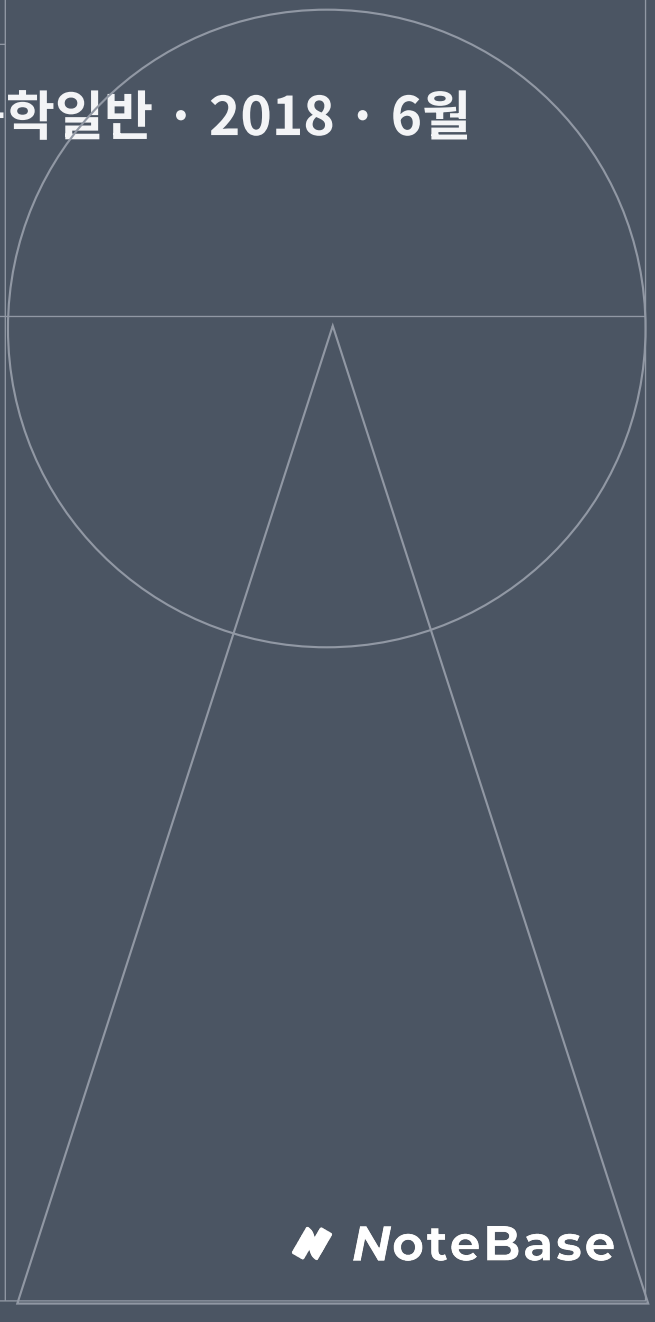
기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2018 · 6월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2018 · 6월

공무원/서울시/9급 · 화학공학일반 · 2018 · 6월

문 1. 계단입력에 과소 감쇠 응답(Under damping response)을 보이는 2차계에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 오버슈트(overshoot)는 정상상태값을 초과하는 정도를 나타내는 양으로 감쇠계수(damping factor)만의 함수이다.

② 응답이 최초의 피크(peak)에 이르는 데에 소요되는 시간은 진동주기의 반에 해당한다.

③ 오버슈트(overshoot)와 진동주기를 측정하여 2차계의 공정의 주요한 파라메타들을 추정할 수 있다.

④ 감쇠계수(damping factor)가 1에 접근할수록 응답의 진폭은 확대된다.

정답 4번

간단한 해설

④의 '진폭은 확대된다'는 설명이 반대이다. 과소 감쇠 영역에서 감쇠계수가 1에 가까워질수록 **진동과 오버슈트가 감소**하며, 1이 되면 임계 감쇠 상태로 진동 없이 정상상태값에 접근한다.

NoteBase

선지별 해설

표준 2차계가 평형상태에서 계단입력을 받을 때, 감쇠계수 ζ가 $0 < \zeta < 1$이면 정상상태값 주위로 진동하면서 수렴하는 과소 감쇠 응답을 보인다. 고유각주파수를 ω_n, 감쇠 진동의 각주파수를 ω_d라 하면 $\omega_d = \omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$ 이다.

① O: 여기서 오버슈트는 첫 피크가 정상상태값을 초과한 양을 전체 정상상태 변화량으로 나눈 **상대적 초과량**이다. 이를 M_p라 하면 $M_p = e^{-\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}}$ 이므로 감쇠계수만의 함수이다. 백분율로 나타내려면 이 비에 100을 곱한다. 초과량 자체의 절댓값은 입력 크기와 공정 이득에도 영향을 받으므로 이 비와 구별한다.

② O: 진동주기 T는 $T = \frac{2\pi}{\omega_d}$이다. 응답이 처음 증가하다가 감소로 바뀌는 첫 피크는 $\omega_d t_p = \pi$일 때 나타나므로, 피크 시간은 $t_p = \frac{\pi}{\omega_d} = \frac{T}{2}$이다. 따라서 첫 피크까지 걸리는 시간은 **감쇠 진동주기의 절반**이다.

③ O: 오버슈트를 측정하면 ①의 관계로 **감쇠계수를 추정**할 수 있다. 진동주기까지 측정하면 $\omega_d = \frac{2\pi}{T}$를 구하고, 이어서 $\omega_n = \frac{\omega_d}{\sqrt{1-\zeta^2}}$로 고유각주파수를 추정할 수 있다. 이 두 값은 과도응답의 주요 매개변수이다. 공정 이득은 별도로 출력의 정상상태 변화량을 입력의 계단 변화량으로 나누어 구한다.

④ X: 감쇠계수가 1에 가까워질수록 정상상태값을 넘나드는 **진동의 크기는 감소**한다. 오버슈트 식에서도 ζ가 1보다 작은 쪽에서 1에 접근하면 지수는 음의 무한대로 가고 M_p는 0에 접근한다. $\zeta = 1$이면 임계 감쇠 상태로 진동 없이 정상상태값에 접근하므로, '진폭은 확대된다'를 '진폭은 감소한다'로 고친다.

NoteBase

문 2. 정상상태의 일정한 압력에서 운전되는 등온의 단일상 흐름 반응기에서 $A + B \rightarrow R + S$ 반응이 진행된다. $C_{A0} = 100$, $C_{B0} = 300$인 기체공급물에 대하여 전화율 X_A는 0.90일 때 X_B, C_A 및 C_B는?

