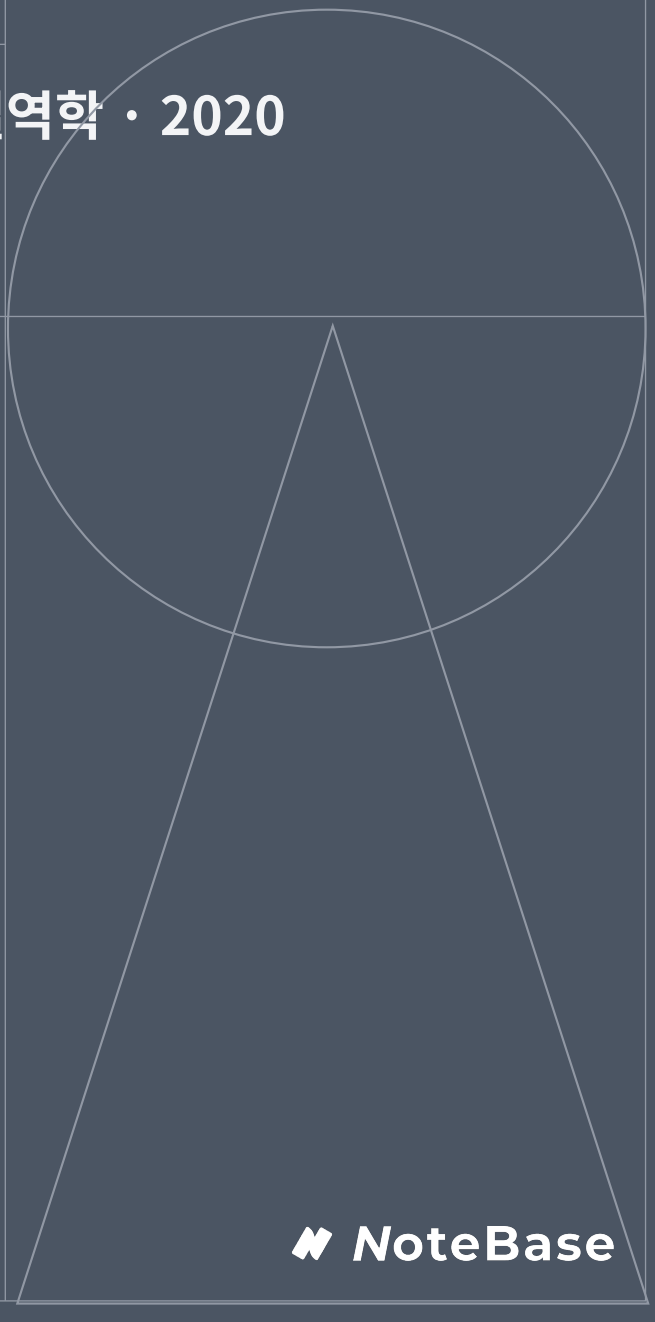
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2020



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2020

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2020

문 1. 다음 Maxwell 관계식으로부터 추론할 수 있는 열역학 관계식은?

$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$

① $dU = -TdS - PdV$

② $dH = TdS - VdP$

③ $dA = -PdV - SdT$

④ $dG = -VdP - SdT$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열역학 퍼텐셜의 자연변수와 Maxwell 관계식의 대응을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 관계식은 $(\partial P/\partial T)_V = (\partial S/\partial V)_T$이다.
찾아야 할 것은 이 관계식을 유도하는 열역학 관계식이다.
아래첨자가 V, T이므로 자연변수가 T, V인 퍼텐셜을 찾는 것이 핵심이다.

사용할 공식

Helmholtz 자유에너지 A의 전미분은 $dA = -SdT - PdV$이다.
$A = A(T, V)$이므로 $(\partial A/\partial T)_V = -S$, $(\partial A/\partial V)_T = -P$가 된다.
혼합 2차 미분의 대칭성을 쓰면 $(\partial S/\partial V)_T = (\partial P/\partial T)_V$가 되어 제시된 Maxwell 관계식이 바로 나온다.

계산 과정

1. 제시된 Maxwell 관계식의 독립변수 조합이 T, V인지 먼저 본다.
2. 대표 퍼텐셜의 자연변수는 $U(S, V), H(S, P), A(T, V), G(T, P)$이다.
3. 이 중 T, V를 자연변수로 가지는 것은 A뿐이므로 대응 전미분식은 $dA = -SdT - PdV$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

내부에너지의 올바른 전미분식은 $dU = TdS - PdV$이다. 틀린 표현은 $-TdS$이며, 올바르게는 $+TdS$이다.

② X

엔탈피는 $H = U + PV$이므로 올바른 전미분식은 $dH = TdS + VdP$이다. 틀린 표현은 $-VdP$이며, 올바르게는 $+VdP$이다.

③ O

$dA = -PdV - SdT$는 항의 순서만 바뀌었을 뿐 $dA = -SdT - PdV$와 같은 식이다. 따라서 $A(T, V)$에서 유도되는 Maxwell 관계식 $(\partial P/\partial T)_V = (\partial S/\partial V)_T$와 정확히 대응한다.

④ X

깁스 자유에너지의 올바른 전미분식은 $dG = -SdT + VdP$이다. 틀린 표현은 $-VdP$이며, 올바르게는 $+VdP$이다. 또한 $G(T, P)$에서 나오는 Maxwell 관계식은 $(\partial S/\partial P)_T = -(\partial V/\partial T)_P$이므로 제시식과 다르다.

오답 포인트

출제자는 각 퍼텐셜의 부호와 자연변수를 뒤섞어 놓았다. 특히 ③은 항의 순서만 바뀌었는데도 다른 식처럼 보이게 하고, ④는 G의 전미분식을 A와 비슷하게 착각하게 만드는 함정이 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

Maxwell 관계식은 아래첨자와 미분되는 변수를 먼저 보고 자연변수 쌍을 맞춘다. 그다음 $U(S, V)$, $H(S, P)$, $A(T, V)$, $G(T, P)$ 중 대응 퍼텐셜을 고르면 선지 판단이 바로 된다.

암기 포인트

T, V가 보이면 Helmholtz 자유에너지 A, T, P가 보이면 Gibbs 자유에너지 G이다.

