

02

빛의 간섭과 회절

학습 목표 빛의 간섭과 회절을 알고, 홀로그램 등 현대의 정밀 기술에 활용되는 예를 설명할 수 있다.

1952년 5월에 찍은 51 번째 DNA의 X선 회절 사진을 보고, 과학자들은 DNA가 나선형 구조를 가질 것이라고 추론할 수 있었다. 이런 사진을 찍을 때 파장이 짧은 X선을 사용하는 까닭은 무엇일까?



빛의 간섭

영(Young, T., 1773~1829)은 1801년 그림 II-17과 같이 단일 슬릿으로부터 같은 거리에 두 슬릿 S₁, S₂가 위치하도록 이중 슬릿을 설치해 간섭 실험을 했다.

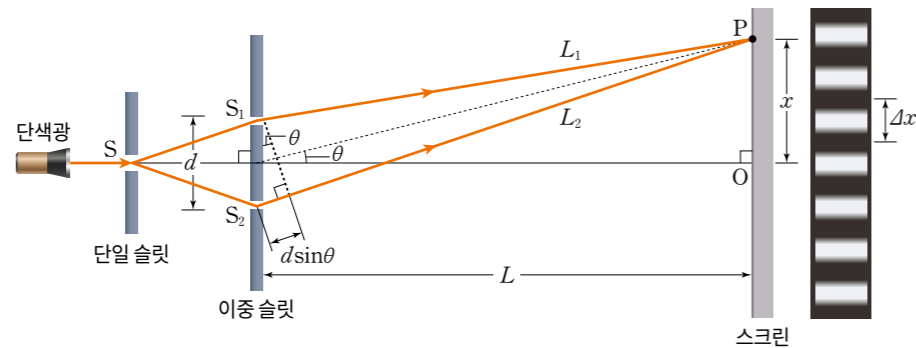


그림 II-17 영의 간섭 실험

단일 슬릿 통과 후 이중 슬릿을 지나는 단색광은 위상이 같은 두 개의 광원 역할을 하므로 각 슬릿에서 전파된 빛이 스크린에서 중첩하면 간섭무늬가 나타난다. S₁, S₂에서 스크린의 한 점 P까지 거리를 각각 L₁, L₂라 하면 간섭무늬는 경로차 |L₁-L₂|에 의해 결정된다. 경로차가 반파장의 짝수 배인 지점에서 두 빛은 같은 위상을 가지므로 보강 간섭을 하여 밝은 무늬가 나타난다.

$$|L_1 - L_2| = \frac{\lambda}{2}(2m), (m=0, 1, 2, 3, \dots) \Rightarrow \text{보강 간섭}$$

경로차가 반파장의 홀수 배인 지점에서 두 빛은 서로 반대 위상을 가지므로 상쇄 간섭을 하여 어두운 무늬가 나타난다.

$$|L_1 - L_2| = \frac{\lambda}{2}(2m+1), (m=0, 1, 2, 3, \dots) \Rightarrow \text{상쇄 간섭}$$

연계 물리학

이중 슬릿에 의한 빛의 간섭무늬를 '빛과 물질' 단원에서 배웠다.

*** 단색광**
하나의 파장을 가지는 단일한 색으로 된 빛이다.

*** 위상**
파동과 같은 주기 운동을 수학적으로 나타낼 때, 한 주기 동안의 운동 상태 각각에 대응되는 각도이다. 위상을 알면 매질의 변위나 속력과 같은 운동 상태를 알 수 있다.

그림 II-17의 영의 실험에서 이중 슬릿과 스크린 사이의 거리 L은 S₁, S₂ 사이의 간격 d에 비해 매우 크다. 따라서 S₁, S₂에서 스크린까지의 빛의 경로차는 d sin theta로 어림잡을 수 있다. 또 L이 x보다 충분히 큰 경우 theta가 매우 작아지므로 근사적으로 sin theta ≈ tan theta = x/L가 된다. 따라서 첫 번째 어두운 무늬는 경로차가 λ/2인 곳에 생기므로 다음과 같다.

