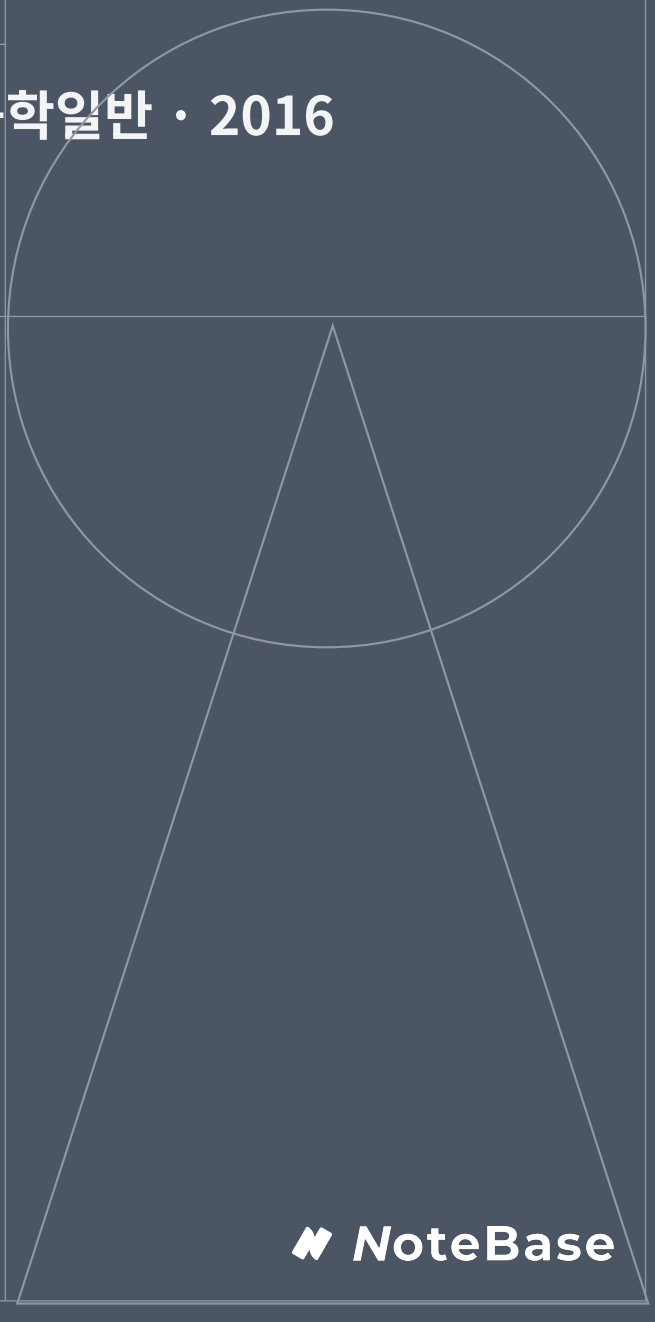
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2016



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2016

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2016

문 1. 증류탑에서 원료 공급선(feed line)의 기울기가 영(0)인 원료 공급 조건에 해당하는 것은?

① 액체와 증기의 혼합 원료를 공급할 경우

② 포화증기를 공급할 경우

③ 포화액체를 공급할 경우

④ 과열 증기(superheated vapor)를 공급할 경우

정답 2번

간단한 해설

포화증기는 원료의 열적 상태를 나타내는 q가 0이므로, 원료 공급선의 기울기 $\frac{q}{q-1}$도 0이다. 따라서 원료 공급선은 **수평선**이 된다.

공통 해설

맥케이브·틸레법에서 원료 공급선(q선)은 원료의 열적 상태를 반영한다. 액체 조성을 x, 증기 조성을 y, 원료 조성을 z_F라 하면, q ≠ 1일 때 원료 공급선은 $y = \frac{q}{q-1}x - \frac{z_F}{q-1}$로 나타낸다. 따라서 **기울기는** $\frac{q}{q-1}$이다. q는 원료의 열적 상태를 나타내는 값이며, 액체와 증기가 함께 있는 원료에서는 액체의 몰분율에 해당한다.

기울기가 0이 되려면 q = 0이어야 한다. 이는 원료가 **포화증기**인 상태이다. 이때 원료 공급선은 $y = z_F$가 되어 x가 변해도 y가 일정한 수평선이다.

같은 관계에서 액체와 증기의 혼합 원료는 0 < q < 1이므로 기울기가 음수이고, 포화액체는 q = 1이므로 원료 공급선이 $x = z_F$인 수직선이다. 과열증기는 q < 0이므로 기울기가 0보다 크고 1보다 작다. 따라서 이 세 조건에서는 기울기가 0이 되지 않는다.

NoteBase

문 2. 정상상태로 조업되는 반응기에 유입되는 흐름과 유출되는 흐름을 분석한 결과, 반응에 참여하지 않는 비활성물질의 조성이 유입 흐름과 유출 흐름에서 각각 20 mol%와 10 mol%이다. 이 반응기에 유입되는 흐름의 유속이 100 mol/s일 때 유출 흐름의 유속[mol/s]은? (단, 반응기에서 반응물은 생성물로 100% 전환된다)

① 50

② 100

③ 200

④ 500

정답 3번

간단한 해설

정상상태에서 반응하지 않는 **비활성물질의 유입·유출 몰유량은 같다**. 비활성물질의 몰분율이 20%에서 10%로 절반이 되었으므로 전체 유출 몰유량은 유입의 두 배인 200 mol/s이다.

계산 과정

물질수지 설정: 정상상태에서는 반응기 내부에 물질이 축적되지 않는다. 비활성물질은 반응으로 생성되거나 소모되지 않으므로 **비활성물질의 유입 몰유량 = 유출 몰유량**이다. 반응물의 전환율이 100%여도 이 관계는 그대로 성립한다.