① 0.3, 10, 210

② 0.1, 10, 210

③ 0.3, 90, 210

④ 0.3, 10, 10

정답 1번

간단한 해설

A와 B는 **1:1로 소모**되지만 B의 공급 농도가 A의 3배이므로 $X_B = \frac{0.90}{3} = 0.30$이다. 등온·등압에서 체적유량이 일정하므로 남은 농도는 $C_A = 10$, $C_B = 210$이다.

계산 과정

체적유량 조건: 반응식 $A + B \rightarrow R + S$에서 반응물 2몰이 생성물 2몰로 바뀌므로 총 몰수 변화가 없다. 기체를 이상기체로 다루면 등온·등압에서 체적유량은 총 몰유량에 비례하므로, 이 반응에서는 **입구와 출구의 체적유량이 같다**. 따라서 공급 농도에서 반응으로 소모된 양에 해당하는 농도를 빼면 출구 농도를 구할 수 있다.

A의 소모량과 출구 농도: 전화율은 공급된 해당 성분 중 반응으로 소모된 비율이다. $X_A = 0.90$이므로 A는 공급량의 90%가 소모된다. 체적유량이 일정하므로 단위 체적당 A의 소모량은 $C_{A0}X_A = 100 \cdot 0.90 = 90$이다. 남은 A의 농도는 $C_A = C_{A0}(1 - X_A)$이며, 계산하면 $C_A = 100 \cdot (1 - 0.90) = 10$이다.

B의 전화율: 반응식의 A와 B 계수가 모두 1이므로 두 성분의 소모 몰수는 같다. 따라서 단위 체적당 B의 소모량도 90이다. B의 전화율은 **B의 공급량을 기준**으로 하므로 $X_B = \frac{90}{300} = 0.30$이다. 같은 양이 소모되어도 공급량이 더 많은 B의 전화율은 A보다 작다.

B의 출구 농도: 공급 농도 300에서 소모량에 해당하는 농도 90을 뺀다. 따라서 $C_B = C_{B0} - C_{A0}X_A$이며, 계산하면 $C_B = 300 - 90 = 210$이다. 두 출구 농도의 단위는 문제에 제시된 공급 농도의 단위와 같다.

구한 값을 문제에서 묻는 순서로 쓰면 $X_B = 0.30$, $C_A = 10$, $C_B = 210$으로, ①의 0.3, 10, 210과 일치한다.

NoteBase

문 3. <보기>와 같이 비가역 연속 1차반응이 회분식 반응기에서 일어날 때 R의 최대농도 ($C_{R,\max}$)와 최대농도가 되는 반응시간 ($t_{\max}$)은? (단, $k_1 = 1\text{min}^{-1}$, $k_2 = 2\text{min}^{-1}$, $C_{A0} = 3\text{mol/l}$, $C_{R0} = C_{S0} = 0\text{mol/l}$이다.)

<보기>

$$A \xrightarrow{k_1} R \xrightarrow{k_2} S$$

① 3/e mol/l, ln2min

② 3/e mol/l, ln0.5min

③ 0.75mol/l, ln2min

④ 0.75mol/l, ln0.5min

정답 3번

간단한 해설

중간생성물 R의 농도는 **생성속도와 소모속도가 같아질 때** 최대가 된다. 주어진 두 1차반응의 농도식을 적용하면 그 시간은 (ln 2)min이고, R의 최대농도는 0.75 mol/l이다.

NoteBase

계산 과정

반응도는 $A \to R \to S$이며, R은 A로부터 생성되는 동시에 S로 전환되어 소모된다. 부피가 일정한 회분식 반응기의 물질수지를 적용하면 $\frac{dC_A}{dt} = -k_1 C_A$, $\frac{dC_R}{dt} = k_1 C_A - k_2 C_R$이다. 두 반응이 각각 1차이므로 각 속도는 해당 반응물의 농도에 비례한다.

A의 농도: 초기농도 $C_{A0} = 3\text{mol/l}$를 이용해 적분하면 $C_A = C_{A0} e^{-k_1 t}$이다. 계산을 간단히 하려고 무차원 시간 $\theta = k_1 t$를 쓰면 $C_A = 3e^{-\theta}\text{mol/l}$이다. 주어진 속도상수는 $k_2 = 2k_1$의 관계를 만족한다.

R의 농도: $C_A = C_{A0} e^{-k_1 t}$를 R의 물질수지에 대입하면 $\frac{dC_R}{dt} + 2k_1 C_R = k_1 C_{A0} e^{-k_1 t}$이다. 양변에 적분인자 $e^{2k_1 t}$를 곱해 적분하고 초기농도 $C_{R0} = 0$을 적용하면 $C_R = C_{A0}(e^{-\theta} - e^{-2\theta})$를 얻는다. 따라서 $C_R = 3(e^{-\theta} - e^{-2\theta})\text{mol/l}$이다.

최대농도가 되는 시간: R의 농도 변화율이 0인 조건은 **생성속도와 소모속도의 일치**, 즉 $k_1 C_A = k_2 C_R$이다. 위 농도식과 $k_2 = 2k_1$을 대입하여 정리하면 $e^{-\theta} = 2e^{-2\theta}$이므로 $e^{\theta} = 2$, $\theta = \ln 2$이다. R의 농도 변화율은 $2 - e^{\theta}$와 부호가 같아 이 시점 전에는 양수, 이후에는 음수이므로 최대가 된다. $k_1 = 1\text{min}^{-1}$이므로 $t_{\max} = \frac{\ln 2}{k_1} = (\ln 2)\text{min}$이다.

R의 최대농도: $\theta = \ln 2$에서 $e^{-\theta} = \frac{1}{2}$, $e^{-2\theta} = \frac{1}{4}$이다. 이를 R의 농도식에 대입하면 $C_{R,\,\max} = 3\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{4}\right) = 0.75\text{mol/l}$이다. 최대농도 0.75 mol/l와 반응시간 $(\ln 2)\text{min}$의 쌍은 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 4. <보기>의 기상 반응은 25°C에서의 발열반응이다. 이 반응을 800°C에서 실시할 때, 발열반응인지 여부와 반응열은? (단, 반응물의 25°C와 800°C에서의 평균비열은 $\overline{C}_{p,A} = 20\text{J/mol}\cdot\text{K}$, $\overline{C}_{p,B} = 30\text{J/mol}\cdot\text{K}$, $\overline{C}_{p,C} = 70\text{J/mol}\cdot\text{K}$로 계산한다.)

<보기>

A+Bk_1C, Δ H_R,298K=-15kJ

① 발열반응, −500J

② 발열반응, −1,500J

③ 흡열반응, 500J

④ 흡열반응, 1,500J

정답 3번

간단한 해설

생성물의 열용량이 반응물의 합보다 커서 온도가 오르면 **반응열이 증가**한다. 25°C의 −15,000 J에 온도 보정값 +15,500 J을 더하면 +500 J이므로, 800°C에서는 **흡열반응**이다.

