빛의 파동성

〈물리 상수〉

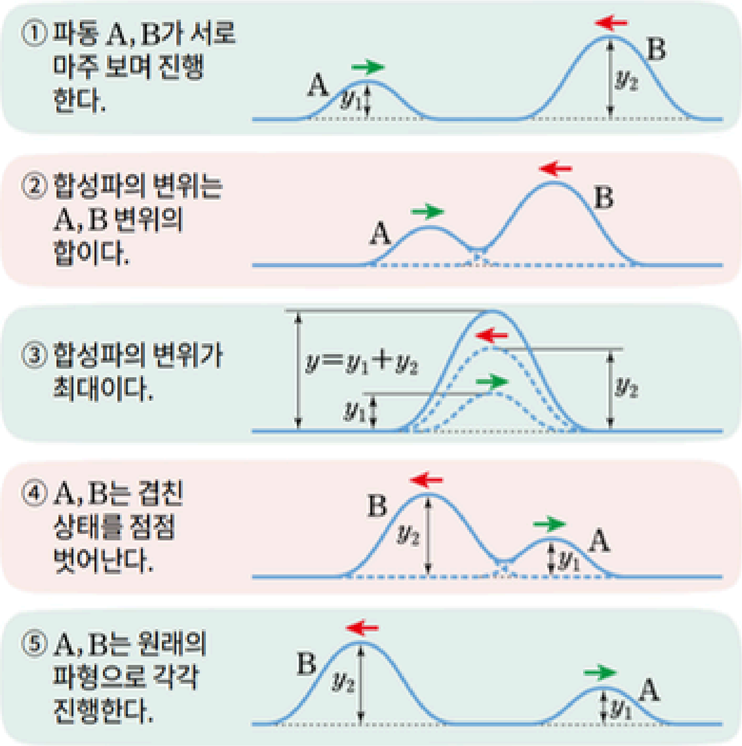
진공 중의 빛의 속력	c	$3.00 \times 10^{8}\,\mathrm{m/s}$	플랑크 상수	h	$6.63 \times 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$
중력 상수	G	$6.67 \times 10^{-11}\,\mathrm{N \cdot m^2/kg^2}$			$4.14 \times 10^{-15}\,\mathrm{eV \cdot s}$
아보가드로 수	N_A	$6.02 \times 10^{23}\,/\mathrm{mol}$	볼츠만 상수	k	$1.38 \times 10^{-23}\,\mathrm{J/K}$
기체 상수	R	$8.31\,\mathrm{J/mol \cdot K}$			$8.62 \times 10^{-5}\,\mathrm{eV/K}$
		$8.21 \times 10^{-2}\,\mathrm{atm \cdot L/mol \cdot K}$	기본 전하량	e	$1.60 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$
진공의 유전율	ϵ_0	$8.85 \times 10^{-12}\,\mathrm{C^2/N \cdot m^2}$	전자의 질량	m_e	$9.11 \times 10^{-31}\,\mathrm{kg}$
진공의 투자율	μ_0	$1.26 \times 10^{-6}\,\mathrm{T \cdot m/A}$	양성자의 질량	m_p	$1.67 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$
패러데이 상수	F	$9.65 \times 10^{4}\,\mathrm{C/mol}$	중성자의 질량	m_n	$1.68 \times 10^{-27}\,\mathrm{kg}$

파동의 중첩과 간섭

파동의 중첩과 독립성

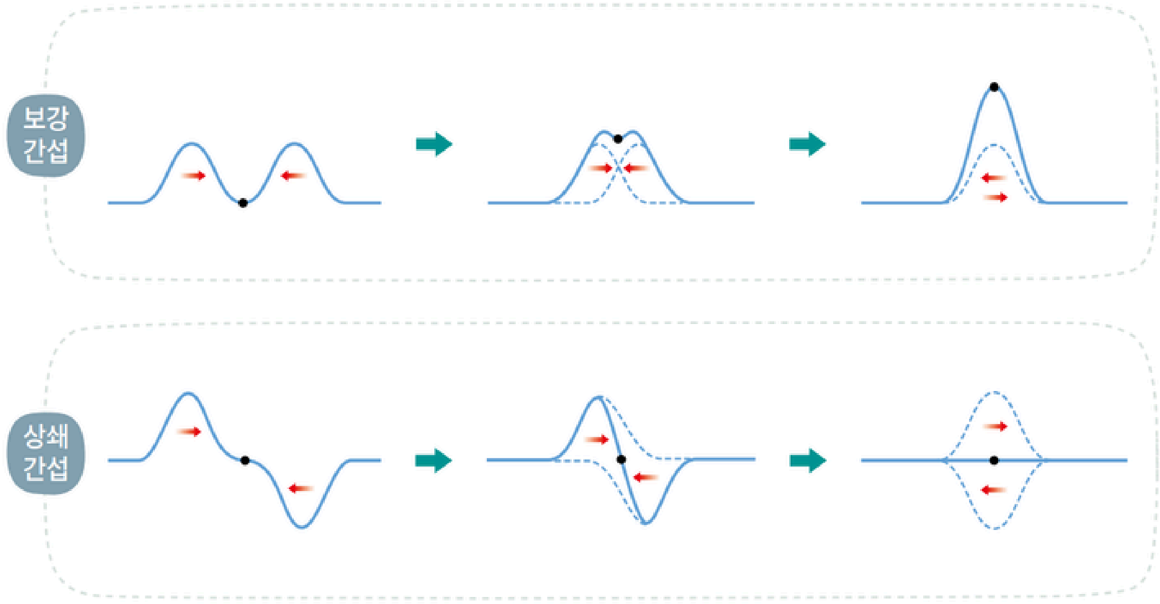
한 매질에서 진행하는 두 파동 A, B가 만나서 겹칠 때 매질 각 부분의 변위는 각 파동이 단독으로 진행할 때의 변위의 합과 같다. 최대 변위 y_1인 파동 A와 최대 변위 y_2인 파동 B가 겹쳤을 때의 최대 변위는 $y=y_1+y_2$이다. 이것을 파동의 **중첩 원리**라고 하며, 중첩해서 새롭게 만들어지는 파동을 합성파라고 한다.

한 매질에서 서로 반대 방향으로 진행하는 두 파동은 중첩이 끝나면 다른 파동으로부터 아무런 영향을 받지 않고 원래의 파형을 그대로 유지하면서 진행하는데, 이를 **파동의 독립성**이라고 한다.



파동의 간섭

두 개 이상의 파동이 서로 중첩할 때 합성파의 진폭이 커지거나 작아지는 현상을 **파동의 간섭**이라고 한다. 위상이 같은 두 파동이 중첩할 때 합성파의 진폭이 중첩하기 전보다 커지는 것을 **보강 간섭**, 위상이 반대인 두 파동이 중첩할 때 합성파의 진폭이 중첩하기 전보다 작아지는 것을 **상쇄 간섭**이라고 한다.



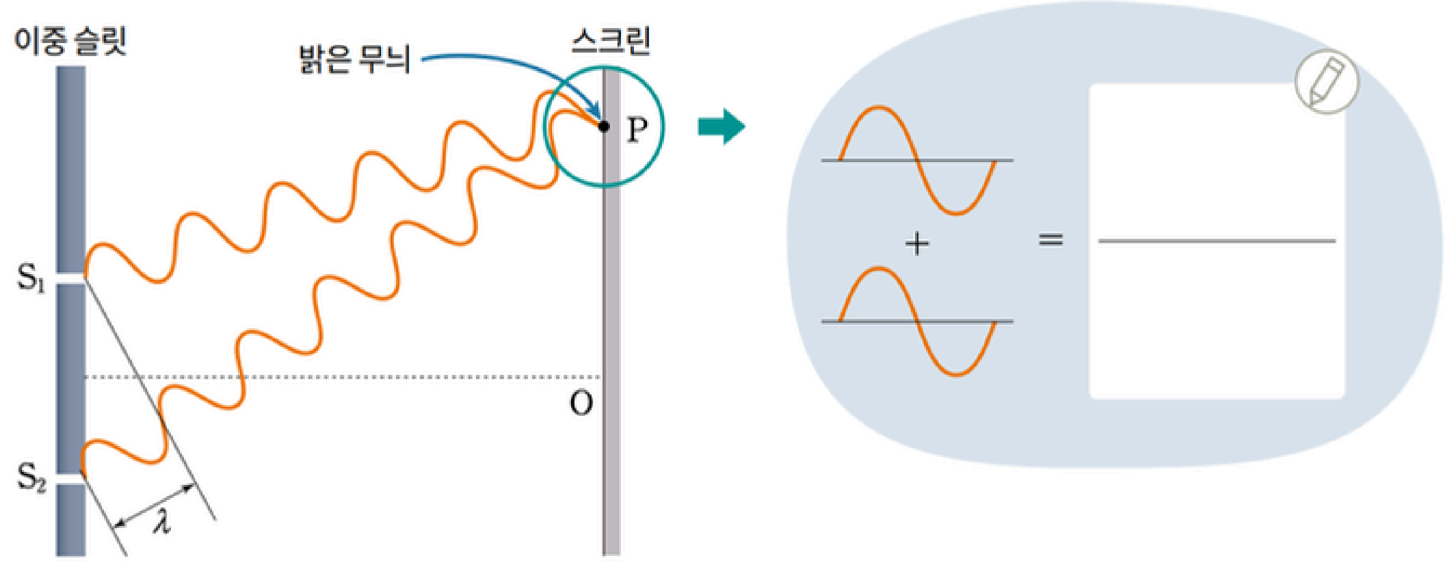
파동의 위상
파동이 진행할 때 원래 위치에서 매질의 변위와 운동 상태를 나타낸다.

빛의 간섭

보강 간섭 | 슬릿 S_1, S_2에서 스크린 위의 점 P까지의 거리가 빛의 반파장$\left(\frac{\lambda}{2}\right)$의 짝수 배만큼 차이가 나는 경우 P에서 두 빛의 경로차는 다음과 같다.

$$|\overline{S_1P}-\overline{S_2P}|=\frac{\lambda}{2}(2m),\ (m=0, 1, 2, 3, \cdots\cdots)$$

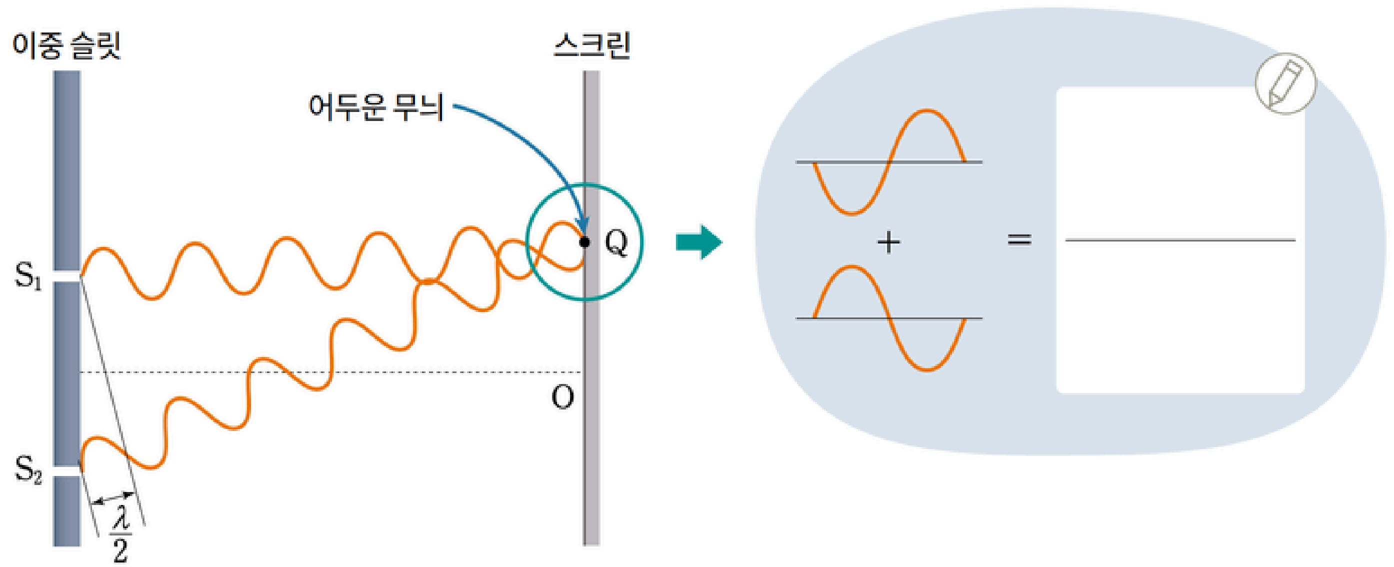
이때 두 파동이 같은 위상으로 만나므로 보강 간섭이 일어나 밝은 무늬가 나타난다.

