

6주 2강.

# 단일모드 광섬유의 전송 특성



송실사이버대학교

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

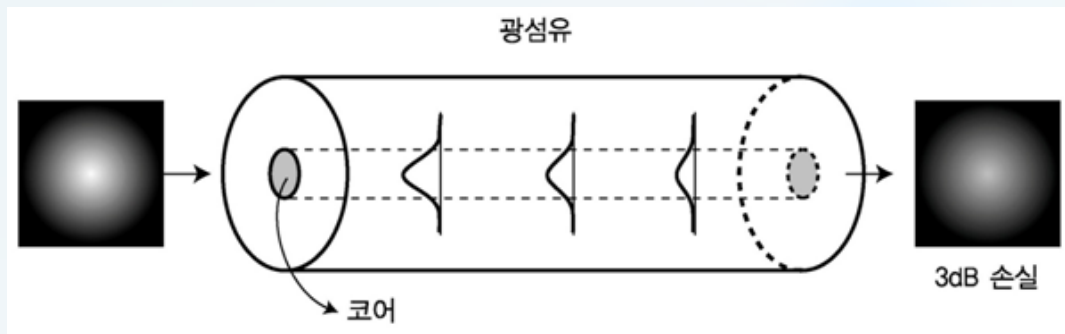
\* 사용서체 : 나눔글꼴

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

❖ 앞으로 다룰 모든 광섬유는 특별한 언급이 없는 한, 단일모드 광섬유를 의미함

## ■ 손실

- 광섬유 안에서 광전력의 손실(loss) 또는 감쇠(attenuation)는 광통신 시스템의 성능을 제한하는 가장 기본적인 요인임



- 손실이 적을수록 송신기와 수신기 사이의 거리, 또는 증폭기 사이의 거리를 증가시킬 수 있으므로, 적은 비용으로 광통신 시스템을 설치할 수 있다.

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

- 광섬유의 손실 특성
  - 손실의 원인
    - 광섬유를 구성하는 물질( $\text{SiO}_2$ )에 의한 손실
    - 제조 과정상 불순물에 의한 손실
    - 도파관 구조에 의한 손실

5G

4G

3G

2G

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

## ■ 광섬유의 손실 특성

- 실리카( $\text{SiO}_2$ )는 빛을 흡수하여 손실 발생
  - 실리카 분자 자체의 공진으로 인하여 공진 주파수에 해당하는 빛을 흡수하여 손실이 발생
  - 제조 과정에서 발생한 불순물에 의한 공진으로 빛이 흡수되어 손실이 발생
  - 약  $1.6\mu\text{m}$  이상에서 손실이 증가하는 것은 주로 실리카의 적외선 흡수 때문
  - 손실 계수가 약  $1.39\mu\text{m}$ 에서 급격하게 증가하는 것은 제조 과정에서 수분이 첨가되어 발생하는 OH 이온에 의한 흡수 때문
- 레일리 산란(Rayleigh scattering)에 의한 손실
  - 빛의 산란 때문에 발생하는 손실
  - 파장이 약  $1.5\mu\text{m}$ 보다 짧을 때는, 주로 레일리 산란에 의해 손실 계수가 결정

## ■ 광섬유의 손실 특성

### • 그 외 손실의 원인

- 제조 과정에서 광섬유의 불완전한 원주형과 코어와 클래딩 사이의 일정하지 않은 굴절률 차이 등도 손실을 발생

- 휨 손실(bending loss)

광섬유가 직선에서 벗어나 구부러질 때, 그 반경이 짧으면 모드 에너지 일부가 클래딩으로 빠져나가기 때문에 발생하는 손실

» 휨 반경  $R > 5\text{mm}$ 이면 손실이  $0.01\text{dB/km}$  이하로 낮으므로 무시할 수 있다.

- 두 광섬유를 연결할 때 발생하는 결합 손실(coupling loss)

» 커넥터(connector)는 약  $0.25\text{dB}$  이하의 손실 발생

» 용착 접속(fusion splicing)은  $0.1\text{dB}$  내외의 손실 발생

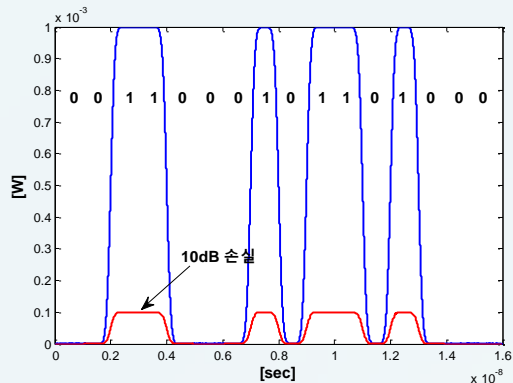
# 단일모드 광섬유의 전송 특성

## ■ 손실의 영향

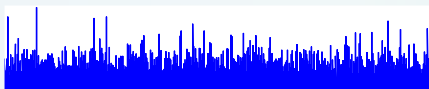
- 전송 거리가 증가할수록 광섬유의 손실 때문에 수신기에 도달한 광신호의 전력은 낮아짐
- (전력손실[dB] = 전송거리[km] × 광섬유의 손실계수[dB/km])
- 따라서 광신호는 잡음과 구분하기 어려워, 복원하는 것이 불가능해짐

