

# Coherent 광통신 기술동향 및 응용

조위덕/금성전기(주) 기술연구소·工博

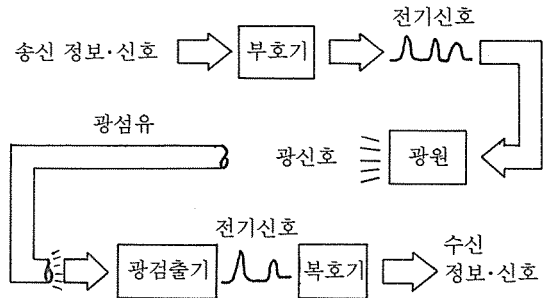
## 1. 개요

일반적으로, 전기신호를 전송매체로 사용하는 전기통신에 비해, 광통신은 빛을 통신매체로 하는 통신방식이다. 그림 1은 광통신 전송 방식의 기본 구성도를 간략히 나타낸 것으로, 정보를 전기신호로 바꾸는 부호기, 전기신호를 빛으로 바꾸는 발광소자, 이 빛을 전송하는 광섬유 그리고 전송된 빛을 다시 전기신호로 바꾸는 수광소자와 복호기등을 결합함으로써 광통신 시스템이 이뤄진다.

광통신 기술은 1960년의 레이저 발명과 1966년 Kao 및 Hockman이 석영을 재질로 한 광섬유가 근적외선 영역에서 lightguide로서 사용 가능하다는 제안을 처음으로 한 이후, 1970년에는 미국의 코닝 유리회사에서 20dB/km의 훌륭한 손실 특성을 가지는 석영계 광섬유 제조에 성공했다. 이를 시작으로 전세계적으로 더욱 낮은 손실의 광섬유를 저렴하게 제조하는 공정기술을 경쟁적으로 개발하여, 1979년에 이르러서는 1,550nm 파장에서 0.2dB/km의 우수한 광섬유 제조가 실현되었다. 또한 광원으로 사용되는 반도체 레이저는 1970년 벨 연구소에서 GaAlAs 레이저의 연속발전, 1976년 미국, 일본 등에서 InGaAsP의 1,300nm 광원의 발전, 1980년대 초 1,300nm 및 1,550nm 대역 단일 모드 레이저가 개발됨으로써 광통신 발전은 더욱 가속화되었다.

결국, 1980년 초에는 32Mbps 급의 광통신 시스템의 상용화에 성공했으며, 국내에서는 1978년 한국 전자통신연구소 6.3Mbps 광전송 실험 후, 광전송 시

〈그림 1〉 광통신 전송방식의 기본 구성



〈표 1〉 광통신 발달사

| 연도   | 광 원                               | 광 섬 유                             |
|------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 1960 | 레이저발명 (HUGH-ES)                   |                                   |
| 1966 |                                   | 통신용 광섬유제안 (Kao, STL)              |
| 1970 | LD, 레이저 다이오드 연속발전 (BL, NEC, USSR) | 저손실 광섬유 제작 20dB/km (Corning)      |
| 1973 |                                   | 저손실 광섬유 제작 공정법 (MCVD, BL; 1dB/km) |
| 1976 | 장파장 LD개발 (MIT, NTT, TIT, KDD)     |                                   |
| 1977 | 단파장 LD (BL, NTT)                  |                                   |
| 1979 | 1.55μm LD 발전 (KDD, BL, TIT)       | 극저손실 광섬유개발 (NTT, 0.1dB/km)        |
| 1980 | 단파장 광통신시스템                        | 대단위규모 상용화                         |
| 1983 | 장파장 광통신시스템                        | 대단위규모 상용화                         |

