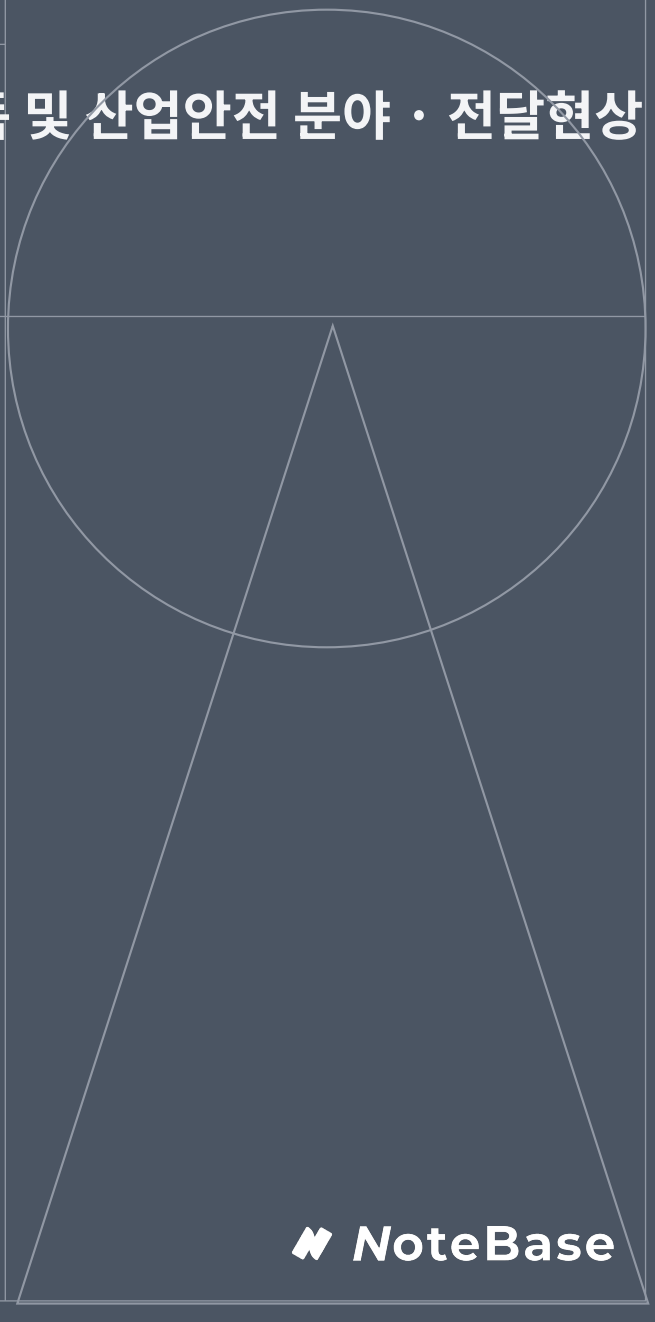
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전달현상 · 202



NoteBase

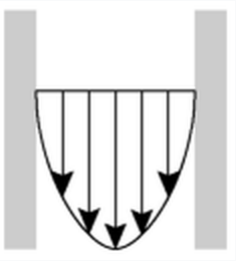
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전달현상 · 2025 · 2차

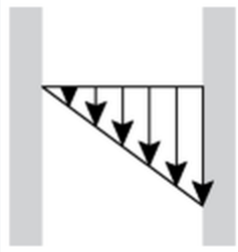
공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전달현상 · 2025 · 2차

NoteBase

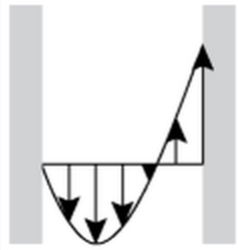
문 1. 그림은 수직으로 평행하게 고정된 두 판 사이를 Newton 유체가 층류로 흐를 때 유체의 속도분포를 나타낸다. 오른쪽 판이 수직 상방 또는 수직 하방으로 일정한 속도로 이동할 때, 판의 이동방향과 정상상태에서 유체의 속도분포를 바르게 짝지은 것은?



① 판의 이동방향: 상방 이동, 유체의 속도분포:



② 판의 이동방향: 상방 이동, 유체의 속도분포:



③ 판의 이동방향: 하방 이동, 유체의 속도분포:



④ 판의 이동방향: 하방 이동, 유체의 속도분포:



NoteBase

정답 2번

출제 포인트

중력에 의한 평판 사이 층류 속도분포에 이동판 효과가 중첩될 때 무미끄럼 경계조건과 분포의 비대칭 변화를 읽는 문제이다.

선지별 해설

① X: 오른쪽 판이 상방 이동이면 무미끄럼 조건 때문에 오른쪽 벽면의 유체속도도 상방이어야 한다. 제시 그림은 오른쪽 벽면에서 하방 속도를 가지므로 상방 이동과 맞지 않는다. 틀린 표현은 상방 이동인데 오른쪽 벽면 속도가 하방인 점이다. 올바르게는 상방 이동이면 오른쪽 벽면 속도가 상방인 분포가 된다.
② O: 기본 하향 포물선 분포에 오른쪽 판의 상방 이동이 만드는 선형 상향 성분이 중첩되면 오른쪽으로 갈수록 속도가 위쪽으로 끌어올려진다. 그 결과 왼쪽과 중앙 일부는 여전히 하방일 수 있지만, 오른쪽 벽면에서는 판과 같은 상방 속도를 가져야 하므로 그림과 일치한다.
③ X: 오른쪽 판이 하방 이동이면 오른쪽 벽면의 유체속도도 하방이어야 한다. 제시 그림은 오른쪽 벽면에서 상방 속도를 가지므로 하방 이동과 모순된다. 틀린 표현은 하방 이동인데 오른쪽 벽면 속도가 상방인 점이다.
올바르게는 하방 이동이면 오른쪽으로 갈수록 하방 속도가 커지는 비대칭 분포가 된다.
④ X: 오른쪽 판이 하방 이동이면 벽면 유체는 아래로 끌려가므로 오른쪽 벽면에서 상방으로 반전될 수 없다. 제시 그림은 ②와 같은 상방 벽면 속도를 보여 하방 이동과 맞지 않는다. 틀린 표현은 하방 이동과 상방 벽면 속도의 결합이다. 올바르게는 하방 이동이면 오른쪽 벽면 속도가 하방이면서 전체 분포가 아래쪽으로 더 치우친 형태가 된다.

오답 포인트

판의 이동방향은 도식 내부 화살표보다 먼저 벽면에서의 속도 부호로 판별해야 한다. 오른쪽 판이 위로 움직이면 오른쪽 벽면 속도는 반드시 위이고, 아래로 움직이면 반드시 아래이다. 이 경계조건을 놓치면 ②와 ④를 같이 맞는 듯 보게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 정지판과 이동판의 벽면 속도를 읽고, 그다음 기존 포물선 분포에 이동판이 만드는 선형 Couette 성분이 더해진다고 판단하면 된다. 벽면 속도 부호와 내부 비대칭이 동시에 맞는 선지를 고르면 된다.

암기 포인트

이동판 문제는 포물선 기본분포에 선형 성분이 중첩되며, 움직이는 벽면의 유체속도는 항상 판 속도와 같다.

NoteBase

문 2. 비압축성 Newton 유체가 원형도관 내에서 정상상태의 완전발달된 층류로 흐르고 있다. 이 상태에서 원형도관의 반지름만 2배로 늘릴 때, 유량은 몇 배로 증가하는가?

① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 원형도관 내 완전발달 층류에서 포아죄유 법칙을 이용해 반지름 변화에 따른 유량 변화를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 비압축성 Newton 유체, 원형도관, 정상상태, 완전발달된 층류이다.
변하는 값은 반지름뿐이고, 압력차·점도·관 길이는 같다고 본다.
구해야 할 값은 반지름을 2배로 했을 때 유량이 몇 배가 되는지이다.

사용할 공식

원형도관의 완전발달 층류에서는 포아죄유 법칙 $Q = \frac{\pi \Delta P r^4}{8\mu L}$을 사용한다.
이 식에서는 다른 조건이 같으면 유량 Q가 반지름 r의 4제곱에 비례한다.

계산 과정

반지름이 r에서 $2r$로 바뀌면 유량비는 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{(2r)^4}{r^4} = 2^4 = 16$이다.
따라서 유량은 16배가 된다.

선지 판단

① X: 유량이 반지름에 1차 비례한다고 잘못 보면 2배로 판단하게 된다. 틀린 표현은 반지름 2배이면 유량 2배라는 점이고, 올바르게는 반지름 2배이면 유량은 16배이다.
② X: 4배는 단면적이 r^2에 비례한다는 사실만 적용한 오답이다. 틀린 표현은 유량이 단면적에만 비례한다는 점이고, 올바르게는 완전발달 층류의 유량은 반지름의 4제곱에 비례한다.
③ X: 8배는 3제곱 비례로 착각한 오답이다. 틀린 표현은 유량이 반지름의 3제곱에 비례한다는 점이고, 올바르게는 $Q \propto r^4$이다.
④ O: 포아죄유 법칙에 따라 반지름을 2배로 하면 유량은 $2^4 = 16$배가 되므로 맞는 선지이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 유량을 반지름이나 단면적에 단순 비례시키는 데 있다. 원형도관의 완전발달 층류에서는 속도분포까지 반영된 결과로 유량이 r^4에 비례한다는 점을 놓치면 2배나 4배를 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

원형도관, Newton 유체, 완전발달 층류가 보이면 먼저 포아죄유 법칙 적용 상황인지 확인한다. 그다음 바뀌는 변수만 남겨 비례식으로 정리하고, 반지름 변화는 4제곱으로 계산한다.

암기 포인트

원형도관 완전발달 층류의 유량은 $Q \propto r^4$이다.

NoteBase

문 3. 전도 열저항에 대한 대류 열저항의 비를 표현한 무차원 수는?

① Stanton 수

② Nusselt 수

③ Grashof 수

④ Reynolds 수

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 대류와 전도의 상대적 크기를 나타내는 대표 무차원 수를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

Nusselt 수는 대류 열전달이 전도 열전달보다 얼마나 우세한지를 나타내는 무차원 수로 $Nu = hL/k$이다.
열저항으로 쓰면 $Nu = R_{cond}/R_{conv}$가 된다.
Stanton 수는 $St = h/(\rho c_p u)$로 열전달과 유체의 열용량 유동을 연결하는 수이다.
Grashof 수는 부력과 점성력의 비를 나타내는 자연대류 관련 무차원 수이다.
Reynolds 수는 관성력과 점성력의 비를 나타내는 유동 상태 판단 지표이다.

선지별 해설

① X: Stanton 수는 유체가 운반하는 열용량 유동 대비 대류 열전달 세기를 나타내며, 대류와 전도의 상대적 크기를 직접 나타내는 수가 아니다. 틀린 표현은 이 개념을 Stanton 수에 대응시킨 부분이다. 올바르게는 Stanton 수는 $St = h/(\rho c_p u)$이다.
② O: Nusselt 수는 대류와 전도의 상대적 크기를 나타내는 대표 무차원 수이다. 식은 $Nu = hL/k$이며, 열저항 관점에서는 $Nu = R_{cond}/R_{conv}$로 정리된다.
③ X: Grashof 수는 부력과 점성력의 비로 자연대류의 유동 발생 경향을 나타낸다. 틀린 표현은 열저항비와 연결한 부분이다. 올바르게는 Grashof 수는 자연대류에서 부력 효과의 크기를 나타내는 수이다.
④ X: Reynolds 수는 관성력과 점성력의 비로 층류와 난류 경향을 판단하는 수이다. 틀린 표현은 열전달 저항비와 연결한 부분이다. 올바르게는 Reynolds 수는 유동장의 동역학적 성격을 나타내는 수이다.

