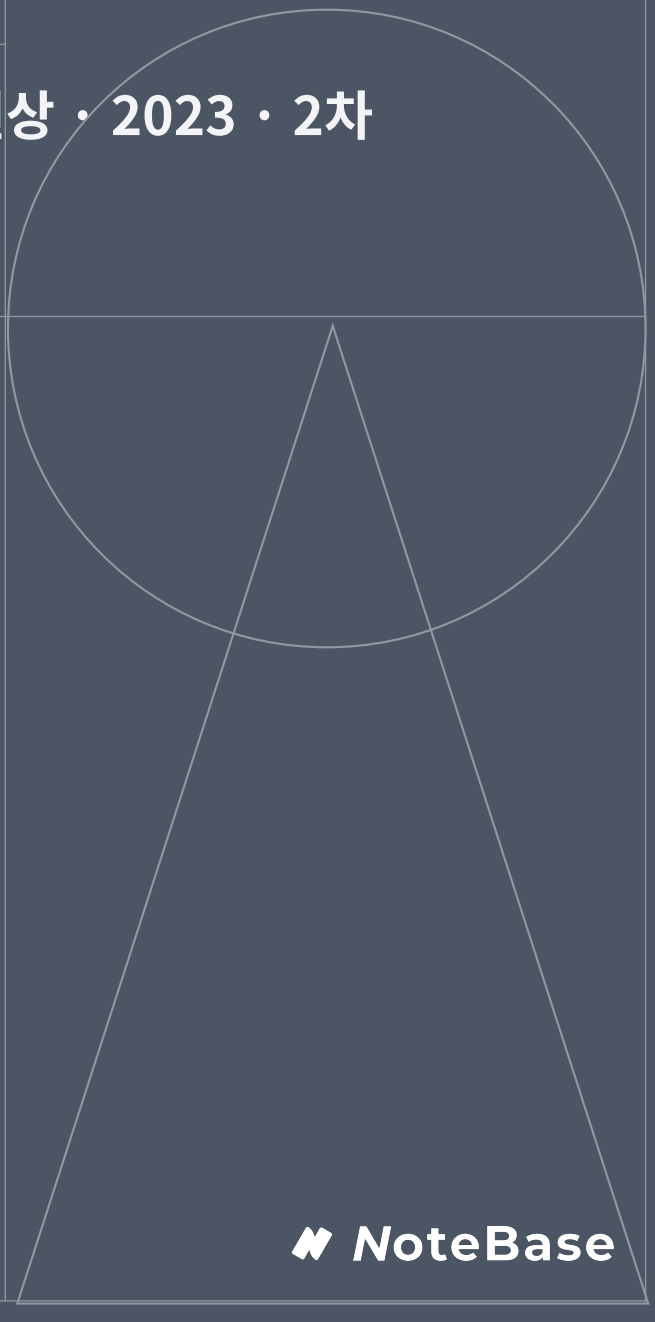
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2023 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2023 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2023 · 2차

문 1. 동점도가 $0.01\text{cm}^2\text{s}^{-1}$로 일정한 비압축성 유체가 반지름이 10cm인 관의 입구로 1cms^{-1}의 평균 속도로 들어간다. 관의 출구 반지름이 5cm일 때, 출구에서 유체의 Reynolds 수(Re)는? (단, 정상상태이고, 어떠한 손실도 없다)

① 1,000

② 2,000

③ 4,000

④ 6,000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 비압축성 정상유동에서 연속방정식으로 출구 속도를 구한 뒤, 레이놀즈 수 정의식으로 출구의 Re를 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 동점도 $\nu = 0.01cm^2/s$, 입구 반지름 $r_1 = 10cm$, 입구 평균 속도 $V_1 = 1cm/s$, 출구 반지름 $r_2 = 5cm$
구해야 할 값: 출구의 레이놀즈 수
주의할 조건: 비압축성·정상상태이므로 유량이 일정하고, 레이놀즈 수에는 반지름이 아니라 직경 $D = 2r$를 사용한다.

사용할 공식

연속방정식은 $A_1V_1 = A_2V_2$이다.
레이놀즈 수는 $Re = \frac{VD}{\nu}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 비압축성 정상유동에서는 입구와 출구의 체적유량이 같고, 관내 유동의 레이놀즈 수는 해당 단면의 평균속도와 관 직경으로 정의되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 단면적 비를 구하면 $\frac{A_1}{A_2}=\frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2}=\frac{10^2}{5^2}=4$이다.
2. 따라서 출구 평균속도는 $V_2=V_1\frac{A_1}{A_2}=1\times 4=4cm/s$이다.
3. 출구 직경은 $D_2=2r_2=10cm$이다.
4. 출구 레이놀즈 수는 $Re_2=\frac{V_2D_2}{\nu}=\frac{4\times 10}{0.01}=4000$이다.

선지 판단

1번: X

출구 레이놀즈 수는 1000이 아니다. 연속방정식으로 출구 속도를 4\,cm/s로 바꿔야 하는데 이를 반영하지 않으면 틀린다. 틀린 표현은 출구 Re를 1000으로 본 점이고, 올바르게는 출구 Re는 4000이다.

2번: X

2000은 출구 반지름 5\,cm를 그대로 넣어 직경 대신 사용했을 때 나오는 값이다. 레이놀즈 수는 직경을 써야 하므로 틀린 표현은 길이척도로 반지름을 사용한 점이고, 올바르게는 출구 직경 10\,cm를 넣어 4000을 구해야 한다.

3번: O

출구 속도는 4\,cm/s, 출구 직경은 10\,cm이므로 $Re=\frac{4\times 10}{0.01}=4000$이다. 연속방정식과 레이놀즈 수 정의를 모두 맞게 적용한 값이다.

4번: X

6000은 주어진 조건으로는 나오지 않는다. 유량 일정 조건과 출구 직경을 정확히 적용하면 계산값은 4000으로 고정된다. 틀린 표현은 출구 Re를 6000으로 본 점이고, 올바르게는 4000이다.

오답 포인트

출구 반지름이 절반이 되면 속도는 2배가 아니라 단면적이 4분의 1이 되므로 4배가 된다. 또한 레이놀즈 수에는 반지름이 아니라 직경을 넣어야 하므로 2000과 4000을 혼동하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

관 단면이 바뀌는 계산형 문제는 먼저 $A_1V_1=A_2V_2$로 새 속도를 구하고, 그다음 해당 단면의 직경을 넣어 $Re=\frac{VD}{\nu}$를 계산하면 된다.

암기 포인트

비압축성 관유동은 단면적이 4분의 1이면 속도는 4배가 되고, 레이놀즈 수는 항상 VD/ν에서 $D=2r$를 쓴다.

NoteBase

문 2. 자연 대류의 설명으로 옳지 않은 것은?

① 농도 불균형으로 발생할 수 있다.

② 온도 구배에 의해 발생할 수 있다.

③ 속도분포와 온도분포는 서로 영향을 주지 않는다.

④ 유체의 부력효과 때문에 일어나는 자연적인 순환이다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 자연대류의 발생 원인과 속도분포·온도분포의 상호 연동 여부를 묻는 문제이다.

핵심 개념

자연대류는 외부 펌프나 팬 없이 밀도차로 생긴 부력 때문에 유체가 스스로 순환하는 현상이다.
농도차, 온도차처럼 밀도차를 만드는 원인이 있으면 자연대류가 일어날 수 있다.
자연대류에서는 유동이 생기면 속도분포와 온도분포가 서로 결합되어 함께 영향을 준다.

선지별 해설

① O: 농도 차이로 밀도 불균형이 생기면 부력이 발생하므로 농도 불균형으로도 자연대류가 발생할 수 있다.
② O: 온도 구배가 있으면 온도에 따른 밀도 차이가 생겨 부력이 발생하므로 자연대류의 대표적 원인이 된다.
③ X: 틀린 부분은 "서로 영향을 주지 않는다"이다. 자연대류에서는 온도분포가 밀도와 부력을 바꾸고, 그 부력으로 생긴 속도분포가 다시 열전달을 바꾸므로 두 분포는 서로 영향을 준다. 올바르게는 "속도분포와 온도분포는 서로 영향을 준다"이다.
④ O: 자연대류는 유체의 부력효과 때문에 외력 없이 일어나는 자연적인 순환이다.

오답 포인트

강제대류처럼 유동장과 온도장을 따로 떠올리면 ③을 맞는 말처럼 보기 쉽다. 그러나 자연대류는 온도차나 농도차가 밀도차를 만들고, 그 밀도차가 다시 유동을 만드는 결합 문제라는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자연대류 문제는 먼저 부력의 원인이 되는 밀도차가 있는지를 본다. 그다음 온도장·농도장과 유동장이 서로 결합되는 현상인지 판단하면 틀린 선지를 빠르게 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

자연대류는 밀도차가 만든 부력 순환이며, 온도분포와 속도분포는 서로 연결된다.

NoteBase

문 3. 비압축성 Newton 유체를 수평으로 놓인 평행한 두 평판 사이에 놓고, 아래 평판을 고정시킨 상태에서 위 평판을 $10\mathrm{ms}^{-1}$로 이동시키면서 힘을 측정하였다. 두 평판 사이의 거리는 $1\mathrm{mm}$, 위 평판과 유체의 접촉 면적은 $100\mathrm{cm}^2$, 정상상태에서 위 평판에 가해지는 수평 방향의 힘은 $100\mathrm{N}$일 때, 유체의 점도는?

① $10\mathrm{kgm}^{-1}\mathrm{s}^{-1}$

② $10\mathrm{Pa}\cdot\mathrm{s}$

③ $10\mathrm{cP}$

④ $10\mathrm{P}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평행판 사이의 Newton 유체에 대한 Couette 유동에서 전단응력과 속도구배의 관계를 이용해 점도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 판 사이 거리 $h = 1mm = 1 \times 10^{-3}m$
- 위 판 속도 $U = 10m/s$
- 접촉 면적 $A = 100cm^2 = 1 \times 10^{-2}m^2$
- 힘 $F = 100N$

구해야 할 값:
- 점도 μ

주의할 조건:
- 면적과 길이를 SI 단위로 바꾼 뒤 계산해야 한다.

사용할 공식

Newton 유체의 전단응력 관계는 $\tau = \mu\frac{du}{dy}$이다.
평행판 Couette 유동에서는 속도분포가 선형이므로 $\frac{du}{dy} = \frac{U}{h}$, 또 $\tau = \frac{F}{A}$이다.
따라서 $\mu = \frac{F/A}{U/h} = \frac{Fh}{AU}$를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제 조건이 아래 판 고정, 위 판 등속 이동인 전형적인 평행판 전단유동이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전단응력을 구하면 $\tau = \frac{F}{A} = \frac{100}{1 \times 10^{-2}} = 1.0 \times 10^{4} Pa$이다.
2. 속도구배를 구하면 $\frac{du}{dy} = \frac{U}{h} = \frac{10}{1 \times 10^{-3}} = 1.0 \times 10^{4} s^{-1}$이다.
3. 점도는 $\mu = \frac{\tau}{du/dy} = \frac{1.0 \times 10^{4}}{1.0 \times 10^{4}} = 1 Pa \cdot s$이다.
4. 단위 변환하면 $1 Pa \cdot s = 10 P$이므로 정답값은 $10 P$이다.

선지별 해설

① X

- $10 kg m^{-1} s^{-1}$는 $10 Pa \cdot s$와 같은 단위이다. 계산 결과는 $1 Pa \cdot s$이므로 10배 크다. 틀린 표현은 수치 10이고, 올바르게는 $1 kg m^{-1} s^{-1}$이다.

② X

- $10 Pa \cdot s$는 계산값 $1 Pa \cdot s$와 다르다. P와 $Pa \cdot s$를 그대로 같은 크기로 착각하면 나오는 오답이다. 틀린 표현은 수치 10이고, 올바르게는 $1 Pa \cdot s$이다.

③ X

- $10 cP$는 $0.01 Pa \cdot s$이므로 계산값보다 100배 작다. centipoise를 poise나 $Pa \cdot s$와 혼동하면 나오는 오답이다. 틀린 표현은 단위 환산 결과이고, 올바르게는 $1000 cP$ 또는 $10 P$이다.

④ O

- 계산 결과 $\mu = 1 Pa \cdot s$이고, 이는 $10 P$와 같다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, $100 cm^{2}$를 $100 m^{2}$처럼 두면 전단응력이 틀어진다. 둘째, $1 Pa \cdot s = 10 P = 1000 cP$ 변환을 놓치면 ①, ②, ③이 모두 그럴듯하게 보인다.

다시 나오면 이렇게 판단

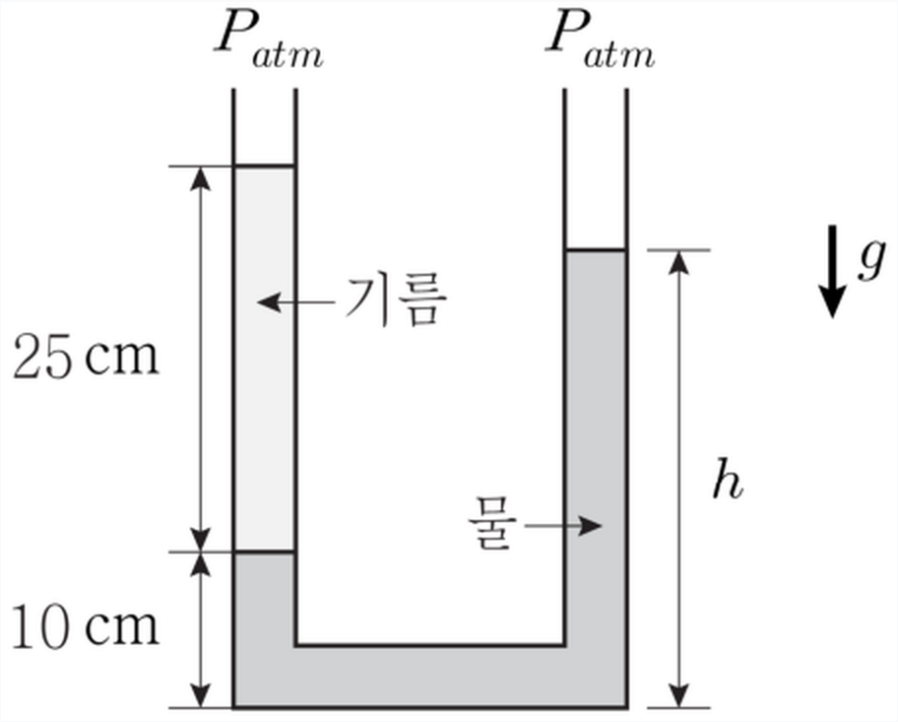
평행판 점도 문제는 먼저 $\tau = F/A$와 $du/dy = U/h$를 구한 뒤 $\mu = \tau/(du/dy)$로 계산하고, 마지막에 보기 단위 $Pa \cdot s$, P, cP로만 변환하면 된다.

