

14주 2강. 광통신에 대한 정리



송실사이버대학교

송실사이버대학교의 강의콘텐츠는
저작권법에 의하여 보호를 받는바, 무단
전재, 배포, 전송, 대여 등을 금합니다.

* 사용서체 : 나눔글꼴

광통신이란?

- 광통신이란?
 - 정보를 빛에 실어 전송하는 통신
 - 일반적으로 광통신은 **광섬유 광통신**을 의미

무선통신

이동통신망
(모세혈관,
골목길)

광통신

기간통신망
(대동맥,
고속도로)

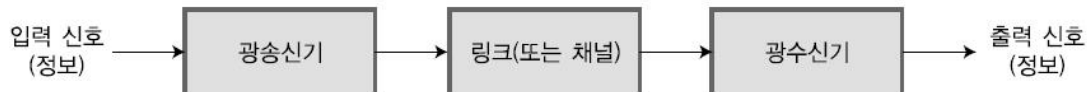
광통신의 스펙트럼 대역

● 통신시스템에서 사용 중인 반송파 주파수

| 통신시스템 | 반송파 주파수 | 통신시스템 | 반송파 주파수 |
|--------|-------------|--------------|----------------|
| 전화선 모뎀 | 1600~1800Hz | 셀룰러 무선통신 | 850MHz, 1.8GHz |
| AM 라디오 | 530~1600kHz | 실내 무선 네트워크 | 2.4GHz |
| CB 라디오 | 27MHz | 민수용 위성 하향 링크 | 3.7~4.2GHz |
| FM 라디오 | 88~108MHz | 민수용 위성 상향 링크 | 5.9~6.4GHz |
| VHF TV | 178~216MHz | 광통신 | 185~195THz |

광통신의 주요 구성요소

● 광통신 링크



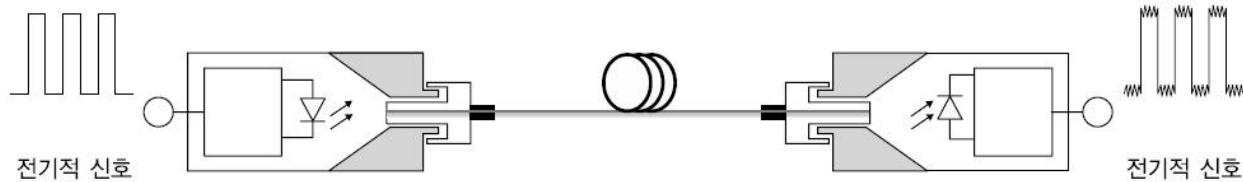
(a) 일반적인 개념도



광송신기

광섬유

광수신기



(b) 실제 모습과 내부 구조



● 광송신기

- 전기신호 형태의 정보를 광신호로 변환후 채널(광섬유)로 내보냄
- 핵심소자
 - » 광원(반도체 LED, Laser Diode), 변조기

● 광섬유

- 광신호를 송신기에서 수신기까지 가능한 한 정보의 손실이 없도록 전달
- 종류
 - » 플라스틱 광섬유, 실리카 광섬유(다중모드 광섬유, 단일모드 광섬유)



● 광수신기

- 광섬유에서 출력된 광신호를 원래의 전기적 신호로 변환
- 핵심소자
 - » 광검출기(반도체 광다이오드 (photodiode)- PIN, APD), 복조기

광통신의 주요 구성요소

● 광통신의 특징과 장점

- 전송 용량이 크다.
- 손실이 낮아 먼 거리 전송 가능하다.
 - 광섬유의 손실은 약 0.2dB/km
 - 마이크로파 도파관의 손실은 약 1dB/km ,
 꼬임선의 손실은 약 10dB/km 정도
- 전자파 간섭이 없다.
 - 광섬유는 부도체이므로 전자파 간섭이 없음
- 신호의 보안이 우수하다.
 - 도청 위험이 없다.

