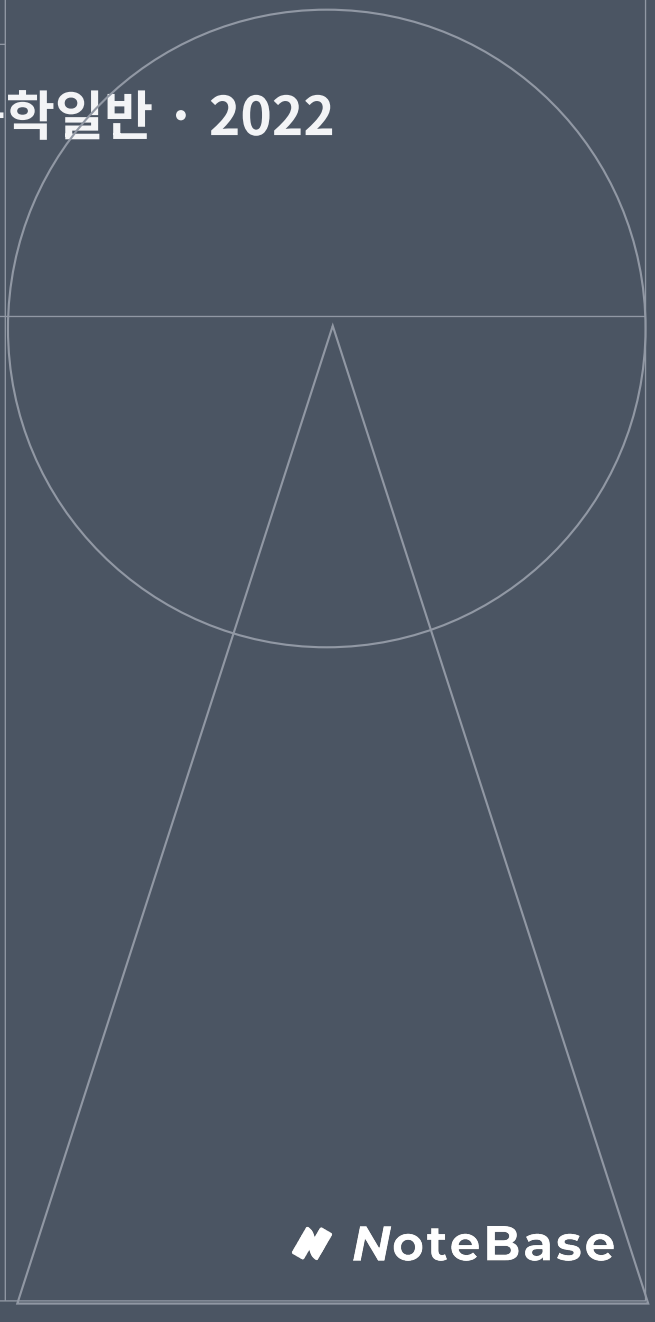
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2022



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2022

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2022

문 1. 기체의 농도 400 ppm에 해당하는 백분율 농도[%]는?

① 4

② 0.4

③ 0.04

④ 0.004

정답 3번

간단한 해설

ppm은 전체 1,000,000부분을, %는 전체 100부분을 기준으로 한 농도이다. 따라서 ppm 값을 **10,000으로 나누면 백분율 농도**가 되므로, 400 ppm은 0.04%이다.

계산 과정

ppm은 **전체 1,000,000부분을 기준**으로 성분의 양을 나타낸다. 따라서 400 ppm은 전체 기체 1,000,000부분 중 해당 성분이 400부분이라는 뜻이며, 성분의 비율은 $\frac{400}{1{,}000{,}000} = 0.0004$이다.

백분율 농도는 전체를 100으로 보았을 때의 성분 비율이므로, 위 비율에 100을 곱한다. $0.0004 \cdot 100 = 0.04$이므로 백분율 농도는 0.04%이다. 이는 전체 100부분 중 해당 성분이 0.04부분이라는 뜻이며, ③의 0.04에 해당한다.

NoteBase

문 2. 밸브(valve)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 체크 밸브(check valve)는 역류를 방지하기 위해 사용된다.

② 글로브 밸브(globe valve)는 유체의 흐름을 수직방향으로 바꾸기 위해 사용된다.

③ 안전 밸브(safety valve)는 유체의 압력이 설정 압력을 초과하면 개방된다.

④ 게이트 밸브(gate valve)가 반 정도 열렸을 때에는 유체의 흐름이 흐트러져서 와류가 생길 수 있다.

정답 2번

간단한 해설

글로브 밸브는 밸브의 열린 정도를 바꾸어 **유량을 조절하거나 흐름을 차단**하는 데 사용된다. 내부에서 유체의 흐름 방향이 바뀌더라도, 흐름을 수직방향으로 바꾸는 것이 주된 사용 목적은 아니다.

선지별 해설

① O: 체크 밸브는 유체가 **한 방향으로만 흐르도록** 하는 역류 방지용 밸브이다. 순방향의 압력차로 열리고, 역방향의 흐름이 발생하려 하면 닫혀 유체가 되돌아가는 것을 막는다.

② X: 글로브 밸브는 밸브 디스크와 시트 사이의 간격을 바꾸어 유체가 통과하는 정도를 조절하므로 **유량 조절과 차단**에 사용된다. 일반적인 글로브 밸브의 내부 유로는 굽어 있어 흐름 방향이 바뀌지만, 이를 흐름을 수직방향으로 바꾸기 위한 밸브라고 설명한 것은 사용 목적을 잘못 나타낸 것이다.

③ O: 안전 밸브는 **과도한 압력으로부터 설비를 보호**한다. 유체의 압력이 설정 압력을 초과하면 자동으로 열려 유체를 배출하고, 설비 내부의 압력이 더 높아지는 것을 억제한다.

④ O: 게이트 밸브를 반 정도 열면 게이트가 유로의 일부를 막아 좁은 틈을 지난 유체의 흐름이 흐트러지고 와류가 생길 수 있다. 이러한 부분 개방 상태에서는 진동이나 밸브 손상도 발생할 수 있어, 일반적으로 **완전 개방 또는 완전 폐쇄** 상태로 사용하는 것이 적합하다.

NoteBase

문 3. 흑체의 온도를 2,000 K에서 1,500 K으로 낮출 때, 2,000 K 대비 1,500 K에서 방출되는 복사에너지의 비는?

