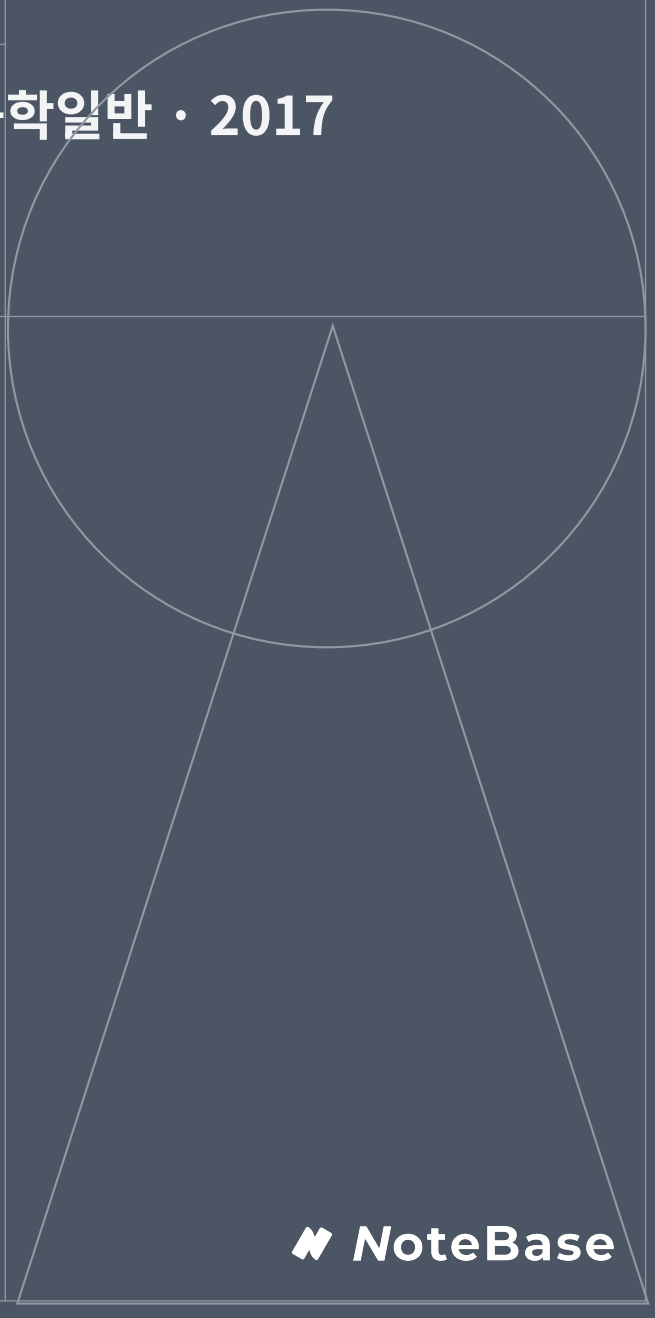
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2017



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2017

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2017

문 1. 화학공장의 경제성을 평가하는 공학적인 비용에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 운전비용에는 건축, 계약, 허가 등의 비용이 포함된다.

② 자본투자 비용은 인도비용을 포함한 장비 구입비용에 Lang 인자를 곱하여 추산할 수 있다.

③ 자본비용에는 열교환기, 반응기, 컴퓨터 등을 구입하거나 제작하는 비용이 포함된다.

④ Marshall & Swift 지수는 특정한 연도의 장치비용을 결정하는데 이용된다.

정답 1번

간단한 해설

①의 건축·계약·허가 비용은 공장을 건설하고 설비를 갖추기 위한 **자본비용**에 해당한다. 운전비용은 원료비·에너지비·운전 인건비처럼 **공장을 가동하며 발생하는 비용**이다.

선지별 해설

① X: 공장 건축과 그에 따른 계약·허가에 드는 비용은 생산설비를 갖추기 위한 **자본비용**에 포함된다. 운전비용은 설비를 가동하여 제품을 생산하는 데 드는 비용으로, 원료비·연료비·전력비·운전 인건비 등이 해당한다. 따라서 선지의 '운전비용'을 '자본비용'으로 고쳐야 한다.

② O: Lang 인자법은 주요 장비의 **인도비용을 포함한 구입비용 합계**에 Lang 인자를 곱하여 공장 건설에 필요한 고정자본투자 비용을 개략적으로 추산하는 방법이다. 장비 자체의 가격뿐 아니라 설치·배관·건축 등 관련 비용까지 반영하기 위한 것이며, Lang 인자는 공정의 종류와 특성에 따라 달라진다.

③ O: 열교환기·반응기는 생산공정에 사용하는 설비이고, 공장 제어 등에 사용하는 컴퓨터도 공장의 운영에 필요한 자산이다. 이러한 설비와 장비를 **구입하거나 제작하여 갖추는 비용**은 자본비용에 포함된다. 장비를 갖추는 비용과 그 장비를 가동하면서 드는 비용을 구별해야 한다.

④ O: Marshall & Swift 지수는 **연도에 따른 장치비용의 변동**을 반영하는 비용지수이다. 기준연도의 장치비용을 알고 있을 때, 그 비용에 '추산하려는 연도의 지수 ÷ 기준연도의 지수'를 곱하여 해당 연도의 장치비용을 추산할 수 있다. 따라서 지수는 이미 알려진 비용을 다른 연도의 비용으로 환산하는 데 이용된다.

NoteBase

문 2. 다단 증류를 통해 벤젠과 톨루엔 혼합물로부터 벤젠과 톨루엔을 분리하고자 한다. 공급단 상부에서의 조작선에 대한 y절편이 0.2이고 환류비가 3일 때, 탑위 제품 내 벤젠의 몰분율은?

① 0.4

② 0.6

③ 0.7

④ 0.8

정답 4번

간단한 해설

공급단 상부의 조작선에서 **y절편**은 $x_D/(R+1)$이다. 환류비가 3이므로 탑위 제품의 벤젠 몰분율은 $x_D = 0.2(3+1) = 0.8$이다.

계산 과정

공급단 상부는 정류부이다. 환류액의 몰유량을 L, 탑위 제품의 몰유량을 D라 하면 환류비는 $R = L/D$이다. x와 y는 각각 액상과 기상에서의 벤젠 몰분율, x_D는 구하려는 탑위 제품의 벤젠 몰분율이다.

전응축기를 사용하고 정류부의 각 상 몰유량이 일정하다고 보는 통상적인 모형에서, 물질수지로 얻는 정류부 조작선은 $y = \frac{R}{R+1}x + \frac{x_D}{R+1}$이다. 이 직선에서 x = 0일 때의 y값, 즉 **y절편**은 $\frac{x_D}{R+1}$이다.

