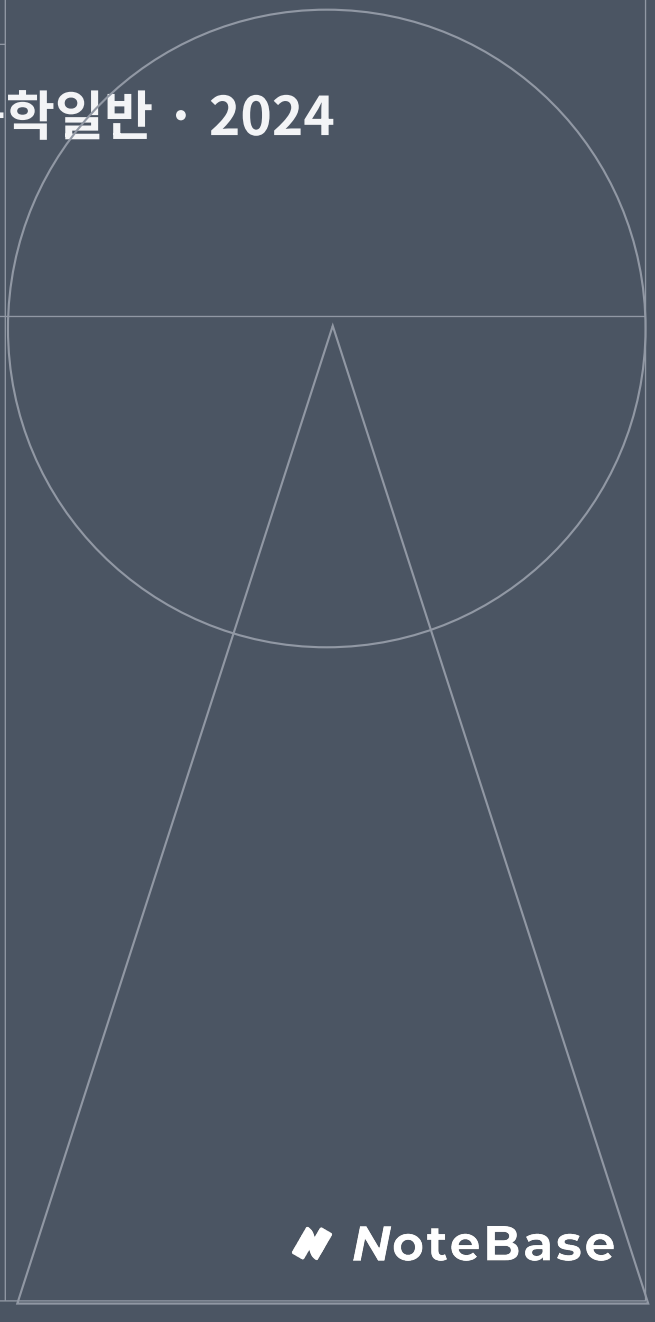
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2024



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2024

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2024

문 1. Mach 수(Ma)는 다음과 같이 정의된다. 아음속(subsonic) 영역에 해당하는 Mach 수는? (단, u는 유속, a는 유체가 흐르는 조건에서의 음속이다)

$Ma = \frac{u}{a}$

① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 5.0

정답 1번

간단한 해설

아음속은 유속이 음속보다 느려 Mach 수가 **1보다 작은** 영역이다. Mach 수 0.5는 유속이 음속의 절반인 경우이다.

개념 구분

Mach 수는 $Ma = \frac{u}{a}$로, 유속을 그 유체가 흐르는 조건에서의 음속으로 나눈 무차원 수이다. 따라서 1을 기준으로 유속이 음속보다 느린지 빠른지를 구분한다.

아음속에서는 $u < a$이므로 $Ma < 1$이다. 0.5는 이 조건을 만족하며, 유속이 음속의 절반임을 뜻한다.

1.0은 **유속과 음속이 같은** 경우로 아음속의 경계이다. 1.5와 5.0은 모두 1보다 크므로 유속이 음속보다 빨라 아음속에 해당하지 않는다.

NoteBase

문 2. 충격관(impact tube)과 정압관(static tube)에 가해지는 압력차를 측정하여 관내 유체의 국부 유속을 측정하는 장치는?

① 로터미터(rotameter)

② 벤투리 미터(Venturi meter)

③ 피토관(Pitot tube)

④ 점도계(viscometer)

정답 3번

간단한 해설

피토관은 충격관으로 측정한 정체압과 정압관으로 측정한 정압의 차이를 이용한다. 이 압력차는 **유체의 운동에 따른 동압**이므로 측정 지점의 국부 유속을 구할 수 있다.

공통 해설

피토관은 충격관과 정압관의 압력차로 유체의 국부 유속을 측정하는 장치이다. 충격관의 입구를 흐름과 마주보게 놓으면 유체가 정지하는 지점의 압력인 정체압을 측정할 수 있다. 정압관은 유체의 정압을 측정하므로, 두 관의 압력차는 **정체압에서 정압을 뺀 동압**에 해당한다.

정상·비압축성 흐름에서 마찰 손실과 높이 차를 무시하면 베르누이 식에 따라 $p_0 - p = \frac{1}{2}\rho v^2$가 성립한다. 여기서 p_0는 정체압, p는 정압, ρ는 유체의 밀도, v는 측정 지점의 유속이다. 따라서 밀도를 알면 측정한 압력차로 그 지점의 유속을 구할 수 있다.

NoteBase

문 3. 유체의 에너지를 증가시키기 위한 장치가 아닌 것은?

① 펌프(pump)

② 체크 밸브(check valve)

③ 선풍기(fan)

④ 송풍기(blower)

정답 2번

간단한 해설

체크 밸브는 유체에 에너지를 공급하는 장치가 아니라, 유체를 한 방향으로만 흐르게 하여 **역류를 방지하는 장치**이다. 압력 차에 따라 열리고 닫히며 외부 동력을 유체의 에너지로 전달하지 않는다.

선지별 해설

① O: 펌프는 외부에서 받은 기계적 일을 주로 액체에 전달하여 **압력이나 수두를 높이는 장치**이다. 이렇게 증가한 유체의 에너지로 액체를 높은 곳으로 보내거나 배관의 흐름 저항을 극복할 수 있다.

② X: 체크 밸브는 압력 차에 따라 열리고 닫혀 **역류를 방지하는 장치**이다. 순방향 흐름은 허용하고 역방향 흐름은 차단하지만, 외부 동력을 받아 유체의 에너지를 증가시키지는 않는다. 따라서 에너지 공급 장치가 아니라 흐름 방향을 제한하는 밸브로 구분한다.

③ O: 선풍기는 모터로 날개를 회전시켜 공기에 기계적 일을 전달한다. 이 과정에서 **공기의 운동에너지를 증가**시켜 바람을 일으키므로 유체에 에너지를 공급하는 장치에 해당한다.

④ O: 송풍기는 외부 동력을 기체에 전달하여 **기체의 압력을 높이고** 흐름을 만드는 장치이다. 기체에 공급된 에너지는 덕트나 배관의 저항을 극복하며 기체를 이송하는 데 쓰인다.