오답 포인트

Nusselt 수를 열전달 계수 h와 연결해서는 잘 기억해도, 열저항으로 바꾸면 분자와 분모가 뒤집힌다는 점에서 혼동하기 쉽다. 이 문항은 개별 식 전개보다 '대류 대 전도 비교 = Nusselt'라는 대표 대응을 묻는 문제이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

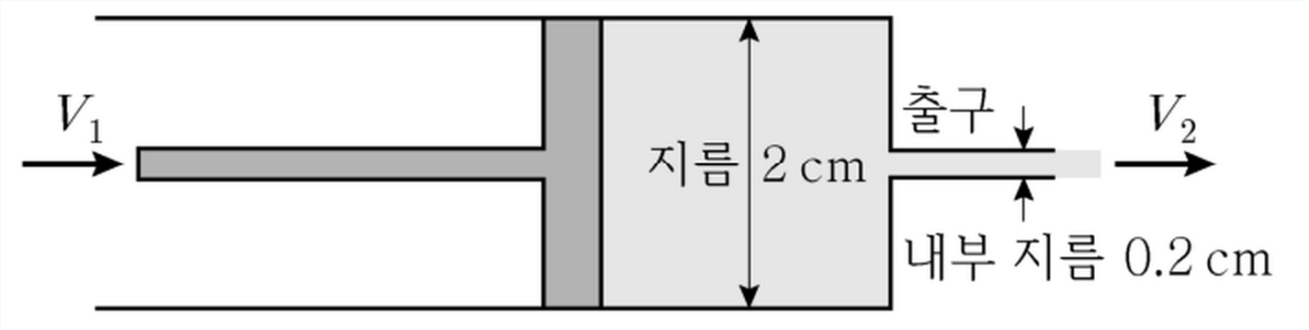
대류와 전도의 상대 비교를 묻는 순간 Nusselt 수를 먼저 떠올리면 된다. 부력 대 점성은 Grashof 수, 관성 대 점성은 Reynolds 수, 열전달 대 열용량 유동은 Stanton 수로 구분된다.

암기 포인트

Nu는 대류 대 전도, Gr는 부력 대 점성, Re는 관성 대 점성, St는 열전달 대 열용량 유동이다.

NoteBase

문 4. 비압축성 유체로 채워진 주사기에서 피스톤의 이동 속도 V_1가 4cms^{-1}일 때, 출구로 유출되는 유체의 속도 V_2는? (단, 주사기 내부 및 출구 내부의 단면은 원형이다)



① 0.4ms^{-1}

② 1ms^{-1}

③ 2ms^{-1}

④ 4ms^{-1}

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비압축성 유체의 연속방정식 $A_1V_1 = A_2V_2$를 이용해 출구 유속을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주사기 내부 지름: 2cm
- 출구 내부 지름: 0.2cm
- 피스톤 이동 속도 V_1: 4cm s–1
- 구해야 할 값: 출구 유속 V_2
- 주의할 조건: 단면은 원형이므로 면적은 지름의 제곱에 비례한다.

사용할 공식

$A_1V_1 = A_2V_2$

$V_2 = \frac{A_1}{A_2}V_1$

$\frac{A_1}{A_2} = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2$

비압축성 유체이므로 단위시간당 유량이 주사기 내부와 출구에서 같아서 이 공식을 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 지름비를 구하면 $\frac{d_1}{d_2} = \frac{2}{0.2} = 10$이다.
2. 원형 단면의 면적비는 지름비의 제곱이므로 $\frac{A_1}{A_2} = 10^2 = 100$이다.
3. 따라서 $V_2 = \frac{A_1}{A_2} V_1 = 100 \times 4 = 400$ cm s^{-1}이다.
4. 400cm s^{-1}는 4m s^{-1}이므로 정답은 4번이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과 출구 유속은 0.4m s^{-1}가 아니라 4m s^{-1}이다. 0.4m s^{-1}는 면적비를 구할 때 지름비 10만 쓰고 제곱하지 않은 경우에 나오는 값이다.
② X: 계산 결과와 다르다. 유출 속도는 1m s^{-1}가 아니라 4m s^{-1}이다. 이 값은 면적비나 단위 환산을 중간에서 잘못 처리한 오답이다.
③ X: 계산 결과와 다르다. 유출 속도는 2m s^{-1}가 아니라 4m s^{-1}이다. 면적비를 일부만 반영하거나 최종 단위 환산을 잘못하면 이런 값이 나올 수 있다.
④ O: 비압축성 유체에서는 유량이 일정하므로 면적비 100을 피스톤 속도 4cm s^{-1}에 곱하면 400cm s^{-1}, 즉 4m s^{-1}가 된다.

오답 포인트

출제자는 원형 단면에서 면적이 지름에 비례한다고 착각하는지를 묻는다. 이 문제의 핵심 함정은 지름비 10을 그대로 속도비로 쓰는 실수와 cm s^{-1}를 m s^{-1}로 바꾸지 않는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

원형 관의 유속 문제는 먼저 비압축성 여부를 확인한 뒤 $A_1V_1 = A_2V_2$를 세운다. 그 다음 면적비는 지름비의 제곱으로 계산하고, 마지막에 속도 단위를 검산하면 된다.

암기 포인트

비압축성 유체에서는 유속은 단면적에 반비례하고, 원형 단면적비는 지름비의 제곱이다.

NoteBase

문 5. 내부 지름이 20cm인 원형도관에서 비압축성 Newton 유체의 흐름에 대한 Reynolds 수가 1,000이다. 이 원형도관의 유체가 유량의 변화 없이 내부 지름이 5cm인 원형도관으로 연결되어 흐른다면 내부 지름이 5cm인 관에서의 Reynolds 수는? (단, 온도는 일정하다)

① 1,000

② 2,000

③ 3,000

④ 4,000

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 유량이 일정한 원형도관에서 Reynolds 수가 직경 변화에 따라 어떻게 달라지는지를 묻는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 내부 지름이 $20cm$인 관에서 Reynolds 수는 1,000이다.
구해야 할 값: 내부 지름이 $5cm$인 관에서의 Reynolds 수이다.
주의할 조건: 비압축성 Newton 유체이고 온도가 일정하므로 밀도 ρ와 점도 μ는 일정하며, 유량도 변하지 않는다.

사용할 공식

$Re = \frac{\rho VD}{\mu}$
$V = \frac{Q}{A} \propto \frac{1}{D^2}$
따라서 유량 Q가 일정하면 $Re \propto VD \propto \frac{1}{D}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 Reynolds 수가 속도와 관지름에 비례하고, 유량 일정 조건에서는 속도가 단면적의 역수로 변하기 때문이다.

계산 과정

1. 유량이 일정하므로 평균속도는 단면적에 반비례하여 $V \propto 1/D^2$이다.
2. Reynolds 수는 $Re \propto VD$이므로 결과적으로 $Re \propto 1/D$가 된다.
3. 지름이 $20cm$에서 $5cm$로 줄면 직경은 1/4이 되므로 Reynolds 수는 4배가 된다.
4. 따라서 $Re_2 = Re_1 \times \frac{D_1}{D_2} = 1000 \times \frac{20}{5} = 4000$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: Reynolds 수를 1,000으로 그대로 본 점이 틀리다. 유량이 일정하면 지름이 줄어들수록 속도가 커져 Reynolds 수도 증가한다. 틀린 표현은 "Reynolds 수는 1,000이다"이고, 올바르게는 4,000이다.
② X: Reynolds 수를 2,000으로 본 점이 틀리다. $Re \propto 1/D$이므로 지름이 4분의 1이 되면 Reynolds 수는 2배가 아니라 4배가 된다. 틀린 표현은 "Reynolds 수는 2,000이다"이고, 올바르게는 4,000이다.
③ X: Reynolds 수를 3,000으로 본 점이 틀리다. 이 문제는 임의의 증가량을 더하는 문제가 아니라 비례식을 적용하는 문제이다. 틀린 표현은 "Reynolds 수는 3,000이다"이고, 올바르게는 4,000이다.
④ O: $Re_2 = 1000 \times \frac{20}{5} = 4000$이므로 옳다. 유량 일정, 물성 일정 조건에서 Reynolds 수는 직경에 반비례하여 변한다.

오답 포인트

유량 일정 조건을 놓치고 Reynolds 수가 그대로 유지된다고 보거나, 속도 변화와 직경 변화를 따로 보지 않고 직경 감소 효과를 과소평가하기 쉽다. 핵심 함정은 $V \propto 1/D^2$와 $Re \propto VD$를 연결하지 못하는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

관 지름이 바뀌는 Reynolds 수 문제는 먼저 $Re = \frac{\rho VD}{\mu}$를 쓰고, 이어서 유량 일정인지부터 확인한다. 유량이 일정하면 $V \propto 1/D^2$, 따라서 $Re \propto 1/D$로 바로 정리해 비례식으로 판단한다.

암기 포인트

원형도관에서 유량 일정, 물성 일정이면 Reynolds 수는 직경에 반비례한다.

NoteBase

문 6. 물질전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 한 구성 성분이 고농도 영역에서 저농도 영역으로 이동하는 것을 물질전달이라 할 수 있다.

② 한 잔의 블랙커피에 각설탕을 넣고 스푼으로 저으면 물질전달속도는 빨라진다.

③ 액액 추출(liquid-liquid extraction)은 물질전달의 원리를 이용한다.

④ 복사(radiation)는 물질전달 현상이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 물질전달의 정의와 대표적 적용 사례를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

물질전달은 혼합물이나 상 사이에서 특정 성분이 농도차를 구동력으로 하여 이동하는 현상이다. 확산은 고농도에서 저농도로 이동하는 분자 이동이고, 교반은 경계층을 얇게 하여 물질전달속도를 높일 수 있다. 복사는 전자기파에 의한 열에너지 이동이므로 물질전달이 아니라 열전달이다.

선지별 해설

1번 O: 한 구성 성분이 고농도 영역에서 저농도 영역으로 이동하는 것은 확산에 의한 물질전달의 기본 정의에 해당한다.
2번 O: 블랙커피에 각설탕을 넣고 저으면 액체가 잘 섞이고 농도경계층이 얇아져 설탕 성분의 물질전달속도가 빨라진다.
3번 O: 액액 추출은 두 액상 사이에서 용질이 더 잘 녹는 상으로 이동하는 조작이므로 물질전달 원리를 이용한다.
4번 X: 틀린 부분은 "복사(radiation)는 물질전달 현상"이라는 표현이다. 복사는 물질이 아니라 에너지가 전자기파 형태로 이동하는 열전달 현상이다.

오답 포인트

물질전달과 열전달을 모두 전달현상으로 묶어 배우기 때문에 복사도 물질이 이동하는 현상처럼 착각하기 쉽다. 이 문항은 전달되는 대상이 성분인지 에너지인지를 구분하는지를 노린다.

다시 나오면 이렇게 판단

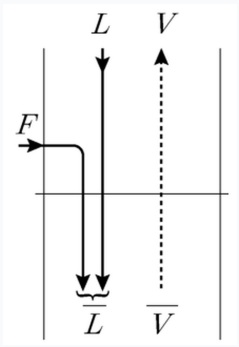
선지에서 실제로 이동하는 대상이 무엇인지 먼저 본다. 농도차에 의해 특정 성분이 이동하면 물질전달이고, 온도차나 전자기파에 의해 에너지가 이동하면 열전달로 판단한다.

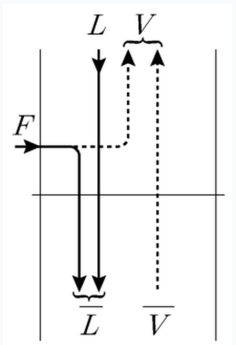
암기 포인트

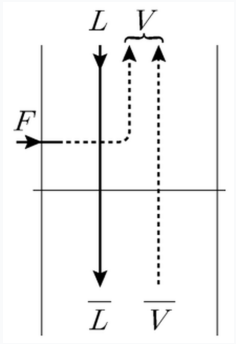
물질전달은 성분의 이동이고, 복사는 물질이 아니라 에너지의 이동이므로 열전달이다.