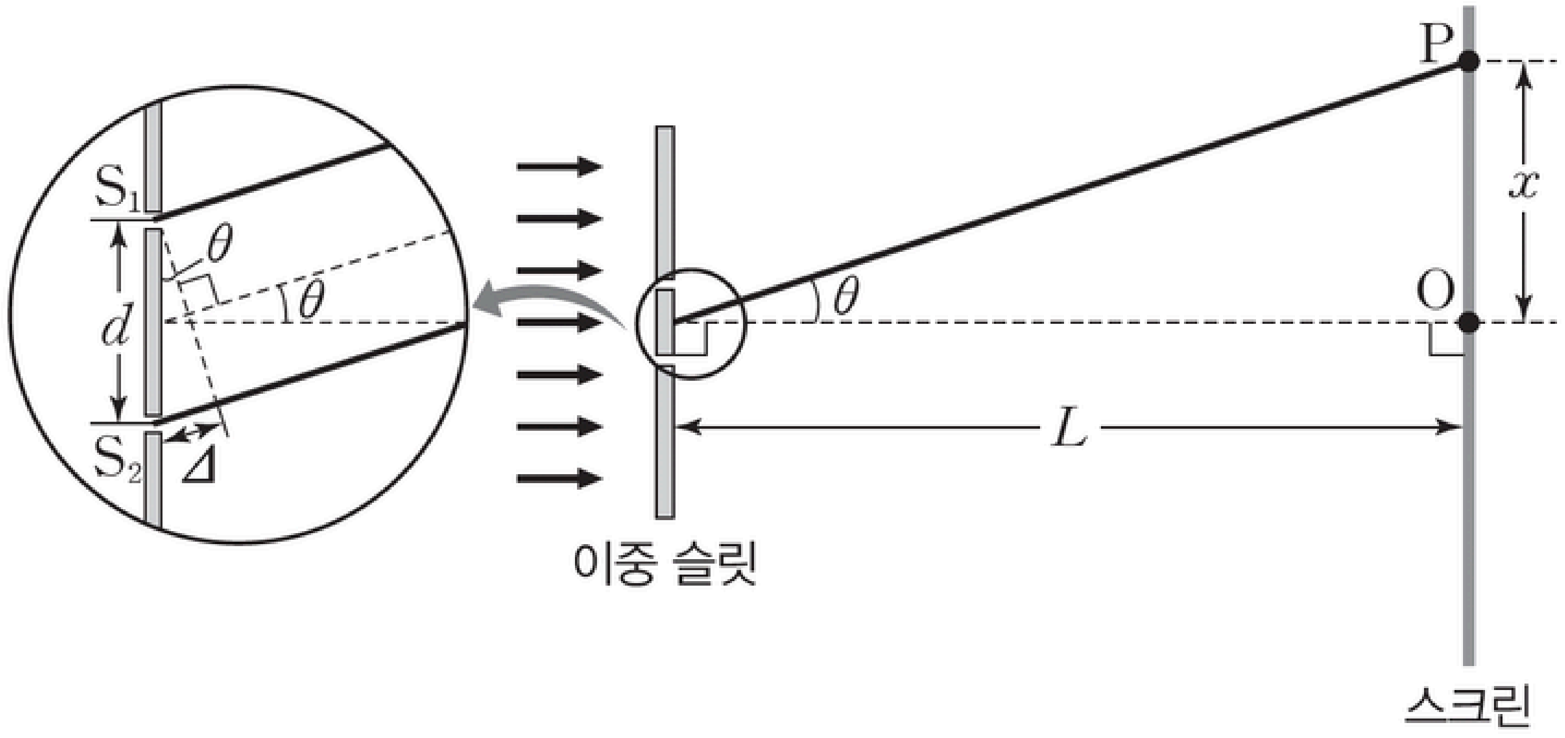


상쇄 간섭 | 슬릿 S_1, S_2에서 스크린 위의 점 Q까지의 거리가 빛의 반파장$\left(\frac{\lambda}{2}\right)$의 홀수 배만큼 차이가 나는 경우 Q에서 두 빛의 경로차는 다음과 같다.

$$|\overline{S_1Q}-\overline{S_2Q}|=\frac{\lambda}{2}(2m+1),\ (m=0, 1, 2, 3, \cdots\cdots)$$

이때 두 파동이 반대 위상으로 만나므로 상쇄 간섭이 일어나 어두운 무늬가 나타난다.

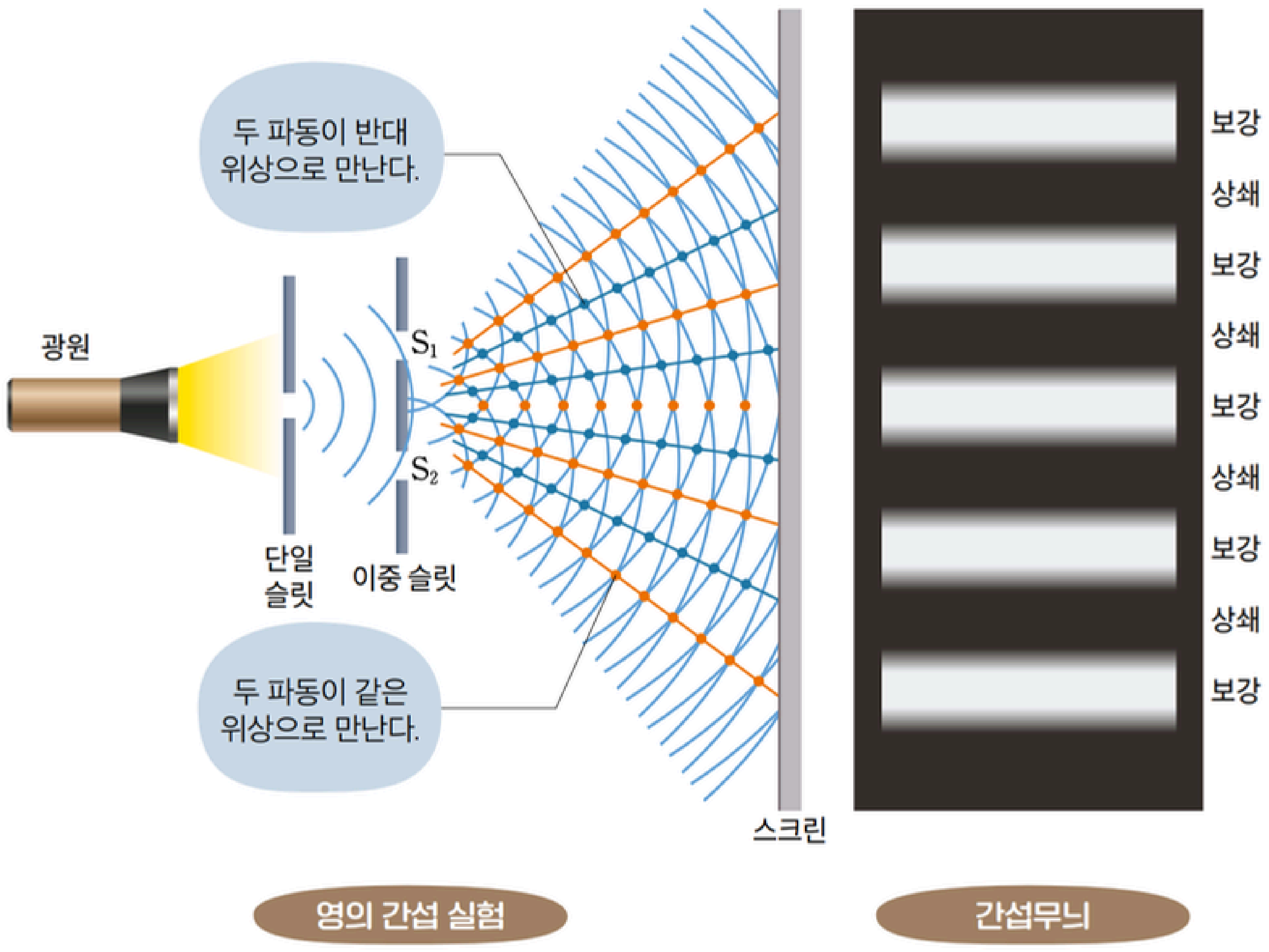




$$\Delta = d\sin\theta \approx d\tan\theta = d\frac{x}{L}$$

따라서 보강 간섭과 상쇄 간섭의 조건을 나타내면 다음과 같다.

$$\Delta = d\frac{x}{L} = \begin{cases} \frac{\lambda}{2}(2m) & \text{보강 간섭 } (m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots) \\ \frac{\lambda}{2}(2m+1) & \text{상쇄 간섭 } (m=0,\ 1,\ 2,\ 3,\ \cdots) \end{cases}$$



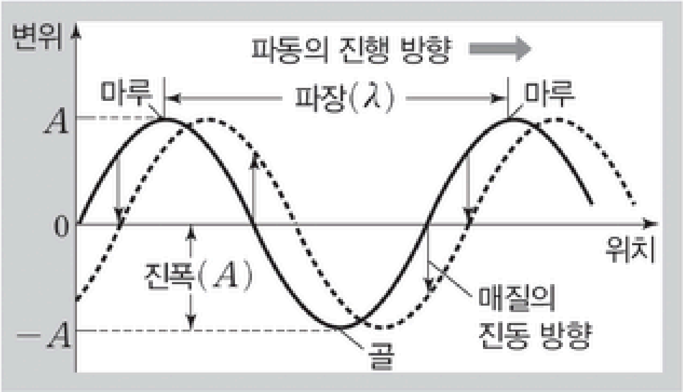
빛의 간섭 현상의 예

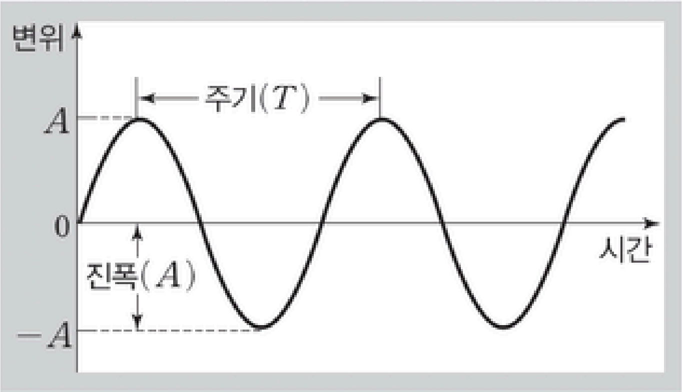
비눗방울, 기름막, 모르포 나비 날개, 공작새 깃털 등에서 볼 수 있는 다양한 색은 빛이 간섭하기 때문에 나타나는 현상이다. 특정한 색의 빛이 보강 간섭을 하면 그 빛의 색이 뚜렷하게 보이고, 상쇄 간섭을 하면 그 빛의 색은 잘 보이지 않는다.