암기 포인트

평행판 Newton 유체는 $\mu = Fh/AU$, 그리고 $1 Pa \cdot s = 10 P = 1000 cP$이다.

NoteBase

문 4. U자관에 물과 비중이 0.8인 기름 기둥이 있다. 높이 $h[cm]$는? (단, 중력 가속도의 크기는 g이다)



① 25
② 30
③ 35
④ 40

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 U자관에서 같은 높이의 압력이 같다는 정수압 평형을 이용해 오른쪽 물기둥 높이 h를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 왼쪽 아래 물기둥 높이 $10cm$, 그 위 기름기둥 높이 $25cm$, 기름의 비중 0.8이다.
구해야 할 값은 오른쪽 물기둥의 높이 h이다.
주의할 조건은 기름의 비중이 0.8이므로 기름의 밀도는 물의 밀도 ρ_w의 0.8배라는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

같은 수평면에 있는 같은 유체의 압력은 서로 같다.
$P_{atm} + \rho_o g(25cm) + \rho_w g(10cm) = P_{atm} + \rho_w gh$
여기서 $\rho_o = 0.8\rho_w$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 U자관 바닥의 같은 높이에서 왼쪽과 오른쪽 모두 물이 연결되어 있어 그 지점 압력이 같아야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 왼쪽 바닥 압력은 대기압에 기름기둥 $25cm$와 물기둥 $10cm$의 정수압이 더해진 값이다.
2. 오른쪽 바닥 압력은 대기압에 물기둥 h의 정수압이 더해진 값이다.
3. 두 압력을 같게 두면
$0.8\rho_w g(25cm) + \rho_w g(10cm) = \rho_w gh$
$h = 0.8 \times 25 + 10 = 20 + 10 = 30(cm)$
따라서 $h = 30cm$이다.

선지별 해설

① X
25는 기름기둥 $25cm$만 반영하고 아래의 물기둥 $10cm$를 빠뜨린 값이다. 틀린 표현은 높이 h를 $25cm$로 본 점이며, 올바르게는 기름의 물환산 수두 $20cm$에 물 $10cm$를 더한 $30cm$이다.

② O
$h = 30cm$이므로 계산 결과와 일치한다. 왼쪽의 기름 $25cm$는 물로 환산하면 $20cm$이고, 여기에 아래 물 $10cm$를 더하면 오른쪽 물기둥 높이 $30cm$가 된다.

③ X
35는 기름의 비중 0.8을 무시하고 25 + 10으로 단순 합산한 값이다. 틀린 표현은 기름 $25cm$를 물 $25cm$와 같은 압력수두로 본 점이며, 올바르게는 기름 $25cm$는 물 $20cm$에 해당하므로 $h = 30cm$이다.

④ X
40은 비중 적용 방향을 거꾸로 잡아 기름기둥 압력을 실제보다 크게 본 값이다. 틀린 표현은 높이 h를 $40cm$로 본 점이며, 올바르게는 비중 0.8을 곱해 물환산 수두를 줄여야 하므로 $h = 30cm$이다.

오답 포인트

기름 높이와 물 높이를 그대로 더하면 안 되고, 먼저 기름기둥을 물 기준 압력수두로 바꿔야 한다는 점이 함정이다. 비중 0.8을 보고 $25cm$를 그대로 쓰거나 오히려 나누어서 더 크게 만드는 실수가 자주 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

U자관 계산형 문제는 같은 높이의 압력을 먼저 맞춘 뒤, 서로 다른 유체 높이는 한 기준 유체의 압력수두로 환산해 합산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

U자관은 같은 높이 압력평형, 다른 유체 높이는 비중을 곱해 같은 기준 유체 수두로 바꾼다는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 5. 서로 다른 기체 A, B를 분리막을 이용해 분리하고자 한다. 기체 A의 기체 B에 대한 용해도계수 비 $\frac{S_A}{S_B}$는 2이고, 확산계수 비 $\frac{D_A}{D_B}$는 0.1일 때, 기체 A의 기체 B에 대한 막 선택도 $\frac{Q_A}{Q_B}$값은?

① 20

② 2

③ 0.2

④ 0.02

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 분리막의 막 선택도가 용해도계수비와 확산계수비의 곱으로 정해진다는 관계를 이용해 Q_A/Q_B를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $S_A/S_B = 2$, $D_A/D_B = 0.1$이다.
구해야 할 값: 기체 A의 기체 B에 대한 막 선택도 Q_A/Q_B이다.
주의할 조건: 막 선택도는 두 비를 더하는 값이 아니라 곱하는 값이며, A/B 비를 B/A로 뒤집지 않아야 한다.

사용할 공식

분리막에서 성분의 투과도는 $Q = D \times S$로 본다. 따라서 막 선택도는
$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{D_A S_A}{D_B S_B} = \left(\frac{D_A}{D_B}\right)\left(\frac{S_A}{S_B}\right)$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 용해도계수비와 확산계수비를 함께 주었으므로, 두 성질이 모두 반영된 투과도비를 계산해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 막 선택도 식에 주어진 비를 대입한다.
2. $Q_A/Q_B = (D_A/D_B)(S_A/S_B) = 0.1 \times 2$이다.
3. 계산하면 $Q_A/Q_B = 0.2$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산 결과는 0.2이므로 20은 틀리다. 틀린 표현은 선택도를 20으로 본 부분이다. 올바르게는 $D_A/D_B = 0.1$을 $D_B/D_A = 10$으로 뒤집지 않고 곱해 0.2로 계산해야 한다.
② X: 계산 결과는 0.2이므로 2는 틀리다. 틀린 표현은 용해도계수비만 선택도로 본 부분이다. 올바르게는 $S_A/S_B = 2$에 확산계수비 0.1도 함께 곱해야 한다.
③ O: $Q_A/Q_B = 0.1 \times 2 = 0.2$이므로 맞다. 용해도계수비와 확산계수비를 모두 반영한 값이다.
④ X: 계산 결과는 0.2이므로 0.02는 틀리다. 틀린 표현은 소수점을 한 자리 더 이동한 부분이다. 올바르게는 $0.1 \times 2 = 0.2$이지 0.02가 아니다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 선택도를 한 계수만으로 판단하거나, A/B 비를 거꾸로 뒤집거나, 0.1×2의 소수점 처리를 틀리는 데 있다. 특히 ②는 확산계수비를 빠뜨린 경우이고, ①은 비를 역수로 취한 경우에 가깝다.

다시 나오면 이렇게 판단

분리막 계산형 문제는 먼저 무엇의 비를 묻는지 확인한 뒤, 투과도 = 확산계수 × 용해도계수 관계를 세운 다음, 주어진 비들을 같은 방향으로 맞춰 곱하면 된다.

암기 포인트

막 선택도는 투과도비이며, 투과도는 $D \times S$이므로 선택도는 확산계수비와 용해도계수비의 곱이다.

NoteBase

문 6. 온도가 T_A와 T_B로 일정한 평행한 두 회색체 표면 A와 B가 서로 마주 보고 있다. 각 표면은 무한히 넓고, 복사에너지 플럭스는 $1.0\mathrm{kWm^{-2}}$이다. $\sigma(T_A^4 - T_B^4) = 6.5\mathrm{kWm^{-2}}$이고 B의 방사율이 0.2일 때, A의 방사율은? (단, σ는 Stefan-Boltzmann 상수이고, 표면 i의 방사율 e_i과 흡수율 a_i는 $e_i = a_i$이다)

① 0.8

② 0.4

③ 0.2

④ 0.1

정답 2번

출제 포인트

평행한 두 회색체 사이의 순복사 열유속 식에서 복사저항 합을 이용해 미지의 방사율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $q = 1.0kW/m^2$, $\sigma(T_A^4 - T_B^4) = 6.5kW/m^2$, $\varepsilon_B = 0.2$이다.
구해야 할 값은 표면 A의 방사율 ε_A이다.
주의할 조건은 두 표면이 무한 평판으로 서로만 마주 보므로 형상계수는 1이고, 회색체이므로 흡수율과 방사율이 같다는 점이다.

사용할 공식

평행한 두 무한 회색평판 사이의 순복사 열유속은 $q = \frac{\sigma(T_A^4 - T_B^4)}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 표면이 모두 회색체이고 서로만 복사 교환을 하므로 표면 복사저항이 직렬로 더해진 저항식이 그대로 적용되기 때문이다.

계산 과정

1. 문제의 수치를 식에 대입하면 $1.0 = \frac{6.5}{\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{0.2} - 1}$ 이다.
2. 따라서 분모는 6.5가 되어야 하므로 $\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{0.2} - 1 = 6.5$ 이다.
3. $1/0.2 = 5$이므로 $\frac{1}{\varepsilon_A} + 5 - 1 = 6.5 \Rightarrow \frac{1}{\varepsilon_A} = 2.5$ 이다.
4. 따라서 $\varepsilon_A = \frac{1}{2.5} = 0.4$ 이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산 결과 $\varepsilon_A = 0.4$이므로 0.8은 틀리다. 이 값은 $q = \varepsilon_A \varepsilon_B \sigma (T_A^4 - T_B^4)$처럼 방사율을 단순 곱으로 처리할 때 나오는 오답값에 가깝다. 틀린 표현은 A의 방사율이 0.8이라는 점이며, 올바르게는 0.4이다.
② O: 저항식에 수치를 대입해 정리하면 $\varepsilon_A = 0.4$가 된다. 따라서 2번이 정답이다.
③ X: 0.2는 B의 방사율과 같은 값을 그대로 옮겨 적은 오답이다. 틀린 표현은 A와 B의 방사율이 같다고 본 점이며, 올바르게는 A의 방사율은 계산으로 구한 0.4이다.
④ X: 0.1은 $\frac{1}{\varepsilon_A} = 6.5 + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1$처럼 항을 잘못 정리해 $\frac{1}{\varepsilon_A} = 10.5$로 두었을 때 나오는 오답값이다. 틀린 표현은 A의 방사율이 0.1이라는 점이며, 올바르게는 0.4이다.

오답 포인트

회색체 사이 복사는 방사율의 곱으로 계산하지 않고, $\frac{1}{\varepsilon_A} + \frac{1}{\varepsilon_B} - 1$ 형태의 복사저항 합으로 계산한다는 점이 핵심 함정이다. 또한 상대면의 방사율 0.2를 미지수 A의 값으로 착각하거나, 이항 과정에서 부호를 잘못 처리하면 0.1 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평행 회색체 복사 문제는 먼저 q와 $\sigma(T_1^4 - T_2^4)$를 비교해 분모 전체 값을 구한 뒤, $\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1$ 저항식에서 미지 방사율의 역수를 분리해 계산하면 된다.

암기 포인트

$q = \sigma \Delta T^4 / (1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1)$이며, 회색체 복사는 방사율의 곱이 아니라 역수합 저항식으로 푼다는 점을 기억한다.

NoteBase

문 7. 360 K에서 점도가 1.0 cP인 용매에 구형 물질 A가 무한희석 되어 있다. Stokes-Einstein 방정식이 적용되고 A의 확산계수가 360 K에서 $2.0 \times 10^{-7} cm^2 s^{-1}$일 때, A의 직경$[nm]$은? (단, 원주율 $\pi = 3$이고, Boltzmann 상수는 $1.4 \times 10^{-23} J K^{-1}$이다)

① 56

② 28

③ 14

④ 7

정답 2번

출제 포인트

Stokes-Einstein 식 $D = \frac{kT}{3\pi\mu d}$을 이용해 확산계수와 점도, 온도로부터 구형 입자의 직경을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T = 360K$, $\mu = 1.0cP = 1.0 \times 10^{-3} Pa \cdot s$, $D = 2.0 \times 10^{-7} cm^2/s = 2.0 \times 10^{-11} m^2/s$, $k = 1.4 \times 10^{-23} J/K$
구해야 할 값: A의 직경 d
주의할 조건: 문제에서 $\pi = 3$으로 둔다. cP와 cm^2/s를 SI 단위로 바꾼 뒤 계산해야 한다.

사용할 공식

$D = \frac{kT}{3\pi\mu d} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{kT}{3\pi\mu D}$
구형 입자에 대한 Stokes-Einstein 식은 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$이고 $d = 2r$이므로 $D = \frac{kT}{3\pi\mu d}$로 쓸 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 구형 물질의 확산계수와 점도, 온도가 주어졌으므로 Stokes-Einstein 식으로 직경을 직접 계산하는 상황이다.

계산 과정

1. Boltzmann 항을 계산하면 $kT = (1.4 \times 10^{-23})(360) = 5.04 \times 10^{-21}$이다.
2. 분모를 계산하면 $3\pi\mu D = 3 \times 3 \times (1.0 \times 10^{-3}) \times (2.0 \times 10^{-11}) = 1.8 \times 10^{-13}$이다.
3. 따라서 $d = \frac{5.04 \times 10^{-21}}{1.8 \times 10^{-13}} = 2.8 \times 10^{-8} m = 28 \times 10^{-9} m = 28nm$이다.

