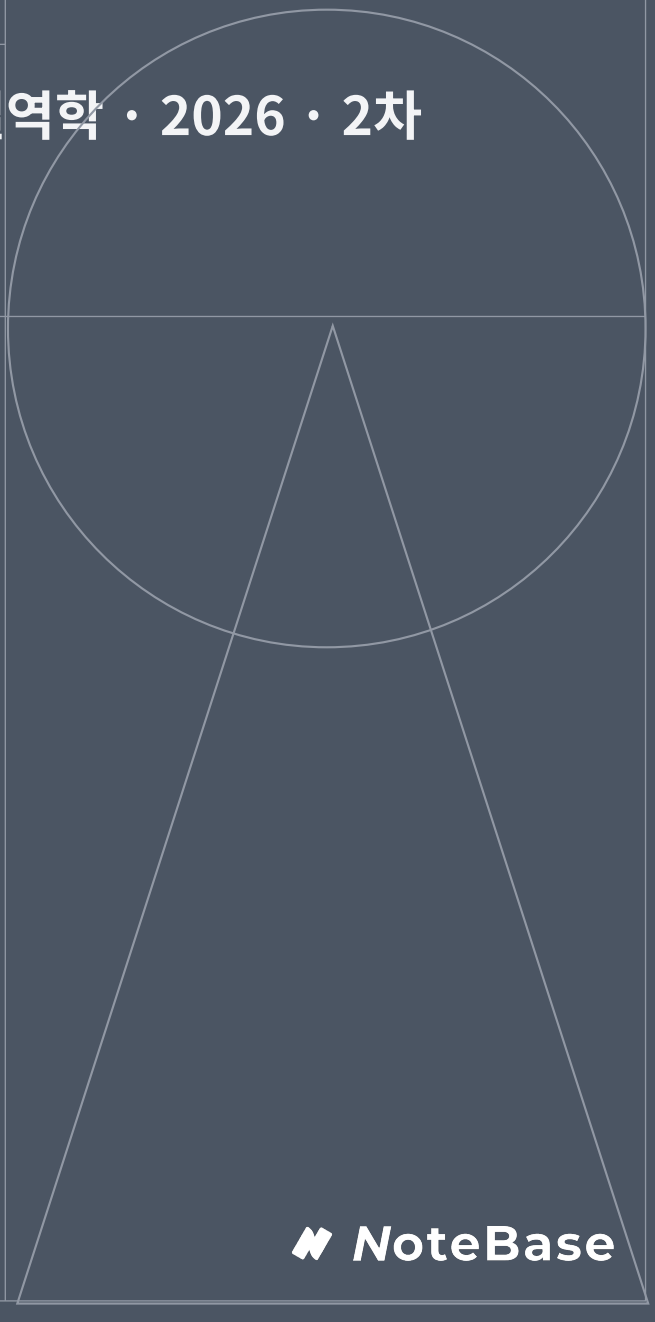
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2026 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2026 · 2차

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2026 · 2차

문 1. 온도에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 1°C의 온도 차이는 1K의 온도 차이와 같다.
ㄴ. 두 계가 열적 평형에 있으면 두 계의 온도는 같다.
ㄷ. 절대온도는 절대영도라는 온도의 하한에 대한 개념에 근거한다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 4번

간단한 해설

섭씨와 켈빈은 **기준점은 다르지만 눈금 간격은 같다**. 따라서 1°C의 온도 차이는 1 K의 온도 차이와 같으며, 이는 1°C와 1 K가 같은 온도라는 뜻은 아니다.

보기별 해설

ㄱ. O: 섭씨온도는 켈빈온도에서 273.15를 뺀 수치로 나타내므로, 두 온도의 차이를 구하면 이 기준점 차이는 상쇄된다. 즉 **온도 차이의 수치는 두 척도에서 같다**. 예를 들어 0°C에서 1°C로 올라가는 것은 273.15 K에서 274.15 K로 올라가는 것과 같아, 각각의 온도 차이는 1°C와 1 K이다.

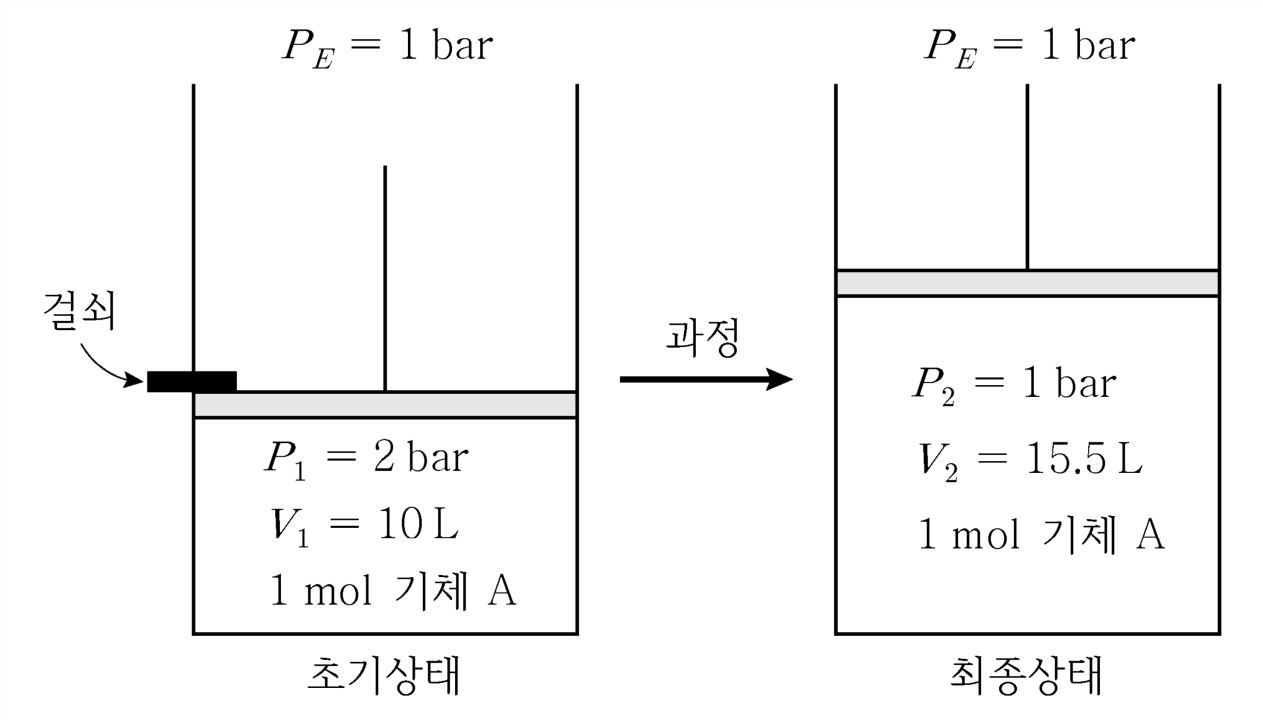
ㄴ. O: 열적 평형은 두 계가 열을 주고받을 수 있게 접촉해도 **온도 차이에 의한 순열전달이 없는 상태**이다. 온도 차이가 있으면 고온의 계에서 저온의 계로 열이 전달되므로, 서로 열적 평형에 있는 두 계의 온도는 같다.

ㄷ. O: 절대온도는 온도의 하한인 **절대영도를 0 K로 정한** 온도 척도이다. 절대영도는 섭씨온도로 −273.15°C에 해당하며, 섭씨온도와 달리 이 하한을 기준점으로 삼는다.

ㄱ, ㄴ, ㄷ이 모두 성립하므로, 세 보기를 모두 포함한 조합은 ④이다.

NoteBase

문 2. 1 mol의 이상기체 A가 피스톤에 의하여 실린더 내에 밀폐되어 있다. 2 bar, 10 L의 초기상태에서 피스톤은 걸쇠에 의해 위치가 고정되어 있다. 외부압력(P_E)이 1 bar인 상태에서 A가 1 bar, 15.5 L로 팽창할 때, 계가 한 일의 크기[J]는?



① 0

② 55

③ 550

④ 5,550

정답 3번

간단한 해설

일정한 외부압력에 맞서 팽창할 때 계가 한 일은 **외부압력과 부피 증가량의 곱**이다. 부피가 5.5 L 증가하므로, 1 bar·L = 100 J를 적용하면 일의 크기는 550 J이다.

NoteBase

계산 과정

걸쇠가 피스톤을 고정한 동안에는 부피 변화가 없어 팽창 일이 발생하지 않는다. 걸쇠가 풀린 뒤에는 기체가 외부압력 1 bar에 맞서 팽창한다. 계가 외부에 한 일을 양수로 나타내면 $W = \int_{V_1}^{V_2} P_E dV$이다. 이 과정에서는 **외부압력이 일정**하므로 $W = P_E(V_2 - V_1)$로 계산한다. 초기 기체압력 2 bar는 팽창 과정 내내 작용하는 외부압력이 아니므로 이 자리에 넣지 않는다.

부피 증가량은 $\Delta V = V_2 - V_1$이며, 15.5 − 10 = 5.5 L이다. 이는 피스톤이 이동하면서 기체가 외부에 밀어낸 부피이다.

단위 환산에는 $1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$, $1\text{L} = 10^{-3}\text{m}^3$를 사용한다. 따라서 1 bar·L = 100 Pa·m^3 = 100 J이다.

계가 한 일의 크기는 1 × 5.5 = 5.5 bar·L, 즉 5.5 × 100 = 550 J이다. 이는 ③의 550 J에 해당한다.

NoteBase

문 3. 0°C, 0.4 bar에서 butane과 n-hexane 혼합물이 기-액 평형에 있을 때, 기상에서 butane의 몰분율은? (단, 이성분 혼합물은 라울의 법칙을 따른다. 0°C에서 butane의 포화증기압은 1.0 bar, n-hexane의 포화증기압은 0.2 bar이다)

① 0.250

② 0.375

③ 0.625

④ 0.750

정답 3번

간단한 해설

라울의 법칙으로 구한 butane의 부분압은 0.25 bar이다. 기상 몰분율은 **부분압을 전체 압력으로 나눈 값**이므로 $y_B = \frac{0.25}{0.4} = 0.625$이다.