광통신의 주요 구성요소

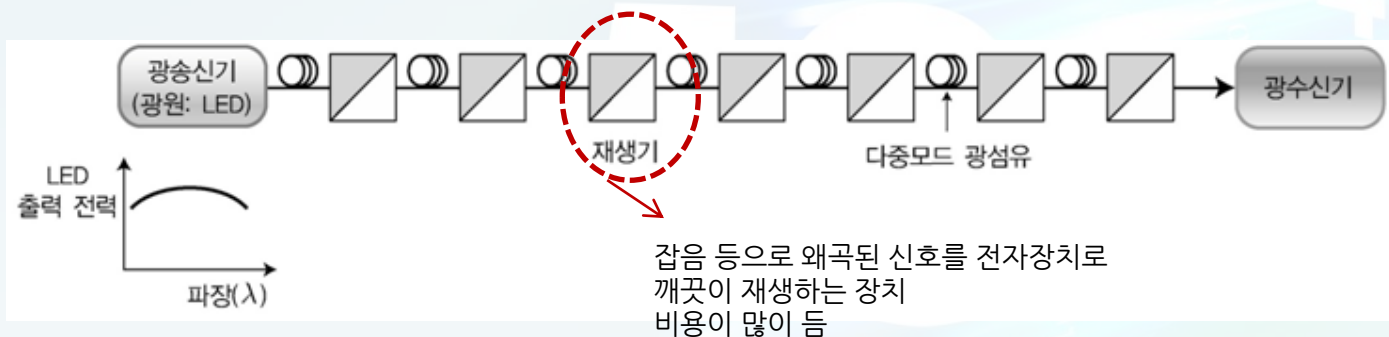
● 광통신의 특징과 장점

- 고속 상호 연결이 가능하다.
- 중량과 크기가 작다.
 - 1km당 광 케이블은 약 670kg, 동축케이블은 약 10톤
- 가격이 싸고 수명이 길다.
- 안전성이 뛰어나며, 온도나 독성가스 등에 대해서도 내성이 뛰어나

● 제1세대 광통신

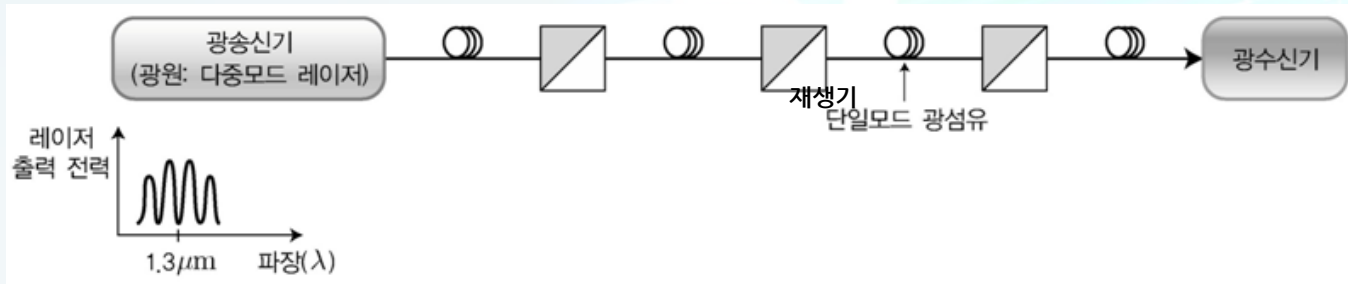
- 1970년대 후반에서 1980년대 광통신
- 광원 : GaAs LED ($\lambda=0.8\sim0.9\mu\text{m}$)
- 광섬유 : 다중모드 광섬유
- 비트율 : 50Mb/s ~ 100Mb/s
- 중계기(재생기) 간격 : 약 10km

* 광통신공학, 한빛아카데미 참조



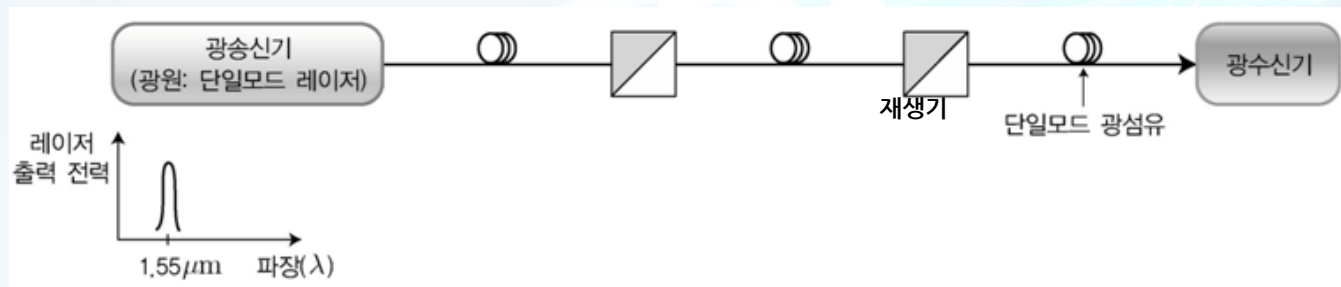
● 제2세대 광통신

- 광원 : 다중모드 레이저 다이오드 ($\lambda = 1.3\mu\text{m}$)
- 광섬유 : 단일모드 광섬유
- 비트율 : $> 1\text{Gb/s}$
- 중계기(재생기) 간격 : 약 50km
- 특징
 - 단일모드 광섬유 사용으로 모드 분산 제거
 - 광원의 파장이 광섬유의 손실이 낮은 $1.3\mu\text{m}$ 파장대로 이동