선지 판단

① X: 계산 결과 직경은 $28nm$이므로 56은 맞지 않는다. 틀린 표현은 "56"이고, 올바르게는 "28"이다.
② O: 계산 결과가 $28nm$이므로 옳다.
③ X: 계산 결과 직경은 $28nm$이므로 14는 맞지 않는다. 틀린 표현은 "14"이고, 올바르게는 "28"이다.
④ X: 계산 결과 직경은 $28nm$이므로 7은 맞지 않는다. 틀린 표현은 "7"이고, 올바르게는 "28"이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 단위 변환과 r, d 구분이다. $1cP = 10^{-3}Pa \cdot s$, $1cm^2/s = 10^{-4}m^2/s$이므로 $2.0 \times 10^{-7}cm^2/s$는 $2.0 \times 10^{-11}m^2/s$로 바뀐다. 또 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$를 그대로 쓸 때는 반지름 r이 나오고, 지름을 묻는 문제에서는 $d = 2r$를 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

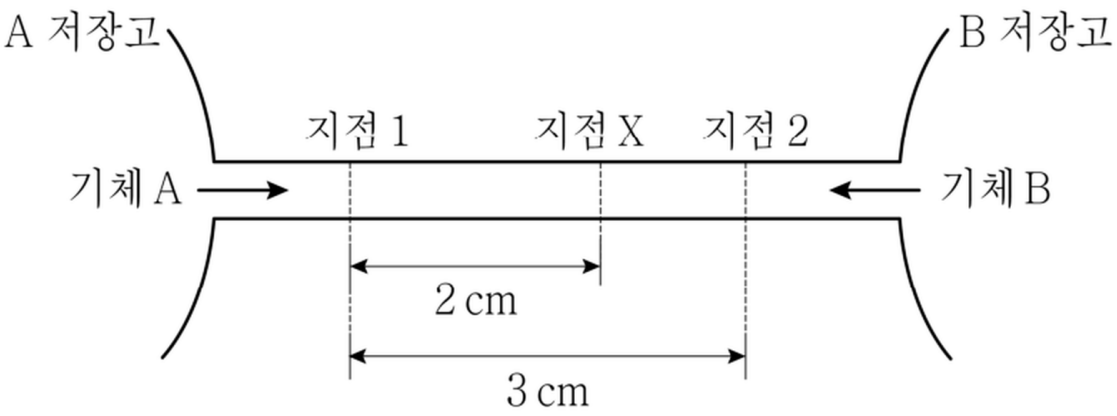
Stokes-Einstein 문제는 먼저 구하는 값이 반지름인지 지름인지 확인하고, 다음에 cP와 cm^2/s를 SI 단위로 바꾼 뒤, 마지막에 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$ 또는 $D = \frac{kT}{3\pi\mu d}$ 중 알맞은 형태로 계산하면 된다.

암기 포인트

구형 입자는 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r} = \frac{kT}{3\pi\mu d}$이고, $1cP = 10^{-3}Pa \cdot s$, $1cm^2/s = 10^{-4}m^2/s$이다.

NoteBase

문 8. 기체 A, B 저장고를 연결하는 직선 튜브에서 등온, 등압, 정상상태로 등몰상호확산(equimolar counter-diffusion)하고 있다. 시간이 흐른 후, 지점 1에서 기체 A의 부분압이 45 kPa이고, 지점 2에서는 부분압이 15 kPa일 때, 지점 X에서 기체 A의 부분압[kPa]는? (단, 모든 기체는 반응하지 않는 이상기체이고, 수평 방향으로만 확산한다)



① 20

② 25

③ 30

④ 35

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 등온·등압·정상상태의 등몰상호확산에서 기체 A의 부분압이 거리 방향으로 선형적으로 변한다는 점을 이용해 지점 X의 부분압을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 지점 1에서의 기체 A 부분압이 $45kPa$, 지점 2에서의 기체 A 부분압이 $15kPa$, 지점 1에서 지점 X까지 거리가 $2cm$, 지점 1에서 지점 2까지 거리가 $3cm$라는 점이다.
구해야 할 값은 지점 X에서의 기체 A 부분압이다.
주의할 조건은 등몰상호확산이므로 전체 압력은 일정하고 부분압 분포가 거리와 함께 직선적으로 변한다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

등몰상호확산의 정상상태에서는 기체 A의 부분압이 거리 x에 대해 선형적으로 변하므로
$P_{A,X} = P_{A,1} + (P_{A,2} - P_{A,1})\frac{x_{1X}}{x_{12}}$
를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 등온·등압·정상상태의 직선 튜브에서 몰유속이 일정하므로 부분압 기울기가 일정하기 때문이다.

계산 과정

1. 지점 1에서 지점 2까지 기체 A의 부분압 변화량은 $15 - 45 = -30kPa$이다.
2. 전체 거리 $3cm$ 동안 $30kPa$가 감소하므로 기울기는 $-10kPa/cm$이다.
3. 지점 X는 지점 1에서 $2cm$ 떨어져 있으므로 감소량은 $10 \times 2 = 20kPa$이다.
4. 따라서 지점 X에서의 부분압은 $45 - 20 = 25kPa$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과가 $25kPa$이므로 $20kPa$는 맞지 않는다. 지점 X에서의 기체 A 부분압은 $20kPa$가 아니라 $25kPa$이다.
② O: 지점 1에서 $2cm$ 이동한 위치의 부분압은 선형 감소를 적용하면 $25kPa$가 되므로 옳다.
③ X: $30kPa$는 $45kPa$와 $15kPa$의 단순 평균값인데, 지점 X는 두 지점의 정확한 중간점이 아니다. 지점 X의 부분압은 $30kPa$가 아니라 $25kPa$이다.
④ X: 지점 1에서 지점 X까지는 전체 거리의 $\frac{2}{3}$이므로 감소량도 전체 감소량 $30kPa$의 $\frac{2}{3}$인 $20kPa$가 되어야 한다. 따라서 $35kPa$가 아니라 $25kPa$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 지점 X의 위치를 정확히 비례 배분하지 않고 평균값으로 처리하거나, 거리 비 2 : 3을 반대로 읽는 데 있다. 등몰상호확산에서는 부분압이 직선적으로 변하므로 위치 비례를 정확히 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온·등압·정상상태의 등몰상호확산 문항이 나오면 먼저 부분압 분포가 선형인지 확인하고, 그다음 거리 비례로 부분압 감소량을 계산한 뒤 최종 부분압을 구하면 된다.

암기 포인트

등몰상호확산 정상상태에서는 부분압이 거리와 선형 비례로 변하므로 중간값은 위치 비례로 계산한다.

NoteBase

문 9. 정지해 있는 비압축성 Newton 유체 내에서 중력에 의해 떨어지기 시작한 고체 구가 Stokes 영역에서 종단 속도에 도달하였다. 정상 상태에서 열이 고체 구 표면으로부터 유체로 전달될 때, 열전달의 Nusselt 수(Nu)와 열전달의 Peclet 수(Pe)는 다음의 관계로 표현된다. 대류열전달계수가 고체 구의 지름과 무관해지기 위한 지수 n의 값은?

$Nu \propto Pe^n$

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

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Stokes 영역에서 낙하하는 구의 종단속도와 Pe, Nu의 정의를 연결해 대류열전달계수 h가 지름 d에 무관해지는 지수 n을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 관계는 $Nu \propto Pe^n$이다.\nStokes 영역의 구는 종단속도가 $u_t \propto d^2$이다.\nPeclet 수는 $Pe \propto u_t d$이다.\nNusselt 수의 정의는 $Nu = hd/k$이다.
구해야 할 값은 h가 d와 무관하도록 하는 n이다.

사용할 공식

$Nu = hd/k$, $Nu \propto Pe^n$, $Pe \propto u_t d$를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 Nu와 Pe의 비례식을 주었고, 대류열전달계수는 $Nu = hd/k$로 정의되므로 h의 지름 의존성을 직접 정리할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. Stokes 영역에서 구의 종단속도는 $u_t \propto d^2$이다.
2. 따라서 $Pe \propto u_t d \propto d^3$이다.
3. 그러면 $Nu \propto Pe^n \propto d^{3n}$이다.
4. $Nu = hd/k$이므로 $h \propto Nu/d \propto d^{3n-1}$이다.
5. h가 지름과 무관하려면 d의 지수가 0이어야 하므로 $3n - 1 = 0$이다.
6. 따라서 $n = 1/3$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: $n = 1/3$이면 $h \propto d^{3(1/3)-1} = d^0$가 되어 지름과 무관하다.
② X: $n = 1/2$이면 $h \propto d^{3/2-1} = d^{1/2}$가 되어 지름 의존성이 남는다. 틀린 값 1/2를 1/3으로 고쳐야 한다.
③ X: $n = 1$이면 $h \propto d^{3-1} = d^2$가 되어 지름이 커질수록 h도 커진다. 틀린 값 1을 1/3으로 고쳐야 한다.
④ X: $n = 2$이면 $h \propto d^{6-1} = d^5$가 되어 지름 의존성이 더욱 커진다. 틀린 값 2를 1/3으로 고쳐야 한다.

오답 포인트

Stokes 영역이라는 조건을 놓치고 속도의 지름 의존성을 잘못 잡으면 Pe의 지수가 함께 틀어진다. 또 $Nu = hd/k$에서 $h \propto Nu/d$라는 마지막 d 나눗셈을 빠뜨리면 지름 무관 조건을 잘못 구하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

낙하 구의 열전달 문제는 먼저 속도의 지름 의존성을 찾고, 다음으로 Pe의 지름 지수를 구한 뒤, 마지막으로 $Nu = hd/k$를 이용해 h의 지름 지수를 0으로 맞추는 순서로 판단한다.

암기 포인트

Stokes 낙하구는 $u_t \propto d^2$, 따라서 $Pe \propto d^3$, 지름 무관 조건은 $3n - 1 = 0$이다.

NoteBase

문 10. 낮은 밀도에서 단원자 이상기체의 열전도도에 선형비례하는 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 분자질량
ㄴ. 절대온도
ㄷ. 밀도
ㄹ. 평균 분자속도

① ㄱ, ㄴ
② ㄴ, ㄷ
③ ㄴ, ㄹ
④ ㄷ, ㄹ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 저밀도 단원자 이상기체의 열전도도가 자유분자 영역에서 어떤 변수에 선형비례하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

저밀도 한계에서는 분자끼리의 충돌보다 벽 사이를 오가는 분자 수송이 지배적이므로 열전도도는 단위시간에 이동하는 분자수와 그 속도에 좌우된다.
이때 분자 플럭스는 대체로 $\rho\bar{c}$에 비례하므로 열전도도는 밀도와 평균 분자속도에 선형비례한다.
반면 평균 분자속도는 $\bar{c} \propto \sqrt{T/M}$이므로 절대온도와 분자질량에는 선형비례하지 않는다.

선지별 해설

1번 X: ㄱ, ㄴ을 고른 선택지이다. 분자질량은 열전도도에 선형비례하지 않고 평균 분자속도를 통해 $1/\sqrt{M}$ 꼴로 작용한다. 절대온도도 평균 분자속도를 통해 $\sqrt{T}$ 꼴로 작용하므로 선형비례가 아니다. 틀린 표현은 "ㄱ, ㄴ이 선형비례한다"이고, 올바르게는 "ㄷ, ㄹ이 선형비례한다"이다.
2번 X: ㄴ, ㄷ을 고른 선택지이다. 밀도는 맞지만 절대온도는 선형비례 항이 아니다. 틀린 표현은 "ㄴ"이고, 올바르게는 "절대온도는 평균 분자속도를 통해 제곱근 형태로만 반영된다"이다.
3번 X: ㄴ, ㄹ을 고른 선택지이다. 평균 분자속도는 맞지만 절대온도를 선형비례 항으로 본 점이 틀리다. 틀린 표현은 "ㄴ"이고, 올바르게는 "선형비례 항은 밀도와 평균 분자속도이다"이다.
4번 O: ㄷ, ㄹ을 고른 선택지이다. 저밀도 자유분자 영역에서는 열전도도가 분자 수밀도와 분자 평균속도에 비례하므로 밀도와 평균 분자속도를 묶은 이 선택지가 맞다.

NoteBase

오답 포인트

보통 연속체 희박기체의 열전도도는 압력에 거의 무관하다고 외워 둔 내용과, 저밀도 자유분자 영역의 비례관계를 섞으면 틀리기 쉽다. 특히 "절대온도가 올라가면 열전도도도 커진다"는 사실을 곧바로 "절대온도에 선형비례한다"로 바꾸는 순간 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

문제에 "낮은 밀도"가 보이면 먼저 자유분자 영역인지부터 본다. 그다음 열전도도를 $\rho \bar{c}$ 꼴로 떠올리고, 속도항은 $\bar{c} \propto \sqrt{T/M}$라서 온도와 분자질량은 선형비례가 아니라는 점을 분리해서 판단한다.

암기 포인트

저밀도 기체 열전도도는 ρ와 $\bar{c}$에는 선형, T와 M에는 제곱근 형태로 연결된다.

NoteBase

문 11. 1,000 A의 전류(I)가 지름이 $10mm$이고 단위 길이당 전기저항(R)이 $9 \times 10^{-5}[\Omega m^{-1}]$인 도선을 통해 흐른다. 공간의 온도는 $20^{\circ}C$이고 대류열전달계수는 $50[Wm^{-2}K^{-1}]$이다. 아래 조건을 가정할 때, 도선의 표면온도[$^{\circ}C$]는? (단, 단위 길이당 열생성속도 $q = I^2R$로 계산하고, $1[Wm^{-1}] = 1[A^2\Omega m^{-1}]$이며 원주율 $\pi = 3$이다)

◯ 피복이 없는 무한히 긴 원통형 금속 도선이다.
◯ 도선은 공중에서 연결되고, 어떠한 물체의 접촉도 없다.
◯ 생성되는 열이 모두 도선 표면으로 방출된다.
◯ 열전달은 정상상태이고, 복사열전달은 무시한다.