$$d \sin \theta \approx d \frac{x}{L} = \frac{\lambda}{2}$$

즉, 첫 번째 어두운 무늬는 스크린의 중심 O에서 x = λ/2 * L/d 만큼 떨어진 곳에 나타난다. 어두운 무늬를 만드는 상쇄 간섭은 경로차가 λ/2, 3λ/2, ...인 곳에 반복해서 나타나므로 어두운 무늬 사이의 간격 Δx는 다음과 같다.

$$\Delta x = \lambda \frac{L}{d}$$

따라서 이중 슬릿에 의한 간섭무늬의 간격 Δx는 이중 슬릿으로부터 스크린까지의 거리 L이 멀수록, 빛의 파장 λ가 길수록, 이중 슬릿의 간격 d가 좁을수록 넓어진다. 또 Δx, L, d를 측정하면 다음과 같이 빛의 파장을 구할 수 있다.

$$\lambda = \Delta x \frac{d}{L}$$

얇은 막에서의 간섭

물 위에 뜬 얇은 기름막에서 나타나는 알록달록한 무늬는 우리 주변에서 쉽게 관찰할 수 있는 얇은 막에 의한 간섭 현상이다. 그림 II-18과 같이 얇은 기름막에 입사각 θ_i로 A에 입사한 빛은 일부는 반사하고 일부는 굴절각 θ_r로 굴절하여 진행한다. 굴절한 빛은 아래쪽 B에서 다시 반사한 뒤 C에서 일부는 굴절각 θ_t로 굴절하여 공기 중으로 진행한다. 이때 A에서 반사한 빛과 C에서 굴절한 빛이 간섭하여 알록달록한 무늬를 만든다.

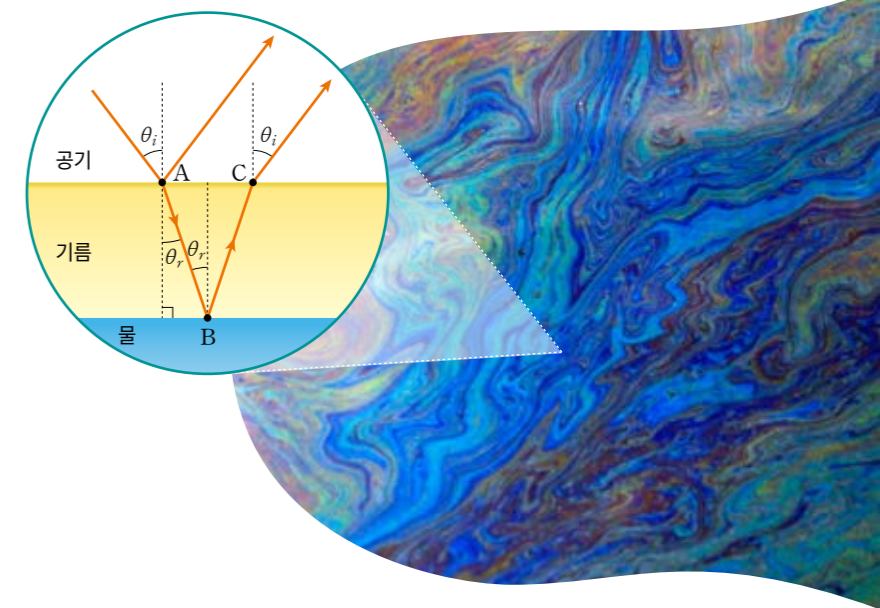
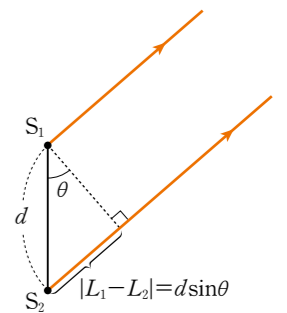


