창의력과학

세페이드

3F. 물리학(하)

개정판

정답과 해설

Ⅰ 정보와 통신

16강. 소리 Ⅰ

개념 확인 12~17쪽

1. 탄성파 **2.** >, > **3.** (1) ㉡ (2) ㉢ (3) ㉠
4. (1) ㉡ (2) ㉠ (3) ㉠ **5.** 3 **6.** ㉡, ㉠

1. 답 탄성파
해설 파동은 매질의 유무에 따라 탄성파와 전자기파로 나뉜다. 음파는 매질을 통해 에너지를 전달하는 탄성파이다.

2. 답 >, >
해설 물질의 상태에 따라 분자 사이의 거리가 기체 > 액체 > 고체 순이 되므로, 파동은 거리가 가까운 고체에서 진동이 가장 빠르게 전달된다. 따라서 소리는 고체에서 가장 빠르고 기체에서 가장 느리다.

5. 답 3
해설 소리가 크게 들리는 횟수는 두 파동에 의한 맥놀이의 수에 해당한다. 맥놀이의 수는 중첩되는 두 파동의 진동수의 차이가 되므로 소리가 크게 들리는 횟수는 303 − 300 = 3

6. 답 ㉡, ㉠
해설 관측자와 음원이 멀어질 때는 소리의 파장이 길어지고, 진동수는 감소하여 낮은 소리로 들린다.

확인+ 12~17쪽

1. 0.25 **2.** (1) O (2) O **3.** (1) ㉠ (2) ㉡ (3) ㉡
4. 30 **5.** ㉡ **6.** 1,300

1. 답 0.25
해설 파동은 한 주기 동안 한 파장을 진행한다. 따라서 파동의 속력은 다음과 같다.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0.5\text{ m}}{2\text{초}} = 0.25\text{ m/s}$$

4. 답 30
해설 두 파동이 중첩되었을 때 합성파의 최대 진폭은 두 파장의 진폭의 합과 같다.(보강 간섭)

$$\therefore y = y_1 + y_2 = 10\text{cm} + 20\text{cm} = 30\text{cm}$$

5. 답 ㉡
해설 다음의 보강 간섭 조건, 상쇄 간섭 조건 중 어느 것을 을 만족시키는지 보아야 한다.

$\text{PA}\sim\text{PB} = \frac{\lambda}{2}\cdot 2m$ ($m = 0, 1, 2, \cdots$) ; 보강(크게 들림)

$\text{PA}\sim\text{PB} = \frac{\lambda}{2}\cdot(2m+1)$; 상쇄(소리가 안들림)

문제에서는 $\text{PA}\sim\text{PB} = 5 - 4 = 1 = \frac{\lambda}{2}\times 1$(홀수) ($\lambda = 2$ m) 이므로,이것은 $m = 0$ 일 때의 상쇄 조건을 만족시키므로 점 P에서는 소리가 들리지 않는다.

6. 답 1,300
해설 주어진 상황은 관측자와 음원이 가까워지고 있는 경우이다. 따라서 사이렌 앞의 건널목에 서 있는 사람이 듣는 사이렌의 진동수는 다음과 같다.

$$f = f_0\frac{v}{v - v_S} = 1{,}200\times\frac{325}{325 - 25} = 1{,}300(\text{Hz})$$

개념 다지기 18~19쪽

01. (1) X (2) O (3) X **02.** ③ **03.** ⑤ **04.** ⑤
05. ② **06.** (1) ㉡, ① (2) ㉠, ② **07.** 2 **08.** 1,400

01. 답 (1) X (2) O (3) X
해설 (1) 매질이 없어도 에너지를 전달하는 파동을 전자기파라고 한다.
(2) 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 파동을 횡파, 나란한 파동을 종파라고 한다.
(3) 파동의 변위−위치 그래프에서는 매질이 1회 진동하는 동안 이동한 거리를 알 수 있다. 따라서 파장과 진폭을 알 수 있다.

02. 답 ③
해설 탄성파는 매질을 통해 에너지를 전달하는 파동으로 물결파, 음파, 초음파, 지진파(P파, S파)가 있다.
종파는 파동의 진행 방향과 매질의 진동 방향이 나란한 파동으로 음파, 초음파, 지진파 P파가 있다.

03. 답 ⑤
해설 ㄱ. 소리는 매질이 필요한 탄성파로, 액체에서도 전달된다.
ㄴ. 온도가 같을 때 분자 사이의 거리가 가장 멀리 떨어져 있는 기체의 속력이 가장 느리고, 액체, 고체 순으로 속력이 빨라진다.

04. 답 ⑤
해설 그림은 낮에 소리가 위로 휘어지면서 진행하는 모습을 나타낸 것이다. 낮에는 지표면이 빨리 데워지기 때문에 지표면에서 하늘로 올라갈수록 공기 온도가 낮아진다.(ㄹ) 공기의 온도가 낮은 곳을 지나가는 소리의 속력은 느려지므로 지표면에서 하늘로 올라갈수록 소리의 속력은 느려진다.(ㄷ) 따라서 소리는 위로 휘어진다.
ㄱ. 소리가 굴절할 때 진동수는 변하지 않는다.
ㄴ. 소리의 파장은 지표면에서 하늘로 갈수록 짧아진다.

05. 답 ②

해설 ㄴ. 파동이 굴절할 때 파동의 파장, 속력은 변하지만, 진동수는 변하지 않는다.
ㄹ. 두 파동이 중첩된 후 분리된 각각의 파동은 서로 다른 파동의 영향을 받지 않고 중첩되기 전 각각의 파동의 특성을 그대로 유지한다(파동의 독립성).

06. 답 (1) ㉡, ① (2) ㉠, ②
해설 보강 간섭은 파동의 변위와 방향이 같은 두 파동이 중첩되어 일어나는 간섭으로, 합성파의 진폭이 커진다.
상쇄 간섭은 파동의 변위와 방향이 반대인 두 파동이 중첩되어 일어나는 간섭으로, 합성파의 진폭이 작아진다.

07. 답 2
해설 소리의 세기가 최소이므로 두 스피커에서 나오는 소리가 관측자 지점에서 상쇄 간섭한다. 관측 지점을 P라 하면

$|\mathrm{AP} \sim \mathrm{BP}| = \frac{\lambda}{2} \cdot (2m+1)\ (m = 0, 1, 2, \cdots)$

$(\mathrm{AP})^2 = 3^2 + 4^2 = 5^2$ 이므로, $\mathrm{AP} = 5$

$|\mathrm{AP} \sim \mathrm{BP}| = 5 - 4 = 1\ \mathrm{m}$ 이다.

$\therefore 1 = \frac{\lambda}{2} \cdot (2m+1) \rightarrow m = 0$ 일 때, 파장은 최대가 된다.

$\therefore \lambda_{max} = 2(\mathrm{m})$

08. 답 1,400
해설 $f = f_0 \frac{v \pm v_D}{v \mp v_S}$ (v_D: 관측자 속도, v_S: 기차의 속도)

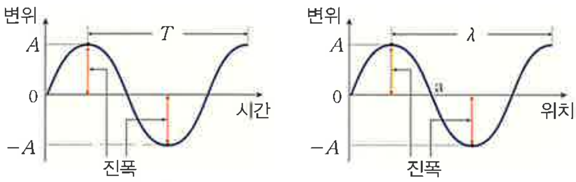
$144\ \mathrm{km/h} = \frac{144 \times 1{,}000\mathrm{m}}{1시간 \times 60분 \times 60초} = 40\ \mathrm{m/s}$(기차의 속도)

$\therefore f = 1{,}200 \times \frac{340 + 10}{340 - 40} = 1{,}400\ (\mathrm{Hz})$

유형 익히기 & 하브루타 20~23쪽

[유형 16-1] ②	01. ①	02. ③
[유형 16-2] ②	03. ④	04. ③
[유형 16-3] ④	05. ④	06. ③
[유형 16-4] (1) 200 (2) 300 (3) 100		
	07. ⑤	08. ⑤

[유형16-1] 답 ②



(가) (나)

ㄱ. ㉠은 주기, ㉡은 진폭, ㉢은 파장이다.
ㄴ. (나) 그래프가 종파를 이루는 매질의 변위와 진행 방향을 횡파의 형태로 나타낸 그래프이고, 현재 파동의 진행 방향인 오른쪽을 (+)라고 하자. a점의 왼쪽에 있는 매질의 변위는 (+)이므로, 오른쪽(a점을 향해)으로 움직이는 순간이며, a점의 오른쪽에 있는 매질의 변위는 (−)이므로, 왼쪽(역시 a점을 향해)움직이는 순간임을 알 수 있다. 따라서 a점이 가장 밀한 부분이 된다.
ㄷ. 그래프 (가)와 (나)가 같은 파동을 나타낸 그래프라면,

파동의 속력은 $v = \frac{\lambda}{T}$ 이므로 $\frac{㉢}{㉠}$ 이 된다.

01. 답 ①
해설 (가)는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 횡파, (나)는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파이다.
ㄱ. 전자기파는 횡파이다.
ㄴ. 초음파는 종파, 지진파 S파는 횡파이다.
ㄷ. 용수철 파동은 매질이 용수철인 파동이다. 파동은 진행할 때 매질은 이동하지 않고, 에너지만 전달한다. 따라서 용수철은 파동의 진행 방향으로 움직이지 않고 제자리에서 진동만 한다.

02. 답 ③
해설 횡파가 2초 후 같은 모습이 되었다는 것은 횡파의 주기가 2초라는 의미이다. 따라서 1초 후 파동의 모습은 파장이 반파장 진행했을 때 파동의 모습이 되므로 현재 모습과 위치 축을 기준으로 정반대의 모습(위치 축을 대칭으로 한 그래프)이 된다. 이때 진폭은 변하지 않는다.

[유형16-2] 답 ②
해설 ㄱ. 밀한 부분(㉠)이 소한 부분(㉡)보다 공기의 압력이 크다.
ㄴ. 소리의 진행 방향으로 소리 에너지가 전달될 뿐 매질인 공기 분자는 제자리에서 진동만 한다.
ㄷ. ㉢은 이웃한 밀한 곳과 밀한 곳까지의 거리인 파장이다. 이때 파동의 속력은 파장과 진동수의 곱으로 나타낼 수 있다.
ㄹ. 건조한 공기 t (℃)에서 소리의 속력은 다음과 같다.

$$v = 331.45 + 0.6t$$

따라서 10℃ 온도가 높아지면 속도 변화는 $0.6 \times 10 = 6\ \mathrm{m/s}$가 된다.

03. 답 ④
해설 소리는 온도가 같을 때, 고체 > 액체 > 기체 순으로 속력이 빠르고, 같은 상태일 때는 온도가 올라갈수록 속력이 빠르다. 따라서 고체 상태인 얼음(ㄹ)에서 속력이 가장 빠르고, 공기 중에서는 온도가 높은 30 ℃ 공기(ㄴ)가 10 ℃ 공기(ㄱ)보다 빠르며, 공기가 없는 진공 상태에서 소리는 전달이 되지 않으므로 속력이 0 이다.
∴ −3 ℃ 얼음(ㄹ) > 20 ℃ 강물(ㄷ) > 30 ℃ 공기(ㄴ) > 10 ℃ 공기(ㄱ) > 진공(ㅁ)

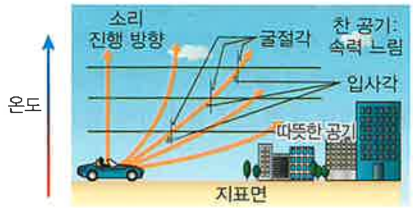
04. 답 ③
해설 ㄱ. A는 공기가 밀한 곳에서 인접한 밀한 부분까지의 거리가 되므로 파장이다. 그림에서 주어진 조건 만으로는 음파의 진폭을 알 수 없다.
ㄴ. 공기의 온도가 올라갈수록 소리의 속력은 빨라지며, 이

때 파동의 진동수는 동일하므로 파장(A)은 길어진다.
ㄷ. 음파는 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 나란한 종파이자, 매질을 통해 에너지를 전달하는 탄성파이다.
ㄹ. 소리는 기체에서보다 액체에서 속력이 더 빠르다.

[유형16-3] 답 ④

해설

(가)



(나)

	(가) 밤	(나) 낮
공기의 온도	지표면 < 하늘	지표면 > 하늘
소리의 속력	지표면 < 하늘	지표면 > 하늘
소리의 파장	지표면 < 하늘	지표면 > 하늘
소리의 진동수	지표면 = 하늘	지표면 = 하늘

05. 답 ④

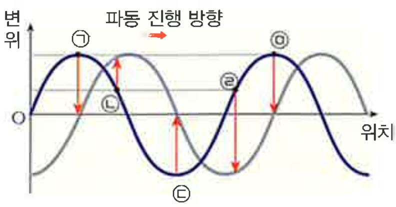
해설 굴절 법칙 : $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{12}$

$$\therefore 0.24 = \frac{v_{공기}}{v_{물}} = \frac{330}{v_{물}} \quad \rightarrow v_{물} = 1,375\text{m/s}$$

$v_{물} = f\lambda_{물}$, 진동수는 굴절 전후 동일하므로,
$1,375 = 400 \times \lambda_{물} \rightarrow \lambda_{물} = 3.4375 \fallingdotseq 3.4$

06. 답 ③

해설 파동이 진행할 때 매질의 변위와 운동 방향이 모두 같은 점은 위상이 서로 같다.



따라서 한 파장만큼 떨어진 두 지점 ㉠과 ㉤은 서로 위상이 같고, 반 파장만큼 떨어진 두 지점 ㉠과 ㉢은 서로 위상이 반대이다.

[유형16-4] 답 (1) 200 (2) 300 (3) 100

해설 (1) 도플러 효과에 의해 진동수는 다음 식과 같이 변한다.

$$f = f_0 \frac{v \pm v_D}{v \mp v_S}$$

무한이는 정지해 있고, 멀어져 가는 소리 굽쇠로부터 무한이에게 직접 소리가 도달한다면, 무한이에게 측정되는 진동수 f, 소리 굽쇠가 발생하는 진동수 $f_0 = 240$, 소리의 속력 v, 관측자는 정지해 있으므로 $v_D = 0$, 음원의 속도 v_S (무한이와 멀어지고 있으므로 (+)) = 68이다.

$$\therefore f = 240 \times \frac{340}{340 + 68} = 200\text{Hz}$$

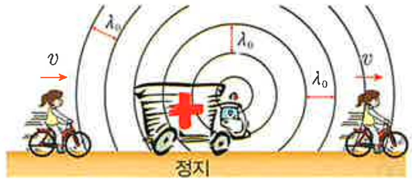
(2) 흑판에서 반사하여 무한이에게 도달하는 소리의 진동수는 소리 굽쇠에서 발생한 파동이 흑판에 가까워질 때 흑판이 느끼는 진동수와 같다. 따라서 (1)의 과정과 모두 동일하고, 이때 음원의 접근 속도 v_S (소리 굽쇠가 흑판과 가까워지고 있으므로 (−)) = −68이다.

$$\therefore f = 240 \times \frac{340}{340 - 68} = 300\text{Hz}$$

(3) 맥놀이의 횟수는 중첩되는 두 파동의 진동수의 차이가 된다. 따라서 300 − 200 = 100(회) 이다.

07. 답 ⑤

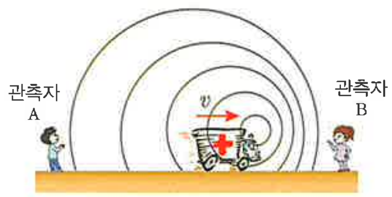
해설



상상이가 구급차에 가까워질 때 A : 음원과 관측자가 가까워지고 있다. 따라서 소리의 파장(λ_A)은 짧아지고, 진동수(f_A)는 증가하여 높은 소리로 들린다.
상상이가 구급차에서 멀어질 때 B : 음원과 관측자가 멀어지고 있다. 따라서 소리의 파장(λ_B)은 길어지고, 진동수(f_B)는 감소하여 낮은 소리로 들린다.
ㄱ. 상상이가 구급차에 가까워질 때 상상이가 느끼는 사이렌 소리의 속력은 $v + v_0$가 되므로, v_0보다 크다.
ㄴ. $f_0 > f_A$

08. 답 ⑤

해설



관측자 A : 음원과 관측자가 멀어지고 있다. 따라서 소리의 파장(λ_A)은 길어지고, 진동수(f_A)는 감소하여 낮은 소리로 들린다.
관측자 B : 음원과 관측자가 가까워지고 있다. 따라서 소리의 파장(λ_B)은 짧아지고, 진동수(f_B)는 증가하여 높은 소리로 들린다.
ㄱ. $f_A < f_B$　　　ㄷ. $\lambda_A > \lambda_B$

창의력 & 토론마당 24~27쪽

01

(1) 3.2m (2) 〈해설 참조〉

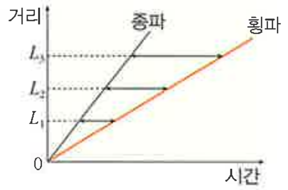
해설 (1) 전갈과 곤충 사이의 거리를 L 이라고 하면,

종파가 전갈에게 도달하는 데 걸린 시간 : $\dfrac{L}{240}$

횡파가 전갈에게 도달하는 데 걸린 시간 : $\dfrac{L}{60}$,

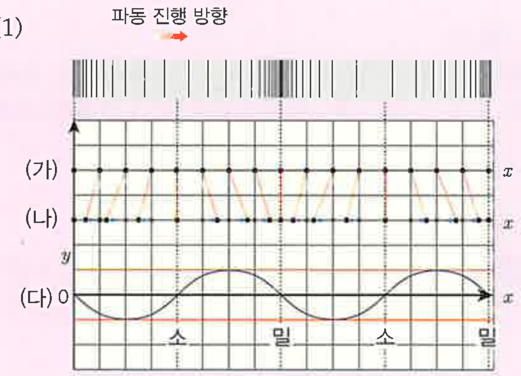
$\therefore 0.04 = \dfrac{L}{60} - \dfrac{L}{240} \rightarrow L = \dfrac{9.6}{3} = 3.2(\text{m})$

(2) 파의 도착 시간 차이가 점점 증가할수록 전갈과 곤충 사이의 거리도 점점 멀어지게 된다. 도착 시간과 전갈과 곤충 사이의 거리의 관계는 다음과 같다.



02

(1)



해설 종파인 경우 (가)에서 (나)로 가면서 매질의 변위는 x 축 상에서 일어난다. 변위가 $+x$ 일 때 그래프 (다)에서는 $+y$로, $-x$ 일 때 $-y$ 로 바꿔주면 된다. 소와 밀의 중간 부분에서 진폭이 가장 크게 나타난다.

03

(1) 145 Hz, 31 m/s (2) 141 Hz

해설 (1) 트럭 A의 관측자가 1초 동안 5번의 맥놀이를 들었다는 것은 트럭 A에서 발생한 소리와 트럭 B에서 발생한 소리의 진동수 차이가 5 Hz 라는 의미이다. 이때 트럭 A에 타고 있는 관측자의 입장에서 음원 B는 멀어지고 있으므로, 관측자가 듣게 되는 음원 B의 진동수는 145 Hz 이다.

도플러 효과에 의한 진동수의 변화식은 다음과 같다.

$$f = f_0 \frac{v \pm v_D}{v \mp v_S}$$

[관측자가 듣는 소리의 진동수 f, 스피커에서 나오는 소리의 진동수 f_0 = 150Hz, 소리의 속력 v = 350m/s, 관측자의 접근 속도 v_D (주어진 문제에서 관측자는 음원 B에서 속도 v_A로 멀어지고 있으므로 (−)), 음원의 접근 속도 v_S (주어진 문제에서 음원인 트럭 B는 v_B = 20m/s 로 가까워지고 있으므로 (−)]

$$\therefore f(\text{음원 B}) = 150 \times \frac{350 - v_A}{350 - 20} = 145(\text{Hz})$$

$\rightarrow v_A = 31\text{m/s}$

(2) 트럭 B에서 발생한 소리를 트럭 A가 반사시킨 후 B가 다시 듣는 경우이다. 이는 트럭 A가 듣는 소리를 다시 B를 향해 발생시키는 것과 같다.

따라서 진동수의 변화식은 다음과 같다.

㉠ 트럭 A가 듣는 소리의 진동수 :

$$f_A = 150 \times \frac{350 - 31}{350 - 20} = 145(\text{Hz})$$

㉡ 트럭 A에서 반사하여 돌아온 소리(음원)의 진동수 [v_D: 관측자(트럭 B)는 트럭 A를 향해 속도 v_B = 20m/s로 가까워지고 있으므로 (+), v_S : (음원은 v_A = 31m/s 로 멀어지고 있으므로 (+)] :

$$\therefore f = 145 \times \frac{350 + 20}{350 + 31} = 140.8136 \fallingdotseq 141(\text{Hz})$$

04

419

해설 속도 $v_{자동차}$인 자동차는 무한이를 향해 $v_{자동차}$ cos60°의 속도로 접근한다.

$$\therefore f = 400 \times \frac{v_{소리}}{v_{소리} - v_{자동차}\cos 60^\circ}$$

$$= 400 \times \frac{330}{330 - 30\cos 60^\circ} \quad [\because 108\text{km/h} = 30\text{m/s}]$$

$$= 400 \times \frac{330}{330 - 15} = 419.0476 \fallingdotseq 419.0(\text{Hz})$$

05

(1) 낙하산의 속도가 점점 빨라지므로 진동수도 점점 증가하게 된다.

(2) $f\dfrac{v}{v - \dfrac{mg}{k}} = f\dfrac{kv}{kv - mg}$

해설 (1) 종단 속도에 다다르기 전까지 낙하산의 속도는 증가하므로, 소리의 상대적인 속력($v + v_f$)이 증가하고, 파장이 작아지며 진동수가 점점 증가하게 된다. 단, 증가하는 변화의 폭은 점점 작아지게 된다.

(2) 공기 저항력은 물체의 속도(v')에 비례하여 증가하므로 $F = kv'$ (비례 상수 k 는 물체의 모양에 따라 다름)로 나타낼 수 있다. 공기 중에서 낙하하는 물체에 작용하는 힘은 중력과 반대 방향의 공기 저항력(F)이다.

따라서 운동 방정식 : $mg - F = ma$

낙하 속력이 점점 커지면서 F와 mg 의 크기가 같아지

면 물체는 알짜힘이 0 인 등속 운동을 한다. 이때 물체의 속도를 종단 속도 v_f 라고 한다.

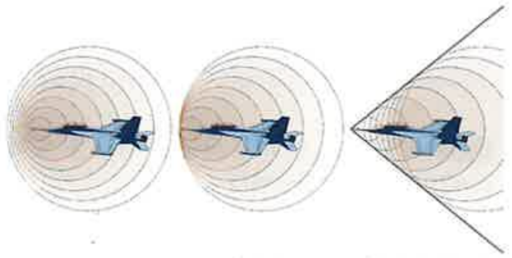
$$mg - kv_f = 0 \rightarrow v_f = \frac{mg}{k}$$

음원(소리의 속력 v)이 관측자에게 가까이 다가오고 있으므로, 상상이가 듣는 소리의 진동수는 다음과 같다.

$$\therefore f_{상상} = f \times \frac{v}{v - v_f} = f\frac{v}{v - \frac{mg}{k}} = f\frac{kv}{kv - mg}$$

06 〈 해설 참조 〉

해설 음원이 점점 빨리 운동할수록 앞으로 진행하는 음파의 파장은 점점 짧아지게 되고, 음원의 속력이 음속과 같아지게 되면 파장은 0과 가깝게 된다. 음원의 속도 v, 소리의 속도 $v_{소리}$라고 할 때, 음원의 속력이 음속보다 빨라지면 $vt - v_{소리}t$ 만큼 음원이 소리보다 앞서게 된다. 따라서 음원이 만들어 내는 음파의 마루들이 중첩되어 삼각뿔 모양의 파형을 형성하게 되고 큰 소리를 내게 되는데, 이를 충격파라고 한다.



음속과 가까운 속력으로 운동할 경우 / 음속으로 운동할 경우 / 음속보다 빠른 속력으로 운동할 경우 (충격파)

스스로 실력 높이기 28~35쪽

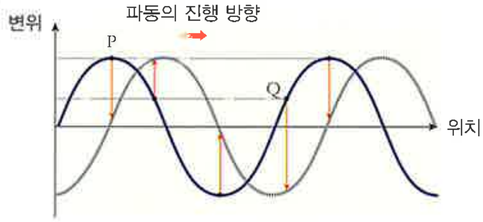
01. 0.9 **02.** ③ **03.** ③ **04.** ⑤
05. 0.15 **06.** 4 **07.** 15, ㉠ **08.** ②
09. ㉠, ㉡, ㉢ **10.** 20 **11.** ④ **12.** ②
13. ④ **14.** ④ **15.** ③ **16.** ① **17.** ④
18. ③ **19.** ③ **20.** 14.25
21. (1) A, E (2) C (3) B, D (4) A, C, E **22.** ①
23. 2.25, 3 **24.** 85.4 **25.** ㄱ, ㄴ, ㄷ
26. ③ **27.** ㉠ 360 ㉡ 170 **28.** 57.8 **29.** ④
30. ① **31.** ㉣ > ㉠ = ㉢ > ㉡ **32.** 3,000

01. 답 0.9
해설 진동수는 3 Hz이며, 종파의 파장은 인접한 밀한 부분에서 밀한 부분까지의 거리이므로 30 cm = 0.3 m 이다.

$$\therefore v(속력) = f\lambda = 3\text{Hz} \times 0.3\text{m} = 0.9 \text{ m/s}$$

02. 답 ③
해설 파동은 매질의 유무에 따라 매질을 통해 에너지를 전달하는 파동인 탄성파와 매질이 없어도 에너지를 전달하는 파동인 전자기파로 나뉜다. 대표적인 탄성파에는 음파, 물결파, 지진파 등(ⓐ)이 있으며, 전자기파에는 자외선, 가시광선, 전파 등(ⓑ)이 있다.
파동은 매질의 진동 방향과 파동의 진행 방향이 수직인 횡파와 두 방향이 나란한 파동인 종파로 나뉜다. 대표적인 횡파로는 물결파, 전자기파, 지진파 S파 등(㉠)이 있으며, 종파에는 음파, 초음파, 지진파 P파 등(㉡)이 있다.

03. 답 ③
해설



그림처럼 실선의 파동이 시간이 흐르면 점선 모양으로 진행하게 된다. P점과 Q점은 모두 아래 방향으로 운동한다.

04. 답 ⑤
해설 파원에서 거리가 2배, 3배, … 로 늘어나면, 소리가 들리는 면적이 4배, 9배, … 가 되므로, 같은 면적에 도달하는 소리 에너지는 $\frac{1}{4}$배, $\frac{1}{9}$배, …가 된다.

05. 답 0.15
해설 소리가 반파장(30cm) 진행하는 동안 2초가 걸렸으므로, 한 파장 진행하는 동안 걸린 시간인 주기는 4초가 된다.

$$\therefore v = \frac{\lambda}{T} = \frac{0.6\text{m}}{4초} = 0.15\text{m/s}$$

06. 답 4
해설 굴절 법칙에 의해 입사 파장(λ_1)과 굴절 파장(λ_2)은 다음의 관계식을 만족한다.

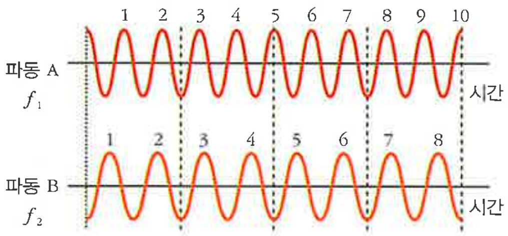
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{12}$$

$$\therefore \frac{340}{1{,}360} = \frac{\lambda_{대기}}{\lambda_{물}} = \frac{1}{4} \rightarrow \lambda_{물} = 4\lambda_{대기}$$

07. 답 15, ㉠
해설 두 파동이 완전히 중첩되었을 때는 마루와 골이 겹쳐졌을 때이다. 따라서 완전히 중첩되었을 때 합성파의 최대 진폭은 두 파장의 진폭의 합과 같고(상쇄 간섭), 방향은 진폭이 큰 쪽의 방향(㉠)이 된다.

$$\therefore y = y_1 + y_2 = 15\text{cm} + (-30\text{cm}) = 15\text{cm}$$

08. 답 ②
해설



1초 동안의 파동의 변위이므로 파동 A의 진동수는 10Hz, 파동 B의 진동수는 8Hz이다. 따라서 맥놀이 진동수는 두 진동수의 차인 2Hz이다.

10. 답 20

해설 도플러 효과에 의한 진동수의 변화는 다음과 같다.

$$f = f_0\frac{v \pm v_D}{v \mp v_S}$$

$v_D = 0$, 음원의 접근 속도 $v_S = 20$,

$$3{,}200\text{Hz} = 3{,}000 \times \frac{320}{320 - v_S} \rightarrow 320 - v_S = 300$$

$\therefore v_S = 20(\text{m/s})$

11. 답 ④

해설 매질의 한 지점의 변위를 5초 동안 나타낸 그래프이므로, 인접한 마루와 마루까지 걸린 시간은 4초가 된다.

ㄴ. 진동수 $= \frac{1}{\text{주기}} = \frac{1}{4\text{초}} = 0.25(\text{Hz})$ ㄷ. A는 진폭이다.

12. 답 ②

해설 ㄱ. 파동의 주기는 매질의 한 점이 1회 진동하는 데 걸린 시간에 해당하며, 변위-위치 그래프에서는 마루와 인접한 마루까지의 거리 또는 골과 인접한 골까지의 거리를 이동하는 데 걸리는 시간이 된다. 따라서 P_1에서 P_2까지인 $\frac{1}{4}$ 파장 이동하는 데 걸린 시간이 4초 이므로, 한 파장이 이동하는데 걸린 시간인 파동의 주기는 16초가 된다.

ㄴ. 파동의 속력은 다음과 같다.

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{4\text{m}}{16\text{초}} = 0.25\text{m/초}$$

ㄷ. 파동의 진동수는 속력 식에 의해 다음과 같다.

$$v = f\lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{0.25}{4\text{m}} = 0.0625\text{Hz}$$

ㄹ. 파동이 진행할 때 매질은 파동의 진행 방향으로 이동하지 않고 제자리 운동만 한다. 따라서 P_1은 아래로, P_2는 위로 운동한다.

13. 답 ④

해설 파동의 속력은 다음과 같다.

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

따라서 속력이 같을 경우, 파장이 커지면, 주기는 커지고(비례 관계), 진동수는 작아진다(반비례 관계) (가)에서 발생하는 음파의 파장은 10cm, (나)에서 발생하는 음파의 파장은 20cm이다.

ㄱ. 속력이 일정하므로 파장이 짧은 (가) 음파의 주기가 (나) 음파의 주기보다 짧다.

ㄴ. (나)의 파장은 (가)의 2배이므로($\lambda_{(나)} = 2\lambda_{(가)}$), (가)의 진동수는 (나)의 2배이다($f_{(가)} = 2f_{(나)}$).

ㄷ. 공기의 온도가 증가하면 음파의 속력은 빨라진다.

14. 답 ④

해설 근정전를 둘러싸고 있는 지붕이 있는 담인 회랑은 임금의 소리를 반사시켜 한 곳으로 모아주어 소리가 잘 들릴 수 있게 해준다.

ㄱ. 파동이 반사할 때 파동의 속력, 파장, 진동수는 변하지 않는다.

ㄴ. 반사 법칙에 의해 파동의 입사각과 반사각의 크기는 항상 같다.

ㄷ. 회랑의 겉표면이 매끄럽고 단단할수록 소리가 더욱 잘 반사된다. 카펫과 같은 재질로 되어 있으면 소리가 흡수된다.

15. 답 ③

해설 지표면에서 하늘로 굴절하는 것으로 보아 낮시간임을 알 수 있다(ㄷ). 낮시간에는 지면이 하늘보다 빠르게 데워지기 때문에 지표면에서 하늘로 올라갈수록 온도가 낮아지게 된다(ㄴ). 따라서 속력이 느린 하늘 쪽으로 소리가 굴절하게 되는 것이다.

ㄱ. 소리가 굴절할 때 파장과 속력이 변하며, 진동수는 변하지 않는다.

ㄹ. 하늘 쪽으로 소리가 굴절되기 때문에 고층에 있는 사람이 지표면에 있는 사람보다 소리를 더 크게 듣는다. 우리 속담 중에 '낮말은 새가 듣고, 밤말을 쥐가 듣는다.'라는 속담이 이를 잘 나타낸다.

16. 답 ①

해설 ㄱ. 보강 간섭이 일어나면 소리가 커지고, 상쇄 간섭이 일어나면 소리가 작아진다.

ㄴ. 한 파장의 거리에 있는 매질의 각 점은 변위와 운동 방향이 같으므로 위상이 같다. 반면에 반 파장의 거리에 있는 매질의 위상은 서로 반대이다.

ㄷ. 위상이 반대인 두 점이 중첩되면 서로 변위의 방향이 반대이기 때문에 진폭은 최소가 된다.

ㄹ. 중첩된 후 분리된 각각의 파동은 중첩되기 전의 파동의 특성인 진폭, 파장, 진동수, 속도를 그대로 유지하면서 독립적으로 진행한다.

17. 답 ④

해설 소리가 크게 들린 것은 두 파동에 의한 맥놀이 현상으로 인한 것이다. 맥놀이 진동수는 24회이다. 따라서 두 번째 줄에 맞춘 음은 주파수가 24Hz 더 낮은 솔음이 된다.

18. 답 ③

해설 도플러 효과에 의한 진동수의 변화는 다음과 같다.

$$f = f_0\frac{v \pm v_D}{v \mp v_S}$$

범인은 음원으로부터 10m/s로 멀어지고(v_D= +10), 음원(경찰차)가 40m/s(=144km/h)로 접근하고 있으므로

$(v_S = -40)$,

$$\therefore f_{\text{범인}} = 1{,}500 \times \frac{340 - 10}{340 - 40} = 1{,}650$$

19. 답 ③

해설 변위-위치 그래프에서 마루와 인접한 마루 사이의 거리가 파동의 파장이 된다. (가)의 파장은 4m, (나)의 파장은 2m, (다)의 파장은 8m이다. 파동의 속력은 다음과 같다.

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

따라서 속력이 같을 경우, 파장이 커지면, 주기는 커지고(비례 관계), 진동수는 작아진다(반비례 관계)

ㄱ. 파동의 변위-위치 그래프에서 변위가 최대인 점의 속도는 0이고, x 축을 지날 때 최대가 된다. 따라서 ㉡ 점의 속도가 ㉠ 점의 속도보다 빠르다.

ㄴ, ㄹ 속력이 같을 경우 주기와 파장은 비례 관계이다. (다)의 파장은 (나)의 4배이므로($\lambda_{(다)} = 4\lambda_{(나)}$), (다)의 주기도 (나)의 주기의 4배($T_{(다)} = 4T_{(나)}$)이다. 또한 (나)의 주기를 2배로 늘리면, 파장이 2배로 늘어나기 때문에 (가)와 같은 모양의 그래프가 된다.

ㄷ. 진동수가 모두 같을 경우, 파동의 속력은 파장에 비례한다. 따라서 파장이 가장 긴 (다)의 속력이 가장 빠르다.($v_{(다)} > v_{(가)} > v_{(나)}$)

20. 답 14.25

해설 야구장에서 진행해 온 소리의 속력은 다음과 같다.

$$v = \frac{\text{이동 거리}}{\text{걸린 시간}} = \frac{3400\text{m}}{10\text{초}} = 340\text{m/s}$$

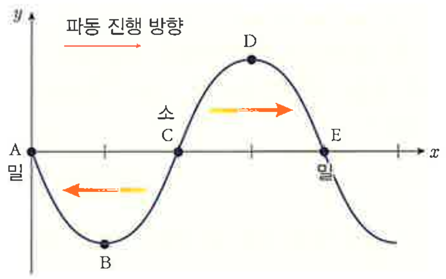
이때 공기의 온도에 따른 소리의 속력은

$$v = 331.45 + 0.6t\ ,\ \ t(\text{온도}) = \frac{v - 331.45}{0.6}$$

$$\therefore t = \frac{340 - 331.45}{0.6} = 14.25(℃)$$

21. 답 (1) A, E (2) C (3) B, D (4) A, C, E

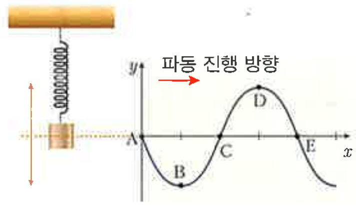
해설



(1) (2) 파동의 진행 방향인 오른쪽을 (+)라고 하자. A점의 경우 A점의 왼쪽에 있는 매질의 변위는 (+)이므로 A점을 향해 운동하고 있고, A점의 오른쪽에 있는 매질의 변위는 (−)이므로 역시 A점을 향해 운동하고 있다. 따라서 A점, E점은 밀한 곳이 된다.

C점의 경우 C점의 왼쪽에 있는 매질의 변위는 (−)이므로 왼쪽을 향하고 있고, C점의 오른쪽에 있는 매질의 변위는 (+)이므로, 오른쪽으로 움직이고 있기 때문에 C점이 가장 소한 부분이다.

(3), (4) 종파의 그래프는 천장에 매달린 용수철에 비유할 수 있다.



x 축은 물체를 매달았을 때 정지해 있는 평형 지점이고, B 위치는 용수철이 최대로 늘렸을 때의 지점, D위치는 용수철이 최대로 수축했을 때의 지점이다. 따라서 평형 지점인 A, C, E는 변위가 0이며, 속력이 최대, 가속도가 0인 지점이다. B, D는 변위가 최대이며, 속력이 0, 가속도가 최대인 지점이다.

22. 답 ①

해설 ㄱ. 그림 (나)를 보면 파동이 매질 A에서 반(0.5)파장 진행하고, 매질 B에서 2.5 파장 진행하는 동안 9초가 걸렸으므로, 3초 동안 1 파장을 진행한 것이다. 따라서 주기는 3초이다.

$$\text{매질 A에서 파동의 속력} = \frac{3\text{ m}}{1.5\text{초}} = 2\text{ m/s}$$

$$\text{매질 B에서 파동의 속력} = \frac{3\text{ m}}{3\text{초}} = 1\text{ m/s}$$

ㄴ. 9 m 지점의 오른쪽으로 마루가 2번, 골이 3번 있으므로 마루가 2번, 골이 3번 통과하였음을 알 수 있다.

ㄷ. 기체의 온도가 증가할수록 탄성파의 속력은 빨라진다. 따라서 속력이 더 빠른 매질 A의 온도가 더 높다.

ㄹ. 온도가 같을 때 물질의 상태가 다르다면 고체에서 탄성파의 속력이 가장 빠르고, 기체에서 가장 느리다. 매질 A의 속력이 매질 B에서의 속력보다 빠르므로, 매질 A가 액체라면, 매질 B는 기체이다.

23. 답 2.25, 3

해설 소리의 세기는 (거리)^{2}에 반비례한다. 스피커 B의 소리의 세기를 E, 스피커 A와 r 만큼 떨어진 위치를 P라 하면,

$$\frac{9E}{r^2} = \frac{E}{(3-r)^2} \rightarrow (4r-9)(2r-9) = 0,\ \ r = 2.25(\text{m})$$

이때 P점에는 스피커 A, B로부터 도달한 음파의 세기가 각각 같아서 상쇄간섭하는 경우 소리가 들리지 않게 된다.

$$\text{상쇄 간섭 조건: } |\text{AP~BP}| = \frac{\lambda}{2}(2m+1)(\ m = 0, 1, 2, \cdots)$$

$$\therefore 2.25 - 0.75 = \frac{\lambda}{2}\cdot(2m+1) \rightarrow 3 = \lambda(2m+1)$$

$$\therefore \lambda = 3(\text{m})(m = 0\text{인 경우})$$

24. 답 85.4

해설 도플러 효과에 의한 진동수의 변화는 다음과 같다.

$$f = f_0\frac{v \pm v_D}{v \mp v_S}$$

주어진 문제에서 상상이가 쏜 초음파가 자동차에 의해 반사되고, 상상이는 자동차에 의해 변화된 진동수를 관측하게 된다.

우선 자동차가 관측자의 입장에 있을 때 자동차가 측정한 진동수 : $f_{자동차}$, v_D : 자동차가 파원에 가까워지는 속도) 일 때 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\therefore f_{자동차} = 40{,}000 \times \frac{340 + v_D}{340}$$

자동차에 의해 초음파가 반사되므로 자동차는 진동수가 $f_{자동차}$인 음원을 발생하는 것과 같다. 즉, 자동차가 진동수 $f_{자동차}$인 음원이 되어 상상이(관측자)에게 다가가고 있는 것이다. 그러므로 상상이가 측정한 진동수 $f_{상상}$ = 46,000, 자동차가 방출하는 초음파의 진동수 = $f_{자동차}$, 라고 하면,

$$f_{상상} = 46{,}000 = f_{자동차} \times \frac{340}{340 - v_S}$$
$$= 40{,}000 \times \frac{340 + v_D}{340} \times \frac{340}{340 - v_S}$$
$$= 40{,}000 \times \frac{340 + v_D}{340 - v_S} \text{ (자동차의 속력 } v = v_D = v_S)$$

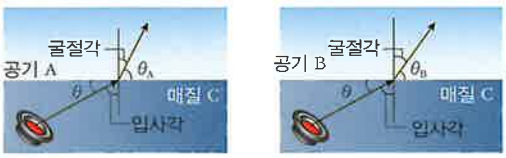
$\therefore v \fallingdotseq 23.72$ m/s $\fallingdotseq 85.4$ km/h

25. 답 ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설 ㄱ. 해발 1,500m 상공의 기온은 1km 당 6℃씩 떨어지므로, 20℃ $-$ (1.5 × 6) = 11℃이다.
소리의 속도 변환 공식인 $v = 331.45 + 0.6t$ 에 의해 해발 1,500m에서 소리의 속력은 다음과 같다.
$v = 331.45 + 0.6 \times 11℃ \fallingdotseq 338$ m/s
$= 0.338 \times 3600 \fallingdotseq 1{,}217$ km/h
ㄴ. 5,000 m 상공에서 소리의 속력은 다음과 같다.
$v = 331.45 + 0.6(-10℃) \fallingdotseq 325$ m/s
이때 마하 1.0 빠르기는 비행기의 속력이 약 325 m/s 일 때가 된다. 지표 근처에서 마하 1.0 빠르기의 비행기의 속력은 343 m/s 이므로 5,000 m 상공에서의 속력보다 크다.
ㄷ. 진동수가 일정할 때, 소리의 파장은 속력에 비례한다($v = f\lambda$). 따라서 지표면으로 갈수록 소리의 속력이 빨라지므로 파장도 길어진다.

26. 답 ③

해설



(가) (나)

ㄱ. 입사각은 법선과 입사파가 이루는 각이고, 굴절각은 법선과 굴절파가 이루는 각이다. 따라사 입사각은 $90 - \theta$, 굴절각은 $90 - \theta_A$(또는 θ_B)이다.
ㄴ. (가)와 (나) 모두 굴절각이 입사각보다 작기 때문에 매질 C에서 속력이 가장 빠르다. 또한 속력 차이가 클수록 진행 방향이 많이 꺾이기 때문에 굴절각이 더 큰 공기 B에서의 속력이 공기 A에서의 속력보다 더 빠른 것을 알 수 있다.
ㄷ. 파동은 굴절할 때 진동수는 변하지 않는다.
ㄹ. 공기 B 에서의의 속력이 공기 A에서의 속력보다 빠른 것으로 보아 공기 B의 온도가 더 높다.

27. 답 ㉠ 360 ㉡ 170

해설 도플러 효과에 의한 진동수의 변화는 다음과 같다.

$$f = f_0 \frac{v \pm v_D}{v \mp v_S}$$

두 열차 A, B가 가까워질 때 열차 B가 느끼는 열차 A의 진동수인 $2.5f_A$는 다음과 같다. 열차 B(관측자)의 속력은 v_D, 열차 A(음원)의 속력은 136m/s이다.

$$2.5f_A = f_A \times \frac{340 + v_D}{340 - 136} \rightarrow v_D = 170\text{m/s}$$

두 열차가 지나친 후, 음원(열차 A) 과 관측자(열차 B)는 동시에 멀어진다. f_A = 1000Hz이므로,

$$f = f_A \times \frac{340 - 170}{340 + 136} \fallingdotseq 0.36f_A = 360\text{Hz}$$

28. 답 57.8m

해설 음원이 관측자에게서 점점 멀어지면서 발생하는 도플러 효과이므로, 진동수는 다음과 같이 변환된다.

$$f = f_0 \frac{v}{v + v_S} \rightarrow v_S = \frac{f_0 v}{f} - v$$

따라서 소리 굽쇠의 그 순간의 속도 v_S는

$$v_S = \frac{550 \times 340}{500} - 340 = 34\text{m/s}$$

이때 $v_S = v_0 + at$, $s = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$ 이고, 자유 낙하하는 물체의 경우 $v_0 = 0$, $a = g$ 이므로, 속도가 증가하여 34m/s 가 될 때까지 걸리는 시간과 떨어진 거리는 다음과 같다.

$$34 = 0 + gt = 10t \rightarrow t = 3.4\text{초}$$
$$s = \frac{1}{2} \times 10 \times (3.4)^2 = 57.8\text{(m)}$$

29. 답 ④

해설 관측자가 움직이는 경우의 도플러 효과가 적용된다. 따라서 음파 측정기가 측정한 진동수 $f_{음파}$, 스피커에서 나오는 음파의 진동수 $f_{스}$, 음파 속력 v, 음파 측정기의 접근 속도 v_D ((−) 멀어질 때, (+) 가까워질 때)이다.

$$\therefore f_{음파} = f_{스} \times \frac{v \pm v_D}{v}$$

따라서 음파 측정기가 스피커와 가까워질 때 진동수 $f_{음파}$는 $f_{스}$보다 커지고, 음파 측정기가 스피커와 멀어질 때 진동수 $f_{음파}$는 $f_{스}$보다 작아진다.
ㄱ. 진동수의 변화 정도가 클수록 음파 측정기의 이동 속도가 크다. 따라서 구간 ㉠에서 음파 측정기의 속력이 구간 ㉢에서의 속력보다 빠르다.
ㄴ. 진동수가 커지는 경우는 도플러 효과에 의해 음파 측정기가 가까워지고 있는 경우가 된다.
ㄷ. 구간 ㉣에서는 음파 측정기는 속력이 증가하며 멀어지는 운동을 한다.

30. 답 ①

해설 ㄱ. 맥놀이 주기는 단위 시간당 맥놀이의 수, 즉 진폭의 극대값의 수를 말한다. 그림 (나)에 의하면 0.1초당 1번씩 극대값이 나타나므로, 1초에 10번의 극대값이 나타나게 된다. 따라서 맥놀이 진동수는 10Hz이다.

ㄴ. 변위-시간 그래프에서 마루에서 인접한 마루까지의 거리가 주기가 된다. 따라서 $\frac{1}{10}$초가 된다.

ㄷ. 관측자가 움직이는 경우의 도플러 효과가 적용된다. 따라서 음파 측정기가 측정한 진동수 $f = f_{음파\ A,\ B}$, 스피커에서 나오는 음파의 진동수 $f_0 = 110$, 음파 속력 $v = 330$, 음파 측정기의 접근 속도 v_M ((−) 멀어질 때, (+) 가까워질 때 →스피커 A와는 멀어지고 있으므로 (−), 스피커 B와는 가까워지고 있으므로 (+)이다.

$\therefore f_{음파\ A} = 110 \times \frac{330 - v_M}{330}$, $f_{음파\ B} = 110 \times \frac{330 + v_M}{330}$

이때 맥놀이 진동수는 음파 측정기가 측정한 두 파동의 진동수의 차이이다.

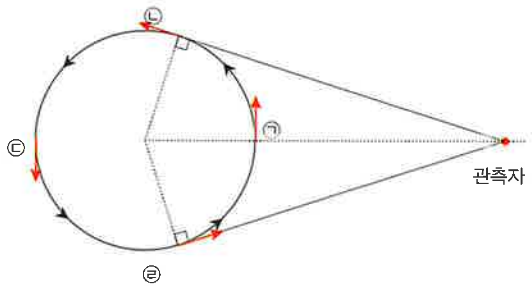
$$10 = f_{음파\ B} - f_{음파\ A} = 110 \times \frac{2v_M}{330}$$

$$\therefore v_M = \frac{330}{2} \times \frac{10}{110} = 15\text{m/s}$$

ㄹ. 음원은 정지하고 관측자(음파측정기)가 운동하는 경우이므로 진동수는 감소하지만 음원에서 나오는 소리의 파장은 일정하다.

31. 답 ㉣ > ㉠ = ㉢ > ㉡

해설



도플러 효과는 일직선 상에서 음원과 관측자 사이의 거리가 변할 때 발생한다. 따라서 ㉠과 ㉢점에서는 각각 관측자와 음원 사이의 일직선 상에서의 거리 변화가 없기 때문에 도플러 효과가 일어나지 않고, 기존의 사이렌 소리의 진동수로 들리게 된다. ㉡ 지점을 지나는 구급차의 경우 관측자와 음원이 멀어지고 있기 때문에 소리의 진동수는 감소하며, ㉣ 지점을 지나는 구급차의 경우 관측자와 음원이 가까워지고 있기 때문에 소리의 진동수는 증가하게 된다.

32. 답 3,000

해설 스피커 S로부터 출발한 소리가 나누어져 A를 거쳐 D로 가고, B를 거쳐 D로 가게 된다. 두 소리가 상쇄 간섭을 일으켰을 때 음파의 세기가 최소값이 된다. 이때는 경로차가 반파장의 홀수배가 되는 경우이다(경로차 = $\frac{\lambda}{2} \cdot (2m + 1)$ ($m = 0, 1, 2, \cdots$)).

이것보다 경로차가 반파장만큼 증가하면 음파의 세기는 최대값이 된다.(경로차 = $\frac{\lambda}{2} \cdot 2m$ ($m = 0, 1, 2, \cdots$)).

B를 오른쪽으로 2.75cm 잡아당겼을 때(경로차는 2.75 × 2 = 5.5cm 증가한다.) 음파의 세기가 최소값에서 처음 최대값이 되었다고 하였으므로 증가한 경로차 5.5cm는 반파장(= $\frac{\lambda}{2}$)에 해당된다. 그러므로 소리의 파장(λ)은 11cm 이다.

$$\therefore v = f\lambda \rightarrow f = \frac{v}{\lambda} = \frac{330}{0.11} = 3{,}000(\text{Hz})$$

17강. 소리 II

개념 확인 36~39쪽

1. ㉠ > ㉡ =	**2.** 1, 0
3. (1) O (2) X (3) X	**4.** (1) ㉡ (2) ㉢ (3) ㉠

1. 답 ㉠ > ㉡ =

해설 소리의 진폭이 같을 때 소리의 진동수가 클수록 높은 소리, 작을수록 낮은 소리이다.

2. 답 1, 0

해설 정상파의 배 부분에서의 진폭은 중첩되기 전 파동의 진폭의 2배가 되고, 마디 부분은 0이 된다.

3. 답 (1) O (2) X (3) X

해설 (2) 한쪽 끝이 닫힌 관의 경우 관 전체의 길이가 $\frac{1}{4}$ 파장의 홀수배일 때만 정상파가 발생한다.
(3) 관의 재질과 굵기가 같은 피리의 경우 관의 길이가 길수록 공명이 일어나는 소리의 파장이 길어져서 더 낮은 소리가 난다.

확인+ 36~39쪽

1. ㉠	**2.** 10	**3.** 170	**4.** ㉠

1. 답 ㉠

해설 음파의 진행 속도가 같을 때 초음파의 진동수가 작을수록 파장이 길기 때문에 더 멀리 진행할 수 있다. 따라서 ㉠ 50 kHz인 초음파를 사용해야 한다.

2. 답 10

해설 양쪽이 고정된 줄에서 발생하는 정상파 중 가장 긴 파장은 기본 진동일 경우이다. 따라서 $\lambda = 2l = 10$(m) 이다.

