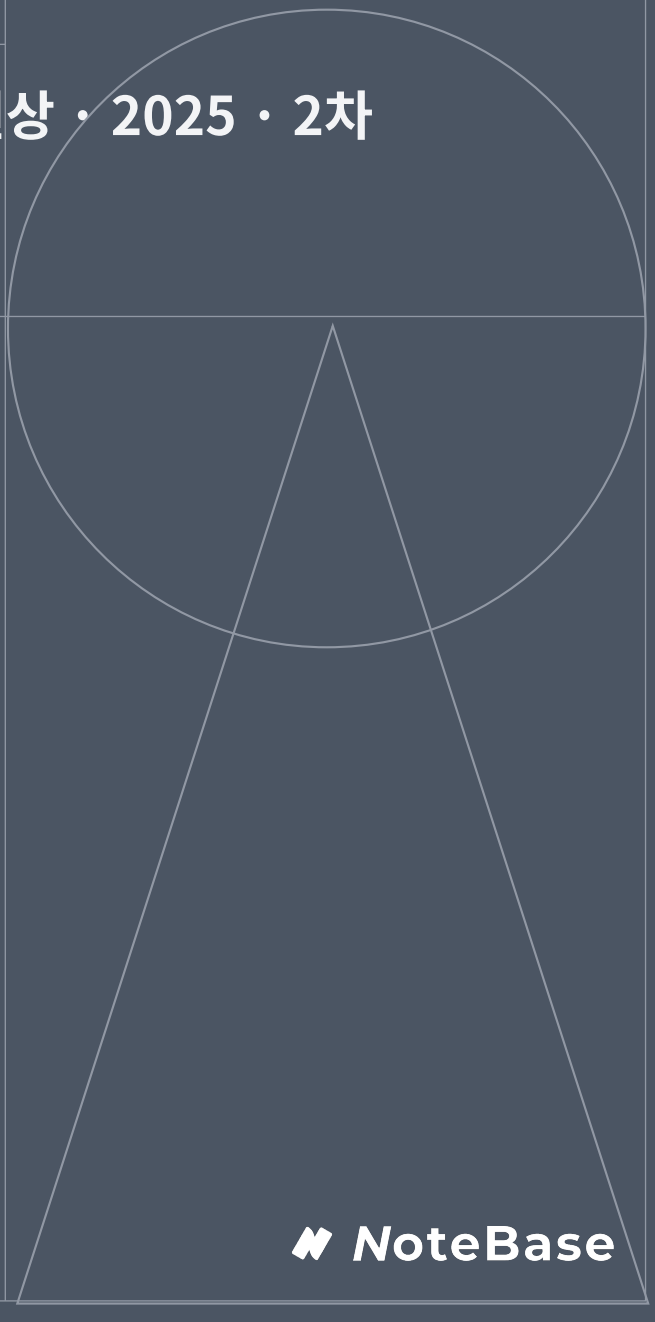
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2025 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2025 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2025 · 2차

문 1. 액체를 비활성 기체와 접촉시켜 액체로부터 휘발성 용질을 제거하는 분리조작 방법은?

① 탈거(stripping)

② 흡착(adsorption)

③ 여과(filtering)

④ 기체흡수(gas absorption)

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 탈거, 흡착, 여과, 기체흡수의 정의와 물질이 이동하는 상의 방향을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

탈거는 액체 속 휘발성 성분을 기체상으로 옮겨 제거하는 조작이다. 기체흡수는 기체 속 성분을 액체상으로 옮겨 제거하는 조작이다. 흡착은 고체 표면에 성분을 붙잡아 제거하는 조작이다. 여과는 유체 속 현탁 고체를 다공성 매질로 걸러내는 조작이다.

선지별 해설

① O: 비활성 기체를 액체와 접촉시켜 액체 속 휘발성 용질을 기체상으로 빼내는 조작이므로 탈거의 정의에 정확히 해당한다.
② X: 틀린 부분은 흡착이다. 흡착은 보통 고체 흡착제 표면에 성분이 붙어 제거되는 조작이며, 올바르게는 고체 표면을 이용한 제거 방법이다.
③ X: 틀린 부분은 여과이다. 여과는 액체나 기체 속의 고체 입자를 걸러내는 조작이며, 올바르게는 현탁 고체 분리에 쓰는 방법이다.
④ X: 틀린 부분은 기체흡수이다. 기체흡수는 기체 혼합물 속 용질이 액체로 이동하는 조작이며, 올바르게는 기체로부터 용질을 제거할 때 쓰는 방법이다.

오답 포인트

탈거와 기체흡수는 모두 기체와 액체를 접촉시키므로 헷갈리기 쉽다. 그러나 탈거는 액체에서 기체로 이동하고, 기체흡수는 기체에서 액체로 이동한다는 방향 차이가 핵심 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 제거 대상이 어느 상에 들어 있는지를 본다. 용질이 액체에 들어 있고 그것을 기체로 빼내면 탈거이고, 용질이 기체에 들어 있고 그것을 액체로 받아들이면 기체흡수이다.

암기 포인트

탈거는 액체→기체, 기체흡수는 기체→액체이다.

NoteBase

문 2. 점도에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 모든 유체의 점도는 온도가 증가할수록 감소한다.
ㄴ. Newton 유체의 전단응력과 전단변형률의 관계는 선형이다.
ㄷ. 낮은 밀도, 비극성, 단원자 기체의 점도는 기체의 분자량에 영향을 받는다.

① ㄱ
② ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 온도에 따른 점도 변화, Newton 유체의 정의, 저밀도 단원자 기체 점도의 지배 인자를 함께 구별하는 문제이다.

핵심 개념

점도는 유체의 유동 저항을 나타내는 성질이다.
액체와 기체는 온도에 따른 점도 변화 방향이 다르다. 일반적으로 액체는 온도가 올라가면 점도가 감소하고, 기체는 온도가 올라가면 점도가 증가한다.
Newton 유체는 전단응력 τ가 전단변형률속도 du/dy에 비례하여 $\tau = \mu du/dy$의 선형관계를 따르는 유체이다.
낮은 밀도의 비극성 단원자 기체 점도는 분자 운동론으로 설명되며, 분자량의 영향을 받는다.

선지별 해설

① X: ㄱ만 옳다고 본 선택지이다. 그러나 ㄱ의 틀린 부분은 '모든 유체'와 '감소한다'이다. 실제로는 액체의 점도는 대체로 온도 상승에 따라 감소하지만, 기체의 점도는 대체로 증가하므로 ㄱ은 틀리다.
② X: ㄴ만 옳다고 본 선택지이다. ㄴ은 맞지만 ㄷ도 옳다. 따라서 옳은 것만 고르면 'ㄴ'이 아니라 'ㄴ, ㄷ'이 된다.
③ X: ㄱ, ㄷ이 옳다고 본 선택지이다. ㄷ은 옳지만 ㄱ이 틀리므로 이 조합은 성립하지 않는다. 잘못된 부분은 ㄱ의 '모든 유체의 점도는 온도가 증가할수록 감소한다'이며, 올바르게는 '액체는 대체로 감소하고 기체는 대체로 증가한다'이다.
④ O: ㄴ, ㄷ이 옳다고 본 선택지이다. ㄴ은 Newton 유체에서 전단응력과 전단변형률속도 사이가 선형이라는 뜻이므로 맞다. ㄷ도 저밀도 비극성 단원자 기체의 점도가 분자량의 영향을 받는다는 설명이므로 맞다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 함정은 액체의 온도-점도 관계를 모든 유체에 그대로 일반화하는 점이다. ㄱ의 '모든 유체'라는 표현이 과도한 일반화이며, 이 한 단어를 놓치면 ③으로 기울기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

점도 문제는 먼저 액체와 기체를 분리해서 본다. 그다음 Newton 유체는 '전단응력과 전단변형률속도의 선형관계'라는 정의 문장으로 바로 판단한다. 마지막으로 조합형 선택지는 각 진술의 참거짓을 먼저 확정한 뒤 조합을 고른다.

암기 포인트

액체 점도는 온도 상승 시 대체로 감소, 기체 점도는 대체로 증가, Newton 유체는 τ와 전단변형률속도가 선형이다.

NoteBase

문 3. 지름이 일정한 원형도관의 완전발달 층류에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 도관 표면에서 비미끄럼 조건이 성립하고, 정상상태의 비압축성 Newton 유체를 고려한다)

① 유동 방향으로 속도가 변하지 않는다.

② 속도 분포는 플러그 유동의 형태이다.

③ 마찰계수는 Reynolds 수에 반비례한다.

④ 입구길이(entrance length)는 Reynolds 수에 비례한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 원형도관의 완전발달 층류에서 속도분포, 마찰계수, 입구길이의 기본 관계를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

완전발달 층류는 축방향으로 속도분포의 형상이 더 이상 변하지 않는 내부유동이다. 원형도관에서는 반지름 방향으로는 속도차가 남아 있고, 속도분포는 중심이 가장 크고 벽면이 0인 포물선 형태이다. 플러그 유동은 단면 전체 속도가 거의 일정한 평탄 분포이므로 완전발달 원형도관 층류와 다르다.

선지별 해설

1번 O: 완전발달 유동은 같은 반지름 위치에서 축방향으로 속도가 더 이상 변하지 않는 상태이므로 유동 방향으로 속도가 변하지 않는다. 단, 반지름 방향 속도분포까지 균일하다는 뜻은 아니다.
2번 X: 틀린 부분은 "플러그 유동의 형태"이다. 원형도관의 완전발달 층류 속도분포는 중심에서 최대이고 벽면에서 0이 되는 포물선 분포이다. 올바르게는 "속도 분포는 포물선 형태이다"가 된다.
3번 O: 원형도관 완전발달 층류의 Darcy 마찰계수는 $f = 64/Re$이므로 Reynolds 수에 반비례한다.
4번 O: 층류의 입구길이는 보통 $L_e/D \approx 0.05Re$로 나타내므로 지름이 일정하면 입구길이는 Reynolds 수에 비례한다.

오답 포인트

완전발달이라는 말을 보고 속도분포가 완전히 평평해진다고 착각하면 2번을 맞는 말로 오인한다. 이 문항에서 완전발달은 축방향 변화가 없다는 뜻이고, 단면 분포는 여전히 포물선이라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

내부유동에서 완전발달 층류가 나오면 먼저 축방향 변화 없음, 원형도관 층류의 포물선 분포, $f = 64/Re$, $L_e/D \propto Re$를 차례로 대입하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

완전발달 층류는 축방향 불변, 단면은 포물선, 마찰계수는 $1/Re$, 입구길이는 Re 비례이다.

문 4. 두 종류의 구형 나노입자 A와 B를 각각 용매에 분산하여 확산계수를 측정하였다. 상온에서 나노입자 A의 확산계수는 $1.5 \times 10^{-6}\mathrm{cm}^2\mathrm{s}^{-1}$, 나노입자 B의 확산계수는 $6.0 \times 10^{-7}\mathrm{cm}^2\mathrm{s}^{-1}$로 측정되었다. 나노입자 A의 반지름은 나노입자 B의 반지름의 몇 배인가? (단, 사용된 용매는 동일하며, 측정된 확산계수는 Stokes-Einstein 방정식을 만족한다)

① 0.16

② 0.25

③ 0.32

④ 0.4

정답 4번

출제 포인트

Stokes-Einstein 방정식에서 같은 온도와 같은 용매이면 확산계수는 입자 반지름에 반비례한다는 점을 이용해 반지름비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 나노입자 A의 확산계수 $1.5 \times 10^{-6} cm^2 s^{-1}$, 나노입자 B의 확산계수 $6.0 \times 10^{-7} cm^2 s^{-1}$이다. 구해야 할 값은 r_A/r_B이다. 같은 용매와 상온 조건이므로 T와 η를 같게 두고 비례식으로 바로 비교할 수 있다.

사용할 공식

Stokes-Einstein 방정식은 $D = \frac{kT}{6\pi\eta r}$이다. 이 공식을 쓰는 이유는 같은 용매와 같은 온도에서는 k, T, η가 같으므로 $D \propto \frac{1}{r}$가 되고, 따라서 $\frac{r_A}{r_B} = \frac{D_B}{D_A}$로 정리할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 비례식을 세우면 $\frac{r_A}{r_B} = \frac{D_B}{D_A}$이다.
2. 수치를 대입하면 $\frac{r_A}{r_B} = \frac{6.0 \times 10^{-7}}{1.5 \times 10^{-6}}$이다.
3. 계산하면 $\frac{6.0}{1.5} \times 10^{-1} = 4 \times 0.1 = 0.4$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 계산 결과는 0.4이므로 0.16은 틀리다. 반지름비를 구할 때 역비례 관계를 세운 뒤 값을 한 번 더 제곱하면 이런 오답이 나오기 쉽다. 올바르게는 0.4이다.
② X. 0.25는 계수 $1.5/6.0$만 계산하고 지수 $10^{-7}/10^{-6} = 10^{-1}$ 처리를 놓친 경우에 가까운 값이다. 올바른 계산은 $\frac{6.0 \times 10^{-7}}{1.5 \times 10^{-6}} = 0.4$이다.
③ X. 0.32는 역비례식은 세웠더라도 지수 계산이나 소수 정리를 잘못한 값이다. 이 문항의 정확한 반지름비는 0.4이므로 0.32는 틀리다. 올바르게는 0.4이다.
④ O. 같은 용매와 같은 온도에서는 Stokes-Einstein 식에서 상수항이 같으므로 반지름비는 확산계수의 역비와 같다. 따라서 $r_A/r_B = D_B/D_A = 0.4$가 되어 옳다.

오답 포인트

확산계수와 반지름이 비례한다고 착각하면 식을 거꾸로 세우기 쉽다. 또 $10^{-7}/10^{-6} = 10^{-1}$를 빠뜨리면 0.25 같은 오답이 나오므로 계수와 지수를 따로 계산하는 습관이 중요하다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 용매와 같은 온도라는 조건이 보이면 먼저 Stokes-Einstein 식에서 공통 상수를 지워 $D \propto 1/r$를 만든다. 그다음 묻는 값이 반지름비인지 확산계수비인지 확인하고 역수를 취한 뒤, 계수와 지수를 분리해 계산하면 된다.

