

Laser 간섭 및 회절실험

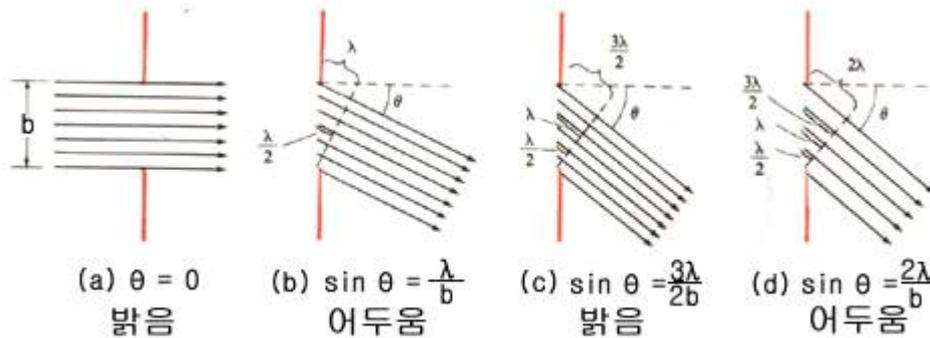
1. 실험목적

레이저를 이용하여 빛의 특성인 회절과 간섭현상을 관찰하고, 영(Young)의 2중 슬릿, 다중슬릿 실험을 통하여 빛의 파장을 측정한다.

2. 원리

1801년 토마스 영(Tomas Young)은 빛의 파동성을 보여주는 간섭효과를 발견하여 빛의 파동설을 세웠다. 간섭이란 두 개의 파동이 서로 중첩되어 어떤 공간에 에너지가 균일하게 분포되지 않고, 어느 점에서는 극대가 되고 다른 점에서는 극소가 되는 현상을 말한다. 간섭을 일으키기 위해서는 두 개 이상의 파동이 같은 속도, 진동수, 파장 및 상대적 위상이 일정하게 유지되어야 한다. 단일광원으로부터 나오는 빛을 서로 가까이 위치한 두개의 슬릿에 조사했을 때 만약 빛이 입자로 구성되어 있다면 슬릿 뒤에 위치한 스크린 상에는 두개의 밝은 라인이 보여야 할 것이다. 그러나 영은 여러개의 밝은 라인을 관찰하였고 이 결과를 파동의 간섭 현상으로 설명할 수 있었다. 일반적으로 슬릿 사이의 거리는 슬릿과 스크린(회절무늬가 관측되는)간의 거리에 비해 매우 작다. 슬릿의 모서리로부터 빛은 순전히 평행하다. 한쪽 슬릿을 통과한 빛의 경로 다른 슬릿을 통과한 빛의 경로 차가 파장의 정수배일 때 스크린 상에는 보강간섭(Constructive Interference)이 일어난다. 상쇄간섭(Destructive Interference)은 두 빛의 경로 차가 반파장의 정수배일 때 일어난다.

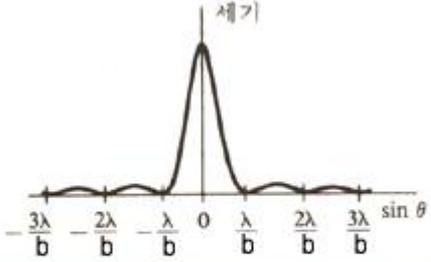
(1) 단일슬릿에 의한 회절



[그림 1] 단일슬릿에 의한 회절

회절이란 빛이 모서리에서 휘거나 번져나가는 현상을 말한다. [그림 1](a)와 같이 직진하는 광선들을 생각하면 이들은 모두 같은 위상에 있으므로 스크린의 중앙에 밝은점(중앙 제1극대)을 만들 것이다. (b)에서는 슬릿안의 제일 윗점과 제일 아랫점을 지나는 빛들이 정확히 한파장 λ 만큼 차이가 나는 경우이다. 이 경우에는 슬릿의 중심을 지나는 빛과 아랫점을 떠나는 빛과는 반파장의 위상차이를 갖게 된다. 이 두 빛들은 정확히 반대의 위상에 있으므로 소멸간섭을 일으키게 될 것이다. 똑같은 이치에 의하여 아랫점에서 약간 떨어진 점을 출발하는 빛과 중심에서 약간 떨어진 점