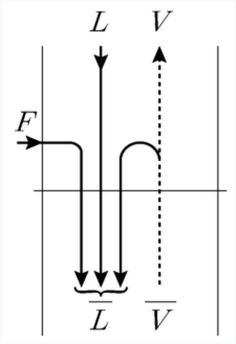
NoteBase

문 7. 포화증기 상태의 원료를 원료공급단에 공급F했을 때 증류탑 내부의 흐름으로 옳은 것은? (단, L과 $\overline{L}$은 액체의 유량, V와 $\overline{V}$는 기체의 유량을 의미한다)

① 

② 

③ 

④ 

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 포화증기 원료를 공급할 때 원료공급단 위아래의 액체 유량과 기체 유량이 어떻게 변하는지를 도식으로 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

이 그림은 원료 F가 하향 액체류에만 합류하여 공급단 아래의 액체 유량이 증가하고, 기체 유량은 변하지 않는 경우이다. 이는 포화증기 공급이 아니라 포화액 공급에 해당한다. 틀린 표현은 포화증기인데 액체 유량 증가만 나타낸 점이다. 올바르게는 포화액일 때 $\bar{L} = L + F$, $V = \bar{V}$가 된다.

② X

이 그림은 원료가 액체와 기체 두 상으로 나뉘어 공급단 아래의 액체 유량도 증가하고 공급단 위의 기체 유량도 증가하는 경우이다. 이는 부분 기화된 원료 $0 < q < 1$의 전형적인 도식이다. 틀린 표현은 포화증기인데 두 상으로 분배된 것처럼 나타낸 점이다. 올바르게는 포화증기는 전량이 기상으로 작용한다.

③ O

이 그림은 공급단 아래의 액체 유량은 한 줄로 그대로 유지되고, 공급단 위의 기체 유량만 두 줄로 늘어난 모습이다. 포화증기 원료는 공급 직후 기상 흐름에 합류하므로 $\bar{L} = L$, $V = \bar{V} + F$가 되어 이 도식이 맞다.

④ X

이 그림은 원료 유입으로 액체 유량이 크게 증가하고 동시에 기체 흐름에도 변화가 생기는 형태로, 포화증기 공급의 단순한 유량 관계와 맞지 않는다. 포화증기라면 액체 하향류가 늘어나지 않는다. 틀린 표현은 포화증기 조건인데 액체량 증가를 주된 변화로 그린 점이다. 올바르게는 액체는 그대로, 기체만 증가해야 한다.

오답 포인트

포화증기와 포화액을 바꾸어 읽으면 ①과 ③을 쉽게 혼동한다. 이 문항의 함정은 원료 상태를 먼저 읽지 않고 화살표 수만 대충 비교하게 만드는 데 있다. 포화증기는 기체 쪽 증가, 포화액은 액체 쪽 증가라는 방향 구분이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

원료 상태를 q값으로 먼저 바꾸면 빠르게 판단할 수 있다. 포화증기는 $q = 0$이므로 액체 변화는 없고 위쪽 기체만 F만큼 늘어나는 그림을 고르면 된다.

암기 포인트

포화증기 공급은 액체 그대로, 기체 증가이다.

NoteBase

문 8. Fick의 제1법칙에 따르는 기체의 분자의 확산계수는 $30m^2min^{-1}$이고 분자 확산 플럭스(flux)는 x축 방향으로 $0.1molm^{-2}s^{-1}$라고 할 때, x축 방향의 농도구배$[molm^{-4}]$는?

① 0.8

② 0.6

③ 0.4

④ 0.2

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Fick의 제1법칙 $J_x = -D\frac{dC}{dx}$을 이용해 x축 방향 농도구배의 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 확산계수 $D = 30m^2min^{-1}$, 분자 확산 플럭스 $J_x = 0.1molm^{-2}s^{-1}$이다.
- 구해야 할 값: x축 방향 농도구배 $\frac{dC}{dx}$의 크기이다.
- 주의할 조건: 확산계수의 시간 단위를 분에서 초로 바꿔야 하며, Fick 법칙의 음수 부호는 확산 방향과 농도 감소 방향이 반대임을 뜻한다.

사용할 공식

$J_x = -D\frac{dC}{dx}$

이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 x축 방향 분자 확산 플럭스와 확산계수를 주었으므로, 같은 방향의 농도구배를 바로 연결할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 확산계수를 초 단위로 바꾸면 $D = 30m^2min^{-1} = \frac{30}{60} = 0.5m^2s^{-1}$이다.
2. Fick의 제1법칙에 대입하면 $\frac{dC}{dx} = -\frac{J_x}{D} = -\frac{0.1}{0.5} = -0.2molm^{-4}$이다.
3. 보기는 양수만 제시되어 있으므로 농도구배의 크기 $\left|\frac{dC}{dx}\right| = 0.2molm^{-4}$를 고르면 된다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전달현상 · 2025 · 2차

선지 판단

① X

- 계산 결과의 크기는 $0.2 mol m^{-4}$이므로 0.8은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 수치 0.8이며, 올바르게는 $0.2 mol m^{-4}$이다.

② X

- $\left|\frac{dC}{dx}\right| = \frac{0.1}{0.5} = 0.2$이므로 0.6은 공식 대입 결과와 다르다.
- 틀린 표현은 수치 0.6이며, 올바르게는 $0.2 mol m^{-4}$이다.

③ X

- 단위 변환까지 마친 뒤 계산한 값은 0.2이므로 0.4도 오답이다.
- 틀린 표현은 수치 0.4이며, 올바르게는 $0.2 mol m^{-4}$이다.

④ O

- $D = 0.5 m^2 s^{-1}$로 환산한 뒤 Fick의 제1법칙을 적용하면 농도구배의 크기는 $0.2 mol m^{-4}$가 된다.
- 부호까지 엄밀히 쓰면 $\frac{dC}{dx} = -0.2 mol m^{-4}$이지만, 보기 구성은 크기를 묻는 형태이므로 0.2가 정답이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 $30 m^2 min^{-1}$를 그대로 쓰는 단위 미변환과, Fick 법칙의 음수 부호 때문에 절댓값과 부호를 혼동하는 점이다. 이 문항은 계산값 자체는 -0.2이지만 선지에서는 크기 0.2를 찾는 문제라는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

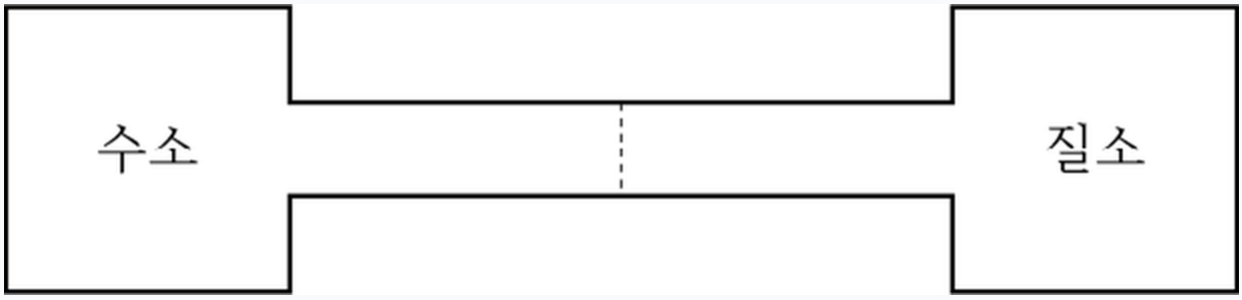
확산 계산 문제는 먼저 확산계수와 플럭스의 시간 단위를 맞춘 뒤 $J = -DdC/dx$에 대입하고, 마지막에 문제가 농도구배의 부호를 묻는지 크기를 묻는지를 분리해서 판단한다.

암기 포인트

Fick의 제1법칙은 플럭스가 농도구배에 비례하고 부호는 반대이며, min^{-1} 단위 확산계수는 먼저 s^{-1}로 바꾼다.

NoteBase

문 9. 연결부의 가운데가 칸막이로 막혀 있는 두 개의 동일한 크기의 용기에 각각 수소와 질소가 충전되어 있고 온도와 압력은 일정하다. 칸막이를 제거한 이후 두 기체의 몰 플럭스(flux)와 질량 플럭스에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 수소와 질소는 이상기체로 가정하고 용기 내에서 화학반응은 일어나지 않는다. 두 물질의 확산계수는 동일하며, 칸막이의 부피는 무시한다)



① 수소의 몰 플럭스 = 질소의 몰 플럭스

② 수소의 몰 플럭스 < 질소의 몰 플럭스

③ 수소의 질량 플럭스 > 질소의 질량 플럭스

④ 수소의 질량 플럭스 = 질소의 질량 플럭스

정답 1번

출제 포인트

등몰 역확산에서 몰 플럭스와 질량 플럭스의 비교 기준이 서로 다르다는 점을 묻는 문제이다.

선지별 해설

① O: 등몰 역확산에서는 $N_{H_2} = -N_{N_2}$이므로 두 기체의 몰 플럭스 크기는 같다. 따라서 수소의 몰 플럭스와 질소의 몰 플럭스는 같다고 본다.
② X: 몰 플럭스 크기는 한쪽이 더 작지 않다. 틀린 표현은 "수소의 몰 플럭스 < 질소의 몰 플럭스"이고, 올바르게는 "수소의 몰 플럭스 = 질소의 몰 플럭스"이다.
③ X: 질량 플럭스는 몰 플럭스에 분자량을 곱한 값이므로 같은 몰 플럭스라면 분자량이 큰 질소의 질량 플럭스가 더 크다. 틀린 표현은 "수소의 질량 플럭스 > 질소의 질량 플럭스"이고, 올바르게는 "수소의 질량 플럭스 < 질소의 질량 플럭스"이다.
④ X: 질량 플럭스는 같지 않다. 수소는 분자량 2, 질소는 분자량 28이므로 같은 몰수만 이동해도 질소의 질량 이동량이 더 크다. 틀린 표현은 "수소의 질량 플럭스 = 질소의 질량 플럭스"이고, 올바르게는 "수소의 질량 플럭스 < 질소의 질량 플럭스"이다.

NoteBase

오답 포인트

몰 플럭스와 질량 플럭스를 같은 기준으로 섞으면 ③이나 ④로 흔들린다. 이 문항은 등몰 역확산에서는 몰 기준으로 같지만 질량 기준으로는 분자량 차이 때문에 달라진다는 점을 노린 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

서로 반대 방향으로만 확산하고 반응이 없으면 먼저 등몰 역확산인지 본다. 등몰 역확산이면 두 성분의 몰 플럭스 크기는 같고, 질량 플럭스는 그다음에 분자량을 곱해 다시 비교한다.

암기 포인트

등몰 역확산은 몰은 같고 질량은 분자량 큰 쪽이 크다.

NoteBase

문 10. 단열상태의 이중관 열교환기에서 수증기가 400℃로 공급되어 300℃로 배출된다. 열용량계수가 수증기의 2배인 유체가 200℃의 온도로 수증기 공급 질량유량의 2배만큼 공급되어 수증기와 열교환을 할 때, 배출되는 유체의 온도[℃]는? (단, 정상상태로 운전되고, 열손실은 없으며, 열교환이 일어나는 내부 도관의 열저항은 무시한다)

① 225

② 250

③ 275

④ 300

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 단열 열교환기에서의 에너지수지와 질량유량비, 비열비를 이용해 유체의 출구온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 수증기 입구온도: 400℃
- 수증기 출구온도: 300℃
- 유체 입구온도: 200℃
- 유체의 비열: 수증기 비열의 2배
- 유체의 질량유량: 수증기 질량유량의 2배
- 단열, 정상상태, 내부 도관 열저항 무시
- 구해야 할 값: 유체의 출구온도

사용할 공식

Q_21899D30, 78374C=Q_7204, 5BB74C

$\dot{m}_s c_{p,s}(400-300) = \dot{m}_f c_{p,f}(T_o - 200)$

이 공식은 단열 열교환기에서는 고온 유체가 잃는 열량과 저온 유체가 얻는 열량이 같기 때문에 사용한다.

NoteBase

계산 과정

1. 수증기가 잃는 열량률은 $\dot{m}_s c_{p,s} \times 100$이다.
2. 유체는 $\dot{m}_f = 2\dot{m}_s$, $c_{p,f} = 2c_{p,s}$이므로 유체의 열용량률은 $4\dot{m}_s c_{p,s}$이다.
3. 따라서
$\dot{m}_s c_{p,s} \times 100 = 4\dot{m}_s c_{p,s}(T_o - 200)$
4. 공통항 $\dot{m}_s c_{p,s}$를 약분하면
$100 = 4(T_o - 200)$
5. 정리하면
$T_o - 200 = 25$
$T_o = 225\,^\circ C$
이므로 유체의 출구온도는 225°C이다.

