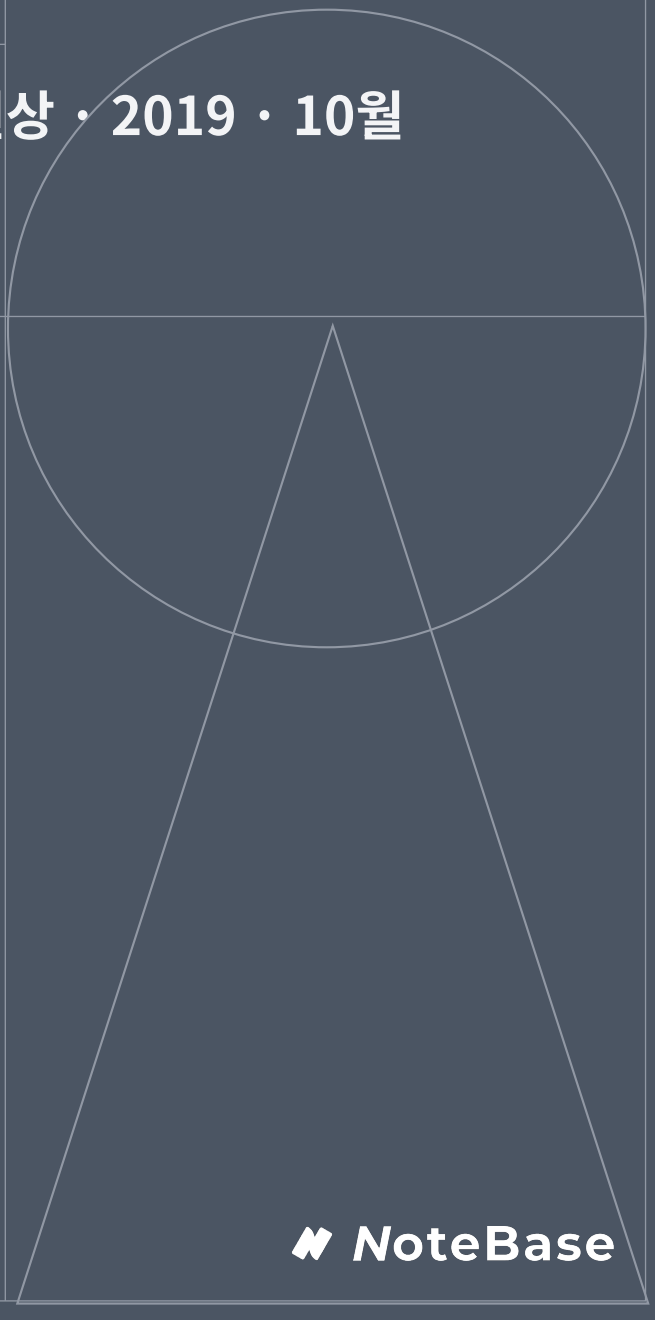
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2019 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2019 · 10월

공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2019 · 10월

문 1. 물리량 중 단위가 다른 것은?

① 동점도

② 열 확산 계수

③ 물질 확산 계수

④ 점도

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 동점도, 열 확산 계수, 물질 확산 계수, 점도의 정의와 단위를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

동점도는 점도를 밀도로 나눈 운동량 확산성으로 단위는 m^2/s이다.
열 확산 계수는 열이 퍼지는 정도를 나타내는 계수로 단위는 m^2/s이다.
물질 확산 계수는 성분이 퍼지는 정도를 나타내는 계수로 단위는 m^2/s이다.
점도는 유체의 전단저항을 나타내는 점성계수로 단위는 $Pa \cdot s$ 또는 $kg/(m \cdot s)$이다.

선지별 해설

① X: 동점도의 단위는 m^2/s이다. 틀린 표현은 '단위가 다르다'는 판단이며, 올바르게는 열 확산 계수와 물질 확산 계수와 같은 차원의 확산계수이다.
② X: 열 확산 계수의 단위는 m^2/s이다. 틀린 표현은 '다른 단위'라는 판단이며, 올바르게는 동점도·물질 확산 계수와 같은 단위를 쓴다.
③ X: 물질 확산 계수의 단위도 m^2/s이다. 틀린 표현은 '다른 단위'라는 판단이며, 올바르게는 동점도·열 확산 계수와 같은 확산형 단위이다.
④ O: 점도의 단위는 $Pa \cdot s$ 또는 $kg/(m \cdot s)$로서 앞의 세 물리량과 다르다. 점도는 전단응력과 속도구배의 비이므로 길이제곱/시간 차원이 아니다.

NoteBase

오답 포인트

동점도와 점도를 같은 것으로 보는 경우가 많다. 이름이 비슷하지만 동점도는 점도를 밀도로 나눈 값이라 m^2/s 차원을 가지며, 점도는 전단저항 자체라 $Pa \cdot s$ 차원을 가진다.

다시 나오면 이렇게 판단

전달현상 계수의 단위를 묻는 문제에서는 먼저 확산형 계수인지, 저항형 물성치인지 구분한다. 열 확산 계수·물질 확산 계수·동점도는 모두 '퍼지는 정도'라 m^2/s이고, 점도는 전단저항이라 별도 단위를 가진다.

암기 포인트

확산계수 셋은 m^2/s, 점도만 $Pa \cdot s$이다.

NoteBase

문 2. 열전달 상관식에 쓰이는 변수들과 물질전달 상관식에 쓰이는 변수들 사이에 서로 유사성이 있는 변수들로 이루어진 조합은?

① 열전달에서의 Prandtl 수(Pr)와 물질전달에서의 Sherwood 수(Sh)
② 열전달에서의 Nusselt 수(Nu)와 물질전달에서의 Sherwood 수(Sh)
③ 열전달에서의 Rayleigh 수(Ra)와 물질전달에서의 Grashof 수(Gr)
④ 열전달에서의 Reynolds 수(Re)와 물질전달에서의 Grashof 수(Gr)

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 열전달 상관식의 무차원수와 물질전달 상관식의 무차원수 사이의 대응 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Nusselt 수 Nu는 대류 열전달을 전도 기준으로 무차원화한 수이고, Sherwood 수 Sh는 대류 물질전달을 분자확산 기준으로 무차원화한 수이다.
Prandtl 수 Pr는 운동량 확산도와 열확산도의 비를 나타내며, 이에 대응하는 물질전달 변수는 운동량 확산도와 물질확산도의 비인 Schmidt 수 Sc이다.
Rayleigh 수는 $Ra = Gr \cdot Pr$인 복합 무차원수이므로, 부력항만 나타내는 Grashof 수 하나와 바로 대응시키면 맞지 않는다.

NoteBase

선지별 해설

① X
Prandtl 수는 물성비를 나타내는 수이다.
틀린 부분은 "Sherwood 수"이다.
Prandtl 수에 대응하는 물질전달 변수는 Sherwood 수가 아니라 Schmidt 수이다.

② O
Nusselt 수는 열전달계수 h를 전도 기준으로 묶은 무차원수이고, Sherwood 수는 물질전달계수 k_c를 확산 기준으로 묶은 무차원수이다.
둘 다 경막을 통한 대류전달의 세기를 나타내는 대응 수이므로 올바르다.

③ X
Rayleigh 수는 $Ra = Gr \cdot Pr$로 부력효과와 확산성 비를 함께 포함하는 수이다.
틀린 부분은 "Grashof 수"를 단독 대응 변수로 본 점이다.
Rayleigh 수에 대응시키려면 물질전달에서도 $Gr_m \cdot Sc$와 같은 복합 형태로 보아야 한다.

④ X
Reynolds 수는 강제대류에서 관성력과 점성력의 비를 나타내는 유동 변수이다.
틀린 부분은 "Grashof 수"이다.
Reynolds 수의 성격과 대응하는 것은 물질전달에서도 Reynolds 수이며, Grashof 수는 자연대류의 부력 지배 정도를 나타내는 별개의 수이다.

오답 포인트

전달계수형 수 Nu, Sh, 물성비형 수 Pr, Sc, 자연대류 복합수 Ra를 한꺼번에 섞어서 보면 헷갈리기 쉽다. 특히 Gr가 들어간다고 해서 Ra와 Gr를 바로 같은 급의 변수로 보면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

무차원수를 역할별로 먼저 분류하면 된다. 전달계수형은 $Nu \leftrightarrow Sh$, 물성비형은 $Pr \leftrightarrow Sc$, 유동형은 $Re \leftrightarrow Re$, 자연대류 복합형은 $Ra = Gr \cdot Pr$처럼 묶어서 판단한다.

