

전반사 및 초점거리 실험

1. 목적

한 매질에서 다른 매질로 빛이 입사될 때 발생하는 빛의 반사와 굴절에 관한 법칙을 입사각, 반사각, 굴절각을 측정하여 확인한다. 또한, 굴절 현상을 이용하는 광학기기 렌즈의 초점거리와 렌즈에 의한 상의 배율을 측정한다.

2. 이론

진행파가 진행중인 매질과는 다른 매질 또는 불연속적인 변화가 있는 경계면에 부딪쳐 방향이 바뀌어 원래의 매질 속의 새로운 방향으로 진행하는 현상을 반사라 한다. 경계면이 파장에 비하여 평탄하면, 경계면과 수직인 법선과 입사광선이 이루는 각, 즉 입사각과 경계면의 법선과 반사광선이 이루는 각, 즉 반사각은 동일하다. 즉, 입사광선과 반사광선은 경계면의 법선과 동일평면 안에 있게 되고 입사각과 반사각은 같다. 이를 반사의 법칙이라 하고, 입사각을 θ_i , 반사각을 θ_r 이라 하면 반사의 법칙은 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_i = \theta_r \quad (1)$$

진행파가 파장에 비하여 평탄한 경계면을 넘어서 원래의 매질과는 다른 매질 속으로 들어갈 때나 동일 매질이라도 온도차등에 의해서 파동의 속도가 변하여 진행방향이 달라지는 현상을 굴절이라 한다. 이러한 굴절에서의 중요한 점은 각 매질에서 파동의 파장은 변하더라도 진동수는 다른 매질에서도 변하지 않는다는 것이다. 이러한 파동의 성질에 의해 경계면에서 발생하는 굴절에 관한 일정한 법칙이 성립하는데 이를 굴절의 법칙, 또는 스넬의 법칙이라고 한다. 입사각을 θ_i , 굴절각을 θ_t 라 하고, 입사되는 매질의 굴절률을 n_i , 투과되는 매질의 굴절율을 n_t 라 하면 스넬의 법칙은 다음과 같이 표현된다.

$$n_i \sin \theta_i = n_t \sin \theta_t \quad (2)$$

진행파가 굴절률이 높은 매질에서 낮은 매질로 입사될 때 위 스넬의 법칙이 더 이상 성립하지 않는 경우가 발생하는데, 이 경우에는 투과 없이 전체가 반사되고 이를 전반사 또는 완전반사라고 한다.

굴절 법칙을 이용하여, 물체의 상(image)을 우리가 원하는 위치에, 원하는 크기로 맺히게 할 수 있는 광학기기를 만들 수 있고, 대표적인 예가 바로 렌즈이다. 얇은 렌즈의 축과 평행한 광선이 렌즈를 통과하여 축과 한 점에서 만날 때 이 점을 초점이라 하고, 렌즈의 중심으로부터 초점까지의 거리를 초점거리라고 한다. 볼록렌즈의 초점거리는

양수이고, 오목렌즈는 음의 값을 갖는다. a 를 물체와 렌즈간의 거리, b 를 렌즈에서 상까지의 거리, f 를 렌즈의 초점거리라고 하면, 굴절법칙에 의해 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \quad (3)$$

b 가 양수이면 상은 실상이 되고 스크린에 상이 맺힌다. b 가 음수이면 상은 허상이고 렌즈를 통과한 빛은 발산하게 되어 눈으로 이 빛을 보았을 때 렌즈의 뒤쪽에 있는 상을 볼 수 있다. 렌즈의 배율은 물체의 크기 A 와 스크린에 형성된 상의 크기 B 의 비로 정의되며 이는 기하학적으로 렌즈로부터 물체까지의 거리 a 와 렌즈로부터 상까지의 거리 b 의 비와 같다. 즉, 다음과 같이 배율 m 을 표현할 수 있다.





$$m = \frac{B}{A} = \frac{b}{a} \quad (4)$$



3. 실험장치 및 기구

(1) 볼록 렌즈(초점거리 75mm, 150mm), 실린더형 렌즈

(2) 광학대(Optics Bench): 광원, 레일, 각도 조정 회전판(Rotating Ray Table), 렌즈 지지대, 스크린

	
렌즈 세트	실린더형 렌즈
	
레일	각도 조정 회전판
	
렌즈 지지대	스크린
	
광원(정면부)	광원(하단부)

4. 실험방법

A. 빛의 굴절과 스넬의 법칙

(1) [그림 1]을 참고하여, 레일 위에 각도 조정 회전판, 광원을 설치한다.



그림 1 굴절 및 전반사 실험 장치

(2) 광원(하단부)로부터 나오는 빛이 [그림 1]과 [그림 2]와 같이 각도 조정 회전판 위의 NORMAL 화살표와 일치하도록 광원을 설치하고, 실린더형 렌즈를 COMPONENT라고 쓰여진 굵은 선과 겹치도록 놓는다. 이 때 실린더형 렌즈의 평평한 면으로 빛이 (수직으로) 입사하도록 한다.

