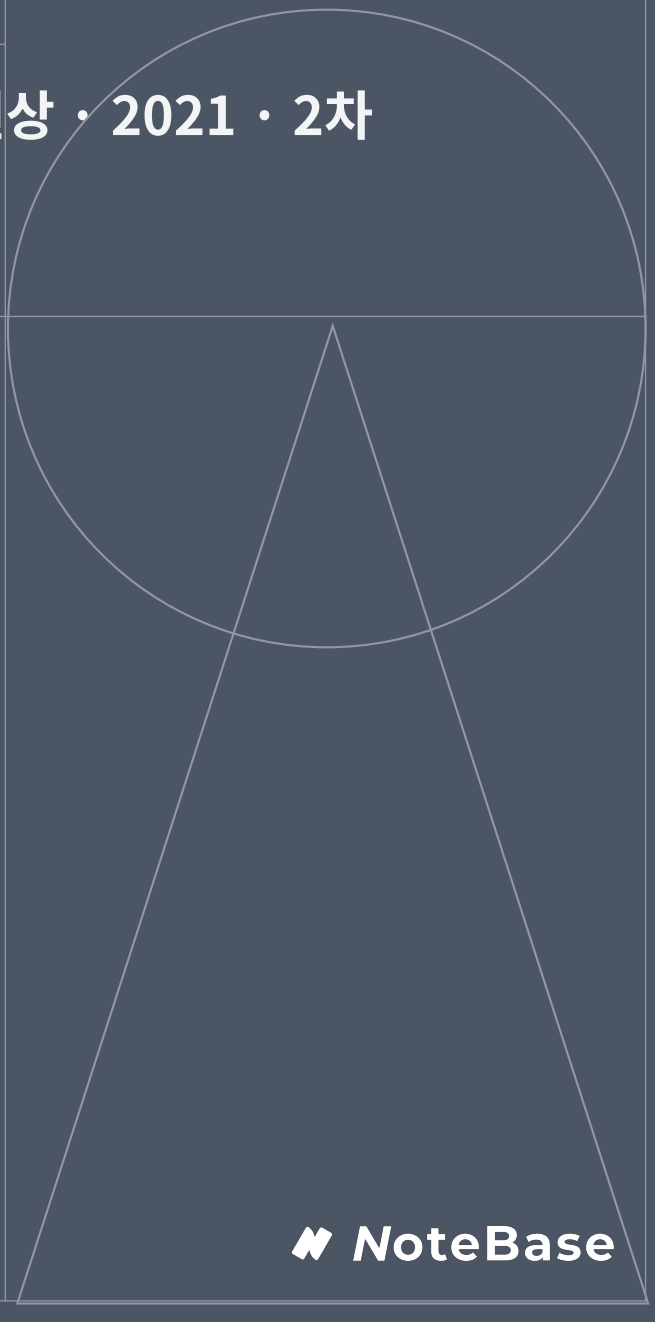
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2021 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2021 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2021 · 2차

문 1. 닫힌계에 300 kcal의 열이 유입되는 동안 계가 350 kcal의 일을 외부로 수행할 때, 계의 내부에너지 변화의 크기[kcal]는?

① 50

② 300

③ 350

④ 650

정답 1번

출제 포인트

닫힌계에 대한 열역학 제1법칙을 적용해 내부에너지 변화량을 구하는 문제이다. 계로 유입되는 열과 계가 외부에 하는 일의 부호를 올바르게 정하는 것이 핵심이다.

조건 정리

닫힌계이므로 물질 출입은 없고 에너지 출입만 고려한다. 열 $Q = 300$ kcal가 계로 유입되고(계가 열을 받음), 계가 외부에 $W = 350$ kcal의 일을 수행한다(계가 일을 함).

사용할 공식

열역학 제1법칙(계가 받은 열을 양수, 계가 외부에 한 일을 양수로 정의하는 부호규약): $\Delta U = Q - W$ 여기서 ΔU는 계의 내부에너지 변화량, Q는 계로 유입된 열량, W는 계가 외부로 수행한 일이다.

계산 과정

계로 유입된 열 $Q = 300$ kcal와 계가 외부에 한 일 $W = 350$ kcal를 대입한다.
$\Delta U = Q - W = 300 - 350 = -50$ kcal 내부에너지 변화의 크기(절댓값)를 물으므로 $|\Delta U| = 50$ kcal 즉 계는 받은 열보다 더 많은 일을 외부에 했으므로 내부에너지가 50 kcal 감소한다.

NoteBase

선지 판단

① 50 — O. $\Delta U = Q - W = 300 - 350 = -50$ kcal이므로 크기는 50 kcal로 옳다.
② 300 — X. 유입된 열량 Q의 값을 그대로 답으로 착각한 경우이다. 열량과 내부에너지 변화량은 다르다.
③ 350 — X. 외부에 한 일 W의 값을 그대로 답으로 착각한 경우이다. 일의 크기와 내부에너지 변화량은 다르다.
④ 650 — X. $Q - W$를 계산하지 않고 $Q + W = 300 + 350 = 650$으로 부호를 잘못 더한 경우이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 Q와 W를 부호 없이 그대로 답으로 고르거나(②, ③), 뺄셈 대신 덧셈을 하는 것이다(④). 열역학 제1법칙에서 유입되는 열은 양수, 계가 외부에 하는 일은 양수로 놓고 반드시 $\Delta U = Q - W$로 빼야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

문제에서 열이 '유입'되는지 '방출'되는지, 일을 계가 '외부로' 수행하는지 '외부로부터 받는지'부터 확인한다. 그 다음 열역학 제1법칙 $\Delta U = Q - W$에 부호를 맞춰 대입하고, 문제가 '크기'를 물으면 절댓값을 취한다.

암기 포인트

열역학 제1법칙: $\Delta U = Q - W$ (Q, 계가 외부에 한 일 W). 내부에너지 변화는 열량이나 일량 그 자체가 아니라 둘의 차이임을 기억해 둔다.

NoteBase

문 2. 내경 5 cm의 원통형 수평관에 비압축성 유체가 0.25kgs^{-1}의 유량으로 흐를 때, 평균 유속 $[\text{ms}^{-1}]$은? (단, 유체의 밀도는 $1{,}000\text{kgm}^{-3}$이다)

① $\frac{0.1}{\pi}$
② $\frac{0.4}{\pi}$
③ $\frac{1}{\pi}$
④ $\frac{4}{\pi}$

정답 2번

출제 포인트

질량유량과 밀도로부터 체적유량을 구하고, 원형관 단면적으로 나누어 평균 유속을 계산하는 문제이다.
내경(지름)과 반지름을 혼동하지 않는 것, 단위를 m 단위로 통일하는 것이 핵심이다.

조건 정리

관의 내경 $D = 5\ \text{cm} = 0.05\ \text{m}$이므로 반지름은 $r = 0.025\ \text{m}$이다. 질량유량은 $\dot{m} = 0.25\ \text{kg s}^{-1}$이고 유체 밀도는 $\rho = 1{,}000\ \text{kg m}^{-3}$이다. 유체는 비압축성이므로 밀도가 일정하게 유지된 채 흐른다.

사용할 공식

질량유량과 체적유량의 관계식 $\dot{m} = \rho Q$와, 원형 단면에서의 평균 유속 관계식 $Q = A\bar{V}$, $A = \pi r^2$을 사용한다.
이를 정리하면 $\bar{V} = \frac{\dot{m}}{\rho \pi r^2}$이다.

계산 과정

단면적은 $A = \pi r^2 = \pi(0.025)^2 = 0.000625\pi\ \text{m}^2$이다.
체적유량은 $Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{0.25}{1{,}000} = 0.00025\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$이다.
평균 유속은 $\bar{V} = \frac{Q}{A} = \frac{0.00025}{0.000625\pi} = \frac{0.4}{\pi}\ \text{m s}^{-1}$이다.

선지 판단

① $\frac{0.1}{\pi}$: 반지름 대신 지름을 그대로 제곱에 사용하는 등 단면적 계산을 잘못한 경우 나올 수 있는 값이다. 계산 결과와 맞지 않는다.
② $\frac{0.4}{\pi}$: 체적유량 $0.00025\ \text{m}^3\text{s}^{-1}$을 단면적 $0.000625\pi\ \text{m}^2$으로 나눈 값과 일치한다. 정답이다.
③ $\frac{1}{\pi}$: 반지름 대신 지름 0.05 m를 그대로 반지름처럼 써서 단면적을 과소 계산했을 때 나오는 값이다. 조건과 맞지 않는다.
④ $\frac{4}{\pi}$: 밀도를 나누지 않고 질량유량을 그대로 체적유량으로 쓰거나 단위 변환을 누락했을 때 나오는 값이다. 조건과 맞지 않는다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 내경(지름) 5 cm를 반지름으로 착각해 단면적을 4배로 잘못 계산하는 것이다. 또한 cm를 m로 환산하지 않고 그대로 계산하면 자릿수가 크게 어긋난 값이 나온다. 질량유량을 밀도로 나누어 체적유량으로 바꾸는 단계를 빠뜨리는 경우도 오답의 원인이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

관 유동에서 유속을 묻는 문제는 항상 $\bar{V} = \frac{Q}{A}$와 $Q = \frac{\dot{m}}{\rho}$를 함께 떠올린다. 지름이 주어지면 먼저 반지름으로 바꾸고, 모든 길이를 m 단위로 통일한 다음 단면적을 구한다.

암기 포인트

원형관 단면적은 $A = \pi r^2 = \frac{\pi D^2}{4}$이며, 평균 유속은 $\bar{V} = \frac{\dot{m}}{\rho A}$로 정리해 둔다.

NoteBase

문 3. 반지름이 50 cm인 구형 모양의 물체가 물속에 완전히 잠겨 있을 때, 이 물체에 작용하는 부력[N]은? (단, 물속에 잠긴 물체의 부피는 일정하며, 물의 밀도는 $1{,}000\text{kgm}^{-3}$, 중력가속도는 10ms^{-2}이다)

① $\frac{2{,}500}{3}\pi$
② $\frac{5{,}000}{3}\pi$
③ $2{,}500\pi$
④ $\frac{10{,}000}{3}\pi$

정답 2번

출제 포인트

구형 물체가 유체 속에 완전히 잠겼을 때 작용하는 부력의 크기를 아르키메데스의 원리로 계산할 수 있는지를 묻는다. 부력은 물체가 밀어낸 유체의 무게와 같으므로, 잠긴 부피와 유체 밀도, 중력가속도를 곱해 구한다.

조건 정리

구의 반지름 $r = 50\text{ cm} = 0.5\text{ m}$, 물의 밀도 $\rho = 1{,}000\text{ kgm}^{-3}$, 중력가속도 $g = 10\text{ ms}^{-2}$이다. 물체가 물속에 완전히 잠겨 있으므로 잠긴 부피는 구 전체의 부피와 같다.

사용할 공식

부력 $F_B = \rho g V$이며, 구의 부피는 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$이다.

계산 과정

구의 부피를 먼저 구하면 $V = \frac{4}{3}\pi(0.5)^3 = \frac{4}{3}\pi \times 0.125 = \frac{\pi}{6}\text{ m}^3$이다. 이를 부력 공식에 대입하면
$F_B = \rho g V = 1{,}000 \times 10 \times \frac{\pi}{6} = \frac{10{,}000}{6}\pi = \frac{5{,}000}{3}\pi\text{ N}$이 된다.

선지 판단

① $\frac{2{,}500}{3}\pi$ → 부피 계산에서 반지름의 세제곱 대신 절반 값을 잘못 적용하는 등 계산값이 실제 부력의 절반이므로 틀린 값이다.
② $\frac{5{,}000}{3}\pi$ → 부피 $\frac{\pi}{6}\text{ m}^3$에 밀도와 중력가속도를 정확히 곱한 값과 일치하므로 옳다.
③ $2{,}500\pi$ → 실제 값보다 크며, 부피 계산 과정에서 계수 $\frac{4}{3}$을 빠뜨리거나 잘못 적용했을 때 나올 수 있는 값이므로 틀린 값이다.
④ $\frac{10{,}000}{3}\pi$ → 실제 부력의 2배에 해당하는 값으로, 부피 계산에서 반지름 대신 지름을 그대로 세제곱에 사용했을 때 나오는 값이므로 틀린 값이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 구의 부피 공식 $\frac{4}{3}\pi r^3$에서 반지름을 정확히 대입하지 않는 데 있다. 반지름 50 cm를 미터 단위인 0.5 m로 환산하지 않고 그대로 세제곱하거나, 지름과 반지름을 혼동하면 ①이나 ④ 같은 오답이 나온다. 또한 부피 공식의 계수 $\frac{4}{3}$을 빠뜨리면 ③과 같은 값이 나오므로 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

부력 문제는 항상 부력 공식 $F_B = \rho g V$에서 출발하고, 잠긴 부피를 정확히 구하는 데 집중한다. 도형이 구라면 반드시 단위를 미터로 통일한 뒤 $\frac{4}{3}\pi r^3$을 계산하고, 마지막에 밀도와 중력가속도를 곱한다.

암기 포인트

부력 $F_B = \rho g V$이며, 구의 부피 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$을 함께 기억해 둔다. 반지름 단위를 cm에서 m로 바꾸는 것을 빠뜨리지 않는다.

NoteBase

문 4. 단면적이 일정한 원통형 수평관을 흐르는 유체에 Hagen-Poiseuille 식을 적용하기 위한 조건으로 옳지 않은 것은?

① 정상상태 흐름이다.

② 유체는 비압축성이다.

③ 유체는 뉴튼 유체이다.

④ 유체의 흐름 축을 따라 속도분포가 변한다.