암기 포인트

Stokes-Einstein에서 같은 T, η이면 확산계수는 반지름에 반비례하므로 반지름비는 확산계수의 역비이다.

NoteBase

문 5. 무차원수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 항력계수는 항력과 관성력의 비이다.

② Lewis 수는 관성력과 표면장력의 비이다.

③ Reynolds 수는 관성력과 점성력의 비이다.

④ Prandtl 수는 운동량 확산도와 열 확산도의 비이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 대표적인 무차원수의 정의와 서로 대응하는 물리적 의미를 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

항력계수는 유체가 물체에 주는 항력을 무차원화한 계수로, 물리적으로는 항력과 관성력의 상대적 크기를 나타낸다. Lewis 수 Le는 열확산도와 물질확산도의 비이다. Reynolds 수 Re는 관성력과 점성력의 비이고, Prandtl 수 Pr는 운동량 확산도와 열확산도의 비이다.

선지별 해설

① O

항력계수는 $C_D = F_D/(\frac{1}{2}\rho u^2 A)$로 정의되며, 물리적으로는 항력과 관성력의 상대적 크기를 나타내므로 옳은 설명이다.

② X

틀린 부분은 "관성력과 표면장력의 비"이다. 관성력과 표면장력의 비는 Lewis 수가 아니라 Weber 수이다. Lewis 수는 $Le = \alpha/D$로서 열확산도와 물질확산도의 비이다.

③ O

Reynolds 수는 $Re = \rho uL/\mu = uL/\nu$이며 관성력과 점성력의 비로 해석하므로 옳다.

④ O

Prandtl 수는 $Pr = \nu/\alpha$이므로 운동량 확산도와 열확산도의 비라는 설명이 맞다.

오답 포인트

Lewis 수와 Weber 수를 이름만 보고 혼동하면 ②를 고르지 못한다. 표면장력이 들어가면 Weber 수이고, Lewis 수는 열전달과 물질전달의 확산도 비교라는 점이 핵심이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

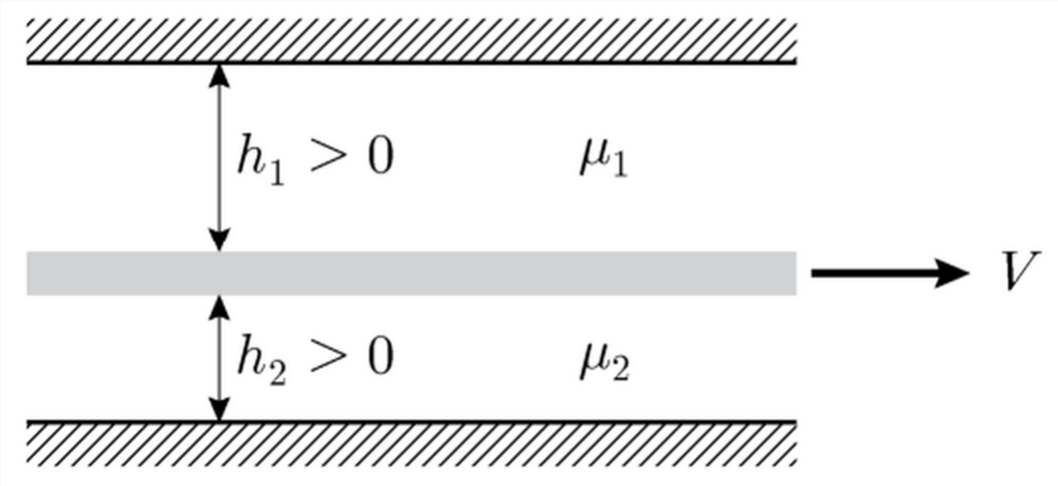
무차원수 문제는 먼저 어떤 힘의 비인지, 또는 어떤 확산도의 비인지로 분류하면 빠르게 판정된다. 점성력이 나오면 Reynolds 수, 표면장력이 나오면 Weber 수, 열확산도와 물질확산도가 같이 나오면 Lewis 수, 운동량 확산도와 열확산도가 같이 나오면 Prandtl 수로 판단된다.

암기 포인트

Re는 관성력/점성력, Pr는 운동량 확산도/열확산도, Le는 열확산도/물질확산도, We는 관성력/표면장력이다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 두 개의 고정된 평판 사이에 두께가 얇은 평판 하나가 놓여 있고, 평판 사이의 공간에는 각각 점도가 μ_1과 μ_2인 비압축성 Newton 유체가 완전히 채워져 있다. 중간 평판과 고정된 평판 사이의 수직거리는 각각 h_1과 h_2이고, 중간 평판이 유체와 만나는 면적은 윗면과 아랫면에서 각각 A로 동일하다. 중간 평판이 수평 방향으로 V의 속도로 움직이는 데 필요한 힘은? (단, 모든 평판은 평행하며 충분히 길고 넓어서 끝부분과 측면의 영향을 무시할 수 있다. 중간 평판이 움직이며 생기는 유체의 흐름은 Couette 유동으로 비미끄럼 조건이 적용된 정상상태의 완전발달 층류이고, 중력의 영향을 무시한다)



① $A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} - \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$
② $A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$
③ $2A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} - \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$
④ $2A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Couette 유동에서 중간 평판의 윗면과 아랫면에 작용하는 점성 전단저항을 합해 필요한 힘을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 위쪽 유체의 점도는 μ_1, 간격은 h_1이다. 아래쪽 유체의 점도는 μ_2, 간격은 h_2이다. 중간 평판은 속도 V로 이동하고, 윗면과 아랫면의 접촉면적은 각각 A이다.
구해야 할 값: 중간 평판을 속도 V로 유지하는 데 필요한 외력의 크기이다.
주의할 조건: 위쪽 유체와 아래쪽 유체는 모두 평판의 운동을 방해하므로 두 전단저항은 같은 방향으로 더해진다.

NoteBase

사용할 공식

완전발달 Couette 유동에서 전단응력의 크기는 $\tau = \mu\frac{V}{h}$이다. 따라서 중간 평판에 필요한 힘은 각 면의 전단력 합으로 $F = A\tau_1 + A\tau_2$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 두 유체층 모두 고정 평판과 움직이는 평판 사이의 선형 속도분포를 가지므로 각 층의 점성 전단응력이 일정하게 작용한다.

계산 과정

1. 위쪽 유체가 중간 평판에 주는 전단저항의 크기는 $\tau_1 = \mu_1\frac{V}{h_1}$이다.
2. 아래쪽 유체가 중간 평판에 주는 전단저항의 크기는 $\tau_2 = \mu_2\frac{V}{h_2}$이다.
3. 두 전단저항은 모두 운동 반대방향으로 작용하므로 필요한 힘은 $F = A\tau_1 + A\tau_2 = A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$이다.

선지별 해설

① X. 틀린 표현은 두 전단저항을 뺀다는 점이다. 위쪽 유체와 아래쪽 유체는 모두 평판의 운동을 방해하므로 저항이 상쇄되지 않는다. 올바르게는 $A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$이다.
② O. 위쪽과 아래쪽 유체가 각각 $A\mu_1 V/h_1$, $A\mu_2 V/h_2$만큼 저항하므로 필요한 힘은 그 합인 $A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$이다.
③ X. 틀린 표현은 감산식에 다시 $2A$를 곱한 점이다. 면적 A는 윗면과 아랫면에 각각 한 번씩만 적용되며, 두 저항은 빼는 것이 아니라 더한다. 올바르게는 $A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$이다.
④ X. 틀린 표현은 양면 저항을 이미 합한 뒤 다시 2배 한 점이다. 윗면 힘과 아랫면 힘을 더하면 이미 양면 효과가 반영된다. 올바르게는 $A\left(\frac{\mu_1 V}{h_1} + \frac{\mu_2 V}{h_2}\right)$이다.

오답 포인트

양쪽 유체가 서로 반대편에 있으므로 힘도 서로 상쇄된다고 오해하기 쉽다. 실제로는 두 유체가 모두 평판의 운동 방향에 반대되는 점성저항을 주므로 힘은 합산된다. 또한 윗면과 아랫면의 면적이 각각 A라는 뜻이지 전체 식에 $2A$를 한 번 더 곱하는 뜻은 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

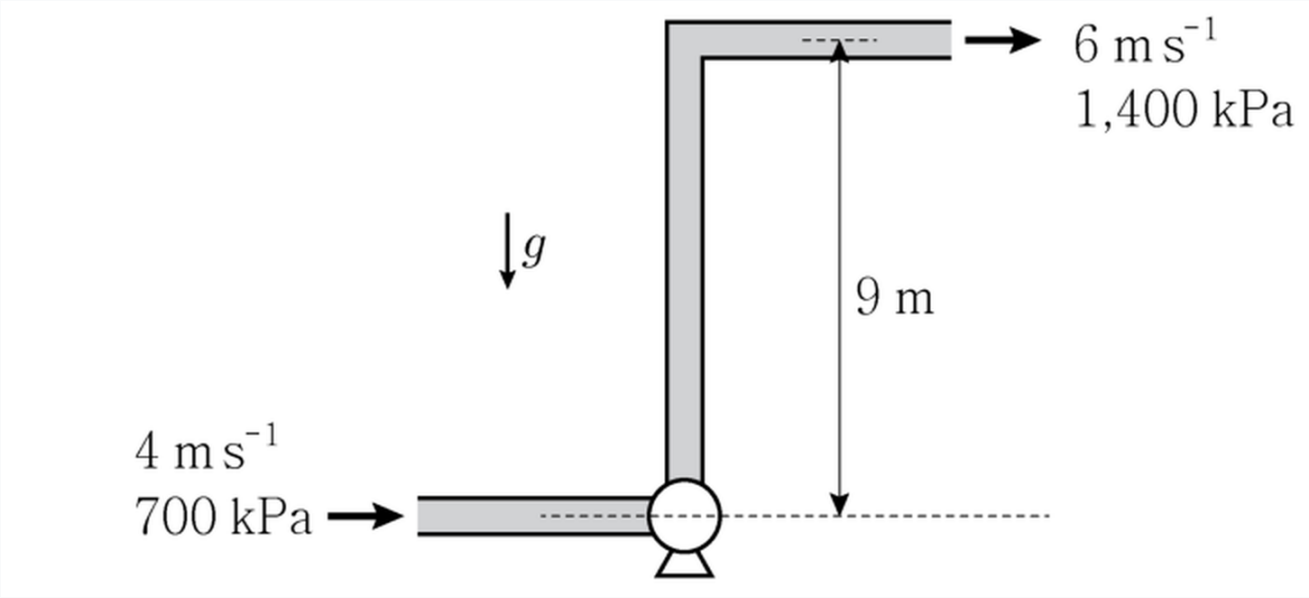
움직이는 평판이 여러 유체층과 접하면 각 면에서 생기는 전단응력의 방향부터 본다. 모두 운동 반대방향이면 전단력을 더하고, 각 층마다 $\mu V/h$를 계산해 면적 A를 곱한 뒤 합하면 된다.

암기 포인트

Couette 유동의 평판 저항은 각 층마다 $A\mu V/h$이고, 같은 방향의 점성저항은 그대로 합산된다.

NoteBase

문 7. 물이 $4ms^{-1}$의 유속으로 펌프에 유입되어, $9m$ 높이에서 $6ms^{-1}$의 유속으로 배출된다. 유입구와 배출구에서 물의 압력은 각각 700 kPa과 1,400kPa이다. 유입되는 물의 질량 유량이 $0.5kgs^{-1}$일 때, 펌프의 출력[W]은? (단, 물의 흐름은 원형도관 내 정상상태의 플러그 유동으로 베르누이 방정식을 만족한다. 모든 마찰 손실은 무시하고, 물의 밀도는 $1{,}000kgm^{-3}$, 중력가속도(g)는 $10ms^{-2}$로 계산한다)



① 300

② 310

③ 390

④ 400

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 기계적 에너지식으로 펌프가 유체에 더해 준 단위질량당 에너지를 구한 뒤, 이를 질량유량에 곱해 펌프 출력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 유입 속도 $v_1 = 4ms^{-1}$, 배출 속도 $v_2 = 6ms^{-1}$, 유입 압력 $p_1 = 700kPa$, 배출 압력 $p_2 = 1400kPa$, 높이차 $z_2 - z_1 = 9m$, 질량유량 $\dot{m} = 0.5kgs^{-1}$, 물의 밀도 $\rho = 1000kgm^{-3}$, 중력가속도 $g = 10ms^{-2}$이다. 구해야 할 값은 펌프 출력이다. 마찰 손실이 없으므로 압력에너지 증가, 위치에너지 증가, 운동에너지 증가를 모두 펌프가 공급한 에너지로 본다.

NoteBase

사용할 공식

사용할 식은 $\dot{W}_p = \dot{m}\left(\frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right)$이다. 이 문제는 비압축성 유체가 정상상태로 흐르고 마찰 손실이 없으므로, 유입과 배출 사이의 압력수두 변화, 속도수두 변화, 위치수두 변화를 펌프 축일이 모두 보상하는 형태가 된다.

계산 과정

먼저 압력항은 $\frac{p_2 - p_1}{\rho} = \frac{1400 - 700}{1000} \times 10^3 = 700 J kg^{-1}$이다. 속도항은 $\frac{v_2^2 - v_1^2}{2} = \frac{6^2 - 4^2}{2} = 10 J kg^{-1}$이다. 위치항은 $g(z_2 - z_1) = 10 \times 9 = 90 J kg^{-1}$이다. 따라서 펌프가 유체에 더한 단위질량당 에너지는 $700 + 10 + 90 = 800 J kg^{-1}$이다. 이를 질량유량에 곱하면 $\dot{W}_p = 0.5 \times 800 = 400 W$이다.

