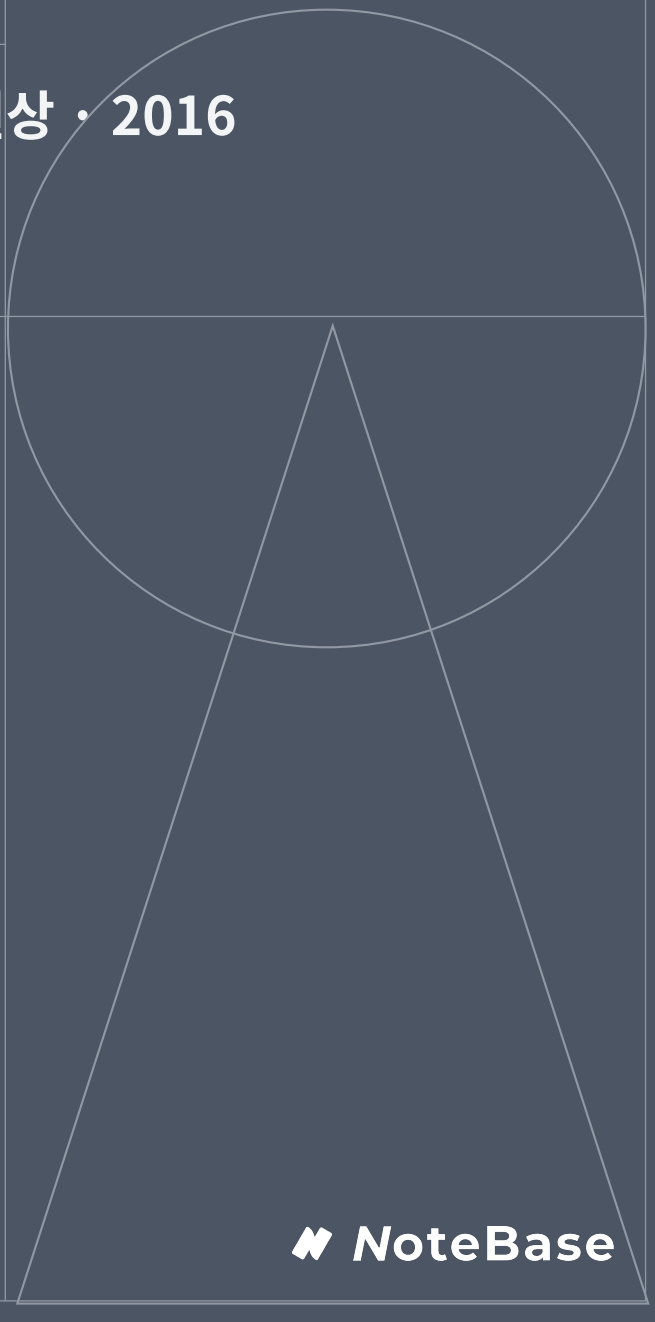
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2016



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2016

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2016

문 1. 두께 1 mm인 투과막 양쪽에 기체 A가 서로 다른 농도로 있다. 투과막 양쪽 벽면에서 기체 A의 농도가 각각 $100mol/m^3$와 $20mol/m^3$일 때 투과막을 통한 기체 A의 몰확산 플럭스$[mol/m^2 \cdot s]$는? (단, 기체 A의 확산계수 D_A는 $2 \times 10^{-6}m^2/s$이다)

① 0.016

② 0.16

③ 1.6

④ 16

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Fick의 제1법칙을 이용해 투과막을 통과하는 기체 A의 몰확산 플럭스를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 투과막 두께: $L = 1mm = 1 \times 10^{-3}m$
- 양쪽 농도: $C_{A1} = 100mol/m^3, C_{A2} = 20mol/m^3$
- 농도차: $\Delta C_A = 100 - 20 = 80mol/m^3$
- 확산계수: $D_A = 2 \times 10^{-6}m^2/s$
- 구해야 할 값: 기체 A의 몰확산 플럭스의 크기

사용할 공식

$J_A = -D_A\frac{dC_A}{dx}$
농도 구배가 직선이라고 보면 플럭스의 크기는
$|J_A| = D_A\frac{\Delta C_A}{L}$
이다.
이 문제는 두께가 일정한 평막 양쪽의 농도와 확산계수가 주어졌으므로, 정상상태 1차원 확산식에 바로 대입하는 상황이다.

NoteBase

계산 과정

1. 농도차를 구하면 $\Delta C_A = 100 - 20 = 80 mol/m^3$이다.
2. 두께를 미터로 바꾸면 $1mm = 1 \times 10^{-3} m$이다.
3. 공식에 대입하면

$|J_A| = 2 \times 10^{-6} \times \frac{80}{1 \times 10^{-3}}$

$= 2 \times 10^{-6} \times 8 \times 10^{4} = 16 \times 10^{-2} = 0.16 mol/m^2 \cdot s$

이다. 따라서 플럭스의 크기는 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이고 방향은 고농도 쪽에서 저농도 쪽이다.

선지 판단

① X

- 계산 결과는 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이므로 0.016은 틀린 값이다.
- 틀린 표현은 수치 0.016이다. 올바르게는 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이다.
- 이 값은 지수 계산이나 단위 변환에서 10배를 더 나누면 나오는 오답이다.

② O

- 계산 결과가 정확히 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이므로 옳다.
- 농도차 $80 mol/m^3$와 두께 $1 \times 10^{-3} m$를 정확히 대입하면 ②가 나온다.

③ X

- 계산 결과는 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이므로 1.6은 10배 큰 오답이다.
- 틀린 표현은 수치 1.6이다. 올바르게는 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이다.
- 이 값은 $1mm$를 $10^{-4} m$처럼 잘못 바꾸면 나오는 값이다.

④ X

- 계산 결과는 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이므로 16은 100배 큰 오답이다.
- 틀린 표현은 수치 16이다. 올바르게는 $0.16 mol/m^2 \cdot s$이다.
- 이 값은 지수 계산에서 10^2를 과도하게 올린 경우의 오답이다.

오답 포인트

핵심 함정은 두께 단위 변환과 지수 계산이다. $1mm = 10^{-3} m$를 놓치면 ③처럼 10배 큰 값이 나오고, 지수 정리를 더 틀리면 ④처럼 100배 큰 값이 나온다. ①은 반대로 10배 작게 계산한 경우의 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

평막 확산 문제는 먼저 ΔC, L, D를 정리한 뒤 $|J| = D\Delta C/L$에 대입하여 구한다. 마지막에는 $mm \rightarrow m$ 변환과 10의 지수 자릿수를 다시 검산하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

정상상태 평막 확산은 $J = D\Delta C/L$이고, 막 두께가 mm로 주어지면 반드시 m로 바꾼다.

NoteBase

문 2. 충전탑에서 액체가 충전물과 접촉할 때 특정 경로를 따라 흐르게 되어 충전탑의 성능을 저해하는 현상은?

① 범람(flooding)

② 부하점(loading point)

③ 편류(channeling)

④ 퍼징(purging)

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 충전탑의 대표적 이상 유동 현상인 범람, 부하점, 편류의 의미를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

범람(flooding)은 기체 유속이 너무 커져 액체가 아래로 원활히 내려가지 못하고 탑 내부에 정체되는 상태이다.
부하점(loading point)은 범람 직전 단계로, 액체 보유량과 압력강하가 눈에 띄게 증가하기 시작하는 운전 지점이다.
편류(channeling)는 액체가 충전물 전체에 고르게 퍼지지 않고 일부 경로로만 집중되어 흘러 기액 접촉 효율이 떨어지는 현상이다.
purging은 일반적으로 내부 유체나 불순물을 몰아내는 배출·치환 개념이지, 충전탑 내부의 편중 유동 현상을 뜻하는 용어가 아니다.

선지별 해설

① X: 범람은 액체가 특정 통로로 치우쳐 흐르는 현상이 아니라, 기체 유속 과대로 액체 하강이 방해되어 탑이 차오르는 상태이다. 틀린 표현은 '특정 경로를 따라 흐르게 되어'이며, 올바르게는 '기체 유속 증가로 액체가 내려가지 못해 탑 내에 축적되는 상태'이다.
② X: 부하점은 성능 저하 현상 자체가 아니라 범람으로 넘어가기 직전의 운전 한계 지점이다. 틀린 표현은 '현상'이며, 올바르게는 '범람 전 압력강하와 액체 체류가 증가하기 시작하는 지점'이다.
③ O: 편류는 액체 분배가 불균일하여 일부 충전물 구간으로만 흐르는 현상이다. 이 때문에 유효 접촉면적이 줄어 충전탑의 물질전달 성능이 저하된다.
④ X: purging은 치환이나 세정처럼 내부 유체를 밀어내는 조작을 가리키는 말로 보는 것이 타당하며, 충전물 표면을 따라 특정 경로로 편중되는 현상을 뜻하지 않는다. 올바른 표현은 '특정 경로를 따라 편중 유동하여 성능이 저하되는 현상은 편류(channeling)이다'이다.

오답 포인트

범람과 편류를 모두 '성능을 떨어뜨리는 현상'으로만 외우면 ①과 ③이 혼동된다. 이 문항은 성능 저하의 원인이 '과대 유속에 따른 액체 정체'인지, '액체 분배 불량에 따른 특정 경로 집중'인지로 구분하는 문제가 핵심이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

발문에 '특정 경로', '일부 통로', '고르게 젖지 않음', '분배 불량'이 나오면 편류를 먼저 떠올리면 된다. 반대로 '압력강하 급증', '범람 직전', '액체가 내려가지 못함'이 나오면 부하점이나 범람으로 판단한다.