3. 답 170

해설 한쪽 끝이 닫힌 관에서 기본 진동의 파장은 $\lambda_1 = 4l$, 가 된다. 따라서 50cm인 관에서의 기본 진동의 파장은 $\lambda = 4 \times 0.5 = 2$m이고, 이때 소리의 속력이 340m/s 이므로, 진동수는 다음과 같다.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{2} = 170(\text{Hz})$$

4. 답 ㉠
해설 높이(진동수)가 다른 두 개 이상의 여러 소리가 만나 아름다운 소리를 내는 것을 화음이라고 하며, 소리의 진동수의 비가 간단한 정수비일 때 화음이 일어난다.
→ 도 : 파 : 라 = 1 : 1.33 : 1.68 ≒ 3 : 4 : 5
따라서 서로 화음이다.

개념 다지기 40~41쪽

01. (1) X (2) O (3) X	**02.** ⑤	**03.** ②
04. ㉠ 2 ㉡ 10	**05.** ④	**06.** 500
07. ②	**08.** ②	

01. 답 (1) X (2) O (3) X
해설 (1) db(데시벨)은 소리의 세기(크기)의 단위이다. (3) 같은 음의 소리라도 악기마다 소리가 다르게 들리는 것은 소리의 맵시(파형)가 달라 음색이 달라지기 때문이다.

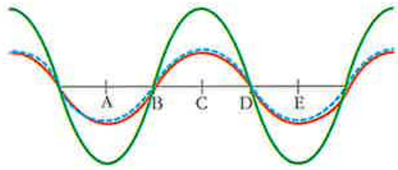
02. 답 ⑤
해설 자동차 후방 센서에서 발생하는 것은 초음파이다.
ㄱ. 초음파는 매질을 통해 에너지를 전달하는 파동인 탄성파로 공기가 없으면 전달되지 않는다.
ㄴ. 자동차 후방 센서에서 발생되는 초음파는 보이지 않는 곳에 있는 장애물에 반사되고, 그 반사된 파를 감지하여 장애물의 유무를 알아낼 수 있다.
ㄷ. 초음파는 진동수가 20,000Hz 이상인 소리로, 사람이 들을 수 없다.

03. 답 ②
해설 ㄱ. 정상파의 배와 배 사이 길이는 정상파 파장의 반파장이고, 배와 마디 사이 길이는 $\frac{\text{정상파의 파장}}{4}$ 이다.
ㄷ. 정상파는 두 파동이 중첩되어 만들어지는 합성파로 제자리에서 진동만 하는 것처럼 보이지만, 정지한 것처럼 보일 뿐 실제로 합성파를 만드는 두 파동은 원래 진행하던 방향으로 계속 진행한다.

04. 답 ㉠ 2 ㉡ 10
해설 줄에서는 다음의 파장 조건에서 정상파가 발생한다.

$$\lambda_n = \frac{2l}{n} \ (n = 1, 2, 3, \cdots)$$

주어진 문제는 배가 4개가 있으므로 4배 진동(n=4)이다.
이때 파장 $\lambda_4 = \frac{2 \times 4}{4} = 2(\text{m})$
(원래 2개의 배의 길이에 해당하는 파장의 파동이 서로 반대 방향으로 진행하여 중첩되었다.) 진동수는 5Hz이므로, $v = 5 \times 2 = 10(\text{m/s})$이다.

05. 답 ④
해설


정상파의 배는 두 파동의 마루와 마루, 골과 골이 만나 진폭이 최대인 점이고, 마디는 마루와 골이 만나 진폭이 0이 되는 지점이다. 그림과 같이 두파동이 $\frac{\text{파장}}{4}$ 만큼 각각 진행하게 되면 두 파동에 의한 합성파는 초록색 실선이 된다. 따라서 A, C, E 지점은 배, B, D 지점은 마디가 된다.

06. 답 500
해설 그림은 양끝이 열린 관의 기본 진동의 모습이다. 정상파의 반파장이 35cm 이므로, 한 파장은 70cm가 되며, 기본 진동수는

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{350}{0.7} = 500(\text{Hz}) \text{ 이다.}$$

07. 답 ②
해설 관이 막힌 쪽은 공기가 진동할 수 없으므로 마디가 되고, 열린 쪽은 배가 되는 정상파가 생긴다.

08. 답 ②
해설 ㄱ. 현악기는 기본음과 그 기본음의 정수배 진동수의 소리가 발생하여 각 음들이 조화롭게 구성되어 듣기 좋은 소리를 낸다.
ㄷ. 타악기는 진동 형태(파형)가 여러 형태가 섞여서 복잡하게 나타난다.

유형 익히기 & 하브루타 42~45쪽

[유형 17-1] ③	**01.** ①	**02.** ①
[유형 17-2] ⑤	**03.** ⑤	**04.** (1) 0.5 (2) 0.25
[유형 17-3] ②	**05.** ④	**06.** ③
[유형 17-4] ⑤	**07.** ②	**08.** ③

[유형 17-1] 답 ③
해설 ㄱ, ㄴ. 소리의 진동수가 클수록 높은 소리가 난다. A 구간과 C 구간의 진동수는 같으므로 소리의 높낮이가 같다.
ㄷ. 소리의 세기는 진폭이 클수록 크다. 따라서 각 구간 중 진폭이 가장 큰 B 구간의 소리가 가장 세다.
ㄹ. B 구간의 소리는 C 구간의 소리보다 진폭과 진동수가 모두 크므로, B 구간의 소리는 C 구간의 소리보다 크고, 높은 소리이다.

01. 답 ①
해설 진폭과 진동수가 같으므로 소리의 높낮이, 소리의 크

기가 같다. 두 파동의 파형이 다르므로 음색이 다르다.

02. 답 ①

해설 ㄱ. 진동수가 작을수록 파장이 길고 산란에 강하여 더 멀리 진행할 수 있다.

ㄴ. 사람이 들을 수 있는 소리의 주파수인 가청 주파수의 범위는 보통 20Hz ~ 20kHz 이다.

ㄷ. 해저 지형을 탐사할 때는 초음파를 사용한다. 초음파는 진동수가 20kHz 이상인 소리를 말한다. 진동수가 20Hz이하인 소리는 초저주파라고 한다. 초저주파는 주로 동물들이 대화를 할 때 사용한다. 예를 들면 코끼리는 장거리(약 4km) 대화를 위해 14Hz 정도의 낮은 진동수를 사용하고, 코뿔소는 10Hz까지 낮은 진동수를 사용한다.

ㄹ. 30dB은 10dB보다 100배 큰 소리이고, 40dB보다 10배 작은 소리이다.

[유형 17-2] 답 ⑤

해설 ㄱ. 정상파의 파장은 $\lambda_3 = \frac{2}{3} \times 120\text{cm} = 80\text{cm}$ 이다.

ㄴ. 정상파의 파장, 진동수, 속력은 중첩되기 전 파동과 같다. 따라서 진동자가 발생한 파동의 파장도 80cm이다.

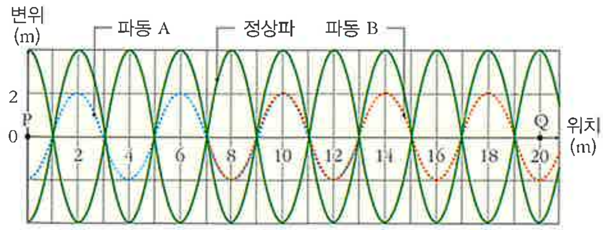
ㄷ. 줄의 진동으로 만들어진 공기의 진동으로 소리가 발생하는 것이므로 줄의 진동수 $f_{줄} = 825\text{Hz}$와 소리의 진동수 $f_{소리}$는 같다. 따라서 소리의 파장은 다음과 같다.

$$\lambda_{소리} = \frac{v_{소리}}{f_{소리}} = \frac{330}{825} = 0.4(\text{m}) = 40\text{cm}$$

ㄹ. 3배 진동의 진동수가 825 Hz 이므로, 현의 기본 진동수는 275Hz가 된다. 따라서 진동자의 진동수를 275Hz로 낮추면 배가 1개가 만들어지는 정상파가 생긴다.

03. 답 ⑤

해설 두 파동이 같은 속력으로 서로 반대 방향으로 진행하여 만나면 중첩되어 다음과 같은 정상파를 만든다.



ㄱ. 10m 지점에서는 위상이 같은 두 점이 만나기 때문에 보강 간섭이 일어나서 '배'가 만들어진다.

ㄴ. 정상파의 파장은 중첩되기 전 파동의 파장과 같다.

ㄷ. 정상파의 진폭은 중첩되기 전 파동의 진폭의 2배인 4m가 된다.

ㄹ. 그림처럼 P~Q 사이에 10개의 마디가 생긴다.

04. 답 (1) 0.5 (2) 0.25

해설 (1) 배가 4개인 4배 진동일 경우, 파장은

$$l = \frac{\lambda}{2} \times 4 \rightarrow 1\text{m} = 2\lambda \quad \therefore \lambda = 0.5\text{m}$$

(2) 줄의 장력(T)과 줄에 발생하는 파동의 속력(v^2)은 비례한다. ($v^2 \propto T$)

줄의 장력은 매달린 추의 무게와 같으므로 추의 무게가 $\frac{1}{4}$이 되면 파동의 속력은 $\frac{1}{2}$이 된다. $v = f\lambda$이므로 진동수(f)가 동일하고 속력이 $\frac{1}{2}$이므로 정상파의 파장도 $\frac{1}{2}$로 줄어서 0.25m 가 된다.

[유형 17-3] 답 ②

해설 (가)는 양 끝이 열린 관에서 만들어진 기본 진동의 정상파이다. 온도가 같으므로 소리의 속력은 v 로 하면

$$L = \frac{\lambda_{(가)}}{2} \rightarrow \lambda_{(가)} = 2L, \quad f_{(가)} = \frac{v}{2L}$$

(나)는 한쪽 끝이 닫힌 관에서 만들어진 3배 진동의 정상파이다. 따라서 관의 길이와 정상파의 파장의 관계는 다음과 같다. 소리의 속력은 v 이다.

$$L = \frac{3}{4}\lambda_{(나)} \rightarrow \lambda_{(나)} = \frac{4}{3}L, \quad f_{(나)} = \frac{3v}{4L}$$

ㄱ. $f_{(가)} : f_{(나)} = \frac{1}{2} : \frac{3}{4} = 2 : 3$

ㄴ. 소리의 속력은 v로 변하지 않고, 진동수를 5배하면 파장은 $\frac{1}{5}$이 되어 $\lambda' = \frac{4}{3}L \times \frac{1}{5} = \frac{4}{15}L$ 이것은 $\lambda = \frac{4}{2n-1}L$ 인 한쪽 끝이 막힌 관의 정상파 파장 조건에 맞는다.

05. 답 ④

해설 피리는 관 내부에 발생하는 공명에 의해 소리가 난다. 공기의 진동에 의한 소리의 속력은 같고, 관의 길이가 길수록 기본 진동의 파장이 크고 진동수가 작으므로 더 낮은 소리가 난다.

06. 답 ③

해설 한 쪽이 닫힌 관에서 정상파가 만들어질 조건은 관의 길이가 정상파의 $\frac{1}{4}$파장의 홀수배일 때이다.

$L = \frac{\lambda}{4}(2n-1) \ (n = 1, 2, 3 \cdots)$

$L =$ 30cm 일 때 공명이 일어나고, 바로 그 다음 공명이 $L =$ 18cm이므로(이때 L은 한쪽 끝이 닫힌 관의 길이이다.) 두 공명은 이웃하는 배진동이고, n의 값이 1 차이가 난다.

$\therefore 18 = \frac{\lambda}{4}(2n-1), \ 30 = \frac{\lambda}{4}(2n+1)$

이것을 풀면 $n = 2, \ \lambda =$ 24(cm)이다.

또는, $30 - 18 = \frac{\lambda}{2}$ 에 해당하므로, $\lambda =$ 24 cm

[유형 17-4] 답 ⑤

해설 ㄱ, ㄴ. 양끝이 열린관인 플루트는 구멍이 열린 곳에서 배가 만들어진다. 이때 플루트의 구멍을 모두 막게 되면 플루트 양끝에만 배가 만들어지기 때문에 가장 파장이 길어지게 되며 진동수가 작아 가장 낮은 소리가 난다.

ㄷ. 첼로의 누르는 위치를 아래로 할수록 현에 발생하는 정상파의 파장이 짧아진다. 따라서 진동수가 커지므로 높은 소리가 발생한다.

ㄹ. 첼로를 연주할 때 현을 진동시키면, 그 진동으로 발생한

소리가 첼로의 공명통에 전달되고, 공명통에서 발생한 소리와 공명 현상이 일어나 소리가 조화롭게 발생하는 것이다.

07. 답 ②

해설 ㄱ, ㄴ. 줄의 굵기가 굵을수록 선밀도가 커지게 된다. $v=\sqrt{\frac{T}{\rho}}$ 이므로 선밀도가 클수록 줄에 의한 소리의 속력은 줄어들고, $v=f\lambda$이므로 파장이 일정할 때 진동수가 줄어들게 되므로 낮은 소리가 난다.
ㄷ. 기타 줄의 길이가 길어지면 기타 줄에서 생기는 정상파의 파장도 길어지게 된다. 따라서 속력이 일정할 때 진동수는 파장에 반비례하므로, 진동수가 작아져 낮은 소리가 난다.

08. 답 ③

해설 ㄱ. 평균율에 의하면 각 음과 다음 음의 진동수의 차이는 약 1.06배이다. 미의 2배 진동수인 음은 한 옥타브 차이나는 높은 미가 된다.
ㄴ. 도 : 미 : 파 ≒ 12 : 15 : 16 으로 간단한 정수비가 아니기 때문에 화음을 이루지 않는다.
ㄷ. 두 음정 사이의 진동수가 1 : 2인 음정 관계를 옥타브라고 한다.

창의력 & 토론마당 46~49쪽

01

(1) 85Hz (2) 〈해설 참조〉

해설 (1) 숨구멍의 길이가 2m 이고, 이때 숨구멍은 양끝이 열린 관이므로, 기본 진동으로 공명이 일어나기 위한 조건은 다음과 같다.

$$L=\frac{\lambda_0}{2} \rightarrow \lambda_0 = 2L = 4\text{m}(\text{기본 진동의 파장})$$

$$f_0(\text{기본진동수}) = \frac{v}{\lambda_0} = \frac{340}{4} = 85(\text{Hz})$$

(2) 암컷 공룡의 숨구멍의 길이가 수컷보다 짧을 경우 숨구멍에서 만들어지는 소리의 기본 진동 파장이 더 짧아지고, 기본 진동수는 커지게 된다. 따라서 암컷이 수컷보다 더 높은 소리를 낸다.

02

〈 해설 참조 〉

해설 ㉠ 한쪽 끝만 열린 관이라고 가정할 경우 :

관 전체의 길이가 $\frac{1}{4}$ 파장의 홀수배일 때만 정상파가 발생한다.
주어진 문제에서 f_a는 기본 진동의 진동수가 된다. 이때 파동의 속력은 $v=f\times\lambda=f_a\times 4L$ 이다. 따라서 각 경우의 소리의 속력은 다음과 같다.

폭포	A	B	C	D	E	F
속력(m/s)	1079.2	2172.8	1195.6	1232	988	1280
25% 감속 속력(m)	809.4	1629.6	896.7	924	741	960

평균 속력 = 1324.6(m/s)
25% 감속 속력의 평균 속력 = 993.45(m/s)

㉡ 양쪽이 열린 관이라고 가정할 경우 :
$\lambda=2L$의 일 때 기본 진동을 한다. 이때 파동의 속력 $v=f\times\lambda=f_a\times 2L$ 이다. 각 경우의 소리의 속력은 다음과 같다.

폭포	A	B	C	D	E	F
속력(m/s)	539.6	1086.4	597.8	616	494	640
25% 감속 속력(m)	404.7	814.8	448.35	462	370.5	480

평균 속력 = 662.3(m/s)
25% 감속 속력의 평균 속력 = 496.725(m/s)
→ 공기 방울이 가득 찬 낙하하는 물에서 소리의 속도는 정지한 물에서의 소리의 속도인 1,400m/s보다 약 25% 정도 작을 수 있으므로 약 1050m/s 가 된다. 이것은 한쪽이 열린 관에서의 소리의 속력과 근접한다. 따라서 폭포의 진동은 한쪽 끝만 열린 관에서의 소리에 더 가깝다.

03

(1) 1.6m, 1.66m (2) 332m/s
(3) 207.5 Hz, 200Hz

해설 (1) 기주 공명 실험 장치에서 소리굽쇠에서 발생하는 소리의 파장은 첫번째 공명이 일어난 물의 높이와 두 번째 공명이 일어난 물의 높이의 차이의 2배가 된다.
즉, λ (소리 굽쇠 소리의 파장) = $2(l_1 - l_2)$
∴ 소리굽쇠 A, B의 파장을 각각 λ_A, λ_B라고 하면,
$\lambda_A = 2(118-38) = 160(\text{cm}) = 1.6(\text{m})$
$\lambda_B = 2(122.5-39.5) = 166(\text{cm}) = 1.66(\text{m})$
(2) 소리굽쇠 A, B를 동시에 울렸더니 2초 사이에 15회의 맥놀이 현상이 일어났으므로, 두 소리굽쇠의 진동수의 차이가 $\frac{15}{2}=7.5$ 이다.

두 경우 같은 온도의 공기속을 전파해 가는 음파의 속력 v는 각각 같고, $f=\frac{v}{\lambda}$ 이다.
소리굽쇠 A, B의 진동수를 각각 f_A, f_B라고 하면,
$f_A = \frac{v}{1.6}$, $f_B = \frac{v}{1.66}$

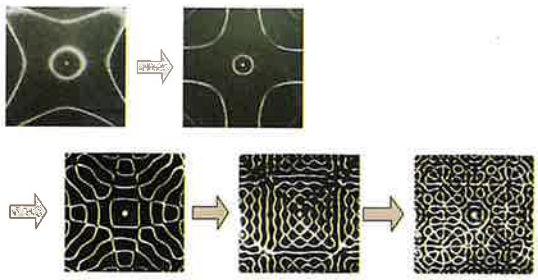
$$\therefore |f_A - f_B| = 7.5 = \frac{v}{1.6} - \frac{v}{1.66},\quad v = 332(\text{m/s})$$

(3) $f_A = \frac{332}{1.6} = 207.5(\text{Hz})$, $f_B = \frac{332}{1.66} = 200(\text{Hz})$

04

〈 해설 참조 〉

해설 (1) 양끝이 고정된 줄에서 발생하는 정상파와 비슷한 원리이다. 도형의 중심에서 발생하는 일정한 진동수의 파동이 퍼져나가다가 판의 끝에서 반사하게 된다. 입사하고 있는 파동과 반사한 파동이 서로 중첩되어 마루와 마루, 골과 골이 만나 배가 형성되고, 마루와 골이 만나 마디가 형성이 된다. 이때 진동하지 않는 점인 마디에는 모래 알갱이가 모이게 되고, 배인 부분에서는 모래가 마디 부분으로 흘러내려가게 되면서 판 위의 모래 알갱이들이 다양한 모양을 형성하게 되는 것이다. 형성되는 모양은 파원을 중심으로 대칭적인 모양을 보이게 된다. 이는 파원에서 거리가 같은 지점 사이에는 각각 같은 파장의 정상파가 만들어지기 때문이다.
(2) 다음 클라드니 패턴은 진동수가 점점 커지면서 변하는 모습을 나타낸 것이다.



이와 같이 진동수가 커질수록 클라드니 패턴은 점점 복잡해지고, 무늬 사이의 간격도 좁아지게 된다.

(3) (2)과 같이 같은 모양의 판에서도 진동수를 변화시켜 주면 클라드니 패턴의 모양이 변한다.
또는 같은 주파주에서도 판의 모양을 달리하면 다음 그림처럼 다른 모양의 클라드니 패턴의 모양이 생긴다.

05

〈 해설 참조 〉

해설 공명 현상이 일어나는 것을 방지하기 위해서는 줄에 정상파가 형성되지 않도록 해야 한다. 양끝이 고정된 줄에 정상파가 발생하기 위해서는 줄 전체의 길이(l)가 반 파장의 정수배일 때이다.

즉, $l = \frac{\lambda_n}{2}n \rightarrow \lambda_n = \frac{2l}{n}\ (n = 1, 2, 3, \cdots)$

줄 A(길이 $2L$), B(길이 $4L$)에 정상파가 형성될 때의 기본 진동수는 각각 다음과 같다.

$$f_A = \frac{v}{\lambda_A} = \frac{v}{4L},\ f_B = \frac{v}{\lambda_B} = \frac{v}{8L}$$

그림 (가)와 같이 높이가 L 인 위치에 수평 줄을 연결할 경우, A줄의 경우, 줄의 길이가 L 인 줄 두개로, 줄 B는 L , $3L$ 로 나뉘게 된다. 이때 줄 A에 정상파가 형성될 때의 기본 진동수는

$$f_{A(가)} = \frac{v}{2L}$$

줄 B에 정상파가 형성될 때의 기본 진동수는

㉠ 아래쪽 줄 : $f_{B(가)} = \frac{v}{2L}$, ㉡ 위쪽 줄 : $f_{B(가)} = \frac{v}{6L}$

따라서 같은 진동수의 바람이 불어 기본 진동수로 줄 A에 정상파가 일어나더라도 줄 B의 위쪽 줄에는 공명 현상이 일어나지 않는다.

그림 (나)와 같이 높이가 $2L$ 인 위치에 수평 줄을 연결할 경우, 줄 B는 $2L$, $2L$ 로 나뉘게 된다. 이때 줄 A에 정상파가 형성될 때의 기본 진동수는

$$f_{A(가)} = \frac{v}{4L}$$

줄 B에 정상파가 형성될 때의 진동수는

㉠ 아래쪽 줄 : $f_{B(가)} = \frac{v}{4L}$, ㉡ 위쪽 줄 : $f_{B(가)} = \frac{v}{4L}$

따라서 같은 진동수의 바람이 불어 기본 진동수로 줄 A에 정상파가 일어나면, 줄 B에도 정상파가 형성된다.

그러므로 (나)와 같은 위치에 줄을 연결하면 다리에 공명 현상이 일어날 확률이 더 높아지므로 그림 (가)와 같이 규칙적이지 않게 수평 줄을 연결하는 것이 다리에 공명 현상이 일어나는 것을 줄일 수 있는 방법이다.

스스로 실력 높이기 50~55쪽

01. (나) 02. 10, 100 03. 초저주파, 초음파
04. 0.0165 05. (1) X (2) O (3) O
06. 3 : 5 07. 100, 200, 300 08. 50, 150, 250
09. 고유 진동수(공명 진동수) 10. 1 : 2 11. ⑤
12. ㄱ. ⓑ ㄴ. ⓐ 13. ③ 14. ② 15. ④
16. ③ 17. ⑤ 18. ④ 19. ②
20. ㉠ 360 ㉡ 518.4 21. ② 22. ④
23. ㉠ 1,035 ㉡ 1,380 24. ③
25. 41.3 26. ④ 27. 323.6 28. ㉠ 8 ㉡ 7
29. ③ 30. ④ 31. (1) 210 (2) 18 (3) 11.7
32. ②

01. 답 (나)
해설 진동수가 클수록 더 높은 소리가 난다. (가)는 기본음과 진동수가 같기 때문에 같은 높이의 소리지만 진폭이 작으므로 작은 소리이다. (다)는 소리의 세기와 높이가 기본음과 같지만 파형이 다르므로 음색이 다르다.

04. 답 0.0165

해설 $v = f\lambda$ 이다. 소리의 진동수가 클수록 높은 소리가 난다. 따라서 사람이 들을 수 있는 가장 높은 소리의 파장 λ은 다음과 같다.

$$\lambda = \frac{\text{소리의 속력}}{\text{사람이 들을 수 있는 소리의 최대 진동수}} = \frac{330}{20,000}$$

$= 0.0165(\mathrm{m})$

05. 답 (1) X (2) O (3) O

해설 (1) 정상파의 배부분은 두 파동이 보강 간섭을 일으키는 부분으로 진폭이 최대가 된다. 두 파동이 상쇄 간섭을 일으키는 부분은 마디이다.

06. 답 3 : 5

해설 길이가 l 인 기타줄의 기본 진동수 $f = \frac{v}{2l}$ 이다. 이때 길이가 $\frac{3}{5}l$인 지점을 튕길 때 나오는 소리의 기본 진동수는

$f' = \frac{v}{2l'}$ 이고, $l' = \frac{3}{5}l$ 이므로 $f' = \frac{v}{2l} \times \frac{5}{3} = \frac{5}{3}f$

$$\therefore f : f' = 3 : 5$$

07. 답 100, 200, 300

해설 길이가 L 인 양 끝이 열린 관에서 만들어진 정상파의 기본 진동수 $f = \frac{v}{2L}n$ 이다.

$\therefore f_1(n=1) = \frac{330}{2 \times 1.65} = 100(\mathrm{Hz})$→기본 진동수

$f_2 = 2f_1 = 2 \times 100 = 200(\mathrm{Hz})$, $f_3 = 3f_1 = 3 \times 100 = 300(\mathrm{Hz})$ 이 된다. (이들을 조화 모드의 진동수라고 한다.)

08. 답 50, 150, 250

해설 길이가 L 인 한쪽 끝이 열린 관에서 만들어진 정상파의 기본 진동수 $f = \frac{v}{4L}(2n-1)$ 이다.

$\therefore f_1 = \frac{330}{4 \times 1.65} = 50(\mathrm{Hz})$, $(n=1)$→기본 진동수

$f_3 = 3f_1 = 3 \times 50 = 150(\mathrm{Hz})$, $(n=2)$

$f_5 = 5f_1 = 5 \times 50 = 250(\mathrm{Hz})$, $(n=3)$

10. 답 1 : 2

해설 한 옥타브 높은 음은 진동수가 2배인 음이다.

11. 답 ⑤

해설 ㄱ. 진폭이 작을수록 작은 소리이다.

ㄴ. 소리의 속력이 같으므로 파장과 진동수는 반비례한다. 또한, 1옥타브 차이나는 두 소리는 진동수가 2배 차이이다. (나)와 (다)의 진동수의 비는 2 : 1이므로 1옥타브 차이가 난다.

ㄷ. (다)는 진동수가 가장 작으므로 가장 낮은 소리를 나타낸다.

12. 답 ㄱ. ⓑ ㄴ. ⓐ

해설 초음파의 진동수가 높을수록 더 작은 차이도 구별할 수 있다. 따라서 금속이나 플라스틱의 검사에는 2,000 ~ 10,000kHz 의 높은 진동수의 초음파를 이용하고, 나무나 시멘트, 콘크리트로 된 구조물의 검사에는 50 ~ 500kHz의 낮은 진동수의 초음파를 이용한다.

13. 답 ③

해설 ㄱ.배가 4개가 있으므로 4배 진동임을 알 수 있다.

$\lambda_4 = \frac{2 \times 1.6}{4} = 0.8(\mathrm{m})$이다. (또는 두 마디 사이의 거리이다.)

1초에 4회 진동하였으므로 진동수는 4Hz이다. 파동의 속력

$v = f \times \lambda = 4 \times 0.8 = 3.2(\mathrm{m/s})$

ㄴ. $L = 160\mathrm{cm}$ 줄에서 정상파의 λ_1(기본 진동 파장)$= 2L = 3.2\mathrm{m}$이고, 기본 진동수$f_1 = \frac{v}{2L} = 1\mathrm{Hz}$이다.

진동수 $f_n = \frac{v}{2L}n = 1 \times n$ 으로 나타낼 수 있고, n은 정수이므로 2초에 9번 진동하는 정상파는 나타나지 않는다.

ㄷ. 입사파의 파장은 정상파의 파장과 같으므로 0.8m이다.

14. 답 ②

해설 관에서 소리가 발생하는 것은 공기의 진동에 의해 정상파가 발생하였기 때문이다.

$v = f \times \lambda$ → $340 = 85\mathrm{Hz} \times \lambda$ $\therefore \lambda = 4\mathrm{m}$

한쪽이 막힌 관에서 기본 진동이 발생할 때는 관의 길이가 $\frac{\lambda}{4}$ 일 때이다. 따라서 관의 길이는 1m(= 100cm)이다.

15. 답 ④

해설 팬파이프에서는 공기의 진동으로 관 안에서 정상파가 형성되어 소리가 발생하는 것이다.

ㄱ, ㄷ. 기본 진동에 의한 소리가 날 때, 관의 길이가 길수록 더 긴 파장의 정상파가 형성되고, 소리의 속력은 일정하므로 진동수 정상파의 진동수가 작아져 낮은 소리가 난다.

ㄴ. 열린쪽 입구에서는 정상파의 배가 만들어진다.

16. 답 ③

해설 그림 (가)와 같이 유리관 입구를 불면 유리관 속 공기의 진동에 의해 소리가 나게 된다. 이는 한쪽 끝이 막힌 관에서 정상파가 발생하는 것과 같고, 유리관 입구 쪽에는 배, 물과 닿는 부분에서는 마디가 생성된다. 따라서 유리관 속 물이 적게 채워져 있는 경우에는 관의 길이가 길 때에 해당하므로 파장이 커지고 진동수가 작아져서 낮은 소리가 난다. 유리관 입구를 불어서 소리를 내는 경우에는 물의 높이가 높을수록 높은 소리가 난다.

그림 (나)의 경우에는 유리관을 문질러서 소리를 내기 때문에 유리관의 진동에 의해 소리가 발생하게 된다. 이때 유리관에 채워진 물의 양이 많을수록 유리관의 진동이 둔해져 진동수가 작아지고 낮은 소리가 난다.

17. 답 ⑤

해설 ⑤ 각 정상파의 진동수는 다음과 같이 나타난다.

f(양끝이 열린 관)$= n\frac{v}{2l}$, f'(한쪽 끝이 닫힌 관)$= n'\frac{v}{4l}$

따라서 관의 길이(l)가 같을 때 양끝이 열린 관에서 발생하는 정상파의 기본 진동수가 더 크므로 더 높은 소리가 난다.

①, ② 관의 길이가 길어질수록 정상파의 파장이 길어진다. 소리의 속력은 일정하므로 파장이 길수록 진동수는 작아져서 낮은 소리가 난다.
③ 열려있는 구멍에서는 배가 형성된다.
④ 관의 길이가 일정할 때, 소리의 파장이 길어질수록 진동수가 작아지므로 더 낮은 소리가 난다.

18. 답 ④
해설 양 끝이 고정된 줄에서 정상파의 기본 진동수는

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$$

주어진 문제에서 줄에 발생하는 정상파의 속력은 일정하다.
$v = 2l \times f$ = 일정
$\therefore$ 64cm × 196Hz = l_A × 220Hz $\rightarrow l_A \fallingdotseq$ 57cm
기타 줄에서 A음의 파동의 속력은
$2l_A \times f_A = 2 \times 0.57 \times 220 = 25.8 \fallingdotseq 251$m/s

19. 답 ②
해설 $\lambda = \frac{v}{f}$ 이다.
공기 중에서 소리의 속력을 $v_공$, 진동수를 $f_공$, 파장을 $\lambda_공$ 라 하면, $\lambda_공 = \frac{340}{4.5 \times 10^6} = 7.55\cdots \times 10^{-5} \fallingdotseq 7.5 \times 10^{-5}$(m)
조직 내에서 소리의 속력을 $v_조$, 진동수를 $f_조$, 파장을 $\lambda_조$ 라 하면, $\lambda_조 = \frac{1,500}{4.5 \times 10^6} = 3.33\cdots \times 10^{-4} \fallingdotseq 3.3 \times 10^{-4}$(m)

20. 답 ㉠ 360 ㉡ 518.4
해설 ㉠ 길이가 l 인 줄의 양쪽 끝이 고정된 줄에서 기본 진동수 f 와 정상파의 파장 λ 과의 관계는 다음과 같다.

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{2l}$$

$\therefore v = 2l \times f = 2 \times 0.2 \times 900 = 360$m/s
㉡ 줄의 장력을 T (N), 줄의 선밀도를 ρ (kg/m)라고 할 때, 줄을 따라 전파되는 횡파(정상파)의 속도 v 는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}} \rightarrow T = v^2\rho,\ \rho = \frac{\text{선의 질량}}{\text{선의 길이}} = \frac{0.8 \times 10^{-3}}{0.2}$$

$$\therefore T = v^2\rho = 360^2 \times \frac{0.8 \times 10^{-3}}{0.2} = 518.4\text{(N)}$$

21. 답 ②
해설 양 끝이 고정된 줄에서 만들어진 정상파의 진동수는 다음과 같다. v 는 현에서의 파동의 전파 속력으로 일정하다.
고정대가 가운데 있을 때 : $\lambda = 2l = 2(m)$

$$(f_n = n\frac{v}{2l})\quad f = \frac{v}{2 \times 1} = \frac{v}{2}(\text{기본 진동수}(n = 1))$$

고정대를 왼쪽으로 20cm 이동시킨 후, 기본 진동수로 진동시켰을 때 왼쪽 줄의 기본 진동수를 f_1, 오른쪽 줄의 기본 진동수를 f_2라고 하면,

$$f_1 = \frac{v}{2 \times 0.8} = \frac{f}{0.8},\ f_2 = \frac{v}{2 \times 1.2} = \frac{f}{1.2}$$

이때 맥놀이 진동수가 50Hz였으므로 $|f_1 - f_2| = 50$이다.

$$\rightarrow \frac{f}{0.8} - \frac{f}{1.2} = 50 \qquad \therefore f = 120\text{(Hz)}$$

22. 답 ④
해설 공명이 일어나는 경우 관속에서 정상파가 발생한다. 음파의 속력이 v 일 때, 양 끝이 열린 관에서 관의 길이(L)와 정상파의 파장(λ_n), 진동수(f_n)의 관계는 다음과 같다.

$$\lambda_n = \frac{2L}{n},\ f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2L}$$

주어진 문제의 관속에서 정상파의 진동수 f_n

$$f_n = \frac{n \times 345}{2 \times 0.5} = 345n\ (\text{Hz})(n = 1, 2, 3\cdots)\text{이다.}$$

스피커 A가 발생시킬 수 있는 진동수의 범위는 1000 ~ 2000Hz 이므로,
$1000 = 345n \rightarrow n = 2.8985\cdots,\ 2000 = 345n \rightarrow n = 5.79715\cdots$
즉, 진동수 1000 ~ 2000Hz 범위에서 진동수 조건을 만족시킬 수 있는 정수값 n 은 3, 4, 5 가 있다. 따라서 관에서 소리를 낼 수 있는 진동수는 3개이다.

23. 답 ㉠ 1,035 ㉡ 1,380
해설 관에서 공명이 일어나는 가장 낮은 진동수는 $n = 3$ 일 때이며, 두 번째로 낮은 진동수는 $n = 4$ 일 때의 진동수이다.
$\therefore f_3 = 345 \times 3 = 1,035\text{(Hz)}, f_4 = 345 \times 4 = 1,380\text{(Hz)}$

24. 답 ③
해설 만약 군인들이 일정한 속도로 발을 맞춰서 진행한다면, 군인들의 단위 시간당 걸음수와 다리의 고유 진동수가 일치할 때 공명이 일어나 다리가 크게 진동하여 무너지게 될 것이다. 고유 진동수가 3 Hz 라는 것은 1초에 3번 진동한다는 의미이다. 따라서 군인들이 1초에 3번 다리에 진동을 주게 된다면 공명이 일어날 것이다. 즉, 1초에 3번 걸음을 내딛을 때 무너질 위험이 있는 것이다. 1초에 60 × 3 = 180cm를 진행하는 것이므로, 걸음의 속도는 180cm/초 이다.

25. 답 41.3
해설 길이가 l 인 줄의 양쪽 끝이 고정된 줄에서 기본 진동수 f 와 정상파의 파장 λ 과의 관계는 다음과 같다.

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n} = \frac{nv}{2l}$$

이때 줄의 장력을 T (N), 줄의 선밀도를 ρ (kg/m)라고 할 때, 줄을 따라 전파되는 횡파의 속도 v 는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}},\ \rho = 6.5 \times 10^{-4}\ (\text{kg/m})$$

공명이 일어나는 최소 진동수를 $f_1(n = n_1)$, 최대 진동수를 f_2 $(n = n_1 + 1)$라고 하면,

$$f_2 = \frac{n_1 + 1}{2l} \times v = f_1 + \frac{v}{2l} \rightarrow f_2 - f_1 = \frac{v}{2l} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

$\therefore T = (f_2 - f_1)^2 \times 4l^2 \times \rho$
$= (1300 - 880)^2 \times 4(0.3)^2 \times 6.5 \times 10^{-4} = 41.3\text{(N)}$

26. 답 ④

해설 음파는 공기의 밀한 부분과 소한 부분이 반복되어 진행하는 종파로, 입사파와 반사파가 중첩되어 반사판 앞쪽에 정상파를 만든다. 불꽃 모양 변화가 최소인 곳은 공기 진동의 진폭이 최소인 부분이며 정상파의 마디 부분이 된다. 음파의 파장은 2 × (마디에서 다음 마디 까지의 거리)이다. 주어진 문제에서 진폭이 최소인 지점 사이의 거리는 4.8 − 2.4 = 7.2 − 4.8 = 9.6 − 7.2 = 2.4cm 이므로, 음파 발생기에서 발생한 음파의 파장은 2 × 2.4cm = 4.8cm 이다.

$$\therefore f = \frac{v}{\lambda} = \frac{340}{0.048} \fallingdotseq 7{,}083(\text{Hz})$$

27. 답 323.6

해설 외부 진동에 의해 알루미늄 줄과 강철 줄에 정상파가 만들어졌으므로 두 도선에 발생한 진동수는 같지만, 파동의 속력과 파장은 다르다. 이때 두 줄의 연결점에는 정상파의 마디가 생긴다. 양끝이 고정된 줄일 경우, 줄 전체의 길이(l)가 반 파장의 정수배일 때만 정상파가 발생한다. 따라서 알루미늄 줄의 길이 l_1와 파장 λ_1, 속력 v_1의 관계는 다음과 같다.

$$l_1 = \frac{n_1\lambda_1}{2} = \frac{n_1 v_1}{2f} \rightarrow f = \frac{n_1 v_1}{2l_1},\ n_1 = \frac{2l_1 f}{v_1}$$

마찬가지로 강철 줄의 길이 l_2와 파장 λ_2, 속력 v_2의 관계는 다음과 같다.

$$l_2 = \frac{n_2\lambda_2}{2} = \frac{n_2 v_2}{2f} \rightarrow f = \frac{n_2 v_2}{2l_2},\ n_2 = \frac{2l_2 f}{v_2}$$

줄의 장력을 T (N), 줄의 선밀도를 ρ (kg/m)라고 할 때, 줄을 따라 전파되는 횡파(정상파)의 속도 v는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

따라서 알루미늄 줄과 강철 줄에 걸리는 장력은 T (추의 무게)로 같고, 각각의 선밀도를 ρ_1, ρ_2 라고 한다면 각 줄에서 발생하는 파동의 속력은 다음과 같다.

$$v_1 = \sqrt{\frac{T}{\rho_1}},\ v_2 = \sqrt{\frac{T}{\rho_2}}$$

$$\therefore \frac{n_2}{n_1} = \frac{l_2\sqrt{\rho_2}}{l_1\sqrt{\rho_1}} = \frac{0.88\sqrt{7.8\times10^{-3}}}{0.6\sqrt{2.6\times10^{-3}}} \fallingdotseq 2.5$$

그러므로 위의 조건을 만족하는 가장 작은 정수값은 $n_1 = 2$, $n_2 = 5$가 된다.

$$\therefore f = \frac{n_1}{2l_1}\sqrt{\frac{T}{\rho_1}} = \frac{2}{2\times0.6}\sqrt{\frac{10\times9.8}{2.6\times10^{-3}}} = 323.57\cdots$$

$\rightarrow f = 323.6(\text{Hz})$

28. 답 ㉠ 8 ㉡ 7

해설 알루미늄 선에서 2개(2배 진동), 강철 선에서 5개(5배 진동)의 배가 발생하므로, 배의 수는 총 7개 이고, 마디의 수는 양 끝점을 포함하여 총 8개의 마디가 생긴다.

29. 답 ③

해설 음파 간섭계에서 두 가지 경로 B, C의 경로차가 음파의 반파장의 짝수배일 때 D점에서의 음파의 세기가 최대가 된다.

경로차 $= \frac{\lambda}{2}\cdot 2m$ ($m = 0, 1, 2, \cdots$) - 보강 간섭이다.

$\frac{\lambda}{2}\cdot 2m = 0.8,\ 1.6,\ 2.4,\ \cdots$이므로 소리굽쇠에서 발생한 음파의 파장 $\lambda = 0.8(\text{m})$이다.

ㄱ. $v = f\lambda = 430\times0.8 = 344(\text{m/s})$이다. ㄴ. 소리굽쇠에서 발생한 음파의 파장과 C 경로를 지나온 음파의 파장은 같다. ㄷ. 경로차는 왼쪽으로 잡아당긴 거리 × 2 이다. 따라서 왼쪽으로 0.4m 당길 때마다 공명 현상이 일어난 것이다.

30. 답 ④

해설 ㄱ. 양끝이 고정된 길이 L인 줄에 형성되는 기본 진동을 하는 정상파의 파장은 $2L$이다. 정상파 A의 파장은 L, 정상파 B의 파장은 $2L$, 정상파 C의 파장은 $\frac{2}{3}L$ 이다.

ㄴ, ㄷ. 파동의 전파 속력은 $v = f\times\lambda$ 이다. 정상파 A의 속력은 $v_A = f_0\times L$, 같은 줄이므로 정상파 B와 C의 속력은 서로 같아서 $v_B = v_C = 2f_0\times 2L = 4f_0 L = 4v_A$ 가 된다.

$\therefore$정상파 C에서 진동수 $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{4f_0 L}{\frac{2}{3}L} = 6f_0$이다. 이것은 정상파 A보다 두 옥타브 높은 음이 아니다. 한 옥타브 높은 음은 진동수가 2배, 두 옥타브 높은 음은 진동수가 4배이다.

31. 답 (1) 210 (2) 18 (3) 11.7

해설 줄의 장력을 T (N), 줄의 선밀도를 ρ (kg/m)라고 할 때, 줄을 따라 전파되는 횡파(정상파)의 속도 v는 다음과 같다.

$$v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

이때 선밀도는 단위 길이당 질량으로, $\rho = \frac{\text{줄의 질량}}{\text{줄의 길이}}$ 이다.

$$\therefore v = \sqrt{\frac{49\times9}{0.01}} = 210\text{m/s}$$

(2) 기본 진동일 때 정상파의 파장이 가장 길다. 이때 파장은 줄의 길이 × 2이므로, 2 × 9 = 18(m)이다.

(3) 진동수 $f = \frac{v}{\lambda} = \frac{210}{18} \fallingdotseq 11.7$ Hz

32. 답 ②

해설 한쪽 끝이 막힌 관이므로 입구를 제외한 이웃한 공명 지점 사이의 거리가 $\frac{1}{2}\lambda$ 에 해당한다.

$99-33 = \frac{1}{2}\lambda,\ \lambda = 132$ cm

$$\therefore f(\text{진동수}) = \frac{v}{\lambda} = \frac{343}{1.32} \fallingdotseq 260 \text{ Hz}$$

따라서 (진동수) 261Hz인 '도'음과 가장 가까운 음이 소리굽쇠에서 발생한다. 두 음의 진동수의 비가 간단한 정수비일 때 화음이라고 할 수 있다.

① 도 : 도 ≒ 1 : 1(2), ② 도 : 레 ≒ 8 : 9,
③ 도 : 미 ≒ 4 : 5, ④ 도 : 솔 ≒ 3 : 4
가장 화음을 이루지 않는 것은 '레'이다.

18강. 빛 I

개념 확인 56~59쪽

1. ㉡, ㉡, ㉠ **2.** 상쇄, 보강 **3.** ㉡ **4.** ⑤

3. 답 ㉡

해설 빛의 회절 무늬 간격은 동일한 조건일 때 파장이 짧을수록 좁아진다. 따라서 파장이 더 짧은 청색광을 사용할 경우가 회절 무늬의 간격이 더 좁다.

확인+ 56~59쪽

1. 4×10^{-4} **2.** (1) ㉠ (2) ㉡ **3.** 2.625 **4.** ②, ⑤

1. 답 4×10^{-4}

해설 인접한 밝은(또는 어두운) 무늬 사이의 간격(Δx)은 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 슬릿 사이의 간격이 d, 빛의 파장이 λ 일 때 다음과 같다.

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

$$\therefore \lambda = \frac{0.2\times2}{1000} = 0.0004 = 4\times10^{-4}(\text{mm})$$

2. 답 (1) ㉠ (2) ㉡

해설 주어진 문제의 경우 기름막의 굴절률이 공기보다 크고, 유리판보다 작다. 따라서 기름막의 윗면과 아랫면에서 모두 위상이 반대가 되는 고정단 반사가 일어나게 되므로 반사 광선의 위상은 모두 입사 광선과 반대가 된다.

3. 답 2.625

해설 단일 슬릿에서 보강 간섭이 일어날 조건은 다음과 같다.

$$d\sin\theta = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad (m=1, 2, 3, \cdots)$$

이때 슬릿과 스크린 사이의 거리가 슬릿의 간격이나 무늬 사이의 거리보다 매우 크므로, $d\sin\theta \fallingdotseq d\tan\theta = \frac{dx}{L}$가 된다.

$$\therefore \frac{dx}{L} = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \rightarrow x = \frac{L\lambda}{2d}(2m+1)$$

중앙점에서 세 번째 밝은 무늬까지의 거리인 x 값은 $m=3$ 일 때이다. ($3000\,\text{Å} = 3000\times10^{-10}\text{m} = 0.0003\text{ mm}$)

$$\therefore x = \frac{500\times0.0003}{2\times0.2}(2\times3+1) = 2.625(\text{mm})$$

4. 답 ②, ⑤

해설 전반사는 빛이 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행할 때 일어나며, 입사각이 임계각보다 커야 한다.

개념 다지기 60~61쪽

01. ④	**02.** ②	**03.** ①	**04.** ③
05. ④	**06.** 1,100	**07.** ④	**08.** ②

01. 답 ④

해설 무늬 사이의 간격 $\Delta x = \frac{l\lambda}{d}$ 이므로, d를 좁게 하거나 슬릿과 스크린 사이의 거리 l을 길게 하면 간섭 무늬 사이의 간격이 넓어진다.

02. 답 ②

해설 상쇄 간섭이 일어날 조건 :

$$S_1P \sim S_2P = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad (m=0, 1, 2, \cdots)$$

첫번째 어두운 무늬는 $m=0$ 일 때이므로,

$$S_1P \sim S_2P = \frac{4000}{2}(2\times0+1) = 2{,}000(\text{Å})$$

03. 답 ①

해설 얇은 막의 윗면과 아랫면에서 반사하는 두 빛의 경로차는 $2nd\cos\theta$이다. 문제의 그림에서는 윗면에서는 고정단 반사, 아랫면에서는 자유단 반사가 일어나므로 상쇄 간섭(어두운 무늬)이 일어날 조건은 다음과 같다.

$$\text{광로차} = 2nd\cos\theta = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad (m=0, 1, 2, \cdots)$$

빛이 수직으로 입사하는 경우 $\theta = 0°$이므로,

$2nd = \lambda m$ $(m=0, 1, 2, \cdots)$, $m=1$일 때 d는 최소가 된다.

$$d = \frac{\lambda}{2n} = \frac{\lambda}{2\times1.5} = \frac{\lambda}{3}$$

04. 답 ③

해설 얇은 막의 굴절률이 위의 매질보다 크고, 아래 매질보다 작을 경우, 위에서 입사한 빛의 얇은 막의 위쪽 면과 아래쪽 면에서 이루어지는 반사는 모두 고정단 반사이다. 이때 위에서 봤을 때 빛의 간섭 조건은 변하지 않는다.

05. 답 ④

해설 ①, ③ 빛의 회절 무늬의 간격은 파장이 길수록, 슬릿의 간격이 좁을수록, 슬릿과 스크린 사이의 거리가 클수록 넓어진다.

② 빛의 회절 현상은 빛의 파동 성질을 나타내는 증거가 된다.

⑤ 빛의 회절에 의한 밝은 무늬는 단일 슬릿의 양쪽 경계를 통과한 두 빛의 광로차가 반파장의 홀수배일 때 일어난다.

06. 답 1,100

해설 어두운 무늬가 생기는 상쇄 간섭이 일어날 조건은 빛의 경로차가 반파장의 짝수배일 때이다. 즉,

$d\sin\theta = \frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m=1, 2, 3, \cdots)$ 을 만족할 때이다.

첫 번째 어두운 부분은 $m=1$ 일 때이므로,

$$d\sin30° = \frac{550}{2}(2\times1) = 550, \quad \sin30° = \frac{1}{2}$$

$\therefore d = 1{,}100(\text{nm})$

07. 답 ④

해설 입사각이 임계각(i_c)보다 클 경우 빛은 경계면에서 전반사한다.

$$\frac{\sin i_c}{\sin 90^\circ} = \frac{n_{공기}}{n_{매질\,A}} = \frac{1.0}{1.5} \rightarrow \sin i_c = \frac{1.0}{1.5}$$

이때 전반사는 임계각보다 클 경우 일어나므로

$$\sin\theta > \sin i_c = \frac{1.0}{1.5}$$

08. 답 ②

해설 ㄱ. 편광 현상은 빛이 횡파라는 증거이다.
ㄷ. 실험 (B)에서도 빛을 관측할 수는 있다. 이때 빛의 밝기는 실험 (A)에서보다 흐리다. 편광판을 90° 회전시킬 때 빛은 두 편광판을 통과할 수 없다.

유형 익히기 & 하브루타 62~65쪽

[유형 18-1] ⑤	01. ②	02. ④
[유형 18-2] ④	03. ②	04. ③
[유형 18-3] ③	05. ③	06. ④
[유형 18-4] ②	07. ③	08. ①

[유형 18-1] 답 ⑤

해설 ㄱ. 간섭 무늬 사이의 간격은 파장이 길어질수록, 슬릿과 스크린 사이의 간격(L)이 멀어질수록, 슬릿 사이의 간격(d)이 좁을수록 넓어진다.
ㄴ. 이중 슬릿을 통과한 두 빛의 경로차가 반파장의 짝수배일 때는 보강 간섭이 일어나서 밝은 무늬가 생긴다.
ㄷ. 단일 슬릿은 이중 슬릿에 도달하는 두 단색광의 위상을 같게 하여 간섭 현상이 광로차에 의해서만 일어날 수 있도록 해준다.

01. 답 ②

해설 O점에는 밝은 무늬가 생기므로 O~P 는 밝은 무늬 사이 간격(Δx)과 같다. Δx 는 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 슬릿 간격이 d, 빛의 파장이 λ 일 때 다음과 같다.

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

$$\therefore \lambda = \frac{(3\times10^{-3})(2\times10^{-5})}{0.15} = 4\times10^{-7}(\text{m}) = 4{,}000(\text{Å})$$

02. 답 ④

해설 인접한 밝은(또는 어두운) 무늬 사이의 간격(Δx)은 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 슬릿 사이의 간격이 d, 빛의 파장이 λ 일 때 다음과 같다.

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

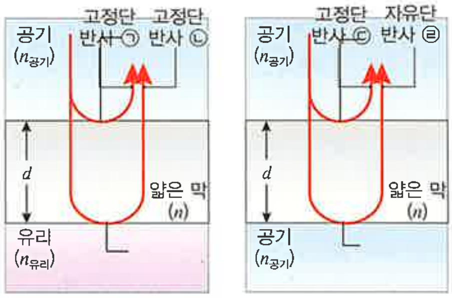
$$1\times10^{-3}\text{m} = \frac{L\times500\times10^{-9}\text{m}}{0.5\times10^{-3}\text{m}} \rightarrow L = 1(\text{m})$$

두 번째 실험에서 슬릿 사이의 간격을 d'라고 하면,

$$d' = \frac{L\lambda'}{\Delta x'} = \frac{1\times600\times10^{-9}\text{m}}{2.5\times10^{-3}\text{m}} = 2.4\times10^{-4}(\text{m})$$

[유형 18-2] 답 ④

해설 고정단 반사는 파동이 소한 매질에서 밀한 매질로 입사하면서 반사할 때 일어나는 반사이며, 자유단 반사는 밀한 매질에서 소한 매질로 입사하면서 반사할 때 일어나는 반사이다.



