실험 문제 2: 광학 "블랙박스"

TV와 컴퓨터 화면은 최근 몇 년 사이 크게 발전했다. 오늘날 대부분의 디스플레이는 컬러 LCD 필터 행렬과 고른 흰색 백라이트 광원으로 이루어져 있다. 이 실험에서는 LCD 화면 백라이트 조명의 재료로 쓰려고 검토되었던 플라스틱 시료를 연구한다.

장비

책상 위에는 다음 물품이 있다(그림 1 참조).

(1) 시료 – 슬라이드 틀에 고정한 플라스틱 조각. **시료는 민감하니 만지지 마시오. 시료의 위치를 맞출 때에는 받침과 스탠드를 쓰시오.**

(2) 슬라이드 틀의 받침과 스탠드. 스탠드에는 시료를 미세하게 돌리는 데 쓸 수 있는 손잡이가 있다. **슬라이드 틀을 받침에서 빼지 마시오.**

(3) 흰색 LED 손전등. 손전등은 뒤쪽 끝의 단추로 켜고 끈다. **레이저와 헷갈리지 마시오(그림 2 참조).**

(4) 빨간 레이저 포인터. **레이저에는 경고 딱지가 붙어 있다. 흰색 손전등과 헷갈리지 마시오(그림 2 참조).** 레이저는 검은 뚜껑을 앞뒤로 움직여 켜고 끈다. **뚜껑을 빼려고 하지 마시오 – 위험할 수 있고 레이저가 망가질 수 있다.** 레이저 배터리는 한 시간쯤 지나면 약해진다 – 필요 이상 오래 켜 두지 마시오. 레이저의 파장은 $\lambda = 652\,\mathrm{nm} \pm 2\,\mathrm{nm}$이다.

(5) 두 광원에 함께 쓰는 스탠드 하나. **실험을 시작할 때 손전등이 스탠드에 고정되어 있고, 레이저는 책상 위에 놓여 있다.**

(6) 나무 다리가 달리고 모눈종이를 붙인 흰 화면. 화면 가운데 근처에 구멍이 있다. 화면에 표시를 해도 된다.

(7) 나무 벤치 위에서 앞뒤로 움직일 수 있는 나무 막대. 벤치에 표시를 해도 된다.

(8) 줄자.

(9) 자.

(10) 모눈종이.

(11) 필요에 따라 켜고 끌 수 있는 탁상 램프.

레이저 안전:

1. **레이저 빛살을 들여다보지 마시오!**
2. **금속 표면에서의 반사에 주의하시오.**
3. **레이저를 다른 사람에게 겨누지 마시오.**
4. **레이저를 고치거나 분해하려 하지 마시오. 도움이 필요하면 감독관을 부르시오.**