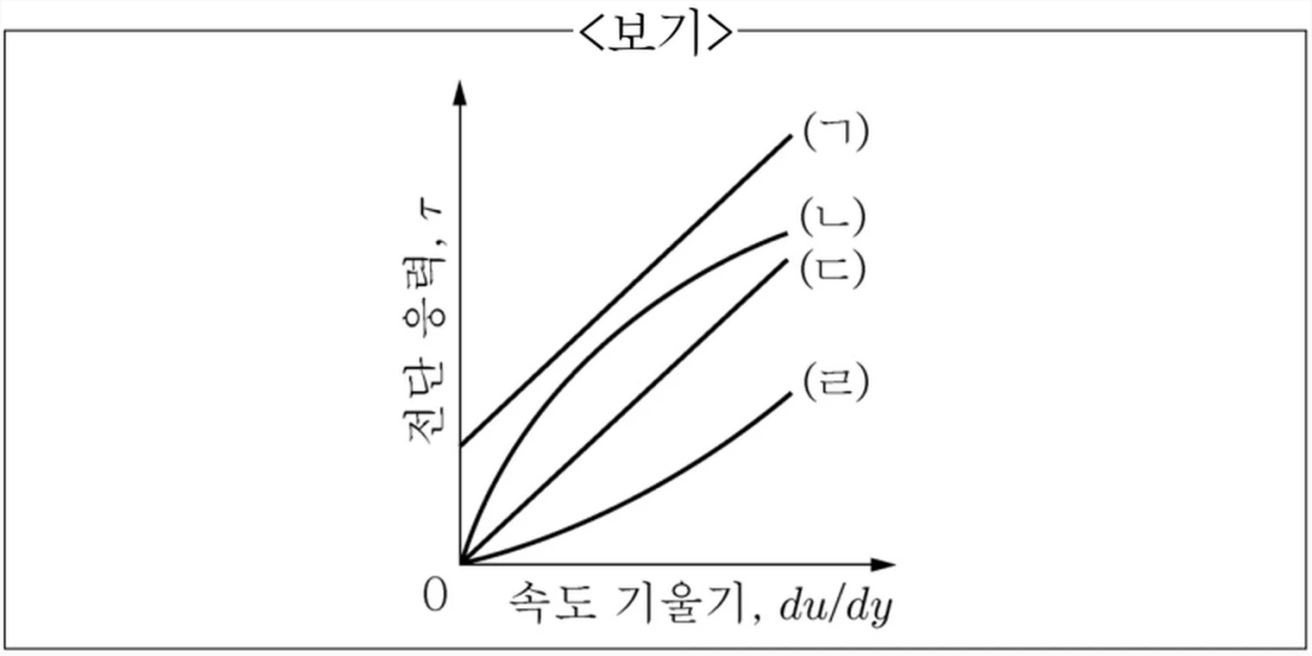
암기 포인트

Nu는 Sh와 짝이고, Pr는 Sc와 짝이며, Ra는 Gr 하나가 아니라 $Gr \cdot Pr$ 묶음이다.

NoteBase

문 3. <보기> (ㄱ)~(ㄹ)에서 유사 가소성(Pseudo-plastic) 유체와 빙햄 가소성(Bingham plastic) 유체를 옳게 짝지은 것은?

<보기>



① 유사 가소성 유체 (ㄹ), 빙햄 가소성 유체 (ㄱ)

② 유사 가소성 유체 (ㄱ), 빙햄 가소성 유체 (ㄷ)

③ 유사 가소성 유체 (ㄴ), 빙햄 가소성 유체 (ㄹ)

④ 유사 가소성 유체 (ㄴ), 빙햄 가소성 유체 (ㄱ)

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 전단응력-속도기울기 그래프에서 항복응력의 존재와 곡선의 휨 방향을 보고 유사 가소성 유체와 빙햄 가소성 유체를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

유사 가소성 유체는 전단속도가 커질수록 겉보기 점도가 감소하는 전단박화 유체이므로 원점을 지나면서 점점 완만해지는 곡선으로 나타난다.
빙햄 가소성 유체는 일정한 항복응력 이상에서야 흐르기 시작하므로 전단응력 축에 절편이 있는 직선으로 나타난다.
참고로 원점을 지나는 직선은 뉴턴 유체이고, 원점을 지나면서 점점 가팔라지는 곡선은 팽창성 유체이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: 빙햄 가소성 유체를 (ㄱ)로 본 부분은 맞지만, 유사 가소성 유체를 (ㄹ)로 본 부분이 틀리다. (ㄹ)는 원점을 지나면서 전단속도가 커질수록 더 가팔라지는 곡선이므로 팽창성 유체이다. 올바르게는 '유사 가소성 유체 (ㄴ), 빙햄 가소성 유체 (ㄱ)'이다.
2번 X: 유사 가소성 유체를 (ㄱ)로 본 부분이 틀리다. (ㄱ)은 항복응력 절편이 있는 직선이므로 빙햄 가소성 유체이다. 또한 빙햄 가소성 유체를 (ㄷ)으로 본 부분도 틀리다. (ㄷ)은 원점을 지나는 직선이므로 뉴턴 유체이다. 올바르게는 '유사 가소성 유체 (ㄴ), 빙햄 가소성 유체 (ㄱ)'이다.
3번 X: 유사 가소성 유체를 (ㄴ)으로 본 부분은 맞다. 그러나 빙햄 가소성 유체를 (ㄹ)로 본 부분이 틀리다. (ㄹ)는 항복응력 절편이 없고 전단속도가 커질수록 더 가팔라지므로 팽창성 유체이다. 올바르게는 '유사 가소성 유체 (ㄴ), 빙햄 가소성 유체 (ㄱ)'이다.
4번 O: (ㄴ)은 원점을 지나면서 점점 완만해지는 전단박화 곡선이므로 유사 가소성 유체이고, (ㄱ)은 전단응력 축 절편이 있는 직선이므로 빙햄 가소성 유체이다.

오답 포인트

원점을 지나는지 여부와 전단응력 축 절편의 유무를 먼저 보지 않으면 (ㄱ)과 (ㄷ)을 모두 직선이라는 이유만으로 헷갈리기 쉽다. 또 (ㄴ)과 (ㄹ)는 둘 다 곡선이지만, 유사 가소성은 아래로 휘며 완만해지고 팽창성은 위로 휘며 가팔라진다는 점이 결정적인 차이이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 전단응력 축 절편이 있으면 빙햄 가소성으로 본다. 절편 없이 원점을 지나면 곡선의 휨 방향을 본다. 점점 완만해지면 유사 가소성, 점점 가팔라지면 팽창성, 처음부터 끝까지 직선이면 뉴턴 유체이다.

암기 포인트

빙햄은 항복응력 절편, 유사 가소성은 전단박화 곡선, 뉴턴은 원점 직선, 팽창성은 전단농화 곡선이다.

NoteBase

문 4. 흐르는 유체에 잠겨 있는 구형의 고체에 대한 항력이 Stokes 법칙 $F_D = 3\pi\mu u_0 D_p$을 따를 때, 항력계수 C_D는? (단, F_D는 총괄항력, μ는 유체의 점도, u_0는 자유흐름속도, D_p는 구형 고체의 직경이다.)

① $24/Re_p$

② $12/Re_p$

③ $6/Re_p$

④ $3/Re_p$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 Stokes 법칙과 항력계수의 정의식을 연결하여 구형 입자의 C_D를 Re_p로 나타내는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- Stokes 법칙에 따른 항력은 $F_D = 3\pi\mu u_0 D_p$이다.
- 구형 입자의 투영면적은 $A = \pi D_p^2/4$이다.

구해야 할 값:
- 항력계수 C_D이다.

주의할 조건:
- 항력계수 정의식의 기준 면적은 구의 표면적이 아니라 투영면적이다.
- 입자 Reynolds 수는 $Re_p = \rho u_0 D_p/\mu$이다.

사용할 공식

항력계수의 정의식은 $F_D = C_D \cdot \frac{\rho u_0^2}{2} \cdot A$이다.
구형 입자에서는 $A = \pi D_p^2/4$이므로
$F_D = C_D \cdot \frac{\rho u_0^2}{2} \cdot \frac{\pi D_p^2}{4} = C_D \cdot \frac{\rho u_0^2 \pi D_p^2}{8}$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 Stokes 법칙으로 주어진 항력을 일반적인 항력계수 정의식과 같게 두면 C_D를 직접 구할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. Stokes 법칙의 항력과 항력계수 정의식의 항력을 같게 둔다.
$3\pi\mu u_0 D_p = C_D \cdot \frac{\rho u_0^2 \pi D_p^2}{8}$
2. 양변에서 공통인 π, u_0, D_p를 정리한다.
$C_D = \frac{3\pi\mu u_0 D_p \cdot 8}{\rho u_0^2 \pi D_p^2} = \frac{24\mu}{\rho u_0 D_p}$
3. $Re_p = \rho u_0 D_p/\mu$를 대입하면
$C_D = \frac{24}{Re_p}$
이 된다.

선지별 해설

① O
- 계산 결과가 $C_D = 24/Re_p$이므로 옳다.
- Stokes 영역의 구형 입자 항력계수는 Reynolds 수에 반비례하며 계수는 24이다.

② X
- $12/Re_p$는 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 항력 정의식의 1/2 또는 구의 투영면적 $\pi D_p^2/4$를 잘못 처리하면 계수가 절반으로 줄어 이런 값이 나온다.
- 틀린 표현은 $12/Re_p$이고, 올바르게는 $24/Re_p$이다.

③ X
- $6/Re_p$는 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- 항력 정의식의 1/2와 투영면적의 1/4를 함께 빠뜨리거나 분자와 분모를 과도하게 약분하면 계수가 4분의 1로 줄어든다.
- 틀린 표현은 $6/Re_p$이고, 올바르게는 $24/Re_p$이다.

④ X
- $3/Re_p$는 계산 결과와 다르므로 틀리다.
- Stokes 식의 앞계수 3만 보고 항력계수 정의식 쪽의 면적항과 동압항을 반영하지 않으면 이런 값으로 오해하기 쉽다.
- 틀린 표현은 $3/Re_p$이고, 올바르게는 $24/Re_p$이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 Stokes 식의 앞계수 3만 보고 바로 $3/Re_p$로 연결하는 데 있다. 항력계수는 $F_D = C_D(\rho u_0^2/2)A$의 정의를 반드시 거쳐야 하며, 구의 기준 면적 $A = \pi D_p^2/4$까지 포함해야 계수 24가 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

구형 입자의 항력계수를 묻는 계산형 문제는 먼저 일반 항력식 $F_D = C_D(\rho u^2/2)A$를 쓰고, 구의 투영면적 $\pi D^2/4$를 넣은 뒤, 마지막에 $Re = \rho uD/\mu$로 치환하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

Stokes 영역의 구형 입자는 $C_D = 24/Re_p$이고, 기준 면적은 항상 투영면적 $\pi D_p^2/4$이다.

NoteBase

문 5. <보기>는 x 축 방향의 나비어 스토크 방정식(Navier-Stokes Equation)을 나타낸다. <보기>에 대한 설명 중 가장 옳지 않은 것은? (단, g_x는 중력가속도, p는 압력, ρ는 밀도, u는 방향의 속도 함수이다.)

