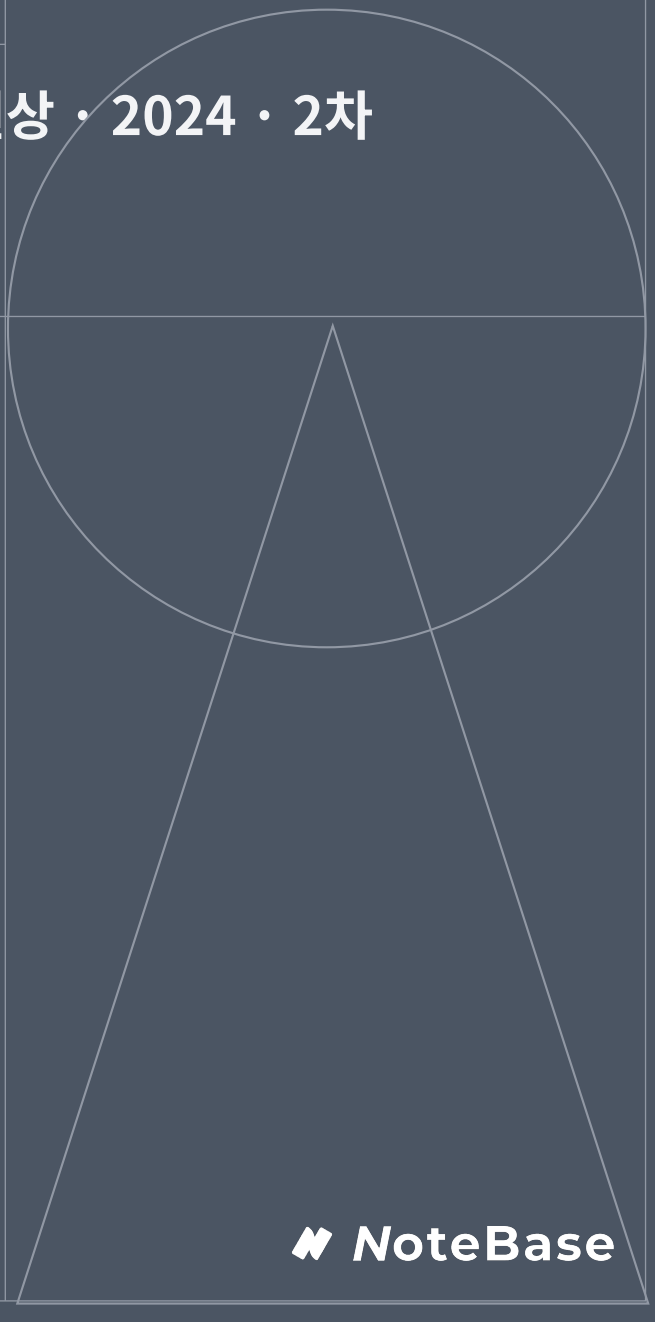
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2024 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2024 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2024 · 2차

문 1. 분자의 운동과 물질전달에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 기체 분자는 서로 충돌하지 않는다.

② 용액 내의 농도구배는 분자 확산을 유발한다.

③ 기체의 압력 변화는 확산계수에 영향을 주지 않는다.

④ 온도가 높을수록 기체 분자의 확산 속도는 감소한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 분자 확산의 구동력과 기체 확산에 영향을 주는 조건을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

분자 확산은 분자의 무작위 열운동으로 물질이 이동하는 현상이며, 용액에서는 농도구배가 직접적인 구동력이 된다.
기체 분자는 서로 계속 충돌하면서 이동하고, 기체의 확산계수는 일반적으로 온도가 높을수록 커지고 압력이 높을수록 작아진다.

선지별 해설

1번: X. 기체 분자는 서로 충돌하지 않는 것이 아니라 매우 빈번하게 충돌하면서 무작위 운동을 한다. 틀린 표현은 '서로 충돌하지 않는다'이고, 올바르게는 '서로 빈번하게 충돌한다'이다.
2번: O. 용액 내 농도구배가 있으면 고농도 쪽에서 저농도 쪽으로 분자 확산이 일어나므로 옳다.
3번: X. 기체의 확산계수는 압력 변화의 영향을 받는다. 일반적으로 압력이 높아지면 분자 사이 평균 자유행로가 짧아져 확산계수가 감소한다. 틀린 표현은 '영향을 주지 않는다'이고, 올바르게는 '압력 변화는 확산계수에 영향을 준다'이다.
4번: X. 온도가 높아지면 분자의 운동에너지가 커져 기체 분자의 확산 속도와 확산계수가 대체로 증가한다. 틀린 표현은 '감소한다'이고, 올바르게는 '증가한다'이다.

NoteBase

오답 포인트

3번과 4번은 확산계수 변화 방향을 반대로 제시한 함정이다. 압력과 온도가 확산에 영향을 주지 않거나 반대로 작용한다고 외우면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

확산 문제는 먼저 구동력이 무엇인지 본다. 용액에서는 농도구배를 찾고, 기체에서는 온도 상승이면 확산 증가, 압력 상승이면 확산 감소의 방향으로 판단하면 된다.

암기 포인트

확산은 농도구배가 밀고, 기체 확산은 고온에서 빨라지고 고압에서 느려진다.

NoteBase

문 2. 운동량 확산도와 열 확산도의 비를 설명하는 무차원수는?

① Schmidt 수

② Grashof 수

③ Prandtl 수

④ Sherwood 수

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 전달현상에서 자주 묶어 묻는 무차원수의 정의를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

Schmidt 수는 운동량 확산도와 물질 확산도의 비를 나타내는 무차원수이다.
Grashof 수는 부력과 점성력의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.
Prandtl 수는 운동량 확산도와 열 확산도의 비를 나타내는 무차원수이다.
Sherwood 수는 대류 물질전달과 분자확산에 의한 물질전달의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.

선지별 해설

① X
Schmidt 수는 운동량 확산도와 물질 확산도의 비를 뜻하므로 열 확산도와의 비를 묻는 이 문제의 답이 아니다.
틀린 표현은 열 확산도에 대응시킨 부분이다. 올바르게는 운동량 확산도와 물질 확산도의 비이다.

② X
Grashof 수는 자연대류에서 부력과 점성력의 비를 나타내는 수이므로 확산도 비를 설명하는 정의와 다르다.
틀린 표현은 확산도 비를 나타내는 수라는 점이다. 올바르게는 부력과 점성력의 비를 나타내는 무차원수이다.

③ O
Prandtl 수는 운동량 확산도 ν와 열 확산도 α의 비인 $Pr = \nu/\alpha$로 정의된다. 발문의 설명과 정확히 일치한다.

④ X
Sherwood 수는 물질전달에서의 대류 효과를 분자확산과 비교하는 무차원수이므로 운동량 확산도와 열 확산도의 비와는 관계가 없다.
틀린 표현은 열 확산도 비를 설명하는 수라는 점이다. 올바르게는 대류 물질전달과 분자확산 물질전달의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다.

NoteBase

오답 포인트

Schmidt 수, Prandtl 수, Sherwood 수는 모두 전달현상의 대표 무차원수라서 이름만 보고 혼동하기 쉽다. 이 문항은 Schmidt 수를 물질확산, Prandtl 수를 열확산, Sherwood 수를 물질전달 계수와 연결해 구분하는지를 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

확산도 두 개의 비를 묻는지, 힘의 비를 묻는지, 전달계수의 비를 묻는지를 먼저 본다. 열 확산도가 들어가면 Prandtl 수, 물질 확산도가 들어가면 Schmidt 수, 부력과 점성력이 나오면 Grashof 수, 물질전달 계수가 나오면 Sherwood 수로 판단된다.

암기 포인트

Prandtl는 운동량 대 열, Schmidt는 운동량 대 물질, Grashof는 부력 대 점성, Sherwood는 대류 물질전달 대 분자확산이다.

NoteBase

문 3. 1차원 열전도에 대한 푸리에의 법칙(Fourier's law)이 다음 식을 따를 때, 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, A는 열흐름 방향에 수직인 단면적으로 일정하고, $k > 0$이다)

$\frac{q_x}{A} = -k\frac{dT}{dx}[\mathrm{Wm}^{-2}]$

① q_x는 x방향에 대한 열 플럭스(heat flux)이다.

② 음의 부호(-)는 온도가 감소하는 방향으로 열이 전달됨을 의미한다.

③ k는 열전도도(thermal conductivity)이다.

④ $\frac{dT}{dx}$는 x방향에 대한 온도구배를 의미한다.

정답 1번

출제 포인트

푸리에 법칙에서 열유량 q_x, 열플럭스 q_x/A, 온도구배 dT/dx, 음의 부호의 물리적 의미를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

열유량 q_x는 단위 시간에 x방향으로 전달되는 열의 양으로 단위는 W이다.
열플럭스 q_x/A는 단위 면적당 열전달률로 단위는 W/m^2이다.
열전도도 k는 물질이 열을 얼마나 잘 전달하는지를 나타내는 물성치이다.
온도구배 dT/dx는 x방향에 따른 온도 변화율이다.

선지별 해설

① X
- 틀린 부분은 "q_x는 x방향에 대한 열 플럭스"라는 표현이다.
- 실제로 열 플럭스는 q_x/A이고, q_x는 x방향 열유량 또는 열전달률이다.

② O
- 음의 부호는 열이 온도가 증가하는 방향의 반대로, 즉 온도가 감소하는 방향으로 흐른다는 뜻이다. 열은 고온에서 저온으로 전달되므로 옳다.

③ O
- k는 열전도도이며, 값이 클수록 같은 온도구배에서 더 큰 열이 전달된다.

④ O
- dT/dx는 x방향 온도 변화율이므로 x방향의 온도구배를 의미한다.

오답 포인트

q_x와 q_x/A를 같은 뜻으로 착각하면 ①을 옳다고 보기 쉽다. 식의 왼쪽이 단위 면적당 열전달률인지, 전체 열유량인지 단위까지 함께 보면 혼동이 줄어든다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

푸리에 법칙이 나오면 먼저 q_x와 q_x/A를 구분하고, 음의 부호는 열이 고온에서 저온으로 흐른다는 뜻으로 읽으면 된다. 그다음 k는 물성치, dT/dx는 방향별 온도구배로 대응시키면 된다.

암기 포인트

q_x는 열유량, q_x/A는 열플럭스, 음의 부호는 고온에서 저온이다.

NoteBase

문 4. 300 K에서 물에 용해된 A와 B의 농도에 헨리의 법칙(Henry's law)이 적용 가능할 때, 두 기체 A, B의 헨리상수는 다음과 같다. 액체상에서 A와 B의 몰분율 비(x_A/x_B)가 2일 때, 기체상에서 A와 B의 분압 비(P_A/P_B)는? (단, 액체상과 기체상은 평형을 이룬다)

○ $H_A = 2 \times 10^4 \text{bar}$
○ $H_B = 1 \times 10^4 \text{bar}$

① 0.5
② 1
③ 2
④ 4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 헨리의 법칙 $P_i = H_i x_i$를 성분별로 적용하여 기체상 분압 비 P_A/P_B를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $H_A = 2 \times 10^4 bar, H_B = 1 \times 10^4 bar, x_A/x_B = 2$
구해야 할 값: 기체상 분압 비 P_A/P_B
주의할 조건: 액체상과 기체상이 평형이므로 각 성분에 대해 헨리의 법칙을 각각 적용해야 한다.

사용할 공식

헨리의 법칙은 $P_i = H_i x_i$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 300 K의 묽은 용액에 대해 헨리의 법칙이 적용 가능하다고 주어졌고, 각 성분의 헨리상수와 액상 몰분율 비가 함께 제시되었기 때문이다.

계산 과정

성분 A와 B에 대해 각각 $P_A = H_A x_A, P_B = H_B x_B$이다.
따라서
$\frac{P_A}{P_B} = \frac{H_A x_A}{H_B x_B} = \frac{H_A}{H_B} \cdot \frac{x_A}{x_B}$
수치를 대입하면
$\frac{P_A}{P_B} = \frac{2 \times 10^4}{1 \times 10^4} \cdot 2 = 2 \cdot 2 = 4$
계산 결과 분압 비는 4이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 0.5는 헨리상수 비를 거꾸로 두거나 분모와 분자를 뒤집은 값이다. 틀린 표현은 "분압 비가 0.5이다"이고, 올바르게는 "분압 비는 4이다."이다.
② X: 1은 두 기체의 헨리상수 차이를 무시한 값이다. 틀린 표현은 "분압 비가 1이다"이고, 올바르게는 "헨리상수 비 $H_A/H_B = 2$까지 반영하면 분압 비는 4이다."이다.
③ X: 2는 액상 몰분율 비 $x_A/x_B = 2$만 반영하고 헨리상수 비 $H_A/H_B = 2$를 빠뜨린 값이다. 틀린 표현은 "분압 비가 2이다"이고, 올바르게는 "분압 비는 $(H_A/H_B)(x_A/x_B) = 4$이다."이다.
④ O: $P_A/P_B = (H_A/H_B)(x_A/x_B) = 2 \times 2 = 4$이므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 액상 몰분율 비 x_A/x_B만 보고 바로 2를 고르거나, 분압 비를 구하면서 헨리상수 비 H_A/H_B를 빠뜨리는 데 있다. 또 P_A/P_B와 P_B/P_A를 뒤집으면 0.5가 나오므로 분자와 분모의 대응을 끝까지 같게 유지해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

혼합기체 평형에서 성분별 헨리상수가 따로 주어지면 먼저 각 성분에 대해 $P_i = H_i x_i$를 세운 뒤, 비를 묻는 순간 (상수의 비) × (조성의 비)로 정리해 판단한다.

암기 포인트

헨리의 법칙 분압 비는 $P_A/P_B = (H_A/H_B)(x_A/x_B)$이다.

NoteBase

문 5. 25°C, 1atm**에서 물질 A가 공기로 확산한다. 물질 A의 Lewis 수는 2이고, 물질확산계수가** $0.1\text{cm}^2\text{s}^{-1}$**일 때, 열 확산도** $[\text{cm}^2\text{s}^{-1}]$**는?**

① 0.05

② 0.2

③ 20

④ 40

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Lewis 수와 질량확산계수의 관계식으로 열 확산도 α를 구하는 계산형 문항이다.