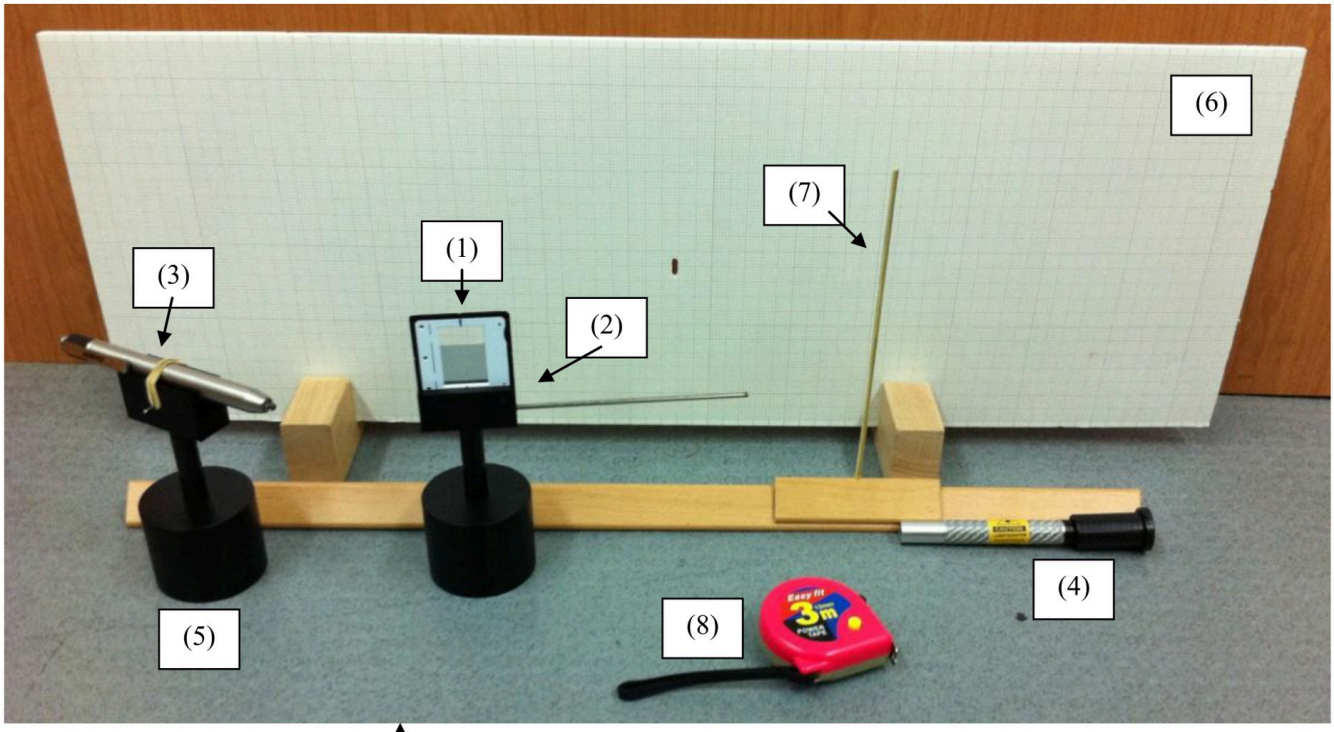


그림 1: 장비 요약.

(1) 플라스틱 시료.
(2) 시료 받침과 스탠드.
(3) 흰색 LED 손전등.
(4) 빨간 레이저.
(5) 광원 스탠드.
(6) 모눈종이를 붙인 화면.
(7) 벤치 위의 나무 막대.
(8) 줄자.

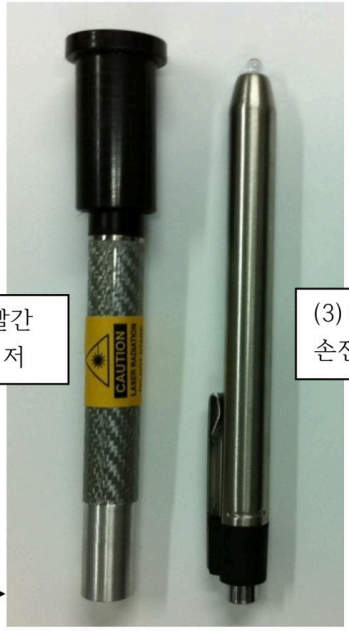


그림 2: 두 광원의 확대 사진.

파트 I – 이론 (0.4점)

a. (0.4점) 빛살이 각 φ를 이루며 만나는 두 거울에서 반사된다(그림 3). 들어오는 빛살과 나가는 빛살 사이의 각 γ를 구하시오. 모든 빛살은 두 거울이 만나는 선에 수직인 평면 안에 있다고 가정하시오.

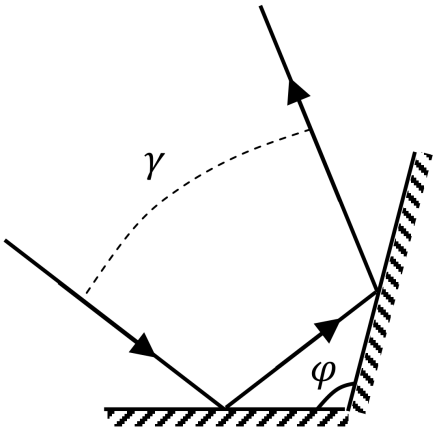


그림 3: 두 거울에서 반사되는 빛살.

