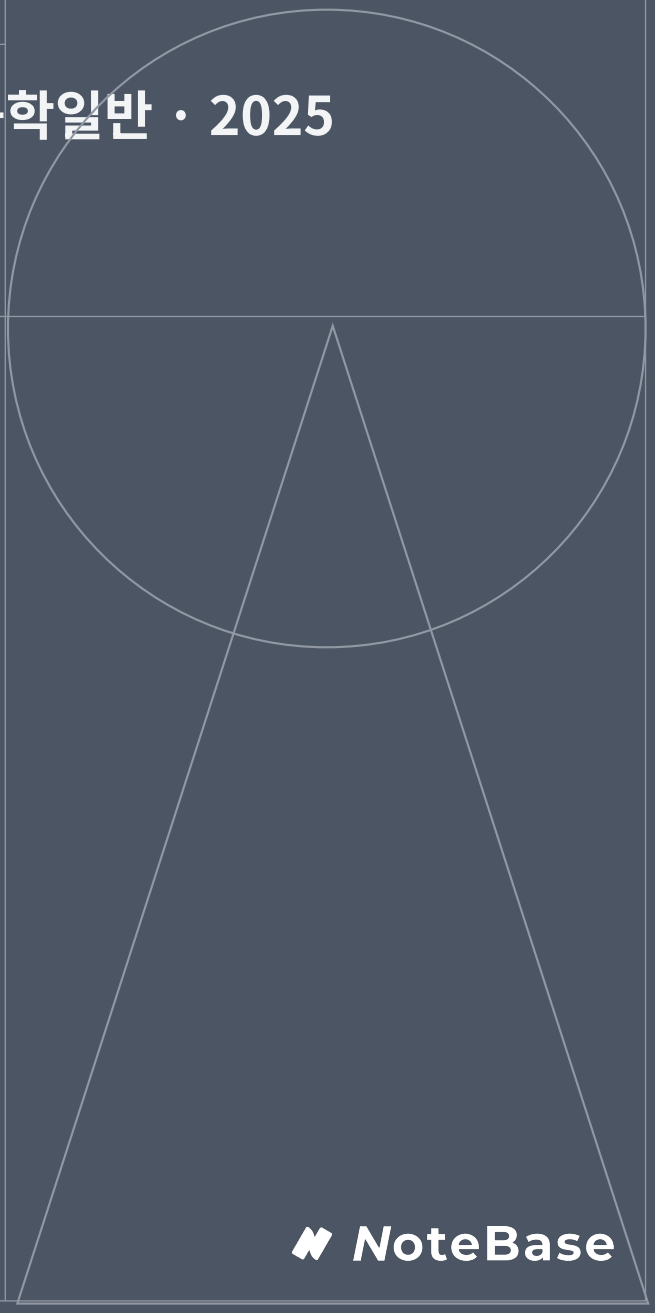
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2025



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2025

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2025

문 1. 액체에 대한 기체 용해도 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 액체와 기체는 반응하지 않는다)

① 일정한 분압에서 온도가 높을수록 용해도는 증가한다.

② 일정한 온도에서 기체의 분압이 클수록 용해도는 증가한다.

③ 묽은 용액 조건에서 용해도와 분압의 정량적 관계는 헨리 법칙 (Henry’s law)으로 주어진다.

④ 동일한 액체에 대해 헨리 법칙 상수는 기체의 종류에 의존한다.

정답 1번

간단한 해설

①의 '온도가 높을수록 용해도는 증가한다'는 일반적인 기체 용해도의 온도 의존성과 반대이다. 기체의 용해는 대체로 발열 과정이므로, 일정한 분압에서 **온도가 높아지면 용해도는 감소한다**.

선지별 해설

① X: 기체가 액체에 녹는 과정은 일반적으로 발열 과정이다. 온도를 높이면 열을 흡수하는 역방향, 즉 녹아 있던 기체가 액체에서 빠져나오는 쪽으로 평형이 이동한다. 따라서 일정한 분압에서 기체의 용해도는 일반적으로 **온도가 높을수록 감소한다**. 온도에 따른 변화는 기체·용매의 조합과 온도 범위에 따라 달라질 수 있으므로, 모든 기체에 대해 용해도가 증가한다고 일반화할 수 없다.

② O: 온도가 일정할 때 액체 위 기체의 분압이 높아지면 더 많은 기체가 액체에 녹은 상태에서 평형을 이룬다. 따라서 용해도는 증가한다. 혼합기체에서는 전체 압력보다 **녹으려는 해당 기체의 분압**을 기준으로 판단한다.

③ O: 액체와 반응하지 않는 기체가 묽게 녹아 있는 조건에서는 **헨리 법칙**으로 기체의 분압과 용해도의 관계를 나타낸다. 액체 속 기체의 몰분율을 x, 그 기체의 분압을 p, 헨리 법칙 상수를 H라고 하면 $p = Hx$로 쓸 수 있다. 일정한 온도에서 같은 기체·용매 조합의 H는 일정하므로, 분압이 커질수록 액체 속 기체의 몰분율도 비례하여 커진다.

④ O: 같은 액체라도 기체의 종류에 따라 기체 분자와 용매 분자 사이의 상호작용이 달라져 용해되는 정도가 달라진다. 따라서 같은 온도에서도 **헨리 법칙 상수는 기체의 종류에 따라 달라진다**. 헨리 법칙 상수는 온도와 기체·용매의 조합을 함께 지정해야 하는 값이다.

NoteBase

문 2. 2 mol의 질소 가스(N_2)가 수소 가스(H_2)와 비가역적으로 반응하여 모두 암모니아 가스(NH_3)로 전환되었을 때, 소모된 수소 가스와 생성된 암모니아 가스의 질량[g]을 바르게 연결한 것은? (단, 질소(N)와 수소(H)의 원자량은 각각 14와 1이다)

① 소모된 수소 가스 질량[g]: 6, 생성된 암모니아 가스 질량[g]: 34

② 소모된 수소 가스 질량[g]: 6, 생성된 암모니아 가스 질량[g]: 68

③ 소모된 수소 가스 질량[g]: 12, 생성된 암모니아 가스 질량[g]: 68

④ 소모된 수소 가스 질량[g]: 12, 생성된 암모니아 가스 질량[g]: 136

정답 3번

간단한 해설

질소·수소·암모니아의 **반응 몰비는 1 : 3 : 2**이다. 질소 2 mol이 모두 반응하면 수소 6 mol이 소모되고 암모니아 4 mol이 생성되므로, 각각의 질량은 12 g과 68 g이다.