① $\frac{81}{256}$
② $\frac{9}{16}$
③ $\frac{16}{9}$
④ $\frac{256}{81}$

정답 1번

간단한 해설

흑체가 방출하는 복사에너지는 **절대온도의 네제곱에 비례**한다. 따라서 온도가 원래의 $\frac{3}{4}$배가 되면 복사에너지는 $\left(\frac{3}{4}\right)^4 = \frac{81}{256}$배가 된다.

계산 과정

흑체의 단위면적당 복사에너지 방출률을 E_b라 하면, 슈테판·볼츠만 법칙에 따라 $E_b = \sigma T^4$이다. 여기서 T는 절대온도(K), σ는 슈테판·볼츠만 상수이며, E_b의 단위는 $\mathrm{W/m^2}$이다. 같은 면적과 시간에 방출되는 에너지를 비교하면 **절대온도의 네제곱 비**를 적용할 수 있다.

처음 온도를 T_1, 낮춘 뒤의 온도를 T_2라 하면, $T_1 = 2{,}000\mathrm{K}$, $T_2 = 1{,}500\mathrm{K}$이다. 이미 K로 주어졌으므로 온도 변환은 필요 없다. **2,000 K에서의 방출량을 분모**에 놓고 비교하며, 두 상태에 공통인 상수는 약분된다. 따라서 $\frac{E_{b,2}}{E_{b,1}} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^4$이다.

온도비는 $\frac{1{,}500}{2{,}000} = \frac{3}{4}$이므로, 복사에너지의 비는 $\left(\frac{3}{4}\right)^4 = \frac{81}{256}$이다. 이 비는 같은 단위끼리 나눈 무차원 값이며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 4. 이상 반응기(ideal reactor)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 반응기 내 온도와 반응물의 농도는 반응속도에 영향을 주는 인자이다.

② 회분식 반응기에서는 반응시간에 따라 반응물의 농도가 달라진다.

③ 플러그 흐름 반응기(PFR)에서는 반응물이 흘러가며 반응이 일어난다.

④ 연속교반 탱크 반응기(CSTR)는 정상상태에서 반응기 내부와 출구의 반응물 농도가 다르다.

정답 4번

간단한 해설

④의 '농도가 다르다'는 설명은 완전혼합 가정에 어긋난다. 이상적인 CSTR는 내용물이 **완전히 혼합**되므로 반응기 내부와 출구의 반응물 농도가 같다.

선지별 해설

① O: 반응속도는 온도와 반응물 농도의 영향을 받는다. 온도는 반응속도상수를 결정하는 주요 인자이며, 농도가 반응속도에 미치는 영향은 해당 반응의 **반응속도식**으로 나타낸다.

② O: 회분식 반응기는 반응물을 한꺼번에 넣고, 반응 중에는 물질을 연속적으로 공급하거나 배출하지 않는다. 반응이 진행되면서 반응물이 소비되므로 반응물 농도는 **시간에 따라 변한다**.

③ O: 플러그 흐름 반응기(PFR)에서는 반응물이 입구로 들어와 출구 쪽으로 **흘러가면서 반응**한다. 이상적인 플러그 흐름에서는 흐름 방향으로 서로 다른 위치의 유체가 섞이지 않는다고 가정하며, 반응물이 이동하는 동안 반응이 진행된다.

④ X: 이상적인 연속교반 탱크 반응기(CSTR)는 완전혼합을 가정하므로 내부의 반응물 농도가 위치에 관계없이 균일하다. 유출액은 이 혼합물의 일부이므로 **반응기 내부와 출구의 반응물 농도가 같다**. 정상상태는 농도 등의 상태량이 시간에 따라 변하지 않는다는 뜻이며, 내부와 출구의 농도가 다르다는 뜻이 아니다.

NoteBase

문 5. 다음 중 차원(dimension)이 다른 것은?

① 열용량(heat capacity)

② 기체 상수(gas constant)

③ 몰 엔트로피(molar entropy)

④ 볼츠만 상수(Boltzmann constant)와 아보가드로 상수(Avogadro constant)의 곱

정답 1번

간단한 해설

열용량의 단위는 J/K이고, 나머지 세 양의 단위는 모두 J/(mol · K)이다. 열용량에는 **물질량의 역차원이 없다**는 점이 다르다.

선지별 해설

① 열용량: 정해진 조건에서 물체의 온도를 높이는 데 필요한 열량을 온도 변화에 대응시킨 양이다. 단위는 J/K이며, **물체 전체에 대한 열용량**이므로 mol로 나누지 않는다.

② 기체 상수: 이상기체 상태방정식 $pV = nRT$에서 압력 p와 부피 V의 곱은 에너지의 차원을 갖는다. 물질량 n과 절대온도 T로 나누면 기체 상수 R의 단위는 J/(mol · K)이다.

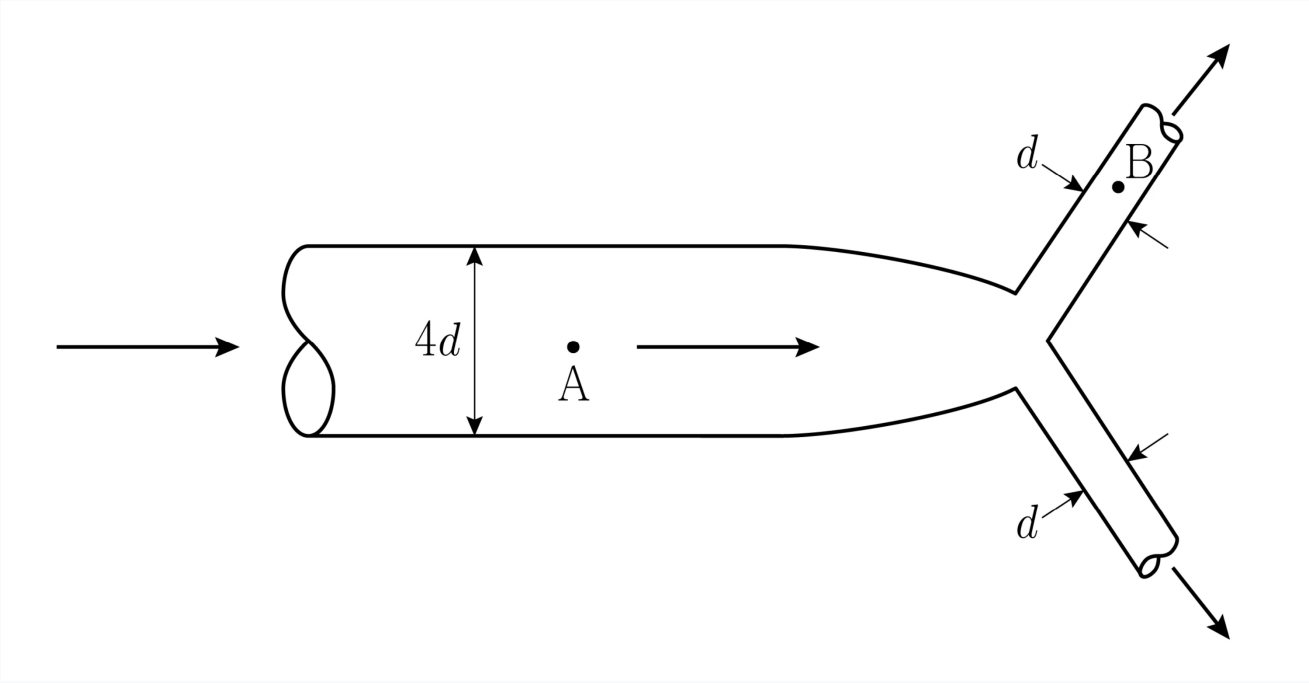
③ 몰 엔트로피: 엔트로피를 **물질량으로 나눈 양**이다. 엔트로피의 단위가 J/K이므로, 몰 엔트로피의 단위는 J/(mol · K)이다.