● 제3세대 광통신

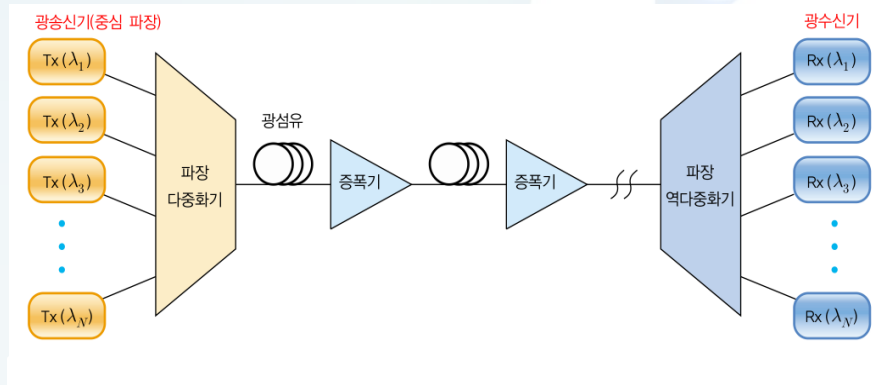
- 광원 : 단일 종모드 레이저 다이오드 ($\lambda = 1.55\mu\text{m}$)
- 광섬유 : 단일모드 광섬유(분산천이 광섬유)
- 비트율 : 2.5Gb/s ~ 10Gb/s
- 중계기(재생기) 간격 : $\geq 50\text{km}$
- 특징
 - 광섬유의 손실이 최저가 되는 $1.55\mu\text{m}$ 에서 동작
 - 단일 종모드 레이저 다이오드 사용으로 단일모드 광섬유에서 발생하는 군속도 분산 최소화



● 제4세대 광통신

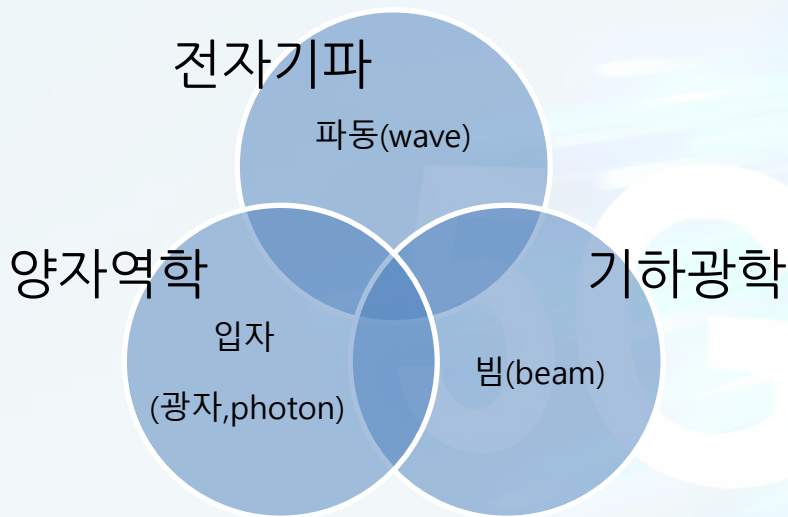
* 광통신공학, 한빛아카데미 참조

- 현재의 주도적 광통신 기술
 - 6개월마다 전송용량이 거의 2배씩 증가!
- 특징
 - 파장분할 다중화(WDM, Wavelength Division Multiplexing) 전송
 - 재생기 대신 **광증폭기** 사용



“광통신은 신호의 반송파로 빛을 사용한다.
빛의 성질을 여러측면에서 살펴본다.”

◆ 빛



파장, 주파수, 대역폭

● 파장과 주파수의 관계

$$c = f \cdot \lambda$$

→ 파장

→ 주파수[Hz], 주기의 역수 ($= \frac{1}{T}$)

→ 빛의 속도 $c = 2.99793 \times 10^8 \text{ m/s} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

예제)

광통신에서 사용하는 빛의 파장은 약 $1.5\mu\text{m}$ 이다. 주파수로는 얼마인가?

풀이)

$$f = c/\lambda$$

에서 $\lambda = 1.5\mu\text{m} \rightarrow f = 200\text{THz}$,



◆ 입자로서의 빛 - 광자

- 빛은 방출되거나 흡수될 때 광자(photon)라고 부르는 불연속적인 단위로만 발생
- 광자 에너지

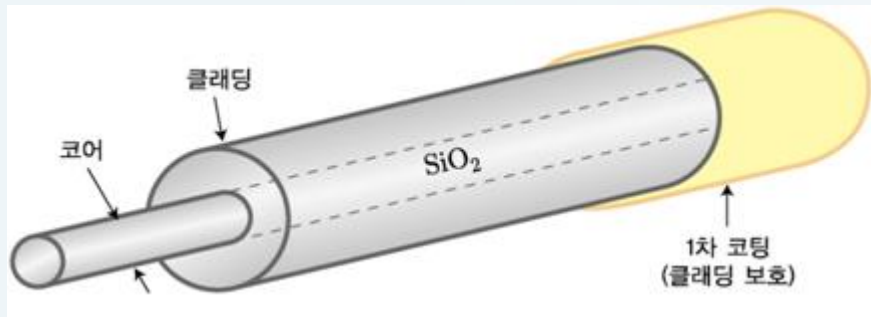
◆ 광선으로서의 빛 - 빔

- 빛의 반사(reflection)와 굴절(refraction)등과 같은 현상은 빛을 광선, 즉 빔으로 취급하여 해석한다.
- 굴절률

광섬유의 구조와 전송 원리

◆ 광섬유의 기본적인 구조

- 중심 부위인 코어(core)를 클래딩(cladding)이 둘러싼 원통 구조



- 코어와 클래딩 모두 실리카로 제조
- 불순물 첨가로 굴절률 조절
- 코어의 굴절률이 클래딩의 굴절률보다 0.2~1% 정도 높게 제조됨
- 코어의 굴절률이 더 높은 이유는 빛이 코어 내부에 갇혀 전송되도록 하기 위함 (전반사)

