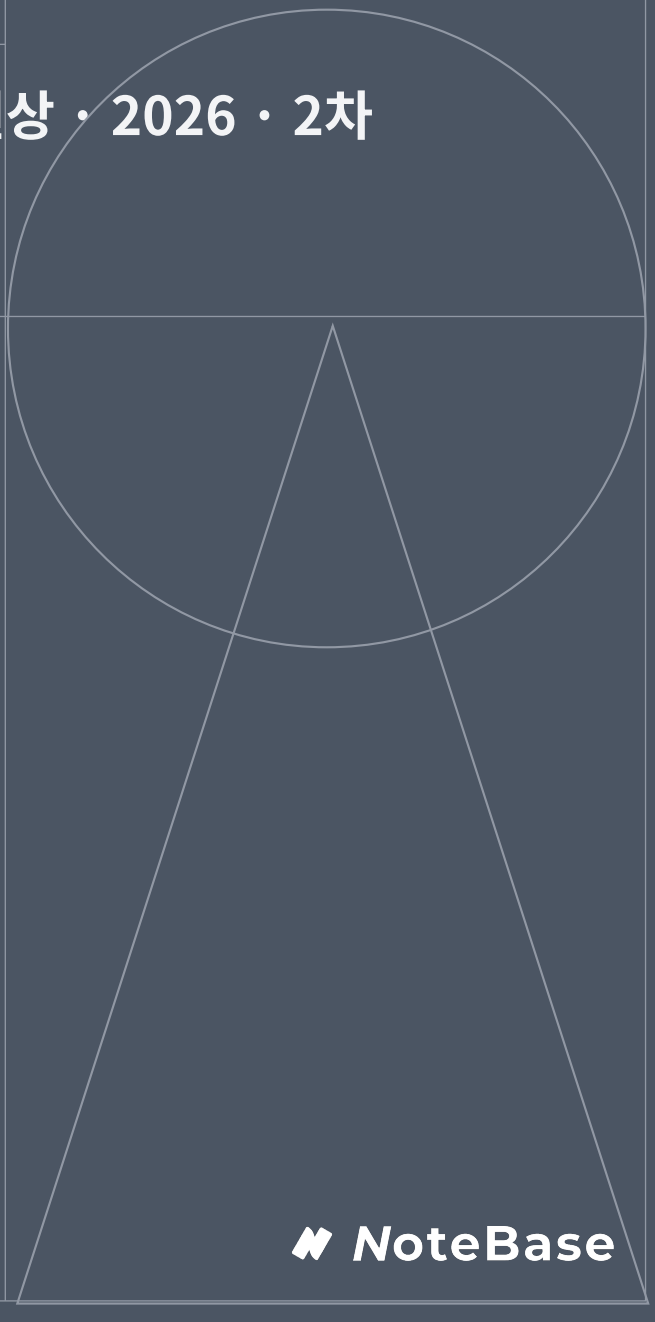
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2026 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2026 · 2차

공무원/국가직/7급 · 전달현상 · 2026 · 2차

문 1. 유체의 성질에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 온도와 압력이 일정하면 유체의 밀도는 일정하다.

② 정지 유체 내 한 위치에서의 압력은 좌표축 방향에 따라 다른 값을 갖는다.

③ 유체가 멈추어 있을 때에는 전단응력이 없다.

④ 온도와 압력에 따른 밀도 변화 정도는 압축성 유체가 비압축성 유체보다 크다.

정답 2번

간단한 해설

정지 유체의 한 점에서 압력은 **방향에 관계없이 같다**. 깊이에 따라 서로 다른 위치의 압력이 달라지는 것과, 같은 위치에서 방향에 따라 압력이 달라지는 것은 구별해야 한다.

선지별 해설

① O: 밀도는 단위 부피당 질량이다. 같은 조성의 유체가 같은 상에 있을 때 밀도는 온도와 압력에 의해 정해지므로, **온도와 압력이 일정하면** 밀도도 일정하다. 압축성 유체라도 온도와 압력이 변하지 않으면 밀도가 반드시 변하는 것은 아니다.

② X: 정지 유체의 한 점에 작용하는 압력은 **모든 방향에서 같은 값**을 갖는다. 따라서 '좌표축 방향에 따라 다른 값을 갖는다'는 '좌표축 방향에 관계없이 같은 값을 갖는다'로 고쳐야 한다. 압력은 면에 수직으로 작용하며, 면의 방향이 바뀌면 힘의 방향은 달라져도 같은 점에서 압력의 크기는 변하지 않는다. 중력 때문에 깊이에 따라 압력이 달라지는 것은 서로 다른 위치를 비교하는 경우이다.

③ O: 유체는 전단응력이 지속해서 작용하면 계속 변형되어 흐르는 물질이다. 따라서 정지 상태의 유체 내부에는 **전단응력이 없고**, 면에 수직으로 작용하는 압력만 존재한다.

④ O: 압축성 유체는 온도와 압력 변화에 따른 밀도 변화를 고려해야 하는 유체이다. 비압축성 유체는 같은 해석 범위에서 **밀도 변화를 무시할 수 있는** 유체로 취급한다. 따라서 압축성 유체가 비압축성 유체보다 온도와 압력에 따른 밀도 변화가 크다는 설명은 이러한 구분에 부합한다.

NoteBase

문 2. 서로 다른 기체 A와 B로 구성된 혼합기체에서 확산계수(D_{AB})를 기체운동론(kinetic theory)을 이용해 설명한 것 중 옳지 않은 것은?

① 온도가 증가하면 평균 자유 경로는 감소하나, 평균 분자 속도가 크게 증가하여 확산계수가 증가한다.

② 압력이 증가하면 평균 자유 경로가 감소하여 확산계수가 감소한다.

③ 분자량이 큰 기체일수록 평균 분자 속도가 작아져 확산계수가 감소한다.

④ 혼합기체는 이상기체를 가정하고 있으며, 고압 조건일수록 이상기체로부터 편차가 크게 발생할 수 있다.

정답 1번

간단한 해설

①의 '평균 자유 경로는 감소'가 잘못되었다. **일정 압력에서 온도가 증가하면 평균 자유 경로도 증가**하며, 평균 분자 속도도 커져 확산계수가 증가한다.

선지별 해설

평균 자유 경로는 분자가 충돌과 충돌 사이에 이동하는 평균 거리이다. 기체운동론에서 확산계수는 대략 $D_{AB} \propto \lambda \bar{v}$로 이해할 수 있다. 여기서 λ는 평균 자유 경로, $\bar{v}$는 분자 운동의 대표적인 평균 속력이다. 즉, 분자가 더 멀리, 더 빠르게 이동할수록 확산이 활발해진다.

① X: 분자의 충돌 크기를 일정하게 보는 기체운동론에서 평균 자유 경로는 $\lambda \propto \frac{T}{P}$이다. 여기서 T는 절대온도, P는 압력이다. **일정 압력에서 온도가 오르면** 단위 부피당 분자 수가 줄어들어 평균 자유 경로가 증가한다. 같은 기체의 평균 분자 속력도 $\bar{v} \propto \sqrt{T}$로 증가한다. 따라서 단순 모형에서는 $D_{AB} \propto T^{3/2}$로 증가하며, 평균 자유 경로가 감소하는 효과를 속도 증가가 상쇄하는 것은 아니다.

② O: **일정 온도에서 압력이 증가하면** 단위 부피당 분자 수가 늘어나 분자 사이의 충돌 간격이 짧아진다. 평균 자유 경로는 압력에 반비례하여 감소하고, 평균 분자 속력은 온도가 같으므로 변하지 않는다. 이에 따라 $D_{AB} \propto \frac{1}{P}$로 확산계수가 감소한다.

③ O: 같은 온도에서는 분자당 평균 병진 운동에너지가 같으므로, 분자량 M이 클수록 평균 분자 속력은 $\bar{v} \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$에 따라 작아진다. 따라서 **분자 크기와 상호작용 등 다른 조건이 같다면** 분자량이 클수록 분자 운동이 느려져 확산계수가 작아진다. 서로 다른 실제 기체의 확산계수를 비교할 때는 분자량뿐 아니라 충돌 크기와 분자 간 상호작용도 함께 고려한다.

④ O: 이 문항에서 다루는 기체운동론의 확산계수 관계는 **이상기체로 근사할 수 있는 희박한 기체**를 전제로 한다. 고압에서는 분자 사이 거리가 짧아져 분자 자체의 부피와 분자 간 상호작용을 무시하기 어려워진다. 따라서 실제 혼합기체는 이상기체 거동에서 크게 벗어날 수 있으며, 단순한 확산계수 관계를 그대로 적용하기 어려워진다.

NoteBase

문 3. 수평인 원형관 속을 등온, 정상상태로 흐르는 비압축성 Newton 유체에 기포가 포함되어 함께 움직이고 있다. 원형관의 단면적이 줄어들 때, 기포의 크기 변화에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 기포의 크기는 관의 크기에 비해 매우 작고, 기포의 표면장력이 유체의 관성력과 점성력에 비해 우세하며, 관 내의 마찰은 무시한다)

① 작아진다.

② 변함없다.

③ 커진다.

④ 작아졌다가 원래대로 돌아온다.

정답 3번

간단한 해설

관의 단면적이 줄면 유속이 증가하고, 수평·무마찰 흐름에서는 **주변 유체의 압력이 낮아진다**. 기포는 낮아진 외부 압력에 따라 팽창하므로 크기가 커진다.

공통 해설

정상상태의 비압축성 흐름에서는 유량 $Q = Au$가 일정하다. 여기서 A는 관의 단면적, u는 유속이다. 따라서 관이 좁아지면 같은 양의 유체가 통과하려면 유속이 증가해야 한다. 기포는 관에 비해 매우 작으므로 관 벽에 눌려 크기가 결정되는 상황이 아니다.

수평이고 마찰을 무시하므로 베르누이 관계 p+(1)/(2)ρ u^2=일정을 적용한다. p는 주변 유체의 압력, ρ는 유체의 밀도이다. 높이 변화와 마찰 손실이 없으므로, **유속이 증가하는 구간에서는 압력이 감소**한다.

표면장력이 우세한 작은 기포는 거의 구형을 유지한다. 기포 내부 압력을 p_g, 반지름을 r, 표면장력을 σ라 하면 압력평형은 $p_g - p = \frac{2\sigma}{r}$로 나타난다. 외부 압력이 낮아지면 기존의 평형이 깨져 기포가 팽창하고, 내부 압력과 표면장력에 따른 압력차가 함께 변하여 새로운 평형을 이룬다. **표면장력이 구형을 유지한다는 것은 부피가 일정하다는 뜻이 아니다**.