파트 II – 흰빛으로 측정하기 (6.1점)

흰색 손전등을 광원으로 쓰면 시료의 투과 성질과 반사 성질을 모두 관찰할 수 있다. 그림 4는 두 가지 관찰에 권하는 배치를 보여 준다. 주: 시료의 두 면을 비출 때 서로 다른 결과를 관찰할 수도 있다.

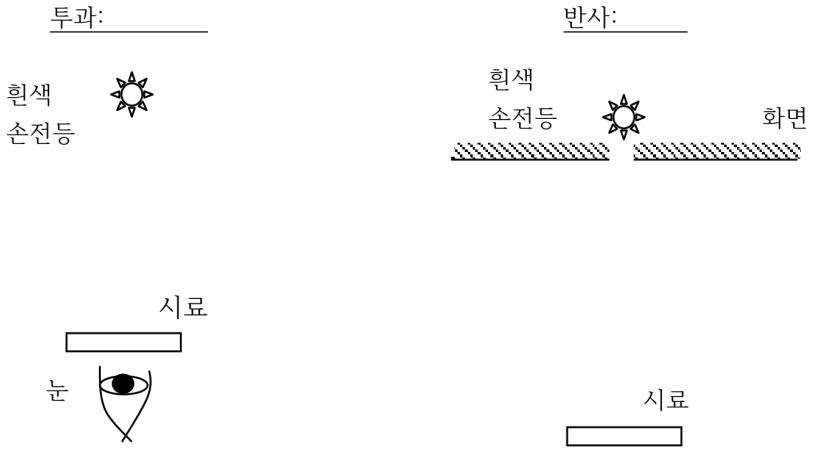


그림 4: 흰빛에 대한 권장 관찰 배치.

주의: 투과광을 보려면 시료를 통해 손전등 빛살을 직접 들여다보아야 한다. **레이저로는 이렇게 하지 마시오!** 또한 손전등 자체를 오랫동안 직접 들여다보지 마시오.

b. (0.5점) 그림 5는 시료의 미시 구조로 가능한 네 가지를 개략적으로 보여 준다. n은 플라스틱의 굴절률이다. 관찰에 가장 잘 맞는 구조를 고르시오. 주: 그림의 5주기는 예시일 뿐이다. 실제로는 d가 작고 시료에는 주기가 아주 많다.

