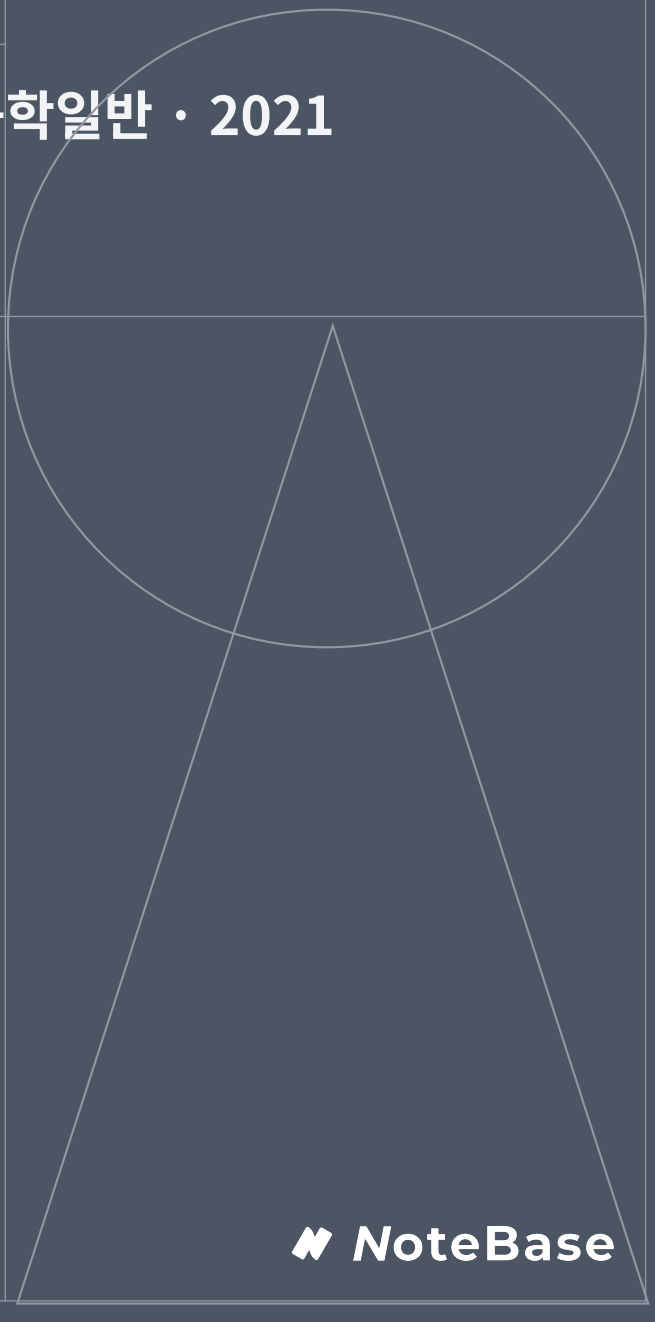
기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2021



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2021

공무원/국가직/9급 · 화학공학일반 · 2021

문 1. 표는 25 °C에서 물질 A□D에 대한 표준생성엔탈피(ΔH_f°)이다. 25 °C에서 2 mol의 A와 충분한 양의 B를 반응시킬 때, 다음 반응에 대한 표준반응엔탈피[kJ]는?

물질	A(g)	B(g)	C(g)	D(g)
ΔH_f° [kJ · mol^{-1}]	−272	−1030	−250.5	−602

$2A(g) + B(g) \rightarrow 4C(g) + D(g)$

① −30

② −15

③ 25

④ 449.5

정답 1번

간단한 해설

표준반응엔탈피는 **생성물의 표준생성엔탈피 합에서 반응물의 합을 빼서** 구한다. A 2 mol은 반응식의 계수와 일치하므로, 계수를 반영해 계산한 −30 kJ가 그대로 반응엔탈피가 된다.

NoteBase

계산 과정

반응식에서 A 2 mol과 B 1 mol이 반응하여 C 4 mol과 D 1 mol이 생성된다. B가 충분하므로 A 2 mol이 모두 반응하며, **반응식의 계수를 그대로 적용**한다.

표의 표준생성엔탈피 ΔH_f°는 각 기체 1 mol이 생성될 때의 엔탈피 변화이다. 엔탈피는 경로에 무관한 상태함수이므로, 헤스 법칙에 따라 각 값에 반응 계수를 곱한 뒤 **생성물의 합에서 반응물의 합을 뺀다**. 표와 반응의 온도가 모두 25 °C이므로 온도 보정은 필요 없다.

생성물 C와 D의 표준생성엔탈피 합은 $4 \times (-250.5) + (-602) = -1604$ kJ이다. 이는 C 4 mol과 D 1 mol을 구성 원소로부터 생성할 때의 엔탈피 변화이다.

반응물 A와 B의 표준생성엔탈피 합은 $2 \times (-272) + (-1030) = -1574$ kJ이다. B는 실제로 반응하는 1 mol만 반영한다.

표준반응엔탈피는 $-1604 - (-1574) = -30$ kJ이다. 음수이므로 A 2 mol이 반응할 때 열 30 kJ을 방출하는 발열반응이며, 계산값은 ①의 −30 kJ와 일치한다.

NoteBase

문 2. 베르누이식 ($\frac{\Delta P}{\rho} + \frac{\Delta u^2}{2} + g\Delta z = 0$)의 가정이 아닌 것은? (단, P는 압력, ρ는 밀도, u는 유체의 평균 유속, g는 중력가속도, z는 높이이다)

① 마찰 손실이 없음

② 축일이 없음

③ 정상상태

④ 압축성 유체

정답 4번

간단한 해설

제시된 베르누이식은 밀도가 일정한 **비압축성 유체**를 가정한다. 압축성 유체는 흐름에 따라 밀도가 달라질 수 있으므로, 압력에 관한 항을 단순히 $\frac{\Delta P}{\rho}$로 나타낼 수 없다.

선지별 해설

제시된 베르누이식은 유선을 따라 단위 질량당 압력에너지, 운동에너지, 위치에너지의 합이 일정하다는 관계이다. 각 선지는 이 식을 적용하는 가정에 해당하는지를 판단한다.