NoteBase

문 2. 자유도의 개수가 가장 큰 것은?

① 삼중점 상태의 물

② 액체 상태의 묽은 설탕물

③ 초임계 상태의 이산화탄소

④ 기-액 평형을 이루고 있는 에탄올 수용액

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 깁스 상률 $F = C - P + 2$로 상태별 자유도를 비교하는 문제이다.

핵심 개념

자유도는 계의 상태를 정하기 위해 독립적으로 정할 수 있는 강도성질의 수이다.
순수물질은 보통 $C = 1$, 혼합물은 성분 수만큼 C가 커진다.
상이 하나 줄어들수록 자유도는 커지고, 상이 하나 늘어날수록 자유도는 작아진다.

선지별 해설

① X
- 삼중점 상태의 물은 순수물질 1성분 3상 계이므로 $F = 1 - 3 + 2 = 0$이다.
- 틀린 부분은 이 상태를 자유도가 큰 경우로 보는 판단이다.
- 올바르게는 삼중점은 자유도가 0인 고정점이다.

② O
- 액체 상태의 물-설탕물은 2성분 1상 계이므로 $F = 2 - 1 + 2 = 3$이다.
- 네 선택지 중 자유도가 가장 크므로 정답이다.

③ X
- 초임계 상태의 이산화탄소는 순수물질 1성분 1상 계이므로 $F = 1 - 1 + 2 = 2$이다.
- 틀린 부분은 이 상태를 가장 큰 자유도로 보는 판단이다.
- 올바르게는 초임계 유체는 단일상이어서 자유도 2를 가진다.

④ X
- 기-액 평형의 에탄올 수용액은 2성분 2상 계이므로 $F = 2 - 2 + 2 = 2$이다.
- 틀린 부분은 이 상태를 최대 자유도 상태로 보는 판단이다.
- 올바르게는 기-액 두 상이 공존하면 자유도는 2로 줄어든다.

NoteBase

오답 포인트

단일상이라는 이유만으로 ③을 고르기 쉽지만, 자유도는 상 수만이 아니라 성분 수에도 좌우된다. ②는 단일상이면서 2성분이라 C가 커서 ③보다 자유도가 1만큼 더 크다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 상태를 보고 먼저 성분 수 C와 상 수 P를 적은 뒤 깁스 상률에 그대로 대입하면 된다. 순수물질의 삼중점은 0, 순수물질 단일상은 2, 2성분 단일상은 3, 2성분 기-액 평형은 2로 빠르게 비교할 수 있다.

암기 포인트

자유도는 C가 늘면 커지고 P가 늘면 작아진다. 삼중점 0, 순수 단일상 2, 2성분 단일상 3으로 정리된다.

NoteBase

문 3. 어떤 기체 1몰이 일정 압력 $1bar$ 조건으로 $300K$에서 $400K$까지 가열되었을 때, 엔탈피 변화량[J]은? (단, 이 기체는 정적 열용량이 $\frac{5}{2}R$인 이상 기체이고, 기체 상수 R는 $8Jmol^{-1}K^{-1}$이다)

① 1,200

② 2,000

③ 2,800

④ 5,600

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 정압 가열에서 엔탈피 변화량을 $\Delta H = nC_p\Delta T$로 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 1몰, 일정 압력 $1bar$, 온도 변화 $300K \rightarrow 400K$, 정적 열용량 $C_v = \frac{5}{2}R$, 기체상수 $R = 8Jmol^{-1}K^{-1}$이다.
구해야 할 값은 엔탈피 변화량 ΔH이다.
이상기체에서는 $C_p = C_v + R$가 성립하므로 먼저 C_p를 구해야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 $\Delta H = nC_p\Delta T$이다.
이 문제는 일정 압력에서 이상기체를 가열하는 상황이므로 엔탈피 변화는 정압 열용량과 온도 변화의 곱으로 계산된다.
또한 $C_p = C_v + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R$이므로 $C_p = 28Jmol^{-1}K^{-1}$이다.

계산 과정

$C_p = C_v + R = \frac{5}{2}R + R = \frac{7}{2}R = \frac{7}{2} \times 8 = 28Jmol^{-1}K^{-1}$
$\Delta T = 400 - 300 = 100K$
$\Delta H = nC_p\Delta T = 1 \times 28 \times 100 = 2800J$
계산 결과 엔탈피 변화량은 2,800 J이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 1,200 J는 정답이 아니다. 이는 $C_v = \frac{3}{2}R$ 같은 다른 기체를 가정했을 때 나올 수 있는 값이며, 이 문제의 조건 $C_v = \frac{5}{2}R$와 맞지 않는다. 올바르게는 2,800 J이다.
2번 X: 2,000 J는 $C_v\Delta T = \frac{5}{2}R \times 100$만 계산한 값이다. 엔탈피 변화는 C_p를 써야 하므로 올바르게는 2,800 J이다.
3번 O: $C_p = \frac{7}{2}R = 28 J mol^{-1}K^{-1}$, $\Delta T = 100K$이므로 $\Delta H = 2800J$가 되어 맞다.
4번 X: 5,600 J는 정답의 두 배로, 온도 변화를 200 K로 잘못 보거나 계수를 중복 적용했을 때 나오는 값이다. 올바르게는 2,800 J이다.

오답 포인트

정적 열용량 C_v가 주어졌다고 해서 그대로 엔탈피 식에 넣으면 틀린다. 엔탈피 변화는 정압 열용량 C_p를 쓰며, 이상기체에서는 반드시 $C_p = C_v + R$를 한 번 거친다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 열용량 문제는 먼저 무엇을 묻는지 확인하고, ΔU이면 C_v, ΔH이면 C_p를 대응시킨다. 그다음 $C_p = C_v + R$ 또는 $C_v = C_p - R$로 바꾼 뒤 ΔT를 곱하면 된다.

암기 포인트

이상기체는 내부에너지 변화에 C_v, 엔탈피 변화에 C_p를 쓴다. $C_p - C_v = R$만 기억하면 계산 방향이 바로 정리된다.