파동의 진행과 굴절

파동의 표현

- 파장(λ): 매질의 각 점이 한 번 진동하는 동안 파동이 진행한 거리, 즉 이웃한 마루와 마루 또는 골과 골 사이의 거리
- 진폭(A): 매질의 최대 변위의 크기, 즉 매질의 진동 중심으로부터 마루 또는 골까지의 거리
- 주기(T): 매질의 각 점이 한 번 진동하는 데 걸리는 시간, 즉 파동이 진행할 때 매질의 한 점이 마루가 되는 순간부터 다음 마루가 되는 데까지 걸리는 시간 [단위: s]
- 진동수(f): 매질의 한 점이 1초 동안 진동하는 횟수 [단위: Hz] ➡ $f=\frac{1}{T}$ 또는 $T=\frac{1}{f}$
- 위상: 매질의 각 점들의 위치와 진동(운동) 상태를 나타내는 물리량으로, 한 파동에 있는 마루들은 위상이 서로 같고, 마루와 골은 위상이 서로 반대이다.
- 주기와 진동수는 파동을 발생시키는 파원에서 결정된다. 즉, 매질이 달라져도 주기와 진동수는 변하지 않는다.





파동의 진행 속력: 파동은 한 주기(T) 동안 한 파장(λ)만큼 진행하므로 파동의 진행 속력은 파장(λ)을 주기(T)로 나눈 값이다.

$$v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$$

굴절 법칙(스넬 법칙)

• 굴절률(n): 매질에서 빛의 속력 v에 대한 진공에서 빛의 속력 c의 비

$$n = \frac{c}{v}$$

물질	진공	공기	물	에탄올	글리세린	유리	다이아몬드
굴절률	1.00	1.0003	1.33	1.36	1.47	1.5~1.9	2.42

[온도] 공기: 0 ℃, 액체: 20 ℃, 고체: 상온, [파장] 589.29 nm

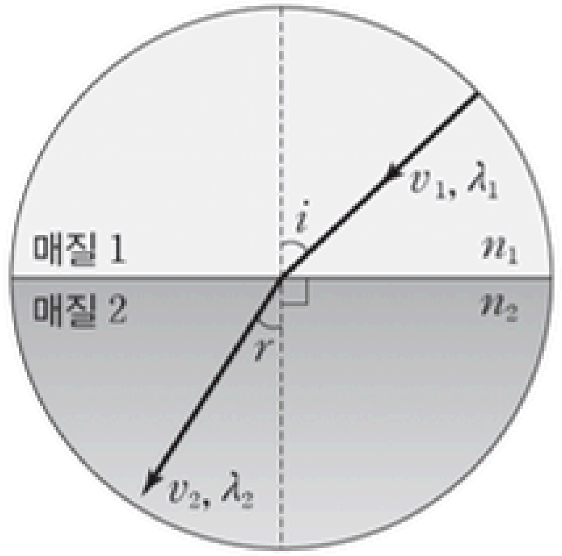
• 상대 굴절률(n_{12}): 매질 1의 굴절률이 n_1, 매질 2의 굴절률이 n_2일 때, 매질 1의 굴절률에 대한 매질 2의 굴절률

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1}$$

• 굴절 법칙: 매질 1에서 매질 2로 빛이 진행할 때, 매질 1의 굴절률이 n_1, 매질 2의 굴절률이 n_2이면 다음 관계가 성립한다.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12}(\text{일정})$$

$$\boxed{n_1 \sin i = n_2 \sin r\text{: 굴절 법칙}}$$

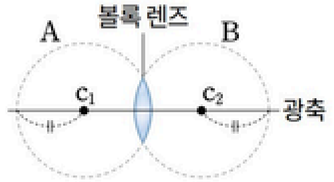


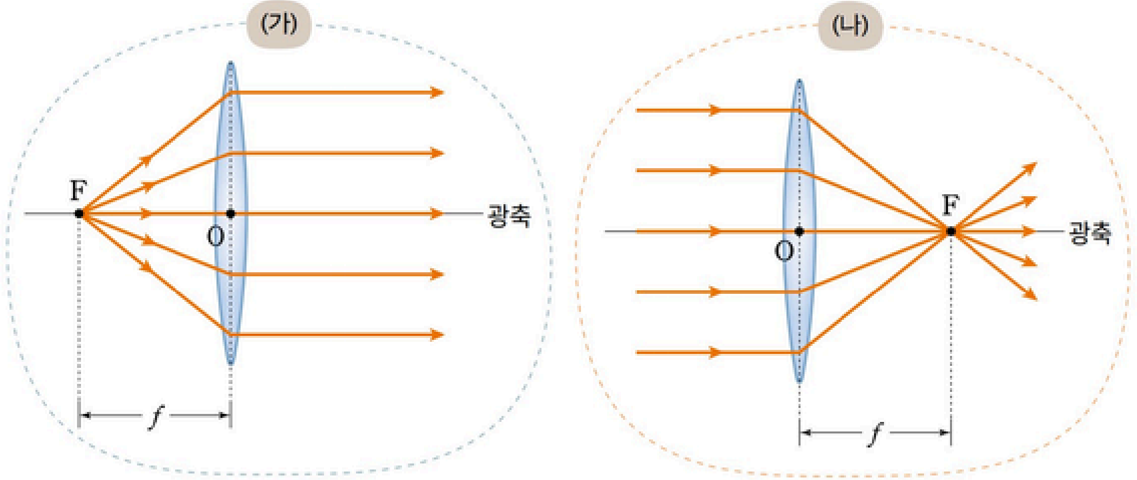
볼록 렌즈

볼록 렌즈

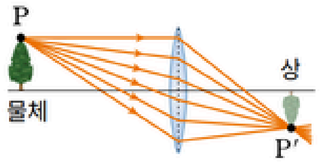
(가)와 같이 어떤 한 점에서 퍼져 나가는 빛은 렌즈에서 굴절한 뒤 광축*에 나란하게 진행하고, 그림 (나)와 같이 광축에 나란하게 렌즈로 입사한 빛은 렌즈에서 굴절한 뒤 한 점으로 모인다. 이때 (가)와 (나)에서 빛이 모이는 점 F를 렌즈의 **초점**이라고 하며, 렌즈의 중심 O에서 초점 F까지의 거리 f를 **초점 거리**라고 한다.

***광축**
볼록 렌즈의 면에 접하는 구 A, B를 그릴 때 각 구의 중심 c_1, c_2를 잇는 직선이다.



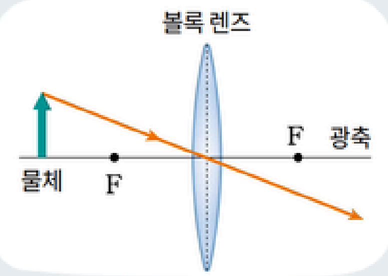


볼록 렌즈에 의한 상의 형성
물체의 한 점 P에서 반사한 광선들은 렌즈를 통과해 다시 상점 P′으로 모인다. 이처럼 물체의 각 점에 대한 상점이 모여 형성된 모습을 상이라고 한다.

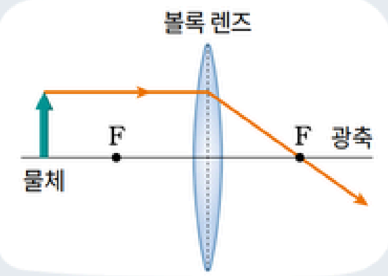


광선 추적법

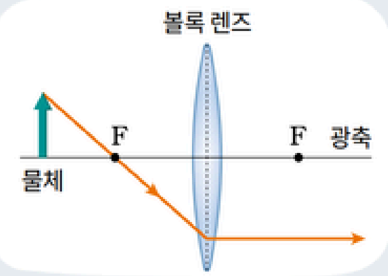
광축, 초점, 렌즈의 성질을 이용하면, 실험을 해 보지 않아도 볼록 렌즈를 지나는 빛의 광선 경로를 예측할 수 있다. 이와 같이 광선의 예상 경로를 그려서 상의 형성을 이해하는 방법을 **광선 추적법**이라고 한다. 광선 추적법을 이용하면 볼록 렌즈에 의한 상의 위치와 크기를 알 수 있다. 이때 렌즈의 두께가 매우 얇다고 가정해 렌즈의 중심을 지나는 광선은 굴절하지 않고 직진하는 것으로 그리며, 렌즈의 경계면에서 일어나는 굴절은 렌즈의 가운데에서 한 번만 굴절하는 것으로 그린다.



볼록 렌즈의 중심을 지나는 광선은 굴절하지 않고 직진한다.



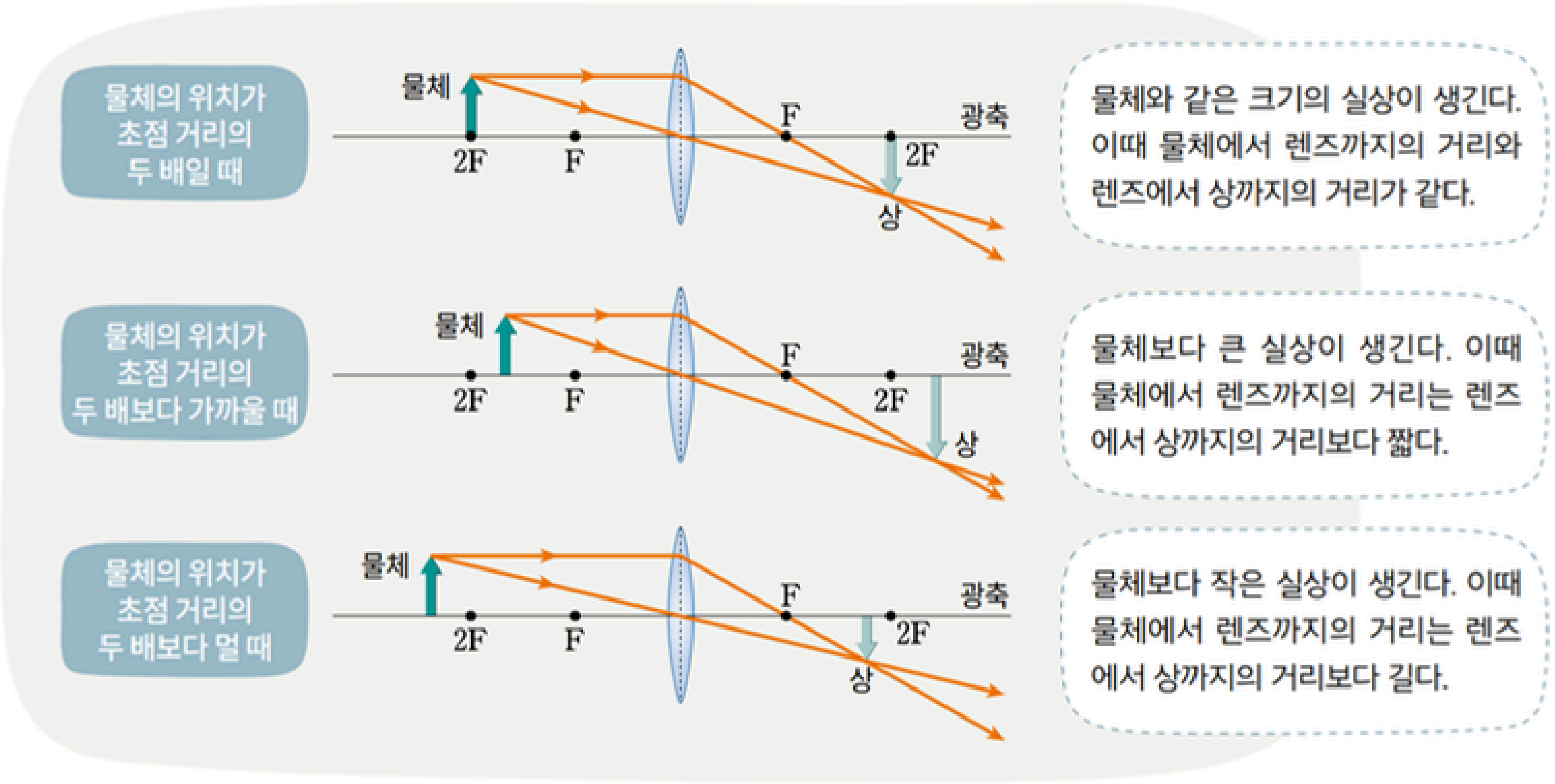
광축에 나란하게 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절한 뒤 초점을 지난다.