계산 과정

반응 기준과 적용식: 반응식대로 A 1 mol과 B 1 mol이 반응하여 C 1 mol이 생성되는 양을 기준으로 한다. 반응열은 생성물과 반응물의 엔탈피 차이이며, 온도에 따른 변화는 키르히호프 법칙으로 구한다. 주어진 구간의 평균비열을 사용하면 $\Delta H_R(T_2) = \Delta H_R(T_1) + \Delta C_p(T_2 - T_1)$이다. 여기서 ΔC_p는 이 반응량을 기준으로 한 **생성물의 열용량에서 반응물의 열용량 합을 뺀 값**이다.

열용량 차이: 각 물질 1 mol의 열용량을 적용하면 생성물 C는 70 J/K, 반응물 A와 B의 합은 20 + 30 = 50 J/K이다. 따라서 ΔC_p는 70 − 50 = 20 J/K이다. 같은 온도만큼 가열할 때 생성물의 엔탈피가 더 많이 증가하므로 반응열의 온도 보정값은 양수이다.

온도 보정: 온도 차이는 800 − 25 = 775 K이다. 섭씨온도와 절대온도는 **온도 차이의 수치가 같으므로** 273을 더할 필요가 없다. 반응열 증가분은 20 × 775 = 15,500 J이다.

반응열과 반응의 구분: 25°C의 반응열 −15 kJ를 −15,000 J로 환산하여 더하면, 800°C의 반응열은 −15,000 + 15,500 = +500 J이다. 반응 엔탈피가 양수이면 열을 흡수하므로 **흡열반응, 500 J**이며, ③에 해당한다.

NoteBase

문 5. 물질의 기본적 성질에 대한 미분형 관계식으로 가장 옳은 것은? (단, H=엔탈피, U=내부에너지, S=엔트로피, G=깁스에너지, A=헬름홀츠에너지, P=압력, V=부피, T=절대 온도이다.)

① $dU = TdS - VdP$

② $dH = TdS - VdP$

③ $dA = -SdT - PdV$

④ $dG = SdT + VdP$

정답 3번

간단한 해설

헬름홀츠에너지는 $A = U - TS$이므로 이를 미분하면 내부에너지의 TdS 항과 TS에서 나오는 TdS 항이 **서로 소거된다**. 따라서 $dA = -SdT - PdV$가 된다.

선지별 해설

물질의 양과 조성이 일정하고 팽창·압축 일만 고려하는 단순 압축성 계의 기본 관계식을 적용한다. 각 에너지의 정의를 미분하면 어떤 변화항이 남는지와 그 부호를 확인할 수 있다.

① X: 내부에너지의 기본 관계식은 $dU = TdS - PdV$이다. 가역적인 미소 변화에서 계가 받는 열은 TdS, 계가 외부에 하는 팽창 일은 PdV이므로 내부에너지 변화는 두 항의 차이이다. 선지의 $-VdP$는 **부피 변화에 따른 일의 항**인 $-PdV$로 고쳐야 한다.

② X: 엔탈피의 정의는 $H = U + PV$이다. 곱의 미분법을 적용하면 $dH = dU + PdV + VdP$이고, 내부에너지 관계식을 대입하면 $-PdV$와 PdV가 소거되어 $dH = TdS + VdP$가 된다. 따라서 선지의 **압력 변화항 부호**는 음수가 아니라 양수이다.

③ O: 헬름홀츠에너지의 정의는 $A = U - TS$이다. 미분하면 $dA = dU - TdS - SdT$이고, 여기에 $dU = TdS - PdV$를 대입하면 TdS 항이 소거된다. 남는 식은 $dA = -SdT - PdV$로, **온도 변화항과 부피 변화항이 모두 음수**이다.

④ X: 깁스에너지의 정의는 $G = H - TS$이므로 $dG = dH - TdS - SdT$이다. 여기에 $dH = TdS + VdP$를 대입하면 $dG = -SdT + VdP$가 된다. 따라서 선지의 **온도 변화항 부호**는 양수가 아니라 음수이다.

NoteBase

문 6. 혼합 흐름 반응기에 반응물 A가 원료로 공급되고, <보기>와 같은 연속반응이 진행된다. 이때 B의 농도가 최대가 되는 반응기 공간시간은? (단, $k_1 = 2\text{min}^{-1}$, $k_2 = 1\text{min}^{-1}$이고, 원료 반응물의 농도는 $C_{A0} = 2\text{mol/l}$이다.)

<보기>

$$A \xrightarrow{k_1} B \xrightarrow{k_2} C$$

① 2 min

② $\frac{1}{2}$ min

③ $\sqrt{2}$ min

④ $\frac{1}{\sqrt{2}}$ min

정답 4번

간단한 해설

혼합 흐름 반응기에서 중간생성물 B의 농도는 **공간시간에 따른 농도식을 미분한 값이 0이 될 때** 최대가 된다. 이 조건은 $k_1 k_2 \tau^2 = 1$이므로, 최대 농도를 주는 공간시간은 $\tau = \frac{1}{\sqrt{2}}\text{min}$이다.

NoteBase

계산 과정

1. 반응과 적용 조건: 보기의 반응은 A → B → C이며, B는 생성되는 동시에 다음 반응으로 소모되는 중간생성물이다. 속도상수의 단위가 모두 min^{-1}이므로 각 단계는 1차 반응으로 해석한다. 정상상태의 완전혼합 반응기로 보고 유입·유출 체적유량이 같다고 두면, 공간시간은 $\tau = \frac{V}{q}$이다. 여기서 V는 반응기 부피, q는 유입 체적유량이다. **반응기 내부 농도와 유출 농도가 같으므로** 반응속도는 유출 농도로 계산한다.

2. A의 물질수지: 정상상태에서는 유입량에서 유출량과 반응 소모량을 뺀 값이 0이다. 따라서 $C_{A0} - C_A - k_1 C_A \tau = 0$이고, $C_A = \frac{C_{A0}}{1 + k_1 \tau}$이다. 이 식은 공간시간이 길어질수록 반응기 안에 남는 A의 농도가 낮아짐을 나타낸다.

3. B의 농도식: 원료에는 A가 공급되므로 B의 유입 농도는 0으로 둔다. B의 생성속도는 $k_1 C_A$, 반응에 의한 소모속도는 $k_2 C_B$이므로, 물질수지는 $-C_B + (k_1 C_A - k_2 C_B)\tau = 0$이다. 이를 정리하면 $C_B = \frac{k_1 C_A \tau}{1 + k_2 \tau}$이고, A의 농도식을 대입하면 $C_B = \frac{k_1 C_{A0} \tau}{(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)}$이다.