(가) (나)

ㄱ. ㉣은 자유단 반사이므로 반사 광선의 위상은 변하지 않는다.
ㄴ. (나)의 경우에는 얇은 막의 윗면에서는 고정단 반사, 아랫면에서는 자유단 반사가 일어나기 때문에 어두운 무늬가 생기는 상쇄 간섭은 반사한 두 빛의 광로차가 반파장의 짝수배일 때 일어난다.
ㄷ. 얇은 막에서 반사한 빛이 매우 약하다는 것은 반사한 두 빛이 서로 상쇄 간섭한다는 것이다. 위에서 봤을 때 두 빛은 모두 고정단 반사이므로
(가)에서 상쇄 간섭이 일어날 조건:

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$$

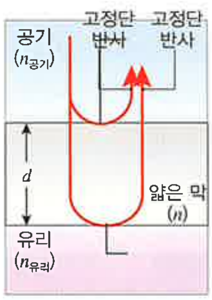
이때 얇은 막의 최소 두께는 $m = 0$ 일 때이므로,

$$2nd = \frac{\lambda}{2} \rightarrow d = \frac{\lambda}{4n} \text{ 이다.}$$

03. 답 ②

해설

유리에서 반사되는 빛을 없애기 위해 굴절률이 $\frac{6}{5}$ 인 투명한 막으로 코팅을 하였으므로, 얇은 막의 굴절률이 위의 매질보다 크고, 아래 매질보다 작을 경우의 빛의 간섭이 일어나는 상황이다. ($n_{유리} > n_{막} > n_{공기}$)



따라서 얇은 막의 윗면과 아랫면에서 모두 위상이 반대가 되는 고정단 반사가 일어나고, 유리에서 반사되는 빛을 없애기 위해서는 빛의 상쇄 간섭의 조건을 만족해야 한다.

$$\therefore 2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$$

막의 최소 두께는 $m = 0$ 일 때이다.

$$\therefore d = \frac{\lambda}{4n} = \frac{480}{4\times\frac{6}{5}} = 100(\text{nm})$$

04. 답 ③

해설 기름막의 굴절률은 위아래의 공기보다 굴절률이 크기 때문에 기름막의 윗면에서는 고정단 반사, 아랫면에서는 자유단 반사를 한다. 따라서 보강 간섭이 일어날 조건은 다음과 같다.

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$$

$$\rightarrow \lambda = \frac{4nd}{2m+1} = \frac{4 \times 1.47 \times 5 \times 10^{-7}}{2m+1} \text{ (m)}$$

$\therefore m = 0 \rightarrow \lambda = 29{,}400\,\text{Å}$

$m = 1 \rightarrow \lambda = 9{,}800\,\text{Å}$

$m = 2 \rightarrow \lambda = 5{,}880\,\text{Å}$

$m = 3 \rightarrow \lambda = 4{,}200\,\text{Å}$

[유형 18-3] 답 ③

해설 ㄱ. 광원과 단일 슬릿 사이의 간격 L_1은 무늬 사이의 간격에 영향을 주지 않는다.

ㄴ. 인접한 밝은(또는 어두운) 무늬 사이의 간격(Δx)은 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 단일 슬릿의 폭이 d, 빛의 파장이 λ일 때, $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$가 된다.

d와 L을 두 배로 해도, $\Delta x = \frac{2L\lambda}{2d} = \frac{L\lambda}{d}$ 이므로, 무늬 사이의 간격은 변함이 없다.

ㄷ. 빨간색 빛은 파란색 빛보다 파장이 길다. 따라서 무늬 사이의 간격이 더 넓게 나타난다.

05. 답 ③

해설 빛의 회절 무늬 간격은 슬릿의 간격이 좁을수록 넓어진다. 가로의 슬릿 간격이 더 좁고, 세로의 간격이 더 넓은 틈일 때 그림과 같은 모양의 회절 무늬가 생긴다.

06. 답 ④

해설 ㄱ. 단일 슬릿에 의한 회절 무늬는 스크린 중앙의 무늬가 가장 밝고, 다른 밝은 무늬의 폭의 2배이다.

ㄴ. 슬릿의 폭을 줄이면 빛의 회절 무늬의 간격이 넓어진다. 따라서 폭 d를 줄이면 P점은 ㉠ 방향으로 이동한다.

ㄷ. 어두운 무늬가 생기는 지점은 슬릿의 양쪽 끝(가장자리)을 통과한 두 빛의 경로차가 반파장의 짝수배인 지점이다. 즉, 슬릿의 중앙과 가장 자리를 각각 통과한 두 빛의 경로 차는 $\frac{\lambda}{2}$이다.

[유형 18-4] 답 ②

해설 ㄱ. 전반사는 밀한 매질에서 소한 매질로 빛이 진행할 때 일어나는 현상이다. 따라서 $n_B > n_A$ 이다.

ㄴ. $\sin\theta = \frac{n_A}{n_B}$ 이다.

ㄷ. 빛의 속력 $= \frac{c}{n}$ (c는 빛의 속력으로 3×10^8m/s 이다.)이다. 즉, 굴절률이 클수록 빛의 속력은 느려진다. 공기에서 물체 B로 진행할 때 입사각이 굴절각보다 크므로, 공기의 굴절률보다 물체 B의 굴절률이 더 큰 것을 알 수 있다.

ㄹ. 입사각 i가 커지면, 굴절각도 커지게 되고, 입사각은 θ보다 작아진다. 현재 θ는 임계각이고, 빛이 B에서 A로 진행할 때, 입사각이 θ보다 작아지므로 전반사하지 않는다.

07. 답 ③

해설 ㄱ. 광섬유의 중심부에는 굴절률이 큰 유리인 코어가 있고, 그 주위를 굴절률이 작은 유리인 클래딩이 감싸고 있는 구조로 되어 있다.

ㄴ. 빛은 코어 내부에서 진행한다.

08. 답 ①

해설 빛의 편광 현상은 빛이 진행 방향과 수직인 모든 방향으로 진동하는 횡파라는 증거이다.

ㄱ. 빛이 가장 밝게 보이고 있으므로, 두 편광판의 편광축이 나란하게 배치되어 있는 경우이다.

ㄴ. 편광판을 180° 회전하여도 기존의 편광축의 방향과 같기 때문에 빛은 가장 밝게 보인다. 편광판을 90° 회전할 때 빛이 가장 어둡게 보인다.

ㄷ. 편광판의 위치를 바꿔도 편광축의 방향은 변함이 없기 때문에 밝기 변화는 없다.

창의력 & 토론마당 66~69쪽

01

(1) P점 : 자유단 반사, Q점 : 고정단 반사

(2) 해설 참조 (3) $\Delta x = \frac{\lambda L}{2h}$

해설 (1) P점에서는 밀한 매질(유리)에서 소한 매질(공기)로 빛이 진행하기 때문에 자유단 반사가 일어나며, Q점에서는 소한 매질(공기)에서 밀한 매질(유리)로 빛이 진행하기 때문에 고정단 반사가 일어난다.

(2) P에서 반사된 빛과 Q에서 반사된 두 빛 사이의 광로차는 $2d_1$ 이다. 또 두 빛의 위상차가 $\pi(180°) = \frac{\lambda}{2}$ 이므로 다음과 같이 간섭 조건이 성립한다.

$\Delta = 2d_1 = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$: 보강 간섭

$\Delta = 2d_1 = \frac{\lambda}{2}(2m) \quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$: 상쇄 간섭

(3) 인접한 어두운 무늬를 이루는 공기층의 두께를 각각 d_1, d_2라고 하고, 무늬폭을 Δx, 유리판이 떨어져 있는 높이를 h, 유리판의 길이가 L 이라고 하면

상쇄 간섭 조건 : $2d_1 = \frac{\lambda}{2}(2m)$, $2d_2 = \frac{\lambda}{2}(2(m+1))$이고,

두 식에서 $2(d_2 - d_1) = \lambda$ 이다.

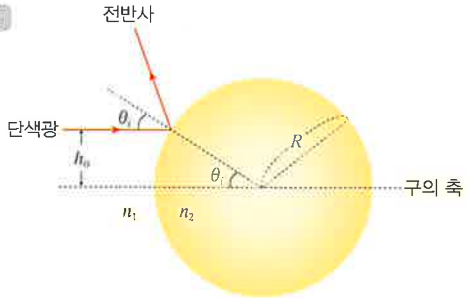
$$\tan\theta = \frac{d_2 - d_1}{\Delta x} = \frac{h}{L}, \quad d_2 - d_1 = \frac{\lambda}{2}$$

$$\therefore \Delta x = \frac{L}{h}(d_2 - d_1) = \frac{\lambda L}{2h}$$

02

(1) $h_0 > h_c$　　(2) $h_c = \dfrac{n_2}{n_1}R$

해설



(1) 전반사는 빛이 밀한 매질에서 소한 매질로 진행할 때 일어나므로 $n_1 > n_2$이다. 주어진 문제에서 입사각이 θ_i일 때 전반사가 일어나고 있고, 임계각(θ_c)은 θ_i 보다 작다. $\theta_i > \theta_c$ → $\sin\theta_i > \sin\theta_c$이다.

$\sin\theta_i = \dfrac{h_0}{R}$, $\sin\theta_c = \dfrac{h_c}{R}$ 이므로, $\dfrac{h_0}{R} > \dfrac{h_c}{R}$ 이다.

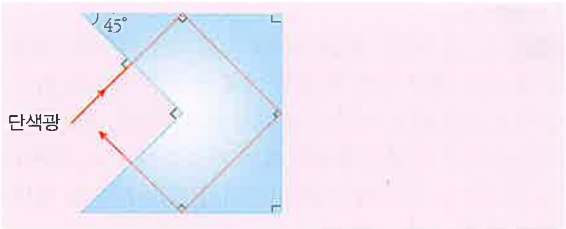
따라서 $h_0 > h_c$가 된다.

(2) 빛이 임계각으로 입사하면 굴절각은 90° 가 된다.

$n_{12} = \dfrac{\sin\theta_c}{\sin 90°} = \dfrac{n_2}{n_1}$ → $\sin\theta_c = \dfrac{n_2}{n_1}$가 되므로,

$\sin\theta_c = \dfrac{h_c}{R} = \dfrac{n_2}{n_1}$ → $h_c = \dfrac{n_2}{n_1}R$

03



해설 유리에서 공기 중으로 진행할 때 임계각인 42° 보다 큰 각도로 입사하면 빛은 전반사한다. 입사각이 모두 45° 이므로 빛은 각각의 면에서 전반사한다.

04

400nm

해설 굴절률은 $n_{유리} > n_{황화\ 아연} > n_{공기}$ 이다. 따라서 코팅된 황화 아연의 윗면과 아랫면에서 모두 고정단 반사가 일어난다. 따라서 보강 간섭이 일어나는 조건은

$2nd = \dfrac{\lambda}{2}(2m)$　$(m = 0, 1, 2, \cdots)$

반사광의 세기가 최소가 되는 상쇄 간섭 조건은

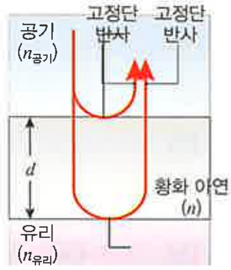
$2nd = \dfrac{\lambda}{2}(2m+1)$　$(m = 0, 1, 2, \cdots)$ 이다.

실험이 시작한 후 20분이 지난 시점은 코팅을 시작하고, 두 번째 밝을 때이므로, 보강 간섭 조건에서 $m = 2$ 일 때를 적용한다. ($m = 0$ 일 때는 막의 두께가 0인 경우이다.)

$2nd = \dfrac{\lambda}{2}(2m)$

$\rightarrow d = \dfrac{\lambda}{4n}(2m)$

$= \dfrac{500 \times 4}{4 \times 1.25} = 400(\text{nm})$



05

0.296 (m)

해설 빛의 파장이 사진기의 렌즈 지름(d)에 비해 매우 작기 때문에 θ는 매우 작으며, 이런 경우 근사적으로 $\sin\theta \approx \tan\theta \approx \theta$ 로 놓을 수 있다.

따라서 $\dfrac{1.22\lambda}{\text{렌즈의 지름}(d)} = \dfrac{\Delta x}{h}$ → $d = \dfrac{1.22\lambda h}{\Delta x}$

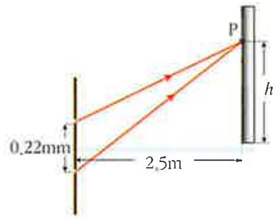
$\therefore d = \dfrac{1.22 \times 607 \times 10^{-9} \times 200 \times 10^{3}}{0.5} \doteq 0.296$

첩보 위성 사진기 렌즈 최소 지름은 약 0.296(m) 이다.

06

(1) 2.5×10^{-3}(m)　　(2) 1.25(m)

해설



거울에서 반사된 빛과 직접 오는 빛의 간섭 현상으로 스크린에 무늬가 나타나므로 위 그림과 같은 이중 슬릿과 같다고 볼 수 있다. 하지만 거울에서 반사한 빛은 고정단 반사를 하므로 위상이 180° 변하게 된다. 따라서 보강 간섭의 조건은 다음과 같다. (무늬 사이의 간격이 x, 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 슬릿 사이의 간격이 d, 빛의 파장이 λ 일 때)

$$\frac{dx}{L} = \frac{\lambda}{2}(2m+1)\quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$$

이때 $d = 2.2 \times 10^{-4}$(m), $\lambda = 440 \times 10^{-9}$(m), $m = 0$(첫 번째 밝은 무늬), $x = h$, $L = 2.5$(m)가 되므로 h는

$h = \dfrac{440 \times 10^{-9} \times 2.5}{2 \times 2.2 \times 10^{-4}} = 2.5 \times 10^{-3}(\text{m})$

(2) P점에 어두운 무늬가 나타날 때 스크린과 슬릿 사이의 거리를 L'라고 하면,

어두운 무늬가 나타날 조건(상쇄 간섭)은 다음과 같다.

$$\frac{dh}{L'} = \frac{\lambda}{2}(2m)\quad (m = 0, 1, 2, \cdots)$$

이때 $m = 1$이므로 ($m = 0$일 때는 중앙 어두운 무늬이다.)

$L' = \dfrac{2.2 \times 10^{-4} \times 2.5 \times 10^{-3}}{440 \times 10^{-9}} = 1.25(\text{m})$

스스로 실력 높이기 70~77쪽

01. ㉠, ㉡ 02. 3×10^{-7}
03. ㅁ-ㄹ-ㄷ-ㄴ-ㄱ 04. ④
05. 1.15×10^{-7} 06. ㄱ, ㄷ 07. 8×10^{-7}
08. ⑤ 09. ㉠ 임계각 ㉡ 90°
10. ㉠ 횡파 ㉡ 편광 11. ③ 12. ② 13. ④
14. ⑤ 15. 350 16. ③ 17. ⑤ 18. ⑤
19. ③ 20. ⑤ 21. ④ 22. 2.1×10^{-7}
23. 417 24. ⑤ 25. 2×10^{-7}
26. (1) 468 (2) 624 27. 4,900
28. 10^{-6} 29. ③ 30. 2.7 31. ⑤
32. 2.25

02. 답 3×10^{-7}
해설 인접한 밝은(또는 어두운) 무늬 사이의 간격이 Δx, 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 슬릿 사이의 간격이 d, 빛의 파장이 λ 일 때

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d} \rightarrow \lambda = \frac{\Delta x d}{L} \text{ 이다.}$$

$$\therefore \lambda = \frac{(0.1\times10^{-3})(1.5\times10^{-2})}{5} = 3\times10^{-7}(\text{m})$$

03. 답 ㅁ-ㄹ-ㄷ-ㄴ-ㄱ
해설 이중 슬릿에 의한 간섭 무늬 사이의 간격은 동일한 조건일 때, 파장이 짧을수록 좁다.

04. 답 ④
해설 고정단 반사는 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 진행하면서 반사할 때, 자유단 반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 진행하면서 반사할 때 일어난다.

05. 답 1.15×10^{-7}
해설 굴절률의 관계가 $n_{물} > n_{기름} > n_{공기}$일 때 어두운 무늬가 생기는 상쇄 간섭이 일어날 조건은 다음과 같다.

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1)\ \ (m=0, 1, 2, \cdots) \rightarrow d = \frac{\lambda}{4n}(2m+1)$$

$m=0$일 때 d는 최소이다.

$$\therefore d = \frac{600\times10^{-9}}{4\times1.3} = 1.15\times10^{-7}(\text{m})$$

06. 답 ㄱ, ㄷ
해설 x(무늬 사이 간격) $= \frac{L\lambda}{d}$ (L : 슬릿과 스크린 사이 거리, λ : 빛의 파장, d : 단일 슬릿의 폭)이다.

07. 답 8×10^{-7}
해설 단일 슬릿에서 스크린에 어두운 무늬가 생기는 조건 :

$$d\sin\theta = \frac{\lambda}{2}(2m)\ \ (m=1, 2, 3, \cdots)(d : \text{단일슬릿의 폭})$$

주어진 문제에서 최초의 어두운 무늬이므로 $m=1$이고, $\theta = 30°(\sin30° = \frac{1}{2})$이므로

$$d\sin30° = 1\times4\times10^{-7} \qquad \therefore d = 8\times10^{-7}(\text{m})$$

08. 답 ⑤
해설 전반사는 굴절률이 큰 매질에서 작은 매질로 빛이 진행하면서 경계면에서 빛이 모두 반사되는 경우이다.

11. 답 ③
해설 인접한 밝은(또는 어두운) 무늬 사이의 간격(Δx)은 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 슬릿 사이의 간격이 d, 빛의 파장이 λ 일 때, $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 가 된다.

① $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ ② $\Delta x = \frac{2L\lambda}{2d} = \frac{L\lambda}{d}$ ③ $\Delta x = \frac{2L\cdot2\lambda}{d} = \frac{4L\lambda}{d}$
④ $\Delta x = \frac{L\cdot2\lambda}{2d} = \frac{L\lambda}{d}$ ⑤ $\Delta x = \frac{2L\cdot2\lambda}{4d} = \frac{L\lambda}{d}$

12. 답 ②
해설 영의 실험 간섭 무늬는 두개의 슬릿을 통과한 두 빛이 간섭하여 생긴다. 이때 두 빛의 광로차(B~C)가 반파장($\frac{\lambda}{2}$)의 짝수 배일 때 밝은 무늬가 생긴다.

13. 답 ④
해설 ①, ② 이중 슬릿에 의한 빛의 간섭 무늬는 이중 슬릿을 통과한 빛의 간섭 현상에 의해 스크린 중앙의 밝은 무늬를 중심으로 밝고, 어두운 무늬가 대칭적으로 나타난다. 이때 O 점은 이중 슬릿을 통과한 빛의 경로차가 0 인 지점이다.
③, ④, ⑤ 은 슬릿과 스크린 사이의 거리 l, 슬릿 사이의 간격 d, 빛의 파장 λ 일 때

$$\text{무늬 사이의 간격}(\Delta x) = \frac{l\lambda}{d}$$

따라서 d, l, x를 알면, 빛의 파장(λ)을 알 수 있다.

14. 답 ⑤
해설 얇은 막의 윗면과 아랫면에서 모두 위상이 반대가 되는 고정단 반사가 일어난다. 유리에서 반사되는 빛이 없으려면 막의 윗면과 아랫면에서 각각 반사되는 두 빛이 상쇄 간섭해야 한다.

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1)\ \ (m=0, 1, 2, \cdots)$$

$m=0$ 일 때 막의 두께 d는 최소가 된다.

$$\therefore d = \frac{\lambda}{4n} = \frac{5{,}600\times10^{-10}}{4\times1.4} = 1\times10^{-7}(\text{m}) = 1\times10^{-4}(\text{mm})$$

15. 답 350
해설 단일 슬릿에서 어두운 무늬 조건 ;

$$d\sin\theta = \frac{\lambda}{2}(2m)\ \ (m=1, 2, 3, \cdots)$$

같은 실험 장치이므로 광로차 $d\sin\theta$가 같고, 최초의 어두운 무늬는 $m=1$, 두 번째 어두운 무늬는 $m=2$ 일 때 이므로,

$\frac{700}{2}(2 \cdot 1) = \frac{\lambda_B}{2}(2 \cdot 2) \rightarrow 2\lambda_B = 700 \quad \therefore \lambda_B = 350(\text{nm})$

16. 답 ③

해설 ㄱ. 빛의 밝기는 무늬 사이의 간격과 관계없다.

ㄴ, ㄷ. 회절 무늬 사이의 간격(Δx)은 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 단일 슬릿의 폭이 d, 빛의 파장이 λ 일 때, $\Delta x = \frac{L\lambda}{d}$ 가 된다. 이때 초록색보다 파장이 긴 빨간색 빛을 이용하면 회절 무늬 사이의 간격이 넓어지므로, 같은 넓이의 스크린에 나타나는 밝은 점의 수는 줄어든다.

ㄹ. 스크린과 슬릿 사이가 멀어지면 회절 무늬 사이의 간격이 넓어지므로 밝은 점의 수는 줄어든다.

ㅁ. 슬릿의 폭이 넓어지면 회절 무늬 사이의 간격이 좁아지므로, 밝은 점의 수는 늘어난다.

17. 답 ⑤

해설 ㄱ. 광원의 빛이 전반사되는 것으로 보아 매질 2의 굴절률이 매질 1의 굴절률보다 큰 것을 알 수 있다.

ㄴ. 굴절 법칙에 의해 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$ 가 되므로, 굴절률이 작은 매질로 진행하는 빛의 파장은 길어진다.

ㄷ. 소한 매질에서 밀한 매질에 있는 물체를 볼 때, 실제보다 물체가 떠 보인다.

ㄹ. 빛이 전반사하므로 광원이 보이지 않는다.

18. 답 ⑤

해설 ㄱ. 편광판은 특정한 방향으로 진동하는 빛만을 통과시키는 판이다. 복색광을 단색광으로 나누어 내는 것은 분광기이다. 따라서 편광축을 이용하여 자연광을 보는 경우 단색광을 볼 수는 없다.

ㄴ. 자연광은 진행 방향과 수직인 방향으로 진행하는 횡파이므로 편광판 B를 90° 회전하면 빛은 통과하지 못하게 된다.

ㄷ. 두 편광판의 축이 나란할 경우 빛은 두 편광판을 모두 통과하므로 관찰자가 측정하는 빛의 세기와 O점에서 측정하는 빛의 세기는 같다.

19. 답 ③

해설 인접한 밝은(또는 어두운) 무늬 사이의 간격(Δx)은 슬릿과 스크린 사이의 간격이 L, 슬릿 사이의 간격이 d, 빛의 파장이 λ 일 때 다음과 같다.

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{d} = \frac{4000 \times 10^{-10} \times 3}{0.15 \times 10^{-3}} = 8 \times 10^{-3}(\text{m}) = 8(\text{mm})$$

같은 실험을 물속에서 할 경우 빛의 파장이 변하게 된다. 물속에서 빛의 파장 $\lambda_{물}$ 은 다음과 같다.

$$\lambda_{물} = \frac{\lambda}{n} = \frac{4000\,\text{Å}}{\frac{4}{3}} = 3000\,\text{Å}$$

$$\Delta x_{물} = \frac{3000 \times 10^{-10} \times 3}{0.15 \times 10^{-3}} = 6 \times 10^{-3}(\text{m}) = 6(\text{mm})$$

(파장 $\frac{3}{4}$배 → 무늬 사이의 간격 $\frac{3}{4}$배 ($8 \times \frac{3}{4} = 6(\text{mm})$)

20. 답 ⑤

해설 ㄱ. 두께가 d인 투명판(굴절률: n)을 통과하는 같은 시간 동안 공기 중에서는 nd 만큼 빛이 진행한다. 그러나 P점(옮겨간 중앙 밝은 무늬)은 이중 슬릿의 각 틈을 통과한 두 빛의 광로차가 0인 경우이므로 $S_1\text{P} + n_Ad - d = S_2\text{P} + n_Bd - d$이다. 문제에 주어진 그림에서 $S_2\text{P} < S_1\text{P}$ 이므로, $n_Ad < n_Bd \rightarrow n_A < n_B$ 이다.

ㄴ. 이중 슬릿 실험을 할 때 단일 슬릿을 이용하는 이유는 같은 위상의 빛이 이중 슬릿에 도달하게 하기 위해서이다. 이때 단색광의 레이저 빛을 이용하면 단일 슬릿이 없이도 같은 위상의 빛이 이중 슬릿에 도달한다.

ㄷ. 투명판 B의 두께를 2 배로 하면 $n_Ad - d$ 와 $n_B2d - 2d$ 의 차이가 더 커지므로 $S_1\text{P}$ 와 $S_2\text{P}$ 의 차이도 더 커져 P점은 스크린의 중심에서 더 멀어진다.

21. 답 ④

해설 스크린의 회절 무늬는 단일 슬릿(s_1)에 의해 생기는 무늬이고, 간섭 무늬는 이중 슬릿(s_2)에 의해 생기는 무늬이다. 주어진 그림에서 A는 단일 슬릿에 의한 무늬, C는 이중 슬릿에 의한 무늬와 관련이 있다는 것을 알 수 있다.

따라서 슬릿의 폭(s_1)이 좁아지면 회절이 잘 일어나서 무늬 간격(A)이 넓어지고, 슬릿의 폭(s_1)이 넓어지면 무늬 간격(A)이 좁아진다. 반면에 C가 변하기 위해서는 이중 슬릿 사이의 간격인 d가 변해야 한다.

주어진 문제에서 슬릿 사이의 간격은 변함이 없으므로, 간섭 무늬 사이의 간격(C)은 변하지 않는다. 빛이 통과하는 틈이 넓어지면 빛의 세기(빛의 양)가 증가하여 B가 커진다.

22. 답 2.1×10^{-7}

해설 플라스틱 렌즈 B 위로는 공기가, 아래로는 플라스틱 렌즈 A가 있다. 렌즈 A의 굴절률이 렌즈 B보다 더 크므로, 렌즈 B의 윗면과 아랫면에서 모두 고정단 반사가 일어난다. 따라서 보강 간섭과 상쇄 간섭의 조건은 다음과 같다.

$2nd\cos\theta = \frac{\lambda}{2}(2m)$ $(m = 0, 1, 2, \cdots)$: 보강 간섭

$2nd\cos\theta = \frac{\lambda}{2}(2m' + 1)$ $(m' = 0, 1, 2, \cdots)$: 상쇄 간섭

수직($\theta = 0$)으로 빛을 비추었기 때문에 중앙점에서 경로차는 $2nd$ 로 같고, 400nm의 빛을 비추었을 때는 상쇄, 600nm의 빛을 비추었을 때는 보강 간섭을 한다.

$2nd = \frac{400\text{nm}}{2}(2m' + 1) = \frac{600\text{nm}}{2}(2m)$

이 두 식은 $m, m' = 1$이거나, $m = 3, m' = 4$ 등등일 때 동시에 만족하나 $m, m' = 1$일 때 d 는 최소이다. 따라서 d는

$2 \times 1.4 \times d = \frac{400\text{nm}}{2} \times 3 \rightarrow d = \frac{400 \times 10^{-9} \times 3}{2.8 \times 2}$

$\fallingdotseq 2.1 \times 10^{-7}(\text{m})$

23. 답 417

해설 수막은 좌우에 공기가 닿아있는 상태이다. 따라서 밝게 보이기 위해서 수막에서 수직으로 반사하는 빛들이 보강 간섭한다. 수막위와 아래에서 반사하는 두 빛은 서로 위상차가 발생하므로 보강 간섭 조건은 다음과 같다.

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1)\ (m=0, 1, 2, \cdots) \rightarrow \lambda = \frac{2 \cdot 2nd}{(2m+1)}$$

$$\therefore \lambda = \frac{4 \times 1.25 \times 250}{(2m+1)}\ (\text{nm})$$

$m = 0 \rightarrow \lambda = 1{,}250$ nm (주어진 조건에서 벗어난다.)

$m = 1 \rightarrow \lambda = 417$ nm (가시광선 파장 범위이다.)

$m = 2 \rightarrow \lambda = 250$ nm (주어진 조건에서 벗어난다.)

∴ 관찰자가 보는 가장 밝은 빛의 파장은 417 nm 일 때이다.

24. 답 ⑤

해설 ㄱ. 빛이 굴절률이 작은 매질에서 큰 매질로 진행할 때 빛의 속력은 느려지고, 파장은 짧아진다. 또한 유리에서는 파장이 짧을수록 굴절률이 커서 더 많이 굴절한다. A가 더 많이 굴절했으므로, A의 파장이 B의 파장보다 짧다. (파란색 빛의 파장은 빨간색 빛의 파장보다 짧다.)
ㄴ. P, Q에서 전반사가 일어날 때 $\theta_B > \theta_A$이므로 B의 입사각이 A보다 더 커진다. ㄷ. 굴절률이 클수록 더 많이 굴절하므로 굴절각은 작아진다.

25. 답 2×10^{-7}

해설 무늬 사이의 간격(Δx) $= \frac{L\lambda}{d}$

첫번째 어두운 무늬와 열번째 어두운 무늬 사이의 거리는 $9\Delta x$이다. 따라서 $\frac{9\lambda L}{d} = 18 \times 10^{-3}$(m) 이므로

$$\rightarrow \lambda = \frac{d \times 18 \times 10^{-3}}{9L} = \frac{(0.15 \times 10^{-3}) \times (18 \times 10^{-3})}{9 \times 1.5}$$

$\therefore \lambda = 2 \times 10^{-7}$(m)

26. 답 (1) 468 (2) 624

해설 (1) 굴절률의 크기는 $n_{바닷물} > n_{등유} > n_{공기}$ 이다. 따라서 등유 기름막의 윗면과 아랫면에서는 모두 고정단 반사가 일어나므로, 위상은 변하지 않는다. 헬리콥터의 관찰자에게 밝은 빛이 보일 조건(보강 간섭 조건)은 다음과 같다.

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m) \rightarrow \lambda = \frac{2nd}{m} = \frac{2 \times 1.2 \times 390}{m}\ (\text{nm})$$

$m = 1 \rightarrow \lambda = 936$nm (가시 광선 영역을 벗어난다.)

$m = 2 \rightarrow \lambda = 468$nm (가시 광선 영역이다.)

$m = 3 \rightarrow \lambda = 312$nm (가시 광선 영역을 벗어난다.)

∴ 가장 밝은 반사를 일으키는 빛의 파장은 468 nm이다.

(2) 빛이 가장 강하게 투과되면 바다 표면에서 반사되는 빛은 가장 적다. 따라서 상쇄 간섭 조건을 만족하는 빛이 강하게 투과된다. 상쇄 간섭 조건은 다음과 같다.

$$2nd = \frac{\lambda}{2}(2m+1) \rightarrow \lambda = \frac{4nd}{2m+1} = \frac{4 \times 1.2 \times 390}{2m+1}$$

$m = 0 \rightarrow \lambda = 1{,}872$nm (가시 광선 영역을 벗어난다.)

$m = 1 \rightarrow \lambda = 624$nm

$m = 2 \rightarrow \lambda = 374.4$nm (가시 광선 영역을 벗어난다.)

∴ 물 위에서 반사가 최소로 되어 바닷속에서 잘 보이는 빛의 파장은 624nm이다.

27. 답 4,900

해설 인접한 어두운 무늬를 이루는 공기층의 두께 차이를 d라고 할 때, 어두운 무늬가 생기는 조건은 다음과 같다.

$$2d = \frac{\lambda}{2}(2m) \rightarrow d = \frac{\lambda m}{2}$$

3번째 어두운 무늬를 이루는 공기층의 두께를 d_3, 17번째 어두운 무늬를 이루는 공기층의 두께를 d_{17}이라고 하면(유리판이 서로 닿아 있는 곳은 d가 0 이므로 d_3, d_{17}이 각각 공기층 두께가 된다.)

$d_3 = \frac{3\lambda}{2}$, $d_{17} = \frac{17\lambda}{2}$ 가 되므로, 공기층의 두께 차이는

$d_{17} - d_3 = 7\lambda = 7 \times 700 = 4{,}900$(nm)이다.

28. 답 10^{-6}

해설 이중 슬릿에 의해 간섭을 일으킨 두 빛이 보강 간섭(밝은 무늬)를 일으키는 조건은 두 빛의 광로차가 반파장의 짝수배가 될 때이다.
두께가 w 인 유리판을 통과할 때와 통과하지 않을 때의 광로차(Δ)는 다음과 같다.

$$\Delta = nw - w = (n-1)w = \frac{\lambda}{2}(2m)$$

유리판 두께(w)의 최소값은 $m = 1$ 일 때이다.

$$\therefore w = \frac{\lambda m}{n-1} = \frac{5000 \times 1}{1.5 - 1} = 10{,}000\,\text{Å} = 10^{-6}(\text{m})$$

29. 답 ③

해설 ㄱ. Q점은 A에서 첫 번째 밝은 무늬의 위치이고, 동시에 B에서 첫 번째 어두운 무늬의 위치이다. A의 파장을 λ_A, B의 파장을 λ_B라고 하고, 단일 슬릿에 의한 회절 무늬에서 첫 번째 밝은 무늬와 스크린 중앙과의 거리 x_A는

$$x_A = \frac{L\lambda_A}{2d}(2m+1)\ (m = 1일\ 때) \rightarrow x_A = \frac{3L\lambda_A}{2d},$$

첫 번째 어두운 무늬와스크린 중앙과의 거리 x_B는

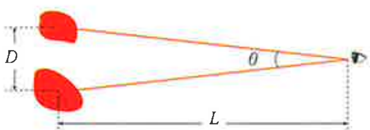
$$x_B = \frac{L\lambda_B}{2d}(2m)\ (m = 1일\ 때) \rightarrow x_B = \frac{L\lambda_B}{d}\ 이다.$$

$$x_A = x_B\ 이므로,\ \frac{3L\lambda_A}{2d} = \frac{L\lambda_B}{d} \rightarrow \frac{3}{2}\lambda_A = \lambda_B$$

∴ B의 파장은 A의 파장의 1.5배이다.
ㄴ. 단일 슬릿에 의한 회절 무늬는 파장이 길어질수록 무늬 사이의 간격도 넓어진다. 따라서 0점과 P점 사이의 거리가 0점과 Q점 사이의 간격보다 좁기 때문에 빛의 파장이 더 짧은 보라색 빛의 그래프는 A이다.
ㄷ. 슬릿의 폭이 넓어지면, 회절이 일어나는 정도가 작기 때문에 스크린 중앙과 무늬 사이의 거리는 좁아진다. 따라서 0점에서 P점까지의 거리는 줄어든다.
ㄹ. P점은 보라색 빛의 첫 번째 어두운 곳이므로, 보라색 빛이 소멸되어 빨간색 빛만 보이고, Q점은 빨간색의 첫번째 어두운 곳이므로 빨간 빛이 소멸되어 보라색 빛만 보인다.

30. 답 2.7

해설



관찰자와 점 사이의 거리인(L)이 점들의 중심간 평균 거리(D)와 눈동자의 지름(d)보다 매우 크므로,

$$\tan\theta \simeq \sin\theta \simeq \theta = \frac{D}{L} \rightarrow L = \frac{D}{\theta}$$

점들 사이를 구별할 수 있는 최소 각도는 레일리 기준을 만족하므로,

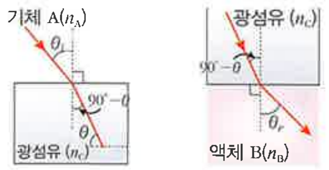
$$\theta = \theta_R = \frac{1.22\,\lambda}{d}$$

$$\therefore L = \frac{D}{\theta_R} = \frac{Dd}{1.22\,\lambda} = \frac{1.5\times10^{-3}\times1.3\times10^{-3}}{1.22\times600\times10^{-9}} \fallingdotseq 2.7(\mathrm{m})$$

따라서 약 2.7 m 거리 이상에서 볼 때 점들을 서로 구분할 수 없어 섞여 보이고, 혼합된 색깔이 나타나게 된다.

31. 답 ⑤

해설



(가) (나)

굴절률이 n_1인 매질에서 굴절률 n_2인 매질로 입사각 i로 입사하고, 굴절각은 r일 때, 굴절 법칙에 의해 입사각과 굴절각의 sin 값의 비는 항상 일정하다.

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{12}$$

(가) : $\dfrac{n_A}{n_C} = \dfrac{\sin(90^\circ-\theta)}{\sin\theta_i}$, (나) : $\dfrac{n_C}{n_B} = \dfrac{\sin\theta_r}{\sin(90^\circ-\theta)}$

ㄱ. (가)×(나) 하면, $n_A < n_B$이므로

$$\frac{\sin\theta_r}{\sin\theta_i} = \frac{n_A}{n_B} < 1,\ \therefore \sin\theta_r < \sin\theta_i \rightarrow \theta_r < \theta_i$$

ㄴ. 빛의 속력은 굴절률이 작을수록 빠르다. 따라서 굴절률이 가장 작은 기체 A에서 속력이 가장 빠르다.

ㄷ. (가)의 경우 임계각은 $\sin\theta_{(가)} = \dfrac{n_A}{n_C}$, (나)의 경우 임계각은

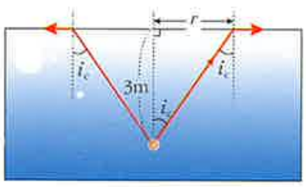
$\sin\theta_{(나)} = \dfrac{n_B}{n_C}$이다. $\dfrac{n_B}{n_C} > \dfrac{n_A}{n_C}$이므로

$$\therefore \sin\theta_{(나)} > \sin\theta_{(가)} \rightarrow \theta_{(나)} > \theta_{(가)}$$

ㄹ. 광섬유의 굴절률을 크게 하면, 굴절률의 차이가 커지기 때문에 굴절각($90^\circ - \theta$)이 더 작아지게 된다. 따라서 θ는 커지고, 액체 영역에서 입사각인 ($90^\circ - \theta$)가 작아졌기때문에 굴절각 θ_r도 작아진다.

32. 답 2.25

해설 수면 위에서 볼 때 점광원에서 나오는 빛은 원의 형태이다. 원 밖으로는 빛이 보이지 않는데, 이는 임계각보다 큰 각도로 경계면으로 입사되는 빛은 모두 전반사되기 때문이다.



$$\therefore \sin i_c = \frac{r}{\sqrt{r^2+3^2}} = \frac{n_{공기}}{n_{물}} = \frac{3}{5} \rightarrow 25r^2 = 9r^2 + 81$$

$$\therefore r = \frac{9}{4} = 2.25(\mathrm{m})$$

19강. 빛 II

개념 확인 78~83쪽

1. ㉡, ㉢ **2.** (1) 실초점 (2) 허초점 (3) 광축
3. (1) X (2) O (3) X **4.** ㉠, ㉣ **5.** ㉠, ㉡
6. (1) ㉡ (2) ㉠ (3) ㉡

1. 답 ㉡, ㉢

해설 평면거울에서는 빛이 반사되면서 대칭되는 지점에 물체와 크기가 같고, 좌우가 반대인 정립 허상이 생긴다.

3. 답 (1) X (2) O (3) X

해설 (1) 초점을 향하여 비스듬히 입사한 빛은 렌즈를 지난 후 굴절하여 광축과 나란하게 진행한다.
(3) 광축과 나란하게 입사한 빛은 볼록 렌즈를 지난 후 초점을 향하여 굴절한 뒤 초점을 지나고, 오목 렌즈를 지난 빛은 초점에서 나온 것처럼 굴절한다.

6. 답 (1) ㉡ (2) ㉠ (3) ㉡

(1), (2) 망원경의 경우 매우 멀리 있는 물체를 관측하기 때문에 물체와 대물렌즈 사이의 거리를 조절하는 것이 어렵다. 반면에 현미경의 경우 렌즈를 조절하는 것보다 제물대를 조절하여 물체의 위치를 조절하도록 만드는 것이 쉽다.

확인+ 78~83쪽

1. 5 **2.** 1.6 **3.** 3.75 **4.** ②
5. (1) O (2) X (3) X **6.** 12.5

1. 답 5

해설 두 개의 평면거울을 각 θ로 놓았을 때 생기는 상의 수는 다음과 같다.

$$상의\ 수 = \frac{360^\circ}{\theta} = n = \frac{360^\circ}{60^\circ} = 6$$

→ 6은 짝수이므로, 생기는 상의 수는 6 − 1 = 5개이다.

2. 답 1.6

해설 물체에서 거울의 중심까지의 거리 a = 8cm, 거울의 중심에서 상까지의 거리 b = +2cm (상이 거울 앞에 있는 실상이므로 (+))이다. 따라서 구면 거울의 공식에 각각을 대입하면,

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{8\mathrm{cm}} + \frac{1}{2\mathrm{cm}} = \frac{5}{8} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore f = \frac{8}{5} = 1.6(\mathrm{cm})$$

3. 답 3.75

해설 물체에서 렌즈의 중심까지의 거리 a = 15cm, 렌즈의 중심에서 상까지의 거리 b, 렌즈의 중심에서 초점까지의

거리 f = -5cm(오목 렌즈는 허초점을 가지므로 (−))이다. 따라서 렌즈의 공식에 각각을 대입하면,

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{15\text{cm}}+\frac{1}{b}=-\frac{1}{5}$$

$$\therefore b=-\frac{15}{4}=3.75(\text{cm})\ (\text{허상})$$

상은 렌즈의 중심에서 왼쪽으로 3.75cm 지점에 생긴다.

4. 답 ②

해설 물체의 위치가 초점 거리의 2배 위치($a = 2f$)에 놓여져 있으므로, 상은 반대편 초점 거리의 2배 위치($b = 2f$)에 같은 크기의 도립 실상이 생긴다.

5. 답 (1) O (2) X (3) X

해설 (2) 대물렌즈는 먼 곳에 있는 물체의 상을 접안렌즈의 초점 거리 안에 도립 실상으로 맺히도록 한다. (3) 접안렌즈에 의하여 확대된 도립 허상이 보이게 된다.

6. 답 12.5

해설 광학 현미경의 배율은 대물렌즈의 배율 m_o과 접안렌즈 m_e의 배율의 곱($m = m_o \times m_e$)으로 나타난다. 그러므로 접안렌즈의 배율은 다음과 같다.

$$m_e=\frac{m}{m_o}=\frac{150}{12}=12.5(\text{배})$$

개념 다지기 84~85쪽

01. (1) O (2) X (3) O	**02.** ④	**03.** ③	
04. ④	**05.** ③	**06.** ②	**07.** ④
08. ③			

01. 답 (1) O (2) X (3) O

해설 (1) 평면거울에 의한 상은 물체와 크기가 같고, 좌우가 반대인 정립 허상이 거울과 대칭되는 지점에 생긴다.
(2) 평면거울을 물체 쪽으로 거리 d 만큼 이동시키면 상은 $2d$ 만큼 이동한다.
(3) 거울 면의 중심과 초점 사이의 거리를 f, 구면 반지름을 r이라고 할 때 구면 반지름은 초점 거리의 2배이다($r = 2f$).

02. 답 ④

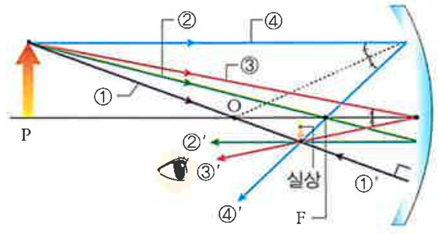
해설 물체에서 거울의 중심까지의 거리 a = 9cm, 거울의 중심에서 상까지의 거리 b = -3cm (상이 거울 뒤에 있는 허상이므로 (−))이다. 따라서 구면 거울의 공식에 각각을 대입하면,

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{9\text{cm}}-\frac{1}{3\text{cm}}=-\frac{2}{9}=\frac{1}{f}$$

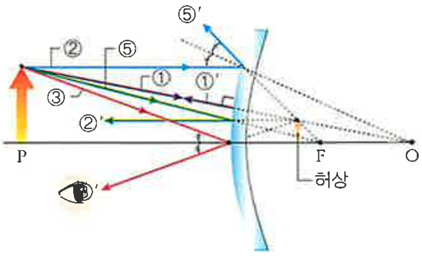
$$\therefore f=-\frac{9}{2}=-4.5(\text{cm})\ (\text{거울 뒤쪽 4.5cm})$$

03. 답 ③

해설



▲ 오목 거울에 의한 상의 작도



▲ 볼록 거울에 의한 상의 작도

① 구심을 향하여 입사한 빛은 반사 후 그대로 되돌아 나온다.
② 초점을 향하여 입사한 빛은 광축과 나란한 방향으로 반사한다.
④ 오목 거울의 광축과 나란하게 입사한 빛은 거울에서 반사 후 초점을 지나간다.
⑤ 볼록 거울의 광축과 나란하게 입사한 빛은 거울에서 반사 후 초점에서 나온 것처럼 반사한다.

04. 답 ④

해설 볼록 렌즈에서 물체와 렌즈 사이의 거리(a)가 초점 거리의 2배($2f$)이므로, 상은 초점 거리의 2배 위치($b = 2f$)에 같은 크기의 도립 실상이 렌즈 뒤에 생긴다. 즉, 볼록 렌즈의 오른쪽 20cm 위치에 도립 실상이 생긴다.

※ 또 다른 풀이
물체에서 렌즈의 중심까지의 거리 a = 20cm, 렌즈의 중심에서 상까지의 거리 b, 초점 거리 f = +10cm이다(볼록 렌즈일 때 초점 거리의 부호는 (+) 이다). 따라서 렌즈의 공식에 각각을 대입하면,

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{20\text{cm}}+\frac{1}{b}=\frac{1}{10\text{cm}}$$

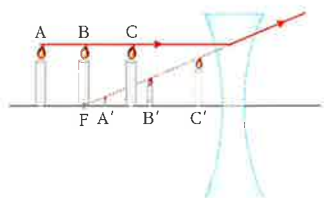
$\therefore b$ = +20(cm), 부호가 (+) 이므로 상은 렌즈 뒤(오른쪽)에 맺히는 도립 실상이다.

05. 답 ③

해설 같은 크기의 도립 실상을 맺게 하는 경우는 오목 거울이나 볼록 렌즈의 중심에서 $2f$ 떨어져 있는 곳에 물체가 놓여져 있는 경우이다.

06. 답 ②

해설



오목 렌즈에 의한 상은 물체의 위치와 관계없이 항상 축소된 정립 허상이 생긴다. 이때 물체가 렌즈와 멀어질수록 상의 크기는 작아진다.

07. 답 ④

해설 거울에 의한 상의 위치가 오목 거울 뒤 16cm 이므로(허상), 거울 공식의 $b = -16$, 초점 거리는 오목 거울은 초점이 거울 앞에 있으므로 $f = +16$이 된다. 따라서 거울 중심에서 물체까지의 거리 a는 다음과 같다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{a} - \frac{1}{16\text{cm}} = \frac{1}{16\text{cm}}$$

$$\therefore a = 8(\text{cm}), \text{ 거울의 앞 8cm 지점에 있다.}$$

이때 오목 거울의 배율 m은 $m = \left|\frac{b}{a}\right| = \frac{\text{상의 크기}}{\text{물체의 크기}} = \frac{2}{1}$ 이므로, 상의 크기는 물체의 크기의 2배이다.

08. 답 ③

해설 ㄱ. 접안렌즈의 초점 거리가 대물렌즈보다 짧은 것은 케플러식 망원경이다. 현미경은 접안렌즈의 초점 거리가 대물렌즈보다 길다.

ㄷ. 뚜렷한 상을 보기 위해 대물렌즈와 물체 사이의 거리를 조절하는 것은 현미경이다. 망원경은 대물렌즈와 접안렌즈 사이의 거리를 조절한다.

유형 익히기 & 하브루타 86~89쪽

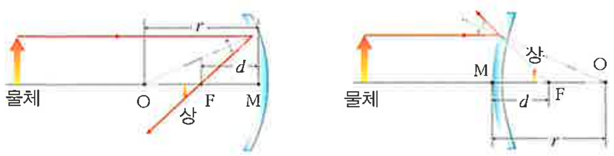
[유형 19-1] ⑤	01. ③	02. ④	
[유형 19-2] ④	03. ④	04. ③	
[유형 19-3] (1) ③ (2) ③		05. ①	06. ③
[유형 19-4] ⑤	07. 12	08. ④	

[유형 19-1] 답 ⑤

해설 ㄱ. 구면 반지름(r)은 거울 면과 초점 사이의 거리(d)의 2배이다.

ㄴ. 오목 거울에 의한 상은 빛이 실제로 모이는 지점에 생기는 실상이며, 거꾸로 되어 있기 때문에 도립 실상이다. 볼록 거울에 의한 상은 빛이 실제로 모이지 않고, 거울 뒤 반사된 빛의 연장선이 모인 지점에 생기므로 허상이고, 똑바로 서 있기 때문에 정립 허상이다.

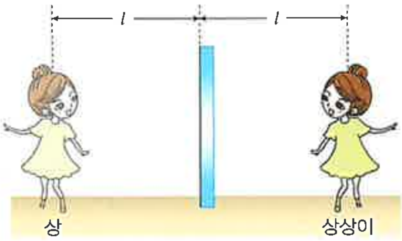
ㄷ. 광축과 나란하게 입사한 빛은 다음 그림과 같이 오목 거울에서는 반사 후 실초점을 지나고, 볼록 거울에서는 허초점에서 나온 것처럼 반사한다.



(가) (나)

01. 답 ③

해설



ㄱ. 평면거울에 의한 상은 거울과 대칭되는 지점에 물체와 크기가 같고, 좌우가 반대인 상이 생긴다. 따라서 상상이와 크기가 같고, 좌우가 반대인 정립 허상은 상상이와 $2l$ 만큼 떨어진 곳에 생긴다.

ㄴ. 상상이가 거울에 v 의 속력으로 다가가면 상도 v 의 속력으로 다가오므로 상은 $2v$ 의 속력으로 상상이와 가까워진다.

ㄷ. 전신을 다 관찰하기 위해 필요한 거울 길이는 키의 절반이면 된다.

02. 답 ④

해설 물체에서 거울의 중심까지의 거리 a = 3cm, 거울의 중심에서 상까지의 거리 b이고, 구면 반지름이 10cm이다. 따라서 구면 거울의 공식에 각각을 대입하면,

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = \frac{2}{r} \rightarrow \frac{1}{3\text{cm}} + \frac{1}{b} = \frac{2}{10} = \frac{1}{5}$$

$$\therefore b = -\frac{15}{2} = -7.5(\text{cm}), \text{ (거울 뒷쪽, 정립허상)}$$

[유형 19-2] 답 ④

해설 ㄱ. (가) 물체에서 렌즈의 중심까지의 거리 a_1, 렌즈의 중심에서 상까지의 거리 $b = -l_1$ (상이 렌즈 앞에 있는 허상이므로 (−)), 렌즈의 중심에서 초점까지의 거리 $f = -d_1$(오목 렌즈는 허초점을 가지므로 (−))이다. 따라서 렌즈의 공식에 각각을 대입하면,

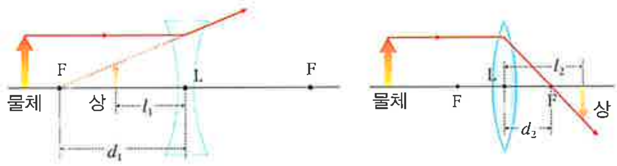
$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{a_1} - \frac{1}{l_1} = -\frac{1}{d_1}$$

$$\therefore a_1 = \frac{d_1 l_1}{d_1 - l_1}$$

(나) 물체에서 렌즈의 중심까지의 거리 a_2, 렌즈의 중심에서 상까지의 거리 $b = l_2$(상이 렌즈 뒤에 있는 실상이므로 (+)), 렌즈의 중심에서 초점까지의 거리 $f = d_2$(볼록 렌즈는 실초점을 가지므로 (+))이다. 따라서 렌즈의 공식에 각각을 대입하면,

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{a_2} + \frac{1}{l_2} = \frac{1}{d_2}$$

$$\therefore a_2 = \frac{l_2 d_2}{l_2 - d_1}$$

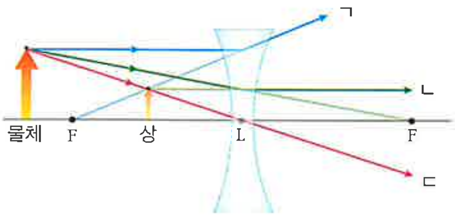


(가) (나)

ㄴ. 다음 그림과 같이 오목 렌즈의 광축과 나란하게 입사한 빛은 굴절한 후 허초점에서 나온 것처럼 퍼져나가고, 볼록 렌즈의 광축과 나란하게 입사한 빛은 굴절한 후 실초점에 모인다.

03. 답 ④

해설



ㄴ. 초점을 향하여 입사한 빛은 렌즈를 지난 후 광축에 평행하게 진행한다.

ㄷ. 렌즈의 중심을 향하여 입사한 빛은 렌즈를 지난 후 그대로 직진한다.