조건 정리

주어진 값은 Lewis 수 $Le = 2$, 질량확산계수 $D_{AB} = 0.1cm^2/s$이다.
구해야 할 값은 열 확산도 α이다.
모든 값의 단위가 이미 cm^2/s로 같으므로 추가 단위 변환은 필요하지 않다.

사용할 공식

Lewis 수의 정의는 $Le = \alpha/D_{AB}$이다.
따라서 열 확산도는 $\alpha = LeD_{AB}$로 구한다.
이 문제는 Lewis 수와 질량확산계수를 직접 주고 열 확산도를 묻고 있으므로 이 정의식을 그대로 적용하는 상황이다.

계산 과정

1. 정의식 $Le = \alpha/D_{AB}$에서 $\alpha = LeD_{AB}$로 정리한다.
2. 주어진 값을 대입하면 $\alpha = 2 \times 0.1$이다.
3. 계산하면 $\alpha = 0.2cm^2/s$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

값 0.05는 계산 결과 $0.2 cm^2/s$와 다르다. Lewis 수 정의를 거꾸로 적용해 0.1/2로 계산하면 나오는 오답이다. 틀린 값은 0.05이고, 올바르게는 $0.2 cm^2/s$이다.

② O

$\alpha = 2 \times 0.1 = 0.2 cm^2/s$이므로 정답과 일치한다. Lewis 수가 2이면 열 확산도는 질량확산계수의 2배가 된다.

③ X

값 20는 계산 결과와 전혀 맞지 않는다. 소수점 0.2를 20으로 잘못 읽거나 단위를 불필요하게 뒤섞을 때 생기는 오답이다. 틀린 값은 20이고, 올바르게는 $0.2 cm^2/s$이다.

④ X

값 40도 계산 결과 $0.2 cm^2/s$와 맞지 않는다. 수치의 크기를 검산하지 않고 임의로 배수를 크게 잡으면 생기는 오답이다. 틀린 값은 40이고, 올바르게는 $0.2 cm^2/s$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 Lewis 수 정의를 반대로 써서 $\alpha = D_{AB}/Le$로 계산하는 실수와 소수점 검산을 생략하는 실수이다. 정답 0.2는 주어진 확산계수 0.1의 2배라는 크기 감각으로도 바로 점검할 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

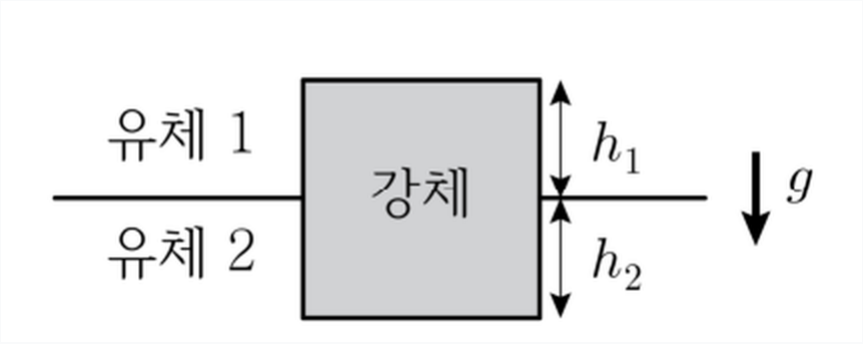
무차원수 문제가 나오면 먼저 정의식을 정확히 쓴 뒤, 무엇을 구하는지에 맞게 식을 정리한다. 그다음 주어진 수치를 대입하고, 결과가 원래 값의 몇 배인지까지 함께 검산하면 계산 방향 오류를 줄일 수 있다.

암기 포인트

Lewis 수는 $Le = \alpha/D_{AB}$이므로 열 확산도는 $\alpha = LeD_{AB}$이다.

NoteBase

문 6. 정육면체의 강체가 정지해 있는 유체 1과 유체 2의 사이에 걸쳐 잠겨 있다. 유체 1, 유체 2의 밀도는 각각 $1{,}000\text{kgm}^{-3}$, $4{,}000\text{kgm}^{-3}$이고 강체의 밀도는 $2{,}000\text{kgm}^{-3}$일 때, $\frac{h_1}{h_2}$는? (단, h_1과 h_2는 각각 강체가 유체 1과 2에 잠겨 있는 높이이고, 중력가속도(g)는 10ms^{-2}로 계산하며, 표면장력의 영향은 무시한다)



① 0.25

② 0.5

③ 1

④ 2

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 두 유체에 걸쳐 잠긴 강체의 평형에서 잠긴 부분별 부력의 합과 강체의 무게를 같게 두어 h_1/h_2를 구하는 문제이다.

조건 정리

유체 1의 밀도는 $1000kg/m^3$, 유체 2의 밀도는 $4000kg/m^3$, 강체의 밀도는 $2000kg/m^3$이다.
구해야 할 값은 h_1/h_2이다.
강체의 단면적을 A라 두면 위쪽 유체에 잠긴 부피는 Ah_1, 아래쪽 유체에 잠긴 부피는 Ah_2이다.

사용할 공식

정지 평형이므로 전체 부력과 강체의 무게가 같아진다.
$\rho_1 Ah_1 g + \rho_2 Ah_2 g = \rho_s A(h_1 + h_2)g$
이 문제는 강체가 두 유체에 나뉘어 잠겨 있으므로 각 구간의 부력을 따로 더한 뒤 강체 전체 무게와 비교해야 한다.

NoteBase

계산 과정

식에 값을 대입하면

$1000Ah_1g + 4000Ah_2g = 2000A(h_1 + h_2)g$

공통인 A와 g를 소거하면

$1000h_1 + 4000h_2 = 2000h_1 + 2000h_2$

정리하면

$1000h_1 = 2000h_2$

따라서

$\frac{h_1}{h_2} = 2$

선지 판단

1번 X: 0.25는 평형식을 만족하지 않는 값이다. $h_1 = 0.25h_2$를 대입하면 좌우가 같아지지 않는다. 틀린 값은 0.25이고, 올바르게는 $h_1/h_2 = 2$이다.

2번 X: 0.5는 비율을 뒤집거나 이항 정리를 잘못한 경우에 나오는 값이다. 틀린 값은 0.5이고, 올바르게는 $h_1/h_2 = 2$이다.

3번 X: $h_1 = h_2$이면 잠긴 부분의 평균 밀도는 $(1000 + 4000)/2 = 2500kg/m^3$가 되어 강체 밀도 $2000kg/m^3$와 맞지 않는다. 틀린 값은 1이고, 올바르게는 $h_1/h_2 = 2$이다.

4번 O: 평형식 정리 결과 $1000h_1 = 2000h_2$이므로 $h_1/h_2 = 2$가 된다. 따라서 4번이 옳다.

오답 포인트

밀도가 큰 아래쪽 유체가 더 큰 부력을 주므로 h_2가 더 길 것이라고 직관적으로 판단하면 틀리기 쉽다. 실제로는 같은 무게를 지탱하기 위해 더 조밀한 유체 쪽에서는 더 짧은 높이만 잠기면 되며, h_1/h_2와 h_2/h_1를 뒤집는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

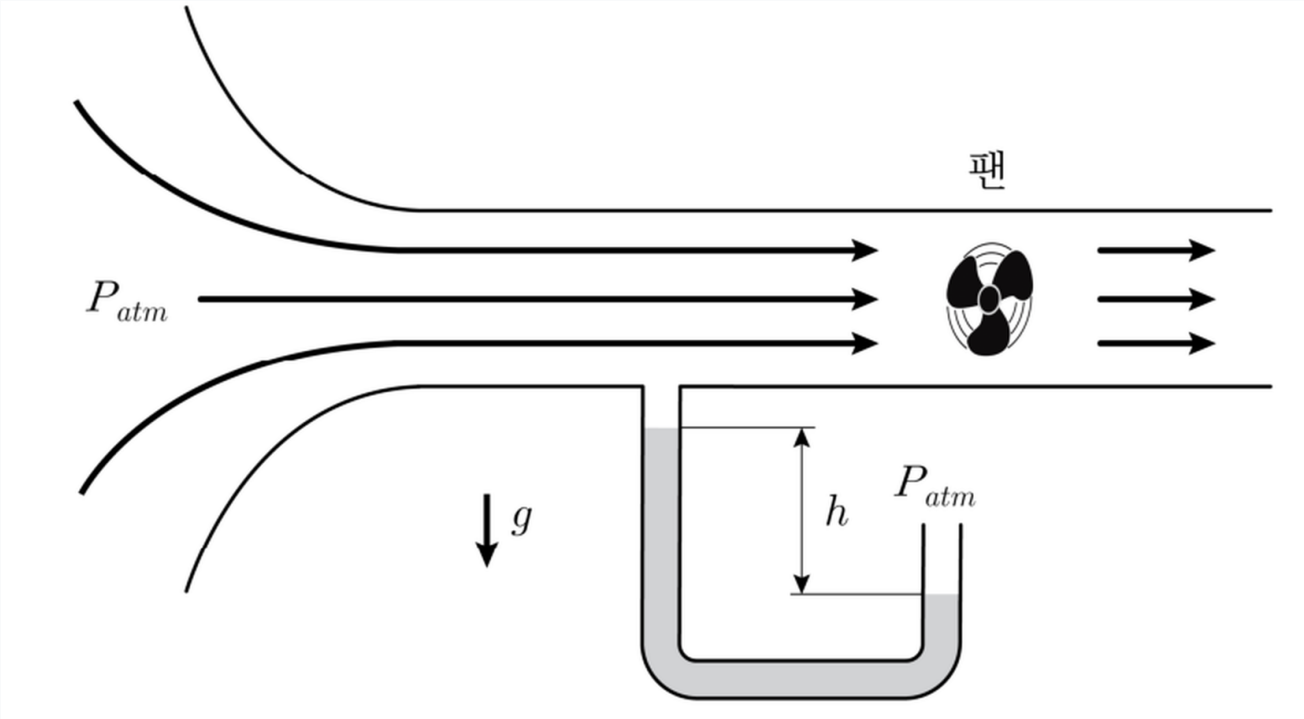
두 층 유체에 걸친 평형 문제는 각 층의 부력을 ρAhg 형태로 따로 적어 합한 뒤, 강체의 전체 무게 $\rho_s A(h_1 + h_2)g$와 같게 두고 공통항을 소거해 비율식으로 정리하면 된다.

암기 포인트

두 유체 평형은 $\rho_1 h_1 + \rho_2 h_2 = \rho_s(h_1 + h_2)$로 시작하며, 더 밀도가 큰 유체 쪽 잠긴 높이는 더 짧아진다.

NoteBase

문 7. 원형관에 설치된 팬이 대기로부터 공기를 흡입하고 있고, 관의 벽면에 설치된 U관 마노미터에는 물이 채워져 있다. 공기와 물의 밀도가 각각 1.2 kgm^{-3}, 1,000 kgm^{-3}이고, 관 속을 흐르는 공기의 유속이 20 ms^{-1}일 때, U관 마노미터의 높이차 $h[m]$는? (단, 공기의 흐름은 베르누이 방정식의 가정을 만족하고 마찰은 없으며, 중력가속도(g)는 10 ms^{-2}로 계산한다)



① 0.020

② 0.024

③ 20

④ 24

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 베르누이 방정식으로 관내 정압 강하를 구한 뒤, U관 마노미터 식으로 높이차 h를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 공기 밀도 $\rho_a = 1.2kg/m^3$, 물 밀도 $\rho_w = 1000kg/m^3$, 공기 유속 $V = 20m/s$, 중력가속도 $g = 10m/s^2$이다.
구해야 할 값은 U관 마노미터의 높이차 h이다.
관 입구의 바깥 공기는 거의 정지 상태의 대기라고 볼 수 있고, 마찰은 없으므로 바깥 대기와 관내 유동점 사이에 베르누이를 적용할 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

베르누이 방정식은 $P_{atm} = P_{pipe} + \frac{1}{2}\rho_a V^2$이다.
따라서 압력차는 $P_{atm} - P_{pipe} = \frac{1}{2}\rho_a V^2$이다.
U관 마노미터 식은 $P_{atm} - P_{pipe} = (\rho_w - \rho_a)gh$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 관 바깥 대기는 속도가 거의 0인 기준점이고, 관 속 공기는 $20m/s$로 흐르므로 속도 증가만큼 정압이 낮아지기 때문이다. 그 정압 차이를 물기둥의 높이차로 읽는 장치가 U관 마노미터이다.

계산 과정

1. 베르누이 방정식으로 압력차를 구하면 $P_{atm} - P_{pipe} = \frac{1}{2} \times 1.2 \times 20^2 = 240Pa$이다.
2. 마노미터 식에 대입하면 $240 = (1000 - 1.2) \times 10 \times h$이다.
3. 따라서 $h = \frac{240}{998.8 \times 10} \approx 0.024m$이다.

계산 결과 $h \approx 0.024m$이므로 정답은 2번이다.

선지별 해설

① X: 계산값은 $0.020m$가 아니라 $0.024m$이다. $0.020m$는 압력차를 잘못 계산하거나 공기 밀도를 임의로 단순화했을 때 나오는 값이며, 이 문항의 주어진 수치를 그대로 쓰면 맞지 않는다. 틀린 표현은 "$0.020m$"이고, 올바르게는 "$0.024m$"이다.
② O: $P_{atm} - P_{pipe} = 240Pa$이고, 이를 U관 마노미터 식 $(\rho_w - \rho_a)gh$에 대입하면 $h \approx 0.024m$가 된다. 수치와 단위가 모두 맞다.
③ X: 20은 문제에서 요구한 단위 m를 무시한 값이다. 높이차는 20이 아니라 $0.024m$이다. 틀린 표현은 "20"이고, 올바르게는 "$0.024m$"이다.
④ X: 24는 $24mm$로 쓰면 수치상 $0.024m$와 같지만, 보기의 값 24 자체는 문제의 요구 단위 m와 맞지 않는다. 틀린 표현은 "24"이고, 올바르게는 "$0.024m$" 또는 "$24mm$"이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 팬이 공기를 빨아들이는 구간에서는 관내 정압이 대기압보다 낮아진다는 점을 놓치기 쉽다. 둘째, 계산값 $0.024m$를 $24mm$로 바꾸는 과정에서 단위를 생략하면 ④처럼 틀리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

흡입 유동과 마노미터가 함께 나오면 먼저 바깥 대기와 관내 유동점 사이에 베르누이를 적용해 정압 차를 구하고, 그다음 $(\rho_{heavy} - \rho_{light})gh$로 연결해 높이차를 계산하는 순서로 판단한다. 마지막에는 반드시 문제에서 요구한 길이 단위로 다시 확인한다.