NoteBase

문 4. 제조원가에 포함되지 않는 것은?

① 신기술 탐색 연구비

② 제품 생산에 투입된 원료비

③ 공장장의 노무비

④ 공장 근로자의 노무비

정답 1번

간단한 해설

신기술 탐색 연구비는 새로운 기술을 찾기 위한 **연구활동의 비용**이므로 제조원가에 포함하지 않고 발생한 기간의 비용으로 처리한다.

선지별 해설

제조원가는 제품 생산에 든 원가로, 직접재료비·직접노무비·제조간접비로 구성된다. 아래 O/X는 각 비용이 제조원가에 포함되는지를 나타낸다.

① X: 신기술 탐색 연구비는 새로운 기술이나 지식을 얻기 위한 연구활동에 든 비용이다. 제품 생산에 든 제조원가가 아니라 **비제조원가**이며, 발생한 기간의 비용으로 처리한다.

② O: 제품 생산에 투입된 원료비는 제품을 구성하는 재료에 든 비용으로, 일반적으로 직접재료비에 해당한다. 제품 생산에 직접 사용되므로 제조원가에 포함된다.

③ O: 공장장은 공장 전체의 생산활동을 관리하므로 그 노무비는 특정 제품에 직접 연결하기 어려운 간접노무비이다. **생산활동을 관리하는 비용**이므로 제조간접비로서 제조원가에 포함된다.

④ O: 제품 가공·조립 등 생산작업에 직접 종사하는 공장 근로자의 노무비는 직접노무비로서 제조원가에 포함된다. 생산을 보조하는 근로자의 간접노무비도 제조간접비에 포함되므로, **직접·간접의 구분만으로 제조원가에서 제외되지는 않는다**.

NoteBase

문 5. 농도에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 백만분율(parts per million)은 10^{-4}%와 같다.

② 노말농도(normality)는 용매 kg당 용질의 당량 수로 나타낸다.

③ 몰농도(molarity)는 용액 리터(L)당 용질의 몰 수로 나타내며, 온도에 따라 변한다.

④ 몰랄농도(molality)는 용매 kg당 용질의 몰 수로 나타내며, 온도에 따라 변하지 않는다.

정답 2번

간단한 해설

노말농도는 **용액 1 L당 용질의 당량 수**로 나타낸다. ②의 '용매 kg당'은 노말농도의 기준이 아니며, 몰랄농도는 용매 1 kg당 용질의 몰 수로 나타낸다.

선지별 해설

① O: 백만분율은 전체 양에 대한 성분의 비율을 백만 배 하여 나타낸 값이다. 따라서 $1\text{ppm} = 10^{-6}$이고, 백분율로 바꾸면 $10^{-6} \times 100\% = 10^{-4}\%$이다.

② X: 노말농도는 **용액 1 L당 용질의 당량 수**로 정의한다. 당량은 해당 반응에서 물질이 반응하는 능력을 기준으로 정하는 양이므로 반응 종류에 따라 달라질 수 있다. 선지의 '용매 kg당'을 '용액 L당'으로 고쳐야 한다.

③ O: 몰농도는 용액 1 L에 들어 있는 용질의 몰 수이다. 용질의 몰 수가 일정해도 온도가 바뀌면 열팽창이나 수축으로 **용액의 부피가 달라지므로** 몰농도가 변한다.

④ O: 몰랄농도는 용매 1 kg에 녹아 있는 용질의 몰 수이다. 용질과 용매의 양이 일정하면 온도가 달라져도 **용매의 질량은 변하지 않으므로** 몰랄농도는 변하지 않는다. 몰농도가 용액의 부피를 기준으로 하는 것과 구별된다.

NoteBase

문 6. 반지름이 10 μm이고 밀도가 1.1 g cm^{-3}인 구형 입자가 정지하고 있는 물 속에서 자유침강(free settling)할 때의 종말속도[cm s^{-1}]는? (단, 구형 입자에는 부력, 항력, 중력만이 작용하며, 물의 밀도는 1.0 g cm^{-3}, 물의 점도는 0.001 Pa s, 중력가속도는 9 m s^{-2}이다)

① 0.001

② 0.002

③ 0.004

④ 0.008

정답 2번

간단한 해설

종말속도에서는 **중력과 부력의 차이가 항력과 같아진다**. 작은 구형 입자에 스토크스 항력식을 적용하면, 주어진 조건의 종말속도는 0.002 cm/s이다.

계산 과정

주어진 값을 SI 단위로 통일한다. 입자 반지름은 $r = 10^{-5}\text{m}$, 입자 밀도는 $\rho_p = 1100\text{kg/m}^3$, 물의 밀도는 $\rho_f = 1000\text{kg/m}^3$이다. 따라서 침강을 일으키는 밀도 차는 $\rho_p - \rho_f = 100\text{kg/m}^3$이다. 물의 점도는 $\mu = 0.001\text{Pa} \cdot \text{s}$, 중력가속도는 $g = 9\ \text{m/s}^2$를 사용한다.

종말속도에서는 가속도가 0이므로 **중력에서 부력을 뺀 힘과 항력이 평형**을 이룬다. 입자의 부피가 $V = \frac{4}{3}\pi r^3$이므로 중력과 부력의 차는 $(\rho_p - \rho_f)Vg$이다. 입자 주위의 레이놀즈수가 매우 작은 영역에서는 구의 항력이 스토크스 식 $F_D = 6\pi\mu r v_t$로 주어진다. 여기서 v_t는 종말속도이다.

힘의 평형식 $\frac{4}{3}\pi r^3(\rho_p - \rho_f)g = 6\pi\mu r v_t$를 정리하면 $v_t = \frac{2r^2(\rho_p - \rho_f)g}{9\mu}$이다. 반지름의 제곱은 $r^2 = 10^{-10}\text{m}^2$이므로, 수치를 대입하면 $v_t = \frac{2 \cdot 10^{-10} \cdot 100 \cdot 9}{9 \cdot 0.001}$이다. 계산 결과는 $v_t = 2 \cdot 10^{-5}\text{m/s}$이다.

스토크스 식의 적용 조건도 확인한다. 입자 지름 $2r$을 기준으로 한 레이놀즈수는 $Re = \frac{\rho_f v_t (2r)}{\mu} = 4 \cdot 10^{-4}$이다. 이 값은 **1보다 매우 작으므로** 사용한 스토크스 항력식이 적합하다.

1 m = 100 cm이므로 구한 속도는 0.002 cm/s이다. 이는 물에 대해 아래로 침강하는 속도의 크기이며, ②의 0.002에 해당한다.

NoteBase

문 7. Nusselt 수와 Prandtl 수의 정의에 공통으로 사용되는 물성은?

① 대류 열전달계수(heat transfer coefficient)

② 열전도도(thermal conductivity)

③ 점도(viscosity)

④ 비열용량(specific heat capacity)

정답 2번

간단한 해설

Nusselt 수와 Prandtl 수의 정의식에는 모두 유체의 **열전도도**가 분모에 들어간다.