주어진 y절편 0.2와 환류비 R = 3을 대입하면 $0.2 = \frac{x_D}{3+1} = \frac{x_D}{4}$이다. 양변에 4를 곱하면 $x_D = 0.2 \cdot 4 = 0.8$을 얻는다. 몰분율은 전체 몰수 중 벤젠 몰수의 비이므로 단위가 없으며, 탑위 제품에서 벤젠이 몰 기준 80%를 차지한다는 뜻이다.

따라서 탑위 제품의 벤젠 몰분율은 0.8이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 3. 노즐에서 7 $m \cdot s^{-1}$의 속도로 물이 수직으로 분사될 때, 물이 노즐로부터 올라갈 수 있는 최대 높이[m]는? (단, 중력가속도 = 9.8 $m \cdot s^{-2}$이고, 물과 공기의 마찰은 무시한다)

① 1

② 2.5

③ 5

④ 7.5

정답 2번

간단한 해설

마찰을 무시하면 물의 운동에너지가 중력 위치에너지로 전환되며, **최고점에서 속도가 0**이 된다. 분사 속도 7 $m \cdot s^{-1}$에 해당하는 최대 상승 높이는 2.5 m이다.

계산 과정

노즐을 높이의 기준으로 두고, 분사 속도를 v_0, 최대 상승 높이를 h라 하자. 주어진 값은 $v_0 = 7\,\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, $g = 9.8\,\mathrm{m \cdot s^{-2}}$이다. 물은 상승하면서 중력에 의해 감속하고, 최고점에서는 순간적으로 속도가 0이 된다.

물과 공기의 마찰을 무시하므로 **역학적 에너지가 보존**된다. 질량이 m인 물의 노즐 출구 운동에너지는 최고점에서 증가한 중력 위치에너지와 같으므로 $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$이다. 양변의 질량을 약분하면 $h = \frac{v_0^2}{2g}$를 얻는다.

주어진 값을 대입하면 $h = \frac{7^2}{2 \times 9.8} = \frac{49}{19.6} = 2.5\,\mathrm{m}$이다. 따라서 노즐로부터 올라갈 수 있는 최대 높이는 2.5 m이며, 이는 ②의 2.5에 해당한다.

NoteBase

문 4. 반응속도 상수가 온도 T_1에서 k_1, T_2에서 k_2이다. k_1과 k_2의 관계로 옳은 것은? (단, E는 활성화 에너지, R은 기체상수이며, 아레니우스 상수와 E는 온도와 무관한 것으로 가정한다)

① $\ln\frac{k_2}{k_1}=\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)$
② $\ln\frac{k_2}{k_1}=\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1}\right)$
③ $\ln\frac{k_2}{k_1}=\frac{E}{2R}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)$
④ $\ln\frac{k_2}{k_1}=\frac{E}{2R}\left(\frac{1}{T_2}-\frac{1}{T_1}\right)$

정답 1번

간단한 해설

두 온도에서의 아레니우스 식에 자연로그를 취해 빼면 **온도와 무관한 아레니우스 상수가 소거**된다. 따라서 $\ln\frac{k_2}{k_1}=\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)$이다.

계산 과정

1. 아레니우스 식 적용: 반응속도 상수는 $k=A\exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$로 나타낸다. 여기서 A는 아레니우스 상수, E는 활성화 에너지, R은 기체상수이며, T에는 **절대온도(K)**를 사용한다. E와 R의 에너지·물질량 단위를 맞추면 지수는 무차원이다. 문제에서 A와 E가 온도에 무관하므로 두 온도에 같은 값을 적용한다.

2. 두 온도의 식 정리: 아레니우스 식에 자연로그를 취하면 $\ln k=\ln A-\frac{E}{RT}$이다. 따라서 $\ln k_1=\ln A-\frac{E}{RT_1}$, $\ln k_2=\ln A-\frac{E}{RT_2}$로 쓴다.

3. 두 식의 차 계산: $\ln k_2$에서 $\ln k_1$을 빼면 공통항 $\ln A$가 소거된다. 남는 항은 $\ln\frac{k_2}{k_1}=-\frac{E}{RT_2}+\frac{E}{RT_1}$이므로, 정리하면 $\ln\frac{k_2}{k_1}=\frac{E}{R}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)$이다. 왼쪽은 같은 단위의 속도 상수 비에 대한 자연로그이고, 오른쪽도 무차원이다.

4. 선택지와 대응: 도출한 관계식은 ①과 일치한다. 로그의 비가 k_2/k_1이면 역수 온도의 차는 **첫 온도의 역수에서 둘째 온도의 역수를 빼는 순서**이다. 또한 계수는 E/R이므로, ②·④처럼 차의 순서를 뒤집거나 ③·④처럼 계수를 $E/(2R)$로 줄일 수 없다.

NoteBase

문 5. 분자량이 41 g · mol^{-1}인 기체 10 kg이 300 K의 온도에서 부피 1 m^3의 탱크에 들어있다고 할 때, 기체 탱크에 설치된 압력계가 나타내는 압력[atm]은? (단, 탱크가 설치된 곳의 대기압은 1 atm이며, 기체는 이상기체로 가정한다)

① 4

② 5

③ 6

④ 7

정답 2번

간단한 해설

이상기체 상태방정식으로 구한 약 6 atm은 **절대압력**이다. 압력계는 대기압과의 차이인 **게이지압력**을 나타내므로, 대기압 1 atm을 빼면 약 5 atm이다.

계산 과정

물질량과 단위 환산: 질량은 10 kg = 10000 g이고, 몰질량은 41 g/mol이다. 따라서 물질량은 $n = \frac{10000}{41} \approx 243.9\text{mol}$이다. 기체상수의 부피 단위에 맞추어 탱크 부피도 1 m^3 = 1000 L로 환산한다.

절대압력 계산: 이상기체이므로 $P_{\text{abs}}V = nRT$를 적용한다. 여기서 압력은 **진공을 기준으로 한 절대압력**이다. 온도는 주어진 300 K를 사용하고, 기체상수는 $R = 0.082\text{L} \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$로 놓는다. 따라서 $P_{\text{abs}} = \frac{243.9 \times 0.082 \times 300}{1000} \approx 6\text{atm}$이다.

압력계 지시값: 게이지압력은 **절대압력에서 주변 대기압을 뺀 값**이다. 따라서 압력계가 나타내는 압력은 6 − 1 = 5 atm이며, ②의 값에 해당한다.

NoteBase

문 6. 다음과 같은 성질을 가진 오일 A와 오일 B를 각각 10 kg·min^{-1}, 20 kg·min^{-1}의 유량으로 혼합하여 펌프오일을 생산한다. 제조 공정에 열의 유출입이 없고, 정상상태가 유지될 때 생산 제품인 펌프오일 흐름의 온도[℃]는? (단, 생산 제품인 펌프오일의 열용량은 2.9 kJ·kg^{-1}·K^{-1}이며, 모든 흐름에서의 기준온도는 25°C로 한다)

	열용량 ($kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)	온도(℃)
오일 A	2	100
오일 B	4	115

① 120

② 125

③ 115

④ 130

정답 2번

간단한 해설

열의 유출입이 없는 정상상태에서는 **유입 엔탈피 유량의 합과 유출 엔탈피 유량이 같다**. 기준온도 25°C에 대한 유입 엔탈피 유량 8,700 kJ/min을 제품의 질량유량과 열용량에 적용하면 제품 온도는 125°C이다.