암기 포인트

흡입부는 속도 증가로 정압이 내려가고, 그 압력차는 U관에서 $(\rho_w - \rho_a)gh$로 읽힌다.

NoteBase

문 8. 내부가 비압축성 Newton 유체로 채워진 수직 원형관에 반지름이 $0.001m$이고 밀도가 $10{,}000kgm^{-3}$인 고체 구를 떨어지게 한 결과, 스톡스(Stokes) 영역에서 종말속도(terminal velocity)가 $0.001ms^{-1}$로 측정되었다. 유체의 밀도가 $1{,}000kgm^{-3}$일 때, 유체의 점도$[Pa\cdot s]$는? (단, 원형관의 반지름이 구의 반지름에 비해 매우 커서 벽면의 영향을 무시할 수 있고, 중력가속도는 $10ms^{-2}$로 계산한다)

① 10

② 20

③ 40

④ 100

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 스토크스 영역에서의 구의 종말속도 공식을 이용해 유체의 점도 μ를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 구의 반지름은 $r=0.001m$, 구의 밀도는 $\rho_s=10000kg/m^3$, 유체의 밀도는 $\rho_f=1000kg/m^3$, 종말속도는 $v_t=0.001m/s$, 중력가속도는 $g=10m/s^2$이다.
구해야 할 값: 유체의 점도 μ이다.
주의할 조건: 스토크스 영역이므로 항력은 $6\pi\mu r v_t$를 쓰고, 부력 때문에 밀도차 $\rho_s-\rho_f$를 사용한다.

사용할 공식

스토크스 영역에서 구의 종말속도는
$v_t=\frac{2r^2(\rho_s-\rho_f)g}{9\mu}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 스토크스 영역의 종말속도가 주어졌고, 벽면 영향도 무시한다고 했으므로 중력과 부력을 뺀 유효중량이 점성항력과 평형을 이루는 스토크스 종말속도식을 그대로 적용할 수 있다.

계산 과정

1. 공식을 점도에 대해 정리하면
$\mu=\frac{2r^2(\rho_s-\rho_f)g}{9v_t}$
이다.
2. 밀도차는 $\rho_s-\rho_f=10000-1000=9000kg/m^3$이다.
3. 값을 대입하면
$\mu=\frac{2\times(0.001)^2\times9000\times10}{9\times0.001}=\frac{2\times10^{-6}\times9000\times10}{0.009}=\frac{0.18}{0.009}=20$
이므로 점도는 $20Pa\cdot s$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과 점도는 $20Pa \cdot s$이므로 $10Pa \cdot s$는 맞지 않는다. 틀린 부분은 제시 점도값이며, 올바르게는 $20Pa \cdot s$이다. 이런 값은 밀도차를 잘못 넣거나 계산 중 계수를 누락하면 나올 수 있다.
② O: 스토크스 종말속도식에 주어진 값을 대입하면 $\mu = 20Pa \cdot s$가 된다. 따라서 ②가 옳다.
③ X: 계산 결과와 비교하면 $40Pa \cdot s$는 실제 점도의 두 배이다. 틀린 부분은 제시 점도값이며, 올바르게는 $20Pa \cdot s$이다. 계산식 정리 후 분자와 분모를 반대로 다루면 이런 오차가 생길 수 있다.
④ X: 계산 결과와 비교하면 $100Pa \cdot s$는 실제 점도보다 지나치게 크다. 틀린 부분은 제시 점도값이며, 올바르게는 $20Pa \cdot s$이다. 반지름 제곱, 밀도차, 종말속도 중 하나를 잘못 대입하면 이런 값이 나온다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 구의 밀도 ρ_s 자체가 아니라 밀도차 $(\rho_s - \rho_f)$를 써야 한다는 점과, 반지름이 r이므로 r^2를 정확히 계산해야 한다는 점이다. 또한 종말속도식을 μ에 대해 다시 정리할 때 $9v_t$가 분모에 남는 구조를 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

구 낙하 종말속도 문제는 먼저 스토크스 영역인지 확인하고, 다음에 밀도차 $(\rho_s - \rho_f)$를 만든 뒤, $v_t = \frac{2r^2(\rho_s - \rho_f)g}{9\mu}$에서 구하려는 값으로 식을 정리해 대입하면 된다. 마지막에는 단위가 $Pa \cdot s$로 정리되는지 검산하면 된다.

암기 포인트

스토크스 종말속도는 구의 반지름 제곱에 비례하고 점도에 반비례하며, 밀도는 항상 절대값이 아니라 밀도차 $(\rho_s - \rho_f)$로 들어간다.

NoteBase

문 9. 원형관 내에 점성을 갖는 비압축성 Newton 유체가 균일한 속도로 유입된다. 유체의 흐름 발달에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 정상흐름을 가정하고, (r, θ, z)는 원통형 좌표이다)

ㄱ. 입구영역(entrance region)에서 관의 벽면이 받는 전단응력은 입구로부터의 위치 (z)에 따라 다르다.
ㄴ. 완전발달영역(fully developed region)에서 속도분포는 관 중심으로부터의 위치 (r)에만 의존한다.
ㄷ. 유체의 단위 길이당 압력강하는 완전발달영역이 입구영역보다 크다.

① ㄱ
② ㄷ
③ ㄱ, ㄴ
④ ㄴ, ㄷ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 원형관 내부 유동의 입구영역과 완전발달영역을 구분하여 벽면 전단응력, 속도분포, 단위 길이당 압력강하의 차이를 판단하는 문제이다.

핵심 개념

입구영역은 벽면에서 시작한 경계층이 두꺼워지면서 속도분포가 축방향으로 계속 변하는 구간이다.
완전발달영역은 속도분포의 형상이 더 이상 축방향으로 바뀌지 않아 반지름 방향 위치에만 의존하는 구간이다.
단위 길이당 압력강하는 유동이 아직 발달하는 입구영역에서 더 크게 나타나고, 완전발달영역으로 가면 일정한 값으로 수렴한다.

NoteBase

선지별 해설

① X
ㄱ만 고른 선택지이므로 틀리다. ㄱ은 입구영역에서 경계층이 성장하므로 벽면 전단응력이 입구로부터의 위치에 따라 달라진다는 점에서 옳다. 다만 ㄴ도 옳으므로 올바른 조합은 ㄱ만이 아니라 ㄱ, ㄴ이다.

② X
ㄷ이 들어 있으므로 틀리다. 틀린 부분은 완전발달영역의 단위 길이당 압력강하가 입구영역보다 크다는 판단이다. 실제로는 입구영역에서 유동 발달 때문에 추가 손실이 생겨 단위 길이당 압력강하가 더 크고, 완전발달영역에서는 그 값이 더 작고 일정해진다.

③ O
ㄱ, ㄴ의 조합이므로 옳다. ㄱ은 입구영역에서 속도분포와 벽면 속도구배가 축방향으로 변하므로 성립한다. ㄴ은 완전발달영역에서 속도분포가 축방향으로 변하지 않고 반지름 방향 위치에만 의해 정해지므로 성립한다.

④ X
ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀리므로 전체 선택지는 틀리다. 틀린 부분은 ㄷ의 비교 방향이다. 올바른 진술은 단위 길이당 압력강하는 완전발달영역보다 입구영역에서 더 크다는 것이다.

오답 포인트

완전발달이라는 말을 보면 압력손실도 가장 커진다고 오해하기 쉽다. 그러나 완전발달은 속도분포 형상이 더 이상 변하지 않는 상태를 뜻할 뿐이고, 입구영역에서는 속도분포가 자리 잡는 과정 때문에 단위 길이당 압력강하가 더 크게 나타난다.

다시 나오면 이렇게 판단

관내 유동 문제에서는 먼저 입구영역인지 완전발달영역인지 나눈다. 입구영역이면 속도분포와 벽면 전단응력이 축방향으로 변한다고 보고, 완전발달영역이면 속도분포 형상은 축방향으로 고정되고 반지름 방향으로만 달라진다고 판단한다. 압력강하 비교가 나오면 입구영역의 단위 길이당 압력강하가 더 크다는 점을 기준으로 잡는다.

암기 포인트

입구영역은 발달 중이라 축방향 변화가 있고, 완전발달영역은 속도분포가 반지름 방향만 남으며 압력강하는 입구영역이 더 크다.

NoteBase

문 10. 원형관 내부 비압축성 유동에서 Reynolds 수와 마찰계수의 관계를 나타내는 무디(Moody) 차트에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 유체는 Newton 유체이다)

① 관 내부의 거칠기(roughness)에 의한 영향을 확인할 수 있다.

② 난류에서 Reynolds 수와 마찰계수의 관계는 실험적으로 얻을 수 있다.

③ 나비에-스톡스(Navier-Stokes) 식을 통해 층류에서 Reynolds 수와 마찰계수의 관계를 구할 수 있다.

④ Reynolds 수 증가에 따른 마찰계수 감소 정도는 층류일 때보다 난류일 때 더 크다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 무디 차트에서 층류와 난류의 마찰계수-레이놀즈수 관계, 그리고 상대거칠기의 영향 범위를 구분할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

무디 차트는 원형관 내 비압축성 Newton 유체의 Darcy 마찰계수 f를 Reynolds 수와 상대거칠기 ε/D에 따라 나타낸 도표이다.
층류: 점성 지배 유동이어서 $f = 64/Re$로 이론적으로 정해지고, 관 거칠기의 영향을 받지 않는다.
난류: 마찰계수가 Reynolds 수와 상대거칠기에 함께 좌우되므로 실험식이나 상관식으로 다룬다.

선지별 해설

1번 O: 무디 차트의 난류 영역에는 상대거칠기 곡선들이 함께 제시되므로 관 내부 거칠기가 마찰계수에 미치는 영향을 확인할 수 있다.
2번 O: 난류에서 Reynolds 수와 마찰계수의 관계는 해석해가 아니라 실험 결과를 바탕으로 정리되며, 무디 차트가 그 경험적 관계를 보여 준다.
3번 O: 층류에서는 Navier-Stokes 방정식으로 완전 발달 원형관 유동을 해석할 수 있고, 그 결과 Darcy 마찰계수와 Reynolds 수의 관계가 $f = 64/Re$로 정리된다.
4번 X: 틀린 부분은 "층류일 때보다 난류일 때 더 크다"이다. 실제로는 층류에서 f가 Re에 반비례하여 더 가파르게 감소하고, 난류에서는 감소율이 더 완만하다. 올바르게는 Reynolds 수 증가에 따른 마찰계수 감소 정도는 난류보다 층류에서 더 크다.

오답 포인트

4번은 난류가 더 복잡하므로 마찰계수 변화도 더 클 것처럼 느끼게 만드는 함정이다. 그러나 무디 차트에서 층류는 $1/Re$ 관계로 감소가 뚜렷하고, 난류는 거칠기 영향까지 겹쳐 감소가 상대적으로 완만하다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 층류와 난류를 나누고, 층류는 $f = 64/Re$인지, 난류는 경험적 관계와 상대거칠기 영향을 받는지 순서대로 대입하면 선지 판단이 정리된다.

암기 포인트

층류는 $f = 64/Re$, 난류는 경험식과 거칠기 영향으로 판단한다.

NoteBase

문 11. 정지해 있는 고체 구 주위 비압축성 유동의 경계층 분리 현상에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 유체는 Newton 유체이고, 유동은 스톡스(Stokes) 영역이 아니다)

① 유체가 점성을 갖는 경우 발생하는 현상이다.

② 경계층 분리가 발생하는 곳에서 와류가 형성될 수 있다.

③ 경계층 분리 현상은 고체 구가 받는 항력에 영향을 주지 않는다.

④ 유체 흐름의 역방향으로 압력이 감소하는 상황에서 발생할 수 있다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정지해 있는 구 주위 유동에서 경계층 분리가 언제 생기며 후류와 항력에 어떤 영향을 주는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

경계층 분리는 점성 때문에 벽면 근처 유체가 감속하다가 역압력구배를 이기지 못해 벽면에서 떨어지는 현상이다. 분리 뒤쪽에는 후류와 와류가 형성되기 쉽고, 구에서는 압력항력이 크게 증가한다. 경계층 분리의 핵심 조건은 유동방향으로 압력이 증가하는 역압력구배이다.

선지별 해설

① O

점성이 있어야 벽면 근처에 경계층이 형성되고 그 경계층이 분리될 수 있다. 비점성 이상유동에는 이런 의미의 경계층 분리가 성립하지 않는다.

② O

분리점 뒤에는 유동이 벽면을 따라가지 못하고 후류가 생기므로 재순환 영역과 와류가 형성될 수 있다. 구 뒤쪽 wake 형성이 대표적이다.

③ X

틀린 부분은 "항력에 영향을 주지 않는다"이다. 실제로는 경계층 분리가 구 뒤쪽의 저압 후류를 키워 압력항력을 증가시키므로 전체 항력에 큰 영향을 준다.

④ O

유동의 역방향으로 압력이 감소한다는 말은 유동방향으로는 압력이 증가한다는 뜻이므로 역압력구배 상황이다. 경계층 분리는 이런 역압력구배에서 발생할 수 있다.