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

신호

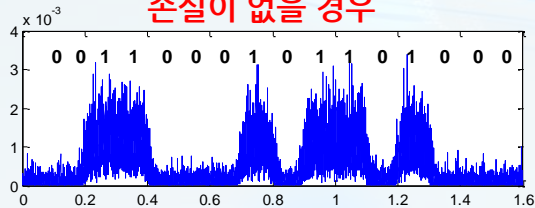


잡음

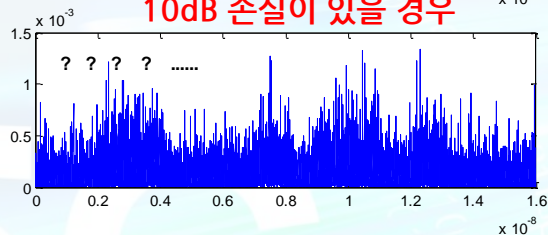


잡음 영향하의 수신 신호

손실이 없을 경우



10dB 손실이 있을 경우



❖ 손실 계수  $\alpha_{dB}=0.2\text{dB/km}$  라면 10dB는 50km의 전송거리(광섬유 길이)에 해당



# 단일모드 광섬유의 전송 특성

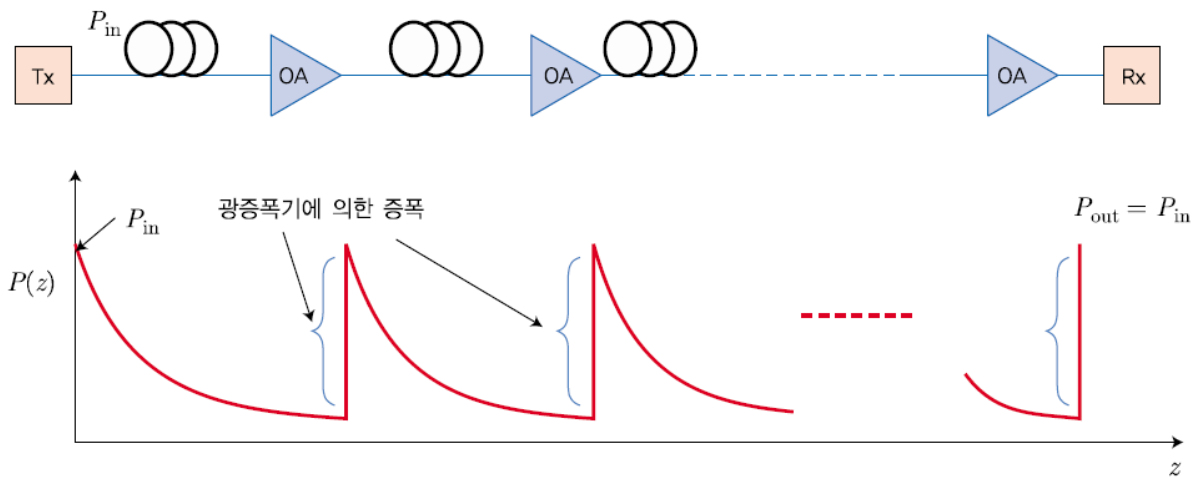
## ■ 손실 보상

- 잡음에 의해 신호를 복원하는 것이 불가능해지는 것을 막기 위해 장거리(> ~100km) 전송에서는 손실 보상이 필수적임
- 손실 보상 방법
  - 제4세대 이전은 재생기(regenerator)(=광수신기+광송신기) 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

## 광증폭기에 의한 광섬유의 손실 보상 예

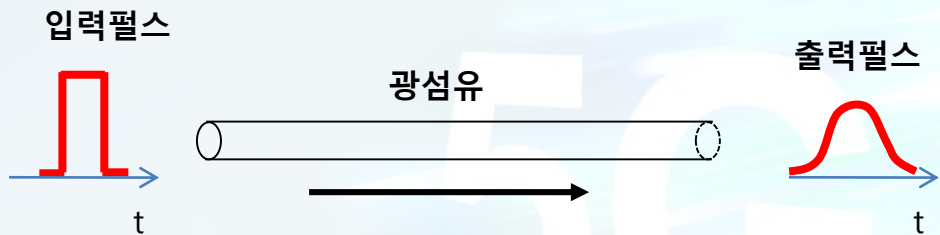


※Tx = 송신기(Transmitter), Rx = 수신기(Receiver), OA = 광증폭기(Optical Amplifier)