④ 볼츠만 상수와 아보가드로 상수의 곱: 볼츠만 상수의 단위는 J/K, 아보가드로 상수의 단위는 mol^{-1}이다. 두 상수를 곱하면 단위가 J/(mol · K)이 되며, 이 곱은 **기체 상수 R**과 같다.

②·③·④는 에너지를 물질량과 온도로 나눈 차원을 갖는다. ① 열용량만 에너지를 온도로 나눈 차원이므로 다른 세 양과 구별된다.

NoteBase

문 6. 그림과 같은 구조의 원형관 속에서 비압축성 유체의 흐름이 정상상태 층류이고, 직경이 d인 2개의 관 속 유체의 거동은 같다. 직경이 $4d$인 관의 중심지점 A를 지나는 유체의 질량속도가 2 kg s^{-1} m^{-2}일 때, 직경이 d인 관의 중심지점 B를 지나는 유체의 질량속도[kg s^{-1} m^{-2}]는? (단, 마찰손실은 무시한다)



① 1

② 4

③ 8

④ 16

정답 4번

간단한 해설

단면적은 지름의 제곱에 비례하고 질량유량은 두 갈래로 똑같이 나뉘므로, 작은 관의 평균 질량속도는 큰 관의 **8배**이다. 두 관에 같은 층류 속도분포를 적용하면 중심 질량속도도 8배가 되어 16 kg·s^{-1}·m^{-2}가 된다.

NoteBase

계산 과정

단면적비: 큰 관과 작은 관 하나의 단면적을 각각 S_A, S_B라 하면, 원의 넓이는 지름의 제곱에 비례하므로 $\frac{S_A}{S_B} = \frac{(4d)^2}{d^2} = 16$이다. 작은 관이 두 개이므로 출구의 전체 단면적은 큰 관 단면적의 1/8이다.

A에서의 평균 질량속도: 질량속도는 단위 면적당 질량유량으로, 국소 유속을 u, 밀도를 ρ라 하면 $G = \rho u$이다. 각 관에 완전히 발달한 원형관 층류의 포물선 속도분포를 적용하면 **중심속도는 단면 평균속도의 2배**이다. 비압축성 유체는 밀도가 일정하므로 질량속도도 같은 관계를 따른다. 따라서 A의 중심 질량속도가 2 $\mathrm{kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}}$일 때 큰 관의 평균 질량속도는 $\overline{G}_A = \frac{2}{2} = 1\ \mathrm{kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}}$이다.

작은 관 하나의 평균 질량속도: 정상상태에서는 유입 질량유량과 유출 질량유량의 합이 같다. 두 작은 관의 거동이 같으므로 각각 **유입 질량유량의 절반**을 운반한다. 단면 평균 질량속도에 단면적을 곱하면 질량유량이므로 $\overline{G}_A S_A = 2\overline{G}_B S_B$이다. 이에 따라 $\overline{G}_B = \frac{S_A}{2S_B}\overline{G}_A$이고, $\overline{G}_B = \frac{16}{2} \cdot 1 = 8\ \mathrm{kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}}$이다. 이 값은 작은 관의 중심값이 아니라 단면 전체의 평균값이다.

B에서의 중심 질량속도: 작은 관에서도 중심값은 평균값의 2배이므로 $G_B = 2\overline{G}_B$이다. 따라서 B의 질량속도는 $2 \times 8 = 16\ \mathrm{kg \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}}$이며, ④의 16에 해당한다.

NoteBase

문 7. 단면적이 일정한 원통형 수평관을 흐르는 유체에 Hagen-Poiseuille식이 적용될 때, 관의 반지름, 관의 길이, 압력차(ΔP)가 각각 2배로 커지면 부피 유량은 몇 배로 커지는가? (단, 유체의 점도는 일정하다)

① 2

② 4

③ 8

④ 16

정답 4번

간단한 해설

Hagen-Poiseuille식에서 부피 유량은 **반지름의 네제곱에 비례**한다. 압력차와 관 길이를 각각 2배로 늘린 효과는 서로 상쇄되므로, 부피 유량은 $2^4 = 16$배가 된다.

계산 과정

부피 유량 Q는 단위 시간에 관을 통과하는 유체의 부피이다. 문제에서 Hagen-Poiseuille식이 적용된다고 했으므로 $Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8\mu L}$을 사용한다. 여기서 r은 관의 반지름, L은 관의 길이, ΔP는 관 양 끝의 압력차, μ는 유체의 점도이다. 따라서 점도가 일정하면 유량은 반지름의 네제곱과 압력차에 비례하고, 관 길이에 반비례한다.

변화 전후의 유량을 각각 Q_1, Q_2라 하자. 반지름이 2배가 되면 유량은 $2^4 = 16$배, 압력차가 2배가 되면 2배, 관 길이가 2배가 되면 1/2배가 된다. 특히 **압력차 증가와 관 길이 증가의 효과는 서로 상쇄**된다. 세 변화의 효과를 함께 반영하면 $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{2^4 \cdot 2}{2} = 16$이다.

부피 유량은 처음의 16배가 되므로 ④의 16에 해당한다. 구하는 것은 유량 자체가 아니라 유량의 비이므로 단위는 없다.

NoteBase

문 8. 유체의 열확산계수(thermal diffusivity)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① m^2s^{-1}을 단위로 사용할 수 있다.

② 유체의 열전도도, 밀도, 점도를 이용하여 계산할 수 있다.

③ 다른 조건이 같을 때, 유체의 밀도가 클수록 열확산계수는 더 작다.

④ 유체 운동이 없을 때의 열확산식(heat diffusion equation)에서 계수로 사용된다.

정답 2번

간단한 해설

열확산계수는 열전도도를 밀도와 **정압비열**의 곱으로 나눈 값이다. 따라서 ②의 '점도'는 '정압비열'로 고쳐야 한다.

선지별 해설

열확산계수 α는 물질 내부에서 온도 차이가 열전도로 얼마나 빠르게 완화되는지를 나타내며, $\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$로 정의한다. 여기서 k는 열전도도, ρ는 밀도, c_p는 단위 질량당 정압비열이다. 분모 ρc_p는 단위 부피의 온도를 1 K 높이는 데 필요한 열량인 '단위 부피당 열용량'이다.

① O: 열전도도의 단위는 W/(m·K), 단위 부피당 열용량의 단위는 J/(m^3·K)이다. 1 W = 1 J/s이므로 둘을 나눈 열확산계수의 단위는 m^2/s가 된다.

② X: 열확산계수는 열전도도, 밀도, **정압비열**로 계산한다. 점도는 유체가 흐를 때 변형에 저항하는 성질을 나타내며, 열확산계수의 정의식에는 들어가지 않는다. 따라서 '열전도도, 밀도, 점도'를 '열전도도, 밀도, 정압비열'로 고친다.

③ O: 열전도도와 정압비열이 일정하면 열확산계수는 **밀도에 반비례**한다. 밀도가 커지면 같은 부피의 온도를 높이는 데 더 많은 열량이 필요하므로, 같은 열전도도에서도 온도 차이가 완화되는 속도가 느려진다.

④ O: 유체 운동이 없으면 유동에 의한 열수송 없이 열전도로 온도 분포가 변한다. 물성이 일정하고 내부 발열이 없을 때 열확산식은 $\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \nabla^2 T$이며, **열확산계수가 공간적 온도 분포와 시간적 온도 변화를 연결하는 계수**로 쓰인다. 여기서 T는 온도, t는 시간이다.

NoteBase

문 9. 단면적 0.1 m^2, 길이 2 m의 원형 칼럼(column) 내부에 밀도 1,000 kg m^{-3}인 흡착제 A와 밀도 2,500 kg m^{-3}인 흡착제 B를 각각 1 m씩 충진하였다. 흡착제 A와 B의 질량이 각각 60 kg과 50 kg일 때, 전체 칼럼 내부의 공극률(voidage)[%]은? (단, 흡착제 A와 B는 서로 섞이지 않는다)

① 30

② 40

③ 50

④ 60

정답 4번

간단한 해설

공극률은 전체 칼럼 부피 중 **흡착제가 차지하지 않는 빈 공간의 비율**이다. 전체 부피 0.2 m^3에서 두 흡착제의 부피 합계 0.08 m^3를 빼면 빈 공간은 0.12 m^3이므로 공극률은 60%이다.

계산 과정

전체 칼럼 부피: 공극률은 충전층 전체 부피 중 빈 공간이 차지하는 비율이다. A와 B가 서로 섞이지 않고 각각 1 m씩 충전되어 있으므로 전체 충전 길이는 2 m이다. 단면적이 0.1 m^2이므로 전체 부피는 $0.1 \times 2 = 0.2\ m^3$이다.

흡착제 A의 부피: 밀도는 단위 부피당 질량이므로 **질량을 밀도로 나누면 흡착제 자체의 부피**를 구할 수 있다. A의 질량은 60 kg, 밀도는 1,000 kg/m^3이므로 $V_A = \frac{60}{1,000} = 0.06 m^3$이다.

흡착제 B의 부피: B의 질량은 50 kg, 밀도는 2,500 kg/m^3이므로 $V_B = \frac{50}{2,500} = 0.02 m^3$이다. 따라서 두 흡착제 자체의 부피 합계는 0.06 + 0.02 = 0.08 m^3이다.

빈 공간의 부피: 칼럼 전체 부피에서 흡착제 자체의 부피를 빼면 된다. 따라서 빈 공간은 0.2 − 0.08 = 0.12 m^3이다.

전체 공극률: 빈 공간의 부피를 **전체 칼럼 부피**로 나눈 뒤 백분율로 나타낸다. 따라서 $\varepsilon = \frac{0.12}{0.2} \times 100 = 60\%$이며, 이는 ④의 60에 해당한다.

NoteBase

문 10. 지열을 이용하는 카르노 열펌프(Carnot heat pump)로 온실을 난방하고 있다. 지열의 열원 온도가 280 K이고 온실의 열손실이 6 kW일 때, 온실 온도를 300 K으로 유지하기 위해 열펌프를 가동하는 데 필요한 최소 동력의 양[W]은?

① 375

② 400

③ 425

④ 450

정답 2번

간단한 해설

카르노 열펌프의 난방 성능계수는 15이므로, 온실의 열손실 6 kW를 보충하는 데 필요한 최소 동력은 **400 W**이다.

계산 과정

온실 온도를 일정하게 유지하려면 **열손실과 같은 속도로 열을 공급**해야 한다. 따라서 열펌프가 온실에 공급하는 열량률은 $\dot{Q}_H = 6\text{kW} = 6000\text{W}$이다. 고온부인 온실의 온도는 $T_H = 300\text{K}$, 저온부인 지열 열원의 온도는 $T_L = 280\text{K}$이다.

난방 성능계수는 투입 동력에 대한 고온부 공급 열량률의 비로, $\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}}$이다. 카르노 열펌프는 두 열원 사이에서 가역적으로 작동하므로 **주어진 온도에서 성능계수가 최대**가 되어 필요한 동력이 최소가 된다. 절대온도를 사용하면 $\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$이고, 수치를 대입하면 $\frac{300}{300-280} = 15$이다. 이는 동력 1 W를 투입할 때 온실에 열을 15 W의 비율로 공급한다는 뜻이다.

필요한 최소 동력은 공급 열량률을 성능계수로 나누어 구한다. $\dot{W}_{\min} = \frac{\dot{Q}_H}{\text{COP}_{\text{HP}}}$에 대입하면 $\dot{W}_{\min} = \frac{6000}{15} = 400\text{W}$이다. 따라서 최소 동력은 400 W로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 11. 대형 개방 탱크 바닥에 연결된 2개의 소형 노즐 A, B를 통하여 물을 동시에 배출시킨다. 노즐 A의 단면적이 노즐 B의 단면적의 2배일 때, 노즐 출구의 유속[$\mathrm{ms^{-1}}$]과 유량[$\mathrm{m^3s^{-1}}$]에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 마찰손실은 무시한다)

① 노즐 A와 노즐 B의 출구 유속은 같다.

② 노즐 A와 노즐 B의 출구 유량은 같다.

③ 노즐 출구의 유속은 중력가속도와 무관하다.

④ 노즐 B의 출구 유속은 노즐 A의 출구 유속의 2배이다.

정답 1번

간단한 해설

두 노즐은 같은 수면에서 같은 높이 차로 물을 배출하므로 **출구 유속이 같다**. 마찰손실을 무시하면 유속은 단면적이 아니라 수면과 출구 사이의 높이 차로 결정된다.

선지별 해설

수면과 노즐 출구 사이의 높이 차를 h, 중력가속도를 g, 출구 유속을 v라 하자. 개방 탱크의 수면과 대기 중으로 배출되는 출구에는 모두 대기압이 작용한다. 대형 탱크에서는 수면의 하강 속도를 무시할 수 있고 마찰손실도 없으므로, 베르누이식은 $gh = \frac{v^2}{2}$가 된다. 따라서 출구 유속은 $v = \sqrt{2gh}$이며, 바닥에 연결된 두 노즐에는 같은 높이 차가 적용된다.

① O: 두 노즐의 높이 차와 중력가속도가 같으므로 $v_A = v_B = \sqrt{2gh}$이다. **단면적이 달라도 출구 유속은 같다**.

② X: 체적유량은 단위 시간에 통과하는 물의 부피로, 단면적 S와 유속의 곱인 $Q = Sv$이다. $S_A = 2S_B$이고 두 유속이 같으므로 $Q_A = 2Q_B$이다. 유량이 같은 것이 아니라 **A의 유량이 B의 2배**이다.

③ X: $v = \sqrt{2gh}$에 중력가속도가 포함되므로 출구 유속은 중력가속도와 무관하지 않다. 같은 높이 차에서는 **중력가속도의 제곱근에 비례**한다.

④ X: B의 단면적이 A의 절반이어도 B의 유속이 2배가 되지 않는다. 두 노즐은 하나의 관에서 이어지는 구간이 아니라 각각 물을 배출하는 출구이므로 **두 유량을 같게 놓을 수 없다**. 같은 높이 차로 결정되는 유속은 $v_B = v_A$이다.

NoteBase

문 12. 0.5 M의 $NaOH$ 용액 5 L를 완전히 중화하는 데 필요한 0.1 M H_2SO_4 용액의 부피[L]는?

① 5

② 12.5

③ 25

④ 37.5

정답 2번

간단한 해설

황산 1 mol은 수산화나트륨 **2 mol을 중화**한다. 수산화나트륨 2.5 mol에 필요한 황산은 1.25 mol이므로, 0.1 M 황산 용액은 12.5 L가 필요하다.

계산 과정

완전 중화 반응식은 $H_2SO_4 + 2NaOH \rightarrow Na_2SO_4 + 2H_2O$이다. 황산 한 분자가 내놓는 수소 이온 두 개가 수산화 이온 두 개와 반응하므로, **황산과 수산화나트륨의 반응 몰비는 1 : 2**이다.

몰농도 M은 용액 1 L에 들어 있는 용질의 몰수이다. 용질의 몰수를 n, 몰농도를 C, 용액 부피를 V라 하면 $n = CV$ 이므로, 0.5 M 수산화나트륨 용액 5 L에 들어 있는 수산화나트륨은 $0.5 \times 5 = 2.5$ mol이다.

필요한 황산의 몰수는 반응 몰비에 따라 $\frac{2.5}{2} = 1.25$mol이다. 이는 기존 용액 속 수산화나트륨을 남김없이 중화하는 데 필요한 **황산 자체의 양**이다.

0.1 M 황산 용액은 1 L당 황산 0.1 mol을 포함한다. 따라서 필요한 용액 부피는 $V = \frac{n}{C} = \frac{1.25}{0.1} = 12.5$L이며, ②의 12.5 L에 해당한다.

NoteBase

문 13. 화학공장 운영에 관한 비용추정에서 총생산비용을 제조비용과 일반경비로만 분류할 때, 일반경비에 해당하는 것은?

① 생산설비의 감가상각비

② 생산 제품의 운송 및 판매비용

③ 제품 생산을 위한 원료 구입비

④ 제품 생산을 위한 특허 사용료

정답 2번

간단한 해설

생산된 제품을 고객에게 운송하고 판매하는 비용은 **유통·판매 활동에 드는 일반경비**이다. 제품 자체를 만드는 데 드는 제조비용과 구분한다.

개념 구분

제조비용: 제품을 만드는 데 필요한 직접생산비, 고정비, 공장간접비 등을 포함한다. 원료 구입비는 생산에 투입되는 재료의 비용이고, 제품 생산을 위한 특허 사용료는 생산기술을 이용하는 대가이므로 직접생산비에 속한다. 생산설비의 감가상각비는 설비 취득원가를 사용기간에 걸쳐 배분한 비용으로, 제조비용 중 **고정비**에 포함된다.

일반경비: 기업의 관리, 제품의 유통·판매, 연구개발 등에 드는 비용이다. 생산 제품의 운송 및 판매비용은 완성된 제품을 고객에게 전달하고 판매하기 위한 **유통·판매비**이므로 일반경비에 해당한다. 여기서 운송 대상은 생산에 투입할 원료가 아니라 생산된 제품이다.

NoteBase

문 14. 피드백(feedback) 제어에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 비례(P) 제어기에서는 잔류편차(offset)가 존재한다.

② 비례－적분(PI) 제어기에서는 정상상태에서 잔류편차가 없어진다.

③ 비례－미분(PD) 제어기에서 미분 동작은 빠른 시간 내에 잔류편차를 제거한다.

④ 비례－적분－미분(PID) 제어기는 느린 제어 공정인 온도 및 농도 제어에 널리 이용된다.

정답 3번

간단한 해설

미분 동작은 편차의 변화 속도에 반응하므로, 편차가 일정해지면 더 이상 작용하지 않아 **잔류편차를 제거하지 못한다**. 잔류편차를 없애는 것은 편차를 시간에 따라 누적하는 **적분 동작**이다.

선지별 해설

① O: 잔류편차는 정상상태에서도 설정값과 측정값 사이에 남는 차이이다. P 제어기는 현재 편차에 비례하여 제어 출력을 바꾼다. 일반적인 자기조절 공정에서는 부하 변화 후 필요한 제어 출력을 유지하려면 **일정한 편차가 남아 있어야 하므로** 잔류편차가 발생한다. 비례이득을 높여 줄일 수는 있지만, 비례 동작만으로 완전히 없애기는 어렵다.

② O: PI 제어기의 적분 동작은 **편차를 시간에 따라 누적**한다. 따라서 작은 편차라도 계속 남아 있으면 제어 출력이 계속 변하여 이를 줄인다. 설정값과 부하가 일정하고, 제어 출력이 한계에 걸리지 않은 채 안정된 정상상태에 도달하면 편차는 0이 된다. 이때 적분 동작이 누적해 둔 값은 유지되므로, 편차가 없어도 필요한 제어 출력을 유지할 수 있다.

③ X: 미분 동작은 편차의 크기가 아니라 **편차의 변화 속도**에 반응한다. 정상상태에서는 잔류편차가 남아 있어도 편차의 변화 속도는 0이므로 미분 동작의 기여도 0이 된다. 따라서 PD 제어기의 미분 동작은 응답 중의 진동과 과도한 변화를 억제하는 데 도움을 주지만, 잔류편차를 제거하지는 못한다. 선지의 '잔류편차를 제거한다'는 역할은 미분 동작이 아니라 **적분 동작**에 해당한다.

④ O: 온도와 농도는 열이나 물질이 축적되고 전달되는 데 시간이 걸려 응답이 느린 경우가 많다. PID 제어기는 비례 동작으로 현재 편차에 대응하고, 적분 동작으로 잔류편차를 없애며, 미분 동작으로 변화 추세에 대응하여 **과도한 응답과 진동을 억제**한다. 이 세 동작을 적절히 조정하여 응답성과 안정성을 함께 확보할 수 있어 온도 및 농도 제어에 널리 이용된다.

NoteBase

문 15. 단일 성분의 다상계 평형(multiphase equilibrium)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 삼중점에서 자유도는 0이다.

② 기체는 임계온도 이상에서 응축될 수 있다.

③ 이슬점에서 온도가 내려가면 평형 상태의 증기가 응축된다.

④ 순수한 성분의 증기와 액체가 평형 상태일 때의 압력이 증기압이다.

정답 2번

간단한 해설

임계온도보다 높은 온도에서는 **압력을 높여도 기체를 액체로 응축시킬 수 없다**. 압축에 의해 액화하려면 먼저 온도를 임계온도보다 낮춰야 한다.

선지별 해설

① O: 자유도는 상평형을 유지하면서 독립적으로 바꿀 수 있는 상태변수의 수이다. 화학반응이 없는 계의 깁스 상률은 $F = C - P + 2$이며, C는 성분 수, P는 상의 수이다. 단일 성분의 삼중점에서는 C = 1, P = 3이므로 F = 1 − 3 + 2 = 0이다. 따라서 세 상이 공존하려면 **온도와 압력이 모두 정해져 있어야 한다**.

② X: 임계온도는 액체와 증기가 서로 구별되는 두 상으로 공존할 수 있는 최고 온도이다. **임계온도보다 높은 온도에서는 압력을 높여도 액체로 응축되지 않는다**. 따라서 '임계온도 이상에서 응축될 수 있다'는 표현은 '임계온도보다 낮은 온도에서 적절히 압력을 높이면 응축될 수 있다'로 고쳐야 한다.

③ O: 이슬점은 주어진 압력에서 증기가 포화되어 액체가 생기기 시작하는 온도이다. 이슬점에 도달한 증기에서 열을 더 제거하면 **증기의 일부가 액체로 응축**된다. 이는 냉각으로 기체 상태를 유지할 수 있는 한계에 도달했기 때문이다.

④ O: 순수한 성분의 액체와 증기가 평형을 이루면 액체의 증발 속도와 증기의 응축 속도가 같아진다. 이때 **그 온도에서 평형 증기가 나타내는 압력**이 증기압, 즉 포화증기압이다.

NoteBase

문 16. 상대 습도에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 포화 습도에 대한 절대 습도의 비이다.

② 수증기로 포화된 공기의 절대 습도를 의미한다.

③ 수증기의 포화 증기압에 대한 수증기 분압의 비이다.

④ 건조 기체 1 kg에 동반되는 수증기의 질량을 kg수로 나타낸 것이다.

정답 3번

간단한 해설

상대 습도는 **같은 온도의 포화 증기압에 대한 실제 수증기 분압의 비**이다. 절대 습도를 포화 습도로 나눈 비와 구분해야 한다.

개념 구분

상대 습도: 공기 중 실제 수증기 분압을 p_v, 같은 온도에서 물의 포화 증기압을 p_{sat}라 하면, 상대 습도는 $\phi = \frac{p_v}{p_{\text{sat}}}$ 이다. 백분율로 나타낼 때는 이 비에 100을 곱한다. **현재의 수증기 분압을 같은 온도의 포화 상태와 비교**하므로 ③의 설명에 해당한다.

절대 습도와 포화 습도: 이 문제에서 절대 습도는 건조 기체 1 kg에 동반된 수증기의 질량을 kg으로 나타낸 값으로, ④가 이에 해당한다. 포화 습도는 주어진 온도와 압력에서 수증기로 포화된 공기의 절대 습도이므로 ②의 설명에 해당한다. 두 개념은 수증기의 양을 **건조 기체의 질량 기준**으로 나타낸다.

포화도와의 구분: ①처럼 실제 절대 습도를 같은 온도·압력의 포화 습도로 나눈 값은 포화도이며, 여기에 100을 곱하면 백분율 습도가 된다. 상대 습도는 **압력의 비**, 포화도는 **절대 습도의 비**라는 점에서 구별된다.

NoteBase

문 17. 단일 유체가 원통형 관 내부에서 난류(turbulent flow)로 흐를 때, 벽(wall) 근처와 난류중심(turbulent core)에서의 속도구배와 온도구배에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 속도구배와 온도구배는 벽 근처보다 난류중심에서 더 작다.

② 속도구배와 온도구배는 벽 근처보다 난류중심에서 더 크다.

③ 속도구배는 벽 근처보다 난류중심에서 더 크며, 온도구배는 벽 근처보다 난류중심에서 더 작다.

④ 속도구배는 벽 근처보다 난류중심에서 더 작으며, 온도구배는 벽 근처보다 난류중심에서 더 크다.

정답 1번

간단한 해설

난류중심에서는 활발한 혼합으로 속도와 온도 분포가 고르게 되므로 **속도구배와 온도구배가 모두 벽 근처보다 작다**. 벽 가까이에서는 난류 혼합이 억제되어 좁은 영역에서 속도와 온도가 급격히 변한다.

핵심 풀이

여기서 구배는 관의 반지름 방향으로 이동할 때 평균 속도나 평균 온도가 얼마나 급하게 변하는지를 뜻하며, 그 크기를 비교한다. 난류의 시간적 요동이 크다는 것과 공간적인 평균 구배가 크다는 것은 다르다.

속도구배: 정지한 관 벽에서는 점착 조건에 따라 유체의 속도가 0이다. 벽 바로 근처에서는 난류 혼합이 억제되고 점성 작용이 지배하므로, 벽에서 조금만 떨어져도 속도가 빠르게 증가한다. 반면 난류중심에서는 와류가 운동량을 활발히 교환하여 평균 속도 분포를 평탄하게 만든다. 따라서 **속도 자체가 큰 중심부에서도 속도구배는 작다**.

온도구배: 벽과 유체 사이에 열전달이 일어날 때, 벽 가까이에서는 난류 혼합이 억제되어 열이 주로 분자 전도로 전달되므로 온도 변화가 벽 부근에 집중된다. 난류중심에서는 유체의 혼합으로 열이 활발히 전달되어 평균 온도가 비교적 고르게 된다. 따라서 온도구배도 벽 근처보다 난류중심에서 작다.

속도구배와 온도구배는 모두 난류중심에서 더 작다. 난류 혼합이 활발하다는 사실을 두 구배가 더 크다는 뜻으로 해석하면 안 된다.

NoteBase

문 18. Stokes 법칙이 적용되는 밀도 1 kg m^{-3}, 점도 2×10^{-5} kg m^{-1} s^{-1}의 유체 내 구형 단일입자가 중력에 의해 자유침강(free settling)하고 있다. 구형입자의 종말속도는 2×10^{-3} m s^{-1}이고 항력계수(drag coefficient)가 1,000일 때, 입자의 지름[mm]은?

① 0.24

② 0.48

③ 2.4

④ 4.8

정답 1번

간단한 해설

Stokes 법칙이 적용되는 구형입자는 **항력계수와 입자 레이놀즈수** 사이에 $C_D=\frac{24}{\mathrm{Re}}$의 관계가 성립한다. 주어진 항력계수로 구한 레이놀즈수는 0.024이며, 이를 종말속도·유체 밀도·점도와 연결하면 입자 지름은 0.24 mm이다.

계산 과정

입자 지름을 d, 유체 밀도를 ρ, 점도를 μ, 종말속도를 u_t라 한다. 자유침강은 다른 입자의 간섭 없이 입자가 가라앉는 경우이며, 여기서는 종말속도를 유체에 대한 입자의 상대속도로 사용한다. 주어진 값은 $\rho=1\mathrm{kgm^{-3}}$, $\mu=2\times10^{-5}\mathrm{kgm^{-1}s^{-1}}$, $u_t=2\times10^{-3}\mathrm{ms^{-1}}$, $C_D=1{,}000$이다.

Stokes 법칙이 적용되는 구형입자에는 $C_D=\frac{24}{\mathrm{Re}}$를 쓸 수 있다. 따라서 $\mathrm{Re}=\frac{24}{1{,}000}=0.024$이다. 이 값은 관성력에 비해 **점성력의 영향이 큰 흐름**임을 나타내며, 문제의 Stokes 법칙 적용 조건과도 일치한다.

입자 레이놀즈수는 **입자 지름을 기준 길이**로 하여 $\mathrm{Re}=\frac{\rho u_t d}{\mu}$로 정의한다. 이를 지름에 대해 정리하면 $d=\frac{\mathrm{Re}\mu}{\rho u_t}$이다. 수치를 SI 단위로 대입하면 다음과 같다.

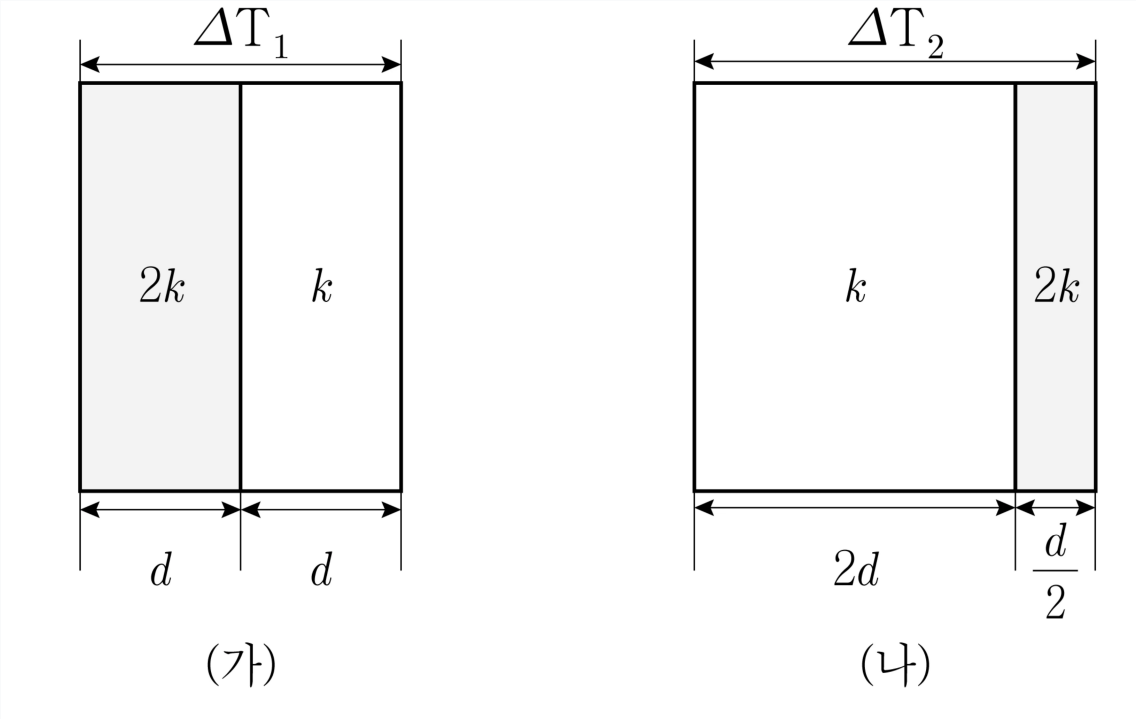
$d=\frac{0.024\times2\times10^{-5}}{1\times2\times10^{-3}}\mathrm{m}$

$d=2.4\times10^{-4}\mathrm{m}$

1 m = 1,000 mm이므로 입자 지름은 0.24 mm이다. 이는 ①의 0.24에 해당한다.

