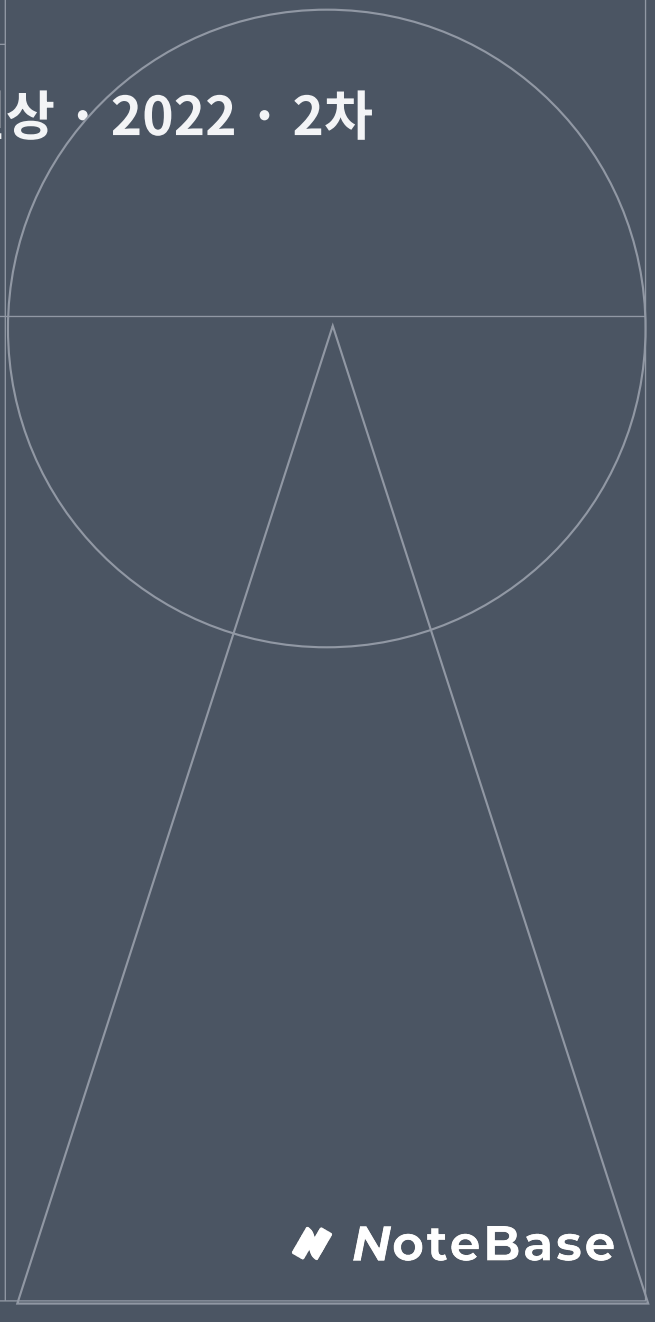
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2022 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2022 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2022 · 2차

문 1. 방 안의 유리창을 제외한 모든 부분은 단열이 잘 되어 있다고 가정하고, 유리창 내벽의 온도가 $25\,^\circ\mathrm{C}$, 유리창 외벽의 온도가 $-5\,^\circ\mathrm{C}$일 때, 두께 4 mm인 유리창을 통한 단위면적당 열손실속도 $[\mathrm{Wm^{-2}}]$는? (단, 유리창의 열전도도(k)는 $1\mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$이고, 정상상태를 가정한다)

① 3,500

② 4,000

③ 7,500

④ 9,500

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 평판 정상상태 전도식으로 유리창을 통한 단위면적당 열손실속도를 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 유리창 내벽 온도 $25^\circ C$, 외벽 온도 $-5^\circ C$, 두께 $4mm$, 열전도도 $k = 1Wm^{-1}K^{-1}$이다.
구해야 할 값: 유리창을 통한 단위면적당 열손실속도 q''이다.
주의할 조건: 정상상태이므로 1차원 평판 전도식을 적용하며, 두께 $4mm$는 $0.004m$로 바꿔야 한다.

사용할 공식

사용할 공식은 $q'' = k\Delta T/L$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 유리창을 하나의 평판으로 보고, 양면 온도와 두께 및 열전도도가 주어진 정상상태 열전도 상황이기 때문이다.

계산 과정

온도차는 $\Delta T = 25 - (-5) = 30K$이다.
두께는 $L = 4mm = 0.004m$이다.
따라서 $q'' = k\Delta T/L = 1 \times 30/0.004 = 7{,}500W/m^2$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 3,500은 계산값과 다르다. 두께를 잘못 환산하거나 온도차를 작게 잡았을 때 생길 수 있는 오답 수치이다. 올바르게는 단위면적당 열손실속도가 $7{,}500 W/m^2$이다.
2번 X: 4,000은 계산값과 다르다. $4mm$를 $0.004m$로 바꾸지 못하거나 나눗셈을 잘못하면 나올 수 있다. 올바르게는 $7{,}500 W/m^2$이다.
3번 O: 계산 결과가 $7{,}500 W/m^2$이므로 맞는 선지이다.
4번 X: 9,500은 계산값보다 크다. 분모 두께를 더 작게 잘못 넣거나 계산 중 수치를 잘못 처리했을 때 생길 수 있다. 올바르게는 $7{,}500 W/m^2$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두께 단위 변환과 온도차 부호 처리이다. $25-(-5)$를 20으로 잘못 계산하거나 $4mm$를 $0.004m$로 바꾸지 못하면 오답 선지로 바로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

전도 계산형은 먼저 온도차와 두께 단위를 정리한 뒤, 평판 전도식 $q'' = k\Delta T/L$에 대입하고 결과 단위가 W/m^2인지까지 확인하면 된다.

암기 포인트

평판 정상상태 전도는 $q'' = k\Delta T/L$이며, 두께가 얇을수록 같은 온도차에서 열손실속도는 커진다.

NoteBase

문 2. 윗면과 아랫면의 면적의 합이 25cm^2인 평판이 온도 300K으로 유지되는 유체에 잠겨 있다. 평판 내부에 매몰된 주울(Joule) 방식의 가열 시스템으로 전기가 100W 유입되어, 평판 표면의 온도가 350K으로 유지된다. 이 때의 대류열전달 계수$[\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}]$는? (단, 평판은 매우 얇아서 대류에 의한 열전달은 윗면과 아랫면에서만 고려하고, 평판 표면의 온도는 균일하다고 가정한다)

① 0.08

② 8

③ 800

④ 80,000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정상상태에서 평판으로 유입되는 전력과 대류로 방출되는 열량을 같게 두고 $Q = hA(T_s - T_\infty)$로 대류열전달계수 h를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 총 대류면적 $A = 25cm^2 = 2.5 \times 10^{-3}m^2$, 전기입력 $Q = 100W$, 평판 표면온도 $T_s = 350K$, 유체온도 $T_\infty = 300K$이다.
구해야 할 값은 대류열전달계수 h이다.
주의할 조건은 윗면과 아랫면의 면적의 합 $25cm^2$가 이미 전체 대류면적이라는 점이다.

사용할 공식

사용할 공식은 $Q = hA(T_s - T_\infty)$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 매우 얇은 평판의 내부 발생열 $100W$가 정상상태에서 윗면과 아랫면을 통한 대류로 모두 빠져나가므로, 발생열량과 대류열전달량을 같게 둘 수 있기 때문이다.

계산 과정

먼저 온도차는 $\Delta T = T_s - T_\infty = 350 - 300 = 50K$ 이다.
면적은 $A = 25cm^2 = 25 \times 10^{-4}m^2 = 2.5 \times 10^{-3}m^2$ 이다.
따라서 $h = \frac{Q}{A\Delta T} = \frac{100}{(2.5 \times 10^{-3})(50)} = \frac{100}{0.125} = 800W/(m^2 \cdot K)$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 0.08은 $25cm^2$를 $25m^2$처럼 잘못 본 값이다. 올바르게는 $25cm^2 = 2.5 \times 10^{-3}m^2$이다.
② X: 8은 $1cm^2 = 10^{-2}m^2$처럼 면적 환산을 한 단계만 적용한 경우에 나오는 값이다. 올바르게는 $1cm^2 = 10^{-4}m^2$이다.
③ O: $h = 800W/(m^2 \cdot K)$로 계산되므로 옳다.
④ X: 80,000은 $25cm^2$를 $2.5 \times 10^{-5}m^2$로 잘못 줄여 잡았을 때 나오는 값이다. 올바르게는 $25cm^2 = 2.5 \times 10^{-3}m^2$이다.

오답 포인트

함정은 $cm^2 \rightarrow m^2$ 단위변환이다. 길이 환산의 10^{-2}를 면적에도 그대로 쓰면 안 되고, 면적은 제곱단위이므로 $1cm^2 = 10^{-4}m^2$가 된다. 또한 윗면과 아랫면의 면적의 합이 이미 주어졌으므로 면적을 다시 두 배 하거나 반으로 나누지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

내부발열 평판의 정상상태 문제는 전체 열수지를 먼저 세우고, 총 대류면적과 온도차를 확인한 뒤 $Q = hA\Delta T$에 대입해 계산하면 된다. 이때 가장 먼저 검산할 항목은 $cm^2 \rightarrow m^2$ 변환이다.

암기 포인트

정상상태 평판 대류는 발생열량 = 대류방출열량이며, $25cm^2 = 2.5 \times 10^{-3}m^2$이다.

NoteBase

문 3. 완전 흑체의 절대온도가 2배가 될 때, 복사에너지 플럭스(flux)는 몇 배가 되는가?

① 2배

② 4배

③ 8배

④ 16배

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 완전 흑체의 복사에너지 플럭스가 절대온도의 4제곱에 비례한다는 스테판-볼츠만 법칙을 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 완전 흑체의 절대온도가 2배가 된다.
구해야 할 값: 복사에너지 플럭스가 몇 배가 되는지이다.
주의할 조건: 복사에너지 플럭스는 온도에 비례하지 않고 절대온도의 4제곱에 비례한다.

사용할 공식

완전 흑체의 복사에너지 플럭스는 $E_b = \sigma T^4$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 완전 흑체의 절대온도 변화에 따른 복사에너지 플럭스 변화를 묻고 있으므로 스테판-볼츠만 법칙을 바로 적용할 수 있다.

계산 과정

초기 복사에너지 플럭스를 $E_{b1} = \sigma T^4$라고 둔다.
온도가 2배가 되면 새로운 플럭스는 $E_{b2} = \sigma (2T)^4$이다.
따라서 $E_{b2} = \sigma \cdot 16T^4 = 16\sigma T^4$이므로 $E_{b2}/E_{b1} = 16$이다.
복사에너지 플럭스는 16배가 된다.

선지 판단

1번 X: 2배는 온도에 단순 비례한다고 잘못 본 값이다. 틀린 표현은 '2배'이고, 올바르게는 '16배'이다.
2번 X: 4배는 온도를 제곱에 비례한다고 잘못 본 값이다. 틀린 표현은 '4배'이고, 올바르게는 '16배'이다.
3번 X: 8배는 2의 세제곱으로 잘못 계산한 값이다. 틀린 표현은 '8배'이고, 올바르게는 '16배'이다.
4번 O: 완전 흑체의 복사에너지 플럭스는 T^4에 비례하므로 온도가 2배이면 $2^4 = 16$배가 된다.

NoteBase

오답 포인트

복사에너지 플럭스를 온도에 비례하거나 제곱에 비례하는 양으로 착각하면 2배나 4배를 고르게 된다. 이 문항의 함정은 '절대온도 2배'를 보고 지수 4를 놓치는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

복사 문제에서 완전 흑체와 절대온도가 보이면 먼저 스테판-볼츠만 법칙 $E_b = \sigma T^4$를 떠올린다. 그다음 배수 변화는 온도 배수를 4제곱해 바로 판단한다.

암기 포인트

완전 흑체 복사플럭스는 T^4 법칙이므로 온도 2배는 플럭스 16배이다.

NoteBase

문 4. 지름이 $1.2\mu m$인 구형의 박테리아가 $18\mu ms^{-1}$의 속도로 정지 유체 속을 헤엄쳐 갈 때, 유체의 점도가 $9.0 \times 10^{-4} Pa \cdot s$, 밀도가 $1{,}000 kgm^{-3}$이라면, 박테리아 입자의 레이놀즈 수(Re)는?

① 2.4×10^{-5}

② 2.4×10^{-4}

③ 2.4×10^{-3}

④ 2.4×10^{-2}

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 레이놀즈 수 공식 $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$에 값을 대입해 박테리아 입자의 레이놀즈 수를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 지름 $d = 1.2 \times 10^{-6} m$, 속도 $v = 18 \times 10^{-6} m/s$, 점도 $\mu = 9.0 \times 10^{-4} Pa \cdot s$, 밀도 $\rho = 1000 kg/m^3$이다.
구해야 할 값은 박테리아 입자의 레이놀즈 수 Re이다.
모든 값이 이미 SI 단위로 주어져 있어 추가 단위 변환은 필요하지 않다.