계산 과정

반응식과 몰비: 원자 수를 맞춘 반응식은 $N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3$이다. 반응식의 계수는 **질량비가 아니라 몰수의 비**를 나타내므로, 질소 1 mol이 반응할 때 수소 3 mol이 소모되고 암모니아 2 mol이 생성된다. 주어진 질소 2 mol은 모두 반응한다.

소모된 수소의 질량: 질소와 수소의 반응 몰비가 1 : 3이므로, 소모된 수소는 $2 \times 3 = 6$ mol이다. 수소 분자 H_2에는 수소 원자가 2개 있으므로 몰질량은 $2 \times 1 = 2$ g/mol이다. 질량은 몰수에 몰질량을 곱한 값이므로, 소모된 수소의 질량은 $6 \times 2 = 12$ g이다.

생성된 암모니아의 질량: 질소와 암모니아의 반응 몰비가 1 : 2이므로, 생성된 암모니아는 $2 \times 2 = 4$ mol이다. 암모니아 NH_3의 몰질량은 $14 + 3 \times 1 = 17$ g/mol이므로, 생성된 암모니아의 질량은 $4 \times 17 = 68$ g이다.

소모된 수소 12 g과 생성된 암모니아 68 g을 연결한 것은 ③이다.

NoteBase

문 3. 평면벽의 두께가 50 cm이고 바깥 표면의 온도와 안쪽 표면의 온도가 각각 10 °C와 20 °C로 유지될 때, 벽을 통한 정상상태 열전달 플럭스 (flux) [kJ m^{-2} h^{-1}]**는? (단, 벽의 열전도도는** 1.0×10^{-4} kJ m^{-1} s^{-1} K^{-1}**이고, 평면벽 두께 방향으로의 열전도만 고려한다)**

① 4.8

② 6.4

③ 7.2

④ 8.6

정답 3번

간단한 해설

정상상태 평면벽의 열전달 플럭스는 **열전도도 × 온도 차 ÷ 벽 두께**로 구한다. 두께를 0.50 m로 환산하여 계산한 뒤 초당 값을 시간당 값으로 바꾸면 7.2 $kJm^{-2}h^{-1}$이며, 열은 안쪽에서 바깥쪽으로 흐른다.

계산 과정

조건 정리: 벽 두께는 L = 50 cm = 0.50 m이고, 안쪽과 바깥쪽 표면의 온도 차는 20 − 10 = 10 °C이다. **온도 차는 °C와 K의 수치가 같으므로** $\Delta T = 10$ K로 쓴다. 열전도도는 $k = 1.0 \times 10^{-4}$ $kJm^{-1}s^{-1}K^{-1}$이다.

적용식: 열전달 플럭스 q''는 단위 면적당·단위 시간당 전달되는 열량이다. 일정한 열전도도를 갖는 평면벽의 두께 방향 정상 전도에 푸리에 법칙을 적용하면, 그 크기는 $q'' = k\frac{\Delta T}{L}$이다. 같은 온도 차에서 벽이 두꺼울수록 온도 기울기가 작아져 플럭스도 작아진다.

초당 플럭스 계산: $\frac{\Delta T}{L} = \frac{10}{0.50} = 20$ Km^{-1}이므로, $q'' = (1.0 \times 10^{-4}) \times 20$이다. 따라서 $q'' = 0.002$ $kJm^{-2}s^{-1}$로, 벽 1 m^2를 통해 매초 0.002 kJ의 열이 전달된다는 뜻이다.

시간 단위 환산: 구하는 단위는 **시간당 플럭스**이므로 1시간 = 3,600초를 적용하여 초당 값에 3,600을 곱한다. 0.002 × 3,600 = 7.2이므로, 열전달 플럭스는 7.2 $kJm^{-2}h^{-1}$로 ③의 7.2에 해당한다. 열전달 방향은 온도가 높은 안쪽 20 °C에서 낮은 바깥쪽 10 °C로 향한다.

NoteBase

문 4. 등온 회분식 반응기에서 $A \rightarrow 2B$ 비가역 액상 기초 반응을 진행하였을 때, 1시간 뒤 B의 농도가 0.6 mol L^{-1}로 측정되었다. 동일한 조건에서 A의 초기 농도만을 3배로 증가시켰을 때, 1시간 뒤 B의 농도[mol L^{-1}]는? (단, 반응 초기에는 순수한 A만 존재한다)

① 0.6

② 1.2

③ 1.8

④ 3.6

정답 3번

간단한 해설

A 한 분자가 반응하는 비가역 기초 반응이므로 1차 반응이며, 같은 온도와 반응 시간에서는 **A의 전환율이 초기 농도와 무관하다**. 따라서 A의 초기 농도를 3배로 하면 생성되는 B의 농도도 3배가 되어 1시간 뒤 $1.8 \mathrm{mol L^{-1}}$이다.

계산 과정

1. 반응속도식: $A \rightarrow 2B$는 반응물 A 한 분자가 참여하는 기초 반응이므로 **A에 대한 1차 반응**이다. 액상 반응에서 부피를 일정하게 취급하면 A의 농도는 $\frac{dC_A}{dt} = -kC_A$를 따르며, 이를 적분하면 $C_A = C_{A0}e^{-kt}$이다. 여기서 C_{A0}는 A의 초기 농도, k는 반응속도상수, t는 반응 시간이다.

2. B의 생성량: 초기에는 B가 없고, A 1 mol이 소모될 때 B 2 mol이 생성된다. 따라서 $C_B = 2(C_{A0} - C_A)$이며, 앞의 농도식을 대입하면 $C_B = 2C_{A0}(1 - e^{-kt})$이다. 이때 $1 - e^{-kt}$는 **초기 A 중 반응한 비율인 전환율**이다.

3. 초기 농도 변화의 영향: 두 실험은 등온의 동일한 조건에서 1시간 동안 반응시키므로 k와 t가 같다. 따라서 전환율도 같고, B의 농도는 A의 초기 농도에 비례한다. A의 초기 농도를 3배로 하면 B의 농도도 3배가 된다.

4. 농도 계산: 처음 실험에서 1시간 뒤 B의 농도는 $0.6 \mathrm{mol L^{-1}}$이므로, 초기 농도를 바꾼 실험에서는 $C'_B = 3C_B$이다. 따라서 B의 농도는 $3 \times 0.6 = 1.8 \mathrm{mol L^{-1}}$이며, 선택지 ③의 1.8에 해당한다.

