

6주 1강. 다중모드 광섬유



송실사이버대학교

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

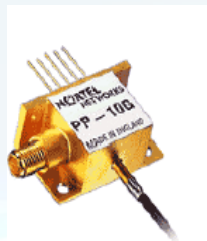
* 사용서체 : 나눔글꼴



광송신기



광섬유



광수신기

5G

4G

3G

2G



◆ 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 광섬유란?

- 광섬유 내에서 여러 모드(mode)가 동시에 전송되는 광섬유
- 단일모드 광섬유는 하나의 모드만이 전송되는 광섬유



■ 개구수와 모드 분산

- 개구수(NA)는 광섬유가 내부 전반사 조건을 만족시켜 전송할 수 있는 빛을 광원으로부터 얼마나 많이 받을 수 있는지의 능력을 나타냄
- 광통신의 발전 초기에는 개구수(NA)가 큰 광섬유가 장거리 전송에 유리할 것으로 추측
- **모드 분산**이라는 현상으로 인해 개구수가 크면 장거리 전송에 불리!

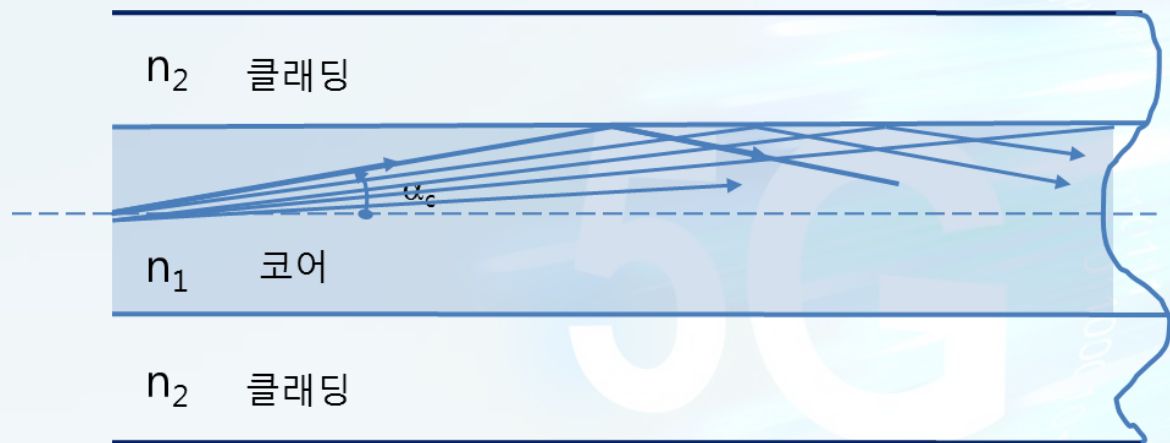
5G

4G

3G

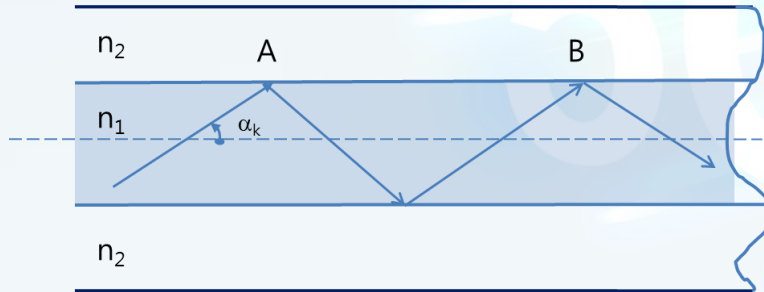
■ 모드의 개념

- 빛이 광섬유의 코어 내부에 갇혀 전송되기 위해서는 내부 전반사가 일어나야 함
- 전반사가 일어나기 위해서는 전파각이 $0 \leq \alpha \leq \alpha_c$ 의 조건을 만족해야 함



■ 모드의 개념(계속)

- 또한 빛은 전자파의 일종이므로, 전반사에 의해 한번의 지그재그 진행 이후의 위상이 동일해야 함
- 예를 들어, A와 B에서의 위상이 같아야 함
- 즉 모드란, $0 \leq \alpha \leq \alpha_c$ 조건을 만족하면서 전반사에 의해 한번의 지그재그 진행 이후 위상이 같은 빔 (beam)들이다.
- 따라서, 유한한 개수의 모드만이 광섬유 안에 존재하며, 각각 광신호의 일부 전력을 가지고 진행하다가 광섬유 끝에서 합쳐진다.



