

## [ 실험 5 결과 보고서 ]

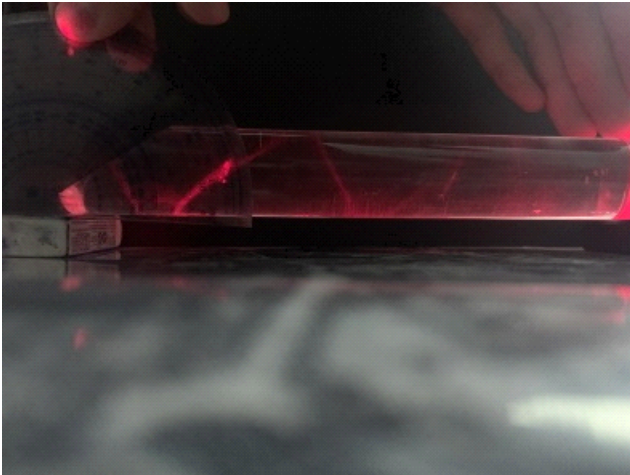
2분반 12161756 윤성호

### 0. 실험 제목

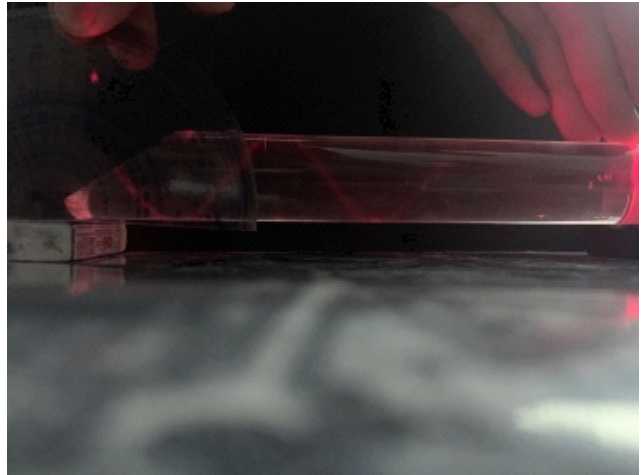
- 전반사에 대한 임계각 측정

### 1. 레이저 포인터 각도에 따른 도파관 내의 빛의 세기 변화 (정성적인 설명)

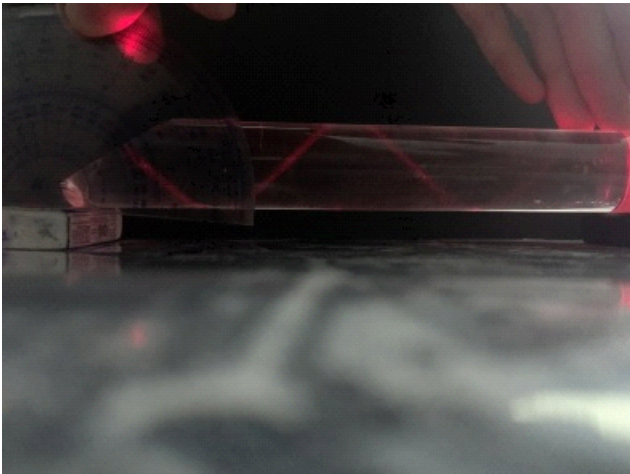
- (a) 15 도, (b) 30 도, (c) 45 도, (d) 60 도