NoteBase

계산 과정

1. 수지식의 조건: 정상상태이므로 공정 내 질량과 에너지의 축적이 없다. 축일과 운동·위치에너지 변화는 무시하고, 열의 유출입이 없다는 조건을 적용하여 유입·유출 엔탈피 유량을 같게 둔다. 제품의 질량유량은 10 + 20 = 30 kg/min이다.

2. 기준 엔탈피: **모든 흐름의 기준온도는 25°C**이다. 주어진 열용량은 단위 질량당 열용량이므로, 비엔탈피는 $h = c_p(T - 25)$, 엔탈피 유량은 $\dot{H} = \dot{m}c_p(T - 25)$로 계산한다. 여기서 c_p는 단위 질량당 열용량, $\dot{m}$은 질량유량이며, T는 °C로 나타낸 온도이다. 온도차는 °C와 K의 수치가 같으므로 별도의 온도차 환산이 필요 없다.

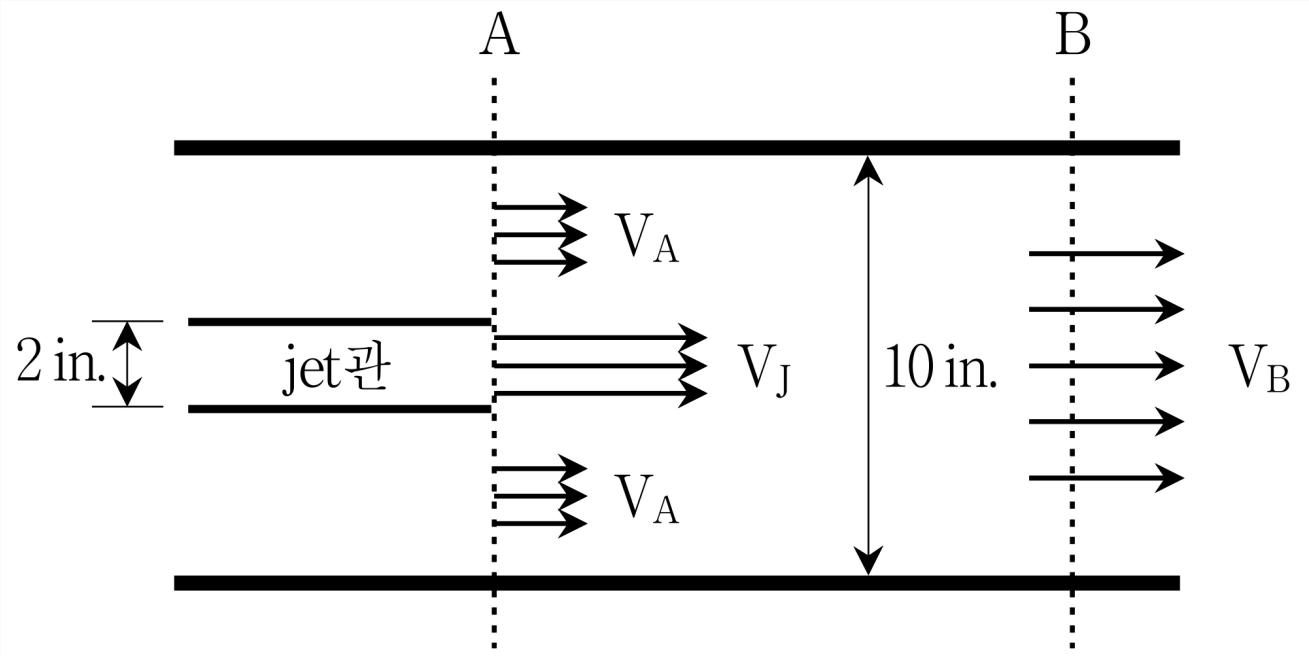
3. 오일 A의 유입 엔탈피: 표에서 열용량은 2 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, 온도는 100°C이다. 기준온도와의 차이는 75 K이므로 엔탈피 유량은 $10 \times 2 \times 75 = 1{,}500$ kJ/min이다.

4. 오일 B의 유입 엔탈피: 표에서 열용량은 4 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$, 온도는 115°C이다. 기준온도와의 차이는 90 K이므로 엔탈피 유량은 $20 \times 4 \times 90 = 7{,}200$ kJ/min이다. 따라서 총 유입 엔탈피 유량은 1,500 + 7,200 = 8,700 kJ/min이다.

5. 제품 온도: 제품에는 **문제에서 주어진 열용량 2.9 $kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$**을 적용한다. 제품의 엔탈피 유량은 $30 \cdot 2.9(T - 25) = 87(T - 25)$ kJ/min이므로 에너지수지는 $87(T - 25) = 8{,}700$이다. 이를 풀면 $T - 25 = \frac{8{,}700}{87} = 100$이다. 이 값은 제품 온도와 기준온도의 차이 100 K를 뜻하므로, 제품 온도는 25 + 100 = 125°C이며 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 7. 다음 그림과 같이 지름이 10 in.인 실린더 관 내에서 비압축성 액체가 흐르고 있다. 지름 2 in.인 작은 jet관이 고속의 액체를 배출하기 위해 관 중앙에 설치되어 있다. A지점에서의 두 평균속도(V_A와 V_J)를 사용하여 멀리 떨어진 B지점에서의 액체 평균속도(V_B)를 나타낸 식은?



① $V_B = 0.2V_J + 0.8V_A$

② $V_B = 0.02V_J + 0.98V_A$

③ $V_B = 0.04V_J + 0.64V_A$

④ $V_B = 0.04V_J + 0.96V_A$

정답 4번

간단한 해설

비압축성 액체의 정상 흐름에서는 **체적유량이 보존**되므로, B의 평균속도는 두 유입속도를 각각의 단면적 비율로 가중한 값이다. 제트 부분의 면적비는 지름비의 제곱인 0.04이고 나머지는 0.96이므로,
$V_B = 0.04V_J + 0.96V_A$이다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 A 단면의 중앙 제트는 평균속도 V_J로, 그 바깥의 환형 영역은 평균속도 V_A로 오른쪽으로 흐른다. B에서는 이 두 흐름이 차지하는 관 전체 단면의 평균속도 V_B를 구한다. 전체 단면적을 S, 제트 단면적을 S_J, 환형 영역의 단면적을 S_A라 두면 $S_A = S - S_J$이다.