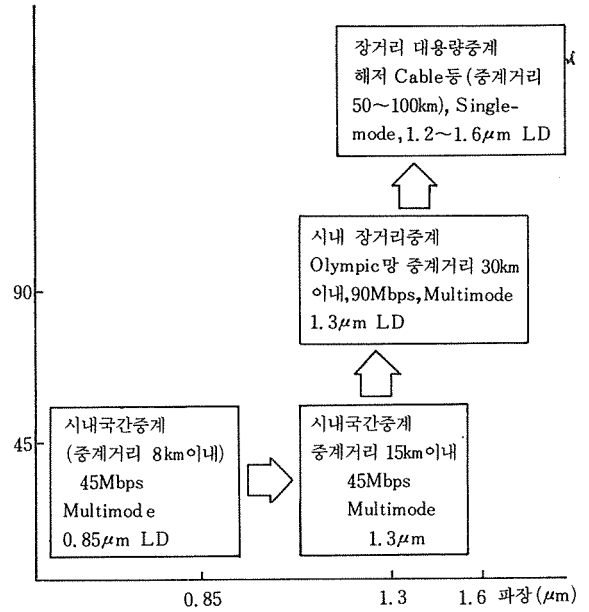
시스템의 현장시험을 거쳐 본격적으로 국내의 광통신 시스템 개발이 가능하게 되었다. (표 1)

원거리 정보통신에서 광섬유를 사용할 때의 장점은 지난 수년간 많은 보고자료에서 설명되었는데, 광통신 기술을 이용한 전송방식은 광섬유의 저손실에 의해 중계거리를 증가시키고, 광대역성에 의해 전송로의 대량화를 할 수 있기 때문에 기존 방식에 비하여 특히 경제적인 효과가 크다. 더우기 광섬유는 크기가 작기 때문에 한개의 관로에 여러 광케이블을 포설할 수 있어서 대도시의 통신량을 증가시키기 위한 관로공사의 어려움을 감소시킬 수 있다. 또한 해저통신의 경우에는 기존의 동축 케이블 전송 방식에 비해 해저중계기 수를 매우 감소시킬 수 있기 때문에 더욱 경제적이며 안정성이 매우 높다. (표 2)

〈표 2〉 광통신시스템의 특징

| 특 징     | 장 점                        | 단 점                   |
|---------|----------------------------|-----------------------|
| 저 손 실   | 긴 중계기간 간격<br>플랜트비용 절감      |                       |
| 광 대 역   | 대용량 전송<br>이중서비스 동시전송<br>가능 |                       |
| 소형전송로   | 설치 보수 용이<br>관로비용 절감        | 접속시 어려움               |
| 비 전 도 성 | 누화방지<br>안전통신               | 중계결전선 필요              |
| 자 원     | 풍부한 자원<br>저가격              | 새로운 장애대책<br>(케이블 설치시) |

최근에는 광중계 전송방식의 개발로 광통신기술을 가입자망에 도입하려는 연구가 진행되어, 1978년 캐나다에서 최초로 41가입자에 광가입자시스템의 상용시험이 이루어졌다. 그 이후 세계 각국에서는 각기 특성에 맞는 광가입자 시스템 개발을 서두르고 있으며, 현재에는 이 광가입자 시스템으로 전화, 데이터, 화상신호 등 모든 정보를 주고 받을 수 있는 종합정보통신망 구성이 매우 유망한 것으로 인정되고 있다. 그 결과 파장분할다중화(WDM) 방식이 도입될 경우, 한 가닥의 광섬유에 더 많은 정보를 동시에 송수신이 가능하게 되어 보다 경제적이고 보수가 편리한 광대역 통신시스템 개발이 성취될 수 있게 된다. (그림 2)

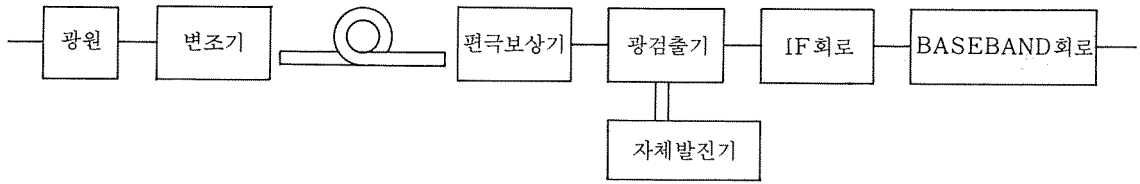


〈그림 2〉 전화통신망 응용 및 발전 방향

그런데 현재의 가능한 전송대역에서도 머지않아 폭주하는 통신용량을 더 이상 감당할 수 없게 될 것이다. 실제 한예로 영국국내에서는 평균 7%씩, 국제전화통화량은 12%씩 증가되고 있고, data 전송량은 매년 20%씩 증가되고 있다. 여기에 사용자들은 보다 양질의 향상된 기능과 다양한 새로운 서비스를 요구하고 있는 실정이다. 즉, Video conferencing (원거리 영상회의) electronic data interchange (EDI) 및 high-definition television (HDTV) 등의 서비스들은 상당히 높은 고용량의 전송 시스템을 필요로 한다.