계산 과정

butane을 B, n-hexane을 H라 하고, 액상 몰분율을 x_B, x_H로 둔다. 주어진 **라울의 법칙**에 따라 각 성분의 부분압은 $p_i = x_i P_i^{\text{sat}}$이며, 전체 압력은 두 부분압의 합이다. 여기서 P_i^{sat}는 0°C에서 순수 성분 i의 포화증기압이다.

액상 butane 몰분율: 이성분 혼합물이므로 $x_H = 1 - x_B$이다. 전체 압력 0.4 bar와 포화증기압 1.0 bar, 0.2 bar를 대입하면 $0.4 = 1.0x_B + 0.2(1 - x_B)$이다. 이를 풀면 $x_B = \frac{0.4 - 0.2}{1.0 - 0.2} = 0.250$이다. 이 값은 **액상에서의 몰분율**이므로 기상 몰분율을 추가로 구해야 한다.

기상 butane 몰분율: butane의 부분압은 $p_B = 0.250 \cdot 1.0 = 0.25\text{bar}$이다. 기상 몰분율 y_B는 전체 압력 중 butane의 부분압이 차지하는 비율이므로 $y_B = \frac{p_B}{P} = \frac{0.25}{0.4} = 0.625$이다. 압력 단위 bar가 약분되므로 몰분율은 무차원이며, 이 값은 ③의 0.625에 해당한다.

NoteBase

문 4. 온도 단위를 가지는 편도함수만을 모두 고르면? (단, U는 몰내부에너지(molar internal energy), H는 몰엔탈피(molar enthalpy), G는 몰깁스에너지(molar Gibbs energy), A는 몰헬름홀츠에너지(molar Helmholtz energy), S는 몰엔트로피(molar entropy), V는 몰부피(molar volume), P는 압력, T는 절대온도이다)

ㄱ. $\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$ ㄴ. $\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P$ ㄷ. $\left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$ ㄹ. $\left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_T$

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㄷ

③ ㄴ, ㄹ

④ ㄷ, ㄹ

정답 1번

간단한 해설

몰에너지를 몰엔트로피로 미분한 양은 **에너지 단위에 들어 있는 mol이 소거되고 K가 남으므로** 온도 단위를 가진다. 일정하게 유지하는 변수가 부피인지 압력인지는 이 단위 판정에 영향을 주지 않는다.

보기별 해설

편도함수의 단위는 미분되는 양의 단위를 미분 변수의 단위로 나누어 구한다. U, H, G, A는 모두 몰에너지이므로 단위가 J/mol이고, 몰엔트로피 S의 단위는 J/(mol·K)이다.

ㄱ. 온도(K): U를 S로 미분하므로 단위는 $\frac{\mathrm{J/mol}}{\mathrm{J/(mol\cdot K)}} = \mathrm{K}$이다. 아래첨자 V는 **몰부피를 일정하게 유지**한다는 뜻이며, 미분 변수는 S이다.

ㄴ. 온도(K): H도 U와 같은 몰에너지 단위를 가지므로, S로 미분한 양의 단위는 $\frac{\mathrm{J/mol}}{\mathrm{J/(mol\cdot K)}} = \mathrm{K}$이다. 아래첨자 P는 **압력을 일정하게 유지**한다는 뜻이며, 압력으로 나누는 것이 아니다.

ㄷ. 몰부피: G를 압력 P로 미분하므로 단위는 $\frac{\mathrm{J/mol}}{\mathrm{Pa}} = \mathrm{m^3/mol}$이다. 에너지와 압력·부피 사이에 $1\mathrm{J} = 1\mathrm{Pa}\cdot\mathrm{m^3}$가 성립하므로 **몰부피 단위**가 남는다. T를 일정하게 유지한다는 조건이 온도 단위를 뜻하지는 않는다.

ㄹ. 압력: A를 몰부피 V로 미분하므로 단위는 $\frac{\mathrm{J/mol}}{\mathrm{m^3/mol}} = \mathrm{Pa}$이다. 몰에너지를 몰부피로 나누면 mol이 소거되어 **압력 단위**가 남는다.

온도 단위를 가지는 보기는 ㄱ과 ㄴ이므로, 이 둘을 묶은 ①에 해당한다.

NoteBase

문 5. 300 K, 1 atm에서 비리얼(virial) 방정식을 따르는 기체의 몰부피(molar volume)가 30 L mol^{-1}일 때, 제2 비리얼 계수(B′)[atm^{-1}]는? (단, 기체상수는 0.08 L atm mol^{-1} K^{-1}이며, 비리얼 전개식은 처음 두 항만 취한다)

① 0.05

② 0.15

③ 0.25

④ 0.35

정답 3번

간단한 해설

압력에 대한 비리얼 전개식을 두 항까지 취하면 $Z = 1 + B'P$이다. **압축인자**가 1.25이므로 이상기체 값 1에서 벗어난 정도를 압력 1 atm으로 나누면 $B' = 0.25\text{atm}^{-1}$이다.

계산 과정

압축인자 $Z = \frac{PV_m}{RT}$는 실제 기체가 이상기체에서 벗어난 정도를 나타내는 무차원 값이며, 이상기체에서는 1이다. 여기서 P는 압력, V_m은 몰부피, T는 절대온도, R은 기체상수이다. **압력에 대한 비리얼 전개식의 처음 두 항**만 취하면 $Z = 1 + B'P$이다. 따라서 압력에 곱해지는 계수 B′의 단위는 atm^{-1}이다.

주어진 값은 P = 1 atm, $V_m = 30\text{L}\text{mol}^{-1}$, T = 300 K, R = 0.08 L atm mol^{-1} K^{-1}이다. 기체상수의 단위가 압력·부피 단위와 일치하므로 별도의 단위 변환 없이 대입한다. $Z = \frac{1 \times 30}{0.08 \times 300} = 1.25$이며, **이상기체 값 1과의 차이**인 0.25가 비리얼 보정항 $B'P$에 해당한다.

$Z = 1 + B'P$를 B′에 대해 정리하면 $B' = \frac{Z-1}{P}$이다. 따라서 $B' = \frac{1.25-1}{1} = 0.25\text{atm}^{-1}$이며, ③의 0.25와 일치한다.

NoteBase

문 6. 25 °C, 1 bar에서 A가 물에 용해되어 있다. A 성분의 액상 몰분율이 2.0×10^{-4}일 때, A 성분의 기상 몰분율은? (단, 25 °C에서 물에 용해된 A의 Henry 상수는 4,550 bar이다)

① 0.90

② 0.91

③ 0.92

④ 0.93

정답 2번

간단한 해설

희석 용액에서 **Henry 법칙**으로 구한 A의 부분압력은 0.91 bar이다. 기상 몰분율은 이 부분압력을 전체 압력 1 bar로 나눈 **0.91**이다.

계산 과정

25 °C에서 전체 압력은 $P = 1\text{bar}$, A의 액상 몰분율은 $x_A = 2.0 \times 10^{-4}$, Henry 상수는 $H_A = 4{,}550\text{bar}$이다. A가 매우 묽게 용해되어 있으므로 Henry 법칙 $p_A = H_A x_A$를 적용한다. 여기서 p_A는 액상과 평형을 이루는 기상에서 A의 부분압력이다.

A의 부분압력: $p_A = 4{,}550 \times (2.0 \times 10^{-4}) = 0.91\text{bar}$이다. Henry 상수에 액상 몰분율을 곱한 값은 **기상 몰분율이 아니라 부분압력**이며, 단위는 bar이다.

A의 기상 몰분율: 1 bar의 기상을 이상기체 혼합물로 근사하면 $p_A = y_A P$이므로, **부분압력을 전체 압력으로 나눈다**. 따라서 $y_A = \frac{p_A}{P} = \frac{0.91\text{bar}}{1\text{bar}} = 0.91$이다. 압력 단위가 소거되어 몰분율은 무차원이며, 계산값 0.91은 ②와 일치한다.

NoteBase

문 7. 절반은 1 mol의 이상기체로 채워져 있고 절반은 진공상태인 강철용기가 있다. 이상기체가 진공상태인 공간으로 일정온도에서 팽창하여 평형에 도달할 때, 수반되는 일의 크기($|W|$), 몰내부에너지(molar internal energy) 변화(ΔU) 및 몰엔트로피(molar entropy) 변화(ΔS)의 부호를 바르게 연결한 것은? (단, 기체는 기체분자운동론(kinetic–molecular theory)을 따른다)

① |W|: 0, ΔU: 0, ΔS: +

② |W|: 0, ΔU: 0, ΔS: −

③ |W|: +, ΔU: −, ΔS: +

④ |W|: +, ΔU: −, ΔS: −

정답 1번

간단한 해설

진공으로의 **자유팽창**에서는 외부 압력이 0이므로 팽창일이 발생하지 않는다. 이상기체의 내부에너지는 온도만으로 결정되어 일정하지만, 기체가 차지하는 부피가 두 배가 되므로 **엔트로피는 증가**한다.

구성 요소별 해설

일의 크기 |W|: 기체가 진공인 공간으로 퍼지는 과정은 자유팽창이다. 팽창일은 기체가 외부 압력에 맞서 부피를 늘릴 때 발생한다. 이 과정에서는 **팽창에 저항하는 외부 압력이 0**이므로, 기체의 부피가 증가해도 일의 크기는 0이다.

몰내부에너지 변화 ΔU: 이상기체는 분자 사이의 상호작용에 따른 위치에너지를 무시하므로, 몰내부에너지는 **온도만의 함수**이다. 문제에서 온도가 일정하다고 했으므로 분자의 평균 운동에너지가 변하지 않으며, $\Delta U = 0$ 이다. 따라서 팽창했다는 이유만으로 내부에너지가 감소한다고 볼 수 없다.

몰엔트로피 변화 ΔS: 기체는 처음에 용기의 절반을 차지하다가 팽창 후 전체를 차지하므로 $V_2 = 2V_1$이다. 이상기체의 등온 변화에서 몰엔트로피 변화는 $\Delta S = R\ln\frac{V_2}{V_1}$이므로, $\Delta S = R\ln 2 > 0$이다. 여기서 R은 기체상수이다. 엔트로피는 상태함수이므로 실제 자유팽창이 비가역적이어도 같은 처음 상태와 끝 상태를 잇는 가역 등온 경로로 그 변화를 계산할 수 있다. **온도가 일정하다는 조건은 엔트로피가 일정하다는 뜻이 아니다**.