# 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

## ■ 군속도 분산

- 단일모드 광섬유에서는 모드 분산이 존재하지 않지만, 다중모드에서는 모드 분산보다 그 영향이 미미해 무시할 수 있었던 **군속도 분산**(GVD, Group-Velocity Dispersion) 때문에 시스템 성능에 제한을 받는다.
- 다중모드 광섬유에서는 무시할 수 있었던 군속도 분산이, 단일모드 광섬유에서는 주요 성능 제한 원인이 되는 이유는, 단일모드 광섬유가 주로 고성능이 요구되는 고속 장거리 통신에 주로 사용되기 때문이다.

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

## ■ 광신호의 스펙트럼

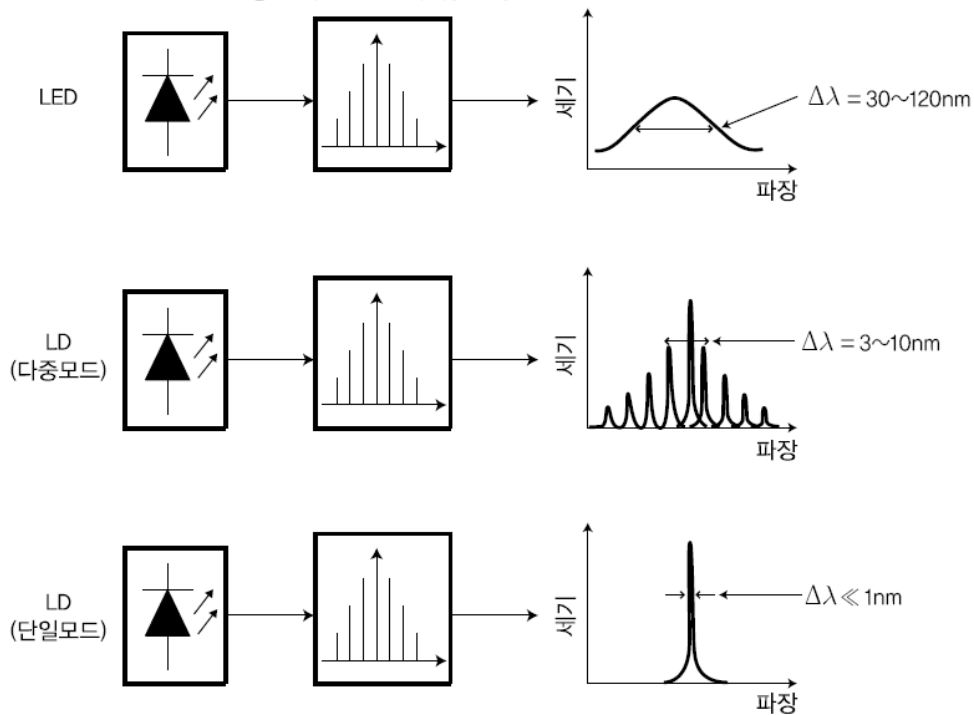
- 군속도 분산은 펄스를 구성하는 여러 스펙트럼 성분이 각기 다른 속도로 광섬유 안에서 전송되기 때문에 발생한다.
- 군속도 분산을 **색 분산**(chromatic dispersion)이라고 한다.
- 군속도 분산의 원인
  - 광섬유의 재질인 실리카의 굴절률이 파장(또는 주파수)의 함수  
→ **재료 분산**
  - 광섬유 클래딩과 코어로 구성된 원주형의 도파관 구조  
→ **도파관 분산**
- 광펄스를 구성하고 있는 스펙트럼의 폭이 좁을수록 군속도 분산 효과는 낮아진다.

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

- 광펄스를 구성하고 있는 스펙트럼 성분의 두 가지 발생 원인
  - 광원
    - 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.

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

광스펙트럼 분석기(OSA)