사용할 공식

사용 공식은 $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$이다.
레이놀즈 수는 관성력과 점성력의 비를 나타내는 무차원 수이며, 이 문제에서 대표길이는 구형 입자의 지름이다.

계산 과정

$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{1000 \times (18 \times 10^{-6}) \times (1.2 \times 10^{-6})}{9.0 \times 10^{-4}}$
$(18 \times 10^{-6}) \times (1.2 \times 10^{-6}) = 21.6 \times 10^{-12} = 2.16 \times 10^{-11}$
$1000 \times 2.16 \times 10^{-11} = 2.16 \times 10^{-8}$
$Re = \frac{2.16 \times 10^{-8}}{9.0 \times 10^{-4}} = 2.4 \times 10^{-5}$
계산 결과 레이놀즈 수는 2.4×10^{-5}이다.

NoteBase

선지 판단

1번: O. 계산값이 2.4×10^{-5}이므로 정답이다.
2번: X. 제시값이 실제 계산값보다 10배 크다. 틀린 표현은 2.4×10^{-4}라는 값이고, 올바르게는 $Re = 2.4 \times 10^{-5}$이다. 이런 오답은 $10^{-6} \times 10^{-6} = 10^{-12}$를 10^{-11}로 잘못 처리할 때 나오기 쉽다.
3번: X. 제시값이 실제 계산값보다 100배 크다. 틀린 표현은 2.4×10^{-3}이라는 값이고, 올바르게는 $Re = 2.4 \times 10^{-5}$이다. 밀도 1000을 곱한 뒤 지수 자릿수를 한 칸 더 크게 잡으면 이런 값에 도달한다.
4번: X. 제시값이 실제 계산값보다 1000배 크다. 틀린 표현은 2.4×10^{-2}라는 값이고, 올바르게는 $Re = 2.4 \times 10^{-5}$이다. 분모의 점도 9.0×10^{-4}를 나눌 때 소수점과 지수를 함께 정리하지 않으면 이런 오답에 빠진다.

오답 포인트

미세 길이와 속도에 붙은 10^{-6} 두 개가 곱해져 10^{-12}가 된다는 점을 놓치면 지수가 한 칸씩 커진 오답을 고르기 쉽다. 또한 점도 μ가 분모에 있으므로 소수와 지수를 따로 정리하지 않으면 10배, 100배 큰 값으로 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

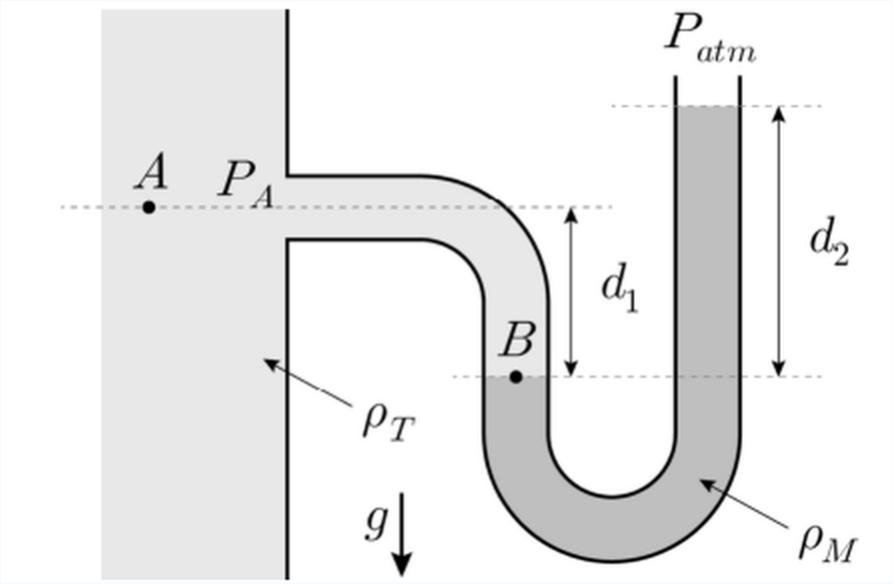
레이놀즈 수 문제는 ρ, v, d, μ를 확인한 뒤 공식 $Re = \frac{\rho v d}{\mu}$에 바로 대입하고, 지수끼리 먼저 정리한 다음 계수만 마지막에 나누면 된다. 계산 결과가 매우 작은 값이면 미세 입자와 저속 유동이라는 물리적 상황과도 맞는지 함께 검산할 수 있다.

암기 포인트

$Re = \frac{\rho v d}{\mu}$이며, 미세 입자와 매우 느린 속도에서는 $Re \ll 1$이 되기 쉽다.

NoteBase

문 5. 밀폐된 탱크에 채워진 액체의 압력을 아래와 같이 U관 마노미터를 이용해서 측정하려고 할 때, 탱크 내의 한 점 A의 압력(P_A)을 바르게 표현한 식은? (단, 탱크 내 유체는 압력계의 한 점 B까지 연결되어 있다. 또한 ρ_T는 탱크 내 액체의 밀도, ρ_M은 마노미터 내 액체의 밀도를 의미하고, 중력 가속도의 크기는 g로 표시한다)



① $P_A = \rho_T g d_1 - \rho_M g d_2 + P_{atm}$

② $P_A = \rho_T g d_2 - \rho_M g d_1 + P_{atm}$

③ $P_A = \rho_M g d_2 - \rho_T g d_1 + P_{atm}$

④ $P_A = \rho_M g d_1 - \rho_T g d_2 + P_{atm}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 U관 마노미터에서 같은 수평면의 압력이 같다는 정수압 평형을 이용해 점 A의 압력 P_A를 식으로 표현하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 오른쪽 자유표면의 압력은 P_{atm}이다.
구해야 할 값: 탱크 내 점 A의 압력 P_A이다.
주의할 조건: 점 B는 점 A보다 d_1만큼 아래에 있어 탱크 액체 ρ_T에 의해 압력이 증가하고, 오른쪽 자유표면에서 점 B의 높이까지 d_2만큼 내려오면 마노미터 액체 ρ_M에 의해 압력이 증가한다.

NoteBase

사용할 공식

같은 유체 내에서 아래로 h만큼 내려가면 압력은 ρgh만큼 증가하고, 같은 수평면에 있는 연속된 유체의 압력은 같다.
따라서 오른쪽 자유표면에서 점 B의 높이까지 내려오면 $P_B = P_{atm} + \rho_M g d_2$이고, 탱크 쪽에서는 $P_B = P_A + \rho_T g d_1$이다.
두 식을 같게 두면 $P_A = P_{atm} + \rho_M g d_2 - \rho_T g d_1$이다.

계산 과정

1. 오른쪽 개방면 자유표면의 압력은 P_{atm}이다.
2. 그 점에서 d_2만큼 아래의 같은 마노미터 액체 위치 압력은 $P_{atm} + \rho_M g d_2$이다.
3. 점 A에서 d_1만큼 아래인 점 B의 압력은 $P_A + \rho_T g d_1$이다.
4. 같은 높이의 연속된 마노미터 내 압력은 같으므로 $P_A + \rho_T g d_1 = P_{atm} + \rho_M g d_2$이다.
5. 정리하면 $P_A = P_{atm} + \rho_M g d_2 - \rho_T g d_1$이다.

선지별 해설

① X. P_{atm}에서 d_2만큼 아래로 내려가면 압력은 $\rho_M g d_2$만큼 증가해야 하는데, 이 선지는 이를 감소항으로 두었다. 틀린 표현은 $-\rho_M g d_2$이고, 올바르게는 $+\rho_M g d_2$이다.
② X. d_1은 탱크 액체 ρ_T가 작용하는 높이차이고 d_2는 마노미터 액체 ρ_M가 작용하는 높이차이다. 틀린 표현은 $\rho_T g d_2 - \rho_M g d_1$이고, 올바르게는 $\rho_M g d_2 - \rho_T g d_1$이다.
③ O. 오른쪽 자유표면에서 아래로 d_2만큼 내려가며 $+\rho_M g d_2$, 점 B에서 점 A로 위로 d_1만큼 올라가며 $-\rho_T g d_1$이 반영되므로 $P_A = P_{atm} + \rho_M g d_2 - \rho_T g d_1$가 된다.
④ X. 각 높이차는 그 구간을 채우는 유체의 밀도와 짝지어야 한다. 틀린 표현은 $\rho_M g d_1 - \rho_T g d_2$이고, 올바르게는 $\rho_M g d_2 - \rho_T g d_1$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 높이차 d_1, d_2를 각각 어느 유체 기둥에 대응시키는지와, 아래로 내려갈 때는 압력이 증가하고 위로 올라갈 때는 압력이 감소한다는 부호 규칙을 동시에 묻는 점이다. d_1과 d_2를 바꾸거나 P_{atm}에서 내려가는 항을 음수로 쓰면 바로 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

개방 마노미터는 P_{atm}에서 출발해 목표점까지 내려가면 $+\rho gh$, 올라가면 $-\rho gh$를 차례로 더하는 방식으로 판단한다. 각 높이차가 어떤 유체 기둥에 해당하는지 먼저 표시하면 식이 흔들리지 않는다.

암기 포인트

개방면에서 시작해 아래는 +, 위는 −로 두고, 각 높이차는 그 구간을 채운 유체의 밀도와 짝지어진다.

NoteBase

문 6. 무차원수의 의미에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. Pr(Prandtl number): 운동량 확산도유체의 열 확산도
ㄴ. Nu(Nusselt number): 유체의 전도 열 저항대류 열 저항
ㄷ. St(Stanton number): 운동량 확산도물질의 확산도

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Prandtl 수, Nusselt 수, Stanton 수의 뜻과 각 무차원수가 무엇의 비인지 구분하는 문제이다.

핵심 개념

Prandtl 수는 운동량 확산도와 열확산도의 비로 $Pr = \nu/\alpha$이다.
Nusselt 수는 대류 열전달이 전도 열전달에 비해 얼마나 큰지를 나타내며 $Nu = hL/k$로서 전도 열저항을 대류 열저항으로 나눈 값과 같다.
Stanton 수는 대류 열전달량을 유체의 열용량 유속으로 무차원화한 수로 $St = h/(\rho u c_p)$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- ㄱ은 맞다. Pr는 운동량 확산도 ν를 열확산도 α로 나눈 값이다.
- ㄴ도 맞다. $Nu = hL/k$이므로 전도 열저항을 대류 열저항으로 나눈 값과 같다.
- 따라서 옳은 것만 고르면 ㄱ, ㄴ이다.

② X
- 틀린 부분은 'ㄱ, ㄷ'이다.
- ㄷ은 Stanton 수 설명이 아니다. 운동량 확산도와 물질 확산도의 비는 Schmidt 수 $Sc = \nu/D_{AB}$에 해당한다.
- 올바르게는 'ㄱ, ㄴ'이어야 한다.

③ X
- 틀린 부분은 'ㄴ, ㄷ'이다.
- ㄴ은 맞지만 ㄷ은 틀리므로 두 문장만 옳다고 묶으면 정답이 될 수 없다.
- 올바르게는 'ㄱ, ㄴ'이어야 한다.

④ X
- 틀린 부분은 'ㄱ, ㄴ, ㄷ'이다.
- ㄷ이 틀렸으므로 세 문장을 모두 옳다고 볼 수 없다.
- 올바르게는 'ㄱ, ㄴ'이어야 한다.

오답 포인트

Stanton 수와 Schmidt 수를 뒤바꾸어 놓은 함정이다. 둘 다 전달현상 무차원수이므로 '확산도 대 확산도'라는 모양만 보고 ㄷ을 맞는 문장으로 착각하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

무차원수는 분자와 분모의 물리량을 먼저 확인하면 된다. Pr는 운동량 대 열, Sc는 운동량 대 물질, Nu는 대류 대 전도, St는 대류 열전달 대 열용량 유속으로 대응시키면 조합형 선택지도 바로 정리된다.

암기 포인트

Pr는 운동량 대 열, Nu는 대류 대 전도, Sc는 운동량 대 물질, St는 열전달 대 열용량 유속이다.

NoteBase

문 7. 어떤 마을의 우물물이 유독성 물질 A로 오염되었다. A를 제거하기 위해 공기가 주입된 시간을 $t[min]$라고 할 때, $t=10$에서 A의 농도가 초기값$(100mgL^{-1})$의 $\frac{1}{5}$로 줄었다. $t=20$일 때, A의 농도$[mgL^{-1}]$는? (단, 우물물의 부피 변화는 없으며, 우물물 속 모든 곳에서 A의 농도는 균일하다. 또한, 신선한 공기가 충분한 양으로 공급되며, A가 공기 중으로 전달되는 과정에서 물질전달계수 k의 값은 일정하다. 탈기(stripping) 공정을 통해 A를 제거하며, A의 추가 유입은 없다)

① 0

② 2

③ 4

④ 10

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 공기가 충분히 공급되는 완전혼합 탈기 공정에서 농도가 시간에 따라 지수적으로 감소한다는 관계를 이용해 $t=20$분의 농도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 초기 농도는 $100mg/L$이다.
주어진 값: $t=10$분에서 농도는 초기값의 1/5이므로 $20mg/L$이다.
구해야 할 값: $t=20$분에서의 농도이다.
주의할 조건: 우물물은 완전혼합 상태이고, 부피 변화가 없으며, 물질전달계수 k가 일정하므로 1차 지수감소식이 성립한다.