NoteBase

문 5. 등온 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 A → B 비가역 액상 2차 반응을 진행한다. 유입되는 A의 초기 농도는 2 mol L^{-1}이고, 부피 유속은 4 L min^{-1}로 일정할 때, 전환율 90%를 얻기 위해 필요한 반응기 부피[L]는? (단, 반응속도상수는 1 L mol^{-1} min^{-1}이다)

① 45

② 90

③ 135

④ 180

정답 4번

간단한 해설

CSTR은 완전혼합되므로 **출구 농도에서의 반응속도**를 사용한다. 전환율 90%일 때 A의 농도는 0.2 mol L^{-1}이며, 이때의 반응속도로 단위 시간당 A 소모량을 나누면 필요한 부피는 180 L이다.

계산 과정

정상상태 CSTR에서는 A가 축적되지 않으므로 유입 몰유량과 유출 몰유량의 차이가 반응에 의한 A 소모량과 같다. 또한 **반응기 내부 농도와 출구 농도가 같으므로**, 반응속도는 출구 농도로 계산한다. 반응기 부피를 V, A의 단위 부피당 소모속도를 $-r_A$라 하면 물질수지는 $F_{A0} - F_A = (-r_A)V$이다.

출구 농도: 유입 농도는 $C_{A0} = 2$ mol L^{-1}, 전환율은 $X = 0.90$이다. 부피 유속이 일정하므로 $C_A = C_{A0}(1 - X) = 2(1 - 0.90) = 0.2$ mol L^{-1}이다. 이는 유입된 A의 10%가 반응하지 않고 남는다는 뜻이다.

반응속도: A에 대한 2차 반응이므로 $-r_A = kC_A^2$이다. 주어진 속도상수 $k = 1$ L mol^{-1} min^{-1}을 대입하면 $-r_A = 1 \cdot (0.2)^2 = 0.04$ mol L^{-1} min^{-1}이다. 즉, 반응기 1 L에서 매분 A 0.04 mol이 소모된다.

A의 소모 몰유량: 부피 유속을 $q = 4$ L min^{-1}라 하면 유입 몰유량은 $F_{A0} = qC_{A0} = 4 \cdot 2 = 8$ mol min^{-1}이다. 그중 90%가 반응하므로 $F_{A0}X = 8 \cdot 0.90 = 7.2$ mol min^{-1}의 A를 소모해야 한다.

반응기 부피: 물질수지에서 $V = \frac{F_{A0}X}{-r_A} = \frac{7.2}{0.04} = 180$ L이다. 단위도 (mol min^{-1})을 (mol L^{-1} min^{-1})로 나누면 L가 된다. 따라서 필요한 부피는 180 L로, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 6. 물질전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 다성분 혼합물에서 평균 속도에 대한 각 화학종의 속도를 확산 속도라고 한다.

② Fick의 법칙에서 확산속도는 농도구배에 반비례한다.

③ 질량 플럭스(flux)는 흐름에 수직인 단위면적을 단위시간당 통과하는 질량을 나타내는 벡터양이다.

④ 계(system) 안의 어떤 대류와도 무관한 물질전달을 분자확산이라고 한다.

정답 2번

간단한 해설

②의 '농도구배에 반비례한다'는 표현은 **농도구배의 크기에 비례한다**로 고쳐야 한다. Fick의 법칙에서 확산계수가 같으면 농도구배가 클수록 확산 플럭스의 크기가 커지며, 확산은 농도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 일어난다.

선지별 해설

① O: 확산 속도는 각 화학종의 평균 이동 속도에서 혼합물의 평균 속도를 뺀 **상대 속도**이다. 혼합물 전체가 함께 이동하는 부분을 제외하고, 각 성분이 혼합물에 대해 얼마나 빠르게 이동하는지를 나타낸다. 기준으로 삼는 평균 속도에 따라 질량평균 속도 기준과 몰평균 속도 기준으로 구분할 수 있다.

② X: Fick의 제1법칙은 1차원에서 $J_A = -D_{AB}\frac{dc_A}{dx}$로 나타낸다. J_A는 성분 A의 확산 몰 플럭스, D_{AB}는 확산계수, c_A는 몰농도, x는 위치이다. 확산계수가 같으면 확산 플럭스의 크기는 **농도구배의 크기에 비례**하므로 '반비례'가 잘못되었다. 음의 부호는 확산 방향이 농도가 증가하는 방향과 반대임을 뜻한다. 확산 속도는 확산 플럭스를 해당 성분의 농도로 나눈 값이므로, 확산계수와 해당 성분의 농도가 같을 때 농도구배의 크기가 커지면 확산 속도의 크기도 커진다.

③ O: 질량 플럭스는 흐름에 수직인 **단위면적을 단위시간에 통과하는 질량**이다. 질량 유량이 단위시간당 이동하는 전체 질량을 나타내는 데 비해, 질량 플럭스는 이를 면적으로 나눈 양이다. 이동량의 크기와 이동 방향을 함께 가지므로 벡터양이다.

④ O: 분자확산은 분자의 불규칙한 열운동으로 일어나는 물질전달이다. 유체 전체의 거시적 이동에 의해 물질을 운반하는 대류와 달리, **유체 전체의 흐름이 없어도** 일어날 수 있다. 대류가 있는 계에서도 분자확산은 함께 일어날 수 있으므로, 선지의 '대류와도 무관한'은 대류에 의한 운반과 구별되는 전달 기구라는 뜻이다.

NoteBase

문 7. 압축성 유체의 흐름 속도가 음속보다 느릴 때, 노즐의 단면적이 감소하는 수평 수렴노즐에서 흐름 방향으로의 압력구배(dP/dx)와 속도구배(du/dx)의 부호를 바르게 연결한 것은? (단, 흐름은 열역학적 가역흐름이다)

① dP/dx: +, du/dx: +

② dP/dx: +, du/dx: −

③ dP/dx: −, du/dx: −

④ dP/dx: −, du/dx: +

정답 4번

간단한 해설

아음속 수렴노즐에서는 단면적 감소에 따라 **속도가 증가**한다. 유체를 가속하려면 상류 압력이 하류 압력보다 높아야 하므로 **압력은 흐름 방향으로 감소**한다.

대응 관계 해설

흐름 방향을 x의 양의 방향으로 잡는다. 통상적인 이상 노즐 해석처럼 정상 1차원·단열 흐름을 가정하면, 주어진 가역 조건과 함께 등엔트로피 흐름으로 다룰 수 있다.