원의 면적은 **지름의 제곱에 비례**하므로, 전체 지름 10 in.와 제트 지름 2 in.를 이용하면 $\frac{S_J}{S} = \left(\frac{2}{10}\right)^2 = 0.04$이다. 따라서 $\frac{S_A}{S} = 1 - 0.04 = 0.96$이다. 두 값은 각각 전체 단면에서 제트와 환형 영역이 차지하는 면적 비율이며, 같은 길이 단위를 사용하므로 단위 환산은 필요 없다.

정상상태의 흐름으로 두면 유체가 관 안에 축적되지 않는다. 비압축성 액체이므로 밀도가 일정하여 질량 보존을 **체적유량 보존**으로 나타낼 수 있다. 체적유량은 단면적과 그 단면의 평균속도의 곱이므로, 두 유입유량의 합과 B의 유출유량은 $S_J V_J + S_A V_A = S V_B$로 연결된다.

양변을 전체 단면적 S로 나누면 $V_B = \frac{S_J}{S} V_J + \frac{S_A}{S} V_A$이다. 면적비를 대입하여 $V_B = 0.04 V_J + 0.96 V_A$를 얻으며, 이는 ④의 식과 일치한다. 계수는 무차원 면적비이므로 V_B의 단위는 V_J, V_A와 같은 속도 단위이다.

NoteBase

문 8. 체를 이용한 입도분포 분석에 대한 설명이다. 옳지 않은 것은?

① 측정한 입자경(d_p)의 분포는 개수 또는 질량을 기준으로 해서 나타낸다.

② 빈도분포란 입자경이 d_p와 $d_p + \Delta d_p$ 사이의 입자 개수를 전체 입자 개수로 나눈 개수비율의 분포함수이다.

③ 적산 잔류율분포는 입자경이 d_p 이하의 입자 개수에 대한 분포이다.

④ 적산 통과율분포는 1에서 적산 잔류율분포를 뺀 값이다.

정답 3번

간단한 해설

적산 잔류율분포는 기준 입자경보다 **큰 입자**의 비율을 누적한 분포이다. ③의 '입자경이 d_p 이하'라는 설명은 **적산 통과율분포**에 해당한다.

선지별 해설

① O: 입도분포는 입자 크기별로 입자가 얼마나 포함되어 있는지를 나타낸다. **개수 기준**은 각 크기 구간의 입자 개수를 전체 입자 개수와 비교하고, **질량 기준**은 각 구간의 입자 질량을 전체 질량과 비교한다. 체 분석에서는 각 체에 남은 입자의 질량을 측정하여 질량 기준 분포를 구하는 경우가 일반적이다.

② O: 개수 기준 빈도분포는 **각 입자경 구간에 속하는 입자의 개수비율**을 나타낸다. 따라서 입자경이 d_p와 $d_p + \Delta d_p$ 사이에 있는 입자 개수를 전체 입자 개수로 나누어 해당 구간의 비율을 구한다. 특정 크기까지의 구간을 모두 합하는 적산분포와 구별된다.

③ X: 적산 잔류율분포는 기준 입자경 d_p보다 **큰 입자의 비율**을 누적한 분포이다. 체의 눈보다 커서 통과하지 못하고 남는 입자를 큰 입자 쪽부터 합한 것이다. 선지의 'd_p 이하의 입자 개수'는 적산 통과율분포를 설명하므로, '이하'를 '보다 큰'으로 고쳐야 한다.

④ O: **같은 기준 입자경과 같은 개수·질량 기준**을 사용하면, 체를 통과한 입자와 남은 입자의 비율을 합한 값은 전체 비율인 1이다. 적산 통과율을 $F(d_p)$, 적산 잔류율을 $R(d_p)$라 하면 $F(d_p) = 1 - R(d_p)$이다. 백분율로 표시할 때는 두 값의 합이 100%가 된다.

NoteBase

문 9. 건물 벽을 통한 열 손실을 방지하기 위하여 10 cm 두께의 건물 외벽에 10 cm 두께의 단열벽돌을 붙였다면 벽면 1 m^2당 열 손실[W]은? (단, 실내 온도는 25 °C, 외부 온도는 −5 °C이며, 건물 외벽과 단열벽돌의 열전도도(k)는 각각 1.0 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, 0.5 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$이다)

① 100

② 50

③ 25

④ 10

정답 1번

간단한 해설

두 벽을 차례로 통과하는 열전도에서는 **각 벽의 열저항을 더한다**. 면적 1 m^2에서 합성 열저항은 0.30 K/W이고 온도차는 30 K이므로, 열 손실은 100 W이다.

계산 과정

조건 정리: 정상상태의 1차원 열전도로 보고, 벽 이외의 열저항은 무시한다. 건물 외벽과 단열벽돌의 두께는 각각 10 cm = 0.10 m이며, 열이 통과하는 면적 A는 1 m^2이다. 열전도도는 외벽이 1.0 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, 단열벽돌이 0.5 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$이다.

열저항 계산: 두께 L, 열전도도 k인 평판의 열저항은 $R = \frac{L}{kA}$이다. 외벽의 열저항은 $R_1 = \frac{0.10}{1.0 \cdot 1} = 0.10$ K/W이고, 단열벽돌의 열저항은 $R_2 = \frac{0.10}{0.5 \cdot 1} = 0.20$ K/W이다. 정상상태에서는 두 벽을 지나는 열전달률이 같고 각 벽의 온도차가 합쳐지므로, **직렬로 놓인 열저항을 합산**한다. 합성 열저항은 $R_{tot} = 0.10 + 0.20 = 0.30$ K/W이다.

온도차 계산: 실내에서 실외로 열이 이동하며, 전체 온도차는 25 − (−5) = 30 °C이다. 온도차의 수치는 섭씨와 켈빈에서 같으므로 30 K를 적용한다.

열 손실 계산: 열전달률은 온도차를 합성 열저항으로 나눈 값이므로 $\dot{Q} = \frac{\Delta T}{R_{tot}}$이다. 따라서 $\dot{Q} = \frac{30}{0.30} = 100$ W이다. 이는 벽면 1 m^2를 통해 단위시간에 빠져나가는 열의 양으로, ①의 100 W에 해당한다.

NoteBase

문 11. 회분식 반응기에서 A로부터 B가 형성되는 반응의 속도식이 $r_A = -\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2$이다. A의 초기 농도를 2 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$로 하여 반응을 개시하였을 때 100초 후 A의 농도(C_A)[$\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$]는? (단, $k = 0.01$ $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$이며, 얻어진 C_A의 값은 소수점 셋째 자리에서 반올림한다)

① 0.85

② 0.67

③ 0.34

④ 0.17

정답 2번

간단한 해설

2차 속도식을 적분하면 $\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$이므로, **농도의 역수 증가량**으로 시간에 따른 농도 변화를 구한다. 주어진 값을 대입하면 100초 후 A의 농도는 0.67 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$이다.