그림 II-18 기름막과 같은 얇은 막에서의 간섭 현상과 원리

두 광선의 경로차



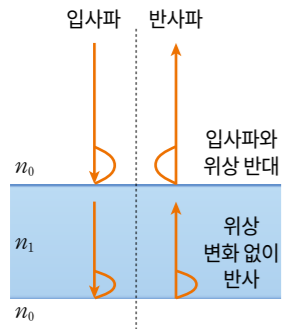


그림 II-19 두 매질의 경계에 수직으로 입사한 빛

그림 II-19와 같이 굴절률이 작은 매질(n_0)에서 진행하던 빛이 굴절률이 큰 매질(n_1)과 만나는 경계에서 반사하면 위상이 반대로 변한다. 반면 굴절률이 큰 매질(n_1)에서 진행하던 빛이 굴절률이 작은 매질(n_0)과 만나는 경계에서 반사하면 위상 변화 없이 반사한다.

그림 II-20의 A에서 반사한 빛과 C에서 굴절한 빛이 임의의 한 점 P에서 만날 때 두 빛의 위상차는 다음의 두 가지 조건에 의해서 결정된다.

두 빛의 경로차에 의한 위상차 조건

1. 굴절률이 작은 매질(n_0)과 굴절률이 큰 매질(n_1)이 만나는 A에서 반사한 빛은 위상이 반대로 바뀐다. 반면 굴절률이 큰 매질(n_1)과 굴절률이 작은 매질(n_0)이 만나는 B에서 반사한 빛은 위상이 변하지 않는다.

2. 두 빛의 경로차에 의한 위상차는 다음과 같다.

$n_0 = 1$ 이고, 입사각이 매우 작을($\theta \approx 0$)

때, C 점과 D 점에서 P까지 거리가 같으므로 두 광선의 경로차는 얇은 막의 두께 d 의

2 배이다. 또 매질 내에서 빛의 파장은 $\frac{\lambda}{n_1}$ 만큼 짧아지므로 빛이 이동하는 경로가 $4 = n_1(2d)$ 만큼 늘어나는 것으로 생각할 수 있다.

두 빛의 경로차가 $\frac{\lambda}{2}$ 의 홀수 배만큼 차이가 나면 보강 간섭이 일어나며, $\frac{\lambda}{2}$ 의 짝수 배만큼 차이가 나면 상쇄 간섭이 일어나므로 보강 및 상쇄 간섭 조건은 다음과 같다.

• $n_1(2d) = \frac{\lambda}{2}(2m-1), (m=1, 2, 3, \dots)$: 보강 간섭(밝은 무늬)

• $n_1(2d) = \frac{\lambda}{2}(2m), (m=1, 2, 3, \dots)$: 상쇄 간섭(어두운 무늬)

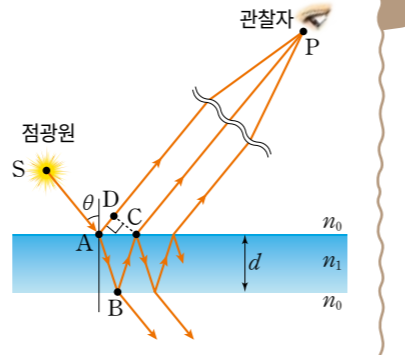


그림 II-20 얇은 막에서의 간섭

단색광의 경우에는 밝고 어두운 무늬가 반복해서 나타난다. 백색광의 경우에는 상쇄 간섭 조건을 만족하는 색깔의 빛을 제외한 나머지 색깔의 빛에 의해 다양한 색의 무늬가 나타난다.