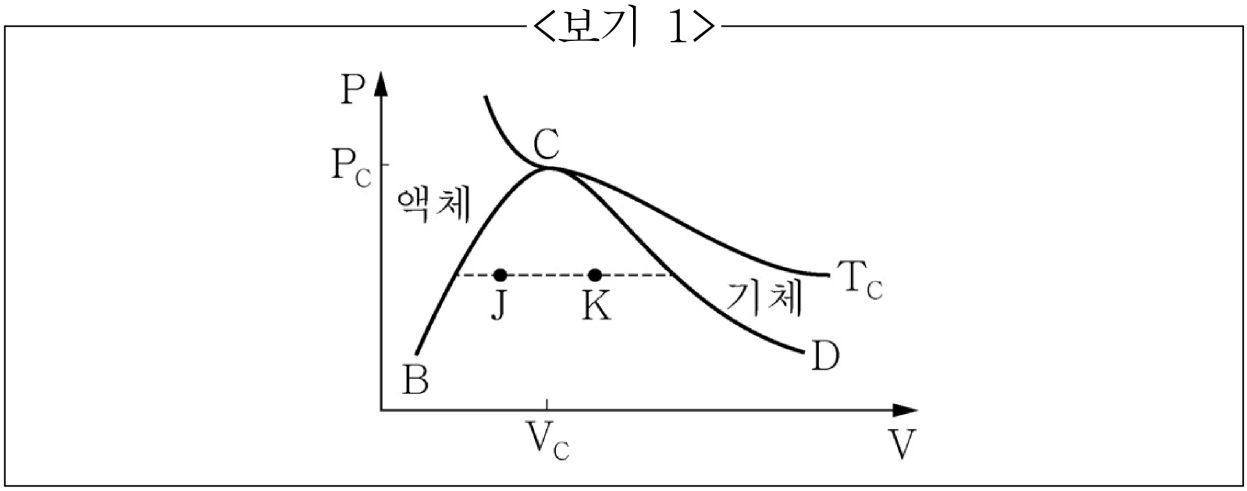
4. 최대 농도 조건: B의 농도식을 공간시간에 대해 미분하면 $\frac{dC_B}{d\tau} = \frac{k_1 C_{A0}(1 - k_1 k_2 \tau^2)}{[(1 + k_1 \tau)(1 + k_2 \tau)]^2}$이다. 양의 공간시간에서 분모와 $k_1 C_{A0}$는 양수이므로, **미분값의 부호는 분자의 괄호 안 식으로 결정된다**. 따라서 $k_1 k_2 \tau^2 = 1$일 때 미분값이 양수에서 음수로 바뀌어 B의 농도가 최대가 되고, $\tau = \frac{1}{\sqrt{k_1 k_2}}$를 얻는다. 원료 농도 $C_{A0} = 2\,\mathrm{mol/L}$는 B의 농도 크기에 영향을 주지만, 이 최대 조건에는 영향을 주지 않는다.

5. 수치 대입: $k_1 = 2\,\mathrm{min}^{-1}$, $k_2 = 1\,\mathrm{min}^{-1}$이므로 $k_1 k_2 = 2\,\mathrm{min}^{-2}$이다. 따라서 $\tau = \frac{1}{\sqrt{2}}\,\mathrm{min}$이며, 이는 ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 7. <보기 1>의 압력(P)-부피(V) 상도에 대한 설명으로 옳은 것을 <보기 2>에서 모두 고른 것은?

<보기 1>



<보기 2>

ㄱ. K지점이 J지점보다 온도가 높다.

ㄴ. BCD곡선에서 왼쪽 절반(B에서 C)은 기화온도에서 포화액체를 나타낸다.

ㄷ. BCD 아래쪽은 기체와 액체의 혼합영역이다.

ㄹ. 점 C에서 액상과 증기상의 성질이 같기 때문에 서로 구별할 수 없다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄴ, ㄷ

③ ㄱ, ㄴ, ㄷ

④ ㄴ, ㄷ, ㄹ

정답 4번

간단한 해설

J와 K는 같은 압력의 액체·증기 공존 영역에 있으므로 **온도가 같다**. BC는 포화액체선이고 돔 내부는 액체·증기 혼합영역이며, 임계점 C에서는 두 상의 구별이 사라진다.

NoteBase

보기별 해설

ㄱ. X: J와 K는 BCD가 이루는 돔 내부의 같은 수평 점선 위에 있으므로 압력이 같다. 순수물질의 액체와 증기가 평형을 이루는 영역에서는 압력이 정해지면 포화온도도 정해지므로 **J와 K의 온도는 같다**. K가 더 오른쪽에 있다는 것은 부피가 더 크다는 뜻이며, 이 영역에서는 증기의 비율이 더 크다는 의미이다.

ㄴ. O: B에서 C로 이어지는 왼쪽 경계는 **포화액체선**이다. 임계점에 이르기 전 이 선 위의 액체는 주어진 압력의 기화온도에 도달하여 기화가 막 시작되기 직전인 상태이다. 오른쪽 경계 CD는 기화가 끝난 포화증기 상태를 나타낸다.

ㄷ. O: BCD 아래쪽, 즉 **BC와 CD 사이의 돔 내부**는 액체와 증기가 평형을 이루며 함께 존재하는 혼합영역이다. 같은 압력에서 왼쪽 경계로부터 오른쪽 경계로 이동하면 온도는 일정하게 유지되면서 액체가 증기로 바뀌고 부피가 증가한다.

ㄹ. O: C는 포화액체선과 포화증기선이 만나는 **임계점**이다. 이 점에 가까워질수록 액체와 증기의 밀도 차이가 줄어들며, C에서는 두 상의 성질 차이가 사라져 액상과 증기상을 구별할 수 없다.

옳은 보기는 ㄴ, ㄷ, ㄹ이며, 이 조합은 ④에 해당한다.

NoteBase

문 8. A성분/B성분의 2성분계는 근사적으로 라울의 법칙을 따른다. 각 순수성분의 증기압은 75°C에서 $P_A^{sat} = 60\text{kPa}$이고 $P_B^{sat} = 40\text{kPa}$이다. 75°C에서 A성분 50mol%와 B성분 50mol%로 구성된 액체혼합물과 평형을 이루는 증기의 A성분 몰분율 조성은?

① 0.5

② 0.6

③ 0.7

④ 0.8

정답 2번

간단한 해설

라울의 법칙으로 구한 A와 B의 부분압은 각각 30 kPa와 20 kPa이다. 증기의 A성분 몰분율은 **전체 압력에 대한 A의 부분압 비율**이므로 $\frac{30}{30+20} = 0.6$이다.

계산 과정

1. 액상 조성과 적용 법칙: 액체의 A와 B가 각각 50 mol%이므로 액상 몰분율은 $x_A = x_B = 0.5$이다. 라울의 법칙은 성분의 부분압을 **액상 몰분율과 같은 온도에서의 순수성분 증기압의 곱**으로 나타낸다. 즉, $p_i = x_i P_i^{\text{sat}}$ 이며, p_i는 성분 i의 부분압이다.