04. 답 ③

해설 렌즈를 통과하는 빛은 가려진 부분에서만 통과하지 못하고, 나머지 부분은 그림 (가)와 같이 진행한다. 따라서 같은 지점에 상이 맺히며, 이때 상이 만들어지는 지점에 도달하는 빛의 양이 줄어드므로 더 어두운 상이 나타낙 된다.

[유형 19-3] 답 (1) ③ (2) ③

해설 (1) (가) 볼록 거울에 의한 상은 물체의 위치에 관계없이 항상 축소된 정립 허상이 생긴다.

(나) 볼록 렌즈 앞의 물체가 초점 거리의 2배($a > 2f$) 밖에 위치하기 때문에 상은 $f < b < 2f$ 사이에 축소된 도립 실상이 생긴다.

(2) (가) $a = 30$cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리가 -10cm(초점이 거울 뒤에 있는 허초점이므로)이다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{30\text{cm}} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{10}$$

$$\therefore b = -\frac{30}{4} = -7.5(\text{cm}),\ \text{거울 뒤 } 7.5\text{cm}$$

(나) $a = 30$cm, 상까지의 거리 b, $f = 10$cm(볼록 렌즈는 실초점을 가지므로 (+))이다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{30\text{cm}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{10}$$

$$\therefore b = \frac{30}{2} = 15(\text{cm}),\ \text{오른쪽(렌즈 뒤)으로 } 15\text{cm}$$

05. 답 ①

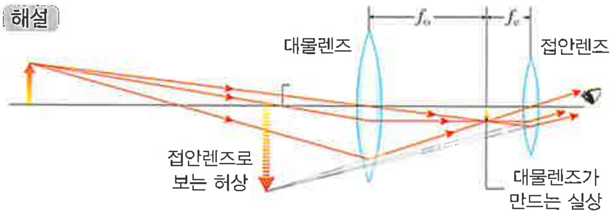
해설 오목 거울 앞에 놓인 물체가 거울 중심과 초점 사이에 있을 경우, 거울 뒤쪽으로 확대된 정립 허상이 생긴다. 이때 오목 거울의 초점쪽으로 물체가 점점 가까워지면 상은 점점 커지면서 거울로부터 멀어진다.

06. 답 ③

해설 물체가 초점 거리의 2배 위치와 초점 사이에 있을 경우($f < a < 2f$), 확대된 도립 실상이 생기며, 초점과 렌즈 사이에 있을 경우($0 < a < f$), 확대된 정립 허상이 생긴다.

[유형 19-4] 답 ⑤

해설



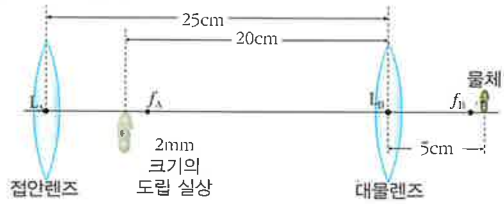
ㄱ. 망원경의 대물렌즈로 먼 곳에 있는 물체의 도립 실상을 접안렌즈의 초점 안에 맺히게 한다.

ㄴ. 대물렌즈에 의해 맺힌 상을 접안렌즈에 의하여 확대된 도립 허상으로 볼 수 있다.

ㄷ. 대물렌즈에 의한 실상이 접안렌즈의 초점 바로 안쪽P점에 맺히게 하고 접안렌즈는 그 상을 확대하여 같은 방향에 같은 모양으로 서있는 허상을 만들어서 보이게 한다.

07. 답 12

해설 물체 앞에 놓인 볼록 렌즈 B가 대물렌즈, 볼록 렌즈 A가 접안 렌즈이다.



대물렌즈에 의한 상이 맺히는 위치 : 물체와 대물렌즈 사이의 거리 $a = 5$cm, 대물렌즈 초점 거리 $f = 4$cm

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{5\text{cm}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{4\text{cm}}$$

$\therefore b = 20(\text{cm})$, 대물렌즈의 배율 $m_o = \left|\frac{b}{a}\right| = \frac{20}{5} = 4$,

대안렌즈에 의한 상이 맺히는 위치 : 물체(대물렌즈에 의해 만들어진 상)와 접안렌즈 사이의 거리 $a = 5$cm, 대안 렌즈 초점 거리 $f = 6$cm

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{5\text{cm}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{6\text{cm}}$$

$\therefore b = -30(\text{cm})$, 접안렌즈의 배율 $m_o = \left|\frac{b}{a}\right| = \frac{30}{5} = 6$

광학 현미경의 배율 $m = m_o \times m_e = 4 \times 6 = 24$

$$= \frac{\text{상의 크기}}{\text{물체의 크기}} = \frac{\text{상의 크기}}{0.5\text{mm}}$$

$\therefore$ 상의 크기 $= 24 \times 0.5 = 120(\text{mm}) = 12(\text{cm})$

08. 답 ④

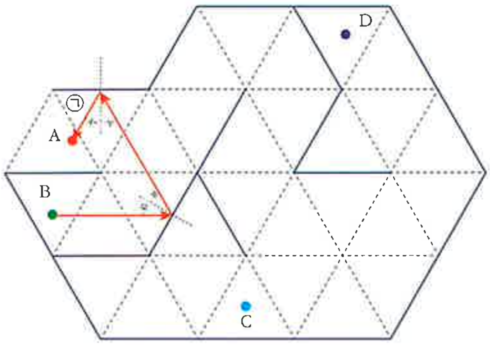
해설 ㄱ. 카메라에 물체가 가까울수록 실상(도립상)이 렌즈에서 먼 곳에 생기므로 필름에 상이 맺히게 하기 위해 렌즈를 물체 쪽으로 가까이 조작해야 한다.

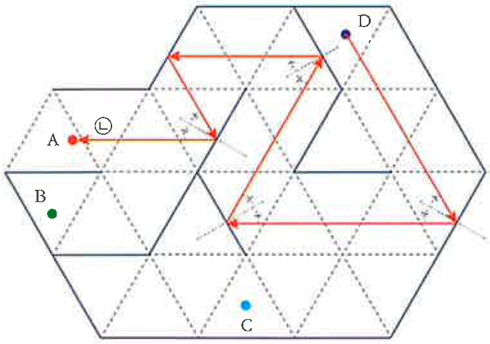
ㄷ. 케플러식 망원경에서 상을 밝게 하기 위해서는 대물렌즈의 반지름이 커야 한다.

창의력 & 토론마당 90~93쪽

01 (1) B (2) D

해설 평면거울에 입사한 빛은 반사 법칙에 의해 반사각과 입사각이 같다. 거울 미로가 정사각형 타일 위에 설치되어 있기 때문에 처음 입사한 각의 입사각과 반사각은 모든 거울면에서 같다. 따라서 각 경우의 빛의 경로는 다음과 같다.

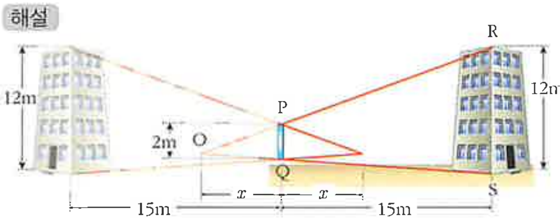




→ 입구 쪽 지점에서 A가 ㉠ 방향으로 바라봤을 때는 학생 B가 보이고, 입구 쪽 지점에서 ㉡ 방향으로 바라봤을 때는 학생 D가 보인다.

02 3 m

해설



평면거울에 의한 상은 거울에 대칭적인 위치에 좌우가 바뀐 모습으로 생긴다. 그러므로 거리 x를 구하기 위해 삼각형 ORS를 이용할 수 있다.

$PQ : RS = x : (x+15) \rightarrow 2m : 12m = x : (x+15)$

$12x = 2x + 30, \quad \therefore x = 3(m)$

거울 앞 3m 지점에 이르면 건물의 전부를 볼 수 있다.

03 〈해설 참조〉

해설 거울에 의한 물체의 상을 구할 때, 거울 앞의 위치는 (+), 거울 뒤의 위치는 (−)이다. 상의 경우 (+) 위치는 실상, (−) 위치는 허상이다.

㉠ 상 P_1 : 오목 거울 A에 의한 상이 오목 거울 B의 물체가 된다.

오목 거울 A에 의한 상 : a = 1m, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f = 0.8m이므로,

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{1m}+\frac{1}{b}=\frac{1}{0.8m}$$

$\therefore b = 4(m)$, 오목 거울 A 앞 4m 위치에 도립 실상

이 지점은 오목 거울 B의 뒤쪽으로 1m 지점이 된다.

이 실상은 오목 거울 B의 물체가 되어 상 P_1이 만들어진다.

$a' = -1m$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f = 0.5m

$$-\frac{1}{1m}+\frac{1}{b}=\frac{1}{0.5m}$$

$\therefore b = \frac{1}{3}(m)$, (오목 거울 B 앞 $\frac{1}{3}$m 위치, 정립 실상)

㉡ 상 P_2 : 오목 거울 B에 직접 반사된 상

a = 2m, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f = 0.5m

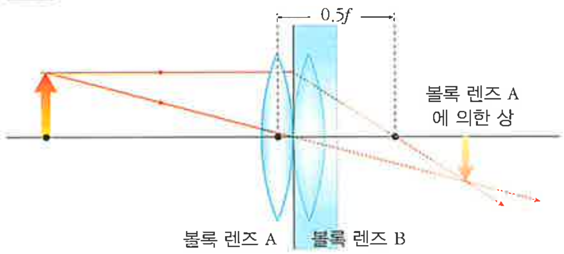
$$\frac{1}{2m}+\frac{1}{b}=\frac{1}{0.5m}$$

$\therefore b = \frac{2}{3}(m)$, (오목 거울 B 앞 $\frac{2}{3}$m 위치, 도립 실상)

따라서 상 P_1과 P_2 사이의 거리는 $\frac{1}{3}$(m)이다.

04 $0.75f$

해설



평면거울 앞에 있는 볼록 렌즈는 평면거울에 반사되어 그림과 같이 똑같은 볼록 렌즈 2개가 겹쳐져 있는 것과 같다. 따라서 평면거울 앞에 있는 볼록 렌즈를 A, 평면거울에 비친 볼록 렌즈를 B라고 하자.

㉠ 볼록 렌즈 A에 의한 상 : $a = 1.5f$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f

$$\frac{1}{1.5f}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \quad \cdots ①$$

㉡ 볼록 렌즈 B에 의한 상 : 물체까지의 거리 a = $-b$(볼록 렌즈 B가 인식하는 물체는 볼록 렌즈 A에 의해 렌즈에서 b 만큼 떨어져 있는 곳에 생기는 상이 된다. 이때 렌즈 뒤쪽에 있는 허물체이므로 부호는 (−)

가 된다.), 상까지의 거리 b', 초점 거리 f,

$$-\frac{1}{b}+\frac{1}{b'}=\frac{1}{f} \quad \cdots ②$$

따라서 ① + ② 를 하면,

$$\frac{1}{1.5f}+\frac{1}{b'}=\frac{2}{f}, \quad \therefore b'=\frac{1.5f}{2}=0.75f$$

즉, 물체의 상은 렌즈 앞쪽 $0.75f$ 만큼 떨어진 곳에 생긴다. 이는 초점 거리가 $\frac{f}{2}$ 인 렌즈에 의한 상과 같고, 상의 위치는 렌즈 중심 기준 서로 반대이다.

05 9.6 cm

해설 굴절률이 다른 물질 사이에서 같은 시간 동안 빛이 진행한 거리의 비는 굴절률에 반비례한다. 즉, 굴절률이 n 인 유리 속에서와 굴절률이 1인 공기 중에서 빛이 같은 시간 동안 진행한 거리의 비는 $1 : n$ 이다.
→ 1 : 1.5 = 공기 중에서 이동한 거리 : 3cm
두께 3cm의 유리가 앞에 있는 사람에게는 $\frac{3}{1.5}=2$(cm)의 두께로 보인다. 이는 물체가 $3-2=1$(cm)만큼 렌즈에 가깝게 접근하는 것이 된다.
따라서 물체까지의 거리 a = 16cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f = 6cm,

$$\rightarrow \frac{1}{16\text{cm}}+\frac{1}{b}=\frac{1}{6\text{cm}}, \therefore b=\frac{48}{5}=9.6(\text{cm})$$

(렌즈 오른쪽)

06 26 cm

해설 볼록 렌즈에 의한 상 : 동전에서 렌즈까지의 거리 a = 겉보기 깊이 h + 10, 렌즈에서 상까지의 거리 b = 70 − 10 = 60cm, 렌즈의 초점 거리 f = 20cm.
이때 겉보기 깊이 $h=\frac{x}{1.3}$

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{h+10}+\frac{1}{60\text{cm}}=\frac{1}{20\text{cm}}$$

$$\therefore h=20=\frac{x}{1.3} \rightarrow x=26\text{cm}$$

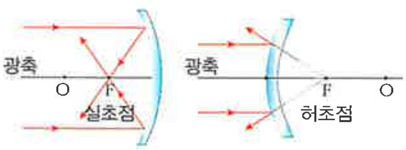
스스로 실력 높이기 94~101쪽

01. (1) O (2) X (3) O **02.** 83
03. ㉠ 오목 거울 ㉡ 볼록 거울
04. 구면 수차 **05.** 16.8 **06.** ③
07. (1) X (2) O (3) X **08.** 2
09. 명시 거리 **10.** (1) X (2) X (3) O
11. ③ **12.** ⑤ **13.** ④ **14.** ⑤
15. ③ **16.** ② **17.** ① **18.** ④
19. ④ **20.** ⑤ **21.** ③ **22.** ④
23. ③ **24.** ① **25.** (1) 19 (2) 3.6
26. ① **27.** 10 **28.** 왼쪽으로 30 cm
29. 〈해설 참조〉 **30.** (1) 볼록 렌즈
(2) 렌즈 뒤쪽으로 150cm 떨어진 지점에 상이 생긴다.
31. 〈해설 참조〉 **32.** ㉢, ㉡

01. 답 (1) O (2) X (3) O
해설 (1) 평면거울에 의한 상은 물체와 대칭이므로 크기가 같고, 좌우가 바뀐 허상이다.
(2) 볼록 거울에 의한 상은 항상 축소된 정립 허상이다.
(3) 가장 자리보다 가운데 부분이 두꺼운 볼록 렌즈에 광축과 나란하게 입사한 빛은 굴절한 후 렌즈 축 위의 한 점인 실초점에 모인다.

02. 답 83
해설 평면거울을 통해 전신을 관찰하기 위해 필요한 거울의 길이는 신장의 절반이다.

03. 답 ㉠ 오목 거울 ㉡ 볼록 거울
해설



㉠ 반사면이 오목한 오목 거울은 거울에 반사된 빛을 모두 한 점에 모이게 한다. 이 점을 실초점이라고 한다.
㉡ 반사면이 볼록한 볼록 거울은 거울에 반사된 빛을 퍼지게 한다. 이때 광축에 나란하게 입사한 빛의 반사 광선은 볼록 거울 뒤의 한 점에서 나온 것처럼 진행하는 데 이 점을 허초점이라고 한다.

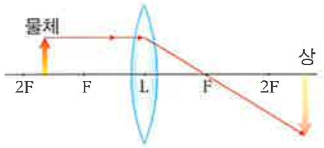
05. 답 16.8
해설 물체까지의 거리 a, 상까지의 거리 b = −7cm(상이 렌즈 앞에 생기는 허상이므로 (−)), 초점 거리 f = −12cm(오목 렌즈는 허초점을 가지므로 (−))

$$\frac{1}{a} - \frac{1}{7cm} = -\frac{1}{12cm}, \quad \therefore a = \frac{84}{5} = 16.8(cm)$$

물체는 렌즈의 중심에서 왼쪽으로 16.8cm 지점에 있다.

06. 답 ③

해설



볼록 렌즈 앞 물체가 초점 거리의 2배 거리에서 초점 거리 사이에 위치할 경우 물체가 있는 반대편에 확대된 도립 실상이 생긴다.

07. 답 (1) X (2) O (3) X

해설 (1) 배율이란 물체와 상과의 크기 비율로, 상의 크기를 물체의 크기로 나눈 값이다.$\left(m = \frac{\text{상의 크기}}{\text{물체의 크기}}\right)$

(2) 배율이 (+)값이면 도립상, (−)값이면 정립상이 만들어진다. (3) $m > 1$ 이면, 확대된 상, $m < 1$이면, 축소된 상, $m = 1$ 이면, 물체와 크기가 같은 상이 생긴다.

08. 답 2

해설 거울의 중심에서 물체까지의 거리가 $a = 9$cm , 오목거울은 초점이 거울 앞에 있으므로 $f = +18$이 된다. 따라서 거울 중심에서 상까지의 거리 b는 다음과 같다.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{b} = \frac{1}{f} - \frac{1}{a} = \frac{1}{18cm} - \frac{1}{9cm}$$

$\therefore b = 18$(cm), 상은 거울의 뒤쪽 18cm 지점에 있다.

이때 오목 거울의 배율 m은 $m = \left|\frac{b}{a}\right| = \frac{\text{상의 크기}}{\text{물체의 크기}} = \frac{18}{9}$

이므로, 상의 크기는 물체의 크기의 2배이다.

10. 답 (1) X (2) X (3) O

해설 물체를 대물렌즈의 초점 바로 밖에 놓으면(1), 대물렌즈에 의해 확대된 도립 실상이 접안렌즈의 초점 안에 만들어진다(2). 이 실상을 접안렌즈가 더 확대된 허상으로 보이게 한다(3).

11. 답 ③

해설 ㄱ. 평면거울에 입사한 빛은 반사되면서 대칭되는 지점에 상이 생긴다.

ㄴ. 평면거울을 물체 쪽으로 거리 d 만큼 이동시키면 상은 $2d$ 만큼 이동한다. 따라서 거울이 물체에 대하여 상대적으로 운동할 때, 상의 속도는 물체 속도의 2배가 된다.

ㄷ. 두 개의 평면거울을 각 45° 로 놓았을 때 생기는 상의 수는 다음과 같다.

$$\text{상의 수} = \frac{360°}{\theta} - 1 = \frac{360°}{45°} - 1 = 7(\text{개})$$

12. 답 ⑤

해설 (가) 오목 거울 앞에 있는 물체의 위치가 초점과 초점 거리의 2배 위치의 사이에 있을 때, 상은 확대된 도립 실상이 생긴다. (나) 오목 렌즈 앞에 물체가 있을 때 상은 물체의 위치와 관계없이 항상 축소된 정립 허상이 생긴다.

13. 답 ④

해설 ㄱ. b : 상이 거울 앞에 있거나, 렌즈의 뒤에 있을 때(= 실상) (+), 거울 뒤에 있거나, 렌즈의 앞에 있을 때 (= 허상) (−)값을 가진다. ㄷ. f : 오목 거울(실초점)이나 볼록 렌즈일 때는 (+), 볼록 거울(허초점)이나 오목 렌즈일 때는 (−)값을 가진다.

14. 답 ⑤

해설 물체 크기의 $\frac{1}{3}$ 크기의 허상이 생겼으므로, 볼록 거울의 배율 $m = \left|\frac{b}{a}\right| = \frac{1}{3}$ 이다. 물체까지의 거리 $a = 12$cm 이므로, 상까지의 거리 $b = -4$cm (허상)이다.

$$\frac{1}{12cm} - \frac{1}{4cm} = \frac{1}{f}, \quad \therefore f = -\frac{12}{2} = -6(cm)$$

15. 답 ③

해설 볼록 거울은 물체의 위치와 관계없이 항상 축소된 정립 허상이 생긴다. 오목 거울의 경우 물체가 거울의 중심과 초점 사이에 있을 경우($0 < a < f$) 물체와 같은 방향에 확대된 정립 허상이 생긴다.

16. 답 ②

해설 볼록 렌즈의 초점 거리 2배에 위치한 물체의 상은 같은 크기의 도립 실상이고, 초점 거리에 위치한 물체의 상은 생기지 않는다.

17. 답 ①

해설 물체까지의 거리 a = 28cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = -7$cm(허초점)

$$\frac{1}{28cm} + \frac{1}{b} = -\frac{1}{7cm}, \quad b = -\frac{28}{5} = -5.6(cm) \text{ (허상)}$$

오목 렌즈에 의한 상은 물체의 위치와 관계없이 항상 축소된 허상이다.

오목 렌즈의 배율 $m = \left|\frac{b}{a}\right| = \frac{\text{상의 크기}}{\text{물체의 크기}} = \frac{5.6}{28} = \frac{1}{5}$

상의 크기 : $\frac{1}{5} \times 6$cm $= 1.2$(cm)이다.

18. 답 ④

해설 할아버지는 먼 곳에 있는 물체가 더 잘 보이는 원시안이다. 따라서 볼록 렌즈를 이용한 안경으로 교정한다. 25cm 떨어진 책의 글씨를 볼 때 볼록 렌즈에 의한 허상이 75cm에 생기게 되면, 할아버지는 선명한 상을 볼 수 있다.

물체까지의 거리 a = 25cm, 상까지의 거리 $b = -75$cm(허상), 초점 거리 f

$$\frac{1}{25cm} - \frac{1}{75cm} = \frac{2}{75cm} = \frac{1}{f}$$

$$\therefore f = \frac{75cm}{2} = 37.5(cm)$$

19. 답 ④

해설 ㄱ. 평면거울에 의한 상은 거울과 대칭되는 지점에 생긴다. 따라서 인형상은 거울과 150cm 떨어진 지점에 생기므로, 상상이로 부터 180cm + 150cm = 330cm = 3.3m 떨어져 있다.

ㄴ. 상상이가 v 의 속력으로 거울로 다가가면 상대적으로 정지해 있는 인형상도 상상이가 보기에는 v 의 속력으로 가까워지고 있는 것처럼 보인다.

ㄷ. 상상이가 정지해 있을 때 거울이 상상이에게 v 의 속력으로 다가오면 거울과 인형 사이도 가까워지므로 인형상이 상상이에게 $2v$ 로 다가오게 된다. 이때 상상이도 v 의 속력으로 거울쪽으로 다가가고 있으므로, 상상이가 보는 인형상의 속력은 $2v + v = 3v$ 로 상상이에게 다가오게 된다.

20. 답 ⑤

해설 평면거울에 의한 상은 실제 물체와 크기가 같고, 좌우가 반대인 허상이다. 주어진 문제에서 상의 크기가 물체의 크기보다 작고, 똑바로 선 상이므로, 물체의 위치에 관계없이 항상 축소된 정립 허상이 생기는 볼록 거울이다.

21. 답 ③

해설 물체에서 렌즈의 중심까지의 거리 a = 45cm, 렌즈의 중심에서 상까지의 거리 b, 렌즈의 중심에서 초점까지의 거리 f = 20cm(실초점이므로 (+))이다.

$$\frac{1}{45\text{cm}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{20}, \quad \therefore b = \frac{180}{5} = 36(\text{cm})$$

볼록 렌즈의 중심에서 오른쪽으로 36cm 인 곳에 도립 실상이 생긴다. 오목 렌즈의 오른쪽으로 20cm 위치이다.

22. 답 ④

해설 오목 렌즈의 오른쪽 20cm 위치의 상이 물체의 역할을 한다. 빛은 오목 렌즈의 왼쪽에서 오고 있으므로, 물체 기준 렌즈 왼쪽은 (+), 오른쪽은 (–) 위치이다. 상을 기준으로 하면 렌즈 왼쪽은 (–)이고 허상이 생기며, 오른쪽은 (+) 위치이고 실상이 생긴다.

물체까지의 거리 a' = –20cm, 상까지의 거리 b', 초점 거리 f' = – 30cm(허초점)

$$-\frac{1}{20\text{cm}} + \frac{1}{b'} = -\frac{1}{30} \quad \therefore b' = 60(\text{cm}); \text{실상}$$

이는 오목 렌즈의 오른쪽으로 60cm 떨어져 있는 곳에 도립 실상 (오목 렌즈는 상의 상하가 바뀌지 않는다.)이 생긴다는 것이다. 이것은 볼록 렌즈의 중심에서 오른쪽으로 76cm 위치이다.

23. 답 ③

해설 ㄱ. 그래프를 통해 a = 30cm 일 때, b = 30cm가 되는 것을 알 수 있다. 따라서 렌즈 공식에 의해

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} \rightarrow \frac{1}{30\text{cm}} + \frac{1}{30\text{cm}} = \frac{2}{30\text{cm}}$$

$$\therefore f = 15(\text{cm})(\text{볼록 렌즈})$$

ㄴ. 항상 허상만 생기는 렌즈는 오목 렌즈이다.

ㄷ. 렌즈의 중심에서 30cm 떨어진 지점은 초점 거리의 2배가 되는 지점이다. 이 지점에 물체를 놓으면, 렌즈의 반대편 초점 거리의 2배가 되는 지점에 같은 크기의 도립 실상이 생긴다.

24. 답 ①

해설 간이 현미경에서 렌즈 A는 접안 렌즈, B는 대물 렌즈이다.

렌즈 B에 의한 상 : 물체까지의 거리 a = 1.4cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f = 1.2cm

$$\frac{1}{1.4\text{cm}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{1.2}, \quad b = \frac{1.68}{0.2} = 8.4(\text{cm})$$

렌즈 B의 왼쪽으로 8.4cm 떨어진 곳에 확대된 도립 실상이 생긴다.

이때 렌즈 B의 배율은 $m = \left|\frac{b}{a}\right| = \frac{8.4}{1.4} = 6$ 배

렌즈 A(접안 렌즈)에 의한 상 : 물체까지의 거리 a' = 1.8cm, 상까지의 거리 b', 초점 거리 f' = 2cm

$$\frac{1}{1.8\text{cm}} + \frac{1}{b'} = \frac{1}{2}, \quad b = -18(\text{cm})$$

오른쪽으로 18cm 떨어진 곳에 확대된 도립 허상이 생긴다. (렌즈 A 기준 물체가 오른쪽에 있으므로, 왼쪽에 상이 생기면 도립 실상이며 그 위치가 (+)이고, 물체와 같은 쪽(오른쪽)에 상이 생기면 정립 허상이며, 그 위치는 (-)이다. 이 상은 렌즈 A의 왼쪽에서 관찰해야 볼 수 있다.)

이때 렌즈 A의 배율은 $m' = \frac{18}{1.8} = 10$

ㄱ. 광학 현미경의 배율은 대물렌즈 배율과 접안렌즈 배율의 곱으로 간이 현미경의 배율은 60배가 된다. 따라서 물체의 크기가 1mm라면, 간이 현미경으로 관찰한 물체의 크기는 60배인 60mm = 6cm 이다.

ㄷ. 대물렌즈(렌즈 B)에 의한 상은 접안렌즈(렌즈 A)의 초점 안에 확대된 도립 실상으로 생긴다.

25. 답 (1) 19 (2) 3.6

해설 (1) 평면거울에 의한 상은 평면거울과 대칭되는 지점에 생긴다. 따라서 볼록 렌즈에 의한 상이 평면거울 앞 3cm 지점에 생긴 것을 알 수 있다. 따라서 물체까지의 거리 a, 상까지의 거리 b = (15 – 3) = 12cm, 초점 거리 f = 3cm

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{12\text{cm}} = \frac{1}{3\text{cm}}, \quad a = \frac{12}{3} = 4(\text{cm})$$

물체는 볼록 렌즈로부터 왼쪽으로 4cm 지점에 있으므로, 평면거울과는 19cm 떨어져 있다.

(2) 볼록 렌즈는 평면거울에 맺힌 상을 물체로 인식하여 또 다른 상을 만들어 낸다. 따라서 물체까지의 거리 a = 18cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f = 3cm

$$\frac{1}{18\text{cm}} + \frac{1}{b} = \frac{1}{3\text{cm}}, \quad b = \frac{18}{5} = 3.6(\text{cm})$$

상은 볼록 렌즈의 중심에서 왼쪽으로 3.6cm 지점에 생긴다.

26. 답 ①

해설 (가)는 초점으로 입사한 빛이 광축과 평행하게 반사하는 성질이 있는 오목 거울을 이용한 것이고, (나)는 볼록 거울을 이용하여 넓은 범위를 비춰볼 수 있다.

ㄱ. 오목 거울의 초점에 위치한 물체는 상이 생기지 않는다.

ㄴ, ㄷ. (나)에 사용된 볼록 거울은 물체의 위치와 관계없이

항상 축소된 정립 허상이 생긴다. 따라서 거울의 배율은 (−)이다.

27. 답 10

해설 ㉠ 물체가 처음 위치일 때 : 스크린에 상이 생긴 것은 실제로 빛이 모인 것이므로 실상이다. 거울과 물체와의 거리 a, 거울과 상(스크린)까지의 거리를 b 라고 할 때, 물체 크기의 2배의 상이 생겼으므로 $m=\left|\frac{b}{a}\right|=2 \rightarrow b=2a \cdots$ ①

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{a+b}{ab}=\frac{a+2a}{2a^2}=\frac{3}{2a}\cdots ②$$

㉡ 물체를 거울 앞으로 x 만큼 옮겼을 때 : 거울과 물체와의 거리 $a'=a-x$, 거울과 상(스크린)까지의 거리를 $b'=b+30$, 라고 할 때, 물체 크기의 5배의 상이 생겼으므로

$$m=\left|\frac{b}{a}\right|=5 \rightarrow b'=5a',\ b+30=5(a-x)\cdots ③$$

$$\frac{1}{f}=\frac{1}{a'}+\frac{1}{b'}=\frac{a'+b'}{a'b'}=\frac{a-x+b+30}{(a-x)(b+30)}$$

$$=\frac{a-x+b+30}{ab+30a-bx-30x}\ (\text{① 을 대입})$$

$$=\frac{3a-x+30}{2a^2+30a-2ax-30x}\cdots ④$$

②= ④이므로,

$$\frac{3a-x+30}{2a^2+30a-2ax-30x}=\frac{3}{2a}$$

$\rightarrow 2a(3a-x+30)=3(2a^2+30a-2ax-30x)$

$\rightarrow 4ax-30a+90x=0$ 이고, ③에서 $x=\frac{3}{5}a-6$ 이므로,

$\rightarrow a^2=225,\quad \therefore a=15$ 이고, $b=30$ 이다.

$$f=\frac{ab}{a+b}=\frac{450}{15+30}=10(\text{cm})$$

28. 답 왼쪽으로 30 cm

해설 초점 거리가 (+)인 렌즈 A는 볼록 렌즈, 초점 거리가 (−)인 렌즈 B는 오목 렌즈이다. 물체에 의한 빛이 왼쪽으로부터 오고 있으므로 물체에 대해 렌즈의 왼쪽이 (+) 위치이고, 상에 대해 렌즈의 오른쪽이 (+) 위치이다.

㉠ **볼록 렌즈 A에 의한 상** : 물체까지의 거리 $a=40$cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 f,

$$\frac{1}{40}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}=\frac{1}{20},\ b=40\text{cm}$$

렌즈 A의 오른쪽으로 40cm 위치에 상이 생기므로, 렌즈 B의 오른쪽으로 30cm 위치이다.

㉡ **오목 렌즈 B에 의한 상** : 물체까지의 거리 $a'=-30$cm, 상까지의 거리 b', 초점 거리 $f'=-15$cm,

$$-\frac{1}{30}+\frac{1}{b'}=-\frac{1}{15},\ b'=-30\text{cm}$$

따라서 렌즈 A와 B에 의한 최종 상은 렌즈 B의 왼쪽으로 30cm 지점에 현 물체의 도립 허상이 생긴다.

29. 답 〈해설 참조〉

해설 1. **오목 렌즈에 의한 상** : 물체에서 렌즈의 중심까지의 거리 $a=30$cm, 렌즈의 중심에서 상까지의 거리 b, 렌즈의 중심에서 초점까지의 거리 $f=-10$cm

$$\frac{1}{30\text{cm}}+\frac{1}{b}=-\frac{1}{10\text{cm}}$$

$$b=-\frac{30}{4}=-7.5(\text{cm})(\text{오목 렌즈 앞, 정립허상})$$

2. **볼록 렌즈에 의한 상** : 오목 렌즈에 의한 상이 물체가 된다. 물체까지의 거리 $a=20+7.5=27.5$cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f=10$cm

$$\frac{1}{27.5\text{cm}}+\frac{1}{b}=\frac{1}{10\text{cm}}$$

$$b=\frac{af}{a-f}=\frac{275}{17.5}\cong 16(\text{cm})(\text{볼록 렌즈 뒤, 도립 실상})$$

3. **오목 거울에 의한 상** : 볼록렌즈에 의한 상이 물체가 된다. 물체까지의 거리 $a=20-16=4$cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f=10$cm

$$\frac{1}{4\text{cm}}+\frac{1}{b}=\frac{1}{10\text{cm}}$$

$$\therefore b=-\frac{40}{6}\cong -7(\text{cm})(\text{거울 뒤})$$

거울 뒤 7cm 지점에 상(도립 허상)이 생긴다.

30. 답 (1) 볼록 렌즈 (2) 렌즈 뒤쪽으로 150cm 떨어진 지점에 상이 생긴다.

해설 (1) 렌즈의 배율이 (+)이므로, 렌즈의 공식에서 a, b의 부호가 같음을 알 수 있다. 이때 물체는 실제 렌즈 앞에 놓인 물체이므로 $a>0$이므로 $b>0$ 이 된다. 따라서 실상이 생기는 볼록 렌즈임을 알 수 있다.

(2) 렌즈의 배율 $m=\left|\frac{b}{a}\right|=+5 \rightarrow b=5a$

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{5a}=\frac{1}{25},\ a=30(\text{cm}),\ b=150(\text{cm})\ (\text{렌즈 뒤})$$

31. 답 〈해설 참조〉

해설 빛이 왼쪽에서 오고 있으므로 물체에 대해 렌즈의 왼쪽 거리는 (+), 상에 대해 렌즈의 오른쪽 거리가 (+)이다.

오목 렌즈 A에 의한 상 : 물체까지의 거리 $a=4$cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f=-4$cm

$$\frac{1}{4\text{cm}}+\frac{1}{b}=-\frac{1}{4},\ b=-2(\text{cm})$$

렌즈 A의 왼쪽 2cm 인 곳에 축소된 정립 허상이 생긴다.

오목 렌즈 B에 의한 상 : 오목 렌즈 B가 인식하는 물체는 오목렌즈 A에 의해 생긴 상이다. 물체까지의 거리 $a'=12$cm, 상까지의 거리 b', 초점 거리 $f'=-4$cm

$$\frac{1}{12\text{cm}}+\frac{1}{b'}=-\frac{1}{4},\ b=-3(\text{cm})$$

렌즈 B에서 왼쪽으로 3cm 떨어진 곳에 축소된 정립 허상이 생긴다.

32. 답 가장 먼 곳 : ㉢, 가장 가까운 곳 : ㉡

해설 렌즈 A에 의한 상을 렌즈 B는 물체로 인식하여 상을 맺고, 렌즈 C는 렌즈 B에 의한 상을 물체로 인식하여 상을 맺는다. 따라서 각 렌즈에 의한 상의 위치 b 는 다음과 같다.

$$\frac{1}{a}+\frac{1}{b}=\frac{1}{f}\rightarrow b=\frac{af}{a-f}$$

㉠ **렌즈 A에 의한 상** : 물체까지의 거리 $a=12$cm, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f=6$cm

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{12 \times 6}{12-6} = 12 \text{ (렌즈 뒤쪽, 실상)}$$

렌즈 B에 의한 상 : 물체까지의 거리 $a = 15 - 12 = 3\text{cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = 2\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{3 \times 2}{3-2} = 6 \text{ (렌즈 뒤쪽, 실상)}$$

렌즈 C에 의한 상 : 물체까지의 거리 $a = 11 - 6 = 5\text{cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = 3\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{5 \times 3}{5-3} = 7.5 \text{ (렌즈 뒤쪽, 실상)}$$

따라서 렌즈 C에서 오른쪽으로 7.5cm 지점에 최종 상이 생긴다.

㉡ **렌즈 A에 의한 상** : 물체까지의 거리 $a = 4\text{cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = -6\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{4 \times (-6)}{4-(-6)} = -2.4 \text{ (렌즈 앞쪽, 허상)}$$

렌즈 B에 의한 상 : 물체까지의 거리 $a = 2.4 + 9.6 = 12\text{cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = 6\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{12 \times 6}{12-6} = 12 \text{ (렌즈 뒤쪽, 실상)}$$

렌즈 C에 의한 상 : 물체까지의 거리 $a = 14 - 12 = 2\text{cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = 4\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{2 \times 4}{2-4} = -4 \text{ (렌즈 앞쪽, 허상)}$$

따라서 렌즈 C에서 왼쪽으로 4cm 지점에 최종 상이 맺힌다.

㉢ **렌즈 A에 의한 상** : 물체까지의 거리 $a = 8\text{cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = -8\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{8 \times (-8)}{8-(-8)} = -4 \text{(렌즈 앞쪽, 허상)}$$

렌즈 B에 의한 상 : 물체까지의 거리 $a = 4 + 8 = 12\text{cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = -16\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{12 \times (-16)}{12-(-16)} = -\frac{48}{7} \text{(렌즈 앞쪽, 허상)}$$

렌즈 C에 의한 상 : 물체까지의 거리 $a = 5 + \frac{48}{7} = \frac{83}{7}\text{ cm}$, 상까지의 거리 b, 초점 거리 $f = 8\text{cm}$

$$b = \frac{af}{a-f} = \frac{664}{27} \cong 24.6 \text{ (렌즈 뒤쪽, 실상)}$$

따라서 렌즈 C에서 오른쪽으로 약 24.6cm 지점에 최종 상이 맺힌다.

따라서 물체와 가장 멀리 상이 맺히는 조합은 ㉢, 가장 가까이 상이 맺히는 조합은 ㉡이다.

20강. Project 3

102~103쪽

Q1

〈예시 답안〉 소리는 물체를 진동시킬 때 발생하며, 매질이 필요한 탄성파이고, 소리 에너지를 전달할 수 있는 매질이 있으면 어디든 진행이 가능하기 때문에 어떤 방법으로든 달팽이관으로 진동이 전달되면 소리를 들을 수 있다.

해설 물체의 진동에 의해 생긴 음파는 귓바퀴에 모여 외이도를 지나 고막을 진동시키고, 이 진동이 귓속뼈에서 증폭된다. 증폭된 진동이 달팽이관에 전달되면 전기 신호로 바뀌고, 청각 세포가 이를 감지하여 청각 신경을 통해 대뇌로 전달되는 것이다.

Q2

〈예시 답안〉 시각 정보와 청각 정보를 감지하여 직접 전기 신호로 바꾸고 이것을 생체 전기로 만들 수 있는 전자 칩을 개발하여 각 조직이나 기관에 이식을 하여 신경을 통하지 않고 신호를 뇌로 직접 보낼 수 있도록 하면 될 것이다.

해설 사람이 사물을 보는 것은 물체에서 반사된 빛이 수정체를 통과하면서 굴절되어 망막에 맺히고, 망막에 있는 시각 세포(색을 인식하는 원뿔 세포, 명암을 인식하는 막대 세포)가 빛을 자극으로 받아들여 전기 신호로 바꾸고, 이 전기 신호가 시각 신경을 통해 대뇌로 전달되는 과정이다. 사람이 보거나 듣는 것은 시각 신경이나 청각 신경을 통해 자극을 전기 신호로 바꾸어 대뇌로 전달하는 과정인 것이다.

탐구

104~105쪽

[탐구-1] 골전도 이어폰 만들기

탐구 결과

〈예시 답안〉

미세한 소리는 잘 들리지 않으며, 큰 소리만 잘 들린다. 또한 일반적인 이어폰으로 소리를 들을 때보다 잡음도 많고, 음질이 좋지 않다.

자료 해석 및 일반화

〈예시 답안〉

목소리를 내게 되면 입 밖으로 내는 소리를 귀로 듣기도 하지만, 소리를 낼 때 두개골도 함께 진동하게 되어 골전도 현상으로 듣는 소리도 합쳐지게 되는 것이다. 그렇지만 녹음된 소리를 들을 때

는 공기의 진동에 의한 소리만를 듣기 때문에 내가 듣던 내 목소리와 다른 소리처럼 느껴지는 것이다.

[탐구-2] 속삭이는 회랑(Whispering Gallery)

1. 〈예시 답안〉
두 경우 모두 파동의 반사 성질을 이용하고 있다. '속삭이는 회랑'은 한 초점에서 발생한 소리(음파)가 돔 천장에서 반사된 뒤 다른 한 초점으로 모이는 것이라면, 반사면이 오목한 오목 거울은 거울에 반사된 빛이 모두 한 점(실초점)에 모인다.

2. 〈예시 답안〉
① 강의실 천장을 돔 형태로 만들고, 강의를 하는 사람의 강단을 초점 위에 놓고, 다른 초점을 중심으로 청중들을 배치한다면 강의 내용을 더욱 잘 들을 수 있다.
② 영화관 천장을 돔 형태로 만들어서, 영화관 스피커를 한 초점 위에 놓고, 다른 초점을 중심으로 관람객들을 배치한다면 더욱 선명한 소리를 들을 수 있다.

[탐구-2] 속삭이는 회랑(Whispering Gallery)

해설 실제로 이러한 원리는 신장 결석 파쇄기에 응용되고 있다. 신장에 생긴 결석을 타원의 한 초점에 위치하게 하고, 다른 한 초점에서 충격파를 발생시키면 타원 모양의 반사 장치를 통하여 충격파가 결석의 위치에 집중되어 결석을 파괴한다.

서술 106~107쪽

Q1

〈예시 답안〉
① 휴대 전화를 사용할 때 이어폰이나 핸즈프리 등을 사용하고, 가급적 통화는 짧게 한다.
② 휴대 전화 통화시간이 길어질 때에는 오른쪽, 왼쪽 번갈아 가며 사용한다.
③ 잠잘때는 휴대폰을 머리맡에 두지 않는다.
④ 가전 제품을 사용할 때는 적정 거리를 유지한다. (컴퓨터 모니터 50cm, TV 1m 등)
⑤ 가전 제품은 꼭 필요할 때만 단시간 사용하고, 사용 이후에는 항상 전원을 뽑는다.
⑥ 전기 장판은 담요를 깔고 사용하고, 온도는 낮게, 온도 조절기와 전원 접속부는 멀리 한다.
⑦ 전자레인지가 작동될 때에는 가까운 거리에서 들여다 보지 않는다.

해설 ④ 전자 제품의 전자파는 30cm 이상의 거리를 유지하면 밀착하여 사용할 때보다 전자파를 90% 정도 줄일 수 있다.

⑥ 전기장판의 자기장은 온도를 저온으로 낮추면 고온으로 사용할 때에 비해 방출되는 전자파의 세기가 50% 정도 줄어든다.

전자파가 인체에 미칠 수 있는 영향은 크게 열작용과 자극작용이 있다. 열작용은 주파수가 높고, 강한 세기의 전자파에 노출될 경우 체온이 상승하여 세포나 조직의 기능에 영향을 줄 수 있는 작용이다. 자극작용은 주파수가 낮고, 강한 세기의 전자파에 노출되었을 때 인체에 유도된 전류가 신경이나 근육을 자극하는 것을 말한다. 하지만 일상생활에서 사용되는 전자기기들의 전자파 세기는 매우 약하기 때문에 짧은 기간 동안 사용할 시 인체에 영향을 주지 않는다.

전자파는 전자파를 이용하는 다른 전기전자 제품에 영향을 미치기도 한다. 1984년 일본의 한 지하철역에서는 지하철역 부근 전자오락실에서 발생한 전자파로 인해 지하철의 운행을 조정하는 컴퓨터가 오작동을 일으켜 열차끼리 충돌하는 사고가 발생하기도 하였다. 이처럼 전자파가 다른 전자기기에 영향을 미칠 것을 고려하여 비행기의 이착륙시 휴대전화 사용을 자제해 달라는 기내 방송을 하기도 하고, 대형 종합 병원에서는 핸드폰 사용을 자제할 것을 권고하고 있다. 하지만 국내 한 연구소에서 전자파가 의료 기기에 미치는 영향에 관한 연구를 수행한 결과 휴대전화의 전자파가 의료기기에 미치는 영향은 없는 것으로 나타났다.

Ⅱ 에너지

21강. 돌림힘과 평형

개념 확인	110~113쪽
1. ㉠ 토크 ㉡ 지레의 팔 길이	
2. (1) 1종 (2) 3종 (3) 2종 **3.** 돌림힘 **4.** 중력	

확인+	110~113쪽
1. 90° **2.** 움직 도르래 **3.** 20 kg **4.** 10 N	

1. 답 90°
해설 돌림힘의 크기는 $\tau = Fr\sin\theta$ 이고, $\sin\theta$ 의 범위는 $-1 \le \sin\theta \le 1$이다. 따라서 $\sin\theta$의 값이 1일 때 최대가 되므로 $\theta = 90°$ 이다.

2. 답 움직 도르래
해설 고정 도르래는 물체의 무게와 같은 크기의 힘으로 물체를 들어 올리고, 움직 도르래는 물체 무게의 절반의 힘으로 물체를 들어 올린다.

3. 답 20 kg
해설 $Mg \times a = mg \times b \rightarrow M \times 1\text{m} = 10\text{kg} \times 2\text{m}$
$\therefore M = 20(\text{kg})$

4. 답 10 N
해설 복원력 $= F\sin\theta = 20\ \text{N} \times \sin 30° = 10\ \text{N}$

개념 다지기			114~115쪽
01. ③	**02.** ④	**03.** ⑤	**04.** ④
05. ①	**06.** ②	**07.** ⑤	**08.** ②

01. 답 ③
해설 돌림힘의 크기는 $\tau = Fr\sin\theta$ 이므로, 힘의 크기(F)가 클수록 돌림힘의 크기(τ)도 커진다.

02. 답 ④
해설 지레의 팔(렌치)과 힘이 수직($\theta = 90°$)을 이루고 있으므로 $\tau = Fr\sin\theta = Fr = 0.2\ \text{m} \times 20\ \text{N} = 4\ \text{N}\cdot\text{m}$이다.

03. 답 ⑤
해설 지레에서 물체가 받은 일과 힘이 한 일은 같다.
$$W \times a = F \times b \rightarrow 100\ \text{N} \times 1\ \text{m} = F \times 2\ \text{m}$$
$$\therefore F = 50\ \text{N}$$

04. 답 ④
해설 받침점을 회전축으로 하는 반지름이 r 인 움직 도르래에서 돌림힘의 크기 τ 는 다음과 같다.
$$\tau = F \cdot 2r = 20\ \text{N} \times 2\ \text{m} = 40\ \text{N}\cdot\text{m}$$

05. 답 ①
해설 축바퀴의 작은 바퀴와 큰 바퀴의 반지름을 각각 a, b 라고 하면, 돌림힘의 평형에 의해 $mga = Fb$, $a : b = 1 : 2$ 이다. $\therefore F \cdot 2a = 200 \cdot a$, $F = 100\text{N}$

06. 답 ②
해설 물체 A의 무게에 의해 시소를 시계 방향으로 회전시키는 돌림힘 $\tau_1 = 2\ \text{m} \times 100\ \text{N} = 200\ \text{N}\cdot\text{m}$
돌의 무게에 의해 시소를 시계 반대 반향으로 회전시키는 돌림힘 $\tau_2 = 1\ \text{m} \times$ 돌의 무게(x)
이때 시소가 수평을 이루고 있으므로 시계 방향으로 회전시키는 돌림힘과 시계 반대 방향으로 회전시키는 돌림힘의 크기가 같다.
$\therefore \tau_1 = \tau_2 \rightarrow 200\ \text{N}\cdot\text{m} = 1\ \text{m} \times x,\ x = 200\text{N}$

07. 답 ⑤
해설 실에 매달려 수평 상태를 유지하고 있기 위해서는 돌림힘의 합이 0이 되어야 한다. 따라서 왼쪽 실과 막대가 연결되어 있는 곳을 회전축으로 정하면, 시계 방향으로 작용하는 돌림힘 = 반시계 방향으로 작용하는 돌림힘이 되어야 한다.
$\therefore 5\ \text{N} \times 2\ \text{m} + 30\ \text{N} \times 5\ \text{m} = F \times 10\ \text{m} \rightarrow F = 16\ \text{N}$

08. 답 ②
해설 회전축에 대한 돌림힘의 크기는 τ 는 다음과 같다.
$$\tau = Fr\sin\theta = 20\ \text{N} \times 1\ \text{m} \times \sin 30° = 10\ \text{N}\cdot\text{m}$$

유형 익히기 & 하브루타		116~119쪽
[유형 21-1] (1) ④ (2) ③		
	01. ①	**02.** ④
[유형 21-2] (1) ② (2) ⑤		
	03. ③	**04.** ④
[유형 21-3] (1) ⑤ (2) ①		
	05. ②	**06.** ④
[유형 21-4] ④	**07.** ③	**08.** ⑤

[유형 21-1] 답 (1) ④ (2) ③
해설 (1) $\tau = Fr\sin\theta = 9\ \text{N} \times 1\ \text{m} \times \sin 30° = 4.5\ \text{N}\cdot\text{m}$
(2) 막대는 회전하지 않고 있으므로 9N의 힘에 의한 돌림힘(막대에 시계 반대 방향으로 작용하는 돌림힘)과 힘 F 에 의한 돌림힘(막대에 시계 방향으로 작용하는 돌림힘)이 평형

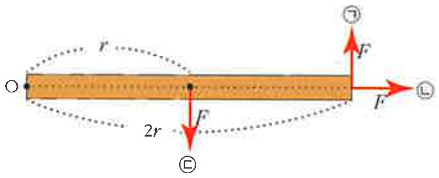
을 이루고 있다.

$$\therefore 9\text{N} \times 1\text{m} \times \sin 30^\circ = F \times 3\text{ m} \times \sin 60^\circ$$

$$\rightarrow 4.5 = F \times 1.5\sqrt{3}\text{ N}\cdot\text{m},\ \therefore F = \sqrt{3}\text{ N}$$

01. 답 ①

해설



ㄱ. 막대와 막대의 길이 방향으로 작용하는 힘 ㉡ 사이의 각도는 0° 이므로 돌림힘이 작용하지 않는다(돌림힘 = 0).
ㄴ, ㄷ. 힘 ㉠에 의한 돌림힘의 크기는 $\tau = 2Fr$(반시계 방향), 힘 ㉡에 의한 돌림힘의 크기는 0, 힘 ㉢에 의한 돌림힘의 크기는 $\tau = Fr$(시계 방향) 이다. 이때 힘 ㉠에 의한 돌림힘의 크기가 힘 ㉢에 의한 돌림힘의 크기보다 크므로 막대는 반시계 방향으로 회전한다. 따라서 세 힘에 의한 돌림힘의 크기는 $2Fr - Fr = Fr$ 이다.

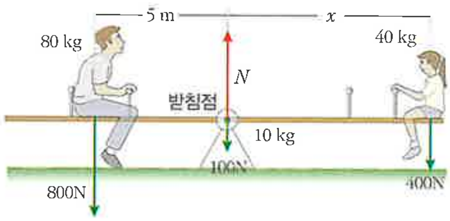
02. 답 ④

해설 ㄱ. 여자가 mg의 무게로 시소를 누르므로 시소가 여자를 받치는 힘의 크기는 mg이다.
ㄴ. 돌림힘의 평형이므로 남자의 무게는 $2mg$이다. 여자가 mg의 무게로 시소를 누를 때 남자는 시소를 $2mg$로 시소를 누르므로 그 반작용으로 시소가 남자를 떠받치는 힘도 $2mg$이다.
ㄷ. 평형 상태이고, 시소의 무게는 고려하지 않으므로 남자와 여자가 작용하는 힘의 합력의 크기가 받침대가 받치는 힘의 크기와 같다.

$$\therefore mg + 2mg = 3mg$$

[유형 21-2] 답 (1) ② (2) ⑤

해설 (1) 남자와 여자, 시소는 지구 중력에 의해 아래쪽으로 힘을 받고 있으나, 시소의 받침점에서는 위로 받쳐주는 수직항력이 작용하기 때문에 남자와 여자, 시소는 평형을 이루고 있다.