비활성물질의 유입 몰유량: 몰분율은 전체 몰수에서 해당 성분의 몰수가 차지하는 비율이다. 따라서 전체 유입 몰유량 100 mol/s에 비활성물질의 몰분율 0.20을 곱하면 $100 \times 0.20 = 20$ mol/s이다. 이는 매초 반응기로 들어오는 비활성물질의 양이다.

전체 유출 몰유량 계산: 전체 유출 몰유량을 F mol/s라 하면, 유출 흐름에서 비활성물질은 10 mol%이므로 그 몰유량은 $0.10F$ mol/s이다. 이를 유입되는 비활성물질 20 mol/s와 같게 두면 $0.10F = 20$이며, $F = \frac{20}{0.10} = 200$ mol/s이다. 나누는 값 0.10은 **유출 흐름의 비활성물질 몰분율**이다.

유출 흐름의 전체 몰유량은 200 mol/s이며, 선택지 ③의 200에 해당한다.

NoteBase

문 3. 유량의 조절 또는 개폐의 목적으로 사용되는 밸브의 종류와 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 게이트 밸브: 유량 조절에 적합하며 압력 강하가 작다.

② 글로브 밸브: 유량 조절에 널리 사용되며 압력 손실이 크다.

③ 버터플라이 밸브: 원판 회전에 의해 작동되며 개폐작용이 빠르고 간단하다.

④ 체크 밸브: 유체를 한쪽 방향으로만 흐르게 하여 역류를 방지한다.

정답 1번

간단한 해설

게이트 밸브는 **완전 개방 또는 완전 폐쇄하는 개폐용**으로 사용하며, 유량을 세밀하게 조절하는 데는 적합하지 않다. 압력 강하가 작다는 설명은 **완전히 열었을 때**의 특성이다.

선지별 해설

① X: 게이트 밸브는 판 모양의 게이트를 유체의 흐름에 수직으로 이동시켜 통로를 열거나 닫는다. 완전히 열면 게이트가 유로에서 물러나 흐름을 거의 방해하지 않으므로 압력 강하가 작다. 그러나 부분적으로 열어 사용하면 좁은 틈으로 흐르는 유체가 게이트와 시트를 침식하거나 진동을 일으킬 수 있으므로, '유량 조절에 적합하며'는 **'유량 조절에는 부적합하며 개폐용으로 사용한다'**로 고쳐야 한다.

② O: 글로브 밸브는 밸브 디스크와 시트 사이의 간격을 바꾸어 유체가 지나는 면적을 조절하므로 **유량 조절에 적합하다**. 유체가 밸브 내부에서 방향을 바꾸어 흐르기 때문에 유동 저항이 커서, 완전히 열린 게이트 밸브에 비해 압력 손실이 크다.

③ O: 버터플라이 밸브는 유로 안의 원판을 축을 중심으로 회전시켜 통로를 열거나 닫는다. 원판을 **약 90° 회전**시키면 완전 개방과 완전 폐쇄 사이를 전환할 수 있어 개폐작용이 빠르고 작동 방식이 간단하다.

④ O: 체크 밸브는 유체의 압력과 흐름에 반응하여 자동으로 열리거나 닫힌다. 순방향 흐름은 통과시키고, 역방향으로 흐르려 하면 밸브가 닫혀 **역류를 방지한다**.

NoteBase

문 4. 다음 분체 제조 장치 중, 가장 작은 크기의 분체를 제조할 수 있는 장치는?

① 콜로이드 밀(colloid mill)

② 선동 파쇄기(gyratory crusher)

③ 중간형 해머 밀(intermediate hammer mill)

④ jaw 파쇄기(jaw crusher)

정답 1번

간단한 해설

콜로이드 밀은 회전자와 고정자 사이의 좁은 틈에서 생기는 **강한 전단력**으로 입자를 미세하게 분쇄하는 장치이다. 거친 파쇄나 중간 분쇄에 쓰이는 다른 장치보다 더 작은 입자를 얻는 데 적합하다.

선지별 해설

① 콜로이드 밀: 고속으로 회전하는 회전자와 고정자 사이의 좁은 틈으로 재료를 통과시켜 강한 전단력을 가한다. 주로 액체 속의 입자를 잘게 나누는 **습식 미분쇄**에 쓰이므로, 제시된 장치 중 가장 미세한 입자를 만드는 데 적합하다.

② 선동 파쇄기: 원뿔형 파쇄부가 편심 운동을 하면서 고정된 외벽과의 사이에서 재료를 압축하여 부순다. 큰 덩어리를 작은 조각으로 만드는 **거친 파쇄**에 주로 쓰이므로 콜로이드 밀과 같은 미분쇄 장치와 구별된다.

③ 중간형 해머 밀: 회전하는 해머의 충격으로 재료를 부순다. 이 선지의 장치는 **중간 분쇄**에 해당하며, 콜로이드 밀로 얻는 것과 같은 미세한 입자를 만드는 단계의 장치는 아니다.

④ jaw 파쇄기: 고정된 턱과 왕복 운동하는 턱 사이에서 재료를 압축하여 부순다. 주로 큰 원료를 처음 잘게 만드는 **조분쇄**에 사용되므로 최종 입도는 콜로이드 밀보다 크다.

장치의 통상적인 분쇄 용도를 비교하면, 가장 작은 크기의 분체를 제조하는 데 적합한 장치는 ① 콜로이드 밀이다.

NoteBase

문 5. 동점도(kinematic viscosity), 확산도(diffusivity) 및 열확산도(thermal diffusivity)의 차원은 모두 같다. 이들 차원으로 옳은 것은? (단, L은 길이, T는 시간, M은 무게를 나타낸다)

① L^2T^{-1}

② ML^2T^{-1}

③ $L^{-1}T^2$

④ $ML^{-1}T^2$

정답 1번

간단한 해설

동점도는 **점도를 밀도로 나눈 값**이므로, 그 차원은 L^2T^{-1}이다. 문제에서 동점도·확산도·열확산도의 차원이 같다고 했으므로 이 차원이 공통으로 적용된다.

