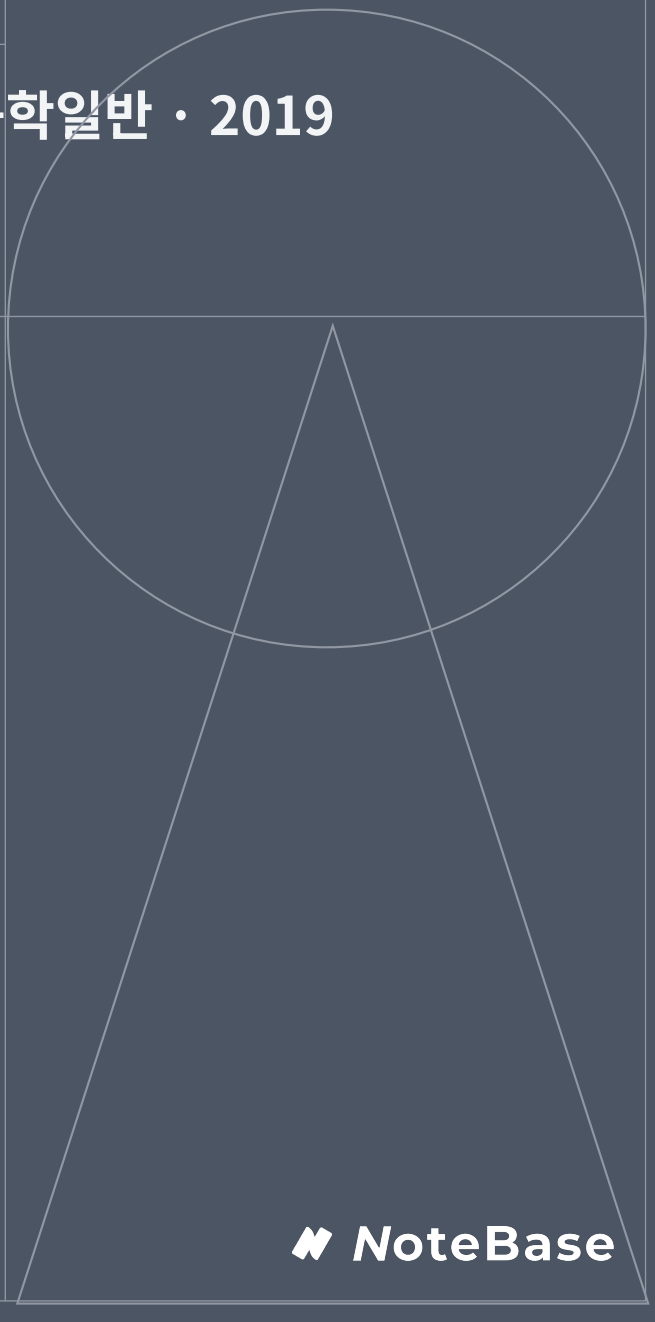
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2019



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2019

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2019

문 1. 파스칼(Pa)과 같은 압력 단위는?

① $\frac{kg}{m \cdot s^2}$
② $\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
③ $\frac{kg \cdot m^2}{s^3}$
④ $\frac{kg \cdot m}{s^2}$

정답 1번

간단한 해설

압력은 **단위 면적당 수직으로 작용하는 힘**이므로 $1Pa = 1N/m^2$이다. 힘의 단위를 기본단위로 풀면 압력 단위는 $\frac{kg}{m \cdot s^2}$이 된다.

공통 해설

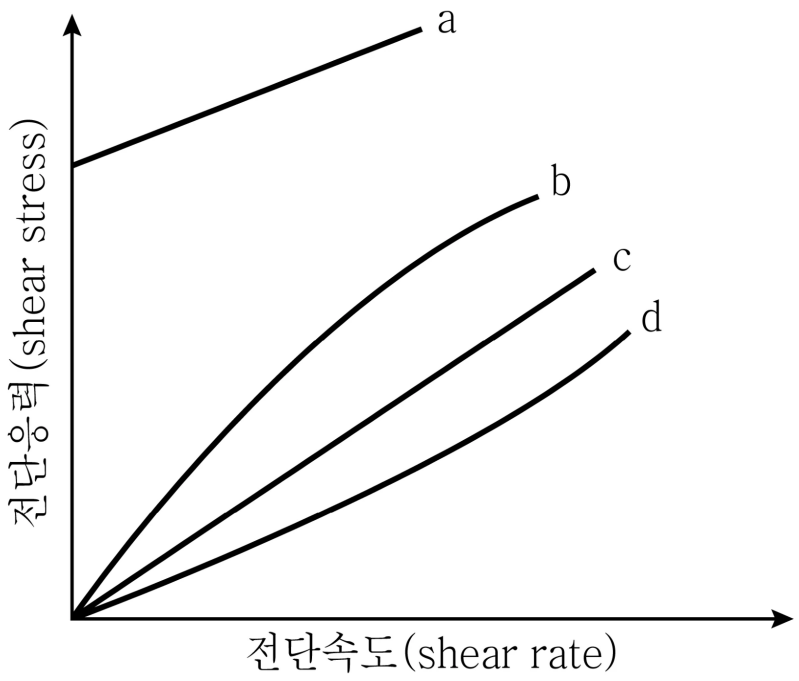
압력은 면에 수직으로 작용하는 힘을 그 힘이 작용하는 면적으로 나눈 물리량이다. 따라서 파스칼은 $1Pa = 1N/m^2$로 정의된다.

힘은 질량과 가속도의 곱이므로 $1N = 1kg \cdot m/s^2$이다. 이를 면적 단위로 나누면 $\frac{N}{m^2} = \frac{kg \cdot m}{s^2 \cdot m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$이 된다. 힘의 단위에 포함된 m을 면적 단위와 약분하므로 **길이 단위 m이 분모에 하나 남는다**.

즉 압력의 기본단위 표현은 $\frac{kg}{m \cdot s^2}$이다. 질량·길이·시간의 지수가 각각 1, −1, −2여야 파스칼과 같은 단위이며, 이 중 하나라도 다르면 압력 단위가 아니다.

NoteBase

문 2. 다음 그래프는 등온 정압 조건에서 유체의 전단속도(shear rate)와 전단응력(shear stress)의 관계를 나타낸다. 4가지 유형(a ~ d) 중 유사가소성 유체(pseudoplastic fluid)는?



① a

② b

③ c

④ d

정답 2번

간단한 해설

유사가소성 유체는 전단속도가 커질수록 **겉보기 점도가 감소**한다. 그래프의 b는 원점에서 출발하여 오른쪽으로 갈수록 완만해지는 곡선으로, 이러한 전단박화 특성을 나타낸다.