선지별 해설

① O
- 계산 결과가 225°C이므로 옳다.

② X
- 250°C는 유체의 열용량률이 수증기의 2배라고만 두고 $100 = 2(T_o - 200)$로 계산했을 때 나오는 값이다.
- 이 문제는 비열이 2배이고 질량유량도 2배이므로 유체의 열용량률은 4배가 된다. 틀린 표현은 250°C이고, 올바르게는 225°C이다.

③ X
- 275°C는 질량유량 2배와 비열 2배를 충분히 반영하지 못한 값이다.
- 유체의 열용량률이 더 크므로 같은 열량을 받아도 온도 상승폭은 25°C에 그친다. 틀린 표현은 275°C이고, 올바르게는 225°C이다.

④ X
- 300°C는 수증기 출구온도와 유체 출구온도를 같게 보는 실수에서 고르기 쉽다.
- 내부 도관 열저항을 무시해도 유량과 비열 조건이 다르므로 단순히 같은 출구온도로 둘 수 없다. 틀린 표현은 300°C이고, 올바르게는 225°C이다.

오답 포인트

유체의 비열이 2배라는 조건과 질량유량이 2배라는 조건을 따로 보지 않고 하나만 반영하면 오답이 된다. 이 문제의 핵심 함정은 유체의 열용량률이 수증기의 4배라는 점을 놓치는 것이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

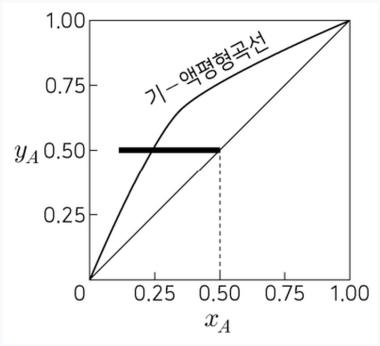
열교환 계산형 문제는 먼저 단열 여부를 확인하고, 다음으로 각 유체의 열용량률 $\dot{m}c_p$를 비교한 뒤, 마지막에 에너지수지식 Q_78374C=Q_5BB74C에 대입해 판단한다.

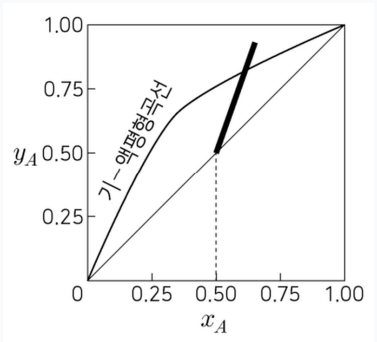
암기 포인트

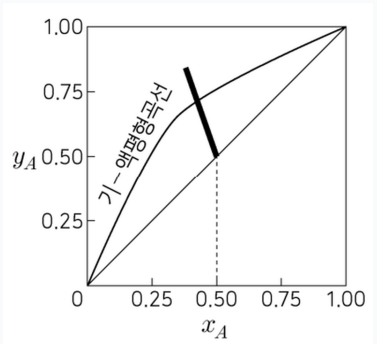
단열 열교환기에서는 열량은 같고, 온도변화량은 열용량률 $\dot{m}c_p$에 반비례한다.

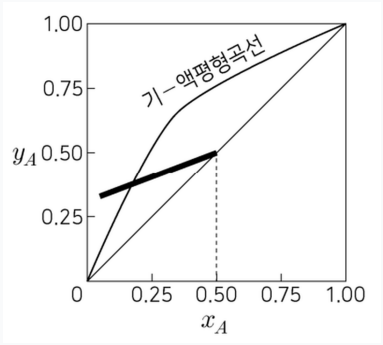
NoteBase

문 11. 증류탑의 이론단수(theoretical stage)를 구할 때 사용하는 McCabe-Thiele 방법에서 원료공급선(feed line)은 원료의 상태에 따라 다르게 표시된다. 끓는점이 100 °C인 물질 A와 끓는점이 150 °C인 물질 B가 등몰비(equimolar ratio)로 혼합되어 40 °C, 1 atm 조건의 차가운 액체로 증류탑에 공급될 경우, 해당 공정의 원료공급선(—)으로 옳은 것은? (단, x_A, y_A는 각각 액상, 기상에서 성분 A의 몰분율이며, 다른 모든 조건은 동일하다)

① 

② 

③ 

④ 

정답 2번

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 전달현상 · 2025 · 2차

출제 포인트

이 문제는 McCabe-Thiele법의 원료공급선에서 원료의 열적 상태에 따른 q값과 기울기 변화를 도식으로 연결하는 문제이다.

선지별 해설

① X
수평선은 $q = 0$인 포화증기 원료의 공급선 형태이다. $y_A = z_F = 0.5$로 나타나므로 차가운 액체 공급선이 아니다.
틀린 부분은 수평선의 해석이다. 올바르게는 포화증기 공급선이다.

② O
차가운 액체는 과냉액이므로 $q > 1$이다. 따라서 공급선 기울기 $q/(q-1)$는 1보다 크고, 선은 (0.5, 0.5)를 지나며 급한 우상향 형태가 된다. 그림 ②가 이 조건에 맞는다.

③ X
기울기가 음수인 선은 $0 < q < 1$인 부분 기화 원료에 해당한다. 액체와 증기가 함께 들어오는 경우의 공급선이지 차가운 액체 공급선이 아니다.
틀린 부분은 음의 기울기 해석이다. 올바르게는 부분 기화 원료의 공급선이다.

④ X
기울기가 0과 1 사이의 완만한 우상향 선은 $q < 0$인 과열증기 원료에 해당한다. 차가운 액체라면 이보다 훨씬 가파른 우상향 선이어야 한다.
틀린 부분은 완만한 양의 기울기 해석이다. 올바르게는 과열증기 공급선이다.

오답 포인트

원료 상태와 q값 대응을 혼동하면 ①의 수평선이나 ③의 음의 기울기를 고르기 쉽다. 이 문항의 함정은 '액체'만 보고 ①의 단순한 선형태를 고르는 데 있으며, 실제로는 '차가운 액체'이므로 포화액보다 더 큰 q를 가져야 한다는 점이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 원료가 과냉액, 포화액, 부분 기화, 포화증기, 과열증기 중 무엇인지 q로 바꿔 판단한다. 그다음 공급선이 항상 (z_F, z_F)를 지난다는 점을 확인하고, 기울기 부호와 크기를 비교하면 선도를 바로 고를 수 있다.

암기 포인트

q-line은 $q > 1$ 급한 우상향, $q = 1$ 수직, $0 < q < 1$ 음의 기울기, $q = 0$ 수평, $q < 0$ 완만한 우상향으로 정리된다.

NoteBase

문 12. 희박용액(dilute solution) 내의 거대 구형 분자에 대한 확산도를 설명하는 Stokes-Einstein 방정식에 포함되는 변수가 아닌 것은?

① 용매 밀도

② 용매 점도

③ 용액 온도

④ 구형 분자 크기

정답 1번

출제 포인트

희박용액에서 구형 입자의 확산도를 나타내는 Stokes-Einstein 식의 구성 변수와, 식에 들어가지 않는 물성을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

Stokes-Einstein 방정식은 구형 분자의 확산계수 D를 $D = \frac{k_B T}{6\pi\mu r}$로 나타내는 식이다. 여기서 T는 절대온도, μ는 용매 점도, r은 구형 분자 반지름이다. 확산도는 온도가 높을수록 커지고, 점도와 입자 크기가 클수록 작아진다. 용매 밀도는 이 식의 직접 변수에 포함되지 않는다.

선지별 해설

① X
- 용매 밀도는 Stokes-Einstein 식의 변수에 포함되지 않는다.
- 틀린 표현은 "용매 밀도"이다.
- 올바르게는 확산도 식의 직접 변수는 온도, 용매 점도, 구형 분자 크기이다.

② O
- 용매 점도 μ는 분모에 들어가므로 점도가 커질수록 확산도는 작아진다.

③ O
- 용액 온도는 식의 분자에 들어가므로 온도가 높을수록 확산도는 커진다.

④ O
- 구형 분자 크기 또는 반지름 r은 분모에 들어가므로 입자가 클수록 확산도는 작아진다.

NoteBase

오답 포인트

점도와 밀도를 모두 유체 물성으로 묶어서 외우면 ①을 고르지 못한다. 이 식은 점성 저항을 반영하는 점도는 포함하지만, 용매 밀도는 직접 포함하지 않는다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

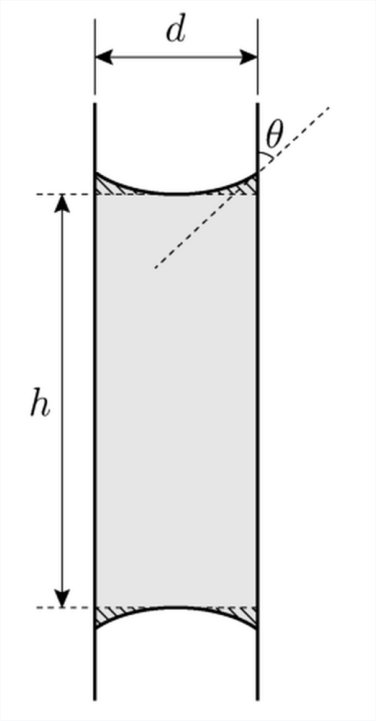
Stokes-Einstein 식이 보이면 먼저 분자에 온도, 분모에 점도와 입자 반지름이 들어간다는 구조를 확인한다. 그다음 제시된 물성이 이 세 변수에 해당하는지 대조하면 정답을 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

Stokes-Einstein은 온도는 분자, 점도와 크기는 분모, 밀도는 제외이다.

NoteBase

문 13. 지평면에 수직으로 허공에 고정된 내부 지름 d의 모세관 내부에 높이 h만큼 물이 들어 있다. 물이 모세관 내에서 아래로 흘러내리지 않도록 하는 데 필요한 최소 마찰력의 크기를 구하는 식은? (단, 물의 밀도는 ρ이고, g는 중력가속도이며, 물과 모세관 사이의 접촉각은 θ이고, 계면장력은 γ이며, 빗금친 부분의 물의 부피는 무시한다)



① $\rho g h \pi (d/2)^2$

② $\pi d \gamma \cos\theta + \rho g h \pi (d/2)^2$

③ $\rho g h \pi d^2$

④ $2\pi d \gamma \cos\theta + \rho g h \pi d^2$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 모세관 속 물기둥 전체에 대해 수직방향 힘평형을 잡아 필요한 최소 마찰력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 물기둥 높이 h, 모세관 내부 지름 d, 물의 밀도 ρ, 중력가속도 g
구해야 할 값: 물이 아래로 흘러내리지 않게 하는 최소 마찰력
주의할 조건: 빗금친 끝부분의 곡면 부피는 무시하고, 액주 본체를 원기둥으로 본다. 위아래 계면의 표면장력 수직성분은 액주 전체 평형에서 서로 상쇄된다.

NoteBase

사용할 공식

액주의 무게는 $W = \rho g V$, 원기둥 부피는 $V = Ah$, 단면적은 $A = \pi(d/2)^2$이다.
따라서 필요한 최소 마찰력은
$F_{\min} = W = \rho g h \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 물기둥 전체가 아래로 미끄러지지 않기 위한 저항력을 묻는다. 이때 남는 하향 외력은 액주의 무게이고, 이를 벽면 마찰력이 버텨야 한다.

계산 과정

1. 물기둥의 직선부 단면적은 $A = \pi(d/2)^2$이다.
2. 빗금친 곡면 부분의 부피를 무시하면 물기둥 부피는 $V = Ah = \pi(d/2)^2 h$이다.
3. 물기둥 무게는 $W = \rho g V = \rho g h \pi (d/2)^2$이다.
4. 위아래 계면에서 생기는 표면장력 수직성분은 액주 전체 기준으로 서로 상쇄되므로, 최소 마찰력은 그대로 $F_{\min} = \rho g h \pi (d/2)^2$이다.