NoteBase

문 19. 그림 (가), (나)와 같이 2개의 단열재가 직렬로 연결된 평면 벽을 통한 정상상태 열전도가 있다. (가)와 (나)에서 벽의 두께 방향으로의 열흐름속도 및 열흐름면적이 같을 때, (가)의 온도구배 ΔT_1과 (나)의 온도구배 ΔT_2의 비($\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}$)는? (단, d와 k는 각각 임의의 벽 두께와 열전도도 값이다)



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

정답 3번

간단한 해설

열흐름속도가 같으면 벽 양끝의 온도차는 **직렬 전도 열저항의 합에 비례**한다. (가)와 (나)의 열저항이 각각 $\frac{3d}{2kA}$, $\frac{9d}{4kA}$이므로 온도차의 비는 $\frac{2}{3}$이다.

NoteBase

계산 과정

그림의 ΔT_1, ΔT_2는 각 복합벽 양끝의 온도차이다. 공통 열흐름속도를 $\dot{Q}$, 공통 열흐름면적을 A라 하자. 두께 L, 열전도도 K인 평면 층의 전도 열저항은 $R = \frac{L}{KA}$이고, Fourier 법칙에 따라 온도차의 크기는 $\Delta T = \dot{Q}R$이다. 정상상태에서 직렬로 연결된 각 층을 지나는 열흐름속도는 같으므로, 전체 온도차는 각 층의 온도차를 더하여 구한다. 따라서 **직렬 열저항은 각 층의 열저항을 합산**한다.

(가): 왼쪽 층은 두께 d, 열전도도 2k이고 오른쪽 층은 두께 d, 열전도도 k이다. 전체 열저항은 $R_1 = \frac{d}{2kA} + \frac{d}{kA} = \frac{3d}{2kA}$이다.

(나): 왼쪽 층은 두께 2d, 열전도도 k이고 오른쪽 층은 두께 $\frac{d}{2}$, 열전도도 2k이다. 오른쪽 층의 열저항은 $\frac{d}{4kA}$이므로, 전체 열저항은 $R_2 = \frac{2d}{kA} + \frac{d}{4kA} = \frac{9d}{4kA}$이다.

온도차의 비: 두 벽의 **열흐름속도가 같으므로** $\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2} = \frac{R_1}{R_2}$이다. 공통 인자 $\frac{d}{kA}$를 약분하면 $\frac{R_1}{R_2} = \frac{3}{2} \cdot \frac{4}{9} = \frac{2}{3}$이다. 온도차끼리의 비이므로 단위가 없으며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 20. 비반응속도가 $1\ \mathrm{h^{-1}}$인 1차 비가역 액상반응 $A \rightarrow B$가 일어나는 연속교반 탱크 반응기(CSTR)를 등온의 정상상태에서 4 h의 공간시간으로 운전하고 있다. 기존 반응기와 같은 전환율을 얻을 수 있는 신규 CSTR을 설계할 때 새로운 촉매를 사용하여 비반응속도를 $2.5\ \mathrm{h^{-1}}$로 증가시켰다면, 기존 반응기 대비 신규 반응기의 부피 비는? (단, 반응물, 공급 유량, 운전 온도는 기존 반응기와 신규 반응기에서 같다)

① 0.4

② 0.5

③ 0.6

④ 0.7

정답 1번

간단한 해설

같은 전환율을 유지하는 1차 반응 CSTR에서는 비반응속도와 공간시간의 곱이 일정하다. 공급 유량도 같으므로 반응기 부피는 **비반응속도에 반비례**하며, 신규 반응기의 부피는 기존의 0.4배이다.

계산 과정

1. CSTR 설계식: 전환율을 X, 비반응속도를 k, 공급 체적 유량을 v_0, 반응기 부피를 V라 하면 공간시간은 $\tau = \frac{V}{v_0}$이다. 액상반응의 체적 유량을 일정하게 두고, 공급 농도를 C_{A0}, 반응기 내 농도를 C_A라 한다. CSTR은 완전혼합되므로 **반응기 내 농도와 출구 농도가 같다**. 정상상태에서 A의 유입량과 유출량의 차이는 반응에 의한 소모량과 같아 $v_0(C_{A0} - C_A) = VkC_A$이다. 여기에 $C_A = C_{A0}(1 - X)$를 대입하면 $k\tau = \frac{X}{1-X}$를 얻는다.

2. 기존 전환율: 기존 반응기를 아래첨자 1로 나타내면 $k_1 = 1\ \mathrm{h^{-1}}$, $\tau_1 = 4\ \mathrm{h}$이므로 $k_1\tau_1 = 4$이다. 설계식을 전환율에 대해 정리하면 $X = \frac{k_1\tau_1}{1 + k_1\tau_1}$이고, $X = \frac{4}{1+4} = 0.8$이다. 즉, 공급된 A의 80%가 반응하는 조건을 신규 반응기에서도 유지해야 한다.

3. 신규 공간시간: 신규 반응기를 아래첨자 2로 나타낸다. 두 반응기의 전환율이 같으면 $\frac{X}{1-X}$가 같으므로 **비반응속도와 공간시간의 곱이 일정**하다. 따라서 $k_2\tau_2 = k_1\tau_1 = 4$이다. $k_2 = 2.5\ \mathrm{h^{-1}}$를 적용하면 $\tau_2 = \frac{4}{2.5} = 1.6\ \mathrm{h}$이다. 촉매로 반응이 빨라져 같은 전환율에 필요한 공간시간이 4 h에서 1.6 h로 줄어든다.

4. 부피 비: 공급 체적 유량이 같고 $V = v_0\tau$이므로 부피 비는 공간시간의 비와 같다. $\frac{V_2}{V_1} = \frac{\tau_2}{\tau_1} = \frac{1.6}{4} = 0.4$이다. 따라서 신규 반응기의 부피는 기존의 40%이며, 이는 ①의 0.4에 해당한다. 부피끼리의 비이므로 단위는 없다.

NoteBase