NoteBase

문 4. 표는 300 K에서 몇 가지 물질의 표준 생성열 ($\Delta H_{f,300}^{\circ}$)을 나타낸 것이다. 1,100 K에서 메테인(CH_4) 1몰이 수증기 개질(steam reforming) 반응할 때, 표준 반응열[kJ]은? (단, 반응에서는 $H_2(g)$와 $CO_2(g)$만이 생성되고, 모든 물질의 정압 열용량은 $40[Jmol^{-1}K^{-1}]$이다)

물질	$CH_4(g)$	$H_2O(g)$	$H_2(g)$	$CO_2(g)$
$\Delta H_{f,300}^{\circ}$ [kJ mol^{-1}]	−70	−240	0	−390

① 160

② 224

③ 256

④ 320

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 표준 생성열로 300K에서의 반응열을 구한 뒤, 반응 전후의 열용량 차 ΔC_p를 이용해 1,100K까지 보정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\Delta H_{f,300}^{\circ}$는 $CH_4 = -70, H_2O = -240, H_2 = 0, CO_2 = -390 kJmol^{-1}$이다.
구해야 할 값: 1,100K에서 메테인 1몰의 steam reforming 표준 반응열이다.
주의할 조건: 생성물은 H_2와 CO_2만이므로 반응식은 $CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$이다. 또 모든 물질의 정압 열용량은 $40 Jmol^{-1}K^{-1}$이다.

사용할 공식

반응열은 Δ H^_rxn,300= Σ ν Δ H^_f(생성물)- Σ ν Δ H^_f(반응물)로 구한다.
온도 보정은 $\Delta H_{rxn,T_2}^{\circ} = \Delta H_{rxn,T_1}^{\circ} + \Delta C_p(T_2 - T_1)$를 쓴다.
이 공식을 쓰는 이유는 표의 생성열 기준 온도가 300K이고, 문제는 1,100K 반응열을 요구하므로 반응 전후 열용량 차만큼 엔탈피를 추가 보정해야 하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 반응식을 맞추면 $CH_4 + 2H_2O \rightarrow CO_2 + 4H_2$이다.
2. $300K$에서의 표준 반응열은 $[(-390) + 4 \times 0] - [(-70) + 2 \times (-240)] = 160kJ$이다.
3. 반응 전후 열용량 차는 $\Delta C_p = (1 + 4 - 1 - 2) \times 40 = 80Jmol^{-1}K^{-1}$이다.
4. 온도 차는 $1{,}100 - 300 = 800K$이므로 보정량은 $80 \times 800 = 64{,}000Jmol^{-1} = 64kJmol^{-1}$이다.
5. 따라서 $1{,}100K$ 반응열은 $160 + 64 = 224kJ$이다.

선지별 해설

① X: $160kJ$는 $300K$에서의 표준 반응열이다. 문제는 $1{,}100K$ 값을 묻기 때문에 $64kJ$의 온도 보정을 더해야 하며, 올바른 값은 $224kJ$이다.
② O: $300K$ 반응열 $160kJ$에 $\Delta C_p(T_2 - T_1) = 64kJ$를 더하면 $224kJ$가 되어 정답이다.
③ X: $256kJ$는 ΔC_p나 온도 보정량을 과대 계산한 값이다. 이 반응의 ΔC_p는 계수 차 $(1 + 4) - (1 + 2) = 2$만 반영한 $80Jmol^{-1}K^{-1}$이어야 하므로 올바른 값은 $224kJ$이다.
④ X: $320kJ$는 생성열 차와 온도 보정을 함께 지나치게 크게 잡은 값이다. 반응식을 정확히 맞춘 뒤 $300K$ 반응열 $160kJ$와 보정량 $64kJ$를 합하면 $224kJ$가 되어야 한다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 steam reforming 반응식을 $CH_4 + H_2O$ 수준으로만 보고 물의 계수 2를 놓치는 것이다. 그렇게 되면 ΔH°_{rxn}과 ΔC_p가 모두 틀어진다. 또 $300K$ 생성열 표를 그대로 읽고 끝내면 ①처럼 온도 보정을 빠뜨리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응열 계산 문제는 먼저 반응식을 정확히 맞추고, 다음에 생성열로 기준 온도 반응열을 구한 뒤, 마지막으로 $\Delta C_p(T_2 - T_1)$ 보정을 더하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

표준 생성열 표의 기준 온도와 문제의 요구 온도가 다르면 ΔH_{rxn}에 $\Delta C_p \Delta T$를 더해 온도 보정을 한다.

NoteBase

문 5. 어떤 냉장고가 $480 kJ min^{-1}$의 열 제거 속도로 작동하면서 $4 kW$의 전력을 소모한다면, 분당 방출열 $[kJ min^{-1}]$은?

① 240
② 480
③ 600
④ 720

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 냉동기의 에너지수지 $Q_H = Q_L + W$를 이용해 분당 방출열을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 제거열 $Q_L = 480 kJ min^{-1}$, 소비전력 $W = 4 kW$
구해야 할 값: 분당 방출열 Q_H
주의할 조건: kW를 $kJ min^{-1}$로 바꾸어야 한다.

사용할 공식

공식은 $Q_H = Q_L + W$이다.
냉동기는 저온부에서 제거한 열에 외부에서 공급된 일을 더한 만큼을 고온부로 방출하므로 방출열은 제거열과 일 입력의 합이 된다.

계산 과정

1. 소비전력을 분당 일량으로 바꾸면 $4 kW = 4 kJ s^{-1} = 240 kJ min^{-1}$이다.
2. 에너지수지를 적용하면 $Q_H = Q_L + W = 480 + 240$이다.
3. 따라서 $Q_H = 720 kJ min^{-1}$이다.