① O: 마찰이 있으면 유체의 역학적 에너지 일부가 내부에너지로 전환되므로 손실항을 고려해야 한다. 제시된 식에는 손실항이 없으므로 **마찰 손실이 없는 흐름**을 가정한다.

② O: 축일은 펌프나 터빈의 회전축을 통해 유체와 외부 사이에 전달되는 일이다. 펌프는 유체에 에너지를 공급하고 터빈은 유체에서 에너지를 얻으므로, 축일이 있으면 그에 해당하는 항이 필요하다. 제시된 식에는 이 항이 없으므로 **축일이 없음**을 가정한다.

③ O: 정상상태란 **각 위치의 압력·유속 등 유동 특성이 시간에 따라 변하지 않는 상태**이다. 제시된 식은 시간에 따른 유동 변화에 관한 항을 포함하지 않는 정상흐름의 베르누이식이다. 정상상태라도 서로 다른 위치의 압력이나 유속은 다를 수 있다.

④ X: 제시된 식의 가정은 압축성 유체가 아니라 **밀도 ρ가 일정한 비압축성 유체**이다. 밀도가 일정해야 압력 변화에 따른 단위 질량당 에너지 변화를 $\frac{\Delta P}{\rho}$로 쓸 수 있다. 밀도가 변하는 압축성 흐름에서는 압력에 따른 밀도 변화를 함께 고려해야 한다.

NoteBase

문 3. 화학공정의 개발 및 건설 과정을 시작부터 순서대로 바르게 나열한 것은?

① 기초연구→공정개발연구→공정 설계→플랜트 설계→플랜트 건설

② 공정개발연구→기초연구→공정 설계→플랜트 설계→플랜트 건설

③ 기초연구→플랜트 설계→공정개발연구→공정 설계→플랜트 건설

④ 공정 설계→기초연구→공정개발연구→플랜트 설계→플랜트 건설

정답 1번

간단한 해설

공정 설계에는 **기초연구와 공정개발연구에서 얻은 자료**가 필요하다. 이를 바탕으로 생산 공정을 정한 뒤, 실제 시설의 배치·배관 등을 설계하고 그 도면에 따라 건설한다.

올바른 순서

기초연구 → 공정개발연구 → 공정 설계 → 플랜트 설계 → 플랜트 건설

기초연구: 물질의 성질과 반응 원리 등 공정 개발에 필요한 기초 지식을 확보한다. 반응 특성과 분리 가능성 등을 알아야 이를 생산 공정으로 구현하는 연구를 진행할 수 있다.

공정개발연구: 기초연구 결과를 바탕으로 생산에 적용할 반응·분리 방법과 운전 조건 등을 실험적으로 검토한다. 이 단계에서 얻은 **공정의 성능과 운전 자료**가 이후 공정 설계의 근거가 된다.

공정 설계: 개발된 공정의 흐름을 정하고 물질수지와 에너지수지를 계산하여 필요한 장치의 종류·용량과 운전 조건을 구체화한다. 즉, **무엇을 어떤 공정과 규모로 생산할지** 정하여 실제 플랜트를 설계할 기준을 마련한다.

플랜트 설계: 공정 설계 결과를 바탕으로 장치 배치, 배관, 계측·제어, 토목·건축 등을 구체화한다. 공정의 요구 사항을 **실제로 시공할 수 있는 도면과 사양**으로 옮기는 단계이므로 공정 설계 뒤에 온다.

플랜트 건설: 플랜트 설계에서 정한 도면과 사양에 따라 구조물을 시공하고 장치와 배관 등을 설치한다. 설계로 구체화한 생산 시설을 실제 현장에 구현하는 단계이다.

NoteBase

문 4. 일정 시점에 기업이 보유하고 있는 자산, 부채, 자본의 구성 상태를 나타내는 재무제표는?

① 재무상태표

② 포괄손익계산서

③ 현금흐름표

④ 자본변동표

정답 1번

간단한 해설

기업의 **일정 시점의 자산·부채·자본 구성**을 보여 주는 재무제표가 재무상태표이다.

공통 해설

재무상태표는 특정 날짜를 기준으로 기업의 자산, 부채, 자본이 각각 얼마나 있으며 어떻게 구성되어 있는지를 나타낸다. 자산은 기업이 통제하는 경제적 자원이고, 부채는 기업이 이행해야 할 의무이며, 자본은 자산에서 부채를 차감한 잔여지분이다. 이 문항의 판단 기준은 **기준일 현재의 잔액과 구성**이다. 일정 기간의 손익이나 현금·자본의 변동을 나타내는 보고서와 구별되므로, 제시된 정의는 재무상태표에 해당한다.

NoteBase

문 5. 100 kPa, 60 °C에서 상대습도가 80%인 습한 공기가 100 mol · h^{-1}로 제습기에 들어간다. 제습기가 공기 중 수분의 62.5%를 응축시킬 때, 응축기를 나가는 기체 중 수증기의 몰분율은? (단, 60 °C에서 포화수증기압은 20 kPa이다)

① $\frac{1}{30}$
② $\frac{1}{15}$
③ $\frac{1}{3}$
④ $\frac{2}{3}$

정답 2번

간단한 해설

응축 후에는 **남아 있는 수증기와 건조 공기를 합한 몰유량**을 기준으로 몰분율을 구한다. 수증기는 6 mol/h, 출구 기체 전체는 90 mol/h이므로 수증기의 몰분율은 $\frac{1}{15}$이다.