NoteBase

오답 포인트

④의 표현이 방향을 바꾸어 서술해 헷갈리기 쉽다. "유동의 역방향으로 압력 감소"는 "유동방향으로 압력 증가"와 같은 뜻이므로 분리를 유발하는 역압력구배에 해당한다. 반대로 ③은 분리와 항력을 무관한 것으로 끊어 생각하게 만드는 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

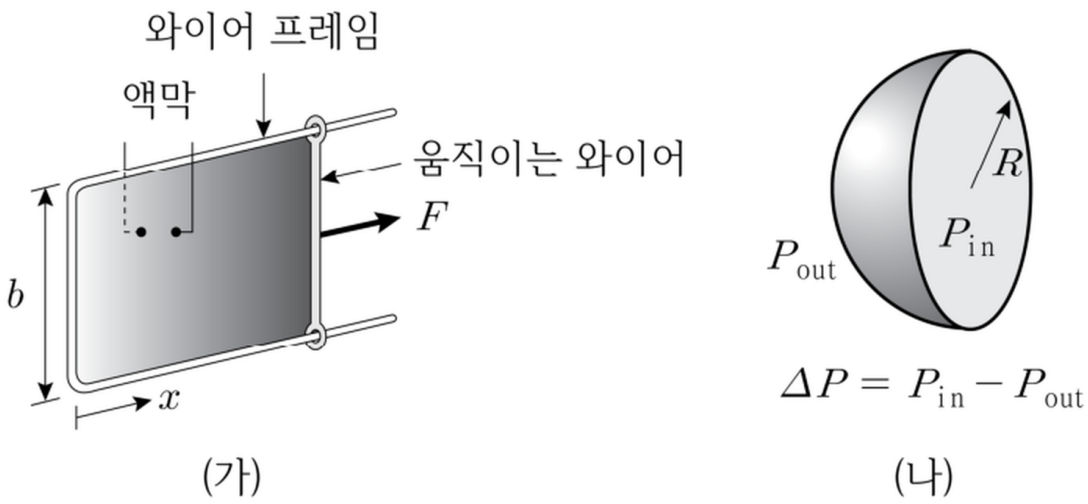
경계층 분리 문제는 먼저 점성 유동인지 확인하고, 다음으로 역압력구배가 있는지 본다. 그다음 분리 뒤에는 후류와 와류가 생기고 압력항력이 커진다는 연결까지 확인하면 정답을 판단할 수 있다.

암기 포인트

경계층 분리는 점성 + 역압력구배 + 후류 증가 + 항력 증가로 정리된다.

NoteBase

문 12. 그림 (가)는 높이 b인 U형 와이어 프레임에 매달려 있는 액막을, 그림 (나)는 공기 중에 있는 반지름 R인 구형 액체 방울의 절반 부분을 보여 주고 있다. 그림 (가)의 U형 와이어 프레임의 액막에 작용하는 표면장력은 힘 F와 평형에 있고, 그림 (나)의 액체 방울 내부 압력(P_{in})과 외부 압력(P_{out})의 차는 ΔP이다. 그림 (가)와 (나)에서 유체의 표면장력을 바르게 나열한 것은?



① (가): $\frac{F}{2b}$, (나): $\frac{R\Delta P}{4}$
② (가): $\frac{F}{2b}$, (나): $\frac{R\Delta P}{2}$
③ (가): $\frac{F}{b}$, (나): $\frac{R\Delta P}{4}$
④ (가): $\frac{F}{b}$, (나): $\frac{R\Delta P}{2}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 액막과 구형 액적에 작용하는 표면장력 관계식을 구분하여 표면장력 γ를 식으로 나타낼 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

(가): 높이 b인 움직이는 와이어에 힘 F가 평형으로 작용한다.
(나): 반지름 R인 구형 액적의 내부와 외부 압력차는 $\Delta P = P_{in} - P_{out}$이다.
주의할 조건: 액막은 앞뒤 두 계면을 가지지만, 공기 중 액적은 계면이 하나이다.

NoteBase

사용할 공식

(가): $F = 2\gamma b$
(나): $\Delta P = \frac{2\gamma}{R}$
이 공식을 쓰는 이유: 액막은 이동 와이어 길이 b를 따라 앞뒤 두 표면이 동시에 와이어를 당기고, 구형 액적은 단일 구면 계면에서의 라플라스 압력차를 따른다.

계산 과정

1. (가)에서 액막의 두 표면이 각각 γb만큼 와이어를 당기므로 전체 당기는 힘은 $2\gamma b$이다.
2. 평형 조건에서 $F = 2\gamma b$이므로 $\gamma = \frac{F}{2b}$이다.
3. (나)에서 구형 액적은 계면이 하나이므로 라플라스 식 $\Delta P = \frac{2\gamma}{R}$를 적용한다.
4. 이를 정리하면 $\gamma = \frac{R\Delta P}{2}$이다.

선지 판단

1번: X. (가)의 $\frac{F}{2b}$는 맞지만 (나)가 틀리다. 구형 액적은 계면이 하나이므로 $\gamma = \frac{R\Delta P}{2}$이다. $\frac{R\Delta P}{4}$가 아니라 $\frac{R\Delta P}{2}$로 고쳐야 한다.
2번: O. (가)는 액막의 두 계면 때문에 $F = 2\gamma b$가 되어 $\gamma = \frac{F}{2b}$이고, (나)는 구형 액적의 라플라스 식에서 $\gamma = \frac{R\Delta P}{2}$가 된다.
3번: X. (가)가 틀리다. 액막에서 두 계면을 빠뜨리면 $\gamma = \frac{F}{b}$로 잘못 계산된다. 올바르게는 $\gamma = \frac{F}{2b}$이다. (나)도 $\frac{R\Delta P}{4}$가 아니라 $\frac{R\Delta P}{2}$이다.
4번: X. (가)가 틀리다. 움직이는 와이어를 당기는 힘은 두 계면이 함께 작용하므로 $F = 2\gamma b$이다. 따라서 $\frac{F}{b}$가 아니라 $\frac{F}{2b}$가 되어야 한다. (나)의 $\frac{R\Delta P}{2}$는 맞다.

오답 포인트

액막과 액적을 모두 표면이 두 개인 경우로 처리하면 틀린다. 액막은 앞뒤 두 계면이 있어 힘이 두 배가 되고, 공기 중 액적은 계면이 하나라 압력차 식의 계수가 2이다. 1번과 3번은 액적을 비눗방울처럼 취급한 함정이고, 3번과 4번은 액막의 두 계면을 누락한 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

표면장력 문제는 먼저 계면의 개수를 확인한 뒤 힘 평형식 또는 라플라스 압력식을 쓴다. 액막이면 두 계면, 액적이면 한 계면, 비눗방울이면 두 계면으로 구분하면 된다.

암기 포인트

액막 힘은 $2\gamma l$, 액적 압력차는 $\Delta P = \frac{2\gamma}{R}$, 비눗방울 압력차는 $\Delta P = \frac{4\gamma}{R}$이다.

NoteBase

문 13. 가로 6mm, 세로 12mm의 직사각형 단면을 가진 길이 3m의 관에 점도 0.001Pa · s의 유체가 흐를 때, 관 양단의 압력차는 100Pa로 측정되었다. 수력학적 직경(hydraulic diameter)을 적용했을 때 유체의 흐름이 Hagen-Poiseuille 관계식의 가정을 만족한다면, 유체의 부피 유량$[m^3s^{-1}]$는? (단, 유로는 완전히 젖어 있고, 원주율(π)은 3으로 계산한다)

① 3.20×10^{-6}

② 6.40×10^{-6}

③ 1.28×10^{-5}

④ 2.56×10^{-5}

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 직사각형 관을 수력학적 직경으로 환산한 뒤 Hagen-Poiseuille 관계식으로 체적유량을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 가로 $6mm$, 세로 $12mm$, 관 길이 $3m$, 점도 $0.001Pa \cdot s$, 압력차 $100Pa$이다.
구해야 할 값은 체적유량 Q이다.
주의할 조건은 완전 젖음, Hagen-Poiseuille 가정 만족, 원주율 $\pi = 3$ 적용이다.

사용할 공식

수력학적 직경은 $D_h = \frac{4A}{P} = \frac{2ab}{a+b}$이다.
체적유량은 $Q = \frac{\pi D_h^4 \Delta P}{128 \mu L}$이다.
이 문제는 비원형 관이지만 수력학적 직경을 적용하라고 했으므로 원형관의 Hagen-Poiseuille 식에 D_h를 대입하는 방식으로 계산한다.

계산 과정

1. 수력학적 직경은 $D_h = \frac{2ab}{a+b} = \frac{2 \times 6 \times 12}{6+12} = 8mm = 8 \times 10^{-3}m$이다.
2. 이를 Hagen-Poiseuille 식에 대입하면 $Q = \frac{\pi D_h^4 \Delta P}{128 \mu L}$이다.
3. 수치를 넣으면 $Q = \frac{3 \times (8 \times 10^{-3})^4 \times 100}{128 \times 0.001 \times 3}$이다.
4. $(8 \times 10^{-3})^4 = 4.096 \times 10^{-9}$이므로 $Q = \frac{3 \times 4.096 \times 10^{-9} \times 100}{0.384} = 3.20 \times 10^{-6} m^3/s$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 $3.20 \times 10^{-6} m^3/s$이므로 정답이다.
2번: X. 계산 결과의 2배로, 주어진 식에 대입하면 나오지 않는 값이다. 계수를 하나 빠뜨린 계산에서 생기기 쉬운 값이며, 올바른 값은 $3.20 \times 10^{-6} m^3/s$이다.
3번: X. 정답의 4배 값이다. 체적유량 식의 분모 128을 잘못 처리하거나 속도식과 유량식을 혼동하면 나올 수 있으나, 올바른 값은 1.28×10^{-5}가 아니라 $3.20 \times 10^{-6} m^3/s$이다.
4번: X. 정답의 8배 값으로 과대계산이다. 지름의 차수 효과나 계수를 함께 잘못 처리한 결과이며, 올바른 값은 2.56×10^{-5}가 아니라 $3.20 \times 10^{-6} m^3/s$이다.

오답 포인트

수력학적 직경을 구한 뒤 체적유량 식의 계수 128을 놓치거나, 평균속도 식과 체적유량 식을 섞어 쓰면 오답이 된다. 이 문제는 $Q \propto D^4$이므로 작은 식 실수도 선택지 차이를 크게 만든다.

다시 나오면 이렇게 판단

비원형 관에서 수력학적 직경을 적용하라고 하면 먼저 D_h를 구하고, 그다음 원형관 식에 D_h를 대입한 뒤 계수와 단위 m 변환을 끝까지 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

Hagen-Poiseuille 체적유량은 $Q \propto D^4$이므로 지름과 계수 하나만 틀려도 값이 크게 달라진다.

NoteBase

문 14. 두 개의 동심원 원형관으로 구성된 특수 열전달 시스템이 있다. 내부 관과 외부 관은 각각 온도 T_1, T_2를 유지하며, $T_1 > T_2$이다. 두 관 사이의 공간은 진공 상태이며, 두 관의 표면은 회색체로 가정한다. 내부 관과 외부 관의 방사율은 각각 ε_1, ε_2이며, 내부 관의 표면은 온도에 따라 ε_1이 변하는 특수 물질이다. 이 시스템의 특성에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 각 표면의 방사율과 흡수율은 같고, 관 양 끝의 말단효과는 무시한다)

① 두 관 사이의 거리와 관계없이 열전달 속도는 일정하다.

② 정상상태에서 내부 관에서 외부 관으로의 총 열전달 속도는 온도차($T_1 - T_2$)의 네제곱에 비례한다.

③ ε_1이 증가하면, 열전달 속도가 감소한다.

④ 내부 관의 온도가 증가함에 따라 ε_1이 감소하도록 설계하면, 특정 조건에서 열전달 속도를 일정하게 유지할 수 있다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 진공 중 두 동심원 원형관 사이의 복사 열전달식에서 온도, 방사율, 반지름비가 순열전달 속도에 어떻게 작용하는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 조건: 두 관 사이 공간은 진공이므로 전도와 대류는 없고 복사만 존재한다.
표면은 회색체이고 긴 동심원 원형관이므로 $F_{12} = 1, A_1/A_2 = r_1/r_2$이다.
주의할 조건: 내부 관의 방사율 ε_1은 온도에 따라 변하는 값이다.

사용할 공식

순 복사 열전달 속도는
$\dot{Q} = \frac{\sigma A_1 (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{r_1}{r_2}\left(\frac{1}{\varepsilon_2} - 1\right)}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 진공의 두 동심원 회색체 사이 복사 교환 문제이므로 형상비와 방사율이 함께 들어가는 복사 저항식을 써야 한다.

계산 과정

1. 진공이므로 총 열전달 속도는 곧 순 복사 열전달 속도이다.
2. 식의 분자는 $T_1^4 - T_2^4$이므로 열전달 속도는 온도차의 네제곱이 아니라 절대온도의 네제곱 차에 좌우된다.
3. 식의 분모에는 $1/\varepsilon_1$과 r_1/r_2가 들어가므로 방사율과 관 간격 변화가 모두 열전달 속도에 영향을 준다.
4. T_1가 증가해 분자가 커질 때 ε_1을 감소시켜 분모도 함께 키우면 특정 조건에서 $\dot{Q}$를 일정하게 맞출 수 있다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 식에 r_1/r_2가 직접 들어가므로 두 관 사이 거리와 무관하게 일정하지 않다. 틀린 표현은 '거리와 관계없이'이며, 올바르게는 '반지름비가 바뀌면 열전달 속도도 바뀐다'이다.
2번 X: 순 복사 열전달은 $T_1^4 - T_2^4$에 비례하지 $(T_1 - T_2)^4$에 비례하지 않는다. 틀린 표현은 '온도차의 네제곱'이며, 올바르게는 '절대온도의 네제곱 차'이다.
3번 X: ε_1이 증가하면 $1/\varepsilon_1$이 감소하여 전체 복사저항이 줄어드므로 열전달 속도는 증가한다. 틀린 표현은 '감소한다'이며, 올바르게는 '증가한다'이다.
4번 O: T_1 증가로 $T_1^4 - T_2^4$가 커질 때 ε_1이 감소하면 $1/\varepsilon_1$이 커져 분모도 커진다. 두 효과를 맞추면 특정 조건에서 $\dot{Q}$를 일정하게 유지할 수 있으므로 옳다.

오답 포인트

복사 열전달은 온도차 자체가 아니라 절대온도의 네제곱 차로 본다는 점과, 방사율이 커지면 복사저항은 작아진다는 점을 동시에 놓치기 쉽다. ③처럼 '방사율 증가 = 열전달 감소'로 뒤집으면 바로 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

복사계 문제는 먼저 진공 여부를 확인해 전도와 대류를 제외하고, 다음으로 T^4 항인지 ΔT^4인지 구분한 뒤, 방사율이 분자의 강화요인인지 분모의 저항항인지 확인하면 선지를 빠르게 가를 수 있다.