계산 과정

주어진 속도식 $-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^2$은 A의 농도의 제곱에 비례하여 A가 소모되는 2차 반응을 나타낸다. 초기 농도는 $C_{A0} = 2\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, 속도상수는 $k = 0.01\ \text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$이고, 구할 값은 반응 시작 후 100초에서의 농도이다.

속도식을 농도의 역수에 관한 식으로 바꾸면 $\frac{d(1/C_A)}{dt} = k$이다. 따라서 **농도의 역수가 시간에 따라 일정한 속도로 증가**한다. 이를 초기 시각 0부터 시간 t까지 적분하면 $\frac{1}{C_A} - \frac{1}{C_{A0}} = kt$을 얻는다.

100초를 대입하면 $\frac{1}{C_A} = \frac{1}{2} + 0.01 \cdot 100 = 1.5$이다. 이때 단위는 $\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}$이며, 1.5는 농도 자체가 아니라 **100초 후 농도의 역수**이다.

역수를 취하면 $C_A = \frac{1}{1.5} = \frac{2}{3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$이다. 소수점 셋째 자리에서 반올림한 농도는 0.67 $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$이며, 이는 ②의 값에 해당한다.

NoteBase

문 12. 열의 이동기구 중 하나인 전도는 분자의 진동에너지가 인접한 분자에 전해지는 것이다. 벽면을 통해 열이 전도된다고 가정할 때, 열전달속도를 빠르게 하는 방법이 아닌 것은?

① 벽면의 면적을 증가시킨다.

② 벽면 양끝의 온도 차이를 작게 한다.

③ 열전도도가 큰 벽면을 사용한다.

④ 벽면의 두께를 감소시킨다.

정답 2번

간단한 해설

벽면 양끝의 **온도 차이가 작아지면** 열을 이동시키는 구동력이 줄어 열전달속도가 감소한다. 다른 조건이 같을 때 열전달속도를 높이려면 온도 차이를 크게 해야 한다.

공통 해설

두께가 일정한 평판 벽을 통한 1차원 정상 전도에서 열전도도가 일정하면, 단위 시간당 전달되는 열량의 크기는 푸리에 법칙 $\dot{Q} = \frac{kA\Delta T}{L}$로 나타낸다. 여기서 k는 열전도도, A는 열이 통과하는 벽면의 면적, ΔT는 벽 양쪽 표면의 온도 차이의 크기, L은 벽의 두께이다. 각 조건을 바꿀 때는 나머지 조건이 같다고 본다.

열전달속도는 **면적·열전도도·온도 차이에 비례**하고 **두께에 반비례**한다. 면적을 늘리면 열이 통과할 수 있는 면적이 커지고, 열전도도가 큰 재료를 사용하면 열이 더 잘 전달된다. 두께를 줄이면 같은 온도 차이에서 단위 거리당 온도 변화가 커져 열전달속도가 증가한다. 따라서 면적 증가, 열전도도가 큰 벽면 사용, 두께 감소는 모두 열전달속도를 높이는 방법이다.

반면 벽면 양끝의 온도 차이를 작게 하면 열전달의 구동력이 줄어 열전달속도가 감소한다. 열전달속도를 높이려면 온도 차이를 작게 하는 것이 아니라 **크게 해야 한다**.

NoteBase

문 13. 12,000 kg · h^{-1}의 일정한 유량으로 물이 빠져나가고 있는 탱크에 유량이 10,000 kg · h^{-1}인 펌프 A와 유량을 모르는 펌프 B로 3시간 동안 물을 공급하였더니 탱크 내 물의 양이 6,000 kg 증가하였다. 펌프 B가 공급한 물의 유량[kg · h^{-1}]은?

① 2,000

② 3,000

③ 4,000

④ 5,000

정답 3번

간단한 해설

탱크에 쌓이는 물의 양은 **유입량에서 유출량을 뺀 값**이다. 3시간 동안 6,000 kg이 증가했으므로 시간당 2,000 kg이 쌓여야 하며, 이를 만족하는 펌프 B의 유량은 4,000 kg · h^{-1}이다.

계산 과정

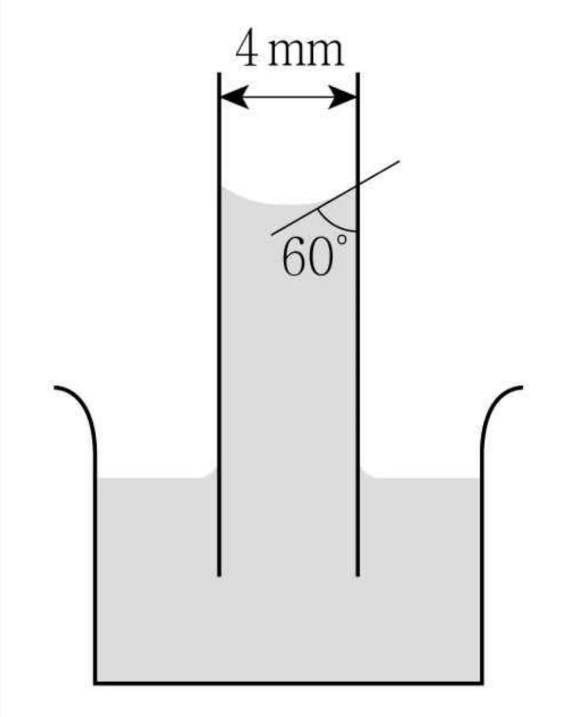
탱크를 기준으로 질량수지를 세우면, **물의 증가량 = 총유입량 − 총유출량**이다. 펌프 A와 B가 공급하는 물은 유입량에 더하고, 탱크에서 빠져나가는 물은 유출량으로 뺀다.

1. 물의 축적속도: 3시간 동안 물이 6,000 kg 증가했으므로, 시간당 증가량은 $\frac{6,000}{3} = 2,000$ kg · h^{-1}이다. 이는 두 펌프의 총유입 유량이 유출 유량보다 2,000 kg · h^{-1} 커야 한다는 뜻이다.

2. 펌프 B의 유량: B의 유량을 q kg · h^{-1}라 하면, 질량수지식은 $10,000 + q - 12,000 = 2,000$이다. 따라서 $q = 4,000$이며, 펌프 B의 유량은 4,000 kg · h^{-1}로 ③의 값에 해당한다.

NoteBase

문 14. 20°C에서 밀도가 5 g·cm^{-3}, 표면장력이 4 N·m^{-1}인 액체에 지름이 4 mm인 유리관을 그림과 같이 수직으로 세웠을 때 접촉각이 60°였다. 액위의 변화[cm]는? (단, 중력가속도 = 10 m·s^{-2}로 계산한다)



① 3

② 2

③ 10

④ 4

정답 4번

간단한 해설

접촉각이 60°이므로 표면장력의 수직 성분이 액체를 끌어올린다. 이 힘과 상승한 액주 무게의 **평형**을 적용하면 관 안의 액위는 바깥 액면보다 **4 cm 상승**한다.