따라서 단면적이 줄어든 구간에서 기포의 크기는 커진다. 비압축성 조건은 기포를 둘러싼 유체에 적용되며, 기포 속 기체의 부피까지 일정하게 만드는 조건은 아니다.

NoteBase

문 4. 지름이 10 mm인 고체 구가 점성이 있는 비압축성 Newton 유체 내에서 자유낙하하고 있다. Stokes 영역에서 구의 종말속도가 0.2 m s^{-1}일 때, 유체의 항력계수의 값은? (단, 유체가 담긴 용기의 벽면에 의한 영향은 무시하고, 구와 유체의 밀도는 각각 4,000 kg m^{-3}과 1,000 kg m^{-3}이며 중력가속도는 10 m s^{-2}이다)

① 10

② 20

③ 30

④ 40

정답 1번

간단한 해설

종말속도에서는 **중력에서 부력을 뺀 힘과 항력이 평형**을 이룬다. 이 항력을 구의 투영면적과 유체의 동압으로 나누면 무차원 항력계수는 10이다.

계산 과정

1. 조건과 기준면적: 구의 지름은 d = 10 mm = 0.01 m, 종말속도는 $u_t = 0.2\ \mathrm{m\ s^{-1}}$이다. 구와 유체의 밀도를 각각 $\rho_s = 4{,}000$, $\rho_f = 1{,}000\ \mathrm{kg\ m^{-3}}$으로 둔다. 구의 부피는 $V = \frac{\pi d^3}{6}$이고, 항력계수의 기준면적은 유동 방향에 수직인 **투영면적** $A = \frac{\pi d^2}{4}$이다.

2. 종말속도에서의 힘 평형: 속도가 일정하므로 가속도는 0이다. 아래로 작용하는 중력과 위로 작용하는 부력·항력이 평형을 이루므로 항력은 $F_D = (\rho_s - \rho_f)gV$이다. 여기서 밀도차 3,000 kg m^{-3}은 **부력을 제외한 유효 중량**을 구하는 데 쓰인다.

3. 항력계수 계산: 항력계수의 정의는 $F_D = C_D \frac{\rho_f u_t^2}{2} A$이다. 힘 평형식에 구의 부피와 투영면적을 대입하여 정리하면 $C_D = \frac{4(\rho_s - \rho_f)gd}{3\rho_f u_t^2}$를 얻는다. 수치를 대입하면 $C_D = \frac{4 \cdot 3000 \cdot 10 \cdot 0.01}{3 \cdot 1000 \cdot 0.2^2} = 10$이다. 항력계수는 힘을 동압과 면적의 곱으로 나눈 값이므로 단위가 없다. 계산값 10은 ①에 해당한다.

NoteBase

문 5. 1차원 열전달에서 경계면($x = 0$)의 단열조건(adiabatic condition)을 의미하는 온도(T)에 대한 경계조건은? (단, 열전달은 x 방향으로만 발생한다. 열전달 매체 내부 평균 온도($\overline{T}$)와 경계면 온도와의 차이는 ΔT이고, 시간은 t이다)

① T_x=0=T

② ≤ft.(T)/(t)_x=0=0

③ Δ T_x=0=0

④ ≤ft.(T)/(x)_x=0=0

정답 4번

간단한 해설

단열조건은 경계면을 통과하는 **열유속이 0**이라는 뜻이다. 푸리에 법칙에 따라 열유속은 온도의 공간 기울기에 비례하므로, 경계면에서 $\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0$이어야 한다.

공통 해설

단열조건은 **경계면을 통한 열의 출입이 없는 조건**이다. 열이 x 방향으로만 전달되는 1차원 열전도에서 푸리에 법칙은 $q''_x = -k\frac{\partial T}{\partial x}$이다. 여기서 q''_x는 x 방향의 열유속이고, k는 매체의 열전도율이다. 열유속은 단위면적을 통하여 단위시간에 전달되는 열량을 뜻한다.

단열 경계면인 x = 0에서는 $q''_x|_{x=0} = 0$이다. 따라서 유한한 양의 열전도율을 갖는 매체에서는 $\frac{\partial T}{\partial x}\Big|_{x=0} = 0$이 된다. 즉, 경계면에서 열전달 방향의 온도 기울기가 0이어야 한다.

이 조건이 제한하는 것은 **온도의 공간 기울기**이다. 경계면 온도가 내부 평균 온도와 같거나 그 차이인 ΔT가 0이라는 것만으로는 경계면의 온도 기울기가 0이라고 할 수 없다. 또한 $\partial T/\partial t = 0$은 온도가 시간에 따라 변하지 않는다는 뜻이므로, 열의 출입이 없는 단열조건과 구별해야 한다. 단열 경계면의 온도도 매체 내부의 열 재분포 등에 따라 시간에 따라 변할 수 있다.

NoteBase

문 6. 정상상태, 등온에서 길이(L)가 0.1 m인 평판으로부터 물질 A가 평판에 평행하게 흐르는 공기 중으로 전달된다. 평판 길이(L)를 기준한 평균 Sherwood 수(Sh_L)와 Reynolds 수(Re_L), Schmidt 수(Sc)가 주어진 관계식을 따를 때, A의 평균물질전달계수(k_c) [m s^{-1}]는? (단, 평판의 표면에서는 일정한 농도를 유지하며 물질전달이 일어난다)

$Sh_L = 0.5(Re_L^{1/2} Sc^{1/3})$

◯ 공기의 평균 유속(v_∞): 0.01 m s^{-1}

◯ 공기의 동점도(ν): 1.0×10^{-5} m^2 s^{-1}

◯ 공기 중 A의 확산계수(D_A): 1.0×10^{-5} m^2 s^{-1}

① 3.0×10^{-4}

② 4.0×10^{-4}

③ 5.0×10^{-4}

④ 6.0×10^{-4}

정답 3번

간단한 해설

주어진 조건에서 평균 Sherwood 수는 5이다. **평균 Sherwood 수와 물질전달계수의 관계** $k_c = Sh_L D_A / L$에 따라 평균물질전달계수는 5.0×10^{-4} m s^{-1}이다.

NoteBase

계산 과정

적용 조건: 정상상태·등온이고 표면 농도가 일정한 길이 0.1 m의 평판이다. 문제에서 주어진 관계식은 **평판 길이 기준의 평균 Sherwood 수**에 관한 식이므로, 이를 이용해 평균물질전달계수를 구한다. 모든 주어진 값은 m와 s 기준이므로 단위 변환은 필요하지 않다.

Reynolds 수: 평균 유속과 평판 길이로 $Re_L = \frac{v_\infty L}{\nu}$를 계산한다. 주어진 값을 대입하면 $Re_L = \frac{0.01 \times 0.1}{1.0 \times 10^{-5}} = 100$이다. 이 값은 평판 길이를 기준으로 한 무차원 유동 지표이다.

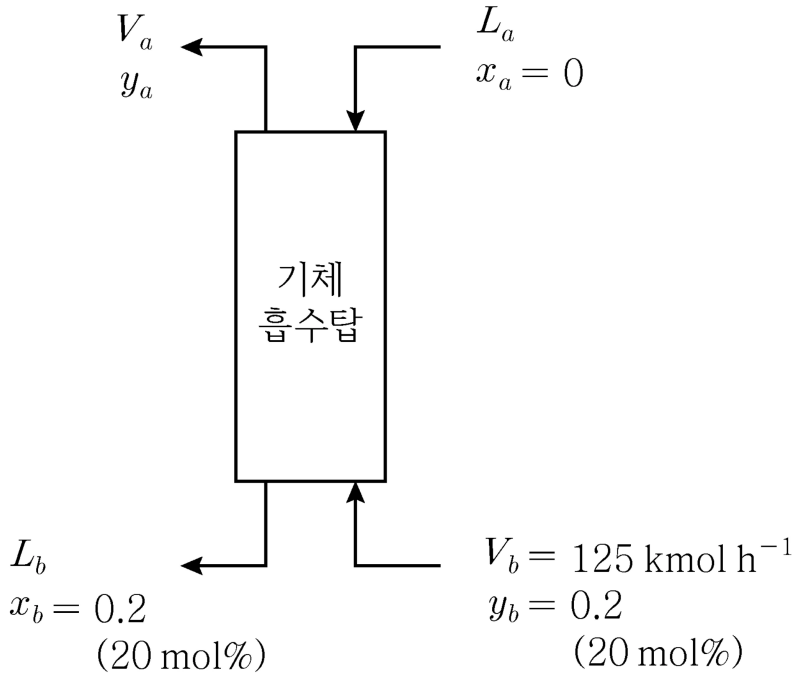
Schmidt 수: 동점도와 물질 확산계수의 비이므로 $Sc = \frac{\nu}{D_A}$이다. 따라서 $Sc = \frac{1.0 \times 10^{-5}}{1.0 \times 10^{-5}} = 1$이다. 이는 이 조건에서 운동량 확산과 물질 확산을 나타내는 두 계수가 같다는 뜻이다.

평균 Sherwood 수: 위의 두 무차원수를 주어진 식 $Sh_L = 0.5 Re_L^{1/2} Sc^{1/3}$에 대입한다. 그러면 $Sh_L = 0.5 \times 100^{1/2} \times 1^{1/3} = 5$이다. 이는 아직 단위를 갖는 물질전달계수가 아니라 무차원수이다.

평균물질전달계수: Sherwood 수의 정의는 $Sh_L = \frac{k_c L}{D_A}$이므로 $k_c = \frac{Sh_L D_A}{L}$이다. 따라서 $k_c = \frac{5 \times 1.0 \times 10^{-5}}{0.1}$ m s^{-1}이고, 계산하면 5.0×10^{-4} m s^{-1}이다. 확산계수의 단위 m^2 s^{-1}를 길이의 단위 m로 나누므로 **물질전달계수의 단위는 m s^{-1}**가 된다. 이 값은 ③의 수치와 일치한다.

NoteBase

문 7. 순수한 물을 흡수액으로 사용하여 공기흐름 중에 있는 아세톤의 80%를 회수하는 기체흡수탑을 설계하려고 한다. 기체흡수탑으로 들어가는 기체의 몰 유량 (V_b)은 125 kmol h^{-1}이며, 이 중 아세톤이 20 mol%(y_b) 포함되어 있다. 기체흡수탑 바닥으로 나오는 제품(수용액)에는 아세톤이 20 mol%(x_b) 함유되도록 하려고 한다. 이때 기체흡수탑에 공급되어야 하는 순수한 물의 몰 유량 (L_a) [kmol h^{-1}]은? (단, 기체흡수탑 내에서 물은 증발하지 않고, 공기는 물에 용해되지 않는다)



① 60

② 80

③ 100

④ 120

정답 2번

간단한 해설

유입 아세톤 25 kmol h^{-1} 중 80%인 20 kmol h^{-1}이 액체로 회수된다. 제품의 아세톤 20 mol%는 **물과 아세톤을 합한 유량**을 기준으로 하므로, 제품 100 kmol h^{-1}에서 아세톤을 뺀 물의 공급량은 80 kmol h^{-1}이다.