계산 과정

1. 적용할 관계: 동점도를 ν, 점도를 μ, 밀도를 ρ라 하면 $\nu = \frac{\mu}{\rho}$이다. 세 물성의 차원이 같다는 조건이 주어졌으므로, 동점도의 차원을 구하면 확산도와 열확산도의 차원도 알 수 있다.

2. 점도와 밀도의 차원: 점도의 SI 단위는 Pa·s이고, 이를 기본단위로 나타내면 $\mathrm{kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}}$이므로 $[\mu] = ML^{-1}T^{-1}$이다. 밀도는 단위 부피당 질량이므로 $[\rho] = ML^{-3}$이다.

3. 차원 계산: $[\nu] = \frac{ML^{-1}T^{-1}}{ML^{-3}} = L^2T^{-1}$이다. 분자와 분모의 **질량 차원은 약분**되고, 길이의 지수는 $-1-(-3)=2$가 된다. 따라서 길이의 제곱을 시간으로 나눈 차원이 남는다.

4. 결과: 동점도·확산도·열확산도의 공통 차원은 L^2T^{-1}이고, 이에 대응하는 SI 단위는 $\mathrm{m^2/s}$이다. 이는 ①의 차원과 일치한다.

NoteBase

문 6. 증류탑의 총괄 단효율(overall tray efficiency)이 70%이고 McCabe-Thiele 법으로 구한 이론 단수가 20이라면 설계해야 할 증류탑의 실제 단수는? (단, 실제 단수는 소수점 첫째 자리에서 반올림한다)

① 6

② 14

③ 20

④ 29

정답 4번

간단한 해설

총괄 단효율은 이론 단수를 실제 단수로 나눈 값이므로, 이론 단수를 **효율 0.70으로 나누어** 실제 단수를 구한다. 계산값 약 28.57단을 주어진 조건대로 반올림하면 29단이다.

계산 과정

총괄 단효율 E_o는 같은 분리 성능을 얻는 데 필요한 **이론 단수의 실제 단수에 대한 비**이다. 이론 단수를 N_t, 실제 단수를 N_a라 하면 $E_o = \frac{N_t}{N_a}$이다. 효율이 100%보다 낮으면 실제 단수는 이론 단수보다 많아야 한다.

McCabe-Thiele 법으로 구한 이론 단수는 20단이고, 총괄 단효율 70%를 소수로 나타내면 0.70이다. 따라서 $N_a = \frac{N_t}{E_o} = \frac{20}{0.70} \approx 28.57$단이다. 이는 실제 단수가 약 28.57단이어야 이론 단수 20단에 해당하는 분리 성능을 얻는다는 뜻이다.

문제에서 지정한 대로 **소수점 첫째 자리에서 반올림**하면 실제 단수는 29단이며, ④의 29에 해당한다.

NoteBase

문 7. 공기 100 g의 온도를 20°C에서 50°C까지 승온하기 위해 필요한 열량[kcal]은? (단, 압력 변화는 없으며 공기의 정압비열(C_p)은 0.24 kcal/kg · °C이다)

① 0.24

② 0.56

③ 0.72

④ 1.20

정답 3번

간단한 해설

압력이 일정하므로 **정압비열**을 적용한다. 공기 0.1 kg의 온도를 30°C 높이는 데 필요한 열량은 **0.72 kcal**이다.

계산 과정

압력이 일정한 가열 과정이므로 필요한 열량은 $Q = mC_p\Delta T$로 구한다. 여기서 m은 공기의 질량, C_p는 정압비열, ΔT는 온도 상승량이다. 주어진 정압비열은 공기 1 kg의 온도를 1°C 높이는 데 0.24 kcal가 필요하다는 뜻이다.

비열의 질량 기준이 kg이므로 **100 g을 0.1 kg으로 환산**한다. 온도 상승량은 최종 온도 자체가 아니라 처음과 끝의 차이이므로 $\Delta T = 50 - 20 = 30$°C이다.

질량과 온도 상승량을 곱하면 $Q = 0.1 \times 0.24 \times 30 = 0.72$ kcal이다. 이는 공기 100 g을 20°C에서 50°C까지 가열하는 데 필요한 열량이며, ③의 0.72에 해당한다.

NoteBase

문 8. 유체 속에서 중력 낙하하는 입자에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 입자에는 부력, 항력 및 중력이 작용하며 '가속력 = 중력 – 부력 – 항력'의 관계식이 성립한다.

② 입자가 가속됨에 따라 항력이 증가하면서 가속도를 감소시키며 결국 가속도가 영(0)이 될 때 종말 속도에 도달한다.

③ 입자의 레이놀즈(Reynolds) 수가 1보다 상당히 작을 때(Re ≪ 1) Stokes 법칙이 적용되며 이 때 항력계수(C_D, drag coefficient)는 0.40 ☒ 0.45로 거의 일정하다.

④ 크기가 매우 큰 입자가 기체나 저점도 유체 내에서 낙하할 때에는 Stokes 법칙이 성립하지 않는다.

정답 3번

간단한 해설

Stokes 법칙이 적용되는 구형 입자의 항력계수는 $C_D = \frac{24}{\mathrm{Re}}$이므로 **레이놀즈 수에 반비례**한다. 0.40☒0.45로 거의 일정한 값은 Stokes 영역이 아니라 레이놀즈 수가 큰 Newton 영역의 특성이다.

선지별 해설

① O: 정지한 유체에서 입자가 아래로 낙하하면 중력은 아래쪽으로, 부력과 항력은 위쪽으로 작용한다. 따라서 아래 방향을 양으로 잡으면 가속력 = 중력 – 부력 – 항력이다. 여기서 가속력은 **질량과 가속도의 곱인 알짜힘**을 뜻한다.