광섬유의 구조와 전송 원리



- 개구수(NA)

- 빛이 광섬유 내로 전송되는 조건을 여러 가지 각도로 설명하였지만, 이 들 각도는 실제 측정하기 힘들
- 대신 개구수(NA, Numerical Aperture)를 사용
- 개구수는 광섬유가 내부 전반사 조건을 만족해 전송할 수 있는 빛을 광원으로부터 얼마나 많이 받을 수 있는지의 능력을 나타남

5G

4G

3G



◆ 광섬유

- 다중모드 광섬유(multimode fiber)

- 가격이 싸고 다루기 쉬운 장점이 있으나,
- 모드 분산 현상에 의해 전송 속도(비트율)와 전송 거리가 크게 제한된다.

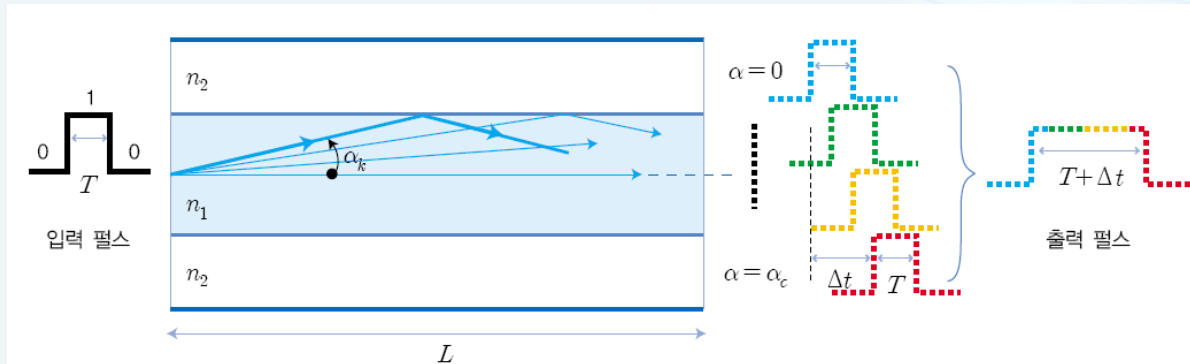
- 단일모드 광섬유(singlemode fiber)

- 장거리 광통신 시스템에서는 모드 분산 현상을 완전히 제거한 단일모드 광섬유가 사용된다.

- 다중모드 광섬유는 광섬유 내에서 여러 모드(mode)가 동시에 전송되는 광섬유

- 단일모드 광섬유는 하나의 모드만이 전송되는 광섬유

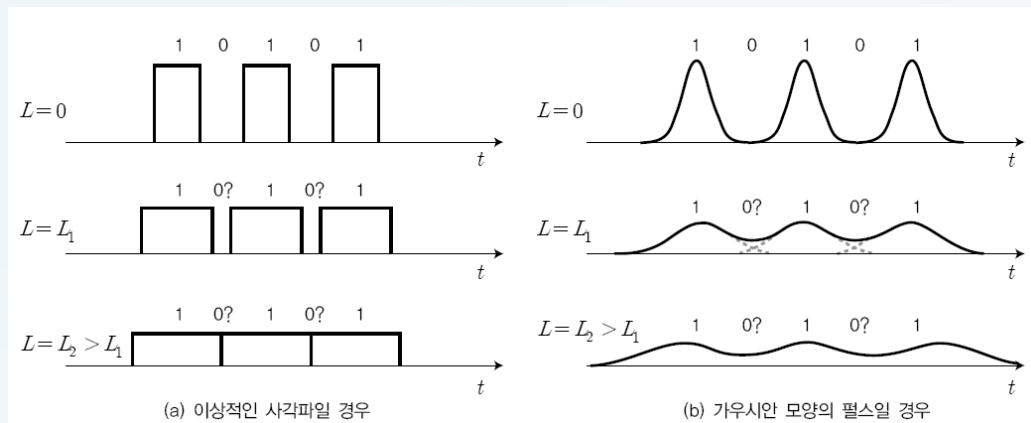
● 모드 분산



- 펄스 폭이 T 인 입력 펄스가 다중모드 광섬유로 전송되는 경우 **모드 분산** 발생
- 입력 펄스는 광섬유 내부에서 여러 모드로 나뉘어 전송되다가 광섬유 끝에서 다시 겹쳐져서 하나의 펄스를 이룸
- 각 모드의 전파각이 다르므로 전송거리도 달라지고, 따라서 광섬유 끝에 도달하는 데 시차가 발생하여 출력 펄스는 입력 펄스보다 퍼지게 됨
➔ 이와 같은 펄스 퍼짐을 **모드 분산(mode dispersion)**이라고 함

● 분산에 의한 심벌 간섭

- 디지털 펄스열이 전송 거리에 따라, 분산에 의해 서로 겹쳐져 정보 전달 능력이 상실될 수 있다.