선지별 해설

① O
- $\rho g h \pi (d/2)^2$는 물기둥의 무게와 정확히 같다. 액주 전체의 힘평형을 잡으면 필요한 최소 마찰력은 이 무게와 같으므로 옳다.

② X
- $\pi d \gamma \cos\theta$를 추가로 더한 점이 틀리다. 한쪽 계면의 표면장력만 따로 더한 값이며, 액주 전체를 보면 위아래 계면의 수직성분은 서로 상쇄된다.
- 틀린 표현은 "표면장력 항을 추가로 더한다"이다. 올바르게는 "최소 마찰력은 $\rho g h \pi (d/2)^2$만 남는다"이다.

③ X
- 단면적을 πd^2로 둔 점이 틀리다. 원의 단면적은 반지름 $d/2$를 써서 $\pi(d/2)^2$이어야 하므로 4배 크게 계산한 오답이다.
- 틀린 표현은 "단면적이 πd^2이다"이다. 올바르게는 "단면적은 $\pi(d/2)^2$이다"이다.

④ X
- $2\pi d \gamma \cos\theta$를 더한 것도 틀리고, 단면적을 πd^2로 둔 것도 틀리다. 표면장력 항을 양쪽에서 모두 더해도 액주 전체 평형식에는 그대로 들어가지 않으며, 무게 항 역시 4배 크게 잡았다.
- 틀린 표현은 "양쪽 표면장력 항을 더하고 무게를 $\rho g h \pi d^2$로 둔다"이다. 올바르게는 "표면장력 수직성분은 상쇄되고 무게는 $\rho g h \pi (d/2)^2$이다"이다.

NoteBase

오답 포인트

문제에 γ, θ가 주어졌다고 해서 표면장력 항을 반드시 최종식에 넣는다고 생각하기 쉽다. 그러나 이 문항은 한 계면이 아니라 물기둥 전체의 수직방향 힘평형을 묻기 때문에, 양 끝 계면의 효과가 최종적으로 상쇄되는지를 먼저 봐야 한다. 또 d가 지름이라는 점을 놓치면 단면적을 πd^2로 잘못 쓰는 실수가 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

액주가 들어 있는 모세관 문제는 먼저 전체 액주를 하나의 계로 잡아 상하 외력을 정리한다. 그다음 표면장력 항이 실제로 남는지 상쇄되는지를 확인하고, 부피를 구할 때는 지름과 반지름을 구분해 단면적을 계산하면 된다.

암기 포인트

모세관 액주 전체 평형에서는 양끝 계면력의 상쇄 여부를 먼저 보고, 남는 저항은 액주 무게 $\rho g h \pi (d/2)^2$로 정리한다.

NoteBase

문 14. 등온 및 등압 조건에서 유체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 유체의 점도는 전단응력과 전단률에 의해 결정된다.

② Newton 유체의 점도는 전단률이 변해도 일정하다.

③ 팽창성유체(dilatant)는 전단률이 증가하면 점도가 감소한다.

④ 점탄성 유체는 외부전단응력이 사라질 경우 원래 형태로 돌아가려는 거동을 나타낸다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 점도의 정의와 Newton 유체, 팽창성유체, 점탄성 유체의 거동 차이를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

점도는 유체의 전단저항을 나타내는 물성으로, 전단응력을 전단률로 나눈 값이다.
Newton 유체는 전단률이 변해도 점도가 일정한 유체이다.
팽창성유체는 전단률이 증가할수록 점도가 증가하는 전단농화 유체이다.
점탄성 유체는 점성 성질과 탄성 성질을 함께 보여 외력이 제거되면 일부 탄성 회복 거동을 나타낸다.

선지별 해설

1번: O. 점도는 전단응력과 전단률의 관계로 정의되며, 일반적으로 $\mu = \tau/(du/dy)$ 또는 전단응력을 전단률로 나눈 값으로 본다.
2번: O. Newton 유체는 전단응력과 전단률이 비례하므로 전단률이 변해도 점도는 일정하다.
3번: X. 틀린 부분은 "전단률이 증가하면 점도가 감소한다"이다. 팽창성유체(dilatant)는 전단률이 증가할수록 점도가 증가하는 유체이므로, 올바르게는 "전단률이 증가하면 점도가 증가한다"이다.
4번: O. 점탄성 유체는 점성과 함께 탄성을 가져 외부 전단응력이 사라지면 원래 형태로 회복하려는 거동을 나타낸다.

오답 포인트

팽창성유체와 의가소성유체를 반대로 외우면 3번에서 바로 틀린다. 팽창성은 전단농화, 의가소성은 전단박화라는 방향을 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

비뉴턴 유체 문제는 먼저 전단률이 커질 때 점도가 증가하는지 감소하는지를 본다. 증가하면 팽창성유체, 감소하면 의가소성유체로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

Newton은 점도 일정, 팽창성은 전단률 증가 시 점도 증가, 의가소성은 전단률 증가 시 점도 감소이다.

NoteBase

문 15. 혼합물에서 물질 B에 대한 물질 A의 상대휘발도 α_{AB}에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 액체와 기체는 이상용액과 이상기체로 가정한다)

① K_i가 성분 i의 분배계수일 때, $\alpha_{AB} = \frac{K_A}{K_B}$이다.
② P'_i가 성분 i의 포화증기압일 때, $\alpha_{AB} = \frac{P'_A}{P'_B}$이다.
③ x_i와 y_i가 각각 평형상태에서 성분 i의 액상과 기상의 몰분율일 때, $\alpha_{AB} = \frac{x_A/y_A}{x_B/y_B}$이다.
④ α_{AB}값이 클수록 두 물질의 혼합물을 증류로 분리하기 위한 최소 이론단수는 감소한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 상대휘발도의 정의와 이상용액-이상기체 가정에서의 등가식
$\alpha_{AB} = K_A/K_B = (y_A/x_A)/(y_B/x_B) = P'_A/P'_B$를 묻는 문제이다.

핵심 개념

분배계수 K_i는 평형에서 성분 i의 기상 몰분율을 액상 몰분율로 나눈 값으로 $K_i = y_i/x_i$이다.
상대휘발도 α_{AB}는 A가 B보다 얼마나 더 휘발되기 쉬운지를 나타내는 비로 $\alpha_{AB} = K_A/K_B = (y_A/x_A)/(y_B/x_B)$이다.
이상용액과 이상기체에서는 라울트 법칙 때문에 $K_i = P'_i/P$가 되어 $\alpha_{AB} = P'_A/P'_B$가 된다.

선지별 해설

① O
K_i가 성분 i의 분배계수이면 상대휘발도는 두 성분의 분배계수 비이므로 $\alpha_{AB} = K_A/K_B$가 맞다.

② O
이상용액-이상기체에서 $y_iP = x_iP'_i$이므로 $K_i = y_i/x_i = P'_i/P$이다. 따라서
$\alpha_{AB} = K_A/K_B = (P'_A/P)/(P'_B/P) = P'_A/P'_B$가 된다.

③ X
틀린 부분은 $(x_A/y_A)/(x_B/y_B)$라는 역수 형태이다. 상대휘발도는 $K_i = y_i/x_i$를 써서 $\alpha_{AB} = (y_A/x_A)/(y_B/x_B)$로 나타내야 한다.

④ O
상대휘발도가 클수록 A와 B의 휘발성 차이가 커져 증류 분리가 쉬워진다. 같은 분리 목표라면 최소 이론단수는 감소하는 방향이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

분배계수 정의를 y/x가 아니라 x/y로 뒤집어 외우면 ③처럼 상대휘발도 식도 통째로 거꾸로 쓰게 된다. ④도 방향성만 묻는 선지인데, 상대휘발도가 크면 분리가 쉬워진다는 기본 해석을 놓치면 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $K_i = y_i/x_i$를 확인하고, 바로 $\alpha_{AB} = K_A/K_B = (y/x)_A/(y/x)_B$로 연결하면 된다. 선지에 x/y가 나오면 역수이므로 오답으로 본다. 또 상대휘발도가 커질수록 증류 분리는 쉬워지고 필요한 단수는 줄어든다고 판단한다.

암기 포인트

$K = y/x$, $\alpha = (y/x)_A/(y/x)_B = P'_A/P'_B$이다. x/y로 뒤집히면 오답이다.

NoteBase

문 16. 직교형 좌표계에서 비압축성 유체의 속도 $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z) = (ax, -3ay, 2z)$가 연속방정식을 만족할 때, 상수 a의 값은?

① 1

② 0.5

③ -0.5

④ -1

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 비압축성 유체의 연속방정식인 발산 조건 $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$를 이용해 상수 a를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 속도장은 $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z) = (ax, -3ay, 2z)$이다.
구해야 할 값은 상수 a이다.
비압축성 유체이므로 직교좌표계에서 $\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$을 만족해야 한다.

사용할 공식

$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0$
이 공식을 쓰는 이유는 비압축성 유체의 연속방정식이 속도장의 발산이 0이라는 조건으로 바로 주어지기 때문이다.

계산 과정

1. $v_x = ax$이므로 $\frac{\partial v_x}{\partial x} = a$이다.
2. $v_y = -3ay$이므로 $\frac{\partial v_y}{\partial y} = -3a$이다.
3. $v_z = 2z$이므로 $\frac{\partial v_z}{\partial z} = 2$이다.
4. 연속방정식에 대입하면 $a + (-3a) + 2 = 0$이다.
5. 따라서 $-2a + 2 = 0, a = 1$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 계산 결과가 $a = 1$이므로 옳다.

② X
- 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 틀린 표현은 $a = 0.5$라는 값이다. 올바르게는 $a = 1$이다.
- 이 값은 $-3a$와 2의 부호를 함께 잘못 처리해 $a + 3a - 2 = 0$처럼 세우면 나오는 대표적 오답이다.

③ X
- 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 틀린 표현은 $a = -0.5$라는 값이다. 올바르게는 $a = 1$이다.
- 이 값은 $\frac{\partial(-3ay)}{\partial y}$를 $+3a$로 잘못 보면 $a + 3a + 2 = 0$이 되어 나오는 오답이다.

④ X
- 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 틀린 표현은 $a = -1$이라는 값이다. 올바르게는 $a = 1$이다.
- 이 값은 $\frac{\partial(2z)}{\partial z}$를 -2처럼 잘못 처리해 $a - 3a - 2 = 0$으로 세우면 나오는 오답이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 각 속도성분 자체를 더하는 것이 아니라 각 성분을 자기 좌표로 편미분한 뒤 더해야 한다는 점을 놓치는 것이다. 특히 $-3ay$를 y로 미분했을 때 부호가 그대로 $-3a$로 남고, $2z$를 z로 미분하면 2가 된다는 점에서 부호 실수가 자주 발생한다.

다시 나오면 이렇게 판단

비압축성 속도장 문제는 먼저 $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$를 적고, 각 성분을 자기 변수로만 편미분한 뒤 부호까지 포함해 합이 0이 되는지 확인하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

직교좌표계 비압축성 조건은 각 속도성분의 자기방향 편미분 합이 0이라는 점이 핵심이다.

NoteBase

문 17. 일정한 열전도도의 두께가 L인 판을 통해 열전달이 되고 있다. 판의 면은 매우 넓어서 끝부분 효과는 무시하고, 열은 두께방향 (x축)으로만 흐르며 내부에너지 생성이 없는 정상상태의 열전도를 가정한다. 판의 온도(T)는 $x = 0$에서 $200^\circ\mathrm{C}$이고 $x = L$에서 $0^\circ\mathrm{C}$이다. 이 열전달에 대한 방정식으로 옳은 것은?

① $\frac{d^2T}{dx^2} = 0$
② $\frac{d^2T}{dx^2} = T(x)$
③ $\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{200}{L}$
④ $\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{200}{L}x$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 일정한 열전도도, 정상상태, 1차원, 내부에너지 생성 없음이라는 조건에서 평판의 지배방정식을 고르는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 열전도도 k는 일정하고, 판의 두께는 L이며, 열은 x축 방향으로만 흐른다.
경계조건: $x = 0$에서 $T = 200^\circ C$, $x = L$에서 $T = 0^\circ C$이다.
주의할 조건: 정상상태이고 내부에너지 생성이 없으므로 온도분포는 직선형이며, 곡률은 0이다.