사용할 공식

사용 공식은 $C(t)=C_0e^{-kt}$이다.

이 공식을 쓰는 이유:
완전혼합된 액상에서 탈기로만 오염물질이 제거되고 k가 일정하면 농도 감소속도는 현재 농도에 비례하므로 $\frac{dC}{dt}=-kC$의 1차 속도식으로 모델링된다.

계산 과정

1. $t=10$분에서 $C(10)=100\times\frac{1}{5}=20mg/L$이다.
2. $20=100e^{-10k}$이므로 $e^{-10k}=\frac{1}{5}$이다.
3. 따라서 $e^{-20k}=\left(\frac{1}{5}\right)^2=\frac{1}{25}$이다.
4. $C(20)=100\times\frac{1}{25}=4mg/L$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $t = 20$분에서도 농도는 0이 아니라 $4mg/L$이다. 0이라는 값은 유한 시간에 농도가 완전히 사라진다고 본 표현이 틀렸고, 올바르게는 지수감소로 계속 줄어들 뿐이다.

② X
- 계산 결과와 맞지 않는다. $2mg/L$는 $100 \times \left(\frac{1}{5}\right)^3$처럼 30분 경과로 착각할 때 나오는 값이므로 틀렸고, 올바른 값은 $4mg/L$이다.

③ O
- $t = 10$분마다 농도가 1/5배가 되므로 $t = 20$분에서는 $100 \times \left(\frac{1}{5}\right)^2 = 4mg/L$이다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X
- $10mg/L$는 감소비를 선형으로 처리하거나 $20mg/L$의 절반으로 잘못 줄일 때 나오는 값이다. 이 문제는 선형감소가 아니라 지수감소이므로 틀렸고, 올바른 값은 $4mg/L$이다.

오답 포인트

10분 뒤에 1/5로 줄었다는 조건을 선형감소로 읽으면 ④처럼 잘못 판단하기 쉽다. 이 문항의 함정은 일정한 양이 줄어드는 과정이 아니라 일정한 비율로 줄어드는 1차 탈기 과정이라는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

완전혼합 상태에서 제거속도가 현재 농도에 비례하면 먼저 1차 지수감소식 여부를 확인하고, 주어진 시간의 감소비를 다음 시간 구간에도 같은 비율로 적용해 판단한다.

암기 포인트

1차 탈기에서는 같은 시간 간격마다 농도가 같은 비율로 줄어든다.

NoteBase

문 8. 메탄올과 물로 구성된 액체 혼합물을 다단 증류탑의 공급단에 공급하여 분리하고자 한다. 공급물이 증류탑의 압력조건 하에서 60 mol%의 액체상과 40 mol%의 기체상으로 구성되어 있을 때, 원료공급선(feed line) 식에서의 기울기는?

① -1.5

② -0.67

③ 0.67

④ 1.5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 부분 기화된 공급물의 액상분율 q를 이용해 McCabe-Thiele 원료공급선의 기울기 $\frac{q}{q-1}$를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 액체상 60 mol%, 기체상 40 mol%이다.
구해야 할 값: 원료공급선의 기울기이다.
주의할 조건: q는 공급물 중 액체의 몰분율이므로 $q = 0.6$이다.

사용할 공식

원료공급선의 기울기는 $\frac{q}{q-1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 공급물이 증류탑 압력조건에서 액체와 기체가 함께 존재하는 부분 기화 상태이기 때문이다.

계산 과정

1. 액체상 비율이 60 mol%이므로 $q = 0.6$이다.
2. 원료공급선 기울기에 대입하면 $\frac{q}{q-1} = \frac{0.6}{0.6-1}$이다.
3. 계산하면 $\frac{0.6}{-0.4} = -1.5$이므로 원료공급선의 기울기는 -1.5이다.

NoteBase

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 -1.5이므로 정답이다.
2번: X. -0.67은 $-\frac{1-q}{q} = -\frac{0.4}{0.6}$처럼 식을 뒤집어 계산한 값이다. 틀린 표현은 기울기를 -0.67로 본 점이고, 올바르게는 -1.5이다.
3번: X. 0.67은 $\frac{1-q}{q} = \frac{0.4}{0.6}$처럼 식도 뒤집고 부호도 잘못 처리한 값이다. 틀린 표현은 기울기를 0.67로 본 점이고, 올바르게는 -1.5이다.
4번: X. 1.5는 크기만 맞고 부호를 놓친 값이다. $0 < q < 1$이면 $q - 1$이 음수이므로 기울기도 음수여야 한다. 틀린 표현은 기울기를 1.5로 본 점이고, 올바르게는 -1.5이다.

오답 포인트

q를 액체 비율이 아니라 기체 비율로 착각하거나, $q - 1$의 음수를 놓치면 부호가 뒤집힌다. 특히 $0 < q < 1$인 부분 기화 공급물은 원료공급선 기울기가 음수라는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

액체와 기체 비율이 함께 주어지면 먼저 액체 비율을 q로 잡는다. 그다음 원료공급선 기울기 $\frac{q}{q-1}$에 대입하고, $0 < q < 1$이면 최종 부호가 음수인지까지 검산한다.

암기 포인트

부분 기화 공급물은 $0 < q < 1$이므로 q-line 기울기 $\frac{q}{q-1}$는 항상 음수이다.

NoteBase

문 9. 다음 각 조건에서 산소분자가 원통형 세공을 통해 Knudsen 확산되고 있다고 가정할 때, (나)에서 계산된 Knudsen 확산계수 $[cm^2s^{-1}]$를 (가)에서의 Knudsen 확산계수 $[cm^2s^{-1}]$로 나눈 값은? (단, 산소의 원자량은 16이다)

(가) 288 K, 세공의 평균지름은 $0.2\mu m$
(나) 512 K, 세공의 평균지름은 $0.06\mu m$

① 0.2
② 0.4
③ 0.6
④ 0.8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Knudsen 확산계수의 비례식 $D_K \propto d_p\sqrt{T/M}$를 이용해 두 조건의 확산계수 비를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

(가): $T = 288K$, 세공 평균지름 $d_p = 0.2\mu m$
(나): $T = 512K$, 세공 평균지름 $d_p = 0.06\mu m$
구해야 할 값: D_K,(나)/D_K,(가)
주의할 조건: 같은 기체인 산소 분자이므로 분자량 M은 비를 취하면 약분된다.

사용할 공식

Knudsen 확산계수는 같은 기체에 대해 $D_K \propto d_p\sqrt{T/M}$이다.
따라서 두 조건의 비는
(D_K,(나))/(D_K,(가))=(d_p,(나))/(d_p,(가))(T_(나))/(T_(가))
로 계산할 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 같은 산소분자가 서로 다른 온도와 세공지름 조건에서 원통형 세공을 통해 Knudsen 확산된다고 주어졌기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 세공지름 비를 구하면 0.06/0.2 = 0.3이다.

2. 온도항은

$\sqrt{\frac{512}{288}} = \sqrt{\frac{16}{9}} = \frac{4}{3}$

이다.

3. 따라서

(D_K,(나))/(D_K,(가))=0.3×(4)/(3)=0.4

이다.

선지 판단

1번: X

계산 결과는 0.4이므로 0.2라는 진술은 틀리다. 올바르게는 0.4이다.

2번: O

계산 결과가 정확히 0.4이므로 옳다.

3번: X

계산 결과는 0.4이므로 0.6이라는 진술은 틀리다. 올바르게는 0.4이다.

4번: X

계산 결과는 0.4이므로 0.8이라는 진술은 틀리다. 올바르게는 0.4이다.

오답 포인트

세공지름 비와 온도항 $\sqrt{T}$를 함께 반영해야 하는데, 세공지름만 보거나 온도항을 그대로 T 비로 넣으면 오답이 된다. 또한 같은 기체의 비교이므로 분자량 항이 약분된다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

Knudsen 확산계수 비교 문제는 먼저 $D_K \propto d_p\sqrt{T/M}$ 형태를 잡고, 같은 기체인지 확인해 M 약분 여부를 본 뒤, 세공지름 비와 $\sqrt{T}$ 비를 곱해 판단한다.

암기 포인트

Knudsen 확산은 세공이 클수록 커지고, 온도는 $\sqrt{T}$에 비례하며, 같은 기체끼리의 비에서는 M이 소거된다.

NoteBase

문 10. 산소/질소의 선택도가 4인 공기 분리용 막을 이용한 1단 막 분리장치로 공기를 분리할 때, 얻을 수 있는 산소의 최대 농도[mol%]는? (단, 공기의 구성 성분은 질소 79.0 mol%, 산소 21.0 mol%로 가정하고, 산소/질소의 선택도는 산소의 투과도(permeability)/질소의 투과도(permeability)로 정의한다)

① 41.0

② 45.7

③ 51.5

④ 93.8

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 기체 분리막의 선택도 정의를 이용해 1단 막분리에서 얻을 수 있는 산소 투과측의 최대 조성을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 산소/질소 선택도 $\alpha = \frac{P_{O_2}}{P_{N_2}} = 4$이다.
- 공급 공기 조성은 산소 $x_{O_2} = 0.21$, 질소 $x_{N_2} = 0.79$이다.

구해야 할 값:
- 얻을 수 있는 산소의 최대 농도 y_{O_2}이다.

주의할 조건:
- 최대 농도는 공급측 조성이 거의 변하지 않는 한계에서의 투과측 조성으로 본다.

사용할 공식

선택도 정의로부터

$$\alpha = \frac{P_{O_2}}{P_{N_2}} = \frac{y_{O_2}/y_{N_2}}{x_{O_2}/x_{N_2}}$$

이므로

$$\frac{y_{O_2}}{1-y_{O_2}} = \alpha\frac{x_{O_2}}{x_{N_2}}$$

이다.

이 공식을 쓰는 이유:
선택도는 두 성분의 투과 조성비와 공급 조성비의 비이므로, 공급 공기 조성과 선택도가 주어지면 투과측의 산소 조성을 직접 계산할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 공급 조성비를 계산하면
$\frac{x_{O_2}}{x_{N_2}} = \frac{0.21}{0.79} \approx 0.2658$
이다.

2. 선택도를 반영하면 투과 조성비는
$\frac{y_{O_2}}{1-y_{O_2}} = 4 \times 0.2658 \approx 1.0633$
이다.

3. 이를 y_{O_2}에 대해 정리하면
$y_{O_2} = \frac{1.0633}{1+1.0633} \approx 0.5153$
이므로 산소의 최대 농도는 약 51.5 mol%이다.

선지별 해설

① X

- 41.0 mol%는 선택도 정의식을 정확히 적용한 값이 아니다. 올바르게는 $y_{O_2} = 51.5mol\%$가 되어야 한다.

② X

- 45.7 mol%는 $y_{O_2} = \frac{\alpha x_{O_2}}{1+\alpha x_{O_2}}$처럼 분모를 잘못 둔 계산에서 나오는 값이다. 올바른 식은
$y_{O_2} = \frac{\alpha x_{O_2}}{\alpha x_{O_2} + x_{N_2}} = \frac{\alpha x_{O_2}}{1+(\alpha-1)x_{O_2}}$이고, 따라서 51.5 mol%가 맞다.

③ O

- 선택도 4와 공급 조성 산소 21 mol%, 질소 79 mol%를 적용하면 투과측 산소 농도는 $51.5mol\%$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X

- 93.8 mol%는 선택도 4를 거의 순산소에 가까운 분리 성능으로 오해한 값이다. 선택도 4는 산소가 질소보다 4배 잘 투과된다는 뜻일 뿐이며, 1단 막분리의 최대 산소 농도는 51.5 mol%이다.

오답 포인트

선택도 4를 산소 농도 4배로 직접 해석하거나, 조성비 식을 조성 식으로 바꾸는 과정에서 분모를 잘못 두면 오답이 나온다. 이 문항의 함정은 선택도 정의가 농도 자체가 아니라 조성비의 비라는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

막분리 계산형 문항은 먼저 선택도가 조성비의 비인지 확인하고, 다음에 $\frac{y}{1-y} = \alpha\frac{x}{1-x}$ 형태로 바꾼 뒤 마지막에 조성 y로 환산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

이원계 막분리의 최대 투과 조성은 $y = \frac{\alpha x}{1+(\alpha-1)x}$ 형태로 정리된다.

NoteBase

문 11. 스톡스-아인슈타인(Stokes-Einstein) 식의 확산계수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 온도에 비례한다.

② 용매의 점도에 반비례한다.

③ 용질의 크기에 반비례한다.

④ 전체 압력에 반비례한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 스토크스-아인슈타인 식에서 확산계수가 어떤 변수에 비례하거나 반비례하는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 스토크스-아인슈타인 식의 변수 관계를 판단하는 문제이다.
구해야 할 내용: 각 선지가 식의 비례관계와 맞는지 여부이다.
주의할 조건: 이 식에서 확산계수는 온도, 용매 점도, 입자 반경에는 의존하지만 전체 압력은 직접적인 항으로 들어가지 않는다.