일의 크기, 몰내부에너지 변화, 몰엔트로피 변화의 조합은 각각 0, 0, +이며, ①의 조합과 일치한다.

NoteBase

문 8. 카르노(Carnot) 열기관의 열효율이 0.5이고 등온압축 과정에서 방출한 열량이 40 J일 때, 흡수한 열[J]은?

① 10

② 20

③ 40

④ 80

정답 4번

간단한 해설

열효율이 0.5이면 흡수한 열의 절반이 일로 전환되고 **나머지 절반이 방출**된다. 방출한 열이 40 J이므로 흡수한 열은 80 J이다.

계산 과정

흡수한 열량을 Q_H, 방출한 열량을 Q_C라 하고, 두 값은 모두 양의 크기로 나타낸다. 카르노 열기관은 등온압축 과정에서 저온 열원으로 열을 방출하므로 $Q_C = 40\text{J}$이다.

열기관이 **한 사이클을 마치면 내부에너지 변화가 0**이므로, 외부에 한 순일은 $W = Q_H - Q_C$이다. 열효율은 흡수한 열 중 순일로 전환된 비율이므로 $\eta = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_C}{Q_H}$이다. 따라서 열효율이 0.5라는 조건은 방출 열량도 흡수 열량의 0.5배라는 뜻이다.

주어진 값을 대입하면 $0.5 = 1 - \frac{40\text{J}}{Q_H}$이므로, $Q_H = \frac{40\text{J}}{1 - 0.5} = 80\text{J}$이다. 흡수한 열은 80 J이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 9. 80 °C에서 A와 B의 혼합 용액이 있다. 80 °C에서 A의 포화증기압은 100 kPa이고 B의 포화증기압은 50 kPa이다. A의 액상 몰분율이 0.3일 때, 전체 용액의 증기압[kPa]은? (단, 용액은 수정된 라울의 법칙을 따르고 활동도 계수 $\gamma_A = 1.5$, $\gamma_B = 1.2$이다)

① 65

② 87

③ 150

④ 210

정답 2번

간단한 해설

수정된 라울의 법칙에서는 각 성분의 액상 몰분율·활동도 계수·포화증기압을 곱하여 분압을 구한다. A와 B의 분압은 각각 45 kPa와 42 kPa이므로, **두 분압의 합**인 전체 증기압은 87 kPa이다.

계산 과정

액상 조성: A와 B만으로 이루어진 용액이므로 액상 몰분율의 합은 1이다. 따라서 $x_A = 0.3$이고 $x_B = 1 - 0.3 = 0.7$이다.

적용 관계: 문제에서 용액이 수정된 라울의 법칙을 따른다고 하였으므로, 성분 i의 분압은 $p_i = x_i \gamma_i P_i^{sat}$로 구한다. 여기서 x_i는 액상 몰분율, γ_i는 활동도 계수, P_i^{sat}는 같은 온도인 80 °C에서 순수 성분의 포화증기압이다. **활동도 계수는 액상의 비이상성을 반영**하므로 주어진 값을 각각 곱한다.

A의 분압: $p_A = 0.3 \cdot 1.5 \cdot 100 = 45\text{kPa}$이다. 이는 혼합 증기에서 A가 기여하는 압력이다.

B의 분압: $p_B = 0.7 \cdot 1.2 \cdot 50 = 42\text{kPa}$이다. B에는 B의 액상 몰분율 0.7과 활동도 계수 1.2를 적용한다.

전체 증기압: 전체 압력은 각 성분의 분압을 더한 값이므로 P = 45 + 42 = 87 kPa이다. 이는 ②의 87 kPa와 일치한다.

NoteBase

문 10. 다음 중 자유도(degree of freedom) 수가 가장 큰 계는?

① 물과 암모니아로 이루어진 액체

② 수증기와 평형을 이루고 있는 액체 물

③ 끓는점에 있으며 녹지 않은 설탕이 존재하는 설탕물

④ 수증기와 질소로 구성된 혼합물과 평형을 이루고 있는 액체 물

정답 1번

간단한 해설

물과 암모니아가 섞인 액체는 **2성분·1상**이므로 자유도가 3이다. 온도, 압력, 조성을 독립적으로 정할 수 있어 다른 계보다 자유도가 크다.

NoteBase

선지별 해설

자유도는 평형을 유지하면서 독립적으로 정할 수 있는 온도·압력·조성 등의 상태변수 수이다. 화학반응이 없는 계의 깁스 상률은 $F = C - P + 2$이며, C는 독립 성분 수, P는 상의 수이다. 문제에 온도나 압력을 일정하게 고정한 조건은 없으므로 이 식을 그대로 적용한다. 상의 수는 물질의 종류가 아니라 물리적으로 구별되는 균일한 부분의 수로 센다.

① 물과 암모니아로 이루어진 액체: 물과 암모니아의 2성분이 **하나의 액상**을 이루므로 C = 2, P = 1이다. 따라서 $F = 2 - 1 + 2 = 3$이다. 온도, 압력, 암모니아의 몰분율을 정하면 물의 몰분율도 정해지므로 독립적인 조성 변수는 하나이다.

② 수증기와 평형을 이루고 있는 액체 물: 액체와 수증기는 모두 물이므로 **성분은 1개이고 상은 2개**이다. 따라서 $F = 1 - 2 + 2 = 1$이다. 액체 물과 수증기가 공존할 때 온도를 정하면 그에 대응하는 포화증기압이 정해져 온도와 압력을 독립적으로 정할 수 없다.

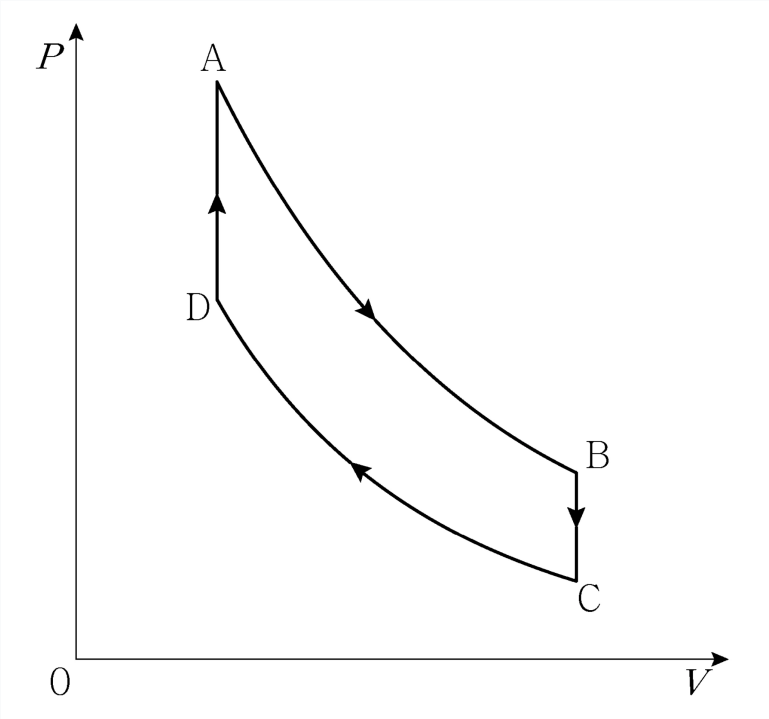
③ 끓는점에 있으며 녹지 않은 설탕이 존재하는 설탕물: 성분은 물과 설탕의 2개이다. 끓고 있으므로 액체 설탕물과 수증기가 공존하며, 녹지 않은 고체 설탕도 있어 **고체·액체·기체의 3상**이다. 따라서 $F = 2 - 3 + 2 = 1$이다. 고체 설탕과의 용해 평형 및 수증기와의 기액 평형을 함께 만족해야 하므로 독립적으로 정할 수 있는 상태변수는 하나이다.

④ 수증기와 질소로 구성된 혼합물과 평형을 이루고 있는 액체 물: 성분은 물과 질소의 2개이다. **수증기와 질소의 혼합 기체는 하나의 기상**이며, 액체 물을 합하면 상은 2개이다. 따라서 $F = 2 - 2 + 2 = 2$이다. 기체 성분이 두 종류라는 이유로 기상을 두 개로 세지 않는다.

자유도는 ① 3, ② 1, ③ 1, ④ 2이므로, 물과 암모니아로 이루어진 액체인 ①이 가장 크다.

NoteBase

문 11. 그림은 공기표준 Otto 사이클이다. 압축 시작점 C의 온도는 300 K이고, 정적 가열이 끝난 점 A의 온도가 1,800 K일 때, 사이클의 열효율[%]은? (단, 비열은 일정하고 압축비(r)는 8이며 공기의 비열비 $\gamma = \frac{4}{3}$로 가정한다)



① 20

② 30

③ 40

④ 50

정답 4번

간단한 해설

비열이 일정한 공기표준 Otto 사이클의 열효율은 **압축비와 비열비**로 결정된다. $\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$에 주어진 값을 대입하면 0.5이므로, 공급한 열의 50%가 순일로 전환된다.

NoteBase

계산 과정

그림에서 C → D는 등엔트로피 압축, D → A는 정적 가열, A → B는 등엔트로피 팽창, B → C는 정적 방열이다. 압축비는 $r = \frac{V_C}{V_D} = 8$이고, 정적 과정이므로 $V_A = V_D$, $V_B = V_C$이다. 각 점의 절대온도를 T_A, T_B, T_C, T_D로 나타낸다.

압축·팽창 과정에는 이상기체의 **등엔트로피 관계** TV^γ-1=일정을 적용한다. 주어진 비열비에서 $\gamma - 1 = \frac{1}{3}$이므로 $r^{\gamma-1} = 8^{1/3} = 2$이다. 따라서 압축 후 온도는 $T_D = T_C r^{\gamma-1} = 300 \times 2 = 600\text{K}$이다. 팽창 시에는 부피가 같은 비율로 증가하므로 $T_B = \frac{T_A}{r^{\gamma-1}} = \frac{1800}{2} = 900\text{K}$이다.