<보기>

$$\rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) = \rho\frac{du}{dt}$$

① 비압축성 유체를 가정하고 있다.

② 뉴튼 유체를 가정하고 있다.

③ 유체가 정상상태에 있는 경우에만 유효하다.

④ 점도가 상수(constant)이다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 x축 방향 나비에-스토크스 방정식에 들어 있는 기본 가정과 정상상태 여부를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

뉴턴 유체는 전단응력이 속도구배에 비례하는 유체이고, 비압축성 유체는 밀도 변화가 거의 없어 $\nabla \cdot \mathbf{v} = 0$로 다루는 유체이다.
점도가 상수이면 점성항을 $\mu\nabla^2 u$ 꼴로 묶을 수 있고, 정상상태는 시간에 따른 변화가 없는 상태일 뿐 방정식 자체의 성립 조건은 아니다.

선지별 해설

1번 O: 제시된 점성항이 $\mu(\partial^2u/\partial x^2 + \partial^2u/\partial y^2 + \partial^2u/\partial z^2)$ 꼴인 것은 비압축성 유체를 전제로 한 단순화된 형태이다.
2번 O: 점성항이 속도의 2차 미분과 점도 μ로 표현되는 것은 뉴턴 유체 가정이 들어간 형태이다.
3번 X: 틀린 부분은 '정상상태에 있는 경우에만'이다. 나비에-스토크스 방정식은 비정상 유동에도 성립하며, 정상상태이면 우변의 가속도항이 0이 되거나 시간 변화가 사라져 더 단순해질 뿐이다.
4번 O: 점도 μ가 미분기호 밖으로 나와 있으므로 점도를 상수로 본 형태이다. 점도가 위치나 온도에 따라 크게 변하면 이런 단순한 꼴로 바로 쓰기 어렵다.

오답 포인트

수험생은 나비에-스토크스 방정식을 '정상상태 해석식'으로 외우고 3번을 맞는 말처럼 보기 쉽다. 그러나 정상상태는 방정식의 적용 조건이 아니라 가속도항을 줄여 주는 특수한 경우이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

점성항이 $\mu\nabla^2 u$ 꼴이면 뉴턴 유체, 비압축성, 상수 점도 가정을 먼저 떠올린다. 그다음 우변에 가속도항이 남아 있는지 보고 정상상태 전용식인지 일반 운동방정식인지를 구분한다.

암기 포인트

나비에-스토크스의 이 형태는 '뉴턴 유체 + 비압축성 + 상수 점도'이고, 정상상태는 성립 조건이 아니라 추가 단순화 조건이다.

NoteBase

문 6. <보기>의 Reynolds 수 Re에 대한 설명으로 옳은 것을 모두 고른 것은?

<보기>
ㄱ. 원통관 안에 흐르는 유체흐름에서 $Re < 2 \times 10^3$이면 층류이다.
ㄴ. 평판 위에 평행하게 흐르는 유체흐름에서 $Re < 10^5$이면 층류이다.
ㄷ. 관 내부의 흐름에서 마찰계수는 관 표면의 거칠기에 관계없이 Re만의 함수이다.

① ㄱ
② ㄱ, ㄴ
③ ㄱ, ㄷ
④ ㄴ, ㄷ

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Reynolds 수에 따른 층류 판정 기준과 관내 마찰계수의 의존 변수를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

원통관 내부 유동은 보통 $Re < 2 \times 10^3$이면 층류로 본다.
평판 위 경계층 유동은 국소 Reynolds 수가 전이 임계값보다 충분히 작으면 층류로 본다.
관내 마찰계수는 층류에서는 Re만의 함수이지만, 난류에서는 Re와 관의 상대조도에 함께 좌우된다.

선지별 해설

1번 X: ㄱ은 맞지만 ㄴ도 맞으므로 'ㄱ만 옳다'는 틀리다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ이 옳다'이다.
2번 O: ㄱ은 원통관 내부 유동의 층류 기준인 $Re < 2 \times 10^3$에 맞으므로 옳다. ㄴ도 평판 경계층의 Reynolds 수가 10^5처럼 전이 임계값보다 작은 영역이면 층류로 볼 수 있으므로 옳다.
3번 X: ㄷ이 틀리므로 'ㄱ, ㄷ이 옳다'는 틀리다. 틀린 표현은 '관 표면의 거칠기에 관계없이 Re만의 함수'이다. 올바르게는 '관내 층류에서는 마찰계수가 Re만의 함수이고, 난류에서는 Re와 상대조도의 함수이다'이다.
4번 X: ㄴ은 맞지만 ㄷ이 틀리므로 'ㄴ, ㄷ이 옳다'는 틀리다. 올바르게는 'ㄴ은 옳고, ㄷ은 층류에만 성립하는 설명을 모든 관내 유동으로 일반화해서 틀렸다'이다.

오답 포인트

ㄷ의 '거칠기에 관계없이'라는 문구가 함정이다. 층류식만 기억하면 맞는 말처럼 보이지만, 문제는 관내 유동 전체를 말하므로 난류에서의 조도 영향까지 함께 떠올려야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 유동이 관내 유동인지 평판 경계층인지 나눈다. 다음으로 Reynolds 수의 임계영역을 보고 층류 여부를 판단한다. 마지막으로 마찰계수 문제가 나오면 층류인지 난류인지부터 정한 뒤 조도 영향 유무를 확인한다.

암기 포인트

관내 층류는 $Re < 2 \times 10^3$, 평판 전이는 임계 Reynolds 수 전까지 층류, 관마찰계수의 조도 무시는 층류에서만 성립한다.

NoteBase

문 7. 겨울철에는 난방을 통해서 실내온도가 외부 온도보다 높게 유지된다. 열전도율이 2.0W/m·K이고, 벽을 통하여 열전도가 이루어진다고 했을 때, 높이 2m, 너비 2m의 벽을 통한 열손실 속도[W]는? (단, 벽의 두께는 0.1m, 내벽 온도 28℃, 외벽 온도 0℃이다.)

① 560 W

② 1120 W

③ 2240 W

④ 4480 W

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 평판 벽의 정상 1차원 열전도식으로 벽을 통과하는 열손실 속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $k = 2.0W/(m \cdot K)$, 벽 높이 $2m$, 벽 너비 $2m$, 벽 두께 $L = 0.1m$, 내벽 온도 $28^\circ C$, 외벽 온도 $0^\circ C$이다.
구해야 할 값은 벽을 통과하는 열손실 속도 Q이다.
주의할 조건은 벽 면적을 $2 \times 2 = 4m^2$로 잡고, 온도차는 $28 - 0 = 28K$로 계산하는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $Q = \frac{kA\Delta T}{L}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 열전도율이 주어지고, 평판 벽의 면적·두께·양쪽 벽면 온도가 모두 제시되어 정상 열전도량을 바로 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 벽 면적은 $A = 2 \times 2 = 4m^2$이다.
2. 온도차는 $\Delta T = 28 - 0 = 28K$이다.
3. 식에 대입하면 $Q = \frac{(2.0)(4)(28)}{0.1} = 2240W$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 560 W는 정답 2240 W의 4분의 1이다. 틀린 표현은 벽을 통한 열손실 속도가 560 W라는 점이며, 올바르게는 벽 면적 $4m^2$를 반영한 2240 W이다. 이 값은 면적을 1 m^2처럼 잘못 두었을 때 나오는 오답이다.
② X: 1120 W는 정답의 절반이다. 틀린 표현은 열손실 속도가 1120 W라는 점이며, 올바르게는 2240 W이다. 이 값은 높이 또는 너비 한쪽만 써서 면적을 $2m^2$로 잘못 계산했을 때 나오는 오답이다.
③ O: $Q = \frac{kA\Delta T}{L}$에 $k = 2.0$, $A = 4$, $\Delta T = 28$, $L = 0.1$을 대입하면 2240 W가 된다. 열손실 속도를 정확히 계산한 값이다.
④ X: 4480 W는 정답의 2배이다. 틀린 표현은 열손실 속도가 4480 W라는 점이며, 올바르게는 2240 W이다. 이 값은 같은 조건을 두 번 곱하거나 두께를 절반으로 잘못 읽었을 때 나오는 오답이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 벽 면적과 두께를 함께 보는지이다. 높이와 너비가 각각 2m라는 사실을 보고 면적을 4 m^2로 만들지 않으면 560 W나 1120 W 같은 오답이 나온다. 두께 $0.1m$가 분모에 들어간다는 점을 놓치면 값이 크게 달라진다.

다시 나오면 이렇게 판단

전도 계산문항은 먼저 면적 A, 온도차 ΔT, 두께 L를 분리해서 적은 뒤 $Q = \frac{kA\Delta T}{L}$에 그대로 대입하면 된다. 특히 넓이는 길이 두 개를 곱한 값인지, 두께는 분모에 들어가는지부터 확인하면 된다.

암기 포인트

평판 벽 열전도는 $Q = \frac{kA\Delta T}{L}$이며, 넓이가 커질수록 열손실은 커지고 두께가 두꺼울수록 열손실은 작아진다.

NoteBase

문 8. 물질 A 20 mol%와 물질 B 80 mol%로 이루어진 액체가 있다(상대휘발도 $\alpha_{AB} = 3$). 단순 회분증류 공정 후에 물질 B가 50% 남아 있다면, 남아 있는 액체 중 물질 B의 조성(mol%)은? (단, 소수점 첫째자리에서 반올림한다.)

① 80 mol%

② 84 mol%

③ 90 mol%

④ 94 mol%

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 단순 회분증류의 Rayleigh 식과 상대휘발도를 이용해 잔류액 조성을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 초기 액상 조성은 $x_{A0} = 0.20$, $x_{B0} = 0.80$, 상대휘발도는 $\alpha_{AB} = 3$이다.
구해야 할 값: 증류 후 남아 있는 액체의 B 조성 x_{Bw}이다.
주의할 조건: '물질 B가 50% 남아 있다'는 말은 조성이 아니라 B의 몰수가 처음의 50%라는 뜻이다.

