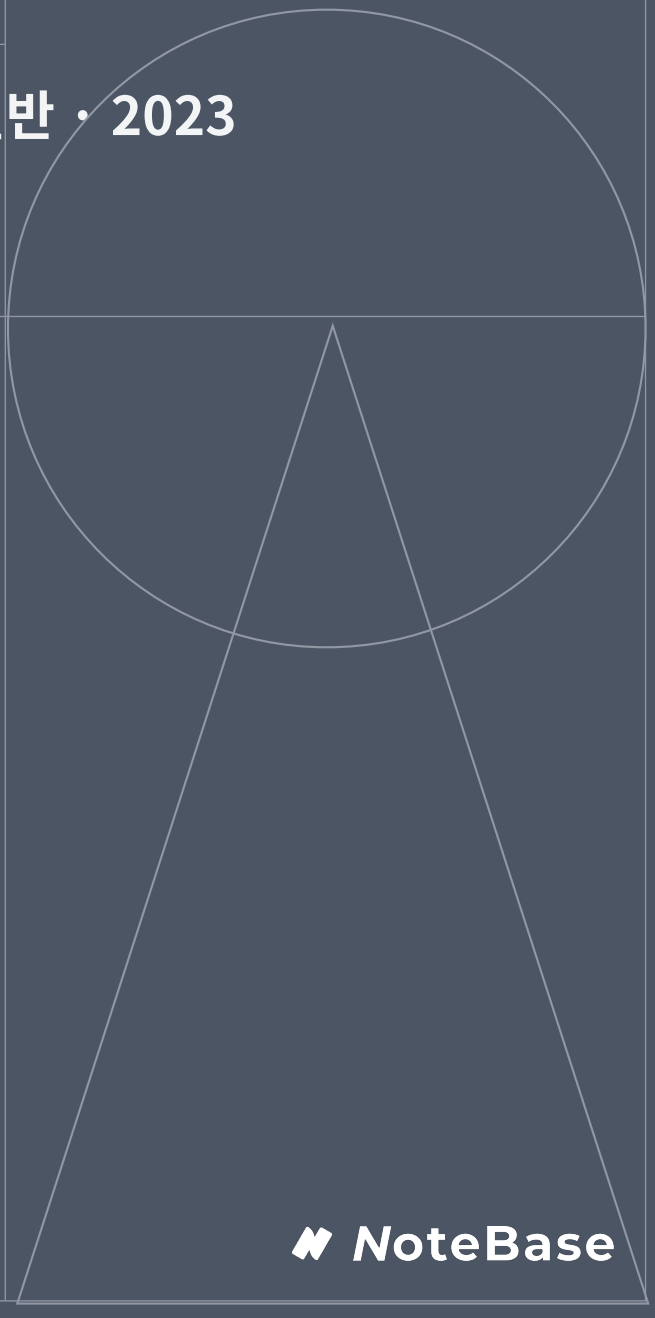
기출OX 해설집

공무원/국회직/9급 · 기계일반 · 2023



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국회직/9급 · 기계일반 · 2023

공무원/국회직/9급 · 기계일반 · 2023

1. 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

   ① 열은 저온부로부터 고온부로 자연적으로 전달되지 않는다.

   ② 열은 열량이 높은 곳에서 낮은 곳으로 자연스럽게 전달된다.

   ③ 단열 상태에서 계가 일을 하면, 그 만큼 내부에너지가 변한다.

   ④ 단일 열원으로부터 열전달을 받아 사이클의 과정으로 열을 일로 변화시킬 수 있는 열기관을 제작할 수는 없다.

   ⑤ 제 2종 영구기관은 열역학 2법칙에 위배된다.

정답 2번

출제 포인트

열전달의 방향, 열역학 제1법칙과 제2법칙, 단열 과정 및 제2종 영구기관의 의미를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

열은 온도 차이 때문에 전달되는 에너지이며, 자연적으로는 고온부에서 저온부로 이동한다. 열량은 전달된 에너지의 양이므로 열의 자연스러운 이동 방향을 정하는 기준이 아니다.

열역학 제1법칙은 계에 출입하는 열과 일에 따라 내부에너지가 변한다는 에너지 보존 법칙이다. 단열 과정에서는 열의 출입이 없으므로 계가 한 일만큼 내부에너지가 감소한다.

열역학 제2법칙에 따르면 하나의 열원에서 받은 열을 사이클 과정에서 전부 일로 바꾸는 열기관은 만들 수 없으며, 이를 위반하는 장치가 제2종 영구기관이다.

NoteBase

선지별 해설

① O — 열은 외부의 일 없이 저온부에서 고온부로 자연스럽게 전달되지 않는다. 자연적인 열전달 방향은 고온부에서 저온부이다.
② X — 틀린 표현은 '열량이 높은 곳에서 낮은 곳으로'이다. 열전달의 자연스러운 방향은 열량의 크기가 아니라 온도 차이로 결정되므로, 올바르게는 '열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 자연스럽게 전달된다'이다.
③ O — 단열 상태에서는 계와 주위 사이에 열의 출입이 없다. 따라서 계가 외부에 일을 하면 그 에너지만큼 계의 내부에너지가 감소한다.
④ O — 단일 열원에서 받은 열을 사이클 과정에서 모두 일로 변환하는 열기관은 열역학 제2법칙의 켈빈-플랑크 서술에 어긋나므로 제작할 수 없다.
⑤ O — 제2종 영구기관은 하나의 열원에서 받은 열을 다른 효과 없이 모두 일로 바꾸는 장치이므로 열역학 제2법칙에 위배된다.

오답 포인트

②는 '열량'과 '온도'를 바꾸어 쓴 선지이다. 열량이 많다는 것은 에너지의 양이 크다는 뜻일 뿐 온도가 높다는 뜻은 아니므로, 열전달 방향의 판단 기준으로 사용할 수 없다.

다시 나오면 이렇게 판단

열의 이동 방향을 묻는 선지에서는 먼저 '고온에서 저온으로'인지 확인한다. 단열 과정에서는 열의 출입이 없다는 점을 적용하고, 단일 열원의 열을 사이클로 전부 일로 바꾼다는 표현은 열역학 제2법칙 위반으로 판단한다.

암기 포인트

열의 방향은 열량 차이가 아니라 온도 차이가 정한다. 고온에서 저온으로 이동하며, 단일 열원의 열을 전부 일로 바꾸는 제2종 영구기관은 불가능하다.

NoteBase

2. 단위가 J(Joule)인 물리량만을 <보기>에서 모두 고르면?

< 보 기 >

ㄱ. 일(work)
ㄴ. 일률(power)
ㄷ. 에너지(energy)
ㄹ. 운동량(momentum)

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄴ, ㄹ
⑤ ㄷ, ㄹ

정답 2번

출제 포인트

일, 일률, 에너지, 운동량의 정의식에서 각 물리량의 단위를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

일은 힘이 물체를 힘의 방향으로 이동시킬 때 전달되는 에너지이며, $W = Fs$이므로 단위는 $N \cdot m = J$이다.
에너지는 일을 할 수 있는 능력을 나타내는 물리량이며 단위는 J이다.
일률은 단위 시간당 한 일로 $P = W/t$이며, 단위는 $W = J/s$이다.
운동량은 질량과 속도의 곱으로 $p = mv$이며, 단위는 $kg \cdot m/s = N \cdot s$이다.

선지별 해설

① X — ㄱ의 일은 J이지만 ㄴ의 일률은 J가 아니라 $W = J/s$이다. 올바른 조합은 ㄱ, ㄷ이다.
② O — ㄱ의 일과 ㄷ의 에너지는 모두 단위가 J이므로 옳은 조합이다.
③ X — ㄷ의 에너지는 J이지만 ㄴ의 일률은 J가 아니라 $W = J/s$이다. 올바른 조합은 ㄱ, ㄷ이다.
④ X — ㄴ의 일률은 $W = J/s$, ㄹ의 운동량은 $kg \cdot m/s = N \cdot s$이므로 둘 다 J가 아니다. 올바른 조합은 ㄱ, ㄷ이다.
⑤ X — ㄷ의 에너지는 J이지만 ㄹ의 운동량은 J가 아니라 $kg \cdot m/s = N \cdot s$이다. 올바른 조합은 ㄱ, ㄷ이다.

NoteBase

오답 포인트

일률의 단위 기호 W와 일을 나타내는 기호 W를 혼동하기 쉽다. 일률은 에너지 자체가 아니라 시간당 에너지이므로 단위가 J/s이고, 운동량도 에너지와 달리 $N \cdot s$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

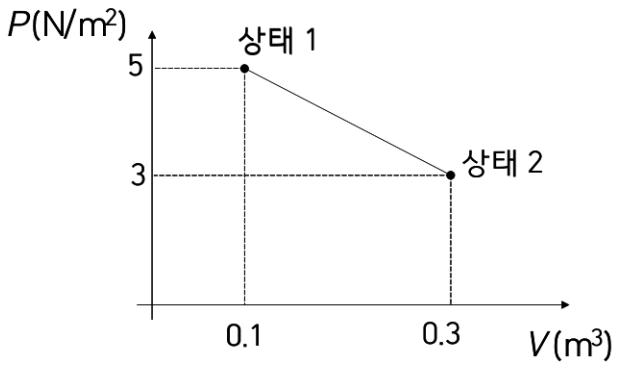
각 물리량을 정의식으로 바꾼 뒤 기본 단위를 확인한다. $W = Fs$와 에너지는 J, $P = W/t$는 J/s, $p = mv$는 $kg \cdot m/s$로 판별한다.

암기 포인트

일·에너지는 J, 일률은 J/s, 운동량은 $N \cdot s$이다.

