

간섭 및 회절

1. 실험 목적

단일슬릿의 회절무늬와 이중슬릿의 간섭무늬를 관찰하여 빛의 파동성을 이해한다.

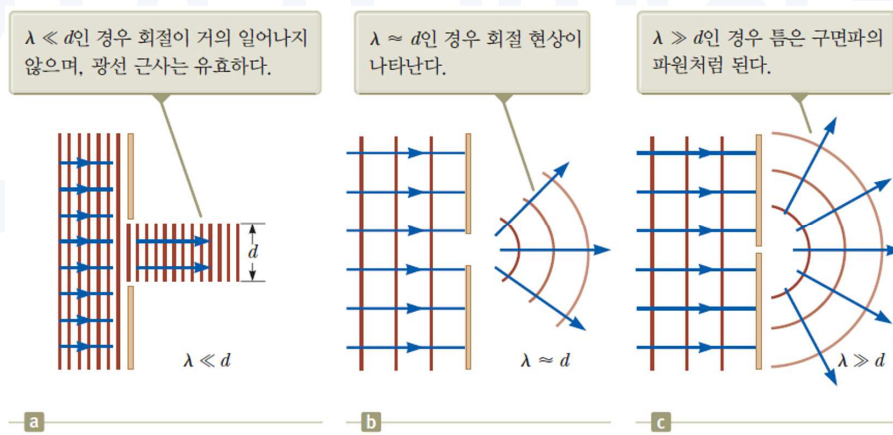
2. 이론

2.0. 빛의 회절과 간섭

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 않는다. 그래서 예전부터 빛이 파동인지 입자인지에 대한 논의가 끝없이 있었다. 뉴턴은 빛의 직진성을 들어 빛을 입자라고 주장하였으며 그 뒤로는 빛은 입자라고 대부분 받아들였으나, 하위헌스 등의 몇몇 과학자들은 빛이 파동이라고 주장했다.

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

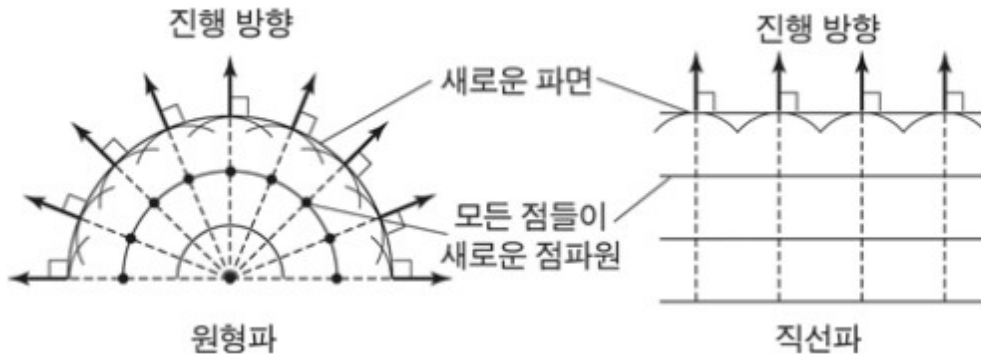
빛이 파동이라는 주장의 중요한 근거 중 하나가 바로 회절(diffraction)의 성질이다. 이는 파동이 좁은 틈(슬릿)을 통과할 때 본래의 직선 경로로부터 퍼지는 현상을 의미한다.



[그림 1] 틈의 폭에 따른 회절현상

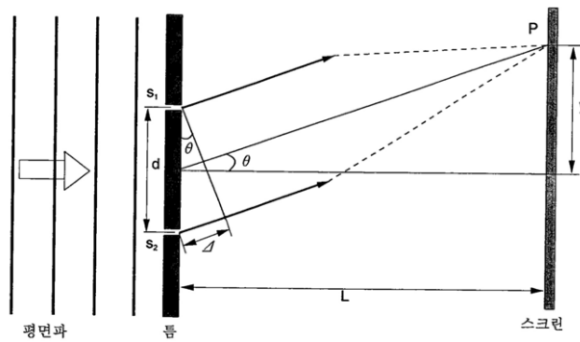
이 현상은 무조건 일어나는 것은 아니고, 파장과 슬릿 폭의 상대적인 크기에 의해 결정된다. [그림 1]의 (a)는 빛의 파장 λ 에 비해 틈의 폭 d 가 훨씬 큰 경우로, 이러한 경우에는 회절이 거의 일어나지 않아 틈의 뒤편에서도 광선 근사는 유효하다. 틈의 폭이 파장과 견줄 정도가 되어야 회절 현상이 나타나기 시작하며, 틈의 폭보다 빛의 파장이 훨씬 큰 경우에는 회절이 심하게 일어나서 틈의 뒤편에서 광선은 구면파의 형태를 띠게 된다. 이는 하위헌

스의 원리(파면 위의 모든 점들은 새로운 점파원이 되고 이 점파원에서 만들어진 파들의 파면에 공통 접선이 새로운 파면이 된다, [그림 2])에 의해 설명될 수 있다.



[그림 2] 하위헌스 원리

2.1. 이중 슬릿에 의한 간섭



[그림 3] 영의 이중 슬릿 실험의 개요도

[그림 3]은 파장이 λ 인 간섭성(coherent: 진동수, 파장, 위상이 동일한 성질) 단일광이 이중 슬릿에 입사하는 모습을 보여준다. 슬릿 s_1 과 s_2 가 간섭성인 점광원이 되고, 이들이 스크린에 도달하여 겹치면 간섭무늬가 나타나게 된다. 폭이 a 인 슬릿의 간격은 d 이고, 스크린까지의 거리는 L 이다. 이 때 L 이 d 보다 훨씬 크면, 스크린 중심에서 y 만큼 떨어진 P 점에 도달하는 두 빛은 거의 평행하며, P 점의 밝기는 s_1 에서 온 빛과 s_2 에서 온 빛 사이의 위상차에 의해 결정된다. 두 광선 사이의 경로차 δ 는

$$\delta = d \sin \theta \tag{1}$$

와 같다. 여기서 θ 는 [그림 3]에서 보이는 것처럼, 중심축으로부터 P 점을 볼 때의 각이며, 회절각 이라고 부른다. θ 의 값은 충분히 작으면($\theta \ll 1$), 다음과 같은 근사식이 성립한다.

$$\delta = d \sin \theta \approx d \tan \theta = d \frac{y}{L} \tag{2}$$

경로차 δ 가 0 또는 파장(λ)의 정수배이면, 두 파동은 점 P 에서 위상이 같고 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 만들어진다. 또한 δ 가 $\lambda/2$ 의 홀수배이면, 점 P 에 도달하는 두 파동의 위상은 180° 만큼 차이가 나서 상쇄간섭이 일어나고, 어두운 무늬가 만들어진다. 그러므로, m

번째 밝은무늬의 위치(m 은 차수라고 한다.) 는

$$y_{\text{bright},m} = m \frac{\lambda L}{d} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (3)$$

이고, m 번째 어두운 무늬의 위치는

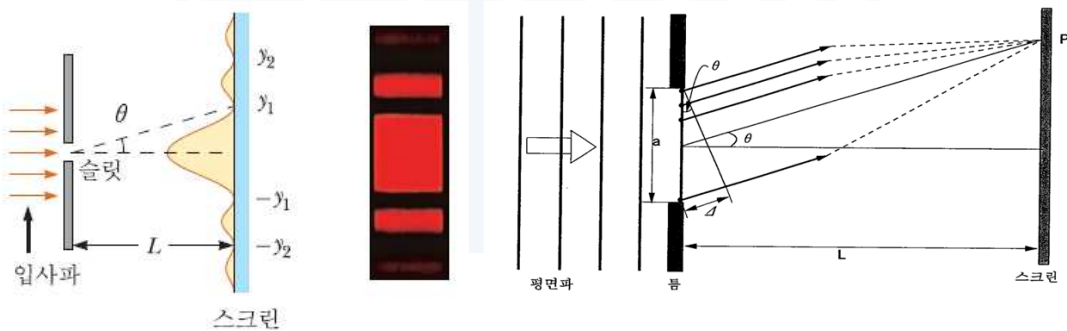
$$y_{\text{dark},m} = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{d} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (4)$$

가 됨을 알 수 있다. 식 (3)으로부터 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은

$$\Delta y = y_{m+1} - y_m = \frac{\lambda L}{d} \quad (5)$$

임을 알 수 있다. 무늬와 무늬 사이의 간격은 파장이 길수록, 슬릿 간격이 좁을수록, 스크린이 멀수록 커진다.

2.2 단일 슬릿에 의한 회절



[그림 4] 단일 슬릿에 의한 회절

[그림 4]와 같이 파장이 λ 인 간섭성(coherent: 진동수, 파장, 위상이 동일한 성질) 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 도달한다고 하자. 슬릿의 폭에 비해 슬릿과 스크린 사이의 거리가 충분히 멀면 슬릿 상에 있는 많은 점광원([그림 5]의 작은 점들)에서 P점에 도달하는 광선들이 평행하다고 취급할 수 있다. 슬릿의 한 점에서 나온 빛과 다른 점에서 나온 빛은 경로차에 의한 간섭을 일으키게 된다. 예를 들어, 슬릿의 맨 위를 출발한 빛과 슬릿의 맨 아래를 통과하는 빛 사이의 경로차는 $\delta = a \sin\theta$ 이다. 슬릿에 들어오는 빛이 평행광이고 회절되어 나가는 광선들이 평행인 회절을 프라운호퍼(Fraunhofer) 회절이라 한다. 프라운호퍼 회절 무늬는 밝은 줄무늬가 $\theta = 0$ 인 축을 따라 생기며, 그 양쪽 주위에 밝고 어두운 무늬가 교대로 나타난다.

회절 무늬를 분석하기 위해서는 [그림 5]와 같이 슬릿을 반으로 나누어 생각하는 것이 편리하다. 슬릿으로부터 나오는 모든 파동의 위상은 동일하다. 그림에서 광선1은 광선3보다 $(a/2)\sin\theta$ 의 경로차만큼 더 멀리 진행한다. 광선2와 4, 광선 3과 5또한 같은 경로차가 된다. 이 경로차가 파장의 $\lambda/2$ 가 되면 두 파동의 위상차는 180° 가 되어 상쇄 간섭을 일으킨다. 따라서 슬릿의 위쪽의 절반의 파동과 슬릿의 아래쪽 절반의 파동은 다음의 조건에서 상쇄 간섭을 일으키게 된다.

$$\frac{a}{2} \sin\theta = \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow \sin\theta = \pm \frac{\lambda}{a} \quad (6)$$

이 조건이 스크린에 나타나는 첫 번째 어두운 무늬의 위치를 나타낸다.

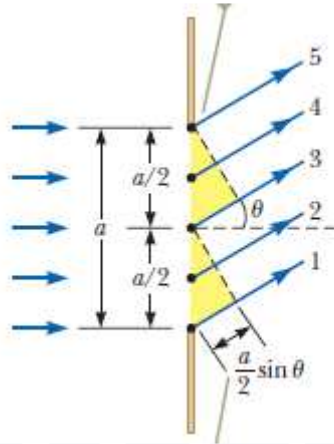
비슷한 방법으로 슬릿을 네 부분으로 나누면 다음과 같은 경우에 스크린이 어두워진다.

$$\frac{a}{4} \sin\theta = \pm \frac{\lambda}{2} \Leftrightarrow \sin\theta = \pm 2 \frac{\lambda}{a} \quad (7)$$

이 조건이 스크린에 나타나는 두 번째 어두운 무늬의 위치를 나타낸다.

이와 같은 방법을 반복하면, m 번째 어두운 무늬가 형성되는 $\theta_{\text{dark},m}$ 값을 얻을 수 있다.

$$\sin\theta_{\text{dark},m} = m \frac{\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (8)$$



[그림 5] 단일 슬릿에 의해 θ 의 각도로 회절하는 광선의 경로

θ 의 값은 충분히 작으면($\theta \ll 1$), 식 (2)와 비슷하게 $\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{y}{L}$ 의 근사식이 성립하여, m 번째 어두운 무늬의 위치 $y_{\text{dark},m}$ 는

$$y_{\text{dark},m} = Lm \frac{\lambda}{a} \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \quad (9)$$

가 됨을 알 수 있다. 또한 식 (9)로부터 중앙의 밝은 무늬의 너비 Δy_0 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$\Delta y_0 = 2|y_{\text{dark},1}| = 2L \frac{\lambda}{a} \quad (10)$$

3. 실험 장치

1. 650nm 레이저
2. 보조스크린
3. 슬릿 세트

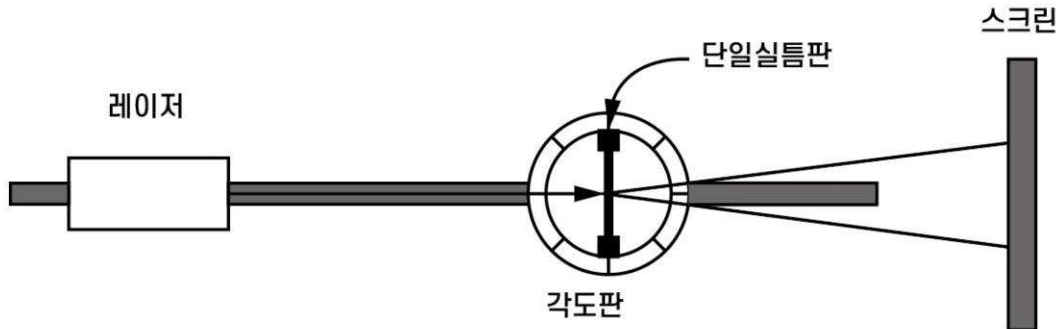
표식	슬릿 개수	슬릿 폭 (mm)	슬릿 간격 (mm)
A	1(단일 슬릿)	0.04	
B	1	0.08	
C	1	0.16	
D	2(이중 슬릿)	0.04	0.125
E	2	0.04	0.250
F	2	0.08	0.250



서울시립대학교
UNIVERSITY OF SEOUL

4. 실험 방법

4.1. 이중 슬릿에 의한 간섭



[그림 6] 실험 장치의 개요도

- 1) [그림 6]과 같이 부품을 정렬하고, 레이저만 광원이 될 수 있도록 실험실을 최대한 어둡게 한다.
- 2) 슬릿 세트와 스크린 사이의 간격을 대략 1m 이상으로 띄우고 거리(L)를 기록한다.
- 3) 레이저를 켜고 첫 번째 이중 슬릿 D를 통과하여 스크린 상에 간섭무늬가 나타나도록 조절한다.
- 4) 스크린에 나타난 간섭무늬를 관찰하고, 중앙으로부터 m 번째 밝은 무늬까지의 거리를 측정하여 기록한다.
- 5) 스크린까지의 거리 L 을 바꾸면서 무늬의 변화를 관찰하고 기록한다.
- 6) 나머지 이중슬릿 E, F에 대해서도 실험을 반복한다.

4.2. 단일 슬릿에 의한 회절

- 1) 이중 슬릿 실험과 같이 장치를 세팅한다.
- 2) 레이저를 켜고 첫 번째 단일 슬릿 A를 통과하여 스크린 상에 회절무늬가 나타나도록 조절한다.
- 3) 중앙으로부터 m 번째 어두운 무늬까지의 거리와 중앙 밝은 무늬의 너비를 측정한다.
- 4) 나머지 단일슬릿 B, C에 대해서도 실험을 반복한다.

5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

5.1. 이중 슬릿에 의한 간섭

슬릿	슬릿 폭 (mm)	슬릿 간격 (mm)	차수 m	측정값			이론값 레이저 파장 (nm)	상대오차 (%)
				m 번째 밝은 무늬 위치 $y_{\text{bright},m}$ (mm)	슬릿과 스크린 사이의 거리 L (m)	레이저 파장 λ (nm)		
D	0.04	0.125	1			650		
			2					
			3					
E	0.04	0.25	1					
			2					
			3					
F	0.08	0.25	1					
			2					
			3					

5.2. 단일 슬릿에 의한 회절

슬릿	슬릿 폭 (mm)	차수 m	측정값		이론값 중앙 밝은 무늬의 너비 Δy_0 (mm)	상대오차 (%)
			m 번째 어두운 무늬 위치 $y_{\text{dark},m}$ (mm)	중앙 밝은 무늬의 너비 Δy_0 (mm)		
A	0.04	1				
		2				
B	0.16	1				
		2				
C	0.08	1				
		2				

*각 실험에서 간섭무늬와 회절 무늬 사진을 1개씩 대표로 결과 보고서에 첨부하십시오.

6. 고찰 사항

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

1. 단일 슬릿의 폭이 증가할수록 회절되는 전체 폭, 밝기, 회절무늬 및 회절무늬의 간격은 어떻게 변화하는가?

2. 이중슬릿 회절에서 밝은 무늬의 세기(intensity)가 중앙에서 제일 밝고 중앙에서 멀어질수록 어두워지는 이유는 무엇인가?

3. 이중슬릿의 두 슬릿 중 하나의 슬릿을 막으면 어떤 변화가 생기는가?

4. 이중슬릿의 슬릿 간격이 증가할수록 간섭되는 영역, 간섭무늬의 밝기, 간섭무늬의 수 및 간섭무늬 간격에 어떠한 변화가 있는가?

서울시립대학교
UNIVERSITY OF SEOUL