핵심 풀이

Nusselt 수: $Nu = \frac{hL}{k}$로 정의하며, 대류에 의한 열전달을 전도에 의한 열전달과 비교하는 무차원수이다. 여기서 h는 대류 열전달계수, L은 특성길이, k는 유체의 열전도도이다.

Prandtl 수: $Pr = \frac{\mu c_p}{k}$로 정의하며, 운동량 확산과 열확산의 상대적인 크기를 나타내는 무차원수이다. 여기서 μ는 점도, c_p는 정압 비열용량, k는 유체의 열전도도이다.

두 정의식을 비교하면 **공통으로 들어가는 물성은 열전도도 k**이다. 대류 열전달계수 h는 Nusselt 수에만, 점도와 비열용량은 Prandtl 수에만 들어가므로 공통 물성에 해당하지 않는다.

NoteBase

문 8. 제작비용이 A인 1,000 L 용량의 반응기를 10,000 L 용량으로 스케일업(scale-up) 한다면, 10,000 L 용량 반응기의 추정 제작비용은? (단, 스케일 업에 따른 반응기의 추정 제작비용은 6/10 인자 법칙(six-tenths factor rule)을 따른다)

① $10 \times A^{0.6}$

② $(10 \times A)^{0.6}$

③ $10^{0.6} \times A$

④ $0.6 \times 10 \times A$

정답 3번

간단한 해설

6/10 인자 법칙에서는 제작비용이 **용량비의 0.6제곱**에 비례해 증가한다. 용량이 10배가 되므로 추정 제작비용은 $10^{0.6}A$이다.

계산 과정

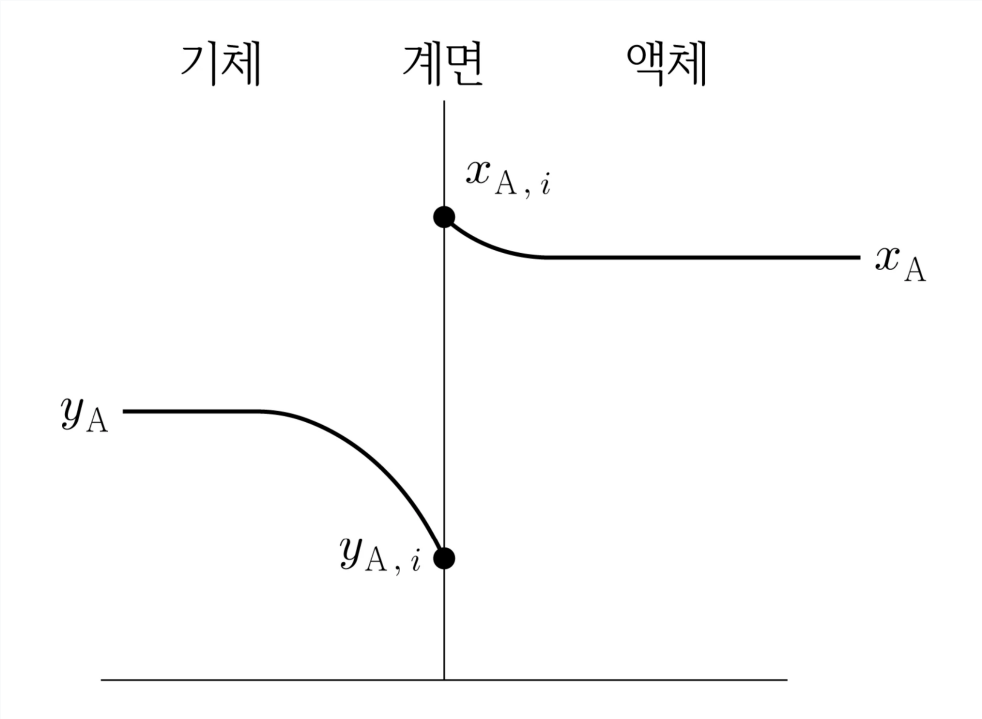
1. 비용 추정식: 기존 용량과 제작비용을 각각 V_1, C_1, 확대 후 용량과 제작비용을 각각 V_2, C_2라 한다. 문제에서 6/10 인자 법칙을 따르므로 $C_2 = C_1\left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{0.6}$을 적용한다. 지수 0.6은 **기존 비용이 아니라 용량비에 적용**한다.

2. 용량비 계산: 두 용량의 단위가 모두 L이므로 $\frac{V_2}{V_1} = \frac{10{,}000}{1{,}000} = 10$이다. 이는 확대 후 반응기의 용량이 기존 반응기의 10배라는 뜻이다.

3. 제작비용 계산: 기존 제작비용 $C_1 = A$와 용량비 10을 대입하면 $C_2 = A \cdot 10^{0.6}$이다. 따라서 추정 제작비용은 $10^{0.6} \times A$로, ③의 식과 일치한다. 비용의 단위는 A와 같다.

NoteBase

문 9. 다음은 성분 A의 기체흡수에서 기-액 계면 근처의 몰분율을 나타낸 그림과 A의 물질전달속도(r)를 총괄 물질전달계수(K_y)로 나타낸 식이다. 계면으로의 물질전달속도는 계면으로부터의 물질전달속도와 같다. 액체 경막과 기체 경막의 물질전달계수는 각각 k_x, k_y이고, x_A와 y_A는 각각 벌크 액체와 벌크 기체의 몰분율이며, $x_{A,i}$와 $y_{A,i}$는 각각 기-액 계면에서 액체와 기체의 몰분율이라고 할 때, $\frac{1}{K_y}$은? (단, 기체흡수는 이중경막론을 따르고, y_A^*는 x_A와 평형을 이루는 기체의 몰분율이다)



$r = K_y(y_A - y_A^*)$

① $\frac{1}{k_x} + \frac{y_A - y_A^*}{k_y(y_A - y_{A,i})}$
② $\frac{1}{k_x} + \frac{y_{A,i} - y_A^*}{k_y(y_A - y_{A,i})}$
③ $\frac{y_A - y_A^*}{k_x(x_{A,i} - x_A)} + \frac{1}{k_y}$
④ $\frac{y_{A,i} - y_A^*}{k_x(x_{A,i} - x_A)} + \frac{1}{k_y}$

정답 4번

간단한 해설

두 경막을 지나는 **물질전달속도가 같으므로**, 전체 구동력을 두 부분으로 나누어 각각의 저항을 더할 수 있다. 총괄 저항에서 액체 측 항은 $\frac{y_{A,i} - y_A^*}{k_x(x_{A,i} - x_A)}$, 기체 측 항은 $\frac{1}{k_y}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 각 경막의 전달속도: 그림에서 기체의 몰분율은 벌크의 y_A에서 계면의 $y_{A,i}$로 낮아지고, 액체의 몰분율은 계면의 $x_{A,i}$에서 벌크의 x_A로 낮아진다. 따라서 기체 경막에서는 $r = k_y(y_A - y_{A,i})$, 액체 경막에서는 $r = k_x(x_{A,i} - x_A)$이다. 계면으로 들어오는 양과 나가는 양이 같으므로 **두 식의 전달속도는 같은 값**이다. 몰분율은 무차원이므로 k_x, k_y, K_y는 모두 같은 단위를 갖는다.

