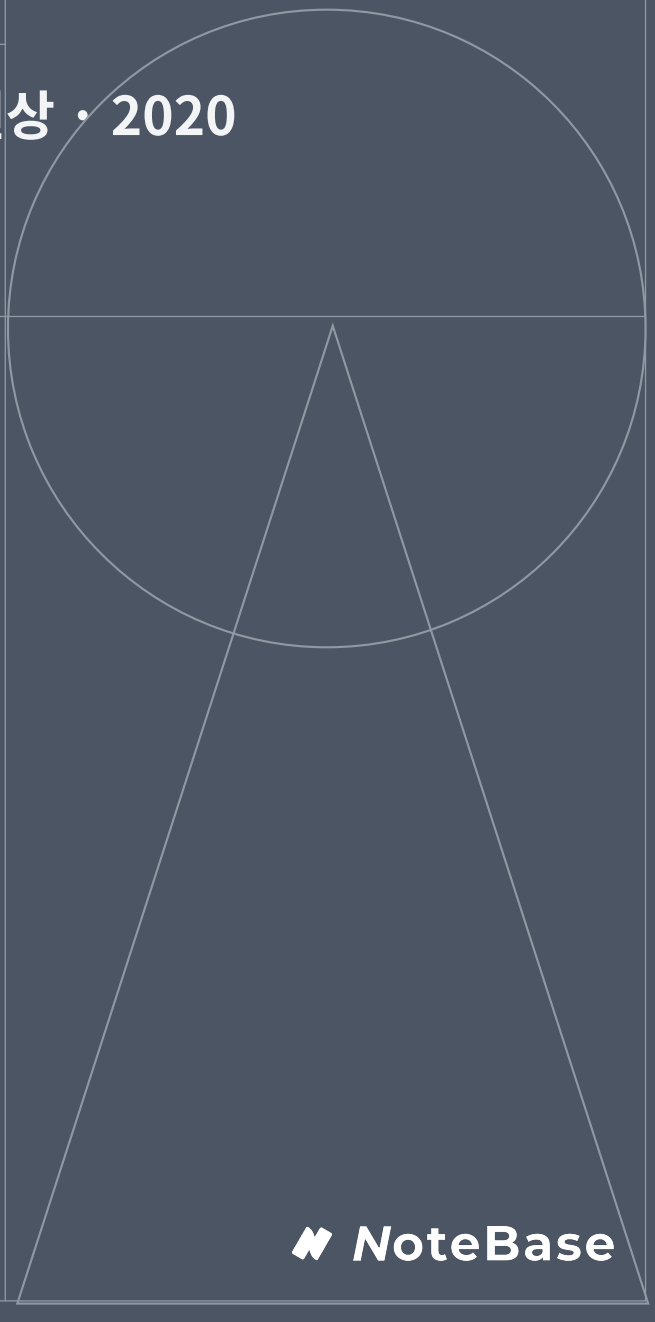
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2020



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2020

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2020

문 1. 내경이 1cm인 원형 수평관을 통해 물이 층류(laminar flow)로 흐른다. 이 관 중심에서의 유속이 0.2ms^{-1}일 때, 레이놀즈 수는? (단, 물의 흐름은 정상상태의 완전발달된 흐름이며, 물의 밀도와 점도는 각각 1gcm^{-3}와 1cP이다)

① 100

② 200

③ 1,000

④ 2,000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 원관의 완전발달 층류에서 중심 유속과 평균 유속의 관계를 적용한 뒤 레이놀즈수 Re를 계산하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 내경 $D = 1cm = 0.01m$, 중심 유속 $u_{max} = 0.2m/s$, 밀도 $\rho = 1g/cm^3 = 1000kg/m^3$, 점도 $\mu = 1cP = 0.001Pa \cdot s$이다.
- 구해야 할 값: 레이놀즈수 Re이다.
- 주의할 조건: 완전발달 층류 원관 유동이므로 평균 유속은 중심 유속의 절반인 $\bar{u} = u_{max}/2$이다.

사용할 공식

사용 공식은 $Re = \frac{\rho \bar{u} D}{\mu}$이다.

이 공식을 쓰는 이유:
레이놀즈수는 관성력과 점성력의 비를 나타내는 무차원수이며, 원관 내부 유동은 평균 유속 $\bar{u}$를 기준으로 계산한다. 이 문제는 중심 유속이 주어졌으므로 먼저 층류 포물선 속도분포에서 $u_{max} = 2\bar{u}$를 적용해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 완전발달 층류 원관 유동에서 평균 유속은 $\bar{u} = 0.2/2 = 0.1 m/s$이다.
2. 관경과 물성치를 SI 단위로 정리하면 $D = 0.01 m$, $\rho = 1000 kg/m^3$, $\mu = 0.001 Pa \cdot s$이다.
3. 따라서 $Re = \frac{1000 \times 0.1 \times 0.01}{0.001} = 1000$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과가 1000이므로 100은 맞지 않는다. 이 값은 평균 유속 또는 관경 단위 변환을 잘못 처리한 값에 가깝고, 올바르게는 레이놀즈수가 1,000이다.
② X: $Re = \rho \bar{u} D/\mu$에 주어진 값을 대입하면 200이 나올 수 없다. 중심 유속을 평균 유속으로 바꾼 뒤 SI 단위를 정확히 쓰면 올바른 값은 1,000이다.
③ O: 완전발달 층류이므로 $\bar{u} = u_{max}/2 = 0.1 m/s$를 사용하면 $Re = 1000$이 되어 정답과 일치한다.
④ X: 2,000은 중심 유속 $0.2 m/s$를 평균 유속으로 착각해 그대로 대입하면 나오는 값이다. 원관 완전발달 층류에서는 중심 유속이 평균 유속의 2배이므로 올바르게는 1,000이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 중심 유속과 평균 유속을 구분하지 못하게 하는 점이다. ④는 중심 유속을 그대로 넣었을 때 바로 나오는 값이라 가장 많이 고르기 쉽고, ①과 ②는 단위 변환이나 공식 대입을 대충 처리했을 때 흔들리기 쉬운 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

원관 유동 계산형 문제는 먼저 중심 유속인지 평균 유속인지 확인하고, 층류 완전발달 조건이면 $u_{max} = 2\bar{u}$를 적용한 뒤 $Re = \rho \bar{u} D/\mu$에 SI 단위로 대입해 판단한다.

암기 포인트

완전발달 원관 층류는 중심 유속이 평균 유속의 2배이며, 레이놀즈수는 평균 유속 기준으로 계산한다.

NoteBase

문 2. Hagen-Poiseuille 식이 적용되는 유체의 흐름에서 관의 반지름이 2배로 커질 때, 부피유량은? (단, 관의 길이, 압력차, 점도는 일정하다)

① 절반으로 줄어든다.

② 그대로 일정하다.

③ 4배가 된다.

④ 16배가 된다.

정답 4번

출제 포인트

Hagen-Poiseuille 식에서 관의 길이, 압력차, 점도가 일정하면 부피유량 Q가 관 반지름 r의 4제곱에 비례한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 관의 길이 L, 압력차 ΔP, 점도 μ는 일정하다.
변화 조건: 관의 반지름이 r에서 $2r$로 증가한다.
구해야 할 값: 부피유량 Q의 변화 배수이다.

사용할 공식

Hagen-Poiseuille 식은 $Q = \frac{\pi \Delta P r^4}{8 \mu L}$이다.
이 식을 쓰는 이유는 문제에서 관의 길이, 압력차, 점도가 일정하다고 했으므로 부피유량 변화는 반지름 r의 변화만으로 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 일정한 값들을 묶으면 $Q \propto r^4$가 된다.
2. 반지름이 2배가 되면 $r' = 2r$이다.
3. 따라서 $Q' \propto (2r)^4 = 16r^4$이므로 $Q' = 16Q$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: "절반으로 줄어든다"가 틀린 표현이다. 부피유량은 반지름에 반비례하지 않고 r^4에 비례하므로 반지름이 커지면 유량은 줄지 않는다. 올바르게는 반지름이 2배가 되면 부피유량은 16배가 된다.
② X: "그대로 일정하다"가 틀린 표현이다. 길이, 압력차, 점도가 일정하더라도 반지름이 변하면 유량이 크게 변한다. 올바르게는 반지름 변화에 따라 유량은 r^4 비율로 증가한다.
③ X: "4배가 된다"는 값이 틀리다. 4배는 반지름과 유량이 r^2 관계라고 잘못 생각할 때 나오는 오답이다. 올바르게는 Hagen-Poiseuille 식에서 4제곱 관계이므로 16배가 된다.
④ O: Hagen-Poiseuille 식에서 $Q \propto r^4$이므로 반지름을 2배로 하면 $2^4 = 16$배가 된다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 반지름과 유량의 관계를 선형이나 제곱으로 착각하는 데 있다. 특히 ③은 단면적이 r^2에 비례한다는 사실만 떠올리면 고르기 쉬운 오답이고, 실제로는 점성 유동의 유량식에서 r^4 관계를 써야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

원관 내 층류에서 Hagen-Poiseuille 식이 제시되면 먼저 $Q \propto r^4$ 관계를 확인한 뒤 반지름 변화배수를 4제곱해서 유량 변화배수를 판단한다.

암기 포인트

Hagen-Poiseuille 유량은 반지름 4제곱에 비례하므로 반지름 2배는 유량 16배이다.