계산 과정

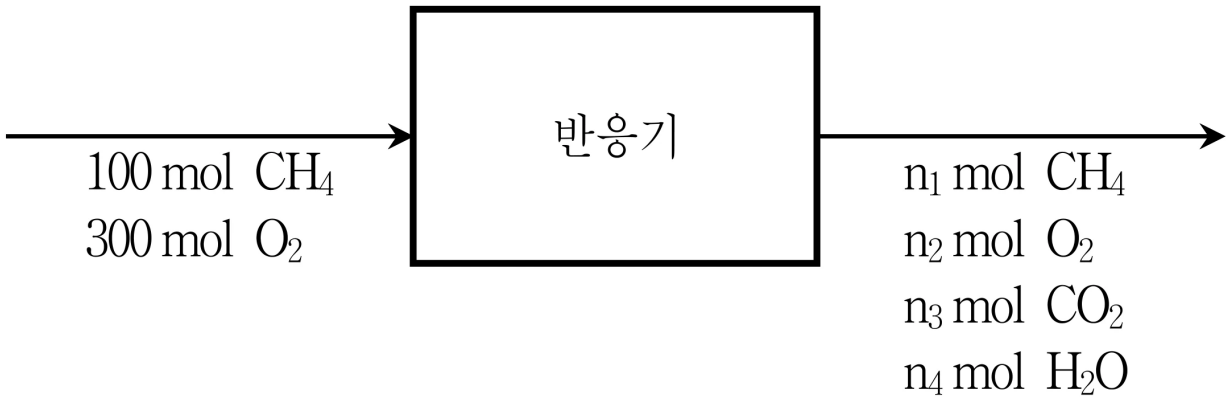
유입 수증기량: 상대습도는 같은 온도에서 수증기 분압을 포화수증기압으로 나눈 값이다. 따라서 유입 수증기 분압은 0.80 × 20 = 16 kPa이다. 습한 공기를 이상기체 혼합물로 보면 수증기의 몰분율은 $y_{\text{in}} = \frac{p_w}{P} = \frac{16}{100} = 0.16$이다. 전체 유입 몰유량이 100 mol/h이므로 수증기는 16 mol/h, 건조 공기는 100 − 16 = 84 mol/h이다.

응축 후 수증기량: 유입 수증기의 62.5%가 액체로 빠져나가므로 기체에 남는 비율은 100 − 62.5 = 37.5%이다. 출구 수증기 몰유량은 16 × 0.375 = 6 mol/h이다. 이때 **응축되지 않는 건조 공기의 몰유량은 84 mol/h로 유지**된다.

출구 몰분율: 기체 전체의 몰유량은 84 + 6 = 90 mol/h이다. 몰분율의 분모에는 **응축된 액체를 제외한 출구 기체 전체**를 넣으므로 $y_{\text{out}} = \frac{6}{84+6} = \frac{6}{90} = \frac{1}{15}$이다. 몰분율은 단위가 없으며, 이 값은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 6. 그림은 회분식 반응기에서 일어나는 메테인(CH_4)의 완전연소 반응이다. 반응물이 100 mol의 메테인과 300 mol의 산소일 때, 반응 후 남은 산소와 생성된 물의 몰수의 합($n_2 + n_4$)[mol]은? (단, 메테인의 전화율(fractional conversion)은 80%이다)



① 160

② 240

③ 300

④ 380

정답 3번

간단한 해설

메테인 1 mol이 완전연소하면 **산소 2 mol을 소비하고 물 2 mol을 생성**한다. 전화율 80%에 따라 메테인 80 mol이 반응하므로, 남은 산소 140 mol과 생성된 물 160 mol의 합은 300 mol이다.

NoteBase

계산 과정

완전연소의 반응식은 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$이다. 원자 수를 맞춘 반응계수에 따라, 반응한 메테인과 소비된 산소 및 생성된 물의 몰수비는 1 : 2 : 2이다.

반응한 메테인의 몰수: 전화율은 **처음 넣은 메테인 중 반응한 비율**이다. 따라서 메테인 100 mol 중 $100 \times 0.80 = 80$ mol이 반응한다. 완전연소라는 조건은 반응한 메테인이 이산화탄소와 물로 바뀐다는 뜻이며, 투입한 메테인이 모두 반응한다는 뜻은 아니다.

남은 산소 n_2: 메테인 80 mol의 연소에 소비되는 산소는 $2 \times 80 = 160$ mol이다. 그림에서 처음 넣은 산소는 300 mol이므로, **초기 몰수에서 소비된 몰수를 빼면** $n_2 = 300 - 160 = 140$ mol이다.

생성된 물 n_4: 메테인 1 mol당 물 2 mol이 생성되므로, $n_4 = 2 \times 80 = 160$ mol이다.

구하는 합은 $n_2 + n_4 = 140 + 160 = 300$ mol이며, 선택지 ③의 300에 해당한다.

NoteBase

문 7. 내경 1 cm인 원통형 파이프1과 내경 2 cm인 원통형 파이프2가 직렬로 연결된 상태에서 물이 파이프 내부를 정상상태 흐름으로 흐를 때, 파이프1에서의 물의 평균유속은 파이프2에서의 물의 평균유속의 몇 배인가?

① 0.25

② 2

③ 4

④ 8

정답 3번

간단한 해설

직렬로 연결된 두 파이프에서는 물의 체적유량이 같으므로 평균유속은 **단면적에 반비례**한다. 파이프2의 내경이 2배여서 단면적은 4배이므로, 파이프1의 평균유속은 파이프2의 4배이다.

계산 과정

두 파이프의 단면적을 A_1, A_2, 평균유속을 $\bar{v}_1, \bar{v}_2$라 하자. 물을 밀도가 일정한 비압축성 유체로 취급하면, 직렬 연결된 파이프의 정상상태 흐름에서는 **두 단면을 지나는 체적유량이 같다**. 체적유량은 단면적과 평균유속의 곱이므로 연속방정식 $A_1\bar{v}_1 = A_2\bar{v}_2$가 성립한다.

원형 단면의 넓이는 내경 D에 대해 $A = \frac{\pi D^2}{4}$이다. 내경이 각각 1 cm, 2 cm이므로 단면적의 비는 $\frac{A_2}{A_1} = \left(\frac{2}{1}\right)^2 = 4$이다. 즉, 파이프2는 파이프1보다 단면적이 4배 크다. 두 내경의 단위가 같으므로 이 비를 구할 때 단위 환산은 필요하지 않다.

같은 체적유량을 유지하려면 **좁은 파이프에서 평균유속이 더 커야 한다**. 연속방정식을 정리하면 $\frac{\bar{v}_1}{\bar{v}_2} = \frac{A_2}{A_1} = 4$이다. 따라서 파이프1의 평균유속은 파이프2의 4배이며, ③의 4에 해당한다. 유속끼리의 비이므로 단위는 없다.

