

1. 실험목적

- 레이저 광을 이용하여 빛의 반사 및 굴절 법칙을 이해하고, 임계각을 측정하여 물체의 굴절률을 구한다.
- 광섬유에서 빛이 진행하는 시간을 측정하여 광섬유 내의 빛의 속력을 측정하고 광섬유의 굴절률을 구한다.

2. 실험이론

- 빛이 굴절률이 n_1 인 매질에서 굴절률이 n_2 인 매질로 들어갈 때, 그 경계면에서 반사와 굴절이 일어난다. 경계면의 법선과 입사광선이 이루는 각을 입사각 θ 라 하고 θ' 과 θ'' 은 각각 반사각과 굴절각이라 하면 반사의 법칙에 의해 $\theta = \theta'$ 이고 스넬의 법칙에 의해 $n_1 \sin \theta = n_2 \sin \theta''$ 이다.
- 굴절률이 큰 물질(n_1)에서 굴절률이 작은 물질(n_2)로 빛이 진행할 때에 어떤 입사각 θ_c 이상에서는 굴절각은 없고 모든 빛이 반사되는 전반사 현상이 나타난다. 전반사가 시작되는 입사각 θ_c 를 임계각이라 하는데 굴절각이 90° 이므로 $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ 의 관계가 성립한다. $n_2 = 1$ 즉 진공이라고 하면, 전반사가 일어나는 임계각 θ_c 와 입사 매질 n_1 과의 관계식은 $\sin \theta_c = \frac{1}{n_1}$ 이다.
- n_1 이 n_2 보다 클 때, 즉 밀한 매질에서소한 매질로 빛이 입사하면 $\theta_1 < \theta_2$ 이다. 입사각 θ_1 이 점점 커지면 굴절각 θ_2 도 따라서 커지는데 $\theta_2 = 90^\circ$ 가 된 다음부터는 굴절광선이 사라지고 반사광선만 있다. $\theta_2 = 90^\circ$ 일 때 입사각 θ_1 을 임계각(θ_c)이라고 하며, $\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$ 가 된다. $\theta_1 > \theta_2$ 일 때는 굴절의 법칙을 만족하는 θ_2 가 존재하지 않으며, 이때 모든 빛은 반사된다. 이 현상을 전반사 현상이라고 한다. 빛이 유리에서 공으로 진행하는 경우 $n_1 = 1.5$, $n_2 = 1$ 이므로 임계각은 $\theta_c = \sin^{-1} \frac{1}{1.5} \approx 42^\circ$ 이다.
- 입사광의 입사각이 임계각보다 크면 전반사를 하면서 광섬유 코어 도파로를 따라 끝까지 전달된다. 입사광의 입사각이 임계각보다 작으면 코어 내에서 전반사되지 못하여 광섬유 코어 도파로를 따라 끝까지 전달되지 못한다.
- 굴절률이 n_1 인 매질속에서의 빛의 속력은 다음과 같다. $v = \frac{c}{n}$
- 길이가 L 인 광섬유를 빛이 통과하는데 걸린 시간을 t 라고 하면 광섬유 내에서 빛의 속력 v 과 굴절률 n 은 $v = \frac{L}{t}$, $n = \frac{c}{v}$ 이다.
- 단축 굴절률이 n_1 인 ^{코어}매질 안에서 빛이 진행할 때는 빛의 속력이 $v = \frac{c}{n_1}$, $n = \frac{c}{v}$ 로 계산되고, 광도파의 경우에 입사광이 코어 내부만을 따라 진행한다면 빛의 실제 진행 속도는 $v = c/n_{core}$ 가 된다.
- 실제 광섬유에서 코어 도파로 내에서 클래딩의 경계면에서 반사하면서 빛이 진행할 때는 빛의 속력은 코어 굴절률과 클래딩 굴절률 만연된 유효굴절률 n_{eff} 에 의해 빛의 속력은 $v = c/n_{eff}$ 로 결정된다. 유효굴절률은 $n_{core} > n_{eff} > n_{clad}$ 로 n_{core} 보다는 작고 n_{clad} 보다는 큰 값을 가진다. 간단한 플라스틱 광섬유인 경우에는 클래딩이 많이 코어가 플라스틱이고 비어공률이 클래딩 역할을 하므로, n_{eff} 은 $n_{plastic} > n_{eff} > n_{air}$ 에 속하는 굴절률을 가지게 되고 빛의 진행 속력은 $v = c/n_{eff}$ 로 나타내어진다. 실제로 광섬유를 진행하는 빛에 대해서 측정된 굴절률 값은 n_{core} 가 아니고 바로 유효굴절률 n_{eff} 이다.

3. 실험장비 및 실험과정

(1) 실험장비

- | | | | |
|----------------------|-------------|-------------------------------------|-------------------|
| - 반음향 포동 (유니포스 플라스틱) | - 각자대 | - 빛의 속력 측정 장치 | - PSL 레이저 |
| - 극조명판 | - He-Ne 레이저 | - 9V DC 어댑터 | - PSL 레이저 프로브 2개. |
| - 평면거울 | | - 광섬유 15cm, 10m, 20m, 30m, 40m, 50m | |

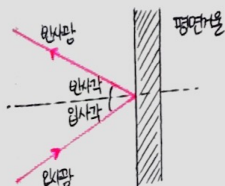
2) 실험방법

1) 반사

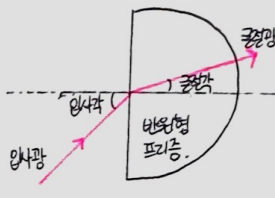
- ① 레이저 광, 극화판, 편광기를 및 지지대 등을 그림 (a)와 같이 배치한다.
- ② 편광기의 편평한 면이 극화판 중심을 지나고 극화판에 수직이 되도록 세워 입사광이 극화판의 중심을 향하도록 한다.
- ③ 입사광과 반사광 모두 편에 수평하게 맞춘 후에 극화판 돌리면서 반사되어 나오는 광을 스크린에서 찾는다.
- ④ 입사각과 반사각을 측정한다.