선지 판단

① X: 300 W는 정답값과 다르다. 높이차와 속도증가를 펌프가 더해 주는 에너지로 보지 않고 잘못 빼거나, 항의 부호를 반대로 두면 이런 값이 나온다. 올바르게는 400 W이다.
② X: 310 W는 정답값과 다르다. 압력항에 위치항의 부호를 잘못 적용하고 속도항만 더하면 나올 수 있는 값이다. 배출점이 더 높으므로 위치에너지는 빼는 항이 아니라 더해야 한다. 올바르게는 400 W이다.
③ X: 390 W는 정답값과 다르다. 이는 속도항 $10 J kg^{-1}$을 빠뜨리고 압력항과 위치항만 반영했을 때 가까워지는 값이다. 문제에서는 배출 속도가 더 크므로 운동에너지 증가도 포함해야 한다. 올바르게는 400 W이다.
④ O: 압력항 700, 속도항 10, 위치항 90을 모두 더하면 단위질량당 800 J이고, 여기에 질량유량 0.5를 곱하면 400 W가 된다. 따라서 옳은 선지는 ④이다.

오답 포인트

압력차만 보고 끝내거나, 배출점이 더 높은데도 위치항의 부호를 반대로 두는 실수가 많다. 또한 속도 변화가 작아 보여 $\frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$ 항을 누락하기 쉽다. 이 문항은 펌프가 공급한 에너지가 압력, 위치, 속도 증가로 모두 나뉜다는 점을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

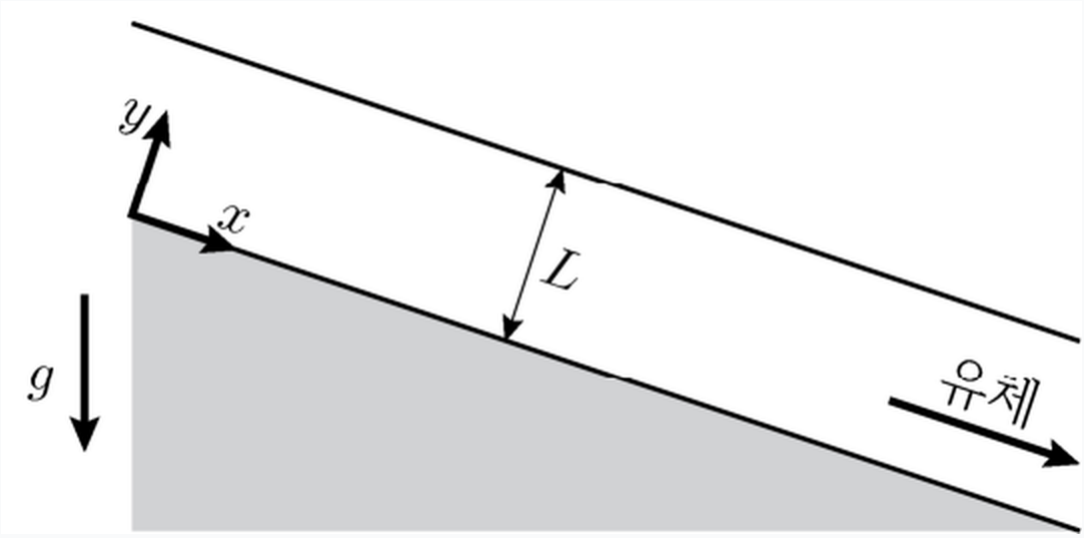
펌프 동력 문제는 먼저 유입점과 배출점 사이에서 무엇이 증가했는지를 본다. 압력, 높이, 속도가 모두 증가하면 그 증가분을 단위질량당 에너지로 합산한 뒤 질량유량을 곱해 출력으로 바꾸면 된다.

암기 포인트

펌프 출력은 압력항, 위치항, 속도항의 증가분 합계에 질량유량을 곱한 값이며, 이 문제에서는 $700 + 90 + 10 = 800$, 따라서 $0.5 \times 800 = 400 W$이다.

NoteBase

문 8. 경사면 위를 비압축성 Newton 유체가 정상상태의 단일 x방향 층류로 흘러내린다. 경사면과의 수직거리 y에 따른 유체의 x방향 속도의 분포 $V_x(y)$가 $\frac{\rho g L^2}{2\mu}\left[\frac{y}{L}-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{L}\right)^2\right]$일 때, 유체의 x방향 평균속도는? (단, ρ는 유체의 밀도, μ는 유체의 점도, g는 중력가속도, L은 유체의 두께이다)



① $\frac{\rho g L^2}{6\mu}$
② $\frac{\rho g L^2}{3\mu}$
③ $\frac{\rho g L^2}{2\mu}$
④ $\frac{\rho g L^2}{\mu}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 주어진 속도분포 $V_x(y)$를 두께 방향으로 적분해 평균속도 $\bar{V}_x$를 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $V_x(y)=\frac{\rho g L^2}{2\mu}\left[\frac{y}{L}-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{L}\right)^2\right]$이다.
구해야 할 값은 유체의 x방향 평균속도이다.
평균은 경사면에서 자유표면까지의 두께 $0 \le y \le L$에 대해 구한다.

NoteBase

사용할 공식

평균속도는
$\bar{V}_x = \frac{1}{L}\int_0^L V_x(y)dy$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 속도가 두께 방향 y에 따라 달라지므로, 단면 평균은 속도분포의 적분값을 두께 L로 나눈 값으로 정의되기 때문이다.

계산 과정

$\bar{V}_x = \frac{1}{L}\int_0^L \frac{\rho g L^2}{2\mu}\left(\frac{y}{L} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{L}\right)^2\right)dy$
$= \frac{\rho g L^2}{2\mu}\cdot\frac{1}{L}\int_0^L \left(\frac{y}{L} - \frac{1}{2}\left(\frac{y}{L}\right)^2\right)dy$
$\eta = y/L$로 두면 $dy = L d\eta$이므로
$\bar{V}_x = \frac{\rho g L^2}{2\mu}\int_0^1 \left(\eta - \frac{1}{2}\eta^2\right)d\eta$
$= \frac{\rho g L^2}{2\mu}\left[\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\cdot\frac{1}{3}\right]$
$= \frac{\rho g L^2}{2\mu}\left(\frac{1}{3}\right) = \frac{\rho g L^2}{6\mu}$

선지 판단

① O: 계산 결과 평균속도는 $\rho g L^2/(6\mu)$이므로 옳다.
② X: $\rho g L^2/(3\mu)$는 정답의 2배이다. $\int_0^1 \frac{1}{2}\eta^2 d\eta$를 1/6이 아니라 잘못 처리하면 나올 수 있는 값이다. ②의 값이 아니라 평균속도는 $\rho g L^2/(6\mu)$이다.
③ X: $\rho g L^2/(2\mu)$는 주어진 속도식의 앞 계수만 본 값으로, 괄호 안의 y 의존성과 평균 적분을 반영하지 못한 값이다. ③의 값이 아니라 평균속도는 $\rho g L^2/(6\mu)$이다.
④ X: $\rho g L^2/\mu$는 적분 평균의 결과와 전혀 맞지 않는 과대값이다. 두께 방향 평균을 취하면 이런 값이 될 수 없고, 올바른 값은 $\rho g L^2/(6\mu)$이다.

오답 포인트

평균속도를 한 점의 속도나 식의 앞 계수와 혼동하면 ③처럼 틀린다. 또 η^2 적분에서 1/2 계수를 놓치면 ②처럼 두 배 큰 값이 나온다. 이 문제의 핵심 함정은 평균의 정의 $\frac{1}{L}\int_0^L$를 먼저 세우지 않고 식을 눈대중으로 처리하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

속도분포가 주어지면 먼저 평균속도 정의 $\bar{V} = \frac{1}{L}\int_0^L V(y)dy$를 세운다. 그다음 y/L 같은 무차원 변수를 치환해 적분구간을 0부터 1까지로 바꾸고, 다항식 적분값을 차례로 계산하면 된다.

암기 포인트

막 유동의 평균속도는 속도분포 아래 면적을 두께로 나눈 값이며, $\bar{V} = \frac{1}{L}\int_0^L V(y)dy$이다.

NoteBase

문 9. 주어진 유선 함수(stream function)로부터 결정되는 x방향 속도와 y방향 속도를 바르게 연결한 것은? (단, 모든 변수는 무차원화 되어 있다)

유선 함수: $8y^2 - xy - 8x^2$

① x방향 속도: $x - 16y$, y방향 속도: $-16x - y$

② x방향 속도: $x - 16y$, y방향 속도: $16x - y$

③ x방향 속도: $-x + 16y$, y방향 속도: $16x + y$

④ x방향 속도: $-x + 16y$, y방향 속도: $-16x - y$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 유선 함수 ψ로부터 속도 성분 u와 v를 구하는 관계식 $u = \partial\psi/\partial y$, $v = -\partial\psi/\partial x$를 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 유선 함수 $\psi = 8y^2 - xy - 8x^2$이다.
구해야 할 값은 x방향 속도 u와 y방향 속도 v이다.
주의할 조건은 v를 구할 때 $-\partial\psi/\partial x$의 마이너스 부호를 빠뜨리지 않는 점이다.

사용할 공식

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \qquad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x}$$

이 공식을 쓰는 이유는 2차원 유동에서 유선 함수가 주어지면 각 방향 속도 성분이 유선 함수의 편미분으로 바로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. x방향 속도는 $u = \partial\psi/\partial y$이므로 $u = \partial(8y^2 - xy - 8x^2)/\partial y = 16y - x$이다.
2. 따라서 $u = -x + 16y$이다.
3. y방향 속도는 $v = -\partial\psi/\partial x$이므로 $\partial\psi/\partial x = -y - 16x$를 먼저 구한다.
4. 여기에 마이너스를 붙이면 $v = -(-y - 16x) = y + 16x$이므로 $v = 16x + y$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: x방향 속도를 $x-16y$로 두었는데, 실제 계산값은 $u=16y-x=-x+16y$이다. 틀린 표현은 $x-16y$이고, 올바르게는 $-x+16y$이다. y방향 속도도 실제는 $v=16x+y$인데 선지는 $-16x-y$이므로 두 성분의 부호를 모두 반대로 적은 경우이다.

② X: x방향 속도 $x-16y$는 여전히 부호가 반대이므로 틀리다. 올바르게는 $-x+16y$이다. y방향 속도 $16x-y$도 $v=16x+y$에서 y항 부호를 잘못 적은 값이다. 틀린 표현은 $-y$이고, 올바르게는 $+y$이다.

③ O: x방향 속도 $-x+16y$는 $u=\partial\psi/\partial y$와 일치한다. y방향 속도 $16x+y$도 $v=-\partial\psi/\partial x$와 일치하므로 두 성분의 연결이 모두 맞다.

④ X: x방향 속도 $-x+16y$는 맞지만, y방향 속도 $-16x-y$는 틀리다. 실제 계산값은 $v=16x+y$이다. 틀린 표현은 전체 부호가 반대인 점이고, 올바르게는 $16x+y$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $v=-\partial\psi/\partial x$의 앞마이너스를 빼먹거나, 미분 결과 전체의 부호를 뒤집어 적는 데 있다. ①과 ④는 바로 그 부호 실수를 노린 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

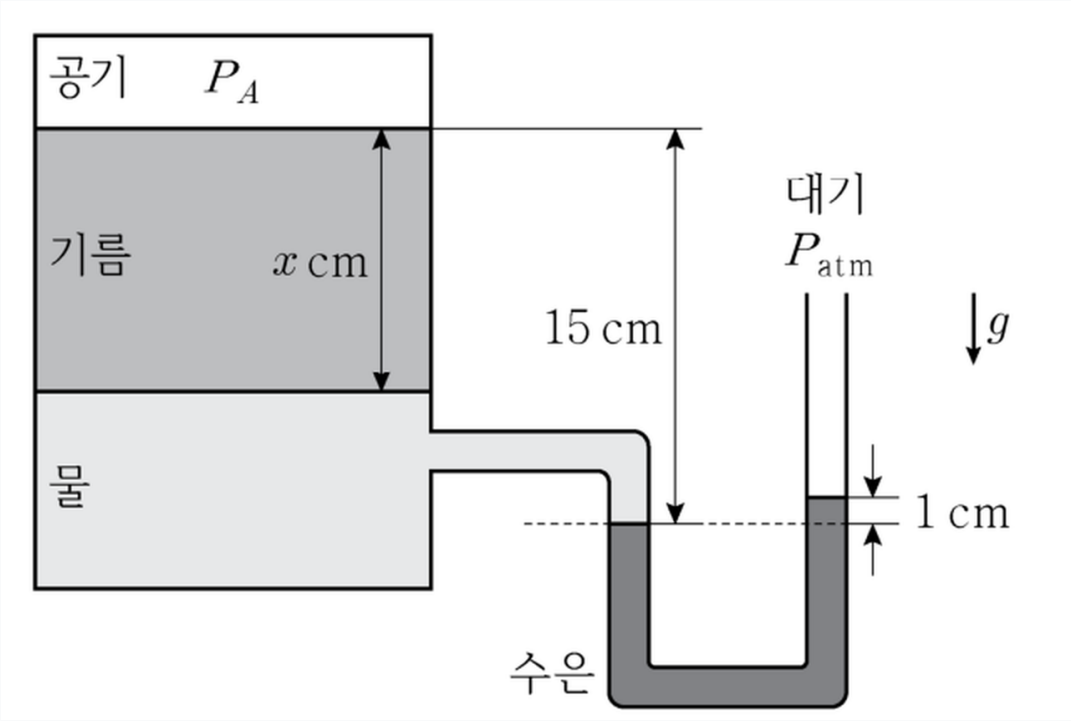
유선 함수 문제는 먼저 $u=\partial\psi/\partial y$, $v=-\partial\psi/\partial x$를 적고, x와 y에 대한 편미분을 각각 구한 뒤 마지막에 v의 마이너스 부호를 다시 한 번 검산하면 된다.