최근에는 이러한 고용량 전송시스템의 대역폭을 보다 효율적으로 활용하기 위한 한 가지 해결책으로서 single-mode 광섬유를 사용한 Coherent 광통신 기술이 제시되고 있다.

현재 설치된 광섬유망의 대부분은 직접 검출방식 시스템을 사용하고 있다. 이 방법에서는, 수신기의 광검출기가 송신된 광 펄스를 직접 필요한 전기적 신호로 변환시킨다. Bit 속도가 증가할 때, 광섬유의 신호왜곡은 심각하게 되어, 결국 중계기의 간격을 줄여야 한다. 또한 용량이 증가되면, 파장분할다중화(WDM) 방식에서는 중계기가 더 많이 설치되어야 하고, 전송속도를 높이려면 기존 시스템의



- |                            |           |                 |                   |
|----------------------------|-----------|-----------------|-------------------|
| 1) 광원                      | 3) 전송매체   | 5) 광검출기         | 6) IF BAND검출기     |
| • LD                       | • 종래의 광섬유 | • HETERODYNE    | • (ASK, FSK)      |
| • SOLID-STATE LASER        | • 편극유지매체  | 검출기             | • (ASK, FSK, PSK) |
| • GAS LASER                | 4) 편극보상기  | (ASK, FSK, PSK) | • (FSK, DPSK)     |
| 2) 변조기                     | • 광신호 보상  | • HOMODYNE 검출기  |                   |
| • DIRECT MOD. (FSK)        | • 전기적 보상  | (ASK, PSK)      |                   |
| • EXTERNAL MOD. (ASK, PSK) |           |                 |                   |

〈그림 3〉 Coherent 전송시스템의 기본구성도

성능을 전체적으로 향상시켜야 한다. 결론적으로 Coherent 광통신 기술은 중계기를 증가시키지 않고 고속의 정보전송을 위한 주파수분할 다중화(FDM) 및 WDM을 사용한 미래의 광대역 통신망에 적합한 전송특성을 지니는 중요한 방법이다.

## 2. Coherent 방식의 감도 및 선택도

기존의  $0.85\mu\text{m}$ ,  $1.3\mu\text{m}$ ,  $1.55\mu\text{m}$ 의 광전송기술 개발에 이어, 제 4 세대 광통신 시스템으로는  $1.55\mu\text{m}$ 의 Coherent 통신기술이 대두될 것이다. Coherent 기술들은 두가지 기본과정, 즉 homodyne/heterodyne 검출과 광증폭 과정을 거친다. Heterodyne 검출은 기본적으로 기존의 라디오 heterodyne 기술과 같지만, 광학적이란 점이다. 그리고, 직접 검출과는 달리, Coherent 시스템의 수신기는 자체 발생의 광파를 수신광신호에 더한 후, 그 조합결과를 가지고 검출한다. 최종광전류는 원래신호의 모든 정보를 다 가지고 있다. 그림 3은 Coherent 전송시스템의 기본구조를 보이고 있다. 두개의 레이저가 사용되는데, 수신단의 광다이오드와 함께 광섬유 종단에 있고, 송신 레이저는 진폭, 주파수 또는 위상변조된 형태의 아날로그 또는 디지털 펄스 신호를 전송하는 신호를 발생시킨다. 수신단에서도, 자체 발전기와 두번째 레이저 광원이 수신신호를 조합한 어떤 광파를 발생시킨다.

이 조합된 파가 검출되면, 증폭, 검출 또는 filtering을 위해 원래 파형으로 변환된다. 이런 “down-converting” 또는 “heterodyning”은 Coherent 시스템의 감도 또는 선택도의 주요한 이득을 제공한다. 수신기의 감도는 정보의 한 bit로 검출하기에 필요한 실제 신호에너지로 주어지는데, 이것은 시스템에서 사용되는 변조형태에 크게 의존된다. Coherent 감도는 현재의 직접검출 시스템에 비해 10배 정도 향상될 것으로 예상된다. 예를 들어  $1.3\mu\text{m}\sim 1.6\mu\text{m}$ 의 파장에서,  $10^{-9}$  bit error rate를 만족하려면, 이상적인 Coherent 수신기는 단지 10-20 photons/bit가 필요한 반면 현재의 직접검출 시스템은 수천 photons/bit가 소요된다.