속도구배 du/dx: 단면적을 A, 유속을 u, 음속을 c라 하면 마하수는 $M = u/c$이다. 질량보존식과 등엔트로피 관계에서 $\frac{dA}{A} = (M^2 - 1)\frac{du}{u}$가 성립한다. **아음속 조건**에서는 $M < 1$이므로 $M^2 - 1 < 0$이다. 수렴노즐에서 단면적이 감소하여 $dA < 0$이므로 $du > 0$, 즉 $\frac{du}{dx} > 0$이다. 압축성 유체이므로 밀도를 일정하게 놓은 단순한 면적·속도 반비례식 대신 이 관계를 적용한다.

압력구배 dP/dx: 수평 가역흐름의 운동량식은 $\frac{dP}{dx} = -\rho u\frac{du}{dx}$이다. 여기서 ρ는 유체의 밀도이다. 밀도와 유속이 양수이고 속도구배도 양수이므로 $\frac{dP}{dx} < 0$이다. 이는 **하류로 갈수록 낮아지는 압력**이 유체를 흐름 방향으로 가속한다는 뜻이다.

압력구배는 음(-), 속도구배는 양(+)이므로 ④의 조합과 일치한다.

NoteBase

문 8. 플러그흐름반응기(PFR)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 축 방향(axial direction)으로 농도가 변한다.

② 정상상태에서 운전된다.

③ 반지름 방향(radial direction)으로 온도구배가 없다.

④ 몰 수지식은 대수방정식이다.

정답 4번

간단한 해설

PFR은 축 방향으로 농도와 반응속도가 달라지므로, 위치에 따른 몰 유량의 변화를 나타내는 **미분방정식**으로 몰 수지를 세운다. 정상상태는 시간에 따른 변화가 없다는 뜻이며, 위치에 따른 변화까지 없다는 뜻은 아니다.

선지별 해설

① O: PFR에서는 유체가 흐르는 동안 반응이 진행되고 축 방향의 역혼합이 없다고 가정하므로, **흐름 방향의 위치에 따라 농도가 달라진다**. 예를 들어 반응물이 소모되는 비가역 반응에서는 유체가 입구에서 출구로 이동하면서 반응물의 전환율이 증가한다.

② O: 통상적인 PFR 설계에서는 **정상상태 운전**을 가정한다. 이때 각 위치의 농도와 온도 등은 시간이 지나도 변하지 않으며, 몰 수지의 축적항은 0이다. 서로 다른 위치의 농도가 같은 것은 아니므로 축 방향 농도 변화와 양립한다.

③ O: 이상적인 PFR에서는 같은 단면의 유체 상태가 균일하다고 가정하므로 **반지름 방향의 온도구배가 없다**. 이는 같은 축 위치에서 관의 중심과 벽 쪽 유체의 온도가 같다는 뜻이다. 축 방향의 온도 변화는 가능하므로, 반응기 전체가 등온이라는 뜻은 아니다.

④ X: PFR의 몰 수지식은 대수방정식이 아니라 **미분방정식**이다. 정상상태에서 미소 부피에 대해 '유입 − 유출 + 반응에 의한 생성 = 0'을 적용하면 $\frac{dF_A}{dV} = r_A$가 된다. 여기서 F_A는 성분 A의 몰 유량, V는 입구부터 해당 위치까지의 반응기 부피, r_A는 단위 부피당 A의 순생성속도이다. A가 소모되면 $r_A < 0$이므로 흐름 방향으로 A의 몰 유량이 감소한다. PFR은 위치에 따라 반응속도가 달라져 미소 구간별 수지가 필요하며, 내부 상태가 균일한 정상상태 완전혼합반응기(CSTR)의 몰 수지가 대수방정식으로 표현되는 것과 구별된다.

NoteBase

문 9. 내경이 1 m인 수평 원형관 내부를 40 cm s^{-1}의 평균 유속으로 비압축성 뉴턴유체(Newtonian fluid)가 흐를 때, Fanning 마찰계수는? (단, 유체는 완전히 발달된 정상상태로 흐르고, 밀도와 점도는 각각 0.8 g cm^{-3}과 200 cP이다)

① 0.01

② 0.05

③ 0.1

④ 0.5

정답 1번

간단한 해설

레이놀즈수가 1600이므로 **층류에 대한 Fanning 마찰계수 관계**인 $f_F = \frac{16}{\mathrm{Re}}$를 적용한다. 이에 따라 마찰계수는 단위가 없는 값인 0.01이다.

계산 과정

1. 단위 통일: 관의 내경을 D, 평균 유속을 v, 밀도를 ρ, 점도를 μ라 한다. SI 단위로 바꾸면 D = 1 m, v = 0.4 m/s, ρ = 800 kg/m^3이다. 점도는 1 cP = 0.001 Pa·s이므로 **200 cP = 0.2 Pa·s**이다.

2. 유동 상태 판별: 레이놀즈수는 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내며, 원형관에서는 내경과 평균 유속으로 $\mathrm{Re} = \frac{\rho v D}{\mu}$를 계산한다. 값을 대입하면 $\mathrm{Re} = \frac{800 \cdot 0.4 \cdot 1}{0.2} = 1600$이다. 이는 층류 판별 기준인 약 2100보다 작으므로 **층류 관계식을 적용**한다.

3. 마찰계수 계산: 주어진 비압축성 뉴턴유체가 원형관에서 완전히 발달된 정상 층류로 흐르므로 Fanning 마찰계수는 $f_F = \frac{16}{\mathrm{Re}}$이다. 따라서 $f_F = \frac{16}{1600} = 0.01$이다. 마찰계수는 무차원량이며, 계산값 0.01은 ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 10. 탈거탑에서 Murphree 효율(η_M)과 총괄 효율(η_O)이 같고 평형선과 조작선이 직선일 때, 평형선의 기울기는? (단, 액체유량과 증기유량은 각각 300 kg h^{-1}과 15 kg h^{-1}이고, $\eta_M \neq 1$이다)

① 0.05

② 0.5

③ 2

④ 20

정답 4번

간단한 해설

두 효율이 같고 $\eta_M \neq 1$이면 **평형선과 조작선이 평행**해야 한다. 따라서 평형선의 기울기는 조작선의 기울기와 같아 $m = \frac{L}{V} = \frac{300}{15} = 20$이다.

계산 과정

Murphree 효율 η_M은 한 실제 단에서 일어나는 증기 조성 변화를 그 단에서 평형에 도달할 때 가능한 조성 변화로 나눈 값이다. 총괄 효율 η_O는 필요한 이론단수를 실제 단수로 나눈 값이다.