2. 각 성분의 부분압: 75°C의 순수성분 증기압을 대입하면 $p_A = 0.5 \cdot 60 = 30\text{kPa}$, $p_B = 0.5 \cdot 40 = 20\text{kPa}$ 이다. 액상 몰분율이 같아도 순수성분 증기압이 더 큰 A가 더 큰 부분압을 나타낸다.

3. 전체 압력: A와 B만으로 이루어진 증기의 전체 압력은 **두 부분압의 합**이다. 따라서 $P = p_A + p_B$이고, 30 + 20 = 50 kPa이다.

4. 기상 몰분율: 돌턴의 분압 법칙에 따라 기상에서 A의 몰분율은 $y_A = \frac{p_A}{P} = \frac{30}{50} = 0.6$이다. 이는 증기 중 A가 60 mol%라는 뜻으로, 액체의 50 mol%보다 높다. 구한 몰분율 0.6은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 9. 반응열에 대한 설명 중에서 옳은 것을 <보기>에서 모두 고른 것은?

<보기>
ㄱ. 온도 T에서 $\Delta H_r(T)$의 값이 음이면 흡열반응을 의미하고, 양이면 발열반응임을 의미한다.
ㄴ. $A \rightarrow B$에 대한 ΔH_r°는 $2A \rightarrow 2B$에 대한 ΔH_r° 값의 절반이다.
ㄷ. 표준반응열은 반응에 참여하는 각 성분의 표준생성열로부터 계산할 수 있다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 3번

간단한 해설

반응열은 **반응식의 화학양론계수에 비례**하므로 계수를 모두 2배로 하면 반응열도 2배가 된다. 표준반응열은 각 성분의 **표준생성열**에 화학양론계수를 반영하여 생성물의 합에서 반응물의 합을 빼서 구한다.

보기별 해설

ㄱ. X: 반응엔탈피는 생성물의 엔탈피에서 반응물의 엔탈피를 뺀 값이다. 일정 압력에서 팽창·압축 일만 하는 경우, 계가 주위로 열을 방출하면 엔탈피가 감소하므로 $\Delta H_r(T) < 0$인 **발열반응**이다. 반대로 계가 열을 흡수하면 엔탈피가 증가하므로 $\Delta H_r(T) > 0$인 **흡열반응**이다. 보기에서는 두 반응의 부호를 서로 바꾸어 설명했다.

ㄴ. O: 같은 온도와 물질의 상태에서 반응식의 **화학양론계수를 모두 2배**로 하면 반응하는 물질의 양이 2배가 되므로 반응열도 2배가 된다. 따라서 $2A \rightarrow 2B$의 표준반응열은 $A \rightarrow B$의 2배이며, $A \rightarrow B$의 표준반응열은 그 절반이다.

ㄷ. O: 표준생성열은 표준상태의 구성 원소로부터 해당 물질 1 mol이 생성될 때의 엔탈피 변화이다. 엔탈피는 상태함수이므로 반응 경로에 관계없이 처음과 끝의 상태만으로 변화량이 정해진다. 따라서 각 성분의 표준생성열에 반응식의 화학양론계수를 곱한 뒤, **생성물의 합에서 반응물의 합을 빼면** 표준반응열을 구할 수 있다.

옳은 보기는 ㄴ, ㄷ이므로 이 조합에 해당하는 선택지는 ③이다.

NoteBase

문 10. 대기압이 1기압일 때, 압력이 큰 순서로 나열된 것은? (단, 다른 조건이 없으면 압력은 절대압이다.)

① $3\times10^{7}Pa > 1bar > 2\times10^{5}N/m^{2} > 2.7mH_{2}O > 380mmHg$

② $2\times10^{5}N/m^{2} > 3\times10^{7}Pa > 1bar > 12.7psi > 15inHg$

③ $3\times10^{7}Pa > 2\times10^{5}N/m^{2} > 1bar > 1.5mH_{2}O > 12.7psi$

④ $3\times10^{7}Pa > 2\times10^{5}N/m^{2} > 1bar > 12.7psi > 380mmHg$

정답 4번

간단한 해설

서로 다른 압력 단위는 **같은 단위로 환산**한 뒤 비교한다. 1 bar는 100 kPa이고, 12.7 psi는 약 87.6 kPa, 380 mmHg는 약 50.7 kPa이므로 이 순서로 압력이 작아진다. 모두 절대압으로 주어졌으므로 대기압을 더하지 않는다.

NoteBase

계산 과정

비교 기준: 모든 압력을 kPa로 환산한다. 절대압은 완전진공을 기준으로 한 압력이다. 문제에서 다른 조건이 없으면 절대압이라고 했으므로, 수주·수은주로 표시된 압력에도 **대기압을 더하지 않는다**.

SI 단위와 bar: 1 Pa = 1 N/m^2, 1 kPa = 1,000 Pa이다. 따라서 $3 \times 10^7 Pa = 30{,}000 kPa$, $2 \times 10^5 N/m^2 = 200 kPa$이다. 또한 $1 bar = 10^5 Pa = 100 kPa$이므로, 이 세 압력은 30,000 kPa > 200 kPa > 100 kPa 순이다.

psi 환산: 1 psi ≈ 6.895 kPa이므로 12.7 psi ≈ 12.7 × 6.895 = 87.6 kPa이다. 따라서 12.7 psi는 1 bar보다 작다.

수은주 단위 환산: 1 mmHg ≈ 0.1333 kPa이므로 380 mmHg ≈ 380 × 0.1333 = 50.7 kPa이다. 따라서 380 mmHg는 12.7 psi보다 작다. 다른 선지에 나온 15 inHg는 1 in = 25.4 mm를 적용하면 381 mmHg이므로 약 50.8 kPa이다.

수주 단위 환산: 액주가 나타내는 압력은 $p = \rho g h$이다. 여기서 ρ는 액체 밀도, g는 중력가속도, h는 액주 높이이다. 물의 밀도를 약 1,000 kg/m^3, 중력가속도를 약 9.81 m/s^2로 두면 1 mH_2O ≈ 9.81 kPa이다. 따라서 2.7 mH_2O ≈ 26.5 kPa, 1.5 mH_2O ≈ 14.7 kPa이다. 2.7 mH_2O는 380 mmHg보다 작고, 1.5 mH_2O는 12.7 psi보다 작다.

대소 관계 적용: ④에 제시된 압력들을 환산하면 30,000 kPa > 200 kPa > 100 kPa > 87.6 kPa > 50.7 kPa로, 왼쪽부터 압력이 작아진다. ①은 **200 kPa인 압력을 100 kPa보다 뒤에** 놓았고, ②는 200 kPa를 30,000 kPa보다 앞에 놓았다. ③은 약 14.7 kPa인 수주 압력을 약 87.6 kPa인 12.7 psi보다 앞에 놓아 대소 관계가 뒤바뀌었다.

