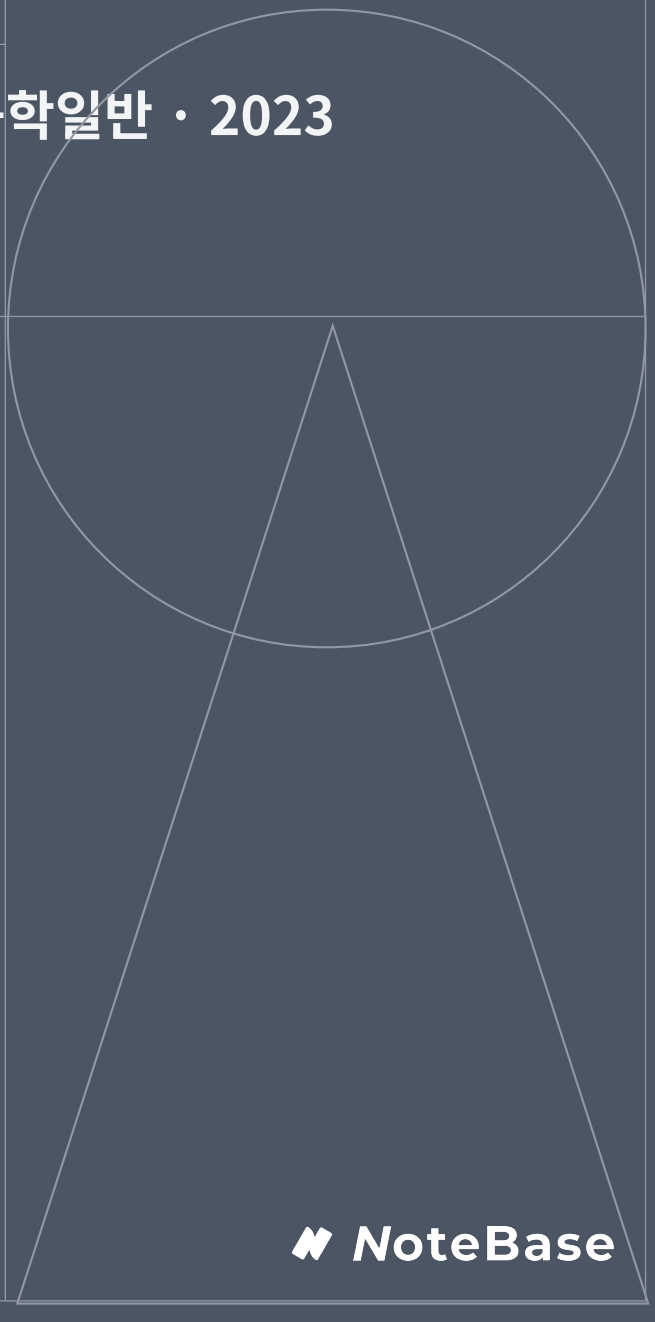
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2023



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2023

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2023

문 1. 서로 다른 단위로 표현된 값 중에서 가장 낮은 압력을 나타내는 것은?

① 1.0 atm

② 10.0 kPa

③ 30.0 psi

④ 380 Torr

정답 2번

간단한 해설

서로 다른 단위의 압력은 **같은 단위로 환산**하여 비교한다. 10.0 kPa는 나머지 압력을 kPa로 바꾼 값보다 작다.

선지별 해설

압력은 단위에 따라 숫자의 크기가 달라지므로 **kPa로 통일**하여 비교한다.

① 1.0 atm: 1 atm = 101.325 kPa이므로 약 101.3 kPa이다.

② 10.0 kPa: 이미 비교 기준인 kPa로 주어졌으므로 환산 없이 10.0 kPa로 비교한다.

③ 30.0 psi: 1 psi ≈ 6.8948 kPa이므로 $30.0 \times 6.8948 \approx 206.8$ kPa이다.

④ 380 Torr: 760 Torr = 1 atm = 101.325 kPa이므로 $380 \times \frac{101.325}{760} \approx 50.66$ kPa이다.

환산한 압력의 크기는 10.0 < 50.66 < 101.3 < 206.8 kPa이므로, ②의 10.0 kPa가 가장 낮다.

NoteBase

문 2. 화학공학 엔지니어는 최적의 공정을 설계하기 위해서 여러 가지 형태의 비용에 대해 충분히 이해할 필요가 있다. 이러한 비용에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 총생산비용은 생산속도에 비례하여 증가하지만, 고정비용은 일정하다.

② 총생산비용과 총수입이 같아지는 지점을 손익분기점이라고 한다.

③ 최적의 생산속도는 손익분기점에 해당하는 것보다 더 높아야 한다.

④ 순이익은 제품 판매에 의한 총수입에서 총생산비용을 뺀 값이다.

정답 4번

간단한 해설

총수입에서 총생산비용을 뺀 값은 **세전이익**이다. 순이익은 여기에서 **이익에 부과되는 세금까지 차감**한 금액이다.

선지별 해설

① O: 일정한 설비와 조업 범위에서 원료비처럼 생산속도가 커질수록 증가하는 비용은 변동비이고, 생산속도와 관계없이 발생하는 비용은 고정비이다. 총생산비용은 **고정비와 변동비의 합**이므로, 고정비가 일정해도 생산속도가 커져 변동비가 늘면 총생산비용은 증가한다. 단위생산량당 변동비를 일정하게 보는 모형에서는 총생산비용이 고정비를 출발점으로 직선적으로 증가한다.

② O: 손익분기점은 **총수입과 총생산비용이 같아지는 지점**이다. 판매수입으로 생산에 든 비용을 모두 충당하지만, 아직 이익은 남지 않는 상태이다.

③ O: 이익을 낼 수 있는 공정에서 최적의 생산속도는 총수입과 총생산비용의 **차이가 최대가 되는 생산속도**이다. 손익분기점에서는 그 차이가 0이므로, 양의 이익을 얻는 최적 조업점은 이익이 발생하기 시작하는 손익분기 생산속도보다 높아야 한다.