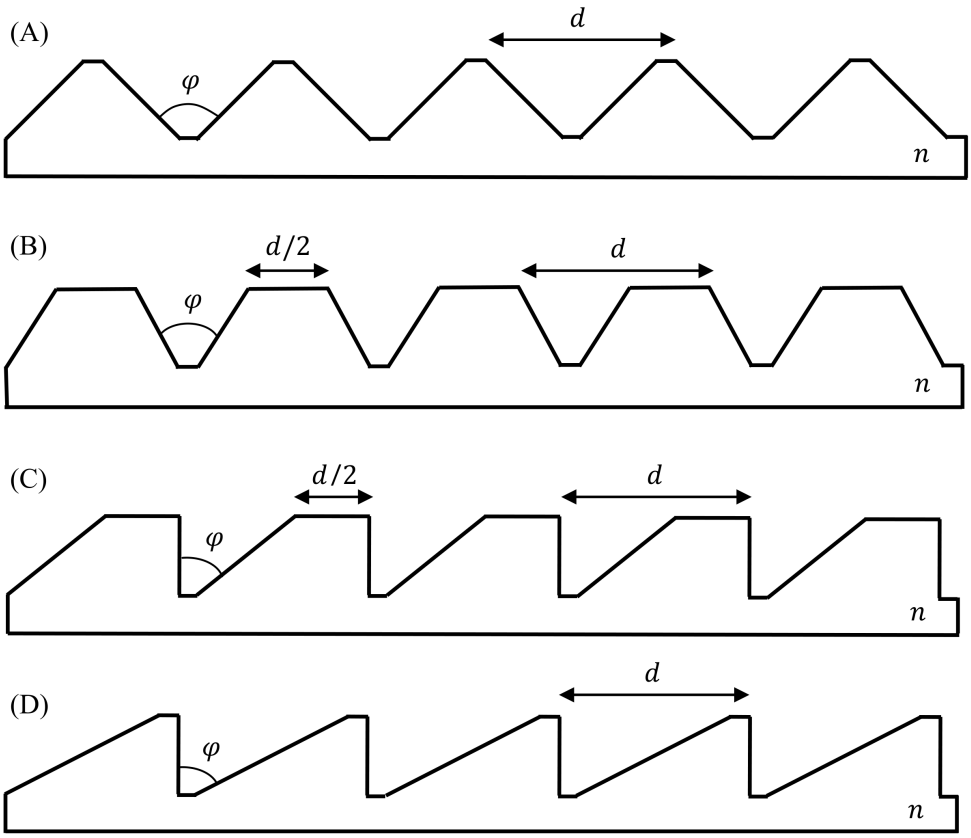


그림 5: 시료 구조의 여러 가능성.

c. (0.8점) 시료의 각 φ를 구하고 그 오차를 어림하시오.

d. (0.5점) 흰빛 빛살을 시료의 한쪽 면에 수직으로 비추면, 투과광에서 광원 조금 오른쪽에 다음과 같은 희미한 무늬가 보인다(그림 6). "R", "G", "B"는 각각 빨강, 초록, 파랑이다. 주: 이 무늬는 관찰하기 어려울 수 있으며, 이에 대한 측정은 필요 없다.

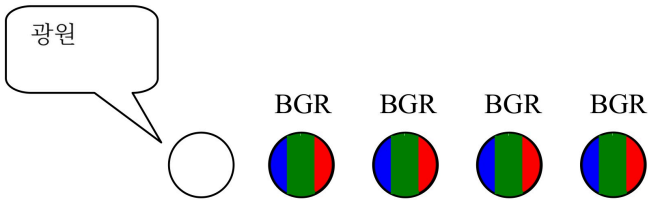


그림 6: 광원 가까이의 희미한 무늬.

더 오른쪽에서는 훨씬 밝은 무늬가 보일 수 있다(그림 7).

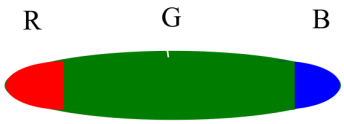


그림 7: 광원에서 더 오른쪽의 밝은 무늬.

올바른 보기를 고르시오.
A. 색 무늬는 모두 간섭 때문에 생긴다.
B. 색 무늬는 모두 n이 파장에 따라 달라지기 때문에 생긴다.
C. 그림 6의 무늬는 간섭 때문에 생기고, 그림 7의 무늬는 n이 파장에 따라 달라지기 때문에 생긴다.
D. 그림 6의 무늬는 n이 파장에 따라 달라지기 때문에 생기고, 그림 7의 무늬는 간섭 때문에 생긴다.

e. (1.4점) 파트 (d)처럼 흰빛을 배치하고, 그림 7의 주된 봉우리에서 보라색 빛(스펙트럼의 파란 쪽 맨 끝)의 꺾인각 δ_0를 재시오. 꺾인각은 그림 8에 정의되어 있다. 중간 측정값을 모두 기록하시오. 오차 어림을 하시오.

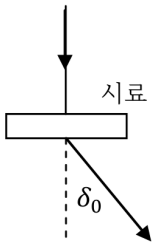


그림 8: 꺾인각 δ_0.

f. (1.4점) 시료를 여러 입사각으로 비추면 투과된 주된 봉우리의 꺾인각이 달라진다. 투과된 보라색 빛의 주된 봉우리에 대한 최소 꺾인각 δ_{min}을 재시오(이런 최소각은 하나뿐이다). 중간 측정값을 모두 기록하시오. 오차 어림을 하시오.

g. (0.8점) 파트 (c)의 각 φ를 써서 시료의 굴절률 n을 δ_0 또는 δ_{min}으로 나타내시오. 빛의 진행이 가역적이라는 것과 최소각 δ_{min}이 하나뿐이라는 사실을 써도 된다.

h. (0.7점) 보라색 빛에 대한 시료의 굴절률 n_v와 그 오차 어림을 구하시오.