스스로 확인

- 1 빛의 간섭 실험에서 경로차가 반파장의 짝수 배 차이가 나는 지점에는 () 무늬가 관찰된다.
- 2 얇은 막에서의 간섭은 막의 두 ()에서 반사된 빛이 서로 간섭하여 일어난다.
- 3 얇은 막에서의 빛의 간섭은 반사에 의한 빛의 위상 변화와 경로차에 의한 위상 차이를 모두 고려해야 한다. (○, ×)

세워진 비누막에 의한 빛의 간섭 실험

얇은 막에서의 간섭은 막의 두께와 관계가 있다. 다음 활동을 하면서 세워진 비누막에 의한 빛의 간섭 현상을 알아보자.

탐구

세워진 비누막에 의한 빛의 간섭 양상 관찰하고 설명하기

● 다양한 도구 활용 / 정보 수집과 기술

목표

세워진 비누막에서는 빛의 간섭으로 다양한 색깔의 무늬가 나타남을 설명할 수 있다.

과정

1. 물과 주방 세제, 글리세린을 6 : 3 : 1의 비율로 섞어 비눗물을 만든다.
2. 철사로 둥근 고리를 만든다.
3. 둥근 고리를 비눗물에 넣어 비누막을 만든다.
4. 비누막이 생긴 둥근 고리를 세우고 조명을 비춰 빛을 반사시킨다.
5. 스마트 기기의 동영상 애플리케이션을 이용해 비누막을 촬영한다.

결과및정리

1. 비누막의 색깔이 다르게 나타나는 까닭을 이야기해 보자.
2. 촬영한 영상을 보면 시간이 지남에 따라 간섭무늬의 색깔이 바뀐다. 그 까닭을 토의해 보자.

Q 탐구 능력 | Q 의사 결정 능력

실험 영상



준비물

- 스마트 기기
- 조명
- 물
- 주방 세제
- 글리세린
- 철사
- 넓은 그릇
- 실험복
- 장갑



스스로 평가

- | 지식·이해 | 간섭무늬의 색깔이 바뀌는 까닭을 설명할 수 있는가? ☆☆☆
- | 과정·기능 | 비누막에서 간섭무늬를 만들어 빛의 간섭 현상을 관찰하고 과학적 사고에 기반해 실험 결과를 분석했는가? ☆☆☆
- | 가치·태도 | 수집한 증거를 바탕으로 하여 모둠 토의에 적극적으로 참여했는가? ☆☆☆

탐구 후기



빛의 회절

담장 너머로 이야기 소리가 들리거나 방파제 뒤쪽으로 파도가 전달되는 것과 같이 파동이 진행하다가 장애물을 만나면 장애물 뒤쪽으로도 파동이 전달된다. 이러한 현상을 파동의 회절이라고 한다. 다음 활동을 하면서 빛에서도 회절 현상을 관찰할 수 있는지 단일 슬릿에 의한 회절 무늬를 관찰해 보자.

실험 영상



해보기

빛에 의한 회절 무늬 관찰하기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

준비물

- 광학대
- 레이저 광원(빨간색, 초록색)
- 스크린
- 단일 슬릿
- 자
- 레이저 보안경

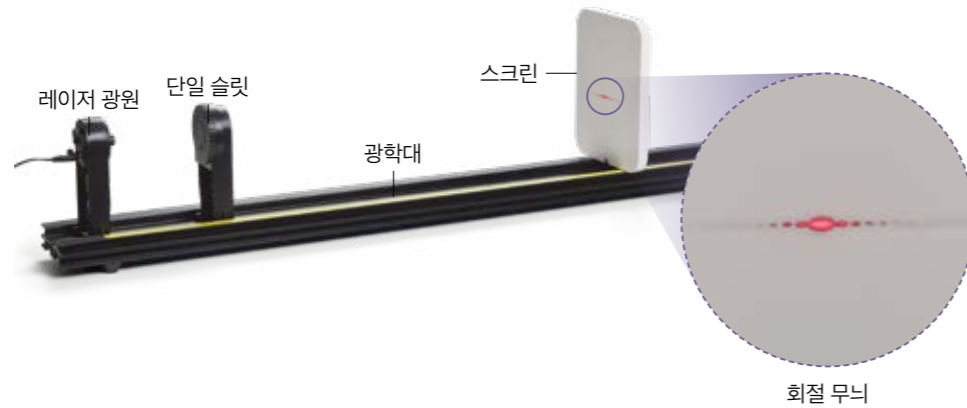
안전

레이저를 사용할 때에는 레이저 보안경을 끼고, 눈에 비추지 않는다.