암기 포인트

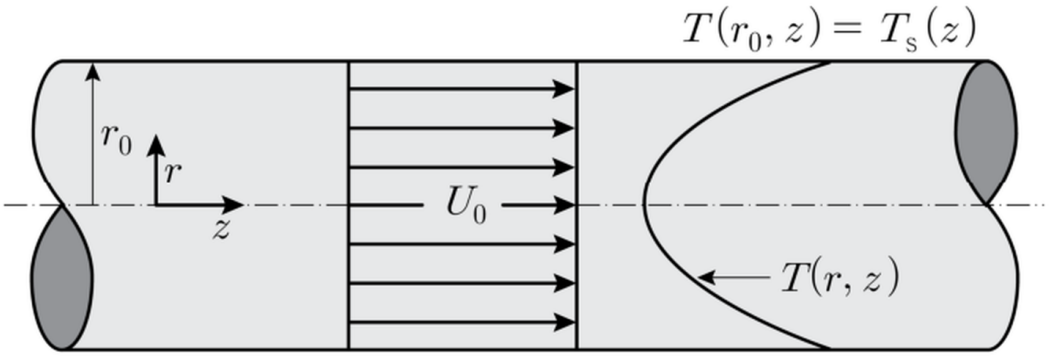
복사 열전달은 T^4의 차로 결정되고, 방사율 증가는 복사저항 감소로 이어진다.

NoteBase

문 15. 벽면으로부터 일정한 열 플럭스(heat flux)가 입사되는 원형관 내부에 유체가 관 단면에 걸쳐 균일한 속도($v_r = 0$, $v_\theta = 0$, $v_z = U_0$)로 흐른다. 원형관의 반경은 r_0, 유체의 열 확산도는 α, 관 표면 온도는 $T_s(z)$이다. 원형관 내부의 에너지 방정식이 다음과 같을 때, 관 내부의 열적으로 완전발달된 유체의 온도 분포 $T(r, z)$를 나타낸 식은? (단, 유체는 비점성, 비압축성 정상흐름이고, 유체의 물성은 온도에 따라 변하지 않으며, $\frac{\partial T}{\partial z} = C$ (C는 상수)이다)

$$\frac{\partial T}{\partial t} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left\{ \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right\}$$

t는 시간, $(r,\ \theta,\ z)$는 원통형 좌표임



① $T_s(z) - \frac{U_0 C}{2\alpha}(r_0^2 - r^2)$
② $T_s(z) - \frac{U_0 C}{4\alpha}(r_0^2 - r^2)$
③ $T_s(z) - \frac{U_0 C}{8\alpha}(r_0^2 - r^2)$
④ $T_s(z) - \frac{U_0 C}{16\alpha}(r_0^2 - r^2)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 열적으로 완전발달된 원형관 내부 유동에서 에너지 방정식을 축대칭 정상상태로 단순화한 뒤 $T(r, z)$의 반경 방향 분포를 적분해 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $v_r = 0$, $v_\theta = 0$, $v_z = U_0$, $\partial T/\partial z = C$, $T(r_0, z) = T_s(z)$이다.
구해야 할 값은 열적으로 완전발달된 유체의 온도분포 $T(r, z)$이다.
주의할 조건은 정상상태, 축대칭, 물성 일정이므로 $\partial T/\partial t = 0$, $\partial T/\partial \theta = 0$, $\partial^2 T/\partial z^2 = 0$가 된다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

에너지 방정식은
$U_0\frac{\partial T}{\partial z}=\alpha\left(\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial T}{\partial r}\right)\right)$
로 단순화된다.
이 문제에서 $\partial T/\partial z=C$이므로
$U_0C=\alpha\left(\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)\right)$
를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제 조건이 축방향 대류와 반경방향 전도만 남는 열적으로 완전발달된 원형관 내부 유동이기 때문이다.

계산 과정

1. 지배방정식을 정리하면
$\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)=\frac{U_0C}{\alpha}$
이다.
2. 양변에 r을 곱해 적분하면
$\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)=\frac{U_0C}{\alpha}r$
$r\frac{dT}{dr}=\frac{U_0C}{2\alpha}r^2+A$
이다. 중심 $r=0$에서 온도구배가 유한해야 하므로 $A=0$이다.
3. 다시 적분하면
$\frac{dT}{dr}=\frac{U_0C}{2\alpha}r,\quad T(r,z)=\frac{U_0C}{4\alpha}r^2+B(z)$
이다.
4. 경계조건 $T(r_0,z)=T_s(z)$를 대입하면
$B(z)=T_s(z)-\frac{U_0C}{4\alpha}r_0^2$
이므로
$T(r,z)=T_s(z)-\frac{U_0C}{4\alpha}(r_0^2-r^2)$
이다.

선지별 해설

① X: 계수가 $\frac{U_0C}{2\alpha}$로 되어 있어 최종 적분에서 생기는 1/2를 한 번 덜 반영한 식이다. 틀린 표현은 $\frac{1}{2}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{4}$이다.
② O: 유도 결과 $T(r,z)=T_s(z)-\frac{U_0C}{4\alpha}(r_0^2-r^2)$와 정확히 일치한다. 벽면 $r=r_0$에서 $T=T_s(z)$도 만족한다.
③ X: 계수가 $\frac{U_0C}{8\alpha}$로 되어 있어 적분 상수를 처리한 뒤 계수를 한 번 더 2로 나눈 오답이다. 틀린 표현은 $\frac{1}{8}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{4}$이다.
④ X: 계수가 $\frac{U_0C}{16\alpha}$로 되어 있어 적분 과정의 계수를 과도하게 줄인 식이다. 틀린 표현은 $\frac{1}{16}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{4}$이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 원통좌표 라플라시안의 $\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)$를 적분할 때 1/2가 두 번 누적된다는 점을 놓치는 데 있다. $r\frac{dT}{dr}$를 한 번 적분한 계수와 T를 다시 적분한 계수를 구분하지 않으면 ①, ③, ④ 같은 계수 오답을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

원형관 완전발달 문제는 먼저 정상상태, 축대칭, $\partial T/\partial z$ 상수 조건으로 지배방정식을 줄인 뒤 r에 대한 2계 미분방정식으로 바꿔 적분한다. 이후 중심 유한조건으로 특이항을 제거하고 벽면 경계조건으로 적분상수를 정하면 된다.

암기 포인트

원형관 완전발달 온도분포는 반경에 대해 포물선형이며 계수는 $\frac{U_0 C}{4\alpha}$이다.

NoteBase

문 16. 온도가 $30^\circ C$로 일정하게 유지되는 수평 평판 위로 $10^\circ C$, 1 atm의 기체 A가 판의 길이 방향으로 $1 ms^{-1}$의 자유흐름 속도로 흐르고 있다. 판의 길이 L에 대한 평균 Nusselt 수($\overline{Nu}$)가 다음 관계를 따를 때, 판에서 기체 A로의 열전달 속도[W]는?

$\overline{Nu} = 0.7 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$
Re_L은 특성길이를 L로 계산한 Reynolds 수이다.
(단, 판의 길이와 폭은 각각 1m이고, 평판과 자유흐름 사이 층류 경계층의 기체 A의 점도 = $1 \times 10^{-4} kgm^{-1}s^{-1}$, 밀도 = $1.0 kgm^{-3}$, 열전도도 = $0.05 Wm^{-1}K^{-1}$, $Pr = 1$이다)

① 3.5
② 7.0
③ 35
④ 70

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평판 외부유동의 평균 Nusselt 수 관계식으로 평균 열전달계수 $\bar{h}$를 구한 뒤, $q = \bar{h} A \Delta T$로 열전달 속도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $U_\infty = 1 m/s$, $L = 1m$, 폭 $= 1m$, $\mu = 1 \times 10^{-4} kgm^{-1}s^{-1}$, $\rho = 1.0 kg/m^3$, $k = 0.05 Wm^{-1}K^{-1}$, $Pr = 1$이다.
구해야 할 값은 판에서 기체로 전달되는 열전달 속도 q이다.
주의할 조건은 보기의 숫자가 열전달계수 $\bar{h}$인지, 열전달 속도 q인지 구분해야 한다는 점이다.

사용할 공식

사용할 식은 $\overline{Nu_L} = 0.7 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$, $\overline{Nu_L} = \bar{h} L / k$, $q = \bar{h} A (T_s - T_\infty)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 평판 길이 L에 대한 평균 Nusselt 수 상관식을 직접 주었고, 최종적으로 묻는 값이 열전달 속도이므로 $\bar{h}$를 먼저 구한 뒤 q로 연결해야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. Reynolds 수는 $Re_L = \rho U_\infty L/\mu = (1.0 \times 1 \times 1)/(1 \times 10^{-4}) = 10^4$이다.
2. 평균 Nusselt 수는 $\overline{Nu}_L = 0.7(10^4)^{1/2}(1)^{1/3} = 0.7 \times 100 = 70$이다.
3. 평균 열전달계수는 $\bar{h} = \overline{Nu}_L k/L = 70 \times 0.05/1 = 3.5 W m^{-2} K^{-1}$이다.
4. 평판 면적은 $A = 1 \times 1 = 1 m^2$, 온도차는 $\Delta T = 30 - 10 = 20 K$이므로 $q = \bar{h} A \Delta T = 3.5 \times 1 \times 20 = 70 W$이다.

선지 판단

1번 X: 3.5는 열전달 속도가 아니라 평균 열전달계수 $\bar{h}$의 수치이다. 올바르게는 평균 열전달계수는 $3.5 W m^{-2} K^{-1}$이고, 열전달 속도는 $70 W$이다.
2번 X: 7.0은 주어진 상관식과 온도차를 모두 반영한 결과가 아니다. 올바르게는 $q = \bar{h} A \Delta T = 3.5 \times 1 \times 20 = 70 W$이다.
3번 X: 35는 온도차를 $10 K$로 잘못 잡는 등 ΔT를 절반만 반영할 때 나오는 값이다. 올바르게는 자유흐름과 평판의 온도차가 $20 K$이므로 열전달 속도는 $70 W$이다.
4번 O: 평균 Nusselt 수로부터 $\bar{h} = 3.5 W m^{-2} K^{-1}$를 구하고, 여기에 면적 $1 m^2$와 온도차 $20 K$를 곱하면 $q = 70 W$가 되어 맞다.

오답 포인트

평균 Nusselt 수에서 바로 구한 3.5를 최종 열전달 속도로 착각하면 1번으로 흐르기 쉽다. 이 문항의 함정은 $\overline{Nu}_L \rightarrow \bar{h} \rightarrow q$의 두 단계를 분리하지 못하게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

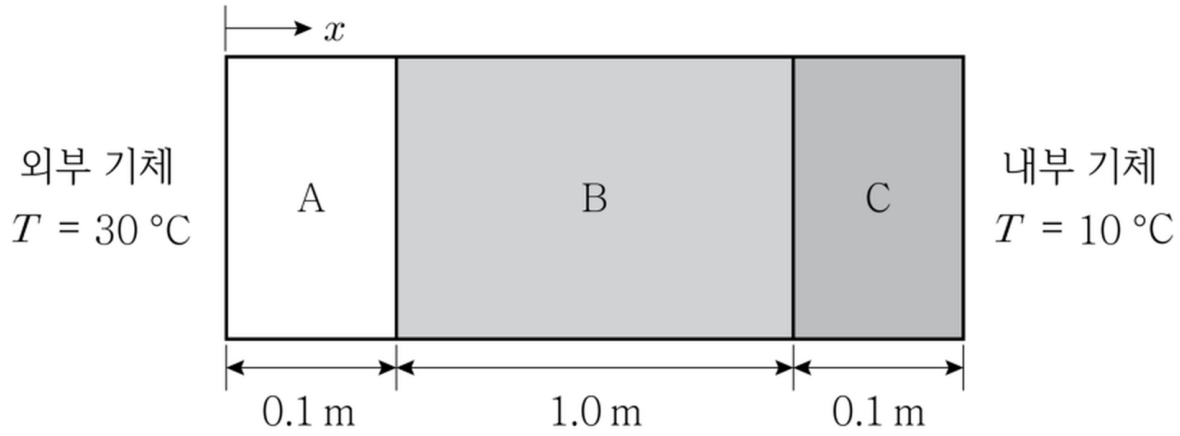
외부유동 열전달 계산형은 먼저 상관식으로 Re, Nu, $\bar{h}$를 순서대로 구하고, 최종 요구값이 열량인지 열유속인지 열전달계수인지 마지막 물리량 단위를 확인해 판단한다.

암기 포인트

평판 외부유동은 Nu로 $\bar{h}$를 구하고, 총 열전달 속도는 다시 $q = \bar{h} A \Delta T$로 한 번 더 연결한다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 평판 세 개가 완전히 밀착되어 복합체를 이루고 있다. 평판 외부 기체와 내부 기체의 온도는 각각 30°C, 10°C이고, 외부 기체와 내부 기체의 대류 열전달계수는 각각 $30\mathrm{Wm^{-2}K^{-1}}$, $10\mathrm{Wm^{-2}K^{-1}}$ 이다. 물질 B와 C의 열전도도는 각각 $10\mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$, $1\mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$이다. 정상상태에서 물질 B의 온도가 25°C 이하로 유지되기 위한 물질 A의 최대 열전도도 $[\mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}]$는? (단, x방향으로의 열전달만 고려하며, 세 평판의 x방향에 수직인 단면적은 모두 같다)



① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 2.0

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 대류와 전도가 직렬로 연결된 복합벽의 열저항을 이용하여 물질 B의 최고온도를 제한하는 물질 A의 최대 열전도도를 구하는 문제이다.

조건 정리

외부 유체 온도는 $30^\circ C$, 내부 유체 온도는 $10^\circ C$이다.
대류 열전달계수는 외부가 $30W/m^2K$, 내부가 $10W/m^2K$이다.
두께와 열전도도는 $L_A = 0.1m$, $L_B = 1.0m$, $L_C = 0.1m$, $k_B = 10W/mK$, $k_C = 1W/mK$이다.
물질 B 내부에서는 좌측이 가장 뜨겁기 때문에 한계조건은 A-B 경계 온도가 $25^\circ C$가 되는 경우이다.