암기 포인트

유선 함수는 $u=\psi_y$, $v=-\psi_x$로 연결되며, v에는 항상 음의 부호가 붙는다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 구성된 저장고 내부의 기름, 물, 수은의 비중은 각각 0.8, 1.0, 13.6이다. 저장고 내부의 공기압(P_A)이 대기압(P_{atm})보다 60 Pa 클 때, 저장고 내부의 기름의 높이(x)[cm]는? (단, 물의 밀도는 1,000 kgm^{-3}, 중력가속도(g)는 10 ms^{-2}로 계산한다)



① 7

② 8

③ 9

④ 10

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 개방 마노미터의 압력평형과 층상 유체의 정수압 관계를 이용해 기름 높이 x를 구하는 문제이다.

조건 정리

기름의 밀도는 물의 0.8배이므로 $\rho_o = 800kgm^{-3}$이다. 물의 밀도는 $\rho_w = 1000kgm^{-3}$이다. 수은의 밀도는 $\rho_{Hg} = 13600kgm^{-3}$이다. 탱크 내부 공기압은 $P_A = P_{atm} + 60Pa$이다. 기름 윗면에서 왼쪽 수은-물 경계면까지의 전체 높이는 15cm이므로 물 높이는 $(15 - x)$ cm이다. 오른쪽 수은 자유면은 왼쪽 수은-물 경계면보다 1cm 높다.

NoteBase

사용할 공식

같은 연속 유체의 같은 수평면에서는 압력이 같고, 아래로 h만큼 내려가면 압력은 ρgh만큼 증가한다. 따라서 오른쪽 수은 자유면에서 왼쪽 수은-물 경계면까지는 $P_{atm} + \rho_{Hg} g(0.01)$이고, 탱크 안 기름 윗면에서 같은 경계면까지는 $P_A + \rho_o g\left(\frac{x}{100}\right) + \rho_w g\left(\frac{15-x}{100}\right)$이다. 두 압력이 같은 상황이므로 이 식을 사용한다.

계산 과정

$P_{atm} + \rho_{Hg} g(0.01) = P_A + \rho_o g\left(\frac{x}{100}\right) + \rho_w g\left(\frac{15-x}{100}\right)$
$P_{atm} + 13600 \times 10 \times 0.01 = (P_{atm} + 60) + 800 \times 10\left(\frac{x}{100}\right) + 1000 \times 10\left(\frac{15-x}{100}\right)$
$1360 = 60 + 80x + 100(15 - x)$
$1360 = 60 + 80x + 1500 - 100x$
$1360 = 1560 - 20x$
$20x = 200$
$x = 10cm$
계산 결과 기름의 높이는 10cm이다.

선지별 해설

① X. $x = 7cm$를 대입하면 탱크 쪽 경계면 압력은 $60 + 80 \times 7 + 100 \times 8 = 1420Pa$만큼 대기압보다 커진다. 마노미터가 보여 주는 압력차 1360 Pa와 일치하지 않으므로 틀린 값이다. 올바른 값은 10cm이다.
② X. $x = 8cm$를 대입하면 탱크 쪽 경계면 압력은 $60 + 80 \times 8 + 100 \times 7 = 1400Pa$가 된다. 이는 수은주 1cm가 만드는 1360 Pa보다 40 Pa 크므로 틀리다. 올바른 값은 10cm이다.
③ X. $x = 9cm$를 대입하면 탱크 쪽 경계면 압력은 $60 + 80 \times 9 + 100 \times 6 = 1380Pa$가 된다. 역시 마노미터 조건 1360 Pa와 맞지 않으므로 틀리다. 올바른 값은 10cm이다.
④ O. $x = 10cm$를 대입하면 탱크 쪽 경계면 압력은 $60 + 80 \times 10 + 100 \times 5 = 1360Pa$가 되어 수은주 1cm가 만드는 압력차와 정확히 일치한다. 따라서 10cm가 옳다.

오답 포인트

탱크 내부 공기압이 대기압보다 60 Pa 크다는 조건을 빼먹으면 전체 압력평형이 어긋난다. 또한 15cm를 전부 기름 높이로 두면 안 되고, 기름은 x cm, 물은 $(15 - x)$ cm로 나누어 써야 한다. 수은 1cm는 물 1cm와 압력효과가 다르므로 비중 13.6을 그대로 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

정수압 계산 문제는 먼저 같은 수평면 한 점을 기준점으로 잡고, 각 경로에서 그 점까지 내려오며 ρgh를 차례로 더해 압력평형식을 세우는 방식으로 판단한다. 이후 cm를 m로 바꾸었는지와 각 층의 높이를 올바르게 분리했는지를 함께 검산하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

개방 마노미터는 같은 높이의 압력을 맞추고, 여러 층 유체 문제는 각 층마다 ρgh를 따로 더하는 구조이다.

NoteBase

문 11. 열확산계수(thermal diffusivity)와 차원이 동일한 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 동점도(kinematic viscosity)
ㄴ. 열전도도(thermal conductivity)
ㄷ. 체적팽창계수(volume expansion coefficient)
ㄹ. 물질확산계수(mass diffusivity)

① ㄱ, ㄷ
② ㄱ, ㄹ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄴ, ㄹ

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 열확산계수와 같은 차원인 전달계수를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

열확산계수는 온도 교란이 물질 내부로 퍼지는 빠르기를 나타내며 차원은 L^2/T이다.
동점도는 운동량 확산의 정도를 나타내며 차원은 L^2/T이다.
물질확산계수는 질량 확산의 정도를 나타내며 차원은 L^2/T이다.
열전도도는 열을 얼마나 잘 전달하는지를 나타내는 물성값으로 차원은 $MLT^{-3}\Theta^{-1}$이다.
체적팽창계수는 온도 변화에 따른 상대 체적 변화율로 차원은 Θ^{-1}이다.

선지별 해설

1번: X. ㄱ의 동점도는 L^2/T로 열확산계수와 차원이 같지만, ㄷ의 체적팽창계수는 온도의 역수인 Θ^{-1} 차원이다. 틀린 부분은 ㄷ이 포함된 점이며, 올바르게는 ㄱ과 ㄹ이다.
2번: O. ㄱ의 동점도와 ㄹ의 물질확산계수는 모두 확산계수 형태이므로 열확산계수와 같은 L^2/T 차원을 가진다.
3번: X. ㄴ의 열전도도는 열확산계수와 달리 밀도와 비열이 곱해지기 전의 물성값이라 차원이 L^2/T가 아니고, ㄷ의 체적팽창계수도 Θ^{-1} 차원이다. 틀린 표현은 ㄴ, ㄷ을 같은 차원으로 본 점이며, 올바르게는 ㄱ과 ㄹ이다.
4번: X. ㄹ의 물질확산계수는 맞지만 ㄴ의 열전도도는 열확산계수와 차원이 다르다. 틀린 부분은 ㄴ이 포함된 점이며, 올바르게는 ㄱ과 ㄹ이다.

오답 포인트

이름에 확산이나 전도가 들어간다고 같은 차원으로 묶으면 틀린다. 열확산계수, 동점도, 물질확산계수는 모두 확산속도를 나타내는 L^2/T 형이지만, 열전도도는 에너지 전달 물성값이고 체적팽창계수는 온도 역수 차원이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

계수의 이름보다 물리적 의미를 먼저 본다. 열, 운동량, 질량의 확산속도를 나타내는 계수는 모두 L^2/T로 묶고, 전도도나 팽창계수처럼 전달능력 또는 상대변화율을 나타내는 항목은 별도 차원으로 분리한다.

암기 포인트

확산계수 3종 α, ν, D는 모두 L^2/T이다.

NoteBase

문 12. 복사 열전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 빛의 속도로 전달된다.

② 흑체의 흡수율은 1이다.

③ 회색체의 단색 흡수율은 일정하다.

④ 장파장 복사보다 단파장 복사의 에너지가 작다.

정답 4번

출제 포인트

복사 열전달의 기본 성질과 흑체·회색체, 파장과 에너지의 관계를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

흑체는 모든 입사복사를 흡수하는 이상물체로 흡수율이 1이다.
회색체는 흡수율과 방사율이 파장에 무관하게 일정한 물체이되 그 값은 보통 1보다 작다.
복사 에너지는 파장이 짧을수록 크며, 광자 에너지는 $E = hc/\lambda$ 관계를 따른다.

선지별 해설

① O: 복사 열전달은 전자기파에 의해 전달되므로 진공에서도 빛의 속도로 전파된다.
② O: 흑체는 입사한 복사에너지를 모두 흡수하는 이상물체이므로 흡수율이 1이다.
③ O: 회색체는 파장에 따라 흡수율이 달라지지 않는다고 보는 이상화된 물체이므로 단색 흡수율을 일정하게 본다.
④ X: 틀린 부분은 "단파장 복사의 에너지가 작다"이다. 실제로는 파장이 짧을수록 광자 1개의 에너지가 크므로 단파장 복사의 에너지가 장파장 복사보다 크다.

오답 포인트

④는 파장과 에너지의 반비례 관계를 거꾸로 기억하면 틀리기 쉽다. ③도 회색체를 단순히 어두운 물체로만 이해하면 흡수율이 파장에 대해 일정하다는 정의를 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

복사 선지는 먼저 흑체와 회색체의 정의를 확인한 뒤, 파장이 나오면 $E \propto 1/\lambda$ 관계로 짧을수록 에너지가 크다고 판단하면 된다.

암기 포인트

흑체는 흡수율 1, 회색체는 파장과 무관하게 일정, 단파장은 고에너지이다.

NoteBase

문 13. 어떤 현상에 대해 9개의 변수가 있고, 변수들의 독립된 차원이 5개이다. 무차원 매개변수의 개수는? (단, 무차원 매개변수는 서로 독립이다)

① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 버킹엄 Π정리를 이용해 서로 독립인 무차원 매개변수의 개수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 변수 9개, 변수들의 독립된 차원 5개이다.
구해야 할 값: 서로 독립인 무차원 매개변수의 개수이다.
주의할 조건: 문제에서 무차원 매개변수도 서로 독립이라고 했으므로 버킹엄 Π정리의 결과를 그대로 적용한다.

사용할 공식

버킹엄 Π정리에 따르면 서로 독립인 무차원 매개변수의 개수는 $n - r$이다. 여기서 n은 변수의 수, r은 독립된 기본 차원의 수이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 현상을 이루는 변수 수와 독립 차원 수를 주고 무차원군의 개수를 직접 묻고 있으므로 $n - r$를 적용하는 상황이다.

계산 과정

1. 변수의 수는 $n = 9$이다.
2. 독립된 차원의 수는 $r = 5$이다.
3. 따라서 무차원 매개변수의 개수는 $n - r = 9 - 5 = 4$이다.

선지별 해설

① X: 무차원 매개변수의 개수는 2가 아니다. 계산 결과가 4이므로 틀린 표현은 '2'이고, 올바르게는 '4'이다.
② X: 무차원 매개변수의 개수는 3이 아니다. 계산 결과가 4이므로 틀린 표현은 '3'이고, 올바르게는 '4'이다.
③ O: $n - r = 9 - 5 = 4$이므로 4가 맞다. 변수 9개에서 독립 차원 5개를 제외하면 서로 독립인 무차원군 4개가 남는다.
④ X: 무차원 매개변수의 개수는 5가 아니다. 계산 결과가 4이므로 틀린 표현은 '5'이고, 올바르게는 '4'이다.

NoteBase

오답 포인트

독립된 차원의 개수 r를 무차원 매개변수의 개수로 그대로 착각하면 ④로 가기 쉽다. 변수 수와 차원 수의 차를 구하지 않고 다른 식을 떠올리면 ①이나 ② 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

차원해석에서 변수의 수와 독립된 차원의 수가 주어지면 먼저 버킹엄 Π 정리의 $n - r$를 떠올린다. 변수 개수에서 독립 차원 개수를 뺀 값이 서로 독립인 무차원 매개변수의 개수이다.

암기 포인트

버킹엄 Π 정리의 핵심은 '무차원군 개수 = 변수 수 - 독립 차원 수'이다.

NoteBase

문 14. Grashof 수는 유체의 자연대류 현상을 분석하는 데 필요한 무차원수이다. Grashof 수를 구성하는 요소가 아닌 것은?

① 비열

② 밀도

③ 점도

④ 체적팽창계수

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Grashof 수가 자연대류에서 무엇의 비를 나타내며 어떤 물성이 식에 들어가는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Grashof 수는 자연대류에서 부력과 점성력의 상대적 크기를 나타내는 무차원수이다. 대표식은 $Gr = \frac{g\beta\Delta T L^3}{\nu^2}$ 이다. 따라서 중력가속도, 체적팽창계수, 온도차, 대표길이, 점도 성질은 들어가지만 비열은 들어가지 않는다.

선지별 해설

① X

비열은 유체가 열을 저장하는 능력을 나타내는 열용량 성질이므로 Grashof 수의 식에 포함되지 않는다. 틀린 부분은 "비열"이다. 올바르게는 Grashof 수는 부력과 점성력의 비를 이루는 항들로 구성된다.

② O

밀도는 대표식에 직접 드러나지 않지만 동점도 $\nu = \mu/\rho$로 풀어 쓰면 포함되는 물성이다. 따라서 밀도는 Grashof 수를 구성하는 요소에서 완전히 배제되지 않는다.

③ O

정확히는 식에 들어가는 것은 동점도 ν이지만, 이는 점성 효과를 나타내는 항이므로 점도 성질이 구성 요소에 해당한다. 점성 저항이 클수록 Grashof 수는 작아진다.

④ O

체적팽창계수 β는 온도 변화가 밀도 차이를 만들고 그 밀도 차이가 부력으로 이어지는 정도를 나타낸다. 자연대류의 핵심 원인이므로 Grashof 수에 반드시 들어간다.

NoteBase

오답 포인트

밀도는 대표식에 눈에 바로 보이지 않고, 점도는 동점도와 점도의 표현이 섞여 나와 혼동하기 쉽다. 이런 문항은 식에 직접 보이는 항만 기계적으로 찾으면 ②를 고르기 쉽지만, 비열은 애초에 부력이나 점성 저항과 연결되지 않는다는 점이 결정적이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자연대류 무차원수는 먼저 "부력을 만드는 항"과 "그 부력에 저항하는 점성 항"으로 나누어 본다. $g, \beta, \Delta T, L, \nu$ 계열은 남고, 열용량 성질인 비열 c_p가 보이면 제외하는 방식으로 판단한다.