$$\alpha_k < \alpha_c$$

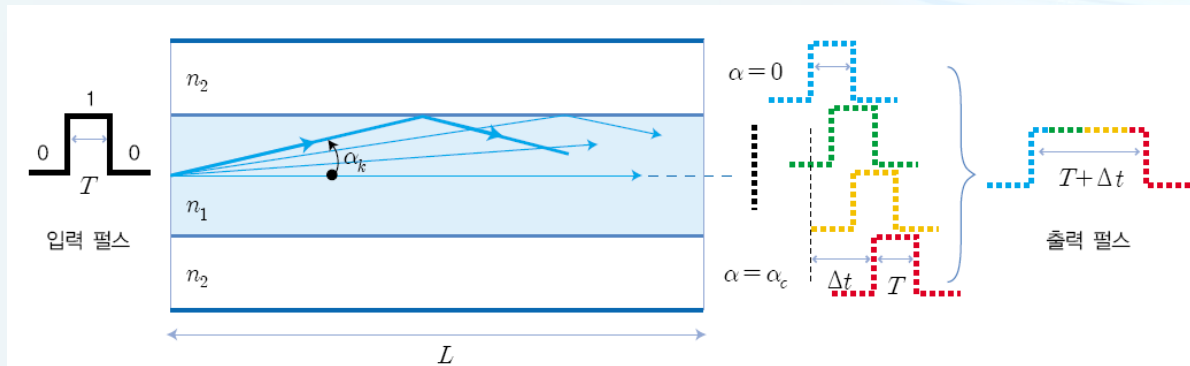
- 정규화 주파수와 모드 수
 - 모드 수를 결정하는 요인
 - 개구수(NA) : NA 가 클수록 더 많은 빛을 모을 수 있으므로 모드 수도 증가
 - 코어 직경(d) : 클수록 모드 수 증가
 - 빛의 파장(λ) : 파장이 짧을수록 모드 수 증가

$$\text{모드 수 } N \propto \frac{NA \cdot d}{\lambda}$$

개구수 또는 모드 수가 증가하면 왜 광신호 전송에 불리한가?

모드 분산!

■ 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



■ 모드 분산

- 펄스 퍼짐 폭 Δt

- 가장 늦게 도달하는 모드와 가장 빨리 도달하는 모드의 도달 시간 차

- 개구수로 펄스 퍼짐 폭 Δt 표현

- 모드 분산은 광섬유 길이에 비례, 개구수 제곱에 비례
 - 단위 길이당 펄스 퍼짐 $\Delta t/L$ 로 나타내기도 함

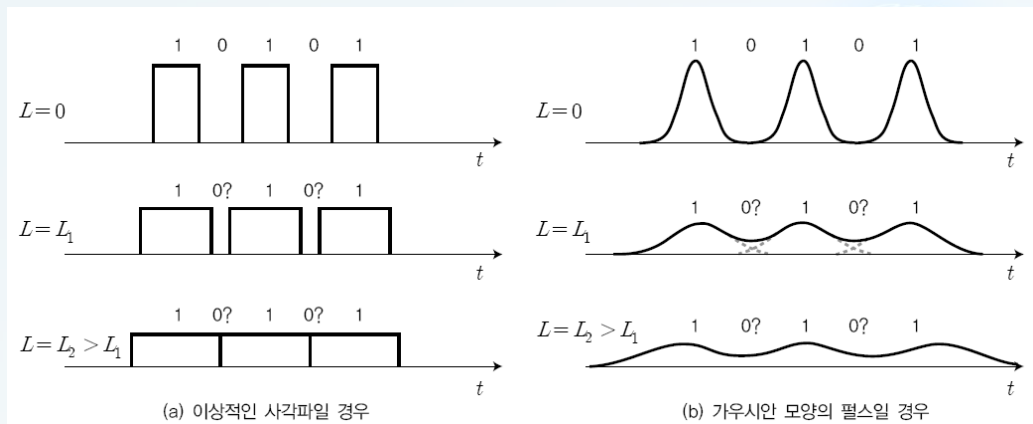
5G

4G

3G

■ 분산에 의한 심벌 간섭

- 펄스 퍼짐(분산)은 디지털 광통신 시스템의 성능에 어떤 영향을 미치는가?
- 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 분산에 관한 2가지 질문

① 시스템 공학자의 입장

- 모드 분산이 필연적이라면, 주어진 비트율로 전송할 수 있는 최대 거리는 얼마인가?
- 또는 전송 거리(즉 광섬유의 길이)가 정해져 있다면, 비트율은 최대 얼마까지 높일 수 있는가?