NoteBase

도식 해설

가로축은 전단속도, 세로축은 전단응력이다. 겉보기 점도는 전단응력을 전단속도로 나눈 값인 $\eta_{app} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$이며, 그래프에서는 원점과 곡선 위의 한 점을 잇는 직선의 기울기에 해당한다.

b: 원점에서 시작하고 전단속도가 증가할수록 곡선이 완만해진다. 원점과 곡선 위의 점을 잇는 직선의 기울기도 작아지므로 **전단속도가 증가할수록 겉보기 점도가 감소**한다. 이것이 유사가소성 유체의 전단박화 특성이다.

a: 전단응력축의 양의 절편에서 시작하는 직선이다. 흐름을 일으키려면 먼저 **항복응력을 넘어야** 하며, 그 이후에는 전단응력이 전단속도에 따라 직선적으로 증가하는 빙엄 소성 유체를 나타낸다.

c: 원점을 지나는 직선이므로 전단응력이 전단속도에 비례한다. 두 값의 비인 **점도가 일정**한 뉴턴 유체이다.

d: 원점에서 시작하여 오른쪽으로 갈수록 가팔라지는 곡선이다. 전단속도가 증가할수록 **겉보기 점도가 증가**하는 전단농화 특성을 보이므로 팽창성 유체이다.

NoteBase

문 3. 화학공장의 경제성 평가와 관련한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 감가상각(depreciation)은 자산의 원가를 내용연수 동안 합리적이고 체계적인 방법으로 배분하는 과정이다.

② 정액법은 매 회계기간에 동일한 금액을 상각하는 감가상각 방법이다.

③ 투자자본수익률(Return on Investment)은 초기 투자비용 대비 매년 지출하는 비용의 비율이다.

④ 운전비용은 장치를 운전하고 공정을 운영하는 데 들어가는 비용으로 원료비, 유지보수 비용 등을 포함한다.

정답 3번

간단한 해설

투자자본수익률은 투자한 자본에 대한 **연간 이익의 비율**이다. ③의 '매년 지출하는 비용'은 투자로 얻는 이익으로 고쳐야 한다.

선지별 해설

① O: 감가상각은 자산의 취득원가 중 잔존가치를 제외한 금액을 **내용연수 동안 비용으로 배분**하는 과정이다. 자산을 여러 기간에 걸쳐 사용하는 만큼 그 원가도 합리적이고 체계적인 방법으로 나누어 인식한다.

② O: 정액법은 감가상각대상금액을 내용연수에 걸쳐 균등하게 배분하므로 **매 회계기간의 감가상각비가 일정**하다. 취득원가에서 잔존가치를 뺀 금액을 내용연수로 나누어 연간 감가상각비를 구한다.

③ X: 투자자본수익률은 투자한 자본에 비해 매년 얼마의 이익을 얻는지를 나타낸다. 따라서 분자는 '매년 지출하는 비용'이 아니라 **연간 이익**이어야 한다. 비용은 수익에서 차감하여 이익을 산정하는 항목이므로, 비용 자체를 투자비용으로 나눈 비율은 투자자본수익률의 정의에 맞지 않는다.

④ O: 운전비용은 장치를 가동하고 공정을 운영하는 데 필요한 비용이다. 생산에 투입하는 **원료비와 설비를 유지하는 유지보수 비용**이 포함되며, 운전에 필요한 인건비와 동력비 등도 해당한다.

NoteBase

문 4. 어느 한 온도에서 기체분자가 고체표면에 흡착될 때, 압력에 따른 흡착분율(fractional coverage)의 변화를 흡착 등온식(adsorption isotherm)이라 한다. 다음 가정에 의해 얻어진 흡착 등온식은?

◯ 표면이 단분자층으로 덮이면 더 이상 흡착되지 않는다.
◯ 모든 흡착 자리는 동등하고 표면은 균일하다.
◯ 흡착된 분자들 사이에는 어떠한 상호작용도 없으므로 분자의 어떠한 자리에 흡착되는 능력은 이웃 자리들의 점유와 무관하다.

① Langmuir 등온식
② BET 등온식
③ Temkin 등온식
④ Freundlich 등온식

정답 1번

간단한 해설

단분자층 흡착, 동등한 흡착 자리, 흡착 분자 사이의 상호작용 부재는 Langmuir 등온식의 기본 가정이다. 표면의 모든 자리가 채워지면 더 이상의 층은 형성되지 않는다.

공통 해설

Langmuir 등온식은 일정한 온도에서 **균일한 표면에 단분자층으로 흡착**되는 경우를 설명하는 모형이다. 각 흡착 자리는 분자 하나만 수용하며, 이미 흡착된 분자 위에 다른 분자가 쌓이는 다층 흡착은 허용하지 않는다. 따라서 모든 자리가 차면 흡착량은 포화된다.

모든 흡착 자리가 동등하다는 것은 자리마다 흡착 에너지가 같다는 뜻이다. 또한 흡착된 분자 사이의 상호작용을 무시하므로, 어떤 빈자리에 분자가 흡착되는 성향은 **이웃 자리의 점유 여부와 무관**하다. 이 세 조건을 함께 적용하여 얻는 것이 Langmuir 등온식이다.

NoteBase

문 5. 글루코오스($C_6H_{12}O_6$) 1몰의 완전연소 반응에 필요한 산소(O_2)의 몰수와 생성되는 이산화탄소(CO_2)의 몰수[mol]는?

① O_2: 3, CO_2: 3
② O_2: 3, CO_2: 6
③ O_2: 6, CO_2: 3
④ O_2: 6, CO_2: 6

정답 4번

간단한 해설

글루코오스의 탄소 6개는 모두 이산화탄소가 되므로 1 mol에서 **이산화탄소 6 mol**이 생성된다. 산소량은 물 생성까지 고려하고 **글루코오스 자체에 들어 있는 산소도 포함**해 맞추면, 산소 분자 6 mol이 필요하다.

계산 과정

탄소 수지: 글루코오스 1 mol이 완전연소하면 탄소는 이산화탄소로, 수소는 물로 바뀐다. 글루코오스 한 분자에 탄소 원자가 6개 있고 이산화탄소 한 분자에는 1개 있으므로, 탄소 원자 수 보존에 따라 이산화탄소는 6 mol 생성된다.

수소 수지: 글루코오스 한 분자의 수소 원자 12개는 물 한 분자당 2개씩 들어간다. 따라서 글루코오스 1 mol에서 생성되는 물은 $\frac{12}{2} = 6$ mol이다. 이 물에 포함되는 산소도 필요한 산소량을 구할 때 함께 세어야 한다.