사용할 공식

스토크스-아인슈타인 식은 $D = \frac{kT}{6\pi\mu r}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제의 네 선지는 모두 확산계수 D가 온도 T, 용매 점도 μ, 용질의 유효 반경 r에 어떻게 의존하는지를 그대로 묻고 있기 때문이다.

선지 판단

1번: O. 식의 분자에 T가 있으므로 온도가 증가하면 확산계수도 비례하여 커진다.
2번: O. 식의 분모에 용매 점도 μ가 있으므로 점도가 클수록 확산계수는 작아진다.
3번: O. 식의 분모에 용질의 유효 반경 r가 있으므로 입자가 클수록 확산계수는 작아진다.
4번: X. 틀린 표현은 '전체 압력에 반비례한다'이다. 스토크스-아인슈타인 식에는 전체 압력 항이 직접 포함되지 않으므로 이러한 반비례 관계를 말할 수 없다. 올바르게는 '확산계수는 온도에 비례하고 용매 점도와 용질의 크기에 반비례한다'이다.

오답 포인트

압력은 기체 확산이나 상태변화 문제에서 자주 등장하므로 식에 없는 변수를 익숙하다는 이유로 끼워 넣기 쉽다. 이 문항의 함정은 실제 식에 들어 있는 변수와 들어 있지 않은 변수를 구분하지 못하면 4번을 맞는 말처럼 보게 된다는 점이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

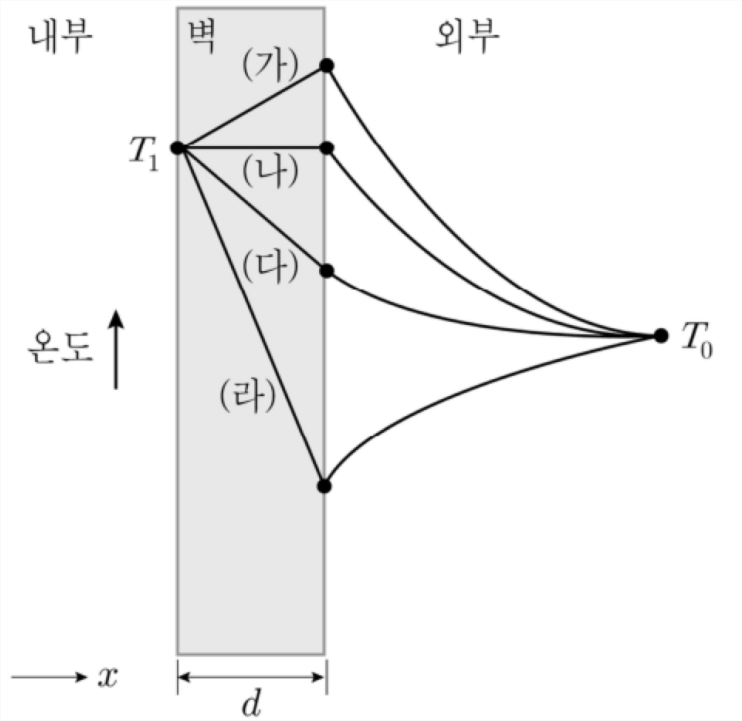
변수 의존성을 묻는 문제는 먼저 식의 분자와 분모를 확인한 뒤 각 변수가 정비례인지 반비례인지 판단하면 된다. 식에 없는 변수는 직접적인 비례관계를 주장하는 선지로 나오면 틀린 선지로 본다.

암기 포인트

스토크스-아인슈타인 식은 $D \propto \frac{T}{\mu r}$로 정리된다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 두께가 d인 고체 벽으로 내부와 외부가 분리되어 있고, 내부 벽면의 온도는 T_1, 외기 온도는 T_0로 유지되고 있다. 고체 벽의 열전도도(k)가 외부 대류에 의한 열전달 계수(h)와 비교하여 $\frac{k}{hd} \to \infty$일 때, (가) ~ (라) 중 내부 벽면에서부터 외기와 맞닿는 벽 주변의 정상상태 온도 분포로 가장 알맞은 것은? (단, $T_1 > T_0$이고, x방향 열전달만 고려한다)



① (가)

② (나)

③ (다)

④ (라)

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 $k/(hd) \to \infty$, 즉 $Bi = hd/k \to 0$일 때 벽 내부 전도저항과 외부 대류저항의 상대적 크기를 도식에서 판별하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 (가): X. 외벽면 온도가 내부 벽면 온도 T_1보다 더 높게 그려져 있다. 열은 $T_1 > T_0$ 조건에서 내부에서 외부로 흐르므로 벽 내부에서 온도가 상승할 수 없다. 틀린 표현은 '외벽면 온도가 T_1보다 높다'는 그림이며, 올바르게는 외벽면 온도는 T_1 이하이다.
2번 (나): O. $k/(hd) \to \infty$이면 벽의 전도저항 d/k가 외부 대류저항 $1/h$보다 매우 작다. 따라서 벽 내부 온도강하는 거의 0이어서 벽 전체가 거의 T_1로 유지되고, 대부분의 온도강하는 외부 유체 경계층에서 일어난다.
3번 (다): X. 이 그림은 벽 내부와 외부 유체에서 온도강하가 함께 나타나므로 전도저항과 대류저항이 같은 차수일 때에 가깝다. 틀린 표현은 '벽 내부에도 유의미한 온도강하가 있다'는 점이며, 올바르게는 이 극한에서는 벽 내부 온도강하는 거의 없어야 한다.
4번 (라): X. 이 그림은 벽 내부 온도강하가 매우 크고 외벽면 온도가 T_0에 가까워 전도저항이 지배적인 경우에 해당한다. 틀린 표현은 '온도강하의 대부분이 벽 내부에서 생긴다'는 점이며, 올바르게는 $k/(hd) \to \infty$에서는 온도강하의 대부분이 외부 대류층에서 생긴다.

오답 포인트

많이 틀리는 이유는 $k/(hd)$를 그대로 보지 않고 hd/k와 혼동하기 때문이다. 이 비가 커지면 전도가 매우 잘되는 경우이므로 '벽 내부 기울기 완만, 외부 유체 쪽 급강하'를 떠올려야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $k/(hd) = 1/Bi$로 바꾸어 어느 저항이 더 큰지 본다. 값이 매우 크면 벽 내부는 거의 등온이고, 값이 매우 작으면 벽 내부에서 큰 온도강하가 생긴다고 판단한다.

암기 포인트

전도저항이 작으면 벽은 평평하고, 대류저항이 크면 유체 쪽에서 떨어진다.

NoteBase

문 13. 2차원 속도 벡터 (v_x, v_y) 분포식 중에 연속 방정식(continuity equation)을 만족하는 것은? (단, 균일한 비압축성 유체를 가정하며, $v_z = 0$이다)

① $v_x = x - y,\ v_y = xy$

② $v_x = \cos(x),\ v_y = y\sin(x)$

③ $v_x = xy + x^2,\ v_y = xy^2$

④ $v_x = 1,\ v_y = y - 1$

정답 2번

출제 포인트

균일한 비압축성 2차원 유동에서 연속 방정식 $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$를 적용해 속도장의 발산이 0인지 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 균일한 비압축성 유체와 $v_z = 0$인 2차원 유동이다.
따라서 확인할 식은 $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$ 하나이다.

사용할 공식

연속 방정식은 $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$이다.
비압축성이고 $v_z = 0$이므로 3차원 식 $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$에서 마지막 항이 사라져 이 공식을 그대로 쓴다.

계산 과정

1. 각 선지의 v_x를 x로, v_y를 y로 편미분한다.
2. 두 편미분값의 합이 항등적으로 0이면 연속 방정식을 만족한다.
3. ②는 $-\sin x + \sin x = 0$이 되고, 나머지는 0이 아니므로 탈락한다.

선지별 해설

① X: $\frac{\partial v_x}{\partial x} = 1,\ \frac{\partial v_y}{\partial y} = x$이므로 합은 $1 + x$이다. 0이 아니어서 연속 방정식을 만족하지 않는다. 틀린 부분은 $v_y = xy$이다. $v_x = x - y$를 유지하려면 올바르게는 $v_y = -y + C(x)$처럼 $\frac{\partial v_y}{\partial y} = -1$이 되는 형태여야 한다.
② O: $\frac{\partial v_x}{\partial x} = -\sin x,\ \frac{\partial v_y}{\partial y} = \sin x$이므로 합이 항상 0이다. 비압축성 2차원 연속 방정식을 정확히 만족한다.
③ X: $\frac{\partial v_x}{\partial x} = y + 2x,\ \frac{\partial v_y}{\partial y} = 2xy$이므로 합은 $y + 2x + 2xy$이다. 0이 아니어서 틀리다. 틀린 부분은 $v_y = xy^2$이다. $v_x = xy + x^2$를 유지하려면 올바르게는 $v_y = -\frac{1}{2}y^2 - 2xy + C(x)$처럼 $\frac{\partial v_y}{\partial y} = -(y + 2x)$가 되어야 한다.
④ X: $\frac{\partial v_x}{\partial x} = 0,\ \frac{\partial v_y}{\partial y} = 1$이므로 합은 1이다. 0이 아니어서 틀리다. 틀린 부분은 $v_y = y - 1$이다. $v_x = 1$이면 올바르게는 $v_y = C(x)$처럼 y에 대한 편미분이 0인 형태여야 한다.

NoteBase

오답 포인트

①과 ④는 식이 단순해서 맞아 보이지만 편미분 후 합을 직접 계산하면 바로 탈락한다. ③은 xy^2를 y로 미분할 때 $2xy$가 된다는 점을 놓치면 오판한다. 또 연속 방정식은 각 성분을 자기 변수로 편미분한 뒤 더하는 식이라는 점을 총미분처럼 처리하면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

비압축성 속도장 판별 문제는 $\frac{\partial v_x}{\partial x}$와 $\frac{\partial v_y}{\partial y}$를 먼저 구한 뒤 그 합이 항등적으로 0인지 확인하면 된다. 특정 점에서만 0이 되는지는 정답 조건이 아니다.

암기 포인트

비압축성 2차원 유동의 핵심 판정식은 $\nabla \cdot \vec{v} = \frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} = 0$이다.

NoteBase

문 14. 물질전달은 화학퍼텐셜의 구배에 의해서 발생한다. 화학퍼텐셜 구배를 형성시킬 수 있는 조건만을 모두 고르면?

ㄱ. 온도차
ㄴ. 압력차
ㄷ. 중력

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 화학퍼텐셜 μ가 농도뿐 아니라 온도, 압력, 위치에 따라서도 달라질 수 있다는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

화학퍼텐셜은 물질 1몰이 가지는 부분몰 자유에너지이므로 구배가 생기면 그 차이를 줄이는 방향으로 물질전달이 일어난다.
온도차는 μ의 온도 의존성 때문에 화학퍼텐셜 구배를 만들 수 있다.
압력차는 μ의 압력 의존성 때문에 화학퍼텐셜 구배를 만들 수 있다.
중력은 위치에 따른 퍼텐셜에너지를 바꾸므로 높이차가 있으면 유효 퍼텐셜 구배를 만들 수 있다.

선지별 해설

1번 X: ㄱ, ㄴ만 고르면 중력에 의한 위치 퍼텐셜 효과를 빠뜨리게 된다. 중력이 작용하면 위치에 따라 유효 화학퍼텐셜이 달라질 수 있으므로 ㄷ도 포함되어야 한다. 틀린 표현은 'ㄱ, ㄴ만'이다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ'이다.
2번 X: ㄱ, ㄷ만 고르면 압력차에 따른 화학퍼텐셜 변화가 누락된다. 유체나 기체에서는 압력차도 물질전달의 구동력이 될 수 있다. 틀린 표현은 'ㄱ, ㄷ만'이다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ'이다.
3번 X: ㄴ, ㄷ만 고르면 온도차에 따른 화학퍼텐셜 변화가 빠진다. 온도 구배도 화학퍼텐셜 구배를 형성시킬 수 있으므로 ㄱ을 제외하면 안 된다. 틀린 표현은 'ㄴ, ㄷ만'이다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ'이다.
4번 O: 온도차, 압력차, 중력은 모두 화학퍼텐셜을 위치마다 다르게 만들어 물질전달의 구동력을 형성할 수 있으므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

화학퍼텐셜 구배를 농도차와 거의 같은 뜻으로 좁게 외우면 ㄱ이나 ㄷ을 빼기 쉽다. 이 문항은 화학퍼텐셜이 열역학적 상태량이므로 온도, 압력, 위치에너지까지 함께 본다는 점을 노린 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

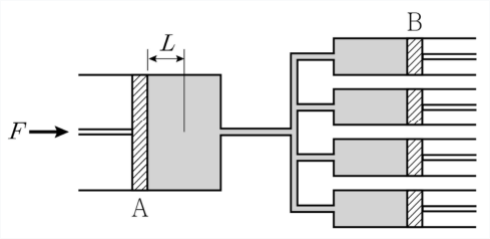
화학퍼텐셜에 영향을 주는 상태변수가 무엇인지 먼저 본다. 농도 외에 온도, 압력, 위치에너지처럼 μ를 바꾸는 요인이 제시되면 화학퍼텐셜 구배를 만들 수 있는 조건으로 판단한다.