선지 판단

1번: X. $240 kJ min^{-1}$는 전력 $4 kW$를 분당 일량으로 바꾼 값일 뿐 방출열이 아니다. 틀린 표현은 방출열을 일 입력과 같게 본 점이며, 올바르게는 방출열은 $720 kJ min^{-1}$이다.
2번: X. $480 kJ min^{-1}$는 냉장고가 저온부에서 제거한 열량이다. 틀린 표현은 제거열을 그대로 방출열로 본 점이며, 올바르게는 일 입력 $240 kJ min^{-1}$를 더해 $720 kJ min^{-1}$가 된다.
3번: X. $600 kJ min^{-1}$는 주어진 값들로부터 나오지 않는 수치이다. 틀린 표현은 에너지수지를 불완전하게 적용한 점이며, 올바르게는 $480 + 240 = 720 kJ min^{-1}$이다.
4번: O. 제거열 $480 kJ min^{-1}$에 일 입력 $240 kJ min^{-1}$를 더하면 방출열은 $720 kJ min^{-1}$가 되므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

냉동기 문제에서 제거열과 방출열을 같은 값으로 보거나, $4kW$를 그대로 4로 더하는 실수가 잦다. 이 문항의 함정은 전력을 분당 열량으로 환산하지 않으면 합산 자체가 성립하지 않는다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

냉동기·열펌프 계산은 먼저 Q_L, Q_H, W의 의미를 분리하고, 전력 단위를 시간 기준에 맞춰 환산한 뒤 $Q_H = Q_L + W$ 또는 $COP = Q/W$ 같은 기본식을 적용하면 된다.

암기 포인트

냉동기는 $Q_H = Q_L + W$이다. 방출열은 제거열보다 항상 크다.

NoteBase

문 6. 이상 기체에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① Joule-Thomson 계수는 0이다.

② 등온 압축률은 0이다.

③ 압력 조건에 무관하게 압축인자Z가 일정하다.

④ 정압 몰 열용량과 정적 몰 열용량의 차이는 기체 상수R와 같다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 대표 성질인 줄-톰슨 계수, 등온 압축률, 압축인자, 열용량 관계를 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

이상기체는 분자 간 상호작용을 무시하는 모형이므로 상태방정식이 $PV = nRT$로 단순화된다.
등온 압축률은 온도를 일정하게 둘 때 압력이 변하면 부피가 얼마나 변하는지를 나타내는 값으로 $\kappa_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$이다.
이상기체에서는 $Z = 1$, $C_p - C_v = R$, $\mu_{JT} = 0$이지만, 등온 압축률은 0이 아니라 $1/P$이다.

선지별 해설

① O
이상기체의 엔탈피는 온도만의 함수이므로 압력을 바꾸어도 엔탈피 일정 과정에서 온도 변화가 없다. 따라서 줄-톰슨 계수 $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$는 0이다.

② X
틀린 부분은 "등온 압축률은 0이다"라는 표현이다.
등온 압축률은 압력 변화에 대한 부피의 민감도이므로 이상기체에서도 0이 아니다. 이상기체는 $PV = nRT$에서 $V = nRT/P$이므로 $\kappa_T = 1/P$가 된다.

③ O
압축인자 $Z = PV/RT$는 실제기체가 이상기체에서 얼마나 벗어나는지를 보는 값이다. 이상기체는 어떤 압력 조건에서도 항상 $Z = 1$이므로 압력과 무관하게 일정하다는 설명이 옳다.

④ O
정압 몰 열용량과 정적 몰 열용량의 차이는 이상기체에서 항상 기체상수 R와 같다. 따라서 $C_p - C_v = R$이라는 관계를 말한 선지이다.

NoteBase

오답 포인트

②는 '이상기체는 단순하니 압축률도 0일 것이다'라는 오해를 노린 선지이다. 이상기체는 분자 간 인력이 없을 뿐이며, 압력을 올리면 부피는 실제로 줄어드므로 압축성 자체가 사라지는 것은 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 선지가 나오면 먼저 바로 떠오르는 기본식 $PV = nRT$, $Z = 1$, $C_p - C_v = R$, $\mu_{JT} = 0$을 대입해 본다. 압축률처럼 '변화에 대한 민감도'를 묻는 물리량은 0으로 단정하지 말고 정의식으로 다시 확인하면 된다.

암기 포인트

이상기체는 $Z = 1$, $C_p - C_v = R$, $\mu_{JT} = 0$, $\kappa_T = 1/P$로 정리된다.

NoteBase

문 7. 표는 100 °C의 물에 대한 자료를 나타낸 것이다. 물 1 kg이 100 °C, $101kNm^{-2}$의 정온 정압 조건에서 기화할 때, 내부에너지 변화 [kJ]는? (단, 물의 비부피는 무시한다)

온도[°C]	100
수증기압[kN m^{-2}]	101
수증기의 비부피[m^3 kg^{-1}]	2
기화 엔탈피[kJ kg^{-1}]	2,260

① 202

② 1,130

③ 2,058

④ 2,462

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 기화 엔탈피와 경계일의 관계인 $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$를 이용해 내부에너지 변화량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 기화 엔탈피 $2260kJ/kg$, 압력 $101kN/m^2$, 수증기 비부피 $2m^3/kg$이다.
구해야 할 값은 물 $1kg$의 기화 시 내부에너지 변화량이다.
액체 물의 비부피는 무시하므로 $v_f \approx 0$으로 본다.

사용할 공식

$\Delta H = \Delta U + P\Delta V = \Delta U + P(v_g - v_f)$
기화 엔탈피는 내부에너지 증가분과 압력하에서 팽창하는 데 쓰인 경계일을 함께 포함하므로, 내부에너지 변화량을 구하려면 $P\Delta V$를 빼야 한다.

계산 과정

1. 비부피 변화는 $\Delta v = v_g - v_f \approx 2 - 0 = 2m^3/kg$이다.
2. 경계일은 $P\Delta v = 101kN/m^2 \times 2m^3/kg = 202kJ/kg$이다.
3. 따라서 내부에너지 변화량은 $\Delta U = \Delta H - P\Delta v = 2260 - 202 = 2058kJ/kg$이다.
4. 물의 질량이 $1kg$이므로 전체 내부에너지 변화량도 $2058kJ$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: $202kJ$는 내부에너지 변화량이 아니라 경계일 $P\Delta V$만 계산한 값이다. 올바르게는 $\Delta U = 2260 - 202 = 2058kJ$이다.
2번 X: $1130kJ$는 주어진 관계식 $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$를 만족하지 않는 값이다. 올바르게는 기화 엔탈피에서 경계일 $202kJ$를 뺀 $2058kJ$이다.
3번 O: $\Delta U = 2260 - 101 \times 2 = 2058kJ$이므로 옳다.
4번 X: $2462kJ$는 $2260 + 202$로 경계일을 더한 값이다. 기화 엔탈피에는 이미 경계일이 포함되어 있으므로 내부에너지를 구할 때는 더하는 것이 아니라 빼서 $2058kJ$가 된다.