산소 수지: 이산화탄소 6 mol에 들어 있는 산소 원자는 $6 \times 2 = 12$ mol이고, 물 6 mol에는 6 mol이 들어 있으므로 생성물의 산소 원자는 총 18 mol이다. 이 중 **6 mol은 글루코오스 자체가 공급**하므로 외부에서 공급할 산소 원자는 $18 - 6 = 12$ mol이다. 산소 분자 O_2는 한 분자당 산소 원자가 2개이므로 필요한 산소 분자의 양은 $\frac{12}{2} = 6$ mol이다.

몰수의 대응: 반응에 참여하는 글루코오스, 소비되는 산소, 생성되는 이산화탄소의 몰수비는 1 : 6 : 6이다. 따라서 글루코오스 1 mol의 완전연소에 필요한 O_2는 6 mol, 생성되는 CO_2는 6 mol이며, ④의 수치와 일치한다.

NoteBase

문 6. 비압축성 뉴튼 유체(Newtonian fluid)에 적용되는 나비에－스토크스(Navier－Stokes) 식에 포함되지 않는 항은?

① 위치에 따른 압력 변화

② 시간에 따른 전단응력 변화

③ 유체에 가해지는 중력

④ 시간에 따른 운동량 변화

정답 2번

간단한 해설

나비에–스토크스 식에서 전단응력은 **공간적 변화율**을 통해 점성력에 반영된다. 전단응력의 시간 변화율을 별도의 항으로 포함하지 않는다.

공통 해설

나비에–스토크스 식은 유체에 작용하는 힘과 운동량의 변화율을 연결하는 운동량 보존식이다. 중력을 체적력으로 고려하면 $\rho\frac{D\mathbf{v}}{Dt} = -\nabla p + \nabla\cdot\boldsymbol{\tau} + \rho\mathbf{g}$로 나타낼 수 있다. 여기서 ρ는 밀도, v는 속도 벡터, p는 압력, τ는 점성응력 텐서, g는 중력가속도 벡터이다.

압력항 $-\nabla p$는 위치에 따른 압력 변화가 만드는 힘이고, $\rho\mathbf{g}$는 단위 부피의 유체에 작용하는 중력이다. 좌변의 물질미분은 유체 입자를 따라가며 본 운동량의 변화율을 나타내며, 한 위치에서 시간에 따라 속도가 달라지는 효과와 이동하면서 속도가 달라지는 효과를 함께 포함한다. 따라서 시간에 따른 운동량 변화도 식에 포함된다. **비압축성은 정상유동을 뜻하지 않으므로** 비압축성 유체에서도 속도가 시간에 따라 변할 수 있다.

점성력항 $\nabla\cdot\boldsymbol{\tau}$는 점성응력의 공간적 변화율을 나타낸다. 유체 요소의 서로 마주 보는 면에 작용하는 응력이 다르면 순힘이 생기기 때문이다. 뉴튼 유체의 점성응력은 그 순간의 변형률속도, 즉 속도의 공간적 기울기와 선형 관계를 이룬다. 전단응력 자체가 시간에 따라 달라질 수는 있지만, 식에 들어가는 것은 **전단응력의 시간 변화율이 아니라 공간적 변화율**이다.

NoteBase

문 7. 다음은 어떤 화력발전소에서 배출하는 배기가스 성분의 몰 조성 [mol%]이다. 이를 질량 조성으로 환산하였을 때 혼합가스 중 이산화탄소의 함량[wt%]은? (단, 결과는 소수 둘째 자리에서 반올림하며, H, C, N, O의 원자량은 각각 1, 12, 14, 16이다)

질소(N_2) : 이산화탄소(CO_2) : 수분(H_2O) = 80 : 10 : 10

① 13.4

② 14.4

③ 15.4

④ 16.4

정답 3번

간단한 해설

각 성분의 몰수에 **몰질량을 곱해 질량으로 환산**한 뒤, 이산화탄소 질량을 전체 질량으로 나눈다. 수분을 포함한 전체 질량을 기준으로 계산하면 이산화탄소 함량은 15.4 wt%이다.

계산 과정

계산 기준: 혼합가스 전체를 100 mol로 잡으면 질소 80 mol, 이산화탄소 10 mol, 수분 10 mol이다. 몰 조성은 몰수의 비율이므로 이러한 기준을 잡아도 조성은 변하지 않는다. 각 성분의 질량은 몰수에 몰질량을 곱해 구한다.

질소: 몰질량은 $2 \times 14 = 28$ g/mol이다. 따라서 질량은 $80 \times 28 = 2{,}240$ g이다.

이산화탄소: 몰질량은 $12 + 2 \times 16 = 44$ g/mol이다. 따라서 질량은 $10 \times 44 = 440$ g이다.

수분: 몰질량은 $2 \times 1 + 16 = 18$ g/mol이다. 따라서 질량은 $10 \times 18 = 180$ g이다.

전체 질량: **수분까지 포함한 세 성분의 질량**을 모두 더하므로 $2{,}240 + 440 + 180 = 2{,}860$ g이다. 이 값이 질량백분율을 구할 때의 분모가 된다.

질량백분율: 이산화탄소 질량을 전체 질량으로 나누고 100을 곱하면 $\frac{440}{2860} \times 100 \approx 15.38$ wt%이다. 소수 둘째 자리에서 반올림하면 15.4 wt%이며, ③의 값과 일치한다.

NoteBase

문 8. 다음 설명 중 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 증발(evaporation)은 용액에 혼합기체를 통과시켜 기체 속의 특정 성분을 액체 속으로 이동시켜 분리하는 조작이다.
ㄴ. 증류(distillation)는 혼합용액을 구성하는 성분들의 끓는점 차이를 이용하여 분리하는 조작이다.
ㄷ. 액체－액체 추출(liquid-liquid extraction)은 액체 혼합물에 용매를 가하여 원하는 성분을 선택적으로 분리하는 조작이다.
ㄹ. 흡착(adsorption)은 다공질 막을 이용하여 용액으로부터 저분자량의 용질이 농도가 낮은 영역으로 확산되도록 하여 선택적으로 분리하는 조작이다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㄷ

③ ㄴ, ㄷ

④ ㄴ, ㄹ

정답 3번

간단한 해설

ㄱ의 기체 성분을 액체 속으로 이동시키는 조작은 **흡수**이고, ㄹ의 저분자 용질을 막 너머로 확산시키는 조작은 **투석**이다. 증발은 용매를 기화시키는 조작이며, 흡착은 성분을 고체 표면에 붙잡는 조작이다.

NoteBase

보기별 해설

ㄱ. X: 혼합기체의 특정 성분을 액체에 녹여 분리하는 것은 **흡수(absorption)**이다. 증발은 용액의 용매를 기화시켜 제거하고 남은 용액을 농축하는 조작이다. 기체 성분이 액체로 이동하는 흡수와 액체의 용매가 기체로 바뀌는 증발은 물질의 이동 방향과 목적이 다르다.