수신단의 선택도는 수신과 관련없는 다른 대역에서 간접신호가 상존할 때 원하는 주파수 대역에서 수신할 수 있는 능력을 의미하는데, multi-user LAN 사용에서 Coherent 기술은 종래의 광FDM 시스템의 100GHz 대신 100MHz의 채널간격으로도 FDM이 가능할 수 있음을 보이는 한가지 parameter 이다.

그림 3의 Coherent 시스템에서는, 두 광신호가 혼합되는데, 여기에는 homodyne과 heterodyne의 두 방법이 있다. 또한, 두 레이저간의 위상관계와 주파수 offset이 관련되는데, 후자의 경우에, 혼합된 출력은 두 carrier 간의 중간주파수(IF) 즉 beat 주파수로 그 중심 주파수가 나온다. 필요한 데이터

는 결국 표준 라디오 주파수 복조 방법을 사용하여 추출된다. 검출기의 가장 감도높은 형은 homodyne으로 정보bit당 최소 9photon이 소요된다. 그러나, 자체발전기위상이 수신되는 광신호에 맞추어지므로, homodyne 검파기는 구조가 가장 복잡한 형태가 된다. Heterodyne 검파기는 homodyne검파기에 대해 강도가 3dB 떨어지며, post-detection 단계 더 넓은 대역이 요구된다. 그러나 heterodyne이 homodyne보다 간단하기 때문에 Coherent통신서비스에 더 적합하다.

### 3. Component별 특성

언급된 바와 같이 heterodyne 시스템에서는 수신신호가 거의 동일한 carrier 주파수를 가지는 강한 자체발전기 신호와 혼합된다. 이로써 저잡음이득과 신호정보의 복원이 가능해진다. 그러나, 더욱 중요한 것은, 사용될 component의 선택, 협대역 선주파수 조정신호의 사용, 많은 광원, 저잡음 광대역 수신기, polarization matching 및 isolation 위한 component 등의 영향을 많이 받는다.

#### (1) 광원

레이저 광원의 한정된 스펙트럼 폭(또는 선폭)은 Coherent 광통신 시스템의 중요한 변수이다. 또는 변복조방식이나 전송방식도 관련된다. Coherent 시스템의 신호수신은 자체발전기 파형과 원래 수신신호파와의 실제 간섭에 관련되기 때문에, 두 파형사이의 상대 위상은 예측가능해야 한다. 즉, 레이저 광원과 자체발전기는 서로 상당한 coherence가 보장되어야 한다. 다시 말해서 두 신호파 모두 좁은 선폭의 신호라야 한다.

그런데, 레이저 다이오드는 충분한 coherence를 보장하지 못한다. 본질적으로 레이저 cavity의 순간방사는 수100MHz의 선폭을 갖는다. 긴 외부 cavity를 사용하면 10KHz 이내의 좁은 선폭을 실현할 수 있다. 그러나 이런 LEC레이저는 실험실에서나 가능한 이야기이다. 분산쇄환(DFB) 레이저는 이런 문제의 한가지 해결책으로 많이 연구되고 있는 분야이다. 보다 확실한 해결책으로서는 거울, 극성이 보존되는 광섬유, 집적회로구성, GRIN rod 렌즈 등을 줄일 수 있지만, 주파수 조정영역이 극

도로 제한된다.

Coherent 시스템들은 단일 모드 광섬유를 사용해야 한다. 수신신호와 자체 발전기 신호가 mix되기 때문에, 같은 극성을 가져야 한다. 극성 또는 편광매칭(polarization matching)은 필수적이다. 그러므로 BTRL의 연구원들은 양질의 LiNbO<sub>3</sub> 소자를 사용하여 자동편광 제어기를 제작하였다. 이 기기는 조정영역에 무관하게 파장과 온도에 둔감하다.