오답 포인트

기화 엔탈피와 내부에너지 변화를 같은 값으로 보거나, $P\Delta V$를 더해야 할지 빼야 할지를 뒤집으면 틀린다. 특히 1번과 4번은 경계일을 따로 떼어 보거나 부호를 반대로 처리한 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

상변화 계산형은 먼저 ΔH와 ΔU의 관계를 쓰고, 다음에 $P\Delta V$가 포함되는지 확인한 뒤, 내부에너지처럼 순수 저장에너지를 묻는 경우에는 엔탈피에서 경계일을 제외해 판단한다.

암기 포인트

정압 상변화에서는 $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$이므로 내부에너지는 엔탈피에서 팽창일만큼 작은 값이다.

NoteBase

문 8. 다음은 25°C에서 메테인(CH_4)의 연소 반응식과 표준 반응열 (ΔH°)이다. 25°C의 정압 단열 조건에서 50%의 과잉 산소를 이용하여 메테인 1몰을 연소시킬 때, 도달할 수 있는 최고 온도[°C]는? (단, 모든 물질의 정압 열용량은 $40 J mol^{-1} {}^\circ C^{-1}$이다)

$CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)\ \Delta H^\circ = -800 kJ$

① 5,025

② 5,415

③ 5,800

④ 6,690

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정압 단열 연소의 엔탈피 수지를 이용해 최종 생성물의 최고 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응은 $CH_4(g) + 2O_2(g) \rightarrow CO_2(g) + 2H_2O(g)$이고, 표준 반응열은 $\Delta H^\circ = -800 kJ$이다.
메테인 1몰을 연소시키는 데 필요한 이론 산소량은 2몰이므로, 50% 과잉 산소를 쓰면 실제 공급 산소는 3몰이다.
반응 후 생성물은 CO_2 1몰, H_2O 2몰, 남는 O_2 1몰이어서 총 4몰이다.
모든 물질의 정압 몰열용량은 40 J mol^-1 ^^-1로 일정하다고 본다.

사용할 공식

정압 단열 조건에서는 반응에서 나온 열이 생성물의 온도 상승에 모두 쓰이므로 $-\Delta H^\circ = \sum n C_p \Delta T$를 적용한다.
이 문제는 출발 온도가 25 ◦C이고 반응열도 25 ◦C 기준으로 주어졌으므로, 반응열 $800 kJ$를 생성물 감열량과 바로 같게 둘 수 있다.

계산 과정

총 생성물의 열용량은 $(1 + 2 + 1) \times 40 = 160 J {}^\circ C^{-1}$이다.
따라서 $800000 = 160(T - 25)$이다.
정리하면 $T - 25 = 5000$이고, $T = 5025\ {}^\circ C$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과 최고 온도는 $5025^\circ C$이므로 옳다.
② X: 5,415 ◦C를 대입하면 필요한 총 열용량이 약 $148.4 J^\circ C^{-1}$가 되어, 주어진 생성물 4몰의 총 열용량 $160 J^\circ C^{-1}$와 맞지 않는다. 틀린 수치는 5,415 ◦C이고, 올바르게는 최고 온도가 $5025^\circ C$이다.
③ X: 5,800 ◦C를 대입하면 필요한 총 열용량이 약 $138.5 J^\circ C^{-1}$가 되어 역시 에너지 수지와 맞지 않는다. 틀린 수치는 5,800 ◦C이고, 올바르게는 최고 온도가 $5025^\circ C$이다.
④ X: 6,690 ◦C는 남는 산소 1몰의 감열을 빼고 CO_2 1몰과 H_2O 2몰만 가열된다고 잘못 보면 나오는 값에 가깝다. 과잉 산소도 최종 생성물에 포함되어 함께 가열되므로 틀린 수치는 6,690 ◦C이고, 올바르게는 최고 온도가 $5025^\circ C$이다.

오답 포인트

50% 과잉 산소를 공급하면 남는 산소 1몰도 생성물로서 함께 가열된다는 점이 함정이다. 이 남는 O_2의 열용량을 빠뜨리면 총 열용량을 작게 잡아 온도를 과대평가하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

단열 연소 계산은 먼저 이론 산소량과 과잉 공급량으로 최종 생성물 몰수를 확정한 뒤, 반응열과 생성물의 총 nC_p를 연결하는 엔탈피 수지로 판단한다.

암기 포인트

정압 단열 화염온도는 반응열 $=$ 생성물의 총 $nC_p\Delta T$이고, 과잉 공기나 과잉 산소는 남아서도 반드시 가열된다.

NoteBase

문 9. 온도 450 K, 질량 50 kg의 강철구를 온도 200 K, 질량 4.5 kg의 기름에 담가 열손실 및 상변화 없이 급랭시켜, 두 물체의 온도가 같아졌다. 이 과정에서 강철구와 기름의 엔트로피 변화가 각각 ΔS_1과 ΔS_2일 때 $\frac{\Delta S_1}{\Delta S_2}$는? (단, 강철구와 기름의 정압 열용량은 각각 $0.3\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$과 $5\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$이다)

① $-\frac{3}{2}$

② $-\frac{2}{3}$

③ $\frac{2}{3}$

④ $\frac{3}{2}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 단열된 두 물체의 열평형 온도를 먼저 구한 뒤, 엔트로피 변화식 $\Delta S = mc\ln(T_2/T_1)$를 적용해 비 $\Delta S_1/\Delta S_2$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 강철구 $m_1 = 50kg$, $c_1 = 0.3kJkg^{-1}K^{-1}$, $T_{1,i} = 450K$와 기름 $m_2 = 4.5kg$, $c_2 = 5kJkg^{-1}K^{-1}$, $T_{2,i} = 200K$이다.
구해야 할 값은 $\Delta S_1/\Delta S_2$이다.
주의할 조건은 열손실과 상변화가 없으므로 전체계 에너지 보존으로 열평형 온도를 구한 뒤 각 물체에 대해 엔트로피 변화를 따로 계산해야 한다는 점이다.

사용할 공식

열평형은 $m_1c_1(T_{1,i} - T_f) = m_2c_2(T_f - T_{2,i})$로 구한다.
엔트로피 변화는 정압 비열이 일정할 때 $\Delta S = mc\ln(T_f/T_i)$를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 두 물체가 일정한 비열을 가지고 서로 열만 주고받아 같은 최종 온도에 도달하는 단순 감온·가열 과정이기 때문이다.