① 60
② 70
③ 80
④ 90

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 단위길이당 줄발열과 대류 방출열의 정상상태 열수지를 이용해 도선 표면온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 전류 $I = 1000A$
- 단위길이당 전기저항 $R = 9 \times 10^{-5}\Omega/m$
- 지름 $d = 10mm = 0.01m$
- 주변온도 $T_\infty = 20^\circ C$
- 대류열전달계수 $h = 50W/(m^2 \cdot K)$

구해야 할 값:
- 도선 표면온도 T_s

주의할 조건:
- 정상상태이므로 생성열과 대류 방출열이 같다.
- 단위길이당 표면적은 πd이고, 문제에서 $\pi = 3$으로 둔다.

NoteBase

사용할 공식

단위길이당 열생성은 $q = I^2R$이다.
정상상태 열수지는 $q = h(\pi d)(T_s - T_\infty)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 무한히 긴 원통형 도선, 정상상태, 복사 무시, 생성열 전부 표면 방출을 가정했기 때문이다.

계산 과정

1. 단위길이당 줄발열을 구하면 $q = I^2R = (1000)^2 \times 9 \times 10^{-5} = 90 W/m$이다.
2. 단위길이당 도선 표면적은 $\pi d = 3 \times 0.01 = 0.03 m^2/m$이다.
3. 열수지식 $90 = 50 \times 0.03 \times (T_s - 20)$에서 $T_s - 20 = 60 K$이다.
4. 따라서 $T_s = 80\,^\circ C$이다.

선지별 해설

1번 X
- $60\,^\circ C$는 표면온도가 아니라 온도상승분 $(T_s - T_\infty)$이다.
- 틀린 표현은 최종온도를 60으로 본 점이다. 올바르게는 주변온도 $20\,^\circ C$를 더해 $T_s = 80\,^\circ C$이다.

2번 X
- $70\,^\circ C$는 주어진 열수지식 $90 = 50 \times 0.03 \times (T_s - 20)$을 만족하지 않는다.
- 틀린 표현은 온도차를 50으로 본 점이다. 올바르게는 온도차가 $60K$이므로 표면온도는 $80\,^\circ C$이다.

3번 O
- 단위길이당 열발생량이 $90 W/m$, 단위길이당 대류면적이 $0.03 m^2/m$이므로 온도차는 $60K$이다.
- 따라서 표면온도는 $20 + 60 = 80\,^\circ C$가 되어 3번이 옳다.

4번 X
- $90\,^\circ C$가 되려면 온도차가 $70K$여야 하는데, 주어진 전류와 저항으로 계산한 열발생량에서는 그렇게 되지 않는다.
- 틀린 표현은 계산 결과를 과대평가한 점이다. 올바르게는 열수지 결과가 $80\,^\circ C$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 60을 표면온도 자체로 착각하는 점이다. 이 값은 대류식에서 나온 온도차 $(T_s - T_\infty)$일 뿐이며, 반드시 주변온도 $20\,^\circ C$를 더해야 한다. 또 단위길이당 표면적을 πd로 두는 조건을 놓치면 오답값으로 흐르기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

전기발열 도선 문제는 먼저 $q = I^2R$로 단위길이당 생성열을 구하고, 다음에 $hA_s(T_s - T_\infty)$와 같게 놓아 온도차를 계산한 뒤 마지막에 주변온도를 더해 최종 표면온도를 판단한다.

암기 포인트

도선 표면온도 문제는 줄발열 I^2R와 대류열 $h\pi d\Delta T$를 같게 놓고, 구한 ΔT에 주변온도를 더해 최종온도를 만든다.

NoteBase

문 12. 이상기체의 확산에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 분자 확산은 압력 구배에 의해 일어날 수 있다.

② 확산계수는 혼합물의 구성성분에 독립적이다.

③ 높은 농도에서 2성분계 혼합물의 확산은 Fick의 제1법칙을 따른다.

④ 등온, 등압에서 2성분계 혼합물의 확산 거동은 하나의 확산계수로 설명할 수 있다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 2성분계 확산에서 확산의 구동력과 확산계수의 의존성을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

이상기체의 분자 확산은 농도 구배가 대표적 구동력이지만 압력 구배와 같은 퍼텐셜 차이로도 일어날 수 있다. 등온, 등압의 2성분계 이상기체 확산은 하나의 상호확산계수로 기술하며, 이 확산계수는 성분쌍과 상태조건에 따라 달라진다.

선지별 해설

① O

압력 구배는 기체 성분의 화학퍼텐셜 차이를 만들어 분자 확산의 구동력이 될 수 있다. 따라서 분자 확산이 압력 구배에 의해 일어날 수 있다는 설명은 맞다.

② X

틀린 부분은 "혼합물의 구성성분에 독립적"이라는 표현이다. 이상기체의 확산계수는 어떤 두 성분이 섞였는지에 따라 달라지고, 온도와 압력의 영향도 받는다. 올바르게는 "확산계수는 혼합물의 구성성분과 상태조건에 의존적이다"이다.

③ O

이상기체 2성분계의 확산은 등온, 등압 조건에서 Fick의 제1법칙으로 기술할 수 있다. 농도가 높더라도 이상기체 2성분계로 취급되는 범위에서는 Fick형 표현이 성립한다.

④ O

등온, 등압의 2성분계 혼합물에서는 두 성분의 확산 거동을 하나의 상호확산계수로 설명할 수 있다. 즉 성분마다 서로 완전히 독립된 확산계수를 따로 두는 개념이 아니다.

NoteBase

오답 포인트

②는 확산계수를 물질과 무관한 보편 상수처럼 착각하면 틀리기 쉽다. 확산계수는 A-B 성분쌍이 무엇인지에 따라 달라지므로, "구성성분에 독립적"이라는 단정이 나오면 바로 의심해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

확산 문제에서는 먼저 구동력이 농도 구배만인지, 압력 구배까지 포함하는지를 본다. 그다음 확산계수에 대해 묻는 선지는 "어떤 성분쌍인지"와 "온도·압력 조건이 바뀌면 값이 달라지는지"를 기준으로 판단하면 된다.

암기 포인트

이상기체 2성분 확산은 구동력은 여러 가지일 수 있고, 확산계수는 성분쌍에 따라 달라진다.

NoteBase

문 13. 열 전도의 원리가 아닌 것은?

① 열확산

② 격자 진동

③ 자유 전자 유동

④ 분자의 불규칙 운동

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 열전도가 실제로 일어나는 미시적 메커니즘과 열확산처럼 열이 퍼져 보이는 거시적 현상을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

열전도 원리는 물질 내부 입자 사이의 에너지 전달 메커니즘이다.
격자 진동은 고체 원자들이 진동하며 에너지를 이웃에 넘기는 전도 방식이다.
자유 전자 유동은 금속 내부 자유전자가 에너지를 운반하는 전도 방식이다.
분자의 불규칙 운동은 유체 분자들의 무질서한 운동과 충돌로 에너지가 전달되는 전도 방식이다.
열확산은 온도차로 인해 열이 점차 퍼져 나가는 거시적 결과를 말하며, 전도 메커니즘 자체를 가리키는 말은 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① O
열확산은 열전도의 원리라기보다 열이 물체 내부로 퍼지는 현상 또는 성질을 가리키는 표현이다. 따라서 '열전도의 원리'가 아닌 것을 묻는 발문에 맞는 정답이다.

② X
격자 진동은 비금속 고체 등에서 대표적인 열전도 메커니즘이다. 틀린 부분은 이 선지를 '열전도의 원리가 아닌 것'으로 볼 수 있다는 점이다. 올바르게는 격자 진동은 열전도의 원리이다.

③ X
자유 전자 유동은 금속에서 열전도를 설명하는 대표 원리이다. 틀린 부분은 이 선지를 비원리로 보는 점이다. 올바르게는 자유 전자 유동은 열전도의 원리이다.

④ X
분자의 불규칙 운동은 기체와 액체에서 분자 충돌을 통해 열이 전달되는 원리이다. 틀린 부분은 이 선지를 열전도 원리가 아니라고 보는 점이다. 올바르게는 분자의 불규칙 운동은 열전도의 원리이다.

오답 포인트

열확산이라는 말 때문에 열이 퍼지는 현상이 곧 열전도 원리라고 오해하기 쉽다. 이 문항은 '어떻게 전달되는가'를 묻는지, '전달된 결과가 어떻게 퍼지는가'를 묻는지를 구별하면 풀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

선지가 입자 수준의 전달 방식인지 먼저 본다. 원자 진동, 전자 이동, 분자 충돌처럼 에너지를 직접 옮기는 설명이면 열전도 원리이고, 열확산처럼 열이 퍼지는 결과나 물성치 설명이면 원리와 구별한다.

암기 포인트

열전도 원리는 격자 진동·자유전자·분자운동이고, 열확산은 퍼지는 현상이다.

NoteBase

문 14. 비-Newton 유체(non-Newtonian fluid)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 딜러턴트(dilatant) 유체: 전단률(shear rate)이 증가하면 겉보기 점도(apparent viscosity)가 증가한다.

② 유사소성(pseudo-plastic) 유체: 전단률이 증가하면 겉보기 점도가 감소한다.

③ 레오펙틱(rheopectic) 유체: 일정한 전단응력(shear stress)하에서 시간이 변함에 따라 겉보기 점도가 증가한다.

④ 빙햄(Bingham) 유체: 항복응력(yield stress) 미만의 조건에서 흐른다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비뉴턴 유체를 전단률 의존성, 시간 의존성, 항복응력 유무로 구분할 수 있는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

딜러턴트 유체는 전단률이 커질수록 겉보기 점도가 증가하는 전단농화 유체이다.
유사소성 유체는 전단률이 커질수록 겉보기 점도가 감소하는 전단박화 유체이다.
레오펙틱 유체는 일정한 전단을 계속 받을 때 시간이 지날수록 점도가 증가하는 시간의존성 유체이다.
빙햄 유체는 항복응력 이하에서는 고체처럼 거동하고, 항복응력을 넘어야 흐르기 시작하는 유체이다.

선지별 해설

① O
딜러턴트 유체는 전단률 증가에 따라 겉보기 점도가 증가한다. 대표적인 전단농화 거동 설명이므로 옳다.

② O
유사소성 유체는 전단률이 증가하면 겉보기 점도가 감소한다. 전단박화 유체의 정의에 해당하므로 옳다.

③ O
레오펙틱 유체는 일정한 전단응력이나 전단작용이 지속될 때 시간 경과에 따라 점도가 증가한다. 시간의존적 점도 증가를 설명한 선지이므로 옳다.

④ X
틀린 부분은 "항복응력 미만의 조건에서 흐른다"이다.
빙햄 유체는 항복응력 미만에서는 흐르지 않고, 항복응력을 초과해야 비로소 흐른다.

NoteBase

오답 포인트

딜러턴트와 유사소성은 전단률이 커질 때 점도가 각각 증가하는지 감소하는지를 바꿔 헷갈리기 쉽고, 레오펙틱은 전단률 의존형이 아니라 시간의존형이라는 점을 놓치기 쉽다. ④는 빙햄 유체의 핵심인 항복응력을 반대로 서술한 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

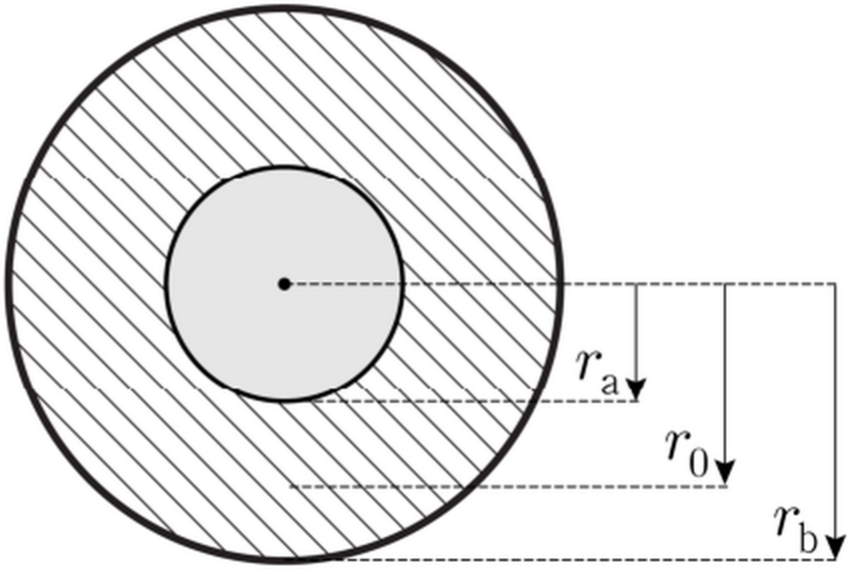
비뉴턴 유체 문제는 먼저 전단률이 변할 때 점도가 바뀌는지, 시간이 지날 때 바뀌는지, 항복응력 기준으로 흐름이 시작되는지를 나누어 본다. 항복응력이라는 표현이 나오면 빙햄 유체를 먼저 떠올리고, 그 이하에서는 흐르지 않는다고 판단하면 된다.

암기 포인트

딜러턴트는 전단농화, 유사소성은 전단박화, 레오펙틱은 시간 경과 점도 증가, 빙햄은 항복응력 초과 후 유동이다.

NoteBase

문 15. 원통형 관 내부에 유체가 흐르고 온도는 T_a로 일정하게 유지된다. 관의 내부반지름이 r_a, 외부반지름이 r_b이다. 원통형관 내부에서 외부로 정상상태의 전도열전달이 발생한다. 빗금 친 영역에서의 거리와 온도가 각각 r_0, T_0일 때, $T_a - T_0$에 비례하는 것은? (단, $r_a < r_0 < r_b$와 $T_0 < T_a$이고, 전 영역에서 유체의 온도와 열유량의 크기는 일정하다)



① $r_0 - r_a$

② $\frac{1}{r_0 - r_a}$

③ $\ln\frac{r_0}{r_a}$

④ $\ln(r_0 - r_a)$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 원통벽의 정상상태 반경방향 전도에서 온도분포가 선형이 아니라 로그형이 된다는 점을 이용해 $T_a - T_0$의 비례식을 찾는 문제이다.