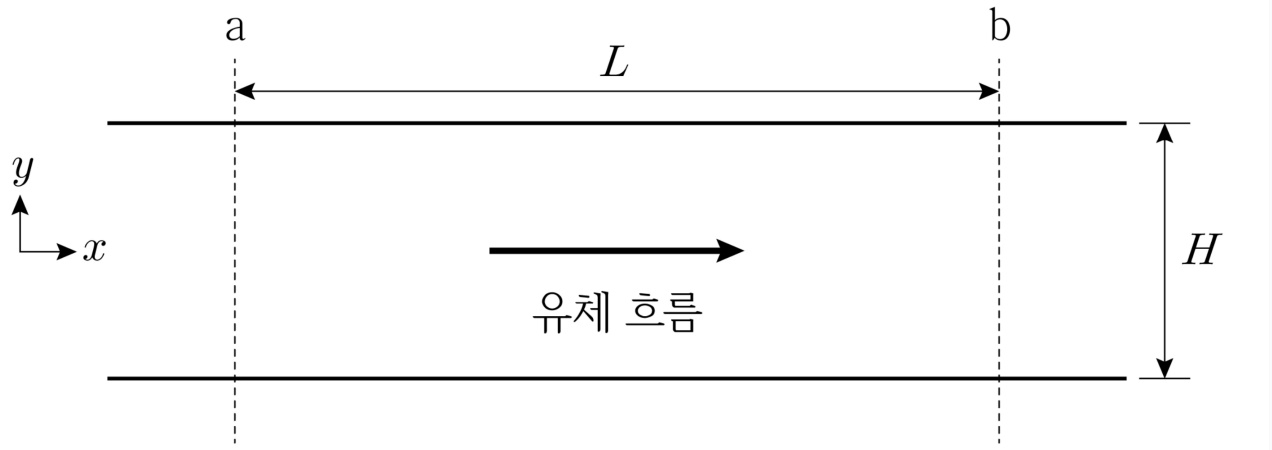
2. 총괄 구동력의 분해: 주어진 $r = K_y(y_A - y_A^*)$를 정리하면 $\frac{1}{K_y} = \frac{y_A - y_A^*}{r}$이다. 여기서 y_A^*는 벌크 액체의 x_A와 평형인 기체 몰분율이다. 전체 몰분율 차를 $y_A - y_A^* = (y_A - y_{A,i}) + (y_{A,i} - y_A^*)$로 나누면 $\frac{1}{K_y} = \frac{y_A - y_{A,i}}{r} + \frac{y_{A,i} - y_A^*}{r}$가 된다. 첫 항은 기체 경막의 저항이며, 둘째 항은 액체 경막의 영향을 **기체 몰분율 기준으로 나타낸 저항**이다.

3. 각 경막의 식 대입: 첫 항에는 기체 경막의 식을 적용하여 $\frac{y_A - y_{A,i}}{r} = \frac{1}{k_y}$를 얻는다. 둘째 항에는 액체 경막의 식을 적용하여 $\frac{y_{A,i} - y_A^*}{r} = \frac{y_{A,i} - y_A^*}{k_x(x_{A,i} - x_A)}$를 얻는다.

따라서 $\frac{1}{K_y} = \frac{y_{A,i} - y_A^*}{k_x(x_{A,i} - x_A)} + \frac{1}{k_y}$이며, 이는 ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 10. 그림과 같이 무한한 두 평행판 사이에서 완전히 발달된 층류로 흐르는 비압축성 뉴턴유체(Newtonian fluid)에 대해 a와 b 지점 간의 압력차 ($P_a - P_b$)는? (단, L은 a와 b 지점 간의 판 길이, $\bar{v}$는 유체의 평균 속도, μ는 유체의 점도, H는 판 사이의 간격이고, 유체는 정상상태로 x축 방향으로만 흐르며, 중력과 말단 영향(end effect)은 무시한다)



① $\frac{6\mu\bar{v}L}{H}$
② $\frac{6\mu\bar{v}L}{H^2}$
③ $\frac{12\mu\bar{v}L}{H}$
④ $\frac{12\mu\bar{v}L}{H^2}$

정답 4번

간단한 해설

두 평행판 사이의 전체 간격이 H인 완전 발달 층류에서는 **평균속도와 압력차의 관계**가 $\bar{v} = \frac{(P_a - P_b)H^2}{12\mu L}$이다. 이를 압력차에 대해 정리하면 $P_a - P_b = \frac{12\mu\bar{v}L}{H^2}$이다.

NoteBase

핵심 풀이

그림의 H는 **두 판 사이의 전체 간격**이며, 유체는 a에서 b로 흐른다. 아래 판을 $y=0$, 위 판을 $y=H$로 두고, 양의 압력강하율을 $G=\frac{P_a-P_b}{L}$로 정의한다. 정상상태이고 속도분포가 흐름 방향으로 변하지 않으므로, 중력을 무시한 흐름 방향 운동량 방정식은 $\mu\frac{d^2u}{dy^2}=-G$가 된다. 여기서 $u(y)$는 판 사이 위치에 따른 흐름 방향 속도이다.

정지한 두 판 표면에서는 점착 조건에 따라 $u(0)=u(H)=0$이다. 운동량 방정식을 두 번 적분하고 이 조건을 적용하면 $u(y)=\frac{G}{2\mu}y(H-y)$를 얻는다. 이 포물선 속도분포는 벽에서 0이고 두 판의 중앙에서 가장 크다.

문제에서 주어진 것은 한 위치의 속도가 아니라 **판 사이 전체에 대한 평균속도**이다. 따라서 $\bar{v}=\frac{1}{H}\int_0^H u(y)dy$로 구한다. $\int_0^H y(H-y)dy=\frac{H^3}{6}$이므로, 평균속도는 $\bar{v}=\frac{GH^2}{12\mu}$이다. 속도분포의 계수와 단면 평균을 함께 반영해야 분모의 계수 12가 나온다.

여기에 $G=\frac{P_a-P_b}{L}$을 대입하여 정리하면 $P_a-P_b=\frac{12\mu\bar{v}L}{H^2}$이며, ④의 식에 해당한다. 점도에 Pa·s, 속도에 m/s, 길이에 m를 쓰면 이 식의 단위는 Pa이다. 분모가 H인 식은 단위가 Pa·m이므로 압력차를 나타낼 수 없다.

NoteBase

문 11. 연속 분별 증류탑에서 최소 이론단수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 전환류(total reflux) 조건에서 최소 이론단수가 된다.

② 최소 이론단수는 상대휘발도(relative volatility)와 무관하다.

③ 최소 이론단수일 때 탑밑 제품(bottom product)의 유량은 0이다.

④ 최소 이론단수일 때 탑위 제품(overhead product)의 유량은 0이다.

정답 2번

간단한 해설

최소 이론단수는 **상대휘발도에 따라 달라진다**. 같은 분리 정도를 목표로 할 때, 더 휘발하기 쉬운 성분의 상대휘발도가 클수록 분리가 쉬워져 필요한 최소 이론단수가 감소한다.

선지별 해설

① O: 전환류는 탑위에서 응축된 액체를 모두 탑으로 되돌리고 외부로 제품을 인출하지 않는 운전 조건이다. 같은 분리 정도를 얻는 데 필요한 이론단수는 **전환류에서 최소**가 된다. 맥케이브·틸레법에서는 이때 조작선이 대각선 $y = x$와 일치하여 평형곡선과 조작선 사이에서 한 단이 담당하는 조성 변화가 가장 커진다.

② X: 상대휘발도는 한 성분이 다른 성분에 비해 기상으로 얼마나 쉽게 이동하는지를 나타내는 값이다. 더 휘발하기 쉬운 성분의 상대휘발도가 클수록 기액 평형에서 두 성분의 분리가 잘 이루어지므로, 같은 분리 정도에 필요한 **최소 이론단수는 감소**한다. 따라서 '상대휘발도와 무관하다'는 '상대휘발도에 의존한다'로 고쳐야 한다. 전환류에서 최소 이론단수를 구하는 펜스케 식에도 상대휘발도가 포함된다.

③ O: 최소 이론단수에 해당하는 전환류에서는 원료 공급과 탑위·탑밑 제품의 외부 인출을 중단한다. 탑밑으로 내려온 액체는 재비기에서 증발하여 탑 안으로 돌아가므로 **탑밑 제품의 인출 유량은 0**이다. 이는 탑밑에 액체가 없거나 탑 내부의 액체 흐름이 멈춘다는 뜻은 아니다.

④ O: 전환류에서는 탑위에서 나온 증기를 응축한 뒤 그 액체를 전부 환류로 되돌린다. 외부 제품으로 빼내는 부분이 없으므로 **탑위 제품의 인출 유량은 0**이다. 응축액의 환류와 탑 내부의 증기·액체 순환은 계속된다.

NoteBase

문 12. 화학공정에서 사용되는 건조기에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 단형 건조기(tray dryer)는 생산속도가 작을 때 유용하다.

② 박막 건조기(thin-film dryer)는 젖은 고체에서 용매를 회수하는 데 유용하다.

③ 이중 드럼 건조기(double-drum dryer)는 연마성 고체(abrasive solid) 슬러리를 건조하는 데 적합하다.

④ 스크린 컨베이어 건조기(screen-conveyor dryer)는 젖은 고체의 수분함량이 감소함에 따라 건조 조건이 상당히 바뀌어야 할 때 유용하다.

정답 3번

간단한 해설

이중 드럼 건조기는 연마성 고체가 드럼 표면을 마모시키고, 입자가 드럼 사이에 쌓이면 과도한 압력을 일으킬 수 있어 **연마성 고체 슬러리의 건조에 부적합하다**. 주로 비연마성 용액이나 슬러리를 드럼 표면의 얇은 막으로 만들어 건조한다.

선지별 해설

① O: 단형 건조기는 재료를 여러 단의 트레이에 놓고 열풍을 흘려 수분을 제거하는 장치로, 보통 회분식으로 운전한다. 재료를 넣고 꺼내는 작업에 인력이 필요하고 한 회분의 건조에 시간이 걸리므로, **생산속도가 작은 소규모 공정**에 유용하다.

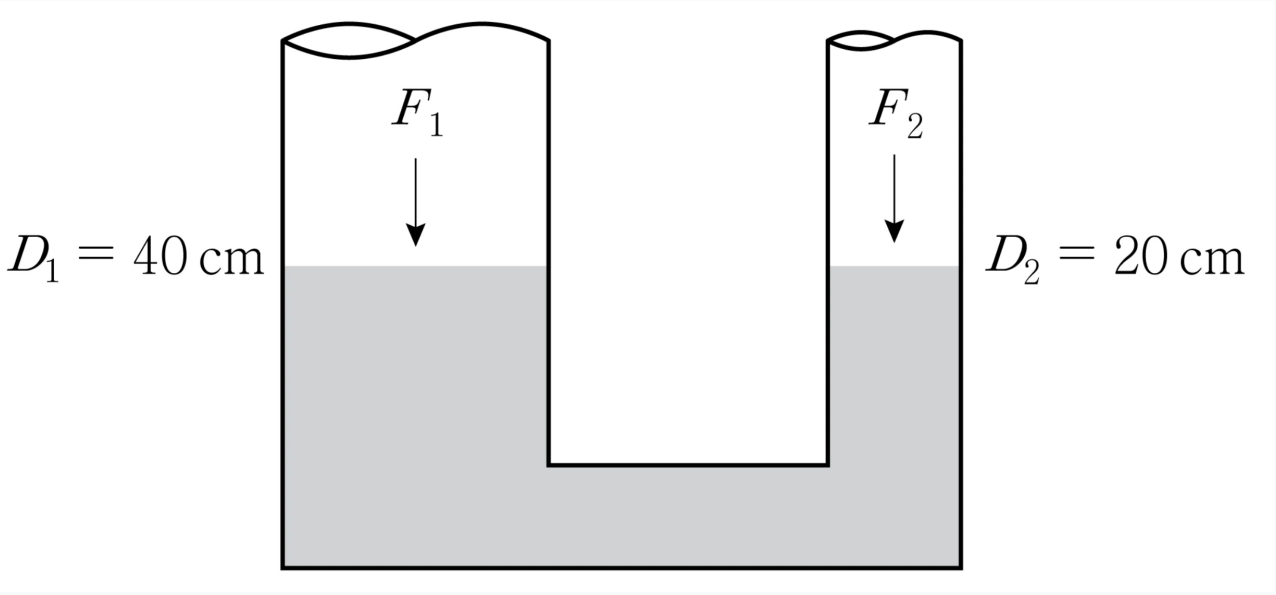
② O: 박막 건조기는 젖은 재료를 가열면에 얇게 펼치고 교반하여 액체 성분을 증발시킨다. 발생한 용매 증기를 모아 응축할 수 있으므로, 고체 제품을 건조하면서 **용매를 제거·회수**하는 데 유용하다.

③ X: 이중 드럼 건조기는 가열된 두 드럼의 표면에 재료를 얇은 막으로 붙여 건조한 뒤, 마른 고체를 긁개로 떼어내는 장치이다. 연마성 고체는 드럼 표면을 마모시키며, 침강한 입자가 두 드럼 사이에 쌓이면 과도한 압력을 일으킬 수 있다. 따라서 '연마성 고체 슬러리에 적합하다'는 설명은 잘못이며, **연마성이 없는 용액이나 슬러리에 적합하다**고 고쳐야 한다.

④ O: 스크린 컨베이어 건조기는 통기성이 있는 이동 벨트 위에 재료를 놓고, 공기가 재료층을 통과하도록 하여 연속적으로 건조한다. 건조실을 여러 구역으로 나누어 **구역별 온도·습도·공기 흐름을 조절**할 수 있다. 따라서 재료가 이동하면서 수분함량이 줄어들 때, 각 건조 단계에 맞추어 운전 조건을 크게 바꾸어야 하는 경우에 유용하다.