을 지나는 빛들도 서로 소멸간섭을 하게 된다. 이렇게 하여 슬릿의 상반부를 지나는 빛들과 하반부를 지나는 빛들은 대칭적으로 서로 소멸간섭을 하게 된다.



세기

Single Slit Pattern ($b=0.04\text{mm}$)

[그림 2] 회절무늬의 세기

$b \sin\theta = \lambda$ -----(1) [제1 극소점]

(c)와 같이 슬릿의 밑점과 윗점의 경로차가 $3\lambda/2$ 인 경우도 똑같은 설명에 의해

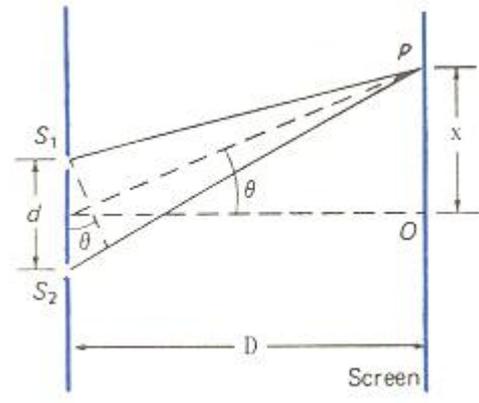
$b \sin\theta = 3\lambda/2$ -----(2) [제2 극대점]

이 될 것이다. (d)의 경우는 2차 극소점이 되고 따라서 극소가 일어나는 조건은 다음과 같다.

$b \sin\theta = n \lambda$ ($n=1,2,\dots$) -----(3) [극소]

$n=0$ 인 경우는 극소가 아니라 가장 큰 극대가 된다.

(2) 이중슬릿- 영(Young)의 간섭실험



[그림 3] 이중슬릿에 의한 빛의 간섭

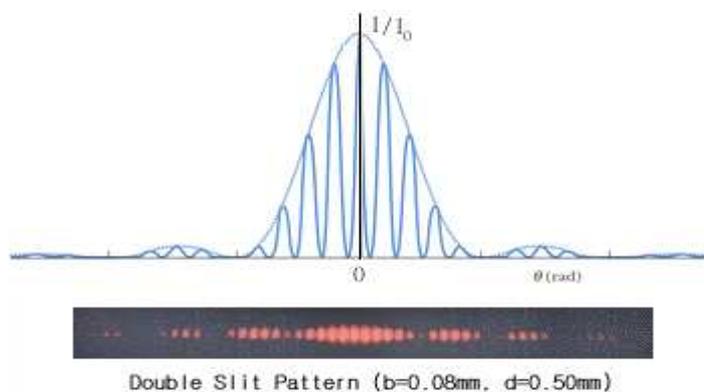
[그림 3]에서와 같이 두 개의 슬릿 S_1, S_2 에서 나온 빛의 간섭을 생각해 보면, 슬릿을 통과한 광선은 회절하여 두 개의 구면파가 서로 겹쳐서 진행한다. 입사광선이 단색광이면 이 두파가 스크린 위에 도달할 때(P) 그 위상차에 의하여 밝고 어두운 간섭무늬를 만들게 된다.