NoteBase

문 8. 황사현상이 심한 날 대기 중에 떠 있는 부유 분진량을 측정하기 위하여 대기흡입유량이 1.0 $m^3 \cdot min^{-1}$ 인 분진 포집기를 이용하여 24시간 동안 포집한 분진의 양이 720 mg일 때, 대기 중 부유 분진의 농도[$\mu g \cdot m^{-3}$]는?

① 300

② 400

③ 500

④ 600

정답 3번

간단한 해설

부유 분진의 농도는 **포집한 분진 질량을 총 흡입 공기 부피로 나눈 값**이다. 24시간 동안 흡입한 공기 1440 m^3에 분진 720000 μg이 들어 있으므로 농도는 500 μg/m^3이다.

계산 과정

농도 C는 공기 단위 부피에 포함된 분진 질량이다. 포집한 분진 질량을 m, 총 흡입 공기 부피를 V라 하면 $C = \frac{m}{V}$로 계산한다. 흡입유량 Q가 일정하므로 포집시간 t 동안 흡입한 부피는 $V = Qt$이다.

총 흡입 공기 부피: 유량이 1.0 m^3/min이므로 **포집시간을 분 단위로 맞춘다**. 24시간 = 24 × 60 = 1440분이고, 총 흡입 부피는 1.0 × 1440 = 1440 m^3이다. 이는 24시간 동안 포집기를 통과한 공기의 부피이다.

분진 질량 환산: 요구하는 농도의 질량 단위가 μg이므로 1 mg = 1000 μg을 적용한다. 포집된 분진 720 mg은 720 × 1000 = 720000 μg이다.

농도 계산: $C = \frac{720000}{1440} = 500$ μg/m^3이다. 즉, 흡입한 공기 1 m^3당 분진이 평균 500 μg 포함되어 있으며, 이는 ③의 500에 해당한다.

NoteBase

문 9. 유체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 전단응력(shear stress)은 전단력을 전단면적으로 나눈 값이다.

② 운동점도(kinematic viscosity)는 유체의 점도를 밀도로 나눈 값이다.

③ 뉴튼 유체(Newtonian fluid)는 전단응력과 속도구배가 비례 관계이다.

④ 빙햄 유체(Bingham fluid)는 전단응력이 작아질수록 점도가 0에 수렴한다.

정답 4번

간단한 해설

빙햄 유체는 **항복응력**을 넘어야 흐른다. 흐르는 구간에서 전단응력을 낮추면 **겉보기 점도는 오히려 커지므로**, '점도가 0에 수렴한다'는 설명은 잘못되었다.

선지별 해설

① O: 전단응력은 면에 평행하게 작용하는 **단위 면적당 전단력**이다. 전단력이 면적에 균일하게 작용하면 $\tau = \frac{F}{A}$ 이며, F는 전단력, A는 그 힘이 작용하는 면적이다. SI 단위는 Pa이다.

② O: 운동점도는 **점도를 밀도로 나눈 값**으로, $\nu = \frac{\mu}{\rho}$이다. 여기서 μ는 점도, ρ는 밀도이며, 운동점도의 SI 단위는 m^2/s이다.

③ O: 뉴튼 유체는 같은 온도와 압력에서 **전단응력과 속도구배가 정비례**한다. 단순 전단유동에서는 $\tau = \mu\dot{\gamma}$이고, 전단속도 $\dot{\gamma}$는 유동 방향에 수직인 방향의 속도구배이다. 비례상수인 점도 μ는 전단속도에 따라 달라지지 않는다.

④ X: 빙햄 유체는 **항복응력 이하에서는 흐르지 않고**, 항복응력을 넘으면 흐르는 유체이다. 흐르는 구간에서 전단응력과 전단속도의 크기는 $\tau = \tau_y + \mu_p\dot{\gamma}$의 관계를 따른다. 여기서 τ_y는 항복응력, μ_p는 일정한 소성점도이다. 겉보기 점도는 $\mu_{app} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \mu_p + \frac{\tau_y}{\dot{\gamma}}$이므로, 전단응력이 낮아져 전단속도가 작아질수록 **겉보기 점도는 증가한다**. 따라서 점도가 0에 수렴한다는 표현은 이 관계를 반대로 설명한 것이다.

NoteBase

문 10. 판형 열교환기의 한쪽 벽면을 내부식성 소재로 코팅하고자 한다. 코팅제의 코팅 두께는 2 μm이고 열교환기 금속 재질의 두께는 1 cm일 때, 코팅으로 인한 단위 면적당 열전도 저항의 증가율[%]은? (단, 정상상태 조건에서 벽을 통한 1차원 전도이며, 열교환기 금속 재질과 코팅제 소재의 열전도도는 각각 10 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$, 2.0×10^{-2} $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$이다)

① 5

② 10

③ 15

④ 20

정답 2번

간단한 해설

금속벽과 코팅층의 열전도 저항은 **직렬로 더해진다**. 코팅층의 저항이 기존 금속벽 저항의 0.1배이므로, 코팅으로 인한 저항 증가율은 10%이다.

계산 과정

정상상태의 1차원 전도에서는 금속벽과 코팅층을 같은 열유속이 통과하므로 두 층의 열전도 저항을 더한다. 두께가 L, 열전도도가 k인 평판의 단위 면적당 열전도 저항은 $R'' = \frac{L}{k}$이다. 따라서 코팅 전 저항은 금속벽의 저항이고, **코팅으로 추가되는 저항**은 코팅층 자체의 저항이다.

금속벽의 저항: 두께 1 cm를 0.01 m로 바꾸고, 열전도도 10 $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$을 적용한다. $R''_m = \frac{0.01}{10} = 0.001$ $m^2 \cdot K/W$이다. 이 값이 증가율을 구할 때의 **코팅 전 기준 저항**이다.

코팅층의 저항: 두께 2 μm는 2×10^{-6} m이고, 열전도도는 2.0×10^{-2} $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$이다.
$R''_c = \frac{2 \times 10^{-6}}{2.0 \times 10^{-2}} = 0.0001$ $m^2 \cdot K/W$이다. 따라서 코팅 후 전체 저항은 0.001 + 0.0001 = 0.0011 $m^2 \cdot K/W$이다.

저항 증가율: 증가분을 **코팅 전 금속벽의 저항으로 나누어** 백분율로 나타낸다.
$\frac{R''_c}{R''_m} \times 100 = \frac{0.0001}{0.001} \times 100 = 10\%$이다. 증가율 10%는 ②의 10에 해당한다.

NoteBase

문 11. 레이놀즈(Reynolds)수의 물리적 의미는?

① 마찰력점성력

② 관성력점성력

③ 압력관성력

④ 부력점성력

정답 2번

간단한 해설

레이놀즈수는 점성에 의한 저항에 비해 **관성 효과가 얼마나 큰지**를 나타내는 무차원수이다. 점성력을 기준으로 관성력을 나눈 비로 해석한다.

구성 요소별 해설

분자—관성력: 유체의 운동량 변화와 관련된 힘이다. 레이놀즈수에서는 **관성 효과의 크기**를 비교하므로 분자에 관성력을 놓는다. 마찰력이나 부력을 분자에 놓으면 이 관계를 나타낼 수 없다.

분모—점성력: 점성 때문에 인접한 유체층의 상대운동을 방해하는 내부 마찰력이다. 이 힘을 **비교의 기준**으로 삼아 분모에 놓는다. 따라서 압력과 관성력을 비교하는 비도 레이놀즈수의 정의에 해당하지 않는다.

두 요소를 결합하면 레이놀즈수는 관성력점성력의 의미를 가지므로 ②의 비와 일치한다. 값이 클수록 점성 효과에 비해 관성 효과가 크고, 작을수록 관성 효과에 비해 점성 효과가 크다.

NoteBase

문 12. 열전달의 방법 중 복사(radiation)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 복사 열전달에는 전달물질이 필요 없다.

② 흑체에서 단위 면적당 복사 에너지 방출 속도는 절대 온도의 네제곱에 비례한다.

③ 복사에 의한 에너지 전달량은 에너지가 교환되는 두 면이 완전진공에 의해 분리되어 있을 때 최소가 된다.

④ 흑체는 들어오는 복사 에너지를 반사하거나 투과하지 않는다.

정답 3번

간단한 해설

복사는 **완전진공에서도 전달**되며, 진공에서는 중간 매질에 의한 흡수·산란이 없다. 따라서 두 면이 진공으로 분리되면 복사 에너지 전달량이 최소가 된다는 설명은 성립하지 않는다.

선지별 해설

① O: 복사 열전달은 **전자기파를 통한 에너지 전달**이므로 물질로 된 매개체가 필요 없다. 물질의 접촉이나 유체의 이동을 필요로 하는 전도·대류와 달리 진공에서도 일어난다.

② O: 흑체의 단위 면적당 복사 에너지 방출 속도는 스테판·볼츠만 법칙 $E_b = \sigma T^4$을 따른다. 여기서 E_b는 단위 면적당 방출 속도, σ는 스테판·볼츠만 상수, T는 K 단위의 **절대 온도**이다. 따라서 방출 속도는 절대 온도의 네제곱에 비례한다.

③ X: 완전진공은 복사 전달을 막지 않는다. 진공에서는 중간 매질에 의한 **흡수·산란 없이** 복사 에너지가 두 면 사이를 이동하므로, 진공으로 분리되었다는 이유로 전달량이 최소가 되지는 않는다. 두 면 사이의 복사 에너지 교환은 진공에서도 각 면의 온도, 표면 특성 및 배치에 따라 이루어진다.

④ O: 흑체는 파장과 입사 방향에 관계없이 들어오는 복사 에너지를 **모두 흡수**하는 이상적인 물체이다. 입사 에너지가 전부 흡수되므로 반사되거나 투과되는 부분은 없다.

NoteBase

문 13. 정압 비열의 정의는? (단, H는 단위 질량당 엔탈피, P는 압력, T는 절대 온도, V는 단위 질량당 부피이다)

① $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$
② $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_V$
③ $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_V$
④ $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$

정답 4번

간단한 해설

정압 비열은 **압력을 일정하게 유지할 때** 단위 질량당 엔탈피가 **온도에 따라 변하는 비율**이다. 따라서 엔탈피를 온도로 편미분하고, 일정하게 유지하는 압력은 아래첨자 P로 표시한다.

구성 요소별 해설

미분하는 변수: 비열은 온도 변화에 따른 에너지 변화의 크기를 나타낸다. 조성이 일정하고 압력·부피 일만 하는 계를 일정한 압력에서 가열하면, 공급한 열은 엔탈피 증가로 나타난다. 따라서 정압 비열에는 단위 질량당 엔탈피 H를 **온도 T로 편미분**한 식을 사용한다. ①·②처럼 H를 압력 P로 편미분한 식은 압력 변화에 따른 엔탈피 변화율이므로 비열의 정의가 아니다.

고정하는 변수: 편미분 기호 밖의 아래첨자는 미분하는 동안 일정하게 유지하는 물리량이다. 정압은 **압력 P가 일정**하다는 뜻이므로 아래첨자는 P이다. ③의 아래첨자 V는 단위 질량당 부피를 일정하게 유지한다는 뜻이어서 정압 조건과 다르다.

두 요소를 결합하면 정압 비열은 $c_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$로 정의되며, 이는 ④의 식에 해당한다.

NoteBase

문 14. 벤젠과 톨루엔의 혼합물이 기-액 평형을 이루고 있다. 기상에서 벤젠의 몰분율이 0.6일 때, 액상에서 톨루엔의 몰분율은? (단, 기체는 이상기체, 액상은 이상용액이며, 벤젠과 톨루엔의 증기압은 각각 1 bar, 0.4 bar이다)

① 0.5

② 0.625

③ 0.75

④ 0.875

정답 2번

간단한 해설

각 성분의 분압은 **액상 몰분율과 순수 성분 증기압의 곱**이며, 두 성분의 분압비는 기상 몰분율비와 같다. 이 관계를 적용하면 액상 벤젠의 몰분율은 0.375이고, 액상 톨루엔의 몰분율은 0.625이다.

계산 과정

벤젠을 B, 톨루엔을 T로 나타내고, 액상 몰분율을 x_i, 기상 몰분율을 y_i, 전체 압력을 P, 순수 성분의 증기압을 P_i^*로 둔다. **이상기체와 이상용액 조건**에서 돌턴 법칙과 라울 법칙을 결합하면 $y_iP = x_iP_i^*$이다. 양변은 모두 성분 i의 분압이며, 압력 단위는 bar이다.

기상 벤젠의 몰분율이 0.6이므로 톨루엔의 기상 몰분율은 $y_\mathrm{T} = 1 - 0.6 = 0.4$이다. 두 성분의 평형식을 나누면 **전체 압력이 소거**되어 $\frac{y_\mathrm{B}}{y_\mathrm{T}} = \frac{x_\mathrm{B}P_\mathrm{B}^*}{x_\mathrm{T}P_\mathrm{T}^*}$가 된다.

주어진 증기압을 대입하면 $\frac{0.6}{0.4} = \frac{x_\mathrm{B} \times 1}{x_\mathrm{T} \times 0.4}$이므로 $x_\mathrm{B} = 0.6x_\mathrm{T}$이다. 이는 액상에서 벤젠의 몰수가 톨루엔 몰수의 0.6배라는 뜻이다.

액상에서도 **두 성분의 몰분율 합은 1**이므로 $x_\mathrm{B} + x_\mathrm{T} = 1$이다. 따라서 $0.6x_\mathrm{T} + x_\mathrm{T} = 1$, $x_\mathrm{T} = \frac{1}{1.6} = 0.625$이다. 액상 톨루엔의 몰분율은 단위가 없는 값이며, ②의 0.625와 일치한다.

NoteBase

문 15. 아세톤(acetone)과 메틸에틸케톤(methyl ethyl ketone)의 혼합물이 기-액 평형을 이루고 있는 계의 경우와 같은 자유도(degree of freedom) 수를 갖는 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 수증기와 평형을 이루고 있는 액체 물
ㄴ. 수증기 및 질소의 혼합물과 평형을 이루고 있는 액체 물
ㄷ. 자체의 증기와 평형을 이루고 있는 에탄올 수용액
ㄹ. 기체, 액체, 고체가 평형을 이루고 있는 순수한 메탄올

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄴ, ㄹ

정답 3번

간단한 해설

기-액 평형의 이성분계는 **성분 2개·상 2개**이므로 자유도가 2이다. 수증기와 질소가 섞여 있어도 기체 혼합물은 **하나의 기상**이며, 에탄올 수용액은 에탄올과 물로 이루어진 이성분계이다.

NoteBase

보기별 해설

자유도는 평형을 유지하면서 독립적으로 정할 수 있는 온도·압력·조성 등의 상태변수 수이다. 화학반응이 없고 온도나 압력이 별도로 고정되지 않은 계에서는 깁스의 상률 $F = C - P + 2$를 적용한다. C는 독립 성분 수, P는 공존하는 상의 수이다. 비교 기준인 아세톤·메틸에틸케톤 혼합물은 성분이 2개이고 기상과 액상이라는 2개의 상이 공존하므로 F = 2 - 2 + 2 = 2이다.

ㄱ. 자유도 1: 액체 물과 수증기는 상태만 다를 뿐 모두 물이므로 **성분은 1개**이다. 액상과 기상이 공존하므로 상은 2개이고, F = 1 - 2 + 2 = 1이다. 온도를 정하면 평형 증기압이 정해져 온도와 압력을 각각 독립적으로 정할 수 없다. 따라서 기준 계의 자유도 2와 다르다.

ㄴ. 자유도 2: 물과 질소가 있으므로 성분은 2개이다. 수증기와 질소는 섞여 **하나의 기상**을 이루고, 액체 물이 별도의 액상을 이루므로 상은 2개이다. 따라서 F = 2 - 2 + 2 = 2로 기준 계와 같다.

ㄷ. 자유도 2: 에탄올 수용액에는 에탄올과 물이라는 **두 성분**이 있다. 두 성분이 섞인 액상과 그 위의 기상이 공존하므로 상은 2개이다. 따라서 F = 2 - 2 + 2 = 2로 기준 계와 같다.

ㄹ. 자유도 0: 순수한 메탄올이므로 성분은 1개이고, 기체·액체·고체가 공존하므로 상은 3개이다. 따라서 F = 1 - 3 + 2 = 0이다. 세 상이 평형을 이루는 **삼중점에서는 온도와 압력이 모두 정해져** 독립적으로 바꿀 수 없으므로 기준 계와 다르다.

기준 계와 자유도가 같은 것은 ㄴ과 ㄷ이며, 이 조합은 ③에 해당한다.

NoteBase

문 16. 부피가 50.0 cm^3인 빈 비중병의 질량이 13.0 g이다. 이 비중병에 분체를 가득 채운 후 측정한 질량은 37.0 g이다. 분체로 가득 찬 비중병에 증류수를 넘치기 직전까지 넣었을 때 측정한 증류수의 부피가 30.0 cm^3이다. 이 분체의 겉보기밀도가 0.90 g · cm^{-3}일 때, 공극률은? (단, 분체로 가득 찬 비중병에 증류수를 넣을 때 증류수를 조금씩 천천히 넣어 분체 내부에 있는 기포를 완전히 제거하였고, 비중병으로부터 넘쳐 나온 분체는 전혀 없다)

① 0.20

② 0.25

③ 0.30

④ 0.35

정답 2번

간단한 해설

비중병으로 구한 진밀도는 1.20 g·cm^{-3}이다. **겉보기밀도와 진밀도의 비를 1에서 빼면** 공극률은 0.25, 즉 25%이다.

계산 과정

분체의 질량: 빈 비중병의 질량을 빼면 분체만의 질량은 37.0 − 13.0 = 24.0 g이다. 분체가 넘쳐 나오지 않았으므로 물을 넣은 뒤에도 이 질량은 유지된다.

고체 자체의 부피: 기포를 완전히 제거하였으므로 물은 입자 사이의 빈 공간과 입자 내부의 공극을 채운다. 비중병 전체 부피에서 넣은 물의 부피를 빼면 **공극을 제외한 고체 자체의 부피**는 50.0 − 30.0 = 20.0 cm^3이다.

진밀도: 고체 자체의 부피를 기준으로 한 밀도이므로, $\rho_t = \frac{24.0}{20.0} = 1.20\ \mathrm{g \cdot cm^{-3}}$이다.

공극률의 관계식: 이 문제의 겉보기밀도 ρ_a는 입자 내부의 공극까지 포함한 부피를 기준으로 한다. 고체 부피를 V_s, 공극을 포함한 입자 부피를 V_a, 분체 질량을 m이라 하면 $\rho_t = \frac{m}{V_s}$, $\rho_a = \frac{m}{V_a}$이다. 따라서 $\frac{\rho_a}{\rho_t} = \frac{V_s}{V_a}$는 전체 입자 부피 중 **고체가 차지하는 비율**이다. 나머지가 공극이므로 공극률은 $\varepsilon = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_t}$이다.

수치를 대입하면 $\varepsilon = 1 - \frac{0.90}{1.20} = 0.25$이다. 공극률은 부피끼리의 비이므로 단위가 없으며, 입자 부피의 25%가 공극이라는 뜻이다. 이는 ②의 0.25와 일치한다.

NoteBase

문 17. 일정한 온도에서 성분 A와 성분 B로 이루어진 라울(Raoult)의 법칙을 따르는 혼합물이 기-액 평형에 있다. 성분 B에 대한 성분 A의 상대 휘발도 α_{AB}를 나타낸 것으로 옳은 것은? (단, p_i^*는 성분 i의 증기압, x_i는 성분 i의 액상에서의 몰분율, y_i는 성분 i의 기상에서의 몰분율을 나타낸다)

① $\frac{p_A^*}{p_B^*}$
② $\frac{y_A}{y_B}$
③ $\frac{x_A}{x_B}$
④ $\frac{x_A y_A}{x_B y_B}$

정답 1번

간단한 해설

상대 휘발도는 두 성분의 **기상·액상 몰분율 비를 서로 비교**한 값이다. 라울의 법칙을 따르는 혼합물에서는 $\alpha_{AB} = \frac{p_A^*}{p_B^*}$로 나타낸다.

핵심 풀이

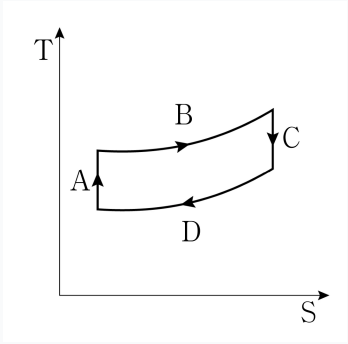
상대 휘발도는 성분이 액상에 비해 기상에 얼마나 많이 분포하는지를 두 성분 사이에서 비교한 값이다. 따라서 정의는 $\alpha_{AB} = \frac{y_A/x_A}{y_B/x_B}$이다. 이는 기상 조성비를 액상 조성비로 나눈 $\alpha_{AB} = \frac{y_A/y_B}{x_A/x_B}$와 같다.

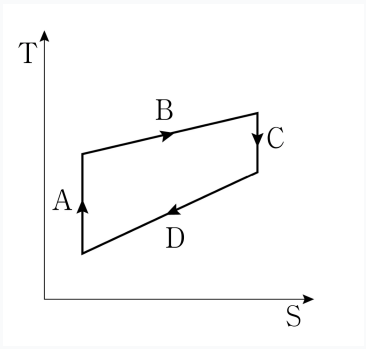
전체 압력을 P라 하면, 기상의 분압 관계와 라울의 법칙에서 $y_i P = x_i p_i^*$이므로 $\frac{y_i}{x_i} = \frac{p_i^*}{P}$이다. 이를 상대 휘발도의 정의에 대입하면 $\alpha_{AB} = \frac{p_A^*/P}{p_B^*/P} = \frac{p_A^*}{p_B^*}$이다. 두 성분에 공통인 **전체 압력 P가 약분**되어, 주어진 온도에서 각 성분의 증기압 비로 표현된다.

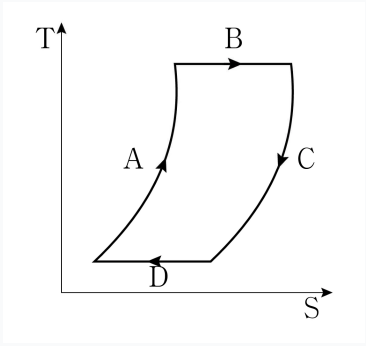
$\frac{y_A}{y_B}$는 기상에서의 조성비이고, $\frac{x_A}{x_B}$는 액상에서의 조성비이다. 상대 휘발도는 이 두 조성비 중 하나만을 뜻하지 않으며, **기상 조성비를 액상 조성비로 나눈 값**이다. 따라서 두 조성비를 곱한 $\frac{x_A y_A}{x_B y_B}$와도 구별된다.

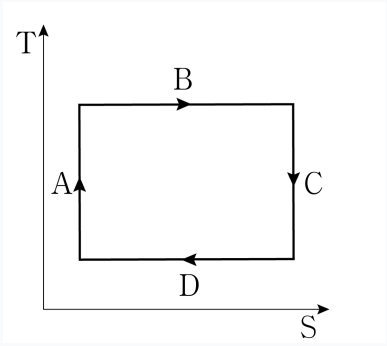
NoteBase

문 18. 4단계의 가역공정(단열압축(A) → 등온팽창(B) → 단열팽창(C) → 등온압축(D))으로 구성된 카르노사이클(Carnot cycle)의 T-S선도로 옳은 것은? (단, T는 절대 온도, S는 단위 몰당 엔트로피이다)

① 

② 

③ 

④ 

정답 4번

NoteBase

간단한 해설

가역 단열공정은 **엔트로피가 일정하여 수직선**, 등온공정은 **온도가 일정하여 수평선**으로 나타난다.
단열압축에서는 위로, 등온팽창에서는 오른쪽으로 진행하므로 주어진 카르노사이클은 시계방향의 직사각형이 된다.

도식 해설

T-S선도는 세로축이 절대온도 T, 가로축이 몰 엔트로피 S이다. 가역공정에서는 $dS = \frac{\delta q_{rev}}{T}$이며, 여기서 δq_{rev}는 단위 몰당 가역적으로 흡수한 미소 열량이다. 따라서 가역 단열공정에서는 열 출입이 없어 S가 일정하고, 등온공정에서는 T가 일정하다.

