

Geometrical optics

일몰실1 U분반 20250473 유태영

Abstract

이번 실험에서는 오목거울과 볼록렌즈를 활용하여 상의 위치와 크기를 측정하고, 이를 바탕으로 거울의 초점 거리를 계산하였다. 실험을 통해 거울 방정식과 배율 공식이 실제로 적용됨을 확인할 수 있었으며, 초점 거리가 다른 두 개의 볼록렌즈를 조합하여 망원경과 현미경의 작동 원리를 모사해보았다. 실험에서 얻은 결과와 이론값 간의 차이를 비교·분석함으로써 오차의 원인을 파악하고, 그에 따른 개선 방안을 제안하였다. 이러한 과정을 통해 기하광학의 기본 원리를 실제 실험을 통해 체득할 수 있었다.

I. Introduction

이 실험의 주요 목표는 거울 방정식을 활용하여 오목거울의 초점 거리를 결정하고, 다양한 조건에서 이 방정식이 어떻게 적용되는지를 확인하는 것이다. 또한 상의 위치 및 크기를 통해 물체의 배율을 계산하고, 이를 이론값과 비교하여 실험의 정확성을 검토한다. 더불어, 초점 거리가 다른 볼록렌즈를 조합해 망원경과 현미경을 구성함으로써, 이러한 광학 장치의 작동 원리를 이해하는 데 있다.

II. Theoretical Background

거울과 렌즈는 각각 빛을 반사하거나 굴절시켜 상을 형성하는 광학 장치이다. 오목거울은 반사된 빛이 한 점에 실제로 모이는 실초점을 가지며, 반대로 볼록거울은 빛의 연장선이 만나는 지점에 허초점을 형성한다. 렌즈의 경우, 볼록렌즈는 수렴 렌즈로 실초점을 가지며, 오목렌즈는 발산 렌즈로 허초점을 가진다.

거울이나 렌즈에서 상의 위치는 다음의 수학적 관계에 따라 결정된다.

$$1/a + 1/b = 1/f$$

여기서 a 는 물체와 거울(또는 렌즈) 사이의 거리, b 는 상과 거울(또는 렌즈) 사이의 거리, f 는 초점 거리이다. 실물체, 실상, 실초점의 경우에는 모든 값이 양수이며, 허물체, 허상, 허초점일 경우에는 해당 값이 음수로 취급된다. 이 관계는 닮음의 성질을 통해 유도할 수 있으며, 거울과 렌즈 모두에 적용된다. 또한, 상의 크기 변화는 배율 m 을 통해 다음과 같이 표현된다.

$m = -b/a$ 여기서 m 의 부호는 상의 방향을 나타낸다. $m < 0$ 이면 상이 도립되고, m

> 0 이면 정립된다. 망원경이나 현미경처럼 두 개 이상의 렌즈가 조합된 광학계에서는, 첫 번째 렌즈에 의해 만들어진 상이 두 번째 렌즈에 의해 다시 물체로 취급되어 광학

계산이 이루어진다. 이 과정을 통해 복잡한 광학 장치의 원리를 수학적으로 설명할 수 있다.

III. Methods

사용 장비

광학 레일, 광원, 스크린, 오목거울($f=100\text{mm}$), 볼록렌즈 2개($f=100\text{mm}$, $f=200\text{mm}$)

4.1 오목거울의 초점 거리 측정

레일에 광원을 설치하고, 레일 반대편 끝에는 오목거울을 배치한다. 그 사이에 스크린을 놓는다.

상이 뚜렷하게 맺히도록 스크린의 위치를 조절한 뒤, 광원과 거울 사이의 거리(a), 거울과 스크린 사이의 거리(b), 상의 크기를 측정한다.

광원을 점차 거울 쪽으로 이동시키며 같은 방식으로 측정을 반복한다.

수집된 데이터를 기반으로 초점 거리 및 배율을 계산하고 분석한다.

4.2 망원경 구성 및 측정

초점 거리 200mm 의 볼록렌즈를 대물렌즈로, 초점 거리 100mm 의 볼록렌즈를 접안렌즈로 사용한다.

글자와 1cm 간격 눈금이 있는 스크린을 레일 한쪽 끝에 설치하고, 두 렌즈를 레일 위에 배치한다.

렌즈의 위치를 조절하여 상이 선명하게 보이도록 초점을 맞춘다.

각 렌즈가 스크린으로부터 떨어진 거리를 측정하고, 컴퓨터(powerpoint 프로그램)를 통해 배율을 계산한다.

4.3 현미경 구성 및 측정

초점 거리 100mm 인 볼록렌즈를 대물렌즈로, 200mm 인 렌즈를 접안렌즈로 사용한다.

망원경 실험과 마찬가지로, 스크린과 두 렌즈를 설치하고 초점을 맞춘다.

렌즈 간 거리와 스크린으로부터의 거리를 측정한다.

컴퓨터(powerpoint 프로그램)를 이용하여 상의 배율을 계산하고 기록한다.

IV. Results

5.1 오목거울의 초점 거리 측정

먼저 광원과 오목거울 간 거리가 충분히 멀 때, 스크린에 맺힌 상의 위치가 거울로부터 약 10cm 떨어져 있었다. 이 경우 물체 거리를 무한대로 간주할 수 있으므로, 수식 $1/a + 1/b = 1/f$ 에 따라 $f \approx b$ 가 되고, 따라서 초점 거리는 약 10cm 로 추정된다.