암기 포인트

Grashof 수는 자연대류의 부력 대 점성력 비이며, 비열은 구성 요소가 아니다.

NoteBase

문 15. 동일한 원통형 기공에서 Knudsen 확산계수가 가장 큰 것은? (단, 네온과 아르곤의 원자량은 각각 20, 40이다)

① 네온, 300 K

② 네온, 350 K

③ 아르곤, 500 K

④ 아르곤, 550 K

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 동일한 기공에서 Knudsen 확산계수의 비례식 $D_K \propto \sqrt{T/M}$를 이용해 상대적 크기를 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 같은 원통형 기공이므로 기공 반지름은 모두 같다.
비교 대상: 네온 300 K, 네온 350 K, 아르곤 500 K, 아르곤 550 K이다.
주의할 조건: 같은 기공에서는 D_K의 크기가 $\sqrt{T/M}$의 크기 비교와 같으므로, 대소 비교에서는 T/M만 계산해도 된다.

사용할 공식

$D_K = C\sqrt{\frac{T}{M}}$
여기서 C는 같은 기공에서는 일정한 상수이다.
이 공식을 쓰는 이유: Knudsen 확산은 기체-벽 충돌이 지배적이므로, 같은 기공에서는 온도 T가 높을수록 크고 분자량 M이 작을수록 크기 때문이다.

계산 과정

1. 같은 기공이므로 D_K의 대소는 $\sqrt{T/M}$의 대소와 같다.
2. 제곱근 함수는 단조증가이므로 T/M만 비교해도 된다.
3. 각 선지의 T/M은 ① $300/20 = 15$, ② $350/20 = 17.5$, ③ $500/40 = 12.5$, ④ $550/40 = 13.75$이다.
4. 가장 큰 값은 17.5이므로 ②의 Knudsen 확산계수가 가장 크다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 네온이라 분자량은 작지만 $T/M = 15$이다. ②의 17.5보다 작다. 틀린 표현은 가장 크다고 보는 판단이다. 올바르게는 네온 300 K의 Knudsen 확산계수는 네온 350 K보다 작다.
② O: $T/M = 17.5$로 네 가지 경우 중 가장 크다. 같은 기공에서는 $D_K \propto \sqrt{T/M}$이므로 Knudsen 확산계수도 가장 크다.
③ X: 온도는 500 K로 높지만 아르곤의 분자량 40이 더 커서 $T/M = 12.5$에 그친다. 틀린 표현은 고온만 보고 가장 크다고 보는 판단이다. 올바르게는 아르곤 500 K의 Knudsen 확산계수는 네온 350 K보다 작다.
④ X: ③보다 크기는 하지만 $T/M = 13.75$로 ②의 17.5보다 작다. 틀린 표현은 아르곤 550 K가 최대라는 판단이다. 올바르게는 아르곤 550 K의 Knudsen 확산계수는 아르곤 500 K보다만 크고 전체 최대는 아니다.

오답 포인트

온도만 크게 보고 ④를 고르기 쉽다. 그러나 같은 기공의 Knudsen 확산 비교에서는 온도 효과와 분자량 효과를 함께 보아야 하므로, 고온이라도 분자량이 크면 전체 값이 작아질 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 기공에서 Knudsen 확산계수의 대소를 묻는 문제는 먼저 기공 크기 항을 지운 뒤 T/M만 빠르게 계산해 비교한다. 제곱근이 있어도 대소 비교에서는 T/M의 순서와 결과가 같다.

암기 포인트

같은 기공의 Knudsen 확산은 가벼울수록, 뜨거울수록 크며, 빠른 비교는 T/M 순서로 정리된다.

NoteBase

문 16. 비정상상태의 유선(streamline)에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 유맥선(streakline)과 항상 일치한다.

② 속도 포텐셜의 등선(isoline)이다.

③ 개별 유체 입자의 운동 궤적이다.

④ 유동장의 모든 곳에서 속도 벡터와 접한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비정상유동에서 유선, 유맥선, 유적선의 정의 차이와 유선의 기하학적 성질을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

유선은 어떤 순간의 속도장에서 각 점의 속도 벡터에 접하는 선이다. 유맥선은 일정한 점을 지나간 유체 입자들의 자취이다. 유적선은 개별 유체 입자가 시간에 따라 실제로 이동한 궤적이다.

선지별 해설

① X: 유선이 유맥선과 항상 일치하는 것은 정상상태일 때의 성질이다. 틀린 표현은 "항상 일치한다"이다. 비정상상태에서는 유선, 유맥선, 유적선이 서로 달라질 수 있다.
② X: 유선은 속도 포텐셜의 등선이 아니다. 틀린 표현은 "속도 포텐셜의 등선"이다. 퍼텐셜 유동에서는 유선이 등포텐셜선과 직교하는 관계가 성립한다.
③ X: 개별 유체 입자의 운동 궤적은 유적선이다. 틀린 표현은 "개별 유체 입자의 운동 궤적"이다. 유선은 한 순간의 속도 방향을 이은 선이지 입자의 시간적 이동 경로가 아니다.
④ O: 유선은 정의상 유동장의 모든 점에서 그 점의 순간 속도 벡터에 접한다. 비정상상태여도 유선을 그 순간의 속도장으로 정의한다는 점은 변하지 않는다.

오답 포인트

①과 ③은 정상유동에서 서로 같아지는 개념을 비정상유동에도 그대로 적용하면 틀리기 쉽다. 특히 "항상"과 "개별 입자의 궤적" 같은 표현이 나오면 정상유동의 일치 조건인지, 유적선의 정의인지부터 분리해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

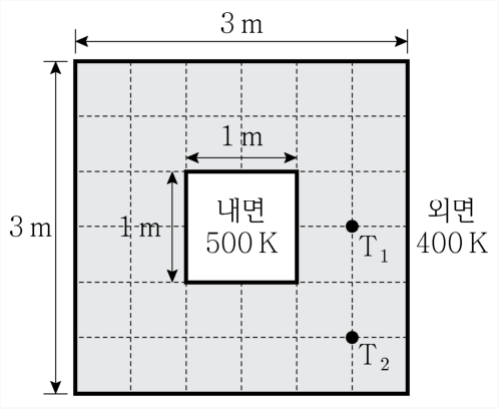
유선은 순간 속도장에 접하는 선, 유맥선은 같은 점을 지난 입자들의 자취, 유적선은 한 입자의 실제 이동 경로로 먼저 정의를 나눈 뒤 선지의 핵심 단어가 어느 정의에 해당하는지 대조하면 된다.

암기 포인트

유선은 순간 방향선, 유맥선은 지나간 입자선, 유적선은 한 입자 궤적이다.

NoteBase

문 17. 그림은 내면과 외면의 온도가 각각 500 K와 400 K로 유지되는 사각 도관의 단면이다. 도관에서의 열 발생은 없으며, 열전도도는 일정하다. 정상상태에서 열전도만을 고려할 때, T_1과 T_2에서의 온도 차이[K]는? (단, 그림 내 격자의 간격은 모두 동일하고, 온도 차이는 절댓값으로 계산한다)



① 5

② 10

③ 25

④ 50

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 2차원 전도에서 내부 발열이 없고 열전도도가 일정할 때, 각 격자점 온도가 상하좌우 네 점 온도의 산술평균이 된다는 유한차분 원리로 $T_1 - T_2$를 구하는 문제이다.

조건 정리

바깥 정사각형은 $3m \times 3m$, 안쪽 정사각형은 $1m \times 1m$이다.
내면 경계는 500 K, 외면 경계는 400 K이다.
그림의 격자 간격은 모두 같으므로 한 칸 간격은 $0.5m$이다.
형상과 경계조건이 중심선에 대해 대칭이므로 대칭 위치의 온도는 서로 같다.

사용할 공식

$$T_P = \frac{T_E + T_W + T_N + T_S}{4}$$

정상상태에서 내부 발열이 없고 k가 일정한 2차원 전도는 라플라스 방정식을 따른다. 이를 같은 간격의 격자로 이산화하면 각 내부 격자점 온도는 상하좌우 네 점의 평균으로 쓸 수 있다.

NoteBase

계산 과정

도관 단면의 왼쪽 아래 모서리를 원점으로 잡고 단위를 m로 두면, 바깥 사각형은 $(0, 0)$부터 $(3, 3)$까지이고 안쪽 사각형은 $(1, 1)$부터 $(2, 2)$까지이며 격자 간격은 0.5m이다. 즉 가로 방향 격자선은 $x = 0, 0.5, 1, \ \dots, 3$이고 세로 방향 격자선은 $y = 0, 0.5, 1, \ \dots, 3$이다.

그림에서 T_1은 안쪽 사각형의 오른쪽 변에서 한 칸 바깥, 즉 $x = 2.5m$에 있고 안쪽 사각형의 중간 높이인 $y = 1.5m$에 위치하므로 $T_1 = (2.5, 1.5)$이다. T_2는 T_1과 같은 $x = 2.5m$에서 두 칸 아래인 $y = 0.5m$에 있으므로 $T_2 = (2.5, 0.5)$이다.

오른쪽 절반의 미지 격자점을 $A = T_1 = (x = 2.5, y = 1.5)$, $B = (x = 2.5, y = 1.0)$, $C = T_2 = (x = 2.5, y = 0.5)$, $D = (x = 2.0, y = 0.5)$, $E = (x = 1.5, y = 0.5)$로 둔다.

형상과 경계조건은 안쪽 사각형의 가로 중심선인 $y = 1.5$와 세로 중심선인 $x = 1.5$에 대해 모두 대칭이다. 점 $A = T_1$은 대칭선 $y = 1.5$ 위에 있으므로 북쪽 이웃 $(2.5, 2.0)$과 남쪽 이웃 $(2.5, 1.0) = B$가 같은 온도를 가져 위쪽 이웃 온도는 B와 같다. 마찬가지로 점 E는 대칭선 $x = 1.5$ 위에 있으므로 서쪽 이웃 $(1.0, 0.5)$와 동쪽 이웃 $(2.0, 0.5) = D$가 같은 온도를 가져 왼쪽 이웃 온도는 D와 같다.

각 점의 네 이웃 중 경계에 닿는 값을 정리하면 다음과 같다. A는 동쪽 이웃이 외면 400 K, 서쪽 이웃이 내면 500 K이고 남북은 모두 B이다. C는 동쪽 이웃과 남쪽 이웃이 모두 외면 400 K이다. D는 남쪽 이웃이 외면 400 K, 북쪽 이웃 $(2.0, 1.0)$이 안쪽 사각형의 오른쪽 아래 모서리여서 내면 500 K이다. E는 북쪽 이웃이 내면 500 K, 남쪽 이웃이 외면 400 K이다.

따라서

$$A = \frac{500 + 400 + B + B}{4} = 225 + \frac{B}{2}$$

$$4B = 500 + 400 + A + C$$

$$4C = B + D + 400 + 400 = B + D + 800$$

$$4D = E + C + 500 + 400 = E + C + 900$$

$$E = \frac{D + D + 500 + 400}{4} = 225 + \frac{D}{2}$$

이를 풀면

$$A = T_1 = \frac{2675}{6}K, \qquad C = T_2 = \frac{2525}{6}K$$

이므로

$$|T_1 - T_2| = \frac{2675 - 2525}{6} = \frac{150}{6} = 25K$$

이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
온도 차이를 5 K로 본 값이다. 유한차분 연립방정식을 풀면 $|T_1 - T_2| = 25K$이므로 맞지 않는다. 틀린 표현은 온도 차이를 5 K로 본 점이고, 올바르게는 25 K이다.

② X
온도 차이를 10 K로 본 값이다. 계산 결과 $T_1 = 2675/6K$, $T_2 = 2525/6K$이므로 차이는 25 K이다. 틀린 표현은 온도 차이를 10 K로 본 점이고, 올바르게는 25 K이다.

③ O
유한차분 평균식을 대칭조건과 함께 적용하면 $|T_1 - T_2| = 25K$가 나온다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X
온도 차이를 50 K로 본 값이다. 외면과 내면의 전체 온도차 100 K를 국부 두 점 차이에 과대하게 반영하면 이런 값이 나오기 쉽지만, 실제 격자해는 25 K이다. 틀린 표현은 온도 차이를 50 K로 본 점이고, 올바르게는 25 K이다.

오답 포인트

이 문항은 같은 x좌표에 있는 두 점이라는 이유로 T_1과 T_2를 1차원 직선 보간으로 처리하면 오답이 된다. ①, ②처럼 작은 값을 고르면 주변 500 K 경계의 영향을 과소평가한 경우가 많고, ④처럼 큰 값을 고르면 전체 경계 온도차 100 K를 점온도 차이로 직접 옮긴 경우가 많다.