초점을 지나 입사한 광선은 볼록 렌즈에서 굴절한 뒤 광축과 나란하게 진행한다.

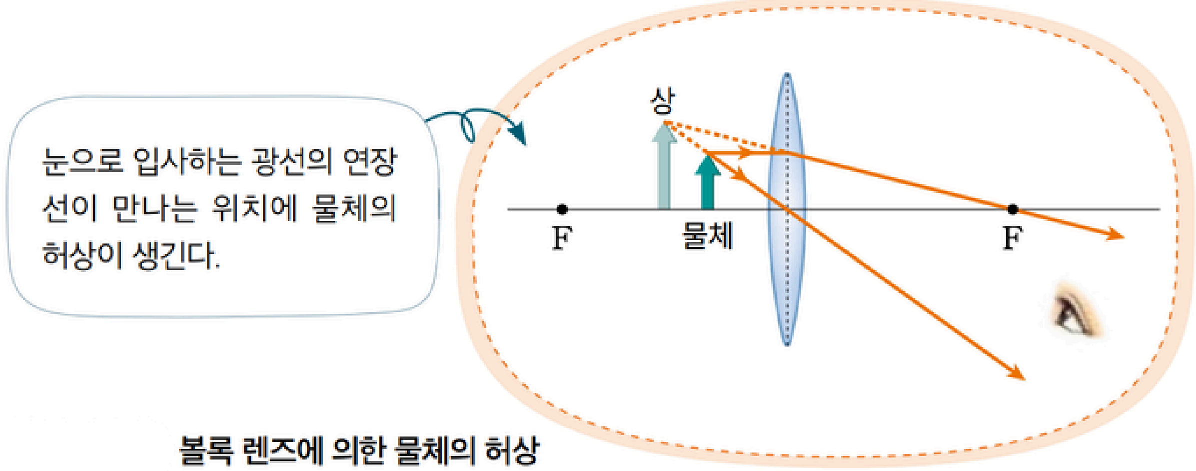
볼록 렌즈에 의한 물체의 상

물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 길 때에는, 물체의 한 점에서 퍼져 나간 빛이 렌즈를 통과한 뒤 다시 한 점으로 모여 거꾸로 선 상이 생긴다. 이와 같이 빛이 실제로 모여서 만들어진 상을 **실상**이라고 한다.

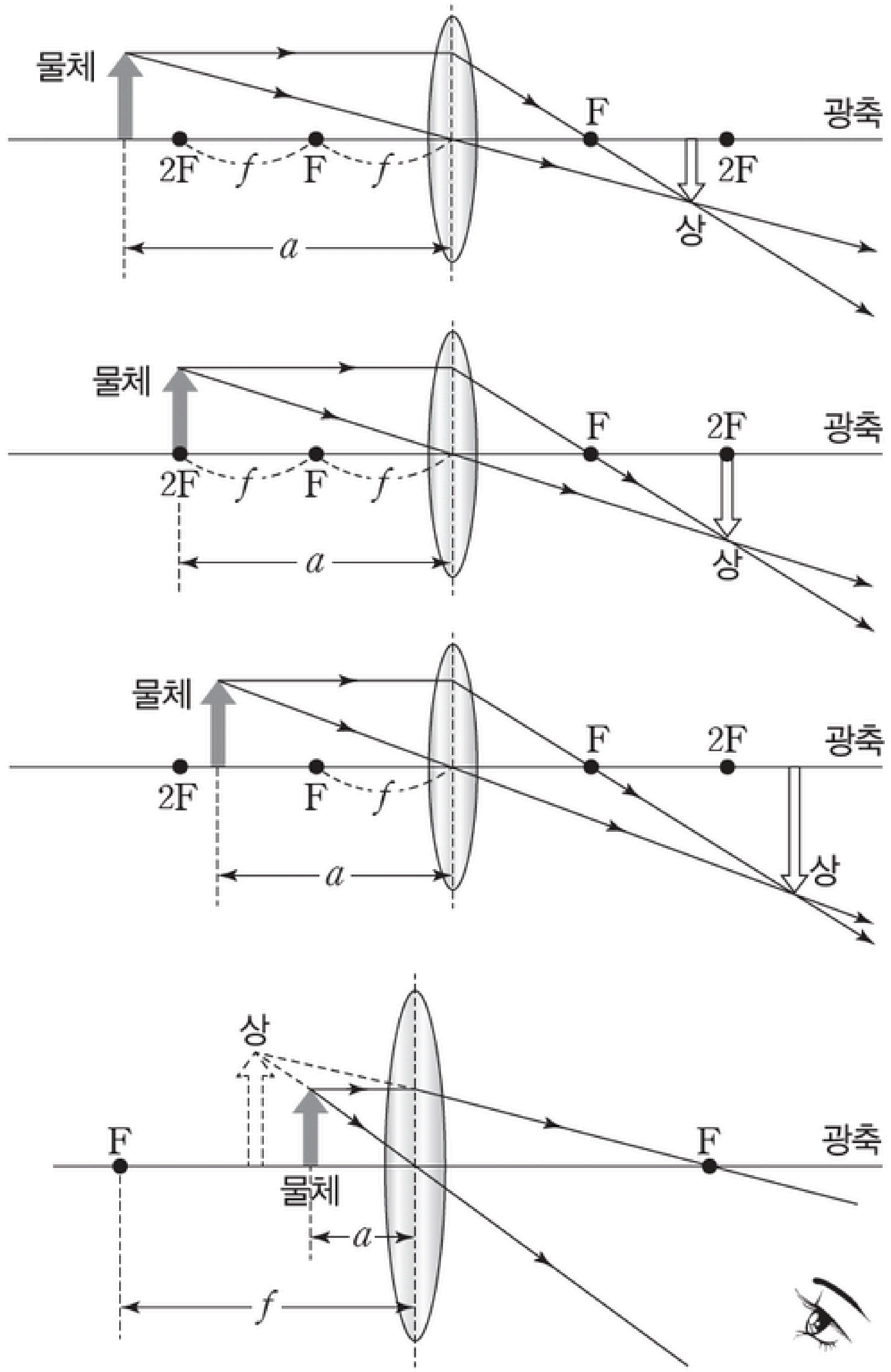


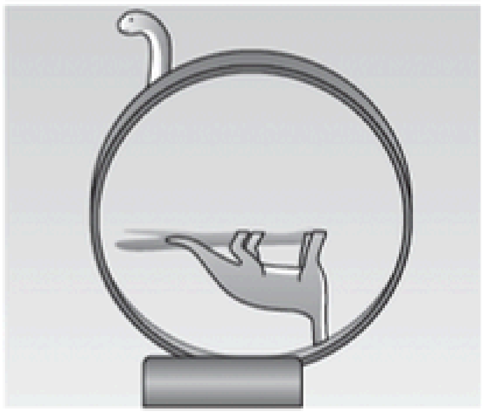
물체와 볼록 렌즈 사이의 거리가 초점 거리보다 짧을 때에는

물체의 한 점에서 퍼져 나간 빛이 렌즈를 통과한 뒤 모이지 않으므로 실상이 맺히지 않는다. 하지만 관찰자가 렌즈를 통해 물체를 볼 때에는 눈으로 입사하는 광선의 연장선이 한 곳에서 만나게 되므로 그 지점에 물체가 있는 것처럼 관찰되며, 이와 같은 상을 **허상**이라고 한다. 이 허상은 물체보다 크고 상하좌우가 바뀌지 않으며 바로 선 모습이다.



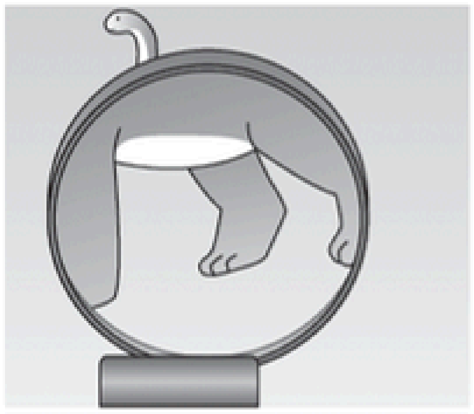
볼록 렌즈에 의한 물체의 허상





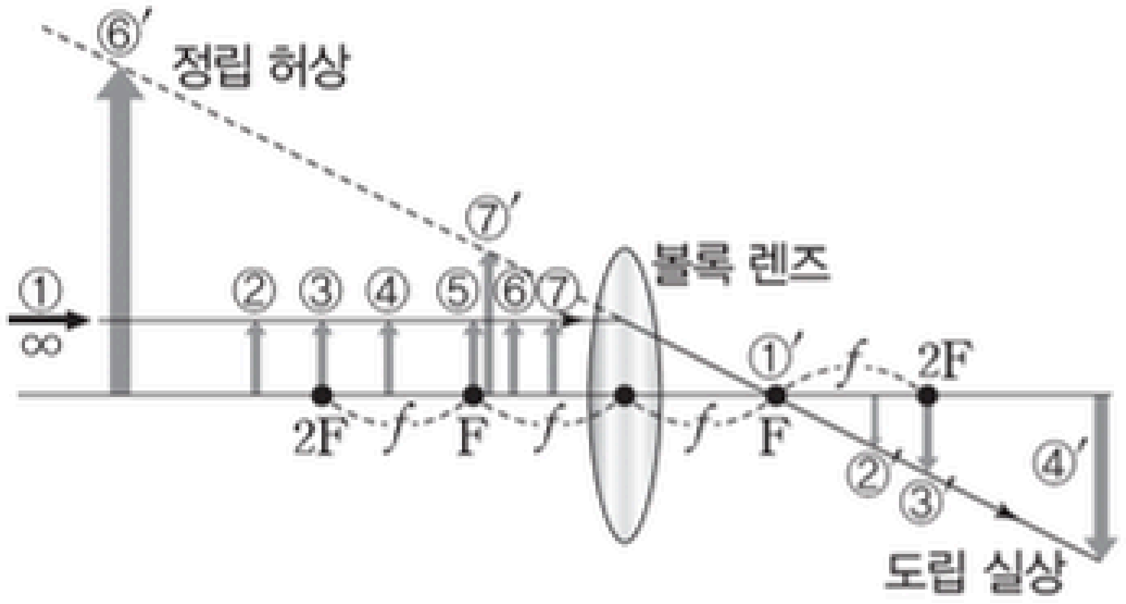
축소된 도립 실상
($a>2f$일 때)

확대된 도립 실상
($f<a<2f$일 때)



확대된 정립 허상
($a<f$일 때)

• 물체가 볼록 렌즈의 초점 바깥쪽에서 렌즈를 향하여 운동할 때 렌즈에 의한 상은 렌즈를 중심으로 물체 반대편 초점에서부터 점점 멀어지고 크기는 점점 커진다.
• 물체가 볼록 렌즈의 초점 안쪽에서 렌즈를 향하여 운동할 때 상은 렌즈를 중심으로 물체와 같은 방향에서 렌즈에 가까워지고 상의 크기는 점점 작아진다.