$d \sin\theta = n\lambda$ ($n=0,1,2,\dots$) ----- (4) [극대]

$d \sin\theta = (n+1/2)\lambda$ ($n=0,1,2,\dots$) -----(5) [극소]

$\sin\theta = x/\sqrt{D^2+x^2}$

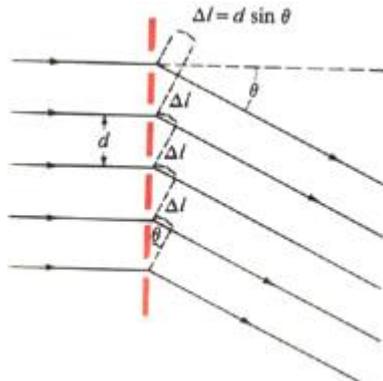
이 되므로 실험에서 D와 x를 측정하여 레이저 빛의 파장 λ 를 구할 수 있다.



[그림 4] 이중슬릿에 의한 Fraunhofer 회절 무늬

(3) 다중슬릿에 의한 회절

다중슬릿(회절격자)에 의한 빛의 회절은 영의 이중슬릿 실험분석과 유사하다. 이 회절격자는 스펙트럼을 연구하는 데 간단하고 가장 유용한 기구이다. 이 격자는 잘 닦여진 반사나 전송면 위에 균일하게 간격을 둔 미소평행선인 그리드(grid)으로 이루어져 있는데, 요셉 프라운호퍼(1787~1826)에 의해 광범위하게 사용되었다. 오늘날 보통 1cm당 10,000개 정도의 선을 가지는 격자들이 흔히 사용되고 있으며 빛의 파장을 정확히 측정하는데 사용되고 있다.



[그림 5]에서 보는 바와 같이 평행광선이 회절격자에 입사되면, 각각의 슬릿에서 직진하는 ($\theta=0$) 빛들은 서로 보강 간섭을 일으켜 중앙에 밝은 반점을 만들게 된다. 인접한 슬릿들로부터 입사되는 빛들의 광로차가 정확히 파장의 정수배 즉, $\ell = n\lambda$ (n 은 정수)를 만족하는 값 θ 에서도 보강간섭이 생긴다.

$d \sin\theta = n\lambda$ ($n=0,1,2,\dots$)----- (6) [보강간섭]
 $d \sin\theta = (n+1/2)\lambda$ ($n=0,1,2,\dots$)-- (7) [상쇄간섭]

[그림 5] 다중슬릿에 의한 회절

이 식을 격자공식이라 하고 n 을 무늬의 차수(order)라고 부른다. 이것은 이중슬릿의 경우와 똑같다. 그러나 이중슬릿과 다중슬릿의 회절무늬 사이에는 중요한 차이가 있다. 슬릿의 수가 많아 질수록 극대는 더 예리하고 더 좁다. 즉, 격자의 선의 수가 많으면 많을수록 극대값은 예리하게 되고 더욱 정확한 빛의 파장을 측정할 수 있다. 위의 격자공식에서 θ 가 90° 를 넘을 수가 없으므로 가장 높은 차수는

$$n_{\max} = d/\lambda$$

로 표시된다. 따라서 격자공간 d 가 좀더 큰 격자는 작은 격자보다 더 많은 차수를 발생시킨다. 즉, 스크린 상에서 더 많은 무늬를 관찰할 수 있다. 입사광이 여러가지 파장을 포함한다면(백색광원의 경우) 회절격자에 의해 각 파장은 각 차수내의 각에서 상을 형성하고 구성 성분 파장으로 분포시킴으로써 스펙트럼을 형성하게 될 것이다.