정답 4번

출제 포인트

Hagen-Poiseuille 식(원형관 층류 흐름에서 유량과 압력강하의 관계식)이 성립하기 위해 전제되는 가정을 정확히 알고 있는지 묻는다. 이 식은 특정 조건을 만족하는 층류 유동에서만 유도되므로, 어떤 조건이 그 전제에 포함되고 어떤 조건이 포함되지 않는지를 구분해야 한다.

핵심 개념

Hagen-Poiseuille 식이 성립하려면 다음이 전제된다. 첫째, 유동은 정상상태(시간에 따라 유속·압력이 변하지 않음)이다. 둘째, 유체는 비압축성(밀도 일정)이다. 셋째, 유체는 뉴튼 유체(전단응력이 속도구배에 비례하고 점도가 일정)이다. 넷째, 유동은 완전발달흐름(fully developed flow)이다. 완전발달흐름이란 관의 흐름 축(길이 방향)을 따라 속도분포(포물선 형태의 속도 프로파일)가 더 이상 변하지 않고 일정하게 유지되는 상태를 뜻한다. 관 입구 부근에서는 속도분포가 축을 따라 변하는 입구영역(entrance region)이 존재하지만, Hagen-Poiseuille 식은 이 입구영역을 벗어난 완전발달 구간에만 적용된다.

선지별 해설

① 정상상태 흐름이다. → O. Hagen-Poiseuille 식은 시간에 따라 유동 특성이 변하지 않는 정상상태를 전제로 유도된다.
② 유체는 비압축성이다. → O. 밀도가 일정한 비압축성 유체를 가정하여 연속방정식과 운동량 방정식을 단순화한다.
③ 유체는 뉴튼 유체이다. → O. 전단응력과 속도구배가 선형 관계(점도 일정)인 뉴튼 유체를 가정해야 포물선형 속도분포 해가 성립한다.
④ 유체의 흐름 축을 따라 속도분포가 변한다. → X. 옳지 않은 설명이다. Hagen-Poiseuille 식은 완전발달흐름을 전제로 하므로, 흐름 축(관의 길이 방향)을 따라 속도분포가 변하지 않고 일정하게 유지되어야 한다. 속도분포가 축을 따라 변하는 구간은 입구영역이며, 이 구간에는 Hagen-Poiseuille 식이 적용되지 않는다.

NoteBase

오답 포인트

완전발달흐름의 의미를 반대로 이해하면 오답을 고르게 된다. '완전히 발달했다'는 것은 속도분포가 축 방향으로 더 이상 변화하지 않고 고정된 형태(포물선)를 유지한다는 뜻이지, 계속 변화한다는 뜻이 아니다. 관 입구 근처처럼 속도분포가 축을 따라 계속 변하는 구간은 오히려 Hagen-Poiseuille 식이 적용되지 않는 예외 구간이다.

다시 나오면 이렇게 판단

선지에 '축을 따라 속도분포가 변한다/변하지 않는다'는 표현이 나오면 완전발달흐름 여부를 묻는 것으로 보고, Hagen-Poiseuille 식은 속도분포가 축 방향으로 변하지 않는(고정된) 완전발달 구간에서만 성립한다는 점을 기준으로 판단한다.

암기 포인트

Hagen-Poiseuille 식 4대 전제: 정상상태, 비압축성, 뉴튼 유체, 완전발달흐름(속도분포가 축 방향으로 불변).

NoteBase

문 5. 운동량 확산도(momentum diffusivity)와 물질 확산도(mass diffusivity)가 서로 같을 때, 1의 값을 갖는 무차원 인자는?

① Lewis 수

② Grashof 수

③ Schmidt 수

④ Sherwood 수

정답 3번

출제 포인트

운동량 전달과 물질 전달을 연결하는 무차원수들 중, 두 확산도(운동량 확산도인 동점성계수 ν와 물질 확산도 D_{AB})의 비로 정의되는 인자를 찾는 문제이다. 두 확산도가 같아지면 그 비가 1이 되므로, 정의 자체가 ν/D_{AB} 형태인 무차원수를 골라내면 풀린다.

조건 정리

운동량 확산도(momentum diffusivity) = 동점성계수 $\nu = \mu/\rho$. 물질 확산도(mass diffusivity) = D_{AB}. 두 값이 서로 같다는 조건, 즉 $\nu = D_{AB}$일 때 값이 1이 되는 무차원 인자를 고른다.

사용할 공식

Schmidt 수의 정의: Sc = (ν)/(D_AB) = 운동량 확산도물질 확산도 참고로 Lewis 수 $Le = \alpha/D_{AB}$(열확산도 대 물질확산도), Grashof 수 $Gr = g\beta\Delta T L^3/\nu^2$(부력 대 점성력), Sherwood 수 $Sh = k_c L/D_{AB}$(대류 물질전달 대 확산 물질전달)이다.

계산 과정

$Sc = \nu/D_{AB}$에서 조건대로 $\nu = D_{AB}$를 대입하면 $Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} = 1$ 이 되어, 운동량 확산도와 물질 확산도가 같을 때 Schmidt 수가 정확히 1의 값을 갖는다.

선지 판단

① Lewis 수: $Le = \alpha/D_{AB}$로 열확산도와 물질확산도의 비이며 운동량 확산도와는 무관하다 → X. ② Grashof 수: 부력과 점성력의 비로 정의되며 운동량 확산도와 물질 확산도의 비 형태가 아니다 → X. ③ Schmidt 수: $Sc = \nu/D_{AB}$로 운동량 확산도와 물질 확산도의 비이므로 두 값이 같으면 정확히 1이 된다 → O. ④ Sherwood 수: 대류 물질전달계수와 확산 물질전달계수의 비로, 확산도들의 비 형태가 아니다 → X.

NoteBase

오답 포인트

Lewis 수를 고르는 실수는 '확산도 비'라는 이름만 보고 물질 확산도와 짝지어지는 다른 확산도(열확산도)를 운동량 확산도로 착각하는 경우에 나온다. Le는 열/물질 확산도의 비이지 운동량/물질 확산도의 비가 아님을 구분해야 한다. Grashof 수와 Sherwood 수는 애초에 두 확산도의 단순 비 형태가 아니라 다른 물리량(부력·점성력, 대류·확산 물질전달계수)의 비이므로 소거된다.

다시 나오면 이렇게 판단

'확산도가 같을 때 1이 되는 무차원수'라는 표현이 나오면, 우선 어떤 두 확산도인지(운동량-물질, 열-물질, 운동량-열)를 확인한 뒤 그 조합에 대응하는 무차원수를 짝짓는다. 운동량-물질 확산도 비는 Schmidt 수, 열-물질 확산도 비는 Lewis 수, 운동량-열 확산도 비는 Prandtl 수이다.

암기 포인트

Schmidt 수 $Sc = \nu/D_{AB}$ = 운동량 확산도 / 물질 확산도, Prandtl 수 $Pr = \nu/\alpha$ = 운동량 확산도 / 열 확산도, Lewis 수 $Le = \alpha/D_{AB}$ = 열 확산도 / 물질 확산도로 세 확산도 비 무차원수를 세트로 묶어 외워 둔다.

NoteBase

문 6. 수평 방향으로 평행한 두 평판 사이의 간격이 10 cm이다. 아래쪽 평판은 정지되어 있고 평판 사이에 점도가 1 cP인 물이 채워져 있다. 위쪽 평판을 수평 방향으로 $10 \mathrm{cms}^{-1}$의 일정한 속도로 움직일 때, 전단응력의 크기[Nm^{-2}]는?

① 0.001

② 0.01

③ 0.1

④ 1

정답 1번

출제 포인트

정지된 아래 평판과 일정 속도로 움직이는 위 평판 사이에 뉴턴 유체(물)가 채워진 평행평판 유동(Couette 유동)에서, 뉴턴의 점성법칙을 이용해 전단응력의 크기를 계산하는 문제이다. 단위를 SI 단위계로 정확히 환산하는 것이 핵심이다.

조건 정리

평판 사이 간격 $h = 10\ \mathrm{cm} = 0.1\ \mathrm{m}$. 아래 평판은 정지, 위 평판은 수평 방향으로 일정 속도 $V = 10\ \mathrm{cms}^{-1} = 0.1\ \mathrm{ms}^{-1}$로 이동한다. 유체의 점도 $\mu = 1\ \mathrm{cP} = 1 \times 10^{-3}\ \mathrm{Pa \cdot s} = 1 \times 10^{-3}\ \mathrm{Nsm}^{-2}$이다. 두 평판 사이 간격이 좁고 정상 상태이므로 속도분포는 선형이라고 볼 수 있다.

사용할 공식

뉴턴의 점성법칙에 의해 전단응력은 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$로 주어진다. 속도분포가 선형(Couette 유동)이므로 속도구배는 $\frac{du}{dy} = \frac{V}{h}$로 근사할 수 있고, 따라서 $\tau = \mu \frac{V}{h}$이다.

계산 과정

속도구배를 먼저 구하면 $\frac{V}{h} = \frac{0.1\ \mathrm{ms}^{-1}}{0.1\ \mathrm{m}} = 1\ \mathrm{s}^{-1}$이다. 이를 뉴턴의 점성법칙에 대입하면 $\tau = \mu \frac{V}{h} = (1 \times 10^{-3}\ \mathrm{Nsm}^{-2}) \times (1\ \mathrm{s}^{-1}) = 1 \times 10^{-3}\ \mathrm{Nm}^{-2}$이다. 즉 전단응력의 크기는 0.001 N m^{-2}이다.

선지 판단

① 0.001 → O, 계산 결과 $\tau = 1 \times 10^{-3}\ \mathrm{Nm}^{-2}$와 정확히 일치한다.

② 0.01 → X, 점도를 $1\ \mathrm{cP} = 1 \times 10^{-2}\ \mathrm{Pa \cdot s}$로 잘못 환산하거나 단위 환산 과정에서 자릿수를 하나 틀리면 나오는 값이다.

③ 0.1 → X, 간격이나 속도의 cm 단위를 m로 환산하지 않고 그대로 계산하면 나올 수 있는 값이다.

④ 1 → X, 점도를 SI 단위로 환산하지 않고 $\mu = 1$로 그대로 사용해 계산하면 나오는 값이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 점도 단위 cP(centipoise)와 길이·속도 단위 cm를 SI 단위(Pa·s, m, m/s)로 정확히 환산하지 않는 데 있다. $1\ \text{cP} = 1 \times 10^{-3}\ \text{Pa}\cdot\text{s}$라는 환산값을 놓치면 자릿수가 어긋난 오답(②, ④)을 고르게 되고, 간격과 속도의 cm를 m로 바꾸지 않으면 ③과 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행평판 사이 뉴턴 유체 전단응력 문제는 항상 먼저 모든 값을 SI 단위(m, m/s, Pa·s)로 통일한 다음 $\tau = \mu V/h$를 적용한다. 속도분포가 선형이라는 가정(간격이 좁은 정상 Couette 유동)을 확인하고 속도구배를 V/h로 바로 계산한다.

암기 포인트

뉴턴의 점성법칙 $\tau = \mu \frac{du}{dy}$와 평행평판 사이 선형 속도분포에서의 근사식 $\tau = \mu V/h$를 기억해 둔다. 점도 단위 환산값 $1\ \text{cP} = 1 \times 10^{-3}\ \text{Pa}\cdot\text{s} = 1 \times 10^{-3}\ \text{Nsm}^{-2}$을 정확히 외워 둔다.

NoteBase

문 7. 면적이 $1{,}000\text{cm}^2$이고 두께가 0.5cm인 고체 판넬이 있다. 정상 상태에서 열이 3Js^{-1}의 속도로 전도되는 동안 판넬 양쪽 표면의 온도가 각각 $24\,^\circ\text{C}$와 $26\,^\circ\text{C}$로 유지될 때, 고체 판넬의 열전도도 $[\text{calcm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}]$는? (단, 1J는 0.24cal, 판넬과 수직인 방향으로의 열전도만 고려하고, 주어진 온도 범위에서 판넬의 열전도도는 상수이다)

① 1.8×10^{-4}

② 7.5×10^{-4}

③ 2.7×10^{-3}

④ 7.7×10^{-3}

정답 1번

출제 포인트

정상상태 1차원 평판 전도에서 푸리에의 법칙 $q = kA\frac{\Delta T}{L}$을 이용해 열전도도 k를 구하는 문제이다. 단위 환산(J → cal)과 대입 순서를 정확히 지키는지가 관건이다.

조건 정리

면적 $A = 1{,}000\ \text{cm}^2$, 두께 $L = 0.5\ \text{cm}$, 열전달량 $q = 3\ \text{J s}^{-1}$, 양쪽 표면 온도차 $\Delta T = 26 - 24 = 2\ \text{K}$이며, $1\ \text{J} = 0.24\ \text{cal}$이므로 $q = 3 \times 0.24 = 0.72\ \text{cal s}^{-1}$로 환산한다.

사용할 공식

정상상태 평판을 통한 전도열전달은 $q = kA\frac{\Delta T}{L}$로 나타나며, 열전도도는 $k = \frac{qL}{A\Delta T}$로 구한다.

계산 과정

단위를 cal 기준으로 맞춘 $q = 0.72\ \text{cal s}^{-1}$를 대입하면
$k = \frac{0.72 \times 0.5}{1{,}000 \times 2} = \frac{0.36}{2{,}000} = 1.8 \times 10^{-4}\ \text{cal cm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{K}^{-1}$가 된다.

선지 판단

① 1.8 × 10^-4: O, 계산 결과와 정확히 일치한다.
② 7.5 × 10^-4: X, J 단위를 cal로 환산하지 않고 계산하거나 다른 수치를 잘못 대입한 경우 나올 수 있는 값으로 정답과 다르다.
③ 2.7 × 10^-3: X, 두께나 면적을 잘못 대입했을 때 나오는 값으로 정답보다 자릿수가 크다.
④ 7.7 × 10^-3: X, 온도차나 단위 환산을 누락한 경우의 오답으로 정답과 일치하지 않는다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 q를 J 단위 그대로(3 J/s) 대입해 cal로 환산하지 않는 것이다. 이 경우 $k = \frac{3 \times 0.5}{1{,}000 \times 2} = 7.5 \times 10^{-4}$가 되어 ②로 이어진다. 또한 면적과 두께의 단위를 cm 기준으로 그대로 써야 하는데 임의로 m 단위 등으로 바꾸면 자릿수가 크게 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

전도 문제는 먼저 요구하는 답의 단위(cal, K, cm 등)를 확인하고, 주어진 물리량의 단위를 그 요구 단위로 전부 통일한 뒤 공식에 대입한다. 온도차는 섭씨 값의 차이를 그대로 켈빈 차이로 써도 무방하다.

암기 포인트

평판 정상상태 전도: $q = kA\frac{\Delta T}{L}$, 따라서 $k = \frac{qL}{A\Delta T}$. 단위 환산(1 J = 0.24 cal)을 대입 전에 먼저 처리해 둔다.

NoteBase

문 8. 양끝이 열린 지름 2mm의 유리관을 순수한 물이 들어 있는 용기에 수직으로 넣을 때 유리관에서 상승하는 물의 높이[cm]는? (단, 유리면에서 물의 접촉각은 0°, 중력가속도는 10ms^{-2}, 물의 밀도와 표면장력은 각각 $1{,}000\text{kgm}^{-3}$, 0.1Nm^{-1}이다)

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 2번

출제 포인트

모세관 현상(capillarity)에 의한 액체 상승 높이를 계산하는 문제이다. 표면장력, 접촉각, 유체 밀도, 관 지름이 주어졌을 때 힘의 평형으로부터 상승 높이 공식을 세울 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

관 지름 $d = 2\ \text{mm} = 0.002\ \text{m}$, 반지름 $r = 0.001\ \text{m}$. 접촉각 $\theta = 0^\circ$이므로 $\cos\theta = 1$. 중력가속도 $g = 10\ \text{m/s}^2$. 물의 밀도 $\rho = 1{,}000\ \text{kg/m}^3$. 표면장력 $\sigma = 0.1\ \text{N/m}$.

사용할 공식

유리관 내벽을 따라 작용하는 표면장력의 수직 성분이 상승한 물기둥의 무게를 지지하는 힘의 평형에서 모세관 상승 높이 공식이 유도된다.

$$h = \frac{4\sigma\cos\theta}{\rho g d} = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g r}$$

계산 과정

값을 대입한다.

$$h = \frac{4 \times 0.1 \times 1}{1{,}000 \times 10 \times 0.002}$$

분자는 $4 \times 0.1 \times 1 = 0.4$, 분모는 $1{,}000 \times 10 \times 0.002 = 20$이다.

$$h = \frac{0.4}{20} = 0.02\ \text{m}$$

단위를 cm로 바꾸면 $h = 2\ \text{cm}$이다.

선지 판단

① 1: 계산값 2 cm와 맞지 않으므로 틀렸다.

② 2: 공식에 값을 대입해 계산한 상승 높이가 2 cm이므로 옳다.

③ 3: 계산값 2 cm와 맞지 않으므로 틀렸다.

④ 4: 계산값 2 cm와 맞지 않으므로 틀렸다.

NoteBase

오답 포인트

지름 d를 그대로 분모에 넣지 않고 반지름 r로 착각해 두 배로 계산하면 4 cm가 나와 ④를 고르는 오류가 생긴다. 반대로 반지름 공식(분모에 r)을 쓰면서 지름 값을 그대로 대입하면 절반인 1 cm가 나와 ①을 고르는 오류가 생긴다. 접촉각이 0 °라 $\cos\theta = 1$이 되어 식에서 사라진다는 점과, 공식이 지름 기준인지 반지름 기준인지를 혼동하지 않는 것이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

모세관 상승 문제는 먼저 지름과 반지름 중 무엇이 주어졌는지 확인하고, 지름 기준 공식 $h = 4\sigma\cos\theta/(\rho g d)$와 반지름 기준 공식 $h = 2\sigma\cos\theta/(\rho g r)$을 헷갈리지 않게 구분해서 적용한다. 접촉각이 0°로 주어지면 $\cos\theta = 1$로 단순화되므로 계산이 쉬워진다는 점을 활용한다.

암기 포인트

모세관 상승 공식: $h = \frac{4\sigma\cos\theta}{\rho g d}$ (지름 기준) 또는 $h = \frac{2\sigma\cos\theta}{\rho g r}$ (반지름 기준). 표면장력이 클수록, 관이 가늘수록(지름이 작을수록) 상승 높이가 커진다.

NoteBase

문 9. 단열된 용기 안에 있는 $50^\circ C$의 유체 $100kg$에 $500^\circ C$의 강철 $10kg$을 넣어 열평형에 도달하였을 때, 유체와 강철의 평형온도[℃]는? (단, 유체와 강철의 비열은 각각 $1.4 kJkg^{-1}K^{-1}$, $1.0 kJkg^{-1}K^{-1}$이다)

① 10

② 14

③ 48

④ 80

정답 4번

출제 포인트

단열된 용기 안에서 두 물체가 섞여 열평형에 도달하는 문제이다. 외부와 열 출입이 없으므로 두 물체 사이에서 잃은 열량과 얻은 열량이 서로 같다는 에너지 보존식을 세워 평형온도를 구하는 것이 핵심이다.

조건 정리

유체: 질량 $m_1 = 100$ kg, 비열 $c_1 = 1.4$ $kJkg^{-1}K^{-1}$, 초기온도 $T_1 = 50^\circ C$. 강철: 질량 $m_2 = 10$ kg, 비열 $c_2 = 1.0$ $kJkg^{-1}K^{-1}$, 초기온도 $T_2 = 500^\circ C$. 용기가 단열되어 있으므로 두 물체가 주고받은 열량의 합은 0이며, 최종 평형온도 T를 구한다.

사용할 공식

에너지 보존(열량 보존): $m_1 c_1 (T - T_1) + m_2 c_2 (T - T_2) = 0$ 이 식은 온도가 낮은 유체가 얻은 열량과 온도가 높은 강철이 잃은 열량이 크기는 같고 부호만 반대라는 의미이다.

계산 과정

식에 값을 대입하면 $100 \times 1.4 \times (T - 50) + 10 \times 1.0 \times (T - 500) = 0$ 이다. 전개하면
$140(T - 50) + 10(T - 500) = 0$ $140T - 7000 + 10T - 5000 = 0$ $150T = 12000$ $T = 80$ $(^\circ C)$
유체의 열용량($100 \times 1.4 = 140$ kJ/K)이 강철의 열용량($10 \times 1.0 = 10$ kJ/K)보다 훨씬 크므로, 평형온도가 유체의 초기온도인 50℃ 쪽에 가깝게 형성된다는 점도 결과와 일치한다.

선지 판단

① 10 → X, 유체의 초기온도(50℃)보다도 낮은 값이라 물리적으로 불가능하다.
② 14 → X, 열용량비를 반영하지 않고 단순 비열 값만으로 계산한 경우 나올 수 있는 오답이다.
③ 48 → X, 두 물체의 질량을 서로 바꾸어 계산하거나 비열을 반대로 대입했을 때 나오는 값으로 실제 평형온도와 다르다.
④ 80 → O, 열량 보존식을 올바르게 세워 풀면 평형온도는 80℃이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 두 물체의 열용량(질량×비열) 차이가 크다는 점을 놓치는 것이다. 강철의 초기온도가 훨씬 높다고 해서 평형온도가 두 온도의 단순 평균이나 중간값 근처일 것이라고 짐작하면 안 된다. 유체의 열용량(140 kJ/K)이 강철의 열용량(10 kJ/K)보다 14배나 크기 때문에 평형온도는 유체의 초기온도 쪽으로 크게 치우친다. 또한 부호를 잘못 잡아 두 항을 더하지 않고 빼는 실수도 흔하므로 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

단열 용기 안에서 두 물체를 섞어 평형온도를 구하는 문제는 항상 $m_1c_1(T-T_1)+m_2c_2(T-T_2)=0$ 형태의 열량 보존식을 먼저 세운다. 대입 후 정리하면 T에 대한 1차방정식이 되므로 계수(열용량)를 정확히 곱해 계산하고, 열용량이 큰 쪽의 초기온도에 평형온도가 더 가깝게 나오는지로 결과를 검산한다.

암기 포인트

열평형 계산 공식: $m_1c_1(T-T_1)+m_2c_2(T-T_2)=0$ 열용량이 큰 물체의 온도 변화폭이 작고, 열용량이 작은 물체의 온도 변화폭이 크다는 것을 기억해 둔다.

NoteBase

문 10. 호수의 수면 온도가 300K으로 유지될 때, 물에 용해된 공기의 몰분율은? (단, 300K에서 물의 포화증기압은 2.0kPa, 300K에서 물에 용해되는 공기의 Henry 상수는 70,000 bar, 호수 수면에서 대기압은 100kPa이며, 공기와 수증기는 모두 이상기체이다)

① 1.4×10^{-6}

② 7.0×10^{-6}

③ 1.4×10^{-5}

④ 7.0×10^{-5}

정답 3번

출제 포인트

기체-액체 평형에서 Henry 법칙을 이용해 액체(물)에 용해된 기체(공기)의 몰분율을 구하는 문제이다. 호수 수면에서는 대기(공기+수증기)와 물이 평형을 이루므로, 대기의 전체 압력 중 수증기가 차지하는 분압을 빼면 공기의 분압을 얻을 수 있고, 이 공기 분압을 Henry 상수로 나누면 물에 용해된 공기의 몰분율이 된다.

조건 정리

수면 온도 $T = 300\ \text{K}$, 수면에서의 대기압(전압) $P = 100\ \text{kPa}$, 300 K에서 물의 포화증기압 $P_{H_2O}^{sat} = 2.0\ \text{kPa}$, 공기의 Henry 상수 $H = 70{,}000\ \text{bar}$. 대기가 이상기체이므로 Dalton의 분압 법칙에 따라 전압은 공기 분압과 수증기 분압의 합이다.

사용할 공식

Dalton의 분압 법칙: $P = p_{air} + p_{H_2O}$. 기액 평형 시 기상의 수증기 분압은 그 온도의 포화증기압과 같다: $p_{H_2O} = P_{H_2O}^{sat}$. Henry 법칙: $p_{air} = H \cdot x_{air}$, 여기서 x_{air}는 액상(물)에 용해된 공기의 몰분율이다.

계산 과정

먼저 공기의 분압을 구한다.

$p_{air} = P - P_{H_2O}^{sat} = 100\ \text{kPa} - 2.0\ \text{kPa} = 98\ \text{kPa}$

Henry 상수의 단위를 압력 단위로 통일한다.

$H = 70{,}000\ \text{bar} = 70{,}000 \times 100\ \text{kPa} = 7{,}000{,}000\ \text{kPa}$

Henry 법칙에서 몰분율을 구한다.

$x_{air} = \frac{p_{air}}{H} = \frac{98\ \text{kPa}}{7{,}000{,}000\ \text{kPa}} = 1.4 \times 10^{-5}$

NoteBase

선지 판단

① 1.4×10^{-6} → 자릿수를 잘못 맞춘 값(계산 과정에서 10배 축소)이다. X
② 7.0×10^{-6} → 공기 분압을 100 kPa로(수증기압을 빼지 않고) 계산하면서 동시에 자릿수도 틀린 값이다. X
③ 1.4×10^{-5} → 공기 분압 98 kPa을 Henry 상수 7,000,000 kPa로 나눈 값과 정확히 일치한다. O
④ 7.0×10^{-5} → 수증기압을 빼지 않고 전압 100 kPa을 그대로 Henry 상수로 나누면 나오는 값(자릿수까지 어긋남)이다. X

오답 포인트

가장 흔한 실수는 전압 100 kPa을 그대로 Henry 법칙에 대입하는 것이다. 그러나 Henry 법칙의 분압은 순수하게 용해되는 기체(공기) 자체의 분압이므로, 반드시 전압에서 그 온도의 포화증기압을 먼저 빼주어야 한다. 또한 Henry 상수의 단위(bar)와 분압의 단위(kPa)를 통일하지 않고 그대로 나누면 100배 차이가 나는 오답(①, ②)이 나오므로 단위 환산을 빠뜨리지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

호수·용기 등 기액 평형 문제에서 '대기압'이 주어지고 동시에 '포화증기압'이 주어지면, 이는 전압에서 수증기 분압을 제외한 나머지가 용해되는 기체의 분압이라는 신호이다. 이후 Henry 법칙 $p = Hx$에 단위를 통일하여 대입하면 몰분율을 구할 수 있다.

암기 포인트

Henry 법칙 $p_i = Hx_i$에서 p_i는 용해되는 성분 자체의 분압임을 기억한다. 수증기가 함께 존재하는 계에서는 전압에서 포화증기압을 뺀 값이 그 성분의 분압이 되고, Henry 상수의 압력 단위(bar)는 분압 단위(kPa)와 반드시 통일해서 계산한다(1 bar = 100 kPa).

NoteBase

문 11. 고체 또는 액체 원료에 함유된 특정한 가용성 용질을 용매로 용해시켜 분리하는 공정은?

① 흡착

② 추출

③ 응축

④ 증류

정답 2번

출제 포인트

고체 또는 액체 원료 속에 들어 있는 특정 성분(가용성 용질)을 별도의 용매를 이용해 녹여내어 분리하는 조작이 무엇인지 묻는 문제이다. 흡착·추출·응축·증류라는 대표적 분리 조작의 원리 차이를 구분할 수 있는지가 핵심이다.

핵심 개념

추출은 원료(고체 또는 액체)에 함유된 특정 가용성 성분을 그 성분을 잘 녹이는 용매와 접촉시켜 용매 쪽으로 이동시킨 뒤, 용매와 원료(또는 잔류상)를 분리해 원하는 성분을 얻는 조작이다. 고체 원료에서 용매로 용질을 녹여내는 경우를 침출(고체-액체 추출)이라 하고, 액체 원료에서 다른 용매로 용질을 옮기는 경우를 액체-액체 추출이라 하는데, 두 경우 모두 '용매에 용해시켜 분리한다'는 원리는 같다. 반면 흡착은 유체 속 성분이 고체 표면에 달라붙어 제거되는 조작으로 용매에 녹이는 것이 아니고, 응축은 증기를 냉각시켜 액체로 상변화시키는 조작이며, 증류는 끓는점 차이를 이용해 액체 혼합물을 기화·응축시켜 분리하는 조작이다.

선지별 해설

① 흡착: X. 흡착은 기체나 액체 속의 특정 성분이 활성탄 등 고체 표면에 물리적·화학적으로 달라붙어 분리되는 조작으로, 용매에 용해시키는 원리가 아니다.
② 추출: O. 원료에 들어 있는 가용성 용질을 그 용질을 잘 녹이는 용매와 접촉시켜 용매 쪽으로 용해·이동시킨 후 두 상을 분리하는 조작으로, 발문의 정의와 정확히 일치한다.
③ 응축: X. 응축은 기체(증기) 상태의 물질을 냉각하여 액체로 상변화시키는 조작이며, 용질을 용매에 녹여 분리하는 것과는 원리가 다르다.
④ 증류: X. 증류는 액체 혼합물을 구성 성분의 끓는점(휘발도) 차이를 이용해 기화와 응축을 반복하여 분리하는 조작으로, 별도의 용매를 사용하지 않는다.

오답 포인트

흡착과 추출을 혼동하기 쉬운데, 흡착은 고체 표면에 성분이 달라붙는 조작이고 추출은 성분이 용매 속으로 녹아 들어가는 조작이라는 차이를 기억해야 한다. 또한 증류와 추출을 혼동하기 쉬운데, 증류는 끓는점 차이(상변화)를 이용하고 추출은 용해도 차이(별도 용매 사용)를 이용한다는 점에서 원리가 다르다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

발문에 '용매로 용해시켜 분리'라는 표현이 나오면 곧바로 추출(또는 침출)을 떠올린다. '끓는점 차이'가 나오면 증류, '고체 표면에 부착'이 나오면 흡착, '냉각하여 액체화'가 나오면 응축으로 구분한다.

암기 포인트

추출=용해도 차이로 용매에 녹여 분리, 증류=끓는점 차이로 기화·응축시켜 분리, 흡착=고체 표면에 부착시켜 분리, 응축=냉각으로 상변화시켜 분리.

NoteBase

문 12. 기체흡수(gas absorption)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 흡수제는 용질에 대한 흡수능력이 커야 한다.

② 기체 중의 특정 성분을 흡수제로 처리하여 분리하는 과정이다.

③ 온도가 높을수록 기체의 용해도가 크므로 기체흡수는 고온일수록 좋다.

④ 세정기(scrubber)는 기체혼합물 중의 불필요한 성분을 물 등으로 세정하는 흡수장치이다.

정답 3번

출제 포인트

기체흡수(gas absorption) 조작의 기본 개념과, 온도가 기체의 용해도 및 흡수 성능에 미치는 영향을 정확히 알고 있는지를 묻는다. 기체흡수는 기체 혼합물 중 특정 성분(용질)을 액체 흡수제에 녹여 분리하는 조작으로, 흡수제의 흡수능력과 조작 온도가 성능을 좌우하는 핵심 변수이다.

핵심 개념

기체흡수는 기체 중 특정 성분을 흡수제(주로 액체)와 접촉시켜 그 성분을 액상으로 녹여내어 분리하는 물질전달 조작이다. 흡수능력이 큰 흡수제일수록 같은 조건에서 더 많은 용질을 흡수할 수 있어 흡수탑의 크기나 흡수제 사용량을 줄일 수 있다. 기체의 액체에 대한 용해도는 일반적으로 온도가 높아질수록 감소한다(발열 용해 과정이므로 온도 상승은 용해에 불리하게 작용한다). 따라서 기체흡수 조작은 저온일수록 유리하며, 실제 흡수탑도 가급적 낮은 온도에서 운전하여 흡수 효율을 높인다. 세정기(scrubber)는 기체혼합물 중 불필요한 성분(분진, 유해가스 등)을 물이나 액체 흡수제로 씻어내는 대표적인 기체흡수 장치이다.

선지별 해설

① 흡수제는 용질에 대한 흡수능력이 커야 한다. → O. 흡수제의 흡수능력(용해도, 선택도)이 클수록 적은 양의 흡수제로도 효율적인 분리가 가능하므로 옳은 설명이다.
② 기체 중의 특정 성분을 흡수제로 처리하여 분리하는 과정이다. → O. 기체흡수의 정의 그 자체로 옳은 설명이다.
③ 온도가 높을수록 기체의 용해도가 크므로 기체흡수는 고온일수록 좋다. → X. 틀린 표현 → 올바른 표현: 기체의 용해도는 온도가 높을수록 오히려 감소하므로, 기체흡수는 고온일수록 좋은 것이 아니라 저온일수록 유리하다.
④ 세정기(scrubber)는 기체혼합물 중의 불필요한 성분을 물 등으로 세정하는 흡수장치이다. → O. 세정기의 정의와 기능을 정확히 설명하고 있어 옳은 설명이다.

NoteBase

오답 포인트

기체의 용해도와 온도의 관계를 반대로 암기하면 이런 유형의 문제에서 함정에 빠지기 쉽다. 온도가 오르면 용해도가 커진다고 잘못 생각하면 ③을 옳은 설명으로 착각하게 된다. 기체흡수는 발열 과정에 가까운 용해 현상이므로 온도가 낮을수록 용해도가 커지고 흡수 성능이 좋아진다는 방향을 반드시 반대로 기억하지 않도록 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체흡수 문제에서 온도 조건이 등장하면 먼저 '기체의 용해도는 온도가 낮을수록 커진다'는 원칙을 떠올린 뒤, 선지가 이 방향과 일치하는지부터 확인한다. 저온일수록 흡수에 유리하다는 방향과 반대로 서술된 선지가 있으면 그 선지를 옳지 않은 설명으로 우선 의심한다.

암기 포인트

기체흡수: 저온·고압일수록 용해도 증가 → 흡수에 유리(고온일수록 좋다는 서술은 틀림). 흡수제는 흡수능력이 커야 하고, 세정기(scrubber)는 물 등으로 불필요한 성분을 씻어내는 대표적 흡수장치이다.

NoteBase

문 13. 원통형 수평관에 흐르는 비압축성 유체의 완전발달 층류 흐름에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 중심선에서 속도가 최대이다.

② 헤드손실(head loss)은 점도에 비례한다.

③ 마찰계수는 Reynolds 수에 비례한다.

④ 관 중심에서의 유속이 10ms^{-1}일 때, 평균 유속은 5ms^{-1}이다.

정답 3번

출제 포인트

원통형 수평관 내 비압축성 유체의 완전발달 층류(Hagen-Poiseuille 흐름)에서 속도분포, 헤드손실, 마찰계수, 평균속도의 관계를 정확히 아는지 묻는 문항이다.

조건 정리

원통형 수평관, 비압축성 유체, 완전발달 층류(층류이므로 Reynolds 수는 임계값 이하이고 포물선형 속도분포를 가진다)이다.

사용할 공식

층류의 속도분포는 $u(r) = u_{max}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$이며 평균속도는 $\bar{u} = \frac{u_{max}}{2}$이다. 헤드손실은 Hagen-Poiseuille 식 $h_L = \frac{32\mu L\bar{u}}{\rho g D^2}$로 점도 μ에 비례한다. 층류의 마찰계수(Darcy 마찰계수)는 $f = \frac{64}{Re}$이다.

계산 과정

① 포물선형 속도분포 $u(r) = u_{max}(1 - r^2/R^2)$에서 $r = 0$(중심선)일 때 $u = u_{max}$로 속도가 최대이므로 옳은 설명이다. ② Hagen-Poiseuille 식에서 헤드손실 h_L은 점도 μ에 정비례하므로 옳은 설명이다. ③ 층류의 마찰계수는 $f = 64/Re$로 Reynolds 수에 반비례한다. 즉 Reynolds 수가 커질수록 마찰계수는 작아지므로 "비례한다"는 설명은 옳지 않다. ④ 층류에서 평균속도는 최대속도(중심속도)의 절반이므로 중심 유속이 10ms^{-1}이면 평균 유속은 5ms^{-1}이 되어 옳은 설명이다.

선지 판단

① O — 완전발달 층류의 포물선형 속도분포에서 중심선의 속도가 최대이다.
② O — 헤드손실은 점도에 정비례한다(Hagen-Poiseuille 식).
③ X → 마찰계수는 Reynolds 수에 비례하는 것이 아니라 $f = 64/Re$로 반비례한다.
④ O — 층류의 평균속도는 중심(최대)속도의 절반이므로 중심 유속 10 m/s일 때 평균 유속은 5 m/s이다.

NoteBase

오답 포인트

마찰계수가 Reynolds 수와 비례관계라고 착각하기 쉬운데, 층류에서는 $f = 64/Re$로 반비례 관계임을 혼동하지 않아야 한다. 또한 난류의 마찰계수 상관식(Moody 선도 등 경험식)과 층류의 마찰계수 공식을 구분해서 기억해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

완전발달 층류 문제에서는 먼저 속도분포가 포물선형이라는 점, 평균속도가 최대속도의 절반이라는 점, 헤드손실이 점도·유량·길이에 비례하고 관지름의 네제곱에 반비례한다는 점, 마찰계수가 $64/Re$로 Reynolds 수에 반비례한다는 점을 순서대로 점검한다.

암기 포인트

층류 마찰계수 $f = 64/Re$(Reynolds 수에 반비례), 평균속도 $\bar{u} = u_{max}/2$, 헤드손실은 점도에 비례(Hagen-Poiseuille)라는 세 가지 관계를 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 14. 290 K, 830 kNm^{-2}에서 공기의 밀도[kgm^{-3}]는? (단, 공기의 분자량은 29 $gmol^{-1}$, 기체상수는 8.3 $Jmol^{-1}K^{-1}$, 공기는 이상기체이다)

① 0.01

② 0.1

③ 1

④ 10

정답 4번

출제 포인트

이상기체 상태방정식을 밀도 형태로 바꿔 쓸 수 있는지를 묻는다. 온도·압력·분자량·기체상수가 주어졌을 때 공기의 밀도를 직접 계산하는 문제이다.

조건 정리

온도 $T = 290\text{K}$, 압력 $P = 830\text{kNm}^{-2}$, 분자량 $M = 29\text{gmol}^{-1} = 29\text{kgkmol}^{-1}$, 기체상수 $R = 8.3\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1} = 8.3\text{kJkmol}^{-1}\text{K}^{-1}$이다. 공기는 이상기체로 가정한다. 단위를 kN, kg, kmol, kJ 계열로 맞추면 별도의 단위 환산 없이 바로 계산할 수 있다.

사용할 공식

이상기체 상태방정식 $PV = nRT$에서 몰수 $n = \frac{m}{M}$을 대입하면 $PV = \frac{m}{M}RT$가 되고, 밀도 $\rho = \frac{m}{V}$를 이용해 정리하면 $\rho = \frac{PM}{RT}$이다.

계산 과정

$\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{830 \times 29}{8.3 \times 290}$ 분자는 $830 \times 29 = 24{,}070$, 분모는 $8.3 \times 290 = 2{,}407$이므로
$\rho = \frac{24{,}070}{2{,}407} = 10\text{kgm}^{-3}$이다.

선지 판단

① 0.01 → 계산값과 자릿수가 세 자리 어긋난 값으로, 분자량이나 기체상수를 잘못 나눈 경우에 나올 수 있는 오답이다.
② 0.1 → 마찬가지로 자릿수를 잘못 처리했을 때 나오는 값이다.
③ 1 → 압력의 단위(kN)를 Pa로 잘못 환산해 1000배를 빠뜨리거나 더한 경우 나올 수 있는 값이다.
④ 10 → $\rho = \frac{PM}{RT} = \frac{830 \times 29}{8.3 \times 290} = 10\text{kgm}^{-3}$로 정확히 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 압력이 kN 단위, 기체상수가 J 단위로 서로 다른 접두어로 주어진다는 점이다. $1\,\mathrm{kNm^{-2}}$와 $1\,\mathrm{kJ}$는 둘 다 10^3 배 관계이므로, P를 kN으로 두고 R을 kJ/(kmol·K)로, M을 kg/kmol로 맞추면 10^3이 분자와 분모에서 서로 상쇄되어 별도 환산 없이 계산된다. 이를 모르고 P만 Pa로 환산하거나 M만 kg/mol로 두면 자릿수가 어긋나 ①·②·③ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 밀도 문제는 먼저 $\rho = \frac{PM}{RT}$ 형태로 정리한 뒤, 주어진 단위들의 접두어(k, m 등)가 분자와 분모에서 서로 상쇄되는지부터 확인한다. 압력이 kPa나 $\mathrm{kN/m^2}$ 단위이고 R이 J/(mol·K) 단위로 주어지면 M도 kg/kmol(=g/mol과 같은 숫자)로 두어 별도 환산 없이 바로 계산하는 것이 실수를 줄이는 방법이다.

암기 포인트

이상기체 밀도 공식 $\rho = \frac{PM}{RT}$을 기억해 둔다. 압력의 kN·kPa 단위와 기체상수의 kJ 단위는 서로 10^3 배로 상쇄되므로, 분자량을 kg/kmol(숫자는 g/mol과 동일)로 맞추면 단위 환산 없이 바로 계산된다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 15. 1 atm, 25°C에서 열전도도가 큰 물질부터 순서대로 바르게 나열한 것은?

① 알루미늄 > 수은 > 물 > 공기

② 수은 > 물 > 알루미늄 > 공기

③ 수은 > 알루미늄 > 물 > 공기

④ 공기 > 물 > 수은 > 알루미늄

정답 1번

출제 포인트

고체·액체·기체 각 물질의 열전도도(thermal conductivity) 크기를 상대적으로 비교할 수 있는지를 묻는다. 열전도도는 물질 내부에서 열이 전도로 전달되는 능력을 나타내는 물성치이며, 일반적으로 금속고체가 가장 크고 액체, 기체 순으로 작아진다.

핵심 개념

금속(특히 알루미늄, 구리, 은 등)은 자유전자가 열전달을 주도하여 열전도도가 매우 크다. 알루미늄의 열전도도는 약 200~240 W/(m·K) 수준이다. 수은은 상온에서 액체 금속이지만 일반 액체보다는 열전도도가 크고 고체 금속보다는 작아 약 8 W/(m·K) 내외이다. 물은 일반 액체로서 약 0.6 W/(m·K) 수준이며, 공기는 기체로서 분자 간 거리가 멀어 열전도도가 가장 작아 약 0.02~0.03 W/(m·K)에 불과하다. 즉 금속고체 > 액체금속 > 일반액체 > 기체 순으로 열전도도가 작아진다.

선지별 해설

① 알루미늄 > 수은 > 물 > 공기: 금속고체(알루미늄)가 가장 크고, 액체금속(수은)이 그다음이며, 일반 액체(물)와 기체(공기) 순으로 작아지는 실제 크기 순서와 일치한다. 정답이다.
② 수은 > 물 > 알루미늄 > 공기: 알루미늄을 물보다 뒤에 두고 있으나, 금속고체인 알루미늄의 열전도도가 액체인 물보다 월등히 크므로 순서가 틀렸다.
③ 수은 > 알루미늄 > 물 > 공기: 수은을 알루미늄보다 앞에 두고 있으나, 고체 금속인 알루미늄의 열전도도가 액체 금속인 수은보다 훨씬 크므로 순서가 틀렸다.
④ 공기 > 물 > 수은 > 알루미늄: 열전도도가 가장 작은 기체(공기)를 가장 크다고 하여 전체 순서가 완전히 뒤바뀌었으므로 틀렸다.

오답 포인트

수은은 상온에서 액체 상태이기 때문에 얼핏 물과 비슷한 수준으로 생각하기 쉽지만, 수은은 금속이므로 자유전자에 의한 열전달이 가능해 일반 액체인 물보다 열전도도가 훨씬 크다. 상(고체·액체·기체)만으로 판단하지 말고 금속인지 아닌지를 함께 고려해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

열전도도 비교 문제는 먼저 금속고체, 액체금속, 일반액체, 기체의 네 그룹으로 나누고 그룹 간 순서(금속고체 > 액체금속 > 일반액체 > 기체)를 적용한 다음, 같은 그룹 내에서는 구체적인 물질의 성질(예: 알루미늄·구리·은 등 금속 종류)을 비교하는 방식으로 접근한다.

암기 포인트

열전도도 크기 순서: 금속고체 > 액체금속(수은) > 일반액체(물) > 기체(공기). 알루미늄 > 수은 > 물 > 공기 순으로 기억해 둔다.

NoteBase

문 16. 25°C, 1기압 공기에서 물질 A의 확산계수가 0.08 cm^2s^{-1}이고 Schmidt 수가 2일 때, 공기의 동점도 $[cm^2s^{-1}]$는?

① 0.04

② 0.08

③ 0.12

④ 0.16

정답 4번

출제 포인트

Schmidt 수의 정의식을 이용해 동점도(운동점성도) ν를 확산계수 D_{AB}로부터 구하는 문제이다. Schmidt 수는 운동량 확산과 물질 확산의 상대적 크기를 비교하는 무차원수로, $Sc = \frac{\nu}{D_{AB}}$로 정의된다.

조건 정리

물질 A의 확산계수 $D_{AB} = 0.08\ \mathrm{cm^2 s^{-1}}$, Schmidt 수 $Sc = 2$이다. 구하는 값은 공기의 동점도 ν이다.

사용할 공식

$$Sc = \frac{\nu}{D_{AB}} \quad \Rightarrow \quad \nu = Sc \times D_{AB}$$

계산 과정

$$\nu = Sc \times D_{AB} = 2 \times 0.08\ \mathrm{cm^2 s^{-1}} = 0.16\ \mathrm{cm^2 s^{-1}}$$

선지 판단

① 0.04 → X. 확산계수를 Schmidt 수로 나눈 값(0.08/2)이므로 정의식을 반대로 적용한 오답이다.
② 0.08 → X. 확산계수 값을 그대로 쓴 것으로, Schmidt 수를 곱하는 과정을 누락한 오답이다.
③ 0.12 → X. $Sc \times D_{AB}$ 계산에서 단순 산술 오류로 나올 수 있는 값이다.
④ 0.16 → O. $\nu = Sc \times D_{AB} = 2 \times 0.08 = 0.16\ \mathrm{cm^2 s^{-1}}$로 정의식을 올바르게 적용한 결과와 일치한다.

오답 포인트

Schmidt 수는 프란틀 수(운동량 확산/열 확산)와 형태가 유사해 곱셈과 나눗셈을 혼동하기 쉽다. $Sc = \nu/D_{AB}$이므로 동점도를 구할 때는 확산계수에 Schmidt 수를 곱해야 하며, 거꾸로 나누면 ①번과 같은 오답이 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

무차원수 문제는 먼저 정의식의 분자·분모에 무엇이 오는지부터 확정한다. Schmidt 수는 분자가 동점도(운동량 확산도), 분모가 물질 확산계수이므로, 두 값 중 하나가 주어지면 정의식을 그대로 대입해 나머지를 구하면 된다.

암기 포인트

Schmidt 수: Sc=(ν)/(D_AB)=운동량 확산도물질 확산도. 프란틀 수 $Pr = \nu/\alpha$, 루이스 수 $Le = \alpha/D_{AB}$와 함께 정의 구조를 묶어 기억해 둔다.

NoteBase

문 17. 등엔트로피 덕트유동에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 덕트의 면적감소는 초음속 유동을 빠르게 한다.

② 아음속 유동에 대해 덕트의 면적이 증가할 때 속도는 감소한다.

③ 아음속 유동에 대해 덕트의 면적이 증가할 때 압력은 증가한다.

④ 유체를 가속시키기 위하여 초음속 유동에서는 확대노즐을 사용한다.

정답 1번

출제 포인트

등엔트로피(단열 가역) 압축성 덕트유동에서 유동 마하수(아음속/초음속)에 따라 덕트 단면적 변화가 속도·압력에 어떻게 반대로 작용하는지를 묻는 문항이다. 아음속과 초음속에서 면적-속도의 관계가 서로 반대로 뒤집힌다는 점이 핵심이다.

핵심 개념

등엔트로피 유동의 면적-속도 관계는 $\frac{dA}{A} = (M^2 - 1)\frac{dV}{V}$로 나타난다. 아음속($M < 1$)에서는 $M^2 - 1 < 0$이므로 면적변화와 속도변화의 부호가 반대이다: 면적이 감소하면(수축덕트) 속도가 증가하고, 면적이 증가하면(확대덕트) 속도가 감소한다. 초음속($M > 1$)에서는 $M^2 - 1 > 0$이므로 면적변화와 속도변화의 부호가 같다: 면적이 증가하면(확대덕트) 속도가 증가하고, 면적이 감소하면(수축덕트) 속도가 감소한다. 즉 초음속 유동을 가속하려면 확대노즐이 필요하며, 이는 아음속과 정반대의 거동이다. 한편 등엔트로피 유동에서는 속도가 증가하면 압력은 감소하고, 속도가 감소하면 압력은 증가하는 관계(베르누이형 거동)가 성립한다.

선지별 해설

① 덕트의 면적감소는 초음속 유동을 빠르게 한다 → X. 초음속에서는 면적이 감소(수축)하면 속도가 오히려 감소한다. 초음속 유동을 가속하려면 면적을 증가시키는 확대덕트가 필요하다. 따라서 이 설명은 옳지 않다.
② 아음속 유동에 대해 덕트의 면적이 증가할 때 속도는 감소한다 → O. 아음속에서는 면적 증가(확대)와 속도가 반대로 움직이므로 면적이 증가하면 속도는 감소한다.
③ 아음속 유동에 대해 덕트의 면적이 증가할 때 압력은 증가한다 → O. 아음속에서 면적이 증가하면 속도가 감소하고, 속도가 감소하면 압력은 증가한다.
④ 유체를 가속시키기 위하여 초음속 유동에서는 확대노즐을 사용한다 → O. 초음속에서는 면적 증가(확대)가 속도 증가와 같은 방향이므로, 초음속 유동을 가속하려면 확대노즐을 사용하는 것이 맞다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 착각은 아음속에서 익힌 '면적감소=가속'이라는 직관을 초음속에도 그대로 적용하는 것이다.
초음속에서는 면적-속도 관계가 아음속과 정반대로 뒤집힌다는 점을 놓치면 ①을 옳은 설명으로 착각하기 쉽다.
또한 압력과 속도는 항상 반대로 움직인다는 점(속도 증가→압력 감소, 속도 감소→압력 증가)을 함께 기억해야 ②③의 옳고 그름을 헷갈리지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

선지에 '초음속'이라는 단어가 보이면 즉시 아음속과 반대 방향으로 판단한다는 규칙을 적용한다: 초음속에서는 확대(면적증가)=가속, 수축(면적감소)=감속이다. 반대로 아음속에서는 수축=가속, 확대=감속이다. 이 방향만 정확히 뒤집어 대입하면 각 선지의 참거짓이 바로 갈린다.

암기 포인트

아음속: 수축관→가속, 확대관→감속. 초음속: 수축관→감속, 확대관→가속(초음속 가속에는 반드시 확대노즐).
그리고 속도와 압력은 항상 반대 방향으로 움직인다(가속하면 감압, 감속하면 승압).

NoteBase

문 18. 피부 온도가 310 K인 사람이 300 K인 초여름에 맑은 공기를 쐬고 있다. 사람 피부의 방출률(emissivity)과 흡수율(absorptivity)은 0.9로 같고, 피부 표면적은 $1m^2$일 때, 피부의 순 에너지 손실$[W]$은? (단, Stefan-Boltzmann 상수 = $5.0 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$, $310^4 = 9.2 \times 10^9$이며, 의복은 고려하지 않고 피부와 공기 간 복사에 의한 열전달만 고려한다)

① 4.95

② 5.5

③ 49.5

④ 55

정답 3번

출제 포인트

회색체(gray body) 표면과 주위 공기 사이의 복사 열전달에서 순 에너지 손실을 계산하는 문제이다. 방출률과 흡수율이 같은 경우(키르히호프 법칙이 성립하는 경우) 순 복사 열손실을 하나의 식으로 정리할 수 있는지가 핵심이다.

조건 정리

피부 온도 $T_1 = 310$ K, 공기(주위) 온도 $T_2 = 300$ K, 피부의 방출률 $\varepsilon = 0.9$, 흡수율 $\alpha = 0.9$(방출률과 동일), 피부 표면적 $A = 1$ m^2, Stefan-Boltzmann 상수 $\sigma = 5.0 \times 10^{-8}$ Wm^{-2}K^{-4}, $310^4 = 9.2 \times 10^9$로 주어진다. 피부와 공기 간 복사에 의한 열전달만 고려하고 의복은 무시한다.

사용할 공식

피부가 방출하는 복사에너지는 $\varepsilon\sigma AT_1^4$이고, 피부가 주위로부터 흡수하는 복사에너지는 $\alpha\sigma AT_2^4$이다. 순 에너지 손실은 두 값의 차이이므로 $Q_{net} = \varepsilon\sigma AT_1^4 - \alpha\sigma AT_2^4$ 이며, 이 문제에서는 $\varepsilon = \alpha$이므로 $Q_{net} = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$로 정리된다.

계산 과정

$T_1^4 = 310^4 = 9.2 \times 10^9$ K^{4}이 주어져 있고, $T_2^4 = 300^4 = 8.1 \times 10^9$ K^{4}이다. 따라서
$T_1^4 - T_2^4 = 9.2 \times 10^9 - 8.1 \times 10^9 = 1.1 \times 10^9$ K^4 이다. 이를 대입하면
$Q_{net} = 0.9 \times (5.0 \times 10^{-8}) \times 1 \times (1.1 \times 10^9) = 0.9 \times 55 = 49.5$ W 가 된다.

NoteBase

선지 판단

① 4.95 → X, 자릿수를 한 자리 잘못 옮긴 값이다(49.5의 1/10).
② 5.5 → X, 방출률·흡수율 0.9를 곱하지 않은 중간값 55에서 다시 자릿수를 잘못 옮긴 값이다.
③ 49.5 → O, $0.9 \times 5.0 \times 10^{-8} \times 1 \times (9.2 \times 10^{9} - 8.1 \times 10^{9}) = 49.5$ W로 계산 과정과 정확히 일치한다.
④ 55 → X, 방출률·흡수율 0.9를 곱하지 않고 $\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$만 계산한 값이다(복사율 반영 누락).

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 방출률(흡수율) 0.9를 곱하는 것을 빠뜨리고 $\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$만 계산해 55를 답으로 고르는 것이다(④). 또한 $T_1^4 - T_2^4$를 자릿수 계산에서 잘못 다뤄 4.95나 5.5처럼 소수점 자리를 한 자리씩 잘못 옮기는 실수도 나온다(①, ②). 9.2×10^{9}와 8.1×10^{9}는 지수가 같으므로 반드시 계수끼리 먼저 뺀 뒤 지수를 붙여야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

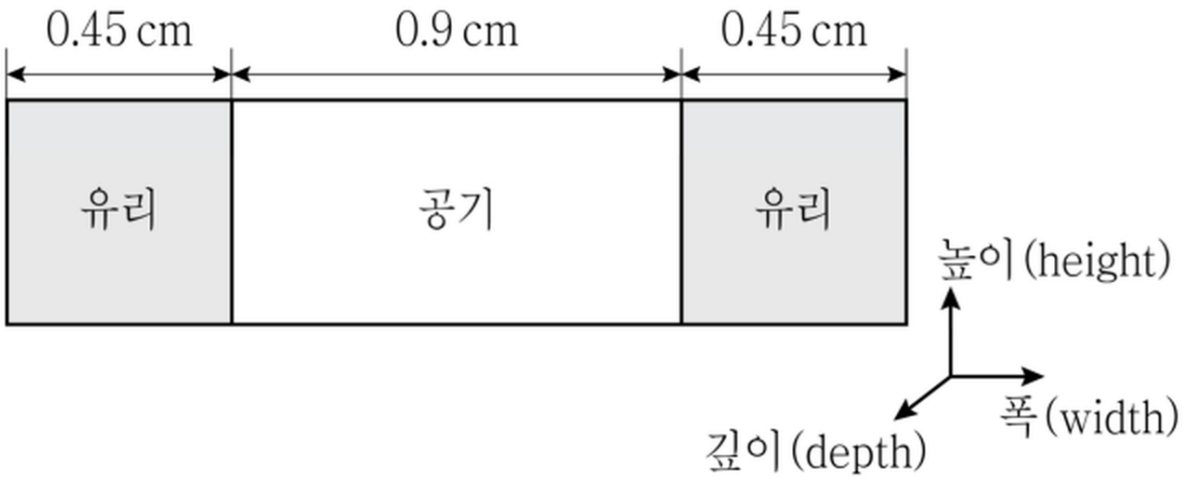
표면의 방출률과 흡수율이 같다고 제시되면 순 복사 열전달식을 $Q_{net} = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$로 바로 정리할 수 있다. 계산 순서는 먼저 두 온도의 4제곱 값의 차이를 구하고, 그 다음 방출률과 스테판-볼츠만 상수, 면적을 곱하는 순서로 진행하면 자릿수 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

회색체이며 방출률=흡수율인 표면의 순 복사 열손실 공식은 $Q_{net} = \varepsilon\sigma A(T_1^4 - T_2^4)$이다. 두 온도의 4제곱 값을 미리 구해 놓고 차이를 낸 뒤 나머지 상수를 곱하는 계산 순서를 기억해 둔다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 유리 폭(width)이 각각 0.45 cm이며 그 사이 공기층의 폭이 0.9 cm인 이중창이 있다. 이와 동일한 단열 효과를 내기 위한 단일창을 사용할 때, 단일창의 유리 폭[cm]은? (단, 모든 창의 깊이(depth)와 높이(height)는 같고, 정상상태에서 유리와 공기를 통한 폭 방향으로의 열전도만 고려하며, 공기와 유리의 열전도도는 각각 $0.03 \mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$와 $0.9 \mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$이다)



① 2.79

② 3.44

③ 27.9

④ 34.4

정답 3번

출제 포인트

이중창(유리-공기-유리 직렬 평판)의 열전도 저항과 동일한 저항을 갖는 단일창(유리 한 겹)의 두께를 구하는 문제이다. 정상상태 1차원 평판 전도에서 여러 층이 직렬로 쌓이면 각 층의 열저항을 그대로 더할 수 있다는 점, 그리고 전달 면적(높이×깊이)이 이중창과 단일창에서 같으므로 저항 비교 시 면적이 소거된다는 점이 핵심이다.

조건 정리

이중창: 유리 두께 각각 0.45cm = 0.0045m (2장), 공기층 두께 0.9cm = 0.009m (1개층). 유리 열전도도 $k_{glass} = 0.9 \mathrm{W\ m^{-1}K^{-1}}$, 공기 열전도도 $k_{air} = 0.03 \mathrm{W\ m^{-1}K^{-1}}$. 모든 창의 높이·깊이(즉 전달 면적 A)는 동일하므로 저항 비교에서 A는 약분되어 사라진다. 단일창은 유리 한 겹, 두께를 L이라 하면 이 값을 구하는 것이 목표이다.

NoteBase

사용할 공식

평판 전도 저항은 $R = \frac{L}{kA}$이다. 직렬로 배치된 층들의 전체 저항은 각 층 저항의 합, 즉 $R_{total} = \sum \frac{L_i}{k_i A}$이다. 두 창이 동일한 단열 효과(같은 열류량, 같은 온도차, 같은 면적)를 내려면 전체 열저항이 같아야 하므로 R_이중창=R_단일창이 성립한다.

계산 과정

이중창의 저항(면적 A로 나눈 값, 즉 단위면적당 저항에 해당하는 L/k의 합)을 구하면 유리 2장과 공기 1층의 합이다.
R_이중창· A=2×(0.0045)/(0.9)+(0.009)/(0.03)=2×0.005+0.3=0.01+0.3=0.31 (m^2K/W 단위의 L/k 합)
단일창(유리 한 겹, 두께 L)의 같은 값은 $\frac{L}{0.9}$이므로, 두 값을 같다고 놓으면
$\frac{L}{0.9} = 0.31$
$L = 0.31 \times 0.9 = 0.279$ m
미터를 센티미터로 바꾸면 $L = 27.9$cm이다.

선지 판단

① 2.79 — 계산 결과 27.9cm에서 소수점 위치를 한 자리 잘못 옮긴 값이다. X
② 3.44 — 자릿수나 항 구성을 잘못 짚었을 때 나오는 값으로, 이중창 저항 합과 맞지 않는다. X
③ 27.9 — 이중창의 유리 2장+공기 1층 저항의 합(0.31)과 단일 유리층의 저항($L/0.9$)을 같게 놓아 풀면 $L = 27.9$cm로 정확히 일치한다. O
④ 34.4 — 공기층 저항만 고려하고 유리 저항을 빠뜨리거나 계수를 잘못 곱했을 때 나올 수 있는 값으로, 올바른 합산 결과와 다르다. X

오답 포인트

이 문제는 공기의 열전도도(0.03)가 유리(0.9)보다 훨씬 작다는 점 때문에, 얇은 공기층 0.9cm가 두꺼운 유리 여러 장보다 훨씬 큰 저항을 만든다는 사실을 놓치면 계산이 어긋난다. 또한 유리가 2장이라는 점(양쪽에 하나씩)을 빠뜨리고 1장으로만 계산하면 답이 절반 가까이 줄어들어 오답(②나 ①)으로 연결된다. 마지막으로 cm와 m 단위를 섞어 쓰면 자릿수가 틀어지므로, 계산 전체를 m 단위로 통일한 뒤 마지막에 cm로 환산하는 것이 안전하다.

다시 나오면 이렇게 판단

여러 층의 평판이 직렬로 이어진 열전도 문제는 각 층의 L/k(단위면적당 저항)을 모두 더한 뒤, 비교 대상(단일 재질 단일층)의 L/k와 같다고 놓고 미지의 두께나 열전도도를 구하면 된다. 면적과 온도차가 양쪽에서 동일하다는 조건이 주어지면 저항식에서 면적은 항상 약분되어 사라진다는 점을 먼저 확인한다.

NoteBase

암기 포인트

직렬 평판 전도 저항: $R = \sum \frac{L_i}{k_i A}$, 동일 단열 효과 조건은 $R_1 = R_2$. 층이 여러 개일 때는 각 층의 두께와 재질이 다르다는 점을 놓치지 않고, 특히 유리처럼 같은 재질이 2장 있으면 그 두 장을 모두 합산해야 한다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 20. Knudsen 확산에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. Knudsen 수(Kn) = 확산하는 화학종의 평균자유경로기공지름
ㄴ. $1 < Kn < 10$인 경우, Kn의 값이 클수록 기체 분자 사이의 충돌보다 기체 분자와 기공 벽 사이의 충돌이 증가한다.
ㄷ. 기공 지름이 확산하는 기체 분자의 평균자유경로보다 크고 기체의 밀도가 높은 경우의 기체 확산을 Knudsen 확산이라고 한다.

① ㄱ
② ㄱ, ㄴ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

Knudsen 확산의 정의식과 성립 조건을 정확히 구분할 수 있는지를 묻는 문항이다. Knudsen 수 Kn의 정의, Kn이 커질 때 충돌 양상이 어떻게 변하는지, 그리고 Knudsen 확산이 실제로 일어나는 물리적 조건(기공 지름과 평균자유경로의 대소 관계, 기체 밀도 조건)을 각각 따로 판단해야 한다.

핵심 개념

Knudsen 수는 확산하는 기체 분자의 평균자유경로를 기공(세공) 지름으로 나눈 값으로 정의된다. 즉 $Kn = \frac{\lambda}{d_{pore}}$이다. Kn이 매우 작으면(기공이 평균자유경로보다 훨씬 크면) 기체 분자끼리의 충돌이 지배적인 일반적인 벌크(Fick) 확산이 일어난다. 반대로 Kn이 매우 크면(기공 지름이 평균자유경로보다 훨씬 작으면) 기체 분자는 다른 분자보다 기공 벽과 더 자주 충돌하게 되는데, 이를 Knudsen 확산이라고 한다. Kn의 값이 커질수록, 즉 평균자유경로에 비해 기공이 좁아질수록 분자-분자 충돌보다 분자-벽 충돌의 비중이 증가하는 방향으로 이동한다. 평균자유경로 λ는 기체의 밀도(압력)가 낮을수록 커지므로, Knudsen 확산은 저밀도(저압) 기체이면서 기공이 좁은 경우에 잘 나타나는 현상이다. 즉 기공 지름이 평균자유경로보다 작고 기체의 밀도가 낮은 경우에 Knudsen 확산이 우세해진다.

NoteBase

선지별 해설

ㄱ. Knudsen 수(Kn) = 확산하는 화학종의 평균자유경로 / 기공지름 — 옳다. 이는 $Kn = \lambda / d_{pore}$라는 표준 정의 그대로이다.

ㄴ. 1<Kn<10인 경우, Kn의 값이 클수록 기체 분자 사이의 충돌보다 기체 분자와 기공 벽 사이의 충돌이 증가한다 — 옳다. Kn이 커진다는 것은 기공 지름에 비해 평균자유경로가 상대적으로 길어짐을 의미하므로, 분자는 다른 분자와 부딪히기 전에 기공 벽에 먼저 부딪힐 가능성이 커진다. 따라서 분자-분자 충돌 대비 분자-벽 충돌의 비중이 증가하는 것이 맞다.

ㄷ. 기공 지름이 확산하는 기체 분자의 평균자유경로보다 크고 기체의 밀도가 높은 경우의 기체 확산을 Knudsen 확산이라고 한다 → 틀린 표현이다. Knudsen 확산은 반대로 기공 지름이 평균자유경로보다 작을 때, 그리고 기체 밀도(압력)가 낮아 평균자유경로 자체가 길어져 있을 때 일어난다. 기공이 평균자유경로보다 크고 밀도가 높은 경우는 오히려 분자-분자 충돌이 지배적인 일반적인 벌크 확산 조건에 해당한다.

오답 포인트

①은 ㄴ을 놓치고 ㄱ만 고른 경우이고, ③과 ④는 ㄷ의 조건을 Knudsen 확산의 조건으로 잘못 받아들인 경우이다. ㄷ은 '기공이 평균자유경로보다 크다'와 '밀도가 높다'는 두 조건을 모두 뒤집어 놓았다는 점에 유의해야 한다. Knudsen 확산은 기공이 좁고(≪ 평균자유경로) 기체 밀도가 낮은(저압) 상황에서 나타나는 현상이므로, ㄷ의 서술은 정반대의 조건을 설명하고 있어 옳지 않다.

다시 나오면 이렇게 판단

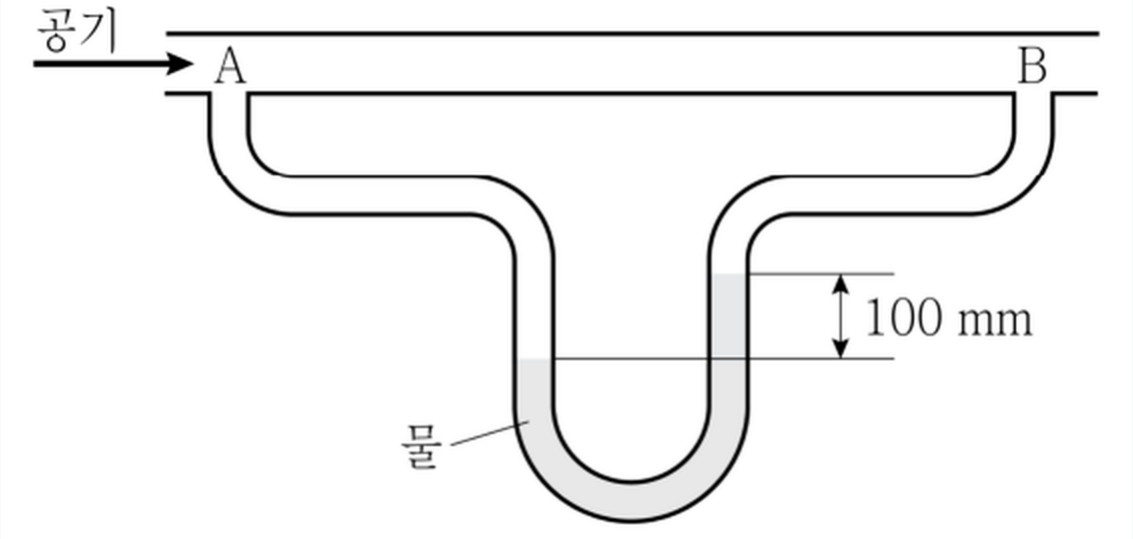
먼저 Knudsen 수의 정의식이 '평균자유경로 나누기 기공지름'인지 그 역수인지부터 확인한다. 그다음 Kn 값의 크기 변화가 분자-분자 충돌과 분자-벽 충돌 중 어느 쪽 비중을 늘리는지를 물리적으로 따져본다(Kn이 클수록 벽 충돌 비중 증가). 마지막으로 Knudsen 확산이 일어나는 조건(좁은 기공, 낮은 밀도)과 일반 벌크 확산이 일어나는 조건(넓은 기공, 높은 밀도)을 서로 뒤바꿔 놓은 함정 선지가 있는지 대소 관계와 밀도 조건을 각각 따로 점검한다.

암기 포인트

Knudsen 수 $Kn = \lambda / d_{pore}$, Kn이 크다=기공이 좁다·밀도가 낮다=벽 충돌 지배(Knudsen 확산), Kn이 작다=기공이 넓다·밀도가 높다=분자간 충돌 지배(벌크 확산)로 짝지어 기억해 둔다.

NoteBase

문 21. 그림과 같이 직경이 일정한 수평관에 공기가 흐르고 있다. 물이 채워진 마노미터로 측정한 결과 높이차가 $100mm$일 때, 동일 흐름 선상에 있는 두 지점 A와 B 사이의 압력차[Pa]는? (단, 공기의 밀도는 $1kgm^{-3}$, 물의 밀도는 $1{,}000kgm^{-3}$, 중력가속도는 $10ms^{-2}$이다)



① 9

② 99

③ 999

④ 9,999

정답 3번

출제 포인트

직경이 일정한 수평관에서 두 지점 A, B 사이에 연결된 U자형 마노미터의 높이차를 이용해 압력차를 구하는 문제이다. 관의 직경이 일정하므로 연속방정식에 의해 A와 B에서 유속이 같고, 따라서 베르누이 방정식의 속도항이 서로 상쇄되어 두 지점의 압력차는 순수하게 마노미터의 유체 정역학적 균형만으로 결정된다.

조건 정리

관 내부 유체(공기) 밀도 $\rho_{air} = 1\ \mathrm{kgm^{-3}}$, 마노미터 유체(물) 밀도 $\rho_{water} = 1{,}000\ \mathrm{kgm^{-3}}$, 중력가속도 $g = 10\ \mathrm{ms^{-2}}$, 마노미터 액면 높이차 $h = 100\ \mathrm{mm} = 0.1\ \mathrm{m}$이다. 관의 직경이 일정하므로 A, B 두 지점의 유속은 동일하다.

NoteBase

사용할 공식

직경이 일정해 속도수두가 상쇄되는 수평관에 연결된 U자형 마노미터의 압력차 공식은 다음과 같다.
$P_A - P_B = (\rho_{water} - \rho_{air})gh$ 마노미터 내부에서 같은 높이(기준면)에서의 압력이 같다는 정역학 원리로부터 유도되며, 두 유체의 밀도차가 압력차를 결정한다.

계산 과정

$P_A - P_B = (\rho_{water} - \rho_{air})gh = (1{,}000 - 1) \times 10 \times 0.1 = 999 \times 1 = 999$ Pa 공기의 밀도가 물의 밀도에 비해 매우 작지만 조건에서 공기 밀도를 무시하지 않고 그대로 빼주는 것이 이 문제의 핵심이다. 만약 공기 밀도를 무시하고 계산하면 $1{,}000 \times 10 \times 0.1 = 1{,}000$ Pa가 되어 정답과 어긋나므로, 문제에서 준 공기 밀도 값을 반드시 반영해야 한다.

선지 판단

① 9: 밀도차 대신 물 밀도나 공기 밀도만 잘못 조합해 자릿수를 크게 축소한 값으로 옳지 않다.
② 99: 높이차 단위를 mm 그대로(0.01 m 등으로 잘못 환산) 사용하거나 계산 중 자릿수를 하나 누락한 값으로 옳지 않다.
③ 999: $(1{,}000 - 1) \times 10 \times 0.1 = 999$ Pa로 올바르게 계산된 값이므로 옳다.
④ 9,999: 높이차를 100 mm가 아닌 1 m로 잘못 대입하거나 밀도차 계산에서 자릿수를 하나 더 곱한 값으로 옳지 않다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 공기의 밀도를 무시하고 물의 밀도만으로 계산해 1,000 Pa로 답하는 것이다. 문제가 공기 밀도를 굳이 조건으로 제시한 이유는 $(\rho_{water} - \rho_{air})$의 차를 쓰라는 의도이므로 반드시 밀도차를 사용해야 한다. 또한 100 mm를 SI 단위인 m로 환산하지 않고 그대로 100을 대입하면 자릿수가 크게 틀어진다(100 mm = 0.1 m).

다시 나오면 이렇게 판단

수평관에서 직경이 일정하다는 조건이 주어지면 A, B 두 지점의 유속이 같다는 뜻이므로 베르누이 방정식의 속도항은 무시하고, 마노미터 공식 $P_A - P_B = (\rho_{manometer} - \rho_{pipe})gh$만으로 압력차를 구한다. 관 내부 유체와 마노미터 유체의 밀도차를 쓰는 것과 높이 단위를 m로 통일하는 것 두 가지만 정확히 지키면 계산이 어렵지 않다.

암기 포인트

U자형 마노미터 압력차 공식: $\Delta P = (\rho_2 - \rho_1)gh$ (여기서 ρ_2는 마노미터 채움 유체, ρ_1은 관 내부 유체). 직경이 일정한 수평관에서는 속도수두가 상쇄되어 압력차가 곧 정역학적 마노미터 식과 같아진다는 점을 기억해 둔다.

문 22. 농도 10 wt%인 소금물이 $100gs^{-1}$의 속도로 증발기로 들어가고 순수한 수증기는 수증기 배출관으로, 농도 50 wt%의 소금물은 생성물 배출관으로 각각 나가는 정상상태 공정에서, 수증기 배출관으로 나가는 수분의 속도$[gs^{-1}]$는?



① 20

② 40

③ 60

④ 80

정답 4번

출제 포인트

증발기(evaporator)에서 정상상태 전체 물질수지와 소금(용질) 성분수지를 동시에 세워 미지의 출구 유량을 구하는 문제이다. 입구 1개, 출구 2개인 단순 분리 공정에서 소금은 오직 액상 출구(50 wt% 소금물)로만 나가고, 수증기 출구에는 순수한 물만 나간다는 조건을 파악하는 것이 핵심이다.

조건 정리

입구: 10 wt% 소금물, 유량 $F = 100\ \mathrm{g\ s^{-1}}$, 소금 농도 $x_F = 0.10$.
출구 1: 50 wt% 소금물(생성물), 유량 P(미지수), 소금 농도 $x_P = 0.50$.
출구 2: 순수한 수증기, 유량 W(미지수), 소금 농도 0(소금 포함 없음).
정상상태이므로 축적 항은 0이고, 구하는 값은 수증기 배출관의 유량 W이다.

사용할 공식

전체 물질수지: $F = P + W$
소금(용질) 성분수지: $Fx_F = Px_P + W \times 0$

계산 과정

소금 성분수지에 값을 대입하면 $100 \times 0.10 = P \times 0.50$이므로 $P = \frac{10}{0.50} = 20\ \mathrm{g\ s^{-1}}$이다.
전체 물질수지에서 $W = F - P = 100 - 20 = 80\ \mathrm{g\ s^{-1}}$이다.
따라서 수증기 배출관으로 나가는 수분의 속도는 80 g s–1이다.

NoteBase

선지 판단

① 20 → X. 이는 수증기 배출관의 유량이 아니라 생성물(50 wt% 소금물) 배출관의 유량 P에 해당하는 값이다.
② 40 → X. 전체 물질수지와 소금 성분수지를 정확히 적용하면 나오지 않는 값이다.
③ 60 → X. 전체 유량 100에서 생성물 유량 20을 잘못 뺀 값이 아니라 다른 계산 오류로 얻어질 수 있는 값이며, 올바른 물질수지 결과와 다르다.
④ 80 → O. 전체 물질수지 $W = F - P = 100 - 20 = 80$으로 정확히 도출되는 값이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 소금 성분수지에서 구한 생성물 유량(20)을 그대로 정답으로 착각하는 것이다. 문제는 수증기 배출관의 유량을 묻고 있으므로, 소금 성분수지로 생성물 유량을 먼저 구한 뒤 전체 물질수지로 수증기 유량을 별도로 계산해야 한다. 또한 수증기 쪽에는 소금이 전혀 포함되지 않는다는 점(순수한 수증기)을 놓치면 성분수지 자체를 잘못 세우게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

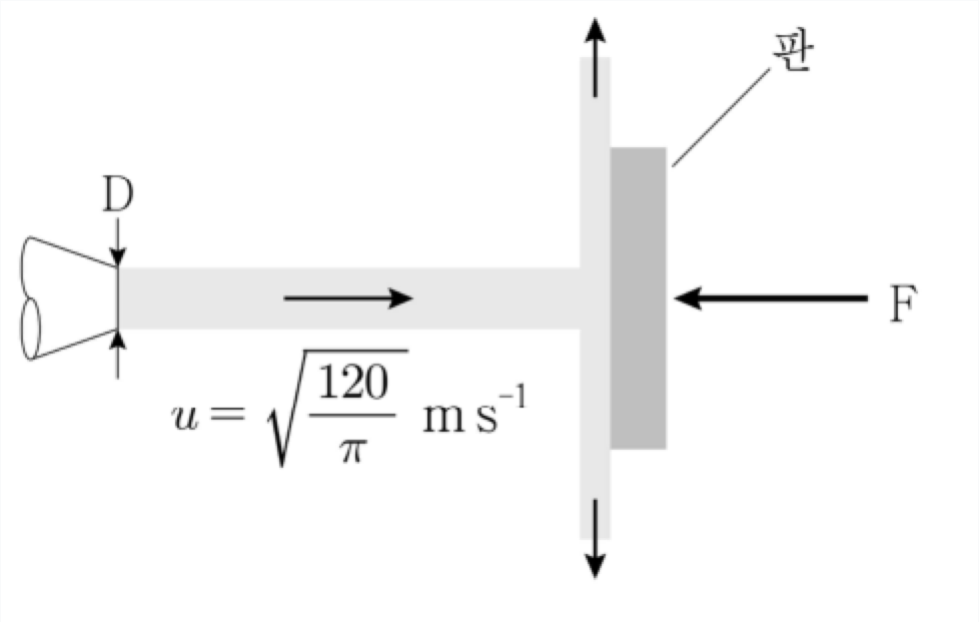
증발기·건조기처럼 한 성분(용질)이 한쪽 출구로만 빠져나가는 분리 공정 문제는 항상 두 개의 독립적인 수지식, 즉 전체 물질수지와 특정 성분(여기서는 소금)의 성분수지를 함께 세운다. 미지수가 2개(여기서는 P, W)이면 식도 2개가 필요하다는 점을 기준으로 접근하면 실수 없이 풀 수 있다.

암기 포인트

전체 물질수지: 들어오는 양 = 나가는 양의 합.
성분수지: 들어오는 성분의 양 = 각 출구로 나가는 성분의 양의 합(그 출구에 없는 성분은 0으로 처리).
미지수 개수만큼 독립적인 수지식을 세워야 풀린다.

NoteBase

문 23. 그림과 같이 물제트가 고정된 판에 수직으로 부딪힌다. 판을 고정하기 위한 힘(F)이 $48N$이고, 물제트의 유속(u)이 $\sqrt{120/\pi}ms^{-1}$일 때, 관의 출구 직경(D)[cm]은? (단, 중력과 마찰은 무시하고, 판에서 물제트는 위아래로 똑같이 반반으로 분리되며, 물의 밀도는 $1{,}000kgm^{-3}$이다)



① 4

② 8

③ 12

④ 16

정답 1번

출제 포인트

고정된 평판에 수직으로 부딪혀 위아래로 대칭 분리되는 물제트 문제에서, 판을 미는 힘 F를 운동량 방정식으로 세우고 이를 이용해 관 출구 직경 D를 역산하는 능력을 묻는다. 판이 받는 힘은 제트가 판에 들어올 때와 나갈 때의 운동량 변화량으로 결정되는데, 위아래로 갈라진 흐름은 원래 진행 방향(수평 방향) 속도 성분이 0이 되므로 힘 방향(수평) 운동량 변화가 곧 전체 운동량 변화가 된다.