사용할 공식

$\ln \frac{F}{W} = \int_{x_{Aw}}^{x_{A0}} \frac{dx_A}{y_A - x_A}$
$y_A = \frac{\alpha x_A}{1 + (\alpha - 1)x_A} = \frac{3x_A}{1 + 2x_A}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 단순 회분증류에서는 시간이 지나면서 액상 조성이 계속 변하므로, 초기 조성과 최종 조성을 직접 연결하는 Rayleigh 식을 사용해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 상대휘발도 식으로 $y_A - x_A$를 정리하면
$y_A - x_A = \frac{3x_A}{1+2x_A} - x_A = \frac{2x_A(1-x_A)}{1+2x_A}$
이다.
2. 이를 Rayleigh 식에 대입하면
$\ln\frac{F}{W} = \int_{x_{Aw}}^{0.20} \frac{1+2x_A}{2x_A(1-x_A)}dx_A$
이고 적분하면
$\ln\frac{F}{W} = \left[\frac{1}{2}\ln x_A - \frac{3}{2}\ln(1-x_A)\right]_{x_{Aw}}^{0.20}$
이다.
3. B가 처음의 50% 남았으므로 $Wx_{Bw} = 0.5F \times 0.80 = 0.40F$이고, $x_{Bw} = 1 - x_{Aw}$이므로
$\frac{W}{F} = \frac{0.40}{1-x_{Aw}}, \qquad \frac{F}{W} = \frac{1-x_{Aw}}{0.40}$
이다.
4. 이를 위 식에 대입해 풀면 $x_{Bw} = 1 - x_{Aw} = \frac{16}{17} = 0.9412$이다. 따라서 남아 있는 액체의 B 조성은 약 94.1 mol%이고, 소수 첫째 자리에서 반올림하면 94 mol%이다.

선지 판단

1번 X: 80 mol%는 초기 액체의 B 조성일 뿐이다. 증류가 진행되면 휘발성이 작은 B가 액상에 더 많이 남으므로 잔류액의 B 조성은 80 mol%보다 커져야 한다. 올바르게는 약 94 mol%이다.
2번 X: 84 mol%는 'B가 50% 남음'을 조성 변화처럼 단순 해석한 값에 가깝다. 이 문항은 잔류량 조건과 기액평형을 함께 반영해야 하므로 Rayleigh 식으로 계산한 약 94 mol%가 맞다.
3번 X: 90 mol%는 잔류액이 B로 농축된다는 방향은 맞지만, 상대휘발도 3을 반영한 정량 계산이 부족하다. 올바르게는 약 94.1 mol%이다.
4번 O: 단순 회분증류 식과 B 잔류량 조건을 함께 쓰면 $x_{Bw} = 0.9412$가 나온다. 반올림하면 94 mol%이므로 정답이다.

오답 포인트

'B가 50% 남음'을 '조성이 50 mol%'라는 뜻으로 읽으면 바로 틀린다. 회분증류에서는 덜 휘발하는 성분이 액상에 축적되므로, 초기 80 mol%보다 반드시 커진다는 방향 판단을 먼저 해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

회분증류 조성 문제는 성분수지로 W/F 관계를 먼저 세우고, 이어서 Rayleigh 식에 상대휘발도 식을 대입해 초기 조성과 최종 조성을 연결하면 된다. 계산값이 초기 조성보다 농축 방향으로 가는지도 끝에서 검산한다.

암기 포인트

단순 회분증류에서는 휘발성이 작은 성분이 잔류액에 농축되고, 조성 계산은 '성분수지 + Rayleigh 식'으로 정리된다.

NoteBase

문 9. 두 개의 상이 계면을 이루는 계에서 물질전달은 이중경막론(two-film theory)을 이용하여 해석하는 것이 일반적이다. 이중경막론에 대한 설명 중 가장 옳지 않은 것은?

① 두 상의 계면에서 물질의 농도는 연속성을 만족한다.

② 각 상에서 물질전달속도는 총괄물질전달계수와 총괄구동력의 곱으로 표현할 수 있다.

③ 총괄물질전달 저항은 각 경막의 물질전달 저항의 합이다.

④ 두 상의 계면에서는 평형을 가정한다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이중경막론에서 계면의 가정과 총괄물질전달저항의 의미를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

이중경막론은 두 상의 계면 근처에 각각 얇은 정체막이 있다고 보고, 물질전달 저항은 이 정체막들에 집중된다고 설명하는 이론이다.
계면에서는 농도가 같은 값으로 연속된다고 보는 것이 아니라, 계면 양측 농도가 평형관계를 만족한다고 본다.
총괄물질전달계수는 전체 구동력에 대한 전달속도를 나타내고, 총괄저항은 각 상의 경막저항을 같은 기준으로 환산해 더한 값이다.

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "계면에서 물질의 농도는 연속성을 만족한다"는 표현이다. 서로 다른 두 상의 계면에서는 같은 농도값이 그대로 이어지는 것이 아니라 계면 양측 농도가 평형관계를 이룬다. 올바르게는 "두 상의 계면에서는 평형이 성립하며, 계면 양측 농도는 분배평형에 따라 연결된다"이다.
2번: O. 각 상에서의 물질전달속도는 그 상 기준의 총괄물질전달계수와 전체 구동력의 곱으로 나타낼 수 있다. 이는 전달속도를 총괄계수와 전체 농도차 또는 압력차로 묶어 표현하는 이중경막론의 기본 형식이다.
3번: O. 총괄물질전달 저항은 각 경막이 제공하는 저항을 직렬저항처럼 합한 개념이다. 실제 계산에서는 두 저항을 같은 농도 또는 압력 기준으로 환산한 뒤 더한다.
4번: O. 이중경막론은 계면 자체에서는 빠른 상평형이 이루어진다고 가정한다. 따라서 계면에서의 전달 지배보다 양쪽 경막 내부 확산저항이 핵심이 된다.

오답 포인트

1번은 "농도 연속"과 "계면 평형"을 일부러 바꿔 놓은 함정이다. 같은 상 내부의 연속적 농도분포와 서로 다른 두 상 계면에서의 평형관계를 구분하지 못하면 1번을 맞는 말처럼 보기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

이중경막론 문제에서는 먼저 저항이 어디에 있는지, 다음으로 계면에서 연속을 가정하는지 평형을 가정하는지를 확인하면 된다. 계면은 평형, 저항은 양쪽 경막이라는 틀로 보면 선지 판단이 정리된다.

암기 포인트

이중경막론은 "계면은 평형, 저항은 경막, 총괄저항은 저항의 합"으로 정리된다.

NoteBase

문 10. 직교좌표계의 1차원 형태로 분석할 수 있는 정상상태의 CVD 공정이 있다. 물질 AB_3가 기체로 투입되어 A는 기판 표면에 고체로 증착되고 B는 기체 부산물로 배출되며, 운반기체로는 기체 B가 이용된다. 화학반응은 <보기>와 같다. 물질 AB_3의 기판에서의 농도는 무시할 수 있을 때, 공급되는 AB_3의 몰분율 (y)과 AB_3의 몰 플럭스 (N) 사이의 비례관계로 가장 옳은 것은?

<보기>

$AB_3(g) \rightarrow A(s) + 3B(g)$

① $N \propto \ln(1+2y)$

② $N \propto \ln(1+3y)$

③ $N \propto \frac{1}{1+2y}$

④ $N \propto \frac{1}{1+3y}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 반응 때문에 총 몰유속이 0이 아닌 CVD 확산계에서 Stefan flow를 포함하여 AB_3의 몰플럭스와 공급 몰분율의 관계를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응은 $AB_3(g) \rightarrow A(s) + 3B(g)$이다.
기판 표면에서 AB_3의 농도는 무시할 수 있으므로 $y_s \approx 0$이다.
운반기체와 생성기체가 모두 B이므로 기체상 종은 AB_3와 B의 2성분계로 본다.
AB_3가 1몰 기판으로 가면 B는 3몰 기체상으로 나와서 순기체 몰수는 2몰 증가한다.

사용할 공식

AB_3에 대한 1차원 정상상태 몰유속식은 $N_{AB_3} = -CD_{AB}\frac{dy}{dz} + yN_T$이다.
여기서 $N_T = N_{AB_3} + N_B$이다.
반응식 때문에 표면에서 $N_B = -3N_{AB_3}$이므로 $N_T = -2N_{AB_3}$가 된다.
따라서 $N_{AB_3} = -CD_{AB}\frac{dy}{dz} - 2yN_{AB_3}$, 즉 $N_{AB_3}(1+2y) = -CD_{AB}\frac{dy}{dz}$가 된다.
이 식을 쓰는 이유는 이 문제가 단순 등몰상대확산이 아니라 반응으로 총 몰유속이 생기는 경우이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

막 두께를 L라 두고 벌크에서 y, 표면에서 0으로 적분하면
$\int_0^L N_{AB_3} dz = -CD_{AB} \int_y^0 \frac{dy}{1+2y}$
이다.
N_{AB_3}는 정상상태에서 일정하므로
$N_{AB_3} L = \frac{CD_{AB}}{2} \ln(1+2y)$
가 된다.
따라서
$N_{AB_3} = \frac{CD_{AB}}{2L} \ln(1+2y)$
이므로 비례관계는 $N \propto \ln(1+2y)$이다.