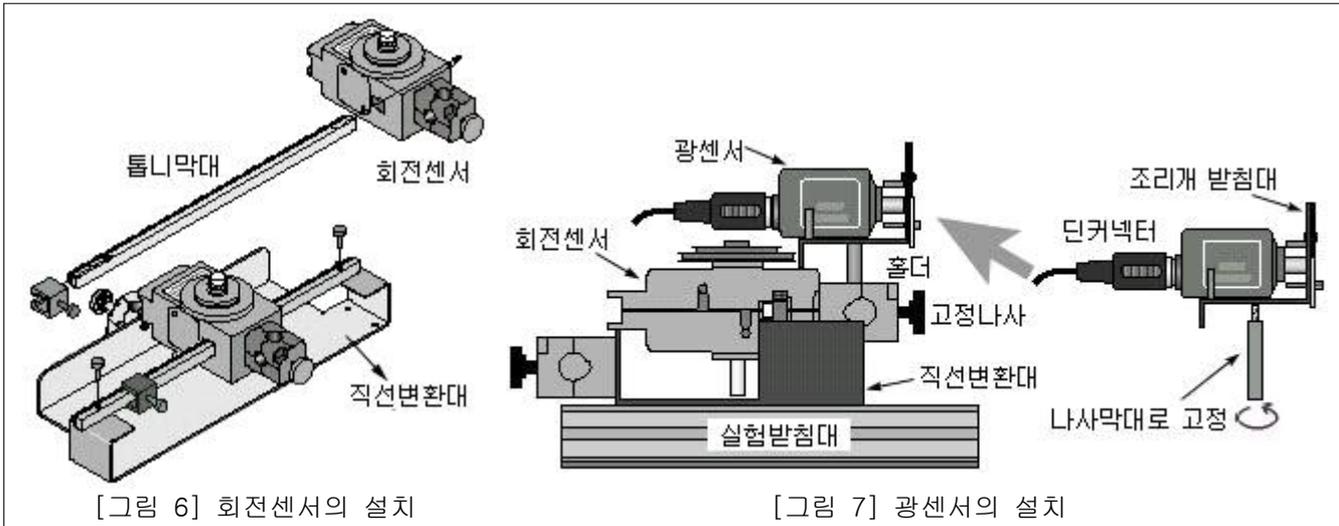
3. 기구 및 장치

- (1) 컴퓨터, 모니터 및 인터페이스 장치
- (2) 다이오드레이저 (파장:630-680nm, 출력(5mW, Type:Class IIIA), 아답타(DC 4.5V)
- (3) 베이스(100cm)
- (4) 랩잭(Lab jack)
- (5) 회전센서(Rotary Motion Sensor)
- (6) 광센서(Light Sensor)
- (7) 조리개 받침대(Aperture Bracket)

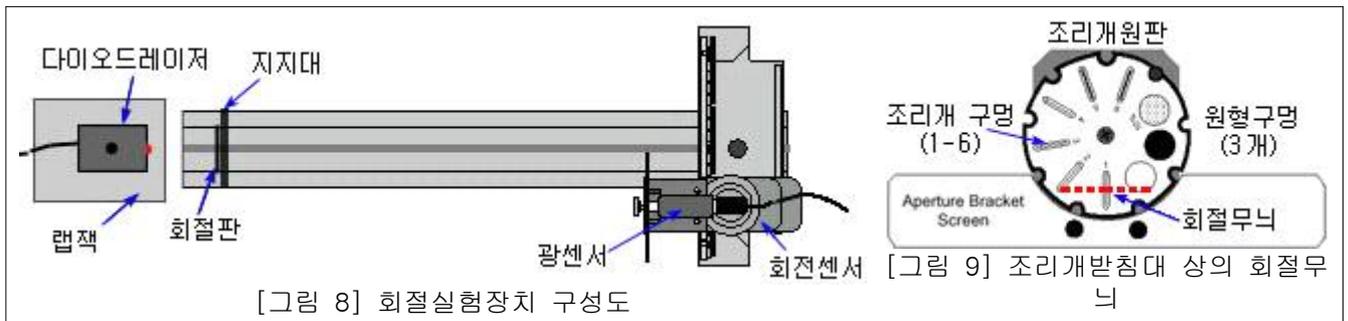
- (8) 직선변환대(Linear Translator)
- (9) 회절슬릿 2개(단일, 이중)

4. 실험 방법

(1) 장치의 셋업



- ① 직선변환대의 조립은 [그림 6]와 같다. 톱니막대를 회전센서에 끼우고 직선 변환대에 2개의 나사로 고정한다.
- ② 다음, [그림 7]과 같이 광센서를 조리개받침대(Aperture Bracket)에 올려놓고 밑에서 나사막대로 조여 고정하고 8핀 단커넥터에 연결한다.
- ③ 고정된 광센서 계의 나사막대를 다시 회전센서의 홀더에 끼우고 고정나사로 조여준다. (☞ 위의 ①~③ 조립 과정은 이미 되어 있을수 있다.)