정적 과정에서는 경계일이 없으므로 열전달량은 내부에너지 변화와 같다. 일정한 정적비열을 c_v라 하면, 단위 질량당 공급열은 $q_{\text{in}} = c_v(T_A - T_D)$, 방출열의 크기는 $q_{\text{out}} = c_v(T_B - T_C)$이다. 가열 시 온도 상승은 1,200 K, 방열 시 온도 하강은 600 K이므로 **방출열은 공급열의 절반**이다. 즉, $\frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}} = \frac{900-300}{1800-600} = \frac{1}{2}$이다.

사이클의 순일은 공급열에서 방출열을 뺀 값이므로, 열효율은 $\eta = 1 - \frac{q_{\text{out}}}{q_{\text{in}}} = 1 - \frac{1}{2} = 0.5$이다. 백분율로 나타내면 50%이며, ④의 50에 해당한다.

NoteBase

문 12. 이상기체가 닫힌계에서 가역 단열과정을 통해 온도는 2배가 되고 압력은 16배가 될 때, 정압비열정적비열은?

① $\frac{4}{3}$
② $\frac{8}{5}$
③ $\frac{8}{3}$
④ $\frac{16}{5}$

정답 1번

간단한 해설

이상기체의 **가역 단열관계**에 온도비 2와 압력비 16을 적용하면 $2 = 16^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$가 된다. 여기서 비열비 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$는 $\frac{4}{3}$이다.

계산 과정

초기 상태를 1, 최종 상태를 2로 두면 $\frac{T_2}{T_1} = 2$, $\frac{P_2}{P_1} = 16$이다. 온도는 절대온도를 사용하며, 구할 비열비는 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$이다. C_p와 C_v는 각각 정압비열과 정적비열이다.

가역 단열과정에서는 엔트로피가 일정하다. 이상기체의 비열비를 일정하게 취급하면 이 조건에서 $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$가 성립한다. 따라서 주어진 두 상태의 온도비와 압력비를 이 관계에 대입할 수 있다.

주어진 비를 대입하면 $2 = 16^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$이다. $16 = 2^4$이므로 $2^1 = 2^{\frac{4(\gamma-1)}{\gamma}}$가 되고, 밑이 같으므로 $1 = \frac{4(\gamma-1)}{\gamma}$이다.

이를 정리하면 $\gamma = 4\gamma - 4$, $3\gamma = 4$이므로 $\gamma = \frac{4}{3}$이다. 두 비열의 단위가 같으므로 비열비는 무차원이며, 계산값은 ①의 $\frac{4}{3}$에 해당한다.

NoteBase

문 13. 다음은 25 °C 화학반응에 대한 반응식과 표준 반응열(ΔH°)이다.
25 °C에서 $CO(g)$의 표준 생성 엔탈피 [kJ mol^{-1}]는?

반응식	$\Delta H^o\,[\mathrm{kJ\ mol^{-1}}]$
$3C(s) + 2O_2(g) \rightarrow 2CO(g) + CO_2(g)$	-600
$CO(g) + H_2O(l) \rightarrow CO_2(g) + H_2(g)$	-50
$C(s) + 2H_2O(l) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2(g)$	100

① −400
② −250
③ −200
④ −100

정답 4번

간단한 해설

세 반응을 헤스 법칙으로 결합하면 CO 4 mol이 생성될 때 엔탈피가 400 kJ 감소한다. 표준 생성 엔탈피는 **CO 1 mol 생성 기준**이므로 −100 kJ mol^{-1}이다.

계산 과정

25 °C에서 표준 생성 엔탈피는 표준 상태의 원소로부터 물질 1 mol을 생성할 때의 엔탈피 변화이다. 목표 반응은 $C(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CO(g)$이다. 엔탈피는 상태함수이므로 **반응식을 더하면 반응열도 더한다.** 반응을 역전하면 반응열의 부호가 바뀌고, 반응식의 계수를 일정 배수로 바꾸면 반응열도 같은 배수가 된다.

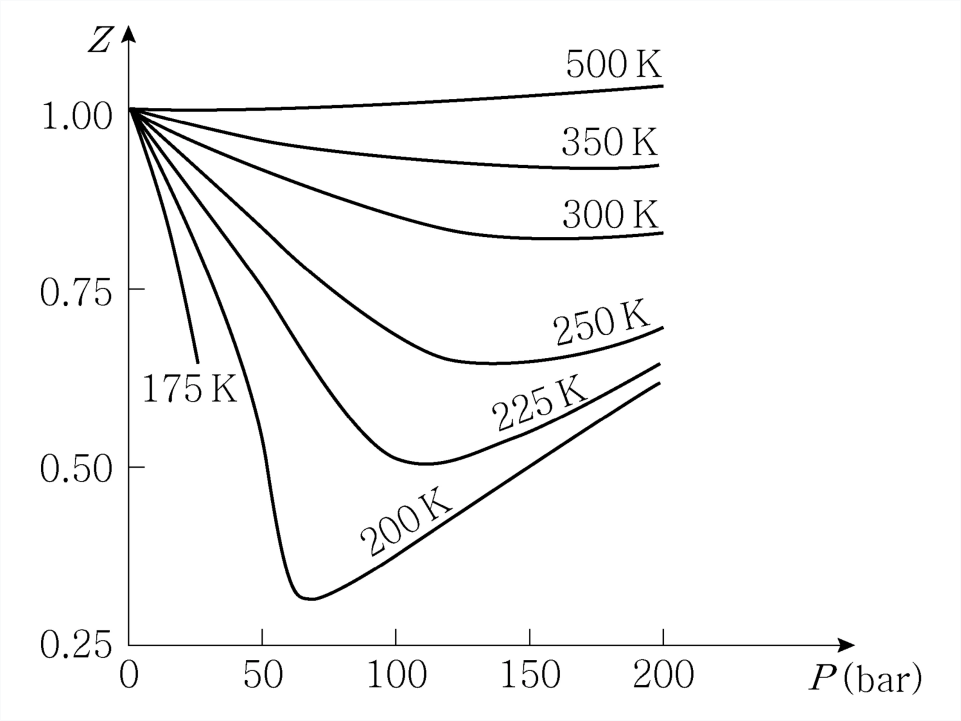
둘째 반응을 역전하여 2배한 뒤 셋째 반응에 더한다. 양변의 물 2 mol과 수소 2 mol이 소거되어 $C(s) + CO_2(g) \rightarrow 2CO(g)$가 남는다. 이 반응식에 따른 엔탈피 변화는 $100 - 2 \times (-50) = 200$ kJ이다.

이 반응을 첫째 반응에 더하면 이산화탄소가 소거되어 $4C(s) + 2O_2(g) \rightarrow 4CO(g)$가 된다. 엔탈피 변화는 −600 + 200 = −400 kJ이다. 이는 **CO 4 mol을 생성할 때**의 값이다.

CO 1 mol의 생성 반응으로 맞추려면 반응식 전체와 엔탈피 변화를 각각 4로 나눈다. 따라서 CO(g)의 표준 생성 엔탈피는 _ fH^=(-400)/(4)=-100 kJ mol^{-1}이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 14. 부피가 같고 온도가 300 K으로 유지되고 있는 두 개의 용기가 관으로 연결되어 있다. 관이 밸브로 닫혀 있는 초기상태에서 한 용기는 50 bar(P_1)의 메테인(CH_4)으로 채워져 있고, 다른 용기는 진공상태로 비어 있다. 일정한 온도에서 밸브를 열어 평형상태에 도달할 때, 압력(P_2)[bar]에 대한 표현으로 옳은 것은? (단, 그림은 메테인에 대한 압축인자(Z)와 압력(P) 사이의 관계를 나타내며 밸브와 관의 부피는 무시한다)



① $P_2 < \frac{P_1}{2}$

② $P_2 = \frac{P_1}{2}$

③ $\frac{P_1}{2} < P_2 < P_1$

④ $P_2 = P_1$

정답 3번

간단한 해설

부피가 두 배가 되어도 메테인의 **압축인자가 일정하지 않으므로** 압력이 정확히 절반이 되지는 않는다. 300 K에서 압력이 낮아지면 압축인자가 커지므로, 최종 압력은 **25 bar보다 크고 50 bar보다 작다**.

NoteBase

계산 과정

각 용기의 부피를 V, 전체 메테인의 몰수를 n이라 하자. 처음에는 한 용기에만 기체가 있으므로 기체의 부피는 V이고, 밸브를 연 뒤에는 두 용기에 퍼져 $2V$가 된다. 외부로 기체가 나가지 않아 **전체 몰수는 일정**하며, 온도도 300 K으로 유지된다.

압축인자는 $Z = \frac{PV}{nRT}$로 정의되며, 실제기체의 상태방정식은 $PV = ZnRT$이다. 초기와 최종 압축인자를 각각 Z_1, Z_2라 하면 $P_1V = Z_1nRT$, $P_2(2V) = Z_2nRT$이다. 두 식을 나누면 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{Z_2}{2Z_1}$, 즉 $P_2 = \frac{P_1}{2}\frac{Z_2}{Z_1}$이다. 따라서 부피 증가 효과에 압축인자의 변화도 함께 반영해야 한다.

일정한 온도에서 기체가 차지하는 부피가 두 배로 늘어나 몰밀도가 낮아지므로 $P_2 < P_1$이다. 그림의 **300 K 곡선은 0~50 bar에서 압력이 높아질수록 아래로 내려간다**. 따라서 50 bar에서 더 낮은 압력으로 이동하면 압축인자가 커져 $Z_2 > Z_1$이 된다. 이를 앞의 식에 대입하면 $P_2 > \frac{P_1}{2}$이다.

두 부등식을 합치면 $\frac{P_1}{2} < P_2 < P_1$이다. 초기 압력이 50 bar이므로 최종 압력의 범위는 $25\text{bar} < P_2 < 50\text{bar}$이며, 이는 ③의 표현과 일치한다.