파트 III – 레이저 측정 (3.5점)

광원 스탠드에서 손전등을 떼고 레이저로 바꾸시오. 그림 9처럼 흰 화면으로 투과 무늬와 반사 무늬를 모두 볼 수 있다. 레이저 배터리 수명이 한정되어 있으니 필요 이상 오래 켜 두지 마시오. 부품을 정렬할 때 레이저를 그 축 둘레로 돌리면 도움이 될 수 있다.
경고: 레이저 빛살이나 그 반사광을 직접 들여다보지 마시오! 시료를 통해 레이저 빛을 보지 마시오 – 주어진 화면을 쓰시오.

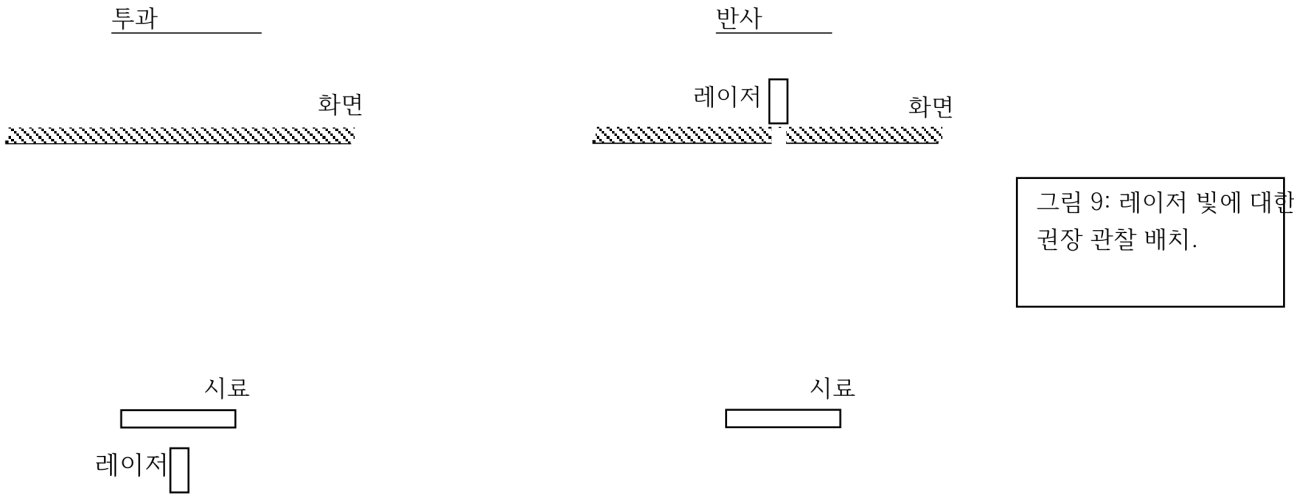


그림 9: 레이저 빛에 대한 권장 관찰 배치.

시료를 조금씩 돌리면서 화면에 나타나는 밝고 어두운 줄무늬가 번갈아 나타나는 무늬를 관찰하시오. 어떤 줄무늬가 어두워지는 것은 시료의 각 "이빨"의 서로 다른 부분 사이의 상쇄 간섭 때문이다.

i. (1점) 그림 9의 배치 하나를 써서 시료를 레이저 빛살로 수직으로 비추시오. 관찰한 줄무늬의 꺾인각 θ를 줄무늬 번호 m의 함수로 기록하시오. 무늬의 가운데를 $m = 0$으로 정의하시오. 답안지의 표를 쓰시오. 중간 측정값을 모두 기록하시오. 오차 어림을 하시오.

j. (1.5점) 직선 그래프로 시료의 이웃한 두 "이빨" 사이 간격 d를 구하시오. 그래프에 오차 막대는 필요 없다. d의 오차 어림을 하시오.

k. (1점) 파트 (g)에서 유도한 공식으로 레이저의 빨간 파장에 대한 시료의 굴절률 n_r를 구하시오. 추가 측정값이 있으면 기록하시오. 오차 어림을 하시오. **경고: 시료를 통해 들여다보지 마시오! 주어진 화면을 쓰시오.**