활동 길잡이

주변을 가능한 한 어둡게 하고 실험한다.

1. 광학대에 레이저 광원, 단일 슬릿, 스크린을 설치한다.
2. 레이저 광원의 전원 스위치를 켜고, 스크린에 나타나는 회절 무늬의 밝기, 무늬 사이의 간격과 폭을 관찰한다.
3. 슬릿의 폭을 변화시켜 가며, 스크린에 나타나는 무늬를 관찰한다.
4. 파장이 다른 레이저로 교체하고 2, 3을 반복해 회절 무늬를 관찰한다.



- 2에서 스크린에 나타나는 밝은 무늬 사이의 간격과 폭을 비교해 보자.
- 3에서 슬릿의 폭과 회절 무늬 사이에는 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.
- 4에서 레이저의 파장과 회절 무늬 사이에는 어떤 관계가 있는지 설명해 보자.

단일 슬릿에 의한 회절 무늬는 밝고 어두운 부분이 규칙적으로 나타난다. 또 회절 무늬의 간격은 슬릿의 폭이 좁을수록, 파장이 길수록 넓게 나타난다.

분해능

망원경이나 현미경과 같이 물체에서 나오는 빛을 렌즈를 통해 한곳으로 모으는 장치에서는 회절 현상이 일어난다. 따라서 모든 광학 기기에서는 서로 떨어져 있는 두 광원을 더 이상 구분할 수 없는 한계가 존재한다. 미세하게 떨어져 있는 물체를 구분할 수 있는 광학 기기의 능력을 **분해능**이라고 한다. 인접한 두 점의 상이 서로 구별될 수 있는 최소한의 조건은 그림 II-21과 같이 한 회절 무늬의 가운데 밝은 무늬의 중심이 다른 회절 무늬의 첫 번째 어두운 무늬의 중심과 일치할 때이다. 이것을 레일리 기준이라고 한다.

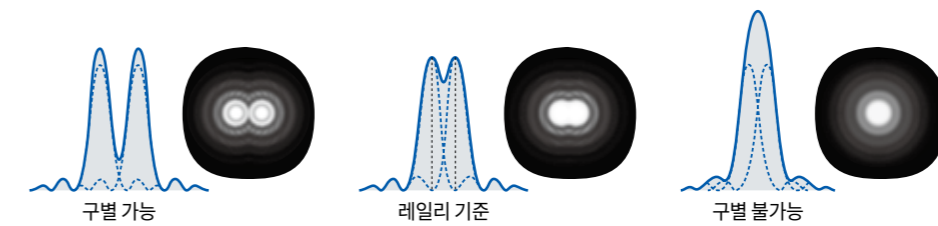


그림 II-21 분해능과 레일리 기준

그림 II-22와 같이 인접한 두 점에서 반사한 빛이 동일한 슬릿을 지나면서 각각 회절하여 스크린에 상이 맺힐 때 슬릿의 폭 D 가 클수록, 빛의 파장 λ 가 짧을수록 중앙의 밝은 무늬의 폭 x 가 좁아진다. 따라서 레일리 기준에 따르면 렌즈의 지름이 크고, 물체를 관찰하는 데 사용하는 빛의 파장이 짧을수록 광학 기기의 분해능이 높아진다.