선지별 해설

① O: 적분 결과가 바로 $N \propto \ln(1+2y)$이므로 옳다.
② X: 틀린 표현은 $\ln(1+3y)$의 $3y$ 부분이다. 올바르게는 반응으로 순증가하는 기체 몰수가 $3-1=2$이므로 $\ln(1+2y)$가 된다.
③ X: 틀린 표현은 전체 비례식이 $\frac{1}{1+2y}$ 같은 역수형이라는 점이다. 올바르게는 $\frac{dy}{1+2y}$를 적분해야 하므로 결과는 역수형이 아니라 $\ln(1+2y)$의 로그형이다.
④ X: 틀린 표현은 역수형이라는 점과 $3y$ 계수를 쓴 점이다. 올바르게는 순기체 몰수 증가가 2이므로 $1+2y$가 들어가고, 적분 결과는 $\frac{1}{1+2y}$가 아니라 $\ln(1+2y)$이다.

오답 포인트

반응식의 생성물 계수 3을 그대로 넣어 $1+3y$로 쓰는 실수가 가장 흔하다. 이 문제에서는 생성기체 3몰에서 반응물 기체 1몰이 사라지므로 총 몰유속 보정항은 3이 아니라 순증가량 2가 된다. 또 미분식 $1/(1+2y)$를 적분 결과로 착각해 로그를 빠뜨리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응을 동반한 기체 확산 문제는 먼저 표면 반응식으로 각 성분의 유속비를 세운다. 그다음 총 몰유속 N_T가 0인지 아닌지 판단하고, $N_A = -CD dy/dz + yN_T$에 대입한 뒤 적분형이 로그인지 선형인지 확인하면 된다.

암기 포인트

반응성 CVD 확산계는 생성몰수와 소모몰수의 차이로 N_T를 먼저 구하고, $\int dy/(1+ky)$ 꼴이면 결과는 로그형이 된다.

NoteBase

문 11. 수소 H_2, 메탄 CH_4, 질소 N_2, 삼불화질소 NF_3가 각 1 mol로 구성된 혼합 기체가 타원형 풍선에 충진되어 있다. 누센(Knudsen) 확산을 통하여 풍선 내부에서 외부로 혼합 기체가 확산된다고 가정하였을 때 기체 확산 속도가 빠른 순서에서 느린 순서대로 바르게 나열한 것은? (단, 혼합기체는 이상기체라고 가정한다.)

① 수소, 메탄, 질소, 삼불화질소

② 수소, 질소, 메탄, 삼불화질소

③ 삼불화질소, 메탄, 질소, 수소

④ 모두 같다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 누센 확산에서 성분별 확산 속도가 분자량의 제곱근에 반비례한다는 관계를 적용하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: H_2, CH_4, N_2, NF_3가 각각 1 mol씩 들어 있다.
구해야 할 값: 네 기체의 누센 확산 속도 순서이다.
주의할 조건: 혼합기체이지만 초기 몰수가 모두 같으므로 각 성분의 초기 몰분율과 부분압이 같다고 본다.

사용할 공식

누센 확산 속도는 $r_i \propto \frac{p_i}{\sqrt{M_i}}$ 이다. 여기서 p_i는 성분 i의 부분압, M_i는 분자량이다.
이 공식을 쓰는 이유: 누센 확산은 분자끼리의 충돌보다 벽과의 충돌이 지배적이므로 같은 부분압에서는 가벼운 분자가 더 빨리 빠져나간다.

계산 과정

1. 처음에는 네 기체가 각각 1 mol이므로 각 성분의 부분압 p_i가 서로 같다.
2. 따라서 속도 비교는 $1/\sqrt{M_i}$의 크기 비교로 바뀐다.
3. 분자량은 $H_2 = 2$, $CH_4 = 16$, $N_2 = 28$, $NF_3 = 71$ 이다.
4. 분자량이 작을수록 $\sqrt{M_i}$가 작아져 확산 속도는 $H_2 > CH_4 > N_2 > NF_3$ 순서가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 순서가 $H_2 > CH_4 > N_2 > NF_3$로 되어 있어 누센 확산 속도 비교 결과와 일치한다.
② X: '질소, 메탄'의 순서가 틀렸다. 올바르게는 분자량이 더 작은 메탄이 질소보다 더 빠르게 확산된다.
③ X: '삼불화질소가 가장 빠르고 수소가 가장 느리다'는 부분이 틀렸다. 올바르게는 수소가 가장 빠르고 삼불화질소가 가장 느리다.
④ X: '모두 같다'는 부분이 틀렸다. 올바르게는 초기 부분압이 같아도 분자량이 다르면 누센 확산 속도는 서로 달라진다.

오답 포인트

혼합기체라는 말만 보고 네 성분의 확산 속도를 같다고 처리하거나, 메탄과 질소의 순서를 분자량 비교 없이 감으로 바꾸는 실수가 잦다. 이 문항의 함정은 '각 1 mol'이라는 조건으로 부분압이 같아진다는 점과, 그다음 비교 기준이 $1/\sqrt{M}$라는 점을 동시에 묻는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

누센 확산 순서 문제는 먼저 각 성분의 부분압이 같은지 확인하고, 같다면 분자량이 작은 순서대로 배열하면 된다. 즉 속도 비교를 $1/\sqrt{M}$ 비교로 바꾸어 판단하면 된다.

암기 포인트

누센 확산은 같은 부분압에서 가벼울수록 빠르다. H_2가 가장 빠르고 가장 무거운 NF_3가 가장 느리다.

NoteBase

문 12. 상온에서의 열전도도가 큰 순서대로 바르게 나열한 것은?

① 백금 > 알루미늄 > 물 > 공기

② 알루미늄 > 백금 > 물 > 공기

③ 백금 > 알루미늄 > 공기 > 물

④ 알루미늄 > 백금 > 공기 > 물

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 상온에서 물질의 열전도도 크기 순서를 비교하는 문제이다.

핵심 개념

열전도도는 물질이 열을 얼마나 잘 전달하는지를 나타내는 값이다.
금속은 자유전자가 열을 잘 옮기므로 대체로 열전도도가 크고, 액체는 그보다 작으며, 기체는 가장 작다.
이 문항의 비교에서는 알루미늄이 백금보다 크고, 물이 공기보다 크다.

선지별 해설

① X: 틀린 부분은 '백금 > 알루미늄'이다. 실제로는 알루미늄의 열전도도가 백금보다 더 크다. 물 > 공기는 맞지만 금속끼리의 순서가 틀렸다.
② O: 알루미늄 > 백금 > 물 > 공기 순서는 상온 열전도도 크기와 맞는다. 금속이 유체보다 크고, 유체 중에서는 물이 공기보다 크다.
③ X: 틀린 부분은 '공기 > 물'이다. 실제로는 물의 열전도도가 공기보다 더 크다. 또한 금속끼리의 순서도 알루미늄 > 백금이므로 앞부분도 틀렸다.
④ X: 틀린 부분은 '공기 > 물'이다. 실제로는 알루미늄 > 백금까지는 맞지만, 그 다음은 물 > 공기이어야 한다.

오답 포인트

금속이면 모두 비슷하다고 보고 백금이 알루미늄보다 더 클 것이라고 착각하기 쉽다. 또 유체를 한 묶음으로 보면서 공기와 물의 크기 관계를 뒤집으면 ④에 끌리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 금속 > 액체 > 기체의 큰 축을 잡고, 같은 금속끼리는 대표적인 열전도도 크기를 떠올리면 된다. 이 문항에서는 알루미늄 > 백금, 물 > 공기만 확인하면 정답이 바로 정리된다.

암기 포인트

상온 열전도도는 금속 > 물 > 공기, 이 문항의 금속 비교는 알루미늄 > 백금이다.

NoteBase

문 13. 정상상태에서 밀도 1000kg/m^{3}의 비압축성 유체가 내경이 100mm, 길이가 2.5m인 수평상태의 원통관내를 완전발달상태로 흐르고 있다. 유체 흐름에 걸리는 압력강하가 100Pa라고 할 때, 벽면 전단응력 값 [Pa]은?

① 0.1Pa

② 1Pa

③ 10Pa

④ 100Pa

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 완전발달 층류 원관유동에서 압력강하와 벽면 전단응력의 관계를 이용해 벽면 전단응력을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 밀도 $1000kg/m^3$, 내경 $D = 100mm = 0.1m$, 관 길이 $L = 2.5m$, 압력강하 $\Delta P = 100Pa$
구해야 할 값: 벽면 전단응력 τ_w
주의할 조건: 수평 원통관의 완전발달 유동이므로 축방향 압력강하와 벽면 전단응력의 평형식을 쓴다. 밀도값은 이 계산에 직접 필요하지 않다.

사용할 공식

사용 공식은 $\tau_w = \frac{\Delta P D}{4L}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 완전발달 원관유동에서는 압력에 의한 힘과 관 벽면의 전단력이 평형을 이루기 때문이다.

계산 과정

1. 내경을 미터로 바꾸면 $100mm = 0.1m$ 이다.
2. 공식에 대입하면 $\tau_w = \frac{100 \times 0.1}{4 \times 2.5}$ 이다.
3. 계산하면 $\tau_w = \frac{10}{10} = 1Pa$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $1Pa$ 이므로 $0.1Pa$ 는 틀리다. 틀린 표현은 전단응력을 $0.1Pa$ 로 본 부분이며, 올바르게는 $1Pa$ 이다.
② O: 계산 결과가 정확히 $1Pa$ 이므로 옳다.
③ X: 계산 결과는 $1Pa$ 이므로 $10Pa$ 는 틀리다. 틀린 표현은 전단응력을 $10Pa$ 로 본 부분이며, 올바르게는 $1Pa$ 이다. 이 값은 $4L$ 로 나누지 않고 L 만 고려하거나 지름과 길이의 비를 잘못 처리할 때 나오기 쉽다.
④ X: 계산 결과는 $1Pa$ 이므로 $100Pa$ 는 틀리다. 틀린 표현은 압력강하와 전단응력을 같은 값으로 본 부분이며, 올바르게는 τ_w가 압력강하 자체가 아니라 ΔP, D, L 의 관계로 정해진다는 점이다.