결론적으로 광원으로서의 LD와 LED를 비교해볼 때, LED는 적은 용량과 근거리 광통신 시스템에 사용되며, LD는 고출력, 좁은 스펙트럼 선폭, 고속변조가 가능하기에 장거리 대용량 전송 시스템에 사용된다. 이 광원도 광섬유 특성과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 대용량 전송을 위해 단일 횡모드 LD에서 단일종모드 LD의 개발이 추진되고 있다. 단일 종 모드(또는 단일주파수) LD는 광섬유의 특징을 최대한 이용할 수 있어서 1.3 $\mu$ m 및 1.55 $\mu$ m가 동시에 연구되고 있으나, 최종적으로는 1.55 $\mu$ m 파장대가 유리하다.

#### (2) 수신기

훌륭한 수신기 감도는 수신기의 열잡음뿐 아니라 자체 발전기의 전력에 의존된다.

일반적으로 수신기소자는 APD와 PIN형으로 구분할 수 있으며, 이들의 특성과 사용하려는 시스템의 설계조건에 따라 선택되고 있다. 단파장 대에서는 Si, 장파장대의 중용량 시스템에는 Ge소자가 사용되고 있으나, GeAPD는 암전류가 크고 잡음 특성이 좋지 않아, 이 보다 특성이 우수한 InGaAs/InP계의 검출기가 고속 장파장 시스템(Gbps 이상)에 사용될 것이다.

원리적으로, heterodyne 검출은 자체발전기의 전력이 증가함에 따라 양자잡음제한에 도달할 수 있다. Coherent 응용을 위한 가장 적합한 수신기소자는 GaAs FET 집적회로의 Pre-amplifier를 사용한 PINFET 수신기 분야이다.

### 4. 변조 기술

광통신의 일반적인 변조방식은 그 강약에의해 신호를 전송하는 강도변조-직접검파방식과 광을 반송파로 사용하여 그 진폭 또는 위상을 변조하여 크

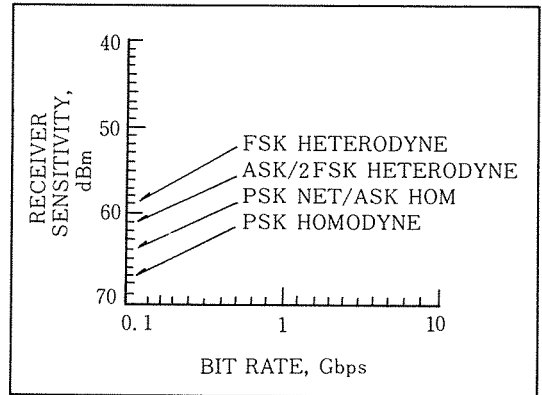
크기에 의해 신호를 전송하는 Coherent 방식으로 크게 둘로 나뉘어진다. 또한 전송할 신호가 아날로그냐 디지털이냐에 따라서 아날로그 변조와 디지털 변조로 구분된다.

실용화된 대부분의 광통신 시스템은 강도변조-직접검파 방식에 의해 구성되어 있다. 그 이유는 필요한 광원의 특성이 광의 세기와 안정도밖에 없고 전송속도가 수백 Mbps 이하에서는 광원의 구성을 규정할 필요가 거의 없기 때문이다. 또한 반도체 레이저의 구동전류에 신호전류를 중첩하여 용이하게 광신호를 얻을 수 있고, PD 또는 APD를 이용하여 광신호를 간단히 전기신호로 복조할 수 있기 때문이다.