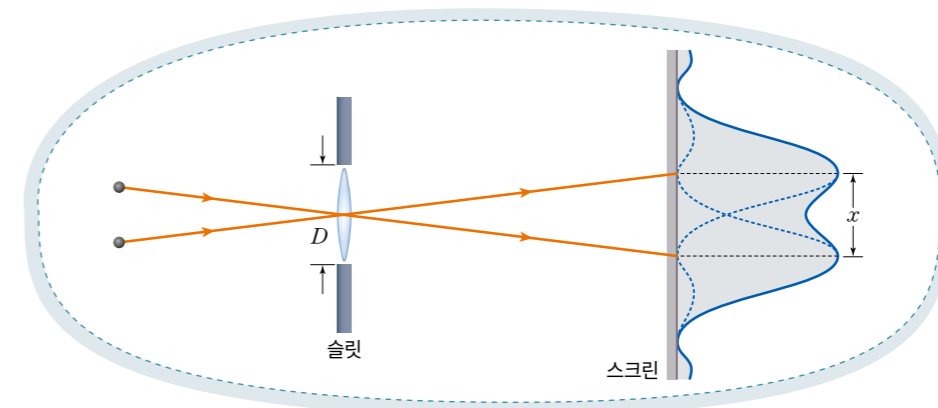


그림 II-22 광학 기기의 분해능 조건

스스로 확인

- 1 슬릿의 폭이 좁을수록 회절 무늬의 간격이 (넓게, 좁게) 나타나며, 파장이 길수록 회절 무늬의 간격이 (넓게, 좁게) 나타난다.
- 2 렌즈의 지름이 ()수록, 물체를 관찰하는 데 사용하는 빛의 파장이 ()수록 광학 기기의 분해능이 높아진다.

홀로그램

* 홀로그램

홀로그램은 완전함을 의미하는 'Holo'와 정보를 뜻하는 'Gramma'의 합성어로 실물처럼 보이는 입체 영상이나 이미지를 의미한다.

그림 II-23과 같이 지폐나 신용카드를 살펴보면 홀로그램이라고 하는 이미지를 볼 수 있다. 이러한 홀로그램은 빛의 간섭 현상을 이용해 삼차원 입체 정보를 그대로 기록하고 재현하는 홀로그래피 기술을 이용해 만든다.



그림 II-23 지폐와 신용카드의 홀로그램

홀로그래피 기술은 1947년 영국의 데니스(Dennis, G., 1900~1979)가 전자현미경의 성능을 개선하는 과정에서 개발했다. 홀로그램은 그림 II-24의 (가)와 같이 레이저 빛을 반으로 나누어 일부는 사진 건판을 직접 비추고, 일부는 물체에 비추어 산란된 빛이 사진 건판을 향하게 한다. 사진 건판에서 만난 두 빛은 경로차에 의한 간섭 현상이 일어나며, 간섭무늬가 사진 건판에 기록된다. 그리고 기록된 사진 건판에 그림 (나)와 같이 레이저 빛이 투과하거나 반사하면 홀로그램에 저장된 영상을 재생할 수 있다. 홀로그램 위에 있는 미세한 간섭무늬들이 회절 격자 역할을 해 일부 빛을 휘거나 회절시킴으로써 홀로그램을 생성한 원래 모습을 정확하게 재현한다. 즉, 재생할 때 사용하는 빛은 기록할 때와 같은 진동수를 가진 빛이어야 삼차원 영상으로 재현할 수 있으며, 진동수가 다른 빛은 아무런 효과가 없이 저장된 홀로그램을 통과해 버린다.

* 회절 격자

빛의 회절 현상을 이용해 스펙트럼을 얻는 장치로, 슬릿과 같이 작은 틈이 반복적으로 배열된 구조로 되어 있다.