암기 포인트

화학퍼텐셜 구배의 원인은 농도만이 아니라 온도, 압력, 위치에너지까지 포함된다.

NoteBase

문 15. 그림과 같이 피스톤-실린더 A 1개, 서로 동일한 피스톤-실린더 B 4개로 이루어진 유압 시스템이 있다. 4개의 피스톤-실린더 B는 피스톤-실린더 A의 움직임에 따라 작동하고, 피스톤 A의 단면적은 개별 피스톤 B의 단면적의 10배이다. 피스톤 A에 힘 F가 가해져 거리 L만큼 이동하였을 때, 4개 중 '1개의 피스톤 B에 작용하는 힘'과 '1개의 피스톤 B의 이동거리'를 바르게 연결한 것은? (단, 피스톤-실린더 장치는 비압축성 유체로 채워져 있고, 에너지 손실은 없다. 유압 시스템의 온도 변화는 없으며, A부터 개별 B까지의 유체저항은 모두 동일하다)



① 힘: $10F$, 이동거리: $0.025L$

② 힘: $10F$, 이동거리: $0.1L$

③ 힘: $0.1F$, 이동거리: $2.5L$

④ 힘: $0.1F$, 이동거리: $10L$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 유압계에서 압력 전달과 체적 보존을 함께 적용하여 피스톤 B 1개에 작용하는 힘과 이동거리를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
피스톤 A의 단면적은 개별 피스톤 B의 단면적의 10배이다.
피스톤 A는 L만큼 이동한다.
피스톤 B는 4개이고 모두 동일하며 유체 저항도 같다.
유체는 비압축성이며 에너지 손실이 없다.
구해야 할 값:
피스톤 B 1개에 작용하는 힘과 이동거리이다.
주의할 조건:
피스톤 A가 밀어낸 체적은 4개의 B에 균등하게 나뉜다.

NoteBase

사용할 공식

압력 전달은 $p = F/A$이다.
체적 보존은 $A_A L = 4A_B x_B$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 유압계의 동일 압력이 각 분기 B에 그대로 전달되고, 비압축성 유체이므로 A가 밀어낸 체적이 4개의 B로 나뉘어 전달되기 때문이다.

계산 과정

1. $A_A = 10A_B$이므로 피스톤 A가 만드는 압력은 $p = F/A_A = F/(10A_B)$이다.
2. 피스톤 B 1개에 작용하는 힘은 $F_B = pA_B = (F/(10A_B))A_B = 0.1F$이다.
3. 체적 보존식은 $A_A L = 4A_B x_B$이다.
4. $10A_B L = 4A_B x_B$이므로 $x_B = 2.5L$이다.

선지 판단

1번 X: 힘 $10F$는 압력 전달 방향을 거꾸로 계산한 값이다. 실제로는 단면적이 큰 A에서 작은 B로 갈 때 힘이 10배로 커지지 않고 $0.1F$로 작아진다. 이동거리 $0.025L$도 전체 체적을 4개로 나눈 뒤 다시 단면적 10배 관계를 반대로 적용한 오답이다. 올바르게는 힘은 $0.1F$, 이동거리는 $2.5L$이다.
2번 X: 힘 $10F$가 틀린 이유는 1번과 같고, 이동거리 $0.1L$는 체적이 4개 분기로 나뉜다는 점을 무시한 값이다. 올바르게는 힘은 $0.1F$, 이동거리는 $2.5L$이다.
3번 O: 압력 전달로 각 B에 작용하는 힘은 $0.1F$이고, 체적 보존으로 각 B의 이동거리는 $2.5L$가 된다.
4번 X: 힘 $0.1F$는 맞지만 이동거리 $10L$는 A와 B의 단면적비 10배만 보고 분기 수 4개를 반영하지 않은 값이다. 올바르게는 이동거리는 $2.5L$이다.

오답 포인트

큰 피스톤에서 작은 피스톤으로 힘이 전달되면 힘이 커질 것이라고 착각하거나, 이동거리 계산에서 4개 분기로 체적이 나뉜다는 조건을 빠뜨리면 오답이 된다. 이 문제의 함정은 압력 전달과 체적 보존을 따로 보지 않고 한쪽만 적용하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

유압 계산형 문제는 먼저 압력식으로 각 피스톤의 힘을 구하고, 다음에 비압축성 조건으로 전체 체적이 어떻게 분배되는지를 계산한다. 단면적비와 분기 개수를 함께 넣어 검산하면 정답을 안정적으로 고를 수 있다.

암기 포인트

유압계는 압력은 같고, 힘은 단면적에 비례하며, 이동거리는 체적 보존으로 결정된다.

NoteBase

문 16. 열교환기 장치에서 $2.5kgs^{-1}$의 질량유량으로 유입되는 $90^{\circ}C$의 뜨거운 공기를 사용하여 $1.5kgs^{-1}$로 흐르는 $20^{\circ}C$의 냉수를 가열한다. 이 열교환기의 최대 가능 열전달률[kW]은? (단, 공기의 비열은 $1.0kJkg^{-1}K^{-1}$이고, 냉수의 비열은 $4.2kJkg^{-1}K^{-1}$이다. 모든 비열은 일정하며, 열교환기는 정상상태 운전조건이며, 잘 단열되어 있고, 내부 도관 열저항은 무시한다)

① 105

② 175

③ 441

④ 735

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 열교환기의 최대 가능 열전달률을 $Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 뜨거운 공기 유량 $2.5kg/s$, 공기 비열 $1.0kJ/(kg \cdot K)$, 공기 입구온도 $90^{\circ}C$, 냉수 유량 $1.5kg/s$, 냉수 비열 $4.2kJ/(kg \cdot K)$, 냉수 입구온도 $20^{\circ}C$이다.
구해야 할 값은 최대 가능 열전달률이다.
주의할 조건은 정상상태, 단열, 내부 도관 열저항 무시이므로 최대 열전달률은 두 유체의 열용량률 중 작은 값에 입구 온도차를 곱해 구한다는 점이다.

사용할 공식

사용할 공식은 $Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})$이다.
여기서 각 유체의 열용량률은 $C = \dot{m}c_p$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 열교환기의 이론적 최대 열전달은 열용량률이 더 작은 유체가 입구 온도차 전체를 담당할 때 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 공기 측 열용량률은 $C_h = 2.5 \times 1.0 = 2.5kW/K$이다.
2. 냉수 측 열용량률은 $C_c = 1.5 \times 4.2 = 6.3kW/K$이다.
3. 따라서 $C_{min} = 2.5kW/K$이다.
4. 입구 온도차는 $90 - 20 = 70K$이다.
5. 최대 가능 열전달률은
$Q_{max} = C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in}) = 2.5 \times 70 = 175kW$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 105는 1.5×70처럼 냉수 유량만 쓰고 비열 $4.2kJ/(kg \cdot K)$를 빠뜨린 값이다. 최대 열전달률은 유량만이 아니라 열용량률 $\dot{m}c_p$로 계산해야 하므로 틀리다. 틀린 표현은 유량만으로 열전달률을 정한다는 점이고, 올바르게는 더 작은 열용량률 $2.5kW/K$에 온도차 $70K$를 곱해야 한다.
② O: $C_{min} = 2.5kW/K$, $\Delta T_{in} = 70K$이므로 $Q_{max} = 175kW$가 된다. 최대 가능 열전달률 정의에 정확히 맞는 계산이다.
③ X: 441은 6.3×70으로 큰 열용량률인 냉수 측 C_c를 사용한 값이다. 최대 가능 열전달률은 C_{max}가 아니라 C_{min}으로 계산해야 하므로 틀리다. 틀린 표현은 큰 쪽 열용량률을 써도 된다는 점이고, 올바르게는 작은 쪽 열용량률을 사용한다.
④ X: 735는 공기 유량 $2.5kg/s$에 냉수 비열 $4.2kJ/(kg \cdot K)$를 임의로 곱한 값으로 볼 수 있다. 서로 다른 유체의 유량과 비열을 섞어 계산하면 물리적 의미가 없다. 올바르게는 같은 유체의 유량과 비열을 곱해 열용량률을 만든 뒤, 그중 작은 값을 사용한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 비열이 큰 냉수 쪽이 더 많은 열을 받을 수 있으니 그쪽 값을 써야 한다고 착각하는 데 있다. 최대 가능 열전달률은 항상 작은 열용량률 C_{min}이 제한한다는 점을 놓치면 ③처럼 계산하기 쉽고, 유량과 비열을 섞으면 ④ 같은 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

열교환기 최대 열전달 문제는 먼저 각 유체에 대해 $\dot{m}c_p$를 계산해 C_{min}을 찾고, 그다음 입구 온도차를 곱하는 순서로 판단한다. 한 유체의 유량과 다른 유체의 비열을 섞지 않는지까지 함께 점검하면 된다.

암기 포인트

열교환기 최대 열전달률은 작은 열용량률이 지배하므로 $Q_{max} = C_{min}\Delta T_{in}$이다.

NoteBase

문 17. 고정된 수평 평면 위를 기름이 $u = Ay + By^2$(이 때, $A = 30\text{s}^{-1}$, $B = -120\text{m}^{-1}\text{s}^{-1}$)의 속도분포를 갖고 평면에 평행하게 흐를 때, 평면에 작용하는 전단응력[kgfm^{-2}]의 절댓값은? (단, 기름은 비압축성 뉴튼유체이며, 점도는 $0.070\text{Pa}\cdot\text{s}$이고, y는 평면으로부터의 수직거리[m]이다)

① 0.070

② 0.21

③ 2.1

④ 30

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 뉴턴유체의 벽면 전단응력 $\tau_w = \mu\frac{du}{dy}\Big|_{y=0}$을 구한 뒤 Pa를 kgf/m^2로 변환하는 문제이다.

조건 정리

주어진 속도분포는 $u = Ay + By^2$이다.
주어진 값은 $A = 30s^{-1}$, $B = -120m^{-1}s^{-1}$, $\mu = 0.070\text{Pa}\cdot\text{s}$이다.
구해야 할 값은 평면에 작용하는 전단응력의 절댓값 $|\tau_w|$이며, 최종 단위는 kgf/m^2이다.
벽면은 $y = 0$이므로 속도기울기는 $y = 0$에서 계산한다.

사용할 공식

뉴턴유체의 전단응력은 $\tau = \mu\frac{du}{dy}$이다.
이 문제는 점성이 주어진 뉴턴유체가 평면에 평행하게 흐를 때의 벽면 전단응력을 묻고 있으므로 속도분포를 미분한 뒤 벽면 $y = 0$에서의 값을 대입하면 된다.

계산 과정

속도분포를 미분하면 $\frac{du}{dy} = A + 2By$이다.
벽면 $y = 0$에서 $\frac{du}{dy}\Big|_{y=0} = A = 30s^{-1}$이다.
따라서 $\tau_w = \mu\frac{du}{dy}\Big|_{y=0} = 0.070 \times 30 = 2.1\text{Pa}$이다.
또한 $1\text{kgf} = 9.80665\text{N}$이므로 $2.1\text{Pa} = 2.1\text{N/m}^2 \approx \frac{2.1}{9.80665} = 0.214\text{kgf/m}^2$이다.
따라서 전단응력의 절댓값은 약 0.21kgf/m^2이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 0.070은 점도 μ의 수치일 뿐 전단응력이 아니다. 올바른 값은 0.21kgf/m^{2}이다.
② O. 벽면에서의 속도기울기 $30s^{-1}$에 점도 0.070Pa · s를 곱하면 2.1Pa이고, 이를 kgf/m^{2}로 바꾸면 약 0.21이 된다.
③ X. 2.1은 단위 변환 전의 전단응력으로 Pa 또는 N/m^2 기준 값이다. 문제의 요구 단위는 kgf/m^{2}이므로 올바르게는 0.21kgf/m^{2}이다.
④ X. 30은 벽면에서의 속도기울기 $\frac{du}{dy}\Big|_{y=0}$ 값이다. 여기에 점도를 곱하고 단위를 변환해야 전단응력이 되므로 올바르게는 0.21kgf/m^{2}이다.

오답 포인트

③은 Pa 값을 그대로 고른 경우이고, ④는 속도기울기를 전단응력으로 착각한 경우이다. 이 문제의 함정은 벽면에서 미분값을 구하는 단계와 Pa → kgf/m^2 단위 변환 단계를 분리해서 보지 못하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

벽면 전단응력 문제는 먼저 속도분포를 미분하고, 그다음 벽면 좌표를 대입해 $\frac{du}{dy}$를 구한 뒤, 점도 μ를 곱해서 전단응력을 계산하고 마지막에 요구 단위로 변환하면 된다.

암기 포인트

벽면 전단응력은 $\tau_w = \mu\frac{du}{dy}\Big|_{\text{wall}}$이고, 1kgf = 9.80665N이므로 Pa와 kgf/m^{2}를 구분해야 한다.