- 전송 거리가 증가하면 분산에 의해 심벌(0과 1) 간섭이 심해져 수신기에서 정보 비트를 오판할 확률, 즉 **비트오율(BER, Bit Error Rate)**이 증가한다.



- 모드 분산 문제를 완전히 해결하기 위한 방안

- 단일모드 광섬유

- 광섬유 안에 존재하는 모드 수를 하나로 제한하면 모드 사이의 도달 시간 차에 의해 발생하는 모드 분산을 완전히 제거 가능
 - 단일모드 광섬유는 하나의 모드만 존재하도록 제조한 광섬유

5G

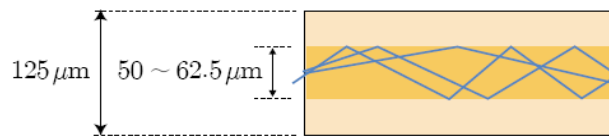
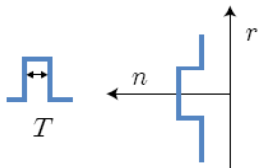
4G

3G

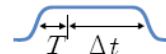
● 광섬유의 유형

입력 광파

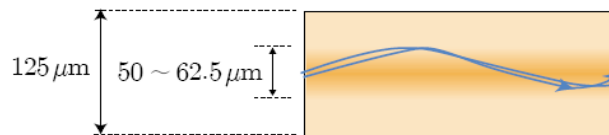
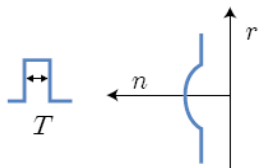
굴절률 분포



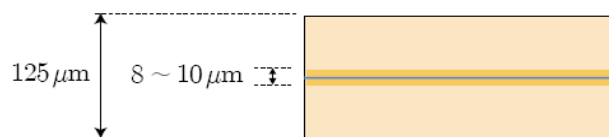
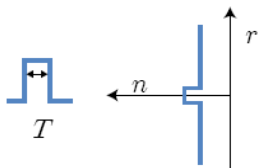
출력 광파



(a) 계단형 다중모드 광섬유



(b) 경사형 다중모드 광섬유



(c) 계단형 단일모드 광섬유



● 광섬유의 손실 특성

▪ 손실의 원인

- 광섬유를 구성하는 물질(SiO_2)에 의한 손실
- 제조 과정상 불순물에 의한 손실
- 도파관 구조에 의한 손실
- 제조 과정에서 광섬유의 불완전한 원주형과 코어와 클래딩 사이의 일정하지 않은 굴절률 차이 등도 손실을 발생
- 두 광섬유를 연결할 때 발생하는 결합 손실 (coupling loss)

단일모드 광섬유의 전송 특성

- 손실 보상 방법

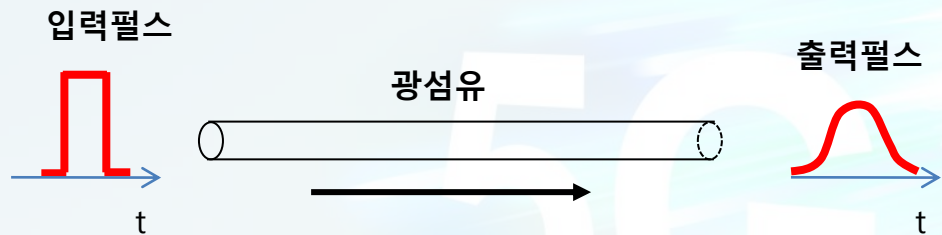
- 제4세대 이전은 재생기(regenerator) 사용
- 제4세대(파장분할다중화 전송) 부터는 광증폭기 사용

→ 광증폭기는 전기적 신호로 바꿀 필요 없이, WDM 시스템의 각 채널 광신호를 동시에 증폭할 수 있으므로 거의 모든 WDM 시스템은 광증폭기로 손실 보상

단일모드 광섬유의 전송 특성

● 군속도 분산

- 분산은 펄스가 퍼지는 현상
- 이웃하는 펄스 사이의 간섭 현상(ISI, Inter-Symbol Interference)을 야기하여 광통신 시스템의 성능을 제한하는 주요 원인



단일모드 광섬유의 전송 특성

- 광펄스를 구성하고 있는 스펙트럼 성분의 두 가지 발생 원인
 - 광원
 - 광통신에서 사용되는 발광소자로는 반도체로 제조되는 발광다이오드(LED)와 레이저다이오드(LD)가 있다.
 - LED나 레이저다이오드(LD, Laser Diode)의 출력 파장이 단 하나의 파장이 아니라 일정한 스펙트럼 폭이 있는 여러 파장으로 구성되어 있기 때문이다.
 - 광원의 스펙트럼 폭이 좁을수록 분산 효과는 작아지며, 따라서 고속 장거리 광통신 시스템에서는 단일모드형 레이저다이오드를 주로 사용한다.