$\therefore$ 800 N + 400 N + 100 N = 1300 N
(2) 시소가 평형을 유지하려면 모든 돌림힘의 합이 0이어야 한다. 받침점을 기준으로 시소의 무게 중심은 받침점이므로 자체의 돌림힘은 0 이다.
$\therefore$ 800 N × 5 m = 400 N × x, x = 10 m

03. 답 ③

해설 (가) $F \times 2x$ = 작용힘 × x → 작용힘 = $2F$
(나) $F \times 4x$ = 작용힘 × x → 작용힘 = $4F$
(다) $F \times 2x$ = 작용힘 × $4x$ → 작용힘 = $\frac{1}{2}F$

04. 답 ④

해설 작은 바퀴의 반지름을 r 이라고 한다.
ㄱ. ㉠의 돌림힘의 크기 = $2mg \times 2r = 4mgr$
㉡의 돌림힘의 크기 = $mg \times r = mgr$
따라서 ㉠의 돌림힘이 더 크므로 ㉠쪽으로 돌아간다.
ㄴ. 돌림힘의 크기는 힘의 크기 × 지레의 팔길이 이다. 힘의 크기 비가 1 : 2 이고 지레의 팔길이 비가 2 : 1 이므로, 돌림힘의 크기 비는 1 : 1 이다. ㄷ. 돌림힘의 크기가 큰 바퀴와 작은 바퀴가 같으면 정지 상태를 유지한다. ㉠에 질량 m, $2m$인 두 물체를 모두 매달 경우 $3mg \times 2r = 6mg \times r$ 이므로 ㉡에 질량이 $6m$인 물체를 매달면 된다.

[유형 21-3] 답 (1) ⑤ (2) ①

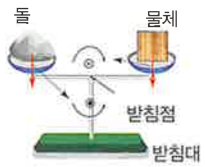
해설 (1) 두 개의 받침대가 막대를 위로 떠받치는 힘(수직항력의 합)은 막대와 물체가 아래로 누르는 힘(중력의 합)과 같다. (2 kg + 4 kg) × 10 m/s^2 = 60 N
(2) 힘 F는 받침대가 막대를 떠받치는 수직항력이다.정지 상태를 유지하려면 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족해야 한다. ㉠을 회전축으로 하면 시계 방향으로,
막대의 돌림힘 : 40N× 3 m = 120 N · m
물체의 돌림힘 : 20N× 5 m = 100 N · m
점 ㉠에서 F의 돌림힘 = 0, 점 ㉡에서 막대에 작용하는 수직항력의 돌림힘 = $4F_{㉡}$(시계 반대 방향)

$$\therefore 120 + 100 = 4F_{㉡},\ F_{㉡} = 55\text{ N}$$

힘의 평형이 일어나므로 $F + F_{㉡}$ = 60 N, F = 5 N이다.

05. 답 ②

해설



ㄱ, ㄴ. 두 물체가 중심으로부터 같은 거리에 있으므로 질량이 같아야 돌림힘이 평형을 이루어 정지 상태를 유지할 수 있다.
ㄷ 돌의 돌림힘 방향은 종이면에서 나오는 방향이고, 물체의 돌림힘의 방향은 종이면으로 들어가는 방향이므로 서로 반대 방향이다.

06. 답 ④

해설 ㄱ, ㄴ. 힘의 평형 : (4kg + 2kg) × 10m/s^2 = 60N
돌림힘의 평형(저울 1과 물체의 접촉점을 회전축으로 한다.) :
물체에 의한 돌림힘(x × 40N) + 막대에 의한 돌림힘($2x$(무게 중심) × 20N) = $4x$ × F(저울 2가 막대에 가하는 힘)
→ F = 20N
따라서 저울 1의 눈금은 60N − 20N = 40N이 된다.
ㄷ. 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족해야 정지 상태를 유지할 수 있다.

[유형 21-4] 답 ④

해설 ㄱ. (가)에서는 접촉점에 대해 연직 윗방향이던 무게중심의 위치가 회전에 의해 (나)에서는 접촉점에 대해 연직

윗방향에서 왼쪽 방향으로 이동하게 된다.
ㄴ. (가)에서 무게가 작용하는 선과 팔의 방향이 같으므로 돌림힘의 크기는 0이다.
ㄷ. 무게 중심이 접촉점에서 왼쪽으로 벗어나 오뚝이의 무게가 접촉점을 회전 중심으로 하여 시계 반대 방향의 돌림힘을 발생시켜 원래 위치로 돌아가게 한다.

07. 답 ③
해설 물체가 안정된 정지 상태를 유지하기 위해서는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족해야 한다. 무게 중심이 받침면 위를 벗어나게 되면 무게 중심에 작용하는 중력에 의한 돌림힘이 발생하여 물체가 넘어지게 된다.
ㄱ. 물체의 받침면이 움직이는 것이 아니라 무게 중심이 받침면 범위를 벗어나기 때문에 넘어지기 쉽다.

08. 답 ⑤
해설 ㄱ, ㄴ 철수의 무게 중심이 받침면 위를 벗어나면 무게 중심에 작용하는 중력에 의한 돌림힘이 발생하여(회전축: 발바닥) 철수는 앞으로 넘어진다.
ㄷ. 철수가 넘어지지 않으려면 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족하여 역학적 평형을 유지해야 한다.

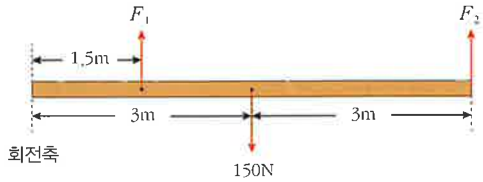
창의력 & 토론마당 120~123쪽

01 (1) 0 (2) 2 kg (3) 35 N

해설 (1) 막대가 정지해 있으므로 막대에 작용하는 알짜힘은 0이다.
(2) 물체의 무게를 W라고 하고, 저울 손잡이가 막대에 연결된 점을 회전축으로 하고 저울 막대의 무게 중심의 돌림힘을 고려하여 돌림힘의 평형을 적용하면,
$(0.2 \times 5) + (0.1 \times 10) = 0.1 \times W$, $\therefore W = 20$ N
따라서 물체의 질량은 2 kg이다.
(3) 손이 줄을 당기는 힘 = 막대의 무게 + 돌의 무게 + 물체의 무게 = 5 N + 10 N + 20 N = 35 N

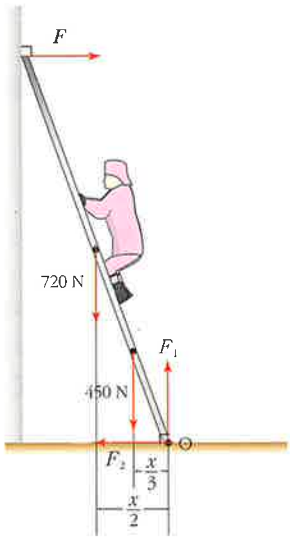
02 (1) 75 N (2) 100 N

해설 (1) 막대는 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 이루고 있으므로 남자 1에 의한 힘과 남자 2에 의한 힘의 합은 150 N이 된다. 출발 후 2초인 순간 남자 1은 1 m를 움직여서 중심으로부터 왼쪽으로 2 m 떨어져 있고, 남자 2는 2m를 움직여서 중심으로부터 오른쪽으로 2 m 떨어져 있다. 두 남자가 회전축을 중심으로 같은 거리만큼 떨어져 있으므로 두 남자가 막대에 주는 힘은 각각 75 N으로 같다.

(2)


남자 2가 오른쪽 끝에 도달했을 때 3초가 지났으므로 남자 1은 1.5m 이동하였다. 남자 1에 의한 힘 F_1, 남자 2에 의한 힘 F_2 이고, 저울의 왼쪽 끝을 회전축으로 하면,
$F_1 + F_2 = 150$ (힘의 평형), $1.5F_1 + 6F_2 = 150 \times 3$ (돌림힘)
$\therefore F_1 = 100\text{N}, \quad F_2 = 50\text{N}$

03 (1) 416 N (2) 1170 N



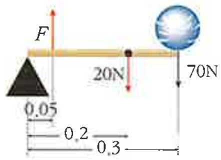
해설 바닥에 닿아 있는 사다리의 끝지점과 벽 사이의 거리를 x라고 하면, x의 값은 피타고라스 정리에 의해서
$x = (12^2 - 9.3^2)^{\frac{1}{2}} = 7.58$ m
이다.
(1) 사다리가 정지 상태이므로 힘의 평형과 돌림힘의 평형 상태이다. 돌림힘을 계산하기 위해 축을 지면과 수직이 되도록 O점에 잡는다. (이때 반시계 방향을 (+), 시계 방향을 (−)라고 한다.)
힘 F 가 작용하는 지점에서 지레의 팔의 길이는 바닥면에서의 높이가 되고, 소방수의 무게 중심에서 지레의 팔의 길이는 $\frac{x}{2}$, 사다리의 무게 중심에서 지레의 팔의 길이는 $\frac{x}{3}$ 가 된다.
원점 O에 수직 방향과 수평 방향으로 작용하는 돌림힘의 경우 지레의 팔의 길이가 0이므로, 각각 0 이 된다.

$$\rightarrow (-9.3) \times F + (\frac{x}{2}) \times 720 + (\frac{x}{3}) \times 450 = 0$$
$$\therefore F \fallingdotseq 416(\text{N})$$

(2) O점에서 사다리에 수직 위 방향으로 작용하는 힘(바닥면이 사다리에 작용하는 수직 항력)을 F_1, O 점에서 사다리에 수평 방향으로 작용하는 힘을 F_2라고 할 때 연직 방향과 수평 방향으로 각각 힘의 평형이므로
$F - F_2 = 0$, $F_1 - 720\text{N} - 450\text{N} = 0$
따라서 F_1은 1170(N), $F_2 \fallingdotseq 416$(N) 이다.

04 500 N

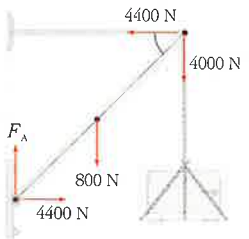
해설



팔꿈치 접점을 회전축으로 돌림힘의 평형을 만족해야 한다. 이두박근이 아래 팔에 작용하는 힘을 F라 할 때, $F \times 0.05$ m = (2 kg × 10 m/s^2 × 0.2 m) + (7 kg × 10 m/s^2 × 0.3 m) = 25 N · m이다. 따라서 F = 500 N이다.

05 (1) 4400 N (2) 6511.5 N

해설 (1) 경첩을 회전축으로 하고 강철줄의 장력을 F라고 하면, 돌림힘의 평형에 의해서 반시계 방향 돌림힘 = 시계 방향 돌림힘 이므로, F × 2(팔의 길이) = 금고의 무게 × 2 + 막대의 무게 × 1 이다.
F × 2 m = (400 kg × 10m/s^2 × 2 m) + (80 kg × 10m/s^2 × 1 m)이다. 따라서 장력 F = 4400 N이 된다.



(2) 그림과 같이 힘이 작용하며, 힘의 평형에 의해 F_A의 크기는 800 N + 4000 N = 4800 N이다. 피타고라스 정리에 의해서 경첩이 막대에 가하는 알짜 힘의 크기는 $(4400^2 + 4800^2)^{\frac{1}{2}}$ = 6511.5 N이 된다.

스스로 실력 높이기 124~131쪽

01. ④	02. ④	03. ⑤	04. ②	05. ①
06. ②	07. ⑤	08. ①	09. ①	10. ②
11. ④	12. ④	13. ⑤	14. ①	15. ④
16. ③	17. ④	18. ⑤	19. ①	20. ③
21. ⑤	22. ②	23. ②	24. ③	25. ①
26. ①	27. ②	28. ③	29. ②	30. ⑤
31. ②	32. ④			

01. 답 ④
해설 ④ 칼로 종이를 자르는 경우는 칼을 회전시키지 않으므로 돌림힘을 이용한 것이 아니다.

02. 답 ④
해설 (가)에서 돌림힘의 크기는 30 N × 0.2 m = 6 N · m이다. (가)에서의 돌림힘과 (나)에서의 돌림힘의 크기가 같으므로 (나)에서 너트를 조이기 위해 렌치의 끝에 수직으로 가해야 하는 힘 F의 최소 크기는 다음과 같다.

$$F \times 0.3 = 6 \rightarrow F = 20 \text{ N}$$

03. 답 ⑤
해설 ㄱ. F_1은 막대에 수직으로 작용하였으므로 돌림힘의 크기가 최대이다.
ㄴ. F_1에 의한 돌림힘의 크기는 5 N × 10 m = 50 N · m이다.
ㄷ. F_3은 막대에 수평으로 작용하였으므로 돌림힘이 작용하지 않는다. 따라서 돌림힘의 크기는 0이다.

04. 답 ②
해설 ㄱ. 돌림힘의 크기는 $\tau = Fr \sin\theta$이므로 지레의 팔의 길이가 더 긴 (나)의 돌림힘의 크기가 더 크다.
ㄴ. (가)와 (나)에서 크기가 같은 힘을 같은 방향으로 주었으므로 고정점에 작용하는 힘의 크기는 같다.
ㄷ. 고정점이 회전축이므로 회전축을 중심으로 시계 방향으로 회전한다.

05. 답 ①
해설 ㄱ. 여자의 무게에 의해 시소가 시계 반대 방향으로 회전한다. 따라서 시소를 시계 반대 방향으로 회전시키는 돌림힘의 크기는 200 N × 4 m = 800 N · m이다.
ㄴ. 남자의 무게에 의해 시소가 시계 방향으로 회전하고, 시소가 수평을 이루고 있으므로 시계 방향으로 회전시키는 돌림힘의 크기는 여자가 시계 반대 방향으로 회전시키는 돌림힘의 크기와 같다. 따라서 시계 방향으로 회전시키는 돌림힘의 크기도 800 N · m이다.
ㄷ. 남자의 몸무게 × 2 m = 800 N · m
∴ 남자의 몸무게 = 400 N

06. 답 ②
해설 받침점을 회전축으로 하면 시계 반대 방향으로 회전시키려는 돌림힘의 크기는 20 N × 2.5 m + 20 N × 1 m = 70 N · m이다. 따라서 움직 도르래가 주어야 할 돌림힘의 크기는 70 N · m이고 거리가 5 m이므로 움직 도르래가 주어야 할 힘은 $\frac{70}{5}$ = 14 N이 된다.
따라서 고정 도르래를 통해 주어야 하는 힘의 크기는 이의 절반인 7 N이다.

07. 답 ⑤
해설 ㉠은 지레로 받침점과 작용점 사이의 거리와 받침점과 힘점 사이의 거리의 비가 1 : 4이므로, 물체를 들어 올리는 데 물체 무게의 $\frac{1}{4}$의 힘이 필요하다.
㉡은 축바퀴로 각 축의 반지름 비가 1 : 2 이므로, 물체 무게의 $\frac{1}{2}$의 힘이 필요하다.
㉢은 복합 도르래로 고정 도르래는 힘의 이득이 없고, 움직 도르래는 물체 무게를 절반으로 줄여준다. 따라서 물체 무게

의 $\frac{1}{2}$의 힘이 필요하다.

08. 답 ①

해설 가로의 길이가 2 cm이므로 x 축의 무게 중심의 좌표는 1 cm이고, 세로의 길이가 4 cm이므로 y 축의 무게 중심의 좌표는 2 cm이다.

09. 답 ①

해설 ㄱ. O점을 받침대로 받쳤을 때 야구 방망이가 평형 상태를 유지하고 있으므로 무게 중심은 O점이다.
ㄴ. 회전축이 O점이므로 야구 방망이 손잡이 쪽에 작용하는 돌림힘의 방향은 시계 방향이다.
ㄷ. 힘의 평형 조건에 의해 받침점을 P점 쪽으로 옮긴 순간 받침점이 야구 방망이에 작용하는 힘은 야구 방망이의 무게와 같기 때문에 변하지 않는다.

10. 답 ②

해설 $\tau = Fr\sin\theta = 100\ \mathrm{N} \times 2\ \mathrm{m} \times \sin 30° = 100\ \mathrm{N \cdot m}$

11. 답 ④

해설 ㄱ. (가)와 (나) 모두 F_1, F_2의 크기가 같고 방향이 반대이므로 알짜힘의 크기는 0으로 같다.
ㄴ. (가)는 두 힘에 의한 돌림힘의 방향이 같으므로 돌림힘의 합은 0이 아니다.
ㄷ. (나)는 정지 상태이므로 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족한다.

12. 답 ④

해설 ㉠은 두 힘의 크기와 팔길이가 같고 돌림힘의 방향이 반대이므로, 돌림힘의 평형이 이루어져 판이 회전하지 않는다.
㉡은 시계 방향으로 작용하는 힘 F_1의 팔길이가 더 길어 회전한다.
㉢은 두 힘의 크기와 팔길이가 같지만, 두 힘이 모두 시계 반대 방향으로 판을 회전시킨다.

13. 답 ⑤

해설 ㄱ, ㄴ. 힘의 평형과 돌림힘의 평형이 동시에 이루어지고 있다. 막대의 무게 중심은 막대의 중심점이다.
돌림힘의 평형(물체가 매달린 지점을 중심으로 할 때) :

$$-T_1 \times 0.3 + T_2 \times 0.4 - 500\ \mathrm{N} \times 0.2 = 0$$

두 줄의 장력이 같으므로 장력 $T_1 = T_2 = 1{,}000\ \mathrm{N}$ 이다.
ㄷ. 힘의 평형 : $T_1 + T_2 = 500\ \mathrm{N}$ + 물체의 무게

$\therefore$ 물체의 무게 $= 1{,}500\ \mathrm{N}$

14. 답 ①

해설 ㄱ. 힘의 평형을 이루고 있으므로 $F_A + F_B = 100\ \mathrm{N}$이 된다.
ㄴ. 힘 F_B의 팔길이가 4 m이므로 돌림힘의 크기는 $4F_B$이다.
ㄷ. A를 중심으로 하는 물체에 의한 돌림힘과 F_B에 의한 돌림힘의 합이 0이므로 힘 F_A과 F_B는 다음과 같다.
$100\ \mathrm{N} \times 1\ \mathrm{m} = F_B \times 4\ \mathrm{m} \rightarrow F_B = 25\ \mathrm{N},\ F_A = 75\ \mathrm{N}$

15. 답 ④

해설 ㄱ. 물체가 정지해 있으므로 막대에 작용하는 모든 힘의 합이 0이다. $\rightarrow F_A + F_B = 3mg$
ㄴ. O를 회전축으로 할 때, 막대에 작용하는 모든 돌림힘의 합이 0이므로 다음과 같은 식을 만족한다.

$$4F_BL = 3mgL + (2mg \cdot 2L) = 7mgL$$

ㄷ. $F_A + F_B = F_A + \frac{7}{4}mg = 3mg \rightarrow F_A = \frac{5}{4}mg$

16. 답 ③

해설 정지 상태를 유지하고 있으므로 역학적 평형 상태이다. 돌의 무게를 W라고 하면, 돌림힘의 평형에서 고정점을 기준점으로 한 경우에는 $2F_2 = 6W$, 받침점을 기준점으로 한 경우에는 $2F_1 = 4W$가 성립한다.

$$\therefore F_2 = 3W,\ F_1 = 2W \rightarrow F_1 : F_2 = 2 : 3$$

17. 답 ④

해설 (가)와 (나) 모두 막대가 수평을 이루었으므로 역학적 평형 상태이다. 점 ㉠에서 막대의 중심까지의 거리를 a, 점 ㉡에서 막대의 중심까지의 거리를 b 라 할 때, 돌림힘의 평형 상태이므로 다음 식이 성립한다.
(가)의 경우 : $am = 8b \rightarrow a = \frac{8b}{m}$
(나)의 경우 : $2a = bm\ (= \frac{16b}{m}),\quad \therefore m^2 = 16,\ m = 4\ \mathrm{kg}$

18. 답 ⑤

해설 나무판 A의 무게 중심은 나무판 A와 공 ㉠이 접촉한 지점에서 왼쪽으로 L만큼 떨어진 지점이고 나무판 B의 무게 중심은 나무판 B와 공 ㉡이 접촉한 지점에서 왼쪽으로 $2L - \frac{L}{4} = \frac{7L}{4}$ 만큼 떨어진 지점이다.

공 ㉠은 나무판 B에게 $2mg + F_1 + F_2$의 힘을 연직 아래로 작용한다. 이때 돌림힘의 평형에 의해 각각 다음과 같은 식이 성립한다.
나무판 A(회전축 = 공 ㉠과 나무판 A가 접촉한 지점) :
$\rightarrow\ 2LF_1 + Lmg = 2LF_2$
나무판 B(회전축 = 공 ㉡과 나무판 B가 접촉한 지점) :
$\rightarrow \frac{7L}{4}mg = \frac{L}{4}(2mg + F_1 + F_2)$

$$\therefore F_1 = \frac{9}{4}mg,\ F_2 = \frac{11}{4}mg \rightarrow F_1 : F_2 = 9 : 11$$

19. 답 ①

해설 $\tau_1 = F_1r_1 \sin 30° = 4 \times 1 \times \sin 30° = 2\ \mathrm{N \cdot m}$
$\tau_2 = F_2r_2 \sin 30° = 5 \times 2 \times \sin 30° = 5\ \mathrm{N \cdot m}$
따라서 τ_2가 더크므로 돌림힘의 크기는 시계 방향이고 크기는 $5\ \mathrm{N \cdot m} - 2\ \mathrm{N \cdot m} = 3\ \mathrm{N \cdot m}$이다.

20. 답 ③

해설 ㉠의 질량이 48 kg이고 막대의 길이가 1 : 3이므로 오른쪽 물체 ㉡, ㉢, ㉣을 합친 무게는 16 kg이 된다.
㉣의 질량을 x 라 할 때, ㉢의 질량 $= 3x$, ㉡의 질량 $= (x + 3x) \times 3 = 12x$ 이다.

$$\therefore ㉡ + ㉢ + ㉣ = x + 3x + 12x = 16x = 16\ \mathrm{kg}$$
$$\rightarrow ㉡ = 12\ \mathrm{kg},\ ㉢ = 3\ \mathrm{kg},\ ㉣ = 1\ \mathrm{kg}$$

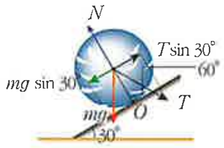
21. 답 ⑤

해설 돌림힘의 평형을 이루어야 하므로 호두를 까기 위해 손잡이에 가해야 하는 수직한 힘 F는 다음과 같다.

$$F \times 12\ \text{cm} = 40\ \text{N} \times 3\ \text{cm} \ \rightarrow\ F = 10\ \text{N}$$

22. 답 ②

해설

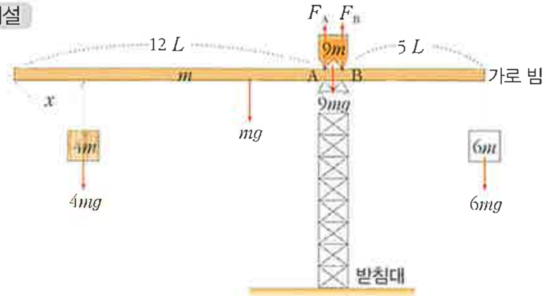


공과 경사면의 접촉점 O를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형이 이루어지고 있다고 하면, 공의 반경을 r이라고 할 때(이때 수직항력 N은 공에 토크로 작용하지 않는다.),

$T\sin 30^\circ r = mg\sin 30^\circ r \rightarrow T = mg = 10 \times 10 = 100\ \text{N}$

23. 답 ②

해설



받침점 A, B가 가로 빔을 떠받치는 힘을 각각 F_A, F_B라 두고, x가 최댓값일 때는 왼쪽 받침대가 가로 빔을 미는 힘 F_A의 크기가 0이고 x가 최솟값일 때는 오른쪽 받침대가 가로 빔을 미는 힘 F_B의 크기가 0인 순간이다. 중력 가속도를 g라 하면 x가 최댓값 x_A일 때는 $F_A = 0$이므로 받침점 B를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$(13L - x_A)\,4mg + 4L\,mg + 0.5L\,9mg = 5L \times 6mg$

$\rightarrow\ x_A = \dfrac{30.5L}{4}$

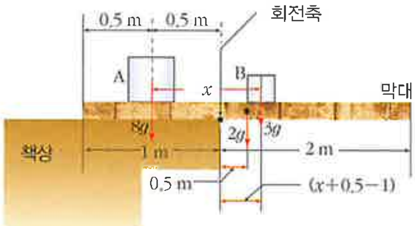
x가 최솟값 x_B일 때는 $F_B = 0$이므로 A를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$(12L - x_B)\,4mg + 3L\,mg = 0.5L\,9mg + 6L\,6mg$

$\rightarrow\ x_B = \dfrac{10.5L}{4}$ 따라서 $x_A - x_B = 5L$이다.

24. 답 ③

해설



물체 A와 B 사이 거리의 최댓값을 x, 중력 가속도를 g라 하자. 막대의 수평이 깨지는 순간 막대가 받는 힘은 위 방향으로 회전축이 떠받치는 힘, 아래 방향으로 물체 A의 중력 $8g$, 물체 B의 중력 $3g$, 막대의 중력 $2g$의 합력이다.

책상 끝을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면,

$0.5\ 8g = 0.5\ 2g + [x + 0.5 - 1]\ 3g \quad \therefore\ x = 1.5\ \text{m}$

25. 답 ①

해설

$T_1 + T_2 + T_3$

$= T_1 + 2T_1 + 4T_1$

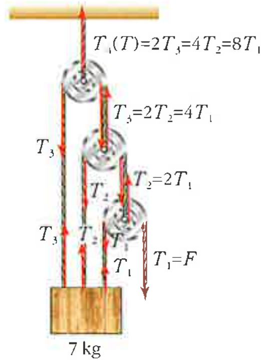
$= 7T_1 = 7F$

$= 7\ \text{kg} \times 10\ \text{m/s}^2$

$= 70\ \text{N}$

$\rightarrow F = 10\ \text{N},$

$T = 8T_1 = 8F = 80\ \text{N}$



26. 답 ①

해설 나무판 위에 물체가 정지해 있는 상태이므로 역학적 평형 상태이다. (가)에서 받침대 A가 가하는 힘이 650N(위 방향)이므로 받침대 B를 회전축으로 하고, 물체의 무게를 W라고 하면 돌림힘의 평형이므로

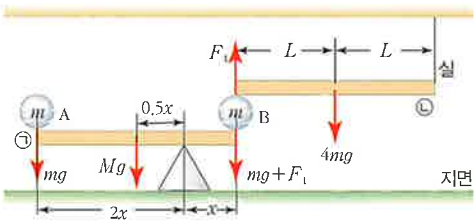
$4\ \text{m} \times 650\ \text{N} = 3\ \text{m} \times W + 2\ \text{m} \times 400\ \text{N},\ W = 600\ \text{N}$

(나)에서 받침대 B를 이동시켜 수평을 유지할 수 있는 x의 최댓값은 A가 작용하는 힘이 0일 때의 값을 의미한다. 따라서 받침대 B를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형이 이루어지므로

$400\ \text{N} \times (2 - x) = 600\ \text{N} \times (1 + x) \ \rightarrow\ x = 0.2\ \text{m}$

27. 답 ②

해설



나무판 ㉠의 질량을 M, 중력 가속도를 g라고 하자. 나무판 ㉠과 ㉡은 지면과 수평을 이루고 있고, 공 A와 B가 정지해 있으므로 역학적 평형 상태이다.

나무판 ㉡의 길이를 $2L$, ㉡의 왼쪽 끝에 작용하는 힘을 F_1이라고 하고, 실이 나무판 ㉡에 매달린 부분을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$$L \times 4mg = 2L \times F_1 \ \rightarrow\ F_1 = 2mg$$

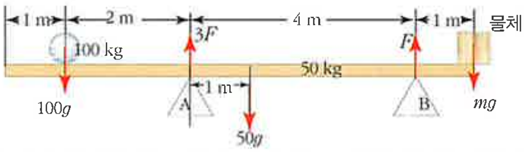
나무판 ㉠에서 받침점을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$$2x \times mg + 0.5x \times Mg = x \times (mg + 2mg)$$

$$\rightarrow\ 0.5M = m \quad \therefore\ M = 2m$$

28. 답 ③

해설



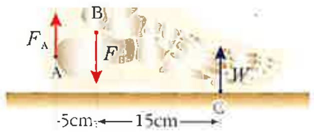
나무판은 아래 방향으로 나무판, 볼링공, 물체의 무게에 해당하는 힘을 받고 위쪽 방향으로 받침대 A, B가 미는 힘을 받는다. 힘의 평형과 돌림힘의 평형을 동시에 만족해야 하므로 받

침대 B가 나무판을 떠받치는 힘의 크기를 F, 물체의 질량을 m, 중력 가속도를 g, 라고 두면 받침대 A가 나무판을 떠받치는 힘의 크기는 $3F$이다.
힘의 평형 : $4F = (100\text{ kg} + 50\text{ kg}) \times g + mg$
돌림힘의 평형(회전축: 받침대 A) : $2 \times 100g + 4 \times F$ (반시계 방향) $= 1 \times 50g + 5 \times mg$ (시계 방향), $\therefore m = 75\text{ kg}$
물체가 최대 x만큼 왼쪽으로 이동하면 받침대 B가 나무판을 떠받치는 힘의 크기는 0 이 되므로 받침대 A를 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면 다음과 같다.

$$200g = 50g + (5 - x) \times 75g, \quad \therefore x = 3\text{ m}$$

29. 답 ②
해설 y축 성분 : $T_1 \sin 30^\circ + T_2 \sin 60^\circ = 20\text{ N}$,
x축 성분 : $T_1 \cos 30^\circ = T_2 \cos 60^\circ$
$\rightarrow T_1\sqrt{3} = T_2$, $T_1 + 3T_1 = 40\text{ N}$ $\therefore T_1 = 10\text{ N}$

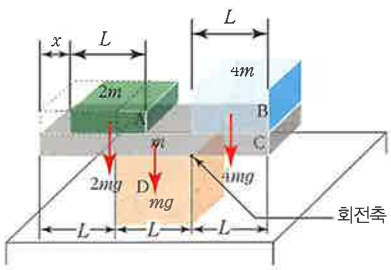
30. 답 ⑤
해설 B 점을 받침점으로 종아리 근육이 A점을 위로 당기고, C점에서 바닥으로 부터 위로 몸무게 만큼 힘을 받는다.



힘의 평형 : $F_A + W = F_B$ 돌림힘의 평형 : $bW = aF_A$

$$5\text{ cm} \times F_A = 15\text{ cm} \times 9\text{ N} \rightarrow F_A = 27\text{ N}$$
$$\therefore F_B = F_A + W = 27\text{ N} + 9\text{ N} = 36\text{ N}$$

31. 답 ②
해설



나무 막대 A를 오른쪽으로 이동시킬 때 C가 평형을 유지하기 위한 x가 최댓값일 때 D의 왼쪽 끝 부분이 떠받치는 힘이 0이 된다. D의 오른쪽 끝부분을 회전축으로 하여 돌림힘의 평형을 적용하면,

$$(1.5L - x) \times 2mg + 0.5L \times mg = 0.5L \times 4mg$$
$$\rightarrow 3L - 2x + 0.5L = 2L \quad \therefore x = 0.75L$$

32. 답 ④
해설 힘의 평형 : 가로 성분은 F_5와 F_3 밖에 없고, F_5 와 F_3의 방향은 반대 방향이므로 $F_3 = F_5 = 5\text{ N}$이다.
세로 성분은 F_1, F_2, F_4 이므로,
$F_1 + F_2 = 30\text{ N} + 10\text{ N} = 40\text{ N} = F_4$이다.
돌림힘의 평형(회전축 = 점 O) : $F_4 \times d = F_2 \times b + F_3 \times a$
$\rightarrow 40 \times d = 10 \times 3 + 5 \times 2 = 40$, $\therefore d = 1\text{ m}$

22강. 유체 I

개념 확인 132~135쪽

1. ㉠ 작아 ㉡ 커	**2.** 76 cm
3. 아르키메데스	**4.** 파스칼

확인+ 132~135쪽

1. 5 **2.** $1.2 \times 10^5\text{ N/m}^2$ **3.** 20 N **4.** 2 : 1

1. 답 5
해설 물속의 수압은 물의 깊이에 따른 압력과 대기압의 합이다. 대기압은 1기압이고 수심 10 m 증가할 때마다 약 1 기압씩 증가하므로 물의 깊이가 40 m 일 때, 물속의 수압은 5 기압이다.

2. 답 $1.2 \times 10^5\text{ N/m}^2$
해설 $P = P_{\text{대기압}} + \rho_{\text{액체}} gh$
$= (1.0 \times 10^5\text{ N/m}^2) + (2 \times 10^3\text{ kg/m}^3) \times 10\text{ m/s}^2 \times 1\text{ m}$
$= 1.2 \times 10^5\text{ N/m}^2$

3. 답 20 N
해설 $F_{\text{부력}} = \rho_{\text{액체}} Vg$
$= (2 \times 10^3\text{ kg/m}^3) \times (1.0 \times 10^{-3}\text{ m}^3) \times 10\text{ m/s}^2 = 20\text{ N}$

4. 답 2 : 1
해설 $P_1 = P_2 \rightarrow \dfrac{F_1}{A_1} = \dfrac{F_2}{A_2}$ 이므로 단면적 비가 2 : 1일 때, 피스톤에 작용하는 힘의 비도 2 : 1이 된다.

개념 다지기 136~137쪽

01. ①	**02.** ④	**03.** ⑤	**04.** ②
05. ②	**06.** ③	**07.** ③	**08.** ④

01. 답 ①
해설 대기에 의한 압력은 지면에 가까울수록, 물에 의한 압력은 물의 깊이가 깊을수록 커진다. 1기압은 수은 기둥 76 cm의 무게에 의한 압력, 물 기둥 10 m 의 무게에 의한 압력과 같다. 따라서 물의 깊이가 약 10 m 깊어질 때마다 수압이 약 1 기압씩 증가한다.

02. 답 ④
해설 면적이 A, 압력이 P 인 곳에서 누르는 힘 F는 다음과 같다. $F = PA = 2\text{ N/m}^2 \times 20\text{ m}^2 = 40\text{ N}$

03. 답 ⑤
해설 유체에 의한 압력은 유체의 깊이가 깊어질수록 증가

한다. 유체가 담긴 그릇의 수평적 크기나 위치와는 상관없이 일정하다. 따라서 A, B, C, D의 깊이 h에서의 압력의 크기는 모두 같다.

04. 답 ②
해설 ㄱ. 물의 깊이가 깊을수록 압력이 크기 때문에 구멍 C에서 나온 물줄기가 가장 멀리 날아간다.
ㄴ. A, B, C에 작용하는 외부로부터의 대기압의 크기는 모두 같다.
ㄷ. 구멍의 높이가 낮을수록 물의 무게에 의한 압력의 크기가 크다.

05. 답 ②
해설 물속에 있는 볼링공의 무게는 5 N 이다. 이는 중력에서 부력을 뺀 값과 같으므로, 다음과 같은 식을 만족한다.
$5\text{ N} = mg - F_{부력} = mg - \rho g V$
$\rightarrow mg = 5\text{ N} + (1.0\times10^3\text{ kg/m}^3)\times(10\text{ m/s}^2)\times(3\times10^{-3}\text{ m}^3)$
$= 35\text{ N}$ 이다.

06. 답 ③
해설 물체가 받는 부력의 크기는 물체가 밀어낸 부피에 해당하는 유체 무게의 크기와 같다. 따라서 부력은 B와 C가 같고 A가 가장 작다.

07. 답 ③
해설 볼링공의 무게 :
$mg = \rho g V = 4000\text{ kg/m}^3\times 10\text{ m/s}^2\times10^{-4}\text{m}^3 = 4\text{ N}$
볼링공에 작용하는 부력 :
$1000\text{ kg/m}^3\times10\text{ m/s}^2\times10^{-4}\text{m}^3 = 1\text{ N}$
볼링공이 바닥을 누르는 힘의 크기는 볼링공의 무게에서 부력을 뺀 값과 같다. $\therefore 4\text{ N} - 1\text{ N} = 3\text{ N}$

08. 답 ④
해설 유체가 피스톤 1, 2 에 가하는 압력이 같으므로
$\dfrac{F_1}{A_1} = \dfrac{F_2}{A_2}$ 이 성립한다.
$F_1\times(5\text{m}^2) = (2\times10^3\text{N})\times1\text{m}^2 \quad \therefore F_1 = 400\text{ N}$

유형 익히기 & 하브루타 138~141쪽

[유형 22-1] (1) ④ (2) ④		01. ①	02. ⑤
[유형 22-2] ⑤		03. ③	04. ②
[유형 22-3] (1) ② (2) ③		05. ③	06. ⑤
[유형 22-4] (1) ① (2) ⑤		07. ②	08. ⑤

[유형 22-1] 답 (1) ④ (2) ④
해설 (1) 물의 깊이에 따른 압력은 $P = P_{대기압} + \rho g h$이고, 오른쪽 관에서 경계면의 높이는 물의 표면에서 b만큼 떨어져 있고, 왼쪽 관에서 경계면은 액체 A의 표면에서 $a + b$ 만큼 떨어져 있으므로 각각의 무게에 의한 압력+대기압이 경계면에서 물에 가하는 압력이며, 서로 평형을 이룬다.
오른쪽 관(물의 압력) : $P_{물} = P_{대기압} + \rho_{물} g b$
왼쪽 관(액체 A의 압력) : $P_{액체\,A} = P_{대기압} + \rho_{액체\,A} g(a+b)$
$\therefore \rho_{물} g b = \rho_{액체\,A} g(a+b)$
$\rightarrow$ 액체 A의 비중 $= \dfrac{\rho_{액체\,A}}{\rho_{물}} = \dfrac{b}{a+b} = \dfrac{70\text{ mm}}{30\text{ mm}+70\text{ mm}} = 0.7$

(2) 액체 A 의 밀도 $\rho_{액체\,A}$는 다음과 같다.
$\rho_{액체\,A} = \rho_{물}\times\dfrac{b}{a+b} = (1.0\times10^3\text{ kg/m}^3)\times0.7 = 700\text{ kg/m}^3$

01. 답 ①
해설 ㄱ. 물체 A는 가라앉고 B는 위로 떠오르므로 A의 밀도가 B보다 더 크다.
ㄴ. 부피는 같지만 밀도는 A가 B보다 크므로 질량도 A가 B보다 크다.
ㄷ. 유체 속에서는 깊은 곳일수록 압력이 더 높다.

02. 답 ⑤
해설 ㄱ. 액체의 표면에 작용하는 압력은 대기압으로 모두 같다.
ㄴ. 관의 굵기와 모양이 달라도 관 속의 같은 깊이에서의 압력은 모두 같다.
ㄷ. 관 속에 담긴 액체 내에서는 깊은 곳일수록 압력이 커지고, 같은 깊이에서 압력이 같다.

[유형 22-2] 답 ⑤
해설 ㄱ. 유리관 속 액체 A가 용기 속 액체 표면에 작용하는 압력은 대기압과 같다. 뒤집힌 유리관 속 빈공간은 진공이 되어 압력이 0 이 되고, 밀도가 ρ 인 액체 A 기둥에 의한 압력 $\rho g h$ 는 대기압 P 와 같아진다.
ㄴ. 관을 비스듬히 기울이면 액체 A가 들어 있는 길이가 길어지므로 관 속 액체 A의 양이 많아지기 때문에 질량이 증가한다.
ㄷ. 대기압은 일정하므로 액체 A의 밀도가 2배가 되면 높이는 절반으로 줄어든다.

03. 답 ③
해설 기압은 지표면에 가까울수록 크고 수압은 깊이가 깊을수록 크다. 물속에서 압력은 지표면에서 대기압과 수압을 합한 압력에 해당한다. 따라서 압력이 가장 작게 작용하는 점은 A이고, 가장 크게 작용하는 점은 D이며, 점 D가 받는 압력이 C가 받는 압력보다 크다.

04. 답 ②
해설 추의 무게는 1.0×10^3 N이며, 무게가 작용하는 면적이 0.01 m^2이므로 추에 의한 압력 P_1은 다음과 같다.
$$F = PA \rightarrow P_1 = \frac{F}{A} = \frac{1.0\times10^3}{0.01} = 1.0\times10^5\text{ N/m}^2$$
실린더에 담긴 물은 피스톤에 의해 대기압과 추의 무게에 의한 압력을 함께 받는다. 따라서 피스톤이 물에 전달하는 압력 P_2는 다음과 같다.
$$P_2 = P_{대기압} + P_1 = 1.0\times10^5\text{ N/m}^2 + 1.0\times10^5\text{ N/m}^2 = 2.0\times10^5\text{ N/m}^2$$

[유형 22-3] 답 (1) ② (2) ③

해설 (1) 돌에 작용하는 부력의 크기는 (돌 무게) − (물속에서의 돌 무게)이다. ∴ 30 N − 10 N = 20N

(2) 돌의 질량 :

$$F = mg \rightarrow 30\text{ N} = m \times 10\text{ m/s}^2, \quad m = 3\text{kg}$$

돌의 부피 : $F_{부력} = \rho_{물} g V$

$$\rightarrow 20\text{ N} = (1.0 \times 10^3\text{ kg/m}^3) \times 10\text{ m/s}^2 \times V$$

$$V = 2 \times 10^{-3}\text{ m}^3$$

$$\therefore \rho_{돌} = \frac{m}{V} = \frac{3}{2 \times 10^{-3}} = 1.5 \times 10^3\text{ kg/m}^3$$

05. 답 ③

해설 ㄱ. 질량이 같으면 밀도와 부피는 반비례한다($m = \rho V$). 따라서 밀도가 작은 A의 부피가 더 크다.

ㄴ. 부피가 큰 A가 넘친 물의 부피가 많으므로 넘친 물의 무게도 (가)의 경우가 (나)의 경우보다 크다.

ㄷ. 물체가 물로부터 받는 부력의 크기는 넘친 물의 무게와 같다. 따라서 넘친 물의 무게가 더 큰 A가 받는 부력의 크기가 더 크다.

06. 답 ⑤

해설 ㄱ. 물체가 받는 중력의 크기 $F = mg = \rho V g$이다.

ㄴ. 물체가 가만히 정지해 있으려면 물체가 받는 중력과 부력의 크기가 서로 같아야 한다. ㄷ. 유체의 비중은 밀도와 크기가 같다. 따라서 유체의 비중이 작아지면 물체는 더 가라앉아서 밀어내는 유체의 무게를 더 크게 해야 한다.

[유형22-4] 답 (1) ① (2) ⑤

해설 (1) 입력 쪽과 출력 쪽에 작용하는 압력이 같으므로 힘은 단면적에 비례한다. 따라서 입력 쪽의 피스톤 단면적 A_1보다 단면적이 10배 더 큰 출력 쪽의 피스톤에 가해지는 힘이 10배 더 크다. ∴ $F_2 = F_1 \times 10 = 100$ N

(2) 입력 쪽에서 내려가는 유체의 부피는 출력 쪽에서 올라가는 유체의 부피와 같다. 출력 쪽의 단면적이 10배 더 크므로 입력 쪽의 내려간 길이 d_1이 올라간 길이 d_2보다 10배 더 크다. ∴ $d_1 : d_2 = 10 : 1$

07. 답 ②

해설 용기 내 유체의 모든 지점에 같은 크기의 압력이 전달된다(파스칼 법칙). 따라서 피스톤 A_1에 작용하는 압력이 같은 높이의 피스톤 A_2에 같은 크기로 전달된다.

$$\therefore \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} \rightarrow \frac{m_1 g}{A_1} = \frac{m_2 g}{A_2}, \quad m_1 A_2 = m_2 A_1$$

08. 답 ⑤

해설 ㄱ. 기름에 의한 중력 효과는 무시하므로, 높이에 따른 기름의 압력 차이는 무시할 수 있다. 따라서 밀폐된 기름통 안에 있는 유체의 압력은 모든 곳에서 같다.

ㄴ. 작은 힘으로 무거운 무게를 들어 올렸지만, 이동 거리가 길어지므로 일의 이득이 없다.

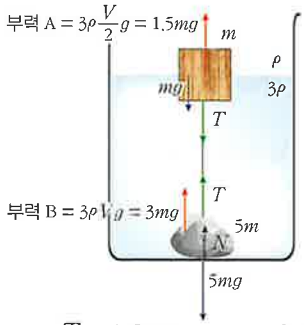
ㄷ. 유체 내의 모든 점에서 압력은 같아야 한다. 따라서 단면적이 작은 기름통의 기름을 누르는 힘의 크기는 단면적이 큰 피스톤을 밀어내는 힘보다 작다.

창의력 & 토론마당 142~145쪽

01

(1) 4.5 mg (2) 1.5 mg

해설



$$T = 1.5mg - mg = 0.5mg$$

(1) 부피가 같은 물체 A와 B의 질량은 각각 m과 $5m$, 액체의 밀도는 A의 밀도의 3배이므로 A의 밀도를 ρ라고 할 때, 액체의 밀도는 3ρ이다. 이때 부력의 크기는 물에 잠긴 부피에 비례한다.

$$\therefore F_{부력} = 3\rho(0.5V + V)g = 4.5\rho V g = 4.5mg$$

(2) 바닥이 B를 떠받치는 힘(N)의 크기는 다음과 같다.

$$N + 부력\text{ B} + T = 5mg$$

$$\rightarrow N + 3mg + 0.5mg = 5mg \quad , \quad \therefore N = 1.5mg$$

02

(1) 102.4 kg (2) 406.3 kg/m³

해설 (1) 물체가 액체에 잠긴 부분의 부피를 V라 하면, 잠긴 부분은 공의 절반이므로 물체가 액체에 잠긴 부분의 부피는 다음과 같다.

$$V = \frac{4 \times \pi \times (r_{바깥})^3}{3 \times 2} \rightarrow V = \frac{2 \times \pi \times (r_{바깥})^3}{3}$$

물체에 작용하는 중력의 크기와 물체에 의해 밀려난 액체의 무게가 같다.

$$m_{공} g = \rho_{액체} g V \rightarrow m_{공} = \rho_{액체} \frac{2 \times \pi \times (r_{바깥})^3}{3}$$

$$= 800\text{ kg/m}^3 \times \frac{2 \times 3 \times (0.4\text{ m})^3}{3} = 102.4\text{kg}$$

(2) $$V_{공} = \frac{4 \times \pi \times [(r_{바깥})^3 - (r_{안})^3]}{3}$$

$$= \frac{4 \times 3 \times [(0.4\text{ m})^3 - (0.1\text{ m})^3]}{3} = 0.252\text{ m}^3$$

$$\therefore \rho_{공} = \frac{m_{공}}{V_{공}} = \frac{102.4\text{ kg}}{0.252\text{ m}^3} \cong 406.4\text{ kg/m}^3$$

03

(1) 3.74×10^4 N (2) 3.96×10^4 N

(3) 2.20×10^3 N (4) 2.30×10^3 N

해설 (1) 정육면체의 윗면에서 아래로 작용하는 압력을 $P_{윗면}$이라고 하면,

$$P_{윗면} = P_{대기압} + \rho_{물} g h$$

$\rightarrow P_{윗면} = (1.01 \times 10^5\ N/m^2) + (1.0 \times 10^3\ kg/m^3) \times 10\ m/s^2 \times 0.3\ m = 1.04 \times 10^5\ N/m^2$

$\therefore\ F_{윗면} = P_{윗면} \times$ 윗면의 단면적

$\rightarrow F_{윗면} = (1.04 \times 10^5\ N/m^2) \times (0.6\ m)^2 = 3.74 \times 10^4\ N$

(2) 정육면체의 아랫면에서 위로 작용하는 압력을 $P_{아랫면}$ 이라고 하면,

$P_{아랫면} = P_{대기압} + \rho_{물}gh$

$\rightarrow P_{아랫면} = (1.01 \times 10^5\ N/m^2) + (1.0 \times 10^3\ kg/m^3) \times 10\ m/s^2 \times 0.9\ m = 1.10 \times 10^5\ N/m^2$

$\therefore\ F_{아랫면} = P_{아랫면} \times$ 아랫면의 단면적

$\rightarrow F_{아랫면} = (1.10 \times 10^5\ N/m^2) \times (0.6\ m)^2 = 3.96 \times 10^4\ N$

(3) 정육면체에 작용하는 부력은 아랫면에서 위로 작용하는 힘을 윗면에서 아래로 작용하는 힘으로 뺀 값이다. $\therefore F_{아랫면} - F_{윗면} = (3.96\ N - 3.74\ N) \times 10^4$

$= 2.20 \times 10^3\ N$

(4) 정육면체의 무게는 장력과 부력의 합이다.

$\therefore\ T + F_{부력} = mg$

$\rightarrow T = 450\ kg \times 10\ m/s^2 - 2.20 \times 10^3\ N$

$= 2.30 \times 10^3\ N$

04 4 : 5

해설 물체 A, B가 액체에 잠긴 부피를 V라고 할 때, A에 작용하는 부력의 크기($F_{A부력} = \rho_1 Vg$)는 A의 무게(mg)와 막대가 A를 누르는 힘(F_A)의 크기의 합이다.

$\rightarrow \rho_1 Vg = mg + F_A$

B에 작용하는 부력의 크기($F_{B부력} = \rho_2 Vg$)는 B의 무게(mg)와 막대가 B를 누르는 힘의 크기(F_B)의 합이다.

$\rightarrow \rho_2 Vg = mg + F_B$

이때 작용 반작용에 의해 F_A와 F_B는 각각 물체 A, B가 막대를 떠받치는 힘의 크기와 같다.

힘의 평형 : $F_A + F_B = 4mg$

돌림힘의 평형(회전축 = A와 막대의 접촉점) :

$(2mg \times 3L) + (2mg \times 4L) = F_B \times 6L$

$\rightarrow F_A = \frac{5}{3}mg,\ F_B = \frac{7}{3}mg$

$\therefore \rho_1 Vg = \frac{8}{3}mg,\ \rho_2 Vg = \frac{10}{3}mg \rightarrow \rho_1 : \rho_2 = 4 : 5$

05 0.2 m

해설 공이 물에서 받는 부력이 중력보다 클 경우 위쪽으로 가속도가 생긴다. 공의 부피를 V, 질량을 m, 최고점 높이를 h, 수면에서의 속도를 v, 0.2 m 깊이에서 수면으로 올라올 때의 가속도를 a, 공의 밀도를 $\rho_{공}$이라 하자.

$F_{부력} - F_{중력} = ma \rightarrow \rho_{물} Vg - \rho_{공} Vg = \rho_{공} Va$

$\rightarrow (1.0 \times 10^3\ kg/m^3 - 500\ kg/m^3) \times 10\ m/s^2$

$= 500\ kg/m^3 \times a, \quad \therefore a = 10\ m/s^2$ (물속)

$v^2 = 2as = 2 \times 10 \times 0.2 = 4$ 이므로,

v(수면에서의 속도) = 2 m/s 이다.

$\therefore$ 최고점의 높이 $h = \frac{v^2}{2g} = \frac{4}{20} = 0.2$ m 이다.

스스로 실력 높이기 146~153쪽

01. ⑤	02. ④	03. ③	04. ⑤	05. ③
06. ③	07. ⑤	08. ①	09. ②	10. ②
11. ③	12. ①	13. ⑤	14. ④	15. ④
16. ④	17. ①	18. ①	19. ⑤	20. ⑤
21. ②	22. ③	23. ①	24. ①	25. ②
26. ①	27. ①	28. ⑤	29. ⑤	30. ④
31. ②	32. ⑤			

01. 답 ⑤

해설 물체를 물이 가득 담겨있는 컵에 넣으면 물체의 부피에 해당하는 만큼의 물이 흘러넘친다. 따라서 물체의 부피와 흘러넘친 물의 부피는 같다.

$\therefore m = \rho_{물체} V = 18\ g/cm^3 \times 2\ cm^3 = 36g$

02. 답 ④

해설 $P = P_{대기압} + \rho_{유체}gh$

$= (1.0 \times 10^5\ N/m^2) + (1.5 \times 10^4\ kg/m^3) \times 10\ m/s^2 \times 0.6\ m$

$= 1.9 \times 10^5\ N/m^2$이다.

03. 답 ③

해설 유체에 의한 압력 $P = P_{대기압} + \rho_{유체}gh$ 이므로 깊이가 깊을수록 유체에 의한 압력은 증가하고, 유체나 유체가 담겨 있는 그릇의 수평적 크기나 위치와는 상관이 없다.

$\therefore P_B > P_C > P_A > P_D$

05. 답 ③

해설 ㄱ, ㄴ. 수심이 깊어질수록 수압이 증가하고, 수압이 증가할수록 풍선의 부피는 줄어든다.

ㄷ. (가)는 부력과 중력이 평형인 상태이다. 가라앉을수록 수압이 증가하여 풍선의 부피는 줄어들게 되고, 풍선이 밀어낸 유체의 부피가 줄어들므로 부력은 더욱 감소하여 계속해서 가라앉게 된다.