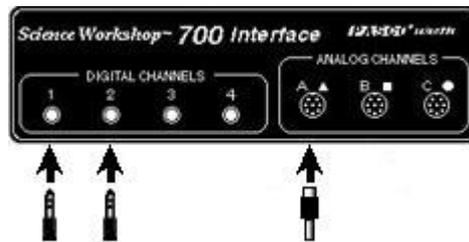


- ④ [그림 8]와 같이 다이오드 레이저는 랩잭위에, 슬릿 회절판은 지지대에 고정하여 레이저 - 회절판 - 조리개원판 스크린(광센서)의 순으로 장치를 구성한다.
- ⑤ 레이저를 켜 다음, 조리개 원판을 돌려서 2번을 선택하고 회절판없이 광이 조리개 구멍의 중앙에 오도록 랩잭을 조절한다.
- ⑥ 다음, 지지대에 회절판을 부착하고 광이 첫번째 단일슬릿에 정확히 입사하여 조

리개받침대에 나타나는 회절무늬가 중앙에서 수평이 되도록 회절판의 위치를 잘 조절한다.

- ⑦ 회절판으로부터 조리개 원판까지의 거리 D 를 측정한다.
- ⑧ 장비의 셋업이 끝나면 실험실을 암실상태로 만든다.

(2) 컴퓨터의 셋업과 데이터 저장



[그림 10] 센서의 셋업

- ① 인터페이스 박스를 컴퓨터에 연결하고 전원을 켜 다음 컴퓨터를 켜다.
- ② 회전센서의 폰 플러그 노랑색, 흑색을 순서대로 채널1, 2에 연결하고, 광센서의 단 플러그를 채널A에 연결한다.
- ③ 사이언스 워크샵 프로그램을 실행하고 셋업 윈도우에서도 회전센서와 광센서를 설정한다. 회전센서 설정에서 Division/Rotation(1회전당 분해능) 360, 1440 중 1440을 선택한다. 이렇게 설정하면 회전센서는 직선거리를 0.055mm 까지 정밀하게 측정한다.
- ④ 샘플링 옵션에서 Periodic Samples은 50Hz 정도로 설정하고 그래프윈도우를 띄운 다음 수직축은 채널A (광센서에 의한 빛의강도), 수평축은 채널1(회전센서에 의한 직선거리 표시)을 선택한다.



[그림 11] 광센서 외관

* 이득스위치	
Gain	Max Lux
1×	500 lux
10×	50 lux
100×	5 lux

- ⑤ 광센서는 [그림 11]와 같이 이득(Gain) 스위치에 의해 그 감도를 조절할 수 있

는데 10×정도로 설정하면 된다.

⑥ [Start]버튼을 눌러 데이터 저장을 시작하고 직선변환대 및 광센서가 흔들리지 않도록 천천히 조심스럽게 회절무늬를 왼쪽에서 오른쪽으로 스캔한다.

⑦ 스캔이 다 끝나면 [Stop]버튼을 눌러 데이터 저장을 끝내고 그래프윈도우에서

오토스케일 (Autoscale)  을 누른다.

⑧ 스마트커서를 이용하여 중앙 극대로부터 제1 극소점까지의 거리 x 를 측정하여 데이터를 기록하고 빛의 파장 λ 를 계산한다.

⑨ 회절판을 돌려가며 여러 단일슬릿에 대한 실험을 반복하고 서로 비교해 본다.

⑩ 슬릿을 이중슬릿으로 교체하고 위의 실험과정을 반복한다.