NoteBase

문 13. 그림과 같이 원형관으로 연결된 수압기에서 왼쪽 관 수면에 수직으로 작용하는 힘(F_1)이 40 N일 때, 오른쪽 관 수면에 수직으로 작용하는 힘(F_2)의 크기 [N]는? (단, D_1과 D_2는 관의 지름이고, 두 수면의 높이는 같다)



① 10

② 20

③ 30

④ 40

정답 1번

간단한 해설

두 수면의 높이가 같으므로 양쪽에 가해지는 **단위 면적당 힘인 압력이 같다**. 힘은 원형관 지름의 제곱에 비례하므로, 오른쪽 힘은 왼쪽 힘의 ≤ft((20)/(40))^2=14인 10 N이다.

NoteBase

계산 과정

왼쪽과 오른쪽 관의 단면적을 각각 A_1, A_2라 하자. 연결된 정지 액체에서는 같은 높이의 압력이 같고, 두 수면의 높이도 같으므로 수면에 작용하는 압력이 같다. 압력은 단위 면적당 힘이므로 **힘을 단면적으로 나눈 값**을 같게 놓는다. 따라서 $\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$이다.

그림에서 관의 지름은 $D_1 = 40\text{cm}$, $D_2 = 20\text{cm}$이다. 원형 단면적은 $A = \frac{\pi D^2}{4}$이므로 **단면적비는 지름비의 제곱**이다. 따라서 (A_2)/(A_1)=≤ft((20)/(40))^2=14이며, 오른쪽 단면적은 왼쪽의 1/4이다. 두 지름을 같은 단위로 나누므로 m로 환산할 필요는 없다.

압력이 같을 때 힘은 단면적에 비례하므로 $F_2 = F_1\frac{A_2}{A_1}$이다. 주어진 왼쪽 힘 40 N에 단면적비를 곱하면 F_2=40·14=10 N이다. 이 값은 ①의 10 N에 해당한다.

NoteBase

문 14. 성분 A와 B의 이성분계에서 Fick의 법칙으로 옳지 않은 것은? (단, J_A와 J_B는 각각 A와 B의 몰 플럭스(flux), j_A는 A의 질량 플럭스, D_{AB}와 D_{BA}는 각각 A와 B의 확산계수, ∇c_A와 ∇c_B는 각각 A와 B의 몰농도 구배, ∇x_A는 A의 몰분율 구배, ∇w_A는 A의 질량분율 구배이고, c는 전체 몰농도로서 일정하다)

① $J_A = -D_{AB}\nabla c_A$

② $J_A = -cD_{AB}\nabla x_A$

③ $J_B = -D_{BA}\nabla c_B$

④ $j_A = -D_{AB}\nabla w_A$

정답 4번

간단한 해설

④의 식에는 **혼합물의 질량밀도**가 빠져 있다. 혼합물의 질량밀도를 ρ라 하면 질량분율 구배에 의한 확산 질량 플럭스는 $j_A = -\rho D_{AB}\nabla w_A$로 나타낸다.

선지별 해설

① O: Fick의 법칙에 따라 A의 확산 몰 플럭스는 $J_A = -D_{AB}\nabla c_A$이다. 음의 부호는 A가 **몰농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로** 확산함을 뜻한다. 여기서 확산 몰 플럭스는 혼합물의 몰평균속도를 기준으로 한 플럭스이다.

② O: A의 몰농도와 몰분율은 $c_A = cx_A$의 관계이다. 문제에서 **전체 몰농도 c가 일정**하므로 $\nabla c_A = c\nabla x_A$이고, 이를 농도 구배식에 대입하면 $J_A = -cD_{AB}\nabla x_A$가 된다.

③ O: B에도 같은 법칙을 적용하면 $J_B = -D_{BA}\nabla c_B$이다. B의 확산 몰 플럭스는 B 자신의 몰농도 구배에 의해 정해지며, 음의 부호는 B의 몰농도가 감소하는 방향으로 확산함을 나타낸다.

④ X: 질량평균속도를 기준으로 한 확산 질량 플럭스는 $j_A = -\rho D_{AB}\nabla w_A$이며, ρ는 혼합물의 전체 질량밀도이다. 선지에는 **질량밀도 인자 ρ가 누락**되어 있다. 질량분율은 무차원이므로 $D_{AB}\nabla w_A$의 단위는 m/s에 그친다. 여기에 질량밀도 단위인 $\mathrm{kg/m^3}$를 곱해야 질량 플럭스의 단위인 $\mathrm{kgm^{-2}s^{-1}}$가 된다.

NoteBase

문 15. 미국재료시험협회(ASTM) 규격에 따른 50 메시(mesh) 체의 단위 면적당 체눈(screen opening) 개수(N_{50})와 100 메시 체의 단위 면적당 체눈 개수(N_{100})의 비($N_{50} : N_{100}$)는?

① 1 : 4

② 1 : 2

③ 2 : 1

④ 4 : 1

정답 1번

간단한 해설

메시는 **길이 1인치당 체눈 수**이므로 단위 면적당 체눈 수는 메시 수의 제곱에 비례한다. 100 메시 체는 50 메시 체보다 같은 면적에 체눈이 4배 많으므로, 구하는 비는 1 : 4이다.

계산 과정

메시 수를 m이라 하면 길이 1인치에 체눈이 m개 있다. 가로와 세로의 메시 수가 같은 정사각형 망에서는 1 in^2 안의 체눈 수가 $m \cdot m = m^2$개이므로, 단위 면적당 체눈 수는 **메시 수의 제곱에 비례**한다.

같은 기준 면적인 1 in^2에서 50 메시 체의 체눈 수는 $50^2 = 2500$개이고, 100 메시 체의 체눈 수는 $100^2 = 10000$개이다. 즉, 메시 수가 2배가 되면 가로와 세로의 체눈 수가 각각 2배가 되어 면적당 체눈 수는 4배가 된다.

따라서 $N_{50} : N_{100} = 2500 : 10000 = 1 : 4$이며, ①의 1 : 4와 일치한다. 두 값은 같은 면적을 기준으로 한 개수이므로 비에는 단위가 없다.

NoteBase

문 16. 298 K에서 각 반응의 표준 반응 엔탈피(ΔH°_{298})가 다음과 같을 때, 298 K에서 $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$ 반응의 표준 반응 엔탈피 [kJ]는?

$CH_4(g) \rightarrow C(s) + 2H_2(g)\ \Delta H^\circ_{298} = 70\text{kJ}$
$C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g)\ \Delta H^\circ_{298} = -390\text{kJ}$
$H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow H_2O(g)\ \Delta H^\circ_{298} = -240\text{kJ}$

① −940
② −800
③ −560
④ 700

정답 2번

간단한 해설

헤스의 법칙에 따라 주어진 반응들을 더하되, 물 2 mol을 만들기 위해 **수소 연소 반응과 그 엔탈피를 모두 2배** 한다. 전체 반응의 표준 반응 엔탈피는 70 − 390 − 480 = −800 kJ이다.

계산 과정

엔탈피는 상태함수이므로, 처음과 나중 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 엔탈피 변화가 같다. 따라서 298 K에서 주어진 반응식을 더해 목표 반응을 만들면, 각 반응의 표준 반응 엔탈피도 같은 방식으로 더할 수 있다. 이것이 헤스의 법칙이다.

첫 번째 메테인 분해 반응과 두 번째 탄소 연소 반응을 그대로 더하면, 중간에 생성되었다가 소모되는 탄소가 소거된다. 합성된 반응은 $CH_4(g) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2(g)$이며, 엔탈피 변화는 70 − 390 = −320 kJ이다. 이는 메테인 1 mol에서 이산화탄소 1 mol과 수소 2 mol을 얻는 전체 과정의 엔탈피 변화이다.

이 수소 2 mol을 모두 물로 바꾸려면 세 번째 반응을 2배 하여 $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(g)$로 만든다. **반응식의 계수를 2배 하면 엔탈피 변화도 2배** 되므로, 이 단계의 엔탈피 변화는 $2 \times (-240) = -480$ kJ이다. 생성물은 문제에 주어진 대로 수증기이다.

두 과정을 더하면 수소 2 mol이 소거되어 목표 반응인 $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$가 된다. 따라서 ΔH°_{298}는 −320 − 480 = −800 kJ로, ②의 값과 일치한다. 음의 부호는 이 반응이 열을 방출하는 발열 반응임을 뜻한다.

NoteBase

문 17. 성분 A와 B의 이성분계가 기−액 평형 상태에 있고, 이 온도에서 A의 증기압은 900 mmHg, B의 증기압은 400 mmHg이다. 전체 압력이 450 mmHg일 때, A의 액상 몰분율(x_A), A의 기상 몰분율(y_A), B에 대한 A의 상대휘발도(α_{AB})는? (단, A와 B의 혼합물은 라울(Raoult)의 법칙과 돌턴(Dalton)의 부분 압력 법칙을 따른다)

① x_A: 0.10, y_A: 0.20, α_{AB}: 1.50

② x_A: 0.10, y_A: 0.20, α_{AB}: 2.25

③ x_A: 0.20, y_A: 0.40, α_{AB}: 1.50

④ x_A: 0.20, y_A: 0.40, α_{AB}: 2.25

정답 2번

간단한 해설

전체 압력은 **액상 몰분율로 가중한 순수 성분 증기압의 합**이므로 $x_A = 0.10$이고, A의 부분 압력을 전체 압력으로 나누면 $y_A = 0.20$이다. 이 조건에서 상대휘발도는 **순수 성분 증기압의 비**로 계산되어 2.25이다.

계산 과정

주어진 온도에서 순수 성분의 증기압을 $P_A^* = 900$ mmHg, $P_B^* = 400$ mmHg, 전체 압력을 P = 450 mmHg로 둔다. 성분 i의 부분 압력을 p_i라 하면, 라울의 법칙은 $p_i = x_i P_i^*$, 돌턴의 법칙은 $p_i = y_i P$이다. 두 법칙이 성립하므로 액상 조성에서 부분 압력을 구하고, 이를 전체 압력으로 나누어 기상 조성을 구할 수 있다.

A의 액상 몰분율: 이성분계이므로 $x_B = 1 - x_A$이다. 전체 압력은 **두 성분의 부분 압력의 합**이므로 $P = x_A P_A^* + (1 - x_A) P_B^*$이다. 주어진 압력을 대입하면 $450 = 900x_A + 400(1 - x_A)$이고, 정리하면 $50 = 500x_A$이다. 따라서 $x_A = \frac{50}{500} = 0.10$이다.

A의 기상 몰분율: 라울의 법칙으로 $p_A = 0.10 \cdot 900 = 90$ mmHg이다. 이는 전체 압력 450 mmHg 중 A가 차지하는 부분 압력이다. 돌턴의 법칙에 따라 **부분 압력을 전체 압력으로 나누면** $y_A = \frac{p_A}{P} = \frac{90}{450} = 0.20$이다.

B에 대한 A의 상대휘발도: 상대휘발도는 두 성분의 기상·액상 몰분율비를 비교한 값으로, $\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$이다. 두 법칙을 결합하면 $\frac{y_i}{x_i} = \frac{P_i^*}{P}$이므로, 비를 취할 때 **공통인 전체 압력이 소거**된다. 따라서 $\alpha_{AB} = \frac{P_A^*}{P_B^*} = \frac{900}{400} = 2.25$이다. 몰분율과 상대휘발도는 모두 무차원량이다.

계산된 $x_A = 0.10$, $y_A = 0.20$, $\alpha_{AB} = 2.25$의 조합은 ②와 일치한다.

NoteBase

문 18. 이중관 열교환기의 원형 내관의 안지름과 두께는 각각 20 mm, 5 mm이다. 내관의 외부 표면적(outside surface area)을 기준으로 한 총괄 열전달계수(U_o)에 대한 내부 표면적(inside surface area)을 기준으로 한 총괄 열전달계수(U_i)의 비(U_i/U_o)는? (단, 이중관 열교환기에 리턴 밴드(return band)와 리턴 헤드(return head)는 없고, 원형관에서만 정상상태의 열교환이 일어난다)

① 0.5

② 0.8

③ 1.5

④ 2.0

정답 3번

간단한 해설

같은 열교환기에서는 기준 면적을 바꾸어도 **총괄 열전달계수와 기준 면적의 곱**이 같다. 내관의 바깥지름은 30 mm이므로 U_i/U_o는 바깥지름과 안지름의 비인 1.5이다.

계산 과정

내관의 안지름을 d_i, 바깥지름을 d_o, 두께를 t라 한다. 두께는 관의 양쪽에 있으므로 **바깥지름은 안지름에 두께의 두 배를 더한 값**이다. 따라서 $d_o = d_i + 2t$이며, $20 + 2 \times 5 = 30$ mm이다.

리턴 밴드와 리턴 헤드가 없고 원형관에서만 열교환이 일어나므로, 열전달 면적은 관의 옆면적으로 계산한다. 관의 길이를 L이라 하면 내부 표면적은 $A_i = \pi d_i L$, 외부 표면적은 $A_o = \pi d_o L$이다. 두 면적의 길이는 같으므로 $\frac{A_o}{A_i} = \frac{d_o}{d_i}$이다.

열전달률을 Q, 두 유체 사이의 대수평균 온도차를 ΔT_m이라 하면 $Q = U_i A_i \Delta T_m$ 또는 $Q = U_o A_o \Delta T_m$으로 나타낸다. 같은 열교환을 나타내므로 열전달률과 온도차가 같아 $U_i A_i = U_o A_o$이다. 즉, 총괄 열전달계수는 **기준 면적에 반비례**한다.

따라서 $\frac{U_i}{U_o} = \frac{A_o}{A_i} = \frac{30}{20} = 1.5$이다. 같은 단위의 지름끼리 나누므로 이 비는 무차원이며, ③의 1.5에 해당한다.