NoteBase

계산 과정

조건과 단위: 그림에서 4 mm는 유리관의 지름이고, 60°는 관 벽과 액면의 접선이 액체 쪽에서 이루는 접촉각이다. 상승 높이를 h, 관 지름을 d, 밀도를 ρ, 표면장력을 σ라 하면, $d = 0.004\text{m}$, $\rho = 5\text{g}\cdot\text{cm}^{-3} = 5000\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $\sigma = 4\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$, $g = 10\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$이다.

힘의 평형: 표면장력은 관 둘레 전체에 작용하므로 위쪽 힘은 $F = \pi d\sigma\cos\theta$이다. 바깥 액면보다 높이 올라간 액주의 무게는 $W = \rho g\frac{\pi d^2}{4}h$이다. 정지 상태에서는 **표면장력의 수직 성분과 액주의 무게가 같다**. 따라서 $F = W$를 정리하면 모세관 상승 높이는 $h = \frac{4\sigma\cos\theta}{\rho g d}$가 된다.

높이 계산: $\cos 60^\circ = 0.5$를 대입하면 $h = \frac{4\cdot 4\cdot 0.5}{5000\cdot 10\cdot 0.004} = 0.04\text{m}$이다. 접촉각이 90°보다 작아 위쪽 힘이 생기므로 액위는 상승한다.

단위 환산과 선지 연결: 0.04 m = 4 cm이므로 액위의 변화는 4 cm 상승이며, ④의 4에 해당한다.

NoteBase

문 15. 점도가 μ인 유체에서 밀도 ρ_p, 직경 d인 구형의 입자가 침강할 때 최종 침강속도는? (단, 부력은 무시할 만한 수준이고 레이놀즈 수는 1보다 작으며 중력가속도는 g이다)

① $\frac{\rho_p d^2 g}{3\mu}$
② $\frac{\rho_p d^2 g}{6\mu}$
③ $\frac{\rho_p d^2 g}{9\mu}$
④ $\frac{\rho_p d^2 g}{18\mu}$

정답 4번

간단한 해설

레이놀즈 수가 1보다 작은 구형 입자에는 스토크스 항력식을 적용한다. 부력을 무시하면 최종 침강속도에서 **중력과 항력이 같아지므로** $v_t = \frac{\rho_p d^2 g}{18\mu}$이다.

계산 과정

1. 적용 조건: 최종 침강속도 v_t는 입자의 가속도가 0이 되어 일정하게 유지되는 침강속도이다. 주어진 **레이놀즈 수가 1보다 작다는 조건**에서 구형 입자의 항력에는 스토크스 법칙을 적용한다. μ는 유체의 점도, ρ_p는 입자의 밀도, d는 입자의 직경이다.

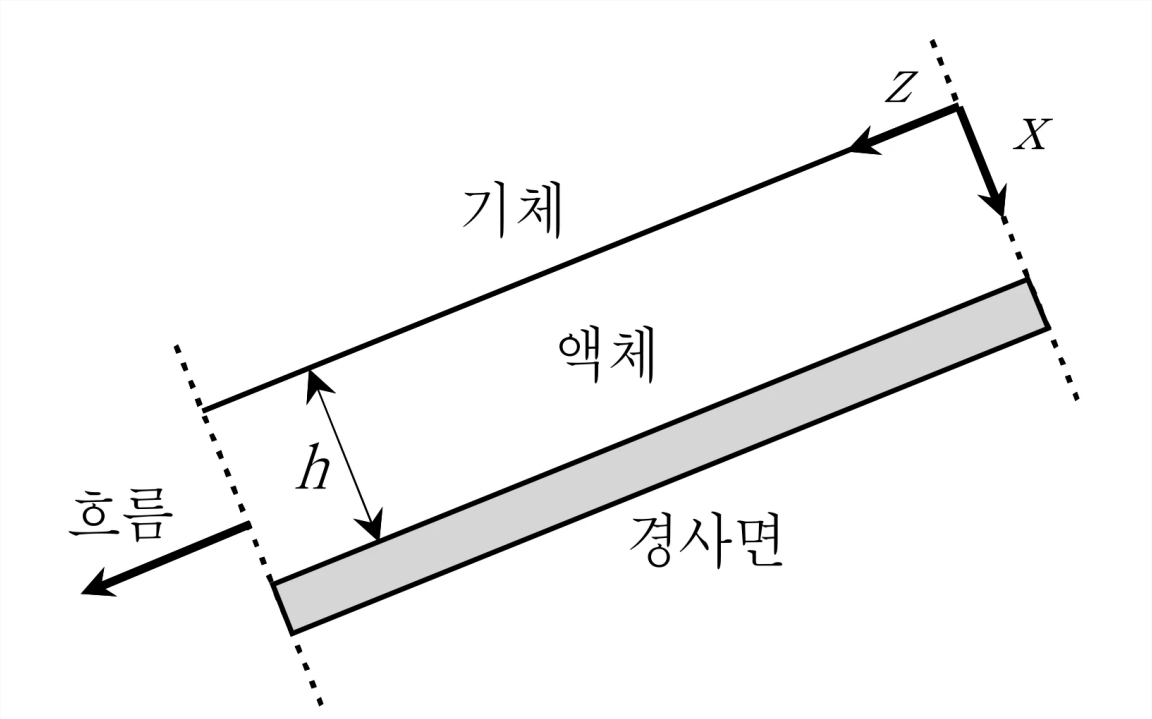
2. 입자에 작용하는 힘: 구의 부피는 $V = \frac{\pi d^3}{6}$이므로 아래쪽 중력은 $F_g = \rho_p V g = \frac{\rho_p \pi d^3 g}{6}$이다. 위쪽으로 작용하는 스토크스 항력은 $F_D = 3\pi\mu d v_t$이다. 부력은 문제의 조건에 따라 무시한다.

3. 힘의 평형과 속도 계산: 최종 침강속도에서는 **알짜힘이 0**이므로 $F_g = F_D$이다. 따라서 $\frac{\rho_p \pi d^3 g}{6} = 3\pi\mu d v_t$이고, 양변을 $3\pi\mu d$로 나누면 $v_t = \frac{\rho_p d^2 g}{18\mu}$를 얻는다. 분모의 18은 구의 부피에 있는 계수 6과 항력식에 있는 계수 3의 곱에서 나온다.

4. 결과 확인: 밀도를 kg/m^3, 직경을 m, 중력가속도를 m/s^2, 점도를 $Pa \cdot s$로 넣으면 속도의 단위는 m/s이다. 도출한 $v_t = \frac{\rho_p d^2 g}{18\mu}$는 ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 16. 그림과 같이 경사면을 따라 비압축성 뉴턴 유체(Newtonian fluid)가 일정한 두께 h의 층류(laminar flow)를 형성하고 있다. 이 흐름에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 경사면과 액체가 만나는 지점인 $x = h$에서 유체속도는 0이다)



① 기체와 만나는 경계지점($x = 0$)에서 유체속도가 최대이다.