조건 정리

관의 내부반지름은 r_a, 외부반지름은 r_b, 중간 위치는 r_0이다.
내부 유체 온도는 T_a, r_0에서의 온도는 T_0이고 $T_0 < T_a$이다.
정상상태이며 열유량의 크기와 열전도율은 일정하므로 원통 좌표계의 반경방향 전도식을 적분하면 된다.

NoteBase

사용할 공식

정상상태 원통전도에서는 $\dot{Q} = -kA_r dT/dr$, $A_r = 2\pi rL$ 이므로
$\dot{Q} = -2\pi kLr\frac{dT}{dr}$
이다.
전달면적 A_r가 r에 따라 변하므로 평판처럼 선형식이 아니라 $1/r$을 적분한 로그식이 나온다.

계산 과정

$\frac{dT}{dr} = -\frac{\dot{Q}}{2\pi kL}\frac{1}{r}$
이를 r_a에서 r_0까지, 온도 T_a에서 T_0까지 적분하면
$\int_{T_a}^{T_0} dT = -\frac{\dot{Q}}{2\pi kL}\int_{r_a}^{r_0}\frac{dr}{r}$
$T_0 - T_a = -\frac{\dot{Q}}{2\pi kL}\ln\left(\frac{r_0}{r_a}\right)$
따라서
$T_a - T_0 = \frac{\dot{Q}}{2\pi kL}\ln\left(\frac{r_0}{r_a}\right)$
이다.
열유량 $\dot{Q}, k, L$이 일정하므로 $T_a - T_0$는 $\ln(r_0/r_a)$에 비례한다.

선지 판단

1번 X: $r_0 - r_a$는 평판벽처럼 온도분포가 직선일 때의 거리 개념에 가깝다. 원통전도는 면적이 반지름에 따라 달라져 선형 비례가 성립하지 않는다. 틀린 표현은 "반지름 차이에 비례한다"이고, 올바르게는 "반지름비의 자연로그에 비례한다"이다.
2번 X: $1/(r_0 - r_a)$는 거리의 역수 형태인데, 원통전도 적분식에서는 이런 형태가 아니라 $\int dr/r$에서 나온 로그형이 나타난다. 틀린 표현은 "거리차의 역수에 비례한다"이고, 올바르게는 "$\ln(r_0/r_a)$에 비례한다"이다.
3번 O: 적분 결과가 바로 $T_a - T_0 \propto \ln(r_0/r_a)$이므로 옳다.
4번 X: $\ln(r_0 - r_a)$는 적분 결과와 맞지 않고, 반지름 차이 자체를 로그에 넣은 형태라 물리적 의미도 맞지 않는다. 틀린 표현은 "차이의 로그"이고, 올바르게는 "비의 로그인 $\ln(r_0/r_a)$"이다.

오답 포인트

평판벽 전도에서는 온도분포가 거리와 선형 관계를 가지지만, 원통벽 전도에서는 면적이 r에 따라 변해 로그식이 된다. 이 차이를 놓치면 1번이나 2번처럼 거리차 형태를 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

전도 문제가 평판인지 원통인지 먼저 구분한다. 단면적이 일정하면 거리 x에 대한 선형식, 단면적이 $2\pi rL$처럼 반지름에 따라 변하면 $1/r$ 적분으로 로그식을 쓴다고 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

평판 전도는 선형, 원통 전도는 로그형이다. 원통에서는 온도차와 열저항이 모두 반지름 차이가 아니라 반지름비의 로그로 정리된다.

NoteBase

문 16. 용질 A는 어떤 평판 표면에서만 분해된다. A의 벌크농도(bulk concentration)는 $1.0gL^{-1}$, 물질전달계수는 $0.20cms^{-1}$, 분해속도의 크기는 $0.076mgcm^{-2}s^{-1}$일 때, 평판 표면에서 A의 농도 $[mgcm^{-3}]$는? (단, 평판은 무한히 넓고, 분해는 표면 전체에서 균일하게 일어난다)

① 0.62

② 0.38

③ 0.24

④ 0.19

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 표면 분해가 일어나는 평판에서 물질전달식 $N_A = k_c(C_b - C_s)$를 이용해 표면농도 C_s를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 벌크농도 $C_b = 1.0g/L = 1.0mg/cm^3$, 물질전달계수 $k_c = 0.20cm/s$, 분해속도 $N_A = 0.076mg/cm^2 \cdot s$
구해야 할 값: 평판 표면에서의 농도 C_s
주의할 조건: $1.0g/L$는 반드시 $1.0mg/cm^3$로 바꾸어야 하고, 분해속도는 표면으로 이동하는 플럭스와 같게 둔다.

사용할 공식

사용 공식은 $N_A = k_c(C_b - C_s)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 평판 표면에서만 A가 분해되므로, 벌크에서 표면으로 이동하는 물질전달 플럭스가 곧 표면 분해속도와 같아야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 벌크농도를 단위 변환한다.
$1.0g/L = \frac{1000mg}{1000cm^3} = 1.0mg/cm^3$
2. 물질전달식에 분해속도를 대입한다.
$0.076 = 0.20(1.0 - C_s)$
3. 표면농도를 계산한다.
$1.0 - C_s = \frac{0.076}{0.20} = 0.38$
$C_s = 1.0 - 0.38 = 0.62mg/cm^3$

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과 표면농도는 $0.62 mg/cm^3$이므로 맞다.
② X: $0.38 mg/cm^3$는 표면농도 자체가 아니라 농도차 ($C_b - C_s$) 값이다. 틀린 값 0.38 → 올바르게는 표면농도 $C_s = 0.62 mg/cm^3$이다.
③ X: $0.24 mg/cm^3$는 주어진 물질전달식과 수치를 적용하면 나오지 않는 값이다. 벌크농도에서 농도차 0.38을 뺀 값이 표면농도이므로 틀린 값 0.24 → 올바르게는 $0.62 mg/cm^3$이다.
④ X: $0.19 mg/cm^3$도 주어진 조건에서는 성립하지 않는다. 농도차를 임의로 다시 나누거나 단위를 잘못 처리하면 나올 수 있는 오답이다. 틀린 값 0.19 → 올바르게는 $0.62 mg/cm^3$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $0.076/0.20 = 0.38$을 바로 표면농도로 착각하는 점이다. 이 값은 표면농도가 아니라 벌크와 표면의 농도차이다. 또한 $1.0 g/L = 1.0 mg/cm^3$ 변환을 놓치면 전체 계산이 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

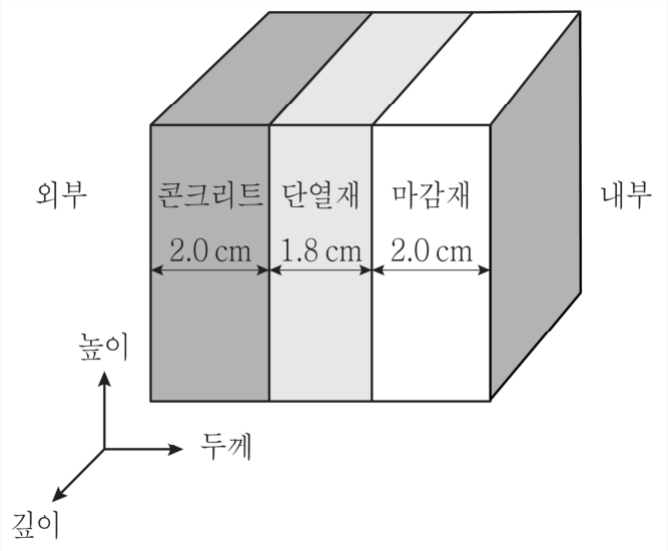
표면반응이 있는 물질전달 계산은 먼저 벌크농도를 일치된 단위로 바꾸고, 다음에 $N_A = k_c(C_b - C_s)$로 농도차를 구한 뒤, 마지막에 벌크농도에서 빼서 실제 표면농도를 판단한다.

암기 포인트

평판 표면분해 문제는 플럭스 = 반응속도, $C_b - C_s$는 농도차, C_s는 벌크농도에서 한 번 더 빼서 구한다.

NoteBase

문 17. 그림에서 콘크리트와 마감재의 열전도도는 각각 $1.0 Wm^{-1}K^{-1}$와 $0.5 Wm^{-1}K^{-1}$이고, 내부에서 외부로 손실되는 열유속의 크기는 $100 Wm^{-2}$, 외부와 내부 공기의 대류열전달계수는 $100 Wm^{-2}K^{-1}$이다. 외부 공기가 $0°C$, 내부 공기가 $26°C$로 일정하게 유지될 때, 단열재의 열전도도$[Wm^{-1}K^{-1}]$는? (단, 모든 벽의 길이와 높이는 같고, 정상상태에서 두께 방향으로의 열전달만 고려한다)



① 0.08

② 0.09

③ 0.10

④ 0.11

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 대류저항과 각 층의 전도저항을 직렬 열저항으로 합산한 뒤, 주어진 열유속으로 총 열저항을 구해 단열재의 열전도도 k_i를 역산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 외기 온도는 $0^\circ C$, 내기 온도는 $26^\circ C$, 열유속은 $100 W/m^2$, 양쪽 대류열전달계수는 모두 $100 W/m^2 \cdot K$이다. 콘크리트는 두께 $0.02m$, 열전도도 $1.0 W/m \cdot K$이고, 마감재는 두께 $0.02m$, 열전도도 $0.5 W/m \cdot K$이다. 단열재 두께는 $0.018m$이다.
구해야 할 값: 단열재의 열전도도 k_i이다.
주의할 조건: 정상상태 1차원 열전달이므로 양쪽 대류저항과 세 층의 전도저항을 모두 직렬로 더해야 한다.

NoteBase

사용할 공식

총 열저항은
$R_t = \frac{1}{h_o} + \frac{L_c}{k_c} + \frac{L_i}{k_i} + \frac{L_f}{k_f} + \frac{1}{h_i}$
이고, 열유속은
$q'' = \frac{T_{\infty,i} - T_{\infty,o}}{R_t}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 두께 방향 열전달만 고려한다고 했으므로 각 저항이 직렬 연결된 평판벽 모델로 해석된다.

계산 과정

1. 전체 열저항은
$R_t = \frac{26-0}{100} = 0.26 m^2 \cdot K/W$
이다.
2. 이미 아는 저항의 합은
$\frac{1}{100} + \frac{0.02}{1.0} + \frac{0.02}{0.5} + \frac{1}{100} = 0.01 + 0.02 + 0.04 + 0.01 = 0.08 m^2 \cdot K/W$
이다.
3. 따라서 단열재 저항은
$R_i = 0.26 - 0.08 = 0.18 m^2 \cdot K/W$
이다.
4. 단열재 열전도도는
$k_i = \frac{L_i}{R_i} = \frac{0.018}{0.18} = 0.10 W/m \cdot K$
이다.

선지별 해설

① X: $0.08 W/m \cdot K$는 마감재 전도저항 $0.02/0.5 = 0.04 m^2 \cdot K/W$를 누락했을 때 나오는 값에 가깝다. 마감재도 직렬 저항에 포함해야 하므로 틀린 값이다. 틀린 값 → 올바르게는 단열재 열전도도는 $0.10 W/m \cdot K$이다.
② X: $0.09 W/m \cdot K$는 양쪽 대류저항 $1/100 + 1/100 = 0.02 m^2 \cdot K/W$를 빼먹고 고체층 저항만 더했을 때 나온다. 표면 대류도 전체 열저항에 포함되므로 틀린 값이다. 틀린 값 → 올바르게는 단열재 열전도도는 $0.10 W/m \cdot K$이다.
③ O: 전체 열저항 $0.26 m^2 \cdot K/W$에서 알려진 저항 $0.08 m^2 \cdot K/W$를 빼면 단열재 저항은 $0.18 m^2 \cdot K/W$이고, 여기에 두께 $0.018 m$를 대입하면 $k_i = 0.10 W/m \cdot K$가 된다.
④ X: $0.11 W/m \cdot K$는 단열재 두께를 $1.8 cm$가 아니라 $2.0 cm$로 잘못 넣으면 나오는 값이다. 그림에서 단열재 두께는 분명히 $1.8 cm$이므로 틀린 값이다. 틀린 값 → 올바르게는 단열재 열전도도는 $0.10 W/m \cdot K$이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 표면 대류저항 두 개와 마감재 저항 하나를 빠뜨리기 쉽다는 점이다. 또 단열재 두께가 $2.0cm$가 아니라 $1.8cm$라는 세부 수치를 놓치면 $0.11W/m \cdot K$ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판벽 열전달 문제는 먼저 $R_t = \Delta T/q''$로 총 열저항을 구하고, 그다음 대류저항과 알려진 전도저항을 전부 뺀 뒤, 마지막에 $k = L/R$로 미지 재료의 열전도도를 역산하면 된다.

암기 포인트

직렬 평판벽은 전체 열저항을 먼저 구하고, 미지층 저항을 남긴 뒤 $k = L/R$로 마무리한다.

NoteBase

문 18. 점도가 $0.001[Pa \cdot s]$, 밀도가 $1{,}000kgm^{-3}$인 비압축성 Newton 유체가 수평으로 놓인 길이 $1m$, 내부 지름 $1cm$의 매끈한 원통형 도관 내부를 평균유속 $10cms^{-1}$로 흐르고 있을 때, 도관의 Fanning 마찰계수(Fanning friction factor)와 압력강하($|\Delta P|$)$[Pa]$는? (단, 도관의 내부 벽면은 모두 젖어있다. 또한 흐름은 등온, 정상상태의 완전발달 흐름이다)

① Fanning 마찰계수: 0.016, 압력강하: 3,200

② Fanning 마찰계수: 0.016, 압력강하: 32

③ Fanning 마찰계수: 0.0016, 압력강하: 3,200

④ Fanning 마찰계수: 0.0016, 압력강하: 32

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 원관 내 완전발달 층류에서 Reynolds 수로 유동 상태를 확인한 뒤 Fanning 마찰계수와 압력강하를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 점도 $\mu = 0.001Pa \cdot s$, 밀도 $\rho = 1000kg/m^3$, 관 길이 $L = 1m$, 내경 $D = 0.01m$, 평균유속 $V = 0.1m/s$이다.
구해야 할 값: Fanning 마찰계수와 압력강하 $|\Delta P|$이다.
주의할 조건: 수평 원관 내부의 정상상태 완전발달 흐름이므로 위치수두 변화는 없고, 원관 층류식만 정확히 적용하면 된다.