이후 거리를 단계적으로 줄이며 물체 거리 a , 상의 거리 b 를 측정하고, 다음과 같은

데이터를 얻었다.

a (cm)	b (cm)	1/a (cm ⁻¹)	1/b (cm ⁻¹)	1/a + 1/b (cm ⁻¹)	1/f (cm ⁻¹)
30	15.0	0.0333	0.0667	0.1000	0.1000
40	13.5	0.0250	0.0741	0.0991	0.1000
50	12.5	0.0200	0.0800	0.1000	0.1000
60	12.0	0.0167	0.0833	0.1000	0.1000
70	11.8	0.0143	0.0847	0.0990	0.1000

측정된 값들을 보면, $1/a+1/b$ 의 합이 일정하게 $1/f=0.1$ 과 근접하여, 거울 방정식이 실험 결과와 잘 일치함을 확인할 수 있다.

5.2 망원경

접안렌즈는 레일의 0cm 위치에 고정하였고, 대물렌즈는 36.8cm, 스크린은 110cm에 배치하였을 때 상이 뚜렷하게 맺혔다. 이 구성에서 측정된 배율은 약 5.2였다. 이론적으로 계산된 배율은 4.9였으며, 실험 결과와 비슷한 정도로 나타났다.

5.3 현미경

접안렌즈는 레일의 0cm 위치에 고정하였고, 대물렌즈는 35.2cm, 스크린은 50cm에 배치하였을 때 상이 뚜렷하게 맺혔다. 이 구성에서 측정된 배율은 약 2.66였다. 이론적으로 계산된 배율은 2.4였으며, 실험 결과와 비슷한 정도로 나타났다.

V. Discussion

이번 실험에서는 오목거울과 볼록렌즈를 이용하여 광학 기기의 원리를 확인하고, 이론식과의 일치 여부를 분석하였다. 먼저 오목거울의 초점 거리 측정 실험에서는 물체 거리(a)와 상의 거리(b)를 변화시키며 수차례 측정을 수행하였다. 실험 결과 $1/a + 1/b$ 값이 대부분 $0.1(\text{cm}^{-1})$ 에 수렴하였고, 이는 이론적으로 제시된 초점 거리 $f = 10\text{cm}$ 에 부합하였다. 이는 거울 방정식이 실제 광학 시스템에서도 잘 적용됨을 의미하며, 실험 데이터의 신뢰성을 뒷받침한다.

다만, 일부 측정값에서는 이론값과 약간의 차이가 나타났다. 이는 광원이나 스크린의 위치 조정 시 발생한 시차(parallax), 장비의 정렬 오차, 또는 상이 완전히 초점을 맞추지 못한 상태에서 측정한 것 등이 원인일 수 있다. 특히 가까운 거리에서의 측정에서는 초점이 민감하게 변하므로 작은 위치 변화도 큰 오차를 유발할 수 있다.

망원경과 현미경 실험에서는 각각 두 개의 볼록렌즈를 조합하여 상의 확대 정도(배율)를 측정하였다. 망원경의 경우 실측 배율은 약 5.2, 이론 배율은 4.9로 큰 차이가 없었으며, 이는 망원경이 원거리 물체의 상을 확대하는 원리를 잘 반영한 결과였다. 현미경 실험에서도 측정 배율이 2.66, 이론값은 2.4로 유사한 수준을 보였다. 이 역시 실험 장치의 조립과 정렬이 비교적 정확하게 이루어졌음을 의미한다.

전반적으로 실험 결과는 기하광학의 이론적 모델과 잘 일치하였다. 그러나 정확도를

더욱 높이기 위해서는 장비의 정밀한 정렬, 광원 크기의 최소화, 스크린의 초점 확인을 위한 레이저 포인터 활용 등 다양한 개선이 필요하다. 또한, 수차례 반복 측정을 통해 평균값을 구하고, 오차 막대를 분석에 포함시킴으로써 신뢰도 있는 결론을 도출할 수 있을 것이다.

VI. Conclusion

이번 실험을 통해 기하광학의 기본 원리를 실험적으로 검증할 수 있었다. 오목거울의 초점 거리 측정에서는 물체 거리와 상의 거리 데이터를 활용하여 거울 방정식이 실제로 적용됨을 확인하였으며, 초점 거리가 약 10cm임을 실험적으로 도출하였다. 또한, 다양한 위치에서의 측정값들이 이론값과 잘 일치함을 통해 실험의 정밀도를 확인할 수 있었다.

망원경과 현미경 구성 실험에서는 각각의 렌즈 조합을 통해 상의 확대 현상을 관찰하였으며, 측정된 배율과 이론 배율이 유사하게 나타났다. 이를 통해 복잡한 광학 기기의 작동 원리를 이해하고 직접 구현하는 경험을 할 수 있었다.

비록 일부 오차가 존재했지만, 그 원인을 분석하고 개선 방안을 모색함으로써 실험의 완성도를 높일 수 있었다. 본 실험은 기하광학 개념의 실제 적용 능력을 기르고, 실험 장비를 통한 정량적 분석 능력을 키우는 데 중요한 의미가 있었다.

VII. References

- [1] Essential University Physics by Richard Wolfson (Pearson Addison Wesley, 4th ed.)
- [2] General Physics Laboratory Manual Ch 14. Geometrical optics