오답 포인트

압력강하 ΔP 와 벽면 전단응력 τ_w를 같은 물리량처럼 착각하면 ④로 흐르기 쉽다. 또 $D = 100mm$ 를 그대로 쓰거나 공식의 $4L$ 을 빠뜨리면 ③ 같은 과대값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

원관의 완전발달 유동에서 벽면 전단응력을 묻는 문제는 먼저 D 와 L 을 SI 단위로 맞춘 뒤 $\tau_w = \Delta PD/(4L)$ 를 적용해 계산한다. 압력강하와 전단응력을 바로 같게 두지 않는다는 점을 함께 확인한다.

암기 포인트

완전발달 원관유동은 $\tau_w = \Delta PD/(4L)$, 즉 압력강하에 지름을 곱하고 길이의 4배로 나눈 값이 벽면 전단응력이다.

NoteBase

문 14. 대형 개방 탱크에서 배출되는 유체의 흐름이 Bernoulli 방정식을 통해 분석할 수 있는 조건에 있다. 탱크의 수면은 일정하게 유지되고 있으며 외부로 열려져 있다면, 수면과 배수관의 높이 차이 y와 배출 속도 v의 비례관계로 가장 옳은 것은? (단, 마찰손실은 무시할 수 있다.)

① $y \propto v^{1/2}$

② $v \propto y^{1/2}$

③ $y \propto v^{1/3}$

④ $v \propto y^{1/3}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 대형 개방 탱크의 자유수면과 배출구 사이에 Bernoulli 방정식을 적용해 높이 차 y와 배출 속도 v의 비례관계를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 대형 개방 탱크, 자유수면 일정, 외부와 모두 대기압으로 열림, 마찰손실 무시이다.
대형 탱크이므로 자유수면의 속도는 0으로 본다.
구해야 할 값은 높이 차 y와 배출 속도 v의 비례식이다.

사용할 공식

자유수면 1과 배출구 2 사이에
$\frac{p_1}{\rho} + gz_1 + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + gz_2 + \frac{v_2^2}{2}$
를 적용한다.
이 문제에서는 $p_1 = p_2$, $v_1 \approx 0$, $z_1 - z_2 = y$, $v_2 = v$이므로
$gy = \frac{v^2}{2}$
이고 따라서
$v = \sqrt{2gy}$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 수면과 출구가 모두 대기에 노출되어 압력항이 서로 소거되고, 마찰손실도 무시되어 토리첼리 정리가 그대로 성립하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 자유수면과 출구의 압력은 모두 대기압이므로 압력항은 서로 없어진다.
2. 대형 탱크이므로 자유수면 속도는 $v_1 \approx 0$으로 둔다.
3. 남는 항을 정리하면 $gy = v^2/2$이고, 이를 v에 대해 풀면 $v = \sqrt{2gy}$이다.
4. 따라서 v는 $y^{1/2}$에 비례한다.

선지별 해설

① X: $y \propto v^{1/2}$는 틀리다. 유도식은 $y = v^2/(2g)$이므로 y는 v^2에 비례한다. 틀린 표현은 $v^{1/2}$이고, 올바르게는 $y \propto v^2$이다.
② O: $v = \sqrt{2gy}$이므로 $v \propto y^{1/2}$가 된다. 제곱근 관계를 정확히 쓴 선택지이다.
③ X: $y \propto v^{1/3}$는 틀리다. 높이 차 y는 속도 v의 세제곱이 아니라 제곱에 비례한다. 틀린 표현은 $v^{1/3}$이고, 올바르게는 $y \propto v^2$이다.
④ X: $v \propto y^{1/3}$는 틀리다. 배출 속도는 수두의 세제곱근이 아니라 제곱근에 비례한다. 틀린 표현은 $y^{1/3}$이고, 올바르게는 $v \propto y^{1/2}$이다.

오답 포인트

비례식을 정리할 때 제곱과 제곱근 관계를 뒤섞기 쉽다. 특히 $gy = v^2/2$에서 v를 구하는지, y를 구하는지에 따라 지수가 달라지는데 이를 혼동하면 ①, ③, ④ 같은 오답으로 흐른다.

다시 나오면 이렇게 판단

개방 탱크 배출 문제는 먼저 압력항 소거, 자유수면 속도 무시, 마찰손실 무시 조건을 확인한 뒤 $v = \sqrt{2gy}$로 바로 연결하면 된다. 이후 묻는 변수가 v인지 y인지에 따라 제곱근 관계와 제곱 관계를 구분하면 된다.

암기 포인트

개방 탱크 무마찰 배출에서는 $v = \sqrt{2gy}$이고, 속도는 수두의 제곱근에 비례한다.

NoteBase

문 15. 기-액 계면을 통한 물질전달에서 Henry법칙이 적용된다고 가정할 때, 다음 중 액상을 기준으로 하는 총괄 물질전달저항을 나타내는 식은? (단, k_x는 액체경막의 물질전달계수, k_y는 기체경막의 물질전달계수, m은 기상과 액상의 평형곡선(y·x선도)의 기울기이다.)

① $\frac{m}{k_x}+\frac{1}{k_y}$
② $\frac{1}{mk_x}+\frac{1}{k_y}$
③ $\frac{1}{k_x}+\frac{m}{k_y}$
④ $\frac{1}{k_x}+\frac{1}{mk_y}$

정답 4번

출제 포인트

기-액 계면 물질전달에서 Henry 법칙 $y=mx$를 이용해 기상 기준 저항식을 액상 기준 저항식으로 환산하는 원리를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 k_x가 액체경막 물질전달계수, k_y가 기체경막 물질전달계수, m이 평형선 y-x의 기울기라는 점이다.
구해야 할 값은 액상을 기준으로 한 총괄 물질전달저항 $1/K_x$이다.
주의할 조건은 액상 기준으로 환산할 때 기체측 저항만 평형기울기 m으로 나누어져야 한다는 점이다.

사용할 공식

액상 기준 총괄 물질전달저항은 $\frac{1}{K_x}=\frac{1}{k_x}+\frac{1}{mk_y}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 전체 농도구동력을 액상 농도차로 통일하면 액체경막 저항은 그대로 $1/k_x$로 남고, 기체경막 저항 $1/k_y$는 Henry 법칙 $y=mx$에 따라 액상 기준으로 환산되면서 $1/(mk_y)$가 되기 때문이다.

계산 과정

1. 평형관계가 Henry 법칙 $y=mx$이므로 기상 농도차와 액상 농도차의 관계는 $\Delta y=m\Delta x$이다.
2. 따라서 기체경막 저항 $1/k_y$를 액상 기준으로 바꾸면 $1/(mk_y)$가 된다.
3. 총괄저항은 두 경막 저항의 합이므로 $1/K_x=1/k_x+1/(mk_y)$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\frac{m}{k_x}+\frac{1}{k_y}$는 액체측 저항에 m을 곱한 식으로, 액상 기준이 아니라 기상 기준 총괄저항 $1/K_y$에 해당한다. 틀린 표현은 액상 기준인데 액체측 저항을 환산한 점이다. 올바르게는 액상 기준에서 기체측 저항만 m으로 나누어진다.
② X: $\frac{1}{mk_x}+\frac{1}{k_y}$는 m을 액체경막 계수 k_x에 잘못 붙인 식이다. 틀린 표현은 환산 대상이 액체측 저항인 점이다. 올바르게는 액체측 저항은 $1/k_x$ 그대로 두고, 기체측 저항을 $1/(mk_y)$로 바꾼다.
③ X: $\frac{1}{k_x}+\frac{m}{k_y}$는 기체측 저항을 액상 기준으로 바꾸면서 m을 곱한 식이다. 틀린 표현은 기체측 저항의 환산 방향이다. 올바르게는 액상 기준 환산에서는 $\Delta y = m\Delta x$이므로 기체측 저항을 m으로 나누어야 한다.
④ O: $\frac{1}{k_x}+\frac{1}{mk_y}$는 액체측 저항은 그대로 두고 기체측 저항만 액상 기준으로 환산한 식이므로 액상 기준 총괄 물질전달저항과 일치한다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 기준이 액상인지 기상인지를 먼저 보지 않고 m을 아무 항에나 곱하거나 나누는 데 있다. 특히 ①은 기상 기준 식을 그대로 가져온 오답이고, ②와 ③은 환산해야 할 저항 항을 거꾸로 잡은 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

총괄저항 문제는 먼저 기준이 기상인지 액상인지부터 정한 뒤, 같은 상의 경막 저항은 그대로 두고 반대쪽 상의 경막 저항만 평형선 기울기 m으로 환산해 더하면 된다. 액상 기준이면 기체측 저항을 m으로 나누고, 기상 기준이면 액체측 저항에 m을 곱한다.

암기 포인트

액상 기준은 $1/K_x = 1/k_x + 1/(mk_y)$, 기상 기준은 $1/K_y = 1/k_y + m/k_x$로 정리된다.

NoteBase

문 16. 평판의 양면에서 유체의 흐름이 있는 판상형 열교환장치에서 평판의 한면은 뜨거운 유체가, 반대면에서는 차가운 유체가 흐르고 있다. 양 유체 흐름에서 경막열전달계수가 각각 100, $200\mathrm{W/m^2\cdot ℃}$**이고 평판의 두께가 4mm, 열전도도가** $40\mathrm{W/m\cdot ℃}$**이다. 이 세 가지 열저항 중 가장 큰 열저항은 전체 열저항의 몇 %인가? (단, 소수점 첫째자리에서 반올림한다.)**

① 33%

② 44%

③ 55%

④ 66%

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평판 양쪽의 대류열저항과 평판 내부의 전도열저항을 직렬로 합한 뒤, 가장 큰 열저항이 전체 열저항에서 차지하는 비율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 뜨거운 유체측 경막 열전달계수 $h_1 = 100W/(m^2 \cdot {}^\circ C)$, 차가운 유체측 경막 열전달계수 $h_2 = 200W/(m^2 \cdot {}^\circ C)$, 평판 두께 $L = 4mm = 0.004m$, 열전도도 $k = 40W/(m \cdot {}^\circ C)$이다.
구해야 할 값은 세 열저항 중 가장 큰 열저항이 전체 열저항에서 차지하는 백분율이다.
주의할 조건은 세 열저항이 직렬이므로 그대로 더하고, 두께는 반드시 m 단위로 바꾸어야 한다는 점이다.