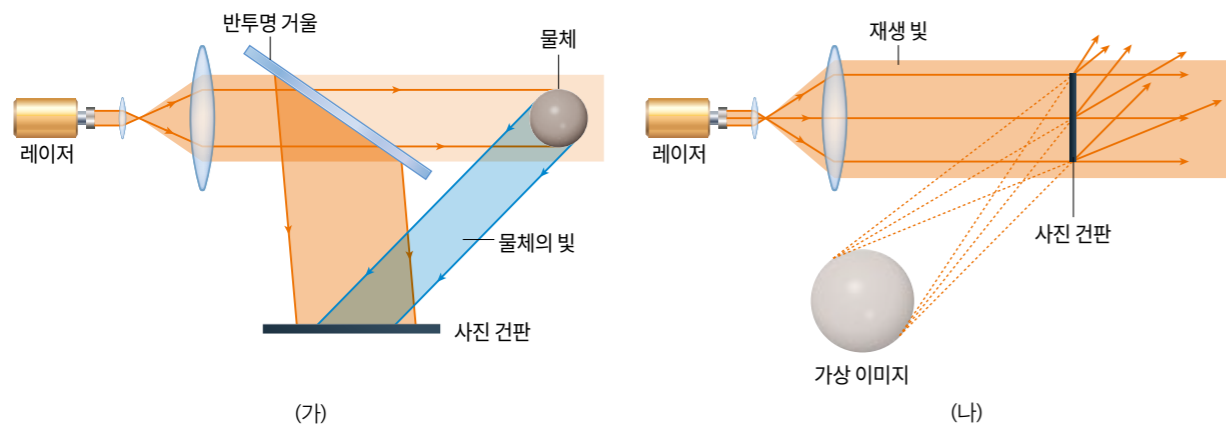


그림 II-24 홀로그램의 기록과 재생 원리

최근 산업, 의학, 보안 기술의 발달로 홀로그램의 응용 분야가 확대되고 있다. 다음 활동을 하면서 홀로그램이 사용되는 예를 찾아보자.

디지털 해보기

탐구 능력 | 문제 해결 능력

홀로그램의 사용 사례 찾아보기

- 다음 제시된 분야 중 자신이 관심 있는 분야를 선택한다.

기계·자동차 전자·통신 의료 금융·보안 문화재 예술

준비물

스마트 기기

- 인터넷을 통해 각자가 관심 있는 분야에서 홀로그램이 어떻게 사용되고 있는지 예를 찾는다.
- 공유** 인터넷에서 찾은 정보를 정리해 공유 플랫폼에 공유하고, 공유한 자료에 관해 발표한다.



홀로그래피 기술이 발달함에 따라 다양한 분야에서 홀로그램이 활용되고 있다. 가상 현실(VR), 증강 현실(AR) 및 혼합 현실(MR)에서 현실감 있는 시각적 경험을 제공하거나 홀로그램 프로젝터를 사용해 삼차원 이미지를 실제 공간에 투영하려는 연구가 계속되고 있다. 보안 분야에서는 제품이나 문서에 홀로그램을 부착하여 위조를 방지하거나 품질 인증 기능을 제공한다. 또 홀로그램은 해킹을 방지하는 기술로 중요한 역할을 하고 있다. 의료 분야에서는 신체의 해부학적 구조를 파악하는 데 홀로그램을 이용하며, 수술·교육 및 학습 도구로도 활용하고 있다. 예술과 문화 분야에서도 홀로그램 전시회나 콘서트와 같이 차별화된 특수 효과와 시각적 경험을 제공한다.

스스로 확인

- 홀로그래피 기술은 빛의 () 현상을 이용해 삼차원 입체 정보를 그대로 기록하고 재현하는 기술을 말한다.
- 홀로그램을 재생할 때 사용하는 빛은 홀로그램을 기록할 때와 같은 진동수를 가진 빛을 사용해야 한다. (O, X)

스스로 정리

공유 홀로그램을 이용하여 나를 재미있게 소개할 수 있는 방법을 구상해 공유 플랫폼에 공유해 보자.