NoteBase

문 11. 12wt% $NaHCO_3$ 수용액 5kg을 50°C에서 20°C로 온도를 낮추어 결정화를 유도하였다. 이때 석출되는 $NaHCO_3$의 질량은? (단, 20°C에서 $NaHCO_3$의 포화 용해도는 9.6g $NaHCO_3$/100gH_2O으로 계산한다.)

① 0.4224kg

② 0.1776kg

③ 0.6234kg

④ 0.2010kg

정답 2번

간단한 해설

용해도는 **물 100 g을 기준**으로 하므로, 물 4.4 kg에 남아 녹는 $NaHCO_3$는 0.4224 kg이다. 처음 녹아 있던 0.6 kg에서 이를 빼면 석출량은 0.1776 kg이다.

계산 과정

1. 처음 용질과 물의 질량을 구한다. 12 wt%는 **수용액 전체 질량 중 $NaHCO_3$가 차지하는 질량 비율**이 12%라는 뜻이다. 따라서 $NaHCO_3$의 질량은 $5 \times \frac{12}{100} = 0.6$ kg이고, 물의 질량은 $5 - 0.6 = 4.4$ kg이다.

2. 20°C에서 용액에 남는 $NaHCO_3$의 질량을 구한다. 물의 증발이나 손실 없이 $NaHCO_3$만 석출되는 것으로 계산하면 물의 질량은 4.4 kg으로 유지된다. 주어진 포화 용해도는 **물 100 g당 $NaHCO_3$ 9.6 g**이므로, 결정화 후 포화용액에 녹아 있는 $NaHCO_3$의 질량은 $4.4 \times \frac{9.6}{100} = 0.4224$ kg이다. 이 값은 석출된 결정의 질량이 아니라 물에 남아 녹아 있는 용질의 질량이다.

3. 용질의 질량수지로 석출량을 구한다. 처음 $NaHCO_3$는 용액에 남는 양과 결정으로 석출되는 양으로 나뉘므로, 석출량은 $0.6 - 0.4224 = 0.1776$ kg이다. 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 12. 메탄올 33mol%인 메탄올/물 혼합 용액을 연속증류하여 메탄올 99mol% 유출액과 물 97mol% 관출액으로 분리하고자 한다. 유출액 100mol/hr을 생산하기 위해 필요한 공급액의 양은?

① 300mol/hr

② 320mol/hr

③ 340mol/hr

④ 360mol/hr

정답 2번

간단한 해설

관출액의 물 함량이 97 mol%이므로 **관출액의 메탄올 함량은 3 mol%**이다. 전체 몰수지와 메탄올 성분수지를 함께 적용하면 필요한 공급 유량은 320 mol/hr이다.

계산 과정

공급액, 유출액, 관출액의 몰유량을 각각 F, D, B라 하고 단위는 mol/hr로 둔다. 주어진 유출액 유량은 D = 100 mol/hr이다. 메탄올의 몰분율은 공급액에서 0.33, 유출액에서 0.99이며, 관출액에서는 물이 97 mol%이므로 **메탄올이 3 mol%**, 즉 0.03이다.

정상상태에서 축적과 손실이 없고 증류 중 화학반응이 일어나지 않는 것으로 보고 물질수지를 세운다. 전체 공급 몰유량은 두 제품의 몰유량 합과 같으므로 $F = D + B = 100 + B$, 즉 $B = F - 100$이다.

각 흐름의 몰유량에 메탄올 몰분율을 곱하면 메탄올의 몰유량이 된다. 따라서 **메탄올의 유입량과 유출량이 같다는 성분수지**는 $0.33F = 0.99D + 0.03B$이다. 유출액으로 나가는 메탄올은 $0.99 \times 100 = 99$ mol/hr이며, 관출액으로 나가는 메탄올도 포함해야 한다.

$D = 100$과 $B = F - 100$을 대입하면 $0.33F = 99 + 0.03(F - 100)$이다. 이를 정리하면 $0.30F = 96$이므로 $F = \frac{96}{0.30} = 320$ mol/hr이다. 이때 관출액은 220 mol/hr이고, 메탄올은 공급액으로 105.6 mol/hr 유입되어 유출액으로 99 mol/hr, 관출액으로 6.6 mol/hr 나간다.

필요한 공급액의 양은 320 mol/hr로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 13. 기체 흡수탑에서 발생할 수 있는 현상 중 편류(Channeling)에 대한 설명은?

① 흡수탑에서 기체의 상승 속도가 높아서, 액체가 범람하는 현상

② 흡수탑 내에서 액체가 어느 한 곳으로 모여 흐르는 현상

③ 흡수탑 내에서 기상의 상승속도가 증가함에 따라, 각 단의 액상체량(Hold up)이 증가해 압력손실이 급격히 증가하는 현상

④ 액체의 용질 흡수량 증가에 따라 증류탑 내부 각 단에서 증기의 용해열에 의해 온도가 상승하는 현상

정답 2번

간단한 해설

편류는 액체가 탑 전체에 고르게 분포하지 않고 **특정 부분에 모여 흐르는 현상**이다. 이 때문에 기체와 액체가 충분히 접촉하지 못해 흡수 효율이 낮아진다.

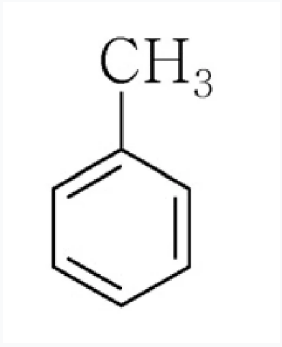
공통 해설

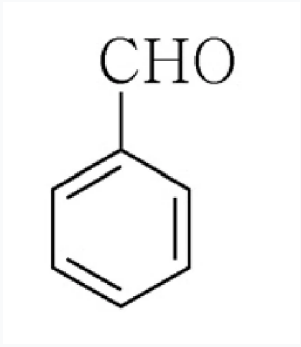
편류(Channeling)는 흡수탑 안에서 액체가 균일하게 분포하지 않고 **일부 통로로 집중되어 흐르는 현상**이다. 충전탑에서는 액체가 충전물 표면을 고르게 적셔야 기체와 충분히 접촉할 수 있다. 그런데 액체가 탑 벽면 등을 따라 집중적으로 흐르면, 다른 부분의 충전물은 충분히 젖지 않아 기체·액체의 유효 접촉면적이 줄어든다. 따라서 '액체가 어느 한 곳으로 모여 흐른다'는 설명이 편류의 의미에 해당한다.