사용할 공식

단위면적 기준 열저항은 R''_전체=(1)/(h_1)+(L)/(k)+(1)/(h_2) 이다.
각 열저항은 R''_1=(1)/(h_1), R''_벽=(L)/(k), R''_2=(1)/(h_2) 이다.
가장 큰 열저항의 비율은 R''_R''_전체 × 100 으로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 평판 양쪽 대류와 평판 내부 전도가 한 줄의 열저항망으로 직렬 연결된 정상상태 문제이기 때문이다.

계산 과정

1. 각 열저항을 구하면 $R''_1 = \frac{1}{100} = 0.01$ R''_벽=(0.004)/(40)=0.0001 $R''_2 = \frac{1}{200} = 0.005$ 이다.
2. 가장 큰 열저항은 0.01인 뜨거운 유체측 대류열저항이다.
3. 전체 열저항은 R''_전체=0.01+0.0001+0.005=0.0151 이다.
4. 비율은 $\frac{0.01}{0.0151} \times 100 = 66.225\cdots\%$ 이므로 소수점 첫째자리에서 반올림하면 66%이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 전달현상 · 2019 · 10월

선지별 해설

① X
33%는 계산 결과와 맞지 않는다. 가장 큰 열저항의 비율은 약 66.2%이므로, 올바르게는 "가장 큰 열저항은 전체의 약 66%이다"가 된다.

② X
44%는 전체 열저항을 잘못 합했을 때 나올 수 있는 값으로, 정확한 직렬합 0.0151을 쓰면 맞지 않는다. 올바르게는 "가장 큰 열저항은 전체의 약 66%이다"가 된다.

③ X
55%는 전도열저항이나 다른 대류열저항을 누락하거나 비율 계산을 잘못한 값이다. 올바르게는 "가장 큰 열저항은 전체의 약 66%이다"가 된다.

④ O
가장 큰 열저항은 $h_1 = 100$인 쪽의 대류열저항 0.01이고, 전체 열저항은 0.0151이므로 비율은 약 66.2%이다. 반올림하면 66%가 되어 맞다.

오답 포인트

열전달계수가 작을수록 대류열저항 $1/h$는 커진다는 점을 놓치기 쉽다. 또한 평판 전도열저항 L/k가 매우 작다는 사실을 무시하지 말고 실제로 수치 계산을 해야 한다. 마지막에 4mm를 0.004m로 바꾸지 않거나, 전체 열저항을 더하지 않고 바로 비율을 찍으면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

평판 열저항 문제는 먼저 $1/h$, L/k, $1/h$ 형태로 세 저항을 분리한 뒤 가장 큰 값을 찾고, 그다음 전체 직렬합으로 나누어 백분율을 구하면 된다.

암기 포인트

직렬 열저항의 비율 문제는 "대류는 $1/h$, 전도는 L/k, 전체는 합"으로 정리된다.

NoteBase

문 17. 대류 열전달에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 단일관의 외부표면에서의 유체 흐름을 수반하는 열전달에서는 복사에 의한 열흐름이 중요할 수도 있다.

② 단일구 주변에 유체가 완전 정체되어 있을 때 입자 지름을 기준한 Nusselt수는 1에 수렴한다.

③ 충전층내 충전입자와 유체간의 열전달에서도 Nusselt수는 Reynolds수와 Prandtl수의 함수로 주어진다.

④ 자연대류의 경우 Nusselt수는 유체의 열팽창계수의 영향을 받는다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 대류 열전달에서 형상별 기준 Nusselt수와 강제대류·자연대류 상관식의 의존 변수를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

대류 열전달은 유체의 거시적 운동이 있는 계면 열전달이며, 열전달 성능은 보통 Nusselt수로 정리한다.
정지 유체에서의 기준 Nusselt수는 형상에 따라 다르다. 무한 정지유체 속 단일구는 순수 전도만 있어도 $Nu_d = 2$이다.
강제대류는 대체로 $Nu = f(Re, Pr)$ 형태로 정리되고, 자연대류는 $Nu = f(Gr, Pr) = f(Ra)$ 형태이므로 열팽창계수 β의 영향을 받는다.

선지별 해설

① O: 단일관 외부유동의 대류 열전달 문제라도 표면 온도가 높거나 주변과의 복사 교환이 크면 복사 열흐름이 무시되지 않을 수 있다. 따라서 복사가 중요할 수도 있다는 설명은 타당하다.
② X: 틀린 부분은 "Nusselt수는 1에 수렴한다"이다. 단일구 주위 유체가 완전히 정지해 있으면 대류가 아니라 구 주위의 순수 전도 문제로 바뀌며, 직경 기준 Nusselt수는 $Nu_d = 2$에 수렴한다. 올바르게는 "단일구 주변에 유체가 완전 정체되어 있을 때 입자지름 기준 Nusselt수는 2에 수렴한다"이다.
③ O: 충전층 내 입자-유체 열전달은 대표적으로 입자 Reynolds수와 Prandtl수의 함수로 상관식이 주어진다. 따라서 Nusselt수가 Reynolds수와 Prandtl수의 함수라는 설명은 맞다.
④ O: 자연대류에서는 부력 효과가 지배적이므로 Grashof수 또는 Rayleigh수에 포함된 열팽창계수 β가 Nusselt수에 영향을 준다. 따라서 이 설명은 옳다.

오답 포인트

정지 유체일 때의 기준 Nusselt수를 평판의 감각으로 1이라고 외우면 ②에서 틀리기 쉽다. 이 문항은 "정지 유체"라는 말만 보고 전도가 약해진다고 착각하는 함정을 노린 것이 아니라, 형상에 따라 순수 전도 한계 Nusselt수가 다르다는 점을 묻는다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 발문이 "옳지 않은 것"인지 확인한 뒤, 정지 유체 한계값은 형상별 기본값으로 판단한다. 구는 $Nu = 2$, 강제대류 상관식은 Re, Pr, 자연대류 상관식은 Gr 또는 Ra와 연결된다는 순서로 보면 빠르게 걸러진다.

암기 포인트

정지 유체 한계값은 평판 1, 구 2로 구분하고, 강제대류는 Re, Pr, 자연대류는 β가 들어간 Gr, Ra를 떠올리면 된다.

NoteBase

문 18. 지름이 작고 수직으로 놓인 시험관의 닫힌 하단부에는 액체 A가 담겨져 있다. 시험관의 열린 상단부에는 A에 용해성이 없고 불활성인 기체 B가 대류 흐름을 형성하고 있어 A 성분이 감지되지 않는다. 정상상태에서 액체 A는 계면에서 증발하여 상부로 단일 방향 확산한다고 가정한다. 이때 A의 $1m^2$당 증발속도[kgmol/h]는? (단, 기체 A의 확산도는 $0.12m^2/h$, 총 기체의 농도는 $0.05kgmol/m^3$, 계면에서 시험관 상단까지의 거리는 $1cm$, 계면에서의 A의 몰분율은 0.8이다.)

① $\frac{0.12 \times 0.05 \times (0.8 - 0)}{0.01}$ kgmol/h
② $\frac{0.12 \times 0.05 \times (1 - 0.8)}{0.01}$ kgmol/h
③ $\frac{0.12 \times 0.05}{0.01} \ln \frac{1}{1 - 0.8}$ kgmol/h
④ $\frac{0.12 \times 0.05}{0.01} \ln(0.8 - 0)$ kgmol/h

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 불활성 기체 B가 정체된 상태에서 액체 A가 기상으로 증발할 때의 스테판 확산식을 이용해 증발속도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $D_{AB} = 0.12m^2/h$, $C = 0.05kgmol/m^3$, $L = 1cm = 0.01m$, 계면에서 $y_{A1} = 0.8$, 상단에서 $y_{A2} = 0$이다.
구해야 할 값은 $1m^2$당 A의 증발속도 N_A이다.
주의할 조건은 B가 A에 불용성이며 감지되지 않으므로 $N_B = 0$인 정체기체 확산이라는 점이다.

사용할 공식

사용식은 $N_A = \frac{D_{AB}C}{L} \ln\left(\frac{1 - y_{A2}}{1 - y_{A1}}\right)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 B가 정체되어 $N_B = 0$이므로 등몰상향확산식이 아니라 스테판 확산식이 적용되기 때문이다.

계산 과정

1. 상단에서는 A 성분이 감지되지 않으므로 $y_{A2} = 0$이다.
2. 식에 대입하면 $N_A = \frac{0.12 \times 0.05}{0.01} \ln\left(\frac{1 - 0}{1 - 0.8}\right)$이다.
3. 따라서 $N_A = 0.6\ln(5) \approx 0.966kgmol/(m^2 \cdot h)$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\frac{0.12 \times 0.05 \times (0.8-0)}{0.01}$은 y_A 차를 선형으로 넣은 등몰상향확산 형태이다. 이 문제는 $N_B = 0$이므로 로그항이 필요하다. 틀린 표현은 "$(0.8-0)$을 그대로 곱한다"는 점이며, 올바르게는 $\ln\left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}}\right)$를 사용한다.
② X: $\frac{0.12 \times 0.05 \times (1-0.8)}{0.01}$은 $1-y_A$의 차만 취한 값으로, 정체기체 확산식을 선형화한 오답이다. 틀린 표현은 "$(1-0.8)$을 곱한다"는 점이며, 올바르게는 $1-y_A$ 비의 로그인 $\ln\left(\frac{1}{1-0.8}\right)$가 들어간다.
③ O: 정체된 B를 통한 A의 확산이므로 $N_A = \frac{D_{AB}C}{L}\ln\left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}}\right)$를 쓴다. $y_{A2}=0$, $y_{A1}=0.8$을 넣으면 $\frac{0.12 \times 0.05}{0.01}\ln\left(\frac{1}{1-0.8}\right)$가 되어 맞다.
④ X: 로그항 내부를 $(0.8-0)$로 둔 것이 틀렸다. 정체기체 확산에서는 y_A 자체가 아니라 $1-y_A$의 비가 로그 안에 들어가야 하므로 올바른 형태는 $\ln\left(\frac{1-y_{A2}}{1-y_{A1}}\right) = \ln\left(\frac{1}{1-0.8}\right)$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 보통의 피크 확산식처럼 농도차 $(y_{A1}-y_{A2})$를 바로 넣거나, 로그항은 떠올리더라도 로그 내부를 y_A 비로 잘못 쓰는 데 있다. "불활성 기체 B가 정체되어 있다"는 조건이 보이면 $N_B = 0$인 스테판 확산식을 먼저 떠올려야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

증발 문제에서 상대 기체가 불활성이고 정체되어 있으면 먼저 $N_B = 0$인지 확인한 뒤, $1-y_A$ 비의 로그가 들어가는지 본다. 그다음 길이 단위를 m로 맞추고 계면 조성 y_{A1}과 벌크 조성 y_{A2}를 대입하면 된다.