● LED와 레이저다이오드의 일반적인 특성 비교

- LED는 제조하기가 쉽고 값이 싸지만, 수십 km 이상의 장거리 광통신에는 적합하지 않음
- 레이저다이오드는 가격이 비싸지만, 출력 스펙트럼 폭이 좁아 분산의 영향을 덜 받는다. 장거리 광통신에서는 예외 없이 사용함

또한, 방향성이 좋아 광섬유로 결합하기가 쉬우므로, 단일모드 광섬유와 함께 사용함



◆ 발광 다이오드 (LED-Light Emitting Diode)

● 장점

- 제조가 용이
- 가격이 낮음
- 크기가 작고 수명이 김

● 단점

- 광출력이 낮음 \Rightarrow 장거리 전송이 힘들
- 출력 스펙트럼의 폭이 넓어 분산이 심함 \Rightarrow 비트율과 전송거리가 제한됨
- 빛의 방사 형태가 넓어 단일모드와 결합되는 광 출력의 양의 극히 적음 \Rightarrow 다중모드와 주로 사용됨

● 주요 응용 광통신 시스템

- LAN과 같은 근거리용
- 비트율은 수십 Mb/s ~수백 Mb/s



◆ 레이저다이오드

● 광통신의 대표 발광소자

- LED보다 방향성이 좋고, 출력 전력이 높으며, 스펙트럼 폭이 훨씬 좁을 뿐 아니라 가간섭성(coherent) 광파를 출력

5G

4G

3G

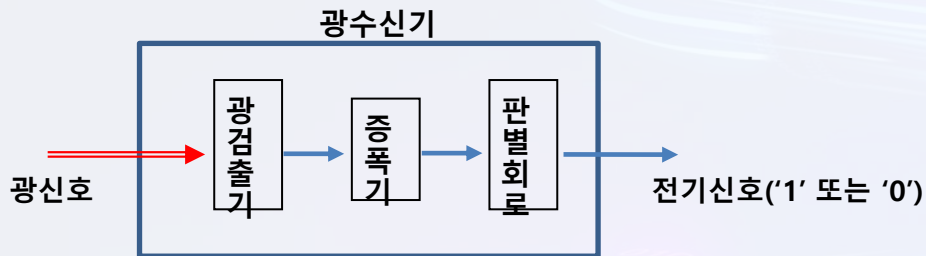
- 구동회로와 온도 안정화

→우수한 특성이 요구되는 장거리 고속 동작에 사용되는 광송신기는, 출력 변화를 최소화하기 위해 온도센서를 사용하여 냉각기(TEC: ThermoElectric Cooler)와 함께 사용