④ X: 제품 판매에 의한 총수입에서 총생산비용을 빼면 세전이익이 된다. 순이익은 세전이익에서 법인세 등 **이익에 부과되는 세금을 추가로 차감**한 값이다. 따라서 선지의 '순이익'을 '세전이익'으로 고치거나, 순이익을 설명하려면 총수입에서 총생산비용과 이익에 대한 세금을 모두 빼야 한다.

NoteBase

문 3. 연속 분별증류탑에서 환류비가 무한대일 때에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 유출액이 전부 탑으로 환류되어 제품의 생산이 없는 상태가 된다.

② 두 조작선이 $x-y$ 선도에서 기울기가 1인 대각선과 일치한다.

③ 단수는 최대가 된다.

④ 이 조건을 전환류라고 한다.

정답 3번

간단한 해설

③의 '단수는 최대가 된다'는 '단수는 **최소가 된다**'로 고쳐야 한다. 전환류에서는 조작선이 대각선과 일치하여, 같은 분리 목표에 도달하는 데 필요한 이론단수가 가장 적다.

선지별 해설

① O: 환류비는 탑으로 되돌리는 환류액 유량을 탑정 제품 인출량으로 나눈 비율이다. 응축액을 **전부 탑으로 되돌리면** 외부로 인출하는 탑정 제품이 없어지며, 이를 환류비가 무한대인 상태로 나타낸다.

② O: 전환류에서는 제품 인출 없이 증기와 액체가 탑 안에서 순환하므로, 각 구간에서 액체와 증기의 몰유량이 같아진다. 따라서 농축부와 회수부의 두 조작선은 모두 **기울기 1, 절편 0**인 $y = x$가 된다. 여기서 x와 y는 각각 액체와 증기의 휘발성 성분 몰분율이다.

③ X: 같은 원료와 분리 목표를 기준으로 환류비를 높이면 필요한 이론단수는 줄어들며, 전환류에서는 **최소 이론단수**가 된다. 맥케이브·틸레법에서 조작선이 대각선과 일치할 때 평형곡선과 조작선 사이에 그리는 계단 수가 가장 적기 때문이다. 반대로 최소환류비에 접근하면 두 선이 만나는 핀치점 부근에서 조성 변화가 작아져 필요한 이론단수는 무한대로 증가한다.

④ O: 탑정 증기를 응축한 액을 제품으로 빼내지 않고 모두 탑으로 되돌리는 조작이 **전환류**이다. 이는 환류비의 상한에 해당하는 극한 운전 조건이다.

NoteBase

문 4. 평평한 욕조에서 밑면의 배출구를 통해 28 m s^{-1}의 유속으로 물이 배출되고 있다. 외부에서 욕조로 공급되는 물에 의해 욕조의 바닥으로부터 욕조 내 수면의 높이가 변화 없이 일정하게 유지된다고 가정할 때, 욕조 내 수면의 높이[m]는? (단, 정상상태의 에너지 손실이 없는 흐름으로 가정하고, 욕조의 수면과 배출구에서 압력은 대기압으로 같고, 중력가속도는 9.8 m s^{-2}이다)

① 20

② 40

③ 60

④ 80

정답 2번

간단한 해설

수면과 배출구의 압력이 같고 에너지 손실이 없으므로, 수면의 **위치수두가 배출구의 속도수두**로 전환된다. 수면 높이는 $h = \frac{v^2}{2g}$에 따라 40 m이다.

계산 과정

배출구를 높이의 기준점으로 잡고 수면의 높이를 h, 배출 유속을 v라 둔다. 주어진 값은 v = 28 m/s, $g = 9.8 \text{m/s}^2$이다. 수면 높이는 일정하게 유지되며, 욕조 수면의 유속은 배출 유속에 비해 무시하는 모형을 적용한다.

정상상태에서 에너지 손실이 없으므로 수면과 배출구 사이에 베르누이식을 적용한다. 두 지점의 압력이 모두 대기압이므로 압력수두는 상쇄된다. 수면의 유속을 무시하면 $h = \frac{v^2}{2g}$가 된다. 즉, **수면과 배출구의 높이차가 배출구의 속도수두와 같다**.

주어진 유속과 중력가속도를 대입하면 $h = \frac{28^2}{2 \cdot 9.8} = \frac{784}{19.6} = 40\text{m}$이다. 따라서 욕조 바닥으로부터 수면까지의 높이는 40 m이며, ②의 40에 해당한다.

NoteBase

문 5. 상변화 없는 유체의 열전달에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 경계층 이론에 따르면, Prandtl 수가 1보다 클 때 운동량확산계수가 열확산계수보다 크다.

② 층류(laminar flow)에서의 강제대류(forced convection) 열확산에서 Nusselt 수는 Reynolds 수와 Prandtl 수의 함수로 표현된다.

③ Peclet 수가 아주 크면 전도에 의한 열전달은 무시할 수 있다.

④ Nusselt 수는 전도 열전달대류 열전달에 해당된다.

정답 4번

간단한 해설

Nusselt 수는 **전도 열전달에 대한 대류 열전달의 비**이다. ④는 분자와 분모를 거꾸로 설명했다.

선지별 해설

① O: Prandtl 수는 운동량확산계수인 동점성계수 ν를 열확산계수 α로 나눈 값으로, $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$이다. 따라서 Pr이 1보다 크면 **운동량확산계수가 열확산계수보다 크다**. 이는 운동량이 열보다 더 빠르게 확산한다는 뜻이다.

② O: 형상과 열적 경계조건 등이 정해진 강제대류에서는 일반적으로 $Nu = f(Re, Pr)$의 관계로 열전달 특성을 나타낸다. Reynolds 수는 유동의 관성과 점성의 상대적 크기를, Prandtl 수는 운동량확산과 열확산의 상대적 크기를 나타낸다. 이들이 속도장과 온도장에 영향을 주므로 **층류에서도 Reynolds 수와 Prandtl 수를 이용해** Nusselt 수를 표현할 수 있다. 구체적인 상관식은 형상과 경계층의 발달 상태, 열적 경계조건에 따라 달라진다.