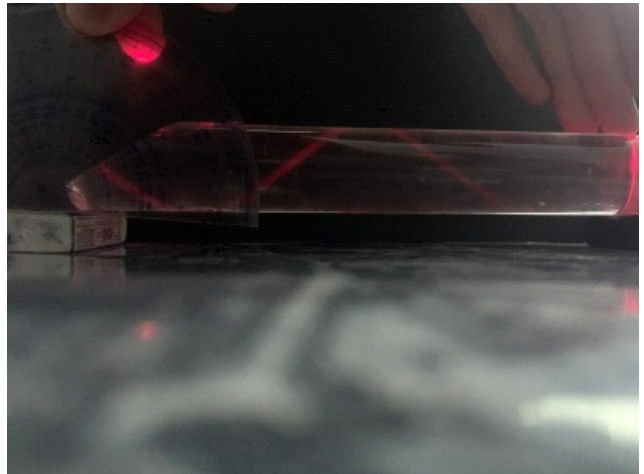
[그림 1] 입사각 : 15°



[그림 2] 입사각 : 30°



[그림 3] 입사각 : 45°



[그림 4] 입사각 : 60°

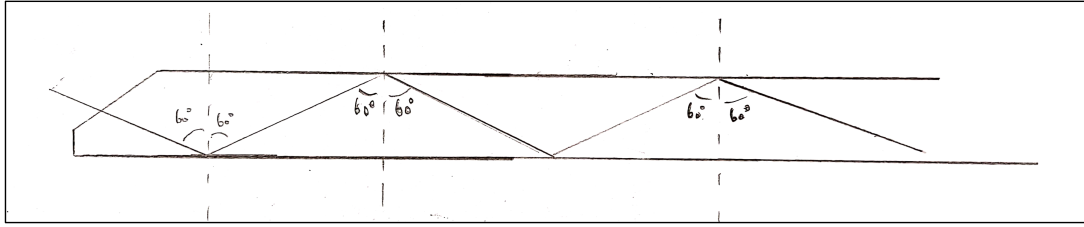
가. 입사각을 0°에서부터 증가시켰을 때 도파관 바깥쪽(아래)으로 세어나가는 빛(굴절광)이 점점 줄어들었다. 그러다 45°를 넘어서며 굴절광이 아예 사라졌다.

나. 즉, 입사각 0°~45° 구간에서는 '도파관 내 입사된 빛의 세기 > 도파관 내에서 빛의 세기'이며, 입사각이 45°에 가까워질수록 두 격자는 점점 줄어들어 45°에서 모든 빛이 반사되어 다시 도파관 안쪽으로 향해 '도파관 내 입사된 빛의 세기 = 도파관 내 빛의 세기'가 되었다.

다. 45° 이상의 입사각에서도 또한 '도파관 내 입사된 빛의 세기 = 도파관 내에서 빛의 세기'가 된다.

라. 최초 입사된 빛은 [그림 5]와 같이 도파관 아래쪽에서 반사돼서 다시 도파관 위쪽에서 공기면과 부딪히게 된다. 하지만 입사각과 반사각이 같기 때문에 n번째 반사된 빛은 최초 입사된 빛의 굴절과 반사 특성을 그대로 가진다.

마. 따라서 입사각  $45^\circ$  미만의 빛에 대해서는 도파관내에서 반사가 반복될수록 점점 빛의 세기는 감소하게 되며,  $45^\circ$  이상의 빛은 도파관 내에서 세기를 유지할 수 있다.



[그림 5] 입사각  $60^\circ$ 인 빛의 도파관 내 진행도

## 2. 임계각, 굴절률 계산 및 토의

가. 굴절각이  $90^\circ$ 가 되는 전반사 각도를 각도기로 측정하여 기록하여라.

- 1) 임계각  $\theta_c = 45^\circ$
- 2) 굴절각이  $90^\circ$ 가 된다는 것은 도파관 밖으로 새어나가는 빛(굴절광)이 아예 없어지는 상황을 말한다. 이때의 입사각을 임계각이라 한다.
- 3) 실험에서 입사각을  $0^\circ$ 에서부터 증가시켰을 때  $45^\circ$ 에서 이 상황이 발생하였다. 따라서 임계각은  $45^\circ$ 이다.

나. 측정된 임계각과 공기의 굴절률 "1"을 대입하여 광 도파관의 굴절률 계산하여라.

- 1) 굴절률  $n_1 = \sqrt{2}$
- 2)  $n_1$  : 도파관의 굴절률,  $n_2$  : 공기의 굴절률(1)이라할 때, 위에서 구한 것처럼  $\theta_1$ 을 임계각( $45^\circ$ )으로 하면  $\theta_2$ 는  $90^\circ$ 가 된다. 이를 스넬의 법칙( $n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$ )에 대입하여 계산한다.
- 3) 따라서  $n_1 \sin \theta_c = \sin 90^\circ$ ,  $n_1 \sin 45^\circ = 1$ ,  $n_1 = \sqrt{2}$  이 된다.

다. 토의

- 1) 이번 실험을 통해  $n_1$ 과  $n_2$  중 낮은 쪽의 굴절률을 알고 있고 임계각을 측정할 수 있으면 나머지 매질의 굴절률을 구할 수 있었다.
- 2) 물론 굳이 임계각이 아니어도 입사각과 굴절각을 측정하고 매질 하나의 굴절률을 알고 있다면 스넬의 법칙을 통해 나머지 한 매질의 굴절률 계산할 수 있다. 하지만 임계각을 이용하면 굴절각이  $90^\circ$ ,  $\sin 90^\circ = 1$ 이 되어 계산식이 간편해지는 이점이 있다.
- 3) 그러나 임계각은 전반사가 시작되는 입사각이며, 전반사는 굴절률이 큰 쪽에서 작은 쪽으로 빛이 입사할 경우에만 발생한다. 따라서 임계각을 이용하려면 항상 굴절률이 큰 쪽에서 빛을 입사해야 한다는 제약조건이 발생한다.

