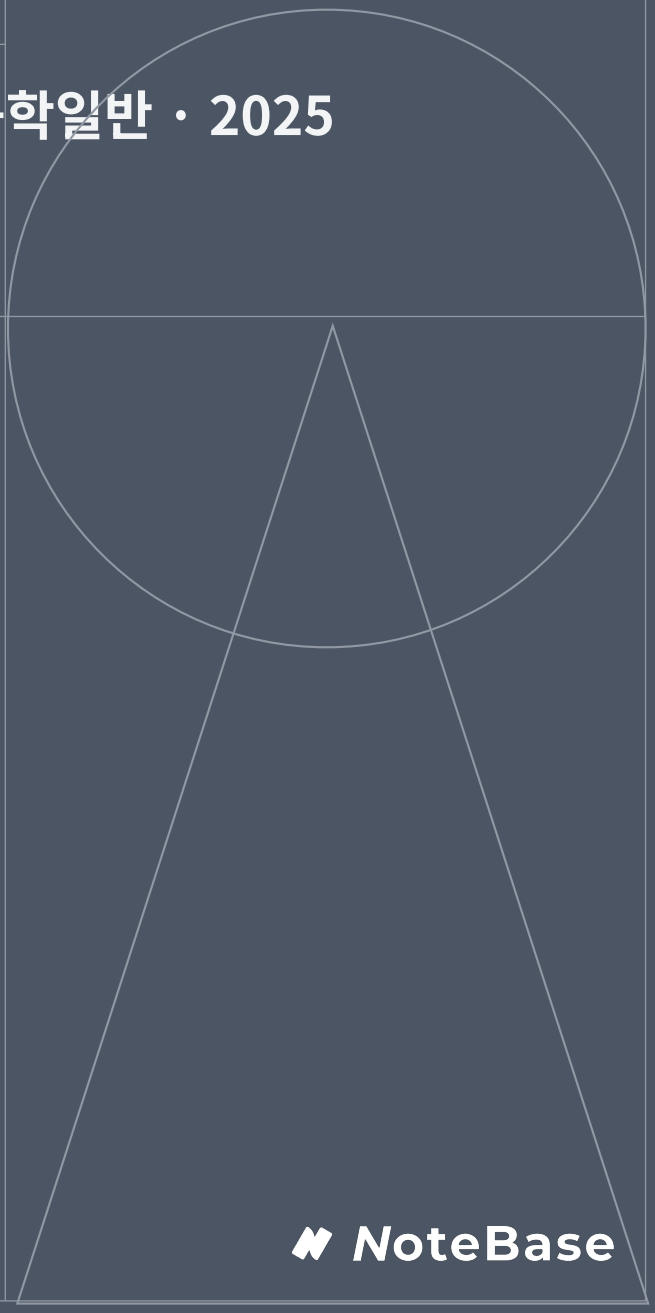
기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2025



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2025

공무원/지방직/9급 · 화학공학일반 · 2025

문 1. 에너지의 단위가 아닌 것은?

① lb_f ft

② psia ft^3

③ dyne cm

④ Btu ft

정답 4번

간단한 해설

Btu 자체가 **에너지의 단위**이다. 여기에 길이 단위 ft를 곱한 Btu ft는 **에너지 × 길이**의 단위이므로 에너지의 단위가 아니다.

선지별 해설

① O: lb_f는 파운드힘으로 힘의 단위이고, ft는 길이의 단위이다. 두 단위의 곱은 **힘 × 길이**이므로 일 또는 에너지의 단위이다.

② O: psia는 절대압력을 나타내는 압력 단위이고, ft^3는 부피 단위이다. 압력은 단위 면적당 힘이므로 부피를 곱하면 면적에 해당하는 차원이 소거되어 '힘 × 길이'가 남는다. 따라서 **압력 × 부피**인 psia ft^3는 에너지의 단위이다.

③ O: dyne은 힘의 단위이고 cm는 길이의 단위이므로, dyne cm는 일 또는 에너지의 단위이다. CGS 단위계에서는 **1 dyne cm = 1 erg**이다.

④ X: Btu는 열량을 나타내는 에너지 단위이다. Btu에 길이 단위 ft를 곱하면 **에너지 × 길이**의 차원이 되어 에너지의 단위가 아니다. 에너지의 단위로 쓰려면 ft를 곱하지 않은 Btu로 고쳐야 한다.

NoteBase

문 2. 이산화탄소(CO_2)는 광합성 반응($6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$)을 통해 포도당($C_6H_{12}O_6$)으로 전환된다. 180 kg의 포도당을 생산하기 위해 필요한 이산화탄소의 양[kg]은? (단, H, C, O의 원자량은 각각 1, 12, 16이다)

① 44

② 132

③ 180

④ 264

정답 4번

간단한 해설

반응식의 계수는 **몰수의 비**이므로 포도당 1몰을 만들 때 이산화탄소 6몰이 필요하다. 포도당 180 kg은 1 kmol이고, 이에 필요한 이산화탄소 6 kmol의 질량은 264 kg이다.

계산 과정

몰질량 계산: 주어진 원자량으로 계산하면 포도당($C_6H_{12}O_6$)의 몰질량은 $6 \times 12 + 12 \times 1 + 6 \times 16 = 180$ g/mol이고, 이산화탄소(CO_2)의 몰질량은 $12 + 2 \times 16 = 44$ g/mol이다. 1 kmol은 1,000 mol이므로 각각 180 kg/kmol, 44 kg/kmol로 나타낼 수 있다.

포도당의 물질량: 물질량은 질량을 몰질량으로 나누어 구한다. 따라서 포도당 180 kg의 물질량은 $\frac{180\ \text{kg}}{180\ \text{kg/kmol}} = 1\ \text{kmol}$이다.

필요한 이산화탄소의 물질량: 반응식 $6CO_2 + 6H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$에서 이산화탄소와 포도당의 계수비는 6 : 1이다. 이는 **질량비가 아니라 몰수비**이므로, 포도당 1 kmol을 생산하려면 이산화탄소 6 kmol이 필요하다.

이산화탄소의 질량: 필요한 물질량에 이산화탄소의 몰질량을 곱하면 $6 \times 44 = 264$ kg이다. 따라서 필요한 이산화탄소의 양은 ④의 264 kg에 해당한다.

NoteBase

문 3. 열가소성 고분자에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 망상 또는 네트워크형 분자구조를 갖는다.

② 폴리염화비닐(PVC)과 폴리에틸렌(PE)이 대표적인 예이다.

③ 냉각 시 연화되어 성형 가공성이 개선된다.

④ 가열 시 많은 화학적 가교결합이 형성되어 가공 유동성이 줄어든다.

정답 2번

간단한 해설

폴리염화비닐(PVC)과 폴리에틸렌(PE)은 **가열하면 연화되고 냉각하면 다시 굳는** 열가소성 고분자이다. 이 성질을 이용하여 열을 가해 모양을 만들 수 있다.

선지별 해설

① X: 열가소성 고분자는 일반적으로 **선형 또는 가지형 분자구조**를 갖는다. 사슬들이 많은 화학적 가교결합으로 연결된 망상 또는 네트워크형 구조는 열경화성 고분자의 대표적인 특징이다.

② O: PVC와 PE는 대표적인 **열가소성 고분자**이다. 사슬 사이에 광범위한 화학적 가교결합이 없어, 적절히 가열하면 사슬의 상대적인 이동이 쉬워져 성형할 수 있고 냉각하면 다시 굳는다.

③ X: 연화되는 때는 냉각할 때가 아니라 **가열할 때**이다. 가열하면 분자 사슬의 운동이 활발해져 변형과 유동이 쉬워지며, 냉각하면 사슬의 운동이 제한되어 굳는다.

④ X: 가열 과정에서 많은 화학적 가교결합이 생겨 유동성이 줄어드는 것은 **열경화성 고분자의 경화**에 해당한다. 가교결합은 사슬 사이의 상대적인 이동을 막는다. 열가소성 고분자는 이러한 가교반응으로 굳는 것이 아니라, 적절한 온도 범위에서 가열하면 연화되어 유동성이 커진다.

NoteBase

문 4. 열효율이 0.4인 수증기 동력장치가 있다. 이 동력장치로 들어가는 수증기의 온도가 800 K일 때, 나오는 수증기의 온도[K]는? (단, 수증기 동력장치는 자체 열손실이 없는 가역적 기관이고, 수증기는 이상 기체이다)

① 240

② 320

③ 400

④ 480

정답 4번

간단한 해설

입·출구 온도를 각각 두 일정온도 열원의 고온·저온 온도로 해석하여 카르노 열효율 관계 $\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$에 따라, **출구와 입구의 절대온도 비**는 0.6이다. 입구 온도가 800 K이므로 출구 온도는 480 K이다.

계산 과정

조건과 온도 설정: 공식 정답 ④는 수증기의 입·출구 온도를 각각 두 일정온도 열원의 고온·저온 온도로 대응시킨 카르노 모형으로 해석하면 얻어진다. 카르노 효율식은 두 일정온도 열원 사이에서 작동하는 가역 순환 열기관에 적용된다. 자체 열손실이 없고 가역적이며 수증기가 이상 기체라는 조건만으로 입·출구 온도가 열원 온도와 같다고 단정할 수는 없고, 원문에도 이 대응은 명시되어 있지 않다. 이 해석에 따라 들어가는 수증기의 온도를 고온부 온도 $T_H = 800\text{K}$, 나오는 수증기의 온도를 저온부 온도 T_L로 놓고, 열효율은 $\eta = 0.4$로 둔다. 온도비에는 **절대온도**를 사용하며, 주어진 온도는 이미 K 단위이므로 환산하지 않는다.

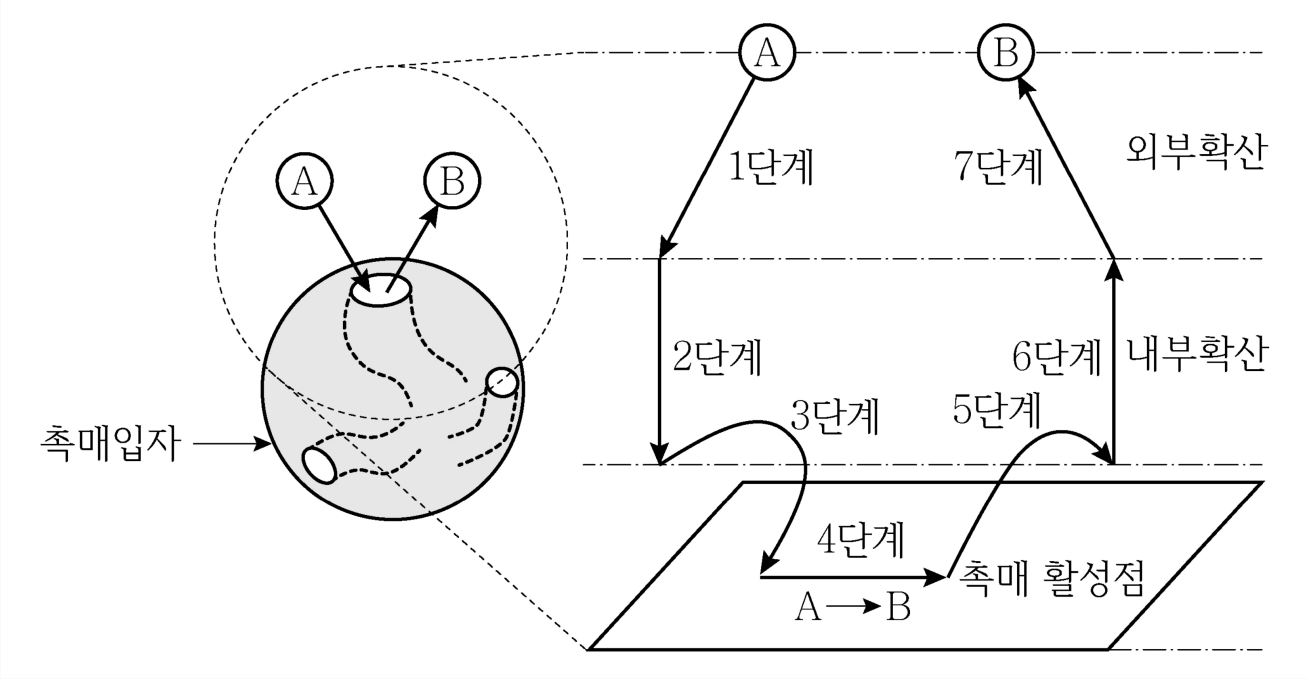
효율 관계: 열효율은 흡수한 열 중 일로 바뀐 비율이다. 따라서 흡수열에 대한 방출열의 비를 1에서 빼면 열효율이 된다. 두 일정온도 열원 사이에서 작동하는 가역 순환 열기관에서는 이 열량비가 저온부와 고온부의 절대온도 비와 같으므로 $\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$이다.

온도비 계산: 수치를 대입하면 $0.4 = 1 - \frac{T_L}{800}$이므로 $\frac{T_L}{800} = 0.6$이다. 이 0.6은 **출구 절대온도가 입구 절대온도의 60%**라는 뜻이다.

출구 온도: $T_L = 800 \times 0.6 = 480\text{K}$이다. 따라서 나오는 수증기의 온도는 480 K이며, ④의 480에 해당한다.

NoteBase

문 5. 그림에 나타난 불균일계 촉매반응(A→B)의 각 단계에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, A는 반응물이고, B는 생성물이다)



① 1단계에서는 A가 벌크유체에서 촉매입자의 외부표면으로 전달된다.

② 4단계에서는 A가 벌크유체에서 반응하여 B로 변환된다.

③ 5단계에서는 B가 촉매 활성점에서 탈착한다.

④ 6단계에서는 B가 촉매세공을 통해 촉매입자의 외부표면으로 확산한다.

정답 2번

간단한 해설

②의 '벌크유체에서 반응'은 반응 위치를 잘못 설명한 것이다. 4단계는 A가 **촉매 활성점에 흡착된 상태에서 B로 전환되는 표면반응**이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 그림의 1단계 화살표는 벌크유체의 A에서 촉매입자 외부표면 쪽으로 향한다. 이는 반응물 A가 입자 바깥의 유체를 통해 외부표면까지 이동하는 **외부 물질전달** 단계이다. 세공 안으로 들어가는 내부확산은 그다음인 2단계이다.

② X: 그림에서 4단계의 A→B 화살표는 **촉매 활성점 위**에 표시되어 있다. A는 2단계에서 세공 내부로 확산하고 3단계에서 활성점에 흡착한 뒤, 4단계에서 표면반응으로 B로 전환된다. 따라서 '벌크유체에서 반응하여'는 '촉매 활성점에 흡착된 상태에서 반응하여'로 고쳐야 한다.

③ O: 5단계의 화살표는 표면반응이 끝난 활성점에서 세공 내 유체 쪽으로 향한다. 이는 생성물 B가 **촉매 활성점에서 떨어져 나오는 탈착** 단계이다. 탈착은 활성점과의 결합을 끊는 과정이며, 세공을 따라 입자 밖으로 이동하는 확산과 구별된다.

④ O: 그림의 6단계는 탈착한 B가 촉매입자 내부에서 외부표면으로 이동하는 **생성물의 내부확산** 단계이다. B는 세공을 통해 외부표면까지 확산한 뒤, 7단계에서 벌크유체로 전달된다.

NoteBase

문 6. 연속반응 A+B[k_-1]k_1Ck_2D에서 C의 반응속도(r_C)는? (단, k_1, k_{-1}, k_2는 반응속도상수이고, C_A, C_B, C_C는 각각 A, B, C의 농도이며, 모든 반응은 기초반응이다)

① $k_1 C_A C_B$

② $k_1 C_A C_B - k_2 C_C$

③ $k_1 C_A C_B - (k_{-1} + k_2) C_C$

④ $k_1 C_A C_B - (k_{-1} - k_2) C_C$

정답 3번

간단한 해설

C는 A와 B의 반응으로 생성되고, 역반응과 D로의 반응에서 모두 소모된다. 따라서 C의 순반응속도는 **생성속도에서 두 소모속도를 모두 뺀 값**인 $r_C = k_1 C_A C_B - (k_{-1} + k_2) C_C$이다.

공통 해설

어떤 성분의 순반응속도는 그 성분의 **생성속도 합에서 소모속도 합을 뺀 값**이다. 모든 반응이 기초반응이므로 각 반응의 속도식에서 반응물 농도의 지수는 해당 반응식의 반응물 계수와 같다. 또한 각 반응에서 C의 계수는 1이므로 반응속도가 그대로 C의 생성속도 또는 소모속도가 된다.

A와 B가 반응하여 C를 만드는 속도는 $k_1 C_A C_B$이다. 반면 C가 A와 B로 되돌아가는 역반응의 소모속도는 $k_{-1} C_C$, C가 D로 변하는 반응의 소모속도는 $k_2 C_C$이다. 두 반응 모두 C를 줄이므로 각각 빼야 한다.

따라서 $r_C = k_1 C_A C_B - k_{-1} C_C - k_2 C_C$이고, C의 농도가 곱해진 소모항을 묶으면 $r_C = k_1 C_A C_B - (k_{-1} + k_2) C_C$이다. 괄호 안이 두 속도상수의 합인 것은 C가 소모되는 두 경로를 모두 반영하기 때문이다.

NoteBase

문 7. 등온 회분식반응기에서 A+B→2C+D 반응이 양론비로 진행될 때, A와 C의 농도(C_A, C_C)를 나타내는 식으로 옳은 것은? (단, 반응기 부피는 V로 일정하고, 반응물 A의 전환율은 X이며, 반응 초기에 A와 B만 존재하고, 이때 A의 몰 수는 N_{A0}이다)

① $C_A = N_{A0}X,\ C_C = N_{A0}X$

② $C_A = N_{A0} - N_{A0}X,\ C_C = 2N_{A0}X$

③ $C_A = \frac{N_{A0} - N_{A0}X}{V},\ C_C = \frac{N_{A0}X}{V}$

④ $C_A = \frac{N_{A0} - N_{A0}X}{V},\ C_C = \frac{2N_{A0}X}{V}$

정답 4번

간단한 해설

A의 전환율 X는 초기 A 중 반응한 비율이므로, 남은 A의 몰 수는 $N_{A0}(1 - X)$이다. 반응식에서 **A 1몰이 소모될 때 C 2몰이 생성**되므로 C의 몰 수는 $2N_{A0}X$이며, 두 몰 수를 각각 부피 V로 나누면 농도가 된다.

공통 해설

회분식반응기는 반응 중 물질의 유입·유출이 없으므로, 각 성분의 몰 수는 반응에 따른 소모량과 생성량으로 정해진다. A의 전환율은 $X = \frac{N_{A0} - N_A}{N_{A0}}$로, 초기 A의 몰 수 중 반응으로 소모된 비율이다. 따라서 $N_{A0}X$는 **남은 양이 아니라 소모된 A의 몰 수**이며, 남은 A의 몰 수는 $N_A = N_{A0} - N_{A0}X$이다.

반응식 A+B→2C+D에서 A와 C의 양론계수는 각각 1과 2이다. 따라서 C는 소모된 A의 2배만큼 생성된다. 처음에는 A와 B만 존재하여 C의 초기 몰 수가 0이므로, 반응 후 C의 몰 수는 $N_C = 2N_{A0}X$이다.

몰농도는 몰 수를 반응 혼합물의 부피로 나눈 값이다. 부피가 V로 일정하므로 $C_A = \frac{N_{A0} - N_{A0}X}{V}$, $C_C = \frac{2N_{A0}X}{V}$이다. 두 식 모두 **부피 V로 나누어야** 몰 수가 아닌 농도를 나타내며, C의 식에는 양론계수에 따른 2가 포함되어야 한다.

NoteBase

문 8. 수평원형관에서 비압축성 뉴턴 유체(Newtonian fluid)가 완전발달된 정상상태의 층류로 흐를 때 레이놀즈 수는? (단, Fanning 마찰계수는 1.6이다)

① 10

② 20

③ 30

④ 40

정답 1번

간단한 해설

완전발달한 원형관 층류에서는 **Fanning 마찰계수**와 레이놀즈 수 사이에 $f_F = \frac{16}{Re}$가 성립한다. 마찰계수가 1.6이므로 레이놀즈 수는 10이다.

계산 과정

문제는 비압축성 뉴턴 유체가 원형관에서 완전발달한 정상상태의 층류로 흐르는 경우이다. 이 조건에서는 Fanning 마찰계수 f_F와 레이놀즈 수 Re의 관계가 $f_F = \frac{16}{Re}$이므로, 주어진 마찰계수만으로 Re를 구할 수 있다.

Fanning 마찰계수와 Darcy 마찰계수는 정의가 다르다. Darcy 마찰계수는 Fanning 마찰계수의 4배이며, 같은 층류 조건에서 $f_D = \frac{64}{Re}$이다. 문제에서 주어진 것은 Fanning 마찰계수이므로 분자가 16인 관계식을 적용한다.

주어진 $f_F = 1.6$을 대입하면 $Re = \frac{16}{f_F} = \frac{16}{1.6} = 10$이다. 레이놀즈 수는 무차원수이므로 단위를 붙이지 않으며, 계산한 값 10은 ①에 해당한다.

NoteBase

문 9. 등온 회분식반응기에서 1차 반응(A→B)이 진행된다. 전환율 50 %를 얻기 위해 28분이 필요하다면, 동일 조건에서 전환율 90 %를 얻기 위해 필요한 시간[min]은? (단, ln 2와 ln 10은 각각 0.7과 2.3이다)

① 23

② 46

③ 92

④ 184

정답 3번

간단한 해설

동일 조건의 1차 반응에서는 **잔존 비율의 역수에 대한 로그값**이 반응 시간에 비례한다. 전환율 90 %까지 필요한 시간은 $28 \times \frac{\ln 10}{\ln 2} = 92$분이다.

계산 과정

1. 전환율과 반응 시간의 관계: 전환율 X는 초기 A 중 반응한 비율이므로, 남아 있는 A의 비율은 $1 - X$이다. 등온 조건에서는 속도상수 k가 일정하며, 1차 반응의 회분식 적분식은 $-\ln(1 - X) = kt$이다. 여기서 t는 반응 시간이다.

2. 속도상수 계산: 전환율 50 %에서는 **초기 A의 절반이 남는다**. 따라서 $28k = -\ln 0.5 = \ln 2 = 0.7$이고, $k = \frac{0.7}{28} = 0.025\,\text{min}^{-1}$이다. 이 값은 동일한 온도와 반응 조건에서 전환율 90 %를 계산할 때도 적용된다.

3. 전환율 90 %에 필요한 시간: 이때 **남아 있는 A의 비율은 0.1**이므로 $kt = -\ln 0.1 = \ln 10 = 2.3$이다. 따라서 $t = \frac{2.3}{0.025} = 92\,\text{min}$이다.

필요한 시간은 92분이며, ③의 92에 해당한다.

NoteBase

문 10. 비정상상태 확산의 해석에 사용되는 Fick의 확산 제2법칙에서 확산계수의 차원은? (단, L, T, M은 각각 길이, 시간, 질량의 차원이다)

① $\frac{L}{T}$
② $\frac{L^2}{T}$
③ $\frac{L^3}{T}$
④ $\frac{L^3}{M}$

정답 2번

간단한 해설

Fick의 제2법칙은 농도의 시간 변화율을 공간에 대한 2차 변화율과 연결한다. 두 항의 차원을 맞추는 확산계수는 **길이의 제곱을 시간으로 나눈 차원**인 $\frac{L^2}{T}$을 갖는다.

공통 해설

Fick의 확산 제2법칙은 확산으로 농도가 시간에 따라 어떻게 변하는지를 나타낸다. 확산계수가 일정한 1차원 순수 확산에서는 $\frac{\partial C}{\partial t} = D\frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$로 쓴다. 여기서 C는 농도, t는 시간, x는 위치, D는 확산계수이다.

농도의 차원을 [C]라 하면, 시간에 대한 변화율의 차원은 $\frac{[C]}{T}$이고 위치에 대한 2차 변화율의 차원은 $\frac{[C]}{L^2}$이다.
따라서 우변에 곱해지는 D는 **길이 차원 두 개를 보충하고 시간 차원 하나로 나누는** 역할을 하므로 $[D] = \frac{L^2}{T}$이다.

즉, 확산계수의 차원은 $\frac{L^2}{T}$이고 SI 단위는 m^2/s이다. 길이의 차수는 2, 시간의 차수는 −1이어야 하며, 양변의 농도 차원이 약분되므로 질량 차원 M은 남지 않는다.

NoteBase

문 11. 동일한 열량을 공급하는 전기인덕션과 가스버너를 각각 1시간 동안 사용하였다. 전기인덕션의 소비전력이 2 kW이고, 효율이 90 %이며, 가스버너의 효율이 30 %일 때, 두 장치 중 에너지비용이 더 저렴한 장치와 두 장치 간 에너지비용의 차이[원]를 바르게 연결한 것은? (단, 전기요금과 도시가스요금은 kWh당 각각 250원, 100원이다)

① 에너지비용이 더 저렴한 장치: 전기인덕션 에너지비용의 차이[원]: 100

② 에너지비용이 더 저렴한 장치: 전기인덕션 에너지비용의 차이[원]: 150

③ 에너지비용이 더 저렴한 장치: 가스버너 에너지비용의 차이[원]: 270

④ 에너지비용이 더 저렴한 장치: 가스버너 에너지비용의 차이[원]: 320

정답 1번

간단한 해설

같은 열량을 공급할 때는 **효율을 반영한 소비 에너지**에 요금을 곱해야 한다. 전기인덕션은 500원, 가스버너는 600원이므로 전기인덕션이 100원 더 저렴하다.

계산 과정

소비 에너지는 소비전력에 사용시간을 곱해 구한다. 효율은 소비 에너지 중 실제로 공급한 열량의 비율이므로, 공급 열량은 소비 에너지에 효율을 곱한 값이다. 두 장치는 각각 1시간 동안 **동일한 열량을 공급**한다.

전기인덕션: 소비 에너지는 2 kW × 1 h = 2 kWh이다. 효율이 90 %이므로 실제 공급 열량은 2 kWh × 0.90 = 1.8 kWh이다. 이 1.8 kWh가 가스버너도 공급해야 할 열량이다.

가스버너: 소비 에너지의 30 %만 공급 열량이 되므로, 필요한 소비 에너지는 $\frac{1.8}{0.30}$ = 6kWh이다. 같은 열량을 공급하려면 전기인덕션보다 더 많은 에너지를 소비한다.

비용 비교: 요금은 **공급 열량이 아니라 소비 에너지**에 부과된다. 전기인덕션의 비용은 2 × 250 = 500원이고, 가스버너의 비용은 6 × 100 = 600원이다. 비용 차이는 600 − 500 = 100원이므로, 전기인덕션이 100원 더 저렴한 ①과 일치한다.

NoteBase

문 12. 입자의 구형도(sphericity)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 구형 입자의 구형도는 0이다.

② 입자 한 개의 부피에 비례한다.

③ 입자 한 개의 표면적에 반비례한다.

④ 입자의 상당지름에 반비례한다.

정답 1번

간단한 해설

구형도는 입자와 같은 부피를 가진 구의 표면적을 실제 입자의 표면적으로 나눈 값이다. 구형 입자에서는 두 표면적이 같으므로 구형도는 **0이 아니라 1**이다.

선지별 해설

구형도는 입자와 같은 부피를 가진 구의 표면적을 실제 입자의 표면적으로 나눈 무차원 값이다. 입자 한 개의 부피를 V_p, 표면적을 A_p, 같은 부피를 가진 구의 지름인 상당지름을 D_p라 하면, $\phi = \frac{\pi D_p^2}{A_p} = \frac{6V_p}{D_p A_p}$이다. 두 번째 등식은 $V_p = \frac{\pi D_p^3}{6}$에서 얻는다.

① X: 구형 입자는 비교 기준인 구와 표면적이 같아 표면적의 비가 1이다. 따라서 '구형 입자의 구형도는 0이다'는 **'구형 입자의 구형도는 1이다'**로 고쳐야 한다.

② O: 정의식 $\phi = \frac{6V_p}{D_p A_p}$에서 입자 한 개의 부피 V_p는 **분자**에 놓인다. 선지의 '부피에 비례한다'는 이 정의식의 관계를 나타낸다.

③ O: 입자 한 개의 표면적 A_p는 정의식의 **분모**에 놓인다. 같은 부피의 입자끼리 비교하면 기준 구의 표면적은 같으므로, 실제 입자의 표면적이 클수록 구형도는 작아진다.

④ O: 상당지름 D_p는 정의식 $\phi = \frac{6V_p}{D_p A_p}$의 분모에 놓이므로, 선지의 '상당지름에 반비례한다'는 이 식의 관계를 나타낸다. 다만 부피·표면적·상당지름은 서로 독립인 변수가 아니다. **같은 모양을 유지한 채 크기만 바꾸면 구형도는 일정하다**. 지름이 2배가 되면 부피는 8배, 표면적은 4배가 되어 분자와 분모가 모두 8배가 되기 때문이다.

NoteBase

문 13. 단열재를 사용하여 보일러의 열손실을 2,000 W m^{-2}으로 유지하고자 할 때 단열재의 두께 [m]는? (단, 단열재의 열전도도는 0.5 W m^{-1} K^{-1}이고, 단열재 내벽과 외벽의 온도는 각각 1,000 K과 500 K이며, 단열재 두께 방향으로의 열전도만 고려한다)

① 0.1

② 0.125

③ 0.15

④ 0.175

정답 2번

간단한 해설

두께 방향의 정상 열전도에서 **열유속은 온도차에 비례하고 단열재 두께에 반비례**한다. 내·외벽의 온도차 500 K와 주어진 열전도도를 적용하면, 열유속을 2,000 W m^{-2}으로 유지하는 두께는 0.125 m이다.

계산 과정

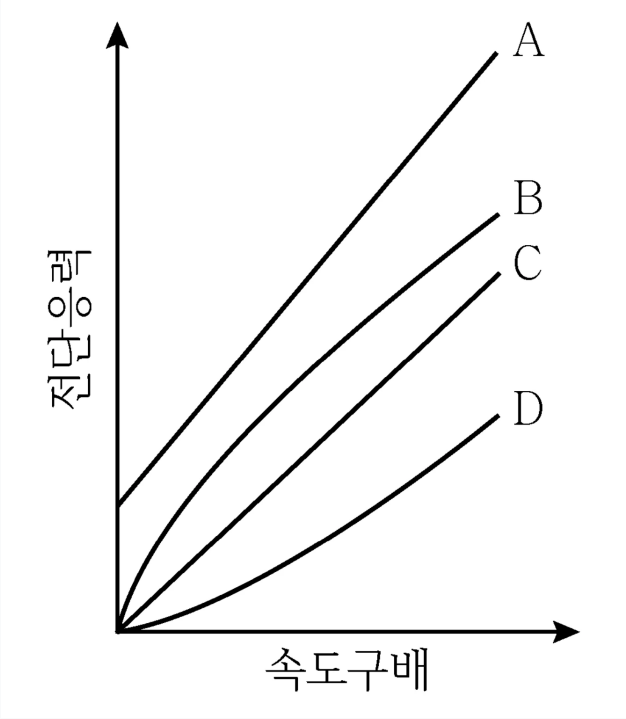
조건 정리: 단열재의 두께를 L, 열전도도를 k, 단위 면적당 열손실인 열유속을 q로 둔다. 주어진 값은 k = 0.5 W m^{-1} K^{-1}, q = 2,000 W m^{-2}이다. 내벽에서 외벽으로 열이 흐르며, 두 벽 사이의 온도차는 1,000 − 500 = 500 K이다.

열전도식 적용: 열손실이 일정하게 유지되는 정상상태에서 단열재를 평판으로 보고, 주어진 일정한 열전도도와 두께 방향의 1차원 열전도를 적용하면 $q = \frac{k\Delta T}{L}$이다. 여기서 ΔT는 내·외벽의 온도차이다. 이 식은 단열재가 두꺼워질수록 같은 온도차에서 열이 덜 전달됨을 나타낸다. 주어진 열손실은 **총 열전달률이 아니라 단위 면적당 열유속**이므로 면적을 따로 곱하거나 나눌 필요가 없다.

두께 계산: 열전도식을 두께에 대해 정리하면 $L = \frac{k\Delta T}{q}$이다. 값을 대입하면 $L = \frac{0.5 \cdot 500}{2{,}000} = 0.125\text{m}$이다. 따라서 필요한 단열재 두께는 0.125 m로, 선택지 ②의 값에 해당한다.

NoteBase

문 14. 다음은 유체의 전단응력과 속도구배의 관계를 나타낸 그래프이다. 각 유체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



① A는 하수 슬러지와 같은 유체로서 전단응력이 역치(threshold) 이상의 값을 가질 때 흐르기 시작한다.

② B는 고무 라텍스처럼 유사가소성 유체(pseudoplastic fluid)의 거동을 한다.

③ C는 비뉴턴 유체(non-Newtonian fluid)로서 전단율 희석성(shear rate-thinning) 거동을 한다.

④ D는 유사(quicksand)와 모래의 에멀션(emulsion)처럼 팽창성 유체(dilatant fluid)의 거동을 한다.

정답 3번

간단한 해설

C는 전단응력과 속도구배의 관계가 **원점을 지나는 직선**이므로 점도가 일정한 뉴턴 유체이다. 전단율 희석성은 C가 아니라 B처럼 속도구배가 커질수록 **겉보기 점도가 감소**하는 거동이다.

NoteBase

선지별 해설

그래프의 가로축은 속도구배, 즉 전단율이고 세로축은 전단응력이다. 전단응력 τ를 전단율 $\dot{\gamma}$로 나눈 겉보기 점도 $\eta_{app} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$의 변화로 유체의 거동을 구분한다.

① O: A는 전단응력 축의 양의 값에서 시작하는 직선으로, 이 절편은 흐름을 일으키는 데 필요한 **항복응력**을 뜻한다. 하수 슬러지와 같은 소성 유체의 거동을 나타내며, 항복응력을 넘어서면 흐르기 시작한다. A처럼 흐르기 시작한 뒤 전단응력이 전단율에 따라 직선적으로 증가하는 모형을 빙엄 소성 유체라고 한다.

② O: B는 원점에서 출발하여 오른쪽으로 갈수록 완만해지는 곡선이다. 전단율이 증가할 때 전단응력은 증가하지만, 그 비율인 **겉보기 점도는 감소**한다. 이것이 유사가소성 유체의 전단율 희석성 거동이다.

③ X: C는 **원점을 지나는 직선**이어서 전단응력이 전단율에 정비례한다. 따라서 전단응력과 전단율의 비인 점도가 일정한 뉴턴 유체이다. 선지의 '비뉴턴 유체로서 전단율 희석성 거동을 한다'는 '뉴턴 유체로서 전단율이 변해도 점도가 일정하다'로 고쳐야 한다.

④ O: D는 원점에서 출발하여 오른쪽으로 갈수록 가팔라지는 곡선이다. 전단율이 커질수록 전단응력이 더 빠르게 증가하여 **겉보기 점도가 증가**한다. 이러한 전단율 농후성 거동을 하는 유체가 팽창성 유체이며, 모래가 많이 섞인 분산계 등에서 나타날 수 있다.

NoteBase

문 15. 이상용액 거동을 하는 78 °C의 60 mol% 벤젠과 40 mol% 톨루엔 혼합용액이 기-액 평형상태에 있고, 기체상태 벤젠과 톨루엔의 몰분율은 각각 0.8, 0.2이다. 이 온도에서 순수한 벤젠의 증기압이 720 mmHg일 때 순수한 톨루엔의 증기압[mmHg]은? (단, 계의 온도는 일정하다)

① 240

② 270

③ 300

④ 330

정답 2번

간단한 해설

이상용액에서는 각 성분의 부분압이 **액상 몰분율 × 순수 성분의 증기압**이다. 벤젠의 부분압과 기상 몰분율로 전체 압력을 구한 뒤 톨루엔에 같은 관계를 적용하면, 순수 톨루엔의 증기압은 270 mmHg이다.

계산 과정

78 °C에서 벤젠을 B, 톨루엔을 T라 하고, 액상 몰분율을 x_i, 기상 몰분율을 y_i라 둔다. 주어진 조성은 $x_B = 0.60$, $x_T = 0.40$, $y_B = 0.80$, $y_T = 0.20$이다. 이상용액이므로 **라울 법칙**에 따라 $p_i = x_i P_i^{\text{sat}}$이고, 기상에서는 $p_i = y_i P$이다. 여기서 p_i는 성분의 부분압, P는 전체 압력, P_i^{sat}는 같은 온도에서 순수 성분의 증기압이다.

벤젠의 부분압: 순수 벤젠의 증기압 720 mmHg에 액상 몰분율 0.60을 곱한다.
$p_B = 0.60 \cdot 720 = 432\text{mmHg}$이다. 이 값은 혼합 기체에서 벤젠이 차지하는 부분압이다.

전체 압력: 기상 벤젠 몰분율이 0.80이므로 벤젠의 부분압은 **전체 압력의 80%**이다. 따라서
$P = \frac{p_B}{y_B} = \frac{432}{0.80} = 540\text{mmHg}$이다.

순수 톨루엔의 증기압: 톨루엔의 기상 몰분율은 0.20이므로 $p_T = 0.20 \cdot 540 = 108\text{mmHg}$이다. 이 부분압은 순수 톨루엔의 증기압에 **액상 몰분율 0.40**을 곱한 값이므로, $P_T^{\text{sat}} = \frac{p_T}{x_T} = \frac{108}{0.40} = 270\text{mmHg}$이다.

구한 순수 톨루엔의 증기압 270 mmHg는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 16. 압력강하를 일정하게 유지하면서, 유량에 따라 변하는 유로면적(annular space)을 이용해 유체의 유량을 측정하는 기구는?

① 오리피스 미터(orifice meter)

② 벤튜리 미터(venturi meter)

③ 로터미터(rotameter)

④ 피토관(pitot tube)

정답 3번

간단한 해설

로터미터는 **압력강하가 거의 일정한 상태에서 유로면적이 변하는** 면적식 유량계이다. 유량이 커지면 부자가 위로 이동하여 관 벽과 부자 사이의 환상 유로면적이 넓어진다.

개념 구분

로터미터: 위쪽으로 갈수록 넓어지는 수직 테이퍼관 안에 부자(뜨개)가 있으며, 유체는 아래에서 위로 흐른다. 유량이 증가하면 부자가 상승하여 관 벽과 부자 사이의 환상 유로면적(annular space)이 커진다. 부자는 유동에 의한 항력과 부력의 합이 중력과 평형을 이루는 위치에서 멈춘다. 유체의 밀도가 일정하면 부자 전후의 압력강하는 거의 일정하게 유지되고, **부자의 높이로 유량을 읽는다**. 이는 문제에서 설명한 로터미터의 측정 원리이다.

오리피스 미터·벤튜리 미터: 측정 유로면적이 **고정된 상태에서 유량에 따라 변하는 차압**을 측정하여 유량을 구한다. 압력강하를 거의 일정하게 유지하면서 유로면적이 변하는 로터미터와 구별된다.

피토관: **정체압과 정압의 차이**로 유속을 구한다. 부자의 이동에 따라 환상 유로면적을 바꾸어 유량을 측정하는 방식이 아니다.

NoteBase

문 17. 총괄열전달계수가 10 kcal m^{-2} °C^{-1} s^{-1}인 병류(parallel-flow)의 이중관 열교환기에서 물을 이용하여 220 °C의 기름을 150 °C로 냉각시키고 있다. 물과 기름의 유속은 모두 10 kg s^{-1}이고, 유입되는 물의 온도가 20 °C이며, 유출되는 물의 온도가 50 °C일 때, 열교환기의 면적[m^2]은? (단, 물과 기름의 상변화는 없고, 물의 비열은 1.0 cal g^{-1} °C^{-1}이며, ln 2는 0.7이다)

① 0.21

② 0.42

③ 0.63

④ 0.84

정답 1번

간단한 해설

물이 얻는 전달열량률은 300 kcal/s이고, 병류이므로 입구·출구 온도차 200 °C와 100 °C의 **대수평균온도차**를 사용한다. 이를 총괄열전달식에 대입하면 필요한 면적은 **0.21 m^2**이다.

계산 과정

1. 전달열량률: 정상상태에서 외부 열손실을 무시하는 열수지를 적용하면, 기름에서 물로 전달되는 열량률 Q는 물이 얻는 열량률과 같다. 상변화가 없으므로 $Q = \dot{m}_w c_{p,w}(T_{w,o} - T_{w,i})$를 쓴다. 여기서 물의 질량유량은 10 kg/s, 비열은 1.0 cal/(g·°C) = 1.0 kcal/(kg·°C), 온도 상승은 50 − 20 = 30 °C이다. 따라서 Q = 10 × 1.0 × 30 = 300 kcal/s이다. 이 값은 **1초 동안 기름에서 물로 전달되는 열량**이다.

2. 대수평균온도차: 병류에서는 두 유체가 같은 방향으로 흐르므로 **입구끼리, 출구끼리** 온도차를 구한다. 입구 온도차는 $\Delta T_1 = 220 - 20 = 200°C$, 출구 온도차는 $\Delta T_2 = 150 - 50 = 100°C$이다. 열교환기를 따라 두 유체의 온도차가 달라지므로, 총괄열전달계수가 일정한 열교환기의 전달열량률에는 대수평균온도차를 적용한다. $\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1/\Delta T_2)}$이므로, $\Delta T_{lm} = \frac{200 - 100}{\ln 2} = \frac{100}{0.7}$ °C이다.

3. 열교환 면적: 총괄열전달식은 $Q = UA\Delta T_{lm}$이다. U는 총괄열전달계수 10 kcal/(m^2·°C·s), A는 구하려는 열교환 면적이다. 앞서 구한 열량률과 평균온도차를 대입하면 $A = \frac{Q}{U\Delta T_{lm}} = \frac{300 \times 0.7}{10 \times 100} = 0.21 m^2$이다. 계산된 면적은 0.21 m^2로, ①의 값에 해당한다.

NoteBase

문 18. 기체 A와 B로 구성된 2성분계 혼합물에서 A의 몰분율이 0.25이다. 일정한 온도와 압력하에서 A의 화학퍼텐셜(chemical potential)이 3 J mol^{-1} 증가할 때, B의 화학퍼텐셜의 변화량[J mol^{-1}]은? (단, A와 B는 이상기체이다)

① −3

② −1

③ 0

④ 1

정답 2번

간단한 해설

일정한 온도와 압력에서는 **깁스–뒤헴 관계**에 따라 두 성분의 화학퍼텐셜 변화가 몰분율로 연결된다. B의 몰분율은 0.75이므로 B의 변화량은 $-\frac{0.25}{0.75}\cdot 3 = -1$ J mol^{-1}이다.

계산 과정

몰분율 계산: 성분 i의 몰분율을 x_i, 화학퍼텐셜을 μ_i라 하자. A와 B만 있는 2성분계이므로 두 몰분율의 합은 1이다. 따라서 $x_A = 0.25$, $x_B = 1 - 0.25 = 0.75$이다.

관계식 적용: **온도와 압력이 일정할 때** 깁스–뒤헴 식은 $x_A d\mu_A + x_B d\mu_B = 0$이다. 여기서 $d\mu_i$는 성분 i의 화학퍼텐셜의 미소 변화량이다. 이 식은 각 변화량에 몰분율을 곱한 값의 합이 0이라는 뜻이므로, A의 화학퍼텐셜이 증가하면 B의 화학퍼텐셜은 감소한다.

B의 변화량 계산: 위 식을 B에 대해 정리하면 $d\mu_B = -\frac{x_A}{x_B} d\mu_A$이다. 주어진 조성과 A의 증가량 3 J mol^{-1}을 적용하면 $d\mu_B = -\frac{0.25}{0.75}\cdot 3 = -1$ J mol^{-1}이다. 음의 부호는 B의 화학퍼텐셜이 1 J mol^{-1} 감소한다는 뜻이며, 변화량 −1 J mol^{-1}은 ②에 해당한다.

NoteBase

문 19. 3 mol의 이상기체가 등압 가열될 때 엔트로피 변화(ΔS)가 42 J K^{-1}이다. 이 과정에서 기체의 초기 온도가 300 K일 때, 가열 후 최종 온도 [K]는? (단, 정적열용량(C□)은 12 J mol^{-1} K^{-1}이고, 기체상수(R)는 8 J mol^{-1} K^{-1}이며, ln 2는 0.7이다)

① 300

② 600

③ 1,200

④ 2,400

정답 2번

간단한 해설

등압 과정의 엔트로피 변화에는 **정압열용량**을 사용한다. 온도비의 자연로그가 주어진 ln 2와 같으므로 최종 온도는 초기 온도의 2배인 600 K이다.

계산 과정

1. 정압열용량 구하기: 이상기체의 몰 정압열용량과 몰 정적열용량 사이에는 $C_p = C_v + R$가 성립한다. 따라서 $C_p = 12 + 8 = 20$ J mol^{-1} K^{-1}이다. 기체가 3 mol이므로 $nC_p = 3 \times 20 = 60$ J K^{-1}이며, 이는 기체 전체의 정압열용량이다.

2. 엔트로피 변화 적용: 초기 온도를 T_1, 최종 온도를 T_2라 하자. 이상기체를 **일정한 압력에서 가열**하고 주어진 열용량을 일정하게 적용하면 $\Delta S = nC_p \ln \frac{T_2}{T_1}$이다. 42 J K^{-1}과 300 K를 대입하면 $42 = 60 \ln \frac{T_2}{300}$이므로 $\ln \frac{T_2}{300} = \frac{42}{60} = 0.7$이다. 여기서 온도비는 절대온도인 K를 기준으로 한다.

3. 최종 온도 구하기: 주어진 $\ln 2 = 0.7$을 이용하면 $\frac{T_2}{300} = 2$이다. 즉, 최종 절대온도가 초기 절대온도의 2배이므로 $T_2 = 300 \times 2 = 600$ K이며, 선택지 ②의 600에 해당한다.

NoteBase

문 20. 대류식 건조기가 아닌 것은?

① 동결 건조기(freeze dryer)

② 분무 건조기(spray dryer)

③ 상자형 건조기(compartment dryer)

④ 터널 건조기(tunnel dryer)

정답 1번

간단한 해설

동결 건조기는 재료를 얼린 뒤 감압하여 얼음을 **승화**시킨다. 건조에 필요한 열을 주로 **전도·복사**로 공급하므로 대류식 건조기로 분류하지 않는다.

선지별 해설

대류식 건조기는 뜨거운 공기나 기체가 재료와 직접 접촉하여 건조에 필요한 열을 전달하는 장치이다.

① X: 동결 건조기(freeze dryer)는 대류식 건조기에 해당하지 않는다. 재료를 동결한 뒤 압력을 낮추어 얼음이 액체를 거치지 않고 수증기로 변하는 **승화**를 이용한다. 승화에 필요한 열은 주로 가열 선반 등을 통한 전도나 복사로 공급하며, 열풍과의 직접 접촉을 주된 가열 방식으로 하는 대류식 건조기와 구별된다.

② O: 분무 건조기(spray dryer)는 액상 원료를 미세한 액적으로 분무하여 **뜨거운 기체와 직접 접촉**시킨다. 기체에서 액적으로 대류에 의해 열이 전달되어 수분이 증발하고, 건조된 입자가 남는다. 액적을 작게 만들면 원료의 부피에 비해 기체와 접촉하는 표면적이 커져 빠르게 건조할 수 있다.

③ O: 상자형 건조기(compartment dryer)는 상자 모양의 건조실 안에 재료를 담은 선반이나 트레이를 놓고 열풍을 통과시키는 방식이다. **재료는 건조실에 머무르고 열풍이 흐르면서** 열을 공급하고 증발한 수분을 운반하므로 대류식 건조기에 해당한다. 일반적으로 회분식으로 운전한다.

④ O: 터널 건조기(tunnel dryer)는 재료를 실은 대차나 컨베이어를 터널 모양의 건조실 안으로 이동시키면서 열풍과 접촉시킨다. **재료가 이동하는 동안 열풍이 열을 공급**하여 수분을 증발시키는 대류식 건조기이며, 연속식 또는 반연속식으로 운전한다.

NoteBase