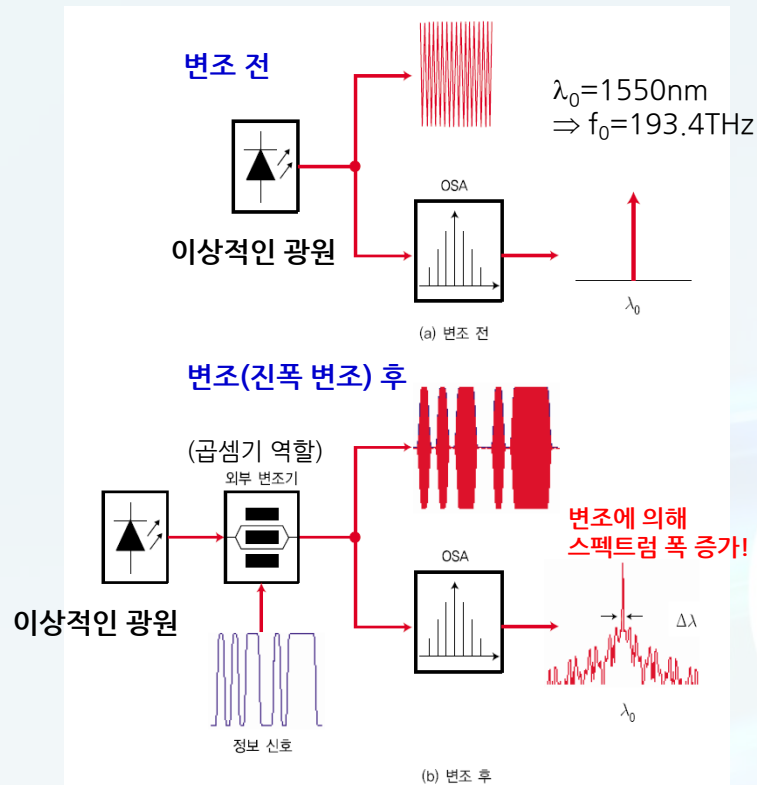
❖ OSA(Optical Spectrum Analyzer)  
= 광스펙트럼 분석기

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

- 광펄스를 구성하고 있는 스펙트럼 성분의 두 가지 발생 원인
  - 변조
    - 광원의 출력이 이상적으로 단일 파장으로만 구성되어 있다 하더라도 전송할 정보 신호인 펄스에 의해 변조가 되면 유한한 대역폭을 가지게 된다.
    - 변조기를 사용하지 않고, 레이저다이오드를 직접 변조하는 때도 있는데, 이때는 처핑(chirping) 현상에 의해 대역폭이 더욱 넓어진다.



# 단일모드 광섬유의 전송 특성

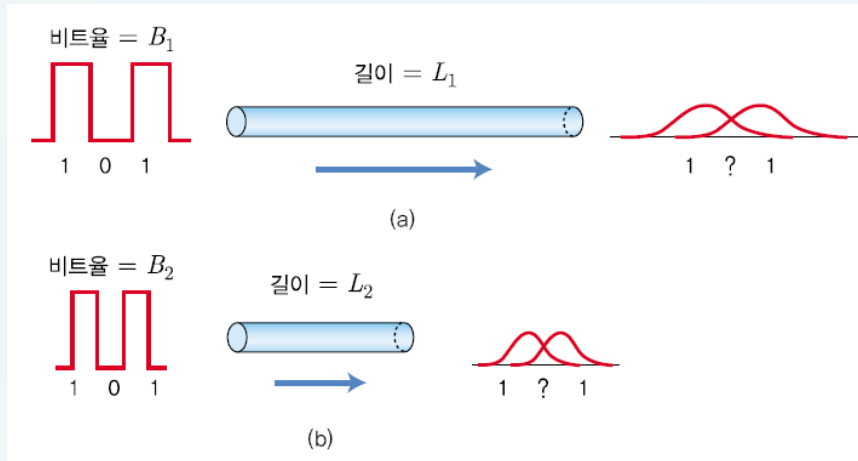


# 단일모드 광섬유의 전송 특성

- 표준 단일모드 광섬유의 분산 계수
  - 표준 단일모드 광섬유(SMF, Standard Single-Mode Fiber)는 1990년대부터 집중적으로 매설되기 시작해 현재 전 세계적으로 가장 널리 매설되어 있음
    - 제2세대 광통신 시스템은 분산 계수가 거의 0인  $1.3\mu\text{m}$  파장을 사용하고, 재생기를 사용했으므로, 분산이 시스템 성능을 제한하는 주요 원인이 되지는 않았다.
    - 광섬유의 손실이 최소가 되는  $1.55\mu\text{m}$  파장 대역으로 옮겨오면서 광섬유의 분산 특성이 주요한 고려 사항이 되었다.
    - $1.55\mu\text{m}$  파장 대역에서는 분산 계수가  $16\sim 18[\text{ps}/(\text{nm}\cdot\text{km})]$  정도로 크고, 또한 재생기(regenerator)를 사용하지 않고, 광증폭기를 사용하게 되면 전송 거리에 따라 분산이 누적되기 때문이다.

# 단일모드 광섬유의 전송 특성

## ■ 분산에 의한 BL곱의 제한



➡ 비트율(bit rate)을 증가시키면,  
분산에 더 쉽게 영향을 받아,  
전송 거리가 짧아질 수밖에 없다.

수고하셨습니다.