사용할 공식

1차원 정상 열전도 방정식은
$\frac{d}{dx}\left(k\frac{dT}{dx}\right) + \dot{q}''' = 0$
이다.
이 문제에서는 k가 일정하고 내부에너지 생성이 없으므로 $\dot{q}''' = 0$이다. 따라서
$k\frac{d^2T}{dx^2} = 0$
이고, $k \neq 0$이므로
$\frac{d^2T}{dx^2} = 0$
이 된다.

계산 과정

1. 정상상태 1차원 열전도 지배식에 내부에너지 생성항 $\dot{q}''' = 0$을 대입한다.
2. 열전도도 k가 일정하므로 $\frac{d}{dx}\left(k\frac{dT}{dx}\right) = k\frac{d^2T}{dx^2}$로 정리한다.
3. 따라서 지배방정식은 $\frac{d^2T}{dx^2} = 0$이다.
4. 경계조건을 적용하면 $T(x) = 200\left(1 - \frac{x}{L}\right)$처럼 선형 분포가 되며, 이때도 두 번째 미분은 0이다.

NoteBase

선지별 해설

① O

정상상태, 1차원, 일정한 k, 내부에너지 생성 없음이면 지배방정식은 $\frac{d^2T}{dx^2}=0$이다. 제시된 조건을 정확히 반영한 식이다.

② X

$\frac{d^2T}{dx^2}=T(x)$는 온도 자체에 비례하는 항이 있는 별도의 미분방정식 형태이며, 이 문제의 순수 전도 조건에서 나오지 않는다. 틀린 표현은 "$\frac{d^2T}{dx^2}=T(x)$"이고, 올바르게는 "$\frac{d^2T}{dx^2}=0$"이다.

③ X

$\frac{200}{L}$는 경계조건으로부터 얻는 온도기울기의 크기와 관련된 값일 뿐, 두 번째 미분값이 아니다. 이 문제에서는 $\frac{dT}{dx}=-\frac{200}{L}$가 일정하고, 따라서 $\frac{d^2T}{dx^2}=0$이다. 틀린 표현은 "$\frac{d^2T}{dx^2}=\frac{200}{L}$"이고, 올바르게는 "$\frac{dT}{dx}=-\frac{200}{L}$, $\frac{d^2T}{dx^2}=0$"이다.

④ X

$\frac{d^2T}{dx^2}=\frac{200}{L}x$라면 온도분포가 곡선을 이루어 내부에너지 생성이나 위치 의존 항이 있는 경우가 된다. 이 문제는 내부에너지 생성이 없으므로 곡률이 생기지 않는다. 틀린 표현은 "$\frac{d^2T}{dx^2}=\frac{200}{L}x$"이고, 올바르게는 "$\frac{d^2T}{dx^2}=0$"이다.

오답 포인트

경계조건으로 정해지는 온도차 $200^\circ C$와 두께 L을 보고 바로 $\frac{200}{L}$를 지배방정식에 넣는 실수가 흔하다. 이 값은 온도기울기 $\frac{dT}{dx}$와 연결되는 값이지, 두 번째 미분 $\frac{d^2T}{dx^2}$와 연결되는 값이 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

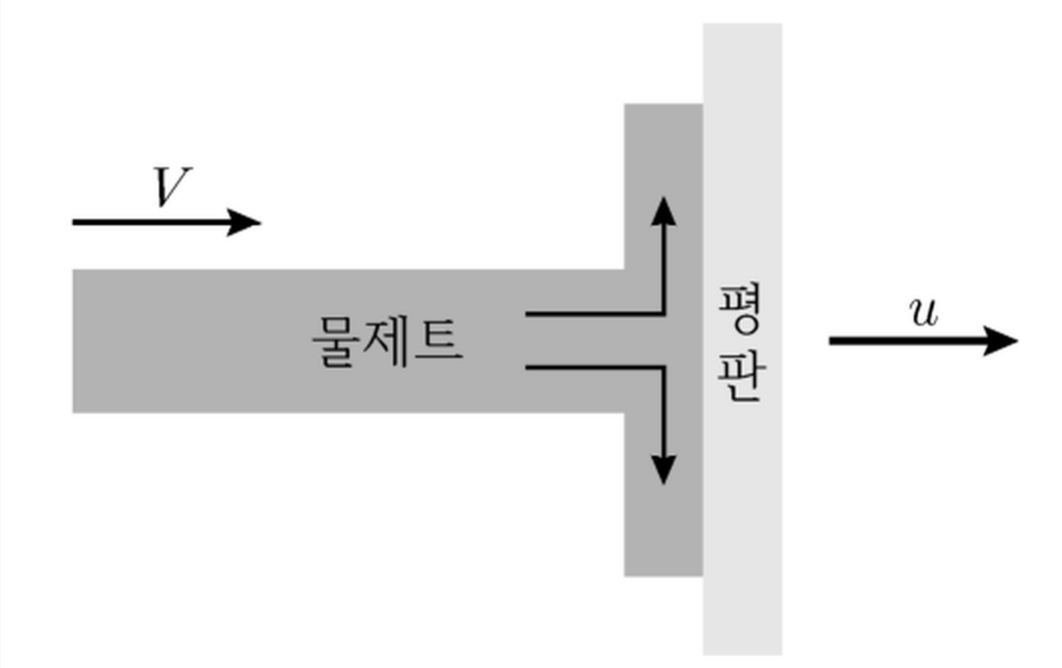
열전도 문항에서는 먼저 정상상태 여부, 내부에너지 생성 유무, 열전도도 일정 여부를 확인한다. 정상상태 1차원 전도에서 내부에너지 생성이 없고 k가 일정하면 곧바로 $\frac{d^2T}{dx^2}=0$을 떠올리면 된다.

암기 포인트

정상 1차원 전도에서 일정한 k, 내부생성 없음이면 온도분포는 직선이고 $\frac{d^2T}{dx^2}=0$이다.

NoteBase

문 18. 그림과 같이, 움직이는 평판에 수직으로 물제트(water jet)가 $V\text{ms}^{-1}$의 속도로 분사되고 있다. 물제트의 단면적은 0.001m^2이고, 유량은 $0.1\text{m}^3\text{s}^{-1}$이다. V와 같은 방향으로 평판이 $u = 10\text{ms}^{-1}$로 움직일 때, 정상상태에서 평판이 받는 힘[N]은? (단, 중력과 마찰은 무시하고, 물제트는 평판 충돌 시 평판의 표면과 평행한 모든 방향으로 똑같이 퍼지며, 물의 밀도는 1gcm^{-3}이다)



① 90

② 810

③ 8,100

④ 9,000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 움직이는 평판에 수직 충돌하는 물제트의 운동량 변화를 이용해 평판이 받는 힘을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 물제트 단면적 $A = 0.001m^2$, 유량 $Q = 0.1m^3/s$, 평판 속도 $u = 10m/s$, 물의 밀도 $\rho = 1g/cm^3 = 1000kg/m^3$이다.
구해야 할 값은 정상상태에서 평판이 받는 힘이다.
주의할 조건은 제트가 평판에 부딪힌 뒤 평판과 평행한 방향으로 퍼지므로 충돌 후 x방향 속도는 평판 기준으로 0이 된다는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

사용 공식은 $V = Q/A$, $\dot{m} = \rho A(V-u)$, $F = \dot{m}(V-u) = \rho A(V-u)^2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 평판이 움직이면 평판에 실제로 부딪히는 유체량이 절대속도 V가 아니라 상대속도 $V-u$로 결정되고, 충돌 후 유체의 평판 수직방향 속도 성분이 사라지기 때문이다.

계산 과정

1. 유량과 단면적으로 제트 속도를 구하면 $V = Q/A = 0.1/0.001 = 100 m/s$이다.
2. 평판 기준 상대속도는 $V-u = 100-10 = 90 m/s$이다.
3. 평판에 실제로 충돌하는 질량유량은 $\dot{m} = \rho A(V-u) = 1000 \times 0.001 \times 90 = 90 kg/s$이다.
4. 충돌 후 x방향 속도는 평판과 함께 u가 되므로 x방향 속도변화는 $100-10 = 90 m/s$이다.
5. 따라서 힘은 $F = \dot{m}(V-u) = 90 \times 90 = 8100 N$이다.

선지 판단

① X
계산 결과는 $8100N$이므로 90은 정답이 아니다. 90은 질량유량 $90 kg/s$만 구하고 한 번 더 속도변화를 곱하지 않은 값에 해당한다. 틀린 표현은 힘을 90으로 본 점이며, 올바르게는 힘은 $8100N$이다.

② X
계산 결과는 $8100N$이므로 810은 정답이 아니다. 810은 올바른 공식 $F = \rho A(V-u)^2$으로는 나오지 않는, 정답값 $8100N$과 자릿수만 비슷하게 만들어 둔 오답 유도용 수치이다. 올바르게는 상대속도 $V-u$를 두 번 반영하는 $\rho A(V-u)^2$를 써서 $8100N$이 된다.

③ O
$V = 100 m/s$, $V-u = 90 m/s$, $\rho = 1000 kg/m^3$, $A = 0.001 m^2$를 대입하면
$F = 1000 \times 0.001 \times 90^2 = 8100 N$이다. 따라서 ③이 옳다.

④ X
계산 결과는 $8100N$이므로 9000은 정답이 아니다. 9000은 평판이 정지해 있다고 보고 $F = \rho A V^2 = 1000 \times 0.001 \times 100^2$로 계산했을 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 평판 운동을 무시한 점이며, 올바르게는 움직이는 평판이므로 상대속도 $V-u$를 사용해야 한다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 유량으로부터 먼저 V를 구하지 않고 바로 계산하거나, 움직이는 평판인데도 정지 평판 공식 $\rho A V^2$를 그대로 쓰는 점이다. 또한 ①처럼 질량유량까지만 구하고 운동량 변화 한 번을 더 곱하지 않는 실수도 자주 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

움직이는 평판에 제트가 충돌하면 먼저 $V = Q/A$로 절대속도를 구하고, 다음에 상대속도 $V - u$를 만든 뒤, 충돌 후 수직성분이 사라진다는 점을 이용해 $F = \rho A(V - u)^2$ 순서로 판단한다.

암기 포인트

정지 평판은 ρAV^2, 같은 방향으로 움직이는 평판은 $\rho A(V - u)^2$이다.

NoteBase

문 19. 직경 0.2m의 작은 구형 흑체가 표면 온도 1,000 K에서 복사에너지를 방출하고 있으며, 구의 주변을 완전히 둘러싸는 진공 상태의 흑체 방 내벽의 온도는 500 K이다. 정상상태에서 구형 흑체와 흑체 방 내벽 사이의 순복사에너지전달량[W]은? (단, Stefan-Boltzmann 상수는 $5.0 \times 10^{-8}\mathrm{Wm^{-2}K^{-4}}$으로 가정한다)

① 925π

② $1{,}875\pi$

③ $3{,}750\pi$

④ $5{,}365\pi$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 작은 흑체 구와 이를 완전히 둘러싼 흑체 벽 사이의 순복사에너지전달량을 $q = A\sigma(T_1^4 - T_2^4)$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

구의 직경은 0.2m이므로 반지름은 $r = 0.1m$이다.
구의 표면적은 $A = 4\pi r^2 = 4\pi(0.1)^2 = 0.04\pi m^2$이다.
구의 온도는 1,000 K, 내벽의 온도는 500 K, Stefan-Boltzmann 상수는 $\sigma = 5.0 \times 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$이다.
진공 중의 흑체와 흑체 사이 복사이므로 방사율 보정 없이 순복사식을 그대로 적용한다.

사용할 공식

$q = A\sigma(T_1^4 - T_2^4)$
작은 흑체가 큰 흑체 공간에 완전히 둘러싸여 있고 두 면 모두 흑체이므로 형상계수와 방사율 저항을 따로 계산하지 않고 이 식을 바로 쓴다.