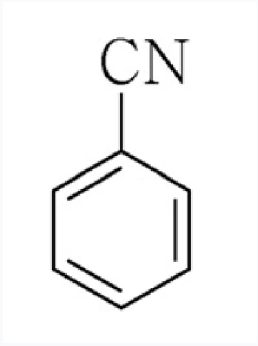
구별 기준은 **액체 흐름의 공간적 불균일**이다. 기체의 상승 속도가 높아 액체가 범람한다는 설명, 액상체량과 압력손실이 증가한다는 설명, 용해열로 온도가 상승한다는 설명은 각각 액체의 범람·축적이나 열적 변화를 나타낸다. 이들은 액체가 특정 통로에 집중되어 흐른다는 편류의 정의와 구별된다.

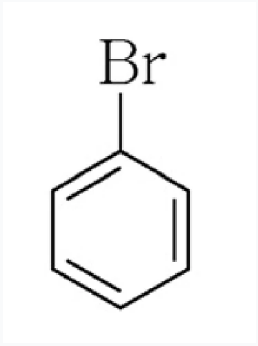
NoteBase

문 14. 친전자성 방향족 치환반응이 가장 잘 일어나는 물질은?

① 

② 

③ 

④ 

정답 1번

간단한 해설

톨루엔의 메틸기는 벤젠 고리에 전자를 공급하여 **친전자성 방향족 치환반응을 촉진**한다. 나머지 물질의 치환기는 고리의 전자를 끌어당겨 반응성을 낮춘다.

NoteBase

선지별 해설

친전자성 방향족 치환반응에서는 방향족 고리의 π 전자가 친전자체와 결합하며 양전하를 띤 중간체가 형성된다. 치환기가 고리에 전자를 공급하고 이 중간체를 안정화하면 반응이 쉬워지고, 고리에서 전자를 끌어당기면 반응이 어려워진다. 활성화·비활성화는 치환기가 없는 벤젠을 기준으로 구분한다.

① 톨루엔: 벤젠 고리에 메틸기가 결합한 구조이다. 메틸기는 전자 주개 유도 효과와 하이퍼콘쥬게이션으로 고리에 전자를 공급한다. 하이퍼콘쥬게이션은 인접한 결합의 전자가 고리의 전자계와 상호작용하는 효과로, 반응 중 생기는 양전하를 안정화하는 데 기여한다. 따라서 메틸기는 벤젠 고리를 **활성화**한다.

② 벤즈알데하이드: 벤젠 고리에 –CHO가 결합한 구조이다. 카보닐기를 포함한 –CHO는 **유도 효과와 공명 효과로 전자를 끌어당겨** 고리를 비활성화한다. 따라서 친전자체와 반응하기가 톨루엔보다 어렵다.

③ 벤조나이트릴: 벤젠 고리에 사이아노기 –CN이 결합한 구조이다. 사이아노기는 **전자 끌개 유도 효과와 공명 효과**를 나타내므로 고리를 비활성화한다. 따라서 친전자성 방향족 치환반응은 톨루엔보다 잘 일어나지 않는다.

④ 브로모벤젠: 벤젠 고리에 Br이 결합한 구조이다. Br은 비공유 전자쌍을 공명으로 고리에 공급할 수 있지만, **전자를 끌어당기는 유도 효과가 더 우세**하여 전체적으로 고리를 비활성화한다. 오르토·파라 지향성을 나타낸다는 사실이 반응을 촉진한다는 뜻은 아니다.

네 물질 중 벤젠 고리를 활성화하는 치환기를 가진 것은 톨루엔이므로, 친전자성 방향족 치환반응이 가장 잘 일어나는 물질은 ①이다.

NoteBase

문 15. <보기>는 가스 A, B, C의 세 성분으로 된 기체혼합물의 분석치이다. 이때 성분 B의 분자량은?

<보기>
A. 40mol% (분자량 40)
B. 20wt%
C. 40mol% (분자량 60)

① 30
② 40
③ 50
④ 60

정답 3번

간단한 해설

혼합물 100mol에서 A와 C의 질량 합은 4,000g이며, 이는 전체 질량의 80%이다. 따라서 **B 20mol의 질량은 1,000g**이고 B의 분자량은 50이다.

계산 과정

1. 몰수 기준 설정: mol%는 전체 몰수에 대한 각 성분 몰수의 백분율이다. A와 C가 각각 40mol%이므로 B는 100 − 40 − 40 = 20mol%이다. **혼합물 100mol을 기준**으로 잡으면 A 40mol, B 20mol, C 40mol이다.

2. A와 C의 질량 계산: 분자량의 수치는 몰질량을 g/mol로 나타낸 수치와 같다. 따라서 A의 질량은 40mol × 40g/mol = 1,600g, C의 질량은 40mol × 60g/mol = 2,400g이다. 두 성분의 질량 합은 4,000g이다.

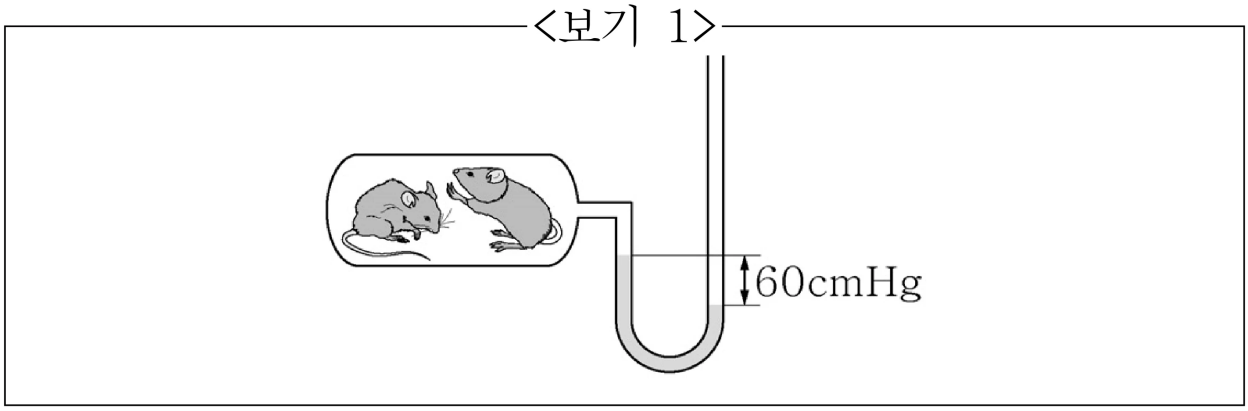
3. B의 질량 계산: B가 20wt%라는 것은 **B의 질량이 전체 질량의 20%**라는 뜻이다. 따라서 A와 C의 질량 합 4,000g은 전체 질량의 80%에 해당한다. 전체 질량은 $\frac{4,000}{0.80} = 5,000$g이고, B의 질량은 5,000 − 4,000 = 1,000g이다.