② 소자 공학자의 입장

- 모드 분산을 최소화 또는 아예 제거할 수 있는 방법은 없을까?



- 분산과 비트율

〈〈 첫 번째 질문에 대한 시스템 공학자의 실무적 규칙〉〉

- 계단형 다중모드 광섬유의 BL곱 : (B는 비트율)

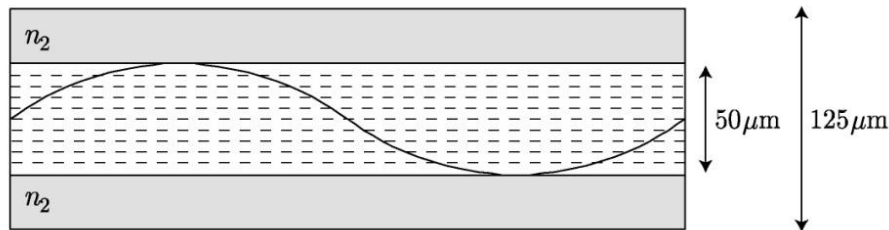
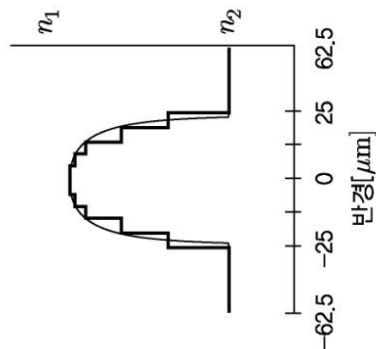
예 : $NA=0.275$, $n_2=1.487$ 인 계단형 다중모드 광섬유

$$BL < 2.95 \text{Mbps} \cdot \text{km}$$

➔ 성능이 극히 제한적이므로, 계단형 다중모드 광섬유는 초창기에 사용되었으며, 최근에는 광통신에 거의 사용되지 않고 있음

■ 경사형 다중모드 광섬유

- 빛의 전송 거리가 가장 짧은 코어의 중심축에서, 굴절률의 크기가 가장 크므로 전송 속도가 가장 낮다.
- 반면에, 코어 중심에서 클래딩 쪽으로 갈수록 굴절률의 크기는 낮아지므로, 빛의 전송 속도가 올라간다.
- 전송 거리가 짧은 모드와 긴 모드 사이의 도달 시간차는 감소하므로, 모드 분산은 계단형 다중모드 광섬유보다 감소하게 된다.





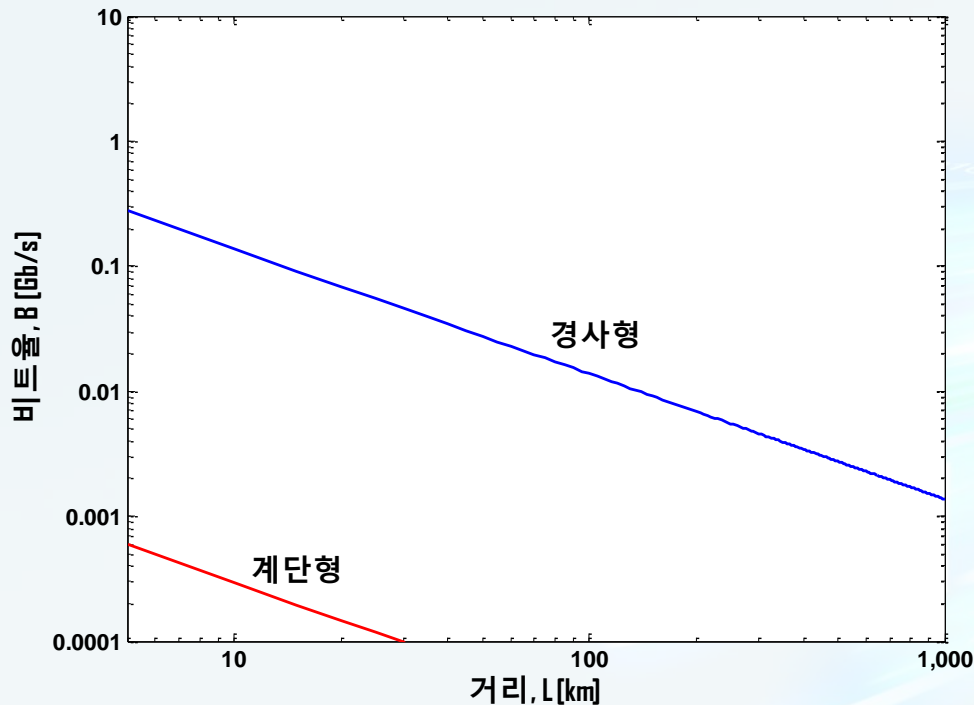
- 경사형(Graded-index) 다중모드 광섬유
 - 계단형 다중모드 광섬유와 펄스 퍼짐 비교
 - 경사형 다중모드는 계단형 다중모드보다 BL공이 **약 500~1000배** 정도 큼