06. 답 ③

해설 열기구의 질량을 m, 부피를 V, 열기구의 가속도를 a라 할 때, 부력의 방향과 중력의 방향이 반대이므로 열기구의 가속도 크기는 다음과 같은 식을 만족한다.

$F_{부력} - mg = ma \rightarrow \rho_{밖} Vg - \rho_{안} Vg = \rho_{안} Va$

$\rightarrow 1.5\rho_{안} Vg - \rho_{안} Vg = \rho_{안} Va$

$\therefore a = 0.5 \times g = 0.5 \times 10\ m/s^2 = 5\ m/s^2$

07. 답 ⑤

해설 ㄱ. 고추기름이 액체 중간에 떠 있으므로 중력과 부력의 크기는 같다.
ㄴ. 알코올을 더 넣으면 혼합액의 비중이 작아지므로, 고추기름이 받는 부력의 크기가 작아져 가라앉는다.
ㄷ. 물과 알코올은 서로 섞이며 비중이 큰 물의 양이 더 많으면 비중이 0.9보다 커지므로 부피가 일정한 고추기름이 받는 부력의 크기는 커진다.

08. 답 ①
해설 ㄱ. (가)에서 물체의 무게는 5 N임을 알 수 있다. (나)에서 액체와 물체의 무게의 합이 90 N이므로 액체의 무게는 90 N − 5 N = 85 N이다.
ㄴ. 물체의 부피는 $2V$, 액체의 부피는 $10V$이다. 액체의 무게는 85 N이므로 물체의 부피($2V$)에 해당하는 액체의 무게는 17 N이다. 따라서 물체에 작용하는 부력의 크기는 17 N이다.
ㄷ. 물체에 작용하는 부력은 위로 17 N, 중력은 아래로 5 N이므로 힘의 평형에 의해 실이 물체를 아래로 당기는 힘의 크기는 17 N − 5 N = 12 N이다.

09. 답 ②
해설 ㄱ, ㄴ. (통+모래)의 무게는 물에 잠긴 통의 부피 V만큼의 물의 무게(부력)과 같다.
∴ (통+모래)의 무게 $= \rho_{물}Vg$
$= (1.0\times10^3\ \mathrm{kg/m^3})\times(5\ \mathrm{m}\times2\ \mathrm{m}\times10\ \mathrm{m})\times10\ \mathrm{m/s^2}$
$= 1.0\times10^6$ N 이다.
ㄷ. $\rho_{(통+모래)} = \dfrac{m_{(통+모래)}g}{V_{(통+모래)}g} = \dfrac{1.0\times10^6\ \mathrm{N}}{(5\times5\times10)\times10} = 400\ \mathrm{kg/m^3}$

10. 답 ②
해설 밀폐된 용기 속 유체의 일부분에 압력을 가했을 때, 용기 속에서 유체에 전달되는 압력은 모두 같다($P_1 = P_2$).
$$\therefore P_1 : P_2 = 1 : 1$$
$$A_1 : A_2 = F_1 : F_2 = m_1g : m_2g = m_1 : m_2$$
$$\therefore m_1 : m_2 = 1 : 3$$

11. 답 ③
해설 ㄱ. 물체 A가 잠긴 부피를 V', 잠기지 않은 곳의 부피를 V, 중력 가속도를 g라 하면, 물체 A의 무게는 부력과 같으므로 다음과 같은 식을 만족한다.
$$\rightarrow 0.9\rho\times(V+V')g = \rho V'g \rightarrow V' = 9V$$
∴ 물체 A의 부피 $= V + V' = 10V$
ㄴ. 물체 A의 무게와 물체 B의 무게의 합은 부력과 같으므로 물체 B의 질량을 m은 다음과 같다.
$mg + 0.9\rho(10V)g = \rho(10V - 0.7V)g \rightarrow m = 0.3\rho V$
ㄷ. (나)에서 물체 A에 작용하는 부력의 크기는 물체 A의 무게와 B의 무게의 합과 같다.

12. 답 ①
해설 그림 (나)에서 부력과 중력은 같다.
$$\rightarrow mg = \rho(4V)g,\quad \therefore m = 4\rho V$$
그림 (가)에서 부력과 실의 장력의 합은 물체 A의 무게이다.
$$\rightarrow \rho(2V)g + T = mg$$
$$\therefore T = mg - \rho(2V)g = mg - 0.5mg = 0.5mg$$

13. 답 ⑤
해설 그림 (가)에서 물체 A의 무게와 부력이 같다.
$$\rightarrow m_Ag = \rho(3V)g,\quad m_A = 3\rho V$$
그림 (나)는 (가)에 비해 부력이 ρVg만큼 증가하였다. 이것은 물체 B의 무게에 해당하므로 물체 B의 질량은 $m_B = \rho V$이다.
그림 (다)에서 물체 B는 전부 잠겨있고, 물체 A가 $1.5V$만큼 잠겨 정지해 있으므로 A와 B의 무게 $(m_A + m_B)g$는 B의 전체 부피에 대한 부력과 A의 부력 $1.5\rho Vg$을 합한 것과 같다.
$$\rightarrow (m_A+m_B)g = 4\rho Vg = \rho V_Bg + 1.5\rho Vg,\ V_B = 2.5V$$
$$m_B = \rho_BV_B \rightarrow \rho V = \rho_B\times(2.5V)$$
$$\therefore \rho_B = 0.4\rho$$

14. 답 ④
해설 ㄱ. 금속구가 정지해 있으므로 알짜힘은 0이다.
∴ (실이 물체에 작용하는 힘) + (부력) $= mg$
→ (실이 물체에 작용하는 힘) $= mg$ − (부력)
ㄴ. 금속구는 물로부터 위 방향으로 부력을 받는다. 작용 반작용에 의해 물은 금속구로부터 아래 방향으로 부력과 같은 크기의 힘을 받는다.
ㄷ. (나)에서 물이 금속구에 작용하는 부력의 반작용만큼 저울의 눈금은 증가한다. 부력의 크기= 증가한(밀어낸) 물의 무게 $= \rho Vg = \rho A(h - h_0)g$이므로 저울의 눈금은 $w = w_0 + \rho A(h - h_0)g$이다.

15. 답 ④
해설 ㄱ. 물체에 작용하는 부력의 크기는 잠긴 부분의 부피에 비례한다. 물체 B는 물보다 가벼우므로 물 위로 나오므로 잠긴 부분이 물체 A의 잠긴 부분보다 작기 때문에 A의 부력이 B의 부력보다 크다.
ㄴ. 물체 A는 물속에 잠겨 있으므로 A에 작용하는 부력의 크기는 A의 무게보다 작다.
ㄷ. 물체 B는 떠올라 정지해 있으므로 합력이 0인 상태이다.

16. 답 ④
해설 막대가 수평을 이루며 정지하고 있으므로 역학적 평형 상태이다.
㉠ 물체 A의 돌림힘의 크기(회전축 = 점 P) : (반시계 방향)
$$\tau = rF = L\times2\ \mathrm{kg}\times10\ \mathrm{m/s^2} = 20L\ (\mathrm{N\cdot m})$$
㉡ 막대의 돌림힘의 크기 : $10ML$ (N · m)(시계 방향)
㉢ T = 중력 − 부력($F_{부력}$)
$$F_{부력} = \rho Vg = 0.5\ \mathrm{g/cm^3}\times200\ \mathrm{cm^3}\times10\ \mathrm{m/s^2} = 1\ \mathrm{N}$$
$$\therefore T = (0.6\mathrm{kg}\times10\mathrm{m/s^2}) - 1 = 5\mathrm{N}$$
㉣ 장력에 의한 돌림힘의 크기 : $15L$ (N · m)(시계 방향)
물체 A의 돌림힘의 크기(㉠)는 막대의 돌림힘의 크기(㉡)와 물체 B에 연결된 실의 장력 T에 대한 돌림힘의 크기(㉣)의 합과 같다.
$$\therefore 20L\ (\mathrm{N\cdot m}) = 10ML\ (\mathrm{N\cdot m}) + 15L\ (\mathrm{N\cdot m})$$

$$10ML\ (\mathrm{N \cdot m}) = 5L,\ M = 0.5\ \mathrm{kg}$$

17. 답 ①

해설 물체 A가 피스톤 1에 가하는 힘이 $\rho_A Vg$이므로 피스톤 1에 가해지는 압력은 대기압 P_0와 물체 A가 피스톤 1에 가한 압력 $\frac{\rho_A Vg}{S_1}$의 합이다.

→ 피스톤 1이 액체에 작용하는 압력 $= P_0 + \frac{\rho_A Vg}{S_1}$

물체 B가 피스톤 2에 가하는 힘이 $\rho_B Vg$이므로

→ 피스톤 2에 가해지는 압력 $= P_0 + \frac{\rho_B Vg}{S_2}$

파스칼 법칙에 따라 액체가 피스톤 1과 피스톤 2에 작용하는 압력이 같으므로 물체 A가 가한 압력과 물체 B가 가한 압력은 같다.

$$\frac{\rho_A Vg}{S_1} = \frac{\rho_B Vg}{S_2} \rightarrow \frac{\rho_A}{S_1} = \frac{\rho_B}{S_2}$$

$$\therefore \rho_A : \rho_B = S_1 : S_2$$

18. 답 ①

해설 ㄱ. 손잡이는 지레의 원리(2종 지레)에 의해 피스톤 1에 더 큰 힘을 전달한다.

ㄴ. 파스칼 법칙에 의해 용기 내의 유체는 모든 곳으로 같은 압력을 전달한다.

ㄷ. 지레와 유압 장치를 통해 큰 힘이 전달되므로 작은 힘으로 무거운 물체를 들어올리는 것이다.

19. 답 ⑤

해설 공기 중에서의 무게와 물에 잠겼을 때의 무게의 차는 물에 의한 부력을 나타낸다. 따라서 물체의 부피를 V라고 할 때 다음 식을 만족한다.

$$F_{부력} = 32\ \mathrm{N} - 16\ \mathrm{N} = 16\ \mathrm{N} = \rho_{물} Vg$$

$$\rightarrow 16\ \mathrm{N} = (1.0 \times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}) \times V \times 10\ \mathrm{m/s^2}$$

$$\therefore V = 1.6 \times 10^{-3}\ \mathrm{m^3}$$

마찬가지로 물체가 액체 A에 잠겼을 때 공기 중에서와 무게의 차이는 액체 A에 의한 부력을 나타낸다. 따라서 액체 A의 밀도는 다음과 같다.

$$32\ \mathrm{N} - 24\ \mathrm{N} = 8\ \mathrm{N} = \rho_{액체\ A} \times (1.6 \times 10^{-3}\ \mathrm{m^3}) \times 10\ \mathrm{m/s^2}$$

$$\therefore \rho_{액체\ A} = 5 \times 10^2\ \mathrm{kg/m^3}$$

20. 답 ⑤

해설 나무 도막이 떠 있으려면, 토막과 쇠구슬에 작용하는 아래 방향의 중력과 같은 크기의 위 방향의 부력이 작용해야 한다. 부력은 토막과 쇠구슬의 무게에 의해 잠긴 부피가 밀어낸 유체의 무게와 같다.

$$F_{부력} = 0.9 \times \rho_{물} V_{나무} g = 0.9 \times \frac{\rho_{물} g m_{나무}}{\rho_{나무}} = (m_{나무} + m_{쇠구슬})g$$

$$\rightarrow 0.9 \times \frac{(1.0 \times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}) \times 5\ \mathrm{kg}}{450\ \mathrm{kg/m^3}} = (5\ \mathrm{kg} + m_{쇠구슬})$$

$$\therefore m_{쇠구슬} = 5\ \mathrm{kg}$$

21. 답 ②

해설 ㄱ. (가)와 (나)에서 물체 A에 작용하는 부력은 더 많이 잠긴 (가)에서의 부력의 크기가 더 크다.

ㄴ. (나)에서 B의 부피는 V이므로 물의 부피 V의 무게만큼 부력을 받는다.

ㄷ. (가)에서 두 물체의 무게와 물의 부력은 평형을 이룬다. (나)에서는 B가 수조 밑면으로부터 수직항력을 받으므로 두 물체의 무게는 수직항력+부력과 평형을 이룬다. 따라서 부력의 합은 (가)보다 작다. 따라서 밀려나간 물의 양도 (가)보다 작으므로 수면의 높이는 (가)가 (나)보다 높다.

22. 답 ③

해설 (나)에서 수면의 연장선 위 금속 부분의 부피와 수면의 연장선 위 금속 용기 내부의 부피의 합은 $3V_0$이다.

(나)와 (다)에서 부력의 차이는 (다)의 용기 안에 들어있는 물의 무게와 같으므로 물의 밀도를 ρ, 중력 가속도를 g라고 할 때, $\rho(3V_0)g = \rho Vg$이므로 $V = 3V_0$이다.

23. 답 ①

해설 물의 밀도를 ρ라 하면 A의 밀도는 0.25ρ이다. 그림 (나)에서 절반만 잠긴 물체 A에 작용하는 부력의 크기는 잠긴 부피에 비례하므로 다음과 같다.

$$부력의\ 크기 = \rho V_{잠긴부피} g = \rho\left(\frac{1}{2} \times \frac{m}{0.25\rho}\right)g = 2mg$$

물체 B는 전체가 잠겨 있으므로 부력의 크기는 A의 2배인 $4mg$이다. 따라서 전체 부력의 크기는 $2mg + 4mg = 6mg$이다. 부력과 무게는 평형을 이루므로, A의 무게가 mg이고 B의 무게는 $5mg$이다. 따라서 물체 B의 질량 $M = 5m$이다.

(가)에서 실에 작용하는 장력의 크기 = A와 B의 무게 − B의 부력 → $6mg - 4mg = 2mg$

돌림힘의 평형 : 추의 돌림힘 = 실의 장력에 의한 돌림힘

$$\rightarrow mg(L - x) = 2mgx, \quad \therefore x = \frac{1}{3}L$$

24. 답 ①

해설 통이 누르는 힘을 F_1, 용수철을 수축시키는 힘을 F_2이라고 하면, 모래의 질량 m은 다음과 같다.

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{20A_1} \rightarrow \frac{mg}{A_1} = \frac{kx}{20A_1}$$

$$\therefore m = \frac{(4 \times 10^4\ \mathrm{N/m}) \times (0.05\mathrm{m})}{20 \times 10\ \mathrm{m/s^2}} = 10\ \mathrm{kg}$$

25. 답 ②

해설 $F = PA \rightarrow 10\ \mathrm{N} = \rho_{물} g \times 높이차 \times A$

$$= (1.0 \times 10^3\ \mathrm{kg/m^3}) \times (10\ \mathrm{m/s^2}) \times 높이차 \times (0.0005\ \mathrm{m^2})$$

$$\therefore 높이차 = 2.0\ \mathrm{m}$$

따라서 높이 h는 다음과 같다.

$$h = 짧은\ 관\ 높이 + 높이차 = 0.8\ \mathrm{m} + 2.0\ \mathrm{m} = 2.8(\mathrm{m})$$

26. 답 ①

해설 공기 방울은 탄산수와 공기 방울의 밀도 차이에 의한 부력과 중력의 차이로 위로 가속도 운동한다. 공기 방울은 탄산수 안에 완전히 잠겨있으므로 공기 방울에 의해 밀어낸 유체의 부피와 공기 방울의 부피는 같다. 공기 방울의 부피를 V, 탄산수의 밀도를 $\rho_{탄산수}$, 공기 방울의 밀도를 $\rho_{방울}$, 공

기 방울의 가속도를 a 라고 하면,
부력－공기 방울의 중력 $= m_{방울}a$

$\rightarrow \rho_{탄산수}Vg - \rho_{방울}Vg = m_{방울}a$

$\rightarrow (1.0\times10^3\ \text{kg/m}^3)\times V\times10\ \text{m/s}^2 - \rho_{방울}\times V\times10\ \text{m/s}^2 = \rho_{방울}\times V\times10\ \text{m/s}^2$

$\rightarrow \rho_{방울}\times20\ \text{m/s}^2 = 1.0\times10^4\ \text{kg/m}^3$

$\therefore \rho_{방울} = 500\ \text{kg/m}^3$

공기 방울의 질량 $m_{방울}$은 $m_{방울} = \rho_{방울}\times V = \rho_{방울}\times\frac{4}{3}\pi r^3$

$= 500\ \text{kg/m}^3\times\frac{4}{3}\times3\times(0.2\times10^{-3})^3 = 1.6\times10^{-8}\ \text{kg}$

$= 1.6\times10^{-5}$ g 이다.

27. 답 ①

해설 나무 도막이 떠 있기 위해서는 나무 도막에 작용하는 아래 방향의 중력과 같은 크기의 위 방향의 부력이 있어야 한다. 부력은 토막이 잠긴 부피가 밀어낸 유체의 무게와 같다. 토막의 바닥 면적을 A, 토막의 밀도를 $\rho_{토막}$, 유체의 밀도를 $\rho_{유체}$, 토막이 잠긴 부피가 밀어낸 유체의 질량을 m, 토막이 유체에 잠긴 높이를 h, 토막이 잠긴 부분의 부피를 $V_{유체}$, 토막의 부피를 $V_{토막}$이라고 하자.

$$F_{부력} = m_{유체}g = \rho_{유체}V_{유체}g = \rho_{유체}Ahg$$
$$F_{중력} = mg = \rho_{토막}V_{토막}g = \rho_{토막}AHg$$

$F_{부력} = F_{중력}$ 이므로 $\rho_{유체}Ahg = \rho_{토막}AHg$ 이다.

$h\rho_{유체} = H\rho_{토막} \rightarrow 1{,}200\ \text{kg/m}^3\times h = 800\ \text{kg/m}^3\times6\ \text{cm}$

$\therefore h = 4\ \text{cm}$

나무 도막에 작용하는 중력은 같지만, 나무 도막이 완전히 잠겼을 때 밀어낸 유체의 부피는 $V_{유체} = AH$이다. 이때 부력의 방향과 중력의 방향이 반대이므로 $F_{부력} - F_{중력} = ma$이다. 따라서 가속도 a 는 다음과 같다.

$\rho_{유체}AHg - \rho_{토막}AHg = \rho_{토막}AHa$

$\rightarrow a\rho_{토막} = (\rho_{유체} - \rho_{토막})g$

$\rightarrow a\times800\ \text{kg/m}^3 = (1{,}200\ \text{kg/m}^3 - 800\ \text{kg/m}^3)\times10\ \text{m/s}^2$

$\therefore a = 5\ \text{m/s}^2$

28. 답 ⑤

해설 물체가 유체에 떠 있으면 물체에 작용하는 부력과 중력의 크기는 같다. 그러므로 물체에 작용하는 중력의 크기와 물체에 의해 밀려난 유체의 무게가 같다. 빙산의 부피를 $V_{빙산}$, 바닷물에 잠긴 빙산의 부피를 $V_{바다}$, 강물에 잠긴 빙산의 부피를 $V_{강}$이라고 하자.

$m_{빙산}g = \rho_{바다}V_{바다}g \rightarrow \rho_{빙산}V_{빙산}g = \rho_{바다}V_{바다}g$

$\therefore \rho_{빙산}V_{빙산} = \rho_{바다}V_{바다}$

따라서 바닷물 위로 나와있는 빙산의 비율은 다음과 같다.

$$\frac{V_{빙산} - V_{바다}}{V_{빙산}} = 1 - \frac{V_{바다}}{V_{빙산}} = 1 - \frac{\rho_{빙산}}{\rho_{바다}} = 1 - \frac{900\ \text{km/m}^3}{1{,}200\ \text{km/m}^3}$$

$= 1 - 0.75 = 0.25 \rightarrow 25\ \%$

강물에서는

$$1 - \frac{\rho_{빙산}}{\rho_{강}} = 1 - \frac{900\ \text{km/m}^3}{1{,}000\ \text{km/m}^3} = 1 - 0.9 = 0.1 \rightarrow 10\ \%$$

29. 답 ⑤

해설 뗏목이 물에 완전히 잠겼을 때 뗏목의 무게와 쇠구슬 3개의 무게의 합은 뗏목에 작용하는 부력과 같다. 통나무의 부피는 $V = \pi\times(0.1\ \text{m})^2\times0.2\ \text{m} = 0.006\ \text{m}^3$이므로, 통나무의 개수 N은 다음과 같다.

$$3\times20g + \rho_{통나무}VgN = \rho_{물}VgN$$

$\rightarrow N(\rho_{물} - \rho_{통나무})\times0.006 = 60 \rightarrow N = 50(개)$

30. 답 ④

해설 공의 무게와 부력의 크기가 같아야 하므로

$m_{공}g = \rho_{물}V_{물}g \rightarrow \rho_{공}V_{공}g = \rho_{물}V_{물}g$

$\rightarrow \rho_{공}\times(\frac{4}{3}\pi(r_1)^3 - \frac{4}{3}\pi(r_2)^3) = \rho_{물}\times\frac{4}{3}\pi(r_1)^3$

$\rightarrow \rho_{공}(r_1)^3 - \rho_{공}(r_2)^3 = \rho_{물}(r_1)^3$

$\rightarrow (r_2)^3 = \frac{(r_1)^3(\rho_{공} - \rho_{물})}{\rho_{공}} = (r_1)^3\times(1 - \frac{\rho_{물}}{\rho_{공}})$

31. 답 ②

해설 $h = 0$일 때, $W = 0.25$ N이다. 따라서 물체의 무게는 0.25 N이다. $h = 1.5$ cm일 때, 물체가 모두 물에 잠기므로 부력의 크기 $= 0.25\ \text{N} - 0.1\ \text{N} = 0.15$ N이다.

$\therefore \rho_{액체}Vg = \rho_{액체}\times(5\ \text{cm}^2\times1.5\ \text{cm})\times10\ \text{m/s}^2 = 0.15\ \text{N}$

$$\rho_{액체} = \frac{0.15\text{N}}{(5\times10^{-4}\ \text{m}^2)\times0.015\ \text{m}\times10\ \text{m/s}^2} = 2.0\times10^3\ \text{kg/m}^3$$

32. 답 ⑤

해설 운동 에너지가 0인 지점이 부력과 중력이 일치하는 지점으로 공의 밀도와 액체의 밀도가 같은 지점이다. 따라서 공의 밀도는 $1.5\times10^3\ \text{kg/m}^3$이다. $\rho_{액체} = 0$ 일 때는 진공 중이라고 할 수 있고, 자유낙하하며 4cm 낙하했을 때 운동 에너지는 1.2 J이다.

운동 에너지 $= \frac{1}{2}mv^2 = mgh$, h : 자유낙하 거리

$\therefore mgh = 1.2\ \text{J} \rightarrow m = \frac{1.2\ \text{J}}{10\ \text{m/s}^2\times0.04\ \text{m}} = 3\ \text{kg}$

따라서 부피 V는 다음과 같다.

$$V = \frac{질량}{밀도} = \frac{3\ \text{kg}}{1.5\times10^3\ \text{kg/m}^3} = 2\times10^{-3}\ \text{m}^3$$

23강. 유체 II

개념 확인	154~157쪽

1. 난류 **2.** 연속 방정식 **3.** 베르누이 **4.** 마그누스

확인+	154~157쪽

1. 비점성 **2.** 2 m/s
3. ㉠ 낮아(작아) ㉡ 높아 (커) **4.** 양력

1. 답 비점성
해설 고체의 운동에서 마찰이 운동에 저항하는 역할을 한다면, 유체에서는 마찰 대신 점성이라는 개념을 생각할 수 있다. 점성이 없어 유체가 관 내부를 흐르거나 장애물 주위를 흐를 때 에너지의 손실이 없다. 이를 이상 유체의 비점성이라고 한다.

2. 답 2 m/s
해설 관 오른쪽 끝의 단면적에서의 유체의 속력 v는 연속 방정식에 의해 다음과 같다.
$A_1v_1 = A_2v_2$ → $2\ \text{m}^2 \times 5\ \text{m/s} = 5\ \text{m}^2 \times v$, ∴ $v = 2\ \text{m/s}$

3. 답 ㉠ 낮아(작아) ㉡ 높아(커)
해설 유체가 같은 높이를 흐르는 경우 베르누이 법칙($P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh =$ 일정)에 의해 $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$이다. 따라서 $v_1 < v_2$이면 $P_1 > P_2$이므로 유체의 속력이 증가하면 압력이 낮아지고, 유체의 속력이 감소하면 압력이 높아진다.

개념 다지기			158~159쪽
01. ②	**02.** ④	**03.** ③	**04.** ⑤
05. ③	**06.** ④	**07.** ⑤	**08.** ①

01. 답 ②
해설 ① 이상 유체는 밀도가 균일하고 일정하므로 압력을 가하여도 부피가 줄어들지 않는 비압축성 유체이다.
②, ③ 흐름선(이상 유체를 이루는 입자들이 이동하는 경로)이 일정하게 형성되면서 흐른다. 따라서 두 흐름선이 서로 교차하지 않는다.
④ 이상 유체는 유체 속 한 지점에서의 속력이 시간에 따라 변하지 않는 정상 흐름을 한다.
⑤ 이상 유체는 점성이 없기 때문에 유체와 관 사이의 마찰이 없다.

02. 답 ④
해설 $A_1v_1 = A_2v_2$ → $16\ \text{cm}^2 \times 2\ \text{m/s} = 4\ \text{cm}^2 \times v_2$
∴ $v_2 = 8\ \text{m/s}$

03. 답 ③
해설 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적의 비 $A_1 : A_2 = 1 : 3$ 이면, 속력의 비 $v_1 : v_2 = 3 : 1$이다.

04. 답 ⑤
해설 ① 공기 중에서 회전하며 진행하는 공은 회전 방향과 공기 흐름 방향이 같은쪽은 압력이 낮아지고, 반대쪽은 압력이 높아지게 되어 압력이 낮은 쪽으로 휘게 된다. 이 힘을 마그누스 힘이라고 한다.
② 비행기 날개 위쪽은 아래쪽보다 공기의 흐름이 빠르기 때문에 압력이 날개 아래쪽보다 상대적으로 낮으므로 비행기가 뜰 수 있다. 이때 작용하는 힘을 양력이라고 한다.
③ 서로 반대편으로 도로를 질주하는 자동차들이 스쳐 지나갈 때 공기의 흐름이 빠르기 때문에 압력이 낮아서 반대쪽 자동차쪽으로 쏠리는 현상도 베르누이 법칙을 이용하여 설명할 수 있다.
④ 탁구공을 가까이 매달고 그 사이에 입김을 불어 공기의 흐름을 빠르게 하면 압력이 낮아져 탁구공이 서로 가까이 붙게 된다.
⑤ 브레이크 페달을 밟아 실린더의 압력이 높아지면 이 압력이 네 바퀴에 균등하게 제동력을 작용한다. 이는 파스칼 법칙을 이용한 것이다.

05. 답 ③
해설 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적이 같으면 유체의 속력이 같다.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$$

$$\rightarrow P_1 + \rho gh_1 = P_2 + \rho gh_2 \quad \therefore P_1 - P_2 = \rho g(h_2 - h_1)$$

06. 답 ④
해설 베르누이 법칙($P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1 =$ 일정)에서 높이가 같으므로 $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$이 성립한다.

$$\therefore P_1 - P_2 = \frac{1}{2}\rho(v_2^2 - v_1^2)$$
$$= \frac{1}{2} \times (1.0 \times 10^3) \times [(0.3)^2 - (0.1)^2]$$
$$= 40\ \text{N/m}^2$$

07. 답 ⑤
해설 ㄱ. 이상 유체는 비압축성 유체이므로 같은 시간 동안 단면적 A_1과 A_2를 통과한 유체의 부피는 같다.
ㄴ. 유체의 밀도는 일정하므로 부피가 같으면 질량도 같다.
ㄷ. 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적이 작으면 속력이 크다. 따라서 단면적이 더 작은 면에서의 속력 v_1이 v_2보다 크다.

08. 답 ①
해설 비행기 날개의 윗면과 아랫면의 공기 속력 차에 의한

압력 차로 양력을 받아서 비행기가 날 수 있다. 이는 베르누이 법칙을 따른 것이다.

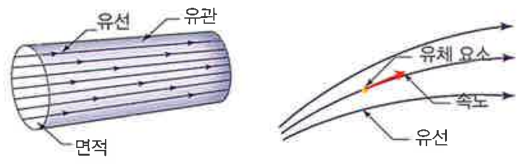
유형 익히기 & 하브루타			160~163쪽
[유형 23-1] ④	01. ⑤	02. ②	
[유형 23-2] ①	03. ④	04. ②	
[유형 23-3] (1) ③ (2) ③	05. ②	06. ①	
[유형 23-4] (1) ⑤ (2) ③	07. ③	08. ④	

[유형 23-1] 답 ④

해설 ㄱ. (가)는 층류이다. 따라서 일정한 유체의 흐름으로, 한 지점을 통과하는 유체의 모든 입자가 똑같은 경로로 이동하고 흐름선은 교차하지 않는다.
ㄴ. (가)는 층류이고, (나)는 난류이다.
ㄷ. 난류의 경우 기체의 흐름은 처음에는 정상 흐름이지만 어느 점에 이르면 소용돌이가 생겨 정상 흐름(층류)에서 막 흐름(난류)으로 바뀐다.

01. 답 ⑤

해설



(가) (나)

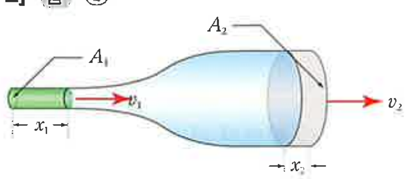
ㄱ. (가)와 (나) 에서 ㉠과 ㉢은 유선이다.
ㄴ. 유체가 흐르는 관 속의 유체 입자들이 흐르는 경로를 나타낸 선을 유선이라 하고, 특정 면적을 지나는 유선의 다발을 유관이라 한다. 따라서 ㉡은 유관이다.
ㄷ. 어떤 지점에서 유체 요소의 속도는 그 지점의 유선의 접선 방향이다.

02. 답 ②

해설 밀도의 변화가 없고, ㉡ 점성이 없어 유체가 관 내부를 흐를 때 에너지의 손실이 없는 유체의 성질을 ㉠ 비압축성이라고한다. 고체의 운동에서 마찰이 운동에 저항하는 역할을 한다면, 유체에서는 마찰 대신 점성이라는 개념을 생각할 수 있다. 이상 유체의 경우 점성에 의한 저항이 없어서 관 내부를 일정한 속력으로 움직일 수 있고, 에너지의 손실이 없다. 이를 비점성이라고 한다. ㉢ 정상 흐름에서는 유체 속 한 지점에서 속력의 방향과 크기가 시간에 따라 변하지 않는다.

[유형 23-2] 답 ①

해설



ㄱ. 비압축성 성질을 가진 이상 유체가 높이가 같은 관 내부를 통과할 때 각 지점을 통과하는 유체의 양은 일정하므로, 같은 시간 동안 통과하는 질량도 일정하다.
ㄴ. 같은 시간 동안 지나가는 유체의 양이 일정하므로 유체가 통과하는 공간의 부피도 같다. 따라서 $A_1x_1 = A_2x_2$이다.
ㄷ. 비압축성 성질을 가진 이상 유체의 성질에 의해 같은 시간 동안 통과한 거리는 굵기가 가는 단면 1이 굵기가 굵은 단면 2보다 길다. 따라서 단면 1에서의 속력 v_1이 v_2보다 빠르다.

03. 답 ④

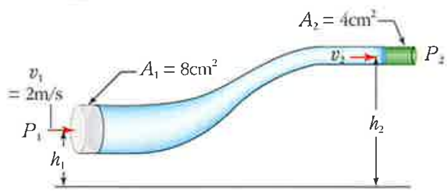
해설 ㄱ. 관 속에서의 이상 유체는 유체 흐름의 질량 보존 법칙을 따른다.
ㄴ, ㄷ. 연속 방정식 ($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 $A_1 : A_2 = 2 : 1$이면, $v_1 : v_2 = 1 : 2$가 된다.

04. 답 ②

해설 ㄱ. 물줄기는 정상 흐름이다.
ㄴ, ㄷ. A_1에서의 속력을 v_1, A_2 에서의 속력을 v_2라 하자. 연속 방정식 ($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 A_1과 A_2 에서의 부피 흐름율은 같으므로, A_2 에서의 속력 v_2가 A_1 에서의 속력 v_1 보다 빠르다.

[유형 23-3] 답 (1) ③ (2) ③

해설



(1) 연속 방정식 ($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해

$$8\ \text{cm}^2 \times 2\ \text{m/s} = 4\ \text{cm}^2 \times v_2 \ \rightarrow\ v_2 = 4\ \text{m/s}$$

(2) 베르누이 법칙($P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1 =$ 일정)에 의해

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) - \rho g(h_2 - h_1)$$
$$= 0.9 \times 10^5 + 500 \times (2^2 - 4^2) - (1.0 \times 10^3) \times 10 \times 5$$
$$= 3.4 \times 10^4\ \text{N/m}^2$$

05. 답 ②

해설 ㄱ. 비압축성 유체는 일정한 질량의 유체가 가지는 부피가 항상 같으므로 밀도의 변화는 없다.
ㄴ. 비압축성 유체이므로 질량 보존 법칙에 의해 같은 시간 동안 A_1과 A_2를 지나는 유체의 부피는 서로 같다.
ㄷ. 연속 방정식에 의해 $A_1v_1 = A_2v_2$가 성립한다.

06. 답 ①

해설 ㄱ. 같은 시간 동안 굵은 관과 가는 관에 같은 부피의 공기가 지나간다.
ㄴ. 굵은 관에서는 공기의 흐름이 느려 기압이 크고, 가는 관에서는 공기의 흐름이 빨라 기압이 작다.
ㄷ. 관의 굵기의 차이가 클수록 압력 차이가 커진다. 따라서 가는 관이 더 가늘어지면 높이 차이 h 는 증가한다.

[유형 23-4] 답 (1) ⑤ (2) ③

해설 (1) 연속 방정식 ($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 $A_1 : A_2 = 5 : 1$이므로 $v_1 : v_2 = 1 : 5$이다. (2) 압력 차이만큼 액체의 높이 차가 생기므로 $P_1 - P_2 = \rho_2 gh$ 이다.

07. 답 ③

해설

ㄱ. 공의 회전으로 인해 공과 공기 사이에 마찰이 생기며 ㉠ 부분에서 공기의 속도가 더 빠르다. 따라서 압력이 ㉡ 부분보다 낮아진다.
ㄴ. ㉠ 부분의 압력이 ㉡ 부분보다 낮으므로 공의 진행 방향은 왼쪽으로 휘어진다.
ㄷ. 공의 회전이 많아질수록 양쪽 공기 흐름의 속도 차이가 더 커지면서 압력 차이도 더 커진다. 따라서 휘어짐의 정도도 더 커진다.

08. 답 ④

해설 ㄱ. 같은 시간 동안 비행기 날개 윗면은 아랫면보다 면을 지나는 공기가 더 긴 거리를 이동하기 때문에 아랫면을 지나는 공기보다 윗면을 지나는 공기의 속력이 더 빠르다.
ㄴ. 베르누이 법칙에 의해 공기의 속력이 느린 곳은 압력이 높고 공기의 속력이 빠른 곳은 압력이 낮으므로 날개 위와 아래에 압력 차이가 발생한다.
ㄷ. 비행기 날개 위쪽의 압력이 아래쪽의 압력보다 낮기 때문에 비행기 날개에는 압력 차에 의해 위쪽 방향으로 양력이 작용한다. 따라서 양력의 방향은 ㉠이다.

창의력 & 토론마당 164~167쪽

01 0.21 m/s

해설 지붕 면적 A_0 에 내리는 비의 유량(속력 v_0)과 주 배수관 입구 면적 A_1 를 통과하는 유량(속력 v_1)은 같고 ($A_0v_0 = A_1v_1$), 주배수관 입구와 지하실 배수관 입구의 기압은 같게 놓을 수 있다. 지하실 배수구 입구의 속력 $v_2 = 0$ 일 때, v_0 은 최솟값이다.

(주 배수관 입구) $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1$

$= $ (지하실 배수관 입구) $P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$

$\rho = 1,\ P_1 = P_2,\ v_2 = 0,\ v_1 = \frac{A_0}{A_1}v_0$ 이므로,

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 = \rho g(h_2 - h_1) \rightarrow \left(\frac{A_0}{A_1}\right)^2 v_0^2 = 2g(h_2 - h_1)$$

$$v_0^2 = 2g(h_2 - h_1)\left(\frac{A_1}{A_0}\right)^2 = 2 \times 10 \times 10 \times \left(\frac{\pi \times 0.03^2}{0.3 \times 0.6}\right)^2$$

$$\therefore v_0 = 10\sqrt{2} \times \left(\frac{3 \times 0.03^2}{0.18}\right) = 0.21(\mathrm{m/s})$$

02 (1) 10 m/s (2) 15 m

해설 (1) 수면과 구멍에서의 압력은 대기압이며, 기압 차는 거의 없고, 수면의 속력 $= 0$ 이라고 할 수 있으므로 구멍에서 나오는 물의 속력을 v 라고 하면, 수면과 구멍에서 베르누이 법칙을 적용하면,

$$\rightarrow P_0 + \frac{1}{2}\rho(0) + \rho g(5\ \mathrm{m}) = P_0 + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g(0)$$

$$\therefore v^2 = 10g = 100,\quad v = 10\ \mathrm{m/s}$$

(2) 새로운 물탱크 바닥의 구멍에서 현재 구멍의 높이가 h 일 때, 새로운 구멍에서의 물줄기의 속력이 현재 구멍에서 나오는 물의 속력의 2배가 되는 경우 다음 식이 성립한다.

$$P_0 + \frac{1}{2}\rho(10\ \mathrm{m/s})^2 + \rho gh = P_0 + \frac{1}{2}\rho(20\ \mathrm{m/s})^2 + \rho g(0)$$

$$\rightarrow 2gh = (400 - 100) \quad \therefore h = 15\ \mathrm{m}$$

03 4.4 cm

해설 반지름이 2 cm인 관의 총 길이는 60 m이다. 이 관 속에서는 속력 $v_1 = 2.5$ m/s이므로 반지름이 2cm 인 관을 지나는데 걸린 시간은 24 s 이다. 따라서 가려진 중간의 관을 지나는 시간은 100 s 가 된다. 이때 가려진 관의 길이는 50 m이므로 가려진 관에서의 속력 $v_2 = 0.5$ m/s이다. 2 cm관의 반지름을 r_1, 가려진 관에서의 반지름을 r_2라 하면, 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 $r_1^2v_1 = r_2^2v_2$가 되므로 $(2\ \mathrm{cm})^2 \times 2.5\ \mathrm{m/s} = r_2^2 \times 0.5\ \mathrm{m/s}$ 에서

$$r_2^2 = 20,\quad r_2 = 2\sqrt{5} \fallingdotseq 4.4\ \mathrm{cm}$$

04 0.4 m³/s

해설 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 $v_B = \frac{S_A}{S_B}v_A$이다.

베르누이 법칙($h_1 = h_2$)

$$\rightarrow P_A + \frac{1}{2}\rho v_A^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho v_B^2$$

$$= P_B + \frac{1}{2}\rho\left(\frac{S_A}{S_B}v_A\right)^2$$

$$\rightarrow P_B - P_A = \frac{1}{2}\rho\left(1 - \frac{S_A^2}{S_B^2}\right)v_A^2$$

$$\therefore v_A^2 = S_B^2 \times \frac{2(P_A - P_B)}{\rho(S_A^2 - S_B^2)}$$

$$= (4\times10^{-2})^2 \times \frac{2 \times (1.8\times10^4)}{(1.0\times10^3) \times (9\times10^{-4})} = 64$$

따라서 $v_A = 8$ m/s가 된다.
부피 흐름율 $R = S_Av_A = 5 \times 10^{-2}\ \mathrm{m^2} \times 8\ \mathrm{m/s} = 0.4\ \mathrm{m^3/s}$이다.

05 (1) 60 N (2) 0.012 m^3/s

해설 (1) 마찰력은 물의 수압×관의 단면적과 평형이다. 깊이 h 인 곳에서의 물의 압력은 $P_{물} = \rho gh$ 이다. 이때 대기압은 수면과 마개에서 같은 크기로 작용하므로 상쇄된다. 관의 단면적 $A = \pi r^2$ 이므로 마찰력 f 는 다음과 같다.

f(관이 마개에 작용하는 마찰력) $= A(\rho gh)$

$= \pi(0.02)^2 \times (1.0\times10^3)\times10\times5 = 60$ N

(2) 초당 빠져나오는 물의 양은 부피 흐름율이므로

$R = Av$이다.

(수면) $P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho gh_1$

= (마개 부분) $P_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 + \rho gh_2$ = 일정

P_1, P_2는 대기압이며 서로 같게 놓을 수 있다.

$v_1 \simeq 0$ (수면의 속력은 거의 0이다.), $h_1 - h_2 = 5$ m 이므로,

$v^2 = 2g(h_1 - h_2)$

$= 2\times10\ m/s^2\times5\ m = 100\ m^2/s^2$

$\rightarrow v = 10$ m/s

$\therefore R = \pi(0.02\ m)^2 \times 10\ m/s = 0.012\ m^3/s$

스스로 실력 높이기 168~175쪽

01. ⑤	02. ③	03. ②	04. ④	05. ③
06. ④	07. ①	08. ①	09. ④	10. ②
11. ③	12. ④	13. ④	14. ④	15. ⑤
16. ①	17. ②	18. ③	19. ②	20. ③
21. ④	22. ④	23. ②	24. ①	25. ④
26. ④	27. ②	28. ③	29. ⑤	30. ②
31. ③	32. ④			

01. 답 ⑤

해설 ⑤ 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 유체의 속력은 관의 단면적이 작을수록 크다.

02. 답 ③

해설 ㄱ, ㄴ. 물의 점성, 밀도, 관성, 퍼텐셜 에너지는 일정하다. 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적이 작아지면 물의 속력은 증가한다.

ㄷ. 물의 점성에 의해 속력은 감소한다.

03. 답 ②

해설 이상 유체의 경우 같은 시간 동안 단면 A_1 과 A_2 를 통과한 유체의 부피가 같다. 따라서 $A_1x_1 = A_2x_2$ 이다. 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 유체의 속력은 관의 단면적이 작을수록 크다. 따라서 관의 단면적이 작은 v_1 의 속력이 v_2 보다 크다.

04. 답 ④

해설 ㄱ. A점이 B점보다 유속이 빠르므로 A점의 압력이 B점보다 낮다.

ㄴ. 공기를 세게 불수록 유속의 속력이 빨라져 압력이 작아진다.

ㄷ. 분무기에서 액체가 뿜어져 나오는 원리는 베르누이 법칙으로 설명할 수 있다.

05. 답 ③

해설 ㄱ. ㉠지점의 단면적이 A_1이고 유체의 속력이 v_1이므로 1초 동안 흐르는 유체의 부피는 A_1v_1 이다.

ㄴ. 정상류에서는 같은 시간 동안 단면을 통과하는 유체의 총 질량은 같다.

ㄷ. $A_1v_1 = A_2v_2$이 성립한다.

06. 답 ④

해설 관의 단면적이 클수록 유체의 속력이 작아 압력이 크므로 단면적이 가장 큰 곳의 높이가 가장 높다. 따라서 높이는 $h_1 > h_3 > h_2$가 되고, 속력은 $v_2 > v_3 > v_1$이 된다.

07. 답 ①

해설 ㄱ. (가)에서 공기가 정지해 있으므로 액체에는 대기압만이 작용한다. 따라서 A와 B에서 압력은 같으므로 수면의 높이는 같다.

ㄴ. (나)에서 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적이 넓은 A쪽 공기의 속력이 B쪽보다 느리므로 A쪽 압력이 커져 A의 수면이 내려간다.

08. 답 ①

해설 ㄱ. 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 A_1이 A_2 보다 넓으므로 v_1 이 v_2 보다 느리다.

ㄴ, ㄷ. 공기의 속력은 v_1 이 v_2 보다 느리므로 h_1 쪽의 압력이 더 크다. 따라서 수면은 h_1이 h_2보다 낮다.

09. 답 ④

해설 ㄱ. 같은 시간 동안 비행기 날개 윗면은 아랫면보다 면을 지나는 공기가 더 긴 거리를 이동하기 때문에 아랫면을 지나는 공기보다 윗면을 지나는 공기의 속력이 더 빠르다.

ㄴ. 베르누이 법칙에 의해 공기의 속력이 느린 곳은 압력이 높고 공기의 속력이 빠른 곳은 압력이 낮다.

ㄷ. 비행기 날개 위쪽의 압력이 아래쪽의 압력보다 낮기 때문에 비행기 날개에는 압력 차에 의해 위쪽 방향으로 양력이 작용한다. 따라서 양력의 방향은 ㉠이다.

10. 답 ②

해설 ㄱ. 점 A에서는 공의 회전 방향은 오른쪽이고 공기의 흐름은 왼쪽이다. 따라서 마찰에 의해 공기의 속력이 느려진다.

ㄴ. 공기 흐름의 속력이 빠를수록 압력이 작고, 느릴수록 압력이 크다. 따라서 속력이 빠른 점 B에 작용하는 압력이 더

작다.
ㄷ. 공기의 압력이 B가 A보다 작으므로 공은 ㉡ 방향으로 힘을 받아 휘어진다.

11. 답 ③
해설 ㄱ, ㄴ. 같은 높이의 구멍에서 나온 물은 구멍의 크기에 상관없이 같은 속력을 갖는다. 따라서 물이 땅에 떨어지는 위치는 같다.
ㄷ. 왼쪽 구멍의 단면적이 더 크기 때문에 왼쪽 구멍에서 땅에 떨어지는 물의 질량이 더 크다. 따라서 에너지는 왼쪽이 더 크다.

12. 답 ④
해설 ㄱ, ㄴ. 공기통에서는 공기의 속력이 0 이므로 공기통에서의 압력이 P, B 지점에서의 공기의 압력, 속력과 밀도가 각각 P_B, v, ρ 이면, 베르누이 법칙에 의해

$P = P_B + \frac{1}{2}\rho v^2$ (두 지점의 높이는 같다고 할 수 있다.)

이 성립하므로 P 는 항상 P_B 보다 크다. 물이 B 지점까지 올라간 상태에서 수면을 기준으로 할 때
점 A의 기압 = B점에서 공기가 누르는 압력 + 물기둥 압력이다($P_0 = P_B + \rho_{물}gh$).
따라서 $P_B = P_0 - \rho_{물}gh < P$ 이다.
ㄷ. $P = P_B + \frac{1}{2}\rho v^2$이고, $P_B = P_0 - \rho_{물}gh$ 이므로

$P = P_0 - \rho_{물}gh + \frac{1}{2}\rho v^2$이다.

13. 답 ④
해설 ㄱ. ㉠과 ㉡은 높이가 같으므로 압력은 단면적이 넓을수록 크다. 따라서 ㉠의 압력이 ㉡보다 크다.
ㄴ. 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적이 같으면 속력도 같다.
ㄷ. 베르누이 법칙($P_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_1$ = 일정)에 의해 속력은 같으므로 압력 차이는 ρgh이다.

14. 답 ④
해설 점 A에서 기체 속력이 $2v$ 일 때 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 $4S \times 2v = S \times v_B$이므로 $v_B = 8v$이다.
점 A에서 기체 속력이 v 일 때, 점 B에서는 속력이 $4v$ 이고, 관 아랫 부분 유리관 속 액체 기둥의 높이 차가 h 이므로,

$P_A + \frac{1}{2}\rho_{기체}v^2 = P_B + \frac{1}{2}\rho_{기체}(4v)^2$이고

유리관 속 액체에서는 $P_A = P_B + \rho_{액체}gh$ 이다.

$$\therefore\ P_A - P_B = \frac{1}{2}\rho_{기체}(16v^2 - v^2) = \rho_{액체}gh$$

$$\rightarrow\ \rho_{기체}(15v^2) = 2\rho_{액체}gh$$

A에서 기체의 속력이 $2v$ 일 때, 점 B에서 기체의 속력은 $8v$ 이고, 유리관 속 액체 기둥의 높이 차는 H 이다.

$$\rho_{기체}(64v^2 - 4v^2) = \rho_{기체}60v^2 = 2\rho_{액체}gH$$

$$\therefore H = 4h$$

15. 답 ⑤
해설 ㄱ. 공기의 속력은 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적이 작은 A위치가 C위치보다 크다.
ㄴ. 공기의 속력이 작을수록 단면적이 크고 단면적이 클수록 압력이 크다. 따라서 공기의 압력은 B위치가 C위치보다 작다.
ㄷ. 공기의 압력 차에 의한 힘이 위쪽으로 작용하여 탁구공은 떨어지지 않는다.

16. 답 ①
해설 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 관의 굵은 쪽에서 속력이 v 이면 관의 가는 쪽에서의 속력은 $3v$ 이다. 관의 굵은 쪽과 가는 쪽에서 물의 압력을 각각 P_1, P_2라고 하면, 높이는 같으므로 베르누이 법칙에 의해 관의 굵은 쪽과 가는 쪽에서는 다음 식을 만족한다.

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho v^2 = P_2 + \frac{1}{2}\rho(3v)^2 \quad \therefore P_1 - P_2 = 4\rho v^2$$

아래쪽 유리관에서는 공기의 압력과 왼쪽의 $3h$ 높이의 물의 압력, 오른쪽의 액체 A, B에 의한 압력이 같으므로

$$P_1 + \rho g(3h) = P_2 + (3\rho)g(2h) + (5\rho)gh$$

$$\therefore P_1 - P_2 = 8\rho gh = 4\rho v^2, \quad v^2 = 2gh$$

17. 답 ②
해설 ㄱ. 공 표면의 마찰로 인해 공기의 속력은 A가 B보다 크다.
ㄴ. 공기(유체)의 속력이 빠를수록 공기가 전달하는 압력은 작아진다. A 부분의 공기의 속력이 빠르므로 압력은 더 낮다.
ㄷ. 마그누스 힘은 압력이 높은 곳에서 낮은 곳으로 작용하므로 압력이 높은 B지점에서 압력이 낮은 A지점으로 작용한다. 따라서 공에 작용하는 마그누스 힘의 방향은 공의 진행 방향의 위쪽 방향이다.

18. 답 ③
해설 공기의 흐름 속력이 점 A보다 B가 빠르므로 압력은 점 A가 점 B보다 크다. 따라서 압력은 위에서 아래쪽으로 가해지므로 저울의 눈금은 커진다.