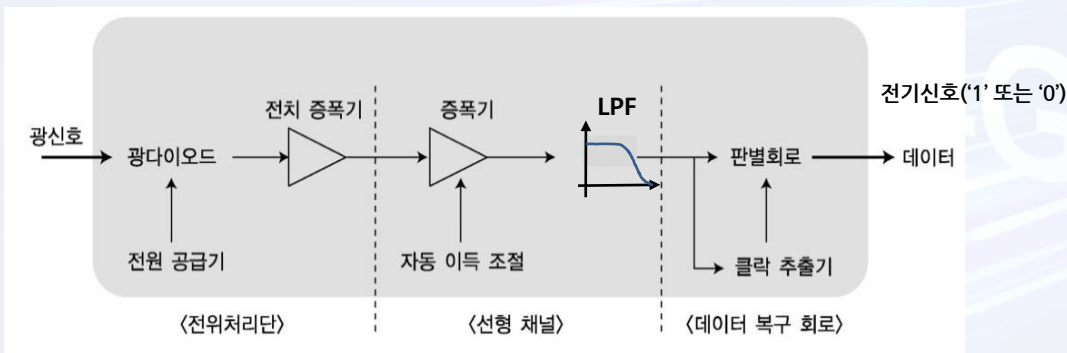
광수신기

◆ 디지털 광수신기의 구조와 기능

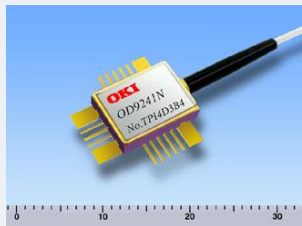
디지털 광수신기의 구조



디지털 광수신기의 기능도



광수신기의 외형





◆ 광수신기의 신호 대 잡음비

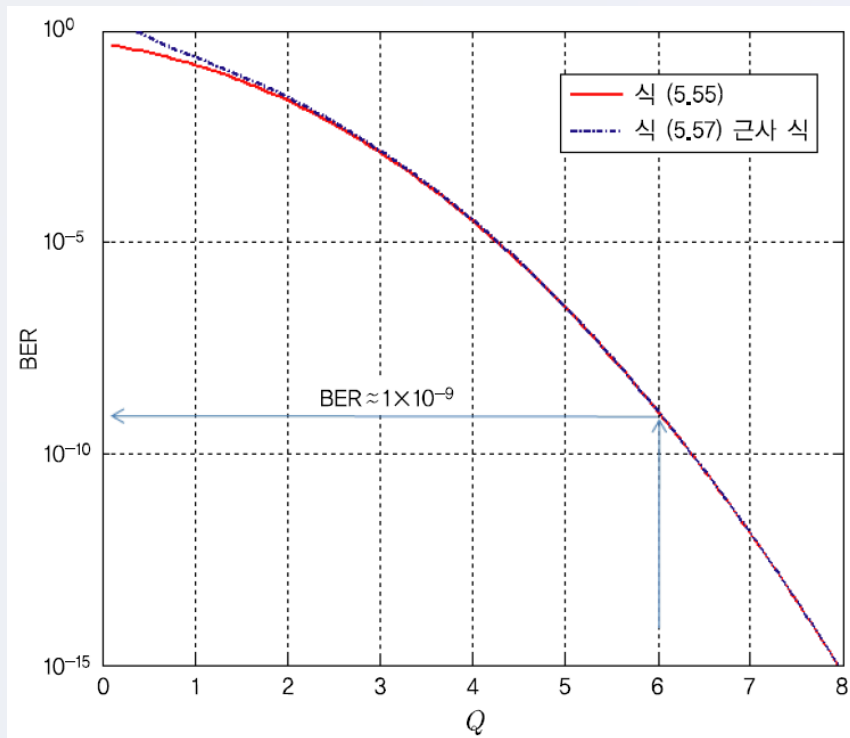
- SNR은 같은 부하저항 R_L 에서 소모되는 신호의 전력과 잡음의 전력비로 정의
- 광신호가 광다이오드에 의해 전기 신호로 변환된 이후의 SNR을 말하므로 광신호의 SNR(optical SNR)이 아니라 전기 신호의 SNR을 의미

$$SNR = \frac{S}{N} = \frac{\text{신호 전력}}{\text{잡음 전력}}$$

성능 평가 방법과 수신 감도

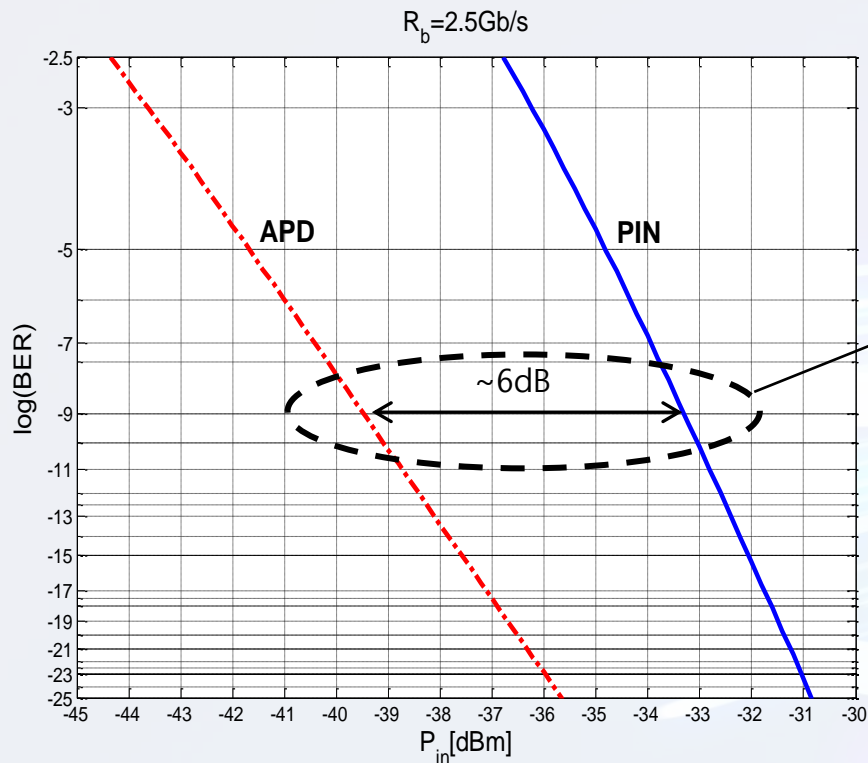
■ 성능분석

$Q=6 \rightarrow \text{BER}=1 \times 10^{-9}$ 에 해당



수신기의 성능 비교와 전력 페널티

● PIN 수신기와 APD 수신기 비교 예



APD의 수신 감도가 PIN보다 약 6dB 개선

광섬유의 연결

□ 발광소자(LED, LD)와 광섬유, 광섬유와 수광소자(광다이오드)와 결합하는 기본적인 3가지 방법

- 직접 결합
- 렌즈 결합
- 광섬유의 끝부분을 렌즈 모양으로 변형하여 결합

□ 광섬유끼리 연결하는 방법

- 접속(splicing)
- 커넥터(connector)