사용할 공식

$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$
$f = \frac{16}{Re}$
$|\Delta P| = 4f\frac{L}{D}\frac{\rho V^2}{2}$
이 공식을 쓰는 이유: 문제 조건이 비압축성 Newton 유체의 매끈한 원관 내 완전발달 층류이므로 Reynolds 수로 층류 여부를 먼저 확인하고, 그다음 Fanning 층류식과 관마찰 압력강하식을 적용할 수 있다.

계산 과정

1. Reynolds 수는 $Re = \frac{1000 \times 0.1 \times 0.01}{0.001} = 1000$ 이므로 층류이다.
2. Fanning 마찰계수는 $f = \frac{16}{1000} = 0.016$ 이다.
3. 압력강하는 $|\Delta P| = 4 \times 0.016 \times \frac{1}{0.01} \times \frac{1000 \times (0.1)^2}{2} = 32Pa$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- Fanning 마찰계수 0.016은 맞지만 압력강하는 계산값이 32Pa이므로 3200Pa는 틀리다.
- 틀린 표현은 압력강하 3200Pa이다. 올바르게는 압력강하 32Pa이다.

② O
- $Re = 1000$이므로 층류이고, 따라서 Fanning 마찰계수는 0.016이다.
- 이 값을 압력강하식에 넣으면 $|\Delta P| = 32Pa$가 되어 보기의 두 값이 모두 일치한다.

③ X
- Fanning 마찰계수 0.0016은 $f = 16/Re$ 계산에서 Reynolds 수를 10배 크게 잡은 오답이다.
- 압력강하 3200Pa도 계산값 32Pa와 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 Fanning 마찰계수 0.0016과 압력강하 3200Pa이다. 올바르게는 각각 0.016, 32Pa이다.

④ X
- 압력강하 32Pa는 맞지만 Fanning 마찰계수 0.0016은 틀리다.
- 만약 마찰계수가 정말 0.0016이라면 같은 식에서 압력강하는 3.2Pa가 되어 보기 내부에서도 일관되지 않는다.
- 틀린 표현은 Fanning 마찰계수 0.0016이다. 올바르게는 0.016이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 하나는 Fanning 마찰계수와 Darcy 마찰계수를 혼동하거나 Reynolds 수 계산에서 소수점을 잘못 옮겨 0.0016으로 쓰는 실수이다. 다른 하나는 $1cm = 0.01m$, $10cm/s = 0.1m/s$ 변환을 놓쳐 압력강하를 100배 크게 쓰는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 관마찰 문제는 먼저 Re로 층류인지 확인하고, 원관 완전발달 층류이면 Fanning 마찰계수 $f = 16/Re$를 구한 뒤 $|\Delta P| = 4f(L/D)(\rho V^2/2)$에 넣어 두 값이 한 세트로 맞는지 판단한다.

암기 포인트

원관 완전발달 층류는 $Re < 2100$, Fanning 마찰계수는 $f = 16/Re$, 압력강하는 $|\Delta P| = 4f(L/D)(\rho V^2/2)$이다.

NoteBase

문 19. 어떤 현상의 독립 변수가 유체의 밀도, 압력, 부피 유량, 그리고 관의 지름과 길이만일 때, 이 현상을 좌우하는 독립적인 무차원 군의 개수는?

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 버킹엄 π 정리를 이용해 독립 변수들로부터 만들 수 있는 독립적인 무차원 군의 개수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 독립 변수는 밀도, 압력, 부피 유량, 관의 지름, 관의 길이로 모두 5개이다.
각 변수의 기본 차원은 밀도 $\rho : ML^{-3}$, 압력 $p : ML^{-1}T^{-2}$, 부피 유량 $Q : L^3T^{-1}$, 지름 $D : L$, 길이 $L : L$이다.
여기서 나타나는 기본 차원은 M, L, T의 3개이다.

사용할 공식

버킹엄 π 정리에 따르면 독립적인 무차원 군의 개수는
무차원 군 수 = n-r
이다. 여기서 n은 고려하는 독립 변수의 수, r은 그 변수들에 포함된 기본 차원의 수이다.
이 문제는 독립 변수가 무엇인지와 그 변수들에 포함된 기본 차원이 무엇인지만 주어졌으므로 이 공식을 그대로 적용하는 상황이다.

계산 과정

1. 독립 변수의 수를 세면 $n = 5$이다.
2. 변수들에 포함된 기본 차원은 질량 M, 길이 L, 시간 T이므로 $r = 3$이다.
3. 따라서 독립적인 무차원 군의 개수는 $5 - 3 = 2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 1은 기본 차원 수를 하나 빠뜨리거나 변수 수를 잘못 센 경우의 오답이다.
- 이 문제에는 M, L, T가 모두 들어가므로 기본 차원은 3개이고, 따라서 1이 아니라 2가 된다.
- 틀린 표현은 무차원 군 수를 1로 본 점이며, 올바르게는 2개이다.

② O
- 독립 변수는 5개이고 기본 차원은 3개이므로 버킹엄 π 정리에 따라 무차원 군 수는 $5 - 3 = 2$이다.
- 따라서 2번이 정답이다.

③ X
- 3은 종속 변수까지 포함해 전체 변수를 6개로 잡았을 때 나올 수 있는 값이다.
- 그러나 문제는 독립 변수가 무엇인지가 주어졌고, 그 독립 변수들로부터 만들어지는 독립 무차원 군의 개수를 묻고 있으므로 5개를 기준으로 계산한다.
- 틀린 표현은 무차원 군 수를 3으로 본 점이며, 올바르게는 2개이다.

④ X
- 4는 기본 차원의 개수를 1개로 보거나 차원 해석 공식을 잘못 적용한 경우의 오답이다.
- 밀도, 압력, 부피 유량에는 M, L, T가 모두 포함되므로 차원 독립성은 3개이다.
- 틀린 표현은 무차원 군 수를 4로 본 점이며, 올바르게는 2개이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 변수의 개수와 기본 차원의 개수를 혼동하는 점, 그리고 종속 변수까지 임의로 포함해 n을 하나 더 크게 잡는 점이다. 지름과 길이가 두 변수이지만 둘 다 길이 차원 L만 가진다는 점도 함께 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

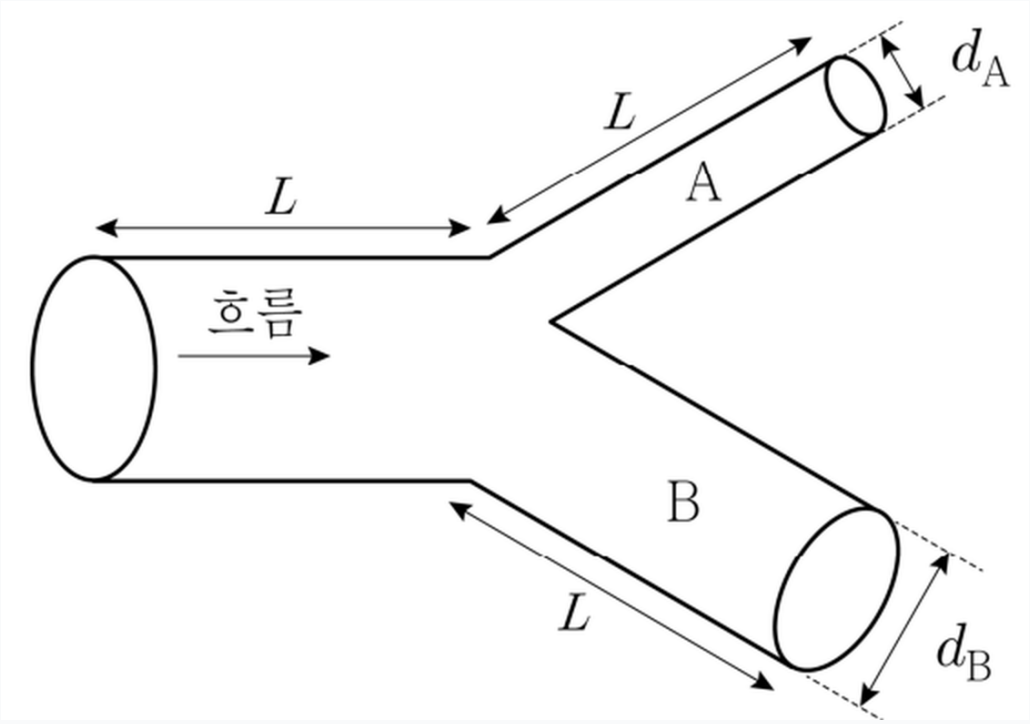
차원해석 문항은 먼저 변수 개수 n를 세고, 다음에 그 변수들에 실제로 등장하는 기본 차원 r을 확인한 뒤, 버킹엄 π 정리의 $n - r$를 적용하면 된다. 같은 차원을 가진 변수가 여러 개 있어도 기본 차원 수는 늘어나지 않는다.

암기 포인트

버킹엄 π 정리의 핵심은 무차원 군 수 = 변수 수 - 기본 차원 수이다.

NoteBase

문 20. A, B로 나뉘는 원통형 수평 유로를 비압축성 Newton 유체가 왼쪽에서 오른쪽으로 등온, 완전발달, 정상상태, 층류로 흐르고 있다. A와 B 유로의 압력강하를 서로 동일하게 유지하면서, A의 부피 유량(Q_A)과 B의 부피 유량(Q_B)의 비를 $Q_A : Q_B = 1 : 16$으로 달성할 수 있는 지름비($d_A : d_B$)는? (단, 각 부분의 길이는 L로 동일하며, 유로가 나뉜 부분에서 발생하는 마찰손실은 무시한다)



① 1 : 2

② 1 : 4

③ 1 : 8

④ 1 : 16

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 층류 원관 유동에서 포아죄유 법칙을 이용해 유량비와 지름비의 관계를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- A와 B는 모두 비압축성 Newton 유체의 등온, 완전발달, 정상상태 층류 유동이다.
- 두 분기관의 길이는 모두 L로 같다.
- A와 B의 압력강하 ΔP가 서로 같다.

구해야 할 값:
- $d_A : d_B$

주의할 조건:
- 층류 원관 유동이므로 유량은 지름의 4제곱에 비례한다.
- 분기 손실은 무시하므로 각 관의 마찰손실만 보면 된다.

사용할 공식

원형 관의 층류 유동에서는 포아죄유 법칙을 쓴다.
$Q = \frac{\pi \Delta P d^4}{128 \mu L}$
이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 유체가 Newton 유체이고, 흐름이 완전발달, 정상상태, 층류이며 각 분기관의 압력강하와 길이가 같다고 했으므로 포아죄유 법칙의 적용 조건에 해당한다.

계산 과정

1. 포아죄유 법칙에서 같은 유체, 같은 ΔP, 같은 L 조건이면 $Q \propto d^4$이다.
2. 따라서
$\frac{Q_A}{Q_B} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^4$
3. 문제의 유량비 $Q_A : Q_B = 1 : 16$을 대입하면
$\frac{1}{16} = \left(\frac{d_A}{d_B}\right)^4$
4. 양변에 4제곱근을 취하면
$\frac{d_A}{d_B} = \left(\frac{1}{16}\right)^{1/4} = \frac{1}{2}$
따라서 $d_A : d_B = 1 : 2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 계산 결과 $d_A : d_B = 1 : 2$이므로 맞는 선지이다.
- 유량비 1 : 16은 지름비의 4제곱으로 연결되므로 4제곱근을 취해야 한다.

② X
- $d_A : d_B = 1 : 4$이면 $Q_A : Q_B = (1/4)^4 = 1 : 256$이므로 주어진 유량비보다 훨씬 작다.
- 틀린 값 1 : 4는 유량이 지름의 2제곱에 비례한다고 착각할 때 나오는 오답이다.
- 올바르게는 $d_A : d_B = 1 : 2$이다.

③ X
- $d_A : d_B = 1 : 8$이면 $Q_A : Q_B = (1/8)^4 = 1 : 4096$이므로 조건과 맞지 않는다.
- 틀린 값 1 : 8은 4제곱 관계를 무시하고 지나치게 크게 지름 차이를 잡은 경우의 오답이다.
- 올바르게는 $d_A : d_B = 1 : 2$이다.