NoteBase

문 19. 고체의 열전도도(k)가 온도(T)의 선형함수로서 다음과 같을 때, T_1과 T_2의 온도 범위에서 평균 열전도도(k_{avg})는? (단, k_0와 β는 상수이다)

$k = k_0(1 + \beta T)$

① $k_0\left(1 + \beta\frac{T_1 + T_2}{2}\right)$
② $k_0\left(1 + \beta\sqrt{T_1 T_2}\right)$
③ $k_0\left(1 + \beta\frac{2T_1 T_2}{T_1 + T_2}\right)$
④ $k_0\left(1 + \beta\frac{T_1 + T_2}{2\sqrt{T_1 T_2}}\right)$

정답 1번

간단한 해설

열전도도가 온도에 대해 **선형으로 변하므로**, 구간 평균은 양 끝 온도에서의 열전도도의 산술평균과 같다. 따라서 평균 열전도도는 $k_0\left(1 + \beta\frac{T_1 + T_2}{2}\right)$이다.

계산 과정

평균 열전도도는 온도 구간에서 열전도도를 적분한 값을 **온도 구간의 폭으로 나눈 값**이다. 서로 다른 두 온도 T_1, T_2에 대해 $k_{avg} = \frac{1}{T_2 - T_1}\int_{T_1}^{T_2} k(T)dT$로 정의한다.

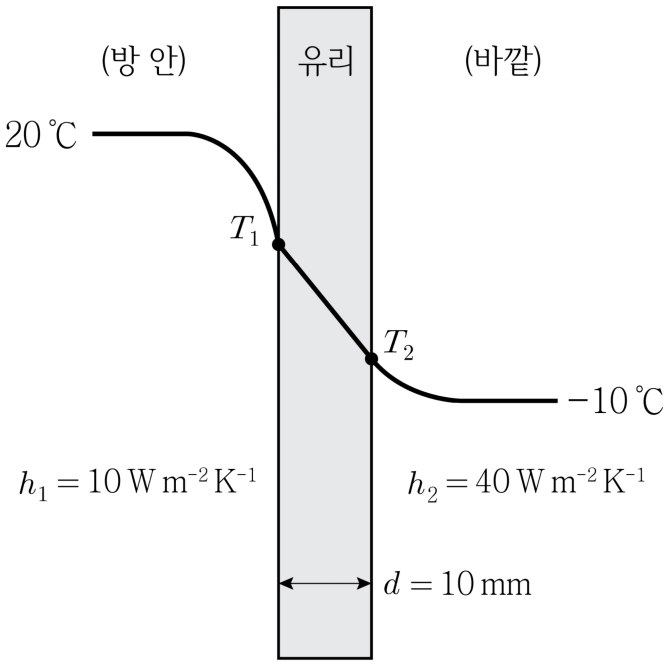
주어진 식 $k(T) = k_0(1 + \beta T)$에서 k_0와 β는 상수이므로, 적분하면 $\int_{T_1}^{T_2} k(T)dT = k_0\left[(T_2 - T_1) + \frac{\beta}{2}(T_2^2 - T_1^2)\right]$이다. 첫 항은 온도와 무관한 부분의 기여이고, 둘째 항은 온도에 비례하여 달라지는 부분의 기여이다.

이를 온도 구간의 폭으로 나누면 $k_{avg} = k_0\left[1 + \frac{\beta(T_2^2 - T_1^2)}{2(T_2 - T_1)}\right]$이다. 여기서 $T_2^2 - T_1^2 = (T_2 - T_1)(T_2 + T_1)$을 이용하면 공통인 $T_2 - T_1$이 약분된다.

따라서 $k_{avg} = k_0\left(1 + \beta\frac{T_1 + T_2}{2}\right)$이며, 이는 ①의 식과 일치한다. 즉, **두 온도의 산술평균에서 구한 열전도도**가 구간 평균 열전도도이다. 결과의 단위는 k_0와 같은 열전도도 단위이다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 두께(d)가 10 mm인 평면 유리 창문의 바깥 온도는 −10 °C, 방 안 온도는 20 °C로 유지되고 있다. 방 안의 열전달계수(h_1)는 10 W m^{-2} K^{-1}이고, 바깥의 열전달계수(h_2)는 40 W m^{-2} K^{-1}이다. 유리의 전도 열저항이 바깥의 대류 열저항보다는 크고 방 안의 대류 열저항보다는 작게 되는 유리의 열전도도(k) [W m^{-1} K^{-1}]의 범위는? (단, 유리 두께 방향으로의 열전달만을 고려하고, 복사에너지는 무시한다)



① 0.01 < k < 0.05

② 0.05 < k < 0.10

③ 0.10 < k < 0.40

④ 0.40 < k < 0.80

정답 3번

간단한 해설

같은 면적에서 전도 열저항은 d/k, 대류 열저항은 $1/h$로 비교한다. **바깥 대류 열저항 < 유리 전도 열저항 < 방 안 대류 열저항**을 적용하면, 열전도도의 범위는 $0.10 < k < 0.40$ W m^{-1} K^{-1}이다.

NoteBase

계산 과정

열저항의 표현: 복사를 무시하고 유리 두께 방향으로만 열이 전달되므로, 평면 유리의 전도 열저항은 $R_g = \frac{d}{kA}$, 대류 열저항은 $R_c = \frac{1}{hA}$이다. 여기서 A는 열전달 면적이다. 세 열저항의 **공통 면적 A를 곱해 비교**하면, 면적을 몰라도 전도는 d/k, 대류는 $1/h$로 비교할 수 있다. 두께는 $d = 10\ \text{mm} = 0.010\ \text{m}$로 환산한다.

양쪽 대류 열저항: 면적 A를 곱한 방 안의 대류 열저항은 $\frac{1}{h_1} = \frac{1}{10} = 0.100\ \text{m}^2\cdot\text{K/W}$이고, 바깥은 $\frac{1}{h_2} = \frac{1}{40} = 0.025\ \text{m}^2\cdot\text{K/W}$이다. 열전달계수가 큰 바깥쪽의 대류 열저항이 더 작다.

조건을 부등식으로 표현: 유리의 전도 열저항이 바깥 대류 열저항보다 크고 방 안 대류 열저항보다 작아야 하므로 $\frac{1}{h_2} < \frac{d}{k} < \frac{1}{h_1}$이다. 수치를 대입하면 $0.025 < \frac{0.010}{k} < 0.100$이다.

열전도도 범위 계산: k는 양수이므로 $\frac{0.010}{k} > 0.025$에서 $k < \frac{0.010}{0.025} = 0.40$을 얻는다. 또한 $\frac{0.010}{k} < 0.100$에서 $k > \frac{0.010}{0.100} = 0.10$을 얻는다. 두께가 같을 때 **열전도도가 클수록 전도 열저항은 작아진다**는 관계에 주의한다.

두 조건을 함께 만족하는 범위는 $0.10 < k < 0.40\ \text{W m}^{-1}\ \text{K}^{-1}$이며, ③의 범위와 일치한다. 열저항이 서로 같은 경우는 포함하지 않으므로 양 끝값은 제외한다.

NoteBase