③ O: 열전달에서 Peclet 수는 $Pe = \frac{UL}{\alpha} = Re \cdot Pr$이며, U는 대표 유속, L은 특성길이, α는 열확산계수이다. 같은 길이 척도에서 전도에 의한 열확산과 비교한 유동에 의한 열수송의 상대적 크기를 나타낸다. Pe가 아주 크면 대류가 지배적이므로, **유동 방향의 전도 열전달을 대류에 비해 무시**하는 근사를 할 수 있다. 벽면에 수직인 방향의 열전도까지 모두 무시한다는 뜻은 아니다.

④ X: Nusselt 수는 $Nu = \frac{hL}{k}$로 정의된다. h는 대류 열전달계수, L은 특성길이, k는 유체의 열전도도이다. 같은 온도차와 특성길이를 기준으로 비교하면 대류 열유속은 온도차에 h를 곱한 값이고, 전도 열유속은 온도차에 $\frac{k}{L}$을 곱한 값이다. 따라서 Nusselt 수는 **전도 열전달에 대한 대류 열전달의 비**이며, 선지의 비율은 Nusselt 수의 역수에 해당한다.

NoteBase

문 6. 물질전달에서 중요한 의미를 가지는 무차원 군에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① Schmidt 수는 운동량의 분자확산도와 물질의 분자확산도 간의 비를 나타낸다.

② Schmidt 수는 열전달의 Prandtl 수에 대응되는 개념이다.

③ Sherwood 수는 분자 물질전달저항과 유체의 대류 물질전달저항의 비를 나타낸다.

④ Sherwood 수는 열전달의 Euler 수에 대응되는 개념이다.

정답 4번

간단한 해설

④의 'Euler 수'는 **Nusselt 수**로 고쳐야 한다. Sherwood 수와 Nusselt 수는 각각 물질전달과 열전달에서 대류 전달을 분자확산 또는 전도와 비교하는 무차원 수이다.

선지별 해설

① O: Schmidt 수는 $Sc = \frac{\nu}{D} = \frac{\mu}{\rho D}$로 정의된다. 여기서 ν는 동점도, μ는 점도, ρ는 밀도, D는 물질의 분자확산계수이다. 동점도는 운동량의 분자확산도이므로, Schmidt 수는 **운동량 확산도와 물질 확산도의 비**를 나타낸다.

② O: Prandtl 수는 $Pr = \frac{\nu}{\alpha}$이며, α는 열확산도이다. Schmidt 수와 Prandtl 수는 모두 운동량 확산도를 분자로 두고, 분모에 각각 물질 확산도와 열확산도를 둔다. 따라서 **물질전달의 Schmidt 수와 열전달의 Prandtl 수**가 서로 대응한다.

③ O: Sherwood 수는 $Sh = \frac{k_c L}{D}$이다. 여기서 k_c는 농도차를 기준으로 한 대류 물질전달계수이고, L은 특성길이이다. 같은 면적과 농도차를 기준으로 하면 길이 L에 대한 분자확산 저항은 L/D, 대류 물질전달 저항은 $1/k_c$에 비례한다. 두 저항의 비는 $\frac{L/D}{1/k_c} = \frac{k_c L}{D} = Sh$이므로, Sherwood 수는 **분자확산 저항을 대류 물질전달 저항으로 나눈 값**으로 해석할 수 있다.

④ X: Sherwood 수에 대응하는 열전달의 무차원 수는 **Nusselt 수**이다. Nusselt 수는 $Nu = \frac{hL}{\lambda}$로, h는 대류 열전달계수, λ는 열전도도이다. 이 식은 Sherwood 수의 식에서 물질전달계수를 열전달계수로, 물질 확산계수를 열전도도로 대응시킨 형태이다. 두 수는 각각 분자확산과 열전도를 기준으로 대류 전달의 크기를 나타낸다. Euler 수는 유동에서 압력력과 관성력의 비를 나타내므로 이 대응에 해당하지 않는다.

NoteBase

문 7. 관 입구에서부터 경계층이 관의 중심에 도달하여 완전 발달 흐름이 되기까지의 거리를 전이길이(transition length)라 한다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 층류의 경우 전이길이는 관 지름의 제곱에 비례한다.

② 층류의 경우 전이길이는 유체의 점도에 반비례한다.

③ 유입되는 유체가 난류이고 관 내부의 유속이 임계유속보다 크면, 전이길이는 Reynolds 수의 $\frac{1}{2}$제곱에 비례한다.

④ 층류의 경우 유체의 속도가 빠르면 전이길이는 길어진다.

정답 3번

간단한 해설

③의 조건처럼 유입류가 이미 난류이고 관 내 유속이 임계유속보다 크면, 전이길이는 **Reynolds 수에 거의 무관**하며 관 지름의 약 40~50배로 본다. 따라서 Reynolds 수의 1/2제곱에 비례한다는 설명은 부적절하다.

선지별 해설

원관 내 층류의 전이길이는 $L_e \simeq 0.05\mathrm{Re}D$로 근사한다. 여기서 $\mathrm{Re} = \frac{\rho u D}{\mu}$이므로 $L_e \simeq \frac{0.05\rho u D^2}{\mu}$이다. D는 관 지름, u는 단면 평균 유속, ρ는 유체 밀도, μ는 점도이며, 각 비례 관계는 나머지 변수를 일정하게 유지할 때 성립한다.

① O: 층류 근사식에서 관 지름 D는 제곱으로 들어가므로 전이길이는 **관 지름의 제곱에 비례**한다. 밀도·평균 유속·점도가 같고 층류가 유지되면 관 지름이 2배일 때 전이길이는 약 4배가 된다.

② O: 층류 근사식에서 점도 μ는 분모에 있으므로 전이길이는 **점도에 반비례**한다. 다른 조건이 같을 때 점도가 클수록 벽면의 영향이 관 중심까지 더 빠르게 전달되어 완전 발달 흐름에 이르는 거리가 짧아진다.