NoteBase

3. 밀폐계 기체의 압력 P와 부피 V가 그림과 같이 상태 1에서 상태 2로 변할 때 밀폐계가 한 일은? (단위: J)



① 0.5
② 0.6
③ 0.8
④ 1.0
⑤ 1.2

정답 3번

출제 포인트

압력-부피 선도에서 기체가 한 일은 과정선 아래의 면적이며, 압력이 직선적으로 변할 때는 사다리꼴의 면적으로 계산한다.

조건 정리

초기 상태: $P_1 = 5N/m^2, V_1 = 0.1m^3$
최종 상태: $P_2 = 3N/m^2, V_2 = 0.3m^3$
부피 변화: $\Delta V = V_2 - V_1 = 0.2m^3$
과정선이 직선이고 부피가 증가하므로 평균 압력을 이용하며, 기체가 한 일은 양수이다.

사용할 공식

$W = \int_{V_1}^{V_2} PdV = \frac{P_1 + P_2}{2}(V_2 - V_1)$
압력이 부피에 따라 직선적으로 감소하므로 과정선 아래 면적은 평행한 두 변이 P_1, P_2인 사다리꼴의 면적과 같다. 또한 $1N/m^2 \cdot m^3 = 1N \cdot m = 1J$이다.

NoteBase

계산 과정

$W = \frac{5+3}{2} \times (0.3 - 0.1) = 4 \times 0.2 = 0.8J$
따라서 밀폐계 기체가 한 일은 $0.8J$이다.

선지 판단

① X — $0.5J$는 계산 결과와 다르다. 이 값은 초기 압력과 초기 부피를 곱한 P_1V_1일 뿐이며, 올바른 일은 과정선 아래 면적인 $0.8J$이다.
② X — $0.6J$는 계산 결과와 다르다. 최종 압력에 부피 변화량만 곱하면 압력의 변화를 반영하지 못한다. 올바르게는 평균 압력 $4N/m^2$에 $0.2m^3$를 곱하여 $0.8J$이다.
③ O — 과정선 아래 사다리꼴의 면적이 $0.8J$이므로 옳다.
④ X — $1.0J$는 초기 압력 $5N/m^2$이 전 과정에서 일정하다고 잘못 가정한 값이다. 압력은 $5N/m^2$에서 $3N/m^2$로 감소하므로 올바른 값은 $0.8J$이다.
⑤ X — $1.2J$는 과정선 아래 사다리꼴 면적과 일치하지 않는다. 올바르게는 두 압력의 평균과 부피 변화량을 곱한 $0.8J$이다.

오답 포인트

상태점의 PV와 과정 중 한 일 W를 혼동하면 ①과 같은 값이 나온다. 또한 초기 압력이나 최종 압력 하나만 부피 변화량에 곱하면 ④ 또는 ②가 된다. 이 문제에서는 압력이 일정하지 않고 직선적으로 변하므로 평균 압력을 사용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

압력-부피 선도에서 경계일은 과정선 아래 면적으로 판단한다. 직선 과정이면 두 압력의 평균에 부피 변화량을 곱하고, 팽창이면 기체가 한 일은 양수, 압축이면 음수로 처리한다.

암기 포인트

직선 $P-V$ 과정의 일은 '평균 압력 × 부피 변화량'이며, $Pa \cdot m^3 = J$이다.

NoteBase

4. 다음에서 설명하는 사이클은?

> ○ 이상적인 2개의 등온 과정과 이상적인 2개의 단열 과정으로 이루어진다.
> ○ 가역적 과정만으로 구성되는 사이클이다.
> ○ 이 사이클의 효율은 열원의 온도만의 함수이다.

① 카르노(Carnot) 사이클
② 디젤 사이클
③ 재열 랭킨(Rankine) 사이클
④ 재생 사이클
⑤ 오토(Otto) 사이클

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 열기관 사이클을 구성하는 과정과 효율의 결정 요인을 바탕으로 카르노 사이클을 식별하는 문제이다.

핵심 개념

카르노 사이클은 고온 열원과 저온 열원 사이에서 작동하는 이상적인 완전 가역 사이클이다. 두 등온 과정에서 열을 주고받고 두 단열 과정에서 작동 유체의 온도를 두 열원의 온도 사이로 변화시킨다.
카르노 사이클의 열효율은 $\eta = 1 - T_L/T_H$이며, 절대온도로 나타낸 고온 열원 온도 T_H와 저온 열원 온도 T_L에만 의존한다.

NoteBase

선지별 해설

① O
제시된 두 등온 과정과 두 단열 과정, 완전 가역성, 열원 온도만으로 결정되는 효율은 모두 카르노 사이클의 특징이다.

② X
틀린 부분은 제시된 특징을 디젤 사이클로 본 것이다. 이상 디젤 사이클은 두 등엔트로피 과정, 정압 열공급 과정, 정적 열방출 과정으로 구성된다. 따라서 ②는 '두 등온 과정과 두 단열 과정으로 이루어진 완전 가역 사이클은 카르노 사이클이다'로 고쳐야 한다.

③ X
틀린 부분은 제시된 특징을 재열 랭킨 사이클로 본 것이다. 재열 랭킨 사이클은 증기를 터빈에서 일부 팽창시킨 뒤 다시 가열하여 추가로 팽창시키는 증기 동력 사이클이며, 두 등온 과정과 두 단열 과정만으로 구성되지 않는다. 따라서 ③은 '증기를 중간에서 재가열하여 여러 단계로 팽창시키는 사이클은 재열 랭킨 사이클이다'로 고쳐야 한다.

④ X
틀린 부분은 제시된 특징을 재생 사이클로 본 것이다. 재생 사이클은 사이클 내부의 열을 회수하여 작동 유체를 미리 가열함으로써 외부 열공급량을 줄이는 사이클이다. 따라서 ④는 '두 등온 과정과 두 단열 과정으로 이루어지고 효율이 두 열원 온도에만 좌우되는 사이클은 카르노 사이클이다'로 고쳐야 한다.

⑤ X
틀린 부분은 제시된 특징을 오토 사이클로 본 것이다. 이상 오토 사이클은 두 등엔트로피 과정과 두 정적 과정으로 구성되고, 열효율은 주로 압축비와 비열비에 의해 결정된다. 따라서 ⑤는 '두 등엔트로피 과정과 두 정적 과정으로 이루어진 이상 사이클은 오토 사이클이다'로 고쳐야 한다.

오답 포인트

'가역적'이라는 표현만 보고 여러 이상 사이클과 혼동하기 쉽다. 이 문항의 결정적 단서는 '두 등온 과정+두 단열 과정'과 '효율은 열원 온도만의 함수'라는 두 표현이다. 특히 오토·디젤 사이클의 이상 과정은 등온 과정이 아니라 등엔트로피 압축·팽창 과정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

두 등온 과정과 두 단열 과정이 나오면 먼저 카르노 사이클을 판단한다. 여기에 완전 가역성과 $\eta = 1 - T_L/T_H$가 함께 제시되면 카르노 사이클로 확정한다.

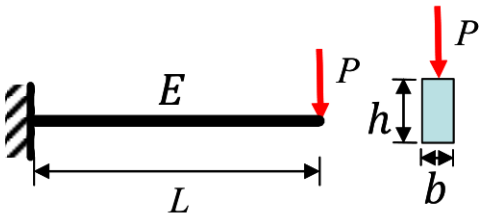
NoteBase

암기 포인트

카르노는 '등온 2+단열 2', 효율은 '고온·저온 열원의 절대온도'로 기억한다.

NoteBase

5. 그림과 같은 외팔보 끝단에 집중하중 P가 작용할 때, 끝단의 처짐(deflection)이 가장 큰 경우는?



① 단면 높이 h를 $h/2$로 변경하는 경우
② 탄성계수 E를 $E/2$로 변경하는 경우
③ 길이 L을 $L/2$로 변경하는 경우
④ 집중하중 P를 $2P$로 변경하는 경우
⑤ 단면 폭 b를 $b/2$로 변경하는 경우

정답 1번

출제 포인트

끝단 집중하중을 받는 외팔보의 끝단 처짐 공식과 직사각형 단면의 단면2차모멘트를 결합하여, 각 물리량의 변화가 처짐에 미치는 배율을 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 길이 L, 탄성계수 E, 끝단 집중하중 P, 폭 b, 높이 h인 직사각형 단면 외팔보이다.
구해야 할 값: 각 선지의 변경 후 끝단 처짐이 원래 처짐의 몇 배가 되는지이다.
주의할 조건: 단면 높이 h는 단면2차모멘트에 세제곱으로 반영되지만, 폭 b는 일차로 반영된다.

사용할 공식

끝단 집중하중을 받는 외팔보의 끝단 처짐 δ와 직사각형 단면의 단면2차모멘트 I는 다음과 같다.
$\delta = \frac{PL^3}{3EI}, \qquad I = \frac{bh^3}{12}$
따라서
$\delta = \frac{4PL^3}{Ebh^3}$
이 보에는 자유단의 집중하중이 작용하므로 외팔보 끝단 처짐 공식을 사용한다. 비교에 필요한 비례관계는 $\delta \propto PL^3/(Ebh^3)$이다.

NoteBase

계산 과정

원래 처짐을 δ_0라고 한다.
1. $h \to h/2$이면 $h^3 \to h^3/8$이므로 처짐은 $8\delta_0$이다.
2. $E \to E/2$이면 처짐은 $2\delta_0$이다.
3. $L \to L/2$이면 $L^3 \to L^3/8$이므로 처짐은 $\delta_0/8$이다.
4. $P \to 2P$이면 처짐은 $2\delta_0$이다.
5. $b \to b/2$이면 처짐은 $2\delta_0$이다.