계산 과정

1. 열평형 식을 세우면 $50 \times 0.3 \times (450 - T_f) = 4.5 \times 5 \times (T_f - 200)$이다.
2. 즉 $15(450 - T_f) = 22.5(T_f - 200)$이므로 $6750 - 15T_f = 22.5T_f - 4500$이다.
3. 정리하면 $11250 = 37.5T_f$이어서 $T_f = 300K$이다.
4. 강철구의 엔트로피 변화는 $\Delta S_1 = 50 \times 0.3\ln(300/450) = 15\ln(2/3)$이다.
5. 기름의 엔트로피 변화는 $\Delta S_2 = 4.5 \times 5\ln(300/200) = 22.5\ln(3/2)$이다.
6. $\ln(2/3) = -\ln(3/2)$이므로 $\Delta S_1/\Delta S_2 = 15\ln(2/3)/22.5\ln(3/2) = -15/22.5 = -2/3$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$-\frac{3}{2}$는 비를 거꾸로 보아 $\Delta S_2/\Delta S_1$처럼 계산했을 때 나오는 값이다. 올바른 값은 $\Delta S_1/\Delta S_2 = -\frac{2}{3}$이다.

② O

열평형 온도는 $300K$이고, 이에 따라 $\Delta S_1 = 15\ln(2/3)$, $\Delta S_2 = 22.5\ln(3/2)$이므로 비는 $-\frac{2}{3}$가 된다.

③ X

$\frac{2}{3}$은 강철구가 식으면서 엔트로피가 감소한다는 부호를 빠뜨린 값이다. 올바르게는 $\Delta S_1 < 0$, $\Delta S_2 > 0$이므로 비는 $-\frac{2}{3}$이다.

④ X

$\frac{3}{2}$는 부호를 빠뜨린 데다 비까지 뒤집은 값이다. 올바른 관계는 $\Delta S_1/\Delta S_2 = -\frac{2}{3}$이다.

오답 포인트

강철구는 고온에서 저온으로 내려가므로 ΔS_1이 음수라는 점을 놓치기 쉽다. 또한 비를 묻는데 각 엔트로피 변화의 절댓값만 비교하거나 $\Delta S_2/\Delta S_1$로 뒤집으면 ①이나 ④ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

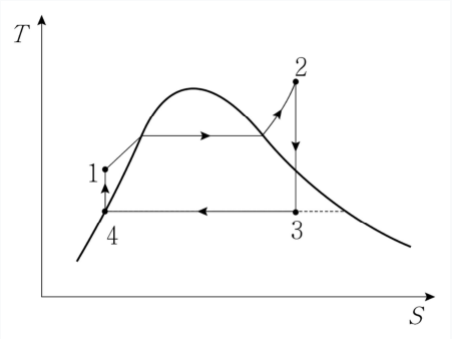
단열된 두 물체 문제는 먼저 에너지 보존으로 최종 온도를 구하고, 그다음 각 물체에 대해 $mc\ln(T_f/T_i)$를 적용해 부호까지 확인한다. 마지막에는 분자와 분모의 위치가 문제에서 요구한 비와 일치하는지 한 번 더 점검한다.

암기 포인트

열평형은 에너지 보존으로, 엔트로피 변화는 $mc\ln(T_f/T_i)$로 계산하며, 식는 물체의 엔트로피 변화 부호는 음수이다.

NoteBase

문 10. 그림은 Rankine 순환 공정을 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, T와 S는 각각 온도와 엔트로피이다)



① 단계 1→2는 보일러에서 정압 가열에 의해 과열 증기가 발생하는 과정을 포함한다.

② 단계 2→3은 터빈 내 증기가 가역 단열 팽창하는 과정이다.

③ 단계 3→4는 정온 가압에 의해 포화 액체를 생성하는 과정이다.

④ 단계 4→1은 포화 액체를 보일러로 이송하여 과냉각 액체를 생성하는 과정이다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Rankine 순환의 T-S 선도에서 각 구간이 보일러 정압 가열, 터빈 가역 단열 팽창, 응축기 정압 응축, 펌프 가압 중 무엇에 해당하는지를 구분하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
1→2는 펌프 출구의 압축액이 보일러에서 정압으로 가열되어 포화 상태를 지나 과열 증기에 이르는 구간이다. 그림에서도 포화돔을 통과해 오른쪽 과열영역의 2점까지 진행하므로 옳다.

② O
2→3은 S가 일정한 수직 하강선으로 그려져 있으므로 터빈에서의 가역 단열 팽창, 즉 등엔트로피 팽창이다. 따라서 옳다.

③ X
3→4는 응축기에서 열을 방출하며 저압에서 증기가 액체로 응축되는 구간이다. 틀린 표현은 "정온 가압"이다. 올바르게는 "저압 정압 냉각과 응축에 의해 포화 액체를 생성하는 과정"이다.

④ O
4→1은 펌프가 포화 액체의 압력을 높여 보일러 압력의 압축액, 즉 과냉각 액체를 만드는 구간이다. 액체를 보일러 쪽으로 이송하면서 압력을 올리는 과정이므로 옳다.

오답 포인트

③의 "가압"이 함정이다. 응축기 구간은 열을 방출하면서 상변화를 일으키는 구간이지 압력을 올리는 구간이 아니다. T-S 선도에서 압력 상승은 4→1의 짧은 펌프 구간에서만 일어난다.

다시 나오면 이렇게 판단

Rankine 순환은 1→2 보일러 정압 가열, 2→3 터빈 등엔트로피 팽창, 3→4 응축기 정압 응축, 4→1 펌프 가압으로 먼저 대응시키면 된다. 선지에서 장치와 과정명이 서로 뒤바뀌면 오답이다.

암기 포인트

보일러는 가열, 터빈은 팽창, 응축기는 응축, 펌프는 가압이다.

NoteBase

문 11. 어떤 순물질 액체의 부피 팽창률(β)과 등온 압축률(κ)는 각각 $1.5 \times 10^{-3} K^{-1}$, $60 \times 10^{-6} bar^{-1}$ 이다. 이 액체가 1 bar, 273 K 상태로부터 부피 변화 없이 283 K까지 가열되었을 때의 압력[bar]은?