NoteBase

문 3. 직경이 각각 0.5 mm와 1 mm인 두 구형 입자가 정지유체 내에서 하강하여 종말속도에 도달한다. 두 입자의 레이놀즈 수가 모두 1 미만일 때, 직경이 작은 입자의 종말속도에 대한 직경이 큰 입자의 종말속도의 비는? (단, 두 입자의 밀도는 같다)

① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 레이놀즈 수가 1 미만인 Stokes 영역에서 구형 입자의 종말속도가 직경의 제곱에 비례한다는 점을 이용해 속도비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 두 구형 입자의 직경은 각각 $0.5mm$, $1mm$이다.
구해야 할 값: 직경이 큰 입자의 종말속도 대 직경이 작은 입자의 종말속도 비이다.
주의할 조건: 두 입자의 밀도는 같고, 둘 다 레이놀즈 수가 1 미만이므로 같은 유체에서 Stokes 법칙을 적용한다.

사용할 공식

$v_t = \frac{(\rho_p - \rho_f) g d^2}{18\mu}$

이 식에서 같은 유체 속 같은 밀도 입자라면 $\rho_p - \rho_f$, g, μ가 모두 같으므로 종말속도는 d^2에만 비례한다. 따라서 속도비는 직경비의 제곱으로 계산된다.

계산 과정

1. 직경비는 (d_큰)/(d_작은) = (1)/(0.5) = 2이다.
2. Stokes 영역에서는 $v_t \propto d^2$이므로 속도비는 (v_큰)/(v_작은) = ≤ft((d_큰)/(d_작은))^2이다.
3. 따라서 (v_큰)/(v_작은) = 2^2 = 4이므로 정답은 2번이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 2는 종말속도가 직경에 선형 비례한다고 잘못 본 값이다. Stokes 영역에서는 $v_t \propto d^2$이므로 틀린 표현은 '속도비가 2이다'이고, 올바르게는 '속도비가 4이다'이다.
2번 O: 직경비가 2이고 종말속도는 직경의 제곱에 비례하므로 속도비는 $2^2 = 4$이다. 따라서 4가 맞다.
3번 X: 8은 직경비 2를 세제곱해 부피비처럼 계산한 값이다. 종말속도는 이 조건에서 d^3이 아니라 d^2에 비례하므로 틀린 표현은 '속도비가 8이다'이고, 올바르게는 '속도비가 4이다'이다.
4번 X: 16은 직경비를 제곱해 4를 얻은 뒤 다시 한 번 제곱한 값이다. 이 문제의 관계식은 한 번만 제곱하면 되므로 틀린 표현은 '속도비가 16이다'이고, 올바르게는 '속도비가 4이다'이다.

오답 포인트

레이놀즈 수가 1 미만이라는 조건을 놓치면 Stokes 영역이라는 사실을 못 잡고 속도비를 직경비, 부피비로 잘못 연결하기 쉽다. 또 발문이 '작은 입자에 대한 큰 입자'의 비인지 반대로 묻는지 뒤집어 읽으면 $\frac{1}{4}$ 또는 4를 혼동하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

입자 종말속도 문제는 먼저 흐름 영역을 확인하고, $Re < 1$이면 Stokes 법칙으로 $v_t \propto d^2$를 적용한 뒤, 발문이 요구한 비의 방향까지 확인해 직경비의 제곱으로 계산한다.

암기 포인트

Stokes 영역 구형 입자의 종말속도는 직경의 제곱에 비례하므로 직경이 2배이면 종말속도는 4배이다.

NoteBase

문 4. 금속 실린더에서 실린더 $1\mathrm{m}^3$당 $1{,}000\mathrm{W}$의 열에너지가 발생하고 있다. 이 실린더 외부 표면에서의 열플럭스(heat flux)가 $1\mathrm{Wm}^{-2}$일 때, 이 실린더의 반지름[mm]은? (단, 실린더의 길이가 충분히 길어서 실린더 양 끝의 원형 면적은 무시할 수 있고, 모든 열전달은 정상상태에서 일어난다)

① 1

② 2

③ 10

④ 20

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정상상태의 원통에서 체적발열량과 원통 측면 열플럭스를 연결해 반지름을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 체적발열량은 $q''' = 1000 W/m^3$, 원통 외부 표면 열플럭스는 $q'' = 1 W/m^2$이다.
구해야 할 값: 실린더 반지름 r이다.
주의할 조건: 실린더가 충분히 길어 양 끝면은 무시하므로 열은 원통 측면으로만 빠져나간다.

사용할 공식

정상상태 에너지수지는 내부 발생열량과 표면 방출열량이 같다는 식이다.
$q'''\pi r^2 L = q''2\pi rL$
이 공식을 쓰는 이유는 긴 원통에서 단위 길이당 발생열이 모두 측면적 $2\pi rL$을 통해 빠져나가기 때문이다.

계산 과정

1. 내부 발생열량은 $q'''\pi r^2 L = 1000\pi r^2 L$이다.
2. 표면 방출열량은 $q''2\pi rL = 1 \cdot 2\pi rL$이다.
3. 두 값을 같게 두면 $1000\pi r^2 L = 2\pi rL$이고, $r \neq 0$이므로 $1000r = 2$이다.
4. 따라서 $r = 0.002m = 2mm$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. 반지름은 $1mm$가 아니라 $2mm$이다. $1mm$는 원통 측면적의 $2\pi rL$에서 2를 빠뜨려 $q'''\pi r^2 L = q''\pi rL$처럼 계산할 때 나오는 오답이다.
2번: O. 정상상태에서 발생열과 방출열을 같게 두면 $r = 2q''/q''' = 2/1000 = 0.002m$이므로 $2mm$가 맞다.
3번: X. 반지름은 $10mm$가 아니라 $2mm$이다. $10mm$는 체적발열량 $1000W/m^3$를 과소평가하거나 소수점을 잘못 옮겼을 때 생기는 값이다.
4번: X. 반지름은 $20mm$가 아니라 $2mm$이다. $0.002m$를 $20mm$로 잘못 바꾸는 단위 변환 실수에서 나온 오답이다.

오답 포인트

긴 원통에서는 끝면이 아니라 측면적 $2\pi rL$을 써야 한다는 점이 핵심이다. 2를 빠뜨리거나 m를 mm로 바꾸면서 소수점을 한 자리 더 옮기면 1번이나 4번 같은 오답으로 흐른다.

다시 나오면 이렇게 판단

체적발열 문제는 먼저 발생열의 기준 체적과 방출열의 기준 면적을 정리한 뒤, 정상상태이면
발생열량=방출열량으로 놓고 미지수의 단위를 마지막에 검산한다.

암기 포인트

긴 원통의 정상상태 체적발열은 $q'''\pi r^2 L = q''2\pi rL$, 따라서 $r = 2q''/q'''$이다.

NoteBase

문 5. 평판 위에서 형성되는 유체의 경계층(boundary layer)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 경계층 이론은 레이놀즈 수가 증가함에 따라 전단응력의 영향을 받는 영역이 감소한다는 개념에 기반한다.

② 경계층의 두께는 유체의 자유흐름속도(free stream velocity)의 99 %에 도달하는 거리로 정의된다.

③ 경계층 내부의 유체 흐름 거동은 흐름이 진행됨에 따라 층류에서 전이영역으로 변화하고 결국 난류로 바뀌게 된다.

④ 경계층의 국부 레이놀즈 수는 $\frac{\delta v \rho}{\mu}$로 정의된다. 이때 δ는 경계층의 두께, v는 유체의 자유흐름속도, ρ는 유체의 밀도, μ는 유체의 점도이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평판 경계층의 정의와 발달 과정, 그리고 국부 레이놀즈 수의 기준 길이를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

경계층은 점성의 영향으로 벽면 근처에서 속도구배와 전단응력이 크게 나타나는 얇은 영역이다.
경계층 두께 δ는 보통 속도 u가 자유흐름속도 U_∞의 99%인 $0.99U_\infty$에 도달하는 위치로 정의된다.
평판 위 국부 레이놀즈 수는 선단부터의 거리 x를 기준으로 한 $Re_x = \rho U_\infty x/\mu = U_\infty x/\nu$이며, δ를 넣은 값은 두께 기준 레이놀즈 수일 뿐 국부 레이놀즈 수와는 다르다.

선지별 해설

1번: O. 레이놀즈 수가 커질수록 점성력의 상대적 영향은 벽면 가까운 얇은 영역에 더 국한된다. 경계층 이론은 전체 유동을 점성 지배영역과 비점성 지배영역으로 나누어 해석하는 개념에 기반하므로 맞는 설명이다.
2번: O. 경계층 두께는 일반적으로 벽에서 떨어진 거리 중 유속이 자유흐름속도의 99%에 도달하는 위치로 정의한다. 따라서 99% 기준을 제시한 설명은 맞다.
3번: O. 평판 위 경계층은 흐름 방향으로 발달하면서 층류 경계층에서 전이영역을 거쳐 난류 경계층으로 바뀔 수 있다. 이 선지는 경계층의 전형적 발달 과정을 설명한 것이므로 맞다.
4번: X. 틀린 부분은 국부 레이놀즈 수를 $\delta v \rho/\mu$로 정의한 표현이다. 평판 경계층의 국부 레이놀즈 수는 경계층 두께 δ가 아니라 선단부터의 거리 x를 써서 $Re_x = \rho U_\infty x/\mu$로 정의한다. δ를 기준으로 쓰면 두께 기준 레이놀즈 수 Re_δ를 나타내는 것이지 국부 레이놀즈 수가 아니다.

오답 포인트

4번은 식 자체가 익숙해 보이기 때문에 기준 길이가 x인지 δ인지 놓치기 쉽다. 경계층 문제에서는 같은 레이놀즈 수라도 어떤 길이를 대표길이로 잡았는지가 정답을 가른다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

경계층 관련 선지를 보면 먼저 정의형 문장인지 식의 대표길이를 묻는 문장인지 구분한다. 정의형이면 99% 속도 기준과 층류-전이-난류 발달 순서를 확인하고, 식이 나오면 길이척도가 선단 거리 x인지 경계층 두께 δ인지부터 본다.

암기 포인트

평판 경계층은 δ로 두께를 잡고, 국부 레이놀즈 수는 x로 잡는다.

NoteBase

문 6. 고체 구 주위로 밀도, 점도 및 유속이 일정한 공기가 흐르고 있다. 공기 흐름에 대한 레이놀즈 수가 0.05일 때, 구의 단위표면적당 작용하는 평균 항력(drag force)은 공기의 단위부피당 평균 운동에너지의 몇 배인가?

① 60

② 120

③ 600

④ 1,200

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 $Re \ll 1$인 구 주위의 스토크스 유동에서 항력을 구하고, 이를 공기의 단위부피당 평균 운동에너지와 비교하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 구 주위 공기 흐름의 레이놀즈 수가 $Re = 0.05$라는 점이다. 구의 총 표면적은 $4\pi a^2 = \pi D^2$이고, 구에 작용하는 스토크스 항력은 $F_D = 3\pi\mu DU$이다. 구해야 할 값은 단위표면적당 평균 항력 F_D/A를 단위부피당 평균 운동에너지 12ρ U^2로 나눈 비이다.

사용할 공식

$F_D = 3\pi\mu DU, \quad A = \pi D^2, \quad Re = \frac{\rho UD}{\mu}$ 이 공식을 쓰는 이유는 $Re = 0.05$로 매우 작아 점성력이 지배적인 스토크스 영역이기 때문이다.

계산 과정

$\frac{F_D}{A} = \frac{3\pi\mu DU}{\pi D^2} = \frac{3\mu U}{D}$ ((F_D)/(A))/(12ρ U^2)=(3μ U/D)/(12ρ U^2)=(6μ)/(ρ U D)=(6)/(Re)=(6)/(0.05)=120
따라서 단위표면적당 평균 항력은 단위부피당 평균 운동에너지의 120배이다.

선지별 해설

① X: 60배라는 수치가 틀렸다. 이는 운동에너지 밀도를 12ρ U^2가 아니라 ρU^2로 잘못 두면 나오는 값이며, 올바르게는 120배이다. ② O: 스토크스 항력으로 계산하면 비는 $6/Re$가 되고, $Re = 0.05$를 대입하면 120이므로 맞다. ③ X: 600배라는 수치가 틀렸다. 문제의 레이놀즈 수는 0.05이므로 올바른 값은 120배이며, 600배는 주어진 조건과 맞지 않는다. ④ X: 1,200배라는 수치가 틀렸다. 이는 $Re = 0.005$처럼 소수점을 잘못 읽을 때 나올 수 있고, 올바르게는 120배이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 함정은 스토크스 항력 $F_D = 3\pi\mu DU$를 알고도 이를 구의 전체 표면적 πD^2로 나누는 단계를 빠뜨리거나, 운동에너지 밀도의 12를 놓치는 데 있다. 또한 $Re = 0.05$의 소수점을 잘못 읽으면 1,200배 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

저레이놀즈수의 구 주위 유동이 나오면 먼저 스토크스 영역인지 확인하고, F_D를 구한 뒤 문제에서 묻는 값이 전체 항력인지 단위면적당 항력인지 구분해서 면적으로 한 번 더 나눈 다음, 마지막에 $Re = \rho UD/\mu$로 정리하면 계산이 짧아진다.

암기 포인트

구의 스토크스 유동에서는 $F_D = 3\pi\mu DU$, 단위표면적당 항력 대 운동에너지 밀도의 비는 $6/Re$이다.

NoteBase

문 7. 밀폐된 용기 안에 밀도가 $0.8gcm^{-3}$인 기름이 들어 있고, 기름 표면 위의 공기 압력이 $0.2kgfcm^{-2}$일 때, 기름 표면으로부터 $2m$ 아래 지점에서의 압력$[kgfcm^{-2}]$은?

① 0.16

② 0.28

③ 0.36

④ 1

정답 3번

출제 포인트

밀폐용기에서는 액면 위의 기체압력과 액주에 의한 압력을 합해 전체 압력을 구한다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 기름의 밀도는 $0.8g/cm^3$, 액면 위 공기압력은 $0.2kgf/cm^2$, 깊이는 $2m$이다.
구해야 할 값: 기름 표면으로부터 $2m$ 아래 지점의 압력이다.
주의할 조건: 밀폐용기이므로 액면 위 공기압력을 버리지 않고, 기름의 액주압을 더해야 한다.

사용할 공식

전체 압력은 액면 위 기체압력과 액주압의 합이다.
$p = p_0 + \gamma h$
이 문제는 물기둥 환산을 쓰면 더 간단하다. 물 $10m$는 약 $1kgf/cm^2$이므로, 비중이 0.8인 기름 $2m$의 압력은 $0.8 \times 2/10 = 0.16kgf/cm^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 묻는 값이 액면 아래 한 점의 정압이므로, 표면압력에 깊이에 따른 정수압 증가분을 더하는 상황이기 때문이다.

계산 과정

1. 기름 $2m$에 의한 액주압을 구하면 $0.8 \times 2/10 = 0.16kgf/cm^2$이다.
2. 액면 위 공기압력 $0.2kgf/cm^2$를 더하면 된다.
3. 따라서 아래 지점의 압력은 $0.2 + 0.16 = 0.36kgf/cm^2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 0.16kgf/cm^2는 기름 2m가 만드는 액주압만 계산한 값이다. 문제는 밀폐용기 내부의 해당 지점 압력을 묻고 있으므로 액면 위 공기압력 0.2kgf/cm^2를 더해야 한다. 틀린 표현은 "해당 지점 압력 = 액주압만"이고, 올바르게는 "해당 지점 압력 = 공기압력 + 액주압 = 0.36kgf/cm^2"이다.
② X: 0.28kgf/cm^2는 공기압력 0.2에 기름 1m의 압력 0.08만 더한 값에 해당한다. 문제 조건은 2m 아래이므로 깊이를 절반으로 잡으면 안 된다. 틀린 표현은 "2m 아래의 액주압 = 0.08kgf/cm^2"이고, 올바르게는 "2m 아래의 액주압 = 0.16kgf/cm^2"이다.
③ O: 기름의 비중이 0.8이므로 2m 액주압은 0.16kgf/cm^2이고, 여기에 표면 공기압력 0.2kgf/cm^2를 더하면 0.36kgf/cm^2가 된다.
④ X: 1kgf/cm^2는 대략 물 10m에 해당하는 압력 크기이다. 이 문제의 기름은 비중이 0.8이고 깊이도 2m뿐이므로 액주압은 0.16kgf/cm^2에 불과하다. 틀린 표현은 "기름 2m 아래 압력이 1kgf/cm^2"이고, 올바르게는 "전체 압력은 0.36kgf/cm^2"이다.

오답 포인트

밀폐용기 문제에서 액면 위 공기압력을 빼먹으면 ①로 오답 처리된다. 또 비중 0.8과 깊이 2m를 함께 반영하지 않으면 ②처럼 깊이를 절반만 적용한 값이 나오기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

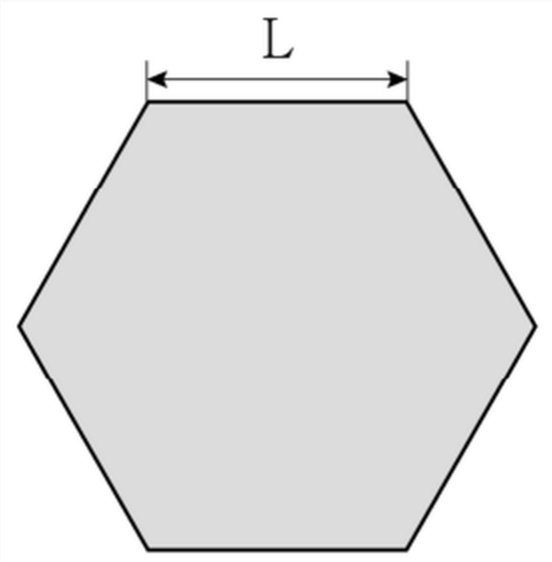
밀폐용기 정압 문제는 먼저 액면 위 압력이 있는지 확인하고, 다음에 액주압을 비중과 깊이로 계산한 뒤 두 압력을 합하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

밀폐용기 한 점의 압력은 "표면압력 + 액주압"이며, 물 10m는 약 1kgf/cm^2로 환산된다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 한 변의 길이가 L인 정육각형 단면을 갖는 관의 상당직경(equivalent diameter)은?



① $\frac{\pi}{3}L$

② $\sqrt{2}L$

③ $\frac{\pi}{2}L$

④ $\sqrt{3}L$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비원형 관의 상당직경을 구하는 공식 $D_e = \frac{4A}{P}$를 적용해 정육각형 단면의 상당직경을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 한 변의 길이가 L인 정육각형 단면이다.
구해야 할 값: 관의 상당직경이다.
주의할 조건: 상당직경은 원의 지름이 아니라 비원형 단면에 대해 $\frac{4A}{P}$로 정의되는 값이다.

사용할 공식

상당직경은 $D_e = \frac{4A}{P}$이다.
정육각형의 단면적은 $A = 6 \times \frac{\sqrt{3}}{4}L^2 = \frac{3\sqrt{3}}{2}L^2$이고, 젖은둘레는 $P = 6L$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 관의 단면이 원형이 아니라 정육각형이므로, 유동 계산에서 원관과 비교 가능한 대표 길이로 상당직경을 써야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 정육각형을 한 변이 L인 정삼각형 6개로 보면 단면적은 $A = \frac{3\sqrt{3}}{2}L^2$이다.
2. 정육각형의 둘레는 여섯 변의 합이므로 $P = 6L$이다.
3. 따라서

$D_e = \frac{4A}{P} = \frac{4\left(\frac{3\sqrt{3}}{2}L^2\right)}{6L} = \sqrt{3}L$
이므로 상당직경은 $\sqrt{3}L$이다.

선지별 해설

① X: $\frac{\pi}{3}L$는 상당직경 공식 $D_e = \frac{4A}{P}$와 맞지 않는다. 정육각형 상당직경 계산에는 π가 직접 들어가지 않는다. 틀린 표현은 '상당직경이 $\frac{\pi}{3}L$이다'이고, 올바르게는 '상당직경은 $\sqrt{3}L$이다'이다.
② X: $\sqrt{2}L$는 정육각형의 단면적과 둘레를 대입한 결과가 아니다. 도형의 다른 길이나 대각선을 혼동한 값에 가깝다. 틀린 표현은 '상당직경이 $\sqrt{2}L$이다'이고, 올바르게는 '상당직경은 $\sqrt{3}L$이다'이다.
③ X: $\frac{\pi}{2}L$도 원형 단면의 감각을 잘못 끌어온 값이다. 비원형 관의 상당직경은 원주율을 임의로 붙여 구하지 않는다. 틀린 표현은 '상당직경이 $\frac{\pi}{2}L$이다'이고, 올바르게는 '상당직경은 $\sqrt{3}L$이다'이다.
④ O: $D_e = \frac{4A}{P}$에 $A = \frac{3\sqrt{3}}{2}L^2$, $P = 6L$를 넣으면 $D_e = \sqrt{3}L$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

정육각형 단면을 보자마자 원형 지름처럼 처리하거나, 면적은 구했는데 둘레 대신 다른 길이를 넣는 실수가 자주 나온다. 이 문항은 상당직경 정의식 $\frac{4A}{P}$를 정확히 기억하는지를 묻는 함정이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

비원형 관의 상당직경 문제는 먼저 $D_e = \frac{4A}{P}$를 적고, 그다음 단면적 A와 젖은둘레 P를 각각 구해 대입하면 된다. 도형이 달라져도 판단 순서는 '면적 계산 -> 둘레 계산 -> $\frac{4A}{P}$ 대입'으로 같다.

암기 포인트

상당직경은 비원형 관에 대해 항상 $D_e = \frac{4A}{P}$이고, 정육각형 한 변이 L이면 결과는 $\sqrt{3}L$이다.

NoteBase

문 9. A와 B의 혼합용액 중 성분 A를 추출용매 C를 사용하여 추출한다. 추출상(extract phase)에서의 각 성분의 질량비는 A : B : C = 30 : 10 : 60이고, 추잔상(raffinate phase)에서의 각 성분의 질량비는 A : B : C = 10 : 70 : 20이다. 이때 성분 A에 대한 추출용매의 선택도(selectivity)는?

① 15

② 21

③ 27

④ 33

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 추출상과 추잔상의 조성으로부터 성분 A와 B의 분배계수를 구한 뒤, 그 비로 선택도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

- 추출상 조성: A:B:C = 30:10:60
- 추잔상 조성: A:B:C = 10:70:20
- 구해야 할 값: 성분 A에 대한 선택도
- 주의할 조건: 선택도는 A와 B의 분배계수의 비이며, 용매 C의 조성을 직접 나누는 값이 아니다.

사용할 공식

$m_A = \frac{y_A}{x_A}, \quad m_B = \frac{y_B}{x_B}, \quad \beta = \frac{m_A}{m_B} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$

이 공식을 쓰는 이유:
선택도는 용매가 A를 B보다 상대적으로 얼마나 더 잘 추출하는지를 나타내는 값이므로, A와 B의 분배계수를 각각 구해 그 비를 비교해야 한다.

계산 과정

1. A의 분배계수는 $m_A = 30/10 = 3$이다.
2. B의 분배계수는 $m_B = 10/70 = 1/7$이다.
3. 따라서 선택도는 $\beta = m_A/m_B = 3 \div (1/7) = 21$이다.

$\beta = \frac{30/10}{10/70} = 3 \times 7 = 21$

NoteBase

선지별 해설

① X
- 틀린 표현은 '선택도 = 15'이다. 선택도는 $\beta = (30/10) \div (10/70) = 21$이므로 올바르게는 '선택도 = 21'이다.

② O
- $m_A = 3$, $m_B = 1/7$이므로 선택도는 $3 \div (1/7) = 21$이다. A가 B보다 21배 선택적으로 추출된다는 뜻이므로 정답이다.

③ X
- 틀린 표현은 '선택도 = 27'이다. 선택도는 A와 B의 분배계수 비로 계산해야 하며, 올바르게는 '선택도 = 21'이다.

④ X
- 틀린 표현은 '선택도 = 33'이다. A의 조성비와 C의 조성비를 임의로 섞어 계산하는 값은 선택도가 아니다. 올바르게는 '선택도 = 21'이다.

오답 포인트

A의 분배계수만 구하고 끝내거나, 용매 C의 조성 60 : 20을 선택도 식에 직접 넣으면 틀리기 쉽다. 선택도는 'A가 B보다 얼마나 더 잘 추출되는가'를 보는 값이므로 반드시 A와 B 두 성분의 분배계수를 모두 비교해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

추출 문제에서 선택도를 물으면 먼저 각 성분의 분배계수 $m_i = y_i/x_i$를 구하고, 그다음 원하는 성분과 기준 성분의 비 $\beta = m_A/m_B$로 정리한다. 숫자가 여러 개 보여도 선택도는 조성 자체가 아니라 분배계수의 비라는 점으로 판단한다.

암기 포인트

선택도는 '분배계수의 비'이다. $\beta = (A_E/A_R) \div (B_E/B_R)$로 바로 정리한다.

NoteBase

문 10. 냉장고의 내부는 한 변이 $2\mathrm{m}$인 정육면체이며, 밑바닥은 완전히 단열되어 있다. 냉장고 내부 표면과 외부 표면의 온도는 각각 $-10^\circ\mathrm{C}$와 $35^\circ\mathrm{C}$이다. 정상상태에서 냉장고 외부로부터의 열 유입을 $500\mathrm{W}$ 이하로 유지하기 위하여 우레탄 단열재가 사용된다면, 이 단열재의 최소 두께[mm]는? (단, 냉장고 밑바닥 외의 모든 면에 같은 두께의 단열재를 사용하며, 단열재의 열전도도는 $0.03\mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$이다. 단열재와 수직인 방향으로의 열전도만 고려하며, 단열재 외의 열저항은 무시한다)

① 34

② 44

③ 54

④ 64

정답 3번

출제 포인트

열전도 식 $Q = \frac{kA\Delta T}{L}$를 사용해 허용 열유입 $500W$를 만족하는 최소 단열 두께를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 냉장고 내부는 한 변이 $2m$인 정육면체이다.
- 밑바닥은 완전 단열이므로 전도 면적에서 제외한다.
- 전도 면적은 나머지 5면이므로 $A = 5 \times 2 \times 2 = 20m^2$이다.
- 온도차는 $35 - (-10) = 45K$이다.
- 열전도도는 $k = 0.03W/(m \cdot K)$이다.
- 허용 열유입은 $Q \leq 500W$이다.

구해야 할 값:
- 최소 단열 두께 L이다.

주의할 조건:
- 표면온도가 이미 주어졌으므로 대류 열저항은 고려하지 않는다.

사용할 공식

$Q = \frac{kA\Delta T}{L}$

이 식을 쓰는 이유는 단열재 내부의 열전도만 고려하고, 열이 단열재와 수직한 방향으로 평판 전도된다고 했기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전도 면적을 구하면 $A = 5 \times 2 \times 2 = 20m^2$이다.
2. 온도차를 구하면 $\Delta T = 35 - (-10) = 45K$이다.
3. 열전도 식을 두께에 대해 정리하면
$L = \frac{kA\Delta T}{Q}$
이다.
4. 허용 최대 열유입 $Q = 500W$를 대입하면
$L = \frac{0.03 \times 20 \times 45}{500} = 0.054m$
이다.
5. $0.054m = 54mm$이므로 최소 두께는 $54mm$이다.

선지별 해설

① X: $34mm = 0.034m$를 대입하면 $Q = \frac{0.03 \times 20 \times 45}{0.034} \approx 794W$가 되어 $500W$를 초과한다. 틀린 표현은 '최소 두께가 34 mm이다'이며, 올바르게는 '최소 두께는 54 mm이다'이다.
② X: $44mm = 0.044m$를 대입하면 $Q \approx 614W$가 되어 역시 허용 열유입을 넘는다. 틀린 표현은 '44 mm면 충분하다'이며, 올바르게는 '44 mm는 부족하고 54 mm 이상이 필요하다'이다.
③ O: $54mm = 0.054m$를 대입하면 $Q = \frac{27}{0.054} = 500W$가 되어 조건을 정확히 만족한다. 따라서 최소 두께로 맞다.
④ X: $64mm = 0.064m$를 대입하면 $Q \approx 422W$로 조건은 만족하지만 최소 두께가 아니다. 틀린 표현은 '최소 두께가 64 mm이다'이며, 올바르게는 '64 mm는 가능하지만 최소값은 54 mm이다'이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 면적을 잘못 세는 것이다. 밑바닥은 완전 단열이므로 제외해야 하고, 윗면은 열이 들어오므로 포함해야 한다. 6면 전체를 넣으면 $A = 24m^2$가 되어 $L \approx 64.8mm$로 계산되어 ④에 끌리기 쉽다. 반대로 윗면까지 빼서 4면만 잡으면 $L \approx 43.2mm$가 되어 ②에 끌리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

단열 두께 계산형은 먼저 실제 전도 면적을 정확히 고른 뒤, 표면온도 차이로 ΔT를 만들고, $Q = \frac{kA\Delta T}{L}$를 두께 L에 대해 정리해 계산하면 된다. 마지막에는 m를 mm로 바꾸어 선지와 비교하면 된다.

암기 포인트

평판 전도는 $Q \propto \frac{A\Delta T}{L}$이므로 허용 열유입이 작을수록 필요한 두께는 커진다. 이 문항의 핵심 수치는 '5면, $45K$, $54mm$'이다.

NoteBase

문 11. 대기압에서 벤젠과 톨루엔의 이성분 혼합 용액이 기액평형상태에 있다. 액체상에서 벤젠의 몰분율이 0.5이고 증기상에서 톨루엔의 몰분율이 0.2일 때, 톨루엔에 대한 벤젠의 상대휘발도(relative volatility)는?

① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상용액의 기액평형에서 상대휘발도 정의식 $\alpha_{BT} = \frac{y_B/x_B}{y_T/x_T}$를 이용해 벤젠의 톨루엔 대비 상대휘발도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값
- 액상 벤젠 몰분율: 0.5
- 액상 톨루엔 몰분율: 0.5
- 증기상 톨루엔 몰분율: 0.2
- 증기상 벤젠 몰분율: 0.8

구해야 할 값
- 톨루엔에 대한 벤젠의 상대휘발도

주의할 조건
- 이성분계이므로 각 상에서 두 성분의 몰분율 합은 1이다.

사용할 공식

상대휘발도는 $\alpha_{BT} = \frac{y_B/x_B}{y_T/x_T} = \frac{y_B x_T}{y_T x_B}$이다.

이 공식을 쓰는 이유
- 상대휘발도는 벤젠의 기액 분배비 y_B/x_B를 톨루엔의 기액 분배비 y_T/x_T로 나눈 값이기 때문이다.

계산 과정

1. 액상에서 톨루엔 몰분율은 $x_T = 1 - 0.5 = 0.5$이다.
2. 증기상에서 벤젠 몰분율은 $y_B = 1 - 0.2 = 0.8$이다.
3. 상대휘발도는 $\alpha_{BT} = \frac{0.8/0.5}{0.2/0.5} = \frac{1.6}{0.4} = 4$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 정의식에 대입한 결과가 4이므로 2와 일치하지 않는다. 상대휘발도는 한 성분의 단순 조성값이 아니라 두 성분의 분배비의 비이므로, 틀린 표현은 2이고 올바르게는 4이다.
② O: $\alpha_{BT} = (0.8/0.5)/(0.2/0.5) = 4$이므로 맞는 선지이다.
③ X: 정의식 계산값이 6이 아니라 4이므로 틀린 선지이다. 틀린 표현은 6이고 올바르게는 4이다.
④ X: 증기상 조성비만 보거나 정의식에 없는 방식으로 계산하면 큰 값으로 오판할 수 있으나, 상대휘발도는 액상 조성까지 함께 반영해야 하므로 8은 틀리다. 틀린 표현은 8이고 올바르게는 4이다.

오답 포인트

상대휘발도를 y_B/y_T 같은 증기상 조성비로만 착각하면 오답이 된다. 이 문제의 함정은 보이지 않는 조성 x_T, y_B를 1에서 빼서 먼저 구해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이성분계 상대휘발도 문제는 먼저 보이지 않는 몰분율을 1에서 빼서 완성하고, 각 성분의 분배비 y/x를 구한 뒤 그 비를 다시 나누는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

상대휘발도는 한 성분의 y/x를 다른 성분의 y/x로 나눈 값이며, 이성분계에서는 빠진 몰분율을 먼저 1에서 뺀다.

NoteBase

문 12. McCabe-Thiele 방법을 이용하여 증류탑을 설계하고자 한다. 원료 공급선에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 공급원료가 포화액체인 경우 원료 공급선은 기상 축(y)과 평행하다.

② 원료 공급선을 얻기 위해서는 일정몰 넘침(constant molal overflow)이라는 가정이 필요하다.

③ 공급원료가 비점보다 낮은 온도의 액체인 경우, 원료 공급선의 기울기는 1보다 크다.

④ 원료 공급단을 최적 공급단의 아래쪽 단으로 정할 경우, 정류부의 단수는 감소한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 McCabe-Thiele법에서 원료 공급선(q선)의 기울기와 위치, 그리고 최적 공급단이 정류부·회수부 단수에 미치는 영향을 묻는 문제이다.

핵심 개념

q선은 원료의 열적 상태를 나타내는 직선이며 기울기는 $q/(q-1)$이다.
q는 원료 1몰이 탑에 들어왔을 때 액상으로 기여하는 정도를 뜻하므로 포화액체는 $q=1$, 비점보다 낮은 온도의 액체는 $q>1$, 포화증기는 $q=0$이다.
최적 공급단은 정류부 조작선과 회수부 조작선의 전환이 가장 자연스럽게 이루어져 총 단수가 최소가 되는 공급단이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
포화액체는 $q = 1$이므로 q선의 기울기 $q/(q-1)$는 무한대가 되어 수직선이 된다. 따라서 원료 공급선은 기상축(y축)과 평행하다.

② O
McCabe-Thiele법에서 조작선과 원료 공급선을 직선으로 다루기 위해서는 일정몰 넘침 가정을 둔다. 이 가정 아래에서 원료의 열상태를 q값으로 표현한 q선을 사용할 수 있다.

③ O
비점보다 낮은 온도의 액체는 과냉액 또는 서브쿨드 액체이므로 $q > 1$이다. 따라서 q선의 기울기 $q/(q-1)$는 1보다 커진다.

④ X
틀린 부분은 "정류부의 단수는 감소한다"이다.
원료 공급단을 최적 공급단보다 아래쪽 단으로 내리면 공급단 위쪽의 정류부 단수는 오히려 증가하고, 아래쪽의 회수부 단수는 감소한다.

오답 포인트

④는 공급단을 아래로 내리면 위쪽 단수가 줄어든다고 거꾸로 연결하면 틀리기 쉽다. 공급단 위치가 내려가면 공급단 위에 남는 단 수가 많아지므로 정류부 단수는 증가한다.

다시 나오면 이렇게 판단

q선 문제는 먼저 원료 상태를 q값으로 바꾸어 본다. 포화액체는 수직선, 과냉액은 기울기 1보다 큼, 포화증기는 수평선으로 판단한다. 공급단 위치 문제는 공급단을 위아래로 옮겼을 때 어느 구간의 실제 단 수가 늘어나는지만 보면 된다.

암기 포인트

포화액체는 $q = 1$이라 수직 q선이고, 공급단을 아래로 내리면 정류부 단수는 증가한다.

NoteBase

문 13. 증류탑을 설계할 때 환류비에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 최소환류비는 환류의 감소에 따른 조작선의 움직임으로 구할 수 있다.

② 전환류(total reflux)에서 증류탑의 이론단수는 최소가 된다.

③ 열교환 장치에 대한 고정비는 환류비가 증가함에 따라 감소한다.

④ 최적환류비보다 큰 환류비를 사용하면 보다 좋은 조업 유연성을 얻을 수 있다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 최소환류비, 전환류, 최적환류비와 열교환 장치 비용의 관계를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

최소환류비는 요구 분리가 가능한 가장 작은 환류비로, 이때 조작선이 평형선에 접하는 핀치 상태에 가까워진다.
전환류는 환류비가 매우 큰 극한 상태로, 이론단수는 최소가 되지만 응축기와 재보일러의 열부하는 커진다.
환류비가 증가하면 필요한 단수와 탑 높이는 줄어 탑 본체 비용은 감소하지만, 응축기·재보일러 용량은 커져 열교환 장치 비용은 증가한다.

선지별 해설

① O
최소환류비는 환류비를 낮춰 갈 때 조작선이 평형선에 접하는 한계 상태에서 구한다. 환류 감소에 따른 조작선의 이동으로 최소환류비를 찾는 설명은 맞다.
② O
전환류에서는 분리 구동력이 가장 커져 같은 분리를 달성하는 데 필요한 이론단수가 최소가 된다.
③ X
틀린 부분은 "열교환 장치에 대한 고정비는 환류비가 증가함에 따라 감소한다"는 표현이다. 실제로는 환류비가 증가하면 응축기와 재보일러의 열부하가 커져 열교환 장치의 크기와 비용이 증가한다.
④ O
최적환류비보다 다소 큰 환류비를 쓰면 조작선에 여유가 생겨 조성 변동에 대응하기 쉬워진다. 운전 유연성은 좋아질 수 있지만 과도한 환류비 증가는 비경제적이다.

오답 포인트

환류비가 커지면 단수가 줄어 탑 비용은 내려갈 수 있다는 사실을 열교환 장치 비용에도 그대로 적용하면 ③에 걸리기 쉽다. 탑 본체 비용과 열교환기 비용을 분리해서 봐야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

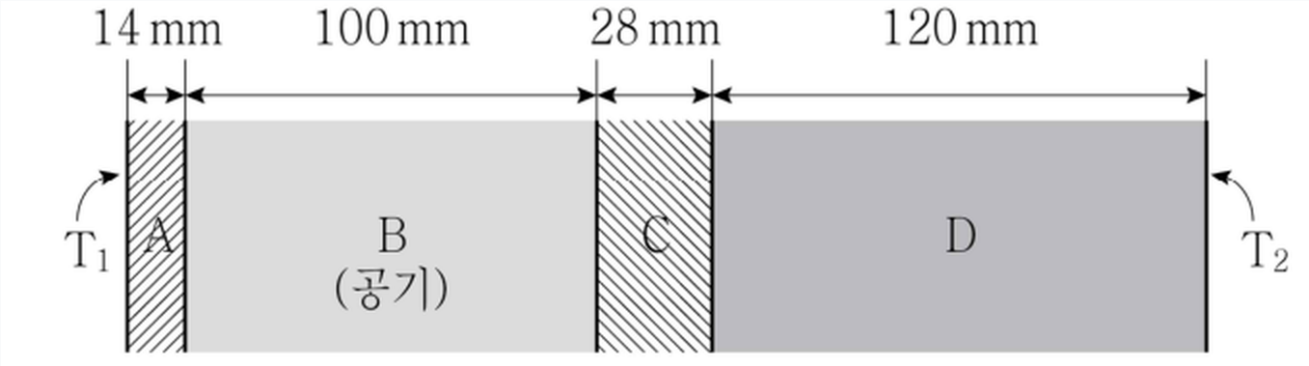
환류비가 증가할 때 무엇이 줄고 무엇이 늘어나는지를 장치별로 나누어 판단한다. 탑 단수와 탑 높이는 감소하고, 응축기·재보일러 부하와 그 비용은 증가한다.

암기 포인트

환류비 증가 → 단수 감소, 탑 비용 감소, 열부하 증가, 열교환기 비용 증가이다.

NoteBase

문 14. 그림과 같이 단면적이 같은 단열재 A, C, D와 공기층 B로 단열되어 있는 건물의 내부 벽면의 표면온도(T_1)는 25°C이고, 외부 벽면의 표면온도(T_2)는 5°C이다. 각 단열재와 공기층의 두께는 그림과 같을 때, 정상상태에서 단위면적당 열손실속도[Wm^{-2}]는? (단, 단열재 A, C, D의 열전도도[$Wm^{-1}K^{-1}$]는 각각 0.7, 0.1, 0.06이고, 공기층의 열전달계수는 5$Wm^{-2}K^{-1}$이다)



① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평판 복합벽의 직렬 열저항을 합산하여 정상상태 단위면적당 열손실속도를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- 내부 벽면 표면온도 $T_1 = 25^\circ C$
- 외부 벽면 표면온도 $T_2 = 5^\circ C$
- A 두께 $14mm = 0.014m$, $k_A = 0.7 W/m \cdot K$
- 공기층 B 두께 $100mm$, 열전달계수 $h = 5 W/m^2 \cdot K$
- C 두께 $28mm = 0.028m$, $k_C = 0.1 W/m \cdot K$
- D 두께 $120mm = 0.12m$, $k_D = 0.06 W/m \cdot K$

구해야 할 값:
- 정상상태 단위면적당 열손실속도 q

주의할 조건:
- 단면적이 같으므로 각 층은 직렬 열저항으로 합산한다.
- 두께는 모두 m로 환산해야 한다.
- 공기층 B는 전도도가 아니라 열전달계수 h가 주어졌으므로 저항을 $1/h$로 둔다.

사용할 공식

사용 공식은 $q = \frac{T_1 - T_2}{R_{tot}}$ 이고, 전체 열저항은 $R_{tot} = \frac{L_A}{k_A} + \frac{1}{h_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{L_D}{k_D}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 각 층의 단면적이 같고 열이 한 방향으로 정상상태에서 연속적으로 통과하므로 각 층의 열저항이 직렬로 더해지기 때문이다.

계산 과정

1. 각 층의 열저항을 구한다.

$R_A = \frac{0.014}{0.7} = 0.02$

$R_B = \frac{1}{5} = 0.20$

$R_C = \frac{0.028}{0.1} = 0.28$

$R_D = \frac{0.12}{0.06} = 2.00$

2. 전체 열저항을 합한다.

$R_{tot} = 0.02 + 0.20 + 0.28 + 2.00 = 2.50$

3. 온도차를 전체 열저항으로 나눈다.

$\Delta T = 25 - 5 = 20$

$q = \frac{20}{2.50} = 8 W/m^2$

따라서 단위면적당 열손실속도는 $8 W/m^2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $2W/m^2$는 전체 열저항을 반영한 결과가 아니다. 계산 결과는 $q = 8W/m^2$이므로 열손실속도는 2가 아니라 $8W/m^2$이다.
② X: $4W/m^2$는 전체 열저항을 실제보다 크게 보거나 온도차를 잘못 절반으로 본 경우에 가까운 오답이다. 올바른 전체 열저항은 2.50이고 온도차는 $20^\circ C$이므로 $4W/m^2$가 아니라 $8W/m^2$이다.
③ X: $6W/m^2$는 직렬 열저항 합산이나 공기층 저항 처리에서 일부 값을 누락했을 때 나올 수 있는 오답이다. 공기층은 $1/h = 0.20$으로 포함해야 하며 최종값은 $6W/m^2$가 아니라 $8W/m^2$이다.
④ O: A, B, C, D의 열저항을 모두 더하면 $R_{tot} = 2.50$이고, 온도차 $20^\circ C$를 나누면 $q = 8W/m^2$가 된다. 따라서 옳은 선택지는 ④이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 공기층 B를 일반 고체층처럼 취급하거나, $mm \rightarrow m$ 변환을 빠뜨리거나, D층의 큰 저항 2.00을 누락하는 데 있다. 특히 공기층에 열전달계수 h가 주어지면 저항을 L/k가 아니라 $1/h$로 처리해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

복합벽 계산형은 먼저 각 층이 직렬인지 병렬인지 구분하고, 고체층은 L/k, 공기층처럼 h가 주어진 층은 $1/h$로 저항을 만든 뒤 전체 저항을 합산하여 $q = \Delta T/R_{tot}$로 판단한다.

암기 포인트

직렬 복합벽 열손실은 열저항 합산 후 $q = \Delta T/R_{tot}$이고, 공기층에 h가 주어지면 저항은 $1/h$이다.

NoteBase

문 15. 판형 흡수탑을 이용한 기체 흡수공정에서 공급액체(용매)의 유량을 증가시킬 때 발생하는 현상으로 옳지 않은 것은? (단, 도입되는 혼합기체의 유량과 조성, 배출되는 기체의 조성 및 도입되는 액체의 조성은 고정되어 있다)

① 흡수탑 내의 압력강하 증가

② McCabe-Thiele 선도에서 조작선의 기울기 증가

③ 기액평형 곡선의 기울기 증가

④ 배출되는 용액 내 흡수되어 있는 용질의 농도 감소

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 기체 흡수에서 용매 유량 증가가 조작선, 압력강하, 출구 액 조성에는 영향을 주지만 기액평형 자체는 바꾸지 않는다는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

조작선은 물질수지로 정해지는 선이며 기울기는 대체로 L/G이다.
기액평형 곡선은 용질-용매계의 평형관계로 정해지는 선이며 온도, 압력, 평형상수 변화가 없으면 그대로 유지된다.
이 문제에서는 도입 기체 유량과 조성, 배출 기체 조성, 도입 액 조성이 고정되어 있으므로 총 흡수량은 일정하고, 용매 유량만 커지면 출구 액의 농도 상승폭만 작아진다.

NoteBase

선지별 해설

① O
흡수탑 내 액체 유량이 증가하면 충전층 내 액체 보유량이 늘고 기체 흐름 저항도 커져 압력강하가 증가한다.

② O
McCabe-Thiele 선도에서 흡수 조작선의 기울기는 L/G이므로 기체 유량 G가 고정된 상태에서 액체 유량 L을 늘리면 기울기가 증가한다.

③ X
틀린 부분은 "기액평형 곡선의 기울기 증가"이다.
기액평형 곡선은 평형관계 자체를 나타내므로 용매 유량 변화만으로는 바뀌지 않는다.
올바르게는 "용매 유량이 증가하면 조작선의 기울기는 증가하지만 기액평형 곡선의 기울기는 변하지 않는다"이다.

④ O
흡수량은 $G(y_{in} - y_{out}) = L(x_{out} - x_{in})$로 정리된다.
문제에서 $G, y_{in}, y_{out}, x_{in}$이 고정되어 있으므로 흡수량은 일정하고, L이 커지면 $(x_{out} - x_{in})$는 작아져 배출 용액의 용질 농도는 감소한다.

오답 포인트

조작선과 평형곡선을 모두 선도의 기울기라는 이유로 함께 변한다고 착각하기 쉽다. 이 문항의 함정은 물질수지로 움직이는 조작선과 물성·평형으로 정해지는 평형곡선을 구분하지 못하면 ③을 맞는 선택지처럼 보이게 만든다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

흡수탑에서 유량 변화가 나오면 먼저 조작선인지 평형곡선인지부터 구분한다. 유량 변화는 대체로 조작선과 압력강하, 출구 조성에 영향을 주고, 온도·압력·평형상수 변화가 없으면 평형곡선은 그대로라고 판단하면 된다.

암기 포인트

용매 유량 증가 = 조작선 기울기 증가, 압력강하 증가, 출구 액 농도 감소, 평형곡선 불변이다.

NoteBase

문 16. 물에 산소를 공급하는 서로 다른 기포 발생기 A와 B가 있다. 두 발생기 모두 순수 산소 또는 공기를 이용하며, 발생기 A는 발생기 B보다 더 큰 기포를 발생시킨다. 상온의 물이 담긴 두 수조에서 발생기 A와 발생기 B를 사용하여 시간당 같은 질량의 기포를 각각 발생시킬 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 발생기 A를 사용한 물의 용존 산소 농도는 발생기 B보다 더 느리게 증가한다.

② 발생기 A와 발생기 B에서 각각 발생한 기포들의 부피 감소 속도는 같다.

③ 산소의 용해도(solubility)는 발생기 B를 이용한 경우가 발생기 A를 이용한 경우보다 더 높다.

④ 공급하는 기체의 종류에 관계없이 물의 용존 산소 농도 증가 속도는 같다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기포 크기에 따른 기액 접촉면적 변화와 공급 기체의 산소 분압 차이가 용존 산소 전달속도에 어떻게 영향을 주는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

큰 기포는 같은 기체 유량에서도 단위 부피당 기액 접촉면적이 작아 산소 전달효율이 낮다.
작은 기포는 총 표면적이 커서 산소가 물로 더 잘 이동하고 물속 체류시간도 길어지기 쉽다.
산소의 용해도는 주로 온도와 산소 분압에 의해 정해지며, 같은 조건에서는 기포 발생기 크기 자체가 용해도를 바꾸지 않는다.

NoteBase

선지별 해설

① O
발생기 A는 발생기 B보다 더 큰 기포를 만든다. 같은 질량의 기체를 시간당 공급하더라도 큰 기포 쪽이 총 기액 접촉면적이 작으므로 산소 전달속도가 더 느리다. 따라서 발생기 A를 사용한 물의 용존 산소 농도는 발생기 B보다 더 느리게 증가한다.

② X
틀린 표현은 "부피 감소 속도는 같다"이다.
실제로는 기포 크기가 다르면 기액 접촉면적과 물질전달 속도가 달라져 부피 감소 속도도 같다고 볼 수 없다. 작은 기포를 만드는 발생기 B 쪽이 산소가 더 빨리 용해되어 기포 부피가 더 빨리 줄어드는 쪽으로 이해하는 것이 맞다.

③ X
틀린 표현은 "산소의 용해도는 발생기 B를 이용한 경우가 발생기 A를 이용한 경우보다 더 높다"이다.
실제로는 같은 온도와 같은 기체 조성이라면 산소의 용해도는 기포 크기나 발생기 종류가 아니라 온도와 산소 분압에 의해 정해진다. 발생기 B는 전달속도를 높일 뿐 용해도 자체를 더 높이는 것은 아니다.

④ X
틀린 표현은 "공급하는 기체의 종류에 관계없이"이다.
실제로는 순수 산소를 쓰는 경우가 공기를 쓰는 경우보다 산소 분압이 더 커서 물로 이동하는 구동력이 크다. 따라서 물의 용존 산소 농도 증가 속도는 공급 기체의 종류에 따라 달라진다.

오답 포인트

기포가 작으면 용해도 자체가 커진다고 오해하거나, 같은 질량유량이면 전달속도도 같다고 착각하기 쉽다. 이 문항은 용해도와 전달속도를 구분하는지, 그리고 기포 크기와 기체 종류를 각각 다른 변수로 볼 수 있는지를 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

기포 관련 문항은 먼저 기포가 작아질수록 총 접촉면적이 커져 물질전달이 빨라진다는 점을 본다. 그다음 용해도 자체를 묻는지, 전달속도를 묻는지 구분하고, 공급 기체가 공기인지 순수 산소인지에 따라 산소 분압이 달라진다는 점을 연결하면 된다.

암기 포인트

작은 기포는 전달속도를 높이고, 순수 산소는 분압을 높이며, 용해도 자체는 발생기 크기가 아니라 온도와 분압이 좌우한다.

NoteBase

문 17. 1 atm의 순수한 기체 B가 고체 표면 위를 흐르고 있다. 이때 고체 표면에 있는 순수한 액체 A가 증발한다. 액체 A의 증기압이 0.1 atm이고 기체 경막에서의 물질전달 계수가 0.5 $\mathrm{gmolcm^{-2}h^{-1}atm^{-1}}$일 때, 액체 A의 단위면적당 증발속도 $[\mathrm{gmolcm^{-2}h^{-1}}]$는? (단, 고체 표면 위로 흐르는 기체 B의 양은 증발하는 A의 양에 비해 매우 크고, 증발 과정에서 온도는 일정하다)

① 0.05

② 0.1

③ 0.2

④ 0.5

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기체 경막 물질전달 계수와 액체의 증기압을 이용해 액체 A의 증발속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 전체 압력 $1atm$, 액체 A의 증기압 $0.1atm$, 기체 경막 물질전달 계수 $0.5gmolcm^{-2}h^{-1}atm^{-1}$이다.
구해야 할 값은 액체 A의 단위면적당 증발속도 $gmolcm^{-2}h^{-1}$이다.
주의할 조건은 고체 표면 위를 흐르는 기체 B의 양이 매우 커서 벌크 기체에서 $p_{A,b} \approx 0$으로 볼 수 있다는 점이다.

사용할 공식

기체 경막 기준 물질전달식은 $N_A = k_G(p_{A,i} - p_{A,b})$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 기체 경막 물질전달 계수가 압력차 기준 단위 $gmolcm^{-2}h^{-1}atm^{-1}$로 주어졌고,
계면에서는 액체 A의 평형분압이 증기압 $p_{A,i} = 0.1atm$, 벌크에서는 $p_{A,b} \approx 0$이기 때문이다.

계산 과정

1. 계면의 A 분압은 액체 A의 증기압과 같으므로 $p_{A,i} = 0.1atm$이다.
2. 벌크 기체는 거의 순수한 B이므로 $p_{A,b} \approx 0atm$이다.
3. 따라서 $N_A = 0.5 \times (0.1 - 0) = 0.05gmolcm^{-2}h^{-1}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $0.05 gmol cm^{-2} h^{-1}$이므로 옳다.
② X: $0.1 gmol cm^{-2} h^{-1}$는 계산값보다 2배 크다. 증발속도는 0.1이 아니라 0.05이다.
③ X: $0.2 gmol cm^{-2} h^{-1}$는 압력차 $0.1 atm$를 잘못 키우거나 계수를 오해했을 때 나오는 값이다. 증발속도는 0.2가 아니라 0.05이다.
④ X: $0.5 gmol cm^{-2} h^{-1}$는 물질전달 계수 자체를 증발속도로 착각한 값이다. 실제 증발속도는 계수에 분압차 $0.1 atm$를 곱한 0.05이다.

오답 포인트

물질전달 계수 k_G와 실제 플럭스 N_A를 같은 값으로 혼동하기 쉽다. 또한 계면 분압과 벌크 분압의 차이를 곱해야 하는데, 증기압 $0.1 atm$를 빠뜨리면 ④처럼 틀리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체 경막 계수가 압력차 기준으로 주어지면 먼저 $N_A = k_G \Delta p_A$ 형태를 확인하고, 다음에 계면 분압과 벌크 분압을 정한 뒤 곱해서 최종 플럭스를 계산하면 된다.

암기 포인트

기체 경막 문제는 물질전달 계수에 A의 분압차를 곱하면 증발속도가 된다.

NoteBase

문 18. 폭과 너비가 모두 50 cm이고 두께가 2 cm인 탄소강 소재의 판이 있다. 공기가 판의 위 표면을 따라 흐르는데, 이때 공기의 온도는 20 °C로 유지되고 있으며 대류열전달계수는 $40\mathrm{Wm^{-2}K^{-1}}$이다. 공기와 접하는 판의 외부 표면온도는 250 °C로 일정하게 유지되고 있다. 판에서의 복사에 의한 열손실이 700 W일 때, 정상상태에서 판의 내부 표면온도[°C]는? (단, 판의 열전도도는 $30\mathrm{Wm^{-1}K^{-1}}$이고, 판 윗면 이외의 열손실은 없다)

① 253

② 258

③ 263

④ 268

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 외부 표면에서의 대류 손실과 복사 손실을 합친 뒤, 정상상태 1차원 전도로 내부 표면온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 판 면적 $A = 0.5 \times 0.5 = 0.25m^2$
- 판 두께 $L = 0.02m$
- 열전도도 $k = 30W/m \cdot K$
- 외부 표면온도 $T_s = 250^\circ C$
- 공기 온도 $T_\infty = 20^\circ C$
- 대류열전달계수 $h = 40W/m^2 \cdot K$
- 복사 열손실 $q_{rad} = 700W$

구해야 할 값:
- 판의 내부 표면온도

주의할 조건:
- 판 윗면 이외의 열손실은 없으므로 정상상태에서 전도열량은 대류열손실과 복사열손실의 합과 같아진다.

NoteBase

사용할 공식

대류열손실은 $q_{conv} = hA(T_s - T_\infty)$이다.
전도열량은 $q_{cond} = \frac{kA}{L}(T_i - T_s)$이다.
정상상태에서는 $q_{cond} = q_{conv} + q_{rad}$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유:
외부 표면온도 $250^\circ C$가 주어졌고, 그 표면에서 공기 쪽으로는 대류와 복사가 동시에 빠져나가므로 먼저 총 열손실을 구한 뒤 그 열량을 공급하는 내부 표면온도를 전도식으로 역산해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 대류 열손실을 구하면 $q_{conv} = 40 \times 0.25 \times (250 - 20) = 2300W$이다.
2. 총 열손실은 $q = q_{conv} + q_{rad} = 2300 + 700 = 3000W$이다.
3. 전도식에 대입하면
$3000 = \frac{30 \times 0.25}{0.02}(T_i - 250) = 375(T_i - 250)$
4. 따라서 $T_i - 250 = 8$이고, $T_i = 258^\circ C$이다.

선지별 해설

① X
- 253은 틀린 값이다. $T_i = 253^\circ C$로 두면 전도열량은 $q_{cond} = 375 \times (253 - 250) = 1125W$가 되어 필요한 총 열손실 $3000W$를 맞추지 못한다.
- 틀린 표현은 "253"이고, 올바르게는 내부 표면온도는 $258^\circ C$이다.

② O
- $258^\circ C$일 때 전도열량은 $q_{cond} = 375 \times (258 - 250) = 3000W$가 된다.
- 이는 대류 $2300W$와 복사 $700W$의 합과 정확히 일치하므로 정상상태 에너지평형을 만족한다.

③ X
- 263은 틀린 값이다. $T_i = 263^\circ C$로 두면 전도열량은 $4875W$가 되어 실제 외부 손실 $3000W$보다 크다.
- 틀린 표현은 "263"이고, 올바르게는 내부 표면온도는 $258^\circ C$이다.

④ X
- 268은 틀린 값이다. $T_i = 268^\circ C$로 두면 전도열량은 $6750W$가 되어 열수지와 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "268"이고, 올바르게는 내부 표면온도는 $258^\circ C$이다.

오답 포인트

복사 열손실 $700W$를 빼먹고 대류만 계산하면 열수지가 작아진다. 또 면적을 $0.25m^2$로 바꾸지 않거나, 외부 표면온도 $250^\circ C$와 내부 표면온도를 바로 같다고 두면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

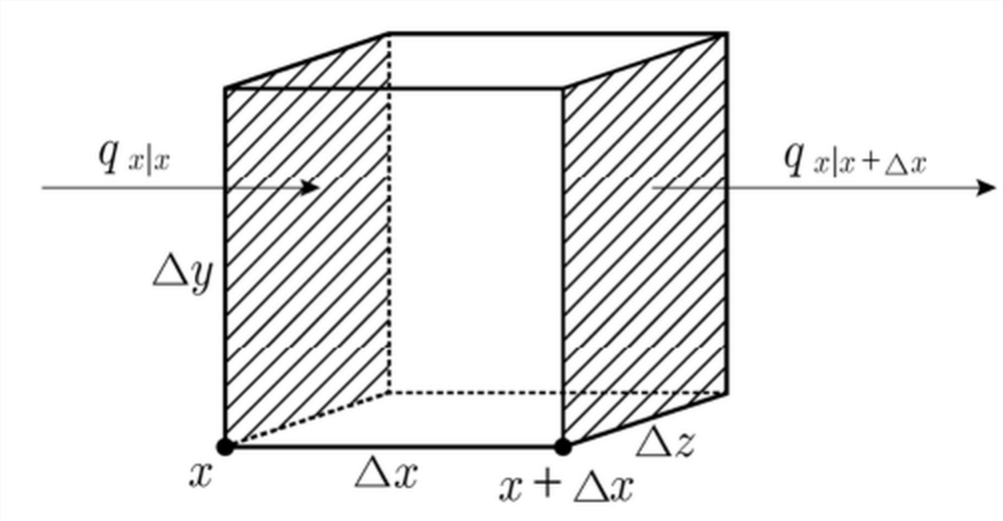
계산형 열전달 문제는 먼저 손실 메커니즘을 모두 합쳐 총 열량을 만든 뒤, 그 총 열량을 전도식이나 열저항식에 연결하는 순서로 판단하면 된다. 마지막에는 구한 온도가 에너지평형을 만족하는지 다시 대입해 검산하면 된다.

암기 포인트

정상상태에서는 들어오는 전도열량과 나가는 대류열량·복사열량의 합이 같아진다.

NoteBase

문 19. 그림과 같이 비정상상태로 고체 물질을 통해 x 방향으로만 열q_x이 흐를 때, 열전달 방정식으로 옳은 것은? (단, α는 열확산계수(thermal diffusivity), T는 온도, t는 시간이고, 고체 물질의 밀도, 열전도도 및 열용량은 일정하다)



① $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

② $\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial x}$

③ $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha^2 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$

④ $\frac{\partial^2 T}{\partial t^2} = \alpha \frac{\partial T}{\partial x}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 도식에서 비정상상태, x 방향 1차원 열전도, 물성 일정이라는 조건을 읽고 일반 열전도 방정식을 $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$로 단순화할 수 있는지를 묻는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① O

비정상상태이므로 시간에 따른 온도 변화항 $\frac{\partial T}{\partial t}$가 있어야 하고, 열은 x 방향으로만 흐르므로 공간항은 x에 대한 2차 미분 $\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$만 남는다. 물성이 일정하므로 계수는 열확산계수 α 하나로 정리되어 이 식이 맞다.

② X

이 식은 공간항이 x에 대한 1차 미분 $\frac{\partial T}{\partial x}$로 되어 있어 전도 방정식의 형태가 아니다. 틀린 표현은 1차 미분 항이며, 올바르게는 $\frac{1}{\alpha}\frac{\partial T}{\partial x}$가 아니라 $\alpha\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$가 되어야 한다.

③ X

1차원 비정상 열전도 방정식의 계수는 α이지 α^2가 아니다. 틀린 표현은 α^2이며, 올바르게는 $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$이다.

④ X

비정상 열전도에서는 시간에 대한 1차 미분과 위치에 대한 2차 미분이 대응된다. 틀린 표현은 $\frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$와 $\frac{\partial T}{\partial x}$의 조합이며, 올바르게는 시간은 1차 미분, 공간은 2차 미분 형태로 써야 한다.

오답 포인트

비정상상태라는 말만 보고 시간 미분이 들어간다는 점만 기억하면 ②, ④처럼 미분 차수를 잘못 고르기 쉽다. 또 열확산계수 α의 위치만 어렴풋이 외우면 ③처럼 α^2를 붙이거나 ②처럼 역수로 쓰는 오류가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

도식 문제에서 먼저 정상·비정상 여부를 보고 시간 미분의 존재를 판단한 다음, 열이 몇 방향으로 흐르는지를 확인해 공간 미분 변수를 고른다. 그다음 전도 방정식은 공간에 대해 2차 미분이라는 점을 대입하면 정답을 바로 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

1차원 비정상 열전도, 물성 일정이면 $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$이다.

NoteBase

문 20. 알루미늄 평판 사이에 얇은 공기층이 형성되어 있다. 정상상태에서 이 공기층의 열저항이 알루미늄 판의 열저항과 같다고 할 때, 이 판의 두께[cm]는? (단, 알루미늄 판의 열전도도는 $250 W m^{-1} K^{-1}$이고, 공기층의 열전달계수는 $10{,}000 W m^{-2} K^{-1}$이다)

① 0.025

② 0.5

③ 2.5

④ 5

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열저항 평형 조건 $R_{cond} = L/k$와 $R_{conv} = 1/h$를 같게 두어 알루미늄 판의 두께를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 알루미늄 판의 열전도도 $k = 250 W/(m \cdot K)$
- 공기층의 열전달계수 $h = 10{,}000 W/(m^2 \cdot K)$

구해야 할 값:
- 알루미늄 판 두께 L $[cm]$

주의할 조건:
- 공기층 열저항과 알루미늄 판 열저항이 같다는 조건을 그대로 쓴다.
- 계산 결과는 m 단위이므로 마지막에 cm로 바꾼다.

사용할 공식

알루미늄 판의 전도 열저항은 $R_{cond} = L/k$, 공기층의 대류 열저항은 $R_{conv} = 1/h$이다.
두 열저항이 같으므로 $L/k = 1/h$, 따라서 $L = k/h$이다.

이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 공기층의 열저항이 알루미늄 판의 열저항과 같다고 주어졌으므로 전도 열저항과 대류 열저항의 기본식을 바로 같게 두면 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 공기층 열저항은 $R_{air} = 1/h = 1/10{,}000 = 1.0 \times 10^{-4} m^2 \cdot K/W$이다.
2. 알루미늄 판 열저항 $R_{Al} = L/k$가 이와 같으므로 $L/k = 1/h$이다.
3. 따라서 $L = k/h = 250/10{,}000 = 0.025m$이다.
4. $0.025m = 2.5cm$이므로 정답은 3번이다.

선지별 해설

① X
- 계산 결과는 $0.025m$이며 이를 cm로 바꾸면 $2.5cm$이다. 틀린 표현은 "0.025 cm"이고, 올바르게는 "2.5 cm"이다.

② X
- $250/10{,}000 = 0.025m$이므로 $0.5cm$는 맞지 않는다. 틀린 표현은 "0.5 cm"이고, 올바르게는 "2.5 cm"이다. 소수점 처리나 단위 변환을 잘못하면 이런 오답이 나온다.

③ O
- $L = k/h = 250/10{,}000 = 0.025m$이고, 이를 cm로 바꾸면 $2.5cm$이므로 맞다.

④ X
- $5cm$는 계산 결과 $2.5cm$의 두 배이다. 틀린 표현은 "5 cm"이고, 올바르게는 "2.5 cm"이다. 한쪽 판 두께를 구하는 문제에서 불필요하게 2배 하면 이런 값이 된다.

오답 포인트

열저항을 같게 두는 식은 맞게 세우고도 마지막 단위 변환에서 실수하기 쉽다. 이 문제의 함정은 $0.025m$를 그대로 $0.025cm$처럼 읽거나, 한쪽 판 두께를 구하는데 불필요하게 2배하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

"열저항이 같다"라는 조건이 보이면 먼저 전도는 L/k, 대류는 $1/h$로 놓는다. 그다음 $L = k/h$를 구하고, 계산 결과의 길이 단위를 문제에서 요구한 cm 또는 mm로 끝까지 검산하면 된다.

암기 포인트

평판 전도 열저항은 L/k, 대류 열저항은 $1/h$이며, 두 열저항이 같으면 $L = k/h$이다.

NoteBase