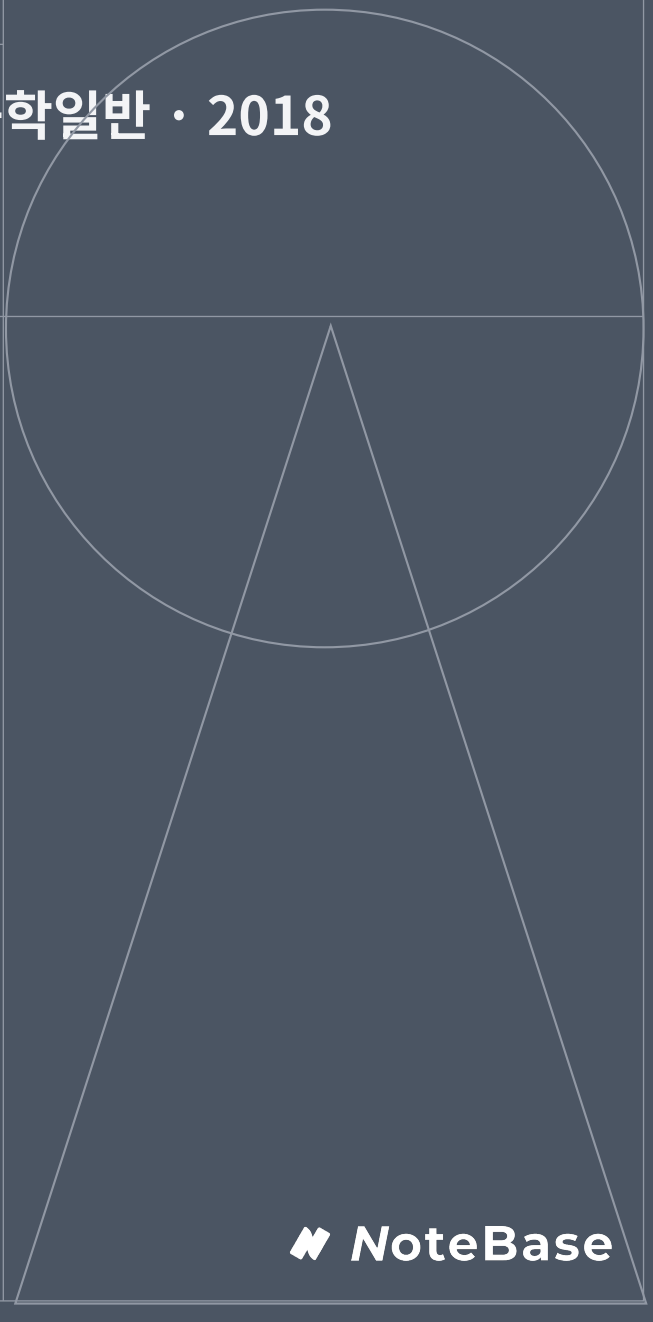
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2018



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2018

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2018

문 1. 온도차이 ΔT, 열전도도 k, 두께 x, 열전달 면적 A인 평면벽을 통한 1차원 정상상태 열흐름 속도는 Q이다. 벽의 열전도도 k가 4배 증가하고 두께 x가 2배 증가할 때, 열흐름 속도는?

① $\frac{Q}{2}$

② Q

③ $2Q$

④ $4Q$

정답 3번

간단한 해설

평면벽의 열흐름 속도는 **열전도도에 비례하고 두께에 반비례**한다. 온도차와 면적이 같으므로 열전도도가 4배, 두께가 2배가 되면 열흐름 속도는 처음의 2배인 $2Q$가 된다.

계산 과정

평면벽을 통한 1차원 정상상태 열전도에는 푸리에 법칙을 적용한다. 열흐름 속도는 단위시간당 전달되는 열량이며, 그 크기는 $Q = \frac{kA\Delta T}{x}$이다. 여기서 k는 열전도도, A는 열전달 면적, ΔT는 벽 양면의 온도차, x는 벽 두께이다. 같은 온도차와 면적에서 **열전도도가 클수록 열이 잘 전달되고, 벽이 두꺼울수록 열이 전달되기 어렵다**.

변경 후의 열흐름 속도를 Q'라 하자. 온도차와 면적은 그대로이고 열전도도는 4배, 두께는 2배가 되므로 $Q' = \frac{4kA\Delta T}{2x}$이다. 열전도도 변화는 열흐름 속도를 4배로 만들지만, 두께 변화는 이를 절반으로 줄이므로 전체 변화 비율은 $\frac{Q'}{Q} = \frac{4}{2} = 2$이다.

따라서 변경 후 열흐름 속도는 $Q' = 2Q$이며, ③의 $2Q$와 일치한다.

NoteBase

문 2. 회전펌프(rotary pump)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 운전 속도가 한정되어 있다.

② 운동 부분과 고정 부분이 밀착되어 있다.

③ 배출 공간에서 흡입 공간으로 역류가 적다.

④ 피스톤 양쪽에서 교대로 액체를 끌어들인다.

정답 4번

간단한 해설

피스톤 양쪽에서 교대로 액체를 흡입하는 것은 **복동식 왕복펌프**의 작동 방식이다. 회전펌프는 기어·나사·베인 등의 **회전 운동**으로 액체를 흡입측에서 배출측으로 옮긴다.

선지별 해설

회전펌프는 회전하는 부품과 케이싱 사이의 공간에 액체를 가두어 배출측으로 옮기는 용적식 펌프이다.

① O: 회전부와 고정부 사이의 간극이 좁아, 지나치게 고속으로 운전하면 간극을 통과하는 액체의 유속이 커져 마모가 심해질 수 있다. 마모로 간극이 넓어지면 누설이 증가하므로 **운전 속도에 제한**이 있다.

② O: 운동 부분과 고정 부분은 액체가 새어 돌아가는 것을 줄이도록 **매우 작은 간극**을 유지한다. 여기서 '밀착'은 모든 부품이 틈 없이 직접 접촉한다는 뜻이 아니라, 누설을 억제할 만큼 간극이 작다는 의미이다.

③ O: 배출측은 흡입측보다 압력이 높아 액체가 간극을 통해 흡입측으로 되돌아가려 한다. 회전펌프는 간극을 작게 유지하므로 이러한 **역류인 슬립이 적다**. 다만 역류가 전혀 없는 것은 아니다.

④ X: 피스톤 양쪽에서 교대로 액체를 끌어들이는 것은 **복동식 왕복펌프**의 특징이다. 피스톤이 한쪽으로 움직일 때 한쪽 공간에서는 흡입하고 반대쪽에서는 배출하며, 이동 방향이 바뀌면 두 공간의 역할도 바뀐다. 회전펌프는 피스톤의 왕복 운동 대신 기어·나사·베인 등의 회전 운동으로 액체를 이송한다.

NoteBase

문 3. 상부가 개방되고 바닥에 배출구가 있는 탱크에 물이 높이 h 만큼 채워져 유지된다. 탱크의 배출구를 통한 물의 배출 속도는? (단, 모든 마찰 손실은 무시하고, 배출 중 물의 높이 h는 일정하며, g는 중력가속도이다)

① $\sqrt{gh}$
② $\sqrt{2gh}$
③ gh
④ $2gh$

정답 2번

간단한 해설

수면과 배출구의 압력이 모두 대기압이고 마찰 손실이 없으므로, 높이 h에 해당하는 **위치에너지가 운동에너지로 전환**된다. 따라서 배출 속도는 $v = \sqrt{2gh}$이다.

계산 과정

조건 설정: 배출 속도를 v라 하고, 배출구의 높이를 기준 높이 0으로 잡으면 수면의 높이는 h이다. 물은 비압축성 유체로 보고, 탱크 수면의 유속을 무시하는 이상적인 배출 모형을 적용한다. 상부가 개방되어 있고 물이 대기 중으로 배출되므로 **수면과 배출구의 압력은 모두 대기압**이다.

에너지 관계: 수면에서 배출구까지 베르누이 방정식을 적용한다. 두 지점의 압력항은 서로 상쇄되고, 수면의 속도항과 마찰 손실항은 무시되므로 $h = \frac{v^2}{2g}$가 된다. 왼쪽 h는 물이 가진 위치수두이고, 오른쪽 $\frac{v^2}{2g}$는 배출 속도에 해당하는 속도수두이다. 즉, **높이 차에 따른 위치수두가 속도수두로 바뀐다**.

속도 계산: 위 식을 정리하면 $v^2 = 2gh$이고, 속력은 음수가 아니므로 $v = \sqrt{2gh}$이다. h를 m, g를 m/s^2 단위로 넣으면 v의 단위는 m/s이다. 이 식은 ②의 $\sqrt{2gh}$와 일치하며, 수위 h가 일정하므로 배출 속도도 일정하게 유지된다.

NoteBase

문 4. 2성분계 기체 확산계수(diffusion coefficient)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고른 것은? (단, 이상기체이며 반응성이 없다)

ㄱ. 온도가 일정할 때 압력이 높아지면, 확산계수는 커진다.
ㄴ. 분자량이 크면, 확산계수는 작아진다.
ㄷ. 압력이 일정할 때 온도가 높아지면, 확산계수는 커진다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 3번

간단한 해설

온도가 일정할 때 압력이 높아지면 분자 사이의 충돌이 잦아져, 충돌 사이에 이동하는 평균 거리가 짧아진다. 따라서 기체의 확산계수는 커지는 것이 아니라 **작아진다**.

보기별 해설

기체의 확산계수는 분자의 무작위 운동으로 농도 차이가 해소되는 빠르기를 나타내는 계수이다. 분자가 빠르게 움직이고 충돌 사이에 멀리 이동할수록 확산계수가 커진다.

ㄱ. X: 온도가 일정하면 분자의 평균 운동속도는 일정하다. 압력이 높아지면 단위 부피당 분자 수가 증가하여 충돌이 잦아지고, 분자가 충돌 없이 이동하는 평균 거리인 평균자유행로가 짧아진다. 따라서 확산계수는 **압력에 반비례하여 감소**한다. '커진다'를 '작아진다'로 고쳐야 한다.

ㄴ. O: 온도와 그 밖의 조건이 같을 때, 분자량이 큰 분자는 평균 운동속도가 작다. 분자의 이동이 느릴수록 농도 차이에 따른 물질의 퍼짐도 느려지므로 **분자량이 클수록 확산계수는 작아진다**.

ㄷ. O: 압력이 일정한 상태에서 온도가 높아지면 분자의 평균 운동속도가 커진다. 또한 이상기체의 단위 부피당 분자 수는 줄어들어 평균자유행로가 길어진다. 이 두 효과에 의해 **온도가 높을수록 확산계수는 커진다**.

옳은 보기는 ㄴ, ㄷ이므로 이 조합에 해당하는 선택지는 ③이다.

NoteBase

문 5. 넓은 평판 표면에서 표면 위의 유체로 대류 열전달이 발생하고 있다. 이때 열흐름 속도를 높이는 방법으로 옳은 것은?

① 평판 표면에 핀(fin) 등 확장표면 장치를 설치한다.

② 유체의 흐름 속도를 낮춘다.

③ 평판 표면에 열저항이 큰 또 다른 평판을 올려놓는다.

④ 유체의 온도와 평판 표면의 온도 차이를 줄인다.

정답 1번

간단한 해설

핀(fin)은 유체와 접촉하는 **열전달 면적을 늘려** 단위 시간에 전달되는 열량을 증가시킨다. 열전도성이 좋은 핀은 평판의 열을 핀 표면으로 전달하고, 넓어진 표면에서 유체로 열을 방출한다.

선지별 해설

문제의 '열흐름 속도'는 단위 시간당 전달되는 열량인 열전달률을 뜻한다. 평판 표면의 온도가 균일할 때 대류 열전달률은 $\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty)$로 나타낸다. 여기서 h는 평균 대류 열전달계수, A는 유체와 접촉하는 표면적, T_s는 표면 온도, T_∞는 표면에서 충분히 떨어진 유체의 온도이다. 표면에서 유체로 열이 흐르므로 표면 온도가 유체 온도보다 높다.

① O: 핀은 평판에서 돌출된 확장표면으로, **유체와 접촉하는 면적을 증가**시킨다. 평판의 열이 핀 내부를 따라 전도된 뒤 핀 표면에서 유체로 대류 전달된다. 열전도성이 좋은 재료로 적절히 설계한 핀을 설치하면, 같은 평판 바닥 면적에서도 더 많은 열을 유체로 전달할 수 있다.

② X: 다른 조건이 같을 때 유체의 흐름 속도를 낮추면 일반적으로 표면 근처의 가열된 유체가 덜 활발하게 교체되고 대류 열전달계수가 작아진다. 따라서 열전달률을 높이려면 흐름 속도를 낮추는 대신 **유체의 흐름 속도를 높여** 대류 열전달을 촉진한다.

③ X: 열저항이 큰 평판을 덧대면 원래 평판의 열이 유체에 도달하기 전에 통과해야 할 전도 열저항이 추가된다. 원래 평판과 유체의 온도 차이가 같다면 전체 열저항이 커질수록 열전달률은 감소한다. 열전달을 촉진하려면 단열층처럼 작용하는 판을 추가하는 대신 **열이 이동하는 경로의 열저항을 줄여야** 한다.

④ X: 표면과 유체의 온도 차이는 대류 열전달을 일으키는 구동력이다. 대류 열전달계수와 면적이 같다면 온도 차이를 줄일수록 열전달률도 감소한다. 열전달률을 높이려면 표면 온도를 높이거나 유체 온도를 낮추어 **표면과 유체의 온도 차이를 키워야** 한다.

NoteBase

문 6. 부피가 V[L]인 용액 내에 분자량이 M_A[g/mol]인 용질 A가 n몰 용해되어 있다. 이 용액이 부피유속 120 L/min으로 흐를 때, A의 질량유속[g/h]은?

① $120nM_A$

② $120nM_A/V$

③ $7{,}200nM_A$

④ $7{,}200nM_A/V$

정답 4번

간단한 해설

용질 A의 **질량농도에 부피유속을 곱하면** 단위 시간당 흐르는 A의 질량을 구할 수 있다. 부피유속 120 L/min을 7,200 L/h로 바꾸어 적용하면 질량유속은 $\frac{7{,}200nM_A}{V}$ g/h이다.

계산 과정

질량농도: 용질 A가 n몰이고 분자량이 M_Ag/mol이므로 용질의 질량은 nM_Ag이다. 이를 용액 부피 VL로 나누면 **용액 1 L에 포함된 A의 질량**인 질량농도 $c_A = \frac{nM_A}{V}$ g/L를 얻는다.

시간단위 변환: 구하는 질량유속의 시간단위가 h이므로 부피유속도 **시간당 부피**로 바꾼다. 1시간은 60분이므로 부피유속은 $Q = 120 \cdot 60 = 7{,}200$L/h이다.

질량유속: 매시간 흐르는 용액의 부피에 1 L당 용질의 질량을 곱한다. 따라서 $\dot{m}_A = c_A Q$이며, 대입하면 $\dot{m}_A = \frac{nM_A}{V} \cdot 7{,}200 = \frac{7{,}200nM_A}{V}$ g/h이다. 단위도 g/L와 L/h를 곱하여 g/h가 되며, 이 값은 ④의 식과 일치한다.

NoteBase

문 7. 원형관 내 공기의 유속을 측정하기 위해 설치한 피토관의 압력차가 128 Pa일 때, 공기의 유속[m/s]은? (단, 공기의 밀도는 1 kg/m^{3}이며 비압축성 흐름으로 가정하고, 마찰손실은 없다)

① 16

② 32

③ 64

④ 128

정답 1번

간단한 해설

피토관의 압력차는 **정체압과 정압의 차인 동압**이므로 $\Delta p = \frac{1}{2}\rho v^2$를 적용한다. 압력차 128 Pa와 밀도 1 kg/m^{3}를 대입하면 유속은 16 m/s이다.

계산 과정

압력차의 의미: 피토관의 정체점에서는 공기의 속도가 0이 된다. 비압축성 흐름이고 마찰손실이 없으므로, 흐르는 공기가 정체점에서 멈출 때의 운동에너지가 압력 상승으로 나타난다. 따라서 측정 압력차는 **정체압에서 정압을 뺀 동압**이며, 베르누이 방정식으로 $\Delta p = \frac{1}{2}\rho v^2$이다. 여기서 ρ는 공기의 밀도, v는 측정하려는 공기의 유속이다.

유속 계산: 주어진 값은 압력차 128 Pa, 밀도 1 kg/m^{3}이다. 동압 관계식을 유속에 대해 풀면 $v = \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}$ 이다. SI 단위의 주어진 값을 대입하면 $v = \sqrt{\frac{2 \cdot 128}{1}}$ 이고, 제곱근 안의 값 256은 유속의 제곱에 해당한다. 따라서 유속은 16 m/s이다.

선택지 연결: 계산한 유속 16 m/s는 ①의 16에 해당한다.

NoteBase

문 8. 고체 입자층을 통과하는 유체의 속도가 증가하면 고체 입자층의 유동화 현상이 발생하게 된다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 유동화된 고체 입자층의 압력 강하는 유체 속도가 빨라져도 일정하다.

② 유동화된 고체 입자층의 높이는 유체 속도가 빨라짐에 따라 증가한다.

③ 최소 유동화 속도는 입자의 크기에 영향을 받지 않는다.

④ 최소 유동화 속도는 입자의 밀도에 영향을 받는다.

정답 3번

간단한 해설

최소 유동화 속도는 고체 입자층이 막 유동화되기 시작하는 유체 속도로, **입자의 크기와 밀도에 영향을 받는다**. 입자 크기가 달라지면 입자층의 유동 저항이 달라지므로 크기와 무관하다고 할 수 없다.

선지별 해설

유동화는 위로 흐르는 유체가 고체 입자를 지탱하여 입자층이 유체처럼 움직이는 현상이다. 유동화가 시작되는 최소 유동화 속도에서는 유체가 입자층에 가하는 항력이 부력을 뺀 입자층의 무게와 균형을 이룬다.

① O: 입자가 밖으로 유출되지 않고 층 안의 고체량과 장치의 단면적이 일정한 유동화 영역에서는, 층 전체의 압력 강하가 **단위 단면적당 입자층의 유효 무게**에 해당한다. 속도가 더 빨라져도 지탱해야 할 무게는 같으므로 압력 강하는 거의 일정하게 유지된다. 유동화 이전의 고정층에서는 속도가 증가하면 압력 강하도 증가한다.

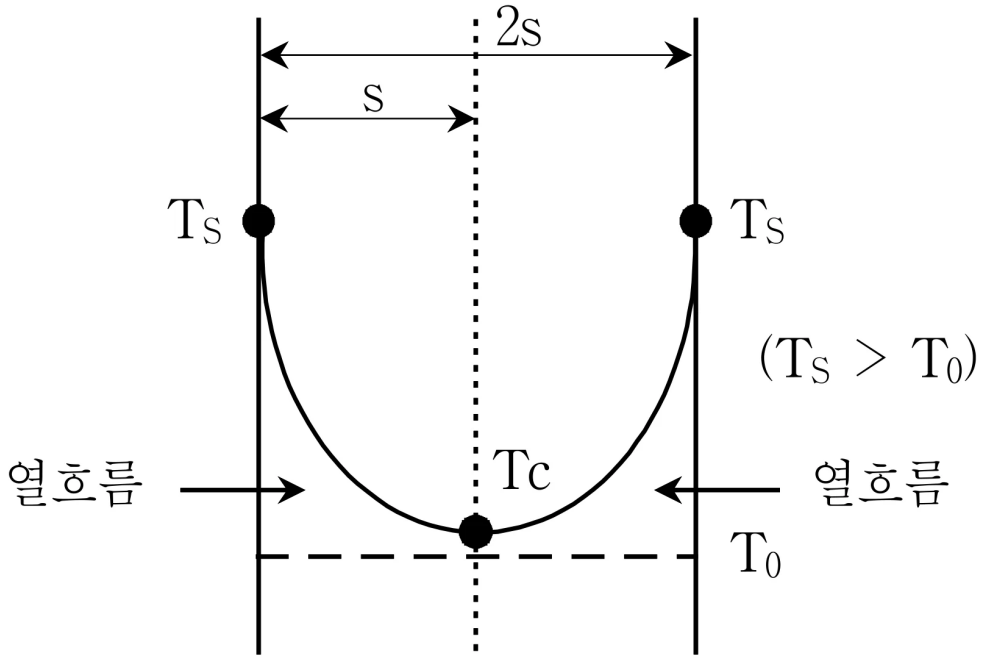
② O: 유동화된 상태에서 유체 속도가 증가하면 입자 사이의 간격이 벌어져 **입자층이 팽창**한다. 층 안의 고체량이 같은 상태에서 빈 공간의 비율인 공극률이 커지므로 입자층의 높이가 증가한다. 이는 입자가 대량으로 유출되기 전의 유동화 영역에 대한 설명이다.

③ X: 최소 유동화 속도는 **입자의 크기에 영향을 받는다**. 입자 크기는 입자층을 통과하는 유체의 저항을 결정하는 요인이므로, 입자층을 지탱하는 데 필요한 유체 속도도 달라진다. 따라서 '입자의 크기에 영향을 받지 않는다'를 '입자의 크기에 영향을 받는다'로 고쳐야 한다.

④ O: 입자의 밀도가 달라지면 부력을 뺀 입자의 유효 무게가 달라진다. 다른 조건이 같을 때 **입자와 유체의 밀도 차이가 클수록** 입자를 지탱하는 데 더 큰 항력이 필요하므로 최소 유동화 속도가 커진다.

NoteBase

문 9. 다음 그림은 초기 온도가 T_0로 균일한 무한 평판의 단면이다. 평판의 양쪽 측면을 급격히 가열하여 표면온도를 T_S로 유지하면 평판 내부에서 비정상상태 열전도가 진행된다. 평판의 중심선 온도(T_C)가 가장 빨리 상승하는 평판의 열전도도 k[W/m·K]와 비열 c_p[J/kg·K]는? (단, 평판의 밀도는 일정하다)



① k: 1, c_p: 500

② k: 1, c_p: 1,000

③ k: 5, c_p: 500

④ k: 5, c_p: 1,000

정답 3번

간단한 해설

비정상상태에서 온도가 퍼지는 빠르기는 **열확산율** $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$로 비교한다. 밀도가 같으므로 열전도도가 크고 비열이 작아 $\frac{k}{c_p}$가 가장 큰 평판의 중심선 온도가 가장 빨리 상승한다.

NoteBase

선지별 해설

그림에서 평판의 두께는 2s이고, 양쪽 표면은 초기 온도보다 높은 T_S로 유지된다. 같은 두께와 초기·표면온도 조건에서는 열확산율 $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$가 클수록 표면의 온도 변화가 내부로 빨리 전달되어 중심선이 같은 온도에 도달하는 시간이 짧아진다. 여기서 ρ는 밀도이며, 열확산율의 단위는 m^2/s이다. 열전도도가 크면 열이 잘 전달되고, 비열이 작으면 같은 질량의 온도를 올리는 데 필요한 열량이 작다. 네 평판의 **밀도가 같으므로** $\frac{k}{c_p}$만 비교하면 된다. 아래 비교값의 단위는 모두 kg/(m·s)이다.

①: $\frac{k}{c_p} = \frac{1}{500} = 0.002$이다. 열전도도는 ②와 같지만 비열이 절반이므로 열확산율은 ②의 2배이다.

②: $\frac{k}{c_p} = \frac{1}{1000} = 0.001$이다. 열전도도가 작고 비열이 커서 네 평판 중 열확산율이 가장 작다.

③: $\frac{k}{c_p} = \frac{5}{500} = 0.010$이다. **큰 열전도도와 작은 비열**이 함께 적용되어 열확산율이 가장 크다.

④: $\frac{k}{c_p} = \frac{5}{1000} = 0.005$이다. 열전도도는 ③과 같지만 비열이 2배이므로 열확산율은 ③의 절반이다.

열확산율은 ③ > ④ > ① > ② 순이다. 따라서 중심선 온도가 가장 빨리 상승하는 조합은 ③의 k = 5 W/(m·K), c_p = 500 J/(kg·K)이다.

NoteBase

문 10. 어떤 유기화합물 A는 C, H, O, N으로만 구성되어 있다. A의 원소분석 결과, 이 중 C, H, N의 질량 분율은 각각 0.42, 0.06, 0.28이다. A의 가능한 분자량[g/mol]은? (단, C, H, O, N의 원자량은 각각 12, 1, 16, 14이다)

① 200

② 250

③ 300

④ 350

정답 1번

간단한 해설

원소별 질량을 원자량으로 나누어 얻는 가장 간단한 원자 수의 비는 C:H:O:N = 7:12:3:4이며, 실험식량은 200이다. 분자량은 실험식량의 **양의 정수배**이므로 제시된 값 중 200 g/mol만 가능하다.

계산 과정

1. 산소의 질량 구하기: A는 C, H, O, N으로만 구성되므로 네 원소의 질량 분율 합은 1이다. 산소의 질량 분율은 $1 - 0.42 - 0.06 - 0.28 = 0.24$이다. 계산 기준을 A 100 g으로 잡으면 C 42 g, H 6 g, O 24 g, N 28 g이 들어 있다.

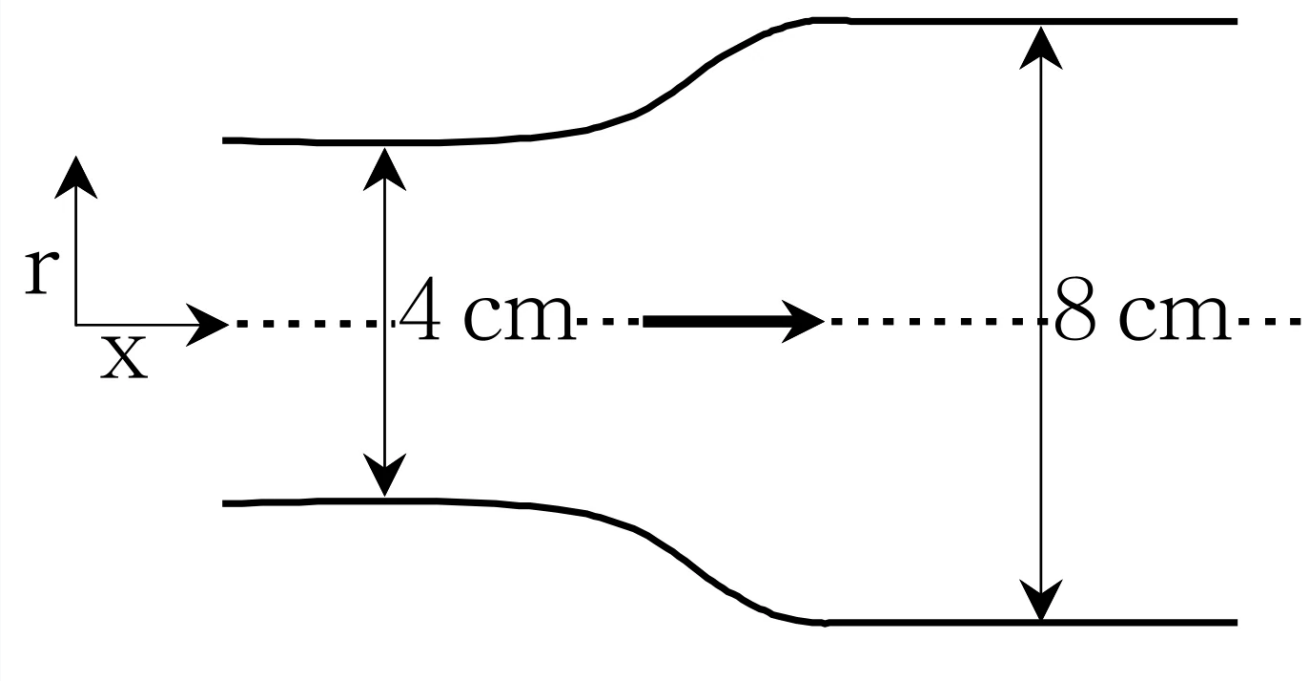
2. 원소별 몰수 구하기: **질량을 각 원소의 원자량에 해당하는 몰질량으로 나누어** 원자들의 몰수를 구한다. C는 $\frac{42}{12} = 3.5$ mol, H는 $\frac{6}{1} = 6$ mol이다. O는 $\frac{24}{16} = 1.5$ mol, N은 $\frac{28}{14} = 2$ mol이다. 각 원소의 몰수 비는 화합물 속 원자 수의 비와 같다.

3. 실험식과 실험식량 구하기: C:H:O:N의 몰수 비는 3.5:6:1.5:2이다. 각 값을 0.5로 나누면 **가장 간단한 정수비** 7:12:3:4를 얻는다. 따라서 실험식은 $C_7H_{12}O_3N_4$이고, 실험식량은 $12 \times 7 + 1 \times 12 + 16 \times 3 + 14 \times 4 = 200$이다.

4. 가능한 분자량 판단하기: 분자식의 원자 수는 실험식의 원자 수를 모두 같은 양의 정수배로 늘린 것이므로, 분자량도 실험식량의 양의 정수배이다. 이를 $M = 200k$ g/mol로 나타낼 수 있으며, k는 양의 정수이다. 선택지 200, 250, 300, 350 g/mol 중 이 조건을 만족하는 값은 200 g/mol이므로 ①에 해당한다.

NoteBase

문 11. 비압축성 유체가 다음 그림과 같이 원형관 내에서 x축 방향으로 흐른다. 이때 직경이 4 cm인 원형관에서 평균속도가 v일 때, 직경이 8 cm인 원형관에서의 평균 속도는? (단, 흐름은 정상상태이다)



① $\frac{v}{8}$

② $\frac{v}{4}$

③ $\frac{v}{2}$

④ v

정답 2번

간단한 해설

정상상태의 비압축성 흐름에서는 **체적유량이 일정**하므로 평균속도는 단면적에 반비례한다. 직경이 2배가 되면 단면적은 4배가 되어 평균속도는 $\frac{v}{4}$가 된다.

NoteBase

계산 과정

연속방정식: 직경 4 cm인 부분의 단면적을 A_1, 평균속도를 v, 직경 8 cm인 부분의 단면적을 A_2, 평균속도를 u_2라 한다. 정상상태에서는 관 안에 질량이 축적되지 않으며, 비압축성 유체는 밀도가 일정하므로 두 단면의 **체적유량이 같다**. 체적유량은 단면적과 평균속도의 곱이므로 $A_1 v = A_2 u_2$이다.

단면적 비: 원형관의 단면적은 직경 D에 대해 $A = \frac{\pi D^2}{4}$이므로 **직경의 제곱에 비례**한다. 따라서 $\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{8}{4}\right)^2 = 4$이다. 두 직경의 단위가 모두 cm이므로 단위 변환 없이 비를 구할 수 있다.

평균속도: 넓은 관의 단면적이 좁은 관의 4배이므로 같은 체적유량을 유지하려면 평균속도는 1/4이 되어야 한다. 연속방정식에 대입하면 $u_2 = \frac{A_1}{A_2} v = \frac{v}{4}$이다. 구한 평균속도는 ②의 $\frac{v}{4}$와 일치하며, 속도의 단위는 주어진 v와 같다.

NoteBase

문 12. 필터로 덮인 판 사이의 공간에 슬러리를 가압 주입하여 고체 케이크와 액체로 분리하는 비연속 가압 여과기는?

① 수평 벨트 여과기(horizontal belt filter)

② 원심 여과기(centrifugal filter)

③ 회전 드럼 여과기(rotary drum filter)

④ 여과 프레스(filter press)

정답 4번

간단한 해설

여과포로 덮인 판 사이에 슬러리를 가압 주입하면 액체는 여과포를 통과하고 고체는 케이크로 남는다. 이러한 구조를 갖추고 케이크를 꺼낼 때 운전을 멈추는 **비연속 가압 여과기**가 여과 프레스이다.

공통 해설

여과 프레스(filter press)는 여과포를 씌운 여러 판을 밀착시켜 여과실을 만들고, 그 안에 고체 입자가 액체에 섞인 슬러리를 압력으로 밀어 넣는 장치이다. **공급 압력에 의한 압력차**로 액체는 여과포를 통과해 여액으로 배출되고, 고체는 여과실에 남아 케이크를 형성한다. 따라서 문제의 '필터로 덮인 판 사이의 공간에 슬러리를 가압 주입'한다는 구조와 작동 방식은 여과 프레스에 해당한다.

케이크가 쌓여 한 회의 여과가 끝나면 슬러리 공급을 멈추고 판을 벌려 케이크를 제거한 뒤 다시 판을 닫아 여과한다. 이처럼 **여과와 케이크 배출을 번갈아 수행**하므로 비연속식, 즉 회분식으로 운전한다.

NoteBase

문 13. 단면적이 0.1 m^2인 원형관을 통해 비압축성 뉴턴 유체(Newtonian fluid)가 층류로 흐른다. 유체의 부피 유속이 0.04 m^3/s일 때, 원형관 중심에서 유체의 유속[m/s]은? (단, 흐름은 정상상태 완전발달흐름이다)

① 0.2

② 0.4

③ 0.8

④ 1.6

정답 3번

간단한 해설

원형관에서 뉴턴 유체가 정상상태의 완전발달 층류로 흐르면 **중심 유속은 단면 평균 유속의 2배**이다. 부피 유량을 단면적으로 나눈 평균 유속이 0.4 m/s이므로 중심 유속은 0.8 m/s이다.

계산 과정

① 단면 평균 유속: 부피 유량 Q = 0.04 m^3/s를 단면적 A = 0.1 m^2로 나누면 단면 전체의 평균 유속을 얻는다. $\bar{u} = \frac{Q}{A} = \frac{0.04}{0.1} = 0.4\text{m/s}$이다. 이 값은 **관 중심 한 점의 유속이 아니라 단면 평균값**이다.

② 중심 유속과 평균 유속의 관계: 비압축성 뉴턴 유체의 정상상태 완전발달 원형관 층류에서는 관 벽의 비미끄럼 조건에 따라 벽에서 유속이 0이고 중심에서 최대인 **포물선 속도 분포**가 형성된다. 관 반지름을 R, 중심으로부터의 거리를 r, 중심 유속을 u_{max}라 하면 $u(r) = u_{max}\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$이다. 이 분포를 단면 전체에 걸쳐 면적 평균하면 $\bar{u} = \frac{u_{max}}{2}$이므로 중심 유속은 평균 유속의 2배이다.

③ 중심 유속 계산: $u_{max} = 2\bar{u}$에 평균 유속을 대입하면 $2 \times 0.4 = 0.8$ m/s이다. 따라서 원형관 중심의 유속은 0.8 m/s이며, 선택지 ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 어떤 고체 입자의 표면적이 8 mm^2, 부피가 1.8 mm^3, 상당지름이 1.5 mm일 때 구형도(sphericity)는? (단, 상당지름은 고체 입자와 같은 부피의 구 지름이다)

① 0.3

② 0.6

③ 0.7

④ 0.9

정답 4번

간단한 해설

구형도는 **같은 부피인 구의 표면적**을 입자의 실제 표면적으로 나눈 값이다. 구의 표면적과 부피의 관계를 이용하면 $\phi = \frac{6V}{d_e A}$이며, 주어진 값을 대입하면 0.9이다.

계산 과정

입자의 부피를 V = 1.8 mm^3, 실제 표면적을 A = 8 mm^2, 상당지름을 $d_e = 1.5\text{mm}$라 한다. 상당지름은 **입자와 같은 부피인 구의 지름**이므로, 이 구를 기준으로 표면적을 비교한다.

지름이 d_e인 구의 표면적을 A_s라 하면 $A_s = \pi d_e^2$, $V = \frac{\pi d_e^3}{6}$이다. 따라서 $A_s = \frac{6V}{d_e}$이고, 구형도는 $\phi = \frac{A_s}{A} = \frac{6V}{d_e A}$로 계산한다.

주어진 값을 대입하면 $\phi = \frac{6 \cdot 1.8}{1.5 \cdot 8} = \frac{10.8}{12} = 0.9$이다. 분자와 분모의 부피 단위가 상쇄되므로 **구형도는 단위가 없는 값**이다.

계산된 구형도 0.9는 ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 15. 효소촉매를 이용한 A → R 반응의 반응속도식은 $-r_A = \frac{kC_AC_{E_0}}{M + C_A}$로 표현된다. A의 농도($C_A$)와 반응속도와의 관계에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 효소의 초기농도(C_{E_0}), k와 M은 상수로 가정한다)

① $C_A \ll M$이면, $-r_A \propto \frac{1}{C_A}$이다.

② $C_A \ll M$이면, $-r_A \propto C_A$이다.

③ $C_A \gg M$이면, $-r_A \propto \frac{1}{C_A}$이다.

④ $C_A \gg M$이면, $-r_A \propto C_A$이다.

정답 2번

간단한 해설

$C_A \ll M$이면 분모의 $M + C_A$를 M으로 근사할 수 있다. 따라서 $-r_A \approx \frac{kC_{E_0}}{M} C_A$가 되어 반응속도는 **A의 농도에 비례**한다.

선지별 해설

① X: $C_A \ll M$이면 $M + C_A \approx M$이므로 $-r_A \approx \frac{kC_{E_0}}{M} C_A$이다. 분모가 거의 일정하므로 농도가 증가하면 속도도 증가한다. 농도에 반비례하는 것이 아니라 **농도에 비례**한다.

② O: $C_A \ll M$인 영역에서 $\frac{kC_{E_0}}{M}$은 상수이므로 $-r_A \propto C_A$이다. 즉, A에 대해 **1차 반응**의 거동을 보이며, 이 근사가 성립하는 범위에서는 농도가 두 배가 되면 속도도 약 두 배가 된다.

③ X: $C_A \gg M$이면 $M + C_A \approx C_A$이다. 이를 주어진 속도식에 대입하면 $-r_A \approx \frac{kC_AC_{E_0}}{C_A} = kC_{E_0}$가 된다. 농도에 반비례하는 것이 아니라 **농도와 거의 무관하게 일정**하다.

④ X: $C_A \gg M$에서는 분자의 C_A와 분모를 근사한 C_A가 상쇄되므로 속도가 농도에 비례하지 않는다. 속도는 kC_{E_0}에 가까워져 A에 대해 **0차 반응**의 거동을 보인다.

NoteBase

문 16. 향류(countercurrent flow) 이중관 열교환기 내에서 알코올과 물 사이에 열이동이 일어난다. 알코올은 60 °C로 주입되어 30 °C로 배출되고, 물은 16 °C로 주입되어 32 °C로 배출된다. 관을 통한 단위 면적당 열흐름 속도[W/m^2]는? (단, 총괄 열전달 계수는 600 W/m^2 · °C이고, ln 2 = 0.7이다)

① 12,000

② 14,000

③ 16,000

④ 18,000

정답 1번

간단한 해설

향류에서는 알코올 입구와 물 출구, 알코올 출구와 물 입구의 온도를 각각 짝지어야 한다. 양 끝 온도차 28 °C와 14 °C의 **대수평균 온도차는 20 °C**이므로, 단위 면적당 열흐름 속도는 600 × 20 = 12,000 W/m^{2}이다.

계산 과정

1. 열전달 관계: 열전달률을 Q, 열전달 면적을 A, 총괄 열전달 계수를 U라 하면, 구하는 단위 면적당 열흐름 속도는 $\frac{Q}{A} = U\Delta T_m$이다. 두 유체의 온도가 관을 따라 달라지므로, 주어진 U를 일정하게 적용할 때 유효한 온도차로 **대수평균 온도차** ΔT_m을 사용한다.

2. 양 끝 온도차: 향류에서는 두 유체가 반대 방향으로 흐르므로 **알코올 입구와 물 출구가 같은 끝**에 있다. 이 끝의 온도차는 $\Delta T_1 = 60 - 32 = 28$ °C이다. 다른 끝에서는 알코올 출구와 물 입구가 만나므로 $\Delta T_2 = 30 - 16 = 14$ °C이다.

3. 대수평균 온도차: 양 끝의 온도차를 다음 식에 대입한다. $\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$이므로, $\Delta T_m = \frac{28-14}{\ln 2} = \frac{14}{0.7} = 20$°C이다. 이 값은 열교환기 전체의 열전달을 계산하는 데 사용하는 평균 온도차이다.

4. 단위 면적당 열흐름 속도: $\frac{Q}{A} = 600 \times 20 = 12{,}000$ W/m^{2}이다. 면적당 값을 구하므로 별도의 열전달 면적은 필요하지 않으며, 계산값은 ①의 12,000에 해당한다.

NoteBase

문 17. 헥세인(hexane)과 헵테인(heptane)의 2성분 혼합물이 기액 평형을 이루고 있다. 기상에서 헥세인과 헵테인의 몰분율이 각각 0.5일 때, 액상에서 헥세인의 몰분율은? (단, 혼합물은 라울(Raoult)의 법칙을 따르며, 기액 평형상태 온도에서 헥세인과 헵테인의 증기압은 각각 2 bar, 1 bar이다)

① $\frac{1}{4}$
② $\frac{1}{3}$
③ $\frac{1}{2}$
④ $\frac{2}{3}$

정답 2번

간단한 해설

기상 몰분율이 같으면 두 성분의 **부분압력이 같다**. 라울의 법칙에 따라 증기압이 2배인 헥세인의 액상 몰분율은 헵테인의 절반이므로, 액상에서 헥세인의 몰분율은 $\frac{1}{3}$이다.

계산 과정

헥세인을 성분 1, 헵테인을 성분 2라 하고, 액상 몰분율을 x_i, 기상 몰분율을 y_i, 전체 압력을 P라 둔다. 라울의 법칙에 따라 성분 i의 부분압력은 $p_i = x_i P_i^{\text{sat}}$이며, P_i^{sat}는 같은 온도에서 순수 성분 i의 증기압이다. 기상에서는 $p_i = y_i P$이므로 기액 평형 관계는 $y_i P = x_i P_i^{\text{sat}}$이다.

두 성분의 기상 몰분율이 모두 0.5이므로 **부분압력도 서로 같다**. 따라서 $x_1 P_1^{\text{sat}} = x_2 P_2^{\text{sat}}$이고, 주어진 증기압 2 bar와 1 bar를 대입하면 $2x_1 = x_2$이다. 이는 액상에서 헵테인의 몰분율이 헥세인의 2배라는 뜻이다.

2성분 혼합물의 **액상 몰분율 합은 1**이므로 $x_1 + x_2 = 1$이다. 여기에 $x_2 = 2x_1$을 대입하면 $3x_1 = 1$이 되어 $x_1 = \frac{1}{3}$을 얻는다. 몰분율은 단위가 없는 양이며, 이 값은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 18. 기체 흡수탑에서 A가 기상으로부터 액상으로 흡수된다. A의 액상 몰분율(x)이 0.1이고 기상 몰분율(y)이 0.2일 때, 기액 계면에서의 A의 조성(x_i, y_i)은? (단, 기체흡수는 이중경막론을 따르고, 액상 개별 물질전달계수($k_x a$)는 기상 개별 물질전달 계수($k_y a$)의 두 배이다. 기액 계면에서 액상 몰분율(x_i)과 기상 몰분율(y_i)의 평형관계는 $y_i = 0.5x_i$이다)

① (0.12, 0.06)

② (0.16, 0.08)

③ (0.28, 0.14)

④ (0.40, 0.20)

정답 2번

간단한 해설

이중경막론에서는 **두 경막을 통과하는 A의 물질전달 속도가 같고**, 기액 계면의 두 상은 평형을 이룬다.
전달계수의 비와 계면 평형관계를 함께 적용하면 $x_i = 0.16$, $y_i = 0.08$을 얻는다.

계산 과정

1. 물질전달 속도의 연속성: $x = 0.1$, $y = 0.2$는 각각 액상과 기상 본체의 몰분율이고, x_i, y_i는 계면의 몰분율이다. 정상상태의 이중경막론에서는 계면에 A가 축적되지 않으므로 **기상에서 계면으로 전달되는 양과 계면에서 액상으로 전달되는 양이 같다**. 흡수 방향에 따른 구동력은 기상에서 $y - y_i$, 액상에서 $x_i - x$이므로 $k_y a(y - y_i) = k_x a(x_i - x)$이다. 주어진 $k_x a = 2k_y a$를 대입하고 공통 계수를 소거하면 $0.2 - y_i = 2(x_i - 0.1)$이다. 즉, 기상 경막의 몰분율 차이는 액상 경막의 몰분율 차이의 두 배이다.

2. 계면 평형관계와 연립: 이중경막론에서 **평형관계를 적용하는 조성은 계면의 조성**이다. 주어진 $y_i = 0.5x_i$를 앞 식에 대입하면 $0.2 - 0.5x_i = 2(x_i - 0.1)$이다. 이를 정리하면 $2.5x_i = 0.4$이므로 $x_i = \frac{0.4}{2.5} = 0.16$이다. 따라서 $y_i = 0.5 \cdot 0.16 = 0.08$이다.

3. 결과 확인: 기상 구동력은 $0.2 - 0.08 = 0.12$, 액상 구동력은 $0.16 - 0.1 = 0.06$이다. 액상 전달계수가 기상의 두 배이므로 두 경막의 물질전달 속도가 일치한다. 계면의 액상 몰분율은 본체보다 높고 기상 몰분율은 본체보다 낮아 흡수 방향에도 맞는다. 구한 계면 조성 $(x_i, y_i) = (0.16, 0.08)$은 ②의 값과 일치하며, 몰분율은 무차원이다.

NoteBase

문 19. A와 B로 구성된 2성분 기체 혼합물이 있다. A의 질량조성은 80%이고, A와 B의 분자량[g/mol]은 각각 40과 10이다. 이 기체 혼합물의 평균 분자량은?

① 25

② 30

③ 35

④ 40

정답 1번

간단한 해설

혼합물의 평균 분자량은 **전체 질량을 전체 몰수로 나눈 값**이다. 혼합물 100 g에서 A와 B는 각각 2 mol이므로, 평균 분자량은 $\frac{100}{4} = 25$ g/mol이다.

계산 과정

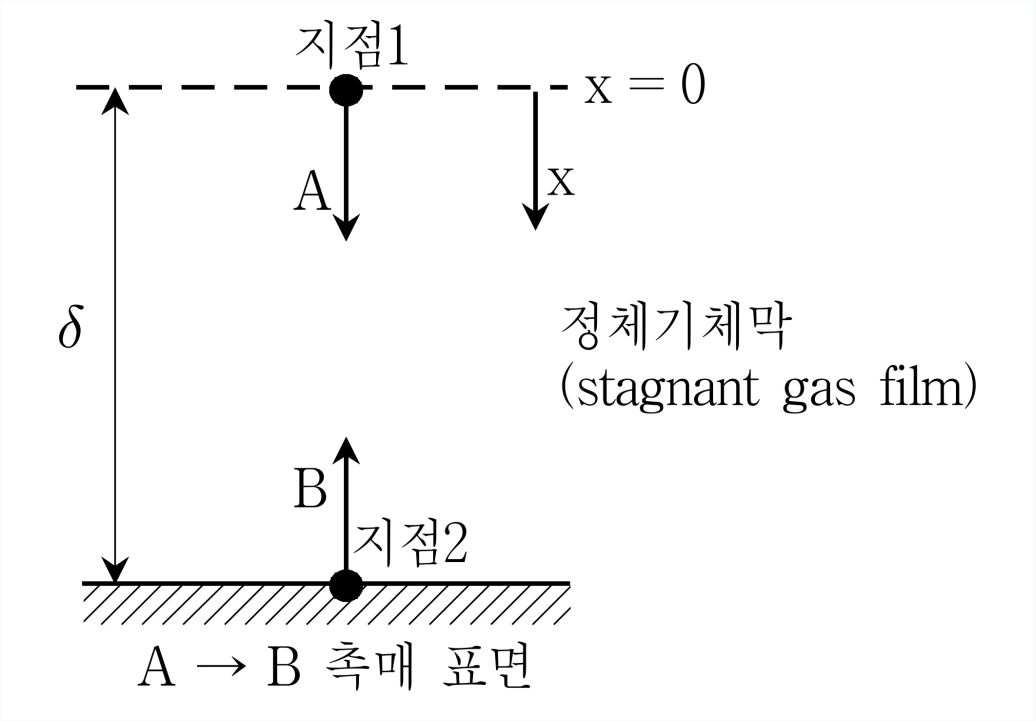
질량 기준: 혼합물 100 g을 기준으로 잡으면 A는 80 g, B는 20 g이다. 조성이 같으면 기준 질량을 바꾸어도 평균 분자량은 달라지지 않는다.

성분별 몰수: 각 성분의 질량을 그 성분의 분자량으로 나누면 몰수가 된다. A의 몰수는 $n_A = \frac{80}{40} = 2$ mol이고, B의 몰수는 $n_B = \frac{20}{10} = 2$ mol이다. A의 질량은 B의 4배이지만 분자량도 4배이므로 **두 성분의 몰수는 같다**.

평균 분자량: 전체 몰수는 2 + 2 = 4 mol이다. 평균 분자량은 혼합물 1 mol당 질량이므로 **전체 질량을 전체 몰수로 나누어** 구한다. 따라서 $\overline{M} = \frac{100}{4} = 25$ g/mol이며, ①의 25에 해당한다.

NoteBase

문 20. 기체 A가 지점 1에서 δ 떨어진 지점 2로 확산하고 있다. 지점 2의 촉매 표면에서 화학반응(A→B)이 순간반응(instantaneous reaction)으로 진행되어 A는 모두 반응한다. 생성된 기체 B는 지점 2에서 지점 1로 확산한다. 이때, 기체 A의 몰플럭스는? (단, 정상상태이며 등온이다. 모든 기체는 x방향으로만 확산한다. 확산계수는 D_{AB}이고, x = 0에서 A의 농도는 C_{A_0}이다)



① $\frac{D_{AB}C_{A_0}}{2\delta}$
② $\frac{D_{AB}C_{A_0}}{\delta}$
③ $\frac{3D_{AB}C_{A_0}}{2\delta}$
④ $\frac{2D_{AB}C_{A_0}}{\delta}$

정답 2번

간단한 해설

A가 1몰 반응할 때 B가 1몰 생성되므로 **등몰 역확산**이 일어난다. 순간반응으로 촉매 표면의 A 농도는 0이 되어, 농도차를 기체막 두께로 나눈 값에 확산계수를 곱하면 몰플럭스는 $N_A = \frac{D_{AB}C_{A_0}}{\delta}$이다.

NoteBase

계산 과정

경계조건: 그림에서 지점 1은 $x = 0$, 지점 2의 촉매 표면은 $x = \delta$이며, 양의 x방향은 지점 1에서 지점 2로 향한다. 지점 1에서는 $C_A(0) = C_{A_0}$이고, 촉매 표면에서는 도달한 A가 즉시 모두 반응하므로 **표면의 A 농도는 0**이다. 따라서 $C_A(\delta) = 0$이다.

확산 형태: 반응식 A→B에서 소비되는 A와 생성되는 B의 몰수는 같다. 정상상태에서 A와 B가 반대 방향으로 이동하므로 $N_B = -N_A$이며, 전체 몰플럭스는 $N_A + N_B = 0$이다. 이는 **등몰 역확산**으로, 그림의 정체기체막이라는 표현이 B의 몰플럭스까지 0이라는 뜻은 아니다.

적용식: 전체 몰플럭스가 0이므로 A의 몰플럭스는 Fick 법칙 $N_A = -D_{AB}\frac{dC_A}{dx}$로 나타낸다. N_A는 단위 면적을 단위 시간에 통과하는 A의 몰수이다. 반응은 촉매 표면에서만 일어나므로 기체막 내부의 정상상태 물질수지에서 N_A는 위치에 따라 일정하다. 주어진 확산계수도 일정하므로 농도분포는 직선이며, 농도기울기는 $\frac{dC_A}{dx} = \frac{0 - C_{A_0}}{\delta}$이다.

몰플럭스 계산: 농도기울기를 대입하면 $N_A = -D_{AB}\frac{0 - C_{A_0}}{\delta} = \frac{D_{AB}C_{A_0}}{\delta}$이다. 농도가 양의 x방향으로 감소하므로 몰플럭스는 양수이며, A는 지점 1에서 촉매 표면으로 이동한다. 확산계수, 농도, 거리를 각각 m^2/s, mol/m^3, m로 나타내면 몰플럭스 단위는 $mol/(m^2 \cdot s)$이다. 도출한 식은 ②의 표현과 일치한다.

NoteBase