④ X
- $d_A : d_B = 1 : 16$이면 $Q_A : Q_B = (1/16)^4 = 1 : 65536$이므로 전혀 맞지 않는다.
- 틀린 값 1 : 16은 유량비를 그대로 지름비로 놓는 실수에서 나온다.
- 올바르게는 $d_A : d_B = 1 : 2$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 유량비와 지름비를 같은 비로 보거나, 유량이 단면적에 비례하므로 지름의 2제곱에 비례한다고 착각하는 데 있다. 층류 원관 유동의 마찰지배 문제에서는 $Q \propto d^4$가 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

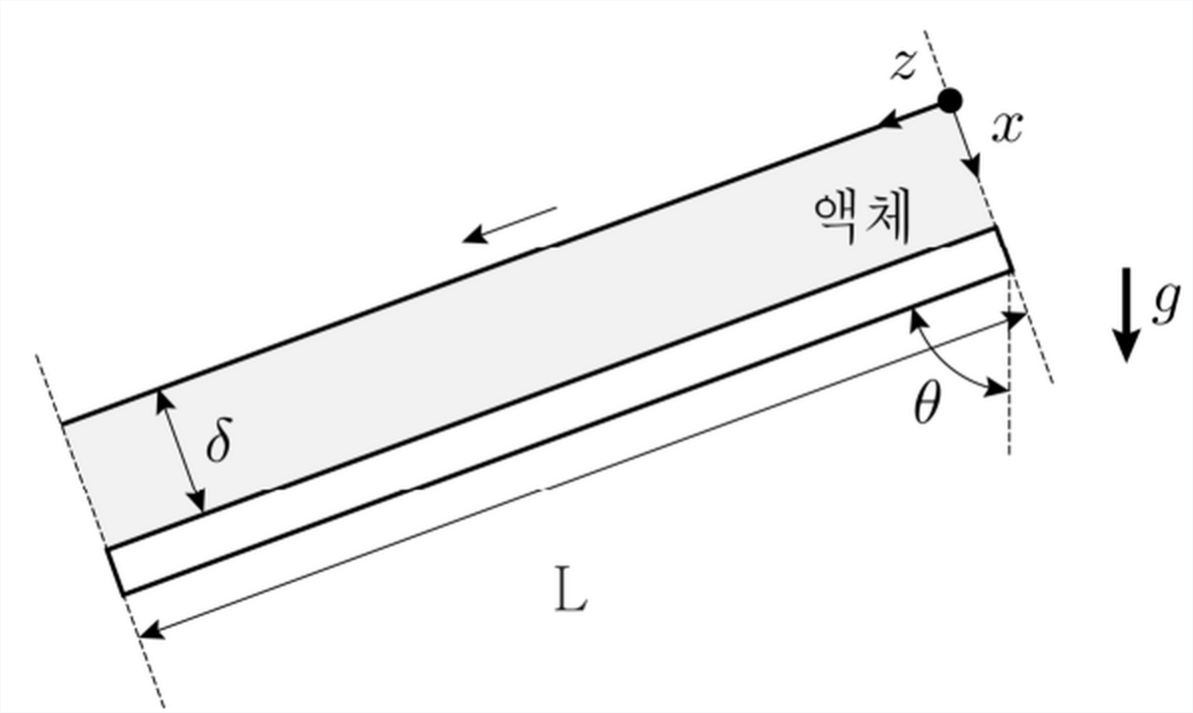
분기관 층류 문제를 보면 먼저 포아죄유 법칙 적용 조건인지 확인한다. 그다음 같은 ΔP, 같은 L, 같은 μ이면 $Q \propto d^4$로 바로 줄여서 유량비를 지름비의 4제곱 관계로 바꿔 판단한다.

암기 포인트

층류 원관 유동은 $Q \propto d^4$이다. 유량비가 주어지면 지름비는 그 비의 4제곱근으로 구한다.

NoteBase

문 21. 그림과 같이 지면의 수직면에 θ의 각도로 경사진 무한 평판 위에 액체가 흐르고 있다. 액체는 비압축성 Newton 유체로 흐름은 등온, 정상상태, 완전발달, 단일방향의 층류이다. 유체의 최대 속도가 v_{max}일 때, 경막 두께(δ)는? (단, 기-액 계면에서의 전단응력은 0으로 가정하고, 중력가속도의 크기는 g, 액체의 밀도는 ρ, 액체의 점도는 0이 아닌 μ이다)



① $\left(\frac{2\rho v_{max}}{\mu g \cos\theta}\right)^{1/2}$
② $\left(\frac{2\mu v_{max}}{\rho g \cos\theta}\right)^{1/3}$
③ $\left(\frac{2\mu v_{max}}{\rho^2 g \cos\theta}\right)^{1/2}$
④ $\left(\frac{2\mu v_{max}}{\rho g \cos\theta}\right)^{1/2}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 자유표면 전단응력이 0인 정상 층류 액막 유동의 속도분포에서 최대속도와 경막 두께의 관계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 최대속도 v_{max}, 중력가속도 g, 밀도 ρ, 점도 μ, 판의 수직면 기준 경사각 θ이다.
구해야 할 값: 경막 두께 δ이다.
주의할 조건: 판이 수직면과 이루는 각이 θ이므로 판을 따라 작용하는 중력 성분은 $g\cos\theta$이다. 기-액 계면 전단응력이 0이므로 최대속도는 자유표면에서 나온다.

NoteBase

사용할 공식

자유표면 전단응력이 0인 완전발달 층류 액막의 속도분포는

$v(y) = \frac{\rho g \cos\theta}{\mu}\left(\delta y - \frac{y^2}{2}\right)$

이다.

최대속도는 자유표면 $y = \delta$에서 생기므로

$v_{\max} = \frac{\rho g \cos\theta}{2\mu}\delta^2$

이다.

이 공식을 쓰는 이유: 문제의 조건이 비압축성 Newton 유체의 정상·완전발달·단일방향 액막 유동이며, 자유표면 전단응력이 0이라고 주어졌기 때문이다.

계산 과정

1. 속도분포에 자유표면 위치 $y = \delta$를 대입하면

$v_{\max} = \frac{\rho g \cos\theta}{\mu}\left(\delta^2 - \frac{\delta^2}{2}\right) = \frac{\rho g \cos\theta}{2\mu}\delta^2$

이다.

2. 이를 δ에 대해 정리하면

$\delta^2 = \frac{2\mu v_{\max}}{\rho g \cos\theta}$

이다.

3. 따라서 경막 두께는

$\delta = \left(\frac{2\mu v_{\max}}{\rho g \cos\theta}\right)^{1/2}$

이다.

NoteBase

선지 판단

① X
점도와 밀도의 위치가 서로 바뀌었다. 이 식은 δ가 $1/\sqrt{\mu}$에 비례하는 꼴인데, 실제로는 $\delta \propto \sqrt{\mu/(\rho g \cos\theta)}$이다. 틀린 표현은 분자 $2\rho v_{max}$, 분모 $\mu g \cos\theta$이고, 올바르게는 분자 $2\mu v_{max}$, 분모 $\rho g \cos\theta$이다.

② X
지수가 1/3인 것은 최대속도 식이 아니라 유량 또는 δ^3 관계를 잘못 끌어온 결과이다. 이 문제는 $v_{max} \propto \delta^2$ 이므로 제곱근이 나와야 한다. 틀린 표현은 전체 지수 1/3이고, 올바르게는 1/2이다.

③ X
밀도 ρ가 한 번 더 들어가 ρ^2가 되었는데, 판 방향 체적력은 $\rho g \cos\theta$로 한 번만 작용한다. 틀린 표현은 분모의 $\rho^2 g \cos\theta$이고, 올바르게는 $\rho g \cos\theta$이다.

④ O
$\delta = \left(\frac{2\mu v_{max}}{\rho g \cos\theta}\right)^{1/2}$
로 계산되므로 맞다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 각도 θ가 수평 기준이 아니라 수직면 기준이므로 판 방향 중력 성분을 $g\sin\theta$가 아니라 $g\cos\theta$로 잡아야 한다. 둘째, 자유표면 최대속도 식과 평균속도·유량 식을 혼동하면 1/2 대신 1/3 또는 δ^3 관계를 잘못 쓰게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

액막 층류 문제는 각도의 기준이 수직인지 수평인지부터 확인하고, 자유표면 전단응력 0이면 최대속도는 자유표면에서 나온다는 점을 이용해 v_=ρ g(판방향 성분)δ^2/(2μ)로 바로 연결해 판단한다.

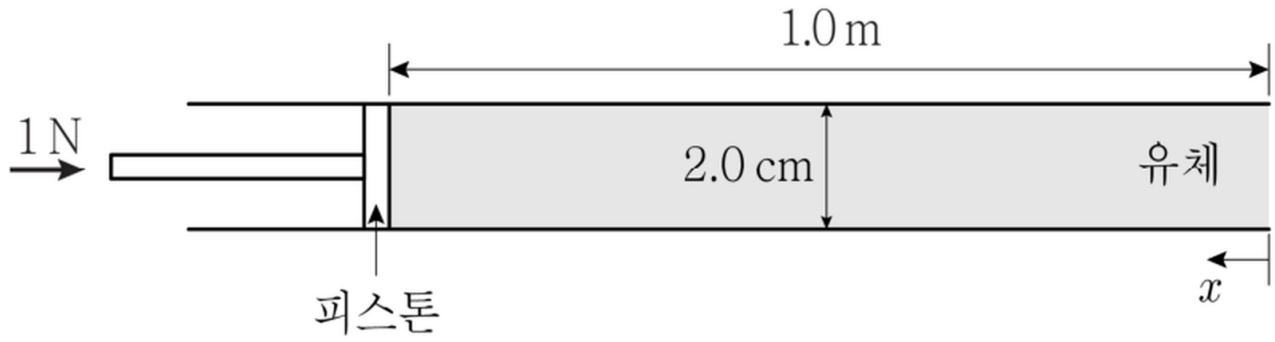
암기 포인트

수직 기준 각도이면 판 방향 성분은 $g\cos\theta$이고, 자유표면 최대속도 식은 계수 1/2, 평균속도 식은 계수 1/3이다.

NoteBase

문 22. 피스톤 장치에 $1N$의 힘을 가해 수평의 원통형 관으로부터 $x=0$의 출구로 유체를 배출시키고자 한다. 관의 지름과 길이는 각각 $2.0cm$, $1.0m$이고, 유체는 $1{,}000kgm^{-3}$의 밀도와 $10Pa\cdot s$의 점도를 가지는 비압축성 Newton 유체이다. Poiseuille 법칙과 다음의 관계를 가정할 때, 유체의 절반을 배출하기 위한 소요시간[s]은? (단, 원주율 $\pi=3$이다. 관과 피스톤 사이에 유체의 누출은 없고, 외부 압력은 일정하다. 피스톤과 벽면 마찰은 무시한다)

$\frac{Q}{A}=-\frac{dx}{dt}$, $t=0$일 때 $x=1.0m$
Q는 유체의 부피 유량, A는 관의 단면적, x는 피스톤의 위치



① 90
② 120
③ 180
④ 270

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 피스톤이 만드는 압력차와 Poiseuille 법칙을 결합하여 유체가 절반 배출될 때까지의 시간을 적분으로 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- 힘 $F = 1N$
- 관 지름 $2.0cm$, 반지름 $r = 0.01m$
- 점도 $\mu = 10Pa \cdot s$
- 초기 위치 $x_0 = 1.0m$
- 절반 배출 후 위치 $x_1 = 0.5m$
- 원주율 $\pi = 3$

구해야 할 값:
- 유체의 절반을 배출하는 시간 t

주의할 조건:
- 관 단면적은 일정하므로 부피가 절반 남는 순간은 길이 x가 절반인 $0.5m$일 때이다.
- 피스톤 힘이 만드는 압력차는 $\Delta P = F/A$이다.

사용할 공식

Poiseuille 법칙은
$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \mu x}$
이고, 문제에서 준 관계식은
$\frac{Q}{A} = -\frac{dx}{dt}$
이다.

이 공식을 쓰는 이유:
이 유체는 비압축성 Newton 유체이고, 수평 원관 내부를 점성 저항을 받으며 흘러나가므로 Poiseuille 법칙을 적용할 수 있다. 또한 피스톤이 이동한 거리만큼 관 내부 유체 길이 x가 줄어드므로 유량과 피스톤 속도를 $Q/A = -dx/dt$로 연결한다.

NoteBase

계산 과정

1. 관 단면적은

$A = \pi r^2 = 3 \times (0.01)^2 = 3 \times 10^{-4} m^2$

이다.

2. 피스톤이 만드는 압력차는

$\Delta P = \frac{F}{A} = \frac{1}{3 \times 10^{-4}} Pa$

이다.

3. 이를 Poiseuille 법칙에 대입하면

$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \mu x} = \frac{3 \times (0.01)^4 \times \frac{1}{3 \times 10^{-4}}}{8 \times 10 \times x} = \frac{1.25 \times 10^{-6}}{x} m^3/s$

이다.

4. 따라서

$\frac{Q}{A} = \frac{1.25 \times 10^{-6}/x}{3 \times 10^{-4}} = \frac{1}{240x}$

이므로

$-\frac{dx}{dt} = \frac{1}{240x}, \qquad dt = -240 x dx$

이다.

5. $t = 0$에서 $x = 1.0m$이고, 유체가 절반 남으면 $x = 0.5m$이므로

$t = \int_1^{0.5} -240 x dx = 240 \int_{0.5}^{1} x dx = 120(1^2 - 0.5^2) = 120 \times 0.75 = 90s$

이다.

선지별 해설

① O

- 적분 결과 시간이 $90s$로 계산되므로 옳다.

② X

- $120s$는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 $90s$이다.
- 이 값은 유량이 x에 따라 커진다는 점을 무시하고 초기 유량을 일정하다고 본 경우 얻기 쉬운 값이다.

③ X

- $180s$는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 $90s$이다.
- 이 값은 적분 과정에서 $\int x dx = \frac{x^2}{2}$의 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리면 나올 수 있는 과대평가 값이다.

④ X

- $270s$는 계산 결과와 다르다. 올바르게는 $90s$이다.
- 시간은 남은 유체 길이 x에 대해 선형이 아니라 xdx를 적분해 구하므로 이렇게 큰 값은 성립하지 않는다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 절반 배출을 시간의 절반이나 길이 변화량 $0.5m$만으로 단순 처리하는 데 있다. 실제로는 $Q \propto 1/x$이므로 시간이 흐를수록 유량이 커지고, 따라서 상수 유량처럼 계산하면 $120s$ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

피스톤-점성유동 계산형 문제는 먼저 $\Delta P = F/A$를 세우고, 다음에 Poiseuille 법칙으로 $Q(x)$를 구한 뒤, 마지막에 $Q/A = -dx/dt$로 바꾸어 적분형인지 확인하면 된다. 단면적이 일정하면 절반 배출은 길이 x가 절반이 되는 순간으로 판단한다.

암기 포인트

점성 원관 유동에서 피스톤 배출 시간은 $Q \propto 1/x$ 관계를 세운 뒤 $Q/A = -dx/dt$로 적분해서 구한다.

NoteBase

문 23. 45 mol%의 벤젠과 55 mol%의 톨루엔으로 구성된 포화증기를 80 mol%의 벤젠이 함유된 탑상 제품과 90 mol%의 톨루엔이 들어 있는 탑저 제품으로 분리할 정류탑을 설계하려고 한다. 환류비가 3일 때, McCabe-Thiele 선도에서 정류부 조작선과 원료 공급선 교점에서의 액체 벤젠의 몰분율은?