다시 나오면 이렇게 판단

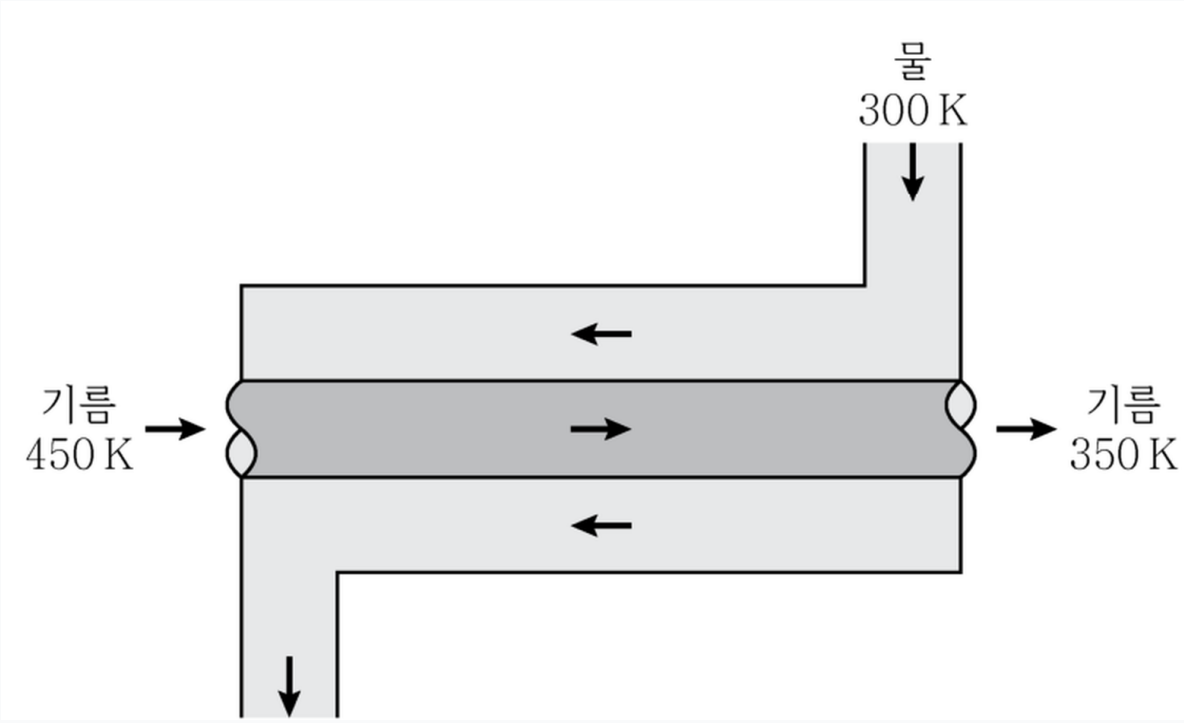
격자 간격이 동일하고 정상상태, 내부 발열 없음, 열전도도 일정 조건이 함께 보이면 라플라스 격자 평균식을 먼저 세운다. 그다음 대칭선은 같은 온도 또는 단열 조건으로 바꾸어 미지수를 줄인 뒤 연립방정식을 푼다.

암기 포인트

정상 2차원 전도 격자법의 핵심은 '내부 격자점 온도 = 상하좌우 평균'이고, 대칭선은 같은 위치 온도가 서로 같다는 점이다.

NoteBase

문 18. 단열상태의 일회 통과형 향류흐름 열교환기에 온도가 $450K$인 기름을 $2kgs^{-1}$의 질량 유량으로 통과시켜 $350K$로 냉각시킨다. 냉각 매체로는 온도가 $300K$인 물이 사용되며, 열교환기에 유입되는 물의 질량 유량은 $2kgs^{-1}$이다. 총괄열전달계수가 $400Wm^{-2}K^{-1}$일 때, 열전달 면적[m^2]은? (단, 열교환기는 열 손실이 없는 정상상태로 운전되며, 내부 도관의 열저항은 무시한다. 기름과 물의 비열은 각각 $2{,}000Jkg^{-1}K^{-1}$과 $4{,}000Jkg^{-1}K^{-1}$로 일정하며, $\ln 2 = 0.7$로 계산한다)



① $\frac{14}{3}$

② $\frac{28}{3}$

③ 14

④ $\frac{56}{3}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 향류 열교환기에서 에너지수지와 대수평균온도차를 이용해 열전달 면적을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- 기름: $T_{h,in}=450K$, $T_{h,out}=350K$, $\dot{m}_h=2kgs^{-1}$, $c_{p,h}=2000Jkg^{-1}K^{-1}$
- 물: $T_{c,in}=300K$, $\dot{m}_c=2kgs^{-1}$, $c_{p,c}=4000Jkg^{-1}K^{-1}$
- 총괄열전달계수: $U=400Wm^{-2}K^{-1}$

구해야 할 값: 열전달 면적 A
주의할 조건: 단열 정상상태이므로 뜨거운 유체가 잃은 열량과 차가운 유체가 얻은 열량이 같고, 향류이므로 양 끝의 온도차로 대수평균온도차를 구한다.

사용할 공식

$Q=\dot{m}_h c_{p,h}(T_{h,in}-T_{h,out})=\dot{m}_c c_{p,c}(T_{c,out}-T_{c,in})$
$Q=UA\Delta T_{lm},\quad \Delta T_{lm}=\frac{\Delta T_1-\Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$
이 공식을 쓰는 이유: 열교환기가 단열 정상상태로 운전되므로 먼저 열량수지로 물의 출구온도를 구할 수 있고, 향류 열교환기이므로 총괄 전열식에는 대수평균온도차를 써야 한다.

계산 과정

1. 기름이 잃는 열량은 $Q=2\times2000\times(450-350)=4.0\times10^5W$이다.
2. 물의 출구온도는 $4.0\times10^5=2\times4000\times(T_{c,out}-300)$이므로 $T_{c,out}=350K$이다.
3. 향류 열교환기 양 끝의 온도차는 $\Delta T_1=450-350=100K$, $\Delta T_2=350-300=50K$이다.
4. 문제에서 $\ln 2=0.7$로 계산하라고 했으므로 $\Delta T_{lm}=\frac{100-50}{\ln(100/50)}=\frac{50}{\ln 2}=\frac{50}{0.7}\approx71.4K$이다.
5. 따라서 열전달 면적은 $A=\frac{Q}{U\Delta T_{lm}}=\frac{4.0\times10^5}{400\times71.4}=14m^2$이다.

선지 판단

① X: 열전달 면적을 $14/3m^2$로 본 값이다. 에너지수지와 향류 LMTD를 적용하면 $A=14m^2$가 되어 맞지 않는다. 틀린 수치 14/3 대신 올바르게는 $14m^2$이다.
② X: 열전달 면적을 $28/3m^2$로 본 값이다. 물의 출구온도와 대수평균온도차를 반영하면 면적은 이보다 커져 $14m^2$가 된다. 틀린 수치 28/3 대신 올바르게는 $14m^2$이다.
③ O: $Q=4.0\times10^5W$, $\Delta T_{lm}=50/0.7\approx71.4K$이므로 $A=14m^2$가 된다. 계산 결과와 일치한다.
④ X: 열전달 면적을 $56/3m^2$로 본 값이다. 주어진 U, 열량, 향류 LMTD를 대입하면 $14m^2$가 맞으므로 과대평가된 값이다. 틀린 수치 56/3 대신 올바르게는 $14m^2$이다.

오답 포인트

향류 열교환기라는 조건을 놓치고 단순 온도차나 산술평균온도차를 쓰면 오답이 된다. 또 물의 출구온도를 먼저 열량수지로 구하지 않으면 ΔT_1, ΔT_2를 잘못 잡아 면적이 틀어진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

열교환기 계산형 문제는 먼저 뜨거운 유체의 열량 변화로 Q를 구하고, 그 열량으로 차가운 유체 출구온도를 구한 뒤, 흐름방향에 맞는 ΔT_{lm}을 계산해서 마지막에 $Q = UA\Delta T_{lm}$에 대입하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

향류 열교환기 면적은 열량수지로 출구온도부터 맞춘 뒤 $Q = UA\Delta T_{lm}$에 넣으면 된다.

NoteBase

문 19. 초기 온도 T_0의 금속구 A, B를 각각 온도 T_∞의 유체로 채워진 용기에 담갔다. A의 반지름은 B의 2배이고, 대류 열전달계수는 서로 동일하다. 구의 온도 T가 주어진 관계식을 따를 때, $T = 2T_0$가 되는 데 걸리는 시간은 A가 B의 몇 배인가? (단, A와 B는 동일한 금속이고, 용기는 매우 크다)

$\frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty} = \exp(-\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo})$
Bi는 Biot 수, Fo는 Fourier 수

① 1

② 2

③ 4

④ 8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 $\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}$의 정의를 풀어 같은 온도비에 도달하는 시간을 반지름과 연결하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 A의 반지름이 B의 2배이고, 두 구의 대류 열전달계수 h와 재질이 같다는 점이다.
구해야 할 값은 목표 온도 $T = 2T_0$에 도달하는 시간비 t_A/t_B이다.
이때 $T = 2T_0$라는 목표 온도가 실제로 도달 가능하려면 유체 온도가 $T_\infty > 2T_0$여야 한다. 구가 T_0에서 출발해 T_∞를 향해 가열되는 동안 온도가 $2T_0$를 지나려면 $2T_0$가 T_0와 T_∞ 사이에 있어야 하기 때문이다(이때 좌변 비는 0과 1 사이 값이 된다).
같은 T_0, 같은 T_∞, 같은 목표 온도이므로 $(T-T_\infty)/(T_0-T_\infty)$ 값은 두 구에서 동일하다.

사용할 공식

$\frac{T-T_\infty}{T_0-T_\infty} = \exp(-\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo})$
$\mathrm{Bi} = \frac{hL_c}{k}, \qquad \mathrm{Fo} = \frac{\alpha t}{L_c^2}, \qquad \alpha = \frac{k}{\rho c_p}$
구는 특성길이 $L_c = V/A = r/3$이므로
$\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo} = \frac{hL_c}{k}\cdot\frac{\alpha t}{L_c^2} = \frac{h\alpha t}{kL_c} = \frac{ht}{\rho c_p L_c}$
이 식은 같은 재질과 같은 h 조건에서는 $\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo} \propto t/L_c$가 됨을 뜻한다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 구가 같은 온도비에 도달할 때 지수부 $\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}$가 같아져 시간비를 바로 비교할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 목표 온도가 같으므로 좌변 $(T-T_\infty)/(T_0-T_\infty)$ 값이 A와 B에서 같다. 즉 두 구가 같은 좌변 값에 도달하는 시점을 비교하는 것이다.
2. 좌변이 같으면 우변 $\exp(-\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo})$도 같아야 하므로 지수부도 같아서 $(\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo})_A=(\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo})_B$이다.
3. 같은 금속, 같은 h에서는 $\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}\propto t/L_c$이므로 $t\propto L_c$이다.
4. 구에서 $L_c=r/3$이므로 $t\propto r$이다.
5. 따라서 $r_A=2r_B$이면 $t_A=2t_B$가 되어 $t_A/t_B=2$이다.

선지별 해설

① X: 1배가 되려면 반지름 차이가 시간식에 전혀 반영되지 않아야 한다. 그러나 이 식에서는 $\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}\propto t/L_c$이고 $L_c\propto r$이므로 반지름이 큰 A가 더 오래 걸린다. 틀린 표현은 시간비를 1로 본 점이고, 올바르게는 2배이다.
② O: 같은 온도비에 도달할 때 필요한 $\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}$ 값은 동일하고, 같은 재질의 구에서는 시간 t가 반지름 r에 비례한다. 따라서 A의 반지름이 B의 2배이면 시간도 2배이다.
③ X: 4배는 $\mathrm{Fo}=\alpha t/L_c^2$만 따로 보고 시간 $t\propto r^2$로 오해할 때 나오는 값이다. 이 문제에서는 Bi도 함께 곱해져 L_c 하나가 약분되므로 최종적으로 $t\propto r$이다. 틀린 표현은 시간비를 4로 본 점이고, 올바르게는 2배이다.
④ X: 8배는 구의 부피가 반지름의 세제곱에 비례한다는 사실만 보고 시간도 부피비를 따른다고 착각할 때 나오는 값이다. 여기서 시간은 단순한 부피비가 아니라 V/A, 즉 특성길이에 비례한다. 틀린 표현은 시간비를 8로 본 점이고, 올바르게는 2배이다.

오답 포인트

Fo만 보고 시간이 r^2에 비례한다고 단정하거나, 구의 부피비 $2^3=8$를 그대로 시간비에 대입하는 실수가 가장 흔하다. 이 문항은 반드시 $\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo}$ 전체를 묶어서 보고, 구의 특성길이 $L_c=V/A=r/3$를 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

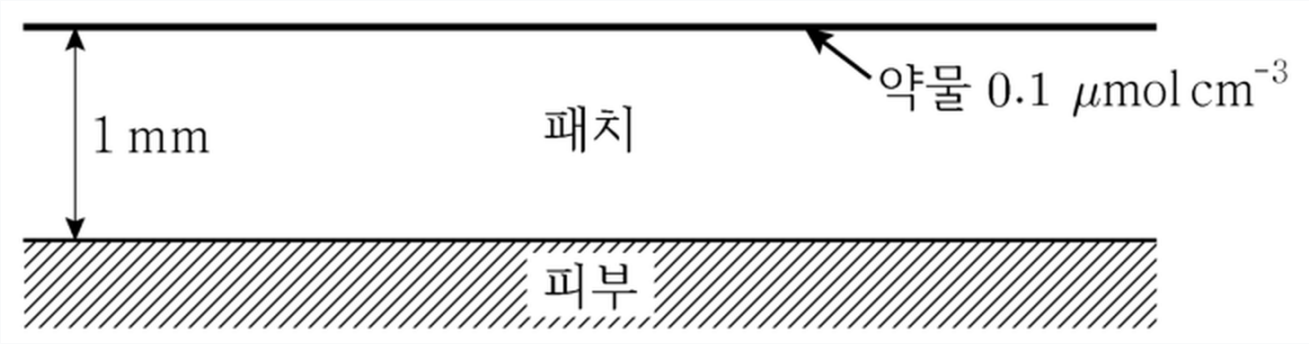
집중용량형 온도식이 $\exp(-\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo})$ 꼴로 주어지면 먼저 같은 목표 온도에서 지수부가 같다는 점을 잡고, 다음에 Bi와 Fo를 곱해 특성길이 L_c가 몇 제곱으로 남는지 확인하면 된다.