2) 굴절

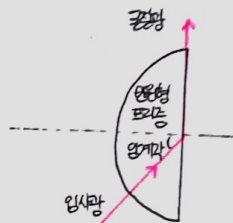
- ① 그림 (b)와 같이 반원형 프리즘의 직각인 면이 극화판 중심을 지나도록 놓고 입사광과 굴절광에 대하여 반사 쌍 때와 같은 조정을 한다.
- ② 같은 입사각에서부터 각도를 돌리면서 스크린에서 광을 찾아서 입사각과 굴절각을 측정한다.
- ③ 스넬의 법칙을 이용하여 프리즘 물질의 굴절률을 계산한다.



(a) 반사



(b) 굴절



(c) 입사각

3) 입사각

- ① 굴절 쌍 때와 마찬가지로 그림 (c)와 같이 반원형 프리즘의 둥근 면으로 광선이 입사하도록 한다. 이때, 입사광이 둥근 면에 수직으로 입사하도록 프리즘의 평평한 면의 중심을 지나도록 한다.
- ② 입사각을 증가시키며, 굴절광이 사라지기 시작하는 입사각까지 입사각을 조절하며 입사각 쌍을 측정한다.
- ③ 굴절 쌍에서 측정한 굴절률을 사용하여 $\sin \theta_c = \frac{1}{n}$ 값에서 입사각을 계산하여 측정값과 비교하여 본다.

④ 채널 1의 프리즘을 빛의 속력 측정 장치의 "Transmitter" 단자에 연결한다.

⑤ 채널 2의 프리즘을 빛의 속력 측정 장치의 "Receiver" 단자에 연결한다.

⑥ 빛의 속력 측정 어댑터를 연결한다. 황태 LED에 빛이 들어오지 확인한다.

⑦ 15cm 간의 광섬유 양 끝을 빛의 속력 측정 장치의 광섬유 단자에 연결한다.

⑧ 광섬유 연결의 상태를 두고 메뉴에서 AUTOSET 키를 누른다. 채널 2의 펄스는 1V, 5V, 75ns의 범위가 될 것이다.

채널 1과 채널 2의 펄스가 시간적으로 일치하지 확인한다. 일치하지 않으면, 빛의 속력 측정 장치의 "Delay calibration" 단자를 조절하여 일치할 수 있도록 한다.

⑨ 광섬유 스톱의 Time/Div를 0.2ns에 놓는다. 그 다음 15cm 광섬유를 조심스럽게 용해하고 10m 간의 광섬유를 연결한다.

⑩ 광섬유 스톱의 한계를 관찰한다. 채널 1과 2 펄스의 시간 간격을 측정하고 기록한다. 측정된 시간 간격으로부터 광섬유 내에서 빛의 속력인 광섬유 굴절률을 계산한다.

⑪ 다른 간의 광섬유에 대해서도 ⑧, ⑨의 과정을 반복하여 측정한다.

4. 예제문제

실험을 통해 입사각이 커짐에 따라 반사각과 굴절각이 커지는 것을 알 수 있을 것이다. 이는 반사의 양과 스넬의 법칙을 통해서 알 수 있는데 입사각 θ_a 와 반사각 θ_r 는 $\theta_a = \theta_r$ 의 관계를 가지고 $n_1 \sin \theta_a = n_2 \sin \theta_r$ 이므로 θ_a 가 커지면 $\sin \theta_a$ 가 커지고 θ_r 도 커지는 것이다.

- 빛의 매질에서 한 매질로 빛을 입사하고 입사각 θ 를 증가시키면 빛이 굴절이 일어나지 않고 모두 반사되어 나오는 순간이 생기게 된다. 이를 전반사라고 하고 이는 굴절률이 사라지는 지점에서의 입사각을 측정하면 임계각을 알아낼 수 있다.

- 공기에서 반원형 프리즘으로 공기를 입사하면 잘려 전반사가 일어나지 않는데 이는 임계각 $\theta_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$ 가 존재하지 않아서이다.

- 파장을 짧게 하여 빛을 입사시키면 굴절률이 파장에 따라서 같은 입사각에 대해 커지게 된다.

따라서 같은 매질을 통과시키더라도 파장이 긴 경우에는 파장이 짧을 때 더욱 굴절을 많이 하게 될 것이다.

- 광섬유에서 코어에 클래딩으로 빛을 입사시키면 빛의 입사각이 임계각보다 큰 경우 전반사가 일어난다. 이는 빛이 빛의 매질에서 한 매질로 입사하고 입사각이 임계각보다 크기 때문에 가능하다.

5.참고문헌

1) 인하대 물리학다! 가르침과학실험Ⅱ, 북스힐 2020

2) 권만성 외 17인, 「대학물리학 8판」, 북스힐 제23장.