비교하면 $8\delta_0 > 2\delta_0 > \delta_0/8$이므로 단면 높이를 절반으로 줄이는 경우의 처짐이 가장 크다.

선지 판단

① O — 단면 높이를 $h/2$로 바꾸면 I가 원래의 1/8이 되어 처짐이 8배가 되므로 가장 크다.
② X — 탄성계수를 $E/2$로 바꾸면 처짐은 2배일 뿐이다. 올바르게는 '①보다 처짐이 작으며, 변경 후 처짐은 원래의 2배이다'이다.
③ X — 길이를 $L/2$로 바꾸면 처짐은 $(1/2)^3 = 1/8$배로 감소한다. 올바르게는 '처짐이 가장 큰 경우가 아니라 가장 작은 경우이다'이다.
④ X — 집중하중을 $2P$로 바꾸면 처짐은 하중에 비례하여 2배가 된다. 올바르게는 '①보다 처짐이 작으며, 변경 후 처짐은 원래의 2배이다'이다.
⑤ X — 단면 폭을 $b/2$로 바꾸면 I가 원래의 1/2이 되어 처짐은 2배가 된다. 올바르게는 '①보다 처짐이 작으며, 변경 후 처짐은 원래의 2배이다'이다.

오답 포인트

①의 높이와 ⑤의 폭을 모두 절반으로 줄인다는 말만 보고 같은 효과로 판단하기 쉽다. 그러나 직사각형 단면에서 $I = bh^3/12$이므로 높이는 세제곱, 폭은 일차로 작용한다. 또한 ③에서는 길이가 절반이면 처짐도 절반이라고 오해하기 쉽지만, 처짐은 L^3에 비례하므로 실제로는 1/8배가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

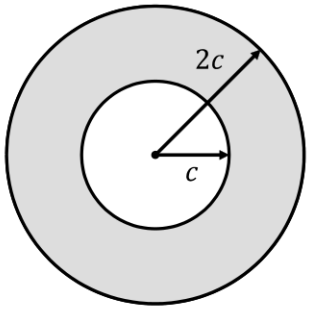
외팔보 끝단 처짐 비교에서는 먼저 $\delta \propto PL^3/(Ebh^3)$를 만든 뒤, 변경된 물리량의 지수를 적용해 원래 처짐에 대한 배율을 계산한다. 배율이 가장 큰 경우를 정답으로 판단한다.

암기 포인트

외팔보 끝단 처짐은 P에 비례하고, L에 세제곱 비례하며, E, b, h^3에 반비례한다. 특히 직사각형 단면에서는 '높이 절반 → 처짐 8배, 폭 절반 → 처짐 2배'이다.

NoteBase

6. 바깥 반지름이 $2c$, 안쪽 반지름이 c인 속이 빈 원형 실린더 축이 토크 T를 전달할 때 단면에 작용하는 최대 전단응력은?



① $\frac{2T}{15\pi c^3}$

② $\frac{4T}{7\pi c^2}$

③ $\frac{4T}{3\pi c}$

④ $\frac{4T}{15\pi c^3}$

⑤ $\frac{2T}{7\pi c^2}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 속이 빈 원형 축의 극관성모멘트와 비틀림 전단응력 공식을 이용해 단면의 최대 전단응력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 바깥 반지름은 $r_o = 2c$, 안쪽 반지름은 $r_i = c$, 전달 토크는 T이다.
구해야 할 값: 단면에 생기는 최대 전단응력 τ_{max}이다.
주의할 조건: 비틀림 전단응력은 중심에서 멀어질수록 커지므로 최대값은 바깥 표면 $r = r_o = 2c$에서 발생한다.

사용할 공식

속이 빈 원형 축의 극관성모멘트는
$J = \frac{\pi}{2}(r_o^4 - r_i^4)$
이고, 반지름 r에서의 비틀림 전단응력은
$\tau = \frac{Tr}{J}$
이다. 원형 축이 토크를 받는 문제이며 최대응력은 가장 바깥쪽에서 생기므로 이 두 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 극관성모멘트를 계산한다.
$J = \frac{\pi}{2}\{(2c)^4 - c^4\} = \frac{15\pi}{2}c^4$
2. 최대응력이 생기는 바깥 반지름 $r = 2c$를 대입한다.
$\tau_{\max} = \frac{T(2c)}{(15\pi/2)c^4} = \frac{4T}{15\pi c^3}$
3. 계산값과 일치하는 선지는 ④이다.

선지 판단

① X — $\frac{2T}{15\pi c^3}$는 전단응력 공식의 거리 r에 바깥 반지름 $2c$가 아니라 안쪽 반지름 c를 넣을 때 나오는 값이다. 올바르게는 최대응력이 생기는 $r = 2c$를 넣어 $\frac{4T}{15\pi c^3}$이다.
② X — $\frac{4T}{7\pi c^2}$는 올바른 극관성모멘트 $J = \frac{15\pi}{2}c^4$를 사용한 결과가 아니며, T/c^2는 전단응력의 차원도 아니다. 올바르게는 $\frac{4T}{15\pi c^3}$이다.
③ X — $\frac{4T}{3\pi c}$는 분모의 길이 차수가 잘못되었다. 토크를 길이의 세제곱으로 나눈 T/c^3 꼴이어야 응력 차원이 되므로 올바르게는 $\frac{4T}{15\pi c^3}$이다.
④ O — $J = \frac{15\pi}{2}c^4$와 $r_o = 2c$를 $\tau_{\max} = Tr_o/J$에 대입한 결과 $\frac{4T}{15\pi c^3}$와 정확히 일치한다.
⑤ X — $\frac{2T}{7\pi c^2}$는 속이 빈 원형 축의 극관성모멘트를 잘못 적용한 값이며, T/c^2는 전단응력의 차원이 아니다. 올바르게는 $\frac{4T}{15\pi c^3}$이다.

오답 포인트

①처럼 최대응력 위치에 안쪽 반지름 c를 넣는 실수가 핵심 함정이다. 최대 전단응력 계산에는 바깥 반지름 $2c$를 사용한다. 또한 극관성모멘트에서는 반지름을 네제곱하므로 $(2c)^4 = 16c^4$이며, 최종 응력은 반드시 T/c^3 꼴이어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

중공 원형 축의 비틀림 문제는 먼저 $J = \frac{\pi}{2}(r_o^4 - r_i^4)$를 구하고, 최대응력에는 r_o를 넣은 뒤, 결과가 T/(길이)^3 꼴인지 차원으로 검산한다.

암기 포인트

중공 원형 축은 $J = \frac{\pi}{2}(r_o^4 - r_i^4)$, 최대 전단응력은 바깥 표면에서 $\tau_{\max} = Tr_o/J$이다.

NoteBase

7. 강(steel)의 정적(static) 인장시험으로부터 얻을 수 있는 응력-변형률 선도에서 알 수 없는 것은?

① 피로한도
② 연신율
③ 항복강도
④ 탄성계수
⑤ 인장강도

정답 1번

출제 포인트

정적 인장시험의 응력-변형률 선도에서 직접 구할 수 있는 기계적 성질과 반복하중을 가하는 피로시험으로 구해야 하는 성질을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

정적 인장시험은 시험편에 천천히 증가하는 인장하중을 가하여 응력-변형률 관계를 측정하는 시험이다. 이 선도에서는 탄성계수, 항복강도, 인장강도와 파단 후 연신율을 구할 수 있다. 피로한도는 반복하중을 받는 재료의 피로 특성이므로 반복응력에 따른 수명 자료인 S-N 선도를 얻는 피로시험으로 판단한다.

선지별 해설

① X — 피로한도는 정적 인장시험의 응력-변형률 선도만으로 알 수 없다. 틀린 표현은 정적 인장시험으로 피로한도를 알 수 있다는 전제이며, 올바르게는 반복하중을 가하는 피로시험의 S-N 선도에서 피로한도를 구한다.
② O — 연신율은 인장시험에서 시험편이 파단된 뒤 표점거리의 증가율을 측정하여 구할 수 있다.
③ O — 항복강도는 응력-변형률 선도에서 재료가 탄성변형을 벗어나 소성변형을 시작하는 항복 지점의 응력으로 구할 수 있다.
④ O — 탄성계수는 응력-변형률 선도의 초기 선형 탄성구간에서 응력과 변형률의 비, 즉 기울기로 구할 수 있다.
⑤ O — 인장강도는 인장시험 중 나타나는 최대 공칭응력으로서 응력-변형률 선도에서 구할 수 있다.

오답 포인트

재료의 기계적 성질이라는 공통점만 보고 피로한도도 인장시험에서 구한다고 판단하기 쉽다. 그러나 ①의 피로한도는 반복하중에 대한 성질이고, 나머지 항목은 정적 인장시험 과정이나 그 결과에서 구할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

하중 방식부터 구분한다. 한 방향으로 천천히 증가시키는 하중이면 정적 인장시험의 응력-변형률 선도를 적용하고, 반복·교번하중과 수명의 관계를 묻는다면 피로시험의 S-N 선도를 적용한다.

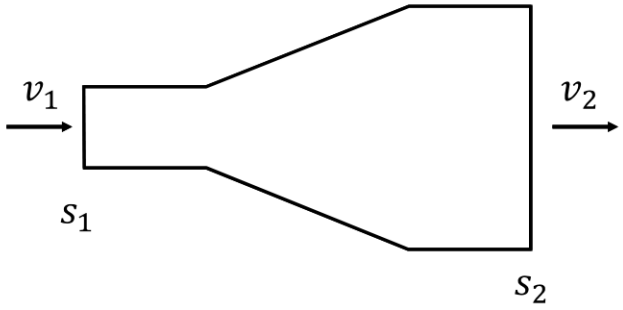
NoteBase

암기 포인트

인장시험은 탄성계수·항복강도·인장강도·연신율, 피로시험은 피로한도이다.

NoteBase

8. 그림과 같이 관의 왼쪽 입구에서 들어온 유체가 오른쪽 출구로 흐른다. 입구와 출구의 단면적이 각각 S_1과 S_2이고, 입구와 출구에서 유속이 각각 v_1과 v_2일 때, 입구와 출구의 압력 차이($\Delta p = p_2 - p_1$)는? (단, 유체의 밀도는 ρ로 나타내고, 유동은 정상상태, 비점성, 비압축성이다)



① $\Delta p = \rho \frac{v_2^2}{2}\left(1+\left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right)$

② $\Delta p = \rho \frac{v_1^2}{2}\left(1-\left(\frac{S_2}{S_1}\right)^2\right)$

③ $\Delta p = \rho \frac{v_2^2}{2}\left(1-\left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2\right)$

④ $\Delta p = \frac{\rho}{2}\left(v_1^2+v_2^2\right)$

⑤ $\Delta p = \frac{\rho}{2}\left(v_1^2-v_2^2\right)$

정답 5번

출제 포인트

정상·비점성·비압축성 유동에서 연속방정식과 베르누이 방정식을 이용하여 확대관의 입구와 출구 사이 압력차를 구하는 문제이다.

조건 정리

입구 단면적과 유속은 각각 S_1, v_1이고, 출구 단면적과 유속은 각각 S_2, v_2이다. 유동은 정상상태·비점성·비압축성이며, 그림에서 입구와 출구의 높이 차는 없다. 구해야 할 값은 $\Delta p = p_2 - p_1$이다. 확대관이므로 $S_2 > S_1$이고 연속방정식에 따라 $v_2 < v_1$이다.

NoteBase

사용할 공식

연속방정식은 $S_1 v_1 = S_2 v_2$이고, 같은 높이에서의 베르누이 방정식은 $p_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$이다. 비압축성 정상 유동이므로 유량 보존에 연속방정식을 사용하고, 비점성 유동의 두 단면 사이 압력과 속도 관계에는 베르누이 방정식을 사용한다.

계산 과정

1. 연속방정식에서 $v_2 = \frac{S_1}{S_2} v_1$이다.
2. 베르누이 방정식을 압력 차에 관해 정리하면 $\Delta p = p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2)$이다.
3. 면적비로 나타내면 $\Delta p = \frac{\rho v_1^2}{2}\left[1 - \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^2\right]$이다. 따라서 제시된 식 중 ⑤와 일치한다.

선지 판단

① X — 속도수두의 차가 아니라 합으로 계산한 식이다. $1 + (S_2/S_1)^2$가 아니라 $\Delta p = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2)$로 고쳐야 한다.

② X — 연속방정식의 면적비를 반대로 사용하였다. $v_2/v_1 = S_1/S_2$이므로 $1 - (S_2/S_1)^2$가 아니라 $1 - (S_1/S_2)^2$로 고쳐야 한다.

③ X — v_2를 기준으로 나타낼 때의 면적비와 부호가 잘못되었다. 올바르게는 $v_1 = (S_2/S_1)v_2$이므로 $\Delta p = \frac{\rho v_2^2}{2}[(S_2/S_1)^2 - 1]$이다.

④ X — 베르누이 방정식에서는 두 속도수두의 합이 아니라 차를 취한다. $v_1^2 + v_2^2$가 아니라 $v_1^2 - v_2^2$로 고쳐야 한다.

⑤ O — 베르누이 방정식을 정리한 $\Delta p = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2)$와 정확히 일치한다.

오답 포인트

확대관에서 속도가 감소하므로 압력은 증가한다. 따라서 $p_2 - p_1$은 양수이다. 연속방정식의 면적비를 뒤집거나, 베르누이 방정식의 속도수두를 더하면 ①~④와 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

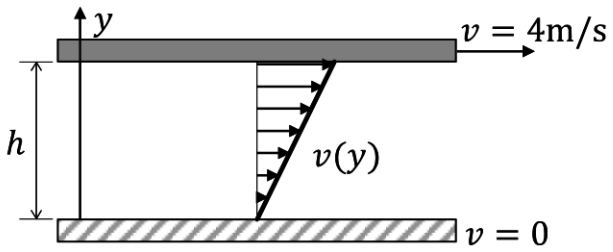
먼저 연속방정식으로 단면적과 유속의 반비례 관계를 정리하고, 베르누이 방정식에서 요구한 압력 차의 순서대로 식을 이항한다. 마지막으로 확대관에서는 속도 감소와 압력 증가가 나타나는지 부호를 검산한다.

암기 포인트

수평 확대관에서는 $S \uparrow \Rightarrow v \downarrow \Rightarrow p \uparrow$이며, $p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2)$이다.

NoteBase

9. 무한히 큰 고정평판과 이동평판 사이에 점성계수가 0.2N·s/m^{2}인 유체가 그림과 같은 선형속도분포를 갖는다. 이동평판의 속도가 4m/s로 일정하고, 평판 사이의 거리 h가 0.02m로 일정할 때, 이동평판 벽면에 작용하는 전단응력은? (단위: Pa)



① 10
② 20
③ 30
④ 40
⑤ 50

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 두 평판 사이의 선형 속도분포에서 뉴턴의 점성법칙을 이용해 이동평판 벽면의 전단응력 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 점성계수 $\mu = 0.2N \cdot s/m^2$, 이동평판 속도 $V = 4m/s$, 평판 사이 거리 $h = 0.02m$이다.
구해야 할 값: 이동평판 벽면에 작용하는 전단응력의 크기 τ이다.
주의할 조건: 속도분포가 선형이므로 속도구배 dv/dy는 평판 사이에서 일정하다.

사용할 공식

뉴턴의 점성법칙은 다음과 같다.
$\tau = \mu \frac{dv}{dy}$
속도분포가 y 방향으로 선형이고 고정평판에서 $v = 0$, 이동평판에서 $v = V$이므로 다음 관계가 성립한다.
$\frac{dv}{dy} = \frac{V - 0}{h} = \frac{V}{h}$
따라서 $\tau = \mu V/h$를 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 속도구배를 계산한다.
$\frac{dv}{dy} = \frac{4}{0.02} = 200 s^{-1}$
2. 점성계수를 곱한다.
$\tau = 0.2 \times 200 = 40 N/m^2$
3. $1 N/m^2 = 1 Pa$이므로 전단응력의 크기는 $40 Pa$이다. 전단응력의 방향은 이동평판의 운동을 방해하는 방향이다.

선지 판단

① X — $10 Pa$은 계산값 $40 Pa$과 다르다. 올바른 전단응력의 크기는 $40 Pa$이다.
② X — $20 Pa$은 계산값의 절반에 불과하다. 올바르게는 $\tau = 0.2 \times (4/0.02) = 40 Pa$이다.
③ X — $30 Pa$은 뉴턴의 점성법칙으로 얻는 값이 아니다. 올바른 값은 $40 Pa$이다.
④ O — $\tau = \mu V/h = 0.2 \times 4/0.02 = 40 Pa$이므로 계산 결과와 일치한다.
⑤ X — $50 Pa$은 계산값보다 크다. 올바른 전단응력의 크기는 $40 Pa$이다.

오답 포인트

점성계수와 평판 속도만 곱하거나 평판 사이 거리 h를 잘못 처리하면 오답이 된다. 전단응력은 속도 자체가 아니라 속도구배 V/h에 비례하며, 문제의 선지는 전단응력의 방향이 아니라 크기를 묻고 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행평판 사이의 선형 속도분포가 주어지면 먼저 $dv/dy = (V_2 - V_1)/h$를 구하고, 이어서 $\tau = \mu(dv/dy)$에 대입한 뒤 단위가 Pa인지 검산한다.

암기 포인트

선형 Couette 유동에서는 $\tau = \mu V/h$이며, 속도차가 클수록 전단응력이 커지고 간격이 클수록 작아진다.

NoteBase

10. 레이놀즈 수(Reynolds number, Re)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 유체의 속도가 증가하면 레이놀즈 수가 커진다.

② 유체의 밀도가 증가하면 레이놀즈 수가 커진다.

③ 레이놀즈 수로 유체의 동적 상사성을 판별할 수 있다.

④ 레이놀즈 수는 무차원이다.

⑤ 레이놀즈 수는 점성력을 관성력으로 나눈 값이다.

정답 5번

출제 포인트

레이놀즈 수의 정의, 무차원성, 영향 인자와 동적 상사 조건을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

레이놀즈 수는 유체 흐름에서 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.
대표식은 $Re = \frac{\rho VL}{\mu} = \frac{VL}{\nu}$이다. 여기서 ρ는 밀도, V는 대표 속도, L은 대표 길이, μ는 점성계수, ν는 동점성계수이다. 다른 조건이 같을 때 속도·밀도·대표 길이가 커지면 레이놀즈 수가 커지고, 점성계수가 커지면 작아진다.

선지별 해설

① O — Re는 대표 속도 V에 비례하므로 다른 조건이 같을 때 유체의 속도가 증가하면 레이놀즈 수가 커진다.
② O — $Re = \rho VL/\mu$에서 밀도 ρ에 비례하므로 다른 조건이 같을 때 밀도가 증가하면 레이놀즈 수가 커진다.
③ O — 점성의 영향을 받는 유동에서 모형과 원형의 레이놀즈 수를 같게 하면 관성력과 점성력의 비가 같아지므로 동적 상사를 판단할 수 있다.
④ O — 레이놀즈 수는 힘의 비로 정의되어 단위가 모두 소거되는 무차원수이다.
⑤ X — 틀린 표현은 '점성력을 관성력으로 나눈 값'이다. 레이놀즈 수는 반대로 관성력을 점성력으로 나눈 값이며, Re=관성력/점성력으로 나타낸다.

오답 포인트

⑤는 레이놀즈 수를 구성하는 두 힘은 맞게 제시했지만 분자와 분모의 순서를 뒤집었다. Re가 클수록 관성력의 영향이 점성력보다 상대적으로 크다는 뜻이므로 '관성력/점성력'의 순서를 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $Re = \rho VL/\mu$와 '관성력/점성력'을 떠올린다. 비례 관계는 분자에 있는 밀도·속도·대표 길이는 증가 방향, 분모의 점성계수는 감소 방향으로 판단하고, 상사 문제에서는 모형과 원형의 레이놀즈 수가 같은지 확인한다.

NoteBase

암기 포인트

레이놀즈 수는 관성력이 위, 점성력이 아래인 무차원수이다.

NoteBase

11. 물리량과 단위를 바르게 연결한 것은?

	물리량	단위
①	비중량(specific weight)	N/m^2
②	압력(pressure)	N/m^3
③	힘(force)	N/m^2
④	동점성계수(kinematic viscosity)	m^2/s
⑤	표면장력(surface tension)	$N \cdot m$

정답 4번

출제 포인트

물리량의 정의식에서 SI 유도단위를 구하고, 제시된 단위의 차원이 맞는지 판단하는 문제이다.

조건 정리

비중량은 단위체적당 무게, 압력은 단위면적당 힘, 동점성계수는 점성의 운동학적 성질, 표면장력은 단위길이당 힘을 뜻한다. 힘의 SI 단위는 N이다.

사용할 공식

$\gamma = \frac{W}{V}$, $p = \frac{F}{A}$, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, $\sigma = \frac{F}{L}$

각 물리량이 힘·면적·체적·길이의 어떤 비로 정의되는지 알면 단위의 분모와 지수를 결정할 수 있다.

계산 과정

1. 비중량은 무게를 체적으로 나누므로 $[\gamma] = N/m^3$이다.
2. 압력은 힘을 면적으로 나누므로 $[p] = N/m^2$이다.
3. 힘 자체의 단위는 $[F] = N$이다.
4. 동점성계수는 $[\nu] = m^2/s$이다.
5. 표면장력은 힘을 길이로 나누므로 $[\sigma] = N/m$이다.

선지 판단

① X — 비중량의 단위를 N/m^2로 제시한 것이 틀렸다. 올바른 단위는 단위체적당 무게인 N/m^3이다.
② X — 압력의 단위를 N/m^3로 제시한 것이 틀렸다. 올바른 단위는 단위면적당 힘인 N/m^2이다.
③ X — 힘의 단위를 N/m^2로 제시한 것이 틀렸다. N/m^2는 압력의 단위이고, 힘의 올바른 단위는 N이다.
④ O — 동점성계수의 SI 단위는 m^2/s이므로 바르게 연결되었다.
⑤ X — 표면장력의 단위를 $N \cdot m$로 제시한 것이 틀렸다. $N \cdot m$는 일·에너지 또는 모멘트와 같은 차원이고, 표면장력의 올바른 단위는 N/m이다.

NoteBase

오답 포인트

비중량과 압력은 모두 힘이 포함되지만 분모가 각각 체적과 면적이라는 점이 다르다. 또한 표면장력의 단위는 힘과 길이를 곱한 $N \cdot m$가 아니라 힘을 길이로 나눈 N/m이다.

다시 나오면 이렇게 판단

물리량의 이름만 암기하기보다 정의식을 먼저 세운 뒤 분자와 분모의 단위를 대입하여 차원을 검산한다. 특히 단위면적당은 $/m^2$, 단위체적당은 $/m^3$, 단위길이당은 $/m$로 구분한다.

암기 포인트

비중량 N/m^3, 압력 N/m^2, 힘 N, 동점성계수 m^2/s, 표면장력 N/m이다.

NoteBase

12. 금속박판 드로잉(drawing) 성형 공정에서 나타나는 결함으로 옳지 않은 것은?

① 플랜지부 주름
② 벽에서의 부름
③ 스프링백
④ 이어링(earing)
⑤ 파열

정답 3번

출제 포인트

금속박판 드로잉 공정에서 생기는 대표 결함과 굽힘 공정에서 주로 문제 되는 스프링백을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

드로잉은 평평한 블랭크를 펀치로 다이 안에 끌어 넣어 컵이나 용기 모양으로 성형하는 공정이다. 이때 원주 방향 압축응력에 의한 주름·부름, 재료 유동의 방향 차이에 따른 이어링, 과도한 인장응력에 따른 파열 등이 대표적인 결함이다. 스프링백은 하중을 제거한 뒤 탄성변형분이 회복되어 형상이나 각도가 달라지는 현상으로, 주로 굽힘 공정의 대표 결함으로 분류한다.

선지별 해설

① O — 플랜지부는 드로잉될 때 원주 방향 압축응력을 받으므로 블랭크 홀더의 구속이 부족하면 주름이 발생할 수 있다.
② O — 용기 벽에서는 불안정한 재료 유동이나 플랜지에서 생긴 주름의 유입으로 부름 현상이 나타날 수 있으므로 드로잉 결함에 해당한다.
③ X — 스프링백은 하중 제거 후 탄성회복 때문에 형상이나 굽힘각이 변하는 현상이다. 틀린 표현은 이를 드로잉 공정의 대표 결함으로 본 부분이며, 올바르게는 굽힘 공정에서 주로 나타나는 대표 결함이다.
④ O — 이어링은 압연 판재의 평면 이방성 때문에 드로잉한 컵의 가장자리 높이가 방향에 따라 귀 모양으로 달라지는 결함이다.
⑤ O — 펀치 모서리나 다이 모서리 부근의 인장응력이 재료의 한계를 넘으면 판재가 찢어지는 파열이 발생할 수 있다.

오답 포인트

스프링백도 넓은 의미에서는 판재 성형 중 생기는 형상 불량이어서 드로잉 결함처럼 보일 수 있다. 그러나 이 문항은 공정별 대표 결함을 묻고 있으므로, 탄성회복에 따른 각도 변화는 굽힘에 연결하고 주름·부름·이어링·파열은 드로잉에 연결해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

원주 방향 압축과 재료 유동에서 생기는 주름·부름, 판재 이방성에서 생기는 이어링, 과도한 인장에서 생기는 파열은 드로잉 결함으로 판단한다. 하중 제거 뒤 탄성회복으로 각도나 형상이 되돌아가는 현상은 스프링백이며 굽힘 결함으로 판단한다.

암기 포인트

드로잉은 주름·부름·이어링·파열, 굽힘은 스프링백이다.

NoteBase

13. 순수 금속의 항복강도(yield strength)를 높이는 방법으로 옳지 않은 것은?

① 결정립 크기(grain size)를 작게 한다.
② 가공경화한다.
③ 선결함인 전위(dislocation)의 개수 또는 밀도를 증가시킨다.
④ 왜곡된(distorted) 결정 구조를 만든다.
⑤ 재결정화 이상의 온도로 가열하고 서서히 식힌다.

정답 5번

출제 포인트

순수 금속의 항복강도를 높이는 방법과 재결정 풀림에 의한 연화 효과를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

항복강도는 재료가 탄성변형을 넘어 소성변형을 시작할 때의 응력이다. 금속의 소성변형은 주로 전위의 이동으로 일어나므로, 결정립계·전위의 얽힘·결정격자의 왜곡처럼 전위 이동을 방해하는 요인을 늘리면 항복강도가 높아진다. 반대로 재결정 풀림은 가공으로 생긴 전위와 내부 변형을 줄여 금속을 연화한다.

선지별 해설

① O — 결정립 크기를 작게 하면 결정립계가 많아진다. 결정립계는 전위 이동을 방해하므로 항복강도가 증가한다.
② O — 가공경화는 소성가공으로 전위 밀도를 높이고 전위끼리 서로 얽히게 하여 추가 변형을 어렵게 하므로 항복강도를 높인다.
③ O — 전위의 개수 또는 밀도가 증가하면 전위 사이의 상호 방해가 커져 전위 이동이 어려워지므로 항복강도가 증가한다.
④ O — 왜곡된 결정 구조가 만드는 응력장은 전위 이동을 방해하므로 항복강도를 높일 수 있다.
⑤ X — 틀린 부분은 '재결정화 이상의 온도로 가열하고 서서히 식힌다'이다. 이 처리는 재결정을 일으켜 전위 밀도와 잔류 변형을 줄이는 풀림 과정이므로 가공경화를 제거하고 항복강도를 낮춘다. 올바르게는 재결정 온도 이하에서 소성가공하여 가공경화 상태를 만들고 유지하면 항복강도가 높아진다.

오답 포인트

가열하면 금속이 항상 강해진다고 생각하기 쉽지만, ⑤의 재결정 온도 이상 가열과 서냉은 경화가 아니라 풀림에 해당한다. 이 과정에서는 전위와 내부 변형이 감소하므로 강도는 낮아지고 연성과 가공성은 커진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

각 방법이 전위 이동을 방해하는지 촉진하는지를 기준으로 판단한다. 결정립 미세화·가공경화·전위 밀도 증가·격자 왜곡은 전위 이동을 방해하여 강화하고, 재결정 풀림은 전위와 내부 변형을 줄여 연화한다.

암기 포인트

전위 이동 방해는 강화, 재결정 풀림은 연화이다.

NoteBase

14. 질점이 평면에서 등속원운동을 할 때 옳지 않은 것은?

① 질점의 순간속도 방향은 경로(path)의 접선방향이다.
② 질점의 순간속도 방향은 위치에 따라서 변한다.
③ 질점의 순간가속도 방향은 경로의 접선방향이다.
④ 질점의 순간속도는 직각좌표계를 사용하여 표현할 수 있다.
⑤ 질점의 순간가속도 크기는 일정하다.

정답 3번

출제 포인트

평면 등속원운동에서 순간속도의 방향·크기와 순간가속도의 방향을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

등속원운동은 원형 경로를 따라 속력은 일정하지만 속도 방향은 계속 변하는 운동이다. 순간속도는 원 궤도의 접선방향이고, 순간가속도는 원의 중심을 향하는 구심방향이다. 따라서 속도와 가속도는 서로 수직이다.

선지별 해설

① O — 원운동하는 질점의 순간속도는 그 위치에서 경로에 그은 접선방향이다.
② O — 질점이 원 위를 이동하면 접선방향이 계속 달라지므로 순간속도의 방향도 위치에 따라 변한다.
③ X — 틀린 표현은 '순간가속도 방향은 경로의 접선방향'이다. 올바르게는 순간가속도 방향은 원의 중심을 향하는 구심방향이다. 접선방향인 것은 순간속도이다.
④ O — 평면상의 위치와 운동은 서로 수직인 두 좌표축의 성분으로 나누어 직각좌표계에서 표현할 수 있다.
⑤ O — 등속원운동에서 '등속'은 속력의 크기가 일정하다는 뜻이다. 다만 방향이 변하므로 속도 벡터는 일정하지 않다.

오답 포인트

③은 순간속도의 방향인 '접선방향'을 순간가속도의 방향으로 바꿔 놓은 선지이다. 또한 등속원운동의 '속력이 일정함'을 '속도 벡터가 일정함'으로 오해하기 쉽지만, 방향이 변하므로 가속도가 존재한다.

다시 나오면 이렇게 판단

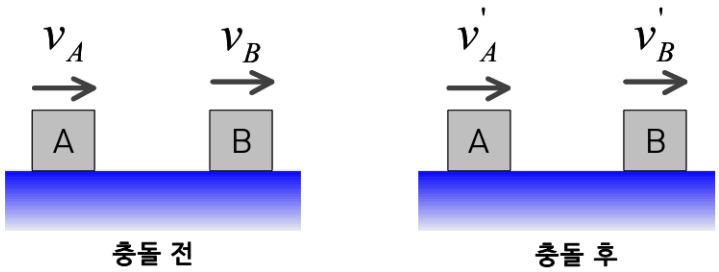
등속원운동에서는 먼저 '속도는 접선방향, 가속도는 중심방향'으로 구분하고, '속력은 일정하지만 속도 방향은 변한다'는 기준으로 각 선지를 판단한다.

암기 포인트

등속원운동은 속도는 접선, 가속도는 중심, 속력은 일정이다.

NoteBase

15. 그림과 같이 질량이 동일한 물체 A와 물체 B가 충돌한다. 충돌 전 물체 A의 속도는 오른쪽으로 v_A이고, 물체 B의 속도는 0이다. 두 물체가 충돌할 때, 두 물체 사이의 반발계수가 0.5라면, 충돌 후 물체 A의 속도(v_A')는?



① $v_A' = \frac{1}{8}v_A$

② $v_A' = \frac{1}{4}v_A$

③ $v_A' = \frac{3}{8}v_A$

④ $v_A' = \frac{1}{2}v_A$

⑤ $v_A' = \frac{3}{5}v_A$

정답 2번

출제 포인트

질량이 같은 두 물체의 일차원 충돌에서 운동량 보존식과 반발계수 식을 함께 사용하여 충돌 후 물체 A의 속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 두 물체의 질량은 같고, 충돌 전 속도는 각각 v_A, 0, 반발계수는 $e = 0.5$이다.
구해야 할 값: 충돌 후 물체 A의 속도 v'_A이다.
주의할 조건: 오른쪽을 양의 방향으로 두며, 반발계수는 충돌 후 두 물체가 멀어지는 상대속도를 충돌 전 가까워지는 상대속도로 나눈 값이다.

NoteBase

사용할 공식

운동량 보존식은 $mv_A = mv'_A + mv'_B$ 이므로 $v'_A + v'_B = v_A$ 이다.
반발계수 식은 $e = \frac{v'_B - v'_A}{v_A - 0} = 0.5$ 이므로 $v'_B - v'_A = \frac{1}{2}v_A$ 이다.
외력이 작용하지 않는 일차원 충돌이므로 운동량이 보존되고, 충돌 전후의 상대속도 관계를 나타내기 위해 반발계수 식을 사용한다.

계산 과정

1. 운동량 보존식에서 $v'_A + v'_B = v_A$를 얻는다.
2. 반발계수 식에서 $v'_B - v'_A = \frac{1}{2}v_A$를 얻는다.
3. 두 식을 빼거나 연립하면 $2v'_A = \frac{1}{2}v_A$이므로 $v'_A = \frac{1}{4}v_A$ 이다.

선지 판단

① X — $v'_A = \frac{1}{8}v_A$는 연립방정식의 결과와 다르다. 올바르게는 $v'_A = \frac{1}{4}v_A$이다.
② O — 운동량 보존식과 반발계수 식을 연립한 결과 $v'_A = \frac{1}{4}v_A$이므로 옳다.
③ X — $v'_A = \frac{3}{8}v_A$는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 $v'_A = \frac{1}{4}v_A$이다.
④ X — $v'_A = \frac{1}{2}v_A$는 반발계수만 속도비처럼 잘못 적용한 값이다. 올바르게는 $v'_A = \frac{1}{4}v_A$이다.
⑤ X — $v'_A = \frac{3}{5}v_A$는 운동량 보존식과 반발계수 식을 동시에 만족하지 않는다. 올바르게는 $v'_A = \frac{1}{4}v_A$이다.
계산 결과 $v'_A = \frac{1}{4}v_A$이므로 정답은 2번이다.

오답 포인트

반발계수 0.5를 물체 A의 충돌 후 속도비로 바로 해석하면 ④를 고르게 된다. 반발계수는 한 물체의 속도비가 아니라 두 물체 사이의 상대속도 비이므로, 반드시 운동량 보존식과 함께 연립해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

일차원 충돌 문제에서는 먼저 운동량 보존식을 세우고, 이어서 충돌 후 멀어지는 상대속도와 충돌 전 가까워지는 상대속도의 비로 반발계수 식을 세운 뒤 두 식을 연립한다.

암기 포인트

같은 질량에서 한 물체만 속도 v_A로 움직이면 $v'_A + v'_B = v_A$이고, 반발계수는 $v'_B - v'_A = ev_A$이다.

NoteBase

16. 온도가 t_1인 질량 m_1, 비열 C_1의 금속을 온도가 t_2, 비열 C_2인 액체에 넣는다. 금속의 온도가 액체의 온도보다 두 배 이상 높다고 할 때 금속의 온도를 절반으로 낮추기 위하여 필요한 액체의 질량은?

① $\frac{C_1 t_1}{C_2(t_1-2t_2)}m_1$

② $\frac{C_2 t_1}{C_1(t_1-2t_2)}m_1$

③ $\frac{C_2 t_2}{C_1(t_1-2t_2)}m_1$

④ $\frac{C_2(t_1-2t_2)}{C_1 t_1}m_1$

⑤ $\frac{C_1(t_1-2t_2)}{C_2 t_1}m_1$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 외부로의 열손실이 없을 때 금속이 잃은 열량과 액체가 얻은 열량이 같다는 열평형식을 이용하여 필요한 액체의 질량을 구하는 문제이다.

조건 정리

금속의 질량은 m_1, 비열은 C_1, 처음 온도는 t_1이다.
액체의 질량을 m_2라 하면 비열은 C_2, 처음 온도는 t_2이다.
금속의 목표 온도는 처음 온도의 절반인 $t_1/2$이다. $t_1 > 2t_2$이므로 $t_1/2 > t_2$이고, 금속은 식으면서 열을 잃고 액체는 데워지면서 열을 얻는다.

사용할 공식

열량은 $Q = mC\Delta t$이고, 열평형 조건은 다음과 같다.
$m_1C_1\left(t_1 - \frac{t_1}{2}\right) = m_2C_2\left(\frac{t_1}{2} - t_2\right)$
금속의 최종 온도를 $t_1/2$로 만들 때 금속이 잃은 열량이 액체가 얻은 열량과 같기 때문에 이 식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

금속의 온도 감소량은 $t_1/2$이고, 액체의 온도 증가량은 $t_1/2 - t_2 = (t_1 - 2t_2)/2$이다.
따라서
$m_1 C_1 \frac{t_1}{2} = m_2 C_2 \frac{t_1 - 2t_2}{2}$
이며, 양변의 1/2를 약분하고 m_2에 관하여 정리하면
$m_2 = \frac{C_1 t_1}{C_2(t_1 - 2t_2)} m_1$
이 된다.

선지 판단

① O — 열평형식을 m_2에 관하여 정리한 $\frac{C_1 t_1}{C_2(t_1 - 2t_2)} m_1$과 정확히 일치한다.
② X — 금속의 비열 C_1과 액체의 비열 C_2를 서로 바꾸어 놓았다. 올바르게는 $\frac{C_1 t_1}{C_2(t_1 - 2t_2)} m_1$이다.
③ X — 분자에는 금속의 온도 감소량에서 나온 t_1이 들어가야 하는데 t_2를 넣었고, C_1과 C_2의 위치도 바꾸었다. 올바르게는 $\frac{C_1 t_1}{C_2(t_1 - 2t_2)} m_1$이다.
④ X — 필요한 질량비 m_2/m_1의 분자와 분모를 통째로 뒤집은 식이다. 올바르게는 $\frac{C_1 t_1}{C_2(t_1 - 2t_2)} m_1$이다.
⑤ X — 비열의 배치는 맞지만 온도항 $t_1/(t_1 - 2t_2)$를 거꾸로 썼다. 올바르게는 $\frac{C_1 t_1}{C_2(t_1 - 2t_2)} m_1$이다.

오답 포인트

금속의 목표 온도가 $t_1/2$라는 사실만 보고 액체의 온도 증가량도 $t_1/2$로 두면 안 된다. 액체는 t_2에서 출발하므로 액체의 온도 증가량은 $t_1/2 - t_2$이다. 또한 열평형식을 세운 뒤 m_2를 고립시키는 과정에서 질량비나 온도항을 역수로 만들지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

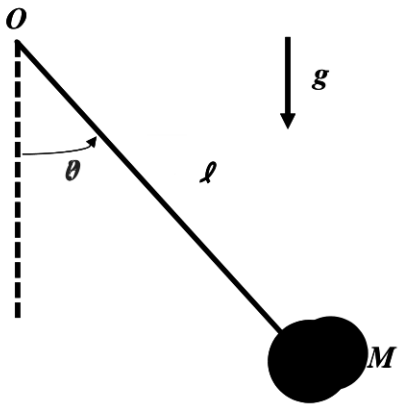
두 물체의 열평형 문제는 먼저 공통 최종 온도를 정한 뒤 각 물체의 온도 변화량을 따로 계산하고, $mC\Delta t$로 나타낸 고온 물체의 방출열과 저온 물체의 흡수열을 같게 놓아 판단한다.

암기 포인트

열평형의 핵심은 m_고온C_고온(t_고온-t_f)=m_저온C_저온(t_f-t_저온)이다. 온도 변화량은 반드시 각 물체의 처음 온도와 최종 온도의 차로 잡는다.

NoteBase

17. 줄의 한쪽 끝은 점 O에 고정되어 있고, 다른 쪽 끝에는 질량 M의 물체가 달려있다. 1자유도 진자운동을 할 때, 옳지 않은 것은? (줄의 길이는 ℓ로 일정, 줄의 질량 무시, 중력가속도 g)



① 수직 기준선으로부터 각도 θ만큼 진자가 움직였을 때 물체의 위치에너지의 크기 변화는 $Mg\ell(1-\cos\theta)$이다.

② 중력가속도는 진자운동의 고유진동수에 영향을 미친다.

③ 진자의 선형운동방정식은 $\ell\ddot{\theta}+g\theta=0$으로 표현된다.

④ 줄이 길수록 고유진동수는 낮아진다.

⑤ 질량 M은 진자운동의 고유진동수에 영향을 미친다.

정답 5번

출제 포인트

단진자의 위치에너지, 소각도 선형운동방정식, 고유진동수의 영향 인자를 함께 판단하는 문제이다.

조건 정리

질점의 질량은 M, 줄의 길이는 ℓ, 중력가속도는 g이고 줄의 질량은 무시한다. 각도 θ는 수직 기준선에서 잰다. 1자유도 선형 진동에서는 소각도 근사 $\sin\theta \simeq \theta$를 적용한다.

NoteBase

사용할 공식

최저점 $\theta = 0$을 위치에너지의 기준으로 잡으면

$\Delta U = Mg\ell(1 - \cos\theta)$

이다. 점 O에 대한 중력 모멘트로부터 정확한 운동방정식은

$M\ell^2\ddot{\theta} + Mg\ell\sin\theta = 0$

이고, 소각도에서 선형화하면

$\ell\ddot{\theta} + g\theta = 0$

이다. 이를 표준형 $\ddot{\theta} + \omega_n^2\theta = 0$과 비교하면

$\omega_n = \sqrt{\frac{g}{\ell}}$

이다. 질량 M은 관성항과 중력항에 공통으로 들어가 소거된다.

계산 과정

1. 질점이 각도 θ만큼 올라가면 높이 증가는 $\ell(1 - \cos\theta)$이므로 위치에너지 증가는 $Mg\ell(1 - \cos\theta)$이다.
2. 중력의 복원 모멘트는 $-Mg\ell\sin\theta$이므로 $M\ell^2\ddot{\theta} + Mg\ell\sin\theta = 0$이다.
3. 소각도 근사 후 $\ddot{\theta} + (g/\ell)\theta = 0$이 되므로 $\omega_n = \sqrt{g/\ell}$이다. 따라서 고유진동수는 g와 ℓ의 영향을 받지만 M의 영향은 받지 않는다.

선지 판단

① O — 높이 변화가 $\ell(1 - \cos\theta)$이므로 위치에너지 변화의 크기는 $Mg\ell(1 - \cos\theta)$이다.
② O — $\omega_n = \sqrt{g/\ell}$이므로 중력가속도 g가 커지면 고유진동수도 커진다.
③ O — 소각도 선형 진동에서 $\sin\theta \simeq \theta$이므로 운동방정식은 $\ell\ddot{\theta} + g\theta = 0$이다.
④ O — $\omega_n = \sqrt{g/\ell}$이므로 줄의 길이 ℓ가 길수록 고유진동수는 낮아진다.
⑤ X — 틀린 표현은 '질량 M은 고유진동수에 영향을 미친다'이다. 올바르게는 질량 M이 운동방정식에서 소거되므로 이상적인 단진자의 고유진동수에는 영향을 미치지 않는다.

오답 포인트

중력에 의한 복원력에 M이 들어간다는 이유만으로 ⑤를 옳다고 판단하기 쉽다. 그러나 관성항에도 같은 M이 들어가므로 운동방정식을 표준형으로 정리하면 질량은 소거된다. 또한 ③은 정확한 비선형식이 아니라 소각도 근사를 적용한 선형식이라는 점에 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

단진자 문제에서는 먼저 정확한 식 $\ddot{\theta} + (g/\ell)\sin\theta = 0$을 세우고, 선형 진동이면 $\sin\theta \simeq \theta$로 바꾼 뒤 $\ddot{\theta} + \omega_n^2\theta = 0$과 비교한다. 이 과정에서 소거되는 변수는 고유진동수의 영향 인자가 아니다.

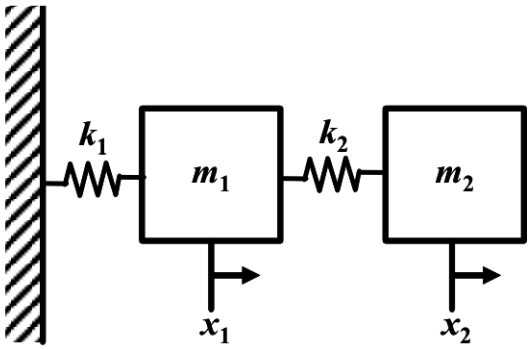
NoteBase

암기 포인트

단진자의 고유진동수는 $\omega_n = \sqrt{g/\ell}$ 이다. 중력은 클수록, 줄은 짧을수록 고유진동수가 커지며 질량과는 무관하다.

NoteBase

18. 그림과 같은 용수철과 질량으로 구성된 진동계가 수평방향으로만 운동할 때, 설명으로 옳지 않은 것은?



① 2자유도 진동계이다.

② 2개의 고유진동수를 갖는다.

③ 운동방정식은 $\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$ 으로 표현된다.

④ 고유진동수는 각각 $w_1=\sqrt{\frac{k_1}{m_1}}$, $w_2=\sqrt{\frac{k_2}{m_2}}$ 으로 구해진다.

⑤ 두 개의 질량 m_1, m_2가 모두 증가하면 전체 진동계의 고유진동수가 감소한다.

정답 4번

출제 포인트

두 질량이 스프링으로 결합된 2자유도 진동계에서 질량행렬과 강성행렬을 세우고, 고유치 방정식으로 고유진동수를 구하는 원리를 판단하는 문제이다.

조건 정리

질량 m_1은 벽과 스프링 k_1로 연결되고, 두 질량 m_1, m_2는 스프링 k_2로 연결된다. 독립변위는 x_1, x_2 두 개이므로 2자유도 계이다. 스프링 k_2의 변형량은 $x_2 - x_1$이므로 두 질량의 운동이 서로 결합된다.

NoteBase

사용할 공식

운동방정식은 $\mathbf{M}\mathbf{x} + \mathbf{K}\mathbf{x} = \mathbf{0}$이다. 질량행렬의 성분은 $M_{11} = m_1, M_{12} = M_{21} = 0, M_{22} = m_2$이고, 강성행렬의 성분은 $K_{11} = k_1 + k_2, K_{12} = K_{21} = -k_2, K_{22} = k_2$이다.

조화운동 $\mathbf{x} = \boldsymbol{\phi} e^{i\omega t}$를 대입하면 비자명한 진동형이 존재할 조건은

$$\det(\mathbf{K} - \omega^2 \mathbf{M}) = 0$$

이다. 따라서

$$m_1 m_2 \omega^4 - \{m_2(k_1 + k_2) + m_1 k_2\}\omega^2 + k_1 k_2 = 0$$

의 두 양의 근에서 두 고유진동수를 구한다. 두 질량이 결합되어 있으므로 각 질량을 독립된 1자유도 계처럼 계산할 수 없다.

계산 과정

첫째, m_1에는 $-k_1 x_1 - k_2(x_1 - x_2)$, m_2에는 $-k_2(x_2 - x_1)$의 복원력이 작용한다. 둘째, 이를 정리하면 제시된 질량행렬과 강성행렬을 얻는다. 셋째, 고유치 방정식 $\det(\mathbf{K} - \omega^2\mathbf{M}) = 0$을 전개하면 ω^2에 관한 이차방정식이 되므로 서로 다른 두 고유진동수가 나온다.

선지 판단

① O — 독립변위 x_1과 x_2가 각각 필요하므로 2자유도 진동계이다.

② O — 2자유도 선형 진동계의 고유치 방정식은 ω^2에 관한 이차방정식이므로 두 개의 고유진동수를 갖는다.

③ O — m_1에는 k_1과 k_2가 함께 작용하고, k_2가 두 질량을 결합하므로 제시된 질량행렬과 강성행렬이 정확하다.

④ X — '각각 $\omega_1 = \sqrt{k_1/m_1}$, $\omega_2 = \sqrt{k_2/m_2}$로 구해진다'는 표현이 틀렸다. 이 식들은 두 질량의 결합 효과를 무시한 독립 1자유도 식이다. 올바르게는 $\det(\mathbf{K} - \omega^2\mathbf{M}) = 0$의 두 근으로 고유진동수를 구한다.

⑤ O — 강성은 그대로인 상태에서 m_1과 m_2가 모두 증가하면 관성 효과가 커져 두 고유진동수가 감소한다. 올바르게는 각 고유진동수가 강성과 질량이 함께 포함된 고유치 방정식에 따라 감소한다고 표현한다.

오답 포인트

④는 그림의 두 스프링을 각각 한 질량에 대응시켜 독립적인 $\sqrt{k/m}$ 식을 적용하도록 유도한다. 그러나 k_2는 m_2만의 스프링이 아니라 m_1과 m_2의 상대변위에 따라 힘을 전달하는 결합 스프링이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

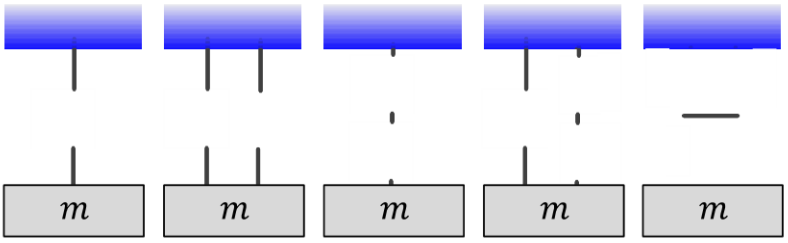
먼저 독립변위의 수로 자유도를 센다. 다음으로 각 스프링의 변형량을 구해 질량행렬과 강성행렬을 세운다. 마지막으로 결합계이면 개별 $\sqrt{k/m}$ 식이 아니라 $\det(\mathbf{K}-\omega^2\mathbf{M})=0$을 적용한다.

암기 포인트

결합된 2자유도 계는 '두 좌표, 두 고유진동수, 하나의 행렬 고유치 방정식'으로 기억한다.

NoteBase

19. 그림과 같은 용수철과 질량 m으로 구성된 진동계가 수직방향으로만 운동할 때, 고유진동수가 가장 높은 것은? (단, 각각의 용수철 상수는 k로 동일하다)



① ㄱ
② ㄴ
③ ㄷ
④ ㄹ
⑤ ㅁ

정답 2번

출제 포인트

질량이 같은 1자유도 진동계에서 용수철의 직렬·병렬 연결에 따른 등가 용수철 상수 k_{eq}를 구하고, 고유진동수의 크기를 비교하는 문제이다.

조건 정리

모든 질량은 m, 각 용수철의 용수철 상수는 k로 같다.
질량이 같으므로 고유진동수는 등가 용수철 상수 k_{eq}가 클수록 높다.
병렬 연결에서는 용수철 상수를 더하고, 직렬 연결에서는 역수를 더한다.

사용할 공식

고유진동수는
$f_n = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_{eq}}{m}}$
이다. 병렬 연결은 $k_{eq} = k_1 + k_2$, 직렬 연결은 $1/k_{eq} = 1/k_1 + 1/k_2$를 사용한다. 모든 선지에서 m이 같으므로 k_{eq}만 비교하면 된다.

NoteBase

계산 과정

ㄱ: 용수철 1개이므로 $k_{eq} = k$이다.
ㄴ: 같은 용수철 2개가 병렬이므로 $k_{eq} = k + k = 2k$이다.
ㄷ: 같은 용수철 2개가 직렬이므로 $k_{eq} = k/2$이다.
ㄹ: 왼쪽의 용수철 1개와 오른쪽의 직렬 용수철 2개가 병렬이므로 $k_{eq} = k + k/2 = 3k/2$이다.
ㅁ: 수직 운동으로 수평 용수철이 선형적으로 늘어나거나 줄어들지 않으므로 수직 방향의 등가 용수철 상수는 0이다.
따라서 $2k > 3k/2 > k > k/2 > 0$이고, 고유진동수가 가장 높은 것은 ㄴ이다.

선지 판단

① ㄱ X — $k_{eq} = k$이므로 ㄴ의 $2k$보다 작다. 'ㄱ이 가장 높다'는 틀린 판단이며, 올바르게는 'ㄴ이 가장 높다'이다.
② ㄴ O — 병렬 연결된 두 용수철의 등가 용수철 상수는 $2k$로 다섯 구조 중 가장 크므로 고유진동수가 가장 높다.
③ ㄷ X — 두 용수철의 직렬 연결이므로 $k_{eq} = k/2$이다. 'ㄷ이 가장 높다'는 틀린 판단이며, 올바르게는 'ㄴ이 가장 높다'이다.
④ ㄹ X — 단일 용수철과 두 용수철의 직렬 묶음이 병렬이므로 $k_{eq} = 3k/2$이다. 'ㄹ이 가장 높다'는 틀린 판단이며, 올바르게는 'ㄴ이 가장 높다'이다.
⑤ ㅁ X — 수평 용수철은 수직 미소운동에 대한 선형 복원력을 만들지 못한다. 'ㅁ이 가장 높다'는 틀린 판단이며, 올바르게는 'ㄴ이 가장 높다'이다.

오답 포인트

ㄹ은 용수철이 3개여서 가장 강해 보이지만, 오른쪽의 2개는 직렬이어서 그 묶음의 용수철 상수가 $k/2$로 감소한다. 따라서 ㄹ의 $3k/2$보다 두 용수철이 모두 병렬인 ㄴ의 $2k$가 더 크다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 각 구조를 직렬 묶음과 병렬 가지로 나누어 k_{eq}를 구한 뒤, 질량이 같으면 $f_n \propto \sqrt{k_{eq}}$로 크기만 비교한다. 용수철의 개수만 세지 않고 실제 연결 방향을 확인한다.

암기 포인트

병렬은 강해져 k가 더해지고, 직렬은 약해져 역수로 더한다. 같은 질량에서는 등가 용수철 상수가 클수록 고유진동수가 높다.

NoteBase

20. 두께 10mm에 열전도율 20W/(m℃)인 금속판 앞면의 온도가 80℃이고 뒷면의 온도가 40℃이다. 금속판 $1m^2$에 1분 동안 전달되는 열량은? (단위: kJ)

① 1,200
② 2,400
③ 4,800
④ 9,600
⑤ 12,000

정답 3번

출제 포인트

평판을 통한 정상 상태의 1차원 열전도에서 푸리에 법칙을 이용해 일정 시간 동안 전달되는 열량을 구하는 문제이다.

조건 정리

열전도율: $k = 20W/(m \cdot ^\circ C)$
면적: $A = 1m^2$
두께: $L = 10mm = 0.01m$
온도 차: $\Delta T = 80 - 40 = 40^\circ C$
시간: $t = 1min = 60s$
구해야 할 값은 1분 동안 금속판을 통과한 열량 Q이며, 두께와 시간을 반드시 미터와 초로 환산해야 한다.

사용할 공식

평판을 통과하는 열전달률은
$\dot{Q} = \frac{kA\Delta T}{L}$
이고, 시간 t 동안 전달되는 열량은
$Q = \dot{Q}t = \frac{kA\Delta T}{L}t$
이다. 금속판 양면 사이에 일정한 온도 차가 있고 판의 두께 방향으로 열이 전도되므로 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 두께와 시간을 환산하면 $L = 0.01m$, $t = 60s$이다.
2. 단위 시간당 전달 열량은
$\dot{Q} = \frac{20 \times 1 \times 40}{0.01} = 80{,}000W$
이다.
3. 1분 동안 전달되는 열량은
$Q = 80{,}000 \times 60 = 4{,}800{,}000J = 4{,}800kJ$
이다.

선지 판단

① X — 1,200kJ는 계산값 4,800kJ의 1/4이다. 올바르게는 1분 동안 전달되는 열량이 4,800kJ이다.
② X — 2,400kJ는 계산값 4,800kJ의 1/2이다. 올바르게는 1분 동안 전달되는 열량이 4,800kJ이다.
③ O — 푸리에 법칙으로 구한 1분 동안의 열량 4,800kJ와 일치한다.
④ X — 9,600kJ는 계산값 4,800kJ의 2배이다. 올바르게는 1분 동안 전달되는 열량이 4,800kJ이다.
⑤ X — 12,000kJ는 계산값 4,800kJ의 2.5배이다. 올바르게는 1분 동안 전달되는 열량이 4,800kJ이다.

오답 포인트

두께 10mm를 0.01m로 바꾸지 않거나, 1분을 60초로 바꾸지 않으면 단위가 맞지 않는다. 또한 양면 온도를 더하는 것이 아니라 온도 차 $80 - 40 = 40^\circ C$를 사용하고, 계산된 열전달률 $\dot{Q}$에 시간을 곱해 열량 Q를 구해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판 열전도 문제는 두께를 미터로, 시간을 초로 환산한 뒤 $\dot{Q} = kA\Delta T/L$로 열전달률을 구하고, $Q = \dot{Q}t$로 전체 열량을 계산한다. 마지막에는 J를 kJ로 환산해 선지와 비교한다.

암기 포인트

평판 전도 열량은 $Q = kA\Delta Tt/L$이다. 면적·온도 차·시간에 비례하고 두께에 반비례한다.

NoteBase