③ X: **유입류가 이미 난류이고 관 내 유속이 임계유속보다 큰 조건**에서는 전이길이가 Reynolds 수에 거의 무관하며, 관 지름의 약 40~50배로 본다. 따라서 'Reynolds 수의 1/2제곱에 비례한다'는 표현을 'Reynolds 수에 거의 무관하다'로 고쳐야 한다. 난류에서는 유체의 혼합에 의한 운동량 전달이 활발하여 층류와 전이길이의 의존 관계가 다르다.

④ O: 층류 근사식에서 전이길이는 **평균 유속에 비례**한다. 관 지름·밀도·점도가 같고 층류가 유지되면 유속이 빨라질수록 벽면의 영향이 관 중심에 도달하기까지 유체가 더 멀리 이동하므로 전이길이가 길어진다.

NoteBase

문 8. 펌프에 의해 평판 위 층류흐름이 발생한 경우, 평판 위 유동의 시작부분인 평판 입구에서부터 x m만큼 떨어진 곳에서의 국소 대류 열전달 계수(h_국소)가 h_국소=x^2 W m^-2 K^-1이고, 평판 입구에서 출구까지의 평균 대류 열전달 계수(h_평균)가 $12\ \mathrm{Wm^{-2}K^{-1}}$일 때, 평판의 총길이 [m]는?

① 2

② 4

③ 6

④ 8

정답 3번

간단한 해설

평균 열전달 계수는 **국소값을 전체 길이에 걸쳐 적분한 뒤 길이로 나눈 값**이다. 주어진 분포를 적용하면 h_평균=L^2/3이므로, 평균값이 12가 되는 평판의 총길이는 6 m이다.

계산 과정

평판의 총길이를 L m라 두면, 평균을 구할 구간은 입구 $x = 0$부터 출구 $x = L$까지이다. 평균 대류 열전달 계수는 **국소 계수의 길이 방향 평균**이므로 h_평균=(1)/(L) ∫ _0^L h_국소(x) dx로 구한다. 적분은 각 위치의 국소값을 전체 구간에 걸쳐 합하는 역할을 하며, 이를 전체 길이로 나누어 평균을 얻는다.

주어진 h_국소=x^2를 대입하면 h_평균=(1)/(L) ∫ _0^L x^2 dx이다. 적분값은 $\int_0^L x^2 dx = \frac{L^3}{3}$이므로, 평균 계수의 수치는 $\frac{L^3}{3L} = \frac{L^2}{3}$이 된다. 계수의 단위는 주어진 조건과 같이 $\mathrm{W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}}$이다.

평균값 12를 적용하면 $12 = \frac{L^2}{3}$이므로 $L^2 = 36$이다. 길이는 **양수**이므로 평판의 총길이는 6 m이며, ③의 6에 해당한다.

NoteBase

문 9. 물질의 이송 및 처리에 사용하는 장치에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 왕복펌프는 기계의 회전운동으로 유체를 정방향으로 수송하는 펌프이다.

② 오리피스는 면적 유량계, 로타미터는 압력차 유량계이다.

③ 압축기의 효율은 등온효율이 등엔트로피 효율보다 높다.

④ 스팀-제트 이젝터(steam-jet ejector)는 진공시스템을 만들기 위해 사용된다.

정답 4번

간단한 해설

스팀-제트 이젝터는 **고속으로 분사되는 증기**로 용기 안의 기체를 끌어내어 배출한다. 기체가 제거되면서 용기 내부 압력이 낮아지므로 **진공 형성·유지**에 사용된다.

선지별 해설

① X: 왕복펌프는 피스톤이나 플런저의 **왕복운동**으로 실린더 내부 용적을 변화시켜 유체를 흡입·토출하는 용적형 펌프이다. 구동축의 회전운동을 왕복운동으로 바꾸어 사용할 수는 있지만, 유체를 이송하는 직접적인 작동 원리는 회전운동이 아니다. 흡입밸브와 토출밸브가 유동 방향을 제어한다.

② X: 두 유량계의 분류가 뒤바뀌었다. 오리피스는 유로를 좁혔을 때 생기는 전후 압력차로 유량을 구하는 **압력차 유량계**이다. 로타미터는 위쪽으로 갈수록 넓어지는 관 안에서 부자의 높이에 따라 유체 통과 면적이 달라지는 **면적 유량계**이다. 유량이 커지면 부자가 더 높이 올라가므로 그 높이로 유량을 읽는다.

③ X: 동일한 실제 압축 일을 기준으로 비교하면 **등온효율이 등엔트로피 효율보다 낮다**. 두 효율은 각각 등온압축에 필요한 이론 일과 등엔트로피압축에 필요한 이론 일을 실제 압축 일로 나눈 값이다. 이상기체를 같은 입구 상태에서 같은 출구 압력까지 압축할 때, 등온압축은 열을 외부로 내보내 온도 상승을 막으므로 등엔트로피압축보다 필요한 일이 작다. 따라서 분모인 실제 일이 같으면 등온효율의 값이 더 작다.

④ O: 스팀-제트 이젝터는 고압 증기를 노즐에서 팽창시켜 고속의 증기 흐름을 만들고, 이 흐름으로 흡입측 기체를 끌어들여 함께 배출한다. 이처럼 **용기 안의 기체를 제거하여 압력을 낮추는** 작용을 이용하므로 진공시스템을 만드는 데 사용된다.

NoteBase

문 10. 다중-효용관 증발기를 조작할 때, 각 효용관마다 펌프시설을 필요로 하는 급액 방식은?

① 역류식 급액

② 순류식 급액

③ 병류식 급액

④ 혼합류식 급액

정답 1번

간단한 해설

역류식 급액은 액을 마지막 저압 효용관에서 첫 번째 고압 효용관 쪽으로 보낸다. 각 이송 단계에서 **압력차를 거슬러 액을 이동**시켜야 하므로 효용관 사이마다 펌프가 필요하다.

공통 해설

다중 효용관 증발기는 한 효용관에서 발생한 증기를 다음 효용관의 가열에 이용한다. 제1효용관에서 마지막 효용관으로 갈수록 압력이 낮아지므로, 액이 이 방향으로 이동할 때는 압력차를 이용할 수 있다. 반대로 **저압에서 고압으로 액을 이송할 때**는 펌프로 액의 압력을 높여야 한다.

역류식 급액: 원료액을 마지막 저압 효용관에 공급하고, 증기의 진행 방향과 반대로 제1효용관까지 차례로 보낸다. 효용관 사이의 모든 이송 단계가 저압에서 고압으로 향하므로 각 단계에 펌프가 필요하다.

순류식 급액: 원료액을 제1효용관에 공급하고 마지막 효용관 쪽으로 보낸다. 액이 **고압에서 저압으로 이동**하므로 효용관 사이의 이송에는 압력차를 이용할 수 있다. 원료 공급이나 제품 배출에 사용하는 펌프는 이러한 관 사이 이송용 펌프와 구별된다.

병류식 급액: 원료액을 각 효용관에 나누어 공급하고 농축액도 각각 배출한다. 액을 한 효용관에서 다음 효용관으로 차례로 보내지 않으므로, 관 사이의 압력차를 거스르는 단계별 이송이 없다.

혼합류식 급액: 순류 구간과 역류 구간을 함께 둔다. 저압에서 고압으로 보내는 구간에는 펌프가 필요하지만, 고압에서 저압으로 보내는 구간은 압력차를 이용하므로 모든 관 사이에 이송용 펌프가 필요한 방식은 아니다.

문항의 '각 효용관마다 펌프시설을 필요로 한다'는 것은 효용관 사이의 각 액 이송 단계에 펌프가 필요하다는 특성을 가리킨다. 이에 해당하는 방식은 역류식 급액이다.

NoteBase

문 11. 한 모서리의 길이가 10 cm인 정육면체 용기에 입자 밀도 2,000 kg m^{-3}인 분체를 가득 채웠다. 용기에 채워진 분체의 질량이 300 g이라면 이 분체의 겉보기 밀도[kg m^{-3}]는?

① 300

② 400

③ 500

④ 600

정답 1번

간단한 해설

겉보기 밀도는 분체의 질량을 **입자 사이의 빈 공간까지 포함한 전체 부피**로 나눈 값이다. 용기 전체 부피가 0.001 m^{3}이고 분체 질량이 0.300 kg이므로 겉보기 밀도는 300 kg·m^{-3}이다.

계산 과정

겉보기 밀도 ρ_b는 분체 질량 m을 **입자 사이의 빈 공간을 포함한 분체층 부피** V로 나눈 값으로, $\rho_b = \frac{m}{V}$이다.
용기를 가득 채웠으므로 V는 용기 부피와 같다. 주어진 입자 밀도 2,000 kg·m^{-3}는 입자 사이의 빈 공간을 제외한 입자 자체의 부피를 기준으로 하므로 이 계산에 직접 사용하지 않는다.

질량과 길이를 kg과 m로 환산하면 m = 300 g = 0.300 kg, 한 모서리의 길이는 10 cm = 0.10 m이다.
정육면체의 부피는 모서리 길이를 세 번 곱하므로 $V = (0.10\text{m})^3 = 0.001\text{m}^3$이다. 이 값이 분체층 전체가 차지하는 부피이다.

따라서 $\rho_b = \frac{0.300}{0.001} = 300\text{kgm}^{-3}$이다. 계산한 겉보기 밀도 300 kg·m^{-3}는 ①의 300에 해당한다.

NoteBase

문 12. 점도에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 일반적으로 온도가 올라가면 액체의 점도는 감소하고 기체의 점도는 증가한다.

② 하수슬러지와 같이 임계전단응력 이상이 되어야 비로소 흐르기 시작하는 액체를 유사가소성 유체(pseudoplastic fluid)라고 한다.

③ 점도 1 cP는 10^{-3} Pa s와 같다.

④ 20 °C 물의 점도는 약 1 cP이다.

정답 2번

간단한 해설

임계전단응력인 **항복응력에 도달해야 흐르기 시작하는** 것은 소성유체의 특성이다. 유사가소성 유체는 항복응력 없이 흐르며, 전단속도가 커질수록 겉보기점도가 감소한다.

선지별 해설

① O: 액체에서는 분자 사이의 응집력이 점성 저항에 크게 작용하므로 온도가 올라가면 분자들이 서로 이동하기 쉬워져 일반적으로 점도가 감소한다. 기체에서는 분자 운동에 따른 운동량 전달이 주된 원인이므로 온도가 올라가 분자 운동이 활발해지면 일반적으로 **점도가 증가한다**.

② X: 임계전단응력인 항복응력에 도달해야 흐르기 시작하는 거동은 **소성유체**의 특성이며, 빙엄 소성유체가 대표적이다. 빙엄 소성유체는 항복응력 이하에서는 흐르지 않고, 이를 넘으면 전단응력이 전단속도에 따라 선형적으로 증가한다. 유사가소성 유체(pseudoplastic fluid)는 **항복응력 없이 흐르며**, 전단속도가 증가할수록 겉보기점도가 감소하는 유체이다. 따라서 선지에서 흐름이 시작되는 조건을 설명한 뒤 유사가소성 유체라고 한 부분을 소성유체로 고쳐야 한다.

③ O: cP는 센티푸아즈로, 1 cP는 1 P의 1/100이다. 1 P = 0.1 Pa·s이므로 $1\text{cP} = 10^{-3}\text{Pa} \cdot \text{s}$이다. 이는 유체의 전단 변형에 대한 저항을 나타내는 점도의 단위 환산이다.

④ O: 20 °C에서 물의 점도는 약 0.001 Pa·s이다. **1 cP = 0.001 Pa·s**이므로 이를 cP로 나타내면 약 1 cP가 된다. 물의 점도는 온도에 따라 달라지므로 20 °C라는 조건과 함께 기억해야 한다.

NoteBase

문 13. 2성분계 증류에서 계의 평형상태를 정의하기 위해 고정되어야 하는 독립적 세기변수의 수는?

① 1

② 2

③ 3

④ 4

정답 2번

간단한 해설

2성분계 증류는 액상과 기상이 공존하므로 성분 수와 상의 수가 모두 2이다. **깁스 상률** $F = C - P + 2$를 적용하면 독립적으로 고정해야 할 세기변수는 2개이다.

계산 과정

증류에서는 화학반응 없이 **액상과 기상이 평형**을 이룬다. 2성분계이므로 성분 수 C = 2이고, 공존하는 상은 액상과 기상이므로 상의 수 P = 2이다. 성분 수는 물질의 종류를, 상의 수는 서로 구별되는 균일한 상의 개수를 뜻한다.

평형상태를 정하기 위해 독립적으로 지정해야 하는 세기변수의 수를 자유도 F라고 한다. 화학반응이 없는 계에는 깁스 상률 $F = C - P + 2$를 적용하므로, F = 2 - 2 + 2 = 2이다. 문제에서 **온도나 압력을 미리 고정하지 않았으므로** 추가로 자유도를 빼지 않는다.

자유도가 2라는 것은 세기변수 두 개를 독립적으로 고정하면 나머지 평형 세기변수가 정해진다는 뜻이다. 예를 들어 압력과 액상에서 한 성분의 몰분율을 지정하면, 그 조건에서의 평형 온도와 기상 조성이 정해진다. 따라서 필요한 독립적 세기변수는 2개로, ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 비압축성의 뉴튼 유체가 원통형 관을 흐르는 Hagen-Poiseuille 흐름에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 정상상태의 층류 흐름이다.

② 내측 벽면에서 유체의 속도를 0으로 하는 노 슬립(no slip) 조건을 적용한다.

③ 점도가 2배가 되면 평균 유속은 $\frac{1}{2}$배가 된다.

④ 원통형 관 중심에서의 유속은 평균 유속의 4배와 같다.

정답 4번

간단한 해설

Hagen-Poiseuille 흐름의 속도 분포는 포물선형이며, 관 중심에서 유속이 최대가 된다. 중심 유속은 평균 유속의 **4배가 아니라 2배**이다.

선지별 해설

① O: Hagen-Poiseuille 흐름은 압력차에 의해 원형 관 안을 흐르는 비압축성 뉴튼 유체의 **정상상태·완전 발달 층류**이다. 정상상태는 한 위치의 유속이 시간에 따라 변하지 않는다는 뜻이고, 완전 발달은 관의 축 방향으로 속도 분포의 모양이 더 이상 변하지 않는다는 뜻이다.

② O: 노 슬립 조건은 벽면에 접한 유체의 속도가 **벽면의 속도와 같다**는 조건이다. 따라서 관 벽면이 정지해 있으면 내측 벽면에서 유체의 속도는 0이다.

③ O: 관의 반지름을 R, 길이를 L, 양 끝의 압력차를 Δp, 점도를 μ라 하면 평균 유속은 $\bar{u} = \frac{\Delta p R^2}{8\mu L}$이다. **압력차와 관의 반지름·길이가 일정할 때** 평균 유속은 점도에 반비례하므로, 점도가 2배가 되면 평균 유속은 1/2배가 된다.

④ X: 관 중심의 유속은 평균 유속의 **2배**이다. 중심에서 거리 r인 지점의 유속은 $u(r) = u_{\max}(1 - \frac{r^2}{R^2})$인 포물선 분포를 이루며, 중심에서 최대이고 벽면에서 0이다. 이 분포를 관 단면 전체에 걸쳐 면적 평균하면 $\bar{u} = \frac{u_{\max}}{2}$이므로, '평균 유속의 4배'는 '평균 유속의 2배'로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 15. 동일한 재질의 벽을 두 겹으로 쌓아서 평평한 가열로 벽(flat furnace wall)을 축조하였다. 가열로 내부의 온도는 650 °C, 가열로 외부의 온도는 50 °C로 유지되며, 벽의 열전도도는 1.0 W m^{-1} °C^{-1}이고 벽 한 층의 두께는 각각 0.1 m이다. 두 겹의 벽 층 사이에 접촉이 불량하여 접촉 저항(contact resistance)이 0.2 °C m^2 W^{-1}라 할 때, 단위 면적당 열 손실량[W m^{-2}]은?

① 500

② 1,000

③ 1,500

④ 2,000

정답 3번

간단한 해설

두 벽층의 전도 저항과 **층 사이의 접촉 저항을 직렬로 합산**해야 한다. 전체 온도차 600 °C를 면적 기준 총열저항으로 나누면 단위 면적당 열 손실량은 $1{,}500\,\mathrm{W m^{-2}}$이다.

계산 과정

1. 온도차와 계산 조건: 벽을 통과하는 정상 1차원 열전도로 계산한다. 정상상태에서는 각 벽층과 접촉면을 지나는 단위 면적당 열전달률 q''가 같으므로, 각 부분의 온도차를 더해 전체 온도차를 구할 수 있다. 주어진 온도차는 $650 - 50 = 600$ °C이다.

2. 벽층의 전도 저항: 평판의 푸리에 법칙을 온도차에 대해 정리하면 $\Delta T = q'' L/k$이다. 따라서 면적 기준 전도 저항은 $R'' = L/k$이며, 각 벽층의 저항은 $R''_1 = R''_2 = \frac{0.1}{1.0} = 0.1\,^\circ\mathrm{C m^2/W}$이다. 이는 각 벽층에서 단위 면적당 열전달률에 0.1을 곱한 만큼의 온도 강하가 생긴다는 뜻이다.

3. 총열저항: 열이 첫 번째 벽층, 접촉면, 두 번째 벽층을 차례로 통과하므로 **세 저항은 직렬로 더한다**. 접촉 저항은 이미 면적 기준 단위로 주어졌으므로 두께로 나누지 않고 그대로 더한다. $R''_{\mathrm{tot}} = R''_1 + R''_c + R''_2$에 따라 $R''_{\mathrm{tot}} = 0.1 + 0.2 + 0.1 = 0.4\,^\circ\mathrm{C m^2/W}$이다.

4. 단위 면적당 열 손실량: 전체 온도차를 총열저항으로 나누면 $q'' = \frac{\Delta T}{R''_{\mathrm{tot}}} = \frac{600}{0.4} = 1{,}500\,\mathrm{W m^{-2}}$이다. 이는 벽 면적 1 m^{2}당 외부로 전달되는 열이 초당 1,500 J라는 뜻이며, ③의 1,500에 해당한다.

NoteBase

문 16. 1차 비가역 균일계 액상반응($A \rightarrow B$)이 부피가 V인 연속교반탱크반응기(CSTR)에서 진행된다. 반응기 입구에서 공급되는 A의 농도가 1.2 mol L^{-1}이고, 반응기 출구에서 A의 농도는 0.4 mol L^{-1}이다. 동일한 반응조건에서 같은 반응물(A)을 부피가 절반($\frac{1}{2}V$)인 두 개의 연속교반탱크반응기(CSTR)를 직렬로 연결하여 반응을 진행할 때, 두 번째 반응기 출구에서의 A의 농도[mol L^{-1}]는?

① 0.3

② 0.4

③ 0.5

④ 0.6

정답 1번

간단한 해설

부피를 절반으로 줄인 각 CSTR에서는 **출구 농도가 입구 농도의 절반**이 된다. 직렬 연결에서는 이 농도 감소가 두 번 적용되므로 두 번째 반응기 출구 농도는 0.3 mol/L이다.

계산 과정

1. 물질수지와 농도 관계: 정상상태의 액상반응으로 보고 부피유량 q가 일정하다고 가정한다. 두 구성의 공급 농도와 부피유량은 같고, 동일한 반응조건이므로 1차 반응속도상수 k도 같다. CSTR에서는 **완전혼합으로 내부 농도와 출구 농도가 같으므로**, 부피 W인 반응기의 A 물질수지는 $q(C_{\text{in}} - C_{\text{out}}) = kWC_{\text{out}}$이다. 체류시간을 $\tau_W = \frac{W}{q}$로 두면 $C_{\text{out}} = \frac{C_{\text{in}}}{1 + k\tau_W}$를 얻는다.

2. 원래 반응기의 조건: 부피가 V인 반응기의 체류시간을 $\tau = \frac{V}{q}$로 두면, $1 + k\tau = \frac{1.2}{0.4} = 3$이므로 $k\tau = 2$이다. 이는 주어진 농도 감소로부터 구한 반응속도상수와 체류시간의 무차원 곱이다.

3. 절반 부피 반응기의 조건: 부피유량이 같으므로 **부피가 절반이면 체류시간도 절반**이다. 각 반응기의 체류시간은 $\tau_h = \frac{\tau}{2}$이고, $k\tau_h = \frac{k\tau}{2} = 1$이다. 따라서 각 반응기에서는 $C_{\text{out}} = \frac{C_{\text{in}}}{2}$가 된다.

4. 첫 번째 반응기: 공급 농도 1.2 mol/L에 위 관계를 적용하면 $C_{A1} = \frac{1.2}{2} = 0.6\text{mol/L}$이다. 이 값이 **두 번째 반응기의 입구 농도**가 된다.

5. 두 번째 반응기: 입구 농도 0.6 mol/L에 같은 관계를 적용하면 $C_{A2} = \frac{0.6}{2} = 0.3\text{mol/L}$이다. 따라서 두 번째 반응기 출구 농도는 0.3 mol/L이며, ①의 값과 일치한다.

NoteBase

문 17. 두 화합물 A와 B가 반응하여 C와 D를 생성하는 반응이 회분식 반응기에서 진행된다. 반응 종료 시 한계반응물의 전화율이 50%일 때, C의 몰분율은? (단, 초기 반응기에는 40 mol%의 A와 50 mol%의 B 및 반응에 참여하지 않는 비활성 물질 I가 10 mol% 존재한다)

A+B→C+D

① 0.1

② 0.2

③ 0.3

④ 0.4

정답 2번

간단한 해설

A와 B가 1:1로 반응하므로 초기 몰수가 더 적은 **A가 한계반응물**이다. A의 절반이 반응하면 C는 초기 전체 몰수의 20%만큼 생성되고, 반응 전후 총 몰수는 변하지 않으므로 C의 몰분율은 0.2이다.

계산 과정

초기 혼합물 100 mol을 기준으로 잡으면 A는 40 mol, B는 50 mol, 비활성 물질 I는 10 mol이다. 반응식 A + B → C + D에서 A와 B의 반응 몰비가 1:1이므로, 모두 반응시킬 때 먼저 소모되는 **A가 한계반응물**이다.

전화율은 반응물의 초기 몰수 중 반응한 몰수의 비율이다. A의 전화율이 50%이므로 반응한 A는 40 × 0.5 = 20 mol이다. 반응식의 계수가 모두 1이므로 B도 20 mol 소모되고, **C와 D가 각각 20 mol씩 생성**된다.

반응 종료 시 A는 40 − 20 = 20 mol, B는 50 − 20 = 30 mol이며, C와 D는 각각 20 mol이다. I는 반응에 참여하지 않아 10 mol 그대로 남는다. 따라서 전체 몰수는 20 + 30 + 20 + 20 + 10 = 100 mol이다. 이는 반응식에서 반응물 2 mol이 생성물 2 mol로 바뀌어 **반응 전후 총 몰수가 변하지 않기 때문**이다.

C의 몰분율은 C의 몰수를 **I까지 포함한 전체 몰수**로 나눈 값이다. 따라서 $x_C = n_{C} / n_{전체} = (20)/(100) = 0.2$이며, 단위가 없는 값으로 선택지 ②의 0.2와 일치한다.

NoteBase

문 18. 화학공정 플랜트의 고정비에 해당되지 않는 것은?

① 원료비

② 임대

③ 재산세

④ 보험

정답 1번

간단한 해설

원료비는 생산량이 늘면 원료 사용량과 함께 증가하는 **변동비**이다. 고정비는 일정한 조업 범위에서 생산량이 달라져도 총액이 일정하게 발생하는 비용이다.