NoteBase

문 18. 어떤 구형의 물체(지름 2cm, 질량 4g)를 밀도 1.1gcm^{-3}인 액체 속에 놓았다. 스토크스(Stokes) 영역에서 물체의 종말 속도(terminal velocity)는 1cms^{-1}로 측정되었다. 이 물체의 운동 방향과 점도비를 바르게 연결한 것은? (단, 점도비는 '액체의 점도'를 '물의 점도'로 나누어 구하며, 물의 점도는 $0.001\text{Pa}\cdot\text{s}$이다. 중력 가속도의 크기는 10ms^{-2}, 원주율(π)은 3으로 근사한다)

① 운동 방향: 떠오름, 점도비: 1,000 이상

② 운동 방향: 떠오름, 점도비: 1,000 미만

③ 운동 방향: 가라앉음, 점도비: 1,000 이상

④ 운동 방향: 가라앉음, 점도비: 1,000 미만

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 구형 입자의 밀도와 스토크스 종말 속도식을 이용해 운동 방향과 점도비를 함께 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 지름 $2cm$, 질량 $4g$, 액체 밀도 $1.1g/cm^3$, 종말 속도 $1cm/s$, 물의 점도 $0.001Pa\cdot s$이다.
구해야 할 값: 물체의 운동 방향과 액체의 점도비이다.
주의할 조건: 구의 부피는 $V=\frac{4}{3}\pi r^3$이고, $\pi\approx 3$이므로 반지름 $1cm$일 때 부피는 $4cm^3$이다. 속도는 $0.01m/s$, 밀도차는 $0.1g/cm^3=100kg/m^3$로 바꾸어 계산한다.

사용할 공식

구의 종말 속도 크기는 $v_t=\frac{|\rho_p-\rho_f|gd^2}{18\mu}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 스토크스 영역의 구형 물체라고 주어졌으므로 점성저항과 부력, 중력의 차가 평형을 이루는 종말 속도식을 그대로 적용할 수 있다.

계산 과정

1. 물체의 밀도는 질량/부피이므로 $\rho_p=4g/4cm^3=1.0g/cm^3$이다.
2. 액체 밀도 $1.1g/cm^3$가 물체 밀도보다 크므로 물체는 가라앉지 않고 떠오른다.
3. 점도는 $\mu=\frac{|\rho_p-\rho_f|gd^2}{18v_t}=\frac{100\times 10\times(0.02)^2}{18\times 0.01}\approx 2.22Pa\cdot s$이다.
4. 점도비는 $2.22/0.001\approx 2222$이므로 1,000 이상이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 물체 밀도 $1.0 g/cm^3$가 액체 밀도 $1.1 g/cm^3$보다 작으므로 운동 방향은 떠오름이다. 계산한 점도비도 약 2222이므로 1,000 이상이 맞다.
② X: "1,000 미만"이 틀린 표현이다. 올바르게는 점도비가 약 2222이므로 "1,000 이상"이어야 한다.
③ X: "가라앉음"이 틀린 표현이다. 올바르게는 물체 밀도가 더 작으므로 "떠오름"이어야 한다. 점도비 1,000 이상 판단 자체는 맞지만 운동 방향이 틀려 오답이다.
④ X: "가라앉음"과 "1,000 미만"이 모두 틀린 표현이다. 올바르게는 "떠오름, 1,000 이상"이다.

오답 포인트

구의 부피를 계산하지 않고 질량만 보고 무겁다고 판단하면 운동 방향을 거꾸로 잡기 쉽다. 또 $1 cm/s$를 그대로 넣거나 $0.1 g/cm^3$를 $100 kg/m^3$로 바꾸지 않으면 점도비 크기가 크게 어긋난다.

다시 나오면 이렇게 판단

구형 입자 종말 속도 문제는 먼저 질량과 부피로 입자 밀도를 구해 떠오름/가라앉음을 정한 뒤, 스토크스 식에 밀도차의 크기와 SI 단위를 넣어 점도 또는 점도비를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

액체가 더 조밀하면 입자는 떠오르고, 스토크스 종말 속도는 밀도차와 지름의 제곱에 비례하며 점도에 반비례한다.

NoteBase

문 19. 내경 $2.00\mathrm{cm}$인 수평의 원형관에 $0^\circ\mathrm{C}$의 ethylene glycol을 $14.4\mathrm{L\,min^{-1}}$의 유량으로 $30.0\mathrm{m}$ 수송할 때의 압력손실$[\mathrm{N\,m^{-2}}]$은? (단, ethylene glycol의 밀도는 $0^\circ\mathrm{C}$에서 $1.12\mathrm{g\,cm^{-3}}$, 점도는 $0.500\mathrm{g\,cm^{-1}\,s^{-1}}$이며, 비압축성 뉴튼유체 및 정상상태 완전발달 흐름으로 가정하고, 원주율 π은 3으로 근사한다)

① 6.00×10^3

② 9.60×10^3

③ 6.00×10^4

④ 9.60×10^4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 원형관 내 정상상태 완전발달 층류에서 Darcy-Weisbach 식과 Re 계산을 이용해 압력손실을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내경 $D = 2.00cm = 0.0200m$, 유량 $Q = 14.4L/min = 2.40 \times 10^{-4} m^3/s$, 관 길이 $L = 30.0m$, 밀도 $\rho = 1.12g/cm^3 = 1120kg/m^3$, 점도 $\mu = 0.500g/(cm \cdot s) = 0.0500Pa \cdot s$이다.
구해야 할 값은 압력손실 ΔP이다.
수평관이므로 위치에너지 변화는 없고, 비압축성 뉴턴유체 및 정상상태 완전발달 흐름이므로 마찰손실만 계산하면 된다.

사용할 공식

사용 공식은 $\Delta P = f\frac{L}{D}\frac{\rho V^2}{2}$ 이고, 층류이므로 $f = \frac{64}{Re}$, $\quad Re = \frac{\rho VD}{\mu}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 원형관 내부의 완전발달 흐름을 주었고, 먼저 Re로 층류 여부를 판정한 뒤 관마찰에 의한 압력손실을 구해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 단면적은 원주율 $\pi \approx 3$을 써서 $A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{3 \times (0.0200)^2}{4} = 3.00 \times 10^{-4} m^2$ 이다.
2. 평균속도는 $V = \frac{Q}{A} = \frac{2.40 \times 10^{-4}}{3.00 \times 10^{-4}} = 0.80 m/s$ 이다.
3. Reynolds 수는 $Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{1120 \times 0.80 \times 0.0200}{0.0500} = 358.4$ 이므로 층류이다.
4. 따라서 마찰계수는 $f = \frac{64}{358.4} = 0.1786$ 이다.
5. 압력손실은 $\Delta P = 0.1786 \times \frac{30.0}{0.0200} \times \frac{1120 \times (0.80)^2}{2} = 9.60 \times 10^4 N/m^2$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계산 결과는 $6.00 \times 10^3 N/m^2$가 아니라 $9.60 \times 10^4 N/m^2$이다. 이 값은 실제 압력손실보다 지나치게 작다. 올바른 진술은 "압력손실은 $9.60 \times 10^4 N/m^2$이다."이다.

② X
$9.60 \times 10^3 N/m^2$는 정답보다 10배 작다. 관 길이 $30.0m$를 $3.0m$처럼 잘못 보거나 단위 환산에서 10배를 놓치면 이런 오답이 나온다. 올바른 진술은 "압력손실은 $9.60 \times 10^4 N/m^2$이다."이다.

③ X
$6.00 \times 10^4 N/m^2$도 계산값과 다르다. 속도 계산이나 층류 마찰계수 $f = 64/Re$ 적용을 중간에 잘못 줄이면 이처럼 작은 값이 나온다. 올바른 진술은 "압력손실은 $9.60 \times 10^4 N/m^2$이다."이다.

④ O
층류 판정 뒤 Darcy-Weisbach 식에 대입하면 $\Delta P = 9.60 \times 10^4 N/m^2$가 된다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 단위 변환과 층류 판정이다. $L/min \rightarrow m^3/s$, $cm \rightarrow m$, $g/cm^3 \rightarrow kg/m^3$, $g/(cm \cdot s) \rightarrow Pa \cdot s$를 먼저 정리하지 않으면 값이 크게 틀어진다. 또 $Re < 2100$인데도 난류식이나 잘못된 마찰계수를 쓰면 오답으로 흐른다.

다시 나오면 이렇게 판단

관내 압력손실 문제는 먼저 모든 단위를 SI로 통일하고, $A \rightarrow V \rightarrow Re \rightarrow f \rightarrow \Delta P$ 순서로 계산하면 된다. Re가 2100보다 작으면 층류이므로 $f = 64/Re$를 바로 적용한다.

암기 포인트

원형관 층류 압력손실은 "단위 통일 후 Re 판정, 층류이면 $f = 64/Re$, 그다음 Darcy-Weisbach" 순서로 정리된다.

NoteBase

문 20. 내경이 일정한 원형도관의 마찰계수(friction factor)에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 마찰계수는 레이놀즈 수Re에 비례한다.

② 난류에서의 마찰계수는 상대 거칠기가 증가함에 따라 감소한다.

③ 층류에서의 마찰계수는 상대 거칠기에 영향을 받지 않는다.

④ 원형도관 내벽이 매끈하다면, $Re > 10^5$인 난류보다 $Re < 10^3$인 층류에서의 마찰계수가 작다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 원형도관 마찰계수가 층류와 난류에서 각각 레이놀즈 수와 상대 거칠기에 어떻게 의존하는지를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

층류의 마찰계수는 점성 지배 유동이라 $f = 64/Re$로 나타나며 상대 거칠기의 영향을 받지 않는다.
난류의 마찰계수는 관성 효과와 벽면 조도의 영향이 함께 작용하므로 Re와 상대 거칠기에 따라 달라지며, 조도가 커질수록 일반적으로 커진다.

선지별 해설

1번: X. 층류 구간의 마찰계수는 레이놀즈 수에 비례하는 것이 아니라 $f = 64/Re$처럼 레이놀즈 수에 반비례한다. 틀린 표현은 "비례한다"이고, 올바르게는 "반비례한다"이다.
2번: X. 난류에서 상대 거칠기가 증가하면 벽면 마찰 저항이 커지므로 마찰계수는 감소하지 않고 증가하는 방향으로 변한다. 틀린 표현은 "감소한다"이고, 올바르게는 "증가한다"이다.
3번: O. 층류에서는 속도분포와 압력손실이 점성에 의해 정해지므로 마찰계수는 상대 거칠기의 영향을 받지 않고 레이놀즈 수로만 결정된다.
4번: X. 매끈한 원형도관이라면 $Re < 10^3$인 층류의 마찰계수는 $f = 64/Re$로 커지고, $Re > 10^5$인 난류의 마찰계수는 그보다 작아질 수 있다. 틀린 표현은 "층류에서의 마찰계수가 작다"이고, 올바르게는 "같은 매끈한 관에서는 이 조건의 층류 마찰계수가 난류보다 더 크다"이다.

오답 포인트

층류와 난류를 모두 "레이놀즈 수가 커지면 마찰계수가 작아진다"는 한 문장으로만 외우면 2번과 3번을 함께 틀리기 쉽다. 이 문항의 함정은 난류에서는 상대 거칠기가 추가 변수라는 점, 층류에서는 거칠기 영향이 사라진다는 점을 뒤섞는 데 있다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 층류인지 난류인지 구분한 뒤, 층류이면 $f = 64/Re$만 떠올리고 거칠기는 배제한다. 난류이면 상대 거칠기가 커질수록 마찰계수가 커진다는 방향성을 먼저 확인한다.

암기 포인트

층류는 $64/Re$, 난류는 거칠기 영향이 살아 있다.

NoteBase

문 21. 박막적층을 위한 반응물 A와 B가 확산하여 표면반응을 통해 생성물 C는 증착되고 생성물 D는 확산된다. 확산 영역에서는 어떠한 반응과 대류도 없다. 반응은 오직 성장하는 박막 표면에서만 일어난다. A에 대한 혼합물에서의 유효 확산계수는 D_{AM}으로 정의하며, A의 몰분율은 y_A, 혼합물에서의 총 몰농도는 c로 나타낸다. 박막이 성장하는 두께 방향을 z축으로 설정할 때, 기체 A의 z방향 몰 플럭스(N_A)는?

$$A(g) + B(g) \rightarrow C(s) + D(g)$$

① $N_A = -cD_{AM}\frac{\partial y_A}{\partial z}$
② $N_A = -\frac{cD_{AM}}{1+y_A}\frac{\partial y_A}{\partial z}$
③ $N_A = -\frac{cD_{AM}}{1-2y_A}\frac{\partial y_A}{\partial z}$
④ $N_A = -\frac{cD_{AM}}{1-y_A}\frac{\partial y_A}{\partial z}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비등몰 확산에서 $N_A = -cD_{AM}\frac{dy_A}{dz} + y_A N_T$를 적용하고, 표면반응의 화학양론으로 총 몰플럭스 N_T를 연결하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건:
- 반응은 성장하는 박막 표면에서만 일어난다.
- 기상 확산영역에서는 반응이 없고, A의 유효 확산계수는 D_{AM}이다.
- 총 몰농도는 c, A의 몰분율은 y_A이다.
- 반응식은 $A(g) + B(g) \rightarrow C(s) + D(g)$ 이다.