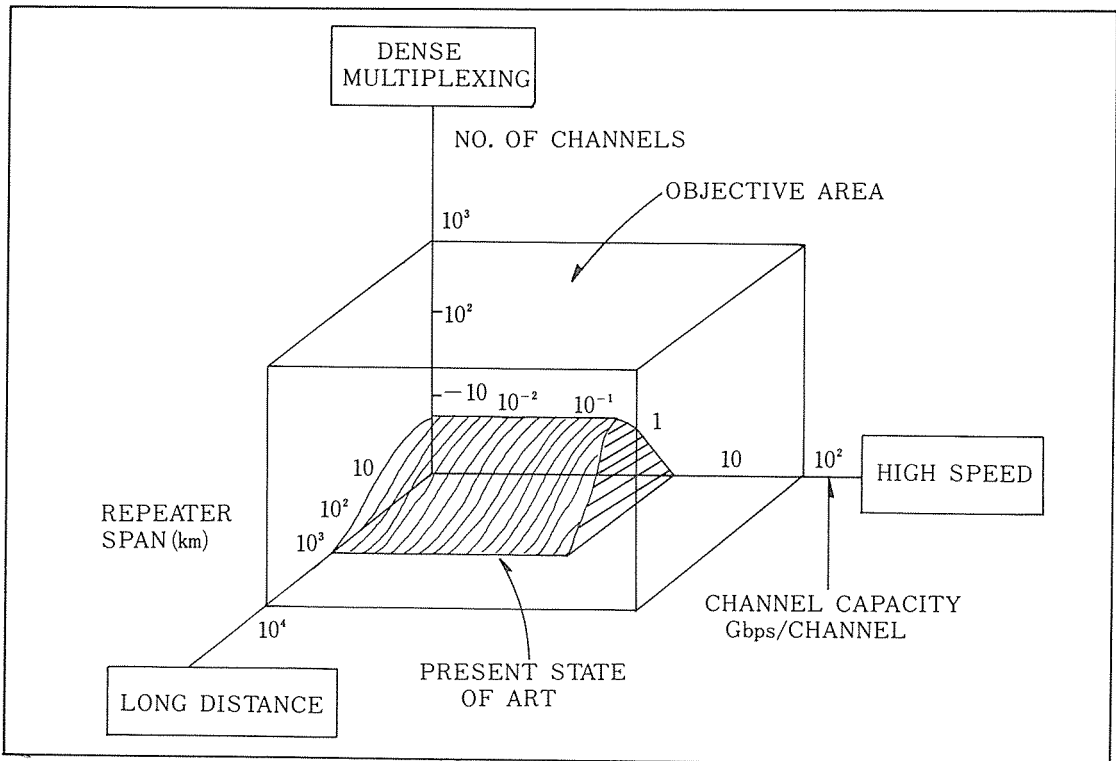
그러나 최근의 광대역, 대용량화 요구에 충족하기 위해 위의 직접변조에 비해 2배이상의 대용량화와 10~20dB의 수신감도가 개선 가능하여 전송용량 및 무중계거리를 더욱 확장시킬 수 있는 방식이 Coherent 전송방식이다. 이것은 전송할 정보를 sine파 carrier로 변환시키는 법으로서, 신호의 위상, 진폭, 주파수 등의 변화를 이용하여 PSK (Ph-

ase Shift Keying), ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) 등이 있다. 도파로형 LiNbO<sub>3</sub>를 사용하여 ASK, PSK 및 DPSK (Differential PSK) 변조가 가능하며, 반도체 레이저의 발진주파수는 주입전류에 따라 변하는 성질을 이용하여 FSK 변조를 한다.