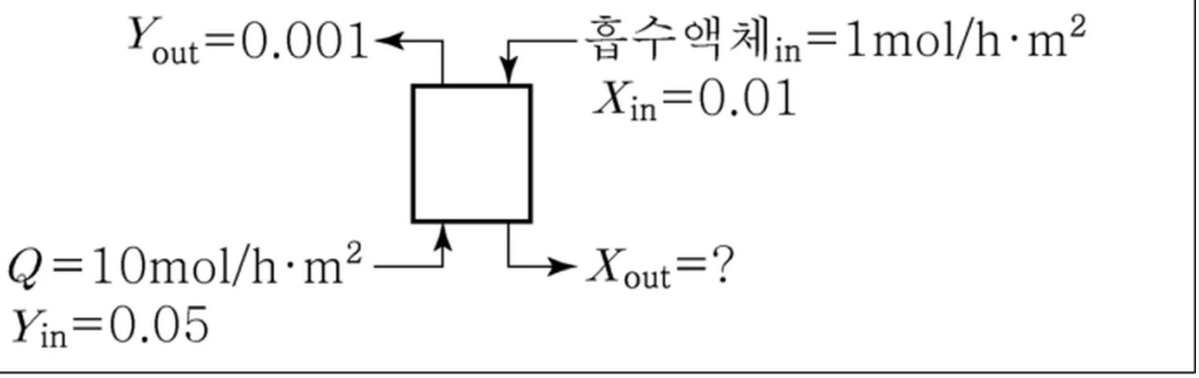
암기 포인트

정체기체 확산은 "농도차가 아니라 $1-y_A$ 로그비"로 정리된다.

NoteBase

문 19. 공기중에 포함되어 있는 방향족 화합물 A는 특수한 흡수액체를 사용하여 포집이 가능하다. 원통형 흡수탑이 <보기>와 같은 조건에서 정상 상태로 운전중일 때, 흡수공정 후 흡수액체속에 포함된 화합물 A의 몰분율 X_{out}은? (단, Q는 기체 혼합물의 유량, Y는 기체 혼합물 중에 포함된 화합물 A의 몰분율, 흡수액체_in은 흡수액체의 몰유량, X는 흡수액체에 포함된 화합물 A의 몰분율을 나타냄)

<보기>



① 0.1

② 0.01

③ 0.5

④ 0.05

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 흡수탑에서 기체가 잃은 용질량과 액체가 얻은 용질량이 같다는 성분수지로 X_{out}을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $Q = 10mol/h \cdot m^2$, $Y_{in} = 0.05$, $Y_{out} = 0.001$, $L_{in} = 1mol/h \cdot m^2$, $X_{in} = 0.01$이다.
구해야 할 값은 흡수 후 액체 내 방향족 화합물 A의 몰분율 X_{out}이다.
정상상태이므로 기체에서 감소한 A의 양이 액체에서 증가한 A의 양과 같다.

사용할 공식

$Q(Y_{in} - Y_{out}) = L(X_{out} - X_{in})$
이 공식을 쓰는 이유는 정상상태 흡수공정에서 용질 A에 대해 유입량과 유출량을 맞추면, 기체에서 빠져나간 A가 그대로 액체 쪽 증가분이 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 기체에서 흡수된 A의 양을 구하면 $Q(Y_{in} - Y_{out}) = 10 \times (0.05 - 0.001) = 10 \times 0.049 = 0.49$이다.
2. 액체 쪽 증가분은 $L(X_{out} - X_{in}) = 1 \times (X_{out} - 0.01)$이다.
3. 두 값을 같게 두면 $X_{out} - 0.01 = 0.49$이므로 $X_{out} = 0.50$이다.

선지별 해설

① X: X_{out}는 계산 결과 0.50이므로 0.1은 틀리다. 0.1은 흡수된 A의 증가량을 크게 과소평가한 값이며, 틀린 값 0.1 → 올바르게는 0.5이다.
② X: 0.01은 유입 흡수액의 조성 X_{in}일 뿐 흡수 후 조성이 아니다. 흡수 과정에서 A가 0.49만큼 더 들어오므로 틀린 값 0.01 → 올바르게는 0.5이다.
③ O: 성분수지식 $X_{out} = X_{in} + \frac{Q}{L}(Y_{in} - Y_{out})$에 대입하면 $0.01 + \frac{10}{1} \times 0.049 = 0.50$이므로 옳다.
④ X: 0.05는 기체 입구 조성 Y_{in}과 같은 수치일 뿐 액체 출구 조성이 아니다. 기체의 조성과 액체의 조성을 혼동한 값이며, 틀린 값 0.05 → 올바르게는 0.5이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 Y와 X를 같은 상의 조성처럼 섞어 보는 실수, $X_{in} = 0.01$을 그대로 정답처럼 고르는 실수, 그리고 Q/L 비를 빠뜨려 흡수된 양을 제대로 반영하지 못하는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

흡수탑 계산형 문제는 먼저 기체에서 줄어든 용질량 $Q(Y_{in} - Y_{out})$을 구하고, 그 값을 액체의 증가량 $L(X_{out} - X_{in})$과 바로 연결해 판단하면 된다.

암기 포인트

정상상태 흡수는 기체가 잃은 용질량 = 액체가 얻은 용질량이다.

NoteBase

문 20. 표면 장력에 의해 발생하는 모세관 현상에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 접촉각이 90° 미만인 경우 모세관의 직경이 작아질수록 유체의 오름이 낮아진다.

② 접촉각이 90° 미만인 경우 유체간 인력이 유체와 고체 표면간 인력보다 크다.

③ 접촉각이 90° 미만인 경우 모세관을 통해 올라가는 유체의 높이는 밀도에 정비례한다.

④ 접촉각이 90°인 경우 모세관 내의 유체의 오름이나 내림이 없다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 모세관 현상에서 접촉각, 표면장력, 밀도, 모세관 직경이 액주의 오름·내림에 어떻게 작용하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

모세관 현상은 표면장력과 젖음성 때문에 가는 관 안의 액면이 올라가거나 내려가는 현상이다.
모세관 높이는 $h \propto \frac{\cos\theta}{\rho d}$로 정리할 수 있으므로, 접촉각 $\theta < 90^\circ$이면 상승하고, $\theta = 90^\circ$이면 변화가 없으며, 직경 d가 작을수록 높이는 커지고, 밀도 ρ가 클수록 높이는 작아진다.
또한 접촉각이 90도 미만이면 액체와 고체 사이의 부착력이 액체 내부의 응집력보다 커서 젖음이 일어난다.

NoteBase

선지별 해설

① X
직경이 작아질수록 모세관 높이는 낮아지는 것이 아니라 커진다.
틀린 표현은 '오름이 낮아진다'이다.
올바르게는 '접촉각이 90도 미만이면 모세관 직경이 작아질수록 액체의 오름 높이는 커진다'이다.

② X
접촉각이 90도 미만이라는 것은 액체가 고체 표면을 잘 적신다는 뜻이므로 액체-고체 사이의 부착력이 액체 내부 응집력보다 크다.
틀린 표현은 '유체간 인력이 유체와 고체 표면간 인력보다 크다'이다.
올바르게는 '유체와 고체 표면간 인력이 유체간 인력보다 크다'이다.

③ X
모세관을 통해 올라가는 높이는 밀도에 정비례하지 않고 반비례한다.
틀린 표현은 '밀도에 정비례한다'이다.
올바르게는 '밀도가 클수록 오름 높이는 작아진다'이다.

④ O
접촉각이 90도이면 $\cos 90^\circ = 0$이므로 모세관 높이 변화가 0이 된다.
따라서 모세관 내 유체의 오름이나 내림이 없다.

오답 포인트

직경, 밀도, 접촉각의 영향을 한꺼번에 묻기 때문에 비례·반비례 관계를 뒤집으면 쉽게 틀린다. 특히 ①의 '직경이 작아질수록'과 ③의 '밀도에 정비례'는 공식을 반대로 기억한 경우 걸리기 쉬운 함정이다. ②는 부착력과 응집력의 대소관계를 바꿔 놓은 전형적인 젖음성 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

모세관 문제는 먼저 $\cos\theta$의 부호를 본다. 접촉각이 90도 미만이면 상승, 90도이면 변화 없음, 90도 초과이면 하강으로 판단한다. 그다음 높이 식에서 d와 ρ가 분모에 있으므로 직경과 밀도는 커질수록 높이가 작아진다고 정리하면 된다.

암기 포인트

모세관 높이: 젖으면 올라가고, d와 ρ가 클수록 낮아지며, $\theta = 90^\circ$이면 0이다.

NoteBase