NoteBase

사용할 공식

복합벽이 x방향 1차원 정상상태로 열을 전달하므로 열저항 직렬합을 사용한다.
$q'' = \frac{\Delta T}{R_t}, \qquad R_t = \frac{1}{h_o} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{1}{h_i}$
한계조건에서는 A-B 경계에서 내부 유체까지의 열저항으로도 같은 열유속을 계산할 수 있다.
$q'' = \frac{25-10}{\frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{1}{h_i}}$

계산 과정

1. A-B 경계를 $25\,^\circ C$로 두고 오른쪽 구간의 열유속을 구하면
$q'' = \frac{25-10}{\frac{1.0}{10} + \frac{0.1}{1} + \frac{1}{10}} = \frac{15}{0.3} = 50 W/m^2$
이다.

2. 외부 유체에서 A-B 경계까지의 온도차는 $30 - 25 = 5\,^\circ C$이므로
$5 = 50\left(\frac{1}{30} + \frac{0.1}{k_A}\right)$
이다.

3. 이를 정리하면
$\frac{1}{30} + \frac{0.1}{k_A} = 0.1, \qquad \frac{0.1}{k_A} = 0.1 - \frac{1}{30} = \frac{1}{15}$
이므로
$k_A = \frac{0.1}{1/15} = 1.5 W/mK$
이다. 따라서 가능한 최대 열전도도는 $1.5 W/mK$이다.

선지 판단

1번 X: $k_A = 0.5 W/mK$이면 A-B 경계 온도는 $21.25\,^\circ C$가 되어 조건은 만족하지만 최대값이 아니다. 틀린 표현은 최대 열전도도를 0.5로 본 점이고, 올바르게는 최대값이 $1.5 W/mK$이다.
2번 X: $k_A = 1.0 W/mK$이면 A-B 경계 온도는 약 $23.85\,^\circ C$가 되어 역시 조건은 만족하지만 최대값이 아니다. 틀린 표현은 한계조건 직전의 더 큰 값을 놓친 점이고, 올바르게는 $1.5 W/mK$까지 허용된다.
3번 O: $k_A = 1.5 W/mK$이면 A-B 경계 온도가 정확히 $25\,^\circ C$가 되어 물질 B의 최고온도가 허용 한계에 딱 맞는다. 따라서 최대 허용 열전도도는 3번이다.
4번 X: $k_A = 2.0 W/mK$이면 A-B 경계 온도가 약 $25.65\,^\circ C$가 되어 물질 B의 최고온도가 $25\,^\circ C$를 초과한다. 틀린 표현은 2.0이 허용된다고 본 점이고, 올바르게는 $1.5 W/mK$를 넘을 수 없다.

오답 포인트

물질 B의 온도 제한을 전체 벽의 평균온도로 판단하면 틀린다. 이 문제는 B 내부 최고온도가 어디에서 생기는지 먼저 봐야 하며, 열이 왼쪽에서 오른쪽으로 흐르므로 A-B 경계가 B의 최고온도라는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

복합벽 온도제한 문제는 먼저 제한 온도가 걸리는 위치를 찾고, 그 위치를 한계온도로 둔 뒤 좌우 열저항을 나누어 같은 열유속으로 연결해서 푼다. 마지막에는 그 값이 최대인지 초과인지 경계조건으로 다시 확인한다.

NoteBase

암기 포인트

직렬 열저항 문제에서 특정 층의 최고온도 제한은 그 층의 가장 뜨거운 경계면을 한계온도로 두고 q''를 맞추면 된다.

NoteBase

문 18. 길고 속이 빈 원형관에서 반지름 방향으로 정상상태의 전도열전달이 일어나고 있다. 관의 내부 표면과 외부 표면의 온도는 각각 $500K$, $430K$로 유지된다. 관 내부 반지름은 $2cm$이고 외부 반지름은 $4cm$이다. 반지름 $3cm$ 지점에서의 온도$[K]$는? (단, 관의 열전도도는 일정하며, $\ln 2$와 $\ln 3$은 각각 0.7, 1.0으로 계산한다)

① 460

② 470

③ 480

④ 490

정답 2번

출제 포인트

원통벽 정상상태 반지름 방향 전도에서 온도분포가 반지름 r에 대해 직선이 아니라 $\ln r$에 대해 직선이라는 점을 이용해 임의 반지름 위치의 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내부표면 온도 $T_i = 500K$, 외부표면 온도 $T_o = 430K$, 내부 반지름 $r_i = 2cm$, 외부 반지름 $r_o = 4cm$, 구하려는 위치 $r = 3cm$이다.
주의할 조건은 원형관의 정상상태 전도이므로 평판처럼 길이에 대해 선형 보간하면 안 된다는 점이다.
또한 $\ln 2 = 0.7$, $\ln 3 = 1.0$이므로 $\ln(3/2) = \ln 3 - \ln 2 = 0.3$이다.

사용할 공식

$T(r) = T_i + (T_o - T_i)\frac{\ln(r/r_i)}{\ln(r_o/r_i)}$
이 식은 열전도도가 일정한 원통벽의 정상상태 반지름 방향 전도 해이다.
따라서 $r = 3cm$에서의 온도는 반지름 비의 로그값으로 보간해야 한다.

계산 과정

1. $\ln(r/r_i) = \ln(3/2) = \ln 3 - \ln 2 = 1.0 - 0.7 = 0.3$이다.
2. $\ln(r_o/r_i) = \ln(4/2) = \ln 2 = 0.7$이다.
3. $T(3cm) = 500 + (430 - 500)\frac{0.3}{0.7} = 500 - 70 \times \frac{3}{7} = 500 - 30 = 470K$

따라서 반지름 $3cm$ 지점의 온도는 $470K$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
460은 내부표면 기준 온도강하 비율에 $\ln(4/3) = 0.4$를 잘못 넣어 $500 - 70 \times (0.4/0.7)$처럼 계산했을 때 나오는 값이다. 틀린 값 460 K → 올바르게는 470 K이다.

② O
계산 결과가 정확히 470K이므로 옳다.

③ X
480은 $\ln(3/2) = 0.3$을 더 작게 잘못 잡아 온도강하량을 과소계산했을 때 나오는 오답이다. 틀린 값 480 K → 올바르게는 470 K이다.

④ X
490는 원통벽의 로그형 온도분포를 무시하고 내부표면 온도 500K에 지나치게 가깝게 본 값이다. 틀린 값 490 K → 올바르게는 470 K이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 원통벽 전도를 평판 전도처럼 선형 보간하는 실수와 $\ln(3/2)$, $\ln(4/2)$ 같은 로그 비를 뒤바꾸는 실수이다. 이런 실수를 하면 460, 480, 490 같은 선택지가 쉽게 만들어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통이나 구의 정상상태 전도 문제는 먼저 좌표계에 맞는 온도분포식을 정하고, 경계 반지름 비의 로그값을 계산한 다음, 최종 온도가 두 경계온도 사이에 있는지 검산하면 된다.

암기 포인트

평판 전도는 위치 x에 선형이고, 원통 전도는 $\ln r$에 선형이다.

NoteBase

문 19. 320K에서 기체로 존재하는 어떤 물질이 평균자유이동거리(mean free path)보다 매우 작은 원통형 기공을 통해 Knudsen 확산한다. Knudsen 확산도가 $0.0388\mathrm{cm^2s^{-1}}$일 때, 기공의 반지름[cm]에 가장 가까운 값은? (단, 물질의 분자량은 $80\mathrm{gmol^{-1}}$로 계산한다)

① 2×10^{-6}

② 4×10^{-6}

③ 6×10^{-6}

④ 8×10^{-6}

정답 1번

출제 포인트

Knudsen 확산계수 식 $D_K=\frac{2r_p}{3}\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$에서 기공 반지름 r_p를 역산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:

- $D_K=0.0388cm^2/s$
- $T=320K$
- $M=80g/mol=0.08kg/mol$

구해야 할 값:

- 기공의 반지름 $r_p[cm]$

주의할 조건:

- 기공 반지름이 평균자유이동거리보다 매우 작으므로 분자-벽 충돌이 지배적인 Knudsen 확산식을 사용한다.
- $R=8.314J/(mol\cdot K)$를 쓰려면 D_K와 M의 단위를 SI로 맞춘다.

사용할 공식

$D_K=\frac{2r_p}{3}\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$

이 공식을 쓰는 이유:

기공이 평균자유이동거리보다 훨씬 작으면 분자끼리의 충돌보다 기공 벽과의 충돌이 우세하므로 Knudsen 확산계수를 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 단위를 SI로 바꾸면 $D_K = 0.0388 cm^2/s = 3.88 \times 10^{-6} m^2/s$이다.
2. 분자 평균속도 항은
$\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8 \times 8.314 \times 320}{\pi \times 0.08}} \approx 2.91 \times 10^2 m/s$
이다.
3. 반지름을 역산하면
$r_p = \frac{3D_K}{2\sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}} = \frac{3 \times 3.88 \times 10^{-6}}{2 \times 2.91 \times 10^2} \approx 2.00 \times 10^{-8} m$
이다.
4. $1m = 10^2 cm$이므로
$r_p \approx 2.00 \times 10^{-6} cm$
이다.

선지별 해설

① O
- 계산값이 $2 \times 10^{-6} cm$이므로 정답이다.

② X
- $4 \times 10^{-6} cm$를 대입하면 확산계수가 $0.0776 cm^2/s$가 되어 주어진 $0.0388 cm^2/s$의 2배가 된다.
- 원통형 기공 식의 계수 $\frac{2}{3}$를 잘못 처리할 때 나오는 과대계산값이다. 올바르게는 $2 \times 10^{-6} cm$이다.

③ X
- $6 \times 10^{-6} cm$를 대입하면 확산계수가 $0.1164 cm^2/s$가 되어 주어진 값의 3배가 된다.
- 반지름을 지나치게 크게 잡은 값이며, 올바르게는 $2 \times 10^{-6} cm$이다.

④ X
- $8 \times 10^{-6} cm$를 대입하면 확산계수가 $0.1552 cm^2/s$가 되어 주어진 값의 4배가 된다.
- 단위 변환과 계수 확인 없이 역산하면 나올 수 있는 과대값이며, 올바르게는 $2 \times 10^{-6} cm$이다.

오답 포인트

Knudsen 확산은 D_K가 반지름 r_p에 비례하므로 반지름 후보를 넣어 보면 오답 여부가 바로 드러난다. 이 문항의 함정은 $\frac{2}{3}$ 계수와 $cm^2/s \rightarrow m^2/s$, $g/mol \rightarrow kg/mol$ 단위 변환을 함께 놓치게 만드는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

기공이 평균자유이동거리보다 매우 작다는 문구가 보이면 먼저 Knudsen 확산식을 고른다. 그다음 D_K, M, R의 단위를 맞춘 뒤 반지름을 역산하고, 마지막에 구한 반지름을 다시 식에 넣어 주어진 확산계수가 재현되는지 검산한다.

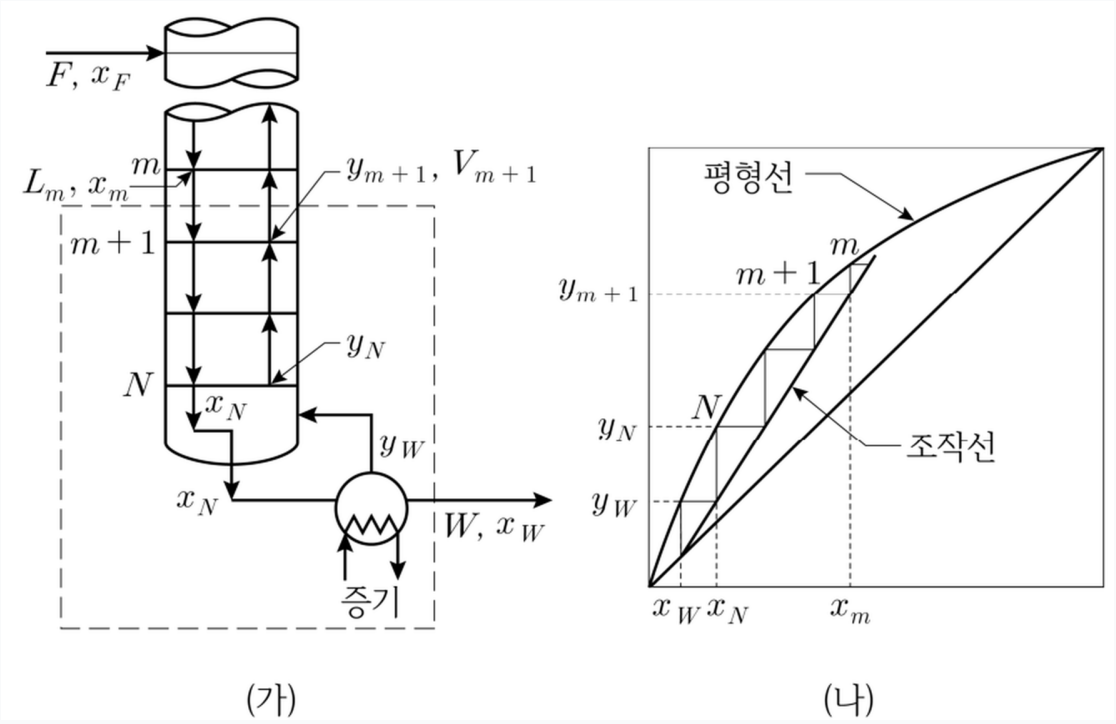
NoteBase

암기 포인트

원통형 기공의 Knudsen 확산은 $D_K \propto r_p\sqrt{T/M}$ 이며, 역산 문제에서는 $\frac{2}{3}$ 계수와 단위 검산이 정답을 가른다.

NoteBase

문 20. 그림 (가)는 증류탑의 탈거부(stripping section)의 개략도이고, 그림 (나)는 탈거부 해석을 위한 McCabe-Thiele 작도법을 나타낸다. F와 W는 원료와 탑밑 제품의 유체 몰흐름이고, x_F와 x_W는 해당 유체 흐름에서의 몰분율이다. L_i와 V_i는 임의의 단 $i(i = m, m+1, \cdots, N)$를 나가는 액체와 증기의 몰흐름이고, x_i와 y_i는 해당 유체 흐름에서의 몰분율이다. 모든 단에 대해 $L_i = L$(일정), $V_i = V$(일정)일 때, 그림 (나)에서 조작선의 기울기는? (단, 원료는 2성분 혼합물이고, 몰분율은 휘발성이 큰 성분의 몰분율이다)



① $\frac{L}{V}$

② $\frac{V}{L}$

③ $\frac{V}{W}$

④ $\frac{W}{V}$

정답 1번

출제 포인트

탈거부 McCabe-Thiele 작도에서 조작선이 하부 구간 물질수지식으로부터 $y_{m+1} = \frac{L}{V}x_m - \frac{W}{V}x_W$ 형태가 된다는 점을 묻는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값은 모든 단에서 액체 유량 $L_i = L$, 증기 유량 $V_i = V$가 일정하다는 조건이다.
구해야 할 값은 그림 (나)에서 탈거부 조작선의 기울기이다.
주의할 조건은 x와 y가 휘발성이 큰 성분의 몰분율이며, W는 바닥 제품 유량이므로 조작선의 절편항에 들어간다는 점이다.