② O: 낙하 속도가 증가하면 유체에 대한 상대 속도가 커져 항력이 증가한다. 중력과 부력의 차이는 일정하므로 항력이 커질수록 아래 방향의 알짜힘과 가속도는 줄어든다. 마침내 **중력 = 부력 + 항력**이 되면 가속도가 0이 되어 일정한 종말 속도로 낙하한다. 이때 속도가 0이 되는 것은 아니다.

③ X: Re ≪ 1에서는 점성력이 지배적이므로 Stokes 법칙이 적용되지만, 구형 입자의 항력계수는 $C_D = \frac{24}{\mathrm{Re}}$이다. 따라서 항력계수는 **일정하지 않고 레이놀즈 수가 증가할수록 감소**한다. 0.40☒0.45 정도의 거의 일정한 항력계수는 관성의 영향이 큰 Newton 영역에서 사용하는 값이다.

④ O: Stokes 법칙은 입자 주위 유동에서 **관성의 영향을 무시할 만큼 레이놀즈 수가 작을 때** 적용한다. 입자 레이놀즈 수는 $\mathrm{Re} = \frac{\rho_f u d}{\mu}$이며, ρ_f는 유체 밀도, u는 유체에 대한 입자의 상대 속도, d는 입자 지름, μ는 유체 점도이다. 큰 입자가 기체나 저점도 유체에서 낙하하면 큰 지름과 작은 점도 때문에 레이놀즈 수가 커지기 쉬우므로, Stokes 영역을 벗어나면 이 법칙을 적용할 수 없다.

NoteBase

문 9. 성분 A, B로 구성된 이성분 혼합물이 x축 방향으로만 이동하고 있다. A, B 성분들의 밀도는 각각 $\rho_A = 1.5\ \text{g/cm}^3$, $\rho_B = 1.0\ \text{g/cm}^3$이며 속도는 각각 $v_{A,x} = 2\ \text{m/s}$, $v_{B,x} = -0.5\ \text{m/s}$이다. Fick의 법칙에 의한 성분 A의 질량 플럭스[$\text{g/cm}^2 \cdot \text{s}$]는?

① 150

② 200

③ 250

④ 300

정답 1번

간단한 해설

확산 질량 플럭스는 **혼합물의 질량평균속도에 대한 상대속도**로 계산한다. 질량평균속도가 100 cm/s이므로, A의 확산 질량 플럭스는 $1.5 \times (200 - 100) = 150\ \text{g/(cm}^2 \cdot \text{s)}$이다.

계산 과정

확산 질량 플럭스의 기준: Fick의 법칙이 나타내는 확산 질량 플럭스는 성분의 전체 이동에서 **혼합물 전체의 흐름에 의한 이동을 제외한 양**이다. 혼합물의 질량평균속도를 v_x라 하면 A의 확산 질량 플럭스는 $j_{A,x} = \rho_A(v_{A,x} - v_x)$이다.

단위 통일: 밀도가 g/cm^3이고 구하는 플럭스가 $\text{g/(cm}^2 \cdot \text{s)}$이므로 속도를 cm/s로 바꾼다. $v_{A,x} = 200$ cm/s, $v_{B,x} = -50$ cm/s이다. B의 음의 부호는 −x 방향으로 이동한다는 뜻이므로 평균속도를 계산할 때 그대로 반영한다.

질량평균속도: 각 성분의 속도를 해당 성분의 밀도로 가중평균한다. $v_x = \frac{\rho_A v_{A,x} + \rho_B v_{B,x}}{\rho_A + \rho_B}$에 값을 대입하면 $v_x = \frac{1.5 \cdot 200 + 1.0 \cdot (-50)}{1.5 + 1.0} = 100$ cm/s이다. 이는 **혼합물 전체의 질량 이동을 대표하는 속도**이며, 두 속도의 단순 산술평균과 다르다.

A의 확산 질량 플럭스: A가 혼합물의 질량평균속도보다 빠르게 이동하는 정도는 $200 - 100 = 100$ cm/s이다. 따라서 $j_{A,x} = 1.5 \cdot (200 - 100) = 150\ \text{g/(cm}^2 \cdot \text{s)}$이다. 양수이므로 확산에 의한 A의 순이동 방향은 +x 방향이며, 계산값은 ①의 150에 해당한다.

NoteBase

문 10. 온도가 같은 동일 부피의 수소 기체와 산소 기체의 무게를 측정하였더니 서로 동일하였다. 이때 수소 기체의 압력이 4 atm이라면, 산소 기체의 압력[atm]은? (단, 수소 기체와 산소 기체는 이상 기체로 가정한다)

① $\frac{1}{4}$

② $\frac{1}{2}$

③ 1

④ 2

정답 1번

간단한 해설

같은 온도와 부피에서 이상 기체의 압력은 몰수에 비례한다. 질량이 같을 때 산소의 몰질량은 수소의 16배이므로 산소의 몰수와 압력은 각각 수소의 **1/16**이며, 산소의 압력은 $\frac{1}{4}$atm이다.

계산 과정

1. 압력과 몰수의 관계: 이상 기체 상태 방정식은 $PV = nRT$이다. 여기서 P는 압력, V는 부피, n은 몰수, R은 기체 상수, T는 절대온도이다. 두 기체의 온도와 부피가 같으므로 **압력비는 몰수비와 같다**. 즉, $\frac{P_{O_2}}{P_{H_2}} = \frac{n_{O_2}}{n_{H_2}}$이다.

2. 같은 질량을 몰수로 환산: 질량을 m, 몰질량을 M이라 하면 $n = \frac{m}{M}$이다. 수소 기체와 산소 기체의 몰질량은 각각 약 2 g/mol, 32 g/mol이다. 두 기체의 질량이 같으므로 $\frac{n_{O_2}}{n_{H_2}} = \frac{m/32}{m/2} = \frac{2}{32} = \frac{1}{16}$이다. 이는 산소의 몰수가 수소의 1/16이라는 뜻이다. **질량이 같아도 몰수가 같은 것은 아니다**.