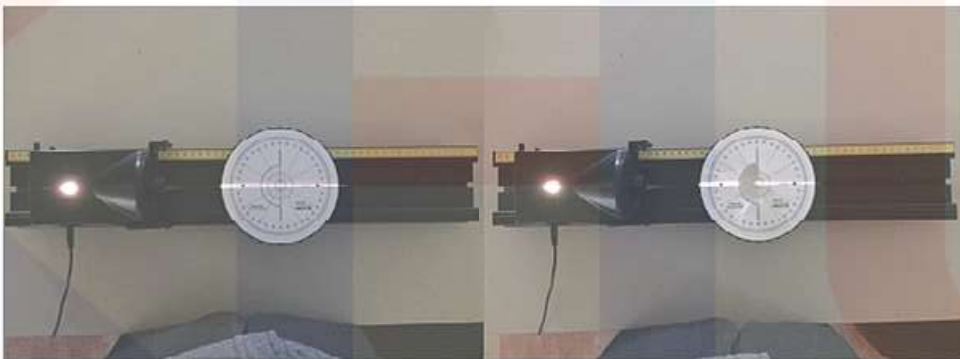


그림 2 광축 정렬 (사진과 달리 빛이 렌즈의 평평한 면으로 입사되도록 한다)

(3) 각도 조정 회전판을 0도부터 시작하여 80도까지 10도씩 회전시키면서 입사각을 바꾸고, 각 경우 반사각과 굴절각을 측정하여 기록한다. 측정된 반사각과 굴절각이 반사의 법칙과 굴절의 법칙을 만족시키는지 확인하고, 렌즈의 굴절률을 계산한다.

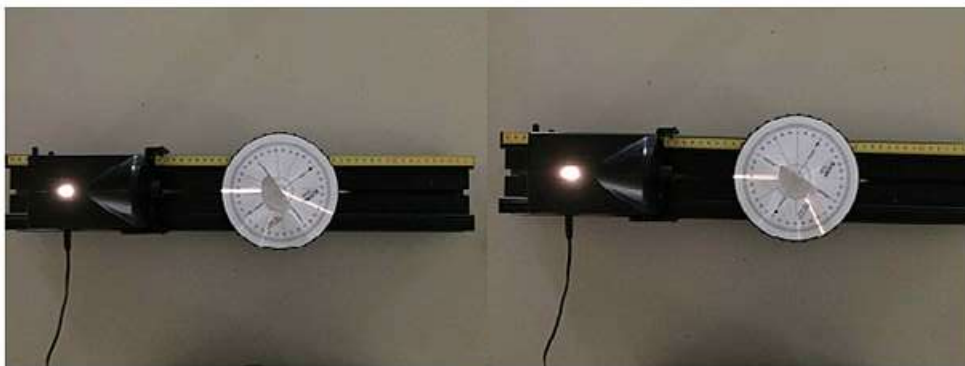


그림 3 반사와 굴절 (사진과 달리 빛이 렌즈의 평평한 면으로 입사되도록 한다)

B. 전반사 측정

- (1) 실험 A의 설정을 이용하되, [그림 2]와 [그림 3]과 같이 광원의 빛이 실린더형 렌즈의 원형면으로 입사되도록 한다.
- (2) 각도 조정 회전판을 0도부터 시작하여 80도까지 10도씩 회전시키면서 입사각을 바꾸고, 각 경우 굴절각을 측정하여 기록한다. 측정된 굴절각이 굴절의 법칙을 만족시키는지 확인하고, 렌즈의 굴절률을 계산한다.
- (3) 전반사가 발생하는 입사각의 최소값(=임계값)을 측정한다. 관측한 임계값을 이용하여 렌즈의 굴절률을 계산하고, 이를 앞에서 구한 굴절률과 비교한다.

C. 렌즈의 초점거리와 배율 측정

- (1) [그림 4]와 같이 레일 위에 광원(정면부), 렌즈(초점거리 75mm), 스크린을 설치한다. 광원, 렌즈, 스크린의 중심이 일직선상에 있도록 놓는다.

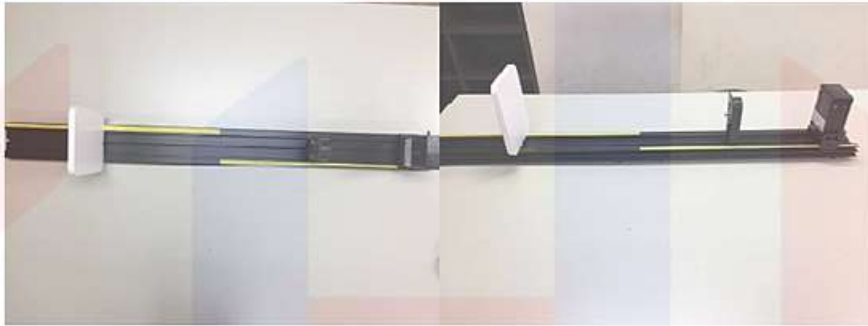


그림 4 렌즈의 초점거리 측정 실험 장치

- (2) 렌즈를 광원(정면부)에 가까이 놓은 후, 스크린에 나타난 확대된 상이 가장 선명해지도록 렌즈의 위치를 조정한다. 이 때의 렌즈로부터 물체(광원)와의 거리 a 와 렌즈로부터 스크린까지의 거리 b 를 측정하여 기록하고, 측정된 거리를 이용하여 렌즈의 초점거리 $f = ab/(a+b)$ 를 계산한다. 또한, 물체(광원)의 크기 A 와 상의 크기 B 를 구하여 배율 $m = B/A$ 를 계산하고, 이를 b/a 와 비교해본다.
- (3) 이번에는 렌즈를 스크린 쪽에 가까이 놓은 후, 스크린에 축소된 상이 선명하게 나타나도록 렌즈의 위치를 조정한다. 이 때의 렌즈로부터 물체(광원)와의 거리 a' 와 렌즈로부터 스크린까지의 거리 b' 를 측정하여 기록하고, 측정된 거리를 이용하여 렌즈의 초점거리 $f = a'b'/(a'+b')$ 를 계산한다. 또한, 물체(광원)의 크기 A' 와 상의 크기 B' 를 구하여 배율 $m' = B'/A'$ 를 계산하고, 이를 b'/a' 와 비교해본다.
- (4) 과정 (1)~(3)을 다른 렌즈(초점거리 150mm)을 이용하여 반복한다.



그림 5 스크린에 맺힌 확대 상과 축소 상