19. 답 ②
해설 ㄱ. 유체의 속력은 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 단면적이 같으면 속력도 같다. 따라서 A, B, C 모두 속력은 같다.
ㄴ. 유체의 속력이 같다면 유체의 압력은 위치가 낮을수록 더 높다. 따라서 위치가 낮은 A의 압력이 C보다 높다.
ㄷ. B 지점의 높이를 0으로 두고 베르누이 법칙을 적용하면 다음 식이 성립한다. 이때 두 지점의 유체의 속력은 같다.

$$P_B + \frac{1}{2}\rho v^2 = P_C + \rho g(3h) + \frac{1}{2}\rho v^2$$

$$\therefore P_B - P_C = 3\rho gh = 3P_0$$

20. 답 ③
해설 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 $3Sv = Sv_B$이므로 $v_B = 3v$이다. 굵기가 변하는 관의 A와 B에서의 물의 압력을 P_A, P_B라 하면, 베르누이 법칙에 의해 다음 식이 성립한다.

$$P_A + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gH = P_B + \frac{1}{2}\rho(3v)^2 \text{ (관 내부)}$$

오른쪽 유리관의 $h = 0$ 인 높이에서 평형을 생각하면, 오른쪽은 P_A와 높이 $(H + h)$의 물기둥의 압력, 왼쪽은 P_B와 높이 h 의 액체 기둥의 압력이 평형을 이룬다.

$$P_A + \rho g(H + h) = P_B + (10\rho)gh \text{ (유리관)}$$

관 내부에서 압력차 : $P_A - P_B = 4\rho v^2 - \rho gH$

유리관에서 압력차 : $P_A - P_B = 9\rho gh - \rho gH$

$$\therefore 9\rho gh = 4\rho v^2 \rightarrow h = \frac{4v^2}{9g}$$

21. 답 ④

해설 그림(가)에서 물표면의 위치를 y_1, 배출구 중심의 위치를 y_2, 물통의 단면을 A_1, 배출구의 단면을 A_2라 하자. 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 A_2의 단면은 무시할 만큼 작으므로 $v_1 = 0$으로 놓을 수 있다. 물표면의 압력과 배출구의 압력은 기압(P_0)이며 같다고 놓을 수 있으므로 베르누이 법칙을 적용하면

$$P_0 + \rho gy_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_0 + \rho gy_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

$$\rightarrow v_2^2 = 2g(y_1 - y_2),\ y_1 - y_2 = 0.8 \ \therefore v_2 = 4 \text{ m/s}$$

그림(나)에서 배출 속력(v)는 4m/s이며, 배출 부분($h = 0$)과 속력이 0 이 되는 최고점($h = H$)에서 베르누이 법칙을 적용하면

$$P_0+\frac{1}{2}\rho v^2+0\text{(배출 부분)} = P_0+0+\rho gH\text{(최고점)}$$

$$\rho gH = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad \therefore H = \frac{v^2}{2\rho} = 0.8\text{(m)}$$

22. 답 ④

해설 10분 동안 흘러나오는 물의 양(V)은 부피 흐름율 × 600(초)이다. 3 cm 관의 면적을 A_1, 속력을 v_1, 물이 흘러나오는시간을 t 라 하면, 다음과 같이 계산한다.

$$V = A_1v_1t = \frac{\pi(0.03\text{ m})^2}{4} \times 15 \text{ m/s} \times 600 \text{ s} \cong 6.4\ (\text{m}^3)$$

5 cm 관의 면적을 A_2, 속력을 v_2라 하자. 연속방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해

$$v_2 = v_1\frac{A_1}{A_2} = 15 \text{ m/s} \times \frac{9 \text{ cm}^2}{25 \text{ cm}^2} = 5.4 \text{ m/s이다.}$$

두 관의 높이는 같고, $P_2 = P_0$(대기압)이므로 베르누이 법칙을 적용하면

$$P + \frac{1}{2}\rho\, 15^2 = P_0 + \frac{1}{2}\rho\, 5.4^2$$

$$P = P_0 + \frac{1}{2}\rho(5.4^2 - 15^2)$$

$$= (1.01\times10^5) + \frac{1}{2}\times(1.0\times 10^3)\times(-195.84)$$

$$= 3.08 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

23. 답 ②

해설 ㄱ. 탁구공은 질량을 가지고 있으므로 중력이 존재한다. ㄴ, ㄷ. 탁구공 옆을 흐르는 공기의 흐름 속력이 B보다 A가 빨라 B에서 탁구공에 작용하는 압력이 A보다 높게 나타나므로 탁구공은 왼쪽으로 힘을 받아 운동한다.

24. 답 ①

해설 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 면적이 b에서의 속력은 $2v_1$이다. 연직관 속 물에 의한 압력이 유체의 압력과 같다. a에서의 압력 : $P_1 = \rho gh_1$, b에서의 압력 : $P_2 = \rho gh_2$ 같은 수평면 상에 있으므로 베르누이 법칙에 의해 다음 식이 성립한다.

$$2(P_1 - P_2) = \rho(4v_1^2 - v_1^2) = \rho(3v_1^2)$$

$$\rightarrow 2\rho g(h_1 - h_2) = \rho(3v_1^2),$$

$$\rightarrow 3v_1^2 = 2 \times 10 \times (0.2 - 0.05),\ \therefore v_1 = 1 \text{ m/s}$$

25. 답 ④

해설 수도꼭지에서 나오는 물은 아래로 떨어지면서 속력이 증가한다. 이때 부피 흐름율은 항상 같아야 하므로 아래로 갈수록 물줄기가 가늘어진다. A_0와 A에서의 물의 속력을 각각 v_0, v 라고 하면, 연속 방정식에 의해 $A_0v_0 = Av$이고, 물은 자유 낙하하고 있으므로 두 지점에서 베르누이 법칙을 적용하면(압력은 대기압으로 같다.) $v^2 = v_0^2 + 2gh$이다. 따라서 속력은 다음과 같다.

$$A_0^2v_0^2 = A^2v^2 \rightarrow A_0^2v_0^2 = A^2 \times (v_0^2 + 2gh)$$

$$\rightarrow v_0^2 \times (A_0^2 - A^2) = 2ghA^2$$

$$\rightarrow v_0^2 \times [(5\text{cm}^2)^2-(4\text{cm}^2)^2] = 2\times1000\text{cm/s}^2\times1.8\text{cm}\times(4\text{cm}^2)^2$$

$$\rightarrow v_0^2 = 6400\ (\text{cm/s})^2,\quad v_0 = 80 \text{ cm/s}$$

$$\therefore R_V = A_0v_0 = 5 \text{ cm}^2 \times 80 \text{ cm/s} = 400 \text{ cm}^3/\text{s}$$

26. 답 ④

해설 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해

$4 \text{ cm}^2 \times 40 \text{ m/s} = 8 \text{ cm}^2 \times v_2$ 이므로 $v_2 = 20$ m/s이다.

베르누이 법칙을 적용하면 낮은 위치에서 물의 압력 P_2 는 다음과 같다.

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) + \rho g(h_1 - h_2)$$

$$= (1.0\times10^5)+500\cdot(40^2-20^2)+(1.0\times10^3)\cdot10\cdot10$$

$$= 8 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

27. 답 ②

해설 관의 넓은 부분을 흐르는 모든 유체는 좁은 부분을 지나야 하므로 두 부분에서의 부피 흐름율은 같아야 한다. A_1에 흐르는 유체의 속력을 v_1, A_2에 흐르는 유체의 속력을 v_2라 하면, $R_V = A_1v_1 = A_2v_2$이다. 높이 차가 없으므로 두 지점에서 베르누이 법칙을 적용하면

$$2(P_1 - P_2) = \rho(v_2^2 - v_1^2) \quad \cdots ㉠$$

㉠에 $v_1 = \frac{R_V}{A_1}$, $v_2 = \frac{R_V}{A_2} = 2\frac{R_V}{A_1}$을 대입하면 다음과 같다.

$$\rightarrow 2(P_1 - P_2) = \rho\left(\frac{4R_V^2}{A_1^2} - \frac{R_V^2}{A_1^2}\right) = \rho\frac{3R_V^2}{A_1^2}$$

$$\rightarrow R_V^2 = \frac{2(P_1 - P_2)A_1^2}{3\rho} = \frac{2\times(6.0\times10^3)\times(1.2\times10^{-3})^2}{3 \times (1.0 \times 10^3)}$$

$$\therefore R_V = 2.4 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

28. 답 ③

해설 (1) 관은 하나로 이어져 있으므로 2 cm관에 흐르는 흐름율은 세 개의 작은 관에 흐르는 흐름율을 각각 더한 것과 같다.

$$\therefore R = 25 \text{ L/min} + 20 \text{ L/min} + 5 \text{ L/min} = 50 \text{ L/min}$$

(2) 25 L/min의 흐름율을 가진 관의 면적을 A_1, 속력을 v_1,

2 cm 관의 면적을 A_2, 속력을 v_2라 하자. 면적은 $\frac{\pi(\text{지름})^2}{4}$ 이고, 흐름율은 $R = Av$이므로 다음과 같은 식이 성립한다.

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1R_2}{A_2R_1} = \frac{(1\text{ cm})^2 \times 50\text{ L/min}}{(2\text{ cm})^2 \times 25\text{ L/min}} = 0.5$$

29. 답 ⑤

해설 A 지점에서의 속력을 v_1, B 지점에서의 속력을 v, C 지점에서의 속력을 v_2라 하면, 연속 방정식($A_1v_1 = A_2v_2$)에 의해 $v_2 = \frac{R^2}{2R^2}v = \frac{1}{2}v$, $v_1 = \frac{R^2}{5R^2}v = \frac{1}{5}v$ 이다. A와 C에서의 부피흐름률은 같으므로 위치 에너지 차이는 없고, A와 C에서의 운동 에너지의 차가 한 일(W)이된다.

$$W = \frac{1}{2} \times \text{물의 질량}(m = \rho V) \times (v_2^2 - v_1^2)$$
$$= \frac{1}{2} \times (1.0 \times 10^3) \times 0.4 \times (\frac{1}{4} - \frac{1}{25}) \times (0.5\text{ m/s})^2$$
$$= 10.5\ (\text{J})$$

30. 답 ②

해설 $A_1v_1 = A_2v_2 \rightarrow v_2^2 = (\frac{A_1}{A_2})^2 v_1^2 \cdots$ ㉠

높이 차는 없으므로 베르누이 법칙을 적용하면

$$P_2 - P_1 = \frac{1}{2}\rho(v_1^2 - v_2^2) \cdots \text{㉡}$$

㉡에 ㉠을 대입하면 $P_2 - P_1 = \frac{1}{2}\rho(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2})v_1^2$

$$\rightarrow v_1^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho(A_2^2 - A_1^2)} A_2^2$$
$$= \frac{2(4050)}{900 \times (25 - 16)} \times 25 = 25 \quad \rightarrow v_1 = 5\text{ m/s}$$
$$\therefore R = A_1v_1 = 4\text{ m}^2 \times 5\text{ m/s} = 20\text{ m}^3/\text{s}$$

31. 답 ③

해설 수면에서의 압력과 C 에서의 압력은 대기압(P_0)으로 같고, 수면에서의 속력은 0 으로 하며, C점의 높이를 0으로 하면 수면의 높이는 $d+h_2$이므로, 수면과 C점에서 베르누이 법칙을 적용하면

$$P_0 + 0 + \rho g(d + h_2) = P_0 + \frac{1}{2}\rho v_C^2 + 0$$
$$v_C^2 = 2g(d + h_2) = 2 \times 10 \times (0.12 + 0.4) = 10.4$$
$$\therefore v_C \cong 3.2\text{ m/s}$$

32. 답 ④

해설 $A_1^{-2} = 16$일 때 압력 차가 0이므로 이때 단면적 A_1과 A_2가 같고 $A_1^{-2} = 16$으로 불변이다. $A_1^{-2} = 32$일 때도 $A_2^{-2} = 16$이다. 이때 $(P_2 - P_1)$은 $450 \times 10^3\text{ N/m}^2$ 이다.

$$A_1v_1 = A_2v_2 \rightarrow v_1^2A_1^2 = v_2^2A_2^2,\ \frac{v_1^2}{32} = \frac{v_2^2}{16},\ v_1^2 = 2v_2^2$$

이제 두 지점에서 베르누이 법칙을 적용하면

$$2(P_2 - P_1) = \rho(v_1^2 - v_2^2) = \rho v_2^2$$
$$\rightarrow 900 \times 10^3 = 1.0 \times 10^3 \times v_2^2,\ v_2 = 30\text{ m/s}$$

$A_2 = 0.25\text{ m}^2$ 이므로

부피 흐름율 $R = A_2v_2 = 7.5\text{ m}^3/\text{s}$이다.

24강. 열역학 법칙

개념 확인 176~179쪽

1. 열평형	2. 보일-샤를 법칙
3. 열역학 제1법칙	4. 열역학 제2법칙

확인+ 176~179쪽

1. 0.0045 kcal/K	2. 6.02×10^{23} 개
3. 등적 과정	4. 300 J

1. 답 0.0045 kcal/K

해설 $C = mc = 0.05\text{kg} \times 0.09\text{kcal/kg}\cdot\text{K} = 0.0045\text{kcal/K}$

2. 답 6.02×10^{23} 개

해설 아보가드로 수는 질량수가 x 인 원자 x g 속에 포함된 원자 수이다. 따라서 질량수가 12인 탄소 원자 12 g 속에 포함되어 있는 원자 수는 6.02×10^{23} 개이다.

3. 답 등적 과정

해설 부피가 일정한 상태에서 압력이 높아졌으므로 등적 과정에 해당한다.

4. 답 300 J

해설 1분에 120회 작동하므로 1초에 2회 작동하고, 1회 작동하는 데 걸리는 시간은 0.5초이다. 따라서 1회당 한 일은 $W = Pt = 120\text{ W} \times 0.5\text{ s} = 60\text{ J}$이다. 이는 열기관의 열효율과 고열원에서 흡수한 열량의 곱과 같다.

$$\rightarrow W = e \times Q = 0.2 \times Q = 60\text{ J}$$
$$\therefore Q = 300\text{ J}$$

개념 다지기 180~181쪽

01. ⑤	02. ④	03. ④	04. ①
05. ③	06. ⑤	07. ②	08. ②

01. 답 ⑤

해설 113.5 °C = 113.5 + 273 = 386.5 K,

2배 뜨거운 쇳덩어리의 온도 = 773 K

$$= 773 - 273 = 500\ °\text{C}$$
$$= 500 \times \frac{9}{5} + 32 = 932°\text{F}$$

02. 답 ④

해설 ㄱ. 그래프에서 5분이 지난 후 A와 B의 온도가 같아졌으므로 열평형 온도는 50℃ 이다.

ㄴ. 외부와의 열 출입이 없으므로 A가 잃은 열량은 B가 얻

은 열량과 같다.
ㄷ. 5분 이후 A와 B는 열평형 상태가 되어 두 액체 사이에서 열의 이동은 없다.

03. 답 ④
해설 기체가 한 일은 $W = P\Delta V$ 이므로 압력-부피 그래프에서 아래의 넓이와 같다.
$\therefore W = (2 \times 10^5 \text{ N/m}^2) \times (3 - 1) \times 10^{-3} \text{ m}^3 = 400 \text{ J}$

04. 답 ①
해설 ㄱ. 기체는 부피가 변하지 않는 용기 안에 있으므로 부피는 일정하고, 열이 공급되는 동안 온도가 증가하므로 기체의 압력은 증가한다.
ㄴ. 기체의 부피 변화가 없으므로 기체는 외부에 일을 하지 않는다.
ㄷ. 열을 공급하면 기체의 온도가 증가하므로 기체의 내부 에너지는 증가한다.($\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T > 0$; n몰)

05. 답 ③
해설 ㄱ. 기체 내부의 압력이 외부의 압력과 평형을 유지하면서 팽창하므로 기체의 압력은 외부의 압력과 같다. 따라서 실린더 안 기체의 압력은 P로 일정하게 유지된다.
ㄴ. 기체가 외부에 한 일은 $W = P\Delta V = P(V_2 - V_1)$이다.
ㄷ. 이상 기체 상태 방정식 $PV = nRT$에서 압력은 일정하므로 부피가 증가하면 온도는 상승한다.

06. 답 ⑤
해설 ㄱ. (가)는 피스톤을 고정하였으므로 기체를 가열해도 부피가 변하지 않고 일정하게 유지된다. 따라서 기체가 외부에 한 일은 0이다.
ㄴ. (가)에서 기체가 받은 열량으로 내부 에너지가 증가하여 기체의 온도가 상승한다. 이상 기체 상태 방정식 $PV = nRT$에서 부피가 일정할 때 온도가 상승하면 압력은 증가한다.
ㄷ. (나)는 등압 변화이므로 기체의 내부 에너지가 증가함과 동시에 기체의 내부 에너지가 증가한다. 따라서 온도가 상승한다.

07. 답 ②
해설 B → A로 진행하는 과정은 부피 변화가 없는 등적 과정으로, 압력이 감소하였으므로 온도가 감소하므로 내부에너지가 감소한다($\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T < 0$; n몰). 따라서 기체가 한 일(W)은 0이고, ΔU는 (−)값을 가지므로 Q도 (−)값을 갖는다.($Q = \Delta U + W$)

08. 답 ②
해설 이상적인 열기관의 최대 열효율은 카르노 기관의 열효율이다.
$$\therefore e = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{400}{500} = 0.2 = 20\,\%$$

유형 익히기 & 하브루타 182~185쪽

[유형 24-1] ⑤	01. ②	02. ②
[유형 24-2] ④	03. ⑤	04. ①
[유형 24-3] ⑤	05. ③	06. ④
[유형 24-4] (1) ③ (2) ④		
	07. ④	08. ①

[유형 24-1] 답 ⑤
해설 ㄱ, ㄴ. 외부와의 열 출입이 없으므로 A가 잃은 열량은 B가 얻은 열량과 같고 C는 열 출입이 없다. 물의 비열을 c, 물 A의 질량을 m_A, 물 B의 질량을 m_B라고 하면, $cm_A(100 - 50) = cm_B(50-40)$에서 $m_B = 5m_A$이다. 따라서 질량은 B가 A의 5배이다.
ㄷ. 5분이 지난 후 A, B, C는 온도가 같으므로 열평형 상태이다.

01. 답 ②
해설 ㄱ. 열평형 상태가 될 때까지 액체 A와 B가 주고받은 열량($Q = mc\Delta T$)은 같다.
→ $1 \text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} \times 1.5 \text{ kg} \times 50\ {}^\circ\text{C} = (\text{가}) \times 5 \text{ kg} \times 10\ {}^\circ\text{C}$
$\therefore (\text{가}) = 1.5$
ㄴ. 온도 1 °C를 높이는 데 필요한 열량은 열용량($C = mc$)이다.
$C_A = 1.5\text{kg} \times 1\text{kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} = 1.5\text{kcal/}{}^\circ\text{C}$
$C_B = 5\text{kg} \times 1.5\text{kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} = 7.5\text{kcal/}{}^\circ\text{C}$
따라서 물체의 온도를 1℃ 높이는데 필요한 열량인 열용량은 액체 B가 A보다 크다.
ㄷ. 같은 질량의 온도를 1 °C 높이는 데 필요한 열량은 비열이다. 비열은 액체 A가 B보다 작다.

02. 답 ②
해설 ㄱ. 구리 1 kg을 1 °C 높이는데 필요한 열량
$Q_{구리} = 1 \text{ kg} \times 0.09 \text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} \times 1\ {}^\circ\text{C} = 0.09 \text{ kcal}$
ㄴ. 철 2 kg을 100 °C 높이는 데 필요한 열량 $Q_{철}$
$Q_{철} = 0.11 \text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} \times 2 \text{ kg} \times 100\ {}^\circ\text{C} = 22 \text{ kcal/}{}^\circ\text{C}$
알루미늄 1 kg을 100 °C 높이는 데 필요한 열량 $Q_{알}$
$Q_{알} = 0.22 \text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} \times 1 \text{ kg} \times 100\ {}^\circ\text{C} = 22 \text{ kcal/}{}^\circ\text{C}$
따라서 철과 알루미늄의 온도를 100 °C 높이는 데 필요한 열량은 같다.
ㄷ. 질량과 온도가 같은 물질에 같은 열을 가했을 때 온도 변화량은 비열에 반비례한다.

[유형 24-2] 답 ④
해설 ㄱ. A 쪽의 압력이 B 쪽보다 크므로 칸막이가 B 쪽으로 압력이 같아질 때까지 움직인다. 따라서 A 쪽의 압력이 낮아진다.
ㄴ. A 부분의 기체는 B 부분에 (+)일을 하므로

$Q = \Delta U + W = 0$, $\Delta U = -W < 0$, ($\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$; n몰)
A 부분의 내부 에너지는 낮아지고 온도가 내려간다(단열 팽창).
ㄷ. B 부분은 A로부터 일을 받아 내부 에너지가 증가하고 온도가 증가한다(단열 압축).

03. 답 ⑤
해설 $W = P\Delta V$이므로 그래프에서 넓이는 기체가 한 일이 된다. A → B, C → D 과정은 부피 변화가 없으므로 외부에 한 일은 0이다.
B → C 과정은 부피가 증가했으므로 기체가 한 일은 600 $N/m^2 \times (8 - 2)\ m^3 = 3600$ J이 된다.
D → A 과정은 부피가 감소했으므로 기체가 300 $N/m^2 \times (2 - 8)\ m^3 = -1800$ J 의 일을 한다.(외부에서 기체에 일을 한다.) 따라서 1회 순환하는 동안 기체가 외부에 한 일의 양는 3600 J − 1800 J = 1800 J이다.

04. 답 ①
해설 ㄱ. ㄴ. 등압 팽창 과정이므로 $Q = \Delta U + P\Delta V > 0$이고, $\Delta U > 0$(온도 증가), $P\Delta V > 0$(부피 증가)이다. 즉, 기체에 제공한 열이 기체의 분자운동을 활발하게 하고(평균 속력 증가), 부피를 증가시켜 외부에 일을 하게 한다.
ㄷ. 등압 과정에서 기체가 흡수한 열량은 (기체의 내부 에너지 증가량(ΔU))과 (기체가 외부에 한 일($P\Delta V$))의 합과 같다.

[유형 24-3] 답 ⑤
해설 (가)는 등적 변화, (나)는 등압 변화이다.
ㄱ. 기체가 n 몰 이라면 (가)는 $W = 0$ 이므로 $Q = \Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$, (나)는 $Q = \Delta U + P\Delta V = \frac{3}{2}nR\Delta T + nR\Delta T = \frac{5}{2}nR\Delta T$ ($PV = nRT \to P\Delta V = nR\Delta T$($P$일정))이므로 Q가 같을 때 ΔT(온도 변화)는 (가)가 크다.
ㄴ. (가)는 부피가 일정하므로 $PV = nRT$ 에서 온도와 압력이 비례해서 증가하나 (나)는 처음 압력이 그대로 유지되므로 가열하는 과정에서 (가)의 압력이 커진다.
ㄷ. (나)에서 피스톤의 단위 면적당 추의 무게와 대기압을 합한 값은 기체에 작용하는 외부 압력이며, 기체가 외부에 작용하는 압력과 평형을 이룬다.

05. 답 ③
해설 ㄱ. A → B 과정은 부피가 일정하므로 등적 과정이다. $PV = nRT$에서 부피가 일정하므로 압력이 증가하면 온도가 비례해서 증가한다. 내부 에너지 변화량 $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$에서 $\Delta T > 0$ 이면 $\Delta U > 0$ 이다.
ㄴ. B → C 과정은 PV의 곱이 일정하므로 $PV = nRT =$ 일정 이므로 T가 일정하여 $\Delta T = 0$인 등온 과정($\Delta U = 0$)이다. 부피가 증가하므로 $Q = W > 0$ 이므로 외부에서 기체에 열을 공급하는 과정이다.
ㄷ. C → A 과정은 압력이 일정하고 부피가 줄었으므로 등압 압축 과정이다. 기체가 한 일은 그래프 아래 넓이이므로 기체는 외부로부터 $P_0 \times (4 - 1)V_0 = 3P_0V_0$ 만큼의 일을 받는다.

06. 답 ④
해설 ㄱ. 습한 공기가 열에너지의 공급 없이 부피가 팽창하였으므로 압력은 낮아진다.
ㄴ. 단열 팽창하였으므로 온도는 낮아진다.
ㄷ. 입자로 된 방사선이 지나가면 수증기가 응결되어 물방울이 생겨 궤적이 나타난다.

[유형 24-4] 답 (1) ③ (2) ④
해설 (1) 열기관의 최대 효율은 다음과 같다.

$$e = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{273 + 127}{273 + 227} = 0.2 = 20\ \%$$

(2) $W = eQ = 0.2 \times 4 \times 10^3\ J = 800\ J$

07. 답 ④
해설 ㄱ. 열효율 $= 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ 이므로 $\frac{Q_2}{Q_1}$ 이 커질수록 열효율은 작아진다. ㄴ. $Q_2 = W$이면 $Q_1 = 2W$이다. 따라서 열효율은 $1 - \frac{W}{2W} \times 100\ \% = 50\ \%$이다. ㄷ. $Q_1 = W$이면 열효율이 100 %이며, 저열원이 존재하지 않는 열기관이다. 이는 열역학 제2법칙에 위배된다.

08. 답 ①
해설 두 엔진 사이의 온도를 T_0라고 하고, 에너지 보존 법칙을 적용하면 윗 엔진과 아랫 엔진이 한 일 W_1, W_2은 각각 다음과 같다.

$$W_1 = Q_1 - Q_2,\ W_2 = Q_2 - Q_3$$

윗 엔진의 열효율 $e_1 = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_0}{T_1}$

아랫 엔진의 열효율 $e_2 = 1 - \frac{Q_3}{Q_2} = 1 - \frac{T_2}{T_0}$

전체 열효율 $e = \frac{W_1 + W_2}{Q_1} = \frac{W_1}{Q_1} + \frac{W_2}{Q_1} = \frac{W_1}{Q_1} + \frac{W_2}{Q_2}\frac{Q_2}{Q_1}$

$= 1 - \frac{T_0}{T_1} + (1 - \frac{T_2}{T_0})\frac{T_0}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} = 1 - \frac{900\ K}{1000\ K}$

$= 0.1$ (10 %)

창의력 & 토론마당 186~189쪽

01

(1) 4 : 1 (2) $T_1 = T_2$, $P_1 = P_2$ (3) 2 : 1

해설 (1) 분리대를 통해 열교환만 일어나므로 평형 조건은 $T_1 = T_2$이다.
이상 기체의 상태 방정식 $PV = nRT \to T = \frac{PV}{nR}$

$$\frac{P_1V_1}{n_1R} = \frac{P_2V_2}{n_2R} \to \frac{P_1V_0}{2R} = \frac{P_2 2V_0}{R}$$

$$\therefore P_1 = 4P_2 \to P_1 : P_2 = 4 : 1$$

(2) 분리대는 압력이 같아질 때까지 이동한다. 따라서 평형 조건은 $T_1 = T_2$, $P_1 = P_2$이다.
(3) 왼쪽 칸막이가 움직여서 늘어난 부피를 ΔV라 하

면 평형 상태에서 $V_1 = V_0 + \Delta V$, $V_2 = 2V_0 - \Delta V$이다.

$PV = nRT \rightarrow \frac{P}{T} = \frac{nR}{V}$ =일정(온도와 압력이 서로 같다.)

$\therefore \frac{2R}{V_0 + \Delta V} = \frac{R}{2V_0 - \Delta V} \rightarrow \Delta V = V_0$

$\therefore V_1 = 2V_0,\ V_2 = V_0 \rightarrow V_1 : V_2 = 2 : 1\ (V \propto n(\text{몰수}))$

02

(1) B : 400 K C : 600 K D : 500 K
(2) 4500 J (3) 1500 J

해설 (1) $PV = nRT$에서 기체의 몰수(n)는 불변이므로 기체의 온도(T)는 압력(P)×부피(V)에 비례한다.

$\therefore T_A : T_B : T_C : T_D$

$= 10^5 \times (3\times10^{-2}) : 10^5 \times (4\times10^{-2}) : 1.5\times10^5 \times (4\times 10^{-2}) : 10^5 \times (5\times10^{-2})$

$= 3 : 4 : 6 : 5$ 이다.

T_A가 300 K 이므로 T_B, T_C, T_D는 각각 400 K, 600 K, 500 K 이다.

(2) A → B 과정에서 한 일 $W = P\Delta V = (1.0 \times 10^5\ \text{N/m}^2) \times (4 - 3) \times 10^{-2}\ \text{m}^2 = 1.0 \times 10^3$ J이고, B → C 과정에서 한 일은 정적 과정이므로 0이다. 따라서 A → B → C 과정에서 총 한 일은 1.0×10^3 J이다. 그리고 그 과정에서 총 11초간 가열하였으므로 가한 열량 Q = 500W × 11s = 5500 J 이다. 따라서 열역학 제1법칙에 의해 내부 에너지 증가량(ΔU)은 다음과 같다.

$$\Delta U = Q - W = 5500\ \text{J} - 1000\ \text{J} = 4500\ \text{J}$$

(3) C → D 과정은 단열 과정이므로 열역학 제1법칙에 의해 $\Delta U = -W$이다. 내부 에너지 변화 $\Delta U = \frac{3}{2}nR\Delta T$이고, C → D 과정 동안 $nR = \frac{PV}{T}$ (이상 기체 방정식) = 10 이 일정하게 유지된다.

$\therefore \Delta U = \frac{3}{2} \times 10 \times (500 - 600)\ \text{K} = -1500\ \text{J} = -W$

따라서 기체가 한 일 W = 1500 J이다.

03

(1) $\frac{3}{2}RT_0$ (2) $\frac{5}{8}t_0$

해설 (1) $U = \frac{3}{2}nRT$ 이므로 $U_A = \frac{3}{2}RT_0$이다.

(2) 용수철의 길이가 $\frac{3}{2}L$이 되면 양쪽 기체가 차지하는 공간의 길이는 다음과 같다.

$$L_A = L_B = \frac{1}{2} \times (3L - \frac{3}{2}L) = \frac{3}{4}L$$

이때 기체 A, B의 압력을 P 라고 하면(압력이 같다.) 두 피스톤에 작용하는 힘은 기체 A, B의 압력에 의한 힘과 용수철의 탄성력이 있으며, 두 피스톤에서 각각 평형을 이룬다.(용수철은 압축된 상태이다.)

$$PS = k(2L - \frac{3}{2}L) = \frac{1}{2}kL \quad \cdots ㉠$$

이상 기체 상태 방정식에서(n = 1)

$$P(S \times \frac{3}{4}L) = nR(T_0 - t) \quad \cdots ㉡$$

㉠과 ㉡에서 $T_0 - t = \frac{3kL^2}{8R}$

처음에 온도가 T_0일 때 용수철의 길이가 L이므로 압축된 길이도 L이다. 힘의 평형 관계로부터 $P_AS = P_BS = kL \cdots ㉢$ 이고, 이상 기체 상태 방정식 $P_ASL = nRT_0 \cdots ㉣$ 이므로

㉢과 ㉣에서 $T_0 = \frac{P_ASL}{R} = \frac{kL^2}{R}$

$\therefore T_0 - t = \frac{3}{8}T_0 \rightarrow t = \frac{5}{8}T_0$

04

3.7×10^{-9} m

해설 본문의 그림과 같이 기체 상태에서 물분자 사이의 거리를 d 라 하면 1개의 물분자가 차지하는 부피는 d^3이 된다. 아보가드로수를 N_A라 하면 $N_Ad^3 = V$이다. 여기서 V는 100 ° C, 1 기압인 수증기 1 mol의 부피이다.

$PV = nRT \rightarrow (1.013 \times 10^5) \times V$

$= 1 \times 8.3 \times (237 + 100)$

$\therefore V = 3 \times 10^{-2}\ \text{m}^3$

$(6 \times 10^{23}\text{개}) \times d^3 = 3 \times 10^{-2}\text{m}^3 \rightarrow d = 3.7 \times 10^{-9}\text{m}$

05

$2 \times 10^5\ \text{N/m}^2$

해설 $V_B = 4V_A$ 이고, $PV = nRT$를 사용하여 총 몰수는 다음과 같으며 일정하게 유지된다.($V_A = V$)

$$n = n_A + n_B = \frac{P_AV}{RT_A} + \frac{P_B4V}{RT_B} = \frac{V}{R}\left(\frac{P_A}{300} + 4\frac{P_B}{400}\right)$$

밸브를 연 후 각각의 몰수를 n_A', n_B', 공통 압력을 P 라 하면, 총 몰수와 온도는 같게 유지되므로

$$n = n_A' + n_B' = \frac{PV}{300R} + \frac{P4V}{400R} = \frac{4PV}{300R}$$

$$= n_A + n_B = \frac{V}{R}\left(\frac{P_A}{300} + 4\frac{P_B}{400}\right)$$

$$\therefore \frac{4PV}{300R} = \frac{V}{R}\left(\frac{P_A}{300} + 4\frac{P_B}{400}\right)$$

$$\frac{4P}{3} = \frac{P_A}{3} + P_B$$

$$\therefore P = \frac{P_A}{4} + \frac{3P_B}{4} = \frac{5 \times 10^5}{4} + \frac{3 \times 10^5}{4}$$

$$= 2 \times 10^5\ \text{N/m}^2$$

스스로 실력 높이기 190~197쪽

01. ①	02. ③	03. ②	04. ④	05. ①
06. ④	07. ⑤	08. ①	09. ②	10. ④
11. ⑤	12. ③	13. ④	14. ⑤	15. ①
16. ①	17. ①	18. ①	19. ②	20. ①
21. ④	22. ②	23. ⑤	24. ④	25. ②
26. ②	27. ④	28. ③	29. ④	30. ②
31. ①	32. ④			

01. 답 ①
해설 $Q = mc\Delta T \rightarrow 20 = 2\text{ kg} \times c_A \times 5\ ^\circ\text{C}$
$\therefore c_A = 2\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C}$
$10 = 1\text{ kg} \times c_B \times 5\ ^\circ\text{C},\ c_B = 2\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C}$
$\therefore c_A : c_B = 1 : 1$

02. 답 ③
해설 질량을 $m_{금속}$, 비열을 $c_{금속}$, 열평형 온도를 T 라 하면 금속은 끓는 물속에서 100 °C 가 되었다.
$m_{금속} \times c_{금속} \times (T_{금속} - T) = m_{물} \times c_{물} \times (T - T_{물})$
$\rightarrow 0.1\text{ kg} \times c_{금속} \times 70\ ^\circ\text{C} = 0.2\text{ kg} \times 1\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} \times 10\ ^\circ\text{C}$
$\rightarrow c_{금속} \cong 0.29\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C}$

03. 답 ②
해설 $Q = mc\Delta T$에서 열량(Q)가 일정할 때 온도 변화는 열용량($C = mc$)이 작을수록 크다. 각 물질의 열용량은
$C_{납} = 0.1\text{ kg} \times 0.03\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} = 0.003\text{ kcal/}{}^\circ\text{C}$
$C_{구리} = 0.05\text{ kg} \times 0.09\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} = 0.0045\text{ kcal/}{}^\circ\text{C}$
$C_{철} = 0.01\text{ kg} \times 0.11\text{ kcal/kg}\cdot{}^\circ\text{C} = 0.0011\text{ kcal/}{}^\circ\text{C}$
따라서 온도 변화는 철 > 납 > 구리이다.

04. 답 ④
해설 ㄱ. 그래프에서 A의 온도 변화량이 B의 온도 변화량보다 크다.
ㄴ. 시간이 지난 후에 A와 B의 온도가 같아져 열평형 상태에 도달한다. 열평형 상태에 도달하면 두 물체 사이에서 열 이동은 일어나지 않는다.
ㄷ. 온도가 높은 물체에서 낮은 물체로 이동하는 에너지를 열이라고 한다.

05. 답 ①
해설 온도가 같을 때 보일 법칙(PV = 일정)에 의해 부피가 작을수록 압력이 크다. 따라서 $P_1 < P_2 < P_3$이다.

06. 답 ④
해설 ㄱ. A → B 과정은 부피의 변화가 없는 등적 과정이다.
ㄴ. C → A 과정은 온도 변화 없이 부피만 감소하므로 내부 에너지의 변화는 없다.
ㄷ. B → C 과정은 온도는 감소하고 부피는 증가하였으므로 단열 팽창 과정이다. 이때 부피가 증가하였으므로 이상 기체는 외부에 일을 한다. 따라서 외부에서 이상 기체에 한 일은 0보다 작다.

07. 답 ⑤
해설 ㄱ. A → B 과정은 부피가 증가하였으므로 외부에 일을 한다.
ㄴ. $PV = nRT$ 이므로(기체의 몰수는 n) 기체의 온도는 PV(압력×부피)에 비례한다. (압력×부피)가 A점에서는 $4P_0V_0$, B점에서는 $16P_0V_0$ 이므로 B점은 A점보다 온도가 4배 높은 800 K이다.
ㄷ. C 점의 (압력×부피)는 $4P_0V_0$ 이므로 A점과 온도가 같고, 200 K이다.

08. 답 ①
해설 이상 기체인 경우 운동 에너지가 내부 에너지이며, 절대 온도에 비례한다. 또한 $PV = nRT$ 이므로(기체의 몰수는 n) 이상 기체의 내부 에너지는 (압력×부피)에 비례한다. 결국 (압력×부피)의 값이 증가(감소)하면 내부 에너지는 증가(감소)하는 것이다.
A→B→C 과정은 (압력×부피)의 값이 증가했으므로 온도가 증가하고 내부 에너지가 증가하는 과정이며, C→D 과정은 온도가 일정, D→A과정은 (압력×부피)의 값이 감소하여 온도가 감소하고 내부 에너지가 감소하는 과정이다.

09. 답 ②
해설 ㄱ. A의 절대 온도 = 섭씨 온도 + 273 = 17 + 273 = 290 K이다. 따라서 A와 B의 온도는 같다.
ㄴ. A와 B의 온도가 같으므로 접촉시켜도 열의 이동은 없다.
ㄷ. A와 B의 온도가 같으므로 분자의 평균 운동 에너지가 같다.

10. 답 ④
해설 $W = e(\text{열효율})Q \rightarrow 15\text{ J} = 0.2 \times Q_1,\ Q_1 = 75\text{ J}$이다. 에너지 보존 법칙에 의해 $Q_2 = Q_1 - W$이므로 $Q_2 = 75\text{ J} - 15\text{ J} = 60\text{ J}$이다.

11. 답 ⑤
해설 ㄱ. A, B가 얻은 열량 = $400\text{ W}\cdot 100\text{ s} = 4 \times 10^4\text{ J}$이다.
ㄴ. 100초 동안 B가 얻은 열량은 $4 \times 10^4\text{ J}$이다.
$Q = mc\Delta T \rightarrow 4 \times 10^4\text{ J} = 0.2\text{ kg} \times c \times 20\text{ K}$,
$\therefore c = 1 \times 10^4\text{ J/kg}\cdot\text{K}$
ㄷ. $Q = C\Delta T \rightarrow 4 \times 10^4\text{ J} = C \times 40\text{ K}$
$\therefore C = 1 \times 10^3\text{ J/K}$이다.

12. 답 ③
해설 ㄱ. 기체의 부피가 일정할 때 압력은 절대 온도에 비례한다.
ㄴ. 0 °C일 때의 절대 온도는 273 K이다. 온도가 15 K 하강할 때마다 기체의 압력은 약 5 kPa씩 감소하고 있다. 따라

서 273 K일 때 압력은 303 K일 때보다 10 kPa만큼 작아야 하므로 약 96 kPa이 된다.
ㄷ. 기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대 온도에 비례하므로 333 K(60 ℃)일 때의 평균 운동 에너지는 303 K(30 ℃)일 때의 $\frac{333}{303}$배이다.

13. 답 ④
해설 ㄱ. (나)는 등압 과정으로 가열 후 압력은 일정하고 기체의 부피가 2배가 되었으므로 보일–샤를 법칙에 의해 온도도 2배가 되어 $2T$가 된다.
ㄴ. 내부 에너지 변화량(ΔU)은 온도 변화량(ΔT)에 비례한다. (가)에서 $W=0$ 이므로 $\Delta U = Q$ 이고, (나)에서 $W>0$ 이므로 $\Delta U = Q - W$이다. 처음 온도가 같은 상태에서 동일한 열(Q)을 가했으므로 내부 에너지 변화량(ΔU)과 온도 변화량(ΔT)은 (가)의 경우가 (나)의 경우보다 크다.
ㄷ. (나)에서 기체가 외부에 한 일은 $W = Q - \Delta U$이고, (가)에서 기체의 내부 에너지 증가량은 $\Delta U = Q(>0)$이다. 따라서 (나)에서 기체가 외부에 한 일은 (가)에서 기체의 내부 에너지의 증가량 보다 작다.

14. 답 ⑤
해설 ㄱ. (가)는 부피 변화가 없는 등적 과정이다. 따라서 외부에 하는 일이 없다. 외부에 하는 일이 없으므로 흡수한 열량은 내부 에너지 증가량이 된다.
ㄴ. (나)는 부피가 증가하였으므로 외부에 일을 했다.
ㄷ. (가)와 (나) 모두 내부 에너지가 증가하였으므로 기체의 온도는 증가한다.

15. 답 ①
해설 ㄱ. (가)에서 $W>0$ 이므로 $\Delta U_A = Q - |W|$이고, (나)에서는 $Q = 0$ 이고, $W< 0$ 이므로 $\Delta U_B = |W|$ 이다. 따라서 $\Delta U_A + \Delta U_B = Q$ 이다.
ㄴ. 열량 Q에서 A의 내부 에너지가 증가하는데 사용되고 남은 에너지는 B의 기체가 받는 일이다. 따라서 Q보다 작다.
ㄷ. B는 열을 받지 않은 상태에서 부피가 감소하였으므로(단열 압축) 내부 에너지가 증가하여 온도가 증가한다.

16. 답 ①
해설 칸막이를 제거하면 기체가 퍼져나가 상자 전체를 고르게 채우게 된다. 하지만 상자의 부피가 변하지 않으므로 $W = 0$(외부에 일을 하지 않는다.)이고, 외부에서 열을 받지 않으므로 $Q = 0$이다. 따라서 $\Delta U = 0$ 이므로 온도는 일정하고 내부 에너지도 일정하다.(자유 팽창)

17. 답 ①
해설 ㄱ. 열기관은 고온의 열원에서 열을 흡수하여 일부는 일을 하는데 사용하고 나머지는 저온의 열원으로 방출한다. 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 흐르므로 T_1은 T_2보다 크다.
ㄴ. 에너지 보존 법칙을 적용하면 $Q_1 = W + Q_2$이다. 따라서 $W = Q_1 - Q_2 = 10\text{ kJ} - 6\text{ kJ} = 4\text{ kJ}$이다.
ㄷ. $W = e$(효율)Q_1이므로 $4 = e \times 10$ 에서 $e = 0.4$이다.

18. 답 ①
해설 양초가 열기관의 열원이다. 촛불로부터 받은 열량이 1 J이고, 열효율이 10 %이므로 일은 $W = eQ = 0.1 \times 1 = 0.1$ J이다.

19. 답 ②
해설 중력이 추에 한 일은 $W = 2mgh = 2 \times 25\text{ kg} \times 9.8\text{ m/s}^2 \times 3 = 1470$ J이다. 일의 단위를 kcal로 변환하면 $1470 \times \frac{1}{4200} = 0.35$ kcal이다. 이것이 물이 얻은 열량이므로 $Q = mc\Delta T \rightarrow 0.35\text{ kcal} = 1\text{ kg} \times 1\text{ kcal/kg}\cdot ℃ \times \Delta T$ 이므로 증가한 물의 온도 $\Delta T = 0.35$ ℃이다.

20. 답 ①
해설 납 알갱이들이 위 → 아래일 때만 운동 에너지가 열 에너지로 변환된다. 납 알갱이들의 질량을 m이라 하면, 10회 흔들 때 납 알갱이들의 낙하 거리는 총 10 m 라고 할 수 있으므로 중력이 한 일은 $W = mgh = m \times 10 \times 10 = 100m$ (J)이다. 중력이 한 일이 납 알갱이들이 얻은 열량이므로 $Q = mc\Delta T = m \times c \times (22 - 21) = 100m$, $c = 100$ J/kg · K이다.

21. 답 ④
해설 이상 기체 상태 방정식 $PV = nRT$에서 $(3 \times 10^5\text{ N/m}^2) \times (16.6 \times 10^{-3}\text{ m}^3) = n \times (8.3\text{ J/mol}\cdot\text{K}) \times 300$ K이므로 $n = 2$ mol이다. 용기 속 수소 기체 분자의 수 $N = nN_A$ 이므로 $N = 2\text{ mol} \times (6 \times 10^{23}$개/mol$) = 1.2 \times 10^{24}$개이다.

22. 답 ②
해설 밸브를 열었을 때 수소와 산소의 부분압을 각각 P_A', P_B'이라 하면 혼합 기체의 압력은 부분압의 합이 된다(부분압의 법칙). 두 용기의 전체 부피를 V라 하면
$V_A : V_B : V = 2 : 1 : 3$ 이다.
$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_A' V}{T} \rightarrow \frac{2 \times 2}{320} = \frac{P_A' \times 3}{300} \rightarrow P_A' = 1.25 \text{ 기압}$$
$$\frac{P_B V_B}{T_B} = \frac{P_B' V}{T} \rightarrow \frac{1.2 \times 1}{240} = \frac{P_B' \times 3}{300} \rightarrow P_B' = 0.5 \text{ 기압}$$
따라서 혼합 기체의 압력 $P = P_A' + P_B' = 1.75$ 기압이다.
이상 기체 상태 방정식 $PV = nRT$에서
$$n_A = \frac{P_A V_A}{RT_A} = \frac{2 \times 2}{0.082 \times 320} \fallingdotseq 0.15\text{ mol}$$
$$n_B = \frac{P_B V_B}{RT_B} = \frac{1.2 \times 1}{0.082 \times 240} \fallingdotseq 0.06\text{ mol}$$
따라서 혼합 기체의 mol 수 $n = n_A + n_B = 0.21$ mol 이다.

23. 답 ⑤
해설 ㄱ. $Q = mc\Delta T$에서 60초 동안 열량 Q가 가해졌다면
$$c_{기름} = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{Q}{0.05\text{ kg} \times (50 - 10)\text{ ℃}} = 0.5Q$$
$$c_{물} = \frac{Q}{m\Delta T} = \frac{Q}{0.1\text{ kg} \times (20 - 10)\text{ ℃}} = Q\text{이므로}$$
$\therefore c_{기름} : c_{물} = 1 : 2$
ㄴ. 열용량 $C = mc$에서

$C_{기름} = 0.05\ \text{kg} \times 0.5Q = 0.025\ \text{kg} \times Q$
$C_{물} = 0.1\ \text{kg} \times Q = 0.1\ \text{kg} \times Q$
$\therefore C_{기름} : C_{물} = 1 : 4$
ㄷ. 같은 열원으로 가열했기 때문에 같은 시간 동안 기름과 물에 가해진 총 열에너지는 같다고 할 수 있다.

24. 답 ④
해설 압력은 $1 \times 10^5\ \text{N/m}^2$ 으로 일정하게 유지되며기체의 늘어난 부피 $\Delta V = (1 \times 10^{-2}\ \text{m}^2) \times 0.2\ \text{m} = 2 \times 10^{-3}\ \text{m}^3$이므로 기체가 한 일 $W = P\Delta V = (1 \times 10^5\ \text{N/m}^2) \times (2 \times 10^{-3}\ \text{m}^3) = 200\ \text{J}$ 이다.
처음 상태에서 이상 기체 상태 방정식을 적용하면,
$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(1 \times 10^5\ \text{N/m}^2) \times (1 \times 10^{-2}\ \text{m}^3)}{(8.31\ \text{J/mol} \cdot \text{K}) \times 300\ \text{K}} \cong 0.4\ \text{mol}$$
이고, $\Delta U = Q - W = 420\ \text{J} - 200\ \text{J} = 220\ \text{J}$이므로
$\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T = \frac{3}{2} \times 0.4\ \text{mol} \times (8.31\ \text{J/mol} \cdot \text{K}) \times \Delta T$
$= 220\ \text{J}$이다. 따라서 $\Delta T \cong 44.1\ ^\circ\text{C}$ 증가한다.

25. 답 ②
해설 ㄱ. (가)에서 (나)로 변하는 동안 추의 퍼텐셜 에너지와 유체의 퍼텐셜 에너지가 증가한다. 따라서 기체가 한 일은 추의 퍼텐셜 에너지와 유체의 퍼텐셜 에너지의 합과 같다.
ㄴ. 기체가 받은 열량을 Q, 기체가 외부에 한 일을 W, 내부 에너지 변화량을 ΔU라고 하면 열역학 제1법칙($Q = W + \Delta U$)에 의해 이상 기체의 부피가 증가하므로 기체의 내부 에너지 변화량은 기체가 받은 열량보다 작다.
ㄷ. (가)에서 (나)로 변하는 동안 유체가 위로 올라가게 되면 유체의 무게는 같고, 면적이 작아진다. 따라서 피스톤이 정지해 있으려면 기체의 압력이 증가해야 하므로 기체의 압력은 (나)의 경우가 (가)의 경우보다 크다.

26. 답 ②
해설 각각의 흡수하거나 방출한 열량은 다음과 같다.
물 : $Q_w = c_w m_w (T_f - T_i)$(흡수)
비커 : $Q_b = C_b (T_f - T_i)$(흡수)
구리 : $Q_c = c_c m_c (T_f - T_c)$(방출)
위의 열량의 합은 $Q_w + Q_b + Q_c = 0$이다.
위의 식을 T_f로 정리하면 다음과 같다.
$$T_f = \frac{c_c m_c T_c + C_b T_i + c_w m_w T_i}{c_w m_w + C_b + c_c m_c}$$
분자 = (0.0932) (75)(312)+(45)(12)+(1)(220)(12)
$\cong$ 5361 cal,
분모 = (1)(220)+45c+(0.0932)(75) $\cong$ 272 cal/ °C이다.
$\therefore T_f \cong 20\ ^\circ\text{C}$

27. 답 ④
해설 깊이 60 m인 물 속의 기압은 약 7 기압이고 수면에서의 기압은 약 1기압이다. 수면에서의 부피를 V라고 하면,
$\frac{PV}{T}$ = 일정하므로 $\frac{7 \times 10\ \text{cm}^3}{273 + 7} = \frac{V}{273 + 27}$
이므로 $V = 75\ \text{cm}^3$이다.

28. 답 ③
해설 $E_k = \frac{3}{2} k_B T = \frac{1}{2} mv^2$ 에서 $v^2 = \frac{3k_B T}{m}$이므로 $v \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ 이다. 따라서 헬륨 기체 분자의 질량이 네온 기체 분자의 질량의 $\frac{1}{5}$ 배이므로 헬륨 기체 분자의 평균 속력은 네온 기체 분자의 평균 속력의 $\sqrt{5}$ 배이다.

29. 답 ④
해설 B 경로에 대한 일 : (경로 B 아래 그래프 넓이)
$0.5 \times ((P_1 - P_2) \times (V_2 - V_1)) + P_2 \times (V_2 - V_1)$
$= 15\ \text{N/m}^2 \times 3\ \text{m}^3 + 10\ \text{N/m}^2 \times 3\ \text{m}^3 = 75\ \text{J}$
A 경로에 대한 일 : $P_1 \times (V_2 - V_1) = 40\ \text{N/m}^2 \times 3\ \text{m}^3 = 120\ \text{J}$ 이고, 압축되었으므로 $-120\ \text{J}$이다.
C 경로에 대한 일 : $P_2 \times (V_2 - V_1) = 10\ \text{N/m}^2 \times 3\ \text{m}^3 = 30\ \text{J}$이고, 압축되었으므로 $-30\ \text{J}$이다.
∴ B → A 경로에 대해 기체가 한 일 = 75J − 120J = −45J
B → C 경로에 대해 기체가 한 일 = 75J − 30J = +45J

30. 답 ②
해설 내부 에너지는 A에서 C상태로 되면 160 J 이 증가하며 압력×부피(=온도)의 값에 비례하므로 경로에 무관하다.
$\Delta U_{B-C} + \Delta U_{A-B} = (U_C - U_B) + (U_B - U_A)$
$= (Q_{B \to C} - W_{B \to C}) + (Q_{A \to B} - W_{A \to B}) = 160\ \text{J}$ ⋯ ㉠
$W_{B \to C} = 0$(부피 일정)이다.
→ ㉠ $= (40\ \text{J} - 0) + (200\text{J} - W_{A \to B}) = 160\ \text{J}$
→ $W_{A \to B} = 80\ \text{J}$
∴ $W_{A \to B \to C} = W_{A \to B}$와 같으며 80 J 이다.

31. 답 ①
해설 $\Delta U_{i \to A \to f} = Q_{i \to A \to f} - W_{i \to A \to f} = 50 - 20 = 30$
즉, f점은 i점보다 내부 에너지가 30 cal 더 많다.(ΔU는 온도에만 관계되므로 경로에 무관하다. $\Delta U_{i \to A \to f} = \Delta U_{i \to f}$)
U_i =10 cal 이므로 $U_f = 10 + 30 = 40$ cal이다.
1) $Q_{f \to i} = \Delta U_{f \to i} + W_{f \to i} = -30 + (-13) = -43$ cal
2) U_B는 22 cal 이므로 $\Delta U_{B \to f} = U_f - U_B = 40 - 22 = 18$ cal 이고, 부피 변화가 없으므로 $W_{B \to f}$는 0이다.
$\therefore Q_{B \to f} = \Delta U_{B \to f} + W_{B \to f} = \Delta U_{B \to f} = U_f - U_B$
$= 40\ \text{cal} - 22\ \text{cal} = 18\ \text{cal}$

32. 답 ④
해설 각 과정에서의 그래프 아래 넓이는 기체가 하거나 받은 일과 같고, 각 점의 내부 에너지와 그 차이는 압력 ×부피 = 온도에만 관계하므로 경로와 무관하다.
과정 1의 일(그래프 아래 넓이)
$W_1 = (5V - V) \times P = 4PV$
$Q = (U_B - U_A) + W$
→ $U_B - U_A = Q - W = 10PV - 4PV = 6PV$
과정 2의 일 $W_2 = 4PV + PV = 5PV$ (과정 2 그래프 아래 넓이)
$\therefore Q_2 = W_2 + (U_B - U_A) = 5PV + 6PV = 11PV$

25강. 열전달과 에너지 이용

개념 확인 198~201쪽

1. 전도, 대류, 복사 2. 태양 복사
3. 전동기 4. 전자, 양공

확인+ 198~201쪽

1. 전자기파 2. 5,520 kJ 3. 8 N 4. 10 Ω

1. 답 전자기파
해설 온도가 다른 두 물체가 진공 속에서 떨어져 있을 때 고온의 물체는 전자기파를 방출하여 온도가 내려가고, 상대적으로 저온인 물체는 전자기파를 흡수하여 온도가 올라간다. 이러한 현상을 열복사라고 한다.