A 단열압축: 엔트로피가 일정한 상태에서 압축으로 온도가 상승한다. 따라서 **왼쪽 수직선을 따라 위로** 진행한다.

B 등온팽창: 높은 온도를 일정하게 유지하면서 열을 흡수하므로 엔트로피가 증가한다. 따라서 **위쪽 수평선을 따라 오른쪽으로** 진행한다.

C 단열팽창: 엔트로피가 일정한 상태에서 팽창으로 온도가 하강한다. 따라서 **오른쪽 수직선을 따라 아래로** 진행한다.

D 등온압축: 낮은 온도를 일정하게 유지하면서 열을 방출하므로 엔트로피가 감소한다. 따라서 **아래쪽 수평선을 따라 왼쪽으로** 진행하여 처음 상태로 돌아온다.

④는 A·C가 수직선이고 B·D가 수평선인 직사각형이며, 각 화살표 방향도 위 조건과 일치한다. ①·②는 B·D에서 온도가 변하므로 등온공정을 나타내지 못하고, ③은 A·C에서 엔트로피가 변하므로 가역 단열공정을 나타내지 못한다.

NoteBase

문 19. 지름이 2cm인 수평 원통관을 통하여 레이놀즈수가 240인 조건으로 유체를 수송하던 중, 관이 파손되어 새로운 관으로 교체하였다. 교체된 관의 지름이 4cm이고, 동일한 유체를 같은 부피 유량만큼 수송할 때, 레이놀즈수는?

① 120

② 160

③ 240

④ 480

정답 1번

간단한 해설

같은 유체를 같은 부피 유량으로 수송하면 레이놀즈수는 **관 지름에 반비례**한다. 지름이 2 cm에서 4 cm로 두 배가 되므로 레이놀즈수는 절반인 120이 된다.

계산 과정

원통관의 레이놀즈수는 $Re = \frac{\rho u D}{\mu}$이다. 여기서 ρ는 유체 밀도, u는 단면 평균 유속, D는 관 지름, μ는 점도이다. 동일한 유체의 밀도와 점도는 교체 전후 일정한 것으로 본다. 교체 전후를 각각 아래첨자 1, 2로 나타내면, 주어진 값은 지름 2 cm와 4 cm, 교체 전 레이놀즈수 240이다.

부피 유량은 $Q = uA$이고, 원형 단면적은 $A = \frac{\pi D^2}{4}$이다. 따라서 **부피 유량이 일정하면 평균 유속은 지름의 제곱에 반비례**한다. 지름이 두 배가 되어 단면적이 네 배가 되므로, $\frac{u_2}{u_1} = \left(\frac{2}{4}\right)^2 = \frac{1}{4}$이다. 즉, 교체 후 평균 유속은 교체 전의 1/4이다.

밀도와 점도가 같으므로 레이놀즈수의 비는 $\frac{Re_2}{Re_1} = \frac{u_2}{u_1} \cdot \frac{D_2}{D_1}$이다. 여기에 유속비와 지름비를 대입하면 $\frac{Re_2}{Re_1} = \frac{1}{4} \cdot 2 = \frac{1}{2}$이다. 따라서 $Re_2 = 240 \cdot \frac{1}{2} = 120$이다. 레이놀즈수는 단위가 없는 무차원수이며, 계산값은 ①의 120에 해당한다.

NoteBase

문 20. 20 °C 공기 중에 부피 500 mL의 직육면체 철판이 단열 바닥재 위에 놓여 있다. 철판이 220 °C로 유지될 때, 철판으로부터 대류로 인한 열전달 속도[W]는? (단, 대류 열전달 계수는 10 W·m^{-2}·°C^{-1}이고 단열 바닥재에 놓여 있는 철판 접촉면의 가로, 세로 길이는 각각 20 cm, 25 cm이다. 열은 정상상태로 전달되며 공기의 온도는 일정하다)

① 100

② 118

③ 200

④ 218

정답 2번

간단한 해설

단열 바닥재와 닿는 아랫면을 제외하고 **윗면과 네 옆면**의 면적을 합하면 0.059 m^{2}이다. 여기에 대류 열전달 계수와 철판·공기의 온도 차 200 °C를 곱하면 열전달 속도는 118 W이다.

계산 과정

대류 열전달에는 뉴턴의 냉각 법칙 $\dot{Q} = hA(T_s - T_\infty)$를 적용한다. 여기서 $\dot{Q}$는 단위 시간당 전달되는 열량, h는 대류 열전달 계수, A는 공기와 접하는 면적이다. 철판 표면 온도는 220 °C, 공기 온도는 20 °C이므로 온도 차는 220 − 20 = 200 °C이다. 주어진 정상상태와 일정한 온도 조건에서 이 온도 차를 사용한다.

철판 두께: 부피는 500 mL = 500 cm^{3}이고, 바닥 접촉면의 면적은 20 × 25 = 500 cm^{2}이다. 직육면체의 부피는 밑면적과 두께의 곱이므로 두께는 $d = \frac{500\text{cm}^3}{500\text{cm}^2} = 1\text{cm}$이다. 따라서 철판의 가로, 세로, 두께는 각각 0.20 m, 0.25 m, 0.01 m이다.

대류 면적: 바닥과 닿는 아랫면에는 공기가 접하지 않으므로 **윗면과 네 옆면만** 포함한다. 윗면의 면적은 0.20 × 0.25 = 0.050 m^{2}이고, 네 옆면의 면적은 $2(0.20 + 0.25) \times 0.01 = 0.009\text{m}^2$이다. 따라서 대류에 참여하는 전체 면적은 A = 0.050 + 0.009 = 0.059 m^{2}이다.

열전달 속도: 주어진 $h = 10\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot {}^\circ\text{C}^{-1}$와 위에서 구한 면적 및 온도 차를 대입하면 $\dot{Q} = 10 \times 0.059 \times 200 = 118\text{W}$이다. 철판에서 공기로 전달되는 대류 열전달 속도는 118 W이며, ②의 값과 일치한다.

NoteBase