광원의 Coherent 변조기술 중에는 2개의 우수



〈그림 4〉 1.5 $\mu$ m에서의 최근에 보고된 Coherent 시스템의 수신감도 특성



〈그림 5〉 Coherent 광통신기술의 연구동향

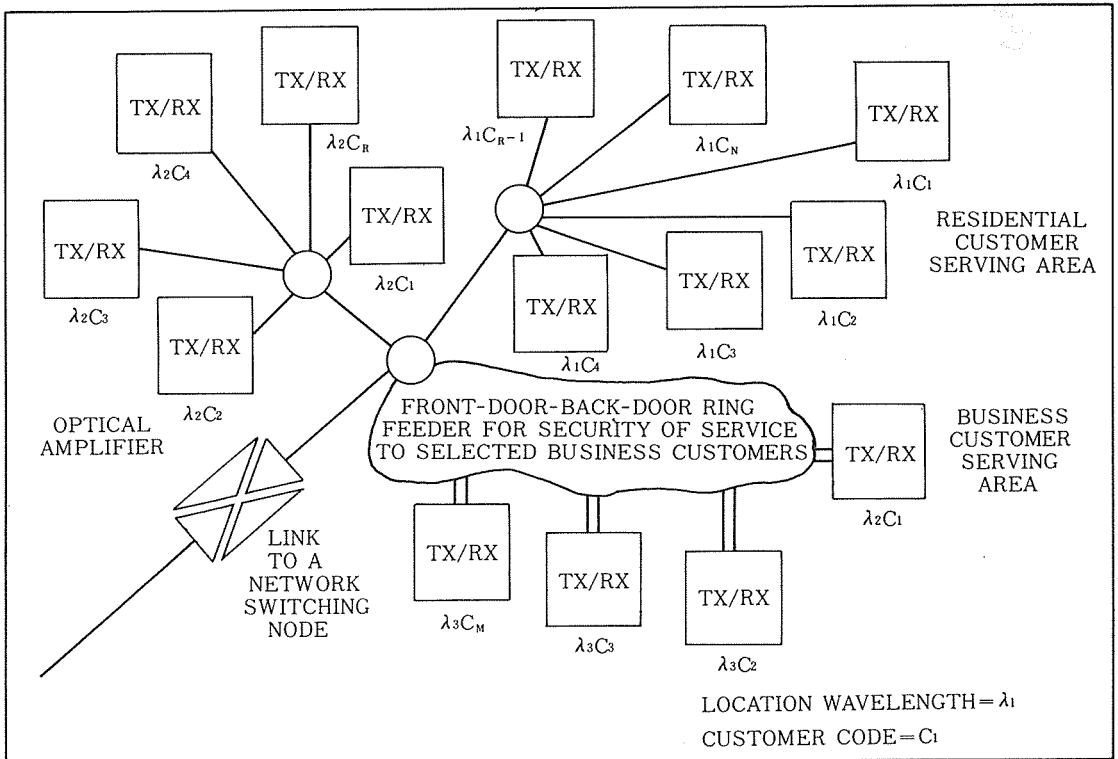
한 경쟁 방식이 있다. DFB레이저는 직접FSK 변조에 좋지만, 변조특성이 좀더 개선되어야 한다. External PSK 변조는 LEC 레이저를 사용하는데, 상용화하기에는 좀더 개선되어야 한다. 두 방식 모두 565Mbps와 2.4Gbps의 직접검출 시스템보다 10dB정도 더 좋은 유효전력을 가지고 있다.

### 5. Coherent 시스템의 응용

Coherent 시스템은 해저 광통신이나 고속전송 시스템, 고밀도 광다중화 등에 응용된다. 그림 5에는 현재의 광통신연구 동향이 고밀도 다중화, 고속화, 원거리화의 세 변수에 대해 나타내져 있다. 즉, 고밀도 다중화는 10channel, 고속도로는 1Gbps/channel, 그리고 최대 10<sup>3</sup>km간의 무중계 통신거리까지 진전되고 있다. 이미 언급한 바와 같이 긴 무중계 통신거리의 확장은 광 homodyne/heterodyne 검출기가 주요 기술핵심이다. 또한 광증폭기도 중요하다. 그리고, 광전자 소자들 즉, pulse에 대한 slicing, reshaping, retiming 등이 큰 영향을 미친다.

광 주파수분할 다중화 (Optical FDM) 기술은 고밀도 광 다중화에 관련되는 핵심기술이다. 이런 시스템에서는 아주 좁은 광신호간 주파수 간격이 중요한데, 이것에는 microwave나 millimeter wave에 응용된 것과 같은 optical filter가 사용된다. 또한 heterodyne 수신기의 고주파 선택성도 local이나 가입자선에서 광대역 채널 분배에 사용되는 optical multicarrier 시스템 구축에 활용된다.

또한, 9개의 70Mbps 광 채널과 1개의 1.13 Gdps channel을 포함하는 0.8 $\mu$ m window의 all-fibre 10-channel 분배시스템도 광 섬유 TV시스템에는 필수적이다. Heinrich-Hertz 회사에서는 HDTV를 위한 시분할 다중화 시스템을 개발하고 있다. 이러한 multicarrier 시스템들의 용량을 증대시키기 위해서 여러가지 multi-channel 기술-FDM, WDM, TDM, CDMA (code-division multiple access) 등—이 연구되고 있다. 머지않아 Coherent heterodyne 기술과 fluoride fibre를 사용한 무중계 대륙간 해저 케이블의 실현도 이루어질 것이다.



〈그림 6〉 광통신망의 연결도