4. B의 분자량 계산: 몰질량은 질량을 몰수로 나눈 값이므로 $M_B = \frac{1,000\text{g}}{20\text{mol}} = 50\text{g/mol}$이다. 따라서 B의 분자량은 50으로, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 16. 생쥐는 20kPa(절대압력) 압력까지 생존할 수 있다. <보기 1>에서 보인 것처럼 탱크에 연결된 수은 마노미터의 읽음이 60cmHg이고 탱크외부의 기압은 100kPa이다. 옳은 것을 <보기 2>에서 모두 고른 것은? (단, 80cmHg=100kPa로 계산한다.)

<보기 1>



<보기 2>

ㄱ. 탱크 내 압력이 대기압보다 낮다.

ㄴ. 생쥐가 생존할 수 있다.

ㄷ. 탱크 내 절대 압력이 60cmHg이다.

ㄹ. 마노미터의 수은을 물로 교체하여도 마노미터 읽음이 60cm로 변화 없다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄴ, ㄷ

③ ㄷ, ㄹ

④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

간단한 해설

탱크 쪽 수은면이 대기 쪽보다 높으므로 탱크 압력은 **대기압보다 낮다**. 60 cmHg는 두 압력의 차이이므로 탱크의 **절대압력은 25 kPa**이며, 문제에서 제시한 생존 한계인 20 kPa보다 높다.

NoteBase

보기별 해설

마노미터는 정지한 액체의 높이 차로 압력 차를 측정한다. 기체의 무게를 무시하면 $\Delta P = \rho g h$이며, 여기서 ρ는 액체의 밀도, g는 중력가속도, h는 양쪽 액면의 높이 차이다. 절대압력은 완전진공을 기준으로 한 압력이다.

ㄱ. O: 그림에서 탱크에 연결된 왼쪽 수은면이 대기에 열린 오른쪽 수은면보다 높다. 압력이 더 큰 대기가 오른쪽 수은면을 누르므로 **탱크 압력이 대기압보다 낮다**. 주어진 환산 관계에 따라 압력 차는 $\Delta P = \frac{60}{80} \cdot 100 = 75\text{kPa}$이다.

ㄴ. O: 탱크 압력은 대기압보다 75 kPa 낮으므로 절대압력은 100 − 75 = 25 kPa이다. 이는 문제에서 제시한 **생존 한계 20 kPa보다 높으므로** 생쥐가 생존할 수 있다.

ㄷ. X: 60 cmHg는 탱크의 절대압력이 아니라 **대기압과 탱크 압력의 차이**이다. 대기압이 80 cmHg에 해당하므로 탱크의 절대압력은 80 − 60 = 20 cmHg, 즉 25 kPa이다.

ㄹ. X: 같은 압력 차를 측정할 때 $\rho g h$가 같아야 하므로 액면 높이 차는 **액체 밀도에 반비례**한다. 물은 수은보다 밀도가 작으므로 수은을 물로 교체하면 필요한 높이 차가 60 cm보다 커진다. 따라서 읽음이 60 cm로 유지되지 않는다.

옳은 보기는 ㄱ, ㄴ이며, 이 조합은 ①에 해당한다.

NoteBase

문 18. 800kg/h의 유속으로 각각 50wt% 벤젠과 자일렌의 혼합 용액이 유입되어 벤젠은 상층에서 300kg/h, 자일렌은 하층에서 350kg/h로 분리되고 있다. 이때 상층에 섞여있는 자일렌(q_1)과 하층에 섞여있는 벤젠(q_2)의 유속은?

① q_1: 60kg/h q_2: 90kg/h
② q_1: 90kg/h q_2: 60kg/h
③ q_1: 50kg/h q_2: 100kg/h
④ q_1: 100kg/h q_2: 50kg/h

정답 3번

간단한 해설

공급액에서 벤젠과 자일렌은 각각 400 kg/h씩 유입된다. **각 성분의 유입량과 유출량이 같아야 하므로** 상층 자일렌은 $q_1 = 400 - 350 = 50\text{kg/h}$, 하층 벤젠은 $q_2 = 400 - 300 = 100\text{kg/h}$이다.

계산 과정

성분별 유입량: 50 wt%는 혼합액 전체 질량 중 해당 성분의 질량이 차지하는 비율이 50%라는 뜻이다. 총 질량유량이 800 kg/h이므로 벤젠과 자일렌의 유입량은 각각 $800 \cdot \frac{50}{100} = 400\text{kg/h}$이다. 반응이나 장치 내 축적이 없는 정상상태의 분리로 보아, **각 성분에 대해 유입량 = 상층 유출량 + 하층 유출량**을 적용한다.

상층의 자일렌 q_1: 자일렌은 400 kg/h 유입되고, 그중 350 kg/h가 하층으로 나간다. 나머지가 상층에 섞여 나가므로 $400 = q_1 + 350$에서 $q_1 = 50\text{kg/h}$이다.

하층의 벤젠 q_2: 벤젠은 400 kg/h 유입되고, 그중 300 kg/h가 상층으로 나간다. 나머지가 하층에 섞여 나가므로 $400 = 300 + q_2$에서 $q_2 = 100\text{kg/h}$이다.

따라서 상층 자일렌 50 kg/h와 하층 벤젠 100 kg/h의 조합은 ③과 일치한다.

NoteBase

문 19. 비중이 0.8인 액체가 나타내는 압력이 2.4kgf/cm^{2}일 때, 이 액체의 높이는?

① 10m

② 20m

③ 30m

④ 40m

정답 3번

간단한 해설

같은 압력을 만드는 액주의 높이는 **비중에 반비례**한다. 주어진 압력은 물기둥 24 m에 해당하므로, 비중 0.8인 액체의 높이는 30 m이다.

계산 과정

비중량과 압력의 관계: 정지한 액체에서 액주 자체가 만드는 압력은 $p = \gamma h$이다. 여기서 p는 압력, γ는 단위 부피당 무게인 비중량, h는 액주의 높이이다. 비중 0.8은 같은 부피의 물에 비해 무게가 0.8배라는 뜻이다. 물의 비중량을 1,000 kgf/m^{3}로 두면 이 액체의 비중량은 0.8 × 1,000 = 800 kgf/m^{3}이다.

압력 단위 환산: 비중량에 m^3 단위를 사용했으므로 **압력의 면적 단위도 m^{2}로 맞춘다**. 1 m^2 = 10,000 cm^{2}이므로 2.4 kgf/cm^2 = 24,000 kgf/m^{2}이다.

액주 높이 계산: 압력을 비중량으로 나누면 그 압력을 만드는 액주의 높이를 얻는다. $h = \frac{p}{\gamma} = \frac{24{,}000}{800} = 30\text{m}$이다. 따라서 액체의 높이는 30 m이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase