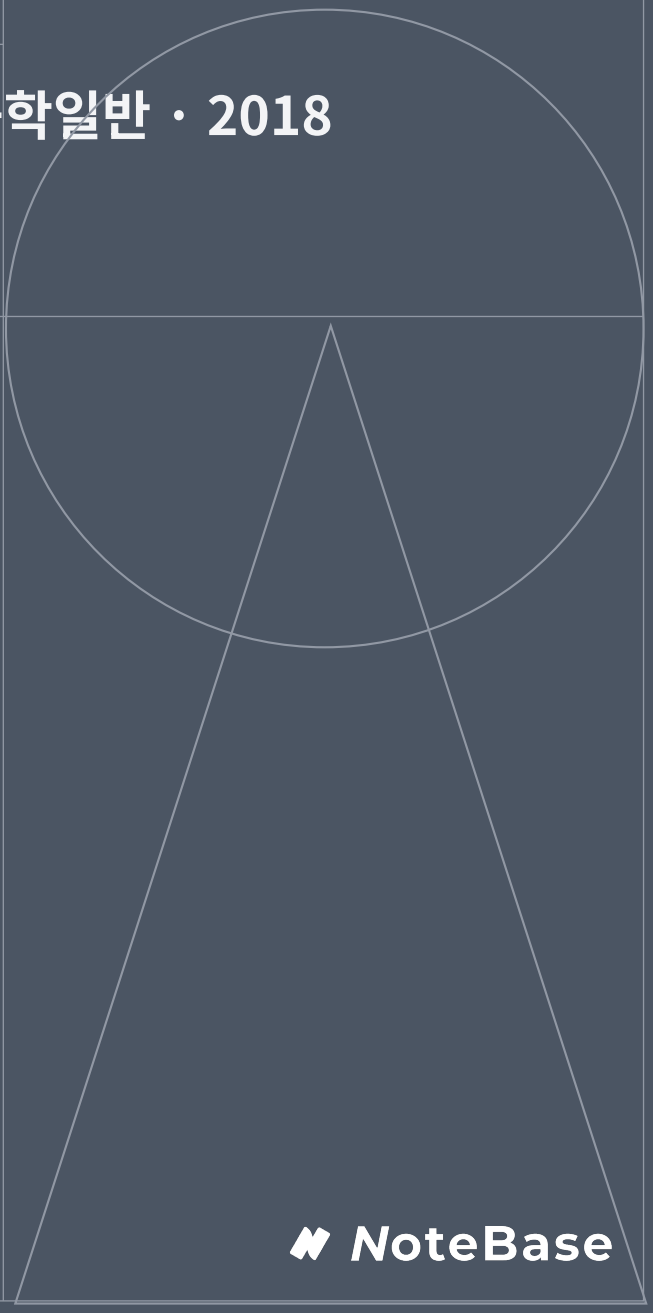
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2018



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2018

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2018

문 1. 전압이 0.9 atm이고 수증기 분압이 0.18 atm인 공기의 절대습도 [kg H_2O/kg dry air]는? (단, 수증기의 분자량은 18 g/mol이고 건조공기의 분자량은 30 g/mol로 가정한다)

① 0.12

② 0.15

③ 0.25

④ 0.42

정답 2번

간단한 해설

절대습도는 **건조공기 질량에 대한 수증기 질량의 비**이다. 건조공기의 분압은 0.9 − 0.18 = 0.72 atm이므로, 분압비에 분자량비를 곱하면 $\frac{0.18}{0.72} \cdot \frac{18}{30} = 0.15$ kg H_2O/kg dry air이다.

계산 과정

이 문항의 절대습도는 수증기 질량을 건조공기 질량으로 나눈 값이다. 따라서 분모는 **수증기를 제외한 건조공기의 질량**이다. 공기를 건조공기와 수증기의 이상기체 혼합물로 취급하여 분압에서 몰수비를 구한다.

건조공기 분압: 전체 압력은 건조공기 분압과 수증기 분압의 합이므로, 건조공기 분압은 0.9 − 0.18 = 0.72 atm이다.

몰수비: 같은 온도와 부피에서 이상기체의 몰수는 분압에 비례한다. 수증기 몰수를 n_w, 건조공기 몰수를 n_d라 하면 $\frac{n_w}{n_d} = \frac{0.18}{0.72} = 0.25$이다. 이는 건조공기 1 mol에 수증기 0.25 mol이 들어 있다는 뜻이며, 아직 질량비는 아니다.

질량비로 환산: 질량은 몰수에 분자량을 곱한 값이므로, 몰수비에 **수증기 분자량을 건조공기 분자량으로 나눈 비**를 곱한다. 주어진 분자량 18 g/mol과 30 g/mol을 적용하면 절대습도는 $0.25 \cdot \frac{18}{30} = 0.15$ kg H_2O/kg dry air이다. 질량비이므로 g/g와 kg/kg의 수치는 같으며, 계산값 0.15는 ②에 해당한다.

NoteBase

문 2. 반응 (가)와 (나)의 표준생성열(standard heat of formation)이 다음과 같을 때, 반응 (다)의 표준반응열(standard heat of reaction) [kcal/mol]은?

(가) $C(s) + O_2(g) \rightarrow CO_2(g),\ \Delta H_f^\circ = -94.1$ kcal/mol
(나) $C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g),\ \Delta H_f^\circ = -26.4$ kcal/mol
(다) $CO(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO_2(g)$

① −41.3
② −67.7
③ 41.3
④ 67.7

정답 2번

간단한 해설

헤스의 법칙에 따라 반응 (다)의 반응열은 **(가)의 반응열에서 (나)의 반응열을 뺀 값**이다. −94.1 − (−26.4) = −67.7 kcal/mol이며, 음의 부호는 열을 방출한다는 뜻이다.

계산 과정

반응열의 관계: 엔탈피는 상태함수이므로, 처음과 나중 상태가 같으면 반응 경로에 관계없이 전체 엔탈피 변화가 같다. 이를 헤스의 법칙이라 한다. 반응 (나)에 반응 (다)를 더하면 중간에 생성된 CO(g)가 소거되어 반응 (가)가 된다. 따라서 Δ H^_다=Δ H^_가-Δ H^_나이다.

반응식 조작: (가)에서 (나)를 빼는 것은 (가)에 **(나)의 역반응**을 더하는 것이다. (나)를 뒤집으면 $CO(g) \rightarrow C(s) + \frac{1}{2}O_2(g)$이며, 반응열의 부호도 바뀌어 +26.4 kcal/mol이 된다. 이를 (가)에 더하면 C(s)가 소거되고, 산소는 반응물 쪽에 1/2 mol이 남는다. 따라서 CO(g) 1 mol이 산소와 반응하여 CO_2(g) 1 mol을 만드는 반응 (다)를 얻는다.

반응열 계산: 반응식을 더할 때는 반응열도 더하므로 −94.1 + 26.4 = −67.7 kcal/mol이다. 이는 **CO(g) 1 mol이 반응할 때 67.7 kcal의 열을 방출**한다는 뜻이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 3. 휘발성의 차이를 이용하여 액체 혼합물의 각 성분을 분리하는 조작은?

① 추출

② 흡수

③ 흡착

④ 증류

정답 4번

간단한 해설

증류는 액체 혼합물의 성분 사이에 있는 **휘발성 차이**를 이용한다. 휘발성이 큰 성분이 더 풍부한 증기를 얻은 뒤 이를 냉각·응축하여 분리한다.

공통 해설

휘발성은 액체 성분이 기체로 되려는 경향을 뜻한다. 휘발성이 다른 액체 성분들이 섞여 있을 때, 혼합물에서 발생한 증기는 액체보다 휘발성이 큰 성분의 비율이 높다. 이 증기를 따로 모아 냉각·응축하면 원래 혼합물보다 그 성분이 더 풍부한 액체를 얻는다. 이처럼 **휘발성 차이에 따른 증발과 응축**을 이용하여 액체 혼합물을 분리하는 조작이 증류이다.

NoteBase

문 4. 대류에 의한 열전달에 해당하는 법칙은?

① Stefan-Boltzmann 법칙

② Fourier의 법칙

③ Fick의 법칙

④ Newton의 냉각법칙

정답 4번

간단한 해설

대류는 유체의 움직임을 동반하는 열전달이며, 표면과 유체 사이의 대류 열전달률은 **Newton의 냉각법칙**으로 나타낸다. 이 법칙에서는 열전달률이 표면과 유체의 온도 차에 비례한다.

공통 해설

대류는 유체의 움직임과 분자 수준의 에너지 전달이 함께 작용하는 열전달 방식이다. 고체 표면과 그 주위를 흐르는 유체 사이의 대류 열전달을 나타내는 관계가 **Newton의 냉각법칙**이다.

표면 온도가 유체 온도보다 높을 때 표면에서 유체로 전달되는 열전달률은 $\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty)$로 나타낸다. 여기서 $\dot{Q}$는 단위 시간당 전달되는 열량, h는 대류 열전달계수, A는 열전달 면적, T_s는 표면 온도, T_∞는 표면에서 충분히 떨어진 유체의 온도이다. h와 A가 같으면 **표면과 유체의 온도 차가 클수록** 대류 열전달률이 커진다. 따라서 대류에 해당하는 법칙을 묻는 이 문항에는 Newton의 냉각법칙이 대응한다.

NoteBase

문 5. 두께가 500 mm인 벽돌 벽에서 단위면적(1 m^2)당 80 kcal/h의 열손실이 발생하고 있다. 벽 내면의 온도가 900 °C라 할 때, 벽 외면의 온도[°F]는? (단, 이 벽돌의 열전도도는 0.1 kcal/h · m · °C이다)

① 41

② 122

③ 932

④ 9,032

정답 3번

간단한 해설

전도에 의한 벽 양면의 **온도차는 400 °C**이므로 외면 온도는 500 °C이다. 이를 **화씨로 환산**하면 932 °F이다.

계산 과정

주어진 벽을 열 발생이 없는 평판 벽의 정상 1차원 열전도로 보아 푸리에 법칙을 적용한다. 벽 두께는 $L = 500\text{mm} = 0.5\text{m}$이고, 열전도도는 $k = 0.1\ \text{kcal/(h}\cdot\text{m}\cdot\text{°C)}$이다. 단위면적당 열손실은 **열유속**이므로 $q'' = 80\text{kcal/(h}\cdot\text{m}^2\text{)}$로 둔다.

벽 내면과 외면의 온도를 각각 T_i, T_o라 하면 $q'' = k\frac{T_i - T_o}{L}$이다. 따라서 벽 양면의 온도차는 $T_i - T_o = \frac{q''L}{k}$이고, 수치를 대입하면 $T_i - T_o = \frac{80 \times 0.5}{0.1} = 400^\circ\text{C}$이다. 이 400 °C는 외면 온도가 아니라 **벽을 통과하면서 낮아지는 온도**이다.

열이 내면에서 외면으로 빠져나가므로 외면 온도는 내면 온도보다 낮다. 따라서 $T_o = 900 - 400 = 500^\circ\text{C}$이다.

섭씨 온도의 수치를 C, 화씨 온도의 수치를 F라 하면 환산식은 $F = \frac{9}{5}C + 32$이다. **외면 온도 500 °C를 환산**하면 $F = \frac{9}{5} \times 500 + 32 = 932$이므로, 벽 외면의 온도는 932 °F로 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 6. 우리나라에서 8월에 측정된 복사체의 표면온도는 A °C였으며, 같은 해 12월에 측정된 복사체의 표면온도는 B °C였다. 동일한 복사체 표면에서 8월에 방출된 단위시간당 복사에너지는 12월의 몇 배인가? (단, 복사체의 복사율은 일정하다고 가정한다)

① $\frac{A^2}{B^2}$
② $\frac{A^4}{B^4}$
③ $\frac{(A+273.15)^2}{(B+273.15)^2}$
④ $\frac{(A+273.15)^4}{(B+273.15)^4}$

정답 4번

간단한 해설

복사율과 표면적이 같으면 단위시간당 방출 복사에너지는 **절대온도의 네제곱**에 비례한다. 섭씨온도를 K로 바꾸어 비교하면 8월의 방출량은 12월의 $\frac{(A+273.15)^4}{(B+273.15)^4}$배이다.

계산 과정

온도 변환: 스테판·볼츠만 법칙에는 **섭씨온도가 아니라 절대온도**를 사용한다. 8월과 12월의 절대온도를 각각 T_8, T_{12}라 하면 $T_8 = (A + 273.15)\text{K}$, $T_{12} = (B + 273.15)\text{K}$이다.

방출량 관계: 단위시간당 방출되는 복사에너지를 P라 하면 스테판·볼츠만 법칙은 $P = \varepsilon\sigma S T^4$이다. 여기서 ε은 복사율, σ는 스테판·볼츠만 상수, S는 표면적이다. 문제는 주변에서 흡수하는 에너지를 뺀 순복사량이 아니라 **복사체 자체가 방출하는 에너지**를 묻는다.

비율 계산: 동일한 표면이므로 표면적이 같고, 복사율도 일정하므로 두 시기의 비에서 $\varepsilon\sigma S$가 약분된다. 따라서 $\frac{P_8}{P_{12}} = \left(\frac{T_8}{T_{12}}\right)^4$이다. 이 비는 12월 방출량을 기준으로 한 8월 방출량의 배수이며, 같은 단위끼리 나누므로 단위가 없다.

온도를 대입하면 $\frac{P_8}{P_{12}} = \frac{(A+273.15)^4}{(B+273.15)^4}$이다. 이 식은 ④와 일치한다.

NoteBase

문 7. 정류탑(rectification tower)이나 충전탑(packed column)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 정류탑을 실제 운전할 때 공장은 조업 유연성을 확보하기 위하여 최적환류비보다 더 큰 환류비로 조업하기도 한다.

② 정류탑에서 원료가 공급되는 단을 원료 공급단이라 하며, 저비점 성분은 윗단으로 올라갈수록 적어지고 아랫단으로 내려갈수록 많아진다.

③ 충전탑에서 액체가 한쪽으로만 흐르는 현상을 편류(channeling)라고 하며, 충전탑의 기능을 저하시키는 요인이 된다.

④ 충전탑은 라시히 링(Raschig ring)과 같은 충전물을 채운 것으로서 이 충전물의 표면에서 기체와 액체의 접촉이 연속적으로 일어나도록 되어 있다.

정답 2번

간단한 해설

②는 저비점 성분의 농도 변화 방향을 반대로 설명했다. 저비점 성분은 고비점 성분보다 쉽게 기화하므로 정류탑의 **윗단으로 갈수록 농도가 높아지고**, 아랫단으로 갈수록 낮아진다.

선지별 해설

① O: 환류비는 탑 위에서 얻은 유출액에 대한 탑으로 되돌리는 액체의 유량비이다. 최적환류비는 설비비와 운전비를 함께 고려한 총비용이 최소가 되는 환류비이다. 실제 운전에서는 원료 조성이나 운전 조건의 변화에 대응할 여유를 두기 위해 **최적환류비보다 큰 환류비**를 사용하기도 한다. 이때 에너지 소비가 늘 수 있으나 조업 유연성을 확보할 수 있다.

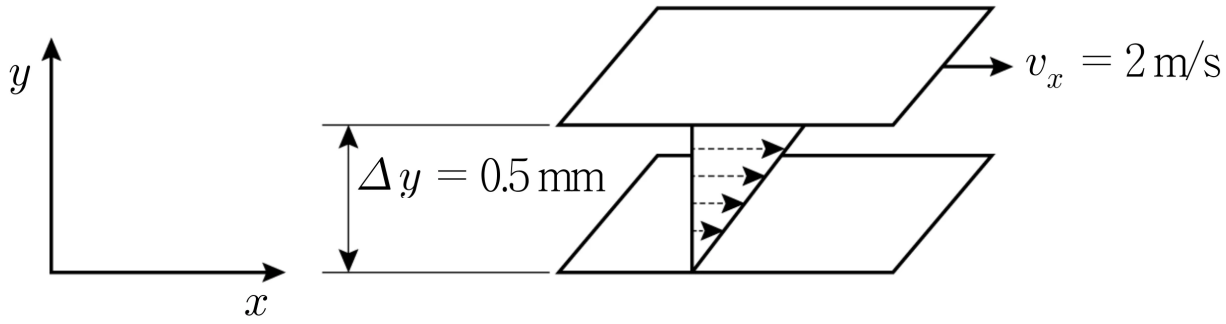
② X: 원료가 들어가는 단을 원료 공급단이라고 한 부분은 맞지만, 저비점 성분의 농도 변화 방향이 반대이다. 저비점 성분은 상대적으로 기화하기 쉬워 증기에 농축되고, 고비점 성분은 액체에 상대적으로 많이 남는다. 상승하는 증기와 하강하는 액체가 반복해서 접촉하므로 저비점 성분의 농도는 **윗단으로 갈수록 높아지고 아랫단으로 갈수록 낮아진다**.

③ O: 편류는 액체가 충전층 전체에 고르게 분포하지 않고 특정 통로에 치우쳐 흐르는 현상이다. 이때 충전물 표면 중 충분히 젖지 않는 부분이 생겨 **기체와 액체의 유효 접촉면적이 감소**하므로 물질전달과 분리 성능이 저하된다.

④ O: 충전탑은 라시히 링과 같은 충전물을 넣어 기체와 액체가 접촉할 넓은 표면을 제공한다. 액체가 충전물 표면을 따라 막을 이루어 흐르고 기체가 그 액막과 접촉하면서 물질전달이 일어난다. 단마다 접촉하는 단탑과 달리 충전층에서는 **기체와 액체가 연속적으로 접촉**한다.

NoteBase

문 8. 0.5 mm의 간격으로 놓여 있는 두 개의 평행한 판 사이에 점도가 1.0×10^{-3} N·s/m^{2}인 뉴턴 유체(Newtonian fluid)가 채워져 있다. 위쪽 판을 2 m/s의 속도로 이동시킬 때, 전단응력[N/m^2]은?



① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 2번

간단한 해설

뉴턴 유체의 전단응력은 **점도와 속도 기울기의 곱**이다. 두 판 사이의 속도 차 2 m/s를 판 간격 0.0005 m로 나누어 속도 기울기를 구하면, 전단응력은 4 N/m^{2}이다.

계산 과정

뉴턴 유체에서 전단응력의 크기는 $\tau = \mu \frac{dv_x}{dy}$이다. 여기서 μ는 점도, v_x는 판에 평행한 유속, y는 판에 수직인 좌표이다. 그림의 속도분포는 아래쪽 판에서 위쪽 판까지 **직선적으로 증가**하므로 속도 기울기는 두 판 사이의 속도 차를 판 간격으로 나누어 구한다.

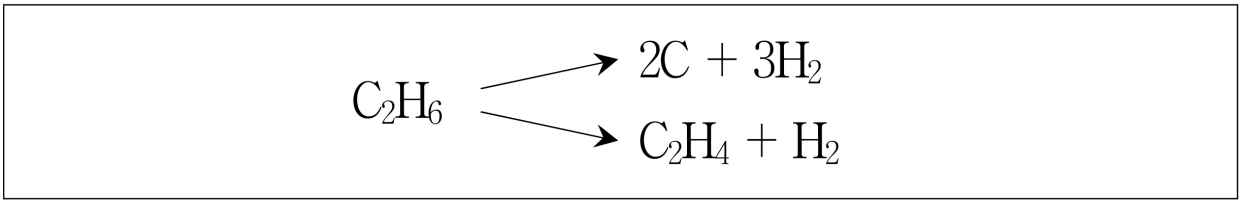
벽면에서 유체가 판과 같은 속도로 움직이는 점착 조건을 적용하면, 고정된 아래쪽 판에서 유속은 0이고 위쪽 판에서 유속은 2 m/s이다. 따라서 속도 차는 2 m/s이다. 판 간격은 **미터로 환산**하여 $h = 0.5 \times 10^{-3}$ m, 즉 0.0005 m로 놓는다.

속도 기울기는 $\frac{dv_x}{dy} = \frac{2-0}{0.0005} = 4000\ \mathrm{s^{-1}}$이다. 이는 판에 수직인 방향의 단위 거리당 유속 변화량이며, 판 간격이 매우 좁아 두 판의 속도 차가 큰 기울기로 나타난다.

점도 $\mu = 1.0 \times 10^{-3}$ N·s/m^{2}를 곱하면 $\tau = (1.0 \times 10^{-3}) \cdot 4000 = 4$ N/m^{2}이다. 점도의 시간 단위 s와 속도 기울기의 단위 s^{-1}이 상쇄되어 전단응력의 단위는 N/m^{2}가 된다. 계산값 4 N/m^{2}는 ②에 해당한다.

NoteBase

문 9. 다음은 에테인(C_2H_6)으로부터 탄소(C)를 생산할 때 일어나는 반응이다. 수소(H_2) 3 mol과 에틸렌(C_2H_4) 1 mol이 생성되었을 경우, 생산된 탄소의 질량[g]은? (단, C의 원자량은 12 g/mol이다)



① 12

② 16

③ 20

④ 24

정답 2번

간단한 해설

에틸렌 1 mol이 생성될 때 수소도 1 mol 생성되므로, 전체 수소에서 **에틸렌 생성 반응에서 나온 수소를 빼야 한다**. 남은 수소 2 mol에 탄소와 수소의 몰비 2 : 3을 적용하면 탄소의 질량은 16 g이다.

계산 과정

에틸렌 생성 반응: 그림의 아래쪽 반응은 $C_2H_6 \rightarrow C_2H_4 + H_2$이다. 반응식의 계수는 반응하거나 생성되는 물질의 몰수 비를 나타내므로, 에틸렌 1 mol이 생성되면 **수소도 1 mol 생성**된다.

탄소 생성 반응의 수소량: 그림의 두 반응 모두 수소를 생성한다. 따라서 전체 수소 3 mol 중 에틸렌 생성 반응에서 나온 1 mol을 제외한 3 − 1 = 2 mol이 탄소 생성 반응에서 나온 수소이다.

탄소의 몰수: 그림의 위쪽 반응은 $C_2H_6 \rightarrow 2C + 3H_2$이다. 이 반응에서 **탄소와 수소의 몰비는 2 : 3**이므로, 수소 2 mol과 함께 생성된 탄소는 $2 \times \frac{2}{3} = \frac{4}{3}$mol이다.

탄소의 질량: 탄소의 몰수에 주어진 몰질량 12 g/mol을 곱한다. 따라서 $m = \frac{4}{3}\text{mol} \times 12\text{g/mol} = 16\text{g}$이며, 이는 ②의 16 g에 해당한다.

NoteBase

문 10. 이중관식 열교환기(double pipe heat exchanger)에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 병류(parallel flow)의 경우, 두 관 액체 사이의 온도 차이가 입구에서는 작지만 출구로 갈수록 커진다.

② 열교환기를 설계하기 위해 두 관 액체 사이의 평균 온도 차이를 구하는 경우, 입구에서의 온도 차이와 출구에서의 온도 차이의 산술평균을 주로 사용한다.

③ 관의 길이가 길수록 전체 열 교환량은 감소한다.

④ 관을 통한 열 교환은 대류-전도-대류의 방식으로 이루어진다.

정답 4번

간단한 해설

고온 액체의 열은 액체와 관 벽 사이의 대류, 관 벽 내부의 전도, 관 벽과 저온 액체 사이의 대류를 거쳐 전달된다. 두 액체를 분리하는 관 벽을 기준으로 보면 **대류 → 전도 → 대류**의 경로이다.

선지별 해설

① X: 병류는 두 액체가 같은 방향으로 흐르는 방식이다. 고온 액체는 열을 잃어 온도가 내려가고 저온 액체는 열을 받아 온도가 올라가므로, 두 액체의 온도 차이는 **입구에서 가장 크고 출구로 갈수록 작아진다**. 선지는 이 변화를 반대로 설명했다.

② X: 열교환기 설계에는 일반적으로 **대수평균 온도 차이**를 사용한다. 열전달의 구동력인 두 액체의 온도 차이가 관의 위치에 따라 변하므로, 양 끝의 온도 차이를 단순히 더해 2로 나눈 산술평균으로 처리하지 않는다. 총괄열전달계수와 두 액체의 비열을 일정하게 보는 통상적인 해석에서 이 변화를 반영한 평균이 대수평균 온도 차이이다.

③ X: 관 지름, 유입 온도, 유량 등 다른 조건이 같다면 관이 길어질수록 **열전달 면적이 증가하여 전체 열교환량은 증가한다**. 병류에서 출구 쪽으로 갈수록 온도 차이가 작아져 단위 길이당 전달되는 열은 줄어들 수 있지만, 이를 관 전체에서 전달된 열이 감소하는 것으로 해석해서는 안 된다.

④ O: 이중관식 열교환기에서는 두 액체가 관 벽으로 분리되어 서로 섞이지 않고 열을 주고받는다. 열은 고온 액체에서 관 벽으로 대류에 의해 전달되고, 고체인 관 벽 내부를 전도로 통과한 뒤, 관 벽에서 저온 액체로 대류에 의해 전달된다. 따라서 열전달 경로는 **대류 → 전도 → 대류**이다.

NoteBase

문 11. A + B → C로 주어진 반응의 반응속도[mol/L · s]식이 다음과 같을 때, 속도상수(k)의 단위는?

$-r_A = k[A]^2[B]$

① 1/s
② 1/mol · s
③ L/mol · s
④ $L^2/mol^2 \cdot s$

정답 4번

간단한 해설

농도항 $[A]^2[B]$는 농도의 세제곱 단위를 갖는다. 속도상수의 단위는 **반응속도 단위를 농도항의 단위로 나누어** 구하며, $L^2/(mol^2 \cdot s)$이다.

계산 과정

농도항의 단위: $[A]$와 $[B]$는 각각 A와 B의 몰농도이며 단위는 mol/L이다. 주어진 속도식 $-r_A = k[A]^2[B]$에서 농도의 지수 합은 2 + 1 = 3이므로 **전체 반응차수는 3차**이다. 따라서 농도항 $[A]^2[B]$의 단위는 $(mol/L)^3$이다. 반응차수는 반응식의 계수가 아니라 주어진 속도식의 지수로 판단한다.

속도상수의 단위: 속도식을 $k = \frac{-r_A}{[A]^2[B]}$로 정리한다. 양변의 단위가 같아야 하므로 **반응속도 단위를 농도항의 단위로 나눈다**. 주어진 반응속도의 단위는 $mol/(L \cdot s)$이므로, k의 단위는 $\frac{mol/(L \cdot s)}{(mol/L)^3} = \frac{L^2}{mol^2 \cdot s}$이다. 이는 ④의 단위와 일치한다.

NoteBase

문 12. 정류탑을 구성하는 요소장치가 아닌 것은?

① 재비기(reboiler)

② 응축기(condensor)

③ 단(stage)

④ 임펠러(impeller)

정답 4번

간단한 해설

임펠러는 회전하여 유체를 섞거나 흐르게 하는 **회전 날개**이다. 증기와 액체의 접촉을 반복하여 성분을 분리하는 정류탑의 기본 구성요소에는 해당하지 않는다.

공통 해설

정류탑은 **성분 사이의 휘발도 차이**를 이용하여 증기와 액체를 반복적으로 접촉시키는 분리장치이다. 하부의 재비기는 액체 일부를 기화시켜 탑 안으로 올라가는 증기를 공급하고, 상부의 응축기는 올라온 증기를 액체로 만든다. 이 응축액 일부를 탑으로 되돌리는 것을 환류라 하며, 환류액은 아래로 흐르면서 상승하는 증기와 접촉한다. 단은 이러한 기액 접촉과 물질전달이 이루어지는 구획으로, 접촉을 거듭하면서 증기에는 상대적으로 휘발성이 큰 성분이, 액체에는 휘발성이 작은 성분이 농축된다. 재비기·응축기·단은 이 분리 과정을 이루는 구성요소이다.

임펠러는 교반기나 펌프 등에서 회전하여 유체에 운동을 전달하는 날개이다. 이는 **기화·응축과 반복적인 기액 접촉을 이루는 정류탑의 기본 구성요소가 아니다**.

NoteBase

문 13. 내경 15 cm인 원형 도관을 흐르는 유체의 레이놀즈 수(Re)가 3,000일 때, 유체의 평균유속[m/s]은? (단, 유체의 밀도는 1,000 kg/m^{3}이며, 유체의 점도는 1 cP이다)

① 0.02

② 0.2

③ 2

④ 20

정답 1번

간단한 해설

레이놀즈 수의 관계식 $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$에서 평균유속을 구한다. 내경 15 cm와 점도 1 cP를 각각 0.15 m와 0.001 Pa·s로 환산하여 대입하면 평균유속은 **0.02 m/s**이다.

계산 과정

단위 환산: 도관의 내경 D는 15 cm = 0.15 m이고, 유체의 밀도 ρ는 1,000 kg/m^{3}이다. 주어진 점도 μ는 **점성계수인 점도**이며, 1 cP = 0.001 Pa·s = 0.001 kg/(m·s)로 환산한다.

관계식: 원형 도관의 레이놀즈 수는 $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$이다. 여기서 u는 단면 평균유속이고, 길이 기준 D에는 **도관의 내경**을 사용한다. 이 식은 유동에서 관성 효과와 점성 효과의 상대적 크기를 나타내므로, 주어진 레이놀즈 수와 유체 물성 및 내경으로 평균유속을 구할 수 있다.

평균유속 계산: 관계식을 정리하면 $u = \frac{Re\mu}{\rho D}$이다. SI 단위로 환산한 값을 대입하면 $u = \frac{3{,}000 \cdot 0.001}{1{,}000 \cdot 0.15} = \frac{3}{150} = 0.02\,\text{m/s}$이다. 분자의 단위는 kg/(m·s), 분모의 단위는 kg/m^{2}이므로 결과의 단위는 m/s이다.

평균유속 0.02 m/s는 ①의 값에 해당한다.

NoteBase

문 14. 100 ℃의 금속 조각 0.5 kg을 물 1 kg이 들어 있는 비커에 넣었더니 물 온도가 18 ℃에서 20 ℃로 증가하였다. 금속 조각의 열용량[J/g · ℃]은? (단, 비커는 완전히 단열되어 있고, 물과 금속 조각의 체적 변화는 없으며, 물의 열용량은 4 J/g · ℃이다)

① 0.2

② 0.4

③ 0.6

④ 0.8

정답 1번

간단한 해설

단열 조건에서는 **금속이 잃은 열량과 물이 얻은 열량이 같다**. 물이 얻은 8000 J을 금속의 질량 500 g과 온도 하강 폭 80 ℃로 나누면, 금속의 단위 질량당 열용량은 0.2 J/(g·℃)이다.

계산 과정

열수지 설정: 문제에서 주어진 J/(g·℃)는 단위 질량당 열용량, 즉 비열의 단위이다. 질량 m인 물질의 비열을 c, 온도 변화의 크기를 ΔT라 하면, 상변화 없이 온도가 변할 때 주고받는 열량의 크기는 $Q = mc\Delta T$이다. 비커가 단열되어 외부로 열이 나가지 않고 체적 변화에 따른 일도 없으므로, 금속이 잃은 열량을 물이 얻은 열량과 같게 둔다.

물이 얻은 열량: 물의 질량은 1 kg = 1000 g이고, 온도 상승 폭은 20 − 18 = 2 ℃이다. 따라서 물이 얻은 열량은 $Q = 1000 \cdot 4 \cdot 2 = 8000$ J이다. 이 값이 금속에서 물로 전달된 열량이다.

금속의 온도 변화: 열평형에 도달하면 금속도 물과 같은 20 ℃가 된다. 따라서 금속의 온도 하강 폭은 **100 − 20 = 80 ℃**이다. 물의 온도 상승 폭 2 ℃와 금속의 온도 하강 폭 80 ℃를 구별해야 한다.

금속의 비열 계산: 금속의 질량은 0.5 kg = 500 g이다. 금속이 잃은 열량 8000 J을 질량과 온도 하강 폭의 곱으로 나누면 $c = \frac{8000}{500 \cdot 80} = 0.2$ J/(g·℃)이다. 이는 금속 1 g의 온도를 1 ℃ 변화시키는 데 필요한 열량이 0.2 J이라는 뜻이며, ①의 0.2와 일치한다.

NoteBase

문 15. 4 °C의 물이 10 mol/s의 몰유속(molar flow rate)으로 단면적이 10 cm^2인 관을 흐르고 있다. 이 흐름이 플러그 흐름(plug flow)일 때, 관 중심에서의 유속[cm/s]은? (단, 물의 분자량은 18 g/mol이다)

① 18

② 36

③ 72

④ 144

정답 1번

간단한 해설

플러그 흐름에서는 **관 중심 유속과 단면 평균 유속이 같다**. 4 ℃ 물의 밀도를 약 1 g/cm^3로 적용하면 체적유량은 180 cm^3/s이고, 이를 단면적 10 cm^2로 나눈 유속은 18 cm/s이다.

계산 과정

질량유량: 몰유량 $\dot{n}$에 분자량 M을 곱하면 단위 시간에 흐르는 물의 질량을 얻는다. $\dot{m} = \dot{n}M$이므로 질량유량은 10 mol/s × 18 g/mol = 180 g/s이다.

체적유량: 4 ℃ 물의 밀도 ρ는 약 1 g/cm^3이다. 질량유량을 밀도로 나누면 **단위 시간에 관을 통과하는 부피**인 체적유량 Q가 된다. $Q = \frac{\dot{m}}{\rho} = \frac{180}{1} = 180 cm^3/s$이다.

단면 평균 유속: 체적유량은 단면적 A와 평균 유속 $\bar{u}$의 곱이므로 $Q = A\bar{u}$이다. 주어진 단면적 10 cm^2를 적용하면 $\bar{u} = \frac{Q}{A} = \frac{180}{10} = 18 cm/s$이다.

관 중심 유속: 플러그 흐름은 **단면 내 위치에 따른 유속 차이가 없는** 이상화된 흐름이다. 따라서 관 중심 유속도 평균 유속과 같은 18 cm/s이며, 이는 ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 16. 분체의 체 분리(screening)에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 입자 크기와 입자 밀도를 이용하여 입자를 분리하는 방법이다.

② Tyler 표준체의 어느 한 체의 개방공(screen opening) 면적은 그 다음 작은 체의 개방공 면적의 4배이다.

③ 메쉬(mesh) 숫자가 클수록 작은 입자를 분리할 수 있다.

④ 150 메쉬보다 미세한 체일수록 공업적으로 더 많이 사용된다.

정답 3번

간단한 해설

메쉬는 체의 길이 1인치당 개방공 수를 나타낸다. 표준체에서는 **메쉬 숫자가 클수록 개방공이 작아져** 더 작은 입자를 분리할 수 있다.

선지별 해설

① X: 체 분리는 입자가 체의 개방공을 통과하는지에 따라 **입자 크기를 기준으로 분리**하는 방법이다. 입자 밀도의 차이를 분리 기준으로 삼는 방법은 아니다. 밀도는 체의 처리량 등에 영향을 줄 수 있지만, 체 분리의 기본 원리와는 구별해야 한다.

② X: Tyler 표준체의 기본 계열에서 인접한 체의 개방공 한 변 길이의 비는 $\sqrt{2}$이다. 따라서 정사각형 개방공의 면적비는 $(\sqrt{2})^2 = 2$이므로, 어느 한 체의 개방공 면적은 그다음 작은 체의 개방공 면적의 **4배가 아니라 2배**이다.

③ O: 메쉬는 길이 1인치당 개방공 수이다. 표준체에서 메쉬 숫자가 커지면 같은 길이에 더 많은 개방공이 놓이므로 각 개방공은 작아진다. 따라서 **더 작은 입자를 기준으로 체 분리**할 수 있다. 실제 개방공 크기는 철선의 굵기도 고려해야 하므로, 단순히 1인치를 메쉬 숫자로 나눈 길이와 같지는 않다.

④ X: 일반적인 공업용 체 분리에서는 **체가 미세할수록 더 많이 사용되는 것은 아니다**. 150 메쉬보다 미세한 체는 미분의 부착이나 체눈 막힘 등으로 처리량이 줄고 운전이 어려워질 수 있어 사용에 제약이 있다. 미세한 입자의 체 분리가 불가능하다는 뜻은 아니며, 재료의 특성과 필요한 분리 크기, 막힘 방지 설비 등을 고려해 체를 선택한다.

NoteBase

문 17. 다음은 원형 도관에 유체가 흐를 때 마찰에 의한 압력손실을 나타내는 식이다. ΔP는 압력손실, f는 마찰계수, ρ는 유체의 밀도, u는 평균유속, L_p는 도관의 길이, D는 도관의 직경일 때, f의 차원은? (단, M은 질량, L은 길이, T는 시간을 나타낸다)

$$\Delta P = \frac{2f\rho u^2 L_p}{D}$$

① 무차원

② ML^{-1}

③ MT^{-3}

④ $ML^{-1}T^{-1}$

정답 1번

간단한 해설

ρu^2는 압력과 같은 차원을 가지며, 도관 길이와 직경의 비도 무차원이다. 따라서 식의 양변이 같은 차원을 가지려면 마찰계수 f는 **무차원**이어야 한다.

계산 과정

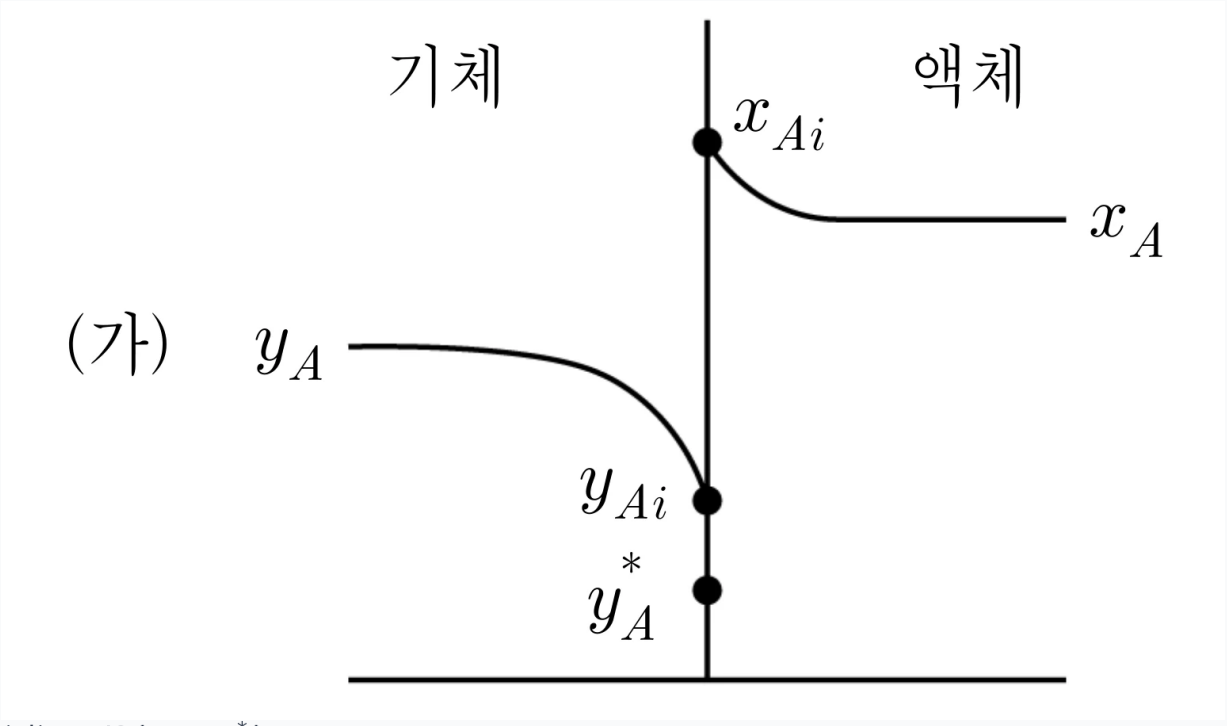
압력손실의 차원: 압력은 단위 면적당 힘이다. 힘의 차원은 MLT^{-2}, 면적의 차원은 L^2이므로 $[\Delta P] = \frac{MLT^{-2}}{L^2} = ML^{-1}T^{-2}$이다. 여기서 대괄호는 해당 물리량의 차원을 뜻한다.

우변의 차원: 밀도는 단위 부피당 질량이므로 $[\rho] = ML^{-3}$이고, 유속의 제곱은 $[u^2] = L^2T^{-2}$이다. 따라서 $[\rho u^2] = (ML^{-3})(L^2T^{-2}) = ML^{-1}T^{-2}$로 압력과 같은 차원을 가진다. 수치 2는 무차원이며, L_p와 D는 모두 길이이므로 **길이의 비**인 L_p/D도 무차원이다.

마찰계수의 차원: 주어진 식에서 f를 제외한 우변의 차원이 이미 압력손실의 차원과 같다. **등식의 양변은 차원이 같아야 하므로** $[f] = \frac{ML^{-1}T^{-2}}{ML^{-1}T^{-2}} = 1$이다. 즉, 질량·길이·시간의 차원이 모두 소거된 무차원이며 ①에 해당한다.

NoteBase

문 18. 흡수탑을 사용하여 성분(A)을 흡수할 때 기액 계면 근처에서의 농도구배는 그림 (가)와 같다. 이 그림에서 x_A와 y_A는 각각 벌크 액체와 벌크 기체의 몰분율이고, x_{Ai}와 y_{Ai}는 각각 기액 계면에서 액체와 기체의 몰분율이다. A의 물질전달속도(r)는 총괄 물질전달계수(K_y, overall mass transfer coefficient)를 사용하여 식 (나)와 같이 나타낼 수 있다. 개별 물질전달계수(individual mass transfer coefficient)는 액상에서 0.2 mol/m^2·s이고 기상에서 0.1 mol/m^2·s라고 할 때, 총괄 물질전달저항($\frac{1}{K_y}$)의 값[m^2·s/mol]은? (단, 기체흡수는 이중경막론을 따르고, $y_{Ai} = 0.8x_{Ai}$이며, $y_A^* = 0.8x_A$이다)



(나) $r = K_y(y_A - y_A^*)$

① 14

② 18

③ 24

④ 30

정답 1번

간단한 해설

기상 몰분율을 기준으로 총괄저항을 구하므로, 액상저항에 **평형관계의 기울기 0.8을 곱해** 기상저항과 더한다. 따라서 $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{0.1} + \frac{0.8}{0.2}$이며, 총괄 물질전달저항은 14 m^2·s/mol이다.

NoteBase

계산 과정

1. 경막별 물질전달식: 액상과 기상의 개별 물질전달계수를 각각 k_x, k_y라 두면, 주어진 값은 각각 0.2 $\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$와 0.1 $\text{mol/m}^2\cdot\text{s}$이다. 그림 (가)에서 기상 몰분율은 벌크에서 계면으로 갈수록 낮아지고, 액상 몰분율은 계면에서 벌크로 갈수록 낮아진다. 이중경막론에서 두 경막을 통과하는 A의 물질전달속도는 같으므로, 기상에서는 $r = k_y(y_A - y_{Ai})$, 액상에서는 $r = k_x(x_{Ai} - x_A)$로 쓴다.

2. 구동력의 기준 통일: y_A^*는 벌크 액체의 몰분율 x_A와 평형을 이루는 기체의 몰분율이다. 주어진 평형관계에서 $y_{Ai} - y_A^* = 0.8(x_{Ai} - x_A)$이다. 따라서 총괄 기상 구동력 $y_A - y_A^*$는 기상 경막의 몰분율 차에, 액상 경막의 몰분율 차를 **기상 기준으로 환산한 값**을 더한 것이다.

3. 총괄저항식: 두 경막의 몰분율 차를 각각 물질전달속도와 개별계수로 나타내면 $y_A - y_A^* = \frac{r}{k_y} + \frac{0.8r}{k_x}$가 된다. 이를 식 (나)의 $r = K_y(y_A - y_A^*)$와 비교하면 $\frac{1}{K_y} = \frac{1}{k_y} + \frac{0.8}{k_x}$이다. 즉, **같은 기상 기준으로 나타낸 두 경막의 저항**을 합한다.

4. 수치 대입: 기상저항은 $\frac{1}{0.1} = 10\ \text{m}^2\cdot\text{s/mol}$이고, 기상 기준으로 환산한 액상저항은 $\frac{0.8}{0.2} = 4\ \text{m}^2\cdot\text{s/mol}$이다. 따라서 총괄 물질전달저항은 $10 + 4 = 14\ \text{m}^2\cdot\text{s/mol}$이며, ①의 14에 해당한다.

NoteBase

문 19. 앞먹임 제어(feedforward control)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 공정에 미치는 외부 교란변수의 영향을 미리 보정하는 제어이다.

② 외부 교란변수를 사전에 측정하여 제어에 이용한다.

③ 공정의 출력을 제어에 이용한다.

④ 제어루프는 감지기, 제어기, 가동장치를 포함한다.

정답 3번

간단한 해설

공정의 출력값을 측정하여 제어에 되돌려 쓰는 것은 **되먹임 제어**의 특징이다. 앞먹임 제어는 **교란변수를 직접 측정**하여 출력에 미칠 영향을 미리 보정한다.

선지별 해설

① O: 앞먹임 제어는 교란이 출력에 미칠 영향을 예측하여 **조작변수를 미리 조정**한다. 예를 들어 가열 공정에서 유입 유체의 온도가 낮아지는 것을 감지하면, 출구 온도가 떨어지기 전에 가열량을 늘려 그 영향을 보정한다.

② O: 앞먹임 제어는 **외부 교란변수의 측정값**을 제어의 근거로 사용한다. 교란이 출력에 영향을 준 뒤 출력의 변화를 확인하는 것이 아니라, 교란 자체를 사전에 측정하여 필요한 조작량을 결정한다.

③ X: 공정의 출력을 측정하여 설정값과 비교하고 그 차이를 줄이는 방식은 **되먹임 제어**이다. 순수한 앞먹임 제어는 출력값을 되돌려 이용하지 않고, 측정한 교란변수와 공정의 관계를 바탕으로 조작변수를 결정한다.

④ O: 감지기는 교란변수를 측정하고, 제어기는 그 측정값으로 필요한 조작량을 결정하며, 가동장치는 밸브 등을 움직여 공정 입력을 바꾼다. 앞먹임 제어에도 이러한 장치가 포함되지만, **감지 대상이 출력이 아니라 교란변수**라는 점이 되먹임 제어와 다르다.

NoteBase

문 20. 정류탑에서 공급원료의 상태는 공급원료 1몰 중 탈거부(stripping section)로 내려가는 액체의 몰수로 정의되는 q 인자를 사용해서 표시할 수 있다. 이때 q 인자가 음수인 경우는?

① 차가운 액체를 공급할 경우

② 포화증기를 공급할 경우

③ 과열증기를 공급할 경우

④ 포화액체를 공급할 경우

정답 3번

간단한 해설

과열증기는 포화증기보다 많은 열을 지니므로, 공급단에서 **주변 액체의 일부를 기화**시킨다. 그 결과 원료 공급에 따른 액체의 순증가량이 음수가 되어 q < 0이 된다.

공통 해설

q는 원료 1몰의 공급으로 인해 탈거부로 내려가는 액체가 얼마나 순증가하는지를 나타낸다. 통상적인 등몰유량 근사에서 공급단 압력 기준의 포화증기, 포화액체, 공급원료의 몰 엔탈피를 각각 H_V, H_L, H_F라 하면 $q = \frac{H_V - H_F}{H_V - H_L}$이다. 분모는 포화액체를 포화증기로 만드는 데 필요한 몰당 열량이므로 양수이다.

따라서 q가 음수가 되려면 $H_F > H_V$이어야 하며, 이는 **포화증기보다 엔탈피가 큰 과열증기**를 공급하는 경우이다. 과열증기가 포화 상태로 냉각되면서 내놓는 열이 탑 안의 액체 일부를 기화시켜, 공급단 아래로 내려가는 액체량이 줄어든다. q < 0은 액체의 실제 몰수가 음수라는 뜻이 아니라 **원료 공급에 따른 액체의 순변화가 감소**라는 뜻이다.

같은 관계에서 포화증기는 공급원료의 엔탈피가 포화증기의 엔탈피와 같으므로 q = 0이고, 포화액체는 q = 1이다. 차가운 액체는 포화액체보다 엔탈피가 작으므로 q > 1이다. 이때는 원료가 포화 상태까지 가열되는 데 필요한 열을 탑 안의 증기 일부가 응축하면서 공급하므로, 원료 자체의 액체량보다 더 많은 액체가 아래로 내려간다.

NoteBase