDM (1.2/1.3/0.81/0.89 μ m)	다중모드, 1/sub, 5km	동경	현장 시험
광대역 통신시스템	HHI (독일)	1984~	star	영상, 화상전화 HDTV FM 오디오 데이터 (2,048 Mb/s) 2 영상	영상 : DPCM (70Mb/s) HDTV : 280Mb/s FM 오디오 PCM	TDM (1.12 Gb/s/ 280Mb/s) WDM	단일모드, 1/sub, 20km		실험 실내 시험
영상통신망	PTT, CGCT*1 LTT*2 (프랑스)	1985~	multi-star	1FM 오디오 데이터 (4.8kb/s) ISDN (144kb/s)	영상 : Base-band*1, FM*1*2, VSB*2 FM 오디오 : PSK*1, 1F*2 데이터 : FSK* FSK*1	FDM	다중모드, 1~2/sub	320,000 가입자 (fiber) 32,000가입자 (장치) 9개 지역	상용, 계획
광 CATV	BTRL, CATV 업체 (영국)	1985~	switched-star	2(영상, 비디오텍스, 비디오 라이브러리) FM 오디오 데이터	영상 : FM (primary link) Baseband (secondary link)	FDM	primary link : 다중모드 (5km) secondary link : 2동축 (500m)	Westminster	상용

며 단일모드 광섬유의 사용과 전 망의 디지털화를 목 표로 하고 있다.

3. 해저 광통신 시스템
해저 광통신 시스템은 동축 시스템에 비해 가격이

저렴하고, 전송 속도를 높이거나 과장분할 방법을 이용하여 전송용량을 쉽게 증가시킬 수 있는 장점이 있다. 그리고 해중 분기장치를 이용하여 두 개 이상의 다른 지역으로 디지털 전송이 가능하며, 이 장치의 기능은 해저 케이블의 분기 및 접속, 급전로의 교환과 광섬유를 교환하는 것이다. 이러한 광통신 시스템은 중계기가 있는 중계 시스템(repeatered system)과 중계기가 없는 무중계 시스템(nonrepeatered system)으로 분류하고 있다.

해저 광통신 시스템은 대양을 접하고 있는 미국, 일본, 영국, 프랑스등에서 주로 개발되고 있는 실정으로 미국의 AT and T사가 주축이 되어 영국, 프랑스가 공동 참여하여 1988년에 각국의 시스템을 상용화할 예정인 대서양 횡단 통신 시스템과 미국-하와이-일본-괌도를 연결할 환태평양 해저 광케이블

계획이 추진되고 있으며 여기에는 미국의 SL시스템과 일본의 OS-280이 이용될 예정이다. 특히 섬이 많은 일본은 국내용으로 NTT의 FS-400M 시스템이 1981년에 개발이 시작되어 1986년에 이미 상용 시험을 마쳤다. 표2는 각각의 해저 광통신 시스템의 제원을 나타내었다. 한편 국내에서는 일본-제주-홍콩을 잇는 해저 광통신 시스템 구성에 참여하고 있으며, 이의 일환으로 제주-고흥간을 연결하는 해저 광케이블을 포설할 예정이다.

해저 광통신 시스템을 설계할 때 먼저 시스템의 용량, 기술적 가능성, 각 나라의 전송속도 체제에 맞게 결정해야 하며, 현재 양방향 전송 라인당 400Mb/s 까지 설정되어 있다. 광섬유는 1300nm대 단일모드 광섬유를 이용한 시스템을 개발하고 있으며, 중계거리를 증가시키기 위해서 석영계 광섬유의 최저 손실

표 2. 세계 각국의 해저 광통신시스템의 제원

	미 국	프 랑 스	영 국	일 본		
	SL(AT & T)	S280(CNET)	UK liniglum No. 5 (BT/STC)	OS-280(KDD)	FS-1.5/FS-GM (NTT)	FS-480M (NTT)
전송속도	280Mb/s	280Mb/s	280Mb/s	280Mb/s	1.544Mb/s 6.312Mb/s	397.2Mb/s
전송로 부호	24B1P	24B1P	7B8B	Scrambled NRZ	CMI 10BIC	
전송로 부호속도	295.6Mb/s	295.6Mb/s	324.315Mb/s	-	- 445.837Mb/s	
최대 시스템 길이	8,000km	7,500km	7,500km	8,000km	- 1,000km	
최대 수심	-	-	-	8,000km	1,500m 8,000km	
중계거리	35km 이상	58.7km	38km	50km	45km 40km	40km
광 원	1.3 μm LD	1.3 μm LD	1.3 μm LD	1.3 μm LD	1.3 μm LD 1.3 μm LD	
광섬유	단일모드(Depressed cladding형) 평균손실 : 0.45dB/km	단일모드 평균손실 : 0.46dB/km	단일모드	단일모드	단일 및 다중모드 (GI형) 단일모드 평균손실 : 0.45dB/km	
수신감도(BER=18**-9)	-31dBm	-34.2dBm	-34dBm	-37dBm(BER=18**-11)	- -33.1dBm	
예비 시스템	광재생기 4:2 LD(재생기당) 2:1	-	-	1 LD 예비	1:1~5:1 1 LD 예비	
공급전류 또는 전압	1.6A(±7,500V)	1.6A	1.7A	-	- ±1,600V (단방향 중계기당 6V, 8.9A)	
시스템 설계 수명	25년	25년	25년	25년	- 25년	
신뢰도(시스템 수명동안)	수리회수 3번 이하	수리회수 3번 이하	수리회수 3번 이하	수리회수 3번 이하	- MTBF 10년	

인 1550nm 광원을 사용한 경우도 있으나 해저 광통신 시스템과 같은 장거리 중계 시스템의 MTBF (mean time between failure)가 8~15년의 신뢰도를 요구하므로 광원과 1550nm용 광섬유의 신뢰도가 증대 되어야 한다. 그리고 전송용량과 전송거리를 증가할 수 있는 코히어런트 전송방식의 도입에 연구를 하고 있다. 한편 광케이블의 포설 및 유지 보수가 편리하도록 접속함체의 간소화, 영구성 그리고 중계기 내의 회로 집적화와 환경 및 기계적 신뢰도의 개선에 주력하고 있다.