암기 포인트

편류는 한쪽 길로 치우침, 부하점은 범람 직전, 범람은 탑이 막혀 차오름이다.

NoteBase

문 3. 연속식 다단 증류탑 설계에서 환류비에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 환류비를 증가시키면 단수를 줄일 수 있다.

② 최적 환류비는 고정비용과 운전비용의 합이 최소화될 수 있도록 결정한다.

③ 환류비를 증가시키면 재비기(reboiler)에 공급하는 에너지 비용이 감소한다.

④ 환류비를 증가시키면 증류탑의 직경이 커져야 한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 연속식 다단 증류탑에서 환류비가 단수, 열부하, 탑 직경, 총비용에 미치는 방향을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

환류비는 탑정 생성물의 일부를 응축한 뒤 다시 탑 상부로 되돌리는 비율이다. 환류비가 커지면 분리는 쉬워져 필요한 이론단수는 줄 수 있지만, 탑 내부의 액체·증기 순환유량이 커져 재비기와 응축기의 열부하 및 운전비는 증가한다.

선지별 해설

① O
환류비를 증가시키면 같은 분리도를 얻기 위한 조성 구배 형성이 쉬워져 필요한 이론단수는 감소할 수 있다. 총환류에 가까울수록 최소 단수 방향으로 간다.

② O
최적 환류비는 고정비용과 운전비용의 합이 최소가 되는 지점에서 정한다. 환류비가 너무 작으면 단수와 탑 높이가 커지고, 너무 크면 열부하가 커져 총비용이 다시 증가한다.

③ X
틀린 부분은 "재비기(reboiler)에 공급하는 에너지 비용이 감소한다"이다. 실제로는 환류비가 증가하면 탑 내 내부 유량이 커져 재비기와 응축기에서 처리해야 할 열량이 증가하므로 에너지 비용도 증가한다.

④ O
환류비가 증가하면 탑 내부를 흐르는 증기와 액체의 양이 커져 범람을 피하기 위한 단면적이 더 필요해진다. 따라서 증류탑 직경은 일반적으로 커져야 한다.

NoteBase

오답 포인트

환류비가 커지면 분리가 잘된다는 사실만 기억하면 ③처럼 에너지 소비까지 줄어든다고 잘못 연결하기 쉽다. 환류비 증가는 분리 효율에는 유리하지만 내부 순환유량과 열부하는 함께 키운다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

환류비 관련 선지는 단수와 열부하를 분리해서 판단한다. 환류비 증가이면 필요한 단수는 감소 가능, 내부 유량은 증가, 재비기·응축기 부하는 증가, 탑 직경도 증가 방향으로 정리하면 된다.

암기 포인트

환류비 증가이면 단수는 줄 수 있고, 열부하와 직경은 커진다.

NoteBase

문 4. 원형관을 통해 흐르는 뉴턴 유체에 적용되는 Hagen-Poiseuille 식에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 단위길이당 압력강하는 유체의 밀도와 무관하다.

② 관의 내경 방향으로의 유속 분포는 포물선 형태이다.

③ 관벽면에서의 유속은 0이다.

④ 최대유속은 단위길이당 압력강하에 반비례한다.

정답 4번

출제 포인트

원형관 내 뉴턴 유체의 층류에 대한 Hagen-Poiseuille 식에서 유속분포와 최대유속이 압력강하, 점도, 반지름에 어떻게 비례하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Hagen-Poiseuille 식은 원형관 내 정상 층류에서 체적유량과 유속분포를 나타내는 식이다.
유속분포는 $u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu L}(R^2 - r^2)$로 주어져 관 중심에서 최대이고 관벽에서 0이 된다.
따라서 최대유속은 $u_{\max} = \frac{\Delta P R^2}{4\mu L}$이므로 단위길이당 압력강하에 비례하고 점도에는 반비례한다.

선지별 해설

① O
Hagen-Poiseuille 식은 점성지배 층류 해석식이므로 단위길이당 압력강하는 점도, 유량, 관 반지름과 관련되고 유체의 밀도는 직접 들어가지 않는다.

② O
유속분포식 $u(r) = \frac{\Delta P}{4\mu L}(R^2 - r^2)$는 반지름 r에 대한 2차식이므로 관의 내경 방향 유속분포는 포물선 형태이다.

③ O
관벽에서는 점착조건 때문에 유체속도가 벽과 같아진다. 정지한 관벽에서는 유속이 0이 된다.

④ X
틀린 부분은 "단위길이당 압력강하에 반비례한다"는 표현이다.
최대유속은 $u_{\max} = \frac{\Delta P R^2}{4\mu L}$이므로 단위길이당 압력강하가 클수록 비례하여 커진다.
올바르게는 "최대유속은 단위길이당 압력강하에 비례한다"이다.

NoteBase

오답 포인트

④는 압력강하와 점도의 비례관계를 서로 뒤바꾸면 쉽게 낚이는 선지이다. Hagen-Poiseuille 식에서는 압력강하와 반지름은 분자, 점도와 관 길이는 분모에 놓인다는 구조를 놓치면 반비례라고 오판하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

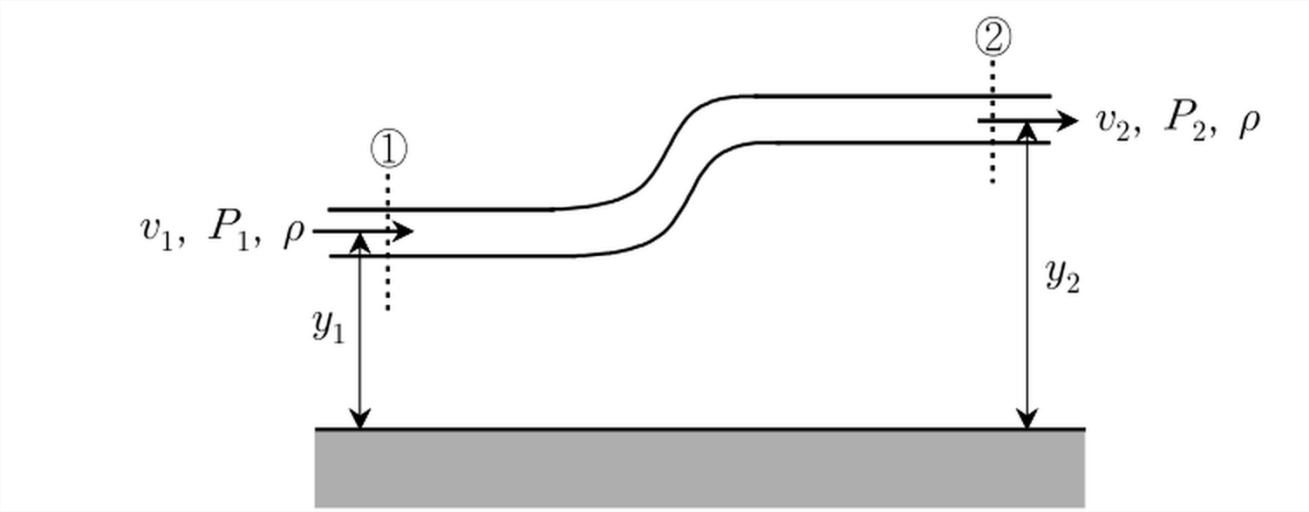
원형관 층류 문제가 나오면 먼저 u_{max}와 $u(r)$ 식에서 무엇이 분자에 있고 무엇이 분모에 있는지 본다. 분자에 있으면 유속이 함께 커지고, 분모에 있으면 유속이 작아진다고 판단하면 된다. 또 관벽 유속 0과 포물선 분포는 기본 성질로 바로 연결한다.

암기 포인트

원형관 층류는 중심 최대, 벽면 0, 유속분포는 포물선, u_{max}는 압력강하에 비례하고 점도에 반비례한다.

NoteBase

문 5. 그림과 같은 도관에서의 유체의 흐름에 대해 $gy_1 + \frac{v_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho} = gy_2 + \frac{v_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho}$의 관계식이 성립할 조건으로 옳은 것은? (단, v_i는 지점 i에서의 유속, P_i는 지점 i에서의 압력, y_i는 지면으로부터 지점 i까지의 높이, 밀도 ρ는 지점과 상관없이 동일하며 지점 i는 1 또는 2이다)



① 압축성 유체에 대해 성립한다.

② 비정상상태 흐름에 대해 성립한다.

③ 비점성(inviscid) 유체에 대해 성립한다.

④ 비등온 흐름에 대해 성립한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 베르누이 방정식 $gy + \frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} = \text{constant}$가 성립하는 기본 가정, 특히 비점성·정상·비압축성 조건을 묻는 문제이다.