NoteBase

계산 과정

흐름도에서 L_a는 탑 상부로 공급되는 순수한 물, L_b는 바닥으로 배출되는 수용액의 몰 유량이다. y_b와 x_b는 각각 유입 기체와 배출 수용액의 아세톤 몰분율이다. 물은 증발하지 않고 공기는 물에 용해되지 않으므로, 배출 수용액은 **공급한 물과 흡수된 아세톤**으로 이루어진다.

1. 아세톤 회수량: 유입 아세톤의 몰 유량은 $V_b y_b$이므로 $125 \times 0.20 = 25$ kmol h^{-1}이다. 이 중 80%를 회수하므로 수용액으로 이동하는 아세톤은 $25 \times 0.80 = 20$ kmol h^{-1}이다. 회수율 80%의 기준은 전체 유입 기체가 아니라 **유입 아세톤의 양**이다.

2. 제품 수용액의 전체 유량: 아세톤 몰분율은 아세톤 유량을 물과 아세톤의 전체 유량으로 나눈 값이다. 따라서 $x_b = \frac{20}{L_b} = 0.20$이며, $L_b = \frac{20}{0.20} = 100$ kmol h^{-1}이다. 이 값은 **순수한 물의 유량이 아니라 제품 전체 유량**이다.

3. 순수한 물의 공급량: 제품 100 kmol h^{-1} 중 아세톤이 20 kmol h^{-1}이므로 물은 $100 - 20 = 80$ kmol h^{-1}이다. 물의 증발이 없으므로 공급한 물이 모두 제품에 남아 $L_a = L_b(1 - x_b)$가 성립한다. 필요한 순수한 물의 몰 유량은 80 kmol h^{-1}이며, 선택지 ②의 80에 해당한다.

NoteBase

문 8. 열전달 해석에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① Nusselt 수는 대류 열전달 저항에 대한 전도 열전달 저항의 비이다.

② Prandtl 수는 열확산계수에 대한 운동량확산계수의 비이다.

③ 평평한 표면을 지나는 층류에 의한 대류 열전달에서 유체동역학적 경계층의 두께와 열경계층의 두께의 관계는 Reynolds 수에 의존한다.

④ 자연대류를 해석하기 위한 무차원수에 유체 속도는 포함되지 않는다.

정답 3번

간단한 해설

평판 층류에서 유체동역학적 경계층과 열경계층의 상대 두께를 결정하는 것은 **Reynolds 수가 아니라 Prandtl 수**이다. Prandtl 수는 운동량과 열이 각각 얼마나 빠르게 확산되는지를 비교하는 값이다.

선지별 해설

① O: Nusselt 수는 같은 유체의 전도만을 기준으로 했을 때 대류에 의한 열전달이 얼마나 큰지를 나타낸다. 특성길이 L, 면적 A, 유체의 열전도도 k, 대류 열전달계수 h에 대해 기준 전도저항은 $R_{\text{cond}} = \frac{L}{kA}$, 대류저항은 $R_{\text{conv}} = \frac{1}{hA}$이다. 따라서 $Nu = \frac{R_{\text{cond}}}{R_{\text{conv}}} = \frac{hL}{k}$로, **전도저항을 대류저항으로 나눈 비**이다.

② O: 운동량확산계수인 동점성계수를 ν, 열확산계수를 α라 하면 $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$이다. 즉 Prandtl 수는 **열확산에 대한 운동량확산의 상대적 빠르기**를 나타낸다. 값이 클수록 열보다 운동량이 상대적으로 빠르게 확산된다.

③ X: 평판을 지나는 층류에서 두 경계층의 상대 두께는 **Prandtl 수에 의존한다**. 물성이 일정하고 두 경계층이 같은 선단에서 발달하는 표준적인 조건에서는 Pr가 1보다 크면 열경계층이 유체동역학적 경계층보다 얇고, 1보다 작으면 더 두꺼우며, 1이면 두 두께가 같다. 이는 열확산과 운동량확산의 상대적 크기가 다르기 때문이다. Reynolds 수는 각 경계층의 두께와 유동 상태에 관여하지만, 두 경계층의 두께 비를 결정하는 수와 구별해야 한다.

④ O: 자연대류는 온도차에 따른 밀도차와 부력으로 유동이 발생하므로, 외부에서 주어진 유체 속도를 기준으로 하는 Reynolds 수 대신 주로 Grashof 수와 Prandtl 수를 사용한다. 대표적으로 $Gr = \frac{g\beta|T_s - T_\infty|L^3}{\nu^2}$이며, Rayleigh 수는 $Ra = Gr \cdot Pr$이다. 여기서 g는 중력가속도, β는 체적팽창계수, T_s와 T_∞는 표면과 멀리 떨어진 유체의 온도이다. 이들 수의 정의에는 **유체 속도가 직접 포함되지 않는다**. 이는 자연대류에서 유체가 움직이지 않는다는 뜻은 아니다.

NoteBase

문 9. 복사(radiation) 및 복합적인 열전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 흑체(black body)에 의해 방출되는 에너지는 절대온도의 4제곱에 비례한다.

② 흑체는 열복사를 반사하거나 투과하지 않는다.

③ 복사선이 공간을 통과할 때 물질에 흡수된 에너지만이 정량적으로 열로 변형되어 나타난다.

④ 단원자와 2원자 기체는 열복사를 투과하지 못하며, 이러한 기체를 통과하는 열 흐름은 전적으로 전도와 대류에 의해서만 일어난다.

정답 4번

간단한 해설

④의 '열복사를 투과하지 못한다'는 설명이 잘못되었다. 헬륨·아르곤 같은 단원자 기체와 질소·산소 같은 동종 2원자 기체는 보통의 열복사에 **거의 투명**하므로, 이러한 기체가 있는 공간에서도 **복사에 의한 열전달**이 가능하다.

선지별 해설

① O: 흑체의 단위 면적당 복사 방출률은 슈테판–볼츠만 법칙인 $E_b = \sigma T^4$를 따른다. 여기서 E_b는 단위 면적에서 단위 시간에 방출되는 복사 에너지, σ는 슈테판–볼츠만 상수, T는 K로 나타낸 절대온도이다. 따라서 면적과 방출 시간을 같게 두면 방출 에너지는 **절대온도의 4제곱에 비례**한다. 이는 흑체 자체의 방출량에 관한 관계이며, 주변에서 흡수하는 복사를 뺀 순열전달량과는 구별한다.

② O: 흑체는 파장이나 입사 방향에 관계없이 **입사한 복사 에너지를 모두 흡수**하는 이상적인 물체이다. 따라서 흡수율은 1이고 반사율과 투과율은 모두 0이다. 복사를 반사하거나 투과하지 않는다는 것은 복사를 방출하지 않는다는 뜻이 아니다.

③ O: 물질에 도달한 복사 에너지는 흡수·반사·투과되는 부분으로 나뉜다. 이 중 **흡수된 부분이 물질의 내부에너지로 전환**되어 가열에 기여한다. 반사되거나 그대로 투과한 에너지는 그 물질에 흡수되지 않았으므로 그 물질을 가열하는 에너지에 포함되지 않는다.

④ X: 헬륨·아르곤 같은 단원자 기체와 질소·산소 같은 동종 2원자 기체는 보통의 열복사 파장 영역에서 흡수와 방출이 매우 작아 **열복사를 거의 그대로 투과**시킨다. 따라서 이러한 기체를 사이에 둔 고온 물체와 저온 물체 사이에서도 복사 에너지가 전달될 수 있으며, 열전달이 전도와 대류에만 한정되지 않는다. 기체가 복사를 거의 흡수하지 않는다는 것과 복사가 그 기체를 통과하지 못한다는 것은 서로 다른 뜻이다.

NoteBase

문 10. 전도(conduction)와 대류(convection) 열전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 고체 금속 내에서 열전도는 자유전자의 운동에 기인한다.

② 대류에서 열전달계수(h)는 유체의 고유 물성(intrinsic property)으로서 유체의 역학적 흐름 형태와는 무관하게 일정한 값을 가진다.

③ Fourier 법칙에 따르면 1차원적 열 흐름에서 열플럭스(heat flux)는 온도구배(temperature gradient)에 비례한다.

④ 유체 내의 온도 차로 인해 밀도 차가 발생하고, 그로 인한 부력 때문에 흐름이 유발될 때, 이를 자연대류(natural convection)라고 한다.

정답 2번

간단한 해설

②의 열전달계수 h는 **유체만의 고유 물성이 아니다**. 유체의 물성뿐 아니라 **유속과 흐름 형태**, 전열면의 형상 등에도 영향을 받으므로 일정한 값으로 볼 수 없다.

선지별 해설

① O: 금속에서는 **자유전자가 에너지를 운반**하여 고온부에서 저온부로 열을 전달한다. 격자 진동도 열전도에 기여하지만, 일반적인 금속에서는 자유전자에 의한 전달이 주된 역할을 한다.

② X: 대류 열전달계수 h는 전열면과 유체 사이의 온도 차에 대해 단위 면적당 얼마나 많은 열이 전달되는지를 나타내는 계수이다. **유체의 물성과 유동 조건, 전열면의 형상 등에 따라 달라진다**. 같은 공기라도 유속이나 층류·난류 여부가 달라지면 h가 달라질 수 있으므로, '흐름 형태와 무관한 고유 물성으로서 일정하다'는 설명을 이렇게 고쳐야 한다.

③ O: 1차원 전도의 Fourier 법칙은 $q''_x = -k\frac{dT}{dx}$이다. 여기서 q''_x는 x방향 열플럭스, k는 열전도도, dT/dx는 온도구배이다. 열전도도가 같을 때 열플럭스의 크기는 온도구배의 크기에 비례한다. 음의 부호는 열이 **온도가 낮아지는 방향**으로 흐른다는 뜻이다.

④ O: 온도 차로 유체의 밀도가 달라지면 중력장에서 부력이 발생하여 유체가 움직일 수 있다. 이처럼 **온도 차에 따른 부력이 흐름을 유발**하는 열전달이 자연대류이다. 펌프나 송풍기 등 외부 장치로 유동을 만드는 강제대류와 흐름의 발생 원인이 다르다.