V. 앞으로의 발전 추세

현재 광통신 시스템의 연구 개발 방향은 광섬유의 저손실, 광대역의 특성과 광원의 특성을 최대로 이용하여 무중계 거리 및 전송용량의 증대를 위한 연구가 진행되고 있다. 국간 중계시스템은 광을 직접 다중화(OTDM)하여 직접 변조 방식으로 전송용량을 증대시키는 방법과 광의 코히어런트한 특성을 이용하여 대용량 및 장거리(50km~100km 이상) 무중계 전송이 가능하도록 단일 주파수 LD의 신뢰도와 변조 및 편극 제어기술의 향상에 힘쓰고 있다. 광가입자망은 아직 상용화 단계는 아니지만 사용하는 구성 요소들의 제작기술 향상과 비용 절감 등으로 동축과 유사해질 시기에 가입자에게 서비스가 가능하도록 여러가지 형태의 시스템 및 망구성 방식에 주력하고 있다. 특히 쌍방향 전송 및 용량의 증가가 쉬우므로 장래의 종합정보 통신망 구성에 유망한 전송 방식으로 여겨진다. 해양 및 자국의 도서간에 양질의 서비스를 하기 위해서는 동축을 이용한 기존의 해저 통신은 많은 중계기의 설치, 분기 및 전송 용량의 증설이 어렵기 때문에 해저 광통신 시스템의 사용도가 날로 증가하고 있으며, 특히 코히어런트 방식이 주목을 끌고 있고 지상의 경우와 달리 포설시 비용이 많이 들어가기 때문에 한번 설치한 후 장시간 사용할 수 있도록 구성 성분의 신뢰도 향상에 역점을 두고 있다.

국내의 경우는 이미 45Mb/s와 90Mb/s 시스템이 개발되어 상용화 되어 있으며, 565Mb/s 국간 중계 시스템이 개발 완료 단계에 있으며, 또한 Gb/s 시스템 개발이 추진되고 있다. 한편, 현재의 광관로 시설 현황은 약 1,700km 정도이며, 이 속에 3,260km가량의 광케이블이 포설되어 있으며, 이를 통해서 50,000회선 이상을 전송하고 있다. 광가입자망은 아직 기초 연구단계이며, 광가입자 서비스가 실현될 경우 국

간 중계용시스템의 개발시 사용되었던 기술들이 대부분 사용될 전망이다. 그리고 일본-제주-홍콩을 연결하는 해저 광통신시스템 설치계획과 더불어 도서간에 무중계 광전송을 실현하기 위한 개발 계획이 한국전기통신공사에서 이루어지고 있다.

끝으로, 광이 가지고 있는 광대역 특성을 충분히 사용하기 위해서 전기적인 신호처리 단계를 축소하거나 전혀 사용하지 않고 전송속도나 전송거리를 증가시키는 전 광전송 방식과 중계기에 사용되고 있는 전기적 증폭기를 없애기 위한 다양한 광 증폭기들이 등장하고 있으며, 광 스위칭 장치, 광전집적회로 등의 개발은 장래의 광통신 기술의 목표인 전 광전송 장치의 실현을 가능하게 할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] K.C. Kao and T.W. Davies, "Spectrophotometric studies of ultra low-loss optical glasses I: Single beam method," *J. Sci. Instrum.* 1, pp. 1063-1068, 1968.
- [2] Y. Suematsu, et al, "Dynamic single-mode semiconductor lasers with a distributed reflector," *IEEE J. Lightwave Tech.* vol. LT-1, pp. 161-176, 1983.
- [3] 강민호외, "중용량 광전송장치 개발," 한국전자통신연구소 연구보고서, 1978. 12.
- [4] M. Nishimura, "The two modes of 'single mode' fiber," *Photonics Spectra*, pp. 109-116, Jun. 1986.
- [5] S.A. Miller, "Ultra low-loss communications in the mid-IR," *Photonics Spectra*, pp. 87-90, Jul. 1986.
- [6] D.M. Fye, "Low-current 1.3 μm edge-emitting LED for Single-Mode fiber subscriber loop application," *J. Lightwave Tech.* vol. LT-4, pp. 1546-1551, Oct. 1986.
- [7] W.S. Holden, et al, "An InP InGaAsP InGaAs avalanche photodiode exhibiting a gain-bandwidth product of 60GHz," *Digest OFC '86, WCC8*, P.98, Feb. 1986.
- [8] S.R. Forrest, "Optical detectors: Three contenders," *IEEE Spectrum*, vol. 23, pp. 76-84, May 1986.
- [9] R.S. Tucker, et al., "16Gbit/s optical time-division-multiplexed transmission system experiment," *Digest OFC '88, THB2*, p.149, Jan. 1988. 