① 1.4

② 2.4

③ 250

④ 251

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 액체의 체적팽창률과 등온 압축률을 이용하여 부피 일정 조건에서의 압력 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 체적팽창률 $\beta = 1.5 \times 10^{-3} K^{-1}$, 등온 압축률 $\kappa = 60 \times 10^{-6} bar^{-1}$, 초기 상태 $1 bar$, $273 K$ 이다.
구해야 할 값은 부피 변화 없이 $283 K$까지 가열했을 때의 최종 압력이다.
주의할 조건은 부피가 일정하므로 전체 체적 변화율이 0이라는 점이다.

사용할 공식

액체의 미소 체적 변화식은 $\frac{dV}{V} = \beta dT - \kappa dP$이다.
이 문제는 온도 상승에 따른 팽창을 압력 상승에 따른 수축이 정확히 상쇄해야 부피가 일정하므로 이 공식을 그대로 적용한다.

계산 과정

부피 일정 조건이므로 $\frac{dV}{V} = 0$이다.
따라서 $0 = \beta \Delta T - \kappa \Delta P$이고, $\Delta P = \frac{\beta}{\kappa} \Delta T$이다.
$\Delta T = 283 - 273 = 10 K$이므로
$\Delta P = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{60 \times 10^{-6}} \times 10 = 25 \times 10 = 250 bar$
이는 압력 증가량이므로 최종 압력은 $P_2 = 1 + 250 = 251 bar$이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2020

선지별 해설

① X

$1.4bar$는 부피 일정 조건에서 필요한 압력 상승을 지나치게 작게 본 값이다. 틀린 표현은 "최종 압력이 1.4 bar이다"이고, 올바르게는 "최종 압력은 $251bar$이다"이다.

② X

$2.4bar$도 체적팽창률과 압축률의 비를 반영하지 못한 값이다. 액체의 압축률 κ가 매우 작으므로 $10K$ 상승을 상쇄하려면 큰 압력 증가가 필요하다. 틀린 표현은 "최종 압력이 2.4 bar이다"이고, 올바르게는 "최종 압력은 $251bar$이다"이다.

③ X

$250bar$는 최종 압력이 아니라 압력 증가량 ΔP이다. 틀린 표현은 "압력이 250 bar이다"이고, 올바르게는 "압력은 $250bar$만큼 증가하여 최종 압력은 $251bar$이다"이다.

④ O

부피 일정에서 $\Delta P = \frac{\beta}{\kappa}\Delta T = 250bar$이고 초기 압력 $1bar$를 더하면 최종 압력은 $251bar$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 $250bar$를 최종 압력으로 착각하는 점이다. 이 값은 증가량이므로 반드시 초기 압력 $1bar$를 더해야 한다. 또 β/κ 비를 거꾸로 쓰거나 압축률이 매우 작다는 점을 놓치면 압력 변화를 비현실적으로 작게 계산하게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

부피 일정인 액체 가열 문제는 먼저 $\frac{dV}{V} = \beta dT - \kappa dP$를 세우고, $\frac{dV}{V} = 0$으로 놓아 압력 증가량 ΔP를 구한 뒤 마지막에 초기 압력을 더해 최종 압력을 판단한다.

암기 포인트

부피 일정 액체 가열은 팽창만큼 압축이 필요하므로 $\Delta P = (\beta/\kappa)\Delta T$를 먼저 구하고, 정답은 증가량이 아니라 최종 압력이다.

NoteBase

문 12. 이상 기체가 정온 가역 과정으로 팽창할 때, Helmholtz 자유에너지 변화 (ΔA)와 Gibbs 자유에너지 변화 (ΔG)의 관계로 옳은 것은?

① $\Delta A = \Delta G$

② $\Delta A > \Delta G$

③ $\Delta A < \Delta G$

④ $\Delta A = -\Delta G$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 등온 가역 팽창에서 Helmholtz 자유에너지 변화와 Gibbs 자유에너지 변화의 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

Helmholtz 자유에너지 A는 $A = U - TS$이고, Gibbs 자유에너지 G는 $G = H - TS$이다.
이상기체의 등온 과정에서는 $\Delta U = 0$, $\Delta H = 0$이므로 $\Delta A = -T\Delta S$, $\Delta G = -T\Delta S$가 되어 두 변화량은 서로 같다.
같은 내용을 식으로 쓰면 $\Delta A = nRT\ln(V_1/V_2)$, $\Delta G = nRT\ln(P_2/P_1)$이고, 등온 이상기체에서 $P_1V_1 = P_2V_2$이므로 두 식은 동일하다.

선지별 해설

① O: 이상기체의 등온 과정에서는 $\Delta U = 0$, $\Delta H = 0$이므로 $\Delta A = -T\Delta S$, $\Delta G = -T\Delta S$가 되어 두 값이 같다.
② X: 틀린 부분은 "$\Delta A > \Delta G$"라는 비교이다. 실제로는 두 변화량이 같으므로 올바르게는 "$\Delta A = \Delta G$"이다.
③ X: 틀린 부분은 "$\Delta A < \Delta G$"라는 비교이다. 실제로는 두 변화량이 같으므로 올바르게는 "$\Delta A = \Delta G$"이다.
④ X: 틀린 부분은 "$\Delta A = -\Delta G$"라는 부호 관계이다. 실제로는 서로 반대부호가 아니라 같은 값이므로 올바르게는 "$\Delta A = \Delta G$"이다.

오답 포인트

자유에너지의 정의식이 다르다는 이유만으로 ΔA와 ΔG도 항상 다를 것이라고 착각하기 쉽다. 이 문항은 등온 이상기체에서 ΔU와 ΔH가 모두 0이라는 조건을 놓치면 ②, ③, ④ 같은 비교식에 흔들리도록 만든 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체의 등온 변화가 나오면 먼저 $\Delta U = 0$, $\Delta H = 0$를 확인한다. 그다음 $\Delta A = \Delta U - T\Delta S$, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$를 대입하면 두 변화량의 관계를 바로 판단할 수 있다.

NoteBase

암기 포인트

이상기체 등온 과정에서는 $\Delta U = \Delta H = 0$이므로 $\Delta A = \Delta G = -T\Delta S$이다.