평형선과 조작선이 직선이고 $\eta_M \neq 1$일 때 두 효율이 같아지는 조건은 **두 직선이 평행한 것**이다. 평행하면 두 선 사이의 조성 차이가 일정하므로, 한 단의 평형 접근 비율이 전체 단수의 비율에도 그대로 반영된다. $\eta_M = 1$이면 각 실제 단이 이론단과 같아 두 선의 기울기가 달라도 두 효율이 모두 1이므로, 문제에서는 이 경우를 제외했다.

액체유량을 L, 증기유량을 V라 하면 조작선의 기울기는 $\frac{L}{V}$이다. 이는 같은 조성 기준에서 물질수지 $V\Delta y = L\Delta x$가 성립하기 때문이다. 주어진 L=300 kg/h와 V=15 kg/h는 단위가 같으므로 따로 환산할 필요가 없다. 따라서 평형선의 기울기는 $m = \frac{L}{V} = \frac{300}{15} = 20$이며, 단위가 소거된 무차원 값으로 ④의 20에 해당한다.

NoteBase

문 11. 원심펌프에서 나타날 수 있는 공동화(cavitation) 현상에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 펌프 임펠러의 마모를 지연시킨다.

② 흡입부의 압력이 유체의 증기압보다 낮을 때 발생한다.

③ 펌프의 효율을 증가시킨다.

④ 배출부의 압력이 유체의 증기압보다 높을 때 발생한다.

정답 2번

간단한 해설

공동화는 흡입부의 국소 압력이 **그 온도에서의 증기압보다 낮아져** 액체 일부가 기화하면서 시작된다. 생성된 증기 기포는 압력이 높은 영역으로 이동하면 급격히 붕괴한다.

선지별 해설

① X: 증기 기포가 임펠러 표면 부근에서 붕괴하면 충격이 반복되어 표면이 깎이는 침식이 생긴다. 따라서 공동화는 임펠러의 마모를 지연시키는 것이 아니라 **마모와 손상을 촉진한다**.

② O: 원심펌프의 흡입부, 특히 임펠러 입구에서 **국소 절대압력이 그 온도에서의 증기압보다 낮아지면** 액체 일부가 기화하여 증기 기포가 생성된다. 이 기포가 유동을 따라 압력이 높은 영역으로 이동하여 붕괴하는 현상이 공동화이다.

③ X: 공동화로 생긴 증기 기포는 정상적인 액체 흐름과 임펠러의 에너지 전달을 방해한다. 그 결과 양정과 효율이 저하되므로, 펌프의 효율을 증가시키는 것이 아니라 **감소시킨다**.

④ X: 공동화를 시작시키는 조건은 배출부의 높은 압력이 아니라 **흡입부의 국소 압력이 증기압보다 낮아지는 것**이다. 이미 생성된 증기 기포가 증기압보다 높은 압력의 영역에 도달하면 기포가 붕괴한다. 따라서 기포가 생성되는 조건과 붕괴하는 조건을 구별해야 한다.

NoteBase

문 12. 초임계유체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 온도나 압력을 변화시키면 용질로부터 쉽게 분리할 수 있다.

② 상압에서 커피로부터 카페인을 추출할 때 사용될 수 있다.

③ 유기용매 대비 추출 속도가 빠르다.

④ 일정한 온도에서 압력을 높여 액체로 변환시킬 수 없다.

정답 2번

간단한 해설

②의 '상압에서'가 잘못된 표현이다. 커피의 카페인 추출에 쓰는 초임계 이산화탄소는 **임계온도와 임계압력을 모두 넘는 조건**에서 얻으므로, 상압이 아니라 높은 압력이 필요하다.

선지별 해설

① O: 초임계유체는 온도와 압력에 따라 밀도와 용해력이 달라진다. 추출 후 **압력을 낮추어 용해력을 떨어뜨리면** 녹아 있던 용질을 분리할 수 있다. 특히 이산화탄소는 감압하면 기체로 빠져나가므로 추출물과 쉽게 분리된다.

② X: 초임계 이산화탄소를 이용하여 커피에서 카페인을 추출할 수는 있지만, **상압에서는 초임계 상태를 유지할 수 없다**. 초임계유체는 물질의 임계온도와 임계압력을 모두 넘는 상태이므로, 이산화탄소를 임계온도보다 높은 온도에서 임계압력보다 높게 가압하여 사용해야 한다.

③ O: 초임계유체는 일반적인 액체 유기용매보다 **점도가 낮고 확산계수가 크다**. 따라서 시료 내부로 침투하고 용질을 이동시키기 쉬워 물질전달이 빠르며, 일반적으로 추출 시간을 줄일 수 있다.

④ O: 초임계유체의 온도는 **임계온도보다 높다**. 이 온도를 일정하게 유지하면서 압력을 높여도 기체와 액체를 구분하는 상변화가 일어나지 않으므로 액체로 응축되지 않는다. 압력 증가로 밀도가 커져 액체와 비슷해지는 것과 액화는 구별해야 한다.

NoteBase

문 13. 기체 분리막에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 비다공질 고분자 막의 경우 기체는 저압 쪽에서 고분자 막에 용해된다.

② 비다공질 고분자 막에서 기체 수송은 용액확산 메커니즘을 따른다.

③ 다공질 막에서 세공 내의 확산계수는 세공 크기와 평균 분자 속도에 비례한다.

④ 다공질 막의 세공이 기체의 평균 자유경로보다 매우 작으면 Knudsen 확산이 지배적이다.

정답 1번

간단한 해설

비다공질 고분자 막에서는 기체가 **고압 쪽에서 막에 용해**된 뒤 막 내부를 확산하고, 저압 쪽에서 탈착되어 나온다. ①은 용해가 일어나는 쪽을 반대로 설명했다.

선지별 해설

① X: 기체는 **고압인 공급 측에서 고분자 막에 용해**된다. 용해된 기체는 막 내부를 확산한 뒤 저압인 투과 측에서 탈착된다. 따라서 '저압 쪽에서 고분자 막에 용해된다'는 '고압 쪽에서 고분자 막에 용해된다'로 고쳐야 한다. 기체 성분별로는 막 양쪽의 분압 차이가 투과의 구동력이 된다.