ㄴ. O: 증류는 성분 사이의 **휘발성 차이**를 이용하는 분리 조작으로, 끓는점 차이를 이용한다는 설명에 해당한다. 혼합용액을 끓이면 더 휘발하기 쉬운 성분이 증기에 상대적으로 많이 포함되므로, 이 증기를 응축하여 원래 액체와 조성이 다른 액체를 얻는다.

ㄷ. O: 액체－액체 추출은 원래 액체와 별도의 액체상을 이루는 용매를 넣고, 원하는 성분이 두 액체에 분배되는 성질을 이용한다. 원하는 성분이 용매 쪽에 더 잘 녹으면 그 성분이 용매상으로 이동하므로, **두 액체상을 분리**하여 선택적으로 회수할 수 있다.

ㄹ. X: 막을 사이에 두고 저분자량 용질이 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 확산하도록 분리하는 것은 **투석(dialysis)**이다. 이때 막을 통과하기 어려운 고분자 성분은 남는다. 흡착은 액체나 기체 속의 특정 성분이 활성탄 같은 고체 흡착제의 표면에 붙잡히는 현상으로, 막을 통한 확산과 구별된다.

옳은 보기는 ㄴ과 ㄷ이며, 이 조합은 ③에 해당한다.

NoteBase

문 9. 동점도(kinematic viscosity)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 점도(μ)를 밀도(ρ)로 나눈 값($\frac{\mu}{\rho}$)을 동점도라 한다.

② 동점도는 (길이)^2시간의 단위를 가진다.

③ 동점도의 단위는 물질확산계수(diffusivity)의 단위와 일치한다.

④ 동점도의 단위는 열전달계수(heat transfer coefficient)의 단위와 일치한다.

정답 4번

간단한 해설

④의 열전달계수는 단위 면적과 단위 온도차당 열전달률을 나타내므로 단위가 **W/(m^2·K)**이다. 동점도의 단위인 **m^2/s와 다르다**.

선지별 해설

① O: 동점도 ν는 점도 μ를 밀도 ρ로 나눈 값으로, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$로 정의한다. 점도에 의한 운동량 전달 특성을 **밀도를 고려하여 나타낸 양**이다.

② O: 점도의 SI 단위는 Pa·s이며, 이는 kg/(m·s)와 같다. 밀도의 단위는 kg/m^{3}이므로 동점도의 단위는 $\frac{\text{kg/(m·s)}}{\text{kg/m}^3} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$이다. 따라서 **길이의 제곱을 시간으로 나눈 차원**을 가진다.

③ O: 물질확산계수는 농도 차이에 따른 물질의 확산 정도를 나타내며, SI 단위는 m^2/s이다. 따라서 동점도와 **단위가 일치한다**. 다만 동점도는 운동량 전달, 물질확산계수는 물질 전달을 나타내므로 물리적 의미까지 같지는 않다.

④ X: 열전달계수 h는 단위 면적과 단위 온도차당 열전달률을 나타낸다. 열전달률을 $\dot{Q}$, 면적을 A, 온도차를 ΔT라 하면 $\dot{Q} = hA\Delta T$이므로 h의 SI 단위는 W/(m^2·K)이다. 이는 동점도의 단위 m^2/s와 다르다. 선지의 '열전달계수'를 **'열확산계수'**로 바꾸면 단위가 일치한다.

NoteBase

문 10. 어떤 비압축성 액체가 단면적이 일정한 수평 원관을 흐를 때, 레이놀즈(Reynolds) 수에 따른 유체의 압력강하($\frac{\Delta P}{L}$)와 유속($\overline{V}$)의 관계는 다음과 같다. 지름이 10 cm인 수평 원관을 밀도 0.85 g · cm^{-3}인 액체가 5 cm · s^{-1}의 속도로 흐르며, 액체의 점도가 5 cP이다. 이때, 부피유속을 두 배로 증가시키면 압력강하는 몇 배가 되겠는가? (단, L은 배관의 길이, 1 cP=0.001 Pa · s이다)

레이놀즈 수(Re)	압력강하와 유속과의 관계
$\mathrm{Re} < 2{,}100$	$\frac{\Delta P}{L} \propto \overline{V}$
$2{,}500 < \mathrm{Re} < 10^6$	$\frac{\Delta P}{L} \propto \overline{V}^{1.8}$
$\mathrm{Re} > 10^6$	$\frac{\Delta P}{L} \propto \overline{V}^{2}$

① 2.0

② 3.5

③ 4.0

④ 4.5

정답 1번

간단한 해설

부피유속을 두 배로 늘리면 평균 유속과 레이놀즈 수도 두 배가 되지만, 레이놀즈 수는 850에서 1,700으로 증가하여 **여전히 2,100 미만**이다. 이 구간에서는 압력강하가 유속에 비례하므로 압력강하도 **2.0배**가 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 단위 통일: 관 지름 D = 0.10 m, 평균 유속 $\overline{V}_1$ = 0.05 m/s, 밀도 ρ = 850 kg/m^3, 점도 μ = 0.005 Pa·s이다. 밀도 0.85 g/cm^{3}는 850 kg/m^{3}이고, 점도는 주어진 환산 관계에 따라 5 × 0.001 = 0.005 Pa·s로 바꾼다.

2. 처음의 흐름 영역: 레이놀즈 수는 관성력과 점성력의 상대적 크기를 나타내며, 원관에서는 $\mathrm{Re} = \frac{\rho \overline{V} D}{\mu}$로 계산한다. 따라서 $\mathrm{Re}_1 = \frac{850 \times 0.05 \times 0.10}{0.005} = 850$이다. 이는 표의 첫 번째 구간인 2,100 미만에 해당한다.

3. 유량 증가 후의 흐름 영역: 부피유속 Q와 평균 유속의 관계는 $Q = A\overline{V}$이다. 관의 단면적 A가 일정하므로 부피유속이 두 배가 되면 평균 유속도 0.10 m/s로 두 배가 된다. 같은 액체와 관에서 밀도·점도·지름이 일정하므로 레이놀즈 수도 두 배가 되어 $\mathrm{Re}_2 = 2 \times 850 = 1{,}700$이다. 따라서 **증가 전후 모두 2,100 미만인 층류 구간**에 속한다.

4. 압력강하의 배율: 표의 첫 번째 구간에서는 $\frac{\Delta P}{L} \propto \overline{V}$이다. 같은 관에서 길이 L도 일정하므로 **압력강하 자체가 평균 유속에 비례**한다. 따라서 $\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} = \frac{\overline{V}_2}{\overline{V}_1} = 2$이며, 압력강하는 처음의 2.0배로 증가한다. 이는 ①의 2.0에 해당한다.

NoteBase

문 11. 수증기와 질소가 혼합된 가스와 액체상태의 물이 기액평형 상태에 있을 때 자유도는?

① 0

② 1

③ 2

④ 3

정답 3번

간단한 해설

수증기와 액체 물은 **같은 성분**이므로 질소를 포함한 성분 수는 2이고, 기체 혼합물과 액체 물의 상 수는 2이다. 깁스의 상률을 적용하면 자유도는 2이다.

계산 과정

자유도 F는 평형을 이루는 상의 수를 유지하면서 독립적으로 정할 수 있는 온도·압력·조성 같은 강도성 상태변수의 수이다. 화학반응이 없는 평형계에는 깁스의 상률 $F = C - P + 2$를 적용한다. 여기서 C는 독립 성분 수, P는 상 수이며, 온도나 압력을 고정했다는 조건은 주어지지 않았다.

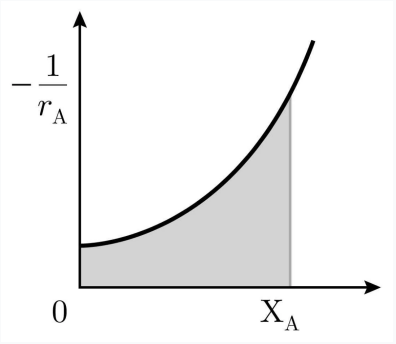
성분 수: 수증기와 액체 물은 상태만 다를 뿐 모두 물이므로 **하나의 성분**으로 센다. 여기에 질소가 있으므로 C = 2이다.

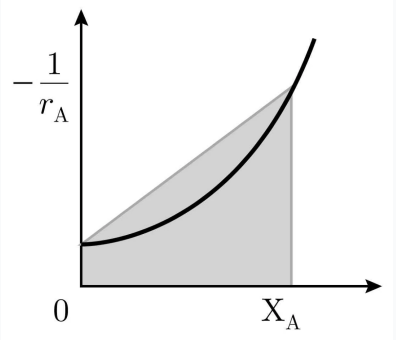
상 수: 수증기와 질소는 서로 혼합되어 **하나의 기체상**을 이루고, 액체 물은 별도의 액체상을 이룬다. 따라서 P = 2이다.

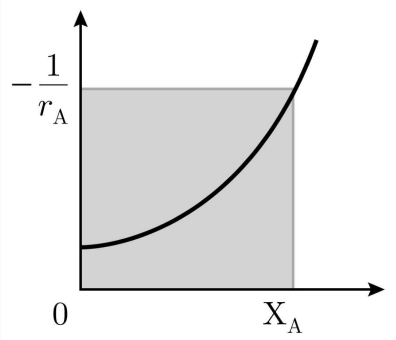
자유도 계산: F = 2 − 2 + 2 = 2이다. 이는 기액평형을 유지하는 범위에서 독립적으로 정할 수 있는 강도성 상태변수가 2개라는 뜻이다. 자유도는 단위가 없는 수이며, 계산값 2는 ③의 값과 일치한다.

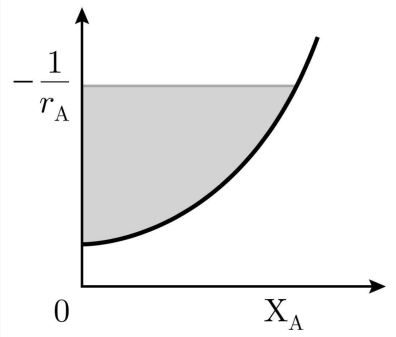
NoteBase

문 12. 정상상태의 플러그 흐름 반응기(plug flow reactor)에서 반응기 내로 유입되는 시간당 반응물 A의 몰수를 F_{A0}라 하고, 반응기 부피를 V로 할 때, $\frac{V}{F_{A0}}$의 값을 반응물 A의 반응속도($-r_A$)와 전환율(X_A) 그래프에서 면적으로 구할 수 있다. $\frac{V}{F_{A0}}$를 나타낸 면적으로 옳은 것은?

① 

② 

③ 

④ 

정답 1번

NoteBase

간단한 해설

플러그 흐름 반응기는 전환율에 따라 달라지는 반응속도를 반영하므로, $\frac{V}{F_{A0}}$는 $\frac{1}{-r_A}$를 전환율에 대해 적분한 값이다. 따라서 전환율 0부터 출구 전환율까지의 **곡선 아래 면적**을 구한다.

도식 해설

설계식: 정상상태의 플러그 흐름 반응기에서 A의 몰유량을 F_A라 하면, 미소 부피에 대한 몰수지는 $\frac{dF_A}{dV} = r_A$이다. 전환율의 정의 $F_A = F_{A0}(1 - X_A)$를 대입하면 $\frac{dV}{F_{A0}} = \frac{dX_A}{-r_A}$가 된다. 여기서 $-r_A$는 단위 반응기 부피당 A의 소모속도이며, 반응기 위치에 따라 달라지는 값을 사용한다. 입구 전환율 0부터 출구 전환율까지 적분하면 $\frac{V}{F_{A0}} = \int_0^{X_A} \frac{1}{-r_A} dX_A$이다.

①의 면적: 가로축은 전환율 X_A, 세로축은 반응속도의 역수 $\frac{1}{-r_A}$이다. 작은 전환율 구간마다 곡선 높이에 구간 폭을 곱해 더하면 위 적분이 된다. 따라서 **곡선과 가로축 사이**에서 0부터 출구 전환율까지 칠한 영역이 $\frac{V}{F_{A0}}$를 나타낸다.

②의 면적: 곡선의 양 끝점을 이은 **직선 아래의 사다리꼴**이다. 실제 곡선 아래 면적에 직선과 곡선 사이 영역까지 더해져 있으므로, 그림에서는 PFR의 $\frac{V}{F_{A0}}$보다 크다.

③의 면적: 출구에서의 반응속도 역수를 높이로 하는 **직사각형**이다. 그 면적은 X_A(-r_A)_출구로, 같은 유입 몰유량과 출구 전환율에서 완전혼합 흐름 반응기(CSTR)의 $\frac{V}{F_{A0}}$에 해당한다. CSTR은 반응기 전체가 출구와 같은 상태이므로 출구 반응속도를 사용한다.

④의 면적: ③의 직사각형에서 ①의 곡선 아래 영역을 뺀 부분이다. 따라서 같은 유입 몰유량과 출구 전환율에서 **CSTR과 PFR의 부피 차이**를 F_{A0}로 나눈 값이며, PFR 자체의 $\frac{V}{F_{A0}}$를 나타내지는 않는다.

NoteBase

문 13. 냉동(refrigeration)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 증기-압축 냉동에서 증발기의 압력은 대기압보다 높아야 한다.

② 증기-압축 냉동에서 증발기로부터 나오는 증기상태의 냉매는 비휘발성인 용매(흡수제)에 의해 흡수된다.

③ Carnot 냉동기의 성능계수는 냉매와 무관하다.

④ 냉동기는 저온부에서 고온부로 열을 이동시키는 장치이다.

정답 2번

간단한 해설

증발기에서 나온 냉매 증기를 흡수제에 흡수시키는 방식은 **흡수식 냉동**이다. 증기 압축식 냉동에서는 냉매 증기를 **압축기로 압축**하여 압력과 온도를 높인다.

선지별 해설

① O: 증발기 압력이 대기압보다 낮으면 누설 부위를 통해 외부의 공기와 수분이 들어올 수 있다. 공기는 열전달을 방해하고, 수분은 낮은 온도에서 얼어 냉매의 흐름을 막을 수 있으므로 **대기압보다 높은 증발 압력**이 바람직하다. 이 설명은 공기·수분 유입을 방지하기 위한 냉매 선정·설계 기준으로 이해한다. 기밀성을 확보하는 등의 조치를 하면 대기압 이하에서도 운전할 수 있으므로, 모든 증기 압축식 냉동기의 작동에 반드시 필요한 조건은 아니다.

② X: 증기 압축식 냉동에서는 증발기에서 열을 흡수하며 기화한 냉매가 **압축기로 들어가 압축**된다. 이후 응축기에서 열을 방출하며 액화하고, 팽창장치에서 압력이 낮아진 뒤 증발기로 돌아간다. 증발기에서 나온 냉매 증기를 용매인 흡수제에 흡수시키는 과정은 **흡수식 냉동**에 해당한다. 흡수식에서는 흡수된 냉매를 포함한 용액의 압력을 높이고, 발생기에서 열을 가해 냉매를 다시 분리한다.

③ O: Carnot 냉동기는 두 열원 사이에서 가역적으로 작동하는 이상적인 냉동기이다. 저온 열원의 절대온도를 T_L, 고온 열원의 절대온도를 T_H라 하면 성능계수는 $\mathrm{COP} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$이다. 성능계수는 투입한 일에 대한 저온부 흡수열의 비이며, 온도는 K 단위를 사용한다. 두 열원의 온도가 같게 주어지면 **냉매의 종류와 무관하게** 성능계수가 같으며, 실제 냉동기의 성능까지 냉매와 무관하다는 뜻은 아니다.

④ O: 열은 자연적으로 고온부에서 저온부로 흐른다. 냉동기는 **외부에서 에너지를 공급받아** 저온부의 열을 흡수하고 고온부로 방출한다. 증기 압축식에서는 압축기에 공급하는 일이 이러한 열 이동을 가능하게 한다.

NoteBase

문 14. 이중관 열교환기에서 유체 A가 질량유속 10,000 $lb \cdot h^{-1}$로 흐르며 200 °F에서 140 °F로 냉각된다. 이때 냉각에 사용된 유체 B는 주입온도 50 °F에서 질량유속 5,000 $lb \cdot h^{-1}$으로 병류(cocurrent flow) 공급된다. 이 경우 로그평균 온도차(LMTD: logarithmic mean temperature difference)는 몇 °F인가? (단, A와 B의 비열은 각각 0.5 $Btu \cdot lb^{-1} \cdot °F^{-1}$와 1.2 $Btu \cdot lb^{-1} \cdot °F^{-1}$이며, ln2 = 0.7, ln3 = 1.1, ln5 = 1.6으로 계산한다. 결과는 소수 첫째 자리에서 반올림한다)

① 55

② 65

③ 75

④ 85

정답 4번

간단한 해설

열수지로 구한 냉각 유체 B의 출구온도는 100 °F이다. **병류에서는 입구끼리, 출구끼리** 온도를 비교하므로 양 끝의 온도차는 150 °F와 40 °F이며, 이를 로그평균하면 반올림하여 85 °F가 된다.

NoteBase

계산 과정

열교환기는 정상상태이며 외부 열손실과 상변화가 없다고 가정한다. 주어진 비열을 일정하게 적용하면 **A가 잃는 열량률과 B가 얻는 열량률이 같다**. 로그평균 온도차는 열교환기 내부에서 달라지는 두 유체 사이의 온도차를 대표하는 값이다.

A의 열량률: 질량유량을 $\dot{m}_A$, 비열을 c_A라 하면 냉각으로 잃는 열량률은 $\dot{Q} = \dot{m}_A c_A (200 - 140)$이다. 따라서 $10{,}000 \times 0.5 \times 60 = 300{,}000\ \text{Btu}\cdot\text{h}^{-1}$이며, 이 열이 B로 전달된다.

B의 출구온도: B의 질량유량은 $5{,}000\ \text{lb}\cdot\text{h}^{-1}$, 비열은 $1.2\ \text{Btu}\cdot\text{lb}^{-1}\cdot{}^\circ\text{F}^{-1}$이다. B의 온도상승은 $\Delta T_B = \frac{300{,}000}{5{,}000 \cdot 1.2} = 50{}^\circ\text{F}$이다. 이는 B가 열을 받아 입구보다 50 °F 높아진다는 뜻이므로, 출구온도는 50 + 50 = 100 °F이다.

양 끝의 온도차: 병류는 두 유체가 **같은 방향으로 흐르므로** 한쪽 끝에서는 두 입구온도, 반대쪽 끝에서는 두 출구온도를 비교한다. 입구 온도차는 $\Delta T_1 = 200 - 50 = 150{}^\circ\text{F}$, 출구 온도차는 $\Delta T_2 = 140 - 100 = 40{}^\circ\text{F}$이다.

로그평균 온도차: 양 끝의 온도차가 다르므로 단순 산술평균 대신 $\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$를 적용한다. 분자는 150 − 40 = 110 °F이고, 분모는 $\ln\frac{150}{40} = \ln\frac{15}{4}$이다. 주어진 근삿값을 사용하면 $\ln\frac{15}{4} = \ln 3 + \ln 5 - 2\ln 2$이므로 1.1 + 1.6 − 2 × 0.7 = 1.3이다. 따라서 $\Delta T_m = \frac{110}{1.3} \approx 84.6{}^\circ\text{F}$이다. 소수 첫째 자리에서 반올림하면 85 °F로, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 15. 어느 다공성 고체의 공극률이 0.5이고 진밀도가 2.0 g · cm^{-3}일 때, 겉보기 밀도[g · cm^{-3}]는? (단, 겉보기 밀도 = 고체질량전체부피, 진밀도 = 고체질량고체만의 부피)

① 0.5

② 1.0

③ 1.5

④ 2.0

정답 2번

간단한 해설

공극률이 0.5이면 전체부피 중 **고체만의 부피가 차지하는 비율도 0.5**이다. 겉보기 밀도는 진밀도에 이 비율을 곱한 값이므로 $2.0 \times 0.5 = 1.0\ g \cdot cm^{-3}$이다.