핵심 개념

베르누이 방정식은 점성 손실이 없는 유동에서 위치에너지, 속도에너지, 압력에너지의 합이 일정하다는 기계적 에너지 보존식이다.
문제에서 밀도 ρ가 지점과 상관없이 동일하다고 했으므로 비압축성 조건은 이미 주어진 상태이다.
따라서 남는 핵심 조건은 비점성 여부와 정상 유동 여부이며, 온도 자체는 이 식의 직접적인 성립조건이 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 틀린 부분은 '압축성 유체'이다. 문제에서 ρ가 일정하다고 했으므로 이 식은 비압축성 유동을 전제로 한다. 올바르게는 '비압축성 유체에 대해 성립한다'이다.
② X: 틀린 부분은 '비정상상태 흐름'이다. 이 형태의 베르누이 방정식은 기본적으로 정상 유동에서 성립한다. 올바르게는 '정상상태 흐름에 대해 성립한다'이다.
③ O: 비점성 유체에서는 마찰에 의한 기계적 에너지 손실을 무시할 수 있으므로 $gy + \frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho}$의 합을 두 점 사이에서 같게 둘 수 있다. 따라서 ③이 옳다.
④ X: 틀린 부분은 '비등온 흐름에 대해 성립한다'를 성립조건처럼 제시한 점이다. 이 식의 핵심 조건은 온도 조건이 아니라 비점성·정상·비압축성이다. 온도 변화가 커서 밀도 변화나 에너지 교환이 중요해지면 이 단순형을 그대로 쓰기 어렵다. 올바르게는 '온도 변화 여부가 아니라 점성과 정상성, 밀도 일정 여부로 판단한다'이다.

오답 포인트

①과 ④는 압축성, 비등온처럼 열역학 용어를 앞세워 성립조건처럼 보이게 만든 함정이다. 그러나 이 식은 먼저 기계적 에너지 보존이 가능한지, 즉 비점성·정상·비압축성인지로 판단한다. ②도 유동 문제라는 이유만으로 지나치기 쉽지만, 비정상 유동은 기본 베르누이 식의 직접 적용 대상이 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

베르누이 식이 보이면 먼저 밀도 일정 여부, 점성 무시 가능 여부, 정상 유동 여부를 확인한다. 이 세 가지가 맞으면 적용 가능성을 높게 보고, 압축성 효과나 마찰손실, 비정상성이 보이면 단순형 적용을 바로 보류한다.

암기 포인트

베르누이 기본형은 비압축성, 비점성, 정상유동에서의 기계적 에너지 보존식이다.

NoteBase

문 6. 면적 $1m^2$, 두께 $30mm$인 유리창을 통해 실내에서 실외로 열손실이 발생하고 있다. 유리창을 경계로 실내 온도와 실외 온도가 각각 $300K$과 $255K$인 경우 유리창을 통한 열손실속도 $[W]$는? (단, 유리창의 열전도도 k는 $0.6W/(m \cdot K)$, 유리창 안쪽과 바깥쪽에서의 열전달계수 h_i와 h_o는 $5W/(m^2 \cdot K)$으로 동일하다)

① 1

② 10

③ 100

④ 1000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 대류 열저항과 전도 열저항을 직렬로 합쳐 전체 열저항을 구한 뒤 열손실속도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 면적 $A = 1m^2$
- 두께 $L = 30mm = 0.03m$
- 열전도도 $k = 0.6W/m \cdot K$
- 열전달계수 $h_i = h_o = 5W/m^2 \cdot K$
- 온도차 $\Delta T = 300 - 255 = 45K$

구해야 할 값:
- 유리창을 통한 열손실속도 q

주의할 조건:
- 실내측 대류, 유리창 내부 전도, 실외측 대류를 모두 직렬 열저항으로 본다.

사용할 공식

전체 열저항은
$R_{tot} = \frac{1}{h_i A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_o A}$
열손실속도는
$q = \frac{\Delta T}{R_{tot}}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유:
이 문제는 유리창 양쪽에서 대류가 일어나고 유리 내부에서는 전도가 일어나는 1차원 정상상태 열전달이므로 각 열저항을 직렬로 합산해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 실내측 대류 열저항은 $\frac{1}{h_i A} = \frac{1}{5 \times 1} = 0.2 K/W$이다.
2. 유리창 전도 열저항은 $\frac{L}{kA} = \frac{0.03}{0.6 \times 1} = 0.05 K/W$이다.
3. 실외측 대류 열저항은 $\frac{1}{h_o A} = \frac{1}{5 \times 1} = 0.2 K/W$이다.
4. 따라서 전체 열저항은 $R_{tot} = 0.2 + 0.05 + 0.2 = 0.45 K/W$이다.
5. 열손실속도는
$q = \frac{45}{0.45} = 100 W$
이다.

선지별 해설

① X
- ①의 '1'은 계산값과 맞지 않는다. 전체 열저항이 $0.45 K/W$, 온도차가 $45 K$이므로 열손실속도는 $1 W$가 아니라 $100 W$이다.

② X
- ②의 '10'도 계산값과 맞지 않는다. 직렬 열저항을 모두 합한 뒤 $q = \Delta T / R_{tot}$를 적용하면 $10 W$가 아니라 $100 W$가 된다.

③ O
- 전체 열저항이 $0.45 K/W$이고 온도차가 $45 K$이므로 $q = 45 / 0.45 = 100 W$이다. 따라서 ③이 옳다.

④ X
- ④의 '1000'은 지나치게 큰 값이다. 이는 유리 내부 전도만 보고 표면 대류 열저항을 무시할 때 나오는 값에 가깝다. 올바르게는 실내외 대류 저항까지 포함해야 하므로 $1000 W$가 아니라 $100 W$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 유리 내부 전도만 계산하고 표면의 대류 열저항 $1/hA$ 두 개를 빼먹는 데 있다. 두 대류 저항의 합이 $0.4 K/W$로 전도 저항 $0.05 K/W$보다 훨씬 크므로, 이를 누락하면 열손실속도를 과대평가하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

벽이나 창문을 통한 열손실 문제는 먼저 '대류-전도-대류'의 직렬 구조인지 확인한 뒤, $1/(h_i A)$, $L/(kA)$, $1/(h_o A)$를 모두 더해 전체 열저항을 만든 다음 $q = \Delta T / R$로 계산하면 된다.

암기 포인트

평판 벽 열손실은 $q = \Delta T / \left(\frac{1}{h_i A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_o A} \right)$로 정리된다.

NoteBase

문 7. Nusselt 수(Nu)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 유체의 대류 열전달 저항에 대한 전도 열전달 저항의 비(ratio)이다.

② Nu를 정의하는 데 사용되는 열전도도는 유체 속에 있는 고체의 열전도도이다.

③ 강제 대류 열전달에 있어서 Nu는 레이놀즈(Reynolds) 수와 프란틀(Prandtl) 수의 함수가 된다.

④ 동일한 조건에서 열전도도가 커지면 Nu 값은 작아진다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Nusselt 수의 정의와 그 물리적 의미, 그리고 식 $Nu = hL/k$에서 각 물성치가 어떤 역할을 하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Nusselt 수는 유체층에서 순수 전도만 일어날 때에 비해 대류가 열전달을 얼마나 증진시키는지를 나타내는 무차원수이다.
정의식은 $Nu = hL/k$이며, 여기서 h는 대류열전달계수, L은 대표길이, k는 유체의 열전도도이다.
또한 $Nu = (L/kA)/(1/hA)$로 쓸 수 있으므로 기준 전도열저항을 대류열저항으로 나눈 값으로도 해석된다.

선지별 해설

① O
유체의 대류 열전달 저항 $(1/hA)$에 대한 전도 열전달 저항 (L/kA)의 비는 $Nu = hL/k$가 된다. 따라서 Nusselt 수를 열저항의 비로 설명한 내용은 옳다.

② X
틀린 부분은 "유체 속에 있는 고체의 열전도도"이다.
Nusselt 수를 정의할 때 쓰는 k는 고체가 아니라 유체의 열전도도이다. 올바르게는 "Nu를 정의하는 데 사용되는 열전도도는 유체의 열전도도이다"가 된다.

③ O
강제대류 열전달에서 Nusselt 수는 일반적으로 $Nu = f(Re, Pr)$ 형태로 정리된다. 즉 유동상태를 나타내는 Reynolds 수와 열확산-운동량확산의 상대적 크기를 나타내는 Prandtl 수의 함수가 된다.

④ O
정의식 $Nu = hL/k$에서 동일한 h와 L를 두면 k가 커질수록 Nu는 작아진다. 따라서 동일한 조건에서 열전도도가 커지면 Nu 값이 작아진다는 설명은 옳다.

NoteBase

오답 포인트

②는 열전도도의 대상을 고체로 바꿔 놓은 함정이다. Nusselt 수는 대류가 일어나는 유체 경계층을 기준으로 정의하므로 k는 항상 유체의 열전도도이다. ①은 비의 방향을 헷갈리기 쉬우나 전도열저항/대류열저항으로 쓰면 바로 Nu가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

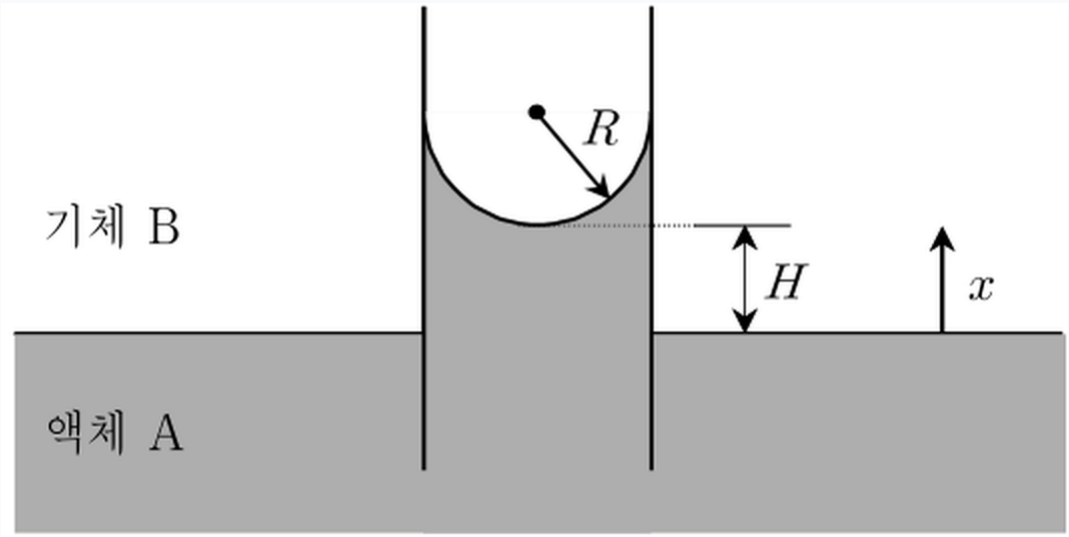
먼저 $Nu = hL/k$를 떠올린 뒤 각 기호가 무엇을 뜻하는지 확인하면 된다. 열전도도가 무엇의 값인지 묻으면 유체의 k인지부터 점검하고, 열저항의 비를 묻으면 L/kA와 $1/hA$를 써서 바로 대응시키면 된다.