① 1/5

② 1/4

③ 1/3

④ 9/20

정답 3번

출제 포인트

포화증기 원료의 q-선과 환류비가 주어진 정류부 조작선을 연립하여 교점의 액상 조성 x를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 원료 조성 $z_F = 0.45$, 탑상 조성 $x_D = 0.80$, 환류비 $R = 3$, 원료 상태는 포화증기이다.
구해야 할 값: 정류부 조작선과 원료 공급선 교점에서의 액상 벤젠 몰분율 x이다.
주의할 조건: 포화증기는 $q = 0$이므로 원료 공급선은 수평선 $y = z_F$가 된다.

사용할 공식

정류부 조작선은
$y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$
이고, 포화증기 원료의 q-선은
$y = z_F$
이다.

이 공식을 쓰는 이유:
문제가 묻는 점은 정류부 조작선과 원료 공급선의 교점이므로 두 직선식을 함께 써야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 정류부 조작선에 $R = 3$, $x_D = 0.80$을 대입하면
$y = \frac{3}{4}x + \frac{0.80}{4} = 0.75x + 0.20$
이다.
2. 포화증기이므로 $q = 0$, 따라서 원료 공급선은
$y = z_F = 0.45$
이다.
3. 두 식을 연립하면
$0.45 = 0.75x + 0.20$
$0.25 = 0.75x$
$x = \frac{0.25}{0.75} = \frac{1}{3}$
이다.

선지별 해설

① X
- 교점의 액상 벤젠 몰분율이 1/5라는 값은 정류부 조작선의 y절편 0.20만 보고 x값으로 착각한 경우에 가깝다. 교점에서는 $y = 0.45$를 대입해 x를 다시 구해야 하므로 올바른 값은 1/3이다.

② X
- 1/4는 식 $0.45 - 0.20 = 0.25$까지 계산하고 기울기 0.75로 나누는 마지막 단계를 빠뜨린 값이다. 교점의 액상 조성은 $x = 0.25/0.75 = 1/3$으로 정정된다.

③ O
- 포화증기 원료이므로 원료 공급선은 $y = 0.45$이고, 정류부 조작선은 $y = 0.75x + 0.20$이다. 두 직선의 교점을 구하면 $x = 1/3$이므로 옳다.

④ X
- 9/20 = 0.45는 원료 조성 z_F 자체로서 교점의 y좌표에 해당한다. 문제는 액체 벤젠의 몰분율, 즉 x좌표를 묻고 있으므로 올바른 값은 1/3이다.

오답 포인트

포화증기 원료에서 $q = 0$이라는 점을 놓치면 q-선을 잘못 그리기 쉽다. 또 0.45를 x값으로 바로 쓰거나, 0.25를 구한 뒤 기울기 0.75로 나누지 않고 멈추는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

증류 계산 문제는 먼저 원료 상태로 q-선을 정하고, 다음에 조작선 식을 만든 뒤, 마지막으로 교점의 x좌표와 y좌표 중 무엇을 묻는지 구분하여 연립한다.

NoteBase

암기 포인트

포화증기 원료는 $q = 0$이므로 q-선은 $y = z_F$인 수평선이다.

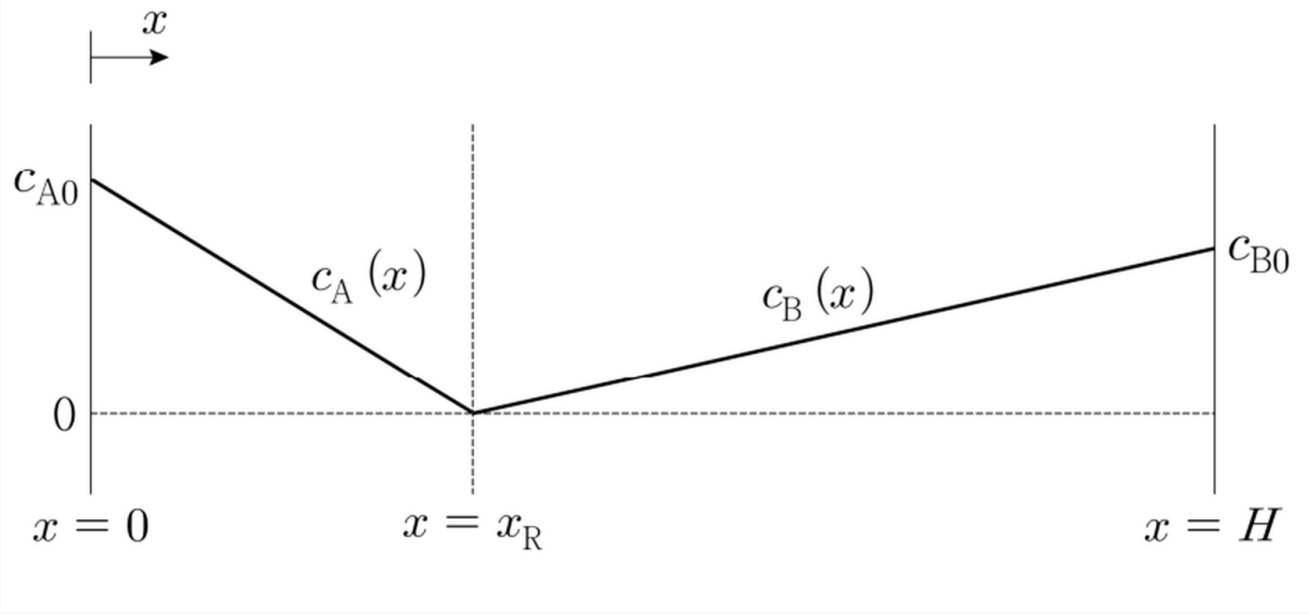
NoteBase

문 24. 두께가 H인 투과막 내부에서 $2A + 3B \rightarrow C$의 반응이 진행되어 농도 구배가 형성되었다. A와 B의 확산계수가 D_A와 D_B로 일정할 때, 정상상태에서 A의 농도c_A, B의 농도c_B, x_R에 대해 다음이 성립한다. 확산만을 고려할 때, α, β, γ를 바르게 연결한 것은? (단, $c_{A0} \neq 0$, $c_{B0} \neq 0$, C의 농도는 반응과 물질 전달에 영향을 미치지 않는다)

$$\frac{c_A}{c_{A0}} = 1 - \frac{x}{x_R}$$

$$\frac{c_B}{c_{B0}} = \frac{x - x_R}{H - x_R}$$

$$\frac{x_R}{H} = \frac{\gamma}{\alpha D_A c_{A0} + \beta D_B c_{B0}}$$



① $\alpha = 3,\ \beta = 2,\ \gamma = 3D_A c_{A0}$

② $\alpha = 2,\ \beta = 3,\ \gamma = 2D_A c_{A0}$

③ $\alpha = 3,\ \beta = 2,\ \gamma = 2D_B c_{B0}$

④ $\alpha = 2,\ \beta = 3,\ \gamma = 3D_B c_{B0}$

정답 1번

출제 포인트

반응면 x_R에서의 정상상태 확산 플럭스와 화학양론 $2A + 3B \rightarrow C$를 연결하여 x_R/H 식의 계수를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

A는 $x = 0$에서 c_{A0}, $x = x_R$에서 0이므로 A측 농도구배의 크기는 c_{A0}/x_R이다.
B는 $x = x_R$에서 0, $x = H$에서 c_{B0}이므로 B측 농도구배의 크기는 $c_{B0}/(H - x_R)$이다.
따라서 반응면으로 들어가는 확산 플럭스의 크기는 각각 $J_A = D_A c_{A0}/x_R$, $J_B = D_B c_{B0}/(H - x_R)$이다.

사용할 공식

피크 법칙은 $J_i = -D_i dc_i/dx$이다.
이 문제에서는 농도분포가 직선이므로 플럭스 크기를 바로 $J_A = D_A c_{A0}/x_R$, $J_B = D_B c_{B0}/(H - x_R)$로 쓸 수 있다.
반응식이 $2A + 3B \rightarrow C$이므로 반응면에서는 $J_A/2 = J_B/3$가 성립한다. 이는 A 2몰이 소모될 때 B 3몰이 함께 소모된다는 뜻이다.

계산 과정

반응면의 화학양론 관계를 쓰면
$\frac{J_A}{2} = \frac{J_B}{3}$
이고,
$\frac{D_A c_{A0}}{2x_R} = \frac{D_B c_{B0}}{3(H - x_R)}$
이다.
이를 정리하면
$3D_A c_{A0}(H - x_R) = 2D_B c_{B0} x_R$
$3D_A c_{A0} H = x_R(3D_A c_{A0} + 2D_B c_{B0})$
따라서
$\frac{x_R}{H} = \frac{3D_A c_{A0}}{3D_A c_{A0} + 2D_B c_{B0}}$
이다.
즉 $\alpha = 3, \beta = 2, \gamma = 3D_A c_{A0}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O

$\alpha = 3, \beta = 2, \gamma = 3D_A c_{A0}$로 계산 결과와 정확히 일치한다.

② X

틀린 표현은 $\alpha = 2, \beta = 3, \gamma = 2D_A c_{A0}$이다. 올바르게는 $\alpha = 3, \beta = 2, \gamma = 3D_A c_{A0}$이다. 화학양론 계수 2와 3을 A, B에 거꾸로 대응시키면 나오는 오답이다.

③ X

틀린 표현은 $\gamma = 2D_B c_{B0}$이다. 올바르게는 $\gamma = 3D_A c_{A0}$이다. 정리식에서 x_R를 좌변에 남기면 분자에는 A측 항 $3D_A c_{A0}$이 남아야 한다.

④ X

틀린 표현은 $\alpha = 2, \beta = 3, \gamma = 3D_B c_{B0}$이다. 올바르게는 $\alpha = 3, \beta = 2, \gamma = 3D_A c_{A0}$이다. A측 기준으로 x_R/H를 구하는 식과 B측 항을 뒤섞은 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 반응식의 계수를 플럭스 식에 반대로 넣는 경우이다. $2A + 3B \rightarrow C$이면 $J_A/2 = J_B/3$이지 $J_A/3 = J_B/2$가 아니다. 또 x_R/H를 정리하는데 $H - x_R$ 쪽 식을 그대로 가져와 분자를 B항으로 착각하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

순간반응형 막 확산 문제는 먼저 각 구간의 선형 농도분포에서 플럭스를 구하고, 다음에 반응면에서 화학양론비로 플럭스를 연결하면 된다. 마지막에는 구하려는 비율이 x_R/H인지 $(H - x_R)/H$인지 확인하면 된다.

암기 포인트

순간반응면에서는 확산 플럭스를 화학양론으로 묶는다. 이 문항은 $J_A : J_B = 2 : 3$이 아니라 $J_A/2 = J_B/3$로 쓰는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 25. 금속 구 주변의 유체에 다음의 에너지 방정식을 적용할 때, 유체에서의 열전달로 옳은 설명은?

$\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial T}{\partial r}\right)+\frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2}=\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}\neq 0$
(r,θ,ϕ)는 구형좌표임

① 점성소산이 일어난다.

② 발열반응이 일어난다.

③ 대류에 의한 열전달이 발생한다.

④ 분자간 상호작용으로 열이 전달된다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유체 에너지 방정식에서 어떤 항이 포함되고 빠졌는지를 보고 실제 열전달 메커니즘을 판별하는 문제이다.

핵심 개념

전도는 분자 간 상호작용으로 열이 이동하는 현상이다. 주어진 식은 구좌표계에서의 비정상 열전도식 형태로, 공간 미분항은 전도 확산을 뜻하고 우변의 $\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial t}$는 시간에 따른 온도 변화이다. 반면 대류항 $\mathbf{v}\cdot\nabla T$, 내부발열항, 점성소산항은 보이지 않으므로 이 식만으로 설명되는 열전달은 전도이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
점성소산은 유체의 점성 마찰이 기계적 에너지를 열에너지로 바꾸는 항이 추가될 때 나타난다. 주어진 식에는 그런 소산항이 없다.
틀린 표현은 "점성소산이 일어난다"이다. 올바르게는 "점성소산항은 포함되어 있지 않다"이다.

② X
발열반응이 있으면 에너지 방정식에 체적 열생성항이 들어가야 한다. 주어진 식에는 내부 열발생을 나타내는 항이 없다.
틀린 표현은 "발열반응이 일어난다"이다. 올바르게는 "내부 발열항이 없으므로 발열반응은 식에 반영되어 있지 않다"이다.

③ X
대류에 의한 열전달이면 유체 속도에 따른 이동항이 포함되어야 한다. 주어진 식은 온도장의 확산항과 시간항만 있으므로 대류지배식이 아니다.
틀린 표현은 "대류에 의한 열전달이 발생한다"이다. 올바르게는 "대류항이 없는 비정상 전도 현상으로 해석된다"이다.

④ O
전도는 분자 간 충돌과 상호작용으로 열이 전달되는 현상이다. 주어진 식은 바로 그 전도 확산항으로 구성된 비정상 열전도 방정식이므로 옳다.

오답 포인트

유체라는 단어만 보고 대류를 먼저 떠올리기 쉽지만, 열전달 형태는 매질 이름이 아니라 방정식의 항으로 판단한다. 이 문항은 "유체"라는 배경에 속지 않고 대류항, 열발생항, 점성소산항의 유무를 구분하는지를 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

에너지 방정식을 보면 먼저 이동항이 있는지, 다음으로 내부발열항과 점성소산항이 있는지를 확인한다. 이동항이 없고 확산항만 있으면 전도, 이동항이 있으면 대류 효과 포함, 열생성항이 있으면 반응 또는 내부발열 포함으로 판단한다.

암기 포인트

전도는 분자작용, 대류는 유체이동, 발열반응은 열생성항, 점성소산은 마찰소산항으로 구분된다.

NoteBase