계산 과정

공극률과 부피 관계: 전체부피를 V, 공극부피를 V_p, 고체만의 부피를 V_s라 하면 $V = V_s + V_p$이다. 공극률은 전체부피에 대한 공극부피의 비율이므로 $\frac{V_p}{V} = 0.5$이다. 따라서 **전체부피 중 고체가 차지하는 비율**은 $\frac{V_s}{V} = 1 - 0.5 = 0.5$이다.

밀도 관계: 고체질량을 m이라 하면 진밀도는 $\rho_t = \frac{m}{V_s}$, 겉보기 밀도는 $\rho_a = \frac{m}{V}$이다. 두 밀도는 분자의 고체질량이 같고, 겉보기 밀도는 **공극을 포함한 전체부피**를 분모로 쓴다. 따라서 $\rho_a = \rho_t \frac{V_s}{V}$로 계산한다.

수치 대입: 진밀도 $2.0\ g \cdot cm^{-3}$에 고체부피 비율 0.5를 곱하면 겉보기 밀도는 $2.0 \times 0.5 = 1.0\ g \cdot cm^{-3}$이다. 이는 ②의 1.0에 해당한다.

NoteBase

문 16. 열용량(heat capacity)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, R은 보편 기체상수이다)

① 열용량은 어떤 물질의 온도를 1°C 올리는 데 필요한 에너지의 양이다.

② 열용량은 세기성질(intensive property)이다.

③ 이상기체의 정압 몰 열용량(constant-pressure molar heat capacity, C_P)과 정적 몰 열용량(constant-volume molar heat capacity, C_V)의 차($C_P - C_V$)는 R이다.

④ 어떤 물질 1g의 열용량을 비열(specific heat capacity)이라고 한다.

정답 2번

간단한 해설

열용량은 같은 물질이라도 **물질의 양에 비례하는 크기성질**이다. 물질의 양으로 나눈 비열이나 몰 열용량이 세기성질이다.

선지별 해설

① O: 열용량은 정해진 가열 조건에서 물질 전체의 온도를 1°C, 즉 1 K 높이는 데 필요한 열에너지의 양이다. 온도 변화 구간에서 열용량 C가 일정하면 열량 Q와 온도 변화 ΔT 사이에 $Q = C\Delta T$가 성립하며, 열용량의 단위는 J/K이다.

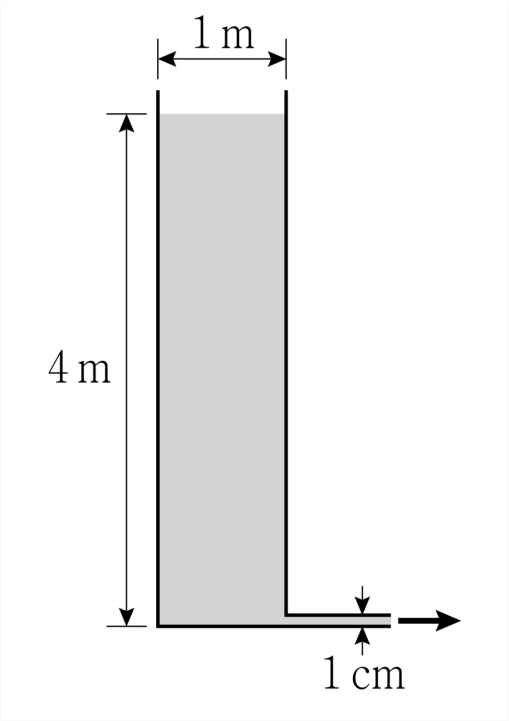
② X: 열용량은 **세기성질이 아니라 크기성질**이다. 같은 물질을 같은 상태와 가열 조건에서 비교하면 질량이 두 배일 때 같은 온도만큼 높이는 데 필요한 열량도 두 배이므로 열용량도 두 배이다. 질량 m, 비열 c에 대해 $C = mc$이며, 물질의 양과 무관한 것은 열용량 자체가 아니라 단위 질량당 열용량인 비열이다.

③ O: 이상기체의 **몰 열용량**에 대해서는 $C_P - C_V = R$이 성립한다. 이상기체 1몰은 엔탈피 H와 내부에너지 U 사이에 $H = U + RT$의 관계가 있으므로, 온도에 따른 변화율을 취하면 $C_P = C_V + R$이 된다. 정압 가열에서는 온도 상승과 함께 팽창하여 외부에 일을 하므로 정적 가열보다 더 많은 열이 필요하다.

④ O: 비열은 **단위 질량당 열용량**으로, 이 선지처럼 질량을 g으로 나타내면 물질 1 g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열량이다. 질량 m인 물질의 열용량이 C이면 비열은 $c = \frac{C}{m}$이며, 이때 비열의 단위는 J/(g·K)이다. 같은 물질의 같은 상태와 가열 조건에서는 질량이 달라도 비열은 같다.

NoteBase

문 17. 지름 1m인 개방된 물탱크에 높이 4m만큼 물을 채운 후, 바닥에 연결된 지름 1cm인 원관 배출구의 밸브를 열어 물을 배출한다. 배출되는 물의 부피유속이 초기 부피유속의 절반이 되었을 때 물탱크의 수위[m]는? (단, 배출관에서 마찰 손실은 무시한다)



① 0.5

② 1

③ 2

④ 3

정답 2번

간단한 해설

배출구의 단면적이 일정하고 마찰 손실을 무시하면 부피유속은 **수위의 제곱근에 비례**한다. 따라서 부피유속이 절반이 되면 수위는 처음의 1/4이 되어 1 m이다.

NoteBase

계산 과정

수위 h는 그림의 배출구 높이를 기준으로 한 수면 높이이며, 초기 수위는 $h_0 = 4$m이다. 물탱크 수면과 대기로 나오는 배출구에는 모두 대기압이 작용한다. 탱크 지름 1 m가 배출관 지름 1 cm보다 훨씬 크므로 연속방정식에 따라 **수면 하강 속도는 배출 속도에 비해 무시**할 수 있다.

수면과 배출구 사이에 마찰 손실이 없는 베르누이 방정식을 적용하면 $gh = \frac{v^2}{2}$이므로 $v = \sqrt{2gh}$이다. 여기서 v는 배출 속도, g는 중력가속도이다. 배출구 단면적을 A, 부피유속을 Q라 하면 $Q = Av = A\sqrt{2gh}$이다. 즉, 수위에 따른 위치에너지가 배출수의 운동에너지로 바뀌며, **단면적이 일정할 때** 부피유속은 수위의 제곱근에 비례한다.