② 경사면과 액체가 만나는 지점($x = h$)에서 전단응력이 최대이다.

③ 기체와 만나는 경계지점($x = 0$)에서 속도 구배(전단율)가 최대이다.

④ z방향 유체의 속도 분포는 x축 거리좌표에 대해 2차 함수 형태이다.

정답 3번

간단한 해설

기체가 액체에 가하는 전단을 무시하면 자유표면에서는 전단응력이 0이므로 **속도 구배도 0**이다. 속도 구배의 크기는 자유표면이 아니라 **경사면과 접하는 벽면에서 최대**이다.

NoteBase

선지별 해설

그림에서 x는 자유표면에서 벽면 쪽으로 증가하고, z는 경사면을 따라 내려가는 방향이다. 기체의 전단작용을 무시하는 통상적인 정상 액막 흐름으로 해석한다. z방향 속도를 $u(x)$, 밀도를 ρ, 점성계수를 μ, 중력가속도의 경사면 아래쪽 성분을 g_z라 한다.

① O: 벽면에서는 주어진 무미끄럼 조건에 따라 $u(h) = 0$이다. 벽면에서 멀어져 자유표면 쪽으로 갈수록 속도가 커지며, **자유표면에서 속도가 최대**가 된다. 자유표면의 속도가 최대라는 사실과 그곳의 속도 구배가 0이라는 사실은 서로 모순되지 않는다.

② O: 자유표면에서 깊이 x까지의 액체층에 작용하는 경사면 방향 중력은 그 층 아래의 전단력과 균형을 이룬다. 따라서 전단응력의 크기는 $|\tau| = \rho g_z x$로, 자유표면에서는 0이고 벽면 쪽으로 갈수록 선형으로 증가한다. 지탱해야 하는 액체층이 가장 두꺼운 **벽면에서 전단응력의 크기가 최대**이다.

③ X: 뉴턴 유체에서는 전단응력의 크기와 속도 구배의 크기가 $|\tau| = \mu\left|\frac{du}{dx}\right|$의 관계를 가진다. 자유표면에서는 전단응력이 0이므로 $\frac{du}{dx} = 0$이다. 속도 구배는 $\frac{du}{dx} = -\frac{\rho g_z}{\mu}x$이므로 그 크기는 벽면으로 갈수록 커진다. 선지의 '기체와 만나는 경계지점에서 최대'는 **'벽면에서 속도 구배의 크기가 최대'**로 고쳐야 한다.

④ O: 흐름 방향의 압력구배가 없는 이 액막에서는 중력과 점성력의 균형으로 $\frac{d^2u}{dx^2} = -\frac{\rho g_z}{\mu}$가 성립한다. 속도의 2차 미분값이 일정하므로 이를 두 번 적분하면 속도는 x의 2차 함수가 된다. 자유표면의 속도 구배가 0이고 벽면의 속도가 0인 조건을 적용하면 $u(x) = \frac{\rho g_z}{2\mu}(h^2 - x^2)$이다. 따라서 속도 분포는 **벽면에서 0, 자유표면에서 최대인 포물선 형태**이다.

NoteBase

문 17. 열교환기에서 유체의 흐름에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 유체가 흘러가는 방향은 열교환기의 성능에 영향을 준다.

② 병류(cocurrent flow) 열교환기는 열교환기 입구에서 두 유체의 온도차이가 가장 작다.

③ 향류(countercurrent flow) 열교환기에서는 저온 유체의 출구 온도가 고온 유체의 출구 온도보다 더 높을 수도 있다.

④ 향류 열교환기는 두 유체 사이의 온도 차이가 병류 교환기처럼 급격히 변하지 않는다.

정답 2번

간단한 해설

병류 열교환기는 두 유체가 같은 쪽에서 들어와 같은 방향으로 흐르므로, 두 유체의 온도 차이는 **입구에서 가장 크고 출구로 갈수록 작아진다**. 고온 유체는 냉각되고 저온 유체는 가열되어 서로의 온도에 가까워지기 때문이다.

선지별 해설

① O: 두 유체 사이의 온도 차이는 열전달의 구동력이다. 유체의 **흐름 방향에 따라 위치별 온도 차이가 달라지므로**, 같은 전열면적과 입구 조건에서도 전달되는 열량과 출구 온도가 달라질 수 있다.

② X: 병류는 두 유체가 같은 쪽에서 들어와 같은 방향으로 흐르는 방식이다. 입구에서는 아직 열교환이 이루어지기 전이므로 두 유체의 온도 차이가 **가장 크다**. 흐르는 동안 고온 유체의 온도는 낮아지고 저온 유체의 온도는 높아져 온도 차이가 감소하므로, '입구에서 가장 작다'는 '출구에서 가장 작다'로 고쳐야 한다.

③ O: 향류는 두 유체가 서로 반대 방향으로 흐르는 방식으로, **두 유체의 출구는 서로 반대쪽 끝에 있다**. 저온 유체는 고온 유체의 입구 쪽으로 이동하며 가열되므로, 그 출구 온도가 이미 냉각된 고온 유체의 출구 온도보다 높아질 수 있다. 이때도 같은 위치에서 마주하는 고온 유체의 온도는 저온 유체보다 높으므로 열은 고온 유체에서 저온 유체로 전달된다.

④ O: 향류에서는 가열된 저온 유체가 더 뜨거운 고온 유체와 마주하고, 아직 차가운 저온 유체는 냉각된 고온 유체와 마주한다. 따라서 입구의 큰 온도 차이가 출구로 갈수록 급격히 줄어드는 병류에 비해, 두 유체 사이의 온도 차이가 **길이 방향으로 비교적 고르게 유지된다**.

NoteBase

문 18. 다음 막분리(membrane separation) 공정 중 추진력(driving force)이 압력차가 아닌 공정으로만 묶은 것은?

ㄱ. 나노여과(nanofiltration) ㄴ. 정밀여과(microfiltration)
ㄷ. 투석(dialysis) ㄹ. 역삼투(reverse osmosis)
ㅁ. 정삼투(forward osmosis)

① ㄱ, ㄴ
② ㄷ, ㄹ
③ ㄷ, ㅁ
④ ㄹ, ㅁ

정답 3번

간단한 해설

투석은 막 양쪽의 **용질 농도차**에 따른 확산을, 정삼투는 **삼투압차**에 따른 용매 이동을 이용한다. 여기서 압력차는 외부에서 가하는 수압차를 뜻하므로 삼투압차와 구별한다.

보기별 해설

ㄱ. 나노여과: **압력차를 이용하는 공정**이다. 막 양쪽에 수압차를 가하여 물을 통과시키면서 막이 저지하는 용질을 분리한다.