3. 산소의 압력 계산: 수소의 압력이 4 atm이고 산소의 압력은 그 1/16이므로 $P_{O_2} = 4 \cdot \frac{1}{16} = \frac{1}{4}$atm이다. 따라서 산소의 압력은 $\frac{1}{4}$atm이며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 11. 다음과 같은 복합 반응을 구성하는 반응 ㉠과 ㉡에서 반응물 A의 소멸속도를 각각 r_{A}, r_{A}라고 할 때, 반응물 B와 중간체 I에 대한 알짜 반응속도(net reaction rate) r_B와 r_I를 r_{A}와 r_{A}로 올바르게 나타낸 것은?

㉠ $2A + B \rightarrow 2I$
㉡ $A + I \rightarrow P$

① r_B: $2r_{\text{A}}$, r_I: $-2r_{\text{A}} + r_{\text{A}}$
② r_B: r_{A}, r_I: $2r_{\text{A}} + r_{\text{A}}$
③ r_B: $\frac{1}{2}r_{\text{A}}$, r_I: $-r_{\text{A}} + r_{\text{A}}$
④ r_B: r_{A}, r_I: $-r_{\text{A}} + r_{\text{A}}$

정답 3번

간단한 해설

반응 ㉠에서 B의 소모량은 A의 **절반**이고, I의 생성량은 A의 소모량과 같다. **소모를 양수, 생성을 음수**로 나타내면 $r_B = \frac{1}{2}r_{\text{A}}$, $r_I = -r_{\text{A}} + r_{\text{A}}$이다.

계산 과정

속도 기준: 각 반응에서 성분의 소모·생성 몰수의 비는 반응식의 화학양론계수 비와 같다. 주어진 r_{A}, r_{A}는 각 반응에서 A가 소모되는 속도이다. 이 문항의 선지는 **순소멸속도인 '소모속도 − 생성속도'**를 기준으로 하므로, 생성은 음의 항으로 반영한다.

B의 속도: 반응 ㉠ $2A + B \rightarrow 2I$에서 A가 2 mol 소모될 때 B는 1 mol 소모된다. 따라서 $r_B = \frac{1}{2}r_{\text{A}}$이다. 반응 ㉡에는 B가 없으므로 B의 알짜 속도에 더할 항이 없다.

I의 속도: 반응 ㉠에서는 A 2 mol이 소모될 때 I 2 mol이 생성되므로 I의 생성속도는 r_{A}이다. 반응 ㉡ $A + I \rightarrow P$에서는 A와 I가 1:1로 소모되므로 I의 소모속도는 r_{A}이다. 두 반응의 기여를 합하면 $r_I = r_{\text{A}} - r_{\text{A}}$이다. 이 값이 음수이면 I의 소모보다 생성이 많다는 뜻이다.

따라서 $r_B = \frac{1}{2}r_{\text{A}}$, $r_I = -r_{\text{A}} + r_{\text{A}}$이며, 이 조합은 ③에 해당한다. 계수비는 무차원이므로 각 결과의 단위는 주어진 A의 소멸속도 단위와 같다.

NoteBase

문 12. 내경이 10 cm인 원형 관에 밀도가 1.5 g/cm^{3}인 유체가 2 cm/s 속도로 흐르고 있다. 레이놀즈(Reynolds) 수가 60이라고 가정할 경우, 이 유체의 점도[g/cm·s]는?

① 0.2

② 0.3

③ 0.4

④ 0.5

정답 4번

간단한 해설

원형 관의 레이놀즈 수에는 **관의 내경**을 사용한다. 점도는 $\mu = \frac{\rho v D}{Re}$로 구하며, 주어진 값을 대입하면 0.5 g/(cm·s)이다.

계산 과정

주어진 밀도는 ρ = 1.5 g/cm^3, 유속은 v = 2 cm/s, 관의 내경은 D = 10 cm이고 레이놀즈 수는 Re = 60이다. 질량·길이·시간 단위가 g·cm·s로 통일되어 있으므로 별도의 단위 변환 없이 계산할 수 있다.

레이놀즈 수는 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내는 무차원 수이다. 원형 관에서는 **특성 길이로 내경**을 사용하므로 $Re = \frac{\rho v D}{\mu}$이다. 여기서 μ는 구하려는 점도이며, 이를 정리하면 $\mu = \frac{\rho v D}{Re}$가 된다.

값을 대입하면 $\mu = \frac{1.5 \cdot 2 \cdot 10}{60} = 0.5$이다. 밀도·유속·내경의 곱을 무차원 수인 Re로 나누므로 점도의 단위는 g/(cm·s)이다. 따라서 점도는 0.5 g/(cm·s)이며, ④의 0.5와 일치한다.

NoteBase

문 13. 이상(ideal) 회분식 반응기에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 반응이 진행되는 동안 반응물과 생성물의 유입과 유출이 없다.

② 반응 시간에 따라 반응기 내의 조성이 변하지 않는 정상상태 조작이다.

③ 조성과 온도는 반응기 내 위치와 무관하다.

④ 전환율(conversion)은 반응물이 반응기 내에서 체류한 시간의 함수이다.

정답 2번

간단한 해설

회분식 반응기는 반응이 진행되면서 반응물이 소모되고 생성물이 생겨 **조성이 시간에 따라 변하는 비정상상태 조작**이다. 완전혼합으로 같은 시각의 조성이 위치마다 같다는 뜻을, 시간이 지나도 조성이 일정하다는 뜻과 구분해야 한다.

선지별 해설

① O: 회분식 반응기는 반응물을 한꺼번에 넣고 반응시킨 뒤 내용물을 꺼내는 방식이다. 따라서 **반응이 진행되는 동안에는** 반응물과 생성물의 유입·유출이 없다. 반응 전의 투입과 반응 후의 배출은 이 조건과 구별한다.

② X: 정상상태는 같은 위치에서 관찰한 조성 등의 상태량이 시간에 따라 변하지 않는 상태이다. 회분식 반응기에서는 반응에 의해 반응물이 소모되고 생성물이 생기므로 조성이 시간에 따라 달라진다. 따라서 '정상상태 조작'을 **'비정상상태 조작'**으로 고쳐야 한다.

③ O: 이상 회분식 반응기는 완전혼합을 가정하므로 **같은 시각에는** 반응기 내 어느 위치에서도 조성과 온도가 같다. 이는 공간적으로 균일하다는 뜻이며, 조성이나 온도가 시간에 따라 변하지 않는다는 뜻은 아니다. 시간에 따른 온도 일정 여부는 등온 조작 등 별도의 조건에 달려 있다.

④ O: 전환율은 처음 넣은 특정 반응물 중 반응으로 소모된 양의 비율이다. 초기 조성과 온도 등 조작 조건이 주어지면 반응이 진행된 시간에 따라 남아 있는 반응물의 양이 달라지므로 전환율도 그 시간의 함수로 나타낸다. 회분식에서는 반응 중 유입·유출이 없어, 여기서 말하는 **체류한 시간은 반응이 진행된 시간**에 해당한다.

NoteBase

문 14. 지름이 5 m인 물탱크에 5 m의 높이로 물이 채워져 있다. 지름이 10 cm인 수평관이 물탱크 바닥에 연결되어 있는 경우 배출구를 통한 초기 배출 속도[m/s]는? (단, 수평관에서의 마찰 손실은 무시하며 중력 가속도는 10 m/s^{2}로 가정한다)

① 5

② 10

③ 15

④ 20

정답 2번

간단한 해설

마찰 손실과 수면의 속도를 무시하면, 수면과 배출구의 높이 차에 따른 **위치에너지가 운동에너지로 전환**된다. 초기 높이 차 5 m에 토리첼리 식 $v = \sqrt{2gh}$을 적용하면 배출 속도는 10 m/s이다.

계산 과정

초기 수면과 바닥의 수평관 배출구 사이의 높이 차는 h = 5 m이고, 중력 가속도는 g = 10 m/s^{2}이다. 자유수면과 배출구가 모두 대기압에 노출된 개방 탱크로 가정하므로 두 지점의 압력항은 상쇄된다.

관의 지름은 10 cm = 0.10 m이다. 원형 단면의 넓이는 지름의 제곱에 비례하므로 관과 탱크의 단면적 비는 $\left(\frac{0.10}{5}\right)^2 = \frac{1}{2500}$이다. 연속방정식에 따라 수면이 내려가는 속도는 관 내 배출 속도의 1/2500이므로, **수면의 운동에너지는 무시**할 수 있다.

마찰 손실을 무시하고 자유수면과 배출구 사이에 베르누이 방정식을 적용하면 $h = \frac{v^2}{2g}$이다. 여기서 v는 배출 속도이며, 높이 차 h에 해당하는 위치수두가 배출구의 속도수두로 바뀐다는 뜻이다. 이를 v에 대해 풀면 토리첼리 식 $v = \sqrt{2gh}$을 얻는다.

수치를 대입하면 $v = \sqrt{2 \cdot 10 \cdot 5} = \sqrt{100}$이므로 초기 배출 속도는 10 m/s이다. 이는 ②의 10에 해당한다.

NoteBase

문 15. 고체상의 수직벽에 의해 고온의 유체와 저온의 유체가 나뉘어져 있다. 두 유체 사이의 온도차가 2배로 증가된다면 이에 따른 열전달량은 몇 배인가? (단, 정상상태를 가정하며 총괄 열전달계수와 열전달 면적은 일정하다)

① 0.5

② 1.0

③ 2.0

④ 4.0

정답 3번

간단한 해설

총괄 열전달계수와 열전달 면적이 일정하면 열전달량은 **두 유체의 온도차에 정비례**한다. 따라서 온도차가 2배가 되면 열전달량도 2배가 된다.

계산 과정

정상상태에서 벽을 사이에 둔 두 유체의 열전달률은 $\dot{Q} = UA\Delta T$로 나타낸다. 여기서 $\dot{Q}$는 단위 시간당 전달되는 열량, U는 총괄 열전달계수, A는 열전달 면적, ΔT는 고온 유체와 저온 유체의 온도차이다. U는 유체와 벽 사이의 대류 및 벽 내부의 전도 효과를 함께 반영한다.

변화 전후를 각각 아래첨자 1, 2로 나타내면 $\Delta T_2 = 2\Delta T_1$이다. **U와 A가 일정**하므로 변화 전후의 열전달률 비는 $\frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = \frac{UA(2\Delta T_1)}{UA\Delta T_1} = 2$이다. 동일한 시간 동안 전달되는 열량의 비도 이와 같으며, 이 비는 단위가 없는 배수이다.

따라서 열전달량은 처음의 2.0배가 되며, 선택지 ③의 2.0과 일치한다.

NoteBase

문 16. 다음은 흐름 단면이 원형인 관을 통해 흐르는 비압축성 유체의 속도 분포식이다. 이 유체의 평균 속도[m/s]는? (단, u는 유체의 속도, R은 관의 내반경, r은 관의 중심에서부터 반경 방향 거리이다)

$u = 20\left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^2\right]$ (m/s)

① 5

② 10

③ 15

④ 20

정답 2번

간단한 해설

평균 속도는 반지름에 대한 단순 평균이 아니라 **단면적을 기준으로 한 평균**이다. 주어진 포물선형 속도 분포를 원형 단면 전체에 걸쳐 평균하면 중심 속도 20 m/s의 절반인 10 m/s가 된다.

계산 과정

면적 평균의 설정: 평균 속도는 체적유량 Q를 관의 단면적 $A = \pi R^2$으로 나눈 값이다. 중심에서 같은 거리에 있는 점들은 속도가 같으므로, 반지름 r, 두께 dr인 얇은 고리로 단면을 나눈다. 고리의 면적은 $dA = 2\pi r dr$이므로 **각 고리의 면적을 가중치로** 속도를 평균해야 한다.

체적유량 계산: 각 고리를 통과하는 유량은 $dQ = u dA$이다. 주어진 속도 분포를 대입하여 중심에서 관 벽까지 더하면 $Q = 40\pi \int_0^R \left(r - \frac{r^3}{R^2}\right) dr$이다. 이를 적분하면 $Q = 40\pi\left(\frac{R^2}{2} - \frac{R^2}{4}\right) = 10\pi R^2$이다.

평균 속도 계산: 유량을 단면적으로 나누면 $\bar{u} = \frac{Q}{A} = \frac{10\pi R^2}{\pi R^2} = 10\text{m/s}$이다. 관의 반경에 관한 항이 약분되므로 평균 속도는 10 m/s이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 내경이 2 cm에서 4 cm로 변하는 관에서 유체가 흐를 때 내경이 2 cm인 관 내부에서 유체의 평균 유속이 1 m/s라면, 내경이 4 cm인 관 내부에서 유체의 평균 유속[m/s]은? (단, 유체의 밀도와 유량은 변화가 없으며 마찰은 무시한다)

① 4

② 2

③ 0.5

④ 0.25

정답 4번

간단한 해설

유량이 일정하면 **평균 유속은 관의 단면적에 반비례**한다. 내경이 2배가 되면 단면적은 4배가 되므로, 평균 유속은 처음의 1/4인 0.25 m/s가 된다.

계산 과정

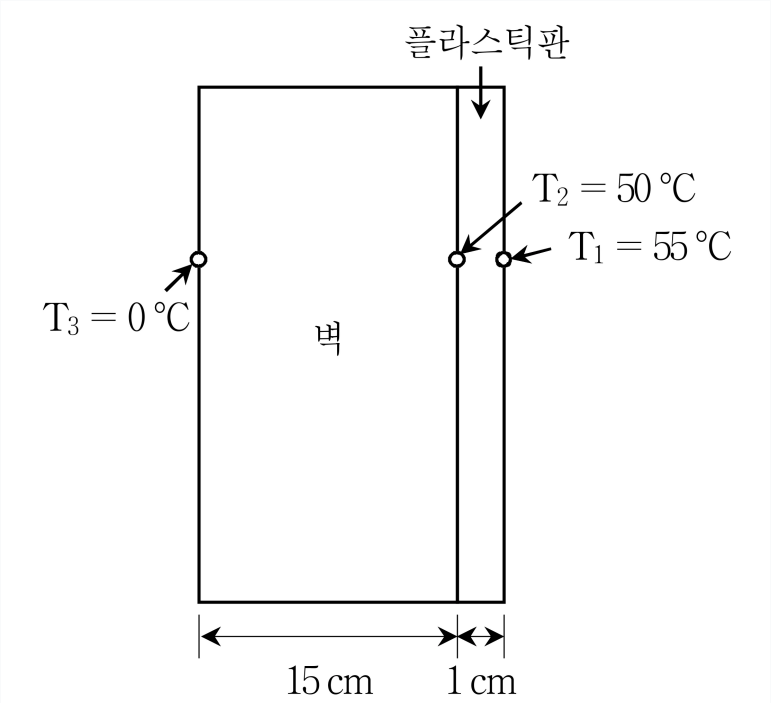
유량 Q는 단위 시간에 관의 단면을 통과하는 유체의 부피이다. 단면적을 A, 평균 유속을 v라 하면 $Q = Av$이다. 내경 2 cm인 지점을 1, 4 cm인 지점을 2로 두면, 주어진 **유량이 일정한 조건**에서 $A_1 v_1 = A_2 v_2$가 성립한다. 밀도도 일정하며 마찰은 무시하는 조건이다.

원형 관의 단면적은 내경 D에 대해 $A = \frac{\pi D^2}{4}$이다. 따라서 $\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{4}{2}\right)^2 = 4$이다. 두 내경의 단위가 모두 cm이므로 비를 구할 때 단위가 소거된다. 즉, 내경이 2배가 된 관은 **유체가 통과하는 단면적이 4배**이다.

같은 부피의 유체가 매초 4배 넓은 단면을 통과하므로 평균 유속은 처음의 1/4이 된다. 연속 관계를 정리하면 $v_2 = v_1 \frac{A_1}{A_2}$이므로, $v_2 = 1 \cdot \frac{1}{4} = 0.25\text{m/s}$이다. 내경 4 cm인 관의 평균 유속은 0.25 m/s로, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 18. 벽에 얇은 플라스틱판이 붙어 있다. 플라스틱판 양쪽의 온도는 각각 50 °C와 55 °C이다. 정상상태에서 벽으로 전달되는 열 플럭스(heat flux)[J/m^2 · s]는? (단, 플라스틱판의 열전도도는 0.6 J/m · s · °C이다)



① 3

② 30

③ 300

④ 3,000

정답 3번

간단한 해설

정상상태에서는 플라스틱판을 통과한 열이 벽으로 전달된다. **플라스틱판 양면의 온도차 5 °C와 두께 0.01 m**를 푸리에 법칙에 적용하면 열 플럭스는 300 J/(m^2·s)이다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 플라스틱판의 두께는 1 cm이므로 L = 0.01 m이다. 판의 바깥쪽 면은 55 °C, 벽과 맞닿은 면은 50 °C이므로 온도차는 55 − 50 = 5 °C이다. 열은 **55 °C인 면에서 50 °C인 벽 쪽 면으로** 흐른다. 판 양면의 온도가 주어져 있으므로, 판을 통과하는 열을 계산할 때는 벽의 두께 15 cm나 벽 반대편의 온도 0 °C를 사용할 필요가 없다.

판 두께 방향의 1차원 정상 열전도에서 내부 발열이 없고 열전도도 k가 일정하면, 열 플럭스의 크기는 푸리에 법칙 $q'' = k\frac{\Delta T}{L}$로 구한다. 열 플럭스는 **단위 면적당 단위 시간에 전달되는 열량**이며, 온도차가 클수록 커지고 판이 두꺼울수록 작아진다.

주어진 열전도도 0.6 J/(m·s·°C)를 대입하면 $q'' = \frac{0.6 \cdot 5}{0.01} = 300$ J/(m^2·s)이다. 정상상태에서는 판에 열이 축적되지 않으므로 이 열 플럭스가 그대로 벽으로 전달된다. 따라서 벽으로 전달되는 열 플럭스는 300 J/(m^2·s)이며, ③의 300에 해당한다.

NoteBase

문 19. 총 외부 표면적이 100 ft^2인 향류(countercurrent) 이중관 열교환기 내에서 유체 A가 질량 유속 10,000 lb/h로 흐르며 200 °F에서 100 °F로 냉각된다. 냉각을 위해 50 °F인 유체 B가 5,000 lb/h의 유속으로 열교환기에 주입될 경우 대수평균온도차(log mean temperature difference)[°F]는? (단, 유체 A와 B의 열용량은 각각 0.5 Btu/(lb · °F), 0.8 Btu/(lb · °F)이며 ln2 = 0.7, 대수평균온도차 값은 소수점 첫째 자리에서 반올림한다)

① 36

② 48

③ 60

④ 72

정답 1번

간단한 해설

향류에서는 한쪽 끝의 A 입구와 B 출구, 다른 쪽 끝의 A 출구와 B 입구를 짝지어 온도차를 구한다. 열수지로 구한 B의 출구 온도는 175 °F이므로, **양 끝 온도차는 25 °F와 50 °F**이고 대수평균온도차는 반올림하여 36 °F이다.

계산 과정

전달열량: 정상 상태에서 외부로의 열손실이 없다고 보면 **A가 잃는 열량과 B가 얻는 열량이 같다**. 질량 유량에 비열과 온도 변화를 곱하면 시간당 전달열량을 구할 수 있다. A의 온도 감소는 200 − 100 = 100 °F이므로, 전달열량은 $Q = 10{,}000 \cdot 0.5 \cdot 100$으로 계산하여 500,000 Btu/h이다.

B의 출구 온도: B가 얻는 열량을 질량 유량과 비열의 곱으로 나누면 B의 온도 상승을 구한다. $\Delta T_B = \frac{500{,}000}{5{,}000 \cdot 0.8} = 125$ °F이므로, B의 출구 온도는 50 + 125 = 175 °F이다.

양 끝 온도차: 향류는 두 유체가 반대 방향으로 흐르므로 **A의 입구는 B의 출구와 같은 끝**에 놓인다. 이 끝의 온도차는 $\Delta T_1 = 200 - 175 = 25$ °F이다. 다른 끝에서는 A의 출구와 B의 입구를 짝지으므로 $\Delta T_2 = 100 - 50 = 50$ °F이다.

대수평균온도차: 열교환기 내부에서는 두 유체의 온도차가 위치에 따라 달라지므로, 일정한 총괄전열계수를 적용하는 열전달식에는 양 끝 온도차의 대수평균을 사용한다. $\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln(\Delta T_2/\Delta T_1)}$에 대입하면 $\Delta T_{lm} = \frac{50-25}{\ln(50/25)} = \frac{25}{0.7}$ °F이다. 약 35.7 °F를 소수점 첫째 자리에서 반올림하면 36 °F로, ①의 값과 일치한다. 주어진 표면적 100 ft^2는 이 계산에 필요하지 않다.

NoteBase

문 20. 비압축성 뉴턴(Newtonian) 유체의 유동장을 나타내는 속도 벡터가 직교좌표계에서 다음과 같이 표현될 때, 비압축성을 항상 만족하기 위한 계수들(a_i)의 관계식으로 옳은 것은? (단, $\vec{e}_x$, $\vec{e}_y$, $\vec{e}_z$는 각각 x, y, z축의 단위 벡터이다)

$$\vec{v} = (a_1x + a_2y)\vec{e}_x + (a_3y + a_4z)\vec{e}_y + (a_5z + a_6x)\vec{e}_z$$

① $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 + a_6 = 1$

② $a_1 + a_3 + a_5 = 0$

③ $a_2 + a_4 + a_6 = 1$

④ $a_1 + a_2 = 0$

정답 2번

간단한 해설

비압축성 유동은 **속도장의 발산이 0**이어야 한다. 각 속도 성분을 같은 방향의 좌표로 편미분하면 a_1, a_3, a_5가 남으므로 $a_1 + a_3 + a_5 = 0$이다.

계산 과정

비압축성 조건: 비압축성 유동에서는 유체 입자를 따라가는 작은 유체 요소의 부피가 변하지 않는다. 따라서 속도의 각 방향 성분을 u, v, w라 하면 연속방정식은 $\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$이다. 이 합은 속도장의 발산이며, 유체 요소의 단위 부피당 부피 변화율을 나타낸다.

속도 성분 확인: 주어진 벡터에서 $u = a_1x + a_2y$, $v = a_3y + a_4z$, $w = a_5z + a_6x$이다. 발산을 구할 때는 **각 성분을 그 성분과 같은 방향의 좌표로 편미분**한다.

편미분 계산: $\frac{\partial u}{\partial x} = a_1$, $\frac{\partial v}{\partial y} = a_3$, $\frac{\partial w}{\partial z} = a_5$이다. 각각의 미분에서 a_2y는 x와, a_4z는 y와, a_6x는 z와 무관하므로 미분값이 0이다.

계수 관계: 발산은 $\nabla \cdot \vec{v} = a_1 + a_3 + a_5$로 위치에 관계없이 일정하다. 따라서 비압축성을 항상 만족하려면 $a_1 + a_3 + a_5 = 0$이어야 하며, 이는 ②의 관계식과 같다.

NoteBase