암기 포인트

Nusselt 수는 "대류 증진 정도"이며, k는 고체가 아니라 유체의 열전도도이다.

NoteBase

문 8. 그림과 같이 액체의 모세관 상승을 이용하여 표면장력을 측정하고자 한다. 밀도 ρ_A인 액체 A에 모세관을 담그면 모세관 현상에 의해 액체는 높이 H만큼 상승하고 모세관 내에 반경 R인 액면이 형성된다. 액체 A와 접하고 있는 기체 B의 밀도를 ρ_B, 중력가속도를 g라고 할 때 액체의 표면장력σ을 나타낸 식으로 옳은 것은? (단, 액체-기체 계면에서의 압력차 ΔP는 Laplace-Young 식에 의해서 $\Delta P = \frac{2\sigma}{R}$라 가정한다)



① $\sigma = \frac{1}{2}(\rho_A - \rho_B)RgH$

② $\sigma = (\rho_A - \rho_B)RgH$

③ $\sigma = 2(\rho_A - \rho_B)RgH$

④ $\sigma = 4(\rho_A - \rho_B)RgH$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 모세관 상승에서 계면의 압력차와 액체-기체의 정수압 차를 연결하여 표면장력 σ를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 액체 밀도 ρ_A, 기체 밀도 ρ_B, 상승 높이 H, 계면 곡률반경 R, 중력가속도 g이다.
구해야 할 값은 표면장력 σ이다.
주의할 조건은 같은 높이에서 액체와 기체의 압력을 비교해야 하고, 계면 압력차는 $\Delta P = 2\sigma/R$라는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $p_g - p_l = \Delta P$, $\Delta P = 2\sigma/R$이다.
외부 자유표면에서 $p_A(0) = p_B(0)$이고, 높이 H만큼 올라간 위치에서는 액체와 기체가 각각 정수압만큼 감소하므로 같은 높이의 압력차를 Laplace-Young 식과 바로 연결할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 외부 자유표면을 기준으로 하면 $p_A(0) = p_B(0)$이다.
2. 계면 높이 H에서 액체 쪽 압력은 $p_l = p_A(0) - \rho_A g H$, 기체 쪽 압력은 $p_g = p_B(0) - \rho_B g H$이다.
3. 따라서 계면 압력차는 $p_g - p_l = (\rho_A - \rho_B) g H$이다.
4. Laplace-Young 식 $p_g - p_l = 2\sigma/R$를 대입하면 $\frac{2\sigma}{R} = (\rho_A - \rho_B) g H$이다.
5. 정리하면 $\sigma = \frac{1}{2}(\rho_A - \rho_B) R g H$ 이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $\sigma = \frac{1}{2}(\rho_A - \rho_B) R g H$이므로 맞는 식이다.
② X: $\frac{1}{2}$가 빠진 식이므로 틀리다. $2\sigma/R = (\rho_A - \rho_B) g H$에서 σ를 정리할 때 2로 나누어야 하므로, 올바르게는 $\sigma = \frac{1}{2}(\rho_A - \rho_B) R g H$이다.
③ X: 정답식보다 4배 큰 값이므로 틀리다. 이는 $2\sigma/R$의 2를 반대로 곱해 버린 오차이며, 올바르게는 $\sigma = \frac{1}{2}(\rho_A - \rho_B) R g H$이다.
④ X: 정답식보다 8배 큰 값이므로 틀리다. 계면 압력차를 정리하면서 계수 2를 두 번 잘못 처리한 식에 해당하며, 올바르게는 $\sigma = \frac{1}{2}(\rho_A - \rho_B) R g H$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 같은 높이에서 압력을 비교하지 않으면 H에 따른 정수압 차를 잘못 세운다. 둘째, $\Delta P = 2\sigma/R$를 σ에 대해 정리할 때 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리기 쉽다. 기체 밀도 ρ_B도 포함되어 있으므로 단순히 $\rho_A g H$만 쓰면 조건을 덜 반영한 풀이가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

모세관 상승 문제는 먼저 외부 자유표면에서 압력 기준점을 잡고, 그다음 같은 높이의 액체 압력과 기체 압력을 각각 $\rho g H$만큼 이동시켜 압력차를 만든 뒤, 마지막에 그 압력차를 $2\sigma/R$와 연결하면 된다.

암기 포인트

모세관 상승의 핵심 관계는 $(\rho_A - \rho_B) g H = 2\sigma/R$이며, 따라서 σ에는 항상 $\frac{1}{2}R$가 붙는다.

NoteBase

문 9. 이중관 열교환기(double-pipe heat exchanger)에서 등유와 물이 향류(countercurrent flow)로 접촉한다. 등유는 열교환기에 $380K$으로 도입되어 $310K$으로 배출되고, 물은 $280K$으로 도입되어 $320K$으로 배출된다. 총괄 열전달계수가 $110W/(m^2 \cdot K)$이고 열전달면적이 $1.4m^2$일 때, 등유의 열손실속도[W]는? (단, $\ln 2 \approx 0.7$, $\ln 3 \approx 1.1$로 계산한다)

① 5500

② 5600

③ 6300

④ 6600

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 향류 이중관 열교환기에서 대수평균온도차를 구한 뒤 $Q = UA\Delta T_{lm}$을 적용해 등유의 열손실속도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 등유는 $380K \rightarrow 310K$, 물은 $280K \rightarrow 320K$이다.
총괄 열전달계수는 $U = 110W/(m^2 \cdot K)$, 열전달면적은 $A = 1.4m^2$이다.
구해야 할 값: 등유의 열손실속도 Q이다.
주의할 조건: 향류이므로 끝단 온도차는 $\Delta T_1 = 380 - 320 = 60K$, $\Delta T_2 = 310 - 280 = 30K$이다.

사용할 공식

$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$
$Q = UA\Delta T_{lm}$
이 공식을 쓰는 이유: 문제의 열교환기는 향류형이며, 입구와 출구에서 온도차가 서로 다르므로 단순 온도차가 아니라 대수평균온도차를 써야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 끝단 온도차를 잡는다.

$\Delta T_1 = 380 - 320 = 60K$

$\Delta T_2 = 310 - 280 = 30K$

2. 대수평균온도차를 구한다.

$\Delta T_{lm} = \frac{60-30}{\ln(60/30)} = \frac{30}{\ln 2} \approx \frac{30}{0.7} \approx 42.9K$

3. 열손실속도를 계산한다.

$Q = 110 \times 1.4 \times 42.9 \approx 6600W$

따라서 등유의 열손실속도는 약 $6600W$이다.

선지별 해설

① X

계산 결과는 약 $6600W$이므로 $5500W$는 실제 값보다 작다. 올바르게는 등유의 열손실속도는 약 $6600W$이다.

② X

계산 결과와 맞지 않는다. $5600W$는 대수평균온도차를 잘못 계산하거나 끝단 온도차를 잘못 잡았을 때 나올 수 있는 오답이다. 올바르게는 약 $6600W$이다.

③ X

계산값과 일치하지 않는다. $6300W$는 중간 계산에서 반올림을 과도하게 하거나 온도차를 부정확하게 넣었을 때 생기는 값이다. 올바르게는 약 $6600W$이다.

④ O

향류 조건에서 $\Delta T_{lm} \approx 42.9K$이고, $Q = UA\Delta T_{lm} = 110 \times 1.4 \times 42.9 \approx 6600W$이므로 옳다.

오답 포인트

향류 열교환기에서는 같은 쪽에 있는 유체 온도를 빼는 것이 아니라 서로 마주 보는 끝단의 온도차를 잡아야 한다. 또 온도차가 두 개이므로 산술평균이 아니라 대수평균온도차를 써야 하는데, 이 지점에서 오답이 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

향류 열교환기 계산형은 먼저 $\Delta T_1 = T_{h,in} - T_{c,out}$, $\Delta T_2 = T_{h,out} - T_{c,in}$를 잡고, 다음에 ΔT_{lm}을 구한 뒤 마지막에 $Q = UA\Delta T_{lm}$을 적용하면 된다.

암기 포인트

향류 열교환기 열량 계산은 끝단 온도차 2개를 먼저 정하고, 그다음 LMTD를 구한 뒤 $Q = UA\Delta T_{lm}$으로 마무리하는 순서이다.