사용할 공식

탈거부에서 단 m 아래 구간에 대해 휘발성 성분 물질수지를 적용하면 $Lx_m = Vy_{m+1} + Wx_W$이다.
이를 y_{m+1}에 대해 정리하면 $y_{m+1} = \frac{L}{V}x_m - \frac{W}{V}x_W$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 McCabe-Thiele 조작선의 기울기가 y-x 관계식에서 x_m 앞 계수로 바로 읽히기 때문이다.

계산 과정

1. 탈거부의 임의의 절단면을 잡고, 그 절단면 위로는 L, x_m가 내려오고 아래에서는 바닥 제품 W, x_W가 빠져나가며 위로 V, y_{m+1}가 올라간다고 본다.
2. 휘발성 성분에 대한 정상상태 물질수지를 쓰면 $Lx_m = Vy_{m+1} + Wx_W$이다.
3. 이를 정리하면 $Vy_{m+1} = Lx_m - Wx_W$, 따라서 $y_{m+1} = \frac{L}{V}x_m - \frac{W}{V}x_W$이다.
4. 조작선의 기울기는 x_m 앞 계수이므로 $\frac{L}{V}$이다.

선지별 해설

① O: 조작선 식을 $y_{m+1} = \frac{L}{V}x_m - \frac{W}{V}x_W$로 정리하면 기울기는 x_m 앞 계수인 $\frac{L}{V}$이다.
② X: $\frac{V}{L}$는 기울기를 뒤집어 쓴 값이다. 올바르게는 조작선 기울기가 $\frac{L}{V}$이다.
③ X: $\frac{V}{W}$는 조작선 기울기와 관계없는 비율이다. 올바르게는 기울기는 $\frac{L}{V}$이고, W는 절편항 $-\frac{W}{V}x_W$에만 들어간다.
④ X: $\frac{W}{V}$는 기울기가 아니라 절편항의 계수이다. 올바르게는 $\frac{W}{V}$가 x_W와 함께 절편을 정하고, 기울기는 $\frac{L}{V}$이다.

오답 포인트

기울기와 절편항 계수를 섞으면 ③, ④ 같은 오답을 고르게 된다. 또 물질수지식을 정리하면서 y에 대한 계수를 읽지 않고 단순히 보이는 유량 기호만 비교하면 ②처럼 분모와 분자를 뒤집는 실수가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

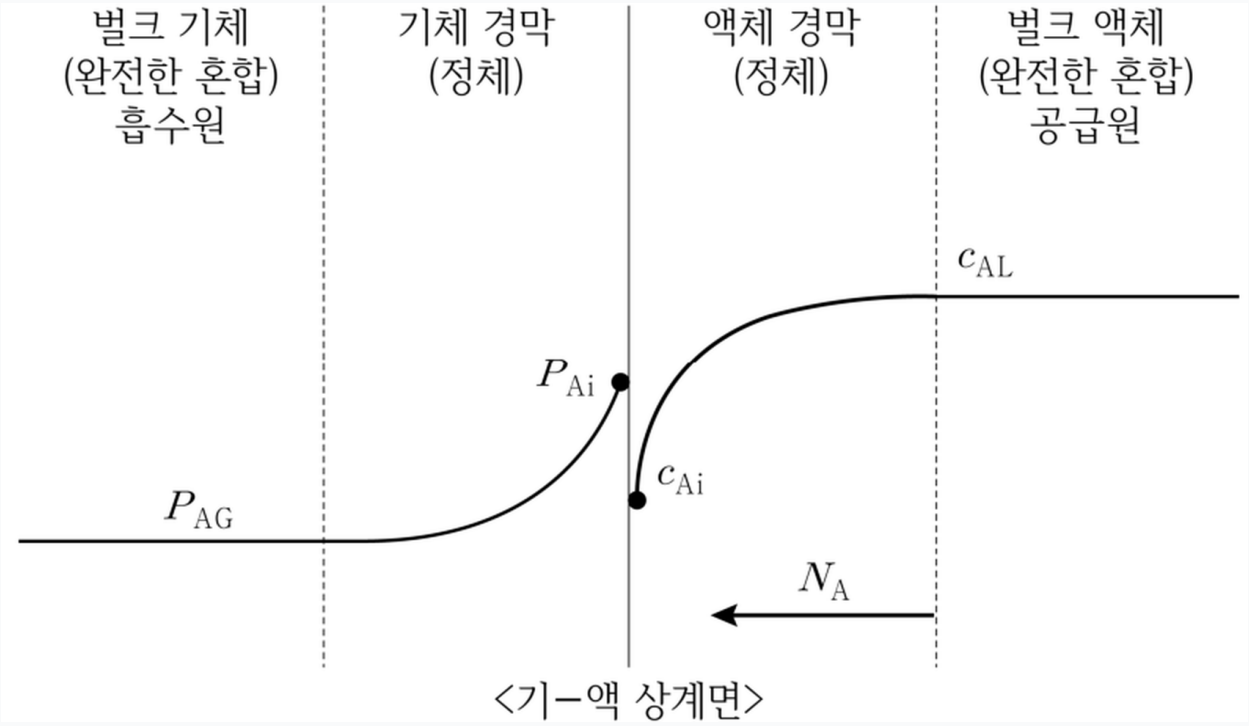
탈거부나 흡수부 조작선을 묻는 문제는 먼저 해당 구간의 성분 물질수지를 세운 뒤 $y = ax + b$ 꼴로 정리한다. 그다음 x 앞 계수는 기울기, 제품 조성항은 절편으로 구분하면 된다.

암기 포인트

탈거부 조작선은 $y = \frac{L}{V}x - \frac{W}{V}x_W$ 꼴이므로 기울기는 항상 L/V이다.

NoteBase

문 21. 그림과 같이 Whitman의 이중경막론(two-film theory)에 따라 용질 A가 액체상에서 기체상으로 전달된다. 기체 경막과 액체 경막에서의 물질전달계수를 각각 k_G, k_L이라 하며, 상계면에서는 확산 성분에 대한 저항이 없다. A의 벌크 액체에서의 농도(c_{AL}), 상계면에서의 농도(c_{Ai}), 벌크 기체에서의 분압(P_{AG}), 상계면에서의 분압(P_{Ai})을 이용하여 정상상태에서 $\frac{k_L}{k_G}$을 나타낸 식은? (단, 용매는 비휘발성이고 운반기체와 서로 섞이지 않는다)



① $\frac{P_{AG}-P_{Ai}}{c_{AL}-c_{Ai}}$
② $\frac{P_{Ai}-P_{AG}}{c_{AL}-c_{Ai}}$
③ $\frac{c_{Ai}-c_{AL}}{P_{AG}-P_{Ai}}$
④ $\frac{c_{AL}-c_{Ai}}{P_{AG}-P_{Ai}}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Whitman의 이중경막론에서 정상상태 물질유속 N_A를 기체막식과 액체막식으로 같게 두어 $\frac{k_L}{k_G}$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 벌크 액체 농도 c_{AL}, 계면 액체 농도 c_{Ai}, 벌크 기체 분압 P_{AG}, 계면 기체 분압 P_{Ai}이다.
구해야 할 값은 $\frac{k_L}{k_G}$이다.
A는 액체상에서 기체상으로 이동하므로 액체측 구동력은 $c_{AL}-c_{Ai}$, 기체측 구동력은 $P_{Ai}-P_{AG}$이다.

NoteBase

사용할 공식

정상상태에서 두 경막을 지나는 유속은 같으므로 $N_A = k_L(c_{AL} - c_{Ai}) = k_G(P_{Ai} - P_{AG})$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 계면에서 확산 저항이 없고 정상상태이므로 액체막을 빠져나온 A의 유속과 기체막을 통과하는 A의 유속이 동일하기 때문이다.

계산 과정

1. 액체막 기준 유속은 $N_A = k_L(c_{AL} - c_{Ai})$이다.
2. 기체막 기준 유속은 $N_A = k_G(P_{Ai} - P_{AG})$이다.
3. 두 식을 같게 두면 $k_L(c_{AL} - c_{Ai}) = k_G(P_{Ai} - P_{AG})$이다.
4. 이를 정리하면 $\frac{k_L}{k_G} = \frac{P_{Ai} - P_{AG}}{c_{AL} - c_{Ai}}$이다.

선지별 해설

1번 X: $\frac{P_{AG} - P_{Ai}}{c_{AL} - c_{Ai}}$는 기체측 구동력을 반대로 쓴 식이다. 이 문제에서 A는 액체에서 기체로 이동하므로 기체측은 계면 분압이 벌크 기체 분압보다 커서 $P_{Ai} - P_{AG}$가 되어야 한다. 틀린 표현은 분자의 $P_{AG} - P_{Ai}$이고, 올바르게는 $P_{Ai} - P_{AG}$이다.
2번 O: 정상상태에서 $k_L(c_{AL} - c_{Ai}) = k_G(P_{Ai} - P_{AG})$이므로 $\frac{k_L}{k_G} = \frac{P_{Ai} - P_{AG}}{c_{AL} - c_{Ai}}$가 된다. 액체측과 기체측 구동력을 각각 올바른 방향으로 쓴 식이다.
3번 X: $\frac{c_{Ai} - c_{AL}}{P_{AG} - P_{Ai}}$는 부호를 둘 다 뒤집어 $\frac{c_{AL} - c_{Ai}}{P_{Ai} - P_{AG}}$와 같아지므로 $\frac{k_G}{k_L}$에 해당한다. 틀린 표현은 액체측과 기체측 구동력을 분자와 분모에 거꾸로 배치한 점이고, 올바르게는 $\frac{P_{Ai} - P_{AG}}{c_{AL} - c_{Ai}}$이다.
4번 X: $\frac{c_{AL} - c_{Ai}}{P_{AG} - P_{Ai}}$는 분모가 음수가 되어 전체 부호가 잘못된다. 또한 형태상으로도 $\frac{k_L}{k_G}$가 아니라 역수와 부호 오류가 섞인 식이다. 틀린 표현은 분모의 $P_{AG} - P_{Ai}$이고, 올바르게는 $P_{Ai} - P_{AG}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 이동 방향을 읽지 않고 구동력의 부호를 반대로 쓰거나, 유속평형식은 맞게 세운 뒤 마지막에 $\frac{k_L}{k_G}$와 $\frac{k_G}{k_L}$를 뒤집는 데 있다. 3번은 얼핏 두 부호가 모두 뒤집혀 그럴듯해 보이지만 실제로는 역수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

막전달 문제는 먼저 A의 이동 방향을 본 뒤 각 막의 구동력을 상류값 빼기 하류값으로 적는다. 그다음 정상상태에서 N_A를 양쪽 막에서 같게 두고, 마지막에 문제에서 요구한 비가 $\frac{k_L}{k_G}$인지 $\frac{k_G}{k_L}$인지 다시 확인하면 된다.

암기 포인트

이중경막론은 정상상태에서 k_L × 액체측 구동력 = k_G × 기체측 구동력으로 정리된다.

NoteBase

문 22. $300K$, $1atm$**에서 이상기체 A와 B가 1차원으로 등몰상호확산(equimolar counter-diffusion)하고 있다. 확산 튜브의 길이는** $10cm$**, 단면적은** $2cm^2$**이다. 튜브의 양 끝에서 A의 몰분율이 각각 0.8, 0.2일 때, A의 확산 몰플럭스가** $1\times10^{-5}molcm^{-2}s^{-1}$**로 측정되었다. 확산계수** $D_{AB}[cm^2s^{-1}]$**의 값은? (단, 튜브 내 화학반응은 없으며, 기체상수는** $0.08Latmmol^{-1}K^{-1}$**이다)**

① 1

② 2

③ 4

④ 6

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 등몰상호확산에서 $N_A=-cD_{AB}\frac{dy_A}{dz}$를 적용해 확산계수 D_{AB}를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T=300K$, $P=1atm$, $L=10cm$, $y_{A1}=0.8$, $y_{A2}=0.2$, $N_A=1\times10^{-5}mol/(cm^2\cdot s)$이다.
구해야 할 값: D_{AB}이다.
주의할 조건: 등몰상호확산이므로 전체 몰유속은 0이고, 이상기체 총몰농도 $c=P/RT$를 먼저 구해야 한다.

사용할 공식

$N_A=-cD_{AB}\frac{dy_A}{dz}=cD_{AB}\frac{y_{A1}-y_{A2}}{L}$
이 공식을 쓰는 이유: 등몰상호확산에서는 한 성분의 확산이 다른 성분의 반대방향 확산과 정확히 상쇄되어 대류항 없이 Fick 법칙의 적분형을 그대로 적용할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 이상기체 총몰농도는 $c=P/(RT)=1/(0.08\times300)=1/24=0.0417mol/L=4.17\times10^{-5}mol/cm^3$이다.
2. 조성 구배의 크기는 $(0.8-0.2)/10=0.06cm^{-1}$이다.
3. 따라서 $N_A=cD_{AB}(0.06)=4.17\times10^{-5}\times0.06\times D_{AB}=2.5\times10^{-6}D_{AB}mol/(cm^2\cdot s)$이다.
4. 이를 $1\times10^{-5}mol/(cm^2\cdot s)$와 같게 두면 $D_{AB}=\frac{1\times10^{-5}}{2.5\times10^{-6}}=4cm^2/s$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과는 1이 아니라 $4cm^2/s$이다. 1은 총몰농도 $c = P/RT$를 반영하지 않거나 조성차 0.6을 누락할 때처럼 확산구동력을 작게 잡으면 나오는 오답이다. 틀린 표현은 '확산계수는 1이다'이고, 올바르게는 '$D_{AB} = 4cm^2/s$'이다.
② X: 계산 결과는 2가 아니라 $4cm^2/s$이다. 2는 조성차 0.6을 절반만 쓰거나 단위 환산을 중간에 잘못 처리할 때처럼 구배를 작게 잡으면 나오는 오답이다. 틀린 표현은 '확산계수는 2이다'이고, 올바르게는 '$D_{AB} = 4cm^2/s$'이다.
③ O: 계산 결과가 정확히 $4cm^2/s$이므로 옳다.
④ X: 계산 결과는 6이 아니라 $4cm^2/s$이다. 6은 조성차나 농도값을 과대평가해 확산계수를 크게 잡을 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 '확산계수는 6이다'이고, 올바르게는 '$D_{AB} = 4cm^2/s$'이다.