### 3. 고찰

가. 레이저 포인터 각도에 따라 도파관 내의 빛의 세기가 결과와 같은 양상으로 나오는 이유

- 1) 도파관과 공기의 굴절률 차이 때문이다.
- 2) 굴절률이 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 입사된 빛의 입사각이 임계각 이하이면 굴절광이 발생하여 도파관 밖으로 빛이 세어나가 도파관 내에서 반사가 계속될수록 세기가 점점 약해진다.
- 3) 입사각이  $0^\circ$ 에서 시작하여 임계각에 가까워질수록 세어나가는 빛의 세기는 줄어들고 임계각 이후부터는 굴절광이 아예 없고 전부 반사되기 때문에 도파관 내의 빛은 반사가 계속되어도 일정부분 유지된다.

나. 광 도파관에서 전반사가 발생하는 이유

- 1) 도파관의 굴절률이 공기의 굴절률보다 크기 때문이다.
- 2) 굴절률이 높은 매질에서 낮은 매질로 빛이 진행하고 입사각이 임계각 이상일 때 전반사가 일어난다.

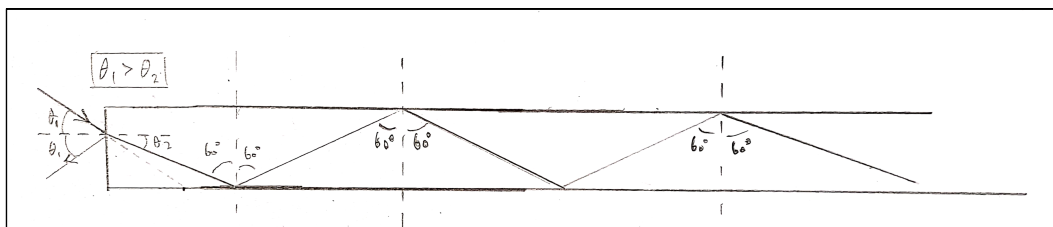
다. 실험을 통해 계산된 광 도파관의 굴절률과 실제 굴절률 비교 및 오차 발생 이유 (광 도파관 굴절률 : 1.6~1.7)

- 1) 실험에서 계산된 굴절률은  $\sqrt{2}$ 로 실제 굴절률과 0.2~0.3 정도 차이가 발생했다.
- 2) 우선 최초 레이저가 입사되는 도파관의 입사면 상태 및 도파관 외부 표면 상태로 인한 오차 발생이 가장 크다고 생각한다.
- 3) 표면 상태가 고르지 못하면 난반사가 일어나기 때문에 굴절률 계산을 위한 임계각 측정에서 오차가 발생한다. 실제 실험에서도 측정이 제대로 되지 않아 비교적 깔끔한 도파관으로 교체했더니 더욱 선명한 레이저 흐름을 관찰할 수 있어 측정에 도움이 되었다.
- 4) 이외 원인으로는 전반사를 눈대중으로 측정한 부분과 도파관 고정의 어려움 등이 있다.

### 4. 추가 고찰

가. 최초 레이저가 '폴리싱 된 광선 입사면'으로 입사될 때 빛의 반사 및 굴절

- 1) 우리는 실험 내내 레이저가 '광선 입사면'을 통해 도파관으로 들어온 후 레이저 빛이 도파관에서 공기로 향하는 첫 번째 지점에서의 입사각에 대해서만 다뤘다.
- 2) 하지만 최초 레이저가 도파관으로 들어올 때도 역시 굴절률이 서로 다른 공기에서 도파관으로 빛이 진행하는 것이기 때문에 입사광의 반사 및 굴절이 일어난다.
- 3) 물론 굴절률이 작은 공기에서 굴절률이 큰 도파관으로 빛이 향하기 때문에 전반사는 일어나지 않고 입사각은 굴절각보다 크다. 아래 [그림 6]은 이를 반영하여 [그림 5]를 재구성한 것이다.



[그림 6] [그림 5] 재구성