

# [ 실험 7 예비 보고서 ]

2분반 12161756 윤성호

## 1. 실험 제목

- 광섬유의 구부림 반경에 대한 손실 측정

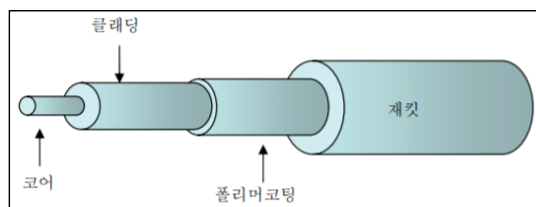
## 2. 실험 목적

- 가. 광섬유의 기본 특성 및 구조를 이해한다.
- 나. 광섬유의 구부림에 대한 손실에 대하여 실험적으로 이해한다.
- 다. 광섬유의 구부림에 대한 손실을 측정한다.

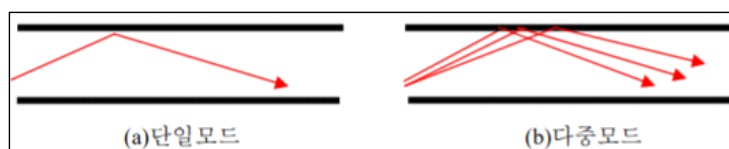
## 3. 이론

### 가. 광섬유의 구조와 특성

- 1) 일반적인 광섬유(fiber optic)는 [그림 1]과 같이 굴절률이 다른 클래딩 (cladding)과 코어(core)로 구성되어 있다. 빛을 전달하는 매개체인 코어로 입사된 빛은 코어와 클래딩의 굴절률 차로 인하여 빛의 전반사가 일어나며, 클래딩을 통해 빛이 새어 나가지 않고 코어를 통해서만 빛이 전달되게 된다.
- 2) 기본적으로 광섬유의 코어는 광전력을 집중시키는 역할을 하고 클래드는 광전력을 가두는 역할을 한다. 코어의 직경, 비굴절률차( $\Delta = (n_{core} - n_{clad})/n_{core}$ )의 크기에 따라서 [그림 2]와 같이 하나의 모드만 전파 가능한 단일모드 광섬유와 여러 모드가 전파 가능한 다중모드 광섬유로 분류된다.
- 3) 모드는 전자파 혹은 광파가 도파로 내와 그 주위를 따라 전파하여 나아가는 형태를 말한다. 일반적으로 클래딩의 굴절률은 코어의 굴절률에 비하여 단일모드 광섬유는 0.1~0.2%정도, 다중모드 광섬유는 1~2%정도 낮으며, 굴절률이 1.47 인 코어와 1.46 인 클래딩이 사용된다. 다중모드 광섬유가 가지고 있는 커다란 장점 중에는 광원과의 결합효율, 또는 개구수(NA : numerical aperture)가  $NA \geq 0.2$ 정도로 높다는 점이다.
- 4) 현재 가장 많이 사용되고 있는 광섬유는 주로 실리카(silica)( $SiO_2$ )로 만들어져 있다. 코어와 클래딩의 굴절률을 약간 다르게 하기 위해서  $F$ ,  $B_2O_3$ ,  $GeO_2$  혹은  $P_2O_5$ 와 같은 산화물을 실리카에 첨가한다.  $GeO_2$ 나  $B_2O_3$ 를 첨가하면 굴절률이 증가하고  $F$ 나  $B_2O_3$ 를 첨가하면 굴절률이 감소한다. 클래딩의 굴절률은 코어보다 작아야한다.



[그림 1] 광섬유 구조



[그림 2] 광섬유 모드 전파

#### 나. 광섬유의 손실 특성

- 1) 광섬유 안에서 광전력의 손실(loss) 또는 감쇠(attenuation)는 광통신 시스템의 성능을 제한하는 가장 기본적인 요인 가운데 하나가 된다. 손실이 커지면 광전력에 실린 정보 손실도 커지므로 광통신 링크를 설계하기 위해서는 광섬유에서의 손실을 반드시 고려해야한다. 손실이 적을수록 송신기와 수신기 사이의 거리, 또는 증폭기 사이의 거리를 증가시킬 수 있으므로 적은 비용으로 광통신 시스템을 설치할 수 있다. 광섬유에서의 손실은 크게 흡수손실과 산란손실, 구부림 손실로 세 가지로 나눌 수 있다.
- 2) 흡수손실 : 광섬유의 소재인 실리카(silica)의 전자가 자외선을 흡수해 높은 에너지상태로 천이하여 생기는 손실이나 적외선의 영향으로 실리카 분자의 열진동과 광자의 상호작용 때문에 생기는 손실을 말한다. 또한 금속 이온중의 전자 천이에 의한 천이금속 흡수 손실과 OH 이온을 흡수하여 생기는 손실 등이 있다.
- 3) 산란손실 : 대표적으로 레일리 산란(Rayleigh scattering)에 의한 손실이 있다. 실리카는 비결정질이므로 분자 밀도가 불규칙하여 빛이 전파되면서 산란이 발생하게 되며 이런 빛의 산란 때문에 발생하는 손실을 레일리 산란 손실이라고 한다.