초기 부피유속을 Q_0라 하면 같은 배출구에서 $\frac{Q}{Q_0} = \sqrt{\frac{h}{h_0}}$이다. 주어진 부피유속 비를 넣으면 $\frac{1}{2} = \sqrt{\frac{h}{h_0}}$이고, 양변을 제곱하면 $\frac{h}{h_0} = \frac{1}{4}$이다. 부피유속이 절반인 상태는 수위가 절반이 아니라 **처음 수위의 1/4**인 상태이다.

따라서 $h = 4 \cdot \frac{1}{4} = 1$m이며, 선택지 ②의 1 m에 해당한다.

NoteBase

문 18. 촉매의 기공을 통한 기체확산에서 다음과 같이 정의되는 무차원 수는?

확산하는 화학종의 평균 자유경로기공지름

① Grashof 수
② Prandtl 수
③ Schmidt 수
④ Knudsen 수

정답 4번

간단한 해설

기체 분자의 평균 자유경로를 기공지름으로 나눈 비는 **Knudsen 수**이다. 기공의 크기에 비해 분자가 충돌 없이 이동하는 거리가 얼마나 긴지를 나타낸다.

공통 해설

Knudsen 수는 **평균 자유경로와 특성 길이의 비**이다. 평균 자유경로는 기체 분자가 다른 분자와 충돌하기 전까지 이동하는 거리의 평균이며, 이 문제에서는 기공지름을 특성 길이로 사용한다. 평균 자유경로를 λ, 기공지름을 d_p라 하면 $\mathrm{Kn} = \frac{\lambda}{d_p}$이다. 분자와 분모가 모두 길이이므로 단위가 소거되어 무차원 수가 된다.

평균 자유경로가 기공지름보다 훨씬 크면 분자가 다른 분자와 충돌하기 전에 기공 벽에 부딪히기 쉬워진다.
따라서 Knudsen 수가 큰 경우에는 **분자와 기공 벽의 충돌**이 확산을 지배하며, 이를 Knudsen 확산이라고 한다.

NoteBase

문 19. 블록 선도(block diagram)에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 실제 공정의 각 요소들을 기능에 따라 블록으로 나타내고, 블록 간의 관계를 선으로 연결하여 공정을 표현한다.

② 엔지니어링 설계의 문서화에 있어 표준도구로 사용되고 펌프 및 압축기 같은 필요한 보조장치 및 모든 주요 처리 조업장치를 포함하며 파이프 라인의 크기, 재질 등을 기록한다.

③ 공정 흐름도(PFD: process flow diagram)에서 사용한 것과 동일한 번호와 문자로 각 흐름과 장치를 표기할 뿐만 아니라 수증기, 고압공기 등의 유틸리티 라인들과 장치명, 계측기 등을 도면에 포함한다.

④ 장비, 배관, 밸브 및 이음의 정보와 물질사양, 제어라인들을 도면에 나타내어 배관 계장도(P&ID: piping and instrument diagram) 보다 상세한 공정의 정보를 제공한다.

정답 1번

간단한 해설

블록 선도는 공정의 각 부분을 **기능별 블록**으로 단순화하고, 블록 사이의 연결선으로 흐름과 관계를 나타낸다. 배관의 크기·재질이나 계측기의 세부 사양보다 공정의 전체 구성을 파악하는 데 목적이 있다.

선지별 해설

① O: 블록 선도에서는 반응·분리 등의 **공정 기능을 블록으로 표시**하고, 블록을 연결하는 선으로 물질의 흐름과 기능 간 관계를 나타낸다. 예를 들어 반응 블록에서 분리 블록으로 향하는 화살표는 반응 후의 물질이 분리 공정으로 이동함을 뜻한다. 하나의 블록은 여러 실제 장치를 묶어 나타낼 수도 있다.

② X: 주요 장치뿐 아니라 보조장치와 배관의 크기·재질까지 기록하는 것은 **배관 계장도(P&ID)**의 설명이다. 블록 선도는 기능과 주요 흐름을 개략적으로 나타내므로, 개별 배관의 상세 사양을 제시하는 도면과 구별된다.

③ X: 공정 흐름도(PFD)를 바탕으로 장치와 흐름의 식별 정보를 이어받으면서 유틸리티 배관과 계측·제어 정보를 상세히 나타내는 것은 **배관 계장도(P&ID)**의 특징이다. 유틸리티는 수증기·고압공기처럼 공정 운전에 필요한 보조 서비스를 뜻한다. 블록 선도는 이러한 배관과 계측기의 상세 연결보다 기능별 공정 구성을 중심으로 표현한다.

④ X: 장비·배관·밸브·재질 사양과 제어 연결을 상세히 나타내는 것은 배관 계장도의 역할이다. 블록 선도가 P&ID보다 상세한 정보를 제공한다는 관계가 반대이다. 일반적으로 블록 선도는 기능별 개요, PFD는 주요 장치와 공정 흐름·운전 정보, P&ID는 **배관과 계측·제어의 상세 정보**를 제공한다.

NoteBase

문 20. 순수한 A물질과 B물질로 구성된 혼합 용액이 기액평형을 이루고 있다. 80 °C에서 순수한 A물질과 B물질의 증기압은 각각 700 mmHg와 300 mmHg이다. 80 °C에서 A물질의 액상 몰 분율이 0.3일 때 혼합용액의 증기압[mmHg]은? (단, 용액은 라울의 법칙(Raoult's law)을 따른다)

① 210

② 360

③ 420

④ 540

정답 3번

간단한 해설

라울의 법칙에 따라 각 성분의 순수 증기압에 **액상 몰 분율**을 곱한 뒤 더한다. B의 몰 분율은 0.7이므로 혼합용액의 증기압은 0.3 × 700 + 0.7 × 300 = 420 mmHg이다.

계산 과정

라울의 법칙을 따르는 용액에서 성분 i의 분압은 $p_i = x_i P_i^*$이다. 여기서 x_i는 **액상 몰 분율**, P_i^*는 같은 온도에서 순수한 성분 i의 증기압이다. 혼합용액의 전체 증기압은 각 성분의 분압을 합하여 구한다.

액상 조성: A와 B만으로 구성되므로 $x_A + x_B = 1$이다. 따라서 $x_A = 0.3$, $x_B = 1 - 0.3 = 0.7$이다.

성분별 분압: 80 °C에서 A의 순수 증기압은 700 mmHg이므로 A의 분압은 0.3 × 700 = 210 mmHg이다. B의 순수 증기압은 300 mmHg이므로 B의 분압은 0.7 × 300 = 210 mmHg이다. 각 값은 해당 성분이 전체 증기압에 기여하는 압력이다.

전체 증기압: $P = p_A + p_B$이므로 210 + 210 = 420 mmHg이다. 이는 ③의 값과 일치한다.

NoteBase