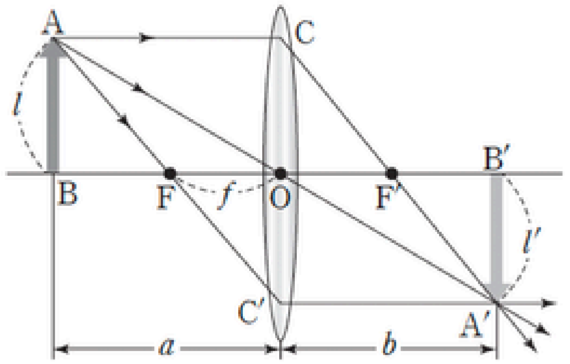
물체 위치	$a>2f$	$a=2f$	$f<a<2f$	$a=f$	$a<f$
상의 위치	$f<b<2f$	$b=2f$	$b>2f$	$b=\infty$	$b<0$
상의 모양	축소된 도립 실상	같은 크기의 도립 실상	확대된 도립 실상	상이 생기지 않음	확대된 정립 허상

렌즈 방정식과 배율

(1) 렌즈 방정식: 렌즈와 물체 사이의 거리가 a, 렌즈와 상 사이의 거리가 b, 렌즈의 초점 거리가 f일 때, a, b, f 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립한다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$$

위 방정식에서 물체가 렌즈 앞에 있을 때, a의 부호를 $(+)$으로 정하면 b의 부호는 상의 종류에 따라 정해진다. 상이 렌즈 뒤에 생기는 실상의 경우 b는 $(+)$값으로, 상이 렌즈 앞에 생기는 허상의 경우 b는 $(-)$값으로 나타난다.



(2) 배율(M): 물체의 크기와 상의 크기의 비율을 배율이라고 한다. 위 그림과 같이 상이 생길 때, $\triangle$ABO와 $\triangle$A′B′O는 닮음이므로 배율 M은 다음과 같다.

$$M=\frac{l'}{l}=\left|\frac{b}{a}\right| \quad (l\text{: 물체의 크기, } l'\text{: 상의 크기})$$

과학 돋보기 **렌즈 방정식의 유도**

위 그림에서 $\triangle$ABF와 $\triangle$C′OF는 닮음이므로, $\frac{\overline{AB}}{\overline{BF}}=\frac{\overline{C'O}}{\overline{OF}}$에서 $\frac{l}{a-f}=\frac{l'}{f}$이다. 배율의 정의 $M=\frac{l'}{l}=\left|\frac{b}{a}\right|$를 이용하여 정리하면 $af+bf=ab$이다. 따라서 양변을 abf로 나누면 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이다.

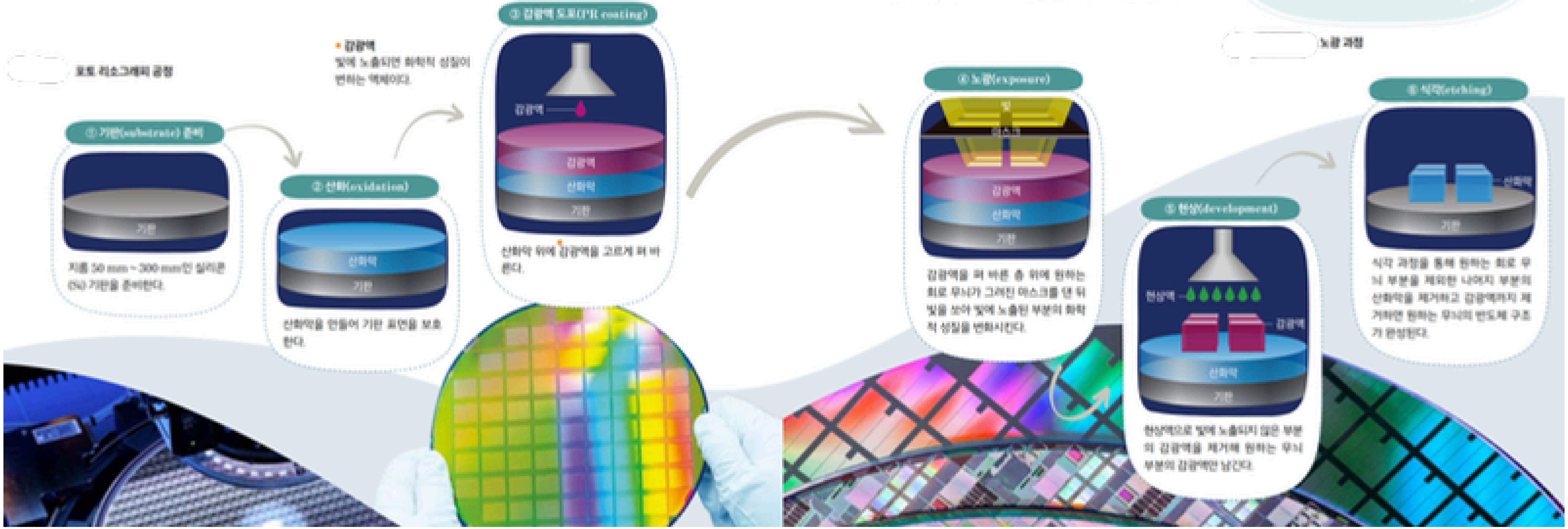
광학 기술과 포토 리소그래피

• **디스플레이**
전기 신호를 화면으로 볼 수 있게 나타내는 장치이다.

광학 기술은 반도체와 디스플레이 제작 공정에 중요하게 사용하고 있다. 반도체 소자나 디스플레이 제작 공정에서 매우 정밀한 회로를 기판에 인쇄하는 데 '포토 리소그래피(photo lithography)'라는 광학 기술을 사용한다.

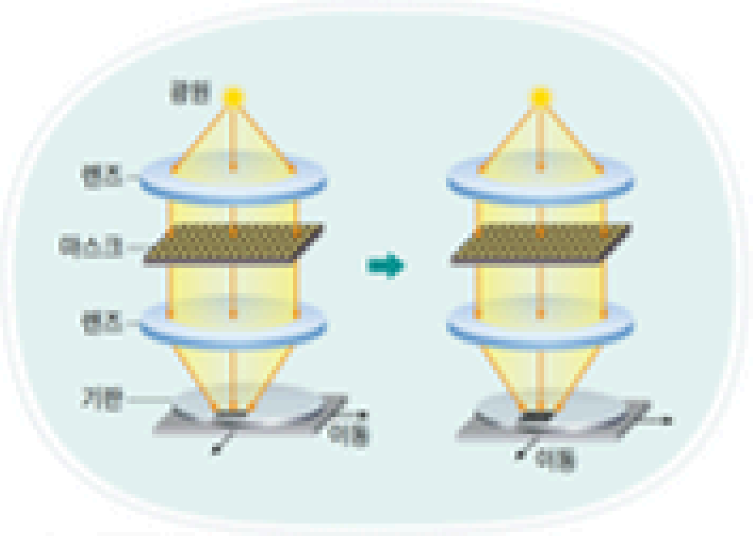
그림 Ⅲ-15와 같이 포토 리소그래피는 사진 인쇄 기술과 비슷하게 빛을 이용해 미세한 회로 무늬를 기판에 새긴 뒤, 필요한 부분만 남기고 필요 없는 부분을 깎아 내며 원하는 형태의 회로를 만드는 것이다.

• **감광액**
빛에 노출되면 화학적 성질이 변하는 액체이다.



포토 리소그래피 공정

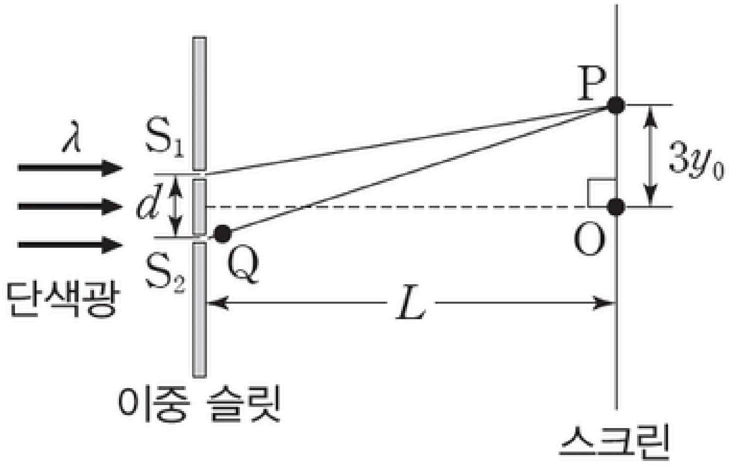
기계를 이용해 물리적으로 회로 무늬를 그리는 방식으로는 미세 회로를 정밀하게 만들 수 없기 때문에 정밀 광학 기술을 이용한 노광 과정을 통해 미세 회로를 만든다. 빛을 마스크로 보내 마스크에 새겨진 회로의 상을 만들고 이를 렌즈를 통해 4 : 1 또는 5 : 1 정도로 축소해 감광액을 펴 바른 기판에 투영한다. 기판이 놓여 있는 아래 판이 이동하면서 각 칩에 회로를 정밀하게 새긴다.



노광 과정

01

그림은 파장이 λ인 단색광이 간격이 d인 이중 슬릿 S_1, S_2를 통과하여 슬릿으로부터 충분히 멀리 떨어진 스크린에 도달하는 모습을 나타낸 것으로, 스크린상의 점 O는 S_1, S_2로부터 같은 거리에 있고 스크린상의 점 P는 O로부터 $3y_0$ 떨어진 거리에 있다. 점 Q는 S_2와 P를 잇는 직선상에 있고, $\overline{S_1P}=\overline{QP}$이다. 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리는 L이다.



$\overline{S_2Q}=\dfrac{3}{2}\lambda$일 때, λ는?

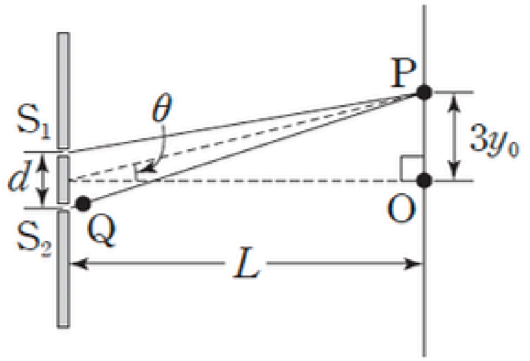
① $\dfrac{y_0d}{L}$　② $\dfrac{2y_0d}{L}$　③ $\dfrac{3y_0d}{L}$　④ $\dfrac{4y_0d}{L}$　⑤ $\dfrac{5y_0d}{L}$

이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\frac{\lambda}{d}L$이다.

② $\overline{S_1P}=\overline{QP}$이므로 $\overline{S_2Q}$는 S_1, S_2로부터 P까지의 경로차이다. $\overline{S_2Q}=\frac{3}{2}\lambda$이므로 P는 O로부터 두 번째 어두운 무늬이다. 따라서 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x=\overline{OP}\times\frac{2}{3}=2y_0$이다.

$\Delta x=\frac{\lambda}{d}L=2y_0$이므로 $\lambda=\frac{2y_0d}{L}$이다.

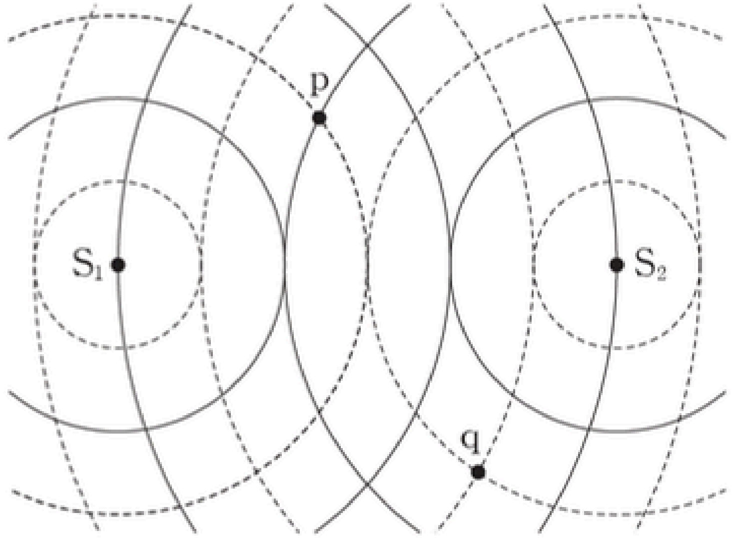
[별해]



경로차 $\overline{S_2Q}=d\sin\theta\approx d\tan\theta=d\frac{3y_0}{L}$이다. 따라서 $\frac{3}{2}\lambda=d\frac{3y_0}{L}$이므로 $\lambda=\frac{2y_0d}{L}$이다.

02

그림은 두 점 S_1, S_2에서 진동수와 진폭이 같고 동일한 위상으로 발생한 물결파가 같은 속력으로 진행하는 것을 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 마루와 골을 나타내고, 점 p, q는 평면상에 고정된 지점이다. 표는 S_1, S_2로부터 p, q까지의 경로차를 나타낸 것이다.



	S_1, S_2 로부터 경로차
p	d
q	㉠

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈 보기 〉

ㄱ. 중첩된 물결파의 진폭은 p에서가 q에서보다 크다.

ㄴ. ㉠은 $2d$이다.

ㄷ. S_1과 S_2 사이의 거리는 $3d$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

마루와 마루, 골과 골이 중첩되면 보강 간섭, 마루와 골이 중첩되면 상쇄 간섭이 일어난다.

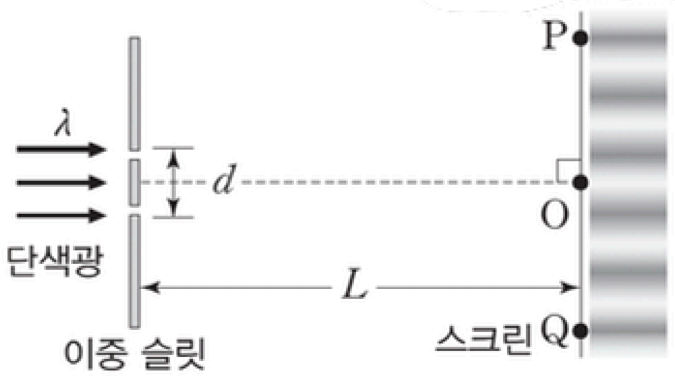
ㄱ. p에서는 상쇄 간섭, q에서는 보강 간섭이 일어난다. 따라서 물결파의 진폭은 q에서가 p에서보다 크다.

ㄴ. 물결파의 파장을 λ라 할 때, p에서의 경로차는 $d=\frac{\lambda}{2}$이고, q에서의 경로차 ㉠$=\lambda$이다. 따라서 ㉠은 $2d$이다.

ㄷ. S_1과 S_2 사이의 거리는 3λ이므로 $6d$이다.

03

그림은 파장이 λ인 단색광이 간격이 d인 이중 슬릿을 통과한 후 스크린에 간섭무늬를 만든 것을 나타낸 것으로, 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리는 L이다. 스크린상의 점 O는 이중 슬릿의 두 슬릿으로부터 같은 거리에 있고 가장 밝은 무늬의 중심이며, 점 P와 Q에는 O로부터 세 번째 어두운 무늬가 생겼다.



λ, d, L을 변화시킬 때 P와 Q 사이에 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수가 3개인 경우만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은? (단, P와 Q에는 보강 간섭이 일어나지 않는다.)

〈 보기 〉

ㄱ. 단색광의 파장만을 $\frac{5}{3}\lambda$로 바꾼다.

ㄴ. 슬릿 간격만을 $\frac{2}{3}d$로 바꾼다.

ㄷ. 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리만을 $2L$로 바꾼다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

P에 세 번째 어두운 무늬가 생겼으므로 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격은 $\Delta x=\frac{2}{5}\overline{\mathrm{OP}}=\frac{\lambda}{d}L$이다. P와 Q 사이에 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수가 3개일 때는 O로부터 첫 번째 밝은 무늬가 O와 P 사이에 생겨야 하고, 두 번째 밝은 무늬는 O로부터 P보다 먼 지점에 생겨야 한다. 따라서 보강 간섭이 일어나는 지점의 개수가 3개일 때 이웃한 밝은 무늬 사이의 간격 $\Delta x'$은 $\frac{\overline{\mathrm{OP}}}{2}<\Delta x'<\overline{\mathrm{OP}}$이고, $\frac{5}{4}\frac{\lambda}{d}L<\Delta x'<\frac{5}{2}\frac{\lambda}{d}L$이다.

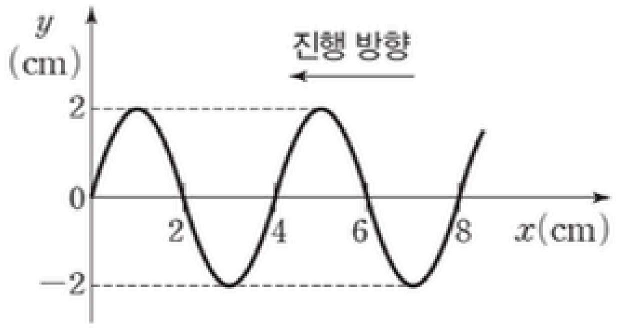
ㄱ. 단색광의 파장이 $\frac{5}{3}\lambda$일 때 $\Delta x'=\frac{5}{3}\frac{\lambda}{d}L$이므로 성립한다.

ㄴ. 슬릿 간격이 $\frac{2}{3}d$일 때 $\Delta x'=\frac{3}{2}\frac{\lambda}{d}L$이므로 성립한다.

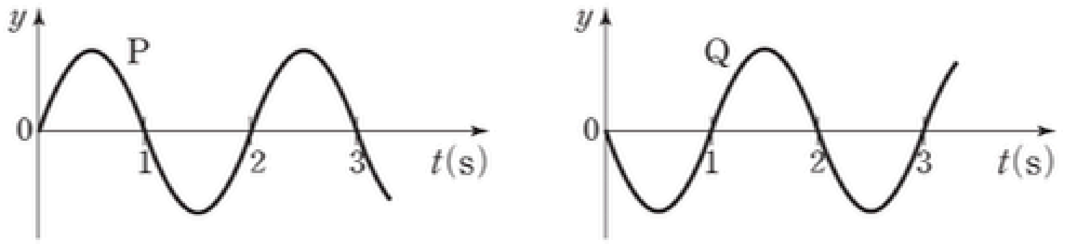
ㄷ. 이중 슬릿에서 스크린까지의 거리가 $2L$일 때 $\Delta x'=\frac{2\lambda L}{d}$이므로 성립한다.

04

그림 (가)는 시간 $t=0$일 때 $-x$방향으로 진행하는 파동의 변위 y를 위치 x에 따라 나타낸 것이다. 파동의 속력은 일정하다. 그림 (나)에서 P와 Q는 $x=2$ cm와 $x=4$ cm에서 y를 t에 따라 순서 없이 나타낸 것이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. 파동의 진행 속력은 2 cm/s이다.

ㄴ. (나)의 P는 $x=4$ cm에서 y를 t에 따라 나타낸 것이다.

ㄷ. $t=2$초일 때 $x=3$ cm에서 $y=2$ cm이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

파동의 변위를 위치에 따라 나타낸 그래프에서 이웃한 마루와 마루 사이의 거리는 파동의 파장이고, 매질의 한 점의 변위를 시간에 따라 나타낸 그래프에서 마루가 지난 순간부터 다음 마루가 지나는 순간까지 걸린 시간은 파동의 주기이다.

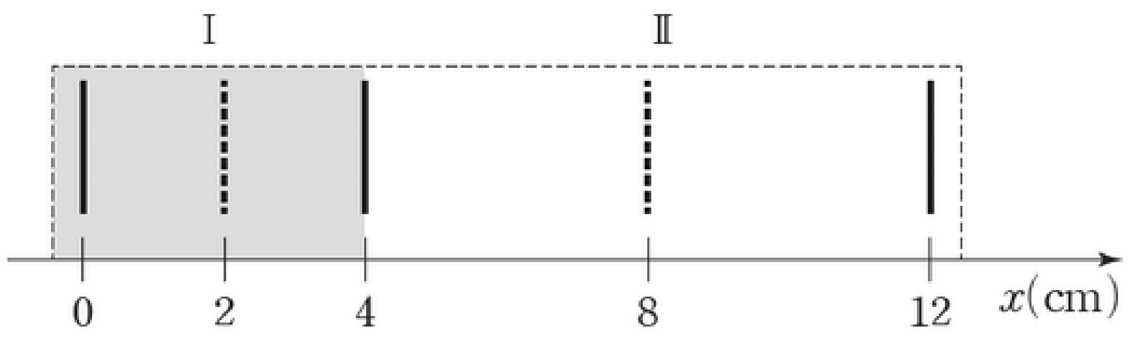
ㄱ. 파동의 파장은 4 cm, 파동의 주기는 2초이므로 파동의 진행 속력은 $\frac{4\text{ cm}}{2\text{ s}}=2\text{ cm/s}$이다.

ㄴ. $t=0$일 때 $x=4\text{ cm}$에서 $y=0$이고, 운동 방향은 $+y$방향이다. 따라서 (나)의 P는 $x=4\text{ cm}$에서 y를 t에 따라 나타낸 것이다.

ㄷ. 파동의 주기는 2초이므로 $t=2$초일 때 파동의 모습은 (가)와 동일하다. 따라서 $t=2$초일 때 $x=3\text{ cm}$에서 $y=-2\text{ cm}$이다.

05

그림은 파동이 x축과 나란하게 매질 Ⅰ에서 매질 Ⅱ로 진행할 때 시간 $t=0$인 순간 파동의 모습을 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 마루와 골이고, $t=2$초일 때 $x=2$ cm인 지점은 처음으로 마루가 된다.



Ⅰ에서 파동의 파장을 λ_1, Ⅱ에서 파동의 진행 속력을 v_2라고 할 때, λ_1과 v_2로 옳은 것은?

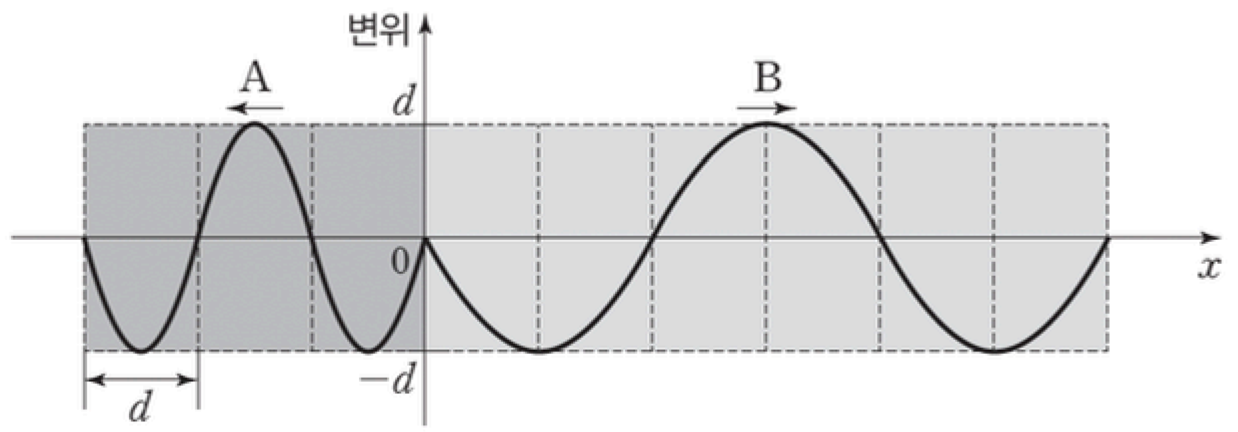
	λ_1	v_2
①	2 cm	1 cm/s
②	4 cm	1 cm/s
③	4 cm	2 cm/s
④	8 cm	1 cm/s
⑤	8 cm	2 cm/s

파동이 골에서 처음으로 마루가 될 때까지 걸린 시간은 주기의 $\frac{1}{2}$ 배이다.

③ Ⅰ에서 파동의 파장은 4 cm이다. $x=2$ cm인 지점은 $t=0$일 때 골이고, $t=2$초일 때 처음으로 마루가 되므로 Ⅰ에서 파동의 주기는 4초이다. 파동이 서로 다른 매질로 진행할 때 주기는 변하지 않으므로 Ⅱ에서 파동의 주기도 4초이다. Ⅱ에서 파장은 8 cm이므로 파동의 속력은 $\frac{8\text{ cm}}{4\text{ s}}=2$ cm/s이다. 따라서 $\lambda_1=4$ cm, $v_2=2$ cm/s이다.

06

그림은 위치 $x=0$에서 만들어진 파동 A, B가 각각 $-x$방향, $+x$방향으로 진행할 때 시간 $t=0$인 순간의 모습을 나타낸 것이다. A와 B의 주기는 T로 같다.



A와 B에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보 기〉

ㄱ. B의 파장은 $2d$이다.

ㄴ. A의 진행 속력은 $\dfrac{2d}{T}$이다.

ㄷ. $t=\dfrac{1}{4}T$일 때, $x=2d$인 지점에서 B의 변위는 d이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

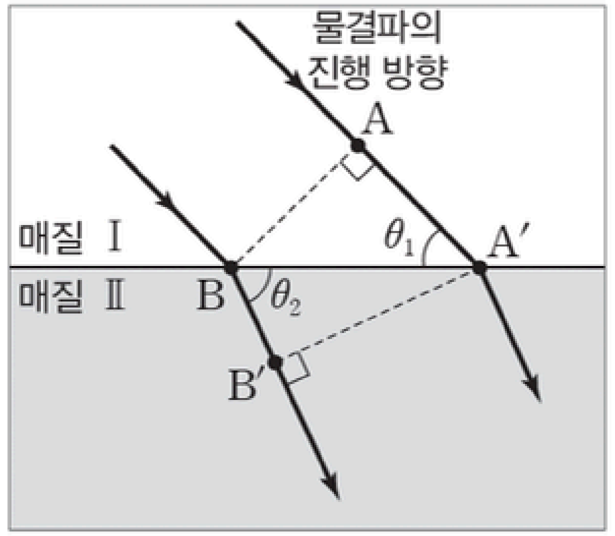
~~ㄱ~~. 파동의 파장은 이웃한 골과 골 사이의 거리이다. 따라서 B의 파장은 $4d$이다.

ㄴ. A의 파장은 $2d$이고 주기는 T이므로 A의 진행 속력은 $\frac{2d}{T}$이다.

~~ㄷ~~. B의 진행 방향은 $+x$방향이므로 $t=\frac{1}{4}T$일 때, $x=2d$인 지점에서 B의 변위는 $-d$이다.

07

그림은 물결파가 매질 Ⅰ에서 매질 Ⅱ로 진행하는 경로를 나타낸 것이다. Ⅰ과 Ⅱ의 경계면과 물결파의 진행 방향이 이루는 각은 각각 θ_1, θ_2이고, Ⅰ과 Ⅱ에서 물결파의 주기는 각각 T_1, T_2이며, 물결파의 속력은 각각 v_1, v_2이다.



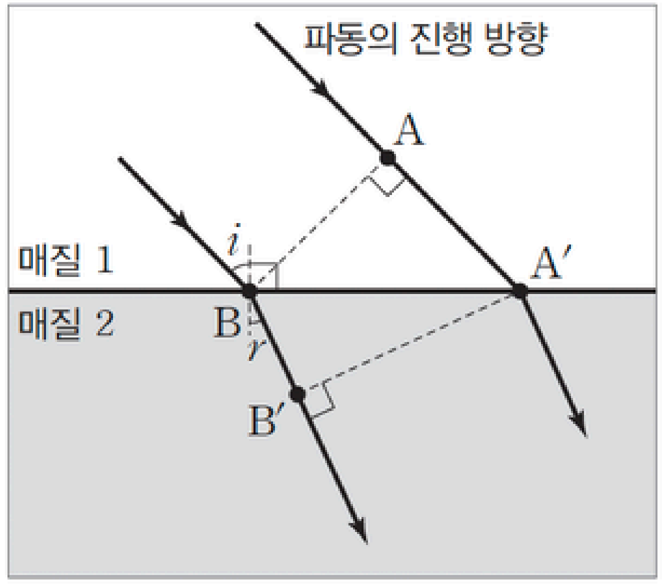
$\dfrac{v_2}{v_1}$와 같은 값인 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈 보기 〉

ㄱ. $\dfrac{T_2}{T_1}$　　ㄴ. $\dfrac{\overline{BB'}}{\overline{AA'}}$　　ㄷ. $\dfrac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}$

① ㄱ　② ㄴ　③ ㄱ, ㄷ　④ ㄴ, ㄷ　⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

매질 1과 2에서 파동의 입사각과 굴절각을 각각 i, r라 하고, 파동의 속력을 각각 v_1, v_2라고 하자. 속력은 같은 시간 동안 이동한 거리에 비례하므로 $\dfrac{\sin i}{\sin r}=\dfrac{v_1}{v_2}=\dfrac{\overline{\mathrm{AA'}}}{\overline{\mathrm{BB'}}}$이다.



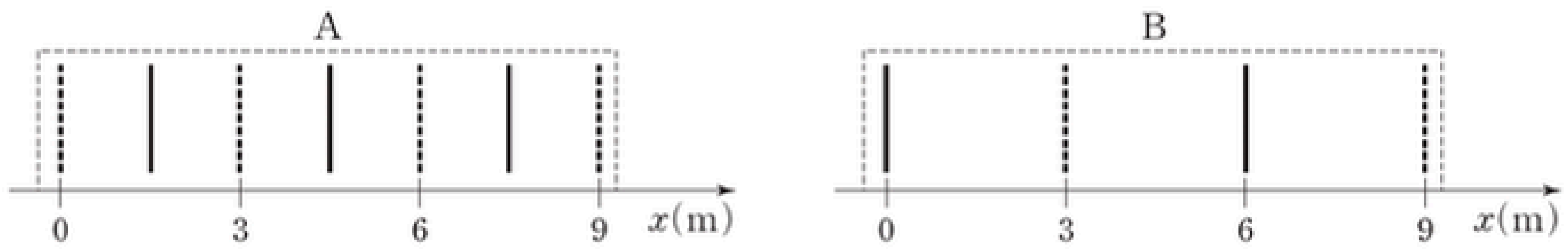
~~ㄱ~~. 매질에 따라 물결파의 속력이 변하므로 물결파가 매질의 경계면에서 굴절한다. 물결파가 굴절하여도 물결파의 주기는 변하지 않으므로 $T_1=T_2$이고 $\dfrac{T_2}{T_1}$는 $\dfrac{v_2}{v_1}$가 아니다.

ㄴ. 물결파의 속력은 같은 시간 동안 파면의 진행 거리이다. 따라서 $\dfrac{v_2}{v_1}=\dfrac{\overline{\mathrm{BB'}}}{\overline{\mathrm{AA'}}}$이다.

~~ㄷ~~. 물결파의 입사각은 $90^\circ-\theta_1$이고 굴절각은 $90^\circ-\theta_2$이다. 따라서 $\dfrac{v_2}{v_1}=\dfrac{\sin(90^\circ-\theta_2)}{\sin(90^\circ-\theta_1)}$이다.

08

그림은 x축과 나란하게 진행하는 파동 A, B의 어느 순간의 모습을 나타낸 것이다. 실선과 점선은 각각 마루와 골이고, 파동의 진행 속력은 A가 B의 3배이다.



A, B의 진동수를 각각 f_A, f_B라고 할 때, $\frac{f_A}{f_B}$는?

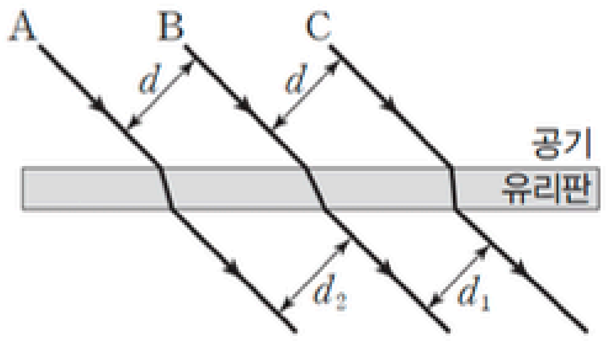
① $\frac{1}{6}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ 2 ④ 3 ⑤ 6

위상은 매질의 각 점들의 위치와 진동(운동) 상태를 나타내는 물리량으로, 같은 시각에 동일한 운동을 하는 점들은 위상이 같다. 한 파동에서 이웃한 마루들은 위상이 서로 같고, 마루와 골은 위상이 서로 반대이다.

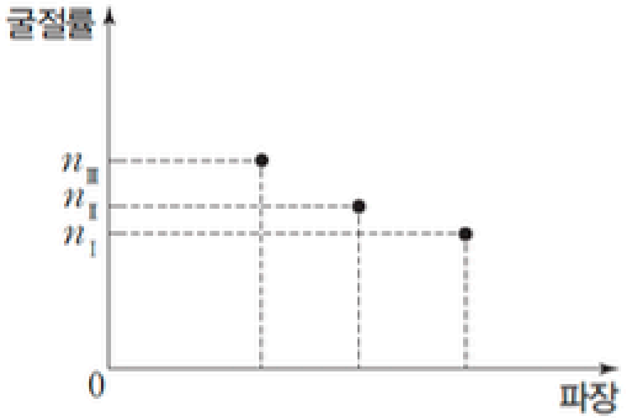
⑤ A, B의 진행 속력을 각각 $3v$, v라 하면 $f_A=\frac{3v}{3\text{ m}}$, $f_B=\frac{v}{6\text{ m}}$이다. 따라서 $\frac{f_A}{f_B}=6$이다.

09

그림 (가)는 공기 중에서 파장이 다른 단색광 A, B, C가 두께가 일정하고 평평한 유리판에 거리 d로 나란하게 입사하여 거리가 각각 d_1, d_2로 나란하게 유리판을 나오는 경로를 나타낸 것이다. $d_2 > d > d_1$이다. 그림 (나)의 n_{I}, n_{II}은 B, C의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률을 순서 없이 나타낸 것이다. A의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 n_{II}이다.



(가)



(나)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈 보 기 〉

ㄱ. A가 유리판에 들어갈 때의 입사각과 유리판을 나올 때의 굴절각은 같다.

ㄴ. B의 속력은 유리판에서가 공기에서보다 작다.

ㄷ. C의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 n_{I}이다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

공기, 유리의 굴절률을 각각 $n_{공기}$, $n_{유리}$라 하고, 공기에서 유리로 진행할 때 굴절 법칙을 적용하면 $\frac{n_{유리}}{n_{공기}}=\frac{\sin i}{\sin r}$이다. $n_{공기}$와 i가 일정할 때 $n_{유리}$가 클수록 r가 작다.

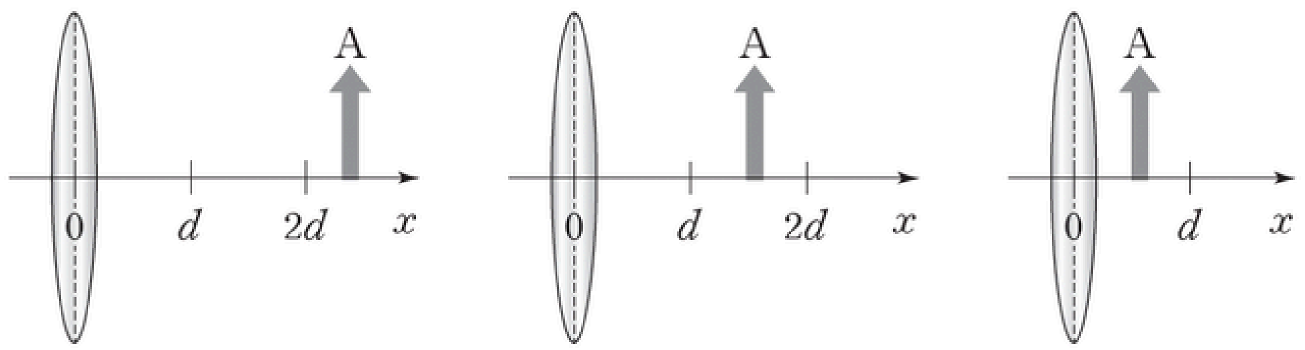
ㄱ. A가 공기 중에서 유리판에 들어갈 때와 유리판을 나올 때 굴절 법칙을 적용하면 A가 유리판에 들어갈 때 입사각과 A가 유리판을 나올 때 굴절각은 같다.

ㄴ. B가 공기 중에서 유리판으로 굴절할 때, 입사각이 굴절각보다 크므로 B의 속력은 유리판에서가 공기에서보다 작다.

~~ㄷ~~. $d_2>d>d_1$이 되려면 단색광이 공기 중에서 유리판에 들어갈 때 굴절되는 정도는 C가 가장 크고 B가 가장 작다. A의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 n_{II}이므로 B의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 n_{I}이고, C의 공기 중 파장에 따른 유리판의 굴절률은 n_{III}이다.

10

그림 (가), (나), (다)는 x축이 광축인 동일한 볼록 렌즈의 광축 위에 물체 A를 놓은 모습을 나타낸 것이다. 볼록 렌즈의 초점 거리는 d이다.



(가) (나) (다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈보기〉

ㄱ. (나)에서 상은 실상이다.
ㄴ. (다)에서 상의 크기는 A의 크기보다 크다.
ㄷ. 렌즈와 상 사이의 거리는 (가)에서가 (나)에서보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

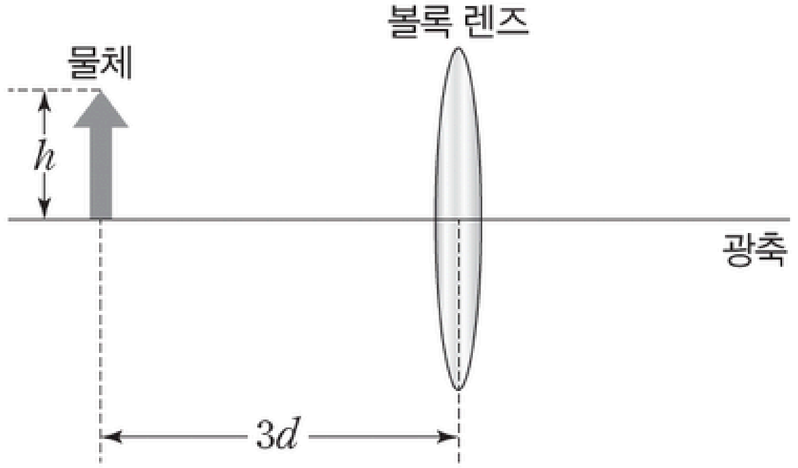
볼록 렌즈와 물체 사이의 거리에 따라 축소된 도립 실상, 확대된 도립 실상, 확대된 정립 허상이 생긴다.

ㄱ. 렌즈와 물체 사이의 거리가 초점 거리보다 크면 렌즈를 중심으로 물체 반대편에 도립 실상이 생긴다.

ㄴ. 렌즈와 물체 사이의 거리를 x라고 하면, $2d < x$인 경우 축소된 도립 실상이, $d < x < 2d$인 경우 확대된 도립 실상이, $0 < x < d$인 경우 확대된 정립 허상이 생긴다. 따라서 (다)에서 상의 크기는 A의 크기보다 크다.

ㄷ. $x > d$일 때 렌즈와 물체 사이의 거리가 작을수록 렌즈와 상 사이의 거리는 크다.

11 그림과 같이 볼록 렌즈의 중심으로부터 거리 $3d$만큼 떨어진 지점의 광축 위에 물체를 놓았다. 물체의 크기와 상의 크기는 h로 같다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈 보 기 〉

ㄱ. 상은 실상이다.

ㄴ. 렌즈의 초점 거리는 d이다.

ㄷ. 물체를 렌즈의 중심으로부터 거리 $2d$만큼 떨어진 지점의 광축 위에 놓았을 때 상의 크기는 $3h$이다.

① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

렌즈와 물체 사이의 거리를 a, 렌즈와 상 사이의 거리를 b, 렌즈의 초점 거리를 f라고 하면, 렌즈 방정식 $\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}$이 성립한다.

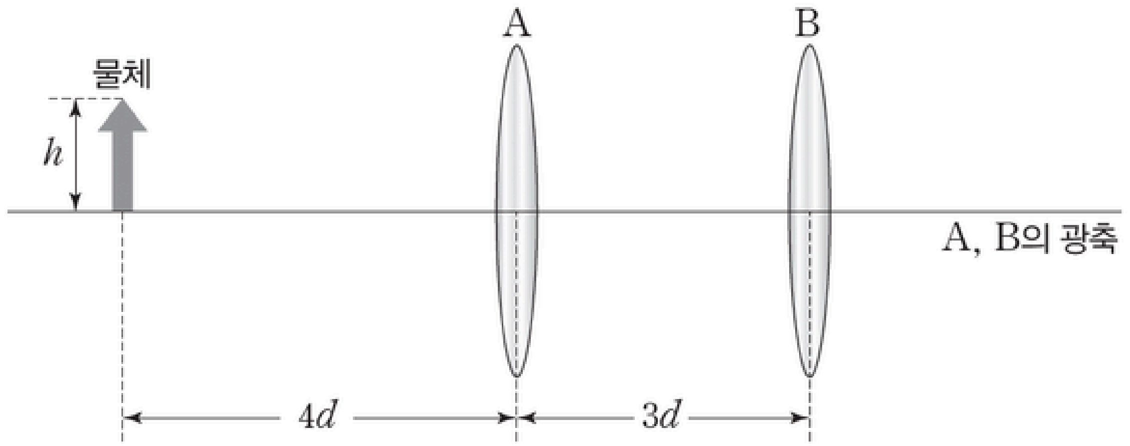
ㄱ. 볼록 렌즈에 의해 허상이 생길 때 허상의 크기는 물체의 크기보다 크다. 문제에서 상의 크기가 물체의 크기와 같으므로 상은 실상이다.

~~ㄴ~~. 물체의 크기와 상의 크기가 같으므로 렌즈와 상 사이의 거리는 렌즈와 물체 사이의 거리($3d$)와 같다. 초점 거리를 f라고 하면, $\frac{1}{3d}+\frac{1}{3d}=\frac{1}{f}$에서 $f=\frac{3}{2}d$이다.

ㄷ. 렌즈와 물체 사이의 거리가 $2d$일 때, $\frac{1}{2d}+\frac{1}{b}=\frac{2}{3d}$에서 $b=6d$이다. 따라서 상의 크기는 $h\times\frac{6d}{2d}=3h$이다.

12

그림과 같이 크기가 h인 물체를 초점 거리가 같은 볼록 렌즈 A, B의 광축 위에 놓으면, A와 B 사이에 A에 의한 도립상 I_A가 생기고, A와 B에 의한 최종 상 I_{AB}가 생긴다. I_A의 크기는 $\frac{1}{3}h$이다. 물체와 A 사이의 거리는 $4d$, A와 B 사이의 거리는 $3d$이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 〈보기〉에서 있는 대로 고른 것은?

〈 보기 〉

ㄱ. A의 초점 거리는 d이다.

ㄴ. I_{AB}는 실상이다.

ㄷ. I_{AB}의 크기는 $\frac{1}{2}h$이다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

ㄱ. I_A의 크기가 $\frac{1}{3}h$이므로 A와 I_A 사이의 거리를 b라고 하면,

$\frac{b}{4d}=\frac{1}{3}$에서 $b=\frac{4}{3}d$이다. A, B의 초점 거리를 f라고 하면

$\frac{1}{4d}+\frac{1}{\frac{4}{3}d}=\frac{1}{f}$에서 $f=d$이다.

ㄴ. $b=\frac{4}{3}d$이므로 B와 I_A 사이의 거리(a')는 $a'=\frac{5}{3}d$이다. $a'>d$ 이므로 I_{AB}는 실상이다.

ㄷ. B와 I_{AB} 사이의 거리를 b'라고 하면, $\frac{1}{\frac{5}{3}d}+\frac{1}{b'}=\frac{1}{d}$에서

$b'=\frac{5}{2}d$이다. 따라서 I_{AB}의 크기는 $\frac{1}{3}h\times\frac{b'}{a'}=\frac{1}{2}h$이다.

13

포토 리소그래피 공정은 기판 준비, 산화막, 감광액 도포, 노광, 현상, 식각 등 여러 단계로 이루어진다.
이 중 마스크에 그려진 회로를 기판에 새기는 과정에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

보기
ㄱ. 기계를 이용해 물리적으로 미세 회로를 그린다.
ㄴ. 기판에는 마스크에 그려진 회로의 크기보다 작게 축소해 새긴다.
ㄷ. 마스크에 새겨진 회로의 상을 기판에 만들 때 렌즈를 이용한다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

ㄱ. 광학 기술을 이용한 노광 과정을 통해 미세 회로를 그린다.
ㄴ. 기판에는 $4:1$ 또는 $5:1$로 축소해 새긴다.
ㄷ. 렌즈를 이용해 기판에 회로를 새긴다.