NoteBase

문 10. 성분 A와 B로 구성된 25°C 액체상 원료가 연속식 증류탑으로 공급될 때 원료공급선의 기울기는? (단, 액체상 원료의 기포점(bubble point)은 1 기압에서 85°C이며 비열과 기화열은 각각 0.4cal/g · °C와 72cal/g이다)

① 4.0

② 3.3

③ 2.5

④ 1.2

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기포점보다 낮은 온도의 액체 원료, 즉 과냉액 원료의 q값을 구한 뒤 원료공급선의 기울기 $\frac{q}{q-1}$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 원료 온도 $25\,^\circ C$, 기포점 $85\,^\circ C$, 비열 $C_p = 0.4cal/(g\cdot\,^\circ C)$, 기화열 $\lambda = 72cal/g$이다.
- 구해야 할 값: 원료공급선의 기울기이다.
- 주의할 조건: 원료가 액체상이고 온도가 기포점보다 낮으므로 과냉액 원료이다.

사용할 공식

과냉액 원료이므로

$q = 1 + \frac{C_p(T_b - T_F)}{\lambda}$

를 사용한다.

원료공급선의 기울기는

$\frac{q}{q-1}$

이다.

이 공식을 쓰는 이유는 원료가 기포점보다 낮은 액체이므로 기포점까지 올리는 현열이 추가로 필요해 $q > 1$인 경우에 해당하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 온도 차는 $T_b - T_F = 85 - 25 = 60\,^\circ C$이다.
2. 과냉액 원료의 q값은
$q = 1 + \frac{0.4 \times 60}{72} = 1 + \frac{24}{72} = 1 + \frac{1}{3} = \frac{4}{3}$
이다.
3. 원료공급선의 기울기는
$\frac{q}{q-1} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{4}{3}-1} = \frac{\frac{4}{3}}{\frac{1}{3}} = 4.0$
이다.

선지별 해설

① O
- 계산된 원료공급선의 기울기가 4.0이므로 맞는 선지이다.
- 액체상 과냉원료에서는 $q > 1$이고, 이 문항에서는 $q = \frac{4}{3}$이어서 기울기가 4.0이 된다.

② X
- 3.3은 최종 기울기 계산값과 다르므로 틀린 선지이다.
- 이 문항은 q 자체가 아니라 $\frac{q}{q-1}$를 구해야 하므로 중간 계산값을 기울기처럼 취급하면 안 된다.
- 올바르게는 원료공급선의 기울기가 3.3이 아니라 4.0이다.

③ X
- 2.5는 과냉액 원료의 최종 기울기 계산 결과와 맞지 않으므로 틀린 선지이다.
- 원료가 $25\,^\circ C$에서 $85\,^\circ C$까지 가열되는 현열을 반영하면 $q = \frac{4}{3}$이 되고, 기울기는 그보다 큰 4.0이 된다.
- 올바르게는 원료공급선의 기울기가 2.5가 아니라 4.0이다.

④ X
- 1.2는 q를 1에 가깝게 과소평가한 값이라서 틀린 선지이다.
- 과냉액에서는 $q > 1$이고 이 문항처럼 현열 항 $\frac{0.4 \times 60}{72} = \frac{1}{3}$이 추가되므로 기울기가 1대 수준으로 나오지 않는다.
- 올바르게는 원료공급선의 기울기가 1.2가 아니라 4.0이다.

오답 포인트

함정은 q값과 원료공급선의 기울기를 혼동하는 데 있다. 발문은 기울기를 묻고 있으므로 먼저 원료 상태를 과냉액으로 판정한 뒤 q를 구하고, 마지막에 반드시 $\frac{q}{q-1}$까지 한 번 더 계산해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

증류 원료공급선 문제는 먼저 원료의 상태를 포화액, 과냉액, 포화증기, 과열증기로 구분한 다음 해당 q값 공식을 고른다. 그 다음 q 자체를 답으로 쓰지 말고 발문이 기울기인지 절편인지 확인해 최종식을 한 번 더 적용하면 된다.

암기 포인트

과냉액 원료는 $q > 1$이고, 원료공급선의 기울기는 $\frac{q}{q-1}$이므로 1보다 크게 나온다.

NoteBase

문 11. 스테판-볼츠만 상수(σ)의 단위로 옳은 것은?

① $\frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}^4}$
② $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}^4}$
③ $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{s} \cdot \mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}}$
④ $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m}^2 \cdot \mathrm{K}}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 스테판-볼츠만 법칙 $q = \sigma T^4$에서 σ의 단위를 분리해 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 관계식은 흑체의 복사 열유속 $q = \sigma T^4$이다.
열유속 q의 단위는 단위면적당 시간당 에너지이므로 W/m^2이다.
온도 T의 단위는 K이므로 T^4의 단위는 K^4이다.

사용할 공식

$q = \sigma T^4$
따라서
$\sigma = \frac{q}{T^4}$
이 공식을 쓰는 이유는 스테판-볼츠만 상수가 복사 열유속과 절대온도 4제곱을 연결하는 비례상수이기 때문이다.

계산 과정

1. 복사 열유속 q의 단위를 W/m^2로 둔다.
2. T^4의 단위를 K^4로 둔다.
3. $\sigma = q/T^4$이므로 σ의 단위는 $W/(m^2 \cdot K^4)$가 된다.

선지별 해설

① O: σ의 단위는 $W/(m^2 \cdot K^4)$이므로 옳다.
② X: $J/(m^2 \cdot K^4)$는 시간 차원이 빠져 있다. 틀린 표현은 분자 J만 있고 $/s$가 없다는 점이다. 올바르게는 $J/(s \cdot m^2 \cdot K^4)$ 또는 같은 뜻의 $W/(m^2 \cdot K^4)$이다.
③ X: $J/(s \cdot m^2 \cdot K)$는 온도 차원이 K 하나만 있어 T^4를 반영하지 못한다. 틀린 표현은 K가 K^4가 아니라는 점이다. 올바르게는 $J/(s \cdot m^2 \cdot K^4)$이다.
④ X: $J/(m^2 \cdot K)$는 시간 차원도 없고 온도 차원도 K^4가 아니다. 틀린 표현은 $/s$가 없고 K가 K^4가 아니라는 점이다. 올바르게는 $J/(s \cdot m^2 \cdot K^4)$ 또는 $W/(m^2 \cdot K^4)$이다.

NoteBase

오답 포인트

②는 $W = J/s$ 관계를 놓치면 고르기 쉽고, ③은 스테판-볼츠만 법칙의 온도 4제곱을 K 하나로 줄여 보는 실수가 잘 나온다. 이 문제는 시간 차원과 온도 지수 둘을 동시에 검산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

상수의 단위를 묻는 문제는 먼저 관계식을 쓰고, 좌변 단위를 우변의 변수 단위로 나누어 본다. 특히 $W = J/s$ 같은 등가 단위와 온도 지수 K^4를 끝까지 유지하면 정답을 바로 고를 수 있다.

암기 포인트

스테판-볼츠만 법칙은 $q = \sigma T^4$, 따라서 σ의 단위는 $W/(m^2 \cdot K^4)$이다.

NoteBase

문 12. 점도(viscosity)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 동점도(kinematic viscosity)는 점도를 밀도로 나눈 값이다.

② 점도가 큰 액체일수록 운동량을 빨리 전달한다.

③ 동점도의 차원은 확산계수(diffusivity)의 차원과 같다.

④ 기체의 점도는 온도가 높아짐에 따라 낮아진다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 점도와 동점도의 정의, 운동량 확산의 의미, 그리고 온도에 따른 점도 변화 방향을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

점도는 유체 층 사이에서 운동량이 전달될 때 나타나는 내부 마찰의 크기이다.
동점도는 점도를 밀도로 나눈 값으로, 운동량 확산도의 의미를 가지며 $\nu = \mu/\rho$이다.
온도 변화에 대해서는 액체의 점도는 대체로 감소하고, 기체의 점도는 대체로 증가한다.

선지별 해설

① O: 동점도는 점도 μ를 밀도 ρ로 나눈 값이므로 설명이 옳다.
② O: 점도가 크다는 것은 유체층 사이의 운동량 전달이 더 크게 일어난다는 뜻이므로, 액체일수록 운동량을 더 잘 전달한다고 볼 수 있다.
③ O: 동점도의 차원은 L^2/T이고, 확산계수의 차원도 L^2/T이므로 서로 같다.
④ X: 틀린 부분은 "기체의 점도는 온도가 높아짐에 따라 낮아진다"이다. 실제로는 기체의 점도는 온도가 높아질수록 증가한다.

오답 포인트

액체와 기체의 온도-점도 관계를 서로 바꾸어 외우면 ④에 쉽게 속는다. 액체는 가열하면 잘 흐르게 되어 점도가 감소하지만, 기체는 분자 운동이 활발해져 점도가 증가한다.

다시 나오면 이렇게 판단

점도 문제가 나오면 먼저 동점도인지 점도인지 정의를 구분하고, 그다음 동점도는 운동량 확산도라서 확산계수와 같은 차원을 가진다는 점을 확인한다. 마지막으로 온도 변화는 액체와 기체에서 방향이 반대라는 점을 대입하면 된다.

암기 포인트

동점도는 μ/ρ, 차원은 L^2/T, 온도 상승 시 액체 점도는 감소하고 기체 점도는 증가한다.

NoteBase

문 13. 흡수탑 설계 시 기체의 흡수속도를 높이기 위한 방법으로 옳은 것은?

① 기체와 액체의 접촉면적을 감소시킨다.

② 흡수될 기체의 분압을 낮춘다.

③ 기체와 액체의 접촉시간을 감소시킨다.

④ 흡수온도를 낮춘다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 흡수탑에서 기체 흡수속도를 크게 하는 조작 조건을 묻는 문제이다.