NoteBase

문 15. t°C에서 $\mathrm{A}(g) + \mathrm{B}(g) \rightleftharpoons 2\mathrm{C}(g)$의 반응에 대한 평형상수($K_P$)가 1이다. 일정한 온도와 부피에서 반응이 진행되고 A와 B의 초기 부분압력이 각각 1 bar일 때, 평형상태에서 A의 전환율은? (단, 초기에는 A와 B만 존재한다)

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

정답 2번

간단한 해설

A와 B가 각각 1몰씩 소모될 때 **C는 2몰 생성**되므로, A의 전환율을 X라 하면 평형 부분압력은 A와 B가 각각 $(1-X)$bar, C가 $2X$bar이다. 이를 평형상수에 대입하면 $\frac{4X^2}{(1-X)^2} = 1$이므로 전환율은 $\frac{1}{3}$이다.

계산 과정

1. 전환율과 평형 조성: A의 전환율 X는 **초기 A 중 반응하여 소모된 비율**로, $X = \frac{n_{A,0} - n_A}{n_{A,0}}$이다. A와 B의 초기 부분압력이 같으므로 초기 몰수도 같다. 반응식의 계수비가 A : B : C = 1 : 1 : 2이므로, 평형 몰수는 $n_A = n_B = n_{A,0}(1-X)$, $n_C = 2n_{A,0}X$이다. 초기 C의 몰수는 0이다.

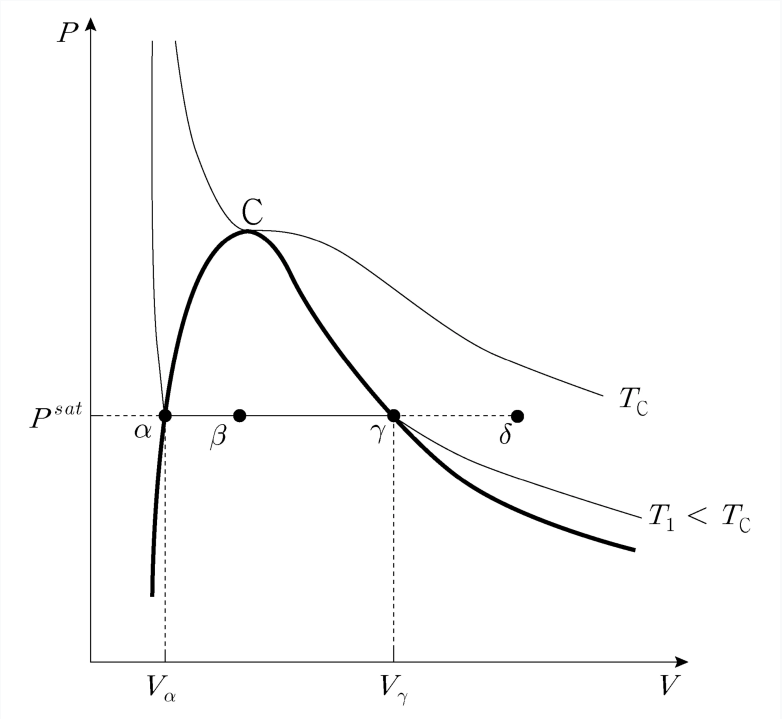
2. 평형 부분압력: 기체를 이상기체로 다루면 $p_i = \frac{n_i RT}{V}$이며, **온도와 부피가 일정**하므로 각 성분의 부분압력은 몰수에 비례한다. 초기 A와 B의 부분압력이 각각 1 bar이므로 $p_A = p_B = (1-X)$bar, $p_C = 2X$bar이다. C의 부분압력에 붙는 2는 생성물의 반응계수에서 나온다.

3. 평형상수 적용: 부분압력으로 나타낸 평형상수는 생성물의 부분압력을 분자에, 반응물의 부분압력을 분모에 놓고 각각의 반응계수를 지수로 사용한다. 따라서 $K_P = \frac{p_C^2}{p_A p_B} = \frac{(2X)^2}{(1-X)^2} = 1$이다. 이 반응은 분자와 분모의 압력 차수가 모두 2이므로 압력 단위가 소거된다. $0 \le X < 1$에서 양의 제곱근을 취하면 $2X = 1 - X$이고, $3X = 1$을 얻는다.

따라서 A의 평형 전환율은 $X = \frac{1}{3}$이며, 초기 A의 약 33.3%가 소모된다는 뜻이다. 이는 ②의 값과 일치한다.

NoteBase

문 16. 그림은 순수유체에 대한 등온선을 임계온도 T_C와 이보다 낮은 온도 T_1에서 나타낸 것이다. T_1일 때의 포화압력 P^{sat}에서 그림에 표시한 네 점을 각각 α, β, γ, δ라고 할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 그림에서 가장 굵은 곡선은 포화증기와 포화액체 몰부피(molar volume)들의 궤적을 보여준다)



ㄱ. δ에서 유체의 상은 기체이다.

ㄴ. V_α와 V_γ는 각각 포화액체와 포화증기의 몰부피(molar volume)이다.

ㄷ. β에서 기상의 몰깁스에너지(molar Gibbs energy)와 액상의 몰깁스에너지는 같다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㄷ

③ ㄴ, ㄷ

④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 4번

간단한 해설

굵은 포화곡선의 안쪽은 **액체와 증기가 공존하는 영역**이고, 오른쪽 바깥은 기체 영역이다. 포화압력에서 공존하는 두 상은 **몰깁스에너지가 같아** 상평형을 이룬다.

NoteBase

보기별 해설

ㄱ. O: 세로축은 압력, 가로축은 몰부피이다. δ는 주어진 압력에서 포화증기 경계인 γ보다 오른쪽에 있으므로 **기체 단일상 영역**에 속한다. δ가 γ와 같은 압력에 있더라도, 두 점의 온도까지 같은 것은 아니다.

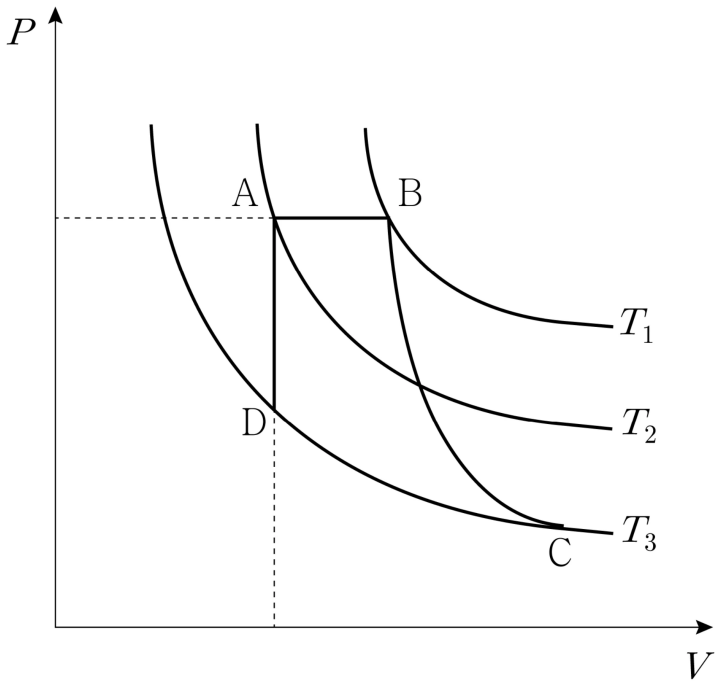
ㄴ. O: 온도 T_1의 등온선에서 α와 γ 사이의 수평 구간은 액체와 증기가 포화압력 P^{sat}에서 공존하는 구간이다. 왼쪽 끝 α는 증발이 시작되는 **포화액체**, 오른쪽 끝 γ는 증발이 완료된 **포화증기** 상태이다. 따라서 V_α는 포화액체의 몰부피이고, V_γ는 포화증기의 몰부피이다.

ㄷ. O: β는 α와 γ 사이에 있으므로 액체와 증기가 함께 존재한다. 순수물질의 상평형에서는 두 상의 화학퍼텐셜이 같아야 하며, 화학퍼텐셜은 그 상의 몰깁스에너지와 같다. 따라서 **기상과 액상의 몰깁스에너지가 같다**. 이를 기상의 몰깁스에너지 g^v, 액상의 몰깁스에너지 g^l로 쓰면 $g^v = g^l$이다. 두 값이 다르면 몰깁스에너지가 낮은 상으로 물질이 이동하므로 상평형을 유지할 수 없다.

따라서 ㄱ, ㄴ, ㄷ을 모두 포함하는 조합은 ④이다.

NoteBase

문 17. 그림은 닫힌계에서 기체의 세 가지 등온선(T_1, T_2, T_3)과 네 가지 상태(A, B, C, D)를 표시한 $P-V$ 선도이며, 곡선 BC는 가역 단열과정을 나타낸다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 기체는 반데르발스 식을 따르는 실제기체이다. 일은 팽창일만 존재하고, 아래첨자 ij는 상태 i로부터 상태 j까지의 변화를 나타내며 모든 과정은 가역 과정이다. U는 몰내부에너지(molar internal energy), S는 몰엔트로피(molar entropy), V는 몰부피(molar volume), P는 압력, T는 절대온도, C_V는 정적 몰열용량(molar heat capacity), Q는 열, W는 일이다)



① $\Delta S_{BC} = 0$

② $\Delta U_{AD} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}$

③ $\Delta U_{DA} = \int_{T_3}^{T_2} C_V dT$

④ $|Q_{CDAB}| = |W_{ABCD}|$

정답 2번

간단한 해설

②는 같은 등온선 위의 C와 D에서 내부에너지가 같다고 취급한 식이다. 반데르발스 기체의 내부에너지는 **온도뿐 아니라 부피에도 의존**하므로, A→B→C의 내부에너지 변화에 C→D의 변화까지 더해야 A→D의 변화가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① O: BC는 **가역 단열과정**이다. 가역과정에서 엔트로피 변화는 $dS = \delta Q_{rev}/T$이고, 단열과정에서는 열 출입이 없으므로 $\Delta S_{BC} = 0$이다.

② X: 내부에너지는 상태함수이므로 $\Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} = \Delta U_{AC}$이다. 이를 ΔU_{AD}와 같다고 하려면 C와 D의 내부에너지가 같아야 한다. 그러나 그림에서 C와 D는 온도가 T_3으로 같을 뿐, $V_C > V_D$이다. 반데르발스 기체는 $dU = C_V dT + \frac{a}{V^2}dV$를 따르며, a는 분자 간 인력을 나타내는 반데르발스 상수이다. 따라서 등온 압축 C→D에서도 $\Delta U_{CD} = a\left(\frac{1}{V_C} - \frac{1}{V_D}\right) < 0$이다. 올바른 관계는 **C→D의 내부에너지 변화까지 포함**한 $\Delta U_{AD} = \Delta U_{AC} + \Delta U_{CD}$이다.

③ O: 그림에서 DA는 수직선이므로 **부피가 일정한 과정**이며, D의 온도는 T_3, A의 온도는 T_2이다. 정적 몰열용량의 정의 $C_V = (\partial U/\partial T)_V$에 따라 $dU = C_V dT$이므로, $\Delta U_{DA} = \int_{T_3}^{T_2} C_V dT$이다. 실제기체도 부피가 일정하면 이 관계가 성립하며, 열용량이 일정하다는 가정은 필요하지 않다.

④ O: 닫힌 순환 A→B→C→D→A에서는 처음 상태로 돌아오므로 내부에너지의 총변화가 0이다. 열역학 제1법칙에 따라 순환 전체의 순열량과 순일의 크기는 같다. 이때 **BC는 단열이므로 열이 0**이고, **DA는 정적이므로 팽창일이 0**이다. 따라서 순환 전체의 열은 C→D→A→B의 열 Q_{CDAB}와 같고, 순환 전체의 일은 A→B→C→D의 일 W_{ABCD}와 같다. 이에 따라 $|Q_{CDAB}| = |W_{ABCD}|$가 성립한다.

NoteBase

문 18. 전기로 가열되는 단열 탱크 안에 초기에 80 °C의 물 100 kg이 들어 있다. 시각 t = 0에서 정전이 되고부터, 탱크 출구로 물이 일정한 질량유량 1 kg s^{-1}으로 배출되고, 동시에 30 °C의 물이 같은 질량유량으로 탱크에 유입된다. 탱크 내 물의 온도가 80 °C에서 40 °C로 낮아지는 데 걸리는 시간[s]은? (단, 탱크의 내용물은 완전한 혼합이 이루어지고 유출수의 물성은 탱크 내부 물의 물성과 같으며, 정전 후 전기 공급은 없다. 탱크 외부로의 열손실, 축일, 운동에너지 및 위치에너지 변화는 무시한다. 물은 비압축성 액체이며, 물의 비열은 온도와 압력에 관계없이 일정하고 ln 0.2 = −1.60이다. 물의 비열은 물의 정적비열 및 물의 정압비열과 같다)

① 1.6

② 16

③ 160

④ 1,600

정답 3번

간단한 해설

유입수 30 °C와 탱크 물의 **온도 차가 지수적으로 감소**한다. 온도 차가 50 °C에서 10 °C로 줄어드는 데 걸리는 시간은 160 s이다.

계산 과정

질량수지: 유입·유출 질량유량이 모두 1 kg/s이므로 **탱크 안 물의 질량은 100 kg으로 일정**하다. 탱크 내 물의 질량을 M = 100 kg, 온도를 T, 유입수 온도를 $T_{\text{in}} = 30$ °C, 질량유량을 $\dot{m}$, 물의 일정한 비열을 c라 둔다. 완전혼합이므로 유출수 온도도 T이다.

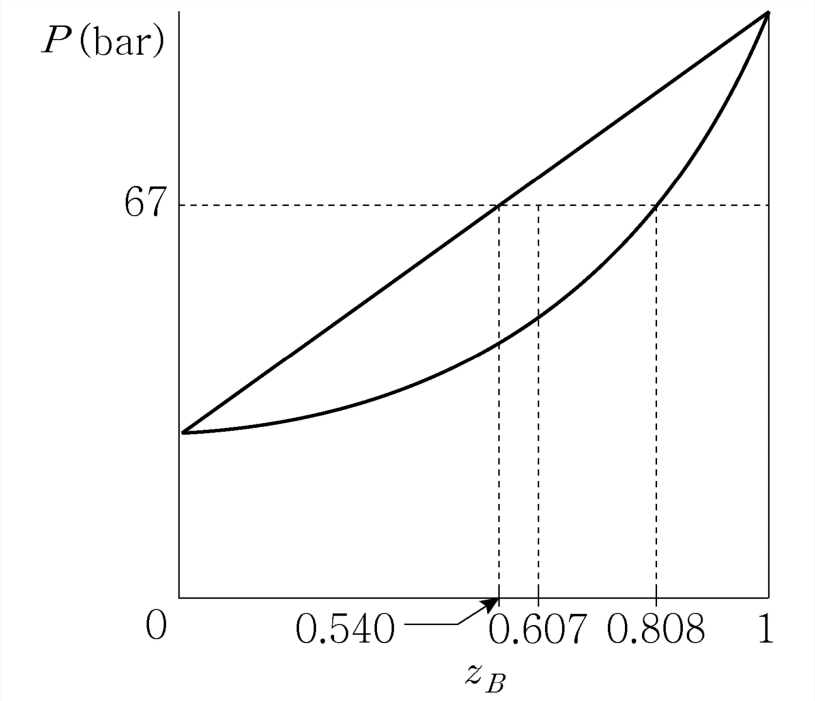
에너지수지: 정전 후 전기 공급이 없고 열손실, 축일, 운동에너지 및 위치에너지 변화를 무시하므로, 탱크의 에너지 축적률은 유입수와 유출수가 운반하는 에너지의 차이이다. 주어진 비열 조건을 적용하면 $Mc\frac{dT}{dt} = \dot{m}c(T_{\text{in}} - T)$이다. 비열 c를 소거하면 $\frac{dT}{dt} = -\frac{\dot{m}}{M}(T - 30)$이 된다. 냉각 속도는 **유입수와의 온도 차에 비례**하므로 시간이 지날수록 느려진다.

온도 변화식: 초기조건은 t = 0에서 T = 80 °C이다. 에너지수지식을 변수분리하여 적분하면 $\ln\frac{T-30}{80-30} = -\frac{\dot{m}}{M}t$이다. 여기서 $\frac{M}{\dot{m}} = \frac{100}{1} = 100$ s는 탱크 내 물의 질량을 유량으로 나눈 시간 척도이다.

소요 시간: T = 40 °C일 때 온도 차의 비는 $\frac{40-30}{80-30} = 0.2$로, 초기 온도 차의 20 %가 남은 상태이다. 따라서 $t = -100\ln 0.2$ s이고, 주어진 ln 0.2 = −1.60을 대입하면 t = 100 × 1.60 = 160 s이다. 이는 ③의 160에 해당한다.

NoteBase

문 19. 그림은 벤젠과 톨루엔으로 구성된 2성분계 용액의 압력(P)-조성 상평형도를 나타낸다. 압력은 67 bar이고 벤젠의 전체조성(z_B)이 0.607일 때, 평형에 존재하는 전체증기의 양(n_V)에 대한 전체액체의 양(n_L), $\frac{n_L}{n_V}$은? (단, n_L과 n_V의 단위는 몰이고 조성은 몰분율이다)



① $\frac{1}{3}$

② $\frac{2}{3}$

③ $\frac{3}{2}$

④ 3

정답 4번

간단한 해설

67 bar에서 액체와 증기의 벤젠 몰분율은 각각 0.540, 0.808이다. **지렛대 법칙**에 따라 $\frac{n_L}{n_V} = \frac{0.808 - 0.607}{0.607 - 0.540} = 3$ 이므로, 액체의 몰수는 증기의 몰수의 3배이다.

NoteBase

계산 과정

평형 조성 읽기: 압력 67 bar의 수평선이 위쪽 직선인 기포점선과 만나는 점에서 액체의 벤젠 몰분율 $x_B = 0.540$을, 아래쪽 곡선인 이슬점선과 만나는 점에서 증기의 벤젠 몰분율 $y_B = 0.808$을 읽는다. 전체조성 $z_B = 0.607$은 두 값 사이에 있으므로 액체와 증기가 함께 존재한다.

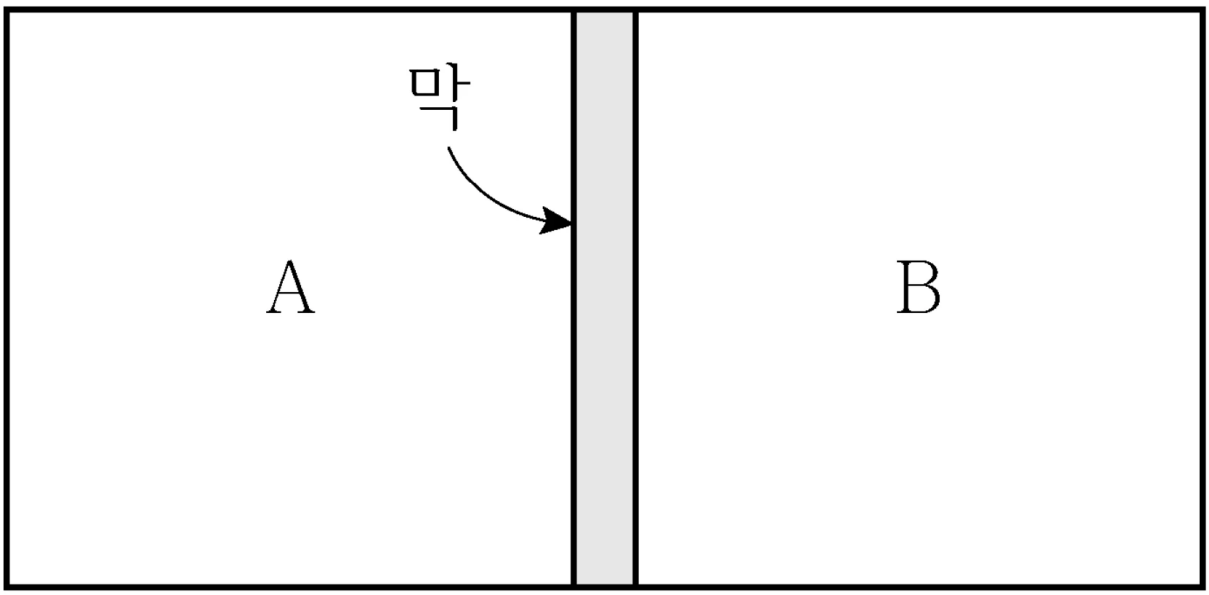
물질수지: 액체와 증기의 몰수를 각각 n_L, n_V라 하면 전체 몰수는 $n_L + n_V$이다. **전체 벤젠 몰수는 각 상의 벤젠 몰수의 합**이므로 $(n_L + n_V)z_B = n_L x_B + n_V y_B$이다. 이를 정리하면 $n_L(z_B - x_B) = n_V(y_B - z_B)$가 된다.

몰수비 계산: 위 물질수지에서 지렛대 법칙 $\frac{n_L}{n_V} = \frac{y_B - z_B}{z_B - x_B}$을 얻는다. 증기 조성과 전체조성의 차이는 0.808 − 0.607 = 0.201이고, 전체조성과 액체 조성의 차이는 0.607 − 0.540 = 0.067이다. 따라서 $\frac{n_L}{n_V} = \frac{0.201}{0.067} = 3$이다. 각 상의 몰수는 전체조성에서 **반대쪽 평형 조성까지의 거리**에 비례한다.

액체의 몰수는 증기의 몰수의 3배이며, 두 몰수의 비이므로 단위는 없다. 계산값 3은 ④에 해당한다.

NoteBase

문 20. 그림과 같이 단열된 실린더가 고정된 막에 의해 각각 1 m^3인 두 부분으로 분리되어 있다. A에는 160 kPa, 400 K의 이상기체가, B에는 1.2 MPa, 1,000 K의 동일한 이상기체가 들어 있다. 막을 제거한 후 기체 분자가 자유롭게 이동하도록 하여 평형상태에 도달할 때, 온도[K]와 압력[kPa]을 바르게 연결한 것은? (단, 기체상수는 8 J mol^{-1} K^{-1}이고 기체의 비열은 온도와 관계없이 일정하다. 막은 단열 불투과성이고 막의 부피는 무시하며 실린더의 부피는 변하지 않는다)



① 온도: 700, 압력: 680

② 온도: 700, 압력: 800

③ 온도: 850, 압력: 680

④ 온도: 850, 압력: 800

정답 3번

간단한 해설

실린더 전체가 단열·정적이므로 내부에너지가 보존된다. 같은 기체의 비열이 일정하므로 최종 온도는 **몰수로 가중한 평균온도**인 850 K이며, 총부피 2 m^3에 이상기체 상태방정식을 적용하면 압력은 680 kPa이다.

NoteBase

계산 과정

1. 전체 계의 에너지 보존: A와 B를 합친 실린더 전체를 계로 잡는다. 외벽이 단열되어 열 출입이 없고, 실린더의 부피가 일정하여 외부에 하는 부피변화 일도 없다. 따라서 **전체 내부에너지는 보존**된다. 막을 제거한 뒤 최종 부피는 1 + 1 = 2 m^3이다.

2. 초기 몰수: 각 부분에 이상기체 상태방정식 $n = \frac{PV}{RT}$을 적용한다. 기체상수 R = 8 J mol^{-1} K^{-1}에 맞추어 압력을 Pa로 바꾸면, A는 160,000 Pa이고 B는 1.2 MPa = 1,200,000 Pa이다. 1 Pa·m^3 = 1 J이므로 다음과 같이 몰수를 구한다.
$n_A = \frac{160000 \cdot 1}{8 \cdot 400} = 50\text{mol}$
$n_B = \frac{1200000 \cdot 1}{8 \cdot 1000} = 150\text{mol}$
즉 B에는 A의 3배인 기체가 들어 있고, 전체 몰수는 50 + 150 = 200 mol이다.

3. 평형 온도: 이상기체의 내부에너지는 온도에만 의존하며, 비열이 일정하면 온도 변화에 따른 내부에너지 변화는 $\Delta U = nC_V\Delta T$이다. 두 부분이 **동일한 기체이므로 몰비열이 같아** 에너지 보존식에서 공통 인자를 소거할 수 있다. 최종 온도를 T_f라 하면 $n_AT_A + n_BT_B = (n_A + n_B)T_f$가 된다. 따라서 온도는 부피가 아니라 몰수를 기준으로 평균한다.
$T_f = \frac{50 \cdot 400 + 150 \cdot 1000}{200} = 850\text{K}$

4. 평형 압력: 막 제거 후 기체는 전체 부피 2 m^3를 차지한다. 전체 몰수 200 mol과 평형 온도 850 K를 상태방정식에 대입한다.
$P_f = \frac{nRT_f}{V} = \frac{200 \cdot 8 \cdot 850}{2}$
계산값은 680,000 Pa = 680 kPa이다. 따라서 온도 850 K와 압력 680 kPa의 조합은 ③에 해당한다.

NoteBase

문 21. 염화 칼슘($CaCl_2$) 2 mol을 500 g의 물에 녹일 때, 어는점 내림의 크기[K]는? (단, 물의 어는점 내림 상수는 1.8 K kg mol^{-1}이고, 염화 칼슘은 수용액에서 완전해리한다)

① 3.6

② 7.2

③ 10.8

④ 21.6

정답 4번

간단한 해설

염화 칼슘은 완전해리하면 1 mol당 **이온 3 mol**을 만들므로 반트호프 인자는 3이다. 용매 0.500 kg에 염화 칼슘 2 mol이 녹아 있으므로 몰랄농도는 4 mol/kg이고, 어는점 내림의 크기는 21.6 K이다.

계산 과정

1. 해리에 따른 입자 수: 염화 칼슘은 $CaCl_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2Cl^-$로 완전해리한다. 염화 칼슘 1 mol에서 칼슘 이온 1 mol과 염화 이온 2 mol이 생기므로, 해리 전 용질의 몰수에 대한 해리 후 입자의 몰수 비인 반트호프 인자는 $i = 3$이다.

2. 몰랄농도: 몰랄농도는 **용매 1 kg당 용질의 몰수**이다. 물 500 g은 0.500 kg이므로, 염화 칼슘의 몰랄농도는 $m = \frac{2}{0.500} = 4$ mol/kg이다. 이 값은 해리 전 염화 칼슘을 기준으로 하며, 해리에 따른 입자 수 증가는 반트호프 인자로 반영한다.

3. 어는점 내림: 어는점 내림은 용질 입자의 농도에 비례하므로 전해질에는 $\Delta T_f = iK_f m$을 적용한다. 여기서 ΔT_f는 순수한 물의 어는점에서 용액의 어는점을 뺀 양의 값이고, K_f는 물의 어는점 내림 상수이다. 주어진 상수 1.8 K kg mol^{-1}을 대입하면 어는점 내림의 크기는 $3 \times 1.8 \times 4 = 21.6$ K이며, ④의 값과 일치한다.

NoteBase

문 22. 300 K, 1 bar의 이상기체 질소(N_2) 1몰이 닫힌계에서 가역등압 과정을 통해 부피가 3배로 팽창할 때, 옳지 않은 것은? (단, $C_V = \frac{5}{2}R$, $C_P = \frac{7}{2}R$, $R = 8\ \text{J}\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$이다)

① $|W| = 12{,}000$ J

② $\Delta U = 12{,}000$ J

③ $\Delta H = 16{,}800$ J

④ $Q = 16{,}800$ J

정답 1번

간단한 해설

등압 팽창에서 기체가 한 일은 내부에너지 변화가 아니라 $|W| = P\Delta V = nR\Delta T$로 구한다. 온도가 300 K에서 900 K로 올라가므로 **일의 크기는 4,800 J**이다.

선지별 해설

닫힌계에서 기체의 몰수는 일정하다. 이상기체 상태방정식 $PV = nRT$에서 압력이 일정하면 부피는 절대온도에 비례하므로, $T_2 = 3T_1 = 900$ K이다. 따라서 온도 상승량은 $\Delta T = 900 - 300 = 600$ K이다.

① X: 가역등압 팽창에서 기체가 외부에 한 일은 $W_{\text{out}} = P(V_2 - V_1) = nR\Delta T$이다. 수치를 대입하면 $1 \times 8 \times 600 = 4{,}800$ J이므로, **일의 크기는 12,000 J이 아니라 4,800 J**이다. 일의 부호를 어느 관례로 정하더라도 그 크기는 같다.

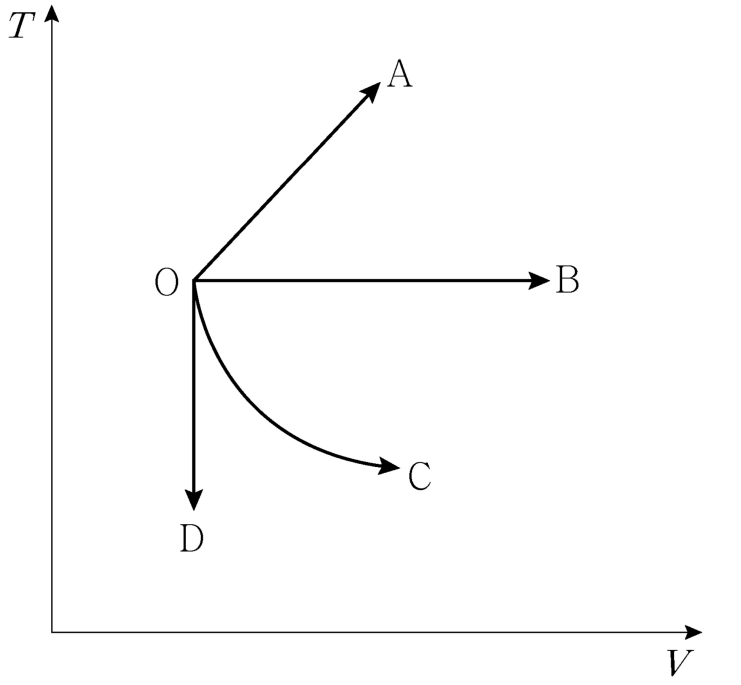
② O: 이상기체의 내부에너지는 **온도에만 의존**하므로 $\Delta U = nC_V\Delta T$이다. 주어진 $C_V = \frac{5}{2}R$는 $20\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$이므로, 내부에너지 증가량은 $1 \times 20 \times 600 = 12{,}000$ J이다.

③ O: 이상기체의 엔탈피 변화는 $\Delta H = nC_P\Delta T$로 구한다. 주어진 $C_P = \frac{7}{2}R$는 $28\ \text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$이므로, 엔탈피 증가량은 $1 \times 28 \times 600 = 16{,}800$ J이다. 엔탈피는 $H = U + PV$이므로, 이 값에는 내부에너지 증가량과 함께 팽창에 따른 PV의 증가량 4,800 J이 포함된다.

④ O: 팽창일만 고려하고 기체가 외부에 한 일을 양수로 두면, 닫힌계의 에너지수지는 $\Delta U = Q - W_{\text{out}}$이다. 따라서 공급된 열은 $Q = \Delta U + W_{\text{out}}$이며, 12,000 + 4,800 = 16,800 J이다. **등압 과정에서 팽창일만 있으면** 공급열은 엔탈피 증가량과 같다.

NoteBase

문 23. 그림은 닫힌계에서 이상기체의 네 가지 가역 과정을 나타낸 $T-V$ 선도이다. 각 과정에서 기체의 엔트로피 변화에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



① $O \rightarrow A$에서 기체의 엔트로피는 증가한다.

② $O \rightarrow B$에서 기체의 엔트로피 변화는 0이다.

③ $O \rightarrow C$가 단열 과정일 때, 기체의 엔트로피 변화는 0이다.

④ $O \rightarrow D$에서 기체의 엔트로피는 감소한다.

정답 2번

간단한 해설

$O \rightarrow B$는 온도가 일정한 채 부피가 증가하는 **등온 팽창**이다. 이상기체는 이 과정에서 가역적으로 열을 흡수하므로 엔트로피 변화가 0이 아니라 **양수**이다.

NoteBase

선지별 해설

닫힌계의 일정량 이상기체에서 엔트로피 변화는 $dS = nC_V\frac{dT}{T} + nR\frac{dV}{V}$로 나타낸다. 여기서 n은 몰수, C_V는 정적 몰비열, R은 기체상수이며 T는 절대온도이다. 따라서 온도와 부피가 엔트로피에 미치는 영향을 함께 살펴야 한다.

① O: $O \to A$는 선도에서 오른쪽 위로 향하므로 **온도와 부피가 모두 증가**한다. 엔트로피 변화식의 온도 항과 부피 항이 모두 양수이므로 기체의 엔트로피는 증가한다.

② X: $O \to B$는 수평으로 오른쪽을 향하므로 **등온 팽창**이다. 온도 항은 0이지만 부피가 증가하므로 $\Delta S = nR\ln\frac{V_B}{V_O} > 0$이다. 온도가 일정하다는 이유로 엔트로피 변화까지 0이 되는 것은 아니며, 선지의 내용은 엔트로피가 증가하는 것으로 고쳐야 한다.

③ O: 문제에서 모든 과정은 가역 과정이라고 주어졌다. 따라서 $O \to C$가 단열 과정이면 **가역 단열 과정**에 해당한다. 가역 과정에서는 $dS = \frac{\delta Q_{\text{rev}}}{T}$이고 단열이면 열전달이 없으므로 엔트로피 변화는 0이다. 이때 팽창에 따른 엔트로피 증가 효과와 온도 하강에 따른 감소 효과가 상쇄된다.

④ O: $O \to D$는 수직으로 아래를 향하므로 **부피가 일정한 냉각 과정**이다. 부피 항은 0이고 온도가 낮아져 온도 항이 음수이므로 기체의 엔트로피는 감소한다.

NoteBase

문 24. 다음 자료를 사용하여 p atm의 일정한 압력에서 알루미늄이 가역적으로 600 °C에서 700 °C로 가열될 때, 몰엔트로피(molar entropy) 변화 [J mol^{-1} K^{-1}]는?

◯ 알루미늄의 원자량은 27이다.
◯ p atm에서 알루미늄의 녹는점은 660 °C, 융해열은 393 J g^{-1}이다.
◯ 고체 알루미늄과 액체 알루미늄의 몰열용량(molar heat capacity)은 각각 32 J mol^{-1} K^{-1}, 34 J mol^{-1} K^{-1}으로 일정하다.
◯ $\ln(973) = 6.88$, $\ln(933) = 6.84$, $\ln(873) = 6.77$, $\frac{131}{311} = 0.42$로 계산한다.
◯ $t[°C] = T[K] - 273$으로 계산한다.

① 3.60
② 4.02
③ 14.94
④ 15.00

정답 3번

간단한 해설

녹는점 660 °C를 지나므로 **고체 가열·융해·액체 가열**의 몰엔트로피 변화를 모두 더해야 한다. 주어진 근삿값을 적용하면 각각 2.24, 11.34, 1.36 J mol^{-1} K^{-1}이므로 전체 변화는 14.94 J mol^{-1} K^{-1}이다.

NoteBase

계산 과정

압력은 p atm으로 일정하며, 온도를 절대온도로 바꾸면 처음은 873 K, 녹는점은 933 K, 마지막은 973 K이다. 따라서 고체를 873 K에서 933 K까지 가열한 뒤 융해시키고, 액체를 973 K까지 가열하는 세 과정으로 나눈다. 가역 과정의 몰엔트로피 변화는 $dS_m = \frac{\delta q_{\mathrm{rev},m}}{T}$로 구한다.

1. 고체 가열: 일정 압력에서 몰열용량이 일정하므로 $\Delta S_{m,s} = C_{p,m,s} \ln \frac{933}{873}$이다. 온도에 따라 열을 받는 온도가 달라지므로 **온도비의 자연로그**를 사용한다. 주어진 로그값으로 계산하면 $\Delta S_{m,s} = 32 \cdot (6.84 - 6.77) = 2.24$ J mol^{-1} K^{-1}이다.

2. 융해: 융해는 **녹는점 933 K에서 온도가 일정한 상태**로 진행되므로, 몰융해열을 그 온도로 나눈다. 몰질량은 27 g mol^{-1}이므로 몰융해열은 $\Delta H_{\mathrm{fus},m} = 393 \cdot 27 = 10611$ J mol^{-1}이다. 따라서 $\Delta S_{m,\mathrm{fus}} = \frac{10611}{933} = 27 \cdot \frac{131}{311}$이다. 문제에서 제시한 비의 근삿값 0.42를 적용하면 $\Delta S_{m,\mathrm{fus}} = 27 \cdot 0.42 = 11.34$ J mol^{-1} K^{-1}이다.

3. 액체 가열: 융해가 끝난 뒤에는 **액체의 몰열용량 34 J mol^{-1} K^{-1}**을 적용한다. $\Delta S_{m,l} = 34 \ln \frac{973}{933}$이며, 주어진 로그값을 넣으면 $\Delta S_{m,l} = 34 \cdot (6.88 - 6.84) = 1.36$ J mol^{-1} K^{-1}이다.

4. 전체 변화: 세 과정의 몰엔트로피 변화를 더하면 2.24 + 11.34 + 1.36 = 14.94 J mol^{-1} K^{-1}이다. 이는 ③의 14.94와 일치한다.

NoteBase

문 25. 25 °C에서 90 mol%의 메테인($CH_4(g)$)과 10 mol%의 프로페인($C_3H_8(g)$)을 함유한 천연가스가 완전 연소하였다. 천연가스의 표준 연소열의 크기[kJ mol^{-1}]는? (단, 25 °C에서 $CO_2(g)$, $H_2O(g)$, $CH_4(g)$, $C_3H_8(g)$의 표준 생성 엔탈피는 각각 −400, −300, −80, −100 kJ mol^{-1}이다)

① 1,058

② 1,222

③ 1,380

④ 3,220

정답 1번

간단한 해설

각 성분의 표준 연소 엔탈피를 **몰분율로 가중평균**하면 천연가스 1 mol당 −1,058 kJ이다. 연소열의 **크기**를 물으므로 1,058 kJ mol^{-1}로 나타낸다.

계산 과정

천연가스 1 mol을 기준으로 잡으면 메테인은 0.90 mol, 프로페인은 0.10 mol이다. 헤스 법칙에 따라 표준 연소 엔탈피는 **생성물의 표준 생성 엔탈피 합에서 반응물의 합을 뺀 값**이며, 각 물질의 반응계수를 곱해 계산한다. 표준 상태의 원소인 $O_2(g)$의 표준 생성 엔탈피는 0이다. 물은 주어진 자료에 맞춰 $H_2O(g)$로 계산한다.

메테인의 완전 연소 반응은 $CH_4(g) + 2\,O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2\,H_2O(g)$이다. 메테인 1 mol이 연소할 때 $CO_2(g)$ 1 mol과 $H_2O(g)$ 2 mol이 생성되므로, 표준 연소 엔탈피는 $(-400) + 2 \times (-300) - (-80) = -920$ kJ mol^{-1}이다.

프로페인의 완전 연소 반응은 $C_3H_8(g) + 5\,O_2(g) \rightarrow 3\,CO_2(g) + 4\,H_2O(g)$이다. 프로페인 1 mol이 연소할 때 $CO_2(g)$ 3 mol과 $H_2O(g)$ 4 mol이 생성되므로, 표준 연소 엔탈피는 $3 \times (-400) + 4 \times (-300) - (-100) = -2{,}300$ kJ mol^{-1}이다.

천연가스 1 mol의 연소 엔탈피는 각 성분의 몰수에 그 성분의 몰당 연소 엔탈피를 곱해 합한다. 메테인의 기여는 $0.90 \times (-920) = -828$ kJ, 프로페인의 기여는 $0.10 \times (-2{,}300) = -230$ kJ이므로 합계는 −1,058 kJ이다. 음의 부호는 연소하면서 **열을 방출함**을 뜻한다.

따라서 천연가스의 표준 연소열의 크기는 1,058 kJ mol^{-1}이며, ①의 1,058에 해당한다.

NoteBase