구해야 할 값:
- 기체 A의 z방향 몰플럭스 N_A

주의할 조건:
- $N_T = 0$인 등몰 역확산으로 보면 안 된다.
- 기체 2몰이 들어와 기체 1몰이 나가므로 표면반응 때문에 순몰플럭스가 생긴다.

NoteBase

사용할 공식

A의 일반적인 몰플럭스 식은 $N_A = -cD_{AM}\frac{dy_A}{dz} + y_A N_T$ 이다.
또한 총 몰플럭스는 $N_T = N_A + N_B + N_D$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유:
- 확산영역에는 반응이 없으므로 각 성분의 몰플럭스는 막 내부에서 일정하다.
- 박막 성장 방향을 $+z$로 두면 A와 B는 표면으로 이동하므로 음의 플럭스, D는 기상으로 빠져나가므로 양의 플럭스가 된다.
- 계면 반응 속도를 r라 두면 $N_A = -r, N_B = -r, N_D = +r$ 이므로 $N_T = -r = N_A$ 가 된다.

계산 과정

1. A에 대한 일반식은 $N_A = -cD_{AM}\frac{dy_A}{dz} + y_A N_T$ 이다.
2. 표면반응의 화학양론으로부터 $N_T = N_A + N_B + N_D = N_A$ 이다.
3. 이를 대입하면 $N_A = -cD_{AM}\frac{dy_A}{dz} + y_A N_A$ 이고, 정리하면 $N_A(1 - y_A) = -cD_{AM}\frac{dy_A}{dz}$ 이다.
4. 따라서 $N_A = -\frac{cD_{AM}}{1 - y_A}\frac{dy_A}{dz}$ 이다.

선지별 해설

① X
- $N_A = -cD_{AM}\frac{dy_A}{dz}$ 는 $N_T = 0$인 등몰 역확산 식이다.
- 이 문제에서는 표면반응 때문에 $N_T = N_A$ 이므로 대류항 $y_A N_T$를 빼면 안 된다.
- 틀린 표현은 분모가 없는 점이다. 올바르게는 $N_A = -\frac{cD_{AM}}{1 - y_A}\frac{dy_A}{dz}$ 이다.

② X
- 분모가 $1 + y_A$ 가 되려면 $y_A N_A$ 항을 이항하는 과정에서 부호를 잘못 처리한 셈이 된다.
- 실제로는 $N_A - y_A N_A = N_A(1 - y_A)$ 로 정리되므로 플러스가 아니라 마이너스가 들어간다.
- 틀린 표현은 $1 + y_A$ 이다. 올바르게는 $1 - y_A$ 이다.

③ X
- 분모가 $1 - 2y_A$ 가 되려면 $N_T = 2N_A$ 같은 관계가 필요하다.
- 그러나 반응식 $A + B \rightarrow C + D$ 에서 기체 성분 기준 총 몰플럭스는 $N_A + N_B + N_D = -r - r + r = -r = N_A$ 이다.
- 틀린 표현은 $1 - 2y_A$ 이다. 올바르게는 $1 - y_A$ 이다.

④ O
- 일반식 $N_A = -cD_{AM}\frac{dy_A}{dz} + y_A N_T$ 에 $N_T = N_A$ 를 대입하면 바로 $N_A = -\frac{cD_{AM}}{1 - y_A}\frac{dy_A}{dz}$ 가 된다.
- 표면반응으로 생긴 순몰플럭스를 반영한 Stefan 보정항이 포함되어 있으므로 맞는 식이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 이 문항을 등몰 역확산으로 오해하여 $N_T = 0$으로 두는 점이다. 반응식에서 기체 2몰이 들어와 기체 1몰이 나가므로 총 기체 몰수 변화가 생기고, 그 결과 분모 $1 - y_A$ 가 반드시 남는다. ②는 이항 부호 실수, ③은 총 몰플럭스를 임의로 두 배로 본 실수를 노린 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

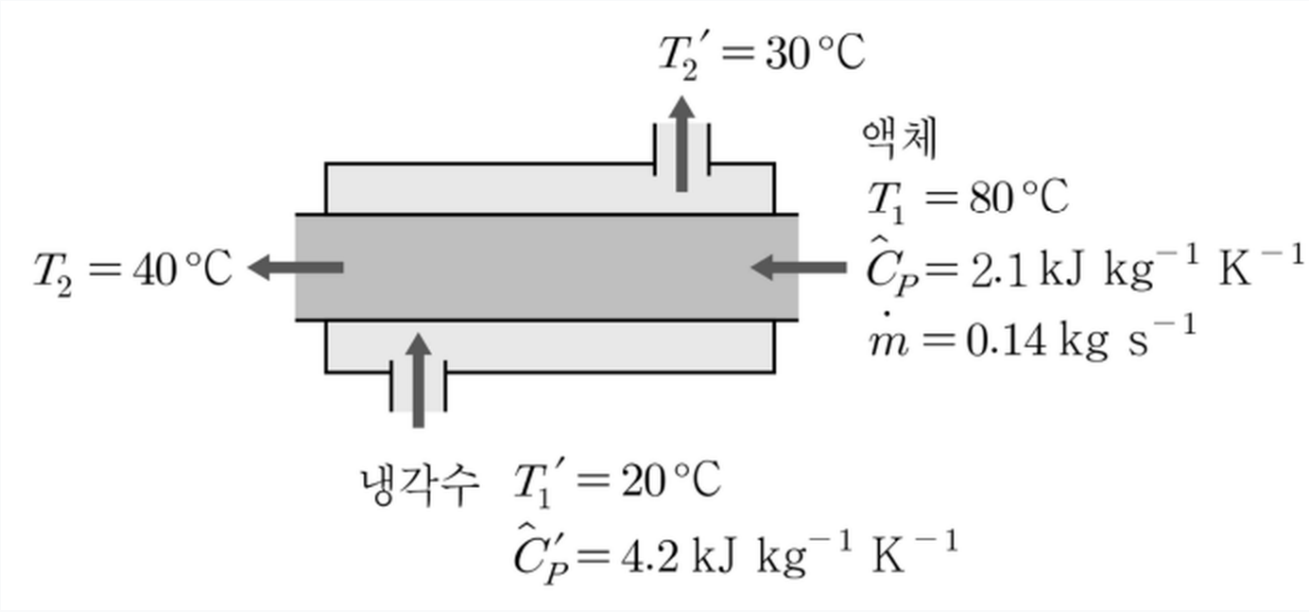
반응-확산 막 문제는 먼저 일반식 $N_i = -cD_{iM}\frac{dy_i}{dz} + y_i N_T$ 를 적고, 다음으로 계면 반응식에서 N_T를 화학양론으로 구한 뒤 대입하여 정리하는 순서로 판단한다. 등몰 역확산인지, Stefan 유동이 있는지부터 구분하면 선지가 바로 갈린다.

암기 포인트

비등몰 확산에서는 $N_T \neq 0$ 이고, A가 자신의 총 몰플럭스를 끌고 가면 $N_A = -\frac{cD_{AM}}{1 - y_A}\frac{dy_A}{dz}$ 꼴이 된다.

NoteBase

문 22. 정상상태로 작동하는 이중관식 열교환기에 평균온도 80°C, 비열($\hat{C}_P$) 2.1kJkg^{-1}K^{-1}의 액체를 평균질량유량($\dot{m}$) 0.14kgs^{-1}로 내관에 흘려 보내 평균온도 40°C까지 냉각시키고자 한다. 열교환기의 외측에 평균온도 20°C의 냉각수를 흘려보낼 때, 냉각수의 평균출구온도가 30°C가 되기 위한 냉각수의 평균질량유량 [kgs^{-1}]은? (단, 열손실은 없으며, 냉각수의 비열($\hat{C}'_P$)은 4.2kJkg^{-1}K^{-1}이다. 모든 비열은 일정하다. 모든 액체는 비압축성이고, 압력 강하는 무시할 정도로 작다고 가정한다. 또한 운동에너지와 위치 에너지의 변화는 무시한다.)



① 0.18

② 0.28

③ 0.38

④ 0.48

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 이중관식 열교환기에서 열수지식 $\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T$를 적용해 냉각수의 평균질량유량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 액체의 평균질량유량 $0.14kg/s$, 액체 비열 $2.1kJ/(kg \cdot K)$, 액체 온도변화 $80\,^\circ C \rightarrow 40\,^\circ C$, 냉각수 비열 $4.2kJ/(kg \cdot K)$, 냉각수 온도변화 $20\,^\circ C \rightarrow 30\,^\circ C$이다.
구해야 할 값은 냉각수의 평균질량유량이다.
열손실이 없으므로 고온 유체가 잃는 열량과 냉각수가 얻는 열량은 같다.

NoteBase

사용할 공식

사용할 공식은
$\dot{Q} = \dot{m} C_p \Delta T$
이다.
정상상태이고 열손실이 없으므로 내관 액체의 방출열과 외측 냉각수의 흡수열을 같은 식으로 연결할 수 있다.

계산 과정

1. 고온 액체가 잃는 열량률은
$\dot{Q}_h = 0.14 \times 2.1 \times (80 - 40) = 11.76 kJ/s$
이다.
2. 냉각수가 얻는 열량률은
$\dot{Q}_c = \dot{m}_c \times 4.2 \times (30 - 20)$
이다.
3. 열수지 $\dot{Q}_h = \dot{Q}_c$를 적용하면
$11.76 = \dot{m}_c \times 4.2 \times 10$
$\dot{m}_c = \frac{11.76}{42} = 0.28 kg/s$
이다.

선지별 해설

① X: $0.18 kg/s$이면 냉각수가 흡수하는 열량률은 $0.18 \times 4.2 \times 10 = 7.56 kJ/s$로 필요한 $11.76 kJ/s$보다 작다. 틀린 수치는 $0.18 kg/s$이고, 올바른 진술은 냉각수 평균질량유량이 $0.28 kg/s$라는 것이다.
② O: $0.28 kg/s$이면 냉각수가 흡수하는 열량률이 $0.28 \times 4.2 \times 10 = 11.76 kJ/s$가 되어 고온 액체의 방출열과 정확히 일치한다.
③ X: $0.38 kg/s$이면 냉각수가 흡수하는 열량률은 $0.38 \times 4.2 \times 10 = 15.96 kJ/s$로 필요한 열량보다 크다. 틀린 수치는 $0.38 kg/s$이고, 올바른 진술은 냉각수 평균질량유량이 $0.28 kg/s$라는 것이다.
④ X: $0.48 kg/s$이면 냉각수가 흡수하는 열량률은 $0.48 \times 4.2 \times 10 = 20.16 kJ/s$로 필요한 열량보다 훨씬 크다. 틀린 수치는 $0.48 kg/s$이고, 올바른 진술은 냉각수 평균질량유량이 $0.28 kg/s$라는 것이다.

오답 포인트

고온 유체와 냉각수의 온도차를 서로 바꿔 넣거나, 한쪽 유체의 열량률만 계산하고 반대쪽과 같게 두지 않으면 오답이 된다. 이 문제의 함정은 열교환기 문제를 대수평균온도차 문제로 오인하는 데 있지 않고, 기본 열수지를 끝까지 맞추는지에 있다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

열교환기 계산형 문제는 먼저 어느 쪽 유량이 주어졌는지 확인하고, 그쪽에서 $\dot{Q} = \dot{m}C_p\Delta T$로 열량률을 구한 뒤, 반대쪽에 같은 열량률을 대입해 미지 유량을 푼다고 판단한다.

암기 포인트

열손실이 없으면 열교환기에서 고온측 방출열량률과 저온측 흡수열량률은 같고, 핵심식은 $\dot{m}C_p\Delta T$이다.

NoteBase

문 23. 등방성 매체이고 대류와 복사가 없는 좌표공간 (x, y, z)에서 온도 T가 $\frac{T}{T_0} = x^2 + y^2 + xyz^2$의 함수로 주어진다고 한다. 지점 $(1, 2, 3)$에서의 열 플럭스(heat flux)와 방향이 일치하는 위치 벡터는? (단, T_0는 0이 아닌 기준온도[K]이며, 해당 공간은 $0 < x < 10$, $0 < y < 10$, $0 < z < 10$으로 한정한다)

① (-20, 13, -6)

② (-20, 13, -12)

③ (-20, -13, -6)

④ (-20, -13, -12)

정답 4번

출제 포인트

정상상태 전도에서 열 플럭스는 $\mathbf{q} = -k\nabla T$이므로, 주어진 온도장의 기울기를 좌표별로 미분해 부호를 반대로 바꾸는지가 핵심이다.

조건 정리

주어진 온도장은 $T = T_0(x^2 + y^2 + xyz^2)$이다.
구해야 할 값은 점 $(1, 2, 3)$에서의 열 플럭스와 방향이 일치하는 벡터이다.
대류와 복사가 없으므로 전도만 고려하고, 전도계수 k와 기준온도 T_0는 방향을 바꾸지 않으므로 결국 $-\nabla T$의 방향만 정확히 구하면 된다.