핵심 개념

흡수는 기체 성분이 액체로 이동하는 물질전달 과정이며, 흡수속도는 기액 접촉면적, 접촉시간, 기체의 분압에 따른 구동력, 흡수온도의 영향으로 달라진다.
일반적으로 흡수온도를 낮추면 기체의 용해도가 커지고 평형분압이 낮아져 흡수 구동력이 커지므로 흡수속도 증가에 유리하다.

선지별 해설

① X
기액 접촉면적이 커질수록 물질전달 면적이 증가하여 흡수속도가 커진다.
틀린 표현은 "접촉면적을 감소시킨다"이다. 올바르게는 기체와 액체의 접촉면적을 증가시킨다.

② X
흡수될 기체의 분압이 높을수록 기상에서 액상으로 넘어가려는 구동력이 커져 흡수속도가 증가한다.
틀린 표현은 "분압을 낮춘다"이다. 올바르게는 흡수될 기체의 분압을 높인다.

③ X
기체와 액체의 접촉시간이 길수록 성분 이동이 일어날 시간이 늘어나 흡수에 유리하다.
틀린 표현은 "접촉시간을 감소시킨다"이다. 올바르게는 기체와 액체의 접촉시간을 증가시킨다.

④ O
흡수온도를 낮추면 일반적으로 기체의 액체 내 용해도가 증가하므로 흡수 조작에 유리하고 흡수속도를 높일 수 있다.

NoteBase

오답 포인트

흡수속도를 높이는 조건은 대체로 접촉면적 증가, 접촉시간 증가, 분압 증가처럼 구동력이나 전달기회를 키우는 방향이다. ①~③은 모두 이런 방향을 반대로 뒤집어 놓은 선지라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

흡수 조작 문제에서는 먼저 기액 사이 물질전달 구동력이 커지는지, 그리고 접촉면적과 접촉시간이 늘어나는지를 본다. 이 세 요소가 커지면 대체로 흡수속도는 증가하고, 온도는 일반적으로 낮을수록 흡수에 유리하다고 판단할 수 있다.

암기 포인트

흡수는 저온, 고분압, 큰 접촉면적, 긴 접촉시간이 유리하다.

NoteBase

문 14. 평균 열전도도가 $0.5\mathrm{W/m\cdot K}$인 단열재로 만든 벽의 두께가 50 cm이다. 벽의 안쪽 면과 바깥쪽 면의 온도가 각각 $100^\circ\mathrm{C}$와 $20^\circ\mathrm{C}$일 때, 벽을 통한 단위면적당 열손실속도[$\mathrm{W/m^2}$]는?

① 60

② 70

③ 80

④ 90

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 평판벽의 정상 1차원 열전도식으로 단위면적당 열손실속도를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 평균 열전도도 $k = 0.5W/(m \cdot K)$, 벽 두께 $L = 50cm = 0.5m$, 안쪽 면 온도 $100^\circ C$, 바깥쪽 면 온도 $20^\circ C$이다.
구해야 할 값은 단위면적당 열손실속도 q''이다.
온도차는 $\Delta T = 100 - 20 = 80K$로 잡는다.

사용할 공식

평판벽의 단위면적당 열전도 열유속은 $q'' = k\frac{\Delta T}{L}$이다.
이 문제는 열전도도가 일정한 단열재 벽을 사이에 두고 양쪽 면 온도가 주어진 정상 열전도 상황이므로 이 공식을 그대로 적용한다.

계산 과정

$q'' = k\frac{\Delta T}{L} = 0.5 \times \frac{80}{0.5} = 80$
따라서 벽을 통한 단위면적당 열손실속도는 $80W/m^2$이다.

선지 판단

1번 X: $60W/m^2$는 주어진 값으로 계산한 결과와 다르다. 올바른 값은 $80W/m^2$이다.
2번 X: $70W/m^2$는 계산 결과와 다르다. 열전도도, 온도차, 두께를 정확히 대입하면 $80W/m^2$가 된다.
3번 O: $q'' = 0.5 \times 80/0.5 = 80W/m^2$이므로 맞다.
4번 X: $90W/m^2$는 계산값이 아니다. 올바른 값은 $80W/m^2$이다.

NoteBase

오답 포인트

벽 두께 $50cm$를 그대로 50으로 넣거나, 온도차를 $80K$가 아닌 다른 값으로 잘못 잡으면 오답이 된다. 이 문제의 핵심 함정은 두께 단위 환산과 $\Delta T/L$의 형태를 정확히 유지하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판벽 열전도 문제는 먼저 두께를 m로 바꾸고, 다음에 양면 온도차를 구한 뒤, 마지막에 $q'' = k\Delta T/L$에 대입하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

평판벽 정상 열전도는 열유속이 $q'' = k\Delta T/L$이고, 두께가 두꺼울수록 열손실속도는 작아진다.

NoteBase

문 15. 한 변의 길이가 a인 정삼각형의 단면을 갖는 관의 상당지름 (equivalent diameter)은?

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

정답 4번

출제 포인트

비원형 관의 상당지름 D_e를 단면적과 둘레로부터 $D_e = \frac{4A}{P}$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 정삼각형의 한 변 a이다.
구해야 할 값: 관의 상당지름 D_e이다.
주의할 조건: 정삼각형의 단면적과 둘레를 모두 구한 뒤 상당지름 공식에 대입해야 한다.

사용할 공식

상당지름은 $D_e = \frac{4A}{P}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 비원형 관은 단면적 A와 둘레 P를 이용해 원형관의 등가지름으로 환산하기 때문이다.

계산 과정

1. 정삼각형의 단면적은 $A = \frac{\sqrt{3}}{4}a^2$이다.
2. 정삼각형의 둘레는 $P = 3a$이다.
3. 따라서 $D_e = \frac{4A}{P} = \frac{4\left(\frac{\sqrt{3}}{4}a^2\right)}{3a} = \frac{\sqrt{3}}{3}a = \frac{a}{\sqrt{3}}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
$\frac{1}{\sqrt{2}}a$는 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 "상당지름이 $\frac{a}{\sqrt{2}}$이다"이다. 올바르게는 "상당지름은 $\frac{a}{\sqrt{3}}$이다"이다.

② X
$\frac{1}{3}a$는 정삼각형 면적식의 $\sqrt{3}$를 빠뜨렸을 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 "상당지름이 $\frac{a}{3}$이다"이다. 올바르게는 면적을 $A=\frac{\sqrt{3}}{4}a^2$로 두어 $D_e=\frac{a}{\sqrt{3}}$로 계산해야 한다.

③ X
$\frac{1}{4\sqrt{3}}a$는 상당지름 공식 $D_e=\frac{4A}{P}$에서 앞의 4를 빠뜨리면 나오는 값이다. 틀린 표현은 "상당지름이 $\frac{a}{4\sqrt{3}}$이다"이다. 올바르게는 $4A$를 써서 $D_e=\frac{a}{\sqrt{3}}$로 계산한다.

④ O
$D_e=\frac{4A}{P}=\frac{4\left(\frac{\sqrt{3}}{4}a^2\right)}{3a}=\frac{a}{\sqrt{3}}$이므로 옳다. 계산 결과와 정확히 일치하므로 정답이다.

오답 포인트

정삼각형 면적식의 $\sqrt{3}$를 누락하거나, 상당지름 공식의 앞의 4를 빼먹으면 오답이 된다. 비원형 관 문제는 도형의 면적 공식과 $D_e=\frac{4A}{P}$를 동시에 정확히 써야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

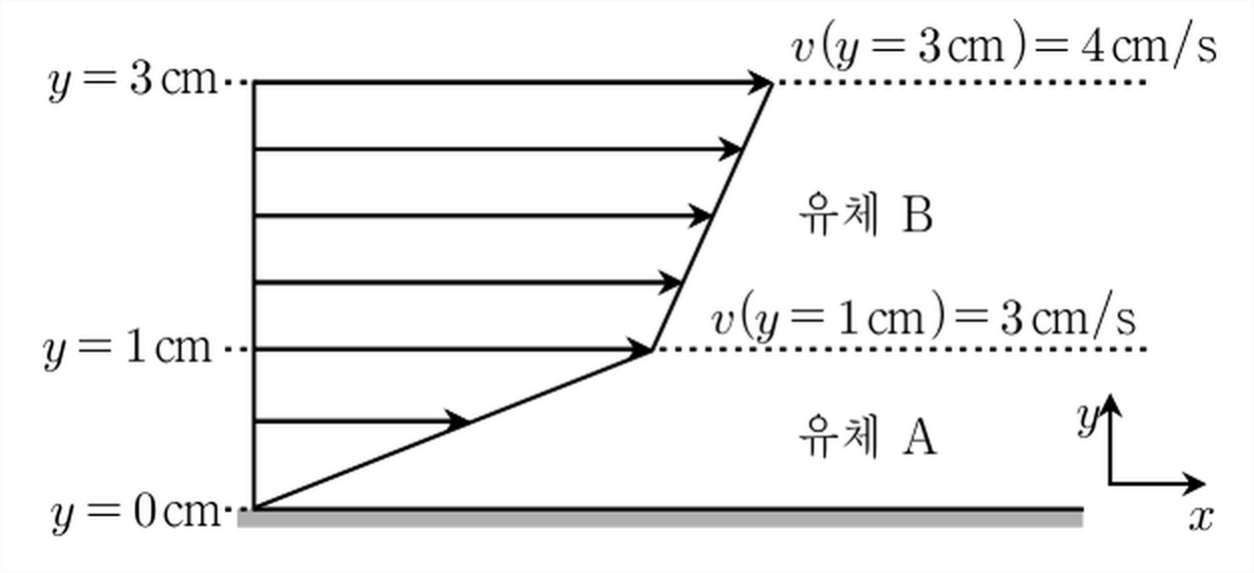
비원형 관의 상당지름 문제는 먼저 단면적 A와 둘레 P를 구하고, 그다음 $D_e=\frac{4A}{P}$에 대입해 계산값이 어느 선지와 일치하는지 판단한다.