#### 다. 광섬유의 구부림 손실

- 1) 구부림 손실 : 코어와 클래딩 부분에 퍼져 있던 전자계 분포가 굽혀져 있을 때는 클래딩 내에 존재하는 감쇠전계가 광섬유를 따라 트랩되지 않고 방사되어 전파손실을 일으키는 것을 말한다.
- 2) 구부린 반경 R 이 작아짐에 따라 지수적으로 증가하며 같은 굽힘에 대하여 언덕형이 계단형에 비하여 손실이 크고 손실치를 같게 하려면 포물선 분포의 경우 계단형에 비하여 비굴절율차를 2배로 할 필요가 있다. 한편 불규칙하고 미세한 굽힘에 의한 손실도 중요한 요인이 된다. 이는 광섬유를 케이블로 만들 때 광섬유의 표면이 눌림에 따라 불규칙한 축의왜곡이 일어나 발생하는 손실로써 미세 구부림 손실에 해당한다.
- 3) 일반적으로 계단형 단일모드 광섬유의 감쇠상수  $\alpha$ 는 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\alpha = \frac{1}{a\sqrt{\pi w R/a}} \left(\frac{w}{v}\right)^2 \exp\left[-\frac{4\Delta}{3}\left(\frac{w^3}{v^2}\right)\frac{R}{a}\right], \quad w = k_{0a}\sqrt{N^2 - n_1^2}, \quad v = k_0 a \sqrt{n_2^2 - n_1^2},$$

$$\Delta = (n_2 - n_1)/n_1, \quad (a : \text{광섬유 코어반경}, R: \text{구부림 반경})$$

#### 라. 광섬유의 손실 계산

- 1) 광학장 분포가 [그림 3]과 같을 때 광섬유에 대한 CW 입력을 생각해보자.
- 2) 광전력이  $P(z) = |A(w)\exp(-\frac{\alpha z}{2})|^2$ , 입력 전력이  $P_{in} = P(0) = |A(w)|^2$ ,
- 3) 출력 전력( $z=L$ )이  $P_{out} = P(L) = |A(w)|^2 \exp(-\alpha L) = P_{in}(t)\exp(-\alpha L)$ 일 때,
- 4) 길이가 L인 광섬유에서 dB 단위의 광출력 손실은 아래와 같다.

$$loss(dB) = -10 \log_{10} \frac{P_{out}}{P_{in}} = -10(-\alpha L) \log_{10} e = 4.343\alpha L$$

- 5) 여기서  $\alpha$ 는  $km^{-1}$  단위의 감쇠계수이며 단위길이 당 손실은  $\alpha(dB/km) = 4.343\alpha$ 이다.

$$\psi(x, y, z, t) = \underbrace{\Phi(x, y, \omega)}_{\text{transverse distribution}} \underbrace{A(\omega) \exp(-\alpha z/2)}_{\text{field envelope}} \underbrace{\exp[-i(\omega t - \beta_r(\omega)z)]}_{\text{optical carrier}}.$$

[그림 3] Optical field distribution

- 참고 문헌 -

- [1] 노영섭. "광섬유에서의 굽힘손실을 이용한 하중 측정에 관한 연구." 국내석사학위논문 한양대학교 대학원, 2006. 서울. pp.3-6
- 가. 광섬유의 구조와 특성
  - 나. 광섬유의 손실 특성 - 2) 흡수손실
  - 다. 광섬유의 구부림 손실
- [2] 이종형, "광통신 공학 : MATLAB과 함께하는 광통신 시스템", pp122-124, 한빛아카데미, 2016.
- 나. 광섬유의 손실 특성 - 1), 3) 산란손실
- [3] Shiva Kumar, M. Jamal Deen (2014). Fiber Optic Communications: Fundamentals and Applications, pp.69-70, Wiley : UK.
- 라. 광섬유의 손실 계산