

회절 및 간섭 현상

- Young의 이중슬릿 실험을 중심으로

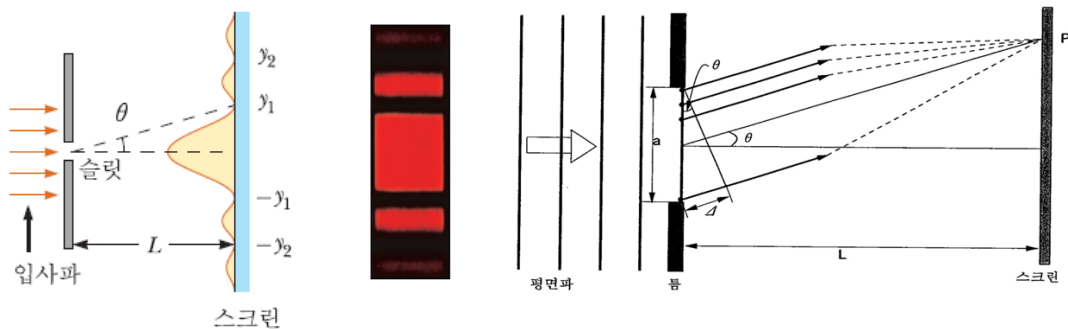
1. 실험 목적

단일 슬릿에 의한 슬릿 폭의 변화에 따라 회절무늬가 변화되는 모양을 관찰하여 회절 성질을 이해한다. Young의 이중슬릿에 의해 형성된 무늬에서 회절과 간섭현상을 관찰하고 슬릿의 간격과 폭을 변화시키면서 회절과 간섭무늬의 변화를 관찰하여 빛의 파동성을 더욱 깊이 이해한다.

2. 이론

2.1 단일 슬릿에 의한 회절

평행파를 작은 틈이 있는 물체로 차단하면 틈의 안쪽 부분을 통과하는 파는 평행파로 통과하고 가장자리를 따라 많은 점광원이 있는 것으로 취급하여 회절현상을 설명할 수 있다. 긴 싹이라면 폭이 좁은 쪽으로는 점광원에 의한 구면파의 성질이 크고 폭이 넓은 쪽으로는 평행파의 성질이 강하여 거의 회절되지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 틈의 폭이 좁으면 좁을수록 회절현상을 뚜렷이 볼 수 있다. 긴 슬릿에 의한 회절현상은 작은 점광원들이 슬릿을 따라 나란히 배열되어 있고 이들에 의해 만들어진 구면파들이 중첩한 결과로 설명한다 (호이겐스의 원리).



[그림 1] 단일 슬릿에 의한 회절

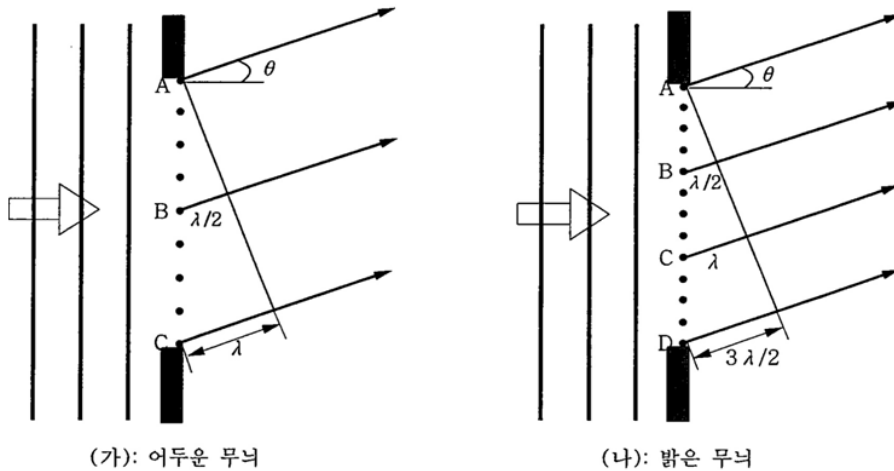
[그림 1]과 같이 파장이 λ 인 간섭성 평행광이 폭이 a ($\sim 50 \mu\text{m}$ 이하)인 슬릿을 통과한 후 각 θ 로 회절하여 L ($\sim 50\text{cm}$ 이상) 만큼 떨어진 스크린상의 한 점 P에 도달했다고 보자. 스크린이 슬릿에서 슬릿의 폭에 비해 충분히 멀리 떨어져 있으면 슬릿 상에 있는 많은 점광원에서 P점에 도달하는 광선들이 평행하다고 취급할 수 있다.

이와 같이 슬릿에 들어오는 광이 평행광이고 회절되어 나가는 광선들이 평행인 회절을

프라운호퍼(Fraunhofer) 회절이라 한다. 광원과 스크린이 슬릿에 가까이 있어 들어오는 광이 구면파이고 회절되어 나가는 광선들도 평행이 아닌 일반적인 회절을 프레스넬(Fresnel) 회절이라고 한다. 프라운호퍼 회절은 프레스넬 회절의 극한적인 경우에 해당되며 수학적으로 취급하는데 용이한 점이 있어 앞으로는 프라운호퍼 회절만을 취급하기로 한다.

[그림 1]에서 슬릿의 맨 위를 출발한 광과 슬릿의 맨 아래를 통과하는 광 사이의 경로차 δ 는 다음과 같다.

$$\delta = a \sin \theta$$



[그림 2] 단일 슬릿 회절에서 소멸간섭 및 보강간섭

경로차가 파장과 같다고 일어났다고 하자. 즉 $\delta = \lambda$ 라면 [그림 2]의 (가)처럼 슬릿을 2등분했을 때 A점을 출발한 광과 B점을 출발한 광 사이에는 반파장의 광행로 길이차가 발생한다. 광행로 길이차가 반파장이면 두 광선의 위상차는 π rad에 해당하고 상대적인 위치는 정반대가 된다. 따라서 두 광이 P점에 도달했을 때 사라지게 된다. 같은 방법으로 생각해보면 AB 부분의 광과 BC 부분의 광이 P점에 도달했을 때 반파장 만큼 광행로 길이차가 발생되므로 중첩되어 모든 광이 사라진다. 그러므로 P점은 어둡게 된다.

광행로 길이차가 파장의 한 배 반만큼 일어났다고 하자. 즉 $\delta = 3\lambda/2$ 라 하면 [그림 2]의 (나)처럼 슬릿을 3등분했을 때 A점을 출발한 광과 B점을 출발한 광 사이에는 반파장의 경로차가 발생한다. 따라서 AB 부분의 광과 BC 부분의 광이 P점에 도달했을 때 중첩되어 사라지지만 CD 사이의 광은 사라지지 않고 남게 되어 P점이 밝게 된다. 그러므로 슬릿을 통과한 광이 각 θ 로 회절될 때 맨 위를 출발한 광과 슬릿의 맨 아래를 통과하는 광 사이의 경로차가 반파장의 짝수 배이면 광이 사라져서 어둡게 되고, 반파장의 홀수배이면 밝은 무늬가 나타난다. 폭이 a 인 슬릿에서 각 θ 로 회절될 때 명암의 회절무늬 조건식은 다음과 같다.

$$\delta = a \sin \theta = (2m) \frac{\lambda}{2} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (\text{소멸간섭조건})$$

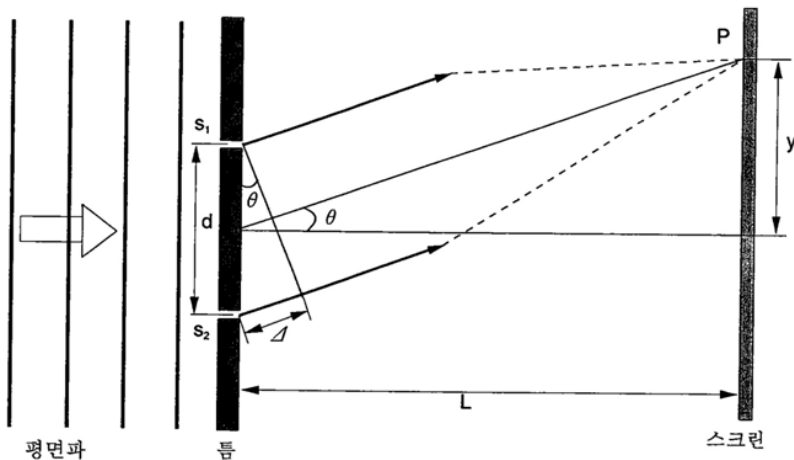
스크린상의 중앙은 밝은 무늬가 되고 중앙에서 멀어질수록 무늬의 밝기는 흐려진다.

2.2 이중 슬릿에 의한 회절

파동의 회절과 간섭현상은 파동의 파장이 길수록 잘 일어난다. 따라서 파장이 긴 소리의 회절과 간섭현상은 쉽게 관측되지만 빛의 파장(대략 $0.4 \mu\text{m} \sim 0.7 \mu\text{m}$)은 매우 짧아서 회절과 간섭현상이 쉽게 관측되지 않았다. 그래서 예전부터 빛이 파동인지 입자인지에 대한 논의가 끝없이 있어 왔다. 뉴턴은 빛의 직진성을 들어 빛을 입자라고 주장하였으며 그 뒤로는 빛은 입자라고 대부분 받아 들였으나, 호이겐스 등의 몇몇 과학자들은 빛이 파동이라고 주장하고 믿어 왔다.

그러나 빛의 파동성을 증명할 만한 실험적 증거가 충분치 않아 오랫동안 수용되지 못하고 있었는데, 1801년 Young이 햇빛을 이용한 이중슬릿 간섭실험을 수행하여 빛의 파동성을 증명하였을 뿐 아니라 빛의 파장을 측정 가능하게 하였다. 현대에는 빛뿐만 아니라 모든 물질이 입자적인 성질과 파동적인 성질을 동시에 갖고 있어 조건에 따라 입자처럼 보이기도 하고 파동처럼 보이기도 한다는 물질의 이중성이 받아들여지고 있다.

간섭을 일으키기 위해서는 진동수와 파장과 위상이 일정한 둘 이상의 광원이 필요하다. 이들 간섭성 광원을 만드는데 일반적으로 두 가지 방법이 사용된다. 하나는 간섭성 광원에서 나온 동일한 파면을 여러 개로 나누어 여러 개의 간섭성 광원을 만드는 방법이 있고, 다른 하나는 동일한 파면의 진폭을 여러 개로 나누어 간섭성 광원을 만드는 방법이다. Young의 이중슬릿은 동일한 파면을 둘로 나누어 두 개의 간섭성 광원으로 이용한다.



[그림 3] 영의 이중슬릿에 의한 간섭

[그림 3]은 간섭성인 평행광이 입사하고 있는 이중슬릿을 나타내고 있다. 태양광은 간섭성이 아니기 때문에 영은 이중슬릿 앞에 단일슬릿을 두어 이중슬릿을 통과하는 빛들이 간섭성을 유지하도록 하였다. 현대에는 간섭성이고 거의 평면파인 레이저광을 사용하여 간섭실험을 수행한다.

슬릿 s_1 과 s_2 가 간섭성인 점광원이 되고 이들이 스크린에 도달하여 겹치면 간섭무늬가 나타난다. 폭이 a 인 슬릿틈의 간격은 d 이고, 스크린까지의 거리는 L 이다. 스크린 중심에서 y 만큼 떨어진 P 점의 밝기를 결정하는 것은 s_1 에서 온 광과 s_2 에서 온 광 사이의 위상차에 의해 결정된다. L 는 대략 50cm 이상이고 d 는 0.1mm 이하이므로 P 점에 도달하는 두 광은 거의 평행하다고 취급할 수 있다. 따라서 두 광의 광행로 길이차 δ 는

$$\delta = d \sin \theta$$

와 같다. 여기서 각 θ 는 슬릿에서 P점을 본 각이다. 회절각 θ 의 값은 충분히 작으므로 다음과 같이 근사식이 성립된다.

$$\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{L} \rightarrow \delta = d \sin \theta = d \frac{y}{L}$$

입사광의 파장이 진공 중에서 λ_0 이고 공기의 굴절률($n=1.00029$)이 거의 진공과 같으므로 중첩되는 두 광간의 총 위상차 ϕ 는 다음과 같게 된다.

$$\frac{\delta}{\lambda_0} = \frac{\phi}{2\pi} \rightarrow \phi = \frac{2\pi\delta}{\lambda_0} = \frac{2\pi y d}{\lambda_0 L}$$

위상차가 π rad의 짝수배가 되면 밝은 무늬가 만들어지고, 홀수배가 되면 어두운 무늬가 만들어진다. m (차수라고 함)번째 간섭무늬의 위치 y_m 은 다음과 같다.

$$y_m = m \frac{\lambda_0 L}{d} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (\text{밝은 무늬})$$

$$y_m = (m + \frac{1}{2}) \frac{\lambda_0 L}{d} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (\text{밝은 무늬})$$

무늬 사이 간격 Δy 를 결정하면 다음과 같다 .

$$\Delta y = \frac{\lambda_0 L}{d}$$

무늬와 무늬 사이의 간격은 파장이 길수록 커지고 슬릿 간격이 좁을수록 커진다. 광이 퍼지므로 스크린을 멀리하면 멀리할수록 간격이 벌어진다. 영의 이중슬릿은 각각의 슬릿에서 회절된 두 광이 겹쳐서 일으키는 간섭현상이므로 밝은 무늬의 밝기는 회절각이 증가될수록 회절에 의해 점점 흐려진다.

3. 실험장치

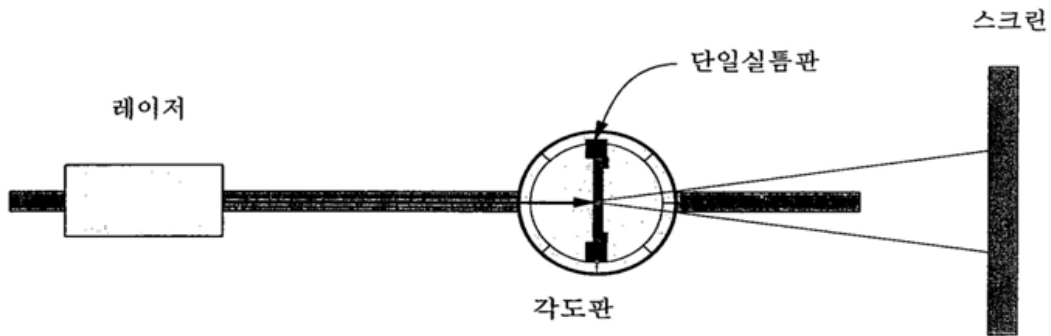
- (1) 광학대 세트와 레이저
- (2) 슬릿세트
- (3) 보조스크린

표식	슬릿 개수	슬릿 폭 (mm)	슬릿 간격 (mm)
A	1 (단일)	0.04	
B	1	0.08	
C	1	0.16	
D	2 (이중)	0.04	0.125
E	2	0.04	0.250
F	2	0.08	0.250
G	10	0.06	0.250
H	십자선	0.04	
I	225개 원무늬 랜덤 배열 (지름: 0.06mm)		
J	15×15 원무늬 격자 배열 (지름: 0.06mm)		

4. 실험절차

4.1 단일슬릿에 의한 회절

- (1) 아래 그림과 같이 부품을 정렬하고 실험실은 가능하면 어둡게 한다.
- (2) 슬릿세트와 스크린 사이의 간격은 대략 1m 이상으로 띄우고 거리를 측정한다. (거리가 멀수록 간섭무늬 사이의 거리가 커져서 측정이 용이하다.)
- (3) 레이저를 켜고 첫 번째 단일 슬릿(A)을 통과하여 스크린 상에 회절무늬가 나타나도록 조절한다.
- (4) 스크린에 나타난 무늬의 모양과 밝기를 관찰하고 기록한다.
- (5) 나머지 단일슬릿(B와 C)에 대해 관찰과 측정을 반복한다.



4.2 이중슬릿에 의한 회절

- (1) 위의 그림과 같이 부품을 정렬하고 실험실을 가능하면 어둡게 한다. 레이저광이 이중슬릿 중 하나를 통과하도록 배치한다.
- (2) 슬릿세트와 스크린 사이의 간격은 1m 이상으로 띄우고 거리(L)를 측정한다. 측정의 용이성을 위해 거리를 크게 하는 것이 좋다.
- (3) 레이저를 켜고 첫 번째 이중슬릿(D)을 통과하여 스크린 상에 간섭무늬가 나타나도록 조절한다.
- (4) 스크린상의 회절 및 간섭무늬의 변화를 관찰하고 중앙의 밝은 무늬로부터 m번째 밝은 무늬까지의 거리를 측정하여 기록한다.
- (4) 이중슬릿의 종류와 스크린까지의 거리 L을 바꾸면서 스크린상의 회절 및 간섭무늬의 변화를 관찰하고 표에 기록한다.

참조 : 슬릿 폭은 슬릿 자체의 빛이 통과하는 부분의 너비이고, 슬릿 간격은 두 슬릿의 중앙 사이의 거리(d)이다. 슬릿 폭이 변화하면 단일슬릿에 의한 회절 현상이 중첩되어 나타나게 된다.

5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

5.1 단일슬릿에 의한 회절

슬릿	슬릿 폭 (mm)	차수 m	m번째 어두운 무늬까지의 거리 (mm)	첫 번째(중앙) 밝은 무늬의 전체 폭 (mm)
A	0.04	1		
		2		
B	0.16	1		
		2		
C	0.08	1		
		2		

5.2 이중슬릿에 의한 회절

슬릿	슬릿 폭 (mm)	슬릿간격 (mm)	차수 m	중앙에서 m번째 밝은 무늬까지의 거리 y_m	L	레이저 파장
D	0.04	0.125				
E	0.04	0.250				
F	0.08	0.250				
평균						

※ 이중슬릿 실험의 결과(간섭무늬)를 결과 보고서에 첨부하십시오.

6. 고찰 사항

※ 고찰 사항의 질문에 답하는 것이 보고서의 전부가 아닙니다. 여기에 있는 질문은 단지 보고서를 작성할 때 도움을 주기 위한 것입니다.

(1) 단일슬릿의 폭이 증가될수록 회절되는 전체 폭, 밝기, 회절무늬 및 회절무늬 간격은 어떠한 변화가 있는가?

(2) 이중슬릿 회절에서 밝은 무늬가 중앙은 밝고 벗어날수록 어두어지는 이유는 무엇인가 ?

(3) 이중슬릿의 두 슬릿 중 하나의 슬릿을 막으면 어떠한 변화가 있겠는가?

(4) 이중슬릿의 슬릿 간격이 증가될수록 간섭되는 영역, 간섭무늬의 밝기, 간섭무늬의 수 및 간섭무늬 간격에 어떠한 변화가 있는가?