“광부품 업체는 패키징할 때 접속용 광섬유(pigtail)를 사용하기 때문에,
사용자는 단순히 광섬유끼리 어떻게 연결할지 만을 고려하면 된다”



◆ 설계 지침(design guideline)

- 중요한 설계 변수
 - 전송 거리
 - 전송 속도(즉, 비트율)
 - 동작 파장
 - 목표 비트오율(BER) 등
- 광통신 시스템을 설계하기 위해서는 광송신기, 광수신기 및 광섬유의 특성을 명확하게 이해해야 함
- 손실제한시스템(loss-limited system)
 - 수 km 이내의 짧은 거리를 제외하고는 광통신 링크를 설계할 때 가장 먼저 고려해야 할 사항은 광섬유의 손실임



◆ 광통신 링크 설계

- 광통신 링크를 설계할 때 전송 거리, 비트율, BER은 미리 결정됨
- 사용할 광섬유와 파장이 결정되면, 링크 설계(link budget) 단계를 거침
 - 전력 설계
 - 상승시간 설계

● 전력 설계(power budget)

- 광통신 링크의 예상 수명 동안 수신기에 수신 감도 이상의 전력이 수신되도록 설계



설계 지침을 만족하면서 경제적으로 어느 방법이 가장 유리한지 살펴보아야 함



- 상승시간 설계(rise-time budget)

- 상승시간 설계는 목표 비트율에서 제대로 동작하도록 설계하는 것을 말함
- 대역폭 설계(bandwidth budget)라고도 함
- 광송신기, 광수신기의 상승시간은 광부품 회사의 기술 명세서에서 제공



◆ WDM 시스템 개요

- 광섬유의 대역폭을 충분히 활용하기 위해서는 여러 개의 채널을 하나의 광섬유로 전송하는 다중화 (multiplexing) 기술이 필요

➔ 파장분할다중화(Wavelength Division Multiplexing)

5G

4G

3G

파장분할다중화(WDM) 시스템



● WDM 시스템의 장점

- 확장성
 - 전송 용량을 증가시키기가 쉽다.
 - 데이터 트래픽이 증가하면, 채널수를 늘리면 된다.
- 투명성
 - 전송 형태(transmission format)에 독립적
 - 즉 중심 파장만 다르다면, 각 채널의 비트율은 물론 변조 방식이 각각 달라도 하나의 광섬유 안으로 함께 전송 가능
- 네트워크 구성의 용이성
 - 네트워크 구성이 매우 쉽다.
 - 전송 도중 특정 파장을 손쉽게 분리해 내거나 더해줄 수 있다.

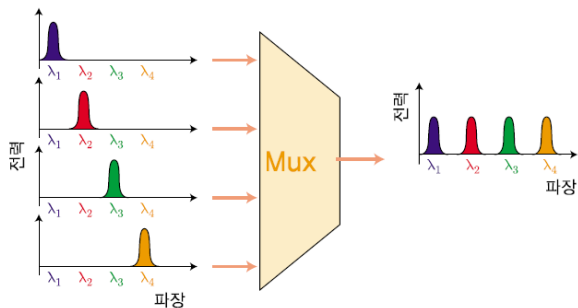
파장 다중화기/역다중화기

- WDM 시스템은 파장 다중화기(WDM Mux)와 파장 역다중화기(WDM DeMux)가 반드시 필요

[4채널 WDM Mux와 DeMux의 예]

- 파장 다중화기(WDM Mux)

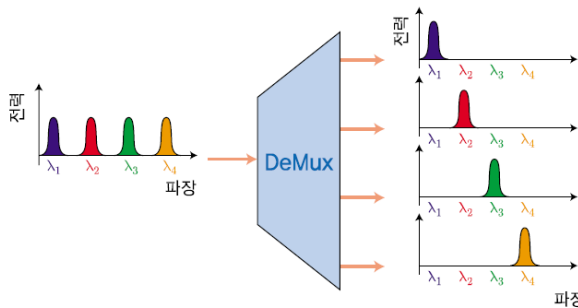
- 파장(주파수)이 다른 각 채널의 신호를 모아 하나의 광섬유로 내보내는 역할



(a) Mux

- 파장 역다중화기(WDM DeMux)

- 하나의 광섬유에서 전송된 여러 파장의 신호를 각각 분리하는 역할



(b) DeMux

WDM 시스템의 시뮬레이션 필요성

- CAD를 사용한 시뮬레이션의 중요성이 증가
 - 제4세대 이후의 광통신 시스템 설계는 CAD를 사용하지 않고는 불가
 - 공학자는 시뮬레이션에서 사용하는 모델링 및 계산 알고리즘의 한계를 잘 이해하고 있어야 함
 - 시뮬레이션이 공학자의 직관과 경험 및 실험 결과를 완전히 대신할 수는 없으며, 시뮬레이션의 결과에 따른 공학적 판단은 전적으로 공학자의 몫

수고하셨습니다.