선지별 해설

고정비와 변동비는 생산량 변화에 따른 비용 총액의 움직임으로 구분한다. 고정비는 일정한 조업 범위와 기간에서 생산량이 달라져도 총액이 일정하고, 변동비는 생산량에 따라 총액이 달라진다.

① X: 원료비는 제품 생산에 투입되는 원료의 비용이다. 원료 단가와 단위 제품당 소요량이 같다면 생산량이 늘수록 원료비 총액도 증가하므로, 고정비가 아니라 **변동비**에 해당한다.

② O: 임대에 따른 임대료는 토지·건물·설비 등을 사용하는 대가이다. 일정 기간의 임대료가 계약으로 정해져 있으면 그 기간에 생산량이 줄거나 생산을 중단해도 지급해야 하므로 **생산량과 무관하게 발생하는 고정비**로 분류한다.

③ O: 재산세는 플랜트의 토지·건물 등 재산 보유에 따라 발생하는 비용이다. 제품을 얼마나 생산했는지가 아니라 **재산 보유를 기준**으로 부담하므로 고정비에 해당한다.

④ O: 보험에 따른 보험료는 플랜트의 건물·설비 등과 관련된 위험을 보장받기 위해 부담하는 비용이다. 계약상 보장 대상과 조건이 같다면 생산량의 증감에 직접 비례하지 않으므로 고정비에 해당한다.

NoteBase

문 19. 향류(countercurrent) 이중관 열교환기를 이용해서 난방수를 1.5 kg s^{-1}의 질량 유속으로 20 °C에서 70 °C까지 가열하고자 한다. 열교환기의 총괄열전달계수가 600 W m^{-2} K^{-1}이고 열전달 면적은 5 m^2라면, 이 열교환기의 대수평균온도차[K]는? (단, 물의 비열은 4 kJ kg^{-1} K^{-1}이고, 뜨거운 유체의 상변화는 없다)

① 10

② 50

③ 100

④ 200

정답 3번

간단한 해설

난방수의 온도 상승으로 구한 열전달률은 300 kW이다. 이를 **총괄열전달계수와 전열면적의 곱**으로 나누면 대수평균온도차는 100 K이다.

계산 과정

1. 난방수의 온도 상승: 정상상태에서 외부로의 열손실을 무시하여 계산한다. 난방수의 질량 유량은 1.5 kg/s이고, 온도 상승은 70 − 20 = 50 °C로서 온도차로는 50 K이다. 이 50 K는 **난방수 자체의 입·출구 온도차**이며, 두 유체 사이의 대수평균온도차와는 다르다.

2. 열전달률: 난방수가 단위 시간에 받는 열량을 Q라 하면, 주어진 일정한 비열을 이용하여 $Q = \dot{m} c_p (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$으로 구한다. 따라서 Q = 1.5 × 4 × 50 = 300 kJ/s = 300 kW이다. 총괄열전달계수의 단위가 W를 기준으로 하므로 **300,000 W로 단위를 맞춘다**.

3. 대수평균온도차: 향류 이중관 열교환기에서는 위치에 따라 달라지는 두 유체 사이의 온도차를 대수평균온도차로 나타내어 $Q = UA\Delta T_{\text{lm}}$을 적용한다. 여기서 U는 총괄열전달계수, A는 전열면적이다. UA = 600 × 5 = 3,000 W/K이므로 $\Delta T_{\text{lm}} = \frac{Q}{UA} = \frac{300{,}000}{3{,}000} = 100\text{K}$이다. 따라서 구하는 값은 100 K로, ③의 100에 해당한다.

NoteBase

문 20. 확산계수에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① m^2s^{-1}의 SI 단위를 갖는다.

② 기체상 확산계수는 전체압력에 비례한다.

③ 기체상 확산계수는 절대온도의 $\frac{3}{2}$ 제곱에 비례한다.

④ 기체상 확산계수는 분자량이 증가할수록 감소한다.

정답 2번

간단한 해설

온도와 기체 조성이 같을 때, 기체상 확산계수는 전체압력에 **비례하는 것이 아니라 반비례**한다. 압력이 높아지면 분자 사이의 충돌이 잦아져 평균자유행로가 짧아지기 때문이다.

선지별 해설

① O: 확산계수는 농도 기울기에 따른 물질의 확산 정도를 나타낸다. 픽의 법칙 $J = -D\frac{dc}{dx}$에서 J는 단위 면적·시간당 이동하는 물질량, c는 농도, x는 위치이다. 몰유속을 농도 기울기로 나누면 길이의 제곱을 시간으로 나눈 차원이 되므로, D의 SI 단위는 m^2s^{-1}이다.

② X: 기체상 확산계수는 온도와 기체 조성이 일정할 때 전체압력 P에 **반비례**하며, $D \propto \frac{1}{P}$로 나타낸다. 압력이 높아지면 단위 부피 안의 분자 수가 늘어 충돌이 잦아지고, 분자가 다음 충돌까지 이동하는 평균 거리인 평균자유행로가 짧아진다. 따라서 '전체압력에 비례한다'는 '전체압력에 반비례한다'로 고쳐야 한다.

③ O: **분자를 일정한 크기의 강체구로 보는 묽은 기체의 운동론적 근사**에서는 같은 기체의 확산계수가 일정한 압력에서 $D \propto T^{3/2}$의 관계를 따른다. T는 절대온도이다. 평균자유행로는 T에 비례하고 평균 분자속도는 $T^{1/2}$에 비례하므로, 두 효과를 곱하면 절대온도의 3/2 제곱에 비례한다. 실제 기체에서는 분자 간 상호작용에 따라 온도 의존성이 이 근사와 달라질 수 있다.

④ O: 온도·압력과 분자 충돌에 관한 다른 조건이 같으면, **분자량이 클수록 평균 분자속도가 작아진다**. 같은 온도에서 분자의 평균 병진운동에너지가 같기 때문에 무거운 분자는 더 느리게 움직인다. 이로 인해 기체상 확산계수도 감소한다.

NoteBase