계산 과정

1. 구의 표면적은 $A = 4\pi(0.1)^2 = 0.04\pi m^2$이다.
2. 온도 네제곱 차는 $1000^4 - 500^4 = 10^{12} - 6.25 \times 10^{10} = 9.375 \times 10^{11}$이다.
3. 따라서 $q = 0.04\pi \times 5.0 \times 10^{-8} \times 9.375 \times 10^{11} = 1875\pi W$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 $1875\pi W$이므로 925π는 맞지 않는다. 500^4 항을 고려해도 정답은 이보다 훨씬 크며, 올바르게는 1,875π W이다.
2번 O: 순복사에너지전달량을 식에 그대로 대입하면 $1875\pi W$가 되어 정답이다.
3번 X: 3,750π는 정답의 정확히 2배이므로 표면적이나 온도항을 중복 계산한 오산이다. 올바르게는 1,875π W이다.
4번 X: 5,365π는 흑체 순복사식에 대입한 값보다 지나치게 크다. T^4 차나 구의 표면적을 잘못 처리한 값이며, 올바르게는 1,875π W이다.

오답 포인트

이 문제는 구의 면적을 $4\pi r^2$로 써야 한다는 점과 복사 온도차를 $T_1 - T_2$가 아니라 $T_1^4 - T_2^4$로 써야 한다는 점을 동시에 묻는다. 직경 0.2m를 그대로 반지름처럼 넣거나 500^4 항을 누락하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

복사 계산형은 먼저 흑체 여부와 둘러싸인 형상을 확인하고, 다음으로 면적 A를 구한 뒤, 마지막에 T^4 차를 대입해 단위를 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

작은 흑체가 큰 흑체 공간 안에 있으면 $q = A\sigma(T_1^4 - T_2^4)$를 바로 쓰고, 구의 면적은 $4\pi r^2$이다.

NoteBase

문 20. 냉각핀(cooling fin)의 효율을 계산하기 위한 열전달 수식은 Biot 수를 사용하여 표현할 수 있다. Biot 수에 영향을 주는 변수만을 모두 고르면?

ㄱ. 핀의 열전도도
ㄴ. 유체의 대류 열전달계수
ㄷ. 핀-유체 접촉 유효길이
ㄹ. 열전달 시간

① ㄱ
② ㄴ, ㄷ
③ ㄱ, ㄴ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 냉각핀 효율식에서 쓰는 Biot 수가 어떤 변수로 정의되는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Biot 수는 고체 내부 전도저항과 표면 대류저항의 상대적 크기를 나타내는 무차원수로, 일반적으로 $Bi = hL_c/k$로 쓴다.
여기서 h는 유체의 대류 열전달계수, L_c는 특성길이 또는 유효길이, k는 핀의 열전도도이다.
따라서 Biot 수는 ㄱ, ㄴ, ㄷ의 영향을 받고, 열전달 시간은 정상상태 핀 효율의 Biot 수 정의에 직접 들어가지 않는다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- ①은 ㄱ만 포함하므로 불완전하다.
- Biot 수는 핀의 열전도도 k뿐 아니라 유체의 대류 열전달계수 h, 핀-유체 접촉의 특성길이 L_c에도 좌우된다.
- 틀린 표현은 "ㄱ만 해당"이다. 올바르게는 "ㄱ, ㄴ, ㄷ이 해당"이다.

② X
- ②는 ㄴ, ㄷ만 포함하고 핀의 열전도도 ㄱ을 빠뜨렸다.
- $Bi = hL_c/k$에서 k가 분모에 있으므로 핀 재질의 열전도도도 Biot 수를 결정한다.
- 틀린 표현은 "ㄱ 제외"이다. 올바르게는 "ㄱ도 포함"이다.

③ O
- ③은 ㄱ, ㄴ, ㄷ을 모두 포함하고 ㄹ은 제외하므로 맞다.
- $Bi = hL_c/k$이므로 열전도도, 대류 열전달계수, 특성길이가 변수이고, 시간은 이 정의식에 포함되지 않는다.

④ X
- ④는 ㄴ, ㄷ, ㄹ을 포함하지만 ㄱ을 누락하고 시간 ㄹ을 잘못 포함했다.
- 열전달 시간은 비정상 열전달 문제에서 중요할 수 있으나, 핀 효율을 Biot 수로 표현할 때 쓰는 Biot 수 정의에는 직접 들어가지 않는다.
- 틀린 표현은 "ㄹ 포함, ㄱ 제외"이다. 올바르게는 "ㄹ 제외, ㄱ 포함"이다.

오답 포인트

Biot 수와 Fourier 수를 섞으면 시간 항을 넣는 실수가 나온다. Biot 수는 h, 길이, k의 조합이고, 시간은 Fourier 수 $Fo = \alpha t/L^2$ 쪽에서 등장한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

무차원수 정의식을 먼저 확인한다. 식에 직접 들어가는 물리량만 고르고, 시간처럼 다른 무차원수에서 쓰는 변수는 제외하면 판단할 수 있다.

암기 포인트

Biot 수는 hL_c/k이고, 시간은 Biot 수가 아니라 Fourier 수 쪽 변수이다.

NoteBase

문 21. 온도 $56^\circ C$, 질량 $50g$인 금속을 온도 $20^\circ C$, 질량 $100g$인 물에 넣었다. 일정 시간이 지난 후 열평형이 이루어졌을 때 두 물질의 온도[$^\circ C$]는? (단, 금속과 물의 비열은 각각 $1 J g^{-1} {}^\circ C^{-1}$, $4 J g^{-1} {}^\circ C^{-1}$로 가정하고, 열교환은 물과 금속 사이에서만 발생한다)

① 22

② 23

③ 24

④ 25

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열평형에서 금속이 잃는 열량과 물이 얻는 열량을 같게 두어 최종 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 금속 $m = 50g$, $c = 1 J g^{-1} {}^\circ C^{-1}$, 초기온도 $56^\circ C$
주어진 값: 물 $m = 100g$, $c = 4 J g^{-1} {}^\circ C^{-1}$, 초기온도 $20^\circ C$
구해야 할 값: 열평형 후 공통 온도 T
주의할 조건: 외부와의 열교환이 없으므로 금속의 방출열과 물의 흡수열이 같다.

사용할 공식

$Q = mc\Delta T$
열평형에서는
$50 \times 1 \times (56 - T) = 100 \times 4 \times (T - 20)$
이 된다.
이 공식을 쓰는 이유: 열교환이 물과 금속 사이에서만 발생하므로 한쪽이 잃은 열량과 다른 쪽이 얻은 열량을 같게 둘 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 금속이 잃는 열량은 $50 \times 1 \times (56 - T)$이다.
2. 물이 얻는 열량은 $100 \times 4 \times (T - 20)$이다.
3. 두 값을 같게 두면 $50(56 - T) = 400(T - 20)$이고, $2800 - 50T = 400T - 8000$이다.
4. 정리하면 $10800 = 450T$이므로 $T = 24$이다.
5. 따라서 열평형 온도는 24°C이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
22°C를 대입하면 금속이 잃는 열량은 50 × (56 − 22) = 1700J이고 물이 얻는 열량은 100 × 4 × (22 − 20) = 800J이다. 두 값이 같지 않으므로 오답이다. 틀린 수치 22°C → 올바르게는 24°C이다.

② X
23°C를 대입하면 금속이 잃는 열량은 50 × (56 − 23) = 1650J이고 물이 얻는 열량은 100 × 4 × (23 − 20) = 1200J이다. 두 값이 같지 않으므로 오답이다. 틀린 수치 23°C → 올바르게는 24°C이다.

③ O
24°C를 대입하면 금속이 잃는 열량은 50 × (56 − 24) = 1600J이고 물이 얻는 열량도 100 × 4 × (24 − 20) = 1600J이다. 방출열과 흡수열이 일치하므로 정답이다.

④ X
25°C를 대입하면 금속이 잃는 열량은 50 × (56 − 25) = 1550J이고 물이 얻는 열량은 100 × 4 × (25 − 20) = 2000J이다. 두 값이 같지 않으므로 오답이다. 틀린 수치 25°C → 올바르게는 24°C이다.

오답 포인트

22, 23, 25처럼 정답과 가까운 수치만 보고 감으로 고르면 오답이 된다. 이 문제는 보기 값을 대입했을 때 금속의 방출열과 물의 흡수열이 정확히 같아지는지를 끝까지 검산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

열평형 문제는 먼저 각 물질의 열용량 mc를 확인하고, 다음에 Q_잃음=Q_얻음 식을 세운 뒤, 마지막으로 구한 온도가 양쪽 열량을 같게 만드는지 검산하면 된다.

암기 포인트

열평형은 Q_잃음=Q_얻음이며, 평형온도는 열용량이 큰 쪽의 초기온도에 더 가깝다.

NoteBase

문 22. 폭이 W이고 길이가 L인 두 평판(간격 $\ll W, L$) 사이에서 비압축성 Newton 유체가 길이 방향 압력차에 의해 길이 방향으로 정상상태의 완전발달된 층류유동을 하고 있다. 이 상태에서 두 평판의 간격만 2배로 늘릴 때, 유체의 평균속도는 몇 배로 증가하는가?

① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 두 평판 사이의 완전발달 층류에서 평균속도가 평판 간격의 제곱에 비례한다는 관계를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 폭이 W이고 길이가 L인 두 평판 사이로 비압축성 Newton 유체가 압력차에 의해 정상상태의 완전발달 층류를 한다.
구해야 할 값: 평판 간격을 2배로 늘릴 때 평균속도의 증가 배수이다.
주의할 조건: 압력차, 유체 점도, 길이 L은 그대로이고 바뀌는 값은 평판 간격만이다.

사용할 공식

두 평판 사이 완전발달 층류의 평균속도는
$\bar{u} = \frac{h^2}{12\mu}\left(-\frac{dp}{dx}\right)$
로 쓸 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제 상황이 두 평판 사이의 pressure-driven plane Poiseuille flow이기 때문이다.
평균속도는 평판 간격 h의 제곱에 비례하고, 체적유량 Q는 h^3에 비례하지만 평균속도는 $\bar{u} = Q/(Wh)$이므로 최종적으로 h^2 비례가 된다.

계산 과정

1. 평균속도 비례식을 쓰면 $\bar{u} \propto h^2$이다.
2. 평판 간격을 2배로 늘리면 새로운 평균속도는 $\bar{u}_2 \propto (2h)^2 = 4h^2$이다.
3. 따라서 $\bar{u}_2/\bar{u}_1 = 4$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 2배 증가는 틀리다. 평균속도는 간격에 1차 비례하지 않고 h^2에 비례한다. 올바르게는 간격을 2배로 하면 평균속도는 4배가 된다.
② O: 평균속도 $\bar{u} \propto h^2$이므로 간격을 2배로 하면 $2^2 = 4$배가 된다.
③ X: 8배 증가는 틀리다. 8배는 체적유량 $Q \propto h^3$만 보고 평균속도와 혼동할 때 나오는 값이다. 올바르게는 평균속도는 단면적 증가까지 함께 반영하므로 4배가 된다.
④ X: 16배 증가는 틀리다. 16배는 간격 2배를 제곱한 뒤 다시 한 번 제곱하는 식의 과도한 거듭제곱 오류에서 나온다. 올바르게는 $2^2 = 4$배만 증가한다.