암기 포인트

구의 특성길이는 $L_c=V/A=r/3$이고, 같은 재질의 $\exp(-\mathrm{Bi}\cdot\mathrm{Fo})$ 문제에서는 시간비가 반지름비로 정리된다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 의료용 패치 상단 면에 약물을 지속적으로 공급하여, 패치 영역 최상단에서의 약물 농도를 0.1 μmolcm^{-3}로 유지한다. 패치의 두께는 1mm이고, 피부와의 접촉 면적은 10cm^{2}이다. 패치 내에서 약물의 확산계수가 1.0×10^{-7}cm^{2}s^{-1}일 때, 1,000초 동안 체내로 흡수되는 약물의 총량[mol]은? (단, 정상상태의 단일방향 확산을 통한 약물의 전달만을 고려하며, 피부까지 전달된 약물은 즉시 체내로 흡수된다)



① 10^{-10}

② 10^{-9}

③ 10^{-8}

④ 10^{-7}

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 1차원 확산에서 Fick 제1법칙을 적용해 1,000초 동안 패치를 통과한 약물 총몰수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 패치 상단 농도 $0.1\mu molcm^{-3}$, 패치 하단 농도 0으로 본다, 패치 두께 $1mm = 0.1cm$, 접촉 면적 $10cm^2$, 확산계수 $1.0 \times 10^{-7}cm^2s^{-1}$, 시간 $1000s$이다.
구해야 할 값: 1,000초 동안 체내로 흡수된 약물 총량 n이다.
주의할 조건: 피부에 도달한 약물은 즉시 흡수되므로 피부면 농도는 sink 조건으로 0으로 둔다.

사용할 공식

정상상태 1차원 확산 플럭스는 $J = D\frac{\Delta C}{L}$ 이고, 총 전달량은 $n = JAt$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 정상상태의 단일방향 확산만 고려하고, 피부에 닿는 즉시 흡수된다고 했으므로 패치 하단은 sink 조건이 되어 농도구배가 일정한 막확산 문제로 볼 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 농도차는 $\Delta C = 0.1 - 0 = 0.1 \mu mol cm^{-3}$이다.
2. 플럭스는 $J = D\frac{\Delta C}{L} = 1.0 \times 10^{-7} \times \frac{0.1}{0.1} = 1.0 \times 10^{-7} \mu mol cm^{-2} s^{-1}$ 이다.
3. 총 전달량은 $n = JAt = 1.0 \times 10^{-7} \times 10 \times 1000 = 1.0 \times 10^{-3} \mu mol$ 이다.
4. 단위 환산을 하면 $1.0 \times 10^{-3} \mu mol = 1.0 \times 10^{-9} mol$ 이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $1.0 \times 10^{-9} mol$이므로 $10^{-10} mol$은 10배 작은 값이다. 체내 흡수 총량은 $10^{-10} mol$이 아니라 $10^{-9} mol$이다. 이 값은 $1 mm$를 $1 cm$처럼 잘못 두면 나올 수 있다.
② O: $J = D\Delta C/L$와 $n = JAt$를 적용하면 총량이 정확히 $1.0 \times 10^{-9} mol$이 된다. 따라서 ②가 옳다.
③ X: $10^{-8} mol$은 정답보다 10배 큰 값이다. 체내 흡수 총량은 $10^{-8} mol$이 아니라 $10^{-9} mol$이다. 이 값은 $1 mm$를 $0.01 cm$로 잘못 바꾸는 식의 두께 환산 오류에서 나올 수 있다.
④ X: $10^{-7} mol$은 정답보다 100배 큰 값이다. 체내 흡수 총량은 $10^{-7} mol$이 아니라 $10^{-9} mol$이다. 이 값은 두께나 단위 환산을 연속해서 크게 틀릴 때 생기는 과대평가이다.

오답 포인트

이 문항의 핵심 함정은 세 가지이다. 첫째, 피부에 닿으면 즉시 흡수된다는 문장을 보고 하단 농도를 0으로 두어야 한다. 둘째, $1 mm = 0.1 cm$ 환산을 빼먹으면 값이 10배씩 흔들린다. 셋째, 마지막에 μmol을 mol로 바꾸는 과정에서 10^{-6}을 한 번 더 반영해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

정상상태 막확산 문제는 sink 조건 확인, 길이 단위 환산, $J = D\Delta C/L$ 계산, 마지막에 $n = JAt$로 총량 환산의 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

정상상태 패치 확산은 $J = D\Delta C/L$, 총량은 $n = JAt$, 그리고 $1 mm = 0.1 cm$, $1 \mu mol = 10^{-6} mol$이다.

NoteBase

문 21. $A + 2B \rightarrow 3C$의 반응이 일어나는 표면에서 A의 몰 플럭스와 같은 것은? (단, N_B와 N_C는 각각 B와 C의 몰 플럭스이다)

① $\frac{1}{2}N_B$

② $2N_B$

③ $\frac{1}{3}N_C$

④ $3N_C$

정답 1번

출제 포인트

표면반응의 화학양론으로부터 각 성분의 몰 플럭스 비와 부호 관계를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응은 $A + 2B \rightarrow 3C$이다.
구해야 할 값은 A의 몰 플럭스 N_A와 같은 식이다.
몰 플럭스는 같은 기준방향으로 잡은 부호 포함 값으로 본다.

사용할 공식

화학양론적 표면반응에서는 $N_i = u_i r$이므로 $N_A : N_B : N_C = -1 : -2 : 3$이다.
즉 $\frac{N_A}{-1} = \frac{N_B}{-2} = \frac{N_C}{3}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 표면에서 각 성분의 생성·소모 속도가 반응식 계수비를 그대로 따르기 때문이다.

계산 과정

1. 반응식 $A + 2B \rightarrow 3C$에서 A와 B는 반응물이라 소모되고 C는 생성된다.
2. 따라서 몰 플럭스의 부호 포함 비는 $N_A : N_B : N_C = -1 : -2 : 3$이다.
3. 여기서 $N_A = \frac{1}{2}N_B$이고, 동시에 $N_A = -\frac{1}{3}N_C$이다.

선지별 해설

① O: $N_A : N_B = -1 : -2$이므로 $N_A = \frac{1}{2}N_B$가 된다. 두 성분 모두 반응물이라 부호도 같고 계수비만 1:2로 반영된다.
② X: $2N_B$는 계수비를 거꾸로 읽은 식이다. 틀린 표현은 \"$N_A = 2N_B$\"이고, 올바르게는 \"$N_A = \frac{1}{2}N_B$\"이다.
③ X: C는 생성물이므로 A와 부호가 반대이다. 틀린 표현은 \"$N_A = \frac{1}{3}N_C$\"이고, 올바르게는 \"$N_A = -\frac{1}{3}N_C$\"이다. 크기만 보면 $|N_A| = \frac{1}{3}|N_C|$이다.
④ X: C와의 관계를 계수와 부호 모두 잘못 쓴 식이다. 틀린 표현은 \"$N_A = 3N_C$\"이고, 올바르게는 \"$N_A = -\frac{1}{3}N_C$\"이다.

NoteBase

오답 포인트

③을 고르기 쉬운 이유는 생성물 C의 부호를 빼고 계수 1:3만 보는 실수 때문이다. 이 문항은 단순한 계수비 암기가 아니라 반응물은 음의 화학양론계수, 생성물은 양의 화학양론계수라는 부호 관계까지 같이 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

표면반응 플럭스 문제는 먼저 반응물과 생성물을 나눠 부호를 정한 뒤, 반응식 계수비를 그대로 연결해 $N_i = u_i r$ 형태로 쓴다. 그다음 같은 종류의 성분끼리 계수비를 맞추고, 생성물과 비교할 때는 부호 반전이 있는지 확인한다.

암기 포인트

표면반응 몰 플럭스는 $N_i \propto u_i$이다. 반응물끼리는 계수비, 생성물과는 계수비에 부호까지 함께 본다.

NoteBase

문 22. 필름 근처의 흐름이 두께 δ의 층류 경계층을 형성한다. 필름은 용해되어 두께 δ_c의 농도 경계층을 형성하며, 용해된 필름의 확산계수(D)는 일정하다. 주어진 관계식을 이용할 때, δ_c에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 모든 변수는 0보다 크다)

$\delta = 5\sqrt{\frac{\mu L}{\rho U}}$
$\delta_c = \frac{\delta}{Sc^{1/3}}$
μ는 유체의 점도, L은 선단(leading edge)으로부터의 거리,
ρ는 유체의 밀도, U는 벌크흐름 유속, Sc는 Schmidt 수

① δ_c는 δ보다 항상 작다.

② U만 증가하면, δ_c는 증가한다.

③ ρ와 μ만 각각 2배가 되면, δ_c는 증가한다.

④ μ와 D만 각각 0.25배, 2배가 되면, δ_c는 변하지 않는다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 $\delta = 5\sqrt{\mu L/(\rho U)}$, $\delta_c = \delta/Sc^{1/3}$, $Sc = \mu/(\rho D)$를 결합해 δ_c의 변수 의존성을 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 층류 경계층 두께 $\delta = 5\sqrt{\mu L/(\rho U)}$, 농도 경계층 두께 $\delta_c = \delta/Sc^{1/3}$이다. Schmidt 수는 $Sc = \mu/(\rho D)$이므로 δ_c는 μ, ρ, U, D에 모두 의존한다. 모든 변수는 0보다 크므로 부호 반전은 없다.

사용할 공식

$\delta_c = \frac{\delta}{Sc^{1/3}} = 5\sqrt{\frac{\mu L}{\rho U}}\left(\frac{\rho D}{\mu}\right)^{1/3} \propto \mu^{1/6}\rho^{-1/6}L^{1/2}U^{-1/2}D^{1/3}$
이 공식을 쓰는 이유는 각 선지가 δ_c가 어떤 변수 변화에 따라 증가, 감소, 불변하는지를 묻기 때문이다.
비례식으로 정리하면 선지 판단이 바로 가능하다.

계산 과정

1. $Sc = \mu/(\rho D)$를 $\delta_c = \delta/Sc^{1/3}$에 대입한다.
2. $\delta = 5\sqrt{\mu L/(\rho U)}$를 다시 대입해 $\delta_c \propto \mu^{1/6}\rho^{-1/6}L^{1/2}U^{-1/2}D^{1/3}$로 정리한다.
3. 따라서 δ_c는 μ가 커질수록 아주 완만하게 증가하고, ρ가 커질수록 감소하며, U가 커질수록 감소하고, D가 커질수록 증가한다.

NoteBase

선지별 해설

① X. $\delta_c = \delta/Sc^{1/3}$이므로 $Sc > 1$이면 $\delta_c < \delta$이지만, $0 < Sc < 1$이면 $\delta_c > \delta$도 가능하다. 틀린 표현은 '항상 작다'이다. 올바르게는 'Schmidt 수가 1보다 크면 δ_c는 δ보다 작다'이다.
② X. $\delta_c \propto U^{-1/2}$이므로 U만 증가하면 δ_c는 감소한다. 틀린 표현은 '증가한다'이다. 올바르게는 'U만 증가하면 δ_c는 감소한다'이다.
③ X. $\delta_c \propto \mu^{1/6}\rho^{-1/6}$이므로 μ와 ρ를 각각 2배로 하면 변화율이 $2^{1/6}\cdot 2^{-1/6} = 1$이 되어 δ_c는 변하지 않는다. 틀린 표현은 '증가한다'이다. 올바르게는 'ρ와 μ가 각각 2배가 되면 δ_c는 변하지 않는다'이다.
④ O. $\mu \to 0.25\mu$, $D \to 2D$이면 $\delta \propto \mu^{1/2}$이므로 δ는 0.5배가 된다. 한편 $Sc = \mu/(\rho D)$는 $0.25/2 = 1/8$배가 되고 $Sc^{1/3}$는 0.5배가 된다. 따라서 $\delta_c = \delta/Sc^{1/3}$는 $0.5/0.5 = 1$배로 변하지 않는다.

오답 포인트

①은 δ_c와 δ의 크기 비교를 무조건식으로 바꾼 함정이다. ②는 U가 분모 안에 있다는 점을 놓치면 증가로 잘못 보기 쉽다. ③은 μ와 ρ가 동시에 변할 때 지수와 비율이 서로 상쇄된다는 점을 놓치게 만든 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이런 변수 의존성 문제는 먼저 Sc를 기본 변수 μ, ρ, D로 풀어쓴 뒤, 최종식을 하나의 비례식으로 정리해 각 변수의 지수 부호만 본다. 증가·감소·불변 판단은 이 지수 비교로 끝난다.

암기 포인트

$\delta_c \propto \mu^{1/6}\rho^{-1/6}U^{-1/2}D^{1/3}$이므로 '점도는 약하게 증가, 밀도와 유속은 감소, 확산계수는 증가'로 기억한다.

NoteBase

문 23. 두께가 0.01mm, 면적이 0.2cm^2인 평판을 이용하여 기체 A를 두 영역으로 분리하였다. 기체 A의 분자량은 50g mol^{-1}이고, 평판에 대한 기체 A의 용해도와 확산계수는 각각 $1.0\times10^{-3}\text{mol cm}^{-3}\text{atm}^{-1}$과 $1.0\times10^{-8}\text{cm}^2\text{s}^{-1}$이다. 분리된 두 영역의 압력을 각각 1.2atm과 1.1atm으로 일정하게 유지했을 때, 10분 동안 평판을 투과한 기체 A의 질량[g]은? (단, 분리된 두 영역 내에는 기체 A만 존재하며, 정상상태의 단일방향 확산을 통한 기체 A의 투과만을 고려한다)

① 6.0×10^{-5}

② 6.0×10^{-6}

③ 6.0×10^{-7}

④ 6.0×10^{-8}

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 막 내 기체 투과에서 용해도와 확산계수를 곱한 투과도 DS를 이용해 10분 동안 이동한 기체 A의 질량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 두께 0.01mm, 면적 0.2cm2, 용해도 $S=1.0\times10^{-3}\ \text{mol cm}^{-3}\text{atm}^{-1}$, 확산계수 $D=1.0\times10^{-8}\ \text{cm}^2\text{s}^{-1}$, 압력차 $\Delta p=1.2-1.1=0.1\ \text{atm}$, 시간 10분, 분자량 $50\ \text{g mol}^{-1}$이다. 두께는 $0.01\ \text{mm}=0.001\ \text{cm}=1.0\times10^{-3}\ \text{cm}$로 바꾸어야 한다.