2. 답 5,520 kJ
해설 물 1 kg을 같은 온도의 수증기로 변화시키는 데 필요한 열(기화열)은 2,260 kJ/kg이다. 따라서 2 kg의 물이 100℃의 수증기로 바뀔 때 흡수된 에너지 Q는 다음과 같다.

$$Q = L_V m = 2{,}260\ \text{kJ} \times 2\ \text{kg} = 4{,}520\ \text{kJ}$$

3. 답 8 N
해설 자기장 속 전류가 흐르는 도선이 받는 힘의 크기는 $F = BIl$이다. 따라서 $F = 4\ \text{N/Am} \times 2\ \text{A} \times 1\ \text{m} = 8\ \text{N}$이다.

4. 답 10 Ω
해설 소비 전력$(P) = \dfrac{V^2}{R}$ → $R = \dfrac{V^2}{P} = \dfrac{(220\ \text{V})^2}{4840\ \text{W}} = 10\ \Omega$

개념 다지기 202~203쪽

01. ③	02. ①	03. ②	04. ①
05. ④	06. ③	07. ⑤	08. ①

01. 답 ③
해설 ㄱ, ㄷ. 전도는 접촉한 두 물체 사이에서 물체를 구성하는 입자의 진동에 의해 열이 전달되는 과정으로 모든 물질에서 일어난다.
ㄴ. 난로 옆에 있을 때 따뜻해지는 현상은 복사에 의한 열전달 때문이다.

02. 답 ①
해설 ㄱ, ㄴ. 모든 물질은 복사열을 방출하므로 온도가 낮은 물질이라도 복사열을 방출할 수 있다.
ㄷ. 기체에서는 복사, 전도, 대류에 의해 열전달이 일어난다.

03. 답 ②
해설 20℃의 물 0.5 kg이 모두 0℃로 될 때 방출하는 에너지는 얼음이 녹으면서 흡수하는 에너지와 같다.

$Q_{물} = mc_{물}\Delta T = 0.5\ \text{kg} \times (4.2 \times 10^3\ \text{J/kg}\cdot{}^\circ\text{C}) \times 20\ {}^\circ\text{C}$
$= 4.2 \times 10^4\ \text{J}$

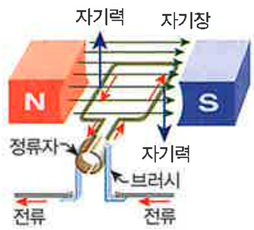
$Q_{얼음} = H \times m_{얼음} = 3.33 \times 10^5\ \text{J/kg} \times m_{얼음}$

$\therefore 4.2 \times 10^4 = 3.33 \times 10^5\ \text{J/kg} \times m_{얼음}$

$\rightarrow m_{얼음} = \dfrac{4.2 \times 10^4\ \text{J}}{3.33 \times 10^5\ \text{J/kg}} \fallingdotseq 0.126\ \text{kg}$

04. 답 ①
해설 ㄱ. A 구간에서 공급되는 열은 모두 얼음의 온도를 올리는 데 사용된다.
ㄴ. 비열은 어떤 물질 1 kg의 온도를 1 K높이는 데 필요한 열량으로 비열이 클수록 온도 변화가 작다. 따라서 그래프에서 기울기가 작은 B 구간의 비열이 A 구간보다 크다.
ㄷ. C 구간에서 공급되는 열은 모두 물이 수증기로 변하는 상태 변화에 쓰인다.

05. 답 ④
해설 ㄱ. 자기장 내부에 놓인 전류가 흐르는 도선은 전자기력을 받는다. 다음 그림과 같이 자기장이 왼쪽에서 오른쪽에서 형성되어 있을 때, 도선의 왼쪽은 위 방향으로 전자기력을 받고, 도선의 오른쪽은 아래 방향으로 전자기력을 받는다. 따라서 정류가 쪽에서 볼 때 코일은 시계 방향으로 회전한다.



ㄴ. 코일에 흐르는 전류는 기전력원에 의해 흐르고 있다.
ㄷ. 코일은 전자기력에 의한 돌림힘이 작용하여 회전한다.

06. 답 ③
해설 정류자는 코일에 흐르는 전류의 방향을 바꾸어 전동기가 일정한 방향으로 회전할 수 있도록 해준다.

07. 답 ⑤
해설 ㄱ. 백열전구는 전류의 열작용에 의해 필라멘트의 온도가 매우 높아지면서 빛을 내기 때문에 열에너지로 손실되는 비율이 커서 효율이 좋지 않다.
ㄴ. 필라멘트는 전기 저항이 큰 금속을 사용한다.
ㄷ. 전구 속을 공기로 채우면 필라멘트가 타버리고 진공으로 만들면 필라멘트가 증발하여 가늘어지므로 아르곤과 질소의 혼합 가스를 사용한다.

08. 답 ①
해설 $P = \dfrac{V^2}{R}$ → $R = \dfrac{V^2}{P} = \dfrac{(220\ \text{V})^2}{44\ \text{W}} = 1100\ \Omega$

$$\therefore I = \frac{V}{R} = \frac{110\ \text{V}}{1100\ \Omega} = 0.1\ \text{A}$$

유형 익히기 & 하브루타		204~207쪽
[유형 25-1] ④	01. ①	02. ①
[유형 25-2] (1) ② (2) ⑤		
	03. ②	04. ④
[유형 25-3] ②	05. ⑤	06. ①
[유형 25-4] ③	07. ⑤	08. ③

[유형 25-1] 답 ④

해설 ㄱ, ㄴ. 바닷물이 태양에서 복사되어 온 열에너지를 흡수하여 물을 증발시켜 수증기를 만들고, 수증기는 잠열을 저장한 상태로 대기 중에 포함되어 있다. 이때 가열된 공기는 대류에 의해 상승하여 에너지를 방출하면서 물방울로 응결되어 구름으로 변한다.

ㄷ. 구름에 있는 물방울이 서로 뭉쳐서 비가 되어 내리는 동안 물방울의 중력에 의해 속력이 증가하여 운동 에너지가 증가한다.

01. 답 ①

해설 ㄱ. 보온병 이중벽 사이의 진공은 공기의 대류와 전도에 의한 열전달을 막는다.

ㄴ. 은도금을 하면 빛과 열을 잘 반사하므로 복사에 의한 열전달을 막을 수 있다.

ㄷ. 이중벽으로 하면 유리벽을 통해 전도되는 열을 막을 수 있다.

02. 답 ①

해설 열의 이동 방법에는 전도, 대류, 복사가 있다. 전도는 물체가 접촉해 있을 때, 한 부분에서 다른 부분으로 물체를 따라 열이 이동하는 현상이고, 대류는 제멋대로 움직이는 분자들이 다른 장소로 이동하면서 열을 전달하는 현상이며, 복사는 물질을 거치지 않고 에너지가 전자기파의 형태로 이동하는 현상이다.

[유형 25-2] 답 (1) ② (2) ⑤

해설 얼음이 에너지를 공급받는 동안 질량은 변하지 않는다.

(1) 1 분당 20 kcal의 열량을 공급받고 있으므로 20 kcal/분 × 시간 $\propto c\Delta T$이다.

$$1\text{분} \times 20\ \text{kcal/분} \propto c_{\text{얼음}} \times 40\ ^\circ\text{C} \rightarrow c_{\text{얼음}} \propto \frac{20}{40} = 0.5$$

$$5\text{분} \times 20\ \text{kcal/분} \propto c_{\text{물}} \times 100\ ^\circ\text{C} \rightarrow c_{\text{물}} \propto \frac{100}{100} = 1$$

따라서 $c_{\text{얼음}} : c_{\text{물}} = 1 : 2$ 이다.

(2) $Q = mH(\text{잠열}) \rightarrow H \propto Q$

$1 \sim 5\text{분} : H_{\text{융해열}} = 4\text{분} \times 20\ \text{kcal/분} = 80\ \text{J}$

$10 \sim 30\text{분} : H_{\text{기화열}} = 20\text{분} \times 20\ \text{kcal/분} = 400\ \text{J}$

$\therefore H_{\text{융해열}} : H_{\text{기화열}} = 1 : 5$

03. 답 ②

해설 ㉠ 액체(바닷물)가 기체(수증기)로 상태 변화하면서 흡수하는 잠열은 기화열이다.

㉡ 기체(수증기)가 액체(구름)로 상태 변화하면서 방출하는 잠열은 액화열이다.

04. 답 ④

해설 ㄱ. 0 °C 얼음 1 kg을 모두 0 °C 물로 만드는 데 필요한 열 에너지의 양 Q_1 은 다음과 같다.

$Q_1 = mH_{\text{융해열}} = 1\ \text{kg} \times (3.35 \times 10^5\ \text{J/kg}) = 3.35 \times 10^5\ \text{J}$

ㄴ. 100 °C 물 1 kg을 모두 100 °C 수증기로 만드는 데 필요한 열 에너지의 양 Q_2는 다음과 같다.

$Q_2 = mH_{\text{기화열}} = 1\ \text{kg} \times (2.26 \times 10^6\ \text{J/kg}) = 2.26 \times 10^6\ \text{J}$

ㄷ. 0 °C의 물 1 kg을 모두 100 °C 물로 만드는 데 필요한 열 에너지의 양을 Q_3은 다음과 같다.

$Q_3 = mc_{\text{물}}\Delta T = 1\ \text{kg} \times (4.2 \times 10^3\ \text{J/kg} \cdot {}^\circ\text{C}) \times 100\ ^\circ\text{C}$
$= 4.2 \times 10^5\ \text{J}$

따라서 0 °C의 얼음 1 kg을 모두 100 °C 수증기로 만드는 데 필요한 열 에너지의 양 Q 는 다음과 같다.

$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$
$= 3.35 \times 10^5\ \text{J} + 2.26 \times 10^6\ \text{J} + 4.2 \times 10^5\ \text{J}$
$= 30.15 \times 10^5\ \text{J}$

[유형 25-3] 답 ②

해설 ㄱ, ㄷ. (가), (다)에서 코일의 왼쪽 부분은 위 방향으로 힘을 받고, 코일의 오른쪽 부분은 아래 방향으로 힘을 받는다. 따라서 자석 사이에 있는 코일은 돌림힘에 의해 정류자 쪽에서 볼 때 시계 방향으로 회전한다.

ㄴ. (나)와 같이 코일이 회전하여 코일의 면이 자기장에 수직이 되는 순간 정류자에 의하여 전류의 방향이 바뀌므로 코일은 계속해서 한쪽 방향으로 회전한다.

05. 답 ⑤

해설 자기장 속에 놓인 전류가 흐르는 도선에 작용하는 자기력의 방향은 오른손을 이용하여 찾을 수 있다. 오른손의 엄지를 제외한 네 손가락은 자기장의 방향, 엄지는 전류의 방향을 향하였을 때 손바닥이 향하는 방향이 전자기력의 방향이다.

06. 답 ①

해설 ㄱ. 회전자의 A는 위쪽으로 힘을 받고, B는 아래쪽으로 힘을 받는다. 따라서 회전자는 돌림힘에 의해 정류자 쪽에서 볼 때 시계 방향으로 회전한다.

ㄴ. A 지점이 받는 자기력의 방향은 $+z$, B 지점이 받는 자기력의 방향은 $-z$ 방향이다.

ㄷ. 자석의 극을 바꾸면 자기력의 방향이 반대가 되므로 A 지점이 받는 자기력의 방향은 $-z$, B 지점이 받는 자기력의 방향은 $+z$가 된다.

[유형 25-4] 답 ③

해설 ㄱ. 정격 전압이 220 V이므로 220 V전원에 연결하면 전구에 흐르는 전류는 다음과 같다.

$$P = VI \rightarrow I = \frac{P}{V} = \frac{110\text{ W}}{220\text{ V}} = 0.5\text{ A}$$

ㄴ. 소비 전력량 = 소비 전력 × 사용 시간 = 110 W × 1 h = 110 Wh

ㄷ. $P = \frac{V^2}{R} \rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{(220\text{ V})^2}{110\text{ W}} = 440\,\Omega$

이 전구를 110 V의 전원에 연결 하면 소비 전력은 $P = \frac{V^2}{R} = \frac{(110\text{ V})^2}{440\,\Omega} = 27.5$ W가 되므로 필라멘트가 끊어지지 않는다.

07. 답 ⑤

해설 ㄱ. 필라멘트는 전자가 튀어나가기 쉬운 물질로 되어 있다. 따라서 형광등 양쪽에 있는 전극의 필라멘트에 높은 전압이 걸리면 필라멘트가 가열되면서 열에너지에 의해 전자가 방출된다.

ㄴ, ㄷ. 필라멘트에서 방출된 전자가 유리관 내부의 수은에 충돌하면 수은 원자 내의 전자가 높은 에너지 준위로 올라갔다가 낮은 에너지 준위로 떨어지면서 자외선을 발생시킨다. 이 자외선이 형광 물질에 부딪혀 형광 작용에 의해 빛(가시광선)을 낸다.

08. 답 ③

해설 ㄷ. P(전력) $= \frac{V^2}{R}$ 이고 전구의 저항(R)은 전압에 따라 변하지 않고 일정한 값을 가지므로 전압(V)이 220V 일 때 소비 전력이 110W 인 LED 전구는 전압이 절반인 110V로 떨어지면 소비 전력은 $\frac{1}{4}$ 이 되어 27.5 W 가 된다.

ㄴ. 220 V의 전원에 연결할 때 소비하는 전력이 110 W이므로 1초 동안 소비하는 전기 에너지는 110 W × 1 s = 110 J 이다.

ㄷ. 소비 전력량 = 소비 전력 × 사용 시간 = 110 W × 1 h = 110 Wh

창의력 & 토론마당 208~211쪽

01

(1) 15 ℃ (2) 늘어난다.

해설 (1) 단위 시간당 전달되는 에너지($P = \frac{Q}{t}$)는 일정하다. 온도는 $T_H > T_A > T_B > T_C$ 이므로,

$$P(= kA\frac{\Delta T}{L}) = k_1 A\frac{T_H - T_A}{L_1} = k_2 A\frac{T_A - T_B}{L_2} = k_3 A\frac{T_B - T_C}{L_3}$$

i) $k_1 A\frac{T_H - T_A}{L_1} = k_2 A\frac{T_A - T_B}{L_2}$

$\rightarrow \frac{30 - T_A}{L_1} = 0.8\frac{T_A - T_B}{0.8L_1}$

$\therefore 30 - T_A = T_A - T_B \rightarrow 2T_A - T_B = 30 \cdots ①$

ii) $k_2\frac{T_A - T_B}{L_2} = k_3\frac{T_B - T_C}{L_3}$

$\rightarrow 0.8k_1\frac{T_A - T_B}{0.8L_1} = 0.5k_1\frac{T_B + 15}{0.5L_1}$

$\therefore T_A - T_B = T_B + 15 \rightarrow T_A - 2T_B = 15 \cdots ②$

①식과 ②식에 의해 $T_A = 15$ ℃, $T_B = 0$ ℃가 된다.

$\therefore \Delta T = T_A - T_B = 15$ ℃

(2) $k_2 = 1.2k_1$ 일 때 A, B의 온도를 각각 T_A', T_B'라고 하면,

$$P'(= kA\frac{\Delta T}{L}) = k_1 A\frac{T_H - T_A'}{L_1} = k_2 A\frac{T_A' - T_B'}{L_2} = k_3 A\frac{T_B' - T_C}{L_3}$$

i) $k_1\frac{T_H - T_A'}{L_1} = k_2\frac{T_A' - T_B'}{L_2}$

$\rightarrow k_1\frac{30 - T_A'}{L_1} = 1.2k_1\frac{T_A' - T_B'}{0.8L_1}$

$\therefore 2(30 - T_A') = 3(T_A' - T_B')$

$\rightarrow 5T_A' - 3T_B' = 60$ ········· ①

ii) $k_2\frac{T_A' - T_B'}{L_2} = k_3\frac{T_B' - T_C}{L_3}$

$\rightarrow 1.2k_1\frac{T_A' - T_B'}{0.8L_1} = 0.5k_1\frac{T_B' + 15}{0.5L_1}$

$\therefore 3(T_A' - T_B') = 2(T_B' + 15)$

$\rightarrow 3T_A' - 5T_B' = 30$ ········· ②

①, ②식에 의해 $T_A' = \frac{105}{8}$ ℃, $T_B' = \frac{15}{8}$ ℃가 된다.

$\therefore \Delta T' = T_A' - T_B' = \frac{90}{8} = 11.25$ ℃

A~B 사이의 열전달률

$P' = 1.2k_1 A\frac{\Delta T'}{L_2} = k_1 A\frac{13.5}{L_2}$ 가 되는데,

처음 $P = 0.8k_1 A\frac{\Delta T}{L_2} = 0.8k_1 A\frac{15}{L_2} = k_1 A\frac{12}{L_2}$ 이었으므로 열(에너지) 전달률은 증가한다.

02

0.4 cm/h

해설 추운 날씨에서 물의 온도는 0℃가 되면서 얼음이 생기기 시작한다. 물은 응고열(= 융해열)을 방출하는데 이 열은 얼음을 통한 전도로 대기로 빠져 나간다.

얼음의 단면적을 A, 두께를 L, 질량을 m이라 하면, 물이 어는 동안 융해열 방출률(P_1)는

$$P_1 = \frac{Q}{t} = \frac{Hm}{t}$$

단위 시간당 증가하는 얼음의 질량($m = \rho V = \rho AL$)은

$\frac{\Delta m}{\Delta t}(= \frac{m}{t}) = \rho A\frac{\Delta L}{\Delta t}$이므로, $P_1 = H\rho A\frac{\Delta L}{\Delta t}$이다.

한편, 얼음의 전도에 의한 열 방출률(P_2)은

$P_2 = kA\frac{\Delta T}{L}$

$P_1 = P_2$ 이므로 $H\rho A\frac{\Delta L}{\Delta t} = kA\frac{\Delta T}{L}$ 이다.

$(k = \frac{(0.004\ \text{cal/s}\cdot\text{cm}\cdot℃)\times(4.186\ \text{J/cal})}{1\times10^{-2}\ \text{m/cm}}$

$= 1.6744\ \text{W/m}\cdot\text{K})$

$\therefore \frac{\Delta L}{\Delta t} = \frac{k\Delta T}{H\rho L}$

$= \frac{(1.6744)\times(10)}{(333\times10^3)\times(0.92\times10^3)\times0.005}$

$\cong 1.1\times10^{-5}\ \text{m/s}$

$= 1.1\times10^{-5}\times3600\times100 \cong 4\ \text{cm/h}$

03

(1) 0.208 W　　(2) 65 s

해설 (1) 프라이팬에서 공기 층을 통해 물방울의 바닥면으로 단위 시간 동안 전달되는 에너지 P는 다음과 같다.

$P = kA\frac{\Delta T}{L}$

$= (0.026)\times(4\times10^{-6})\times\frac{(300-100)}{1\times10^{-4}}$

$= 0.208\ \text{W}$

(2) 물방울는 프라이팬으로부터 (1)의 열을 공급받아 기화된다. 물방울이 모두 t 초 동안 공급받은 열은 총 증발열 Q 와 같다.

$\therefore Q = Pt = Hm = H\rho Ah$

$t = \frac{H\rho Ah}{P}$

$= \frac{(2.256\times10^6)(1\times10^3)}{0.208}(4\times10^{-6})(1.5\times10^{-3})$

$\cong 65$(초)

04

1.13 m

해설 얼음과 물 사이의 경계 온도는 0 ℃이다. 얼음의 두께를 h 라 하면, 열은 바닥에서 물과 얼음을 통해 바깥 대기로 전도되므로 물과 얼음의 열전달률을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$P_{물} = k_{물}A\frac{\Delta T}{1.4-h} = (0.12)A\frac{(4-0)}{1.4-h}$

$P_{얼음} = k_{얼음}A\frac{\Delta T}{h} = (0.4)A\frac{(0+5)}{h}$ 이다.

같은 시간 동안 물을 통한 열량과 얼음을 통한 열량은 같다.

$\therefore P_{물} = P_{얼음}$

$(0.12)A\frac{(4-0)}{1.4-h} = (0.4)A\frac{(0+5)}{h}$

$\rightarrow \frac{0.48}{1.4-h} = \frac{2}{h}$, $0.48h = 2.8 - 2h$,

$2.48h = 2.8$

$\therefore h \cong 1.13\ \text{m}$

05

$5.24\times10^{-7}\ \text{kg/s}$

해설 단면적 A, 온도 T(K)인 물체가 복사의 형태로 방출하는 에너지 방출률 $P = \sigma AT^4$이다. 주변의 온도 T_2가 음료수통의 온도 T_1보다 크므로 음료수통이 방출하는 에너지보다 주위에서 흡수하는 에너지가 더 크다. 따라서 주변과 음료수통 사이에서 음료수 통의 복사에 의한 에너지 흡수율

$P_{복사} = \sigma A(T_2^4 - T_1^4)$이다.

같은 온도를 유지하기 위해 흡수된 열은 물의 증발열 역할을 한다.

이때, 증발열 전달률 $P_{증발} = \frac{Q}{t} = \frac{Hm}{t}$ 이고, 단위 시간당 손실되는 물의 질량 손실율은 $\frac{\Delta m}{\Delta t}(=\frac{m}{t})$이다.

$\therefore H\frac{\Delta m}{\Delta t} = \sigma A(T_2^4 - T_1^4)$

$\rightarrow \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{\sigma A(T_2^4 - T_1^4)}{H}$

윗면과 옆면의 넓이의 합은

$A = \pi r^2 + 2\pi rh$

$= 3(0.02)^2 + (2)(3)(0.02)(0.1) = 1.32\times10^{-2}\ \text{m}^2$

$T_2 = 273 + 32 = 305\ \text{K}$, $T_1 = 273 + 17 = 290\ \text{K}$

$\therefore \frac{\Delta m}{\Delta t}$ (물의 질량 손실률)

$= (5.67\times10^{-8})(1.32\times10^{-2})\times\frac{(305)^4-(290)^4}{2.256\times10^6}$

$\cong 5.24\times10^{-7}\ \text{kg/s}$

스스로 실력 높이기 212~219쪽

01. ⑤	02. ②	03. ④	04. ②	05. ①
06. ⑤	07. ④	08. ⑤	09. ⑤	10. ⑤
11. ③	12. ①	13. 45.5	14. 40	15. ④
16. ③	17. ④	18. ⑤	19. 5	20. ①
21. ②	22. ①	23. ④	24. 10	25. ①
26. ①	27. −6	28. 1.125		29. 18
30. 1837		31. 33	32. 735	

01. 답 ⑤

해설 ㄱ. 운동 에너지를 가진 쇠구슬이 정지해 있는 다른 쇠구슬과 충돌하면 운동 에너지가 전달되어 정지해 있던 쇠구슬이 움직이다.
ㄴ. 냄비가 가열되면 냄비와 접촉하고 있는 물 분자에 전도에 의한 열 이동이 일어난다. 냄비가 계속 열을 전달하여 물이 끓게 된다.
ㄷ. 물이 끓으면 액체나 기체에서 분자가 직접 이동하는 대류 현상이 일어난다.

02. 답 ②

해설 ㄱ. 열용량 $C = mc$이고, 비열은 같으므로 질량이 작은 A가 B보다 열용량이 작다. 그래프에서 얼음일 때 A가 B보다 더 빨리 가열되므로 열용량은 A가 B보다 작다는 것을 알 수 있다.
ㄴ. 물이 된 후, 질량이 작은 A의 온도가 더 빠르게 올라간다.
ㄷ. 온도 변화가 없는 0℃ 구간이 융해되는 구간이며, A가 B보다 융해되는 시간이 짧으므로 흡수되는 열량이 적다.

03. 답 ④

해설 ㄱ, ㄴ. AB 구간에서는 고체, BC 구간에서는 물질이 융해하는 구간으로 고체와 액체가 공존한다.
ㄷ. 고체 상태인 AB 구간의 기울기(온도 증가율)가 액체 상태인 CD 구간의 기울기보다 크므로 비열은 고체일 때가 더 작다.

04. 답 ②

해설 ㄱ. 정류자를 사용하는 전동기는 직류 전동기이다.
ㄴ. 코일에 전류가 흐르면 자기장이 생기고 자석과 코일 사이에 자기력이 발생한다. 이 자기력에 의해 돌림힘이 발생하여 코일이 회전하게 된다.
ㄷ. 코일이 180° 회전할 때마다 정류자에 의해 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌기 때문에 코일이 계속해서 한 방향으로 회전하게 된다.

05 답 ①

해설 ㄱ. 직류 전동기는 전기 에너지를 역학적 에너지로 전환한다.
ㄴ. (가)에서 자석 사이에 있는 코일의 오른쪽 부분은 아래 방향으로 자기력을 받고, 코일의 왼쪽 부분은 위 방향으로 자기력을 받는다. 따라서 정류자 쪽에서 볼 때 코일은 시계 방향으로 회전한다.
ㄷ. (나)에서 정류자에 의해 코일에 흐르는 전류의 방향이 바뀌게 된다.

06. 답 ⑤

해설 형광등의 유리관에서 수은 가스가 전자와 충돌하여 자외선을 방출하면, 자외선이 유리관 안쪽 표면에 코팅되어 있는 형광 물질과 충돌한다. 이 형광 물질은 자외선을 흡수하고, 가시 광선을 방출한다.

07. 답 ④

해설 (가) 전기 난로는 전기 에너지를 열에너지로 전환하여 난방을 한다.
(나) 냉장고는 전기 에너지로 압축기를 작동시켜 냉매를 압축하여 순환시킨다. 이는 전기 에너지가 운동 에너지로 전환된 것이다.
(다) 전기 주전자는 전기 에너지를 열에너지로 전환하여 물을 끓인다.

08. 답 ⑤

해설 ㄱ. 축열 탱크의 관 속의 물에 열이 잘 전달되도록 열전도율이 좋은 금속관을 사용한다.
ㄴ. 비열이 큰 물질일수록 데워진 상태에서 잘 식지 않고 높은 온도를 잘 유지할 수 있다.
ㄷ. 심야의 남는 전기 에너지를 이용하기 위한 장치이므로 야간에는 전열기에서 축열 물질로 열에너지가 이동하고, 주간에는 축열 물질에서 찬물로 열에너지가 이동한다.

09. 답 ⑤

해설 $P = VI$에서 정격 전압이 같을 때 소비 전력은 전류에 비례한다. 따라서 소비 전력이 가장 큰 D에 가장 많은 전류가 흐른다. 이 가정집에서 1일 동안 사용하는 소비 전력량 = 400 Wh + 400 Wh + 400 Wh + 400 Wh = 1,600 Wh이므로 30일 동안 사용하는 전력량은 1,600 Wh × 30 = 48,000 Wh = 48 kWh이다.

10. 답 ⑤

해설 ㄱ. 전력량은 소비 전력 × 사용 시간이므로 사용 시간이 동일하면 전력량은 소비 전력에 비례한다. 따라서 백열등과 수은등의 소비 전력이 같으므로 소모한 전력량도 같다.
ㄴ. 100 W × 1 h = 100 Wh = 0.1 kWh이다.
ㄷ. 주어진 표에서 소비 전력이 같을 때 수은등이 백열등보다 밝기가 더 밝다. 만약 같은 밝기를 얻으려면 백열등의 소비 전력이 지금보다 훨씬 커야 한다.

11. 답 ③

해설 ㄱ, ㄴ. 고여 있는 물을 냉각시키면 물은 4℃에서 가장 무거우므로 가라앉고 0℃의 물이 표면으로 떠서 얼게 된다. 뜨거운 공기나 물은 위쪽으로 이동하므로 위쪽을 가열하면 전체적으로 대류가 일어나지 않는다.

ㄷ. 산 위에서는 산 아래보다 기압이 낮다. 따라서 물의 끓는점이 낮아지므로 산 위에서 지은 밥은 설익게 된다.

12. 답 ①

해설 두께가 l인 유리창에서 열전도로 유출되는 열량 $Q = kA\frac{T_1 - T_2}{l}t$ 이다. 따라서 두께가 2배만큼 두꺼워지는 경우 유출되는 열량은 0.5배가 된다.

13. 답 45.5

해설 더운물이 잃은 열량 = 얼음의 온도를 0 ℃ 까지 올리는 데 필요한 열량 + 얼음을 녹이는 데 사용된 열량 + 녹은 얼음물의 온도(0 ℃)를 60 ℃ 까지 올리는 데 필요한 열량이다. 열평형 온도를 T 라고 할 때

$\therefore (9)(1)(60 - T) = (0.5)(1)(10) + (1)(80) + (1)(1)(T)$

$\therefore T = 45.5$ ℃

14. 답 40

해설 얼음의 질량을 m, 1분당 공급된 열량을 Q 라 하면,

2 ~ 10분 : $(10 - 2) \times Q = 80$ kcal/kg $\times m$

10 ~ 14분 : $(14 - 10) \times Q = m \times (1$ kcal/kg · ℃$) \times T$

$\therefore T = 40$ ℃

15. 답 ④

해설 ㄱ. 오른 나사의 법칙으로 회전자에 흐르는 전류(위에서 봤을 때 반시계 방향)에 의해 B 점에서 자기장의 방향은 전류의 방향을 따라 오른손 네 손가락을 감아쥘 때 엄지 손가락이 가리키는 방향이다. 따라서 B 점에서 전류에 의한 자기장의 방향은 z 방향이다.

ㄴ. A 점과 C 점의 전류의 방향은 반대이고, 자기장의 방향은 같으므로 자기력의 방향은 서로 반대이다.

ㄷ. 정류자는 회전자가 한쪽 방향으로만 회전하도록 하는 장치이다.

16. 답 ③

해설 ㄱ. 교류 전동기에는 정류자가 없다.

ㄴ. 교류 전동기는 정류자가 없어 수명이 길다는 장점이 있다.

ㄷ. 고정 코일에 흐르는 교류 전류에 의해 자기장의 변화가 생기며, 자기장의 변화로 회전 코일에 유도 전류가 흐르고, 이 전류에 의한 자기장과 고정 코일에 흐르는 전류에 의한 자기장 사이에 작용하는 힘에 의해 회전 코일이 회전한다.

17. 답 ④

해설 정격 전압이 110 V인 전기 기구를 220 V의 전원에 사용하게 되면 공급되는 전압이 2배 증가되지만, 전기 기구의 내부 저항은 변함이 없으므로 전기 기구가 소모하는 전력은 4배로 증가한다. 따라서 정격 소비 전력을 유지하기 위해서는 저항을 4배로 증가시켜야 한다.

ㄱ. 110 V − 40 A 출력의 가정용 변압기를 사용하면 정격 소비 전력이 $P = VI = 110$ V $\times$ 40 A = 4400 W로 유지하기 때문에 전기 기구의 사용이 가능하다.

ㄴ. 저항을 병렬로 연결하면 내부 저항이 감소하기 때문에 전류가 더 많이 흐르게 되므로 내부 배선에 부적합하다.

ㄷ. 전기 기구와 같은 저항 2개를 직렬로 연결하면 내부 저항이 2배로 되고, $I = \frac{V}{R}$ = 일정이므로, 사용 가능하다. (이러한 경우 소비 전력은 2배가 된다.)

18. 답 ⑤

해설 ㄱ. AC는 교류를 뜻한다. 청소기는 AC 220 V, 60 Hz 이므로 교류 60 Hz를 사용해야 한다.

ㄴ. 텔레비전은 정격 전압이 220 V이므로 110 V의 전원에 연결하면 소비 전력이 50W 가 되어 제 기능을 하지 못한다.

ㄷ. 사용 전력량 = 1000 W × 1 h = 1000 Wh = 1 kWh

19. 답 5

해설 전동기가 한 일 = 질량 × 중력 가속도 × 거리

→ 전동기가 한 일 = 1 kg × 10 m/s^2 × 4 m = 40 J

$\therefore$ 전동기의 일률 $= \frac{\text{전동기가 한 일}}{\text{시간}} = \frac{40\text{ J}}{2\text{ s}} = 20$ W

공급된 전력$(P) = VI = 200$ V × 2 A = 400 W

전동기의 효율은 $\frac{\text{전동기의 일률}}{\text{전동기에 공급된 전력}} \times 100$ %이므로

효율 $= \frac{20}{400} \times 100$ % = 5 %이다.

20. 답 ①

해설 줄의 열량 실험은 역학적 에너지를 열에너지로 전환시켜 그 둘 사이의 관계를 알아보는 실험이다. 이 실험 결과 1 J ≒ 0.24 cal라는 것을 알아냈다. 이 실험을 통해 추가 한 일은 열량에 비례함($W \propto Q$)을 알 수 있었다.

21. 답 ②

해설 ㄱ, ㄴ. 발광 다이오드(LED)는 형광등보다 수명이 길고 소비 전력이 작다.

ㄷ. 발광 다이오드(LED)는 p형 반도체와 n형 반도체를 접합하여 제작한다.

22. 답 ①

해설 ㄱ. 그림은 직류 전원 장치로 교류 전원을 직류 전원으로 바꾸는 장치이다.

ㄴ. 출력되는 전력은 전압과 전류의 세기의 곱으로 12 V × 2 A = 24 W이다.

ㄷ. 교류 전원을 직류 전원으로 바꾸는 장치이므로 공급된 전기 에너지를 다른 형태의 전기 에너지 또는 열에너지로 전환한다.

23. 답 ④

해설 ㄱ. 그림 (가)는 유도형 전력량계로 자기장 속에서 전류가 받는 힘을 이용한 장치이다.

ㄴ. 전기 기구의 소비 전력 $= \frac{\text{소비 전력량}}{\text{사용 시간}} = \frac{15\text{ kWh}}{3\text{ h}}$

= 5 kW = 5000 W

ㄷ. 1 Wh = 3600 J이고 1 kWh = 3.6 × 10^6 J이다. 따라서

(나)에서 3시간 동안 소비 전력량은 15 kWh이므로 사용한 전기 에너지는 15 kWh × (3.6 × 10^6 J/kWh) = 5.4 × 10^7 J이다.

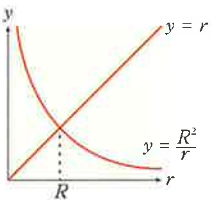
24. 답 10

해설 가변 저항기의 저항을 r, 소비 전력을 P_r이라 하면, 전체 회로의 저항값은 $R + r$ 이고 전체 회로에 흐르는 전류는 $\frac{\text{전지의 전압}}{\text{전체 저항 값}} = \frac{V}{R+r}$이다. 따라서 가변 저항기가 소비하는 전력은 $P_r = I^2r = V^2\frac{r}{(R+r)^2}$ 이다.

P_r이 최댓값이 되려면 전압은 변하지 않으므로 위의 P_r에서 $\frac{(R+r)^2}{r} = \frac{R^2}{r} + 2R + r$ 이 최솟값이 되는 r을 구한다.

R은 상수이므로 $\frac{R^2}{r} + r$ 이 최솟값이 되는 r을 구한다.

$\frac{R^2}{r} + r$ 의 최솟값은 세로 축이 y이고, 가로 축이 r인 그래프에서 $y = \frac{R^2}{r}$의 그래프와 $y = r$의 그래프가 만나는 점 $r = R$에서 최솟값을 갖는다.



따라서 P_r의 최댓값 $= \frac{V^2}{4R} = \frac{(20\text{ V})^2}{4 \times 10\ \Omega} = 10$ W이다.

25. 답 ①

해설 그릇의 단면적이 A이고, 얼음 아래 경계에서 질량이 m인 물(0℃)이 두께 x 의 얼음(0℃)으로 얼면서 방출하는 열량 $Q = mH = \rho AxH$이고, 이 열은 얼음(l=10cm)을 통해서 대기(−10℃)로 전도되는데 그 열량은 $Q = kA\frac{\Delta T}{l}t$ 이다.

$\therefore kA\frac{\Delta T}{l}t = \rho AxH,\ \frac{x}{t} = k\frac{\Delta T}{l}\frac{1}{\rho H}$ (t : 초)

따라서 1시간 동안 어는 얼음의 두께(Δl)는 다음과 같다.

$\therefore \Delta l = 3600(\frac{x}{t}) = (3600)(1.68)(\frac{10}{0.1})\frac{1}{(920)(3.36 \times 10^5)}$

$= 1.96 \times 10^{-3}$ m/h

26. 답 ①

해설 단위 시간당 전달되는 에너지는 $P = \frac{Q}{t} = kA\frac{\Delta T}{L}$이다.

$\therefore P = (400\text{ W/m}\cdot\text{K}) \times (90 \times 10^{-4}\text{ m}^2) \times \frac{110\ ^\circ\text{C} - 10\ ^\circ\text{C}}{0.25\text{m}}$

$= 1.44 \times 10^3$ J/s 이다.

27. 답 −6

해설 단위 시간당 전달되는 에너지인 전도율(P)은 $P = \frac{Q}{t} = kA\frac{\Delta T}{L}$이고, 같은 양의 열이 전달되므로 복합판에서 정상 상태에 있을 때 전도율은 일정하다.

$$\therefore k_A A\frac{T_1 - T_2}{L_A} = k_C A\frac{T_3 - T_4}{L_C}$$

위 식을 T_3에 대해서 정리하면,

→ $L_C k_A(T_1 - T_2) = L_A k_C T_3 - L_A k_C T_4$

→ $T_3 L_A k_C = L_C k_A(T_1 - T_2) + L_A k_C T_4$

→ $T_3 = \frac{L_C k_A}{L_A k_C} \times (T_1 - T_2) + T_4$

$= \frac{(2L_A)k_A}{L_A(5k_A)} \times (T_1 - T_2) + T_4$

$= \frac{2}{5}(30 - 20) - 10 = -6\ ^\circ$C

28. 답 1.125

해설 전달되는 에너지는 $Q = kA\frac{\Delta T}{L}t$ 이다.

그림 (가) : 10 J $= k(bc)\frac{T_2 - T_1}{2a} \times 2$분

그림 (나) : 10 J $= k(ab)\frac{T_2 - T_1}{2c} \times t$

→ $k(bc)\frac{T_2 - T_1}{2a} \times 2$분 $= k(ab)\frac{T_2 - T_1}{2c} \times t$ 이므로

$t = 2 \times \frac{c^2}{a^2} = 1.125$분 이다.

29. 답 18

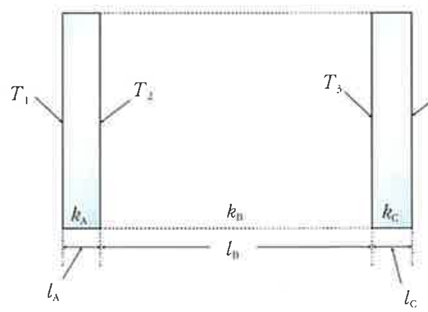
해설 단위가 W/m^2 이므로 $\frac{P}{A}$ 를 구해야한다. 열전도 관계식에 의해 $\frac{P}{A} = \frac{k}{l}\Delta T$ 이다.

화씨 온도(T_F)와 섭씨 온도(T_C)는 $T_C = (T_F - 32) \times \frac{5}{9}$ 으로 나타낼 수 있다. 따라서 실외의 온도와 실내의 온도는 다음과 같다.

실외의 온도 $= (72 - 32) \times \frac{5}{9} \fallingdotseq 22.22\ ^\circ$C

실내의 온도 $= (-20 - 32) \times \frac{5}{9} \fallingdotseq -28.88\ ^\circ$C

따라서 $\Delta T = 22.22\ ^\circ\text{C} - (-28.88\ ^\circ\text{C}) = 51.1\ ^\circ$C 이고, 단위 시간당 전달되는 에너지인 전도율 $P = \frac{Q}{t} = kA\frac{\Delta T}{L}$ 으로 일정하다.



$$\therefore P = k_A A\frac{T_2 - T_1}{l_A} = k_B A\frac{T_3 - T_2}{l_B} = k_C A\frac{T_4 - T_3}{l_C}$$

$$k_A A\frac{T_2-T_1}{l_A}=k_B A\frac{T_3-T_2}{l_B} \rightarrow T_2=\frac{k_A l_B T_1+k_B l_A T_3}{k_A l_B+k_B l_A}$$

$$\rightarrow P=\frac{T_3-T_1}{l_A/k_A+l_B/k_B}A$$

$$\rightarrow \frac{T_3-T_1}{l_A/k_A+l_B/k_B}=k_C A\frac{T_4-T_3}{l_C}$$

$$\therefore P=\frac{T_4-T_1}{l_A/k_A+l_B/k_B+l_C/k_C}A$$

A와 C는 같은 유리창이므로

$$\frac{P}{A}=\frac{T_4-T_1}{2l_A/k_A+l_B/k_B}=\frac{\Delta T k_A k_B}{2l_A k_B+l_B k_A}$$

$$=\frac{(51.1)(1)(0.026)}{2(0.003)(0.026)+(0.075)(1)} \cong 18\ \mathrm{W/m^2}$$

30. 답 1837

해설 물체가 방출하는 에너지는 $P=\sigma A T^4$이다. 따라서 $P=(5.67\times10^{-8}\ \mathrm{W/m^2\cdot K^4})(2\ \mathrm{m^2})(300\ \mathrm{K})^4=918.54\ \mathrm{W}$이고, 2초 동안 방출한 에너지는 $918.54\ \mathrm{W}\times 2\ \mathrm{s}\cong 1837\ \mathrm{J}$이다.

31. 답 33

해설 0 ℃ 얼음 150g을 녹여 0 ℃ 물로 만들 때의 흡수되는 총 융해열(Q_1)과 이 물이 50 ℃가 될 때 흡수되는 열(Q_2)을 구하고, 질량 m의 100 ℃ 수증기를 액화시켜 100 ℃의 물을 만들 때 방출되는 열량(Q_3)과 이 물이 50 ℃가 되면서 방출하는 열량(Q_4)을 구하면 $Q_1+Q_2=Q_3+Q_4$가 된다.

$Q_1=80\ \mathrm{cal/g}\times150\ \mathrm{g}=12{,}000\ \mathrm{cal}$

$Q_2=(150)(1)(50-0)=7{,}500\ \mathrm{cal}$

$Q_3=H_{액화열}m=540\times m$

$Q_4=m(1)\times(100-50)=m\times(50)$

$Q_1+Q_2=Q_3+Q_4$이므로

$\rightarrow 12{,}000\ \mathrm{cal}+7{,}500\ \mathrm{cal}=(540\ \mathrm{cal/g}+50\ \mathrm{cal/g})\times m$

$$\therefore m\cong 33\ \mathrm{g}$$

32. 답 735

해설 0.5 kg의 기체를 같은 온도의 액체로 변화시킬 때 방출되는 에너지(Q_1)는 (증발열과 액화열은 같은 양이므로)

$$Q_1=H_{증발열}m=880\ \mathrm{kJ/kg}\times0.5\ \mathrm{kg}=440\ \mathrm{kJ}$$

액체를 78 ℃에서 −114 ℃로 내릴 때 방출하는 에너지(Q_2)는

$Q_2=mc\Delta T=(0.5)(2.5)\times(78-(-114))=240\ \mathrm{kJ}$

−114 ℃의 액체를 같은 온도의 고체로 변화시킬 때 방출되는 에너지(Q_3)는 응고열로 융해열과 같은 양이다.

$$Q_3=H_{융해열}m=110\ \mathrm{kJ/kg}\times0.5\ \mathrm{kg}=55\ \mathrm{kJ}$$

따라서 방출되는 총에너지는 다음과 같다.

$$Q_1+Q_2+Q_3=440\ \mathrm{kJ}+240\ \mathrm{kJ}+55\ \mathrm{kJ}=735\ \mathrm{kJ}$$

26강. Project 4

논/구술 220~221쪽

01

에펠탑은 위에서 아래로 갈수록 구조물의 면적이 넓어지므로 바닥면과 접촉하는 면적이 넓고, 무게 중심이 아래쪽에 위치하여 구조물이 안정적이다. 또한 안정적으로 정지해 있는 물체에는 힘의 평형이 이루어지고 있으므로, 에펠탑은 힘의 평형 상태라고 볼 수 있다.

해설 물체가 운동 상태의 변함없이 안정적으로 정지해 있는 상태를 평형 상태라고 한다. 즉, 물체에 작용하는 모든 힘의 합력인 알짜힘이 0이어야 하고, 물체에 작용하는 모든 돌림힘의 합이 0이어야 한다.
따라서 구조물이 안정된 정지 상태를 유지하기 위해서는 힘과 돌림힘이 각각 평형을 이루어야 한다. 이때 무게 중심의 위치는 구조물의 안정성에 매우 중요하게 작용한다. 일반적으로 무게 중심이 낮을수록 더 안정된 상태이다.

02

외부 태양열에 의해 내부의 온도가 높아지면 대류 현상에 의해 뜨거워진 공기는 건물 위쪽으로 올라가고, 위에 있던 찬 공기는 아래로 내려오게 된다. 이때 건물 지붕 위로 배기 구멍을 뚫어 뜨거운 공기가 나갈 수 있도록 하였고, 건물 하단의 옆쪽으로 찬 공기를 유입할 수 있는 팬을 설치하여 공기 순환을 돕는다. 또한 건물과 건물이 연결되는 사이에 빈 공간을 두어 이곳을 통해 약한 바람이 계속 공급되어 공기의 순환을 돕는다. 이러한 자연 냉방 원리를 이용하여 같은 크기의 다른 건물 전력의 10% 정도로 냉방을 할 수 있다.

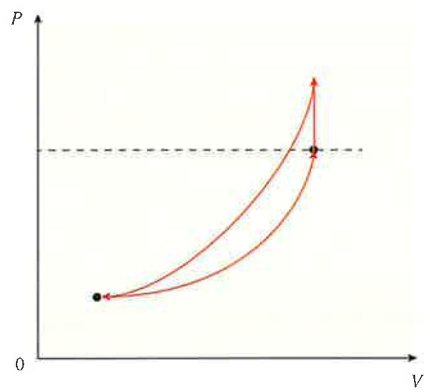
탐구 222~223쪽

[탐구] 자료 해석

1 – ①. 뉴커먼의 증기 기관은 증기가 가득찬 실린더에 냉각수가 뿌려지면, 공기가 응축되어 물이 되고, 내부가 부분적으로 진공 상태가 되면서 대기압과의 차이로 인해 피스톤이 움직이는 것이다. 이와 같이 실린더에 냉각수가 뿌려질 때, 공기만 응축되는 것이 아니라 물의 일부가 증기로 변하면서 실린더가 진공 상태가 되기 어려웠고, 그만큼 피스톤이 충분히 움직일 수 있는 동력을 얻기 어려웠다.

1 – ②. 실린더와 냉각실이 분리가 되어 있기 때문에 실린더는 항상 고온 상태를 유지하고, 냉각실은 저온 상태를 유지할 수 있었다. 따라서 열 효율성 측면에서 더욱 우수하였다.

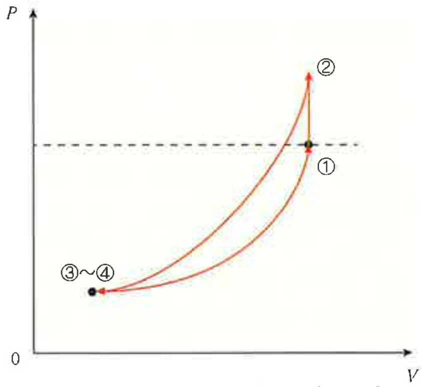
2.



해설 1. 뉴커먼의 증기 기관은 상업적으로 성공한 최초의 증기 기관으로 1770년에는 영국 전역에서 100여 대가 가동되었으며, 탄광 안의 물을 퍼내는 데 쓰여 광산에서 큰 성공을 거뒀다.
뉴커먼의 장치는 양동이와 피스톤이 반대로 움직인다. 수증기가 피스톤 아래에서 유입되면 피스톤이 가장 위쪽으로 올라가고, 양동이는 가장 아래쪽에 위치하게 된다. 이때 실린더 안으로 차가운 물이 들어가 실린더를 냉각시키면 실린더 안에 있던 수증기가 응축된다. 피스톤은 대기압으로 인해 아래로 움직인다. 피스톤이 아래로 움직이면 양동이는 위쪽으로 움직이면서 물을 퍼 올린다. 결과적으로 양동이를 움직인 힘은 증기가 아닌 대기압의 힘이었기 때문에 뉴커먼 장치는 '대기압 기계'라고 불렸다.
하지만 뉴커먼의 증기 기관은 단점이 있었다. 차가운 물인 냉각수를 기관의 실린더 안에 뿌리면 물의 일부가 증기로 변하였고, 이 증기로 인하여 실린더가 진공 상태가 되기 어려웠다. 따라서 피스톤이 충분히 아래로 움직이지 않기 때문에 물을 높이 퍼 올리는 동력이 약해질 수 밖에 없었다. 이 문제를 해결하기 위해 실린더 안에 차가운 물을 더 많이 뿌려 온도를 낮추어 보았지만, 이때는 실린더가 너무 식어버렸으며, 식어버린 실린더 온도를 높이려면 더 많은 석탄을 태워야 했다. 이로 인하여 뉴커먼의 증기 기관은 석탄 광산 인근에서만 가동될 수 밖에 없었다.

와트는 뉴커먼의 증기 기관이 냉각수를 분사하여 고온의 증기를 냉각할 때마다 실린더 벽에서 열이 손실되는 문제점을 발견하였다. 이에 와트는 냉각실과 실린더를 분리한 후 파이프로 연결하였다. 실린더로 들어간 수증기를 분리된 장소에서 응축시킴으로서 실린더 안에 찬물을 끼얹을 필요가 없었고, 실린더는 높은 온도를 유지할 수 있었다. 이로 인해 증기 기관을 작동하기 위해 소비하는 석탄의 양을 줄여, 광산 인근이 아니어도 증기 기관을 이용할 수 있게 했다. 또한 와트는 실린더에 덮개를 씌워 피스톤이 외부 공기에 노출되는 것을 막았다. 이렇게 제작된 와트의 증기기관은 대기압의 영향을 거의 받지 않고 증기압만으로 피스톤을 위아래로 움직이게 됐다. 피스톤이 증기압에 의해서만 움직인다는 점에서 와트의 기관을 '최초의 증기 기관'이라고도 한다.

2.



① ~ ② 실린더 내부에 증기가 차있지 않을 때는 외부 기압과 같은 1기압이 유지되고, 증기가 차기 시작하면서 기압은 증가하지만, 실린더 부피는 변하지 않는다.
② ~ ③ 실린더에 냉각수가 뿌려지면 공기가 응축되어 물이 되고, 실린더 내부가 부분적으로 진공 상태가 되기 때문에 압력은 작아지고, 피스톤이 내려오면서 실린더 부피도 감소한다.

서술 224~225쪽

01

〈 예시 답안 〉 벽면을 단열재로 잘 감싸더라도 열은 벽을 통해 빠져나간다. 따라서 벽의 면적을 최소화해야 하므로 부피에 비해 면적이 작은 직사각형 형태의 패시브 하우스가 대부분인 것이다.

해설 패시브 하우스에서는 집의 방향도 중요하다. 직사각형에서 긴 변쪽을 동서로 향하고, 좁은 쪽을 남쪽을 바라보는 남향으로 지어야 태양 복사 에너지를 최대로 활용할 수 있다.

02

〈예시 답안〉 열은 대류, 전도, 복사의 형태로 이동한다. 우선 대류의 형태로 빠져나가는 열을 막기 위해서는 공기의 흐름을 차단해야 한다. 창문 면적을 최소화하고 효율적인 환풍 장치의 설치가 필요할 것이다. 또한 지붕이나 벽면, 창문들을 통해 전도나 복사의 형태로 빠져나가는 열을 막아야 한다. 벽면은 두꺼운 단열재를 이용하고, 창문은 삼중 유리와 같은 유리를 이용한다. 창문의 방향을 남향으로 하여 자연광이 충분히 들어올 수 있도록 하면 조명에 쓰이는 에너지를 최소화하면서 겨울철 에너지 소비도 줄일 수 있다.