NoteBase

문 11. 고체 내에서 물질 확산에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 빈자리 확산에서는 원자가 고체의 한 격자 위치에서 이웃하는 빈자리로 이동한다.
ㄴ. 빈자리 확산과 틈새 확산은 고체 내 물질 확산을 설명하는 메커니즘이다.
ㄷ. 확산계수는 온도가 증가함에 따라 증가한다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 4번

간단한 해설

고체 내 확산에서는 원자가 이동에 필요한 에너지 장벽을 넘어야 한다. **온도가 높아지면 이 장벽을 넘는 원자의 비율이 커져** 확산계수가 증가한다.

보기별 해설

ㄱ. O: 빈자리는 원자가 있어야 할 격자 위치가 비어 있는 결함이다. 빈자리 확산에서는 **이웃한 격자 위치의 원자가 빈자리로 이동**하고, 원자가 떠난 위치가 새로운 빈자리가 된다. 이 과정이 반복되면서 원자가 고체 내부를 이동한다.

ㄴ. O: 빈자리 확산과 틈새 확산은 모두 고체 내 원자의 이동을 설명하는 메커니즘이다. 빈자리 확산이 비어 있는 격자 위치를 이용하는 데 비해, 틈새 확산에서는 비교적 작은 원자가 **격자 원자 사이의 틈새 위치에서 다른 틈새 위치로 이동**한다.

ㄷ. O: 확산계수는 원자가 얼마나 쉽게 확산하는지를 나타내는 물성이다. 원자가 한 위치에서 다른 위치로 이동하려면 에너지 장벽을 넘어야 한다. 같은 고체상과 확산 메커니즘에서 **온도가 높아지면 에너지 장벽을 넘을 수 있는 원자의 비율이 증가**하므로 확산계수가 커진다.

ㄱ, ㄴ, ㄷ이 모두 옳으며, 이를 모두 포함하는 조합은 ④이다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 평행한 두 평판 사이의 유체가 정상상태에서 전단응력을 받고 있다. 이 유체는 비압축성이고, Bingham 유체이며, 항복응력은 100 N m^{-2}, 점도는 5,000 Pa s의 값을 가진다. 두 평판의 간격은 0.2 m를 유지하며 하부 평판은 고정되어 있고, 상부 평판은 유체에 150 N m^{-2}의 전단응력을 가하며 이동한다. 상부 평판의 이동 속도 [m s^{-1}]는? (단, 두 평판은 충분히 길고 넓어서 끝부분과 측면의 영향은 무시한다)



① 0.001

② 0.002

③ 0.005

④ 0.010

정답 2번

간단한 해설

Bingham 유체에서는 가해진 전단응력 중 **항복응력을 초과한 부분**이 전단속도를 결정한다. 150 − 100 = 50 Pa를 점도로 나누어 전단속도를 구하고 평판 간격을 곱하면, 상부 평판의 이동 속도는 0.002 m/s이다.

계산 과정

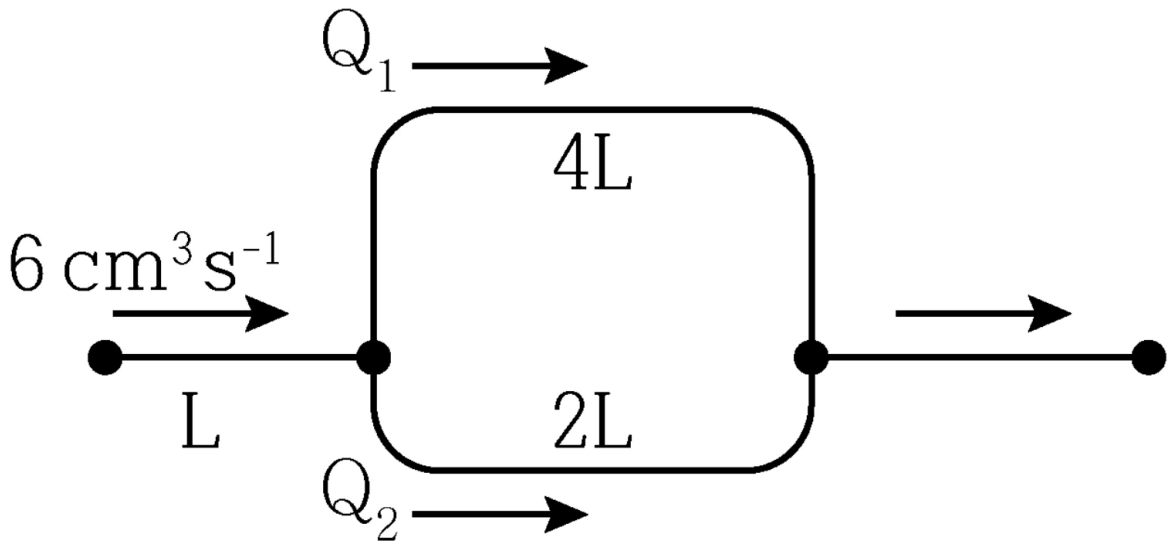
1. Bingham 유체의 관계식 적용: 항복응력은 유체가 전단변형을 시작하기 위해 넘어야 하는 응력이다. 가해진 전단응력 150 Pa는 항복응력 100 Pa보다 크므로 유체가 흐른다. 이때 전단응력의 크기는 $\tau = \tau_y + \mu_p\dot{\gamma}$를 따른다. 여기서 τ_y는 항복응력, μ_p는 소성점도이며, 문제에서 주어진 5,000 Pa·s를 사용한다. $\dot{\gamma}$는 평판에 수직인 방향으로 속도가 변하는 비율인 전단속도이다.

2. 전단속도 계산: 점성에 의한 전단응력은 전체 응력에서 **항복응력을 뺀 값**이므로 150 − 100 = 50 Pa이다. 따라서 $\dot{\gamma} = \frac{\tau - \tau_y}{\mu_p} = \frac{150-100}{5{,}000} = 0.01\text{s}^{-1}$이다. 이 값은 평판 사이에서 단위 거리당 유체 속도가 얼마나 증가하는지를 뜻한다.

3. 상부 평판 속도 계산: 그림의 속도분포는 고정된 하부 평판에서 위로 갈수록 직선적으로 증가한다. 평판과 유체 사이에 미끄럼이 없는 경계조건을 적용하면 하부 유체 속도는 0이고, 상부 유체 속도는 상부 평판 속도 U와 같다. 간격을 H = 0.2 m라 하면 $\dot{\gamma} = \frac{U}{H}$이므로 $U = H\dot{\gamma}$이다. 따라서 U = 0.2 × 0.01 = 0.002 m/s이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 13. 그림과 같이 비압축성 Newton 유체가 수평 유로 네트워크를 등온, 정상상태, 완전발달 층류로 흐른다. 유체는 6 cm^3 s^{-1}의 유량으로 주입되며, 길이 L인 유로는 각각 길이가 4L, 2L인 유로로 나뉜 후 다시 합쳐진다. 모든 유로는 원형관이고, 단면적이 동일할 때, 유량 Q_1[cm^3 s^{-1}]은? (단, 벽면에서의 마찰손실 외의 손실은 무시한다)



① 1

② 1.5

③ 2

④ 3

정답 3번

간단한 해설

두 분기 유로는 **압력강하가 같고**, 관의 단면적도 같으므로 완전발달 층류의 유량은 **유로 길이에 반비례**한다. 길이가 4L인 위쪽 유로와 2L인 아래쪽 유로의 유량비는 1 : 2이므로, 총유량 6 cm^3/s 중 위쪽으로 2 cm^3/s가 흐른다.

NoteBase

계산 과정

1. 분기 유로의 압력강하: 그림에서 위쪽 4L 유로와 아래쪽 2L 유로는 동일한 분기점에서 출발하여 동일한 합류점으로 이어진다. 따라서 두 유로의 **양 끝 압력차가 같다**. 수평 유로이므로 위치에너지 차이가 없고, 벽면 마찰 외의 손실은 문제의 조건에 따라 무시한다.

2. 층류의 압력차와 유량 관계: Newton 유체가 원형관에서 정상상태의 완전발달 층류로 흐르므로 Hagen–Poiseuille 식 $\Delta P = \frac{8\mu \ell Q}{\pi r^4}$를 적용한다. 여기서 μ는 점도, ℓ은 관 길이, r은 관 반지름, Q는 체적유량이다. 같은 유체가 등온으로 흐르고 모든 관의 단면적이 같으므로 점도와 반지름이 공통이다. 따라서 **같은 압력차에서 유량은 관 길이에 반비례**한다.

3. 두 분기 유량의 관계: 위쪽 유량을 Q_1, 아래쪽 유량을 Q_2라 하면, 압력강하가 같다는 조건에서 $4L \cdot Q_1 = 2L \cdot Q_2$이다. 따라서 $Q_2 = 2Q_1$이며, 길이가 절반인 아래쪽 유로에 위쪽의 두 배 유량이 흐른다.

4. 연속식으로 유량 계산: 비압축성 유체의 정상 흐름에서는 분기점에 유체가 축적되지 않으므로 $Q_1 + Q_2 = 6$이다. 유량의 단위를 cm^3/s로 통일하여 대입하면 $Q_1 + 2Q_1 = 6$에서 $Q_1 = 2$를 얻는다. 분기 전 길이 L인 관에는 총유량 6 cm^3/s가 흐르며, 이 공통 구간의 길이는 두 분기 사이의 유량비를 바꾸지 않는다. 구하는 위쪽 유량은 2 cm^3/s로, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 유체역학에서 유동장(flow field)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 장(field)이란 주어진 영역에서 에너지와 시간의 함수로 정의되는 양을 말한다.

② 유체 내 모든 점에서의 흐름이 시간과 무관할 때, 이를 정상상태(steady state)라 한다.

③ 유선(streamline)은 유동장 내에 있는 각 점의 속도 벡터에 접하게 그려진 선으로 정의된다.

④ Euler 법에서 속도 표현은 3차원 공간의 좌표축 x, y, z축과 시간 t를 독립변수로 해서 유체의 속도장 v를 $v(x, y, z, t)$의 형태로 나타낸다.

정답 1번

간단한 해설

①의 '에너지와 시간의 함수'는 장의 정의에 맞지 않는다. 장은 주어진 영역의 **공간 위치와 시간**에 따라 물리량의 값을 나타낸 것이다.

선지별 해설

① X: 장은 주어진 영역의 각 위치에서 물리량이 어떤 값을 갖는지 나타내며, 일반적으로 **공간 좌표와 시간을 독립변수**로 한다. 예를 들어 온도장은 위치와 시간에 따른 온도를, 속도장은 위치와 시간에 따른 속도 벡터를 나타낸다. 따라서 '에너지와 시간의 함수'는 '공간 위치와 시간의 함수'로 고쳐야 한다.