오답 포인트

두 평판 유동에서 $Q \propto h^3$와 $\bar{u} \propto h^2$를 구분하지 못하면 ③을 고르기 쉽다. 문제는 평균속도를 물었으므로 체적유량 공식을 그대로 답으로 쓰면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

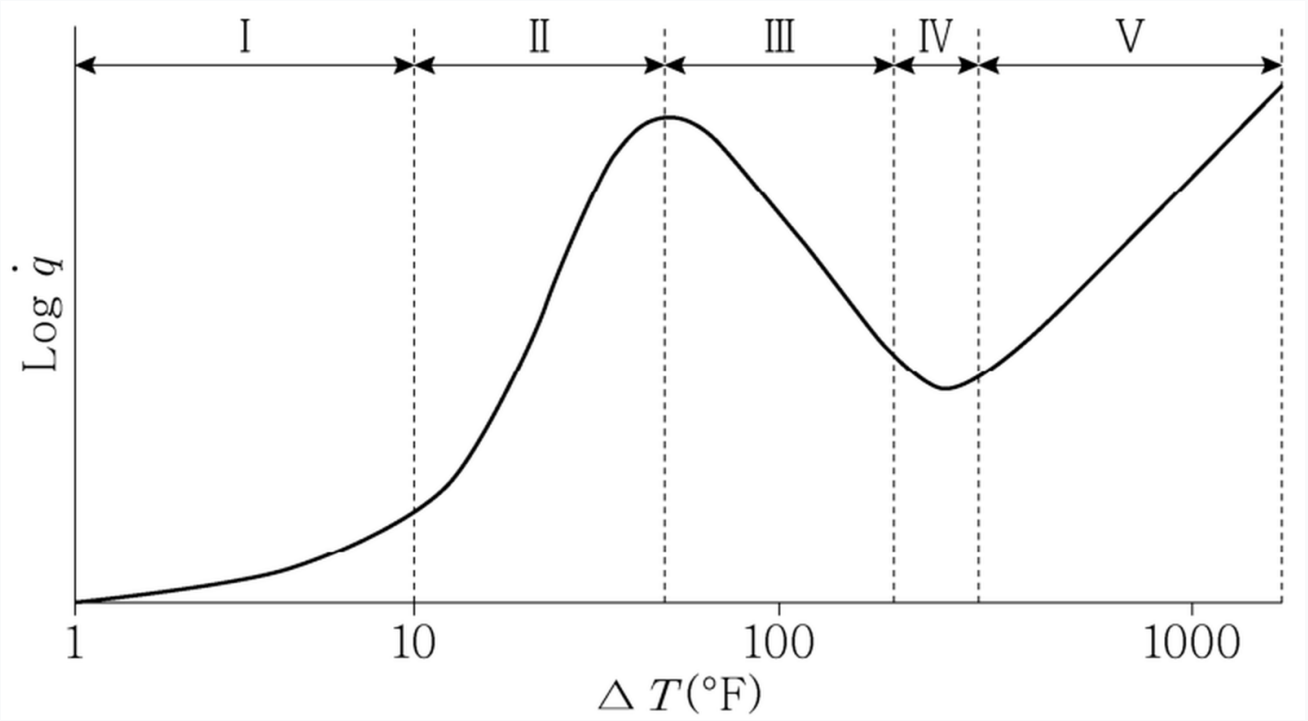
두 평판 사이 압력구동 층류가 나오면 먼저 무엇을 묻는지 확인하고, 체적유량이면 h^3, 평균속도면 h^2 비례로 구분해 판단한다.

암기 포인트

평판 사이 Poiseuille 유동은 $Q \propto h^3$, $\bar{u} \propto h^2$이다.

NoteBase

문 23. 그림은 대기압에서 물에 잠긴 열선 시스템의 잠김비등(pool boiling) 곡선을 나타낸 것이다. 영역과 비등 형태를 바르게 짝지은 것은? (단, $\dot{q}$ = 열선 표면에서의 열 플럭스(flux), ΔT = 열선표면온도-포화수온도)



① I - 막비등

② II - 핵비등

③ III - 자연대류

④ V - 전이비등

정답 2번

출제 포인트

잠김비등 곡선에서 과열도 증가에 따라 자연대류, 핵비등, 전이비등, 막비등으로 이어지는 대표 구간을 판별하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: I는 표면 과열도가 낮아 뚜렷한 기포 생성이 시작되기 전의 자연대류 구간이다. 틀린 표현은 '막비등'이다. 올바르게는 'I-자연대류'이다.
② O: II는 표면의 핵에서 기포가 활발히 생성·이탈하여 열유속이 급격히 증가하는 핵비등 구간이다.
③ X: III는 임계열유속점 이후 증기막이 불안정하게 형성되면서 열유속이 감소하는 전이비등 구간이다. 틀린 표현은 '자연대류'이다. 올바르게는 'III-전이비등'이다.
④ X: V는 표면이 연속적인 증기막으로 덮인 고과열도 막비등 구간이다. 틀린 표현은 '전이비등'이다. 올바르게는 'V-막비등'이다.

오답 포인트

곡선의 왼쪽부터 모두 비등 구간이라고 생각하면 I를 막비등으로 오해하기 쉽다. 또 최고열유속점과 최소열유속점 사이의 하강부가 전이비등이고, 그 뒤 오른쪽 고과열도 상승부가 막비등이라는 점을 놓치면 III와 V를 바꾸기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

잠김비등 곡선은 왼쪽에서 오른쪽으로 자연대류 → 핵비등 → 전이비등 → 막비등 순서로 읽는다. 열유속이 급상승하면 핵비등, 최고점 이후 감소하면 전이비등, 최저점 이후 고과열도에서 다시 증가하면 막비등으로 판단한다.

암기 포인트

잠김비등 곡선의 기본 순서는 자연대류 → 핵비등 → 전이비등 → 막비등이다.

NoteBase

문 24. 열전달과 관련된 무차원 수에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 자연대류에서 Nusselt 수는 Rayleigh 수 Ra와 상관관계가 있으며, 기하학적 형상과 무관하게 $Ra^{1/3}$에 비례하여 증가한다.

② Lewis 수는 열확산도와 물질확산도의 비를 나타내며, 물질과 에너지가 동시에 전달되는 공정의 해석에 사용된다.

③ 자연대류에서 Nusselt 수는 Reynolds 수와 Prandtl 수의 곱으로 정의된다.

④ Prandtl 수는 고체 내의 열전도율과 열에너지 저장률의 비를 나타낸다.

정답 2번

출제 포인트

열전달과 물질전달에서 쓰이는 대표 무차원수의 정의와 적용 대상을 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Nusselt 수는 대류 열전달이 순수 전도에 비해 얼마나 큰지를 나타내는 무차원수이다.
Rayleigh 수는 자연대류를 일으키는 부력 효과의 크기를 나타내는 무차원수로 $Ra = GrPr$이다.
Lewis 수는 열확산도와 물질확산도의 비로 $Le = \alpha/D$이다.
Prandtl 수는 유체의 운동량확산도와 열확산도의 비로 $Pr = u/\alpha = c_p\mu/k$이다.

선지별 해설

① X: 자연대류에서 Nusselt 수가 Rayleigh 수와 상관관계를 갖는다는 점 자체는 맞지만, "기하학적 형상과 무관하게"와 "$Ra^{1/3}$에 비례"가 틀린 표현이다. 실제 상관식은 형상, 경계조건, 층류·난류 영역에 따라 달라진다. 틀린 표현 → 올바르게는 자연대류의 Nu 상관식은 형상과 유동영역에 따라 달라지며 지수도 항상 1/3으로 고정되지 않는다.
② O: Lewis 수는 열확산도 α와 물질확산도 D의 비를 나타내며, 열과 물질이 함께 이동하는 동시 열·물질전달 해석에서 사용하는 무차원수이다.
③ X: "자연대류에서 Nusselt 수는 Reynolds 수와 Prandtl 수의 곱으로 정의된다"가 틀린 표현이다. $RePr$는 강제대류에서 자주 연결되는 조합이고, 자연대류에서는 부력 기준의 $Ra = GrPr$를 사용한다. 틀린 표현 → 올바르게는 Nusselt 수는 hL/k로 정의되며 자연대류 상관식은 주로 Ra와 연결된다.
④ X: "고체 내의 열전도율과 열에너지 저장률의 비"는 Prandtl 수가 아니라 열확산도 $\alpha = k/(\rho c_p)$의 개념에 가깝다. Prandtl 수는 고체가 아니라 유체에서 운동량확산과 열확산의 상대 크기를 나타낸다. 틀린 표현 → 올바르게는 Prandtl 수는 유체의 운동량확산도와 열확산도의 비이다.

NoteBase

오답 포인트

①은 자연대류에서 *Nu*와 *Ra*가 연관된다는 사실만 기억하고 형상 의존성과 지수의 비보편성을 놓치면 속기 쉽다. ③은 자연대류와 강제대류의 대표 조합을 뒤섞은 함정이고, ④는 Prandtl 수와 열확산도의 정의를 바꿔치기한 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

무차원수가 나오면 먼저 무엇과 무엇의 비인지 확인한다. *Le*는 열확산 대 물질확산, *Pr*는 운동량확산 대 열확산, *Ra*는 자연대류의 부력 효과, *Nu*는 대류 대 전도의 세기라는 축으로 구분하면 선지의 바꿔치기를 바로 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

Le는 열 대 물질, Pr은 운동량 대 열, Ra는 자연대류 구동력, Nu는 대류 열전달 세기이다.

NoteBase

문 25. 구형 고체 물질이 승화하고 있는 시스템의 Sherwood 수Sh는 $Sh = 2 + 0.552Re^{1/2}Sc^{1/3}$의 물질전달 관계식으로 해석된다. 이 시스템에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 강제대류 상황에서 승화 속도는 Reynolds 수Re와 Schmidt 수Sc가 증가함에 따라 빨라지며, 그 증가율은 점차 감소한다.

② 강제대류 상황에서 대류물질전달 계수는 기체의 동점도 변화보다 유속 변화에 더 큰 영향을 받는다.

③ 강제대류 상황에서 구의 반지름은 대류물질전달 계수에 영향을 주지 않는다.

④ 관계식에서 강제대류전달이 없는 경우 Sh는 2이다.

정답 3번

출제 포인트

Sherwood 상관식 $Sh = 2 + 0.552Re^{1/2}Sc^{1/3}$에서 각 무차원수가 물질전달계수에 미치는 방향과 민감도를 해석하는 문제이다.

조건 정리

Sherwood 수는 $Sh = k_c d/D_{AB}$이므로 $k_c = ShD_{AB}/d$이다.
또한 $Re = ud/u, Sc = u/D_{AB}$로 둘 수 있다.
강제대류항만 보면 $k_c \propto (D_{AB}/d)Re^{1/2}Sc^{1/3} \propto u^{1/2}u^{-1/6}D_{AB}^{2/3}d^{-1/2}$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① O
상관식에서 Re와 Sc는 각각 1/2, 1/3 지수로 들어가므로 값이 커질수록 Sh는 증가한다. 지수가 1보다 작으므로 증가하더라도 증가율은 점차 둔화된다. 같은 나머지 조건에서는 승화에 대한 물질전달 촉진 효과가 커진다고 해석한다.

② O
강제대류항 기준으로 $k_c \propto u^{1/2}u^{-1/6}$이므로 유속 u의 영향은 지수 1/2, 동점도 u의 영향은 지수 $-1/6$이다. 따라서 대류물질전달 계수는 동점도 변화보다 유속 변화에 더 민감하다.

③ X
'구의 반지름은 대류물질전달 계수에 영향을 주지 않는다'가 틀린 표현이다. 위 식에서 $k_c \propto d^{-1/2}$이고 $d = 2r$이므로 반지름 r이 커질수록 대류물질전달 계수는 감소한다. 올바르게는 '구의 반지름은 대류물질전달 계수에 영향을 주며, 커질수록 계수는 감소한다'이다.

④ O
강제대류전달이 없으면 $Re = 0$이므로 상관식은 $Sh = 2$만 남는다. 이는 정지 유체 중 구 주위의 순수 분자확산에 해당하는 기본값이다.

오답 포인트

③의 '영향을 주지 않는다'는 문구가 함정이다. Sh 식만 보고 크기 효과가 사라진다고 착각하기 쉽지만, 실제로는 $Sh = k_c d/D_{AB}$이므로 대류물질전달계수 k_c로 환산할 때 d 의존성을 다시 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

무차원 상관식 해석 문제는 먼저 Sh, Nu 같은 무차원수를 실제 전달계수로 바꾼 뒤 각 변수의 지수를 정리해 증가·감소 방향과 민감도를 본다. 지수가 1보다 작으면 증가하되 증가율은 둔화된다고 판단한다.

암기 포인트

구 주위 강제대류 물질전달은 $k_c \propto u^{1/2}u^{-1/6}d^{-1/2}$로 정리되므로 유속 증가는 크게, 크기 증가는 감소 방향으로 작용한다.