사용할 공식

푸리에 법칙은 $\mathbf{q} = -k\nabla T$이다.
또한
$\nabla T = T_0\left(\frac{\partial}{\partial x}(x^2 + y^2 + xyz^2), \frac{\partial}{\partial y}(x^2 + y^2 + xyz^2), \frac{\partial}{\partial z}(x^2 + y^2 + xyz^2)\right)$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 열 플럭스의 크기가 아니라 방향 벡터를 묻고 있으므로, 온도장의 공간기울기만 구하면 바로 열이 흐르는 방향이 정해지기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 편미분하면
$\frac{\partial T}{\partial x} = T_0(2x + yz^2), \quad \frac{\partial T}{\partial y} = T_0(2y + xz^2), \quad \frac{\partial T}{\partial z} = T_0(2xyz)$
이다.
점 $(1, 2, 3)$을 대입하면
$\nabla T = T_0(2 \cdot 1 + 2 \cdot 3^2,\ 2 \cdot 2 + 1 \cdot 3^2,\ 2 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 3) = T_0(20, 13, 12)$
이다.
따라서 열 플럭스는
$\mathbf{q} = -k\nabla T = -kT_0(20, 13, 12)$
이므로 방향은 $(-20, -13, -12)$와 일치한다.

선지별 해설

① X: x성분은 -20으로 맞지만 y성분이 $+13$으로 되어 있어 열 플럭스의 부호와 반대이다. 또한 z성분도 -6으로 반만 적혀 틀리다. 올바르게는 $(-20, -13, -12)$이다.
② X: x성분과 z성분은 맞지만 y성분이 $+13$으로 되어 있다. 열 플럭스는 $-\nabla T$ 방향이므로 y성분도 음수여야 한다. 올바르게는 $(-20, -13, -12)$이다.
③ X: x성분과 y성분의 부호는 맞지만 z성분이 -6으로 잘못되었다. xyz^2를 z로 미분하면 $2xyz$가 되어 점 $(1, 2, 3)$에서 12가 나오므로, 올바르게는 -12이다.
④ O: $\nabla T = T_0(20, 13, 12)$이므로 열 플럭스는 그 반대방향인 $(-20, -13, -12)$와 일치한다. 편미분 결과와 부호가 모두 맞다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 두 가지이다.
첫째, 열 플럭스를 ∇T와 같은 방향으로 착각해 y성분 부호를 반대로 쓰는 실수이다.
둘째, xyz^2를 z로 미분할 때 $2z$를 빠뜨려 $2xyz$ 대신 xyz로 계산해 z성분을 12가 아니라 6으로 만드는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

온도장이 주어지고 열 플럭스 방향을 묻는 계산형 문제는 먼저 ∇T를 좌표별로 편미분한 뒤, 푸리에 법칙 때문에 최종 방향은 반드시 부호를 한 번 더 반대로 바꾼다고 판단한다. 그다음 각 성분에서 제곱항 미분과 계수 2의 누락이 없는지 점검하면 된다.

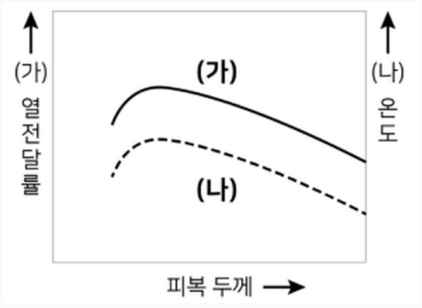
암기 포인트

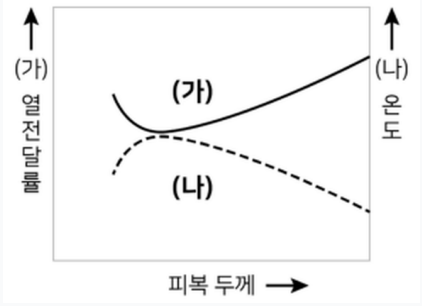
열은 고온에서 저온으로 흐르므로 방향은 항상 $-\nabla T$이고, z^2를 미분하면 계수 2가 살아남는다.

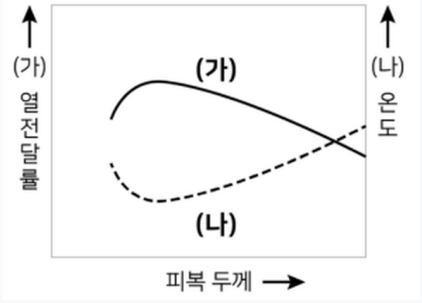
NoteBase

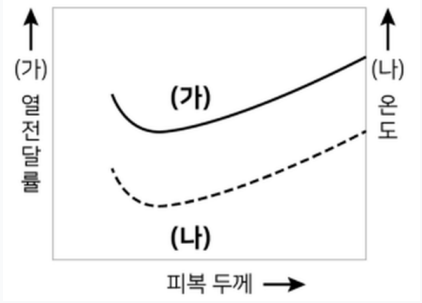
문 24. 원통형 전선이 일정한 두께의 플라스틱 피복으로 단단하게 싸여 있다. 원통형 좌표계(cylindrical coordinate system)를 사용하여 분석하였을 때, 피복의 두께와 (가), (나) 조건의 물리량과의 관계를 가장 적절하게 표현한 것은? (단, 전선과 피복 경계면의 온도는 외부 대기 온도보다 높다고 가정한다. 모든 물질은 등방성이며, 전선의 반지름은 일정한 양수의 값으로 고정되어 있다. 정상상태를 가정한다)

(가) 전선과 피복 경계면의 온도가 일정할 때, r 방향 열전달률
(나) r 방향 열전달률이 일정할 때, 전선과 피복 경계면의 온도

① 

② 

③ 

④ 

정답 3번

NoteBase

출제 포인트

원통 단열의 임계반경 $r_c = k/h$ 때문에 피복 두께가 증가할 때 전체 열저항이 처음에는 감소했다가 이후 증가한다는 점을 묻는 문제이다.

선지별 해설

① X

(가)는 전선-피복 경계면 온도를 일정하게 둘 때의 r방향 열전달률이다. 원통에서는 피복 두께가 임계반경까지 증가하면 외부 대류면적 증가 효과가 커서 열전달률이 증가하고, 그 이후에는 전도저항 증가가 커져 감소한다. ①의 (가)는 이 점에서는 맞지만, ①의 (나)는 두께가 증가할수록 계속 감소하는 그림이라서 틀리다. 열전달률이 일정하면 경계면 온도는 전체 열저항이 최소가 되는 지점까지 내려갔다가 다시 올라가야 한다. 틀린 표현은 '(나)가 계속 감소한다'이고, 올바르게는 '처음 감소했다가 임계반경 이후 증가한다'이다.

② X

②의 (가)는 처음 감소한 뒤 증가하는 U자형이다. 그러나 경계면 온도 고정일 때 열전달률은 U자형이 아니라 임계반경까지 증가한 뒤 감소하는 봉우리형이다. ②의 (나)도 계속 감소하는 형태이므로 맞지 않는다. 틀린 표현은 '(가)가 처음 감소 후 증가한다'이고, 올바르게는 '(가)는 처음 증가 후 감소한다'이다.

③ O

(가)는 $q = (T_i - T_\infty)/R_{tot}$ 이고, $R_{tot} = \ln(r_2/r_1)/(2\pi kL) + 1/(2\pi r_2 hL)$ 이다. 따라서 R_{tot}가 최소인 임계반경 $r_2 = k/h$ 까지는 열전달률이 증가하고 그 이후에는 감소한다. 또 (나)는 열전달률 q가 일정하면 $T_i - T_\infty = qR_{tot}$ 이므로 전체 열저항을 그대로 따라 처음 감소했다가 이후 증가한다. ③은 두 조건을 모두 맞게 그렸다.

④ X

④의 (나)는 처음 감소 후 증가하는 점에서 맞는 방향이다. 하지만 ④의 (가)는 U자형으로 그려져 있어 틀리다. 경계면 온도 고정일 때 열전달률은 임계반경 전까지 증가 후 감소해야 한다. 틀린 표현은 '(가)가 U자형이다'이고, 올바르게는 '(가)는 임계반경에서 최대가 되는 봉우리형이다'이다.

오답 포인트

평면벽의 직관인 '두께가 두꺼워질수록 항상 열전달이 줄어든다'를 원통에 그대로 적용하면 틀린다. 원통은 피복 바깥 반지름이 커지면서 외부 대류면적도 함께 증가하므로, 임계반경 전에는 단열재를 더 두껍게 해도 오히려 열전달률이 커질 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통 피복 문제는 먼저 임계반경 $r_c = k/h$를 떠올린다. 경계면 온도 고정이면 열전달률은 전체 열저항의 역수이므로 '증가 후 감소'이고, 열전달률 고정이면 경계면 온도는 전체 열저항을 따라 '감소 후 증가'로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

원통 단열은 임계반경 전에는 열을 더 잘 빼고, 임계반경 후에는 비로소 열을 막는다.

NoteBase

문 25. 질소 분자와 산소 분자의 이성분계 등몰 혼합물 중, 질소 분자가 고정좌표계에서 x축 방향으로 $1\mathrm{m}^2$의 면적을 초당 수직으로 통과하는 양이 28 kg이고, 산소 분자는 $-x$축 방향으로 $1\mathrm{m}^2$의 면적을 초당 수직으로 통과하는 양이 32 kg이다. 이 때 혼합물의 x방향 몰-평균 속도 $[\mathrm{ms}^{-1}]$는? (단, 질소 원자, 산소 원자의 원자량은 각각 14, 16이다)

① -4

② 0

③ 4

④ 30

정답 2번

출제 포인트

질량유속을 분자량으로 나누어 몰유속으로 바꾼 뒤 총 몰유속으로 몰-평균 속도를 판단하는 문제이다.

조건 정리

- 질소 분자의 질량유속: $+28kg/(m^2 \cdot s)$
- 산소 분자의 질량유속: $-32kg/(m^2 \cdot s)$
- 질소 분자의 분자량: $28kg/kmol$
- 산소 분자의 분자량: $32kg/kmol$
- 구해야 할 값: 혼합물의 x방향 몰-평균 속도

사용할 공식

종별 몰유속은 $N_i = \dot{m}_i/M_i$로 계산한다.
혼합물의 총 몰유속은 $N = \sum_i N_i$이다.
몰-평균 속도 $\bar{v}_n$는 $N = c\bar{v}_n$를 만족하므로, 총 몰유속이 0이면 몰-평균 속도도 0이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 주어진 값이 질량 기준 통과량이므로, 먼저 이를 몰 기준으로 바꾸어야 몰-평균 속도를 판단할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 질소 분자의 몰유속은 $N_{N_2} = 28/28 = 1kmol/(m^2 \cdot s)$이다.
2. 산소 분자의 몰유속은 $N_{O_2} = -32/32 = -1kmol/(m^2 \cdot s)$이다.
3. 총 몰유속은 $N = N_{N_2} + N_{O_2} = 1 + (-1) = 0$이다.
4. 따라서 $N = c\bar{v}_n = 0$이므로 혼합물의 x방향 몰-평균 속도는 0이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- -4는 질량유속을 그대로 더한 $28 - 32 = -4$에서 나온 값이다.
- 이는 총 질량유속에 해당하는 값이지 몰-평균 속도가 아니다.
- 틀린 표현은 질량 기준 차이를 몰-평균 속도로 본 점이다. 올바르게는 분자량으로 나누어 몰유속을 구하면 총 몰유속은 0이다.

② O
- 질소는 $+1 kmol/(m^2 \cdot s)$, 산소는 $-1 kmol/(m^2 \cdot s)$의 몰유속을 가진다.
- 두 몰유속의 합이 0이므로 몰-평균 속도도 0이다.

③ X
- 4는 질량 차이의 크기만 보거나 방향 부호를 잘못 처리할 때 떠올리기 쉬운 값이다.
- 몰-평균 속도는 질량 차이의 절댓값으로 구하지 않는다.
- 틀린 표현은 부호와 몰기준 변환을 무시한 점이다. 올바르게는 $+1$과 -1의 합이 0이 된다.

④ X
- 30은 (28 + 32)/2로 계산한 평균 분자량에 해당하는 수치이다.
- 평균 분자량은 속도가 아니므로 몰-평균 속도의 답이 될 수 없다.
- 틀린 표현은 평균 분자량과 평균 속도를 혼동한 점이다. 올바르게는 총 몰유속이 0이어서 속도도 0이다.

오답 포인트

질량유속이 주어졌다고 해서 그대로 더하면 몰-평균 속도가 나오지 않는다. 이 문항의 핵심 함정은 *kg* 단위를 그대로 계산하는 실수, 방향 부호를 빼먹는 실수, 평균 분자량 30을 속도로 오인하는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

질량 기준 통과량이 보이면 먼저 분자량으로 나누어 몰유속으로 바꾼다. 그다음 각 성분의 방향 부호를 반영해 총 몰유속을 더하고, 그 합이 0이면 몰-평균 속도도 0이라고 판단한다.

암기 포인트

몰-평균 속도는 반드시 몰유속의 합으로 판단한다. *kg*가 주어지면 먼저 *kmol*로 바꾸는 절차가 선행된다.

NoteBase