5G

4G

3G

- 다중모드 광섬유의 BL곱 제한의 예
 - $NA=0.275$, $n_2=N1=1.485$ 인 경우





- 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 광섬유**는 하나의 모드만 존재하도록 제조한 광섬유

5G

4G

3G

광섬유의 유형

■ 광섬유의 유형

• 다중모드 광섬유

- 다루기가 쉽고 LED와 같은 저가의 광원을 사용할 수 있다.
- 전송 거리가 수 m에서 수십 km 이내로 멀지 않은 LAN과 같은 환경에서 사용된다.

클래딩 직경은 동일

광섬유	코어 직경/클래딩 직경	중심 파장	응용 분야
단일모드	$(8 \sim 10 \mu\text{m}) / 125 \mu\text{m}$	1310nm 또는 1550nm	중·장거리 통신
다중모드	$50 \mu\text{m} / 125 \mu\text{m}$	850nm 또는 1310nm	LAN 또는 MAN
	$62.5 \mu\text{m} / 125 \mu\text{m}$	850nm 또는 1310nm	LAN

- 광섬유의 유형

- 단일모드 광섬유

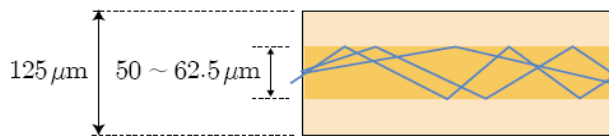
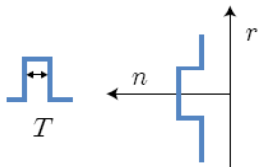
- 광섬유끼리의 연결을 고려하여 클래딩 직경은 다중 모드와 동일
 - 코어 직경이 작아 상호 연결하거나, 발광소자 또는 수광소자와 정렬하기 까다롭다.
 - 모드 분산이 없어 BL공이 크게 향상 고속 장거리 통신에 주로 이용

■ 광섬유의 유형

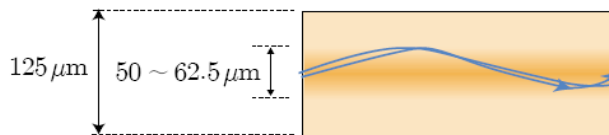
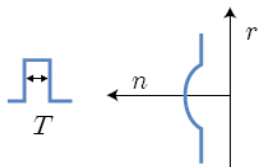
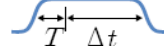
입력 광파

굴절률 분포

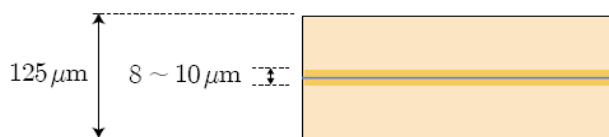
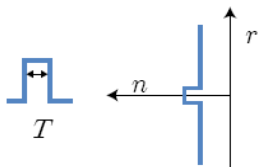
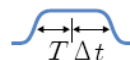
출력 광파



(a) 계단형 다중모드 광섬유



(b) 경사형 다중모드 광섬유



(c) 계단형 단일모드 광섬유



수고하셨습니다.