사용할 공식

정상상태 평판 투과에서는 막 표면 농도가 $C=Sp$를 따르므로 플럭스는 $J_A=D\frac{C_1-C_2}{L}=DS\frac{p_1-p_2}{L}$이다. 총 몰수는 $n=J_AAt$, 질량은 $m=nM$으로 구한다. 이 문제는 기체 A만 존재하고 정상상태 단일방향 확산만 고려하므로 이 식을 그대로 적용한다.

계산 과정

먼저 투과 플럭스를 구하면 $J_A=DS\frac{\Delta p}{L}=(1.0\times10^{-8})(1.0\times10^{-3})\frac{0.1}{1.0\times10^{-3}}=1.0\times10^{-9}\ \text{mol cm}^{-2}\text{s}^{-1}$이다. 10분 동안 이동한 몰수는 $n=J_AAt=(1.0\times10^{-9})(0.2)(600)=1.2\times10^{-7}\ \text{mol}$이다. 이를 질량으로 바꾸면 $m=nM=(1.2\times10^{-7})(50)=6.0\times10^{-6}\ \text{g}$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산 결과는 6.0×10^{-6} g이므로 한 자리 큰 값이다. ①의 값은 막 두께 0.01mm를 1.0×10^{-4} cm로 잘못 바꾸어 플럭스를 10배 크게 잡을 때 나오는 오답이다. 틀린 값 6.0×10^{-5} g → 올바르게는 6.0×10^{-6} g이다.
② O: $J_A = 1.0 \times 10^{-9}$ molcm^{-2}s^{-1}, $n = 1.2 \times 10^{-7}$ mol, $m = 6.0 \times 10^{-6}$ g이므로 맞다.
③ X: 계산 결과보다 10배 작은 값이다. 시간 10분을 60초로 잘못 넣거나 면적을 0.02cm^{2}처럼 10배 작게 넣을 때 나오는 전형적 오답이다. 틀린 값 6.0×10^{-7} g → 올바르게는 6.0×10^{-6} g이다.
④ X: 계산 결과보다 100배 작은 값이다. 두께와 시간 변환을 동시에 잘못 처리한 경우에 해당한다. 틀린 값 6.0×10^{-8} g → 올바르게는 6.0×10^{-6} g이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두께 mm→cm 변환과 10분→600초 변환이다. 투과식 자체는 단순하지만 길이 단위가 분모에 들어가므로 두께를 한 자리 틀리면 답도 바로 10배 틀어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

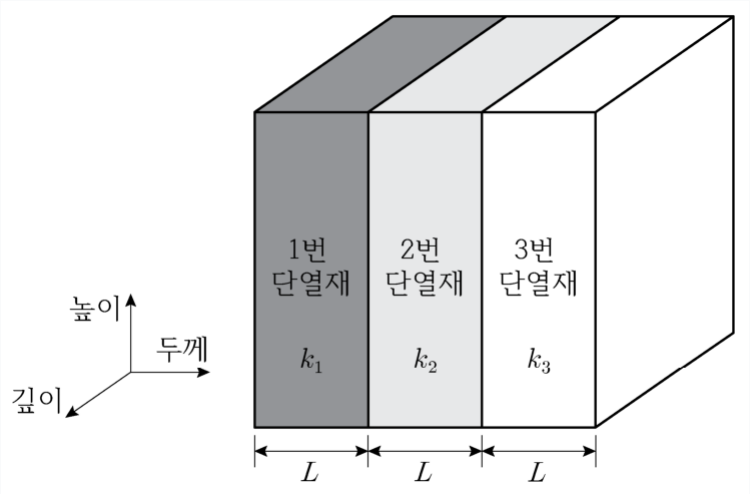
막 투과 계산은 주어진 수치를 바로 곱하기 전에 L, A, t, Δp의 단위를 먼저 맞춘 뒤
$J = DS\Delta p/L \rightarrow n = JAt \rightarrow m = nM$ 순서로 계산하면 된다.

암기 포인트

기체막 투과 질량은 $m = DS\frac{\Delta p}{L}AtM$으로 바로 정리되고, 두께는 분모이므로 단위 실수가 답의 배수를 바꾼다.

NoteBase

문 24. 그림과 같이 단면적이 같은 3가지 종류의 단열재를 공극 없이 완전히 밀착시켜 복합 단열재를 구성한다. 각 단열재의 열전도도를 배열 순서에 따라 k_1, k_2, k_3라고 할 때, $k_2 = \frac{1}{2}k_1$이고 $k_3 = \frac{1}{2}k_2$이다. 정상상태에서 복합 단열재의 유효 열전도도(effective thermal conductivity, k_{eff})는 k_1의 몇 배인가? (단, 열전도도는 일정하고, 단열재의 길이와 높이는 두께에 비하여 매우 크며, 두께 방향으로의 열전도만 고려한다)



① $\frac{1}{7}$
② $\frac{1}{5}$
③ $\frac{3}{7}$
④ $\frac{3}{5}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 두께 방향으로 직렬 배치된 복합벽의 유효 열전도도를 열저항 합으로 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

세 단열재는 단면적이 같고 두께가 각각 L이다.
열은 두께 방향으로만 흐르므로 세 층은 직렬 전도 관계이다.
$k_2 = \frac{1}{2}k_1$, $k_3 = \frac{1}{2}k_2 = \frac{1}{4}k_1$이다.
구할 값은 k_{eff}/k_1이다.

사용할 공식

직렬 복합벽에서는 각 층의 열저항이 더해지므로 $\frac{3L}{k_{eff}A} = \frac{L}{k_1A} + \frac{L}{k_2A} + \frac{L}{k_3A}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 열이 1번, 2번, 3번 단열재를 차례로 통과하므로 각 층의 저항이 직렬로 합쳐지기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

$k_2 = \frac{1}{2}k_1$, $k_3 = \frac{1}{4}k_1$를 대입하면
$\frac{3L}{k_{eff}A} = \frac{L}{A}\left(\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}\right) = \frac{L}{A}\left(\frac{1}{k_1} + \frac{2}{k_1} + \frac{4}{k_1}\right) = \frac{7L}{Ak_1}$
이다.
따라서 $\frac{3}{k_{eff}} = \frac{7}{k_1}$이므로 $k_{eff} = \frac{3}{7}k_1$이다.
즉 $k_{eff}/k_1 = \frac{3}{7}$이다.

선지 판단

① X: $\frac{1}{7}$은 직렬 열저항의 합 $\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3}$만 뒤집고 전체 두께가 $3L$인 점을 빠뜨린 값이다. 올바르게는 $k_{eff}/k_1 = \frac{3}{7}$이다.
② X: $\frac{1}{5}$는 $k_3 = \frac{1}{4}k_1$를 놓치거나 역수를 잘못 더했을 때 나오는 오답이다. 올바르게는 $1 + 2 + 4 = 7$이므로 $k_{eff}/k_1 = \frac{3}{7}$이다.
③ O: 직렬 복합벽의 등가 열저항을 적용하면 $\frac{3L}{k_{eff}A} = \frac{7L}{Ak_1}$이므로 $k_{eff} = \frac{3}{7}k_1$가 된다.
④ X: $\frac{3}{5}$는 직렬 열저항 문제를 단순 평균처럼 처리한 값으로, 열전도도가 작은 층의 저항 효과가 과소평가된다. 올바르게는 직렬 저항 합을 써서 $k_{eff}/k_1 = \frac{3}{7}$이다.

오답 포인트

세 층이 나란히 놓인 것이 아니라 두께 방향으로 연속 배치된 직렬 구조라는 점이 핵심이다. 또한 $k_3 = \frac{1}{2}k_2$이므로 $k_3 = \frac{1}{4}k_1$라는 변환을 놓치면 ② 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

복합벽 문제는 먼저 열 흐름 방향이 직렬인지 병렬인지 판별하고, 직렬이면 전체 두께를 포함한 등가 열저항식 $\frac{L_{tot}}{k_{eff}A} = \sum\frac{L_i}{k_iA}$로 바로 정리하면 된다.

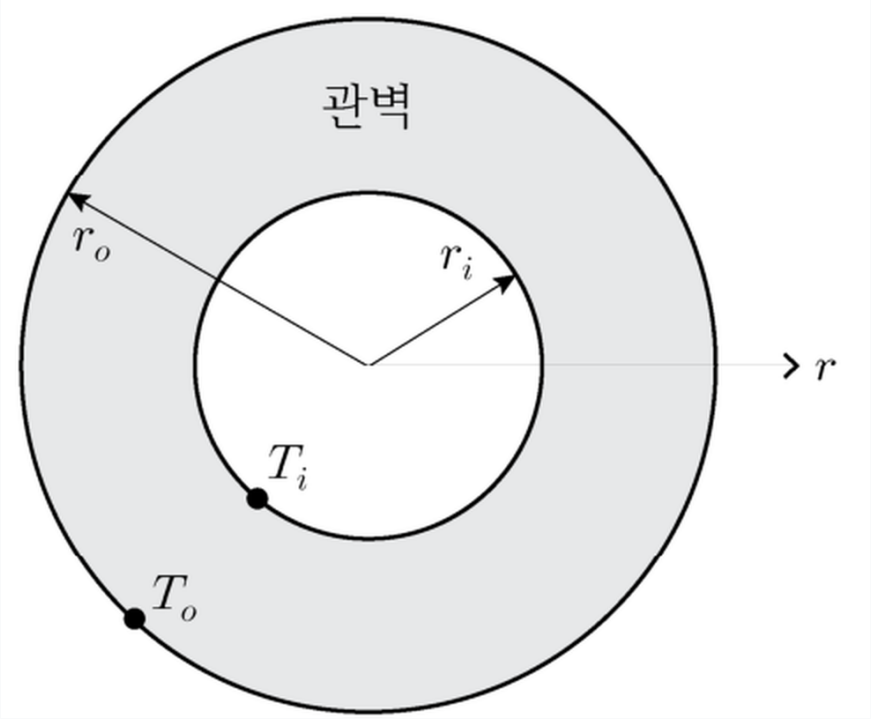
암기 포인트

직렬 복합벽의 유효 열전도도는 산술평균이 아니라 두께를 반영한 조화평균 형태로 계산된다.

NoteBase

문 25. 관벽의 내부 반지름(r_i)과 외부 반지름(r_o)이 각각 2cm, 4cm이고, 길이가 1m인 원통관이 있다. 관 내부 면의 온도(T_i)는 80 ℃이고, 외부 면의 온도(T_o)는 40 ℃이다. 관벽에서는 원통형 좌표계의 r방향 열전도만 존재한다. 정상상태에서 형상인자의 값[m]은? (단, 관벽 내 열원은 없고 관벽은 균일하며, 열전도도는 일정하다)

(열전달 속도[W]) = (열전도도) × (형상인자) × ($T_i - T_o$)



① 4π

② $\frac{2\pi}{\ln 0.5}$

③ $\frac{2\pi}{\ln 2}$

④ $\frac{200\pi}{\ln 2}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 원통벽의 반경방향 정상 열전도에서 형상인자 S를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 내부 반지름 $r_i = 2cm$, 외부 반지름 $r_o = 4cm$, 길이 $L = 1m$, 내부면 온도 $T_i = 80^\circ C$, 외부면 온도 $T_o = 40^\circ C$이다. 관벽 내 열원은 없고, k는 일정하며, 열전도는 r방향으로만 일어난다. 구해야 할 값은 $Q = kS(T_i - T_o)$에서의 형상인자 S이다.

NoteBase

사용할 공식

원통벽의 정상 1차원 열전도에서는 $Q = \frac{2\pi kL(T_i - T_o)}{\ln(r_o/r_i)}$이다. 이를 $Q = kS(T_i - T_o)$와 비교하면 형상인자는 $S = \frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)}$이다. 이 공식을 쓰는 이유는 평판이 아니라 원통 좌표계의 반경방향 전도이므로 전열면적이 반지름에 따라 변하고, 따라서 로그항이 포함되기 때문이다.

계산 과정

1. 형상인자 식에 값을 대입한다.
$S = \frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)}$
2. $L = 1m$, $r_o/r_i = 4/2 = 2$를 넣는다.
$S = \frac{2\pi \times 1}{\ln 2}$
3. 따라서 형상인자는 $\frac{2\pi}{\ln 2}m$이다.

선지 판단

① X: ①의 값 4π는 원통벽 전도에서 필요한 로그항 $\ln(r_o/r_i)$를 빠뜨린 값이다. 형상인자는 4π가 아니라 $\frac{2\pi}{\ln 2}$이다.
② X: ②의 값 $\frac{2\pi}{\ln 0.5}$는 반지름 비를 r_i/r_o로 거꾸로 넣은 값이다. $\ln 0.5 = -\ln 2$이므로 음수가 되어 형상인자가 음수처럼 나오는데, 여기서는 $\frac{2\pi}{\ln(r_o/r_i)} = \frac{2\pi}{\ln 2}$가 맞다.
③ O: $r_o/r_i = 2$, $L = 1m$이므로 $S = \frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)} = \frac{2\pi}{\ln 2}m$가 된다. 정답 조건과 일치한다.
④ X: ④의 값 $\frac{200\pi}{\ln 2}$는 길이 $1m$를 100으로 바꾸어 cm 단위 수치로 적어 놓은 형태이다. 형상인자의 단위는 길이이므로, 문제에서 [m]를 묻는 이상 올바른 값은 $\frac{2\pi}{\ln 2}m$이다.

오답 포인트

원통벽 전도를 평판 전도처럼 보아 로그항을 빼먹거나, r_o/r_i와 r_i/r_o의 순서를 뒤집거나, cm와 m를 섞어 수치만 100배로 만드는 실수가 자주 나온다. 이 문제는 ②의 부호 오류와 ④의 단위 오류를 함께 점검하는 함정이 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

원통형 열전도 문제가 나오면 먼저 평판이 아니라 반경방향 전도인지 확인하고, 형상인자를 $S = 2\pi L/\ln(r_o/r_i)$로 둔 뒤 $r_o > r_i$라서 로그값이 양수인지와 최종 단위가 길이인지까지 확인하면 된다.

암기 포인트

원통벽 형상인자는 $\frac{2\pi L}{\ln(r_o/r_i)}$이고, 바깥반지름을 위에 두는 로그비가 핵심이다.