암기 포인트

상당지름은 $\frac{4A}{P}$이고, 정삼각형은 $A=\frac{\sqrt{3}}{4}a^2$, $P=3a$이므로 결과는 $\frac{a}{\sqrt{3}}$이다.

NoteBase

문 16. 서로 혼합되지 않는 뉴턴 유체 A와 B의 x-축 방향 속도 분포 ($v = v(y)$)가 그림과 같다. 유체 A와 B를 포함한 유체 전체의 평균속도[cm/s]는? (단, $y = 1$cm와 $y = 3$cm에서 유체의 x-축 방향 속도는 각각 3cm/s와 4cm/s이다)



① $\frac{17}{2}$
② $\frac{17}{6}$
③ $\frac{15}{2}$
④ $\frac{17}{3}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 속도 분포 $v = v(y)$의 면적을 이용해 유체 전체의 평균속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- $y = 0 \sim 1cm$ 구간의 유체 A는 속도가 $0 \rightarrow 3cm/s$로 선형 증가한다.
- $y = 1 \sim 3cm$ 구간의 유체 B는 속도가 $3 \rightarrow 4cm/s$로 선형 증가한다.

구해야 할 값:
- 전체 두께 $3cm$에 대한 평균속도

주의할 조건:
- 평균속도는 각 층의 단순 산술평균이 아니라 전체 속도분포 면적을 전체 두께로 나눈 값이다.

NoteBase

사용할 공식

평균속도는 속도분포의 면적을 전체 두께로 나누어 구한다.

$\bar{v} = \frac{1}{H}\int_0^H v(y)dy$

이 문제에서는 그래프가 직선 조각으로 주어졌으므로 적분값을 삼각형과 사다리꼴 면적의 합으로 계산할 수 있다.

계산 과정

1. 유체 A 구간의 면적은 삼각형이다.

$A_A = \frac{1 \times 3}{2} = \frac{3}{2}$

2. 유체 B 구간의 면적은 밑변이 $2cm$, 평행한 두 변이 $3cm/s$와 $4cm/s$인 사다리꼴이다.

$A_B = \frac{(3+4) \times 2}{2} = 7$

3. 전체 면적을 더한 뒤 전체 두께 $3cm$로 나누면 평균속도가 된다.

$\bar{v} = \frac{A_A + A_B}{3} = \frac{\frac{3}{2} + 7}{3} = \frac{\frac{17}{2}}{3} = \frac{17}{6} cm/s$

선지별 해설

① X

- 17/2는 속도분포의 전체 면적일 뿐 평균속도가 아니다. 평균속도는 이 면적을 전체 두께 $3cm$로 다시 나누어야 한다.
- 틀린 값 17/2 → 올바르게는 평균속도 17/6cm/s이다.

② O

- 유체 A의 면적은 $\frac{3}{2}$, 유체 B의 면적은 7이므로 전체 면적은 $\frac{17}{2}$이다.
- 이를 전체 두께 3으로 나누면 평균속도는 $\frac{17}{6} cm/s$가 되므로 옳다.

③ X

- 15/2는 유체 B를 속도 $3cm/s$의 직사각형으로만 보고, $3 \rightarrow 4cm/s$로 증가하는 추가 삼각형 면적 1을 빠뜨리면 나오는 값이다.
- 틀린 값 15/2 → 올바르게는 유체 B의 증가분까지 포함한 평균속도 17/6cm/s이다.

④ X

- 17/3은 전체 면적 17/2를 평균속도로 바꾸는 마지막 나눗셈을 잘못 처리한 값이다. 평균속도는 반드시 전체 두께 3으로 나눈다.
- 틀린 값 17/3 → 올바르게는 $\left(\frac{17}{2}\right) \div 3 = \frac{17}{6} cm/s$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 그래프 아래 면적 자체와 평균속도를 혼동하는 데 있다. ①처럼 면적 17/2를 그대로 답으로 쓰거나, ③처럼 윗층의 사다리꼴을 직사각형으로 단순화하면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

속도-위치 그래프에서 평균속도를 묻는 문제는 각 구간의 그래프 아래 면적을 도형으로 나누어 구한 뒤, 그 총면적을 전체 길이 또는 전체 두께로 한 번 나누는 순서로 판단한다.

암기 포인트

평균속도는 그래프 아래 총면적을 전체 구간 길이로 나눈 값이다. 직선 분포는 삼각형과 사다리꼴 면적으로 바로 계산된다.

NoteBase

문 17. 비압축성 유체 내에서 구형 입자가 중력 침강한다. Stokes 법칙이 성립되는 영역에서 입자의 직경이 2배로 증가하면 입자의 종말 속도(terminal velocity)는 처음의 몇 배가 되는가?

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

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Stokes 영역에서 구형 입자의 종말속도가 입자 직경의 제곱에 비례함을 적용하는 문제이다.

조건 정리

비압축성 유체 내에서 구형 입자가 중력 침강한다.
Stokes 법칙이 성립하는 영역이므로 항력은 속도에 비례한다.
입자의 재질, 유체의 밀도와 점도, 중력은 같고 직경만 2배로 증가한다.

사용할 공식

종말속도는 $v_t = \frac{(\rho_p - \rho_f)gd^2}{18\mu}$이다.
이 공식은 구형 입자가 Stokes 영역에서 침강할 때 중력에서 부력을 뺀 힘과 점성항력이 평형을 이룰 때의 종말속도를 나타내므로 이 문제에 그대로 적용된다.

계산 과정

1. Stokes 영역에서는 $v_t \propto d^2$로 본다.
2. 직경이 d에서 $2d$로 바뀌면 종말속도 비는 $\frac{v_{t,2}}{v_{t,1}} = \frac{(2d)^2}{d^2}$이다.
3. 따라서 $\frac{v_{t,2}}{v_{t,1}} = 4$이므로 종말속도는 처음의 4배가 된다.

선지 판단

1번: X. 2배는 종말속도가 직경에 1차 비례한다고 본 값이다. Stokes 영역에서는 $v_t \propto d^2$이므로 올바르게는 4배이다.
2번: X. $\sqrt{2}$배는 종말속도가 직경의 제곱근에 비례한다고 잘못 본 값이다. 이 문제의 관계식은 제곱 비례이므로 올바르게는 4배이다.
3번: O. $\frac{v_{t,2}}{v_{t,1}} = \frac{(2d)^2}{d^2} = 4$이므로 맞다.
4번: X. $\frac{1}{\sqrt{2}}$배는 직경이 커질수록 종말속도가 감소하거나 역비례한다고 본 오류이다. Stokes 영역에서는 직경이 커지면 종말속도는 d^2에 따라 증가하므로 올바르게는 4배이다.

NoteBase

오답 포인트

Stokes 영역의 항력 법칙과 다른 항력 영역을 섞으면 2배나 $\sqrt{2}$배 같은 오답을 고르게 된다. 이 문제는 직경 변화가 공식의 d^2 항에 직접 들어간다는 점만 확인하면 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

침강 문제는 먼저 Stokes 영역 여부를 확인한 뒤 종말속도 공식에서 변하는 항만 남겨 비례식으로 정리한다. 이 문항에서는 다른 조건이 모두 같으므로 $v_t \propto d^2$만 잡아 배수를 계산하면 된다.

암기 포인트

Stokes 침강의 종말속도는 $v_t \propto d^2$이다.

NoteBase

문 18. 기체 A와 B로 구성된 이성분 기체 혼합물이 x-축 방향으로만 이동하고 있다. 기체 A와 B의 농도는 각각 $C_A = 7\text{mol/m}^3$와 $C_B = 3\text{mol/m}^3$이고, 절대속도는 각각 $v_A = 5\text{m/s}$와 $v_B = 10\text{m/s}$일 때, 기체 혼합물의 몰평균 속도(molar-average velocity)[m/s]는?

① 6.5

② 7.5

③ 8

④ 9

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이성분 기체 혼합물의 물평균 속도 $\bar{v} = \frac{C_A v_A + C_B v_B}{C_A + C_B}$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- $C_A = 7mol/m^3$
- $C_B = 3mol/m^3$
- $v_A = 5m/s$
- $v_B = 10m/s$

구해야 할 값:
- 혼합물의 물평균 속도 $\bar{v}$

주의할 조건:
- 단순 산술평균이 아니라 몰농도로 가중한 평균을 써야 한다.

사용할 공식

물평균 속도는
$\bar{v} = \frac{\sum C_i v_i}{\sum C_i} = \frac{C_A v_A + C_B v_B}{C_A + C_B}$
이다.