② O: 정상상태에서는 **고정된 각 위치의 유동 특성이 시간에 따라 변하지 않는다**. 다만 서로 다른 위치에서 속도가 같아야 하는 것은 아니다. 예를 들어 관이 좁아지는 구간에서 위치에 따라 속도가 달라도, 각 위치의 속도가 시간에 따라 일정하게 유지되면 정상유동이다.

③ O: 유선은 **같은 순간의 속도 벡터에 접하는 곡선**이다. 즉, 유선 위 각 점에서 곡선의 접선 방향은 그 점의 순간적인 유속 방향과 일치한다. 시간에 따라 변하는 유동장에서는 유선의 모양도 달라질 수 있다.

④ O: Euler 법은 **공간의 고정된 위치에서** 유체의 속도 등 물리량을 관찰하는 방법이다. 따라서 공간 좌표와 시간을 독립변수로 하여 속도장을 $\vec{v} = \vec{v}(x, y, z, t)$로 나타낸다. 특정 유체 입자를 따라가며 그 운동을 기술하는 Lagrange 법과 구별된다.

NoteBase

문 15. 확산(diffusion)에 관한 설명으로 옳지 않은 것은?

① Fick의 확산 제1법칙에 의하면 1차원 확산에서 확산 몰플럭스는 농도구배에 의존한다.

② 전체 압력이 일정할 때, 서로 다른 기체 A와 B의 2성분계 등몰 상호확산(equimolar counter-diffusion)에서 A와 B의 확산속도는 크기가 같고, 방향만 반대이다.

③ Stokes-Einstein 식에 따른 액체 내의 물질 확산계수(D_{AB})는 온도(T)의 1.5제곱에 비례한다.

④ 난류 상태에서 다른 조성을 갖는 유체가 섞일 때 에디확산(eddy diffusion)이 일어난다.

정답 3번

간단한 해설

Stokes–Einstein 식에서 확산계수는 입자 크기가 일정할 때 **절대온도에 비례하고 액체의 점도에 반비례**한다. 따라서 점도까지 일정하게 두면 온도의 1제곱에 비례하며, ③의 '1.5제곱에 비례한다'는 설명은 잘못이다.

선지별 해설

① O: Fick의 확산 제1법칙은 $J_{A,z} = -D_{AB}\frac{dc_A}{dz}$이다. 여기서 $J_{A,z}$는 몰평균 운동을 기준으로 한 A의 확산 몰플럭스, D_{AB}는 확산계수, c_A는 A의 몰농도이다. 확산 몰플럭스는 농도구배에 비례하며, 음의 부호는 **농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로** 확산한다는 뜻이다.

② O: 등몰 상호확산은 A와 B가 반대 방향으로 같은 몰수만큼 이동하는 현상이다. 여기서 확산속도는 단위 면적·시간당 몰 이동량인 몰플럭스를 뜻한다. 따라서 $N_A = -N_B$이고, **전체 몰플럭스는 0**이다. A가 한 방향으로 이동하는 만큼 B가 반대 방향으로 이동하므로 두 몰플럭스의 크기는 같다.

③ X: 희석 용액에서 용질을 구형 입자로 보는 Stokes–Einstein 식은 $D_{AB} = \frac{k_B T}{6\pi\mu_B r_A}$이다. 여기서 k_B는 볼츠만 상수, T는 절대온도, μ_B는 액체 B의 점도, r_A는 용질 A의 유효 유체역학적 반지름이다. 입자 크기가 일정하면 $D_{AB} \propto T/\mu_B$이므로, 점도도 일정한 조건에서는 **절대온도의 1제곱에 비례**한다. 실제로 온도가 변할 때에는 점도의 변화도 함께 고려해야 하며, 이 식에서 온도의 1.5제곱에 비례한다는 관계가 나오지는 않는다.

④ O: 난류에서는 불규칙한 소용돌이인 에디가 유체 덩어리를 이동시킨다. 서로 조성이 다른 유체 덩어리들이 위치를 바꾸면서 물질이 전달되는 것이 에디확산이다. 이는 개별 분자의 열운동에 의한 분자확산과 달리 **유체 덩어리의 혼합**으로 물질을 전달하는 과정이다.

NoteBase

문 16. 지름 10 mm, 길이가 2.0 m인 실제 원형관에서 비압축성 Newton 유체가 등온, 정상상태, 완전발달 층류로 흐른다. 실제 원형관에서 평균 유속은 5.0 cm s^{-1}이고, 입구와 출구 사이의 압력강하는 4.0 kPa이다. 동일한 유체가 지름 1.0 mm, 길이가 10 cm의 모형 원형관에서 정상상태의 완전발달 층류로 흐를 때, 실제 원형관에서와 Reynolds 수가 같도록 하기 위한 모형 원형관의 압력강하[kPa]는? (단, 관 내 흐름에서 입출구 효과는 없고, 두 원형관은 수평관이다)

① 80

② 120

③ 160

④ 200

정답 4번

간단한 해설

동일한 유체에서 Reynolds 수를 같게 하려면 **평균 유속과 관 지름의 곱**이 같아야 하므로, 모형관의 평균 유속은 실제 관의 10배가 된다. 완전발달 층류의 압력강하는 LU/D^2에 비례하므로, 길이와 지름의 변화까지 반영한 모형관의 압력강하는 **200 kPa**이다.

계산 과정

1. 조건과 변수: 실제 관을 아래첨자 p, 모형관을 m으로 나타내고, D는 관 지름, L은 관 길이, U는 평균 유속으로 둔다. 실제 관은 $D_p = 0.010$ m, $L_p = 2.0$ m, $U_p = 0.050$ m/s, $\Delta p_p = 4.0$ kPa이다. 모형관은 $D_m = 0.0010$ m, $L_m = 0.10$ m이다.

2. Reynolds 수 일치: 밀도를 ρ, 점도를 μ라 하면 $Re = \frac{\rho UD}{\mu}$이다. 동일한 유체의 물성을 같게 두므로 Reynolds 수가 같다는 조건은 $U_m D_m = U_p D_p$가 된다. 따라서 $\frac{U_m}{U_p} = \frac{D_p}{D_m} = 10$이며, 모형관의 평균 유속은 0.50 m/s이다. 관이 가늘어졌으므로 **같은 Reynolds 수를 유지하려면 유속이 커져야 한다**.

3. 압력강하 관계: 비압축성 Newton 유체의 정상상태 완전발달 원형관 층류에는 Hagen–Poiseuille 관계 $\Delta p = \frac{32\mu LU}{D^2}$를 적용한다. 수평관이므로 높이 차에 따른 압력 변화가 없고, 입출구 효과도 제외되어 관 마찰에 의한 압력강하를 계산하면 된다. 같은 점도에서 압력강하는 **관 길이와 평균 유속에 비례하고 관 지름의 제곱에 반비례한다**.

4. 모형관의 압력강하: 두 관의 압력강하 비는 $\frac{\Delta p_m}{\Delta p_p} = \frac{L_m}{L_p}\frac{U_m}{U_p}\left(\frac{D_p}{D_m}\right)^2$이다. 길이 비는 $\frac{0.10}{2.0} = 0.050$, 유속 비는 10, 지름 비의 제곱은 $10^2 = 100$이므로 압력강하 비는 $0.050 \times 10 \times 100 = 50$이다. 즉, 모형관은 더 짧지만 가늘고 유속이 빨라 압력강하가 실제 관의 50배가 된다. 따라서 모형관의 압력강하는 $4.0 \times 50 = 200$ kPa로, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 기체흡수탑 내에서 압력 영향과 온도 변화에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 기체의 평형 몰분율은 전체 압력(total pressure)에 반비례한다.
ㄴ. 농후기체가 기체흡수탑에 공급되면 탑의 온도는 밑바닥과 꼭대기 사이에서 변화하지 않는다.
ㄷ. 고압에서는 액체 내 용질이 저압에 비해 높은 용해도를 갖는다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 2번

간단한 해설

온도와 액체 조성이 같으면 기체의 평형 몰분율은 **전체 압력에 반비례**하며, 온도와 공급 기체 조성이 같으면 압력을 높일수록 기체의 용해도가 커진다. 농후기체를 흡수할 때는 **흡수열에 따른 온도 변화**를 무시할 수 없다.

보기별 해설

ㄱ. O: 기체의 평형 몰분율은 주어진 액체와 평형을 이루는 기체 속 용질의 몰분율이다. 헨리 법칙이 적용되는 범위에서 용질의 평형 분압은 $p_A^* = Hx_A$이고, 평형 기체 몰분율은 $y_A^* = \frac{Hx_A}{P}$이다. 여기서 H는 헨리 상수, x_A는 액체 속 용질 몰분율, P는 전체 압력이다. **온도와 액체 조성이 일정하면** H와 x_A가 일정하므로, 전체 압력이 커질수록 평형 기체 몰분율은 그에 반비례하여 작아진다.

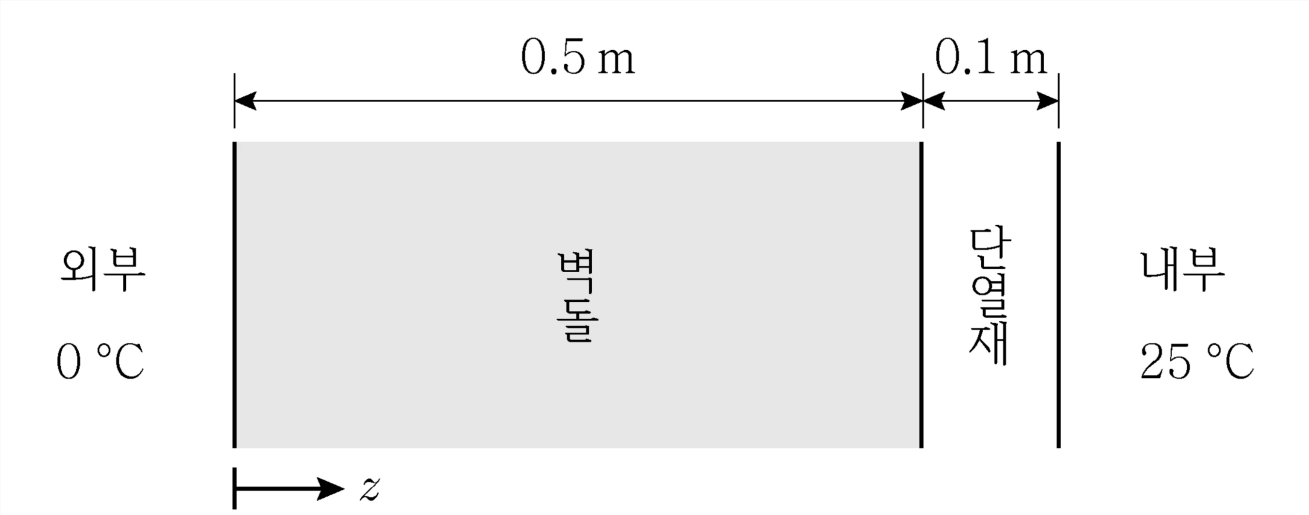
ㄴ. X: 농후기체는 용질 농도가 높은 기체이므로 흡수되는 용질량이 많아 흡수열의 영향이 커질 수 있다. 기체흡수는 일반적으로 발열 과정이어서 충분히 냉각하지 않으면 유체의 온도가 상승하고, 탑 높이에 따라 온도가 달라진다. 따라서 농후기체를 공급하는 흡수탑은 **일반적으로 비등온으로 다루어야 한다**. 온도 변화를 무시하는 등온 근사는 흡수열의 영향이 작은 희박기체 흡수 등에서 가능하다.

ㄷ. O: **온도와 기체 조성이 같을 때** 전체 압력을 높이면 용질의 분압도 커진다. 헨리 법칙을 적용하면 액체의 평형 용질 몰분율은 $x_A^* = \frac{y_A P}{H}$이다. 여기서 y_A는 기체 속 용질 몰분율이다. 같은 온도에서 용질 분압이 높을수록 액체에 더 많은 용질이 녹을 수 있으므로, 압력 증가는 기체흡수에 유리하다.

옳은 보기는 ㄱ, ㄷ이며, 이 조합은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 18. 그림과 같이 벽돌과 단열재로 구성된 건물 벽이 있다. 벽돌과 단열재의 두께는 각각 0.5 m, 0.1 m이다. 이 건물의 벽돌 외부 표면온도는 0 °C, 건물 내부의 표면온도가 25 °C로 유지된다면, 이 벽을 통한 단위 면적당 열 손실량[W m^{-2}]은? (단, 열 흐름은 정상상태이며, 벽돌과 단열재의 깊이와 높이가 두께에 비해 매우 커서 z방향으로 1차원 열전도만 일어난다. 벽돌과 단열재의 열전도도[W m^{-1} K^{-1}]는 각각 1.00와 0.05이다. 벽돌과 단열재의 계면에서 접촉 열저항은 없다)



① 5.0

② 10.0

③ 15.0

④ 20.0

정답 2번

간단한 해설

벽돌과 단열재를 차례로 통과하므로 두 층의 **전도 열저항을 더한다**. 단위 면적 기준 총 열저항은 2.5 $m^2 \cdot K/W$이고 표면 사이 온도차는 25 K이므로, 단위 면적당 열 손실량은 10.0 W/m^2이다.

NoteBase

계산 과정

열전도 관계: 그림에서 열은 25 °C인 내부 표면에서 단열재와 벽돌을 거쳐 0 °C인 외부 표면으로 흐른다. 정상상태의 1차원 전도이므로 **두 층을 지나는 열유속은 같다**. 두께를 L, 열전도도를 k라 하면 단위 면적 기준 전도 열저항은 $r = \frac{L}{k}$이다. 두 층은 열 흐름 방향으로 직렬 연결되어 있으므로 열저항을 더하며, 접촉 열저항은 없다. 주어진 온도는 벽의 표면온도이므로 대류 열저항을 추가하지 않는다.

벽돌의 열저항: 두께 0.5 m와 열전도도 1.00 W/(m·K)를 적용하면 $r_{\mathrm{b}} = \frac{0.5}{1.00} = 0.5\ \mathrm{m^2 \cdot K/W}$이다.

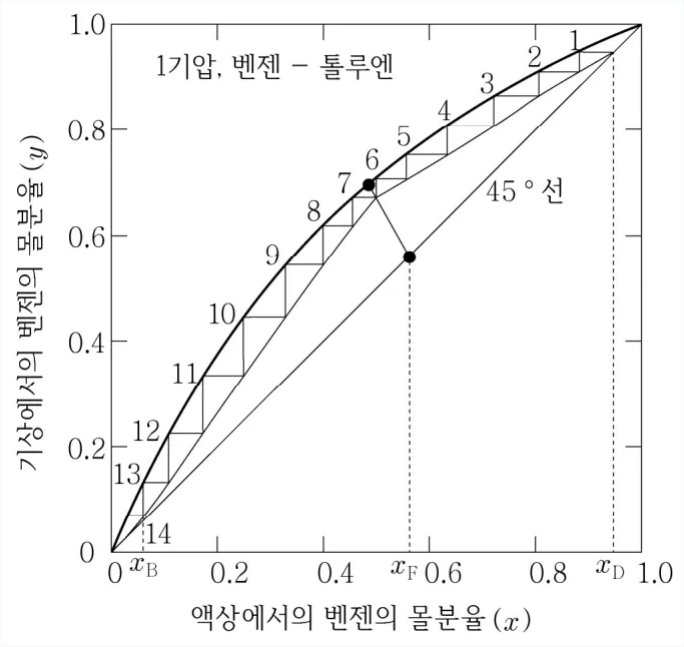
단열재의 열저항: 두께 0.1 m와 열전도도 0.05 W/(m·K)를 적용하면 $r_{\mathrm{i}} = \frac{0.1}{0.05} = 2.0\ \mathrm{m^2 \cdot K/W}$이다. 단열재는 벽돌보다 얇지만 **열전도도가 작아 열저항은 더 크다**.

전체 열저항과 온도차: 두 층을 합한 열저항은 $r_{\mathrm{tot}} = r_{\mathrm{b}} + r_{\mathrm{i}}$이므로 $0.5 + 2.0 = 2.5\ \mathrm{m^2 \cdot K/W}$이다. 열전도를 일으키는 양 끝 표면의 온도차는 $25 - 0 = 25$ K이다. 섭씨 온도차와 절대온도차의 수치는 같다.

단위 면적당 열 손실량: 열유속의 크기는 온도차를 전체 열저항으로 나눈 값이므로 $q'' = \frac{\Delta T}{r_{\mathrm{tot}}} = \frac{25}{2.5} = 10.0$ W/m^{2}이다. 이는 벽 1 m^{2}당 외부로 10.0 W의 열이 빠져나간다는 뜻이며, ②의 10.0에 해당한다.

NoteBase

문 19. 그림은 벤젠과 톨루엔의 혼합물을 분리하기 위한 증류탑 설계에 따른 McCabe-Thiele 도표이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, x_B, x_D, x_F는 각각 탑밑 제품, 탑위 제품, 공급원료에서 벤젠의 몰분율이다)



① 환류비를 증가시키면 증류에 필요한 단수는 줄어든다.

② 단의 온도는 9번 단이 2번 단보다 높다.

③ 공급원료는 2상 혼합물이다.

④ 공급원료의 온도가 낮아질수록 정류부(rectifying section)의 단수는 증가한다.

정답 4번

간단한 해설

같은 환류비와 제품 조성을 유지하면서 공급원료를 냉각하면 액체 비율이 커져 공급단의 위치가 탑 위쪽으로 이동한다. 따라서 정류부에 필요한 단수는 **증가하는 것이 아니라 감소한다**.

NoteBase

선지별 해설

이 도표에서 x와 y는 각각 액체와 증기에 포함된 벤젠의 몰분율이다. 평형곡선과 조작선 사이에 그린 계단 하나가 하나의 이론단을 나타낸다.

① O: 환류비는 탑위 제품 유량에 대한 환류액 유량의 비이다. 같은 분리 목표에서 환류비 R을 높이면 정류부 조작선 $y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$이 45°선에 가까워진다. 평형곡선과 조작선 사이의 간격이 커져 한 단에서 얻는 조성 변화가 커지므로 **필요한 이론단수가 줄어든다**.

② O: 그림의 단 번호는 탑 위쪽의 1번에서 아래쪽으로 증가한다. 9번 단은 2번 단보다 벤젠의 몰분율이 작고, 상대적으로 끓는점이 높은 톨루엔의 비율이 크다. 그림의 같은 압력인 1기압에서 톨루엔 비율이 커질수록 혼합물의 비등 온도가 높아지므로 **9번 단의 온도가 더 높다**.

③ O: 공급원료 조성에 해당하는 45°선 위의 점에서 두 조작선의 교점으로 이어지는 공급선은 **기울기가 음수**이다. 공급선의 기울기는 $\frac{q}{q-1}$이며, q는 원료의 열적 상태를 나타내는 값이다. 음의 기울기는 $0 < q < 1$을 뜻한다. 이 범위에서 q는 원료의 액체 몰분율에 해당하므로 공급원료에는 액체와 증기가 함께 존재한다.

④ X: 정류부는 공급단 위쪽의 구간이다. 원료 조성·압력·제품 조성·환류비를 같게 두고 공급원료의 온도를 낮추면 증기의 일부가 응축하여 액체 비율 q가 커진다. 정류부 조작선은 그대로인 반면, 공급선과 정류부 조작선의 교점은 그림의 오른쪽 위로 이동한다. 따라서 탑위 제품 조성에서 계단을 그릴 때 더 적은 단을 거쳐 공급단에 도달하므로, 정류부 단수는 **감소하는 방향으로 변한다**. 원료 냉각에 따른 재비기 열부하 증가를 정류부 단수 증가와 혼동해서는 안 된다.

NoteBase

문 20. 용매가 수평원형관을 Reynolds 수가 1인 층류로 흐르고, 관벽으로부터 용질이 용매로 확산되고 있다. 용매에 대한 용질의 확산계수는 2×10^{-9} m^2 s^{-1}이고, Schmidt 수는 500이다. 계의 물질전달계수(k_c), 평균 유속(U), Fanning 마찰계수(f)의 관계가 다음과 같을 때, Sherwood 수는?

$\frac{k_c}{U}=\frac{f}{2}$

① 500

② 1,000

③ 2,000

④ 4,000

정답 4번

간단한 해설

원형관 층류의 **Fanning 마찰계수** $f=16/\mathrm{Re}$를 주어진 관계에 대입하면 $\mathrm{Sh}=8\mathrm{Sc}$가 된다. Schmidt 수가 500이므로 Sherwood 수는 **단위가 없는 값 4,000**이다.

계산 과정

무차원수의 정의: 관의 지름을 d, 용매의 동점도를 ν, 용질의 확산계수를 D_{AB}라 두면 $\mathrm{Re}=Ud/\nu$, $\mathrm{Sc}=\nu/D_{AB}$, $\mathrm{Sh}=k_c d/D_{AB}$이다. 주어진 값은 Reynolds 수 1, Schmidt 수 500, 확산계수 $D_{AB}=2\times10^{-9}\mathrm{m}^2/\mathrm{s}$이다. 세 무차원수에는 같은 관 지름과 물성을 사용한다.

마찰계수 계산: 원형관의 완전 발달 층류 관계 $f=16/\mathrm{Re}$를 적용하면 $f=16/1=16$이다. 여기서 사용하는 것은 **Fanning 마찰계수**이며, Darcy 마찰계수의 관계 64/Re와 구별해야 한다. 문제에서 주어진 $k_c/U=f/2$에 대입하면 $k_c/U=16/2=8$이다.

Sherwood 수로 변환: 정의식을 곱하면 $\mathrm{Re}\cdot\mathrm{Sc}=Ud/D_{AB}$이므로, $\mathrm{Sh}=(k_c/U)\mathrm{Re}\cdot\mathrm{Sc}$로 쓸 수 있다. 이는 물질전달계수와 유속의 비를 Sherwood 수에 연결하는 관계이다. 확산계수는 이미 Schmidt 수에 포함되어 있으므로 **별도로 다시 대입할 필요가 없다**.

수치 대입: $\mathrm{Sh}=8\cdot1\cdot500=4{,}000$이다. Sherwood 수는 물질전달계수를 확산계수와 관 지름으로 무차원화한 값이므로 단위가 없으며, 선택지 ④의 4,000에 해당한다.

NoteBase

문 21. 반지름이 R인 원통형 실린더 내부에서 단위 부피당 일정한 속도로 열이 발생한다. 열은 실린더의 반지름 방향으로만 전달되고, 정상상태 온도 분포는 다음과 같이 주어진다. 실린더의 열전도도가 온도와 상관없이 5 W m^{-1} K^{-1}로 일정할 때, 단위 부피당 열 에너지 발생 속도 [kW m^{-3}]는?

$T = 1{,}000(5.2 - 5r^2 + \ln r)$
T는 실린더 내부 중심으로부터 r [m]만큼 떨어진 곳의 온도 [°C]이다.

① 1
② 10
③ 100
④ 1,000

정답 3번

간단한 해설

원통의 반지름 방향 전도에서는 **반지름에 따른 전열면적 변화**를 반영하여 온도 분포를 미분한다. 주어진 분포의 로그항은 체적 발열률 계산에서 소거되며, 열전도도 5 W m^{-1} K^{-1}를 적용하면 발열률은 **100 kW m^{-3}**이다.

계산 과정

1. 열수지식 적용: 단위 부피당 열 에너지 발생 속도를 $\dot{q}_V$, 열전도도를 k라 하자. 정상상태에서는 열이 축적되지 않으므로 발생한 열만큼 전도로 빠져나간다. **반지름 방향으로만 열이 전달되고 k가 일정**하므로 원통 좌표계의 열전도식은 $\dot{q}_V = -\frac{k}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right)$이다. 원통의 전열면적이 반지름에 비례하므로 단순히 온도의 2차 미분만 사용하지 않는다.

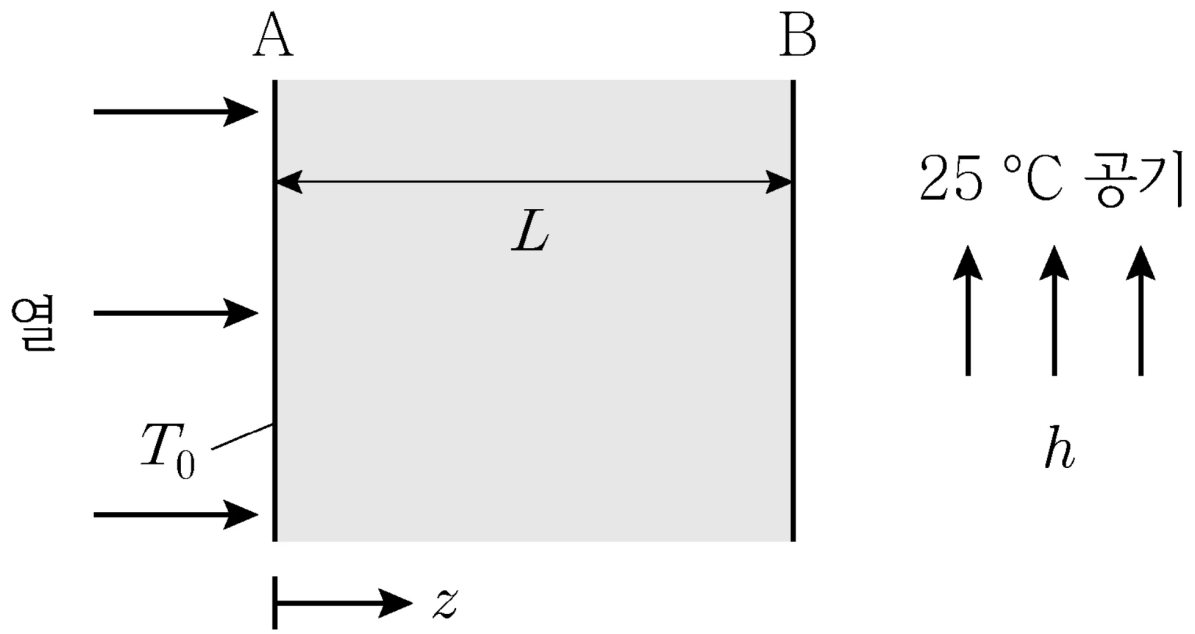
2. 온도 분포 미분: 주어진 $T = 1{,}000(5.2 - 5r^2 + \ln r)$를 미분하면 $\frac{dT}{dr} = 1{,}000\left(-10r + \frac{1}{r}\right)$이다. 여기에 r을 곱하면 $r\frac{dT}{dr} = 1{,}000(-10r^2 + 1)$이 된다. 따라서 로그항에서 나온 부분은 **r을 곱한 뒤 상수**가 된다.

3. 원통 좌표계 미분항 계산: 앞의 식을 다시 미분하면 $\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right) = -20{,}000r$이다. 이를 r로 나누면 $\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dT}{dr}\right) = -20{,}000$으로, 위치에 무관한 일정한 값이 된다. 이 과정에서 상수항과 로그항은 체적 발열률에 기여하지 않는다.

4. 발열률과 단위 변환: k = 5 W m^{-1} K^{-1}를 적용하면 $\dot{q}_V = -5 \cdot (-20{,}000) = 100{,}000$ W m^{-3}이다. 온도차는 섭씨와 켈빈의 수치가 같으므로 미분값에 별도의 온도 단위 변환은 필요 없다. 1 kW = 1,000 W이므로 **체적 발열률은 100 kW m^{-3}**이며, 선택지 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 22. 그림과 같이 평면 벽의 한쪽 면(A)은 100 W m^{-2}의 균일한 열을 받으며, 일정한 온도 T_0를 유지하고 있다. 반대쪽 면(B)에서는 평균대류열전달계수(h)가 50 W m^{-2} K^{-1}인 25 °C 공기의 대류에 의해 열이 방출된다. 벽의 두께(L)와 벽의 열전도도(k)가 각각 10 cm와 10 W m^{-1} K^{-1}일 때, 정상상태 조건에서 A면의 온도 T_0[°C]는? (단, 전도는 z방향으로만 일어난다)



① 27.0

② 28.0

③ 30.0

④ 31.0

정답 2번

간단한 해설

정상상태에서는 벽을 통과하는 전도 열유속과 공기로 나가는 대류 열유속이 같다. 공기와 B면의 온도차 2 K에 벽 내부의 온도차 1 K를 더하면, A면은 공기보다 **3 K 높으므로 28.0 °C**이다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 열은 A면으로 들어와 벽을 통과한 뒤 B면에서 공기로 방출된다. 정상상태에서는 열이 축적되지 않으므로 **전도와 대류의 열유속이 모두 같다**. 단위면적당 열전달률인 열유속을 q''라 하면 그 값은 100 W m^{-2}이다. B면 온도를 T_B, 공기 온도를 T_∞라 두며, T_∞는 25 °C이다.

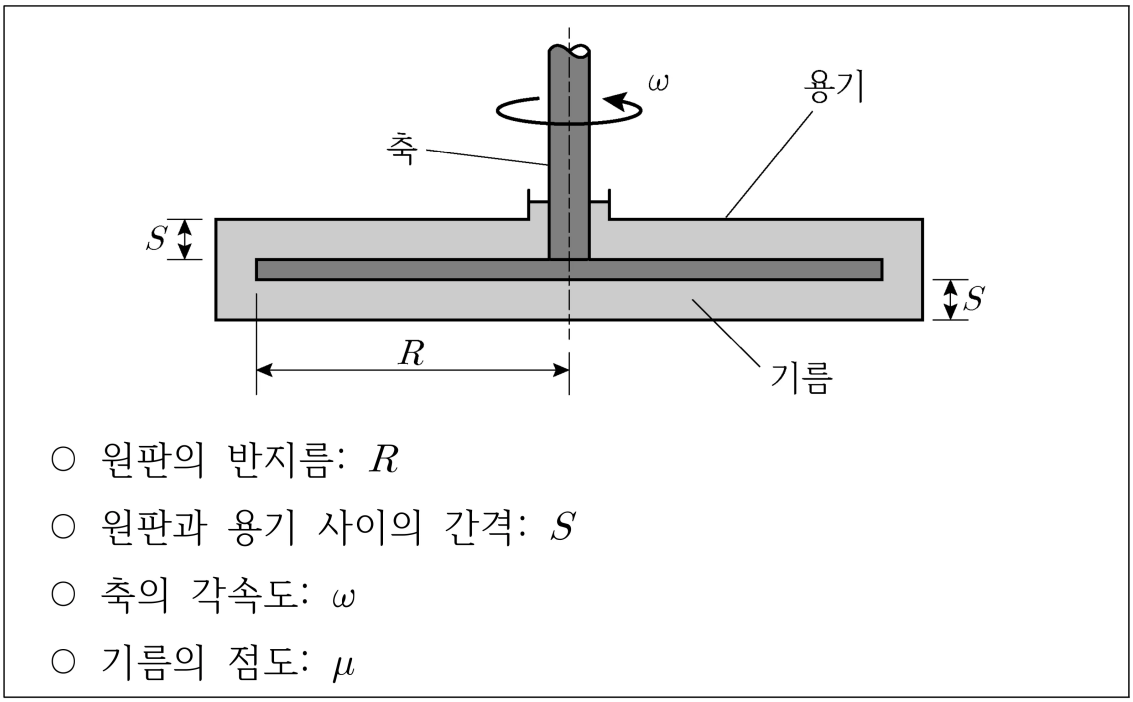
B면과 공기 사이에는 뉴턴의 냉각법칙 $q'' = h(T_B - T_\infty)$를 적용한다. 대류열전달계수는 50 W m^{-2} K^{-1}이므로 온도차는 $T_B - T_\infty = \frac{100}{50} = 2$K이다. 따라서 B면 온도는 25 + 2 = 27 °C이다. 이 2 K는 **벽 표면과 공기 사이의 온도차**이다.