ㄴ. 정밀여과: **압력차를 이용하는 공정**이다. 수압차에 의해 유체가 막의 기공을 통과하고, 기공을 통과하기 어려운 입자는 막에 의해 걸러진다.

ㄷ. 투석: **용질 농도차를 이용하는 공정**이다. 막을 통과할 수 있는 용질이 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 확산한다. 막을 통과하기 어려운 큰 분자 등은 남으므로 분리가 이루어진다.

ㄹ. 역삼투: **삼투압차보다 큰 수압차**를 가하는 공정이다. 농축 용액 쪽에 압력을 가하여 용매를 자연적인 삼투 방향과 반대로, 즉 농축 용액 쪽에서 묽은 용액 쪽으로 이동시킨다. 따라서 추진력의 분류상 압력차를 이용하는 공정에 속한다.

ㅁ. 정삼투: **삼투압차를 이용하는 공정**이다. 막 양쪽의 삼투압이 다르면 용매가 삼투압이 낮은 쪽에서 높은 쪽으로 이동한다. 외부 수압차로 삼투 방향을 거스르는 역삼투와 구별된다.

따라서 압력차가 아닌 추진력을 이용하는 공정은 ㄷ의 투석과 ㅁ의 정삼투이며, 이 조합은 ③에 해당한다.

NoteBase

문 19. 유체에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 전단응력이 속도구배에 비례하는 유체를 뉴턴 유체(Newtonian fluid)라고 하며, 비례상수의 단위를 $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$로 표기하기도 한다.

② 일정한 전단 응력 이하에서만 유체의 흐름이 일어나며, 전단 응력은 속도구배에 비례하는 유체를 빙햄 유체(Bingham fluid)라고 한다.

③ 속도구배가 증가함에 따라 점도가 증가하는 유체를 유사가소성 유체(pseudoplastic fluid)라고 한다.

④ 점탄성 유체(viscoelastic fluid)는 응력이 존재하면 변형하면서 흐르다가 응력이 사라지면 완전히 원래의 형태로 돌아간다.

정답 1번

간단한 해설

뉴턴 유체는 **전단응력이 속도구배에 비례**하며, 그 비례상수는 점도이다. 점도의 CGS 단위인 포아즈(P)는 $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$로 나타낸다.

선지별 해설

① O: 뉴턴 유체는 $\tau = \mu\dot{\gamma}$를 따른다. 여기서 τ는 전단응력, $\dot{\gamma}$는 속도구배인 전단속도, μ는 점도이다. 온도와 압력 등 조건이 같으면 **점도는 전단속도에 관계없이 일정**하므로 전단속도가 두 배가 되면 전단응력도 두 배가 된다. 점도의 CGS 단위는 $g \cdot cm^{-1} \cdot s^{-1}$이며, 이를 포아즈(P)라고 한다.

② X: 빙햄 유체는 전단응력이 **항복응력을 초과해야 흐른다**. 항복응력 이하에서는 흐르지 않으므로 선지의 '일정한 전단 응력 이하에서만'은 '일정한 전단응력을 초과할 때'로 고쳐야 한다. 흐르기 시작한 뒤에는 $\tau = \tau_0 + \mu_p\dot{\gamma}$를 따른다. τ_0는 항복응력, μ_p는 소성점도이므로, 전단속도에 비례하는 것은 전체 전단응력이 아니라 항복응력을 뺀 초과 전단응력이다.

③ X: 유사가소성 유체는 전단속도가 증가할수록 겉보기 점도가 **감소하는 전단박화 유체**이다. 겉보기 점도는 전단응력을 전단속도로 나눈 값이다. 반대로 전단속도가 증가할수록 겉보기 점도가 증가하는 것은 팽창성 유체(dilatant fluid)의 전단농화 특성이다.

④ X: 점탄성 유체는 점성에 의한 흐름과 탄성에 의한 변형 회복을 함께 나타낸다. 응력을 제거하면 탄성 성분에 의한 변형은 회복되지만, **점성 흐름에 의한 변형은 남는다**. 따라서 '완전히 원래의 형태로 돌아간다'가 아니라 '변형의 일부가 회복된다'로 고쳐야 한다. 완전한 변형 회복은 이상적인 순수 탄성체의 특성이다.

NoteBase

문 20. 흡수조작에서 편류(channeling) 현상을 방지하기 위한 수단에 해당하지 않는 것은?

① 불규칙하게 충전하기 위하여 주로 충전물을 쏟아 넣는 방식으로 충전한다.

② 탑 지름과 충전물 지름의 비를 최소 8:1로 한다.

③ 충전부의 적당한 위치에 액체용 재분배장치를 설치한다.

④ 충전탑의 높이를 증가시킨다.

정답 4번

간단한 해설

편류는 액체가 충전층 전체에 고르게 퍼지지 않고 일부 통로나 탑 벽면에 몰려 흐르는 현상이다. **탑 높이만 증가시키면 편류가 해소되지 않으며**, 재분배 없이 충전층을 길게 하면 액체 분포의 불균일이 오히려 커질 수 있다.

선지별 해설

편류가 발생하면 액체가 충분히 적시지 못한 충전물 표면이 생겨 기체와 액체의 유효 접촉면적이 줄고 흡수 효율이 낮아진다. 방지 수단은 액체가 충전층 전체에 고르게 분포하도록 하는지를 기준으로 판단한다.

① O: 충전물을 쏟아 넣어 무작위로 배치하는 불규칙 충전은 충전물이 일정한 방향으로 정렬되어 **연속적인 우선 유로가 형성되는 것을 줄인다**. 다만 불규칙 충전만으로 모든 편류가 없어지는 것은 아니므로 충전물 크기와 액체 분배도 함께 고려해야 한다.

② O: 탑 지름에 비해 충전물 지름이 너무 크면 벽 부근의 공극이 상대적으로 커져 액체가 벽면 쪽으로 몰리기 쉽다. **탑 지름을 충전물 지름의 최소 8배**로 하는 것은 이러한 벽면 효과를 줄이기 위한 기준이다. 충전물의 종류에 따라 실제 설계에서는 더 큰 비율이 필요할 수 있다.

③ O: 액체는 충전층을 내려가면서 벽면이나 일부 통로로 치우칠 수 있다. 적당한 위치에 설치한 재분배장치는 치우친 액체를 모은 뒤 **탑 단면 전체에 다시 고르게 분배**하여 아래쪽 충전층에서도 기체와 액체가 충분히 접촉하도록 한다.

④ X: 충전탑의 높이를 증가시키는 것만으로는 액체가 일부 경로에 몰리는 원인이 제거되지 않는다. 재분배 없이 충전층만 길게 하면 내려가는 동안 액체의 치우침이 커져 충전층 일부가 제대로 이용되지 않을 수 있다. 편류를 방지하려면 단순히 높이를 늘리는 대신 **충전층 중간에서 액체를 재분배**하는 등 흐름을 고르게 만드는 조치가 필요하다.

NoteBase