조건 정리

판을 고정하기 위한 힘 $F = 48$ N, 제트 유속 $u = \sqrt{120/\pi}$ $\mathrm{ms^{-1}}$, 물의 밀도 $\rho = 1{,}000$ $\mathrm{kgm^{-3}}$, 중력과 마찰은 무시한다. 제트는 판에 수직으로 부딪힌 뒤 위아래로 똑같이 반반씩 갈라져 나가므로, 갈라진 흐름은 원래 진행 방향의 속도 성분을 갖지 않는다. 구할 값은 관 출구 직경 D이다.

NoteBase

사용할 공식

정상류 운동량 방정식에 의해, 판이 제트에 가하는 힘(=판을 고정하는 데 필요한 힘) $F = \rho Q u$이다. 여기서 $Q = Au = \frac{\pi D^2}{4}u$는 체적유량이므로, $F = \rho\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)u^2$로 쓸 수 있다. 갈라진 두 흐름이 원래 방향의 운동량을 전혀 갖지 않으므로 입구 운동량 전부가 힘으로 전환된다는 점이 핵심이다.

계산 과정

$F = \rho\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)u^2$에 $u^2 = \frac{120}{\pi}$를 대입하면 $F = \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{120}{\pi} = \rho \cdot 30 D^2$이 된다. 여기에 $\rho = 1{,}000\ \text{kgm}^{-3}$을 대입하면 $F = 30{,}000 D^2$이다. $F = 48\ \text{N}$이므로 $D^2 = \frac{48}{30{,}000} = 0.0016\ \text{m}^2$이고,
$D = \sqrt{0.0016} = 0.04\ \text{m} = 4\ \text{cm}$이다.

선지 판단

① 4 → O. 위 계산 과정에서 구한 관 출구 직경과 정확히 일치한다.
② 8 → X. $D = 8\ \text{cm} = 0.08\ \text{m}$를 대입하면 $F = 30{,}000 \times 0.0064 = 192\ \text{N}$이 되어 조건의 48 N과 맞지 않는다.
③ 12 → X. $D = 0.12\ \text{m}$이면 $F = 30{,}000 \times 0.0144 = 432\ \text{N}$으로 훨씬 커져 조건에 맞지 않는다.
④ 16 → X. $D = 0.16\ \text{m}$이면 $F = 30{,}000 \times 0.0256 = 768\ \text{N}$으로 조건과 크게 어긋난다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 판에서 갈라진 흐름의 운동량을 완전히 0으로 보지 않고 절반씩 남는다고 착각하거나, 반대로 힘을 $F = 2\rho Q u$처럼 과대 계산하는 것이다. 이 문제는 갈라진 두 흐름이 정확히 위아래 대칭이라 수평 방향 운동량 성분이 완전히 0이 되므로, 힘은 유입 운동량 전체, 즉 $F = \rho Q u = \rho A u^2$ 하나로만 계산해야 한다. 또한 $u^2 = 120/\pi$에서 π가 면적 공식의 π와 약분되어 계산이 단순해지는 구조를 놓치면 불필요하게 복잡한 계산을 하게 되므로 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

제트가 고정판에 수직으로 부딪혀 판 표면을 따라 원래 방향과 수직으로(예: 위아래로) 갈라져 나가는 형태라면, 갈라진 후 원래 진행 방향의 속도 성분은 0이라는 점을 먼저 확인한다. 그다음 판이 받는 힘을 $F = \rho Q u = \rho A u^2$으로 세우고, $A = \pi D^2/4$를 대입해 미지수 하나짜리 방정식으로 만든 뒤 직경이나 유속, 유량 등 구하려는 값을 역산하면 된다.

암기 포인트

고정판에 수직 충돌 후 위아래로 완전 대칭 분리되는 제트는 $F = \rho A u^2 = \rho\left(\frac{\pi D^2}{4}\right)u^2$으로 계산한다는 것을 기억해 둔다. u^2 값에 π가 분모로 들어 있으면 단면적 공식의 π와 약분되어 계산이 간단해지는 경우가 많다는 점도 함께 기억해 둔다.

NoteBase

문 24. 동일한 온도와 압력에서 질소(N_2) 기체의 분출(effusion) 속도가 미지의 기체 X의 분출 속도보다 2배 빠를 때, X의 몰질량[$gmol^{-1}$]은? (단, 분출은 Graham의 분출 법칙을 따르며, 질소의 몰질량은 28 $gmol^{-1}$ 이다)

① 14

② 56

③ 84

④ 112

정답 4번

출제 포인트

Graham의 분출 법칙을 이용해 두 기체의 분출 속도비로부터 미지 기체의 몰질량을 구하는 문제이다. 분출 속도는 몰질량의 제곱근에 반비례한다는 관계를 정확히 세우는 것이 핵심이다.

조건 정리

동일한 온도와 압력 조건에서 질소(N2)의 분출 속도가 미지 기체 X의 분출 속도보다 2배 빠르다. 질소의 몰질량은 $M_{N_2} = 28\ \text{gmol}^{-1}$이며, 구해야 할 값은 X의 몰질량 M_X이다.

사용할 공식

Graham의 분출 법칙: 같은 온도·압력에서 두 기체의 분출 속도비는 몰질량의 제곱근에 반비례한다.
$\frac{r_{N_2}}{r_X} = \sqrt{\frac{M_X}{M_{N_2}}}$

계산 과정

질소의 분출 속도가 X보다 2배 빠르므로 $r_{N_2} = 2r_X$, 즉 $\frac{r_{N_2}}{r_X} = 2$이다. 이를 공식에 대입하면 $2 = \sqrt{\frac{M_X}{28}}$ 양변을 제곱하면 $4 = \frac{M_X}{28}$ 따라서 $M_X = 4 \times 28 = 112\ \text{gmol}^{-1}$

선지 판단

① 14: 질소 몰질량의 절반 값으로, 분출 속도비를 제곱하지 않고 단순히 절반으로 처리하거나 관계식을 반대로 세운 경우 나올 수 있는 오답이다. X → ② 56: 분출 속도비 2를 제곱하지 않고 질소 몰질량에 2배만 곱한 경우의 오답이다. X → ③ 84: 속도비 2를 세제곱(2×2×2=8이 아니라 3배)으로 잘못 적용하거나 계산 과정에서 실수한 경우 나올 수 있는 값이다. X → ④ 112: 속도비 $r_{N_2}/r_X = 2$를 제곱하여 $M_X/M_{N_2} = 4$를 얻고, 여기에 질소 몰질량 28을 곱해 112를 얻는 것이 올바른 계산이다. O

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 분출 속도비를 몰질량비에 그대로 대입하는 것이다(제곱을 빠뜨림). 즉 $r_{N_2}/r_X = M_X/M_{N_2}$로 잘못 적용하면 $M_X = 56$이라는 오답(②)이 나온다. 또한 빠른 기체와 느린 기체, 분자와 분모를 반대로 놓으면 몰질량이 오히려 작게 나오는 오답(①)이 생긴다. 분출 속도가 빠른 기체일수록 몰질량이 작다는 반비례 관계를 먼저 확인한 뒤 식을 세우는 것이 안전하다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 어느 기체가 더 빠른지를 확인하고, 속도가 빠른 쪽이 분모(또는 분자) 중 어디에 오는지 관계식 $r_1/r_2 = \sqrt{M_2/M_1}$에 정확히 대입한다. 속도비를 대입한 뒤에는 반드시 양변을 제곱해 몰질량비로 바꾸는 단계를 빠뜨리지 않는다.

암기 포인트

Graham의 분출 법칙: $\frac{r_1}{r_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}}$, 즉 분출 속도는 몰질량의 제곱근에 반비례한다. 속도비가 2배이면 몰질량비는 4배(2의 제곱)가 된다는 점을 기억해 둔다.

NoteBase

문 25. 열 플럭스(heat flux) $1{,}000 Wm^{-2}$의 빛을 지면에 수직 방향으로 쬘 때, 지면과 60°의 각도를 이루고 있는 면적 $4m^2$의 지붕 표면이 받는 열 플럭스 $[Wm^{-2}]$는?

① 500

② $500\sqrt{3}$

③ $\frac{2{,}000\sqrt{3}}{3}$

④ 2,000

정답 1번

출제 포인트

문제에 주어진 1,000 W/m^{2}는 빛이 진행하는 방향에 수직한 단면을 기준으로 잰 열 플럭스(복사 강도)이다. 이 빛이 기울어진 표면에 닿을 때, 그 표면이 실제로 받는 열 플럭스는 표면이 빛의 진행 방향에 대해 얼마나 비스듬히 놓여 있는지에 따라 달라진다는 점을 이해하는지 확인하는 문제이다. 표면의 면적(4 m^2) 자체는 단위면적당 열 플럭스를 구하는 데는 쓰이지 않는 값이며, 총 열량(W)을 구할 때만 필요하다.

조건 정리

빛은 지면에 수직 방향(연직 아래 방향)으로 내리쬔다. 지붕 표면은 지면과 60°의 각도를 이루고 있다. 지붕이 지면과 이루는 각(60°)은 곧 지붕 표면이 수평면에서 기울어진 각도이며, 평면이 기울어진 각도만큼 그 평면의 법선(수직선)도 원래의 법선(연직선)에서 같은 각도만큼 기울어진다. 따라서 지붕의 법선은 연직선(빛의 진행 방향)과 60°를 이룬다. 극단적인 경우로 확인하면, 지붕이 지면과 평행(0°)이면 법선이 연직선과 나란해 빛을 정면으로 받아 플럭스가 1,000 그대로 유지되고, 지붕이 지면과 수직(90°)이면 법선이 수평이 되어 빛과 나란해지므로 표면이 받는 플럭스는 0이 된다. 이 두 극단이 아래 공식과 맞아떨어진다.

사용할 공식

빛의 진행 방향과 표면 법선이 이루는 각을 θ라 하면, 그 표면이 실제로 받는 열 플럭스 q''는 $q'' = q''_0 \cos\theta$ 이다. 여기서 q''_0는 빛의 진행 방향에 수직으로 측정한 열 플럭스(1,000 W/m^2)이고, θ는 표면이 수평면과 이루는 기울기 각과 같다.

계산 과정

지붕이 지면과 이루는 각이 60°이므로 빛의 진행 방향(연직선)과 지붕 법선이 이루는 각도 $\theta = 60^\circ$이다. 따라서 지붕 표면이 받는 열 플럭스는 $q'' = 1{,}000 \times \cos 60^\circ = 1{,}000 \times \frac{1}{2} = 500$ W m^{-2} 이다. 지붕의 면적 4 m^{2}는 단위면적당 플럭스를 구하는 계산에는 영향을 주지 않는 조건이다(총 열량을 구할 때는 $500 \times 4 = 2{,}000$ W가 필요하지만, 문제는 [W m^{-2}] 단위인 열 플럭스를 묻고 있다).

NoteBase

선지 판단

① 500 — 옳다. $1{,}000\cos 60^\circ = 500\ \mathrm{W/m^2}$로 계산 과정과 일치한다.
② $500\sqrt{3}$ — 틀리다. 이는 $1{,}000\sin 60^\circ$에 해당하는 값으로, 각도를 법선 기준이 아니라 표면 기준(90°−60°=30°의 여각)으로 잘못 적용했을 때 나오는 값이다 → 올바른 표현은 $1{,}000\cos 60^\circ = 500$이다.
③ $2{,}000\sqrt{3}/3$ — 틀리다. 이는 $1{,}000/\cos 60^\circ$처럼 나눗셈으로 잘못 계산하거나 삼각비를 반대로 적용했을 때 나오는 값이다 → 실제 받는 플럭스는 원래 플럭스보다 커질 수 없으므로 성립하지 않는다.
④ 2,000 — 틀리다. 이는 단위면적당 열 플럭스(500 $\mathrm{W/m^2}$)에 지붕 면적 4 $\mathrm{m^2}$를 곱한 총 열량(500×4=2,000 W)에 해당하는 값으로, 단위가 [W]이지 문제가 묻는 [$\mathrm{W\ m^{-2}}$]가 아니다 → 문제는 총 열량이 아니라 단위면적당 열 플럭스를 묻고 있으므로 500이 맞다.

오답 포인트

이 문제에서 가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 각도를 적용할 때 법선 기준 각(60°)과 표면 기준 각(30°)을 혼동해 사인과 코사인을 반대로 쓰는 것이다. 둘째, 지붕 면적 4 $\mathrm{m^2}$라는 조건에 이끌려 총 열량(W)을 구해 놓고 이를 답으로 착각하는 것이다. 문제는 어디까지나 [$\mathrm{W\ m^{-2}}$] 단위의 열 플럭스, 즉 단위면적당 값을 묻고 있으므로 면적은 답의 계산에 등장하지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

빛(또는 복사)이 진행 방향에 대해 기울어진 표면에 닿는 문제가 나오면, 먼저 표면이 지면(또는 기준면)과 이루는 각과 빛의 진행 방향이 이루는 각 중 어느 것이 법선과의 각인지부터 확정한다. 표면이 수평면과 이루는 기울기 각은 그 표면의 법선이 연직선과 이루는 각과 같다는 점을 기준으로 삼는다. 그다음 실제로 받는 플럭스는 원래 플럭스에 법선-빛 사이 각의 코사인을 곱한 값이라는 것을 적용하고, 면적이 함께 제시되더라도 단위가 [$\mathrm{W\ m^{-2}}$]인지 [W]인지 먼저 확인해 필요한 계산까지만 수행한다.

암기 포인트

표면이 받는 열 플럭스 = 빛의 진행 방향에 수직으로 잰 플럭스 × cos(빛의 진행 방향과 표면 법선이 이루는 각). 표면이 수평면과 이루는 기울기 각은 그 표면 법선이 연직선과 이루는 각과 같다. 면적은 총 열량(W)을 구할 때만 곱한다.

NoteBase