오답 포인트

①과 ② 같은 작은 값은 등몰상호확산이라는 조건을 놓치거나 $c = P/RT$를 mol/L에서 mol/cm^3로 바꾸지 않을 때 자주 나온다. 이 문제의 핵심 함정은 조성차 $0.8 - 0.2 = 0.6$과 길이 $10cm$를 동시에 반영해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체 확산계수 계산형은 등몰상호확산 여부를 먼저 확인하고, $c = P/RT$로 총몰농도를 구한 뒤, $\Delta y/L$로 조성 구배를 계산해 Fick 법칙에 대입하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

등몰상호확산의 크기식은 $N_A = cD_{AB}(\Delta y_A/L)$이고, 이상기체의 총몰농도는 $c = P/RT$이다.

NoteBase

문 23. 다음 표는 강제대류상태 흐름 속으로의 물질전달과 관련된 변수들의 기호와 차원을 나타낸다. Buckingham 방법에 의해 변수들을 세 그룹 (π_1, π_2, π_3)으로 묶을 때, π_1, $\frac{\pi_2}{\pi_3}$에 해당하는 무차원수를 바르게 나열한 것은? (단, L, M, t는 각각 길이, 질량, 시간 차원이며, a, b, ⋯, i는 변수의 지수이다)

$$\pi_1 = {D_{\mathrm{AB}}}^a \rho^b D^c k$$

$$\pi_2 = {D_{\mathrm{AB}}}^d \rho^e D^f \upsilon$$

$$\pi_3 = {D_{\mathrm{AB}}}^g \rho^h D^i \mu$$

변수	기호	차원
관 직경	D	L
유체밀도	ρ	ML^{-3}
유체점도	μ	$ML^{-1}t^{-1}$
유체속도	υ	Lt^{-1}
물질확산계수	D_{AB}	L^2t^{-1}
물질전달계수	k	Lt^{-1}

① π_1: Sherwood 수, $\frac{\pi_2}{\pi_3}$: Reynolds 수

② π_1: Sherwood 수, $\frac{\pi_2}{\pi_3}$: Grashof 수

③ π_1: Schmidt 수, $\frac{\pi_2}{\pi_3}$: Reynolds 수

④ π_1: Schmidt 수, $\frac{\pi_2}{\pi_3}$: Grashof 수

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Buckingham 방법으로 만든 무차원군의 지수를 차원식으로 맞춘 뒤, 그것이 Sherwood 수와 Reynolds 수에 해당하는지를 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 변수의 차원은 $D_{AB} : L^2t^{-1}$, $\rho : ML^{-3}$, $D : L$, $k : Lt^{-1}$, $v : Lt^{-1}$, $\mu : ML^{-1}t^{-1}$이다.
구해야 할 것은 π_1과 π_2/π_3에 대응하는 대표 무차원수이다.
핵심은 각 π가 무차원이 되도록 지수를 정한 뒤, 익숙한 전달현상 무차원수 형태와 대조하는 것이다.

NoteBase

사용할 공식

무차원 조건은 각 π에서 질량 M, 길이 L, 시간 t의 지수가 모두 0이 되는 것이다.
$\pi_1 = D_{AB}^{a}\rho^{b}D^{c}k, \quad \pi_2 = D_{AB}^{d}\rho^{e}D^{f}v, \quad \pi_3 = D_{AB}^{g}\rho^{h}D^{i}\mu$
이 공식을 쓰는 이유는 Buckingham 방법이 변수들의 차원만으로 무차원군의 형태를 정하게 해 주기 때문이다.

계산 과정

1. π_1의 차원은 $M^{b}L^{2a-3b+c+1}t^{-a-1}$이다. 무차원 조건을 적용하면 $b=0$, $a=-1$, $c=1$이므로 $\pi_1 = kD/D_{AB}$가 된다.
2. π_2의 차원은 $M^{e}L^{2d-3e+f+1}t^{-d-1}$이다. 무차원 조건을 적용하면 $e=0$, $d=-1$, $f=1$이므로 $\pi_2 = vD/D_{AB}$가 된다.
3. π_3의 차원은 $M^{h+1}L^{2g-3h+i-1}t^{-g-1}$이다. 무차원 조건을 적용하면 $h=-1$, $g=-1$, $i=0$이므로 $\pi_3 = \mu/(\rho D_{AB})$가 된다.
4. 따라서 $\pi_1 = kD/D_{AB} = Sh$이고, $\pi_2/\pi_3 = (vD/D_{AB})/(\mu/(\rho D_{AB})) = \rho vD/\mu = Re$이다.

선지 판단

1번 O: $\pi_1 = kD/D_{AB}$는 Sherwood 수이고, $\pi_2/\pi_3 = \rho vD/\mu$는 Reynolds 수이므로 옳다.
2번 X: π_1이 Sherwood 수인 점은 맞지만, π_2/π_3는 Grashof 수가 아니다. Grashof 수는 부력항인 g와 밀도차 또는 온도차 항이 들어가야 하므로, 올바르게는 Reynolds 수이다.
3번 X: π_2/π_3가 Reynolds 수인 점은 맞지만, π_1은 Schmidt 수가 아니다. Schmidt 수는 $Sc = \mu/(\rho D_{AB})$이므로 올바르게는 π_3가 Schmidt 수이고 π_1은 Sherwood 수이다.
4번 X: π_1을 Schmidt 수로, π_2/π_3를 Grashof 수로 본 것이 모두 틀렸다. 올바르게는 π_1은 Sherwood 수이고 π_2/π_3는 Reynolds 수이다.

오답 포인트

Sherwood 수, Reynolds 수, Schmidt 수의 정의를 따로 외우지 않고 형태만 흐릿하게 기억하면 2번이나 3번으로 흔들리기 쉽다. 특히 $\pi_3 = \mu/(\rho D_{AB})$가 Schmidt 수라는 점을 놓치면 π_1을 Schmidt 수로 오인하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

차원해석 문제는 먼저 각 π의 지수를 맞춰 실제 식을 복원한 뒤, 마지막에 대표 무차원수 정의와 일치시키는 순서로 판단한다. 전달현상에서는 $Sh = kL/D_{AB}$, $Re = \rho vL/\mu$, $Sc = \mu/(\rho D_{AB})$의 세 형태를 우선 대조하면 된다.

암기 포인트

물질전달에서 $Sh = kL/D_{AB}$, 유동관성비는 $Re = \rho vL/\mu$, 운동량확산과 물질확산의 비는 $Sc = \mu/(\rho D_{AB})$이다.

NoteBase

문 24. 극 좌표계 (r, θ)에서 비압축성, 비회전 흐름에 대한 속도 퍼텐셜(velocity potential) $\phi = 3(\ln r - \theta)$이다. 흐름의 r방향 속도 성분(v_r)과 θ방향 속도 성분(v_θ)에 대하여 $r = 1$일 때, 2차원 속도 $\vec{v}$의 크기는?

① $\sqrt{3}$

② $\sqrt{6}$

③ 3

④ $3\sqrt{2}$

정답 4번

출제 포인트

극좌표계 속도 퍼텐셜에서 $v_r = \frac{\partial \phi}{\partial r}$, $v_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial \theta}$를 적용해 속도 벡터의 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 속도 퍼텐셜은 $\phi = 3(\ln r - \theta)$이다.
구해야 할 값은 $r = 1$일 때 2차원 속도 벡터 $\vec{v}$의 크기이다.
극좌표계에서는 반지름 방향 성분과 각도 방향 성분을 각각 구한 뒤 제곱합의 제곱근을 취한다.

사용할 공식

$v_r = \frac{\partial \phi}{\partial r}$, $v_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial \theta}$, $|\vec{v}| = \sqrt{v_r^2 + v_\theta^2}$이다.
속도 퍼텐셜이 직접 주어졌으므로 각 성분을 편미분으로 구하는 공식이 바로 적용된다.

계산 과정

1. $\phi = 3\ln r - 3\theta$이므로 $v_r = \frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{3}{r}$이다.
2. $v_\theta = \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial \theta} = \frac{1}{r}(-3) = -\frac{3}{r}$이다.
3. $r = 1$이면 $v_r = 3$, $v_\theta = -3$이다.
4. 따라서 $|\vec{v}| = \sqrt{3^2 + (-3)^2} = \sqrt{18} = 3\sqrt{2}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- $\sqrt{3}$는 계산 결과와 맞지 않는 값이다. 두 속도 성분의 제곱합을 취하면 18이 되어야 하므로 틀린 값이다. 올바르게는 $3\sqrt{2}$이다.

② X

- $\sqrt{6}$도 계산 결과와 맞지 않는다. v_r와 v_θ를 구한 뒤 크기를 계산하면 $\sqrt{18}$이 되므로 틀린 값이다. 올바르게는 $3\sqrt{2}$이다.

③ X

- 3은 $r=1$일 때 각 성분의 크기 중 하나일 뿐, 속도 벡터 전체의 크기는 아니다. 틀린 값은 성분 하나만 답으로 본 데서 나온다. 올바르게는 $|\vec{v}|=\sqrt{3^2+(-3)^2}=3\sqrt{2}$이다.

④ O

- $v_r=3$, $v_\theta=-3$이므로 속도 크기는 $\sqrt{9+9}=3\sqrt{2}$이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

극좌표계에서는 v_θ에 $\frac{1}{r}$가 붙는다는 점과, 성분값 자체가 아니라 벡터의 크기를 묻는다는 점이 함정이다. ③은 성분 하나인 3을 그대로 답으로 고르는 실수에서 잘 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

속도 퍼텐셜 문제가 나오면 먼저 v_r와 v_θ 공식을 분리해서 쓰고, 지정된 r값을 대입한 뒤 마지막에 $|\vec{v}|=\sqrt{v_r^2+v_\theta^2}$로 크기를 계산하면 된다.

암기 포인트

극좌표계 속도 퍼텐셜은 $v_r=\partial\phi/\partial r$, $v_\theta=(1/r)\partial\phi/\partial\theta$ 순서로 구하고, 벡터 크기는 성분의 제곱합으로 정리된다.

NoteBase

문 25. A, B, C의 세 물질이 A:B:C = 1:4:6 몰비로 혼합되어 있는 기체 혼합물(M)이 있다. 확산계수 D_{AB}와 D_{AC}가 각각 $2.0 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$과 $3.0 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$일 때, 확산계수 D_{AM} $[cm^2 s^{-1}]$에 가장 가까운 값은?

① 1.0×10^3

② 1.5×10^3

③ 2.5×10^3

④ 3.5×10^3

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 다성분 기체 혼합물에서 A의 혼합확산계수 D_{AM}를 역수 가중평균식으로 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 A:B:C = 1:4:6, $D_{AB} = 2.0 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$, $D_{AC} = 3.0 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$이다.
구해야 할 값은 A가 혼합기체 M에서 확산할 때의 D_{AM}이다.
혼합매질 M은 B와 C로 이루어지므로 조성은 $y_B = 4/(4+6) = 0.4$, $y_C = 6/(4+6) = 0.6$으로 본다.

사용할 공식

$$\frac{1}{D_{AM}} = \frac{y_B}{D_{AB}} + \frac{y_C}{D_{AC}}$$

이 공식을 쓰는 이유는 A가 B, C의 혼합매질 속으로 확산할 때 A-M 확산계수가 각 이성분 확산계수의 역수 가중평균으로 주어지기 때문이다.

계산 과정

1. $y_B = 0.4$, $y_C = 0.6$을 대입한다.
2. $\frac{1}{D_{AM}} = \frac{0.4}{2.0 \times 10^3} + \frac{0.6}{3.0 \times 10^3} = 2.0 \times 10^{-4} + 2.0 \times 10^{-4} = 4.0 \times 10^{-4}$
3. 따라서 $D_{AM} = \frac{1}{4.0 \times 10^{-4}} = 2.5 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$이다.

선지 판단

1번 X: 1.0×10^3은 계산값보다 작을 뿐 아니라 $D_{AB} = 2.0 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$보다도 작아서 이 혼합확산계수로 성립할 수 없다. 틀린 수치 1.0×10^3 → 올바르게는 $2.5 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$이다.
2번 X: 1.5×10^3도 계산 결과 $2.5 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$와 일치하지 않고, 두 이성분 확산계수보다 모두 작은 값이어서 부적절하다. 틀린 수치 1.5×10^3 → 올바르게는 $2.5 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$이다.
3번 O: 역수 가중평균 계산 결과가 정확히 $2.5 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$이므로 옳다.
4번 X: 3.5×10^3은 $D_{AC} = 3.0 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$보다 큰 값이므로 이 문제의 혼합확산계수로 볼 수 없다. 틀린 수치 3.5×10^3 → 올바르게는 $2.5 \times 10^3 cm^2 s^{-1}$이다.

NoteBase

오답 포인트

이번 수치는 우연히 $(2.0 \times 10^3 + 3.0 \times 10^3)/2 = 2.5 \times 10^3$과 같아서 단순 평균으로도 같은 숫자가 나온다. 하지만 정답 근거는 단순 평균이 아니라 역수 가중평균식이다. 숫자만 맞추고 공식을 틀리게 쓰면 다음 문항에서 바로 무너진다.

다시 나오면 이렇게 판단

다성분 확산 문제는 먼저 확산하는 성분과 배경 혼합매질을 분리하고, $\frac{1}{D_{Am}} = \sum \frac{y_i}{D_{Ai}}$ 형태를 적용한 뒤, 결과가 각 이성분 확산계수의 범위 안에 있는지 검산한다.

암기 포인트

다성분 혼합에서 A의 확산계수는 직접 평균이 아니라 역수 가중평균으로 계산한다.

NoteBase