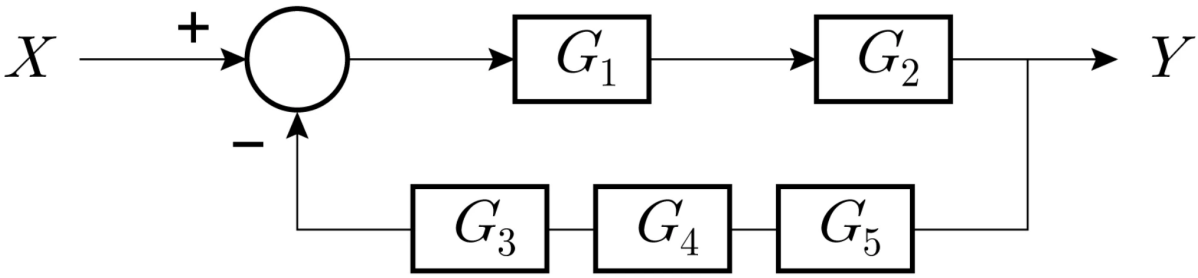
② O: 비다공질 고분자 막에서 기체는 열린 세공을 따라 흐르는 대신, **막에 용해된 후 막 내부를 확산**하는 용액확산 메커니즘으로 이동한다. 기체마다 고분자에 대한 용해도와 막 내부 확산계수가 달라 투과 속도에 차이가 생기므로 기체를 분리할 수 있다.

③ O: Knudsen 확산이 지배적인 경우 세공 내 확산계수는 **세공 크기와 평균 분자 속도에 각각 비례**한다. 원통형 세공에서는 $D_K = \frac{d_p \bar{v}}{3}$로 나타내며, D_K는 Knudsen 확산계수, d_p는 세공 지름, $\bar{v}$는 평균 분자 속도이다. 세공이 넓을수록 벽과 충돌하기 전 이동 거리가 길어지고, 분자 속도가 빠를수록 같은 시간에 더 멀리 이동한다.

④ O: 평균 자유경로는 기체 분자가 다른 기체 분자와 충돌하기 전까지 이동하는 평균 거리이다. 세공 크기가 이보다 매우 작으면 기체 분자는 다른 분자보다 **세공 벽과 더 빈번하게 충돌**한다. 이처럼 분자와 세공 벽의 충돌이 수송을 지배하는 것이 Knudsen 확산이다.

NoteBase

문 14. 다음 블록선도에서 Y의 식으로 옳은 것은?



① $\frac{G_1G_2G_3G_4G_5}{1+G_1G_2}X$
② $\frac{G_1G_2G_3G_4G_5}{1-G_1G_2}X$
③ $\frac{G_1G_2}{1+G_1G_2G_3G_4G_5}X$
④ $\frac{G_1G_2}{1-G_1G_2G_3G_4G_5}X$

정답 3번

간단한 해설

순방향 경로는 G_1G_2, 되먹임 경로는 $G_3G_4G_5$이며, 합산점에서 되먹임 신호를 빼는 **음의 피드백**이다. 따라서 출력은 $Y = \frac{G_1G_2}{1+G_1G_2G_3G_4G_5}X$가 된다.

계산 과정

1. 경로별 전달함수: 직렬로 연결된 블록의 전달함수는 곱한다. 합산점에서 출력 Y까지의 순방향 전달함수를 $G = G_1G_2$, 출력에서 합산점으로 돌아오는 되먹임 전달함수를 $H = G_3G_4G_5$로 둔다. 아래쪽 세 블록은 **출력 이후의 되먹임 경로**에 있으므로 순방향 전달함수에 포함하지 않는다.

2. 합산점과 출력의 관계: 합산점에서 나온 신호를 E라 하면, 입력 X에는 +, 되먹임 신호에는 −가 붙어 있으므로 $E = X - HY$이다. 여기서 HY는 출력이 되먹임 경로를 거쳐 합산점에 도달한 신호이다. 이 신호를 입력에서 뺀 E가 순방향 블록에 들어가므로 $Y = GE = G(X - HY)$가 성립한다.

3. 출력식 정리: 위 식을 전개하면 $Y = GX - GHY$이다. 출력 Y가 들어 있는 항을 왼쪽으로 모으면 $(1 + GH)Y = GX$이므로, $Y = \frac{G}{1+GH}X$를 얻는다. 합산점에서 되먹임을 빼기 때문에 이항한 뒤 분모에는 **루프 전달함수에 더하기 부호**가 붙는다.

4. 원래 기호 대입: $G = G_1G_2$, $H = G_3G_4G_5$를 대입하면 $Y = \frac{G_1G_2}{1+G_1G_2G_3G_4G_5}X$이다. 분자는 순방향 전달함수이고, 분모에는 순방향과 되먹임 전달함수의 곱이 들어간다. 이 식은 ③과 일치한다.

NoteBase

문 15. 다음 가역반응이 평형상태에 있을 때, 화학평형이 오른쪽으로 이동하지 않는 조작은? (단, 정반응은 흡열반응이다)

$As_4O_6(s) + 6C(s) \rightleftarrows As_4(g) + 6CO(g)$

① 반응기 부피 증가

② 반응기 온도 증가

③ CO(g)를 반응기로부터 제거

④ $As_4O_6(s)$를 반응기에 첨가

정답 4번

간단한 해설

$As_4O_6(s)$는 **순수한 고체**이므로, 다른 조건이 일정할 때 더 넣어도 활동도가 달라지지 않는다. 따라서 반응물이어도 첨가만으로는 **평형이 이동하지 않는다**.

핵심 풀이

이 반응은 고체와 기체가 함께 있는 불균일 평형이다. 순수한 고체의 활동도는 1로 취급하므로 평형식에는 기체인 As_4와 CO의 분압만 나타난다. 다른 조건이 일정하고 해당 고체상이 이미 존재할 때, **고체의 양을 늘려도 활동도는 변하지 않는다**. 따라서 ④의 $As_4O_6(s)$ 첨가는 기체의 평형 조성을 바꾸지 않는다. 반응물을 넣으면 항상 오른쪽으로 이동한다는 생각을 순수한 고체에 그대로 적용하면 안 된다.

①의 부피 증가는 기체의 압력을 낮춘다. 반응물 쪽에는 기체가 없고 생성물 쪽에는 $As_4(g)$와 $6CO(g)$가 있으므로, 평형은 압력 감소를 완화하는 **기체 몰수가 더 많은 오른쪽**으로 이동한다.

③처럼 생성물인 CO(g)를 제거해도 줄어든 CO를 보충하는 오른쪽으로 이동한다.

②의 온도 증가는 **열을 흡수하는 방향**을 유리하게 한다. 문제에서 정반응이 흡열반응이라고 주었으므로, 온도를 높이면 오른쪽으로 이동한다.

NoteBase

문 16. 닫힌 계에서 기체가 다음과 같이 4단계의 열역학적 가역공정 사이클을 거칠 때, (가)~(다)의 값[J]을 바르게 연결한 것은? (단, ΔU^t는 계의 총 내부에너지 변화이고, 계로 유입되는 Q(열)와 W(일)는 양(+)의 값으로 나타낸다)

공정	총 내부에너지 변화[J]	열[J]	일[J]
$1 \rightarrow 2$	-100	$Q_{1\rightarrow2}$	$-4{,}000$
$2 \rightarrow 3$ (단열)	(가)	$Q_{2\rightarrow3}$	$W_{2\rightarrow3}$
$3 \rightarrow 4$ (일정부피)	$\Delta U^t_{3\rightarrow4}$	-400	$W_{3\rightarrow4}$
$4 \rightarrow 1$	$3{,}000$	(나)	$5{,}000$
전체 사이클	ΔU^t_{cycle}	$1{,}500$	(다)

① (가): −400, (나): 800, (다): −1,800

② (가): −400, (나): −2,000, (다): −1,800

③ (가): −2,500, (나): 800, (다): −1,500

④ (가): −2,500, (나): −2,000, (다): −1,500

정답 4번

간단한 해설

계로 들어오는 열과 일을 양(+)으로 정했으므로 $\Delta U^t = Q + W$를 적용한다. **사이클의 내부에너지 변화는 0**이고 일정부피 과정의 일은 0이므로, (가)는 −2,500 J, (나)는 −2,000 J, (다)는 −1,500 J이다.

NoteBase

계산 과정

열역학 제1법칙에 따라, 문제처럼 **계로 유입되는 열과 일을 모두 양(+)**으로 두면 $\Delta U^t = Q + W$이다. 내부에너지는 상태함수이므로 처음 상태로 돌아오는 전체 사이클에서는 $\Delta U^t_{\text{cycle}} = 0$이다. 표의 에너지 단위는 모두 J이므로 단위 변환은 필요하지 않다.

3→4 과정: **일정부피에서는 부피 변화에 따른 일이 0**이므로 $W_{3\to4} = 0$이다. 따라서 $\Delta U^t_{3\to4} = Q_{3\to4}$이며, 표에서 열이 −400 J이므로 이 과정의 내부에너지 변화도 −400 J이다.

(가) — 2→3 과정의 내부에너지 변화: 네 과정의 내부에너지 변화를 더하면 0이므로 -100+(가)-400+3,000=0이다. 이를 풀면 (가)는 −2,500 J이다. 이 과정은 단열이므로 $Q_{2\to3} = 0$이며, 내부에너지 감소량은 계가 외부로 한 일의 크기와 같다.

(나) — 4→1 과정의 열: 열은 내부에너지 변화에서 일을 빼서 구한다. $Q_{4\to1} = \Delta U^t_{4\to1} - W_{4\to1}$이므로 (나)는 3,000 − 5,000 = −2,000 J이다. 계가 일 5,000 J을 받았지만 내부에너지는 3,000 J만 증가했으므로, 나머지 2,000 J은 열로 방출된다.

(다) — 전체 사이클의 일: 사이클에서는 $0 = Q_{\text{cycle}} + W_{\text{cycle}}$이다. 표의 전체 유입 열이 1,500 J이므로 (다)는 −1,500 J이다. 음의 부호는 계가 한 사이클 동안 외부에 순일 1,500 J을 했다는 뜻이다.

따라서 (가) −2,500 J, (나) −2,000 J, (다) −1,500 J의 연결은 ④와 일치한다.

NoteBase

문 17. 2 kW가 공급되는 닫힌 가열기 내에 채워진 물 30 kg이 20 °C에서 50 °C로 승온되는 데 걸리는 시간[h]은? (단, 물의 비열은 4.0 $\mathrm{J g^{-1} K^{-1}}$이고, 외부로의 열손실은 없다)

① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 2.0

정답 1번

간단한 해설

열손실이 없으므로 공급 에너지가 모두 물의 온도 상승에 쓰인다. 필요한 열량은 3,600 kJ이며, 2 kW로 공급할 때 가열 시간은 **0.5 h**이다.

계산 과정

물의 질량 m은 30 kg이고, 온도 변화는 $\Delta T = 50 - 20 = 30\mathrm{K}$이다. 섭씨온도 차와 절대온도 차의 수치는 같다. 주어진 비열을 질량 단위에 맞추면 $c = 4.0\mathrm{J g^{-1} K^{-1}} = 4.0\mathrm{kJ kg^{-1} K^{-1}}$이다.

필요한 열량: 비열은 단위 질량의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량이므로, 물 전체를 30 K 높이는 데 필요한 열량 Q는 $Q = mc\Delta T$로 구한다. 따라서 $Q = 30 \cdot 4.0 \cdot 30 = 3{,}600\mathrm{kJ}$이다.

가열 시간: 공급 전력 P는 단위 시간당 공급 에너지이며, 2 kW = 2 kJ/s이다. **외부로의 열손실이 없으므로** 공급 에너지와 필요한 열량이 같아 $Pt = Q$가 성립한다. 따라서 $t = \frac{Q}{P} = \frac{3{,}600\mathrm{kJ}}{2\mathrm{kJ/s}} = 1{,}800\mathrm{s}$이다. 이를 시간 단위로 바꾸면 $t = \frac{1{,}800}{3{,}600}\mathrm{h} = 0.5\mathrm{h}$이며, ①의 0.5에 해당한다.

NoteBase

문 18. 등온 정압 플러그흐름반응기(PFR)에서 이산화탄소 가스(CO_2)를 이용한 메테인 가스(CH_4)의 비가역 개질 반응으로 수소 가스(H_2)와 일산화탄소 가스(CO)가 생성된다. 유입되는 반응유체의 부피 조성은 20 vol% CH_4, 70 vol% CO_2, 10 vol% N_2이다. 한계반응물의 전환율이 50%일 때, 반응기 출구에서 CO_2의 부피 조성[vol%]은? (단, 모든 기체는 이상기체이고, 부반응은 없다)

① 20

② 30

③ 50

④ 60

정답 3번

간단한 해설

메테인과 이산화탄소는 1:1로 반응하므로 **한계반응물은 메테인**이다. 유입 기체 100 mol을 기준으로 메테인이 절반 반응하면 이산화탄소는 60 mol 남고 전체 기체는 120 mol이 되어, 출구 이산화탄소의 부피 조성은 **50 vol%**이다.

계산 과정

유입량 기준: 이상기체는 같은 온도와 압력에서 부피가 몰수에 비례하므로 **부피분율과 몰분율이 같다**. 유입 기체 100 mol을 기준으로 잡으면 메테인 20 mol, 이산화탄소 70 mol, 질소 10 mol이 들어온다.

반응식과 한계반응물: 주어진 반응의 원자 수를 맞추면 $CH_4 + CO_2 \rightarrow 2H_2 + 2CO$이다. 메테인과 이산화탄소의 반응 몰비는 1:1인데 유입량은 각각 20 mol, 70 mol이므로, 먼저 소모되는 한계반응물은 메테인이다.

전환율 적용: 전환율은 유입된 해당 반응물 중 반응한 비율이다. 메테인의 전환율이 50%이므로 반응한 메테인은 $20 \times 0.5 = 10$ mol이다. 반응식에 따라 이산화탄소도 10 mol 소모되고, 수소와 일산화탄소는 각각 20 mol 생성된다.

출구 몰수: 메테인은 $20 - 10 = 10$ mol, 이산화탄소는 $70 - 10 = 60$ mol 남는다. 질소 10 mol은 반응에 참여하지 않고 그대로 남는다. 생성된 수소 20 mol과 일산화탄소 20 mol까지 더하면 출구 전체 몰수는 $10 + 60 + 10 + 20 + 20 = 120$ mol이다. 반응물 2 mol에서 생성물 4 mol이 생기므로 **전체 기체 몰수는 반응에 따라 증가한다**.

부피 조성: 분모에는 **출구 전체 몰수**를 사용한다. 따라서 이산화탄소의 출구 부피 조성은 $\frac{60}{120} \times 100 = 50$ vol%이며, ③의 50에 해당한다.

NoteBase

문 19. 등온 회분식 반응기에서 300 K의 온도 조건으로 $A \rightarrow 3B$ 비가역 액상 기초 반응을 1시간 진행하여 전환율 70%를 얻었다. 동일한 조건에서 반응 온도만을 600 K로 증가시켰을 때, 전환율 70%를 얻기 위해 필요한 시간[h]은? (단, 기체상수는 $8.3\ \mathrm{J mol^{-1} K^{-1}}$이고, 반응의 활성화 에너지는 $49.8\ \mathrm{kJ mol^{-1}}$로 일정하다)

① e^{-20}

② e^{-10}

③ e^{-5}

④ e^{-3}

정답 2번

간단한 해설

같은 전환율에 도달하는 시간은 **반응속도상수에 반비례**한다. 600 K에서는 속도상수가 300 K의 e^{10}배이므로 필요한 시간은 e^{-10} h이다.

계산 과정

1. 반응 시간의 관계: 300 K와 600 K에서의 반응속도상수를 각각 k_1, k_2, 반응 시간을 각각 t_1, t_2라 두면 $t_1 = 1$ h이다. 기초 반응에서 반응물 A의 계수가 1이므로 A에 대한 1차 반응이다. 각 온도에서 등온으로 진행하므로 속도상수는 일정하며, 회분식 반응기의 적분 속도식은 $-\ln(1-X) = kt$이다. 여기서 X는 A의 전환율이다. 두 경우 모두 **전환율이 0.70으로 같으므로** $k_1 t_1 = k_2 t_2 = -\ln 0.30$이 성립한다.

2. 속도상수의 비: 아레니우스 식으로 온도에 따른 속도상수 변화를 구한다. 두 온도를 각각 $T_1 = 300$ K, $T_2 = 600$ K라 하면 $\ln\frac{k_2}{k_1} = \frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$이다. 활성화 에너지의 단위를 **기체상수와 일치**시키면 49.8 kJ/mol = 49,800 J/mol이므로 $\frac{E_a}{R} = \frac{49{,}800}{8.3} = 6{,}000$ K이다. 따라서 $\ln\frac{k_2}{k_1} = 6{,}000\left(\frac{1}{300} - \frac{1}{600}\right) = 10$이고, $\frac{k_2}{k_1} = e^{10}$이다. 이는 600 K에서 속도상수가 300 K의 e^{10}배가 된다는 뜻이다.

3. 600 K에서의 시간: 같은 전환율에서는 $k_1 t_1 = k_2 t_2$이므로 $t_2 = \frac{k_1}{k_2} t_1 = e^{-10} \cdot 1$ h이다. 필요한 시간은 e^{-10} h이며, 선택지 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 20. 복사(radiation)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 회색체의 단색광 흡수율은 모든 파장에서 동일하다.

② 일정 온도에서 열 에너지 플럭스(flux)는 물질의 종류와 무관하다.

③ 흑체 복사는 Stefan-Boltzmann 법칙으로 설명된다.

④ 총 복사력은 물체의 표면으로부터 방출되는 모든 단색광 복사의 합이다.

정답 2번

간단한 해설

같은 온도라도 실제 물체가 방출하는 복사 에너지 플럭스는 **물질과 표면 상태에 따른 방사율**에 따라 달라진다. 온도만으로 방출 플럭스가 결정되는 것은 이상적인 흑체이다.

선지별 해설

① O: 회색체는 일정 온도에서 **단색광 흡수율이 파장에 무관하게 일정한** 물체이다. 즉, 입사한 복사 에너지 중 흡수하는 비율이 파장이 달라져도 같다. 이는 모든 복사를 흡수한다는 뜻은 아니며, 모든 파장에서 흡수율이 1인 물체는 흑체이다.

② X: 실제 물체의 총 방출 복사 플럭스는 $E = \varepsilon \sigma T^4$로 나타낸다. 여기서 ε은 방사율, σ는 Stefan-Boltzmann 상수, T는 절대온도이다. 방사율은 같은 온도의 흑체에 대한 방출 복사력의 비율이며, 물질의 종류와 표면 상태 등에 따라 달라진다. 따라서 온도가 같아도 **방사율이 다르면 방출 플럭스가 다르다**. 물질과 무관하게 온도만으로 결정되는 관계는 방사율이 1인 흑체에 해당한다.

③ O: Stefan-Boltzmann 법칙은 흑체의 단위 면적당 총 복사력에 대해 $E_b = \sigma T^4$가 성립한다는 법칙이다. 즉, **모든 파장에 걸친 총 방출량**은 절대온도의 네제곱에 비례한다. T는 K 단위로 사용하며, 총 복사력의 단위는 W/m^2이다.

④ O: 총 복사력은 물체 표면이 단위 시간·단위 면적당 방출하는 복사 에너지를 **모든 파장에 걸쳐 합한 값**이다. 단색 복사력이 파장별 방출량을 나타내므로, 이를 전체 파장 범위에 대해 적분하면 총 복사력을 얻는다.

NoteBase