벽 두께를 10 cm = 0.10 m로 바꾼다. 열전도도가 일정한 평면 벽의 정상 1차원 전도에는 푸리에 법칙 $q'' = k\frac{T_0 - T_B}{L}$을 적용한다. 열전도도는 10 W m^{-1} K^{-1}이므로 $T_0 - T_B = \frac{q''L}{k}$이고, $\frac{100 \cdot 0.10}{10} = 1$K이다. 열이 A면에서 B면으로 흐르므로 **A면이 B면보다 1 K 높다**.

온도차 1 K는 섭씨 온도차 1 °C와 같으므로 A면 온도는 T_0 = 27 + 1 = 28.0 °C이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 23. 그림과 같이 각운동(angular motion)을 하는 기기가 있다. 이 기기의 축에 연결된 원판은 유체에 의해 감쇠되며, 원판은 비압축성 Newton 유체인 기름을 가득 포함한 용기에 잠겨 있다. 감쇠 토크 T와 반지름 R 사이의 비례관계로 옳은 것은? (단, 간격 S는 판의 지름 D에 비해 매우 작아서 원판 위와 아래에 있는 기름의 속도 분포는 선형이다. 축의 지름은 원판의 지름에 비해 매우 작다. 감쇠는 원판 양쪽 면 전체 면에서만 일어나고, 축에서는 일어나지 않는다고 가정한다)



① $T \propto R$

② $T \propto R^2$

③ $T \propto R^4$

④ $T \propto R^{-1}$

정답 3번

간단한 해설

원판의 중심에서 멀어질수록 속도와 전단응력이 커지고, 토크를 만드는 모멘트팔도 길어진다. 고리 모양의 미소 면적에 작용하는 토크를 적분하면, 점도·각속도·간격이 일정할 때 감쇠 토크는 **반지름의 네제곱**에 비례한다.

NoteBase

계산 과정

속도 분포: 그림에서 원판의 위아래 간격은 각각 S이다. 기름의 점도를 μ, 원판의 각속도를 ω, 중심에서의 거리를 r라 하자. 원판 표면의 접선속도는 $u = \omega r$이고 용기 벽은 정지해 있다. 벽면에서 미끄럼이 없고 간격 내 속도 분포가 선형이므로, 속도 기울기의 크기는 $\omega r/S$이다.

전단응력: Newton 유체의 전단응력은 점도와 속도 기울기의 곱이다. 따라서 원판 표면에 작용하는 전단응력의 크기는 $\tau(r) = \mu\omega r/S$이다. 즉, 전단응력은 원판 전체에서 일정한 것이 아니라 **중심에서의 거리에 비례**한다.

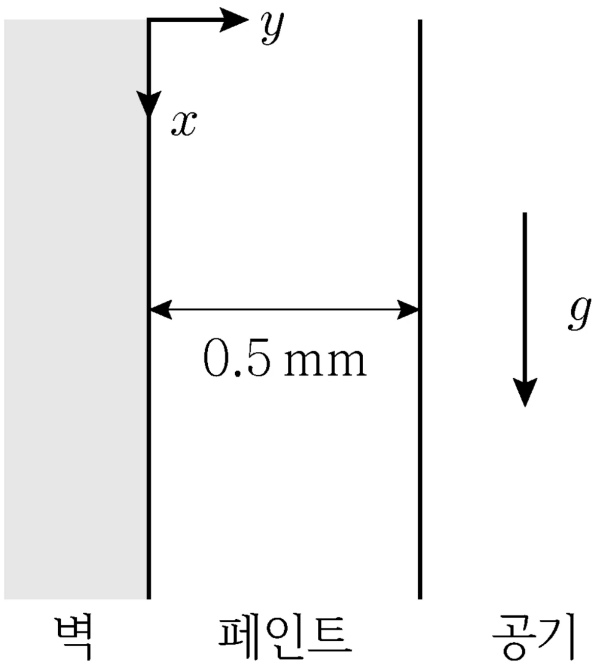
미소 토크: 반지름 r, 폭 dr인 고리의 한쪽 면적은 $dA = 2\pi r dr$이다. 이 면에 작용하는 힘은 $dF = \tau(r)dA$이고, 토크는 힘에 **모멘트팔인 거리** r를 곱한 값이다. 따라서 한쪽 면의 미소 토크는 $dT_1 = r dF$, 즉 $dT_1 = \frac{2\pi\mu\omega}{S} r^3 dr$이다.

양쪽 면의 적분: 원판의 위아래 면에서 생기는 저항 토크는 모두 회전을 방해하므로 크기를 더한다. 축의 지름은 무시할 만큼 작고 축에서의 감쇠는 제외하므로, 원판 양쪽 면 전체를 적분하면 $T = \frac{4\pi\mu\omega}{S}\int_0^R r^3 dr$이다. 여기서 $\int_0^R r^3 dr = R^4/4$이므로 $T = \frac{\pi\mu\omega R^4}{S}$를 얻는다. 이때 T는 감쇠 토크의 크기이며 SI 단위는 $\mathrm{N\cdot m}$이다.

비례관계: **점도·각속도·간격을 일정하게 유지**하면 $\pi\mu\omega/S$는 상수이므로 $T \propto R^4$이다. 이는 ③의 관계와 일치한다.

NoteBase

문 24. 그림과 같이 수직 벽면에 건조되기 전의 페인트가 0.5 mm의 균일한 두께로 칠해져 있다. 페인트의 밀도는 1,000 kg m^{-3}이고, Bingham 유체이다. 정상상태에서 페인트가 흘러내리지 않기 위한 최소 항복응력[Pa]은? (단, 페인트 내 압력구배와 페인트-공기 계면의 전단응력은 0이고, 페인트에 작용하는 전단응력은 y만의 함수이며, 중력가속도(g)는 10 m s^{-2}이다)



① 5

② 10

③ 15

④ 20

정답 1번

간단한 해설

Bingham 유체가 흘러내리지 않으려면 **항복응력이 도막 내부의 최대 전단응력 이상**이어야 한다. 전단응력은 벽면에서 가장 크며, 그 크기는 $\rho g \delta$이므로 필요한 최소 항복응력은 5 Pa이다.

NoteBase

계산 과정

조건과 변수: 그림에서 x축은 중력 방향인 아래쪽이고, y축은 벽면에서 공기 쪽으로 향한다. 벽면을 $y = 0$, 페인트-공기 계면을 $y = \delta$로 두면 도막 두께는 $\delta = 0.5\ \text{mm} = 0.0005\ \text{m}$이다. 밀도 $\rho = 1{,}000\ \text{kg m}^{-3}$, 중력가속도 $g = 10\ \text{m s}^{-2}$를 사용한다.

전단응력 분포: y 위치에서 공기 계면까지의 페인트층을 생각한다. 압력구배가 없고 공기 계면의 전단응력도 0이므로, 이 층의 무게는 y 위치에서 위쪽으로 작용하는 전단력과 평형을 이루어야 한다. 벽면에 평행한 면적을 A라 하면 무게는 $\rho g A(\delta - y)$이다. 따라서 전단응력의 크기는 $\tau(y) = \rho g(\delta - y)$이다. 이는 해당 위치가 지탱해야 하는 **공기 계면 쪽 페인트층의 단위 면적당 무게**를 뜻한다.

최대 전단응력: 공기 계면에서는 지탱할 페인트층이 없어 전단응력이 0이고, 벽면에 가까워질수록 지탱하는 층의 두께가 커진다. 따라서 **벽면에서 전단응력이 최대**이며, $\tau_{max} = \rho g \delta$이다. 수치를 대입하면 $1{,}000 \times 10 \times 0.0005 = 5\ \text{Pa}$이다.

항복 조건과 결과: Bingham 유체는 전단응력의 크기가 항복응력 이하이면 전단 변형이 일어나지 않고, 이를 초과하면 유동한다. 항복응력을 τ_0라 하면 도막 전체가 흘러내리지 않기 위한 조건은 $\tau_0 \geq \tau_{max}$이다. 따라서 최소 항복응력은 5 Pa이며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 25. 정상상태에서 길이가 무한히 긴 원통형 배터리의 표면 온도(T_0)가 일정하게 유지되고, 내부에서 단위 부피당 일정한 열(S_h)이 발생하고 있다. 배터리 내부의 열전도도(k)와 배터리의 반지름(R)이 각각 2배가 되면 배터리 내부의 최대 온도와 표면의 온도 차이는 몇 배로 증가하는가? (단, 열은 배터리의 반지름 방향으로만 전달된다)

① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 1번

간단한 해설

최대 온도와 표면 온도의 차이는 **반지름의 제곱에 비례하고 열전도도에 반비례**한다. 반지름과 열전도도가 각각 2배가 되면 온도 차이는 $\frac{2^2}{2} = 2$배가 된다.

계산 과정

조건: 정상상태에서 단위 부피당 열발생률 S_h와 열전도도 k가 일정하고, 열은 반지름 방향으로만 전달된다. 중심에서의 거리를 r라 하면 중심에서는 대칭성 때문에 온도 기울기가 0이고, 표면에서는 $T(R) = T_0$이다. 비교할 때 S_h는 변하지 않는다.

열수지: 반지름 r, 길이 L인 내부 원통에서 발생하는 열은 $S_h \pi r^2 L$이다. 정상상태에서는 이 열이 원통의 옆면적 $2\pi rL$을 통해 모두 빠져나가므로, 단위 면적당 바깥쪽 열유속은 $\frac{S_h r}{2}$이다. 이를 푸리에 법칙에 대입하면 $-k\frac{dT}{dr} = \frac{S_h r}{2}$이다.

최대 온도 차이: 위 식을 적분하고 표면 온도 조건을 적용하면 $T(r) - T_0 = \frac{S_h}{4k}(R^2 - r^2)$이다. 열이 발생하므로 온도는 바깥쪽으로 갈수록 낮아져 **중심에서 최대**가 된다. 따라서 중심과 표면의 온도 차이는 $\Delta T = T_{\max} - T_0 = \frac{S_h R^2}{4k}$이다. 이 온도 차이의 단위는 K이며, 섭씨 온도 차이로 나타내도 수치는 같다.

변화 배율: 온도 차이는 **반지름의 제곱에 비례하고 열전도도에 반비례**한다. 변경 후의 온도 차이를 $\Delta T'$라 하면 $\frac{\Delta T'}{\Delta T} = \frac{(2R)^2}{R^2} \cdot \frac{k}{2k} = 2$이다. 따라서 온도 차이는 처음의 2배가 되며, 이는 ①의 2에 해당한다.

NoteBase