이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 물평균 속도(molar-average velocity)를 묻고 있으므로 각 성분 속도를 그 성분의 몰농도로 가중한 뒤 전체 몰농도로 나누어야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 각 성분의 몰유속 합을 구하면 $C_A v_A + C_B v_B = 7 \times 5 + 3 \times 10 = 35 + 30 = 65$이다.
2. 전체 몰농도는 $C_A + C_B = 7 + 3 = 10$이다.
3. 따라서
$\bar{v} = \frac{65}{10} = 6.5 m/s$
이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과 물평균 속도는 $6.5 m/s$이므로 맞다.
② X: $7.5 m/s$는 $5 m/s$와 $10 m/s$의 단순 산술평균으로, 몰농도 비 7 : 3을 반영하지 못한다. 올바르게는 물평균 속도는 $7.5 m/s$가 아니라 $6.5 m/s$이다.
③ X: $8 m/s$는 물평균 공식 $\bar{v} = \frac{C_A v_A + C_B v_B}{C_A + C_B}$로 계산한 값이 아니다. A가 전체의 70%이므로 평균은 $5 m/s$ 쪽에 더 가까워야 하며, 올바르게는 $8 m/s$가 아니라 $6.5 m/s$이다.
④ X: $9 m/s$는 B의 속도 $10 m/s$에 지나치게 치우친 값으로, A의 농도가 더 큰 조건과 맞지 않는다. 올바르게는 물평균 속도는 $9 m/s$가 아니라 $6.5 m/s$이다.

오답 포인트

물평균 속도를 묻는데 절대속도의 단순 평균으로 처리하면 ②처럼 틀린다. 평균값 문제에서는 무엇을 가중치로 삼는 평균인지부터 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

혼합물의 평균 속도를 묻는 문제는 먼저 평균의 종류가 물평균인지 질량평균인지 확인한 뒤, 해당 성분량을 가중치로 두는 평균식에 그대로 대입해 판단한다.

암기 포인트

물평균 속도는 성분 속도의 단순 평균이 아니라 몰농도 가중평균이다.

NoteBase

문 19. 기체 A에 대한 흡수공정에서 액상측 물질전달계수(k_x)는 $0.04\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$이고 기상측 물질전달계수($k_y$)는 $0.02\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$이다. 기체 A의 기-액 상평형이 $y_A^* = 2x_A$의 관계를 가질 때 기상측 농도추진력에 기초한 총괄 물질전달계수(K_y)[$\text{mol/m}^2 \cdot \text{s}$]는? (단, $N_A = K_y(y_A - y_A^*)$이며 N_A는 기체 A의 절대 몰플럭스, x_A와 y_A는 각각 기체 A의 액상과 기상 몰분율, y_A^*는 x_A와 평형관계에 있는 기체 A의 기상 몰분율이다)

① 0.01

② 0.02

③ 0.03

④ 0.04

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기상측 농도추진력 기준 총괄 물질전달계수 K_y를 구하는 관계식을 적용할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 액상측 물질전달계수 $k_x = 0.04$, 기상측 물질전달계수 $k_y = 0.02$, 평형관계 $y_A^* = 2x_A$이다.
구해야 할 값은 기상측 농도추진력 기준 총괄 물질전달계수 K_y이다.
평형관계식의 기울기 m은 $y_A^* = mx_A$에서 $m = 2$이다.

사용할 공식

기상측 총괄계수는 $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$를 사용한다.
이 식은 기상측 저항과 액상측 저항을 모두 기상측 농도추진력 기준으로 환산해 합하는 관계이므로, $y_A^* = mx_A$의 기울기 m를 함께 반영해야 한다.

계산 과정

평형선 기울기는 $m = 2$이다.
따라서
$\frac{1}{K_y} = \frac{1}{0.02} + \frac{2}{0.04} = 50 + 50 = 100$
이므로
$K_y = \frac{1}{100} = 0.01$
계산 결과 총괄 물질전달계수는 0.01이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 계산 결과 $K_y = 0.01$이므로 맞는 값이다.

② X
- 0.02는 정답값이 아니다.
- 틀린 표현은 값이 0.02라는 점이다. 올바르게는 $K_y = 0.01$이다.
- 이 값은 액상측 저항 $\frac{m}{k_x}$를 빠뜨리고 K_y를 k_y와 같게 본 실수에서 나오기 쉽다.

③ X
- 0.03은 정답값이 아니다.
- 틀린 표현은 값이 0.03라는 점이다. 올바르게는 $K_y = 0.01$이다.
- 이 값은 두 저항을 단순 평균하거나 역수 관계를 무시한 계산에서 나오기 쉽다.

④ X
- 0.04는 정답값이 아니다.
- 틀린 표현은 값이 0.04라는 점이다. 올바르게는 $K_y = 0.01$이다.
- 이 값은 총괄계수를 액상측 계수 k_x와 혼동한 경우의 오답이다.

오답 포인트

총괄 물질전달계수는 한쪽 계수 k_x나 k_y를 그대로 쓰는 값이 아니라 양쪽 전달저항을 합쳐 구하는 값이다. 특히 $y_A^* = 2x_A$에서 기울기 $m = 2$를 식에 넣지 않으면 ② 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

총괄계수를 묻는 계산형 문제는 먼저 어떤 기준의 총괄계수인지 확인하고, 다음으로 평형식에서 기울기 m를 뽑은 뒤, 마지막에 $\frac{1}{K}$=각 상의 저항 합 형태로 계산하면 된다.

암기 포인트

기상측 총괄계수는 $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{m}{k_x}$이고, 평형선 기울기 m이 액상측 저항 환산에 붙는다.

NoteBase

문 20. 같은 온도로 균일하게 유지된 두 개의 금속구 A와 B를 일정한 온도로 유지되는 무한 유체 안에 넣었다. 금속구 A의 반경은 금속구 B의 반경의 2배이고, 두 금속구 사이의 거리는 충분히 멀다고 가정한다. 금속구 B의 중심에서의 온도가 어느 특정 온도에 도달하는 데 소요되는 시간이 금속구 A에 비해 2배가 될 때, 금속구 A의 열확산도(α_A)는 금속구 B의 열확산도(α_B)의 몇 배인가?

① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 구의 비정상 열전도에서 같은 중심 온도에 도달할 때 푸리에수 $Fo = \alpha t/R^2$가 같다는 관계를 이용해 열확산도 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 금속구 A의 반경은 금속구 B의 반경의 2배이다.
- 금속구 B의 중심이 어떤 특정 온도에 도달하는 시간은 금속구 A의 2배이다.

구해야 할 값:
- 열확산도 비 α_A/α_B

주의할 조건:
- 두 구는 모두 구형이고, 같은 형태에서 같은 중심 온도에 도달하는 비교이므로 같은 무차원 시간 조건으로 본다.

사용할 공식

같은 형상의 구가 같은 무차원 중심온도에 도달할 때
$Fo = \frac{\alpha t}{R^2} = \text{constant}$
이므로
$\frac{\alpha_A t_A}{R_A^2} = \frac{\alpha_B t_B}{R_B^2}$
이다.

이 공식을 쓰는 이유:
중심 온도의 시간 변화는 비정상 열전도에서 $\alpha t/R^2$에 의해 지배되므로, 같은 위치인 중심이 같은 온도 수준에 도달했다면 두 경우의 푸리에수를 같게 둘 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 반경 조건을 대입하면 $R_A = 2R_B$이다.

2. 시간 조건을 대입하면 $t_B = 2t_A$이다.

3.
$\frac{\alpha_A t_A}{R_A^2} = \frac{\alpha_B t_B}{R_B^2}$
에서 정리하면
$\frac{\alpha_A}{\alpha_B} = \frac{t_B}{t_A}\left(\frac{R_A}{R_B}\right)^2$
이다.

4. 수치를 넣으면
$\frac{\alpha_A}{\alpha_B} = 2 \times 2^2 = 8$
이므로 정답은 3번이다.

선지별 해설

① X

- $\alpha_A/\alpha_B = 2$라면 $t_B/t_A = (\alpha_A/\alpha_B)(R_B^2/R_A^2) = 2 \times 1/4 = 1/2$가 되어 B가 A보다 더 빨리 도달해야 한다.
- 틀린 표현은 시간비만 보고 열확산도 비를 정한 점이며, 올바르게는 반경 제곱 효과를 함께 반영해야 한다.

② X

- $\alpha_A/\alpha_B = 4$라면 $t_B/t_A = 4 \times 1/4 = 1$이 되어 두 구의 도달시간이 같아진다.
- 틀린 표현은 반경 제곱비만 맞추고 시간비 2를 반영하지 않은 점이며, 올바르게는 시간비까지 곱해 8이 되어야 한다.

③ O

- 같은 중심 온도에서는 Fo가 같으므로 $\alpha_A/\alpha_B = (t_B/t_A)(R_A/R_B)^2 = 2 \times 4 = 8$이다.
- 계산 결과와 일치하므로 옳다.

④ X

- $\alpha_A/\alpha_B = 16$이라면 $t_B/t_A = 16 \times 1/4 = 4$가 되어 B의 시간이 A의 4배가 된다.
- 틀린 표현은 시간비를 실제보다 크게 만든 값이라는 점이며, 올바르게는 주어진 시간비 2를 만족하는 8이어야 한다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 도달시간이 $t \propto 1/\alpha$라는 점만 기억하고 길이 척도 R^2를 빼먹는 것이다. 이 문항은 반경이 2배이면 시간 척도는 $2^2 = 4$배로 바뀐다는 점을 함께 반영해야 풀린다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

같은 형상에서 내부 특정 위치의 과도응답 시간을 비교하면 먼저 $Fo = \alpha t/L^2$를 쓴다. 그다음 시간비와 길이비를 분리해서 α 비를 정리하면 계산 실수가 줄어든다.

암기 포인트

비정상 열전도 도달시간은 $t \sim L^2/\alpha$ 꼴로 기억한다.

NoteBase