NoteBase

문 13. 25 ° C의 밀폐된 용기에 2 atm의 $N_2O_4(g)$와 1.5 atm의 $NO_2(g)$를 넣고 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ 반응에 의해 평형에 도달시켰다. 이 평형 상태에서 $NO_2(g)$의 압력이 0.5 atm이라면, 25 ° C에서 반응의 평형상수(K_P)는?

① 0.04

② 0.1

③ 0.2

④ 0.4

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 일정한 온도의 밀폐된 용기에서 반응식 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$의 평형 부분압을 이용해 K_P를 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 초기 $P_{N_2O_4} = 2atm$, 초기 $P_{NO_2} = 1.5atm$, 평형 $P_{NO_2} = 0.5atm$이다.
구해야 할 값: K_P이다.
주의할 조건: 용기가 밀폐되어 있고 온도가 일정하므로 부분압 변화는 반응진행량에 비례한다. NO_2는 계수가 2이므로 감소한 압력의 절반만큼 N_2O_4가 증가한다.

사용할 공식

평형상수는 $K_P = \frac{P_{NO_2}^2}{P_{N_2O_4}}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 주어진 반응이 $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$이므로 생성물 NO_2의 부분압은 계수 2만큼 제곱하고, 반응물 N_2O_4의 부분압은 분모에 한 번 들어가기 때문이다.

계산 과정

1. NO_2의 부분압은 $1.5atm$에서 $0.5atm$로 줄었으므로 감소량은 $1.0atm$이다.
2. 반응식에서 $2NO_2 \rightarrow N_2O_4$ 관계를 적용하면 N_2O_4의 증가량은 $0.5atm$이다.
3. 따라서 평형에서 $P_{N_2O_4} = 2 + 0.5 = 2.5atm$이다.
4. 이를 대입하면 $K_P = \frac{(0.5)^2}{2.5} = \frac{0.25}{2.5} = 0.1$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과 $K_P = 0.1$이므로 0.04는 맞지 않는다. 틀린 표현은 평형상수를 0.04로 둔 부분이며, 올바르게는 $K_P = 0.1$이다.
② O: 평형에서 $P_{NO_2} = 0.5atm$, $P_{N_2O_4} = 2.5atm$이므로 $K_P = \frac{(0.5)^2}{2.5} = 0.1$이다.
③ X: 0.2는 P_{NO_2}를 제곱하지 않고 0.5/2.5로 계산할 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 분자에 P_{NO_2}를 한 번만 둔 부분이며, 올바르게는 $K_P = \frac{P_{NO_2}^2}{P_{N_2O_4}}$이다.
④ X: 0.4는 평형 $P_{N_2O_4}$를 잘못 구했을 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 $K_P = 0.4$라는 부분이며, 올바르게는 $P_{N_2O_4} = 2.5atm$, $K_P = 0.1$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 NO_2의 감소량 $1.0atm$을 그대로 N_2O_4 증가량으로 넣는 실수와, K_P 식에서 NO_2의 계수 2를 반영하지 않고 제곱을 빼먹는 실수이다. 이 문항은 반응방향이 왼쪽으로 진행된다는 점과 계수비 2 : 1을 동시에 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

평형 계산 문제는 먼저 어떤 종의 압력이 실제로 얼마나 변했는지 확인하고, 그다음 반응식의 계수비로 다른 종의 변화량을 맞춘 뒤, 마지막에 K_P 식의 지수를 계수대로 넣어 계산하면 된다.

암기 포인트

$N_2O_4 \rightleftharpoons 2NO_2$에서는 $K_P = \frac{P_{NO_2}^2}{P_{N_2O_4}}$이고, NO_2가 $2x$ 줄면 N_2O_4는 x 늘어난다.

NoteBase

문 14. 수평관을 통한 비압축성 액체의 정상 상태, 비가역 단열 흐름에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 수평관의 단면적은 일정하다)

ㄱ. 엔트로피는 출구가 입구보다 크다.
ㄴ. 온도는 출구가 입구보다 높다.
ㄷ. 유속은 출구가 입구보다 빠르다.
ㄹ. 압력은 출구가 입구보다 낮다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄷ, ㄹ
③ ㄱ, ㄴ, ㄹ
④ ㄱ, ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 비가역 단열 유동에서 엔트로피 생성, 일정 단면적 비압축성 정상유동의 연속방정식, 그리고 마찰에 따른 압력강하와 등엔탈피 조건의 온도 변화를 함께 판단하는 문제이다.

핵심 개념

비압축성 액체가 일정 단면적 수평관을 정상적으로 흐르면 연속방정식 $\rho AV = \text{constant}$에 따라 ρ와 A가 일정하므로 $V_1 = V_2$이다.
비가역 단열 유동은 열전달이 없어도 엔트로피 생성이 있으므로 $s_2 > s_1$이다.
수평관에서 마찰이 있는 실제 유동은 기계적 에너지가 소산되어 출구 압력이 더 낮아진다.
또한 단열·축일 없음·속도와 위치 변화 없음이면 $h_1 = h_2$이고, 비압축성 액체는 $dh \approx cdT + vdp$이므로 압력이 떨어지면 온도는 약간 상승한다.

NoteBase

선지별 해설

① X: ㄱ과 ㄴ만 고른 선택지이다. ㄱ은 비가역 단열이므로 엔트로피가 생성되어 맞고, ㄴ도 압력강하에 따른 등엔탈피 관계 때문에 맞다. 다만 ㄹ도 맞는데 빠져 있으므로 틀린 선택지이다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄹ'이다.
② X: ㄷ과 ㄹ을 고른 선택지이다. ㄹ은 마찰손실 때문에 출구 압력이 더 낮아 맞지만, ㄷ은 일정 단면적의 비압축성 정상유동이라 $V_1 = V_2$가 되어 틀리다. 또한 ㄱ과 ㄴ이 빠져 있으므로 틀린 선택지이다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄹ'이다.
③ O: ㄱ, ㄴ, ㄹ을 고른 선택지이다. ㄱ은 비가역 단열유동의 엔트로피 생성 때문에 맞고, ㄴ은 압력강하와 등엔탈피 관계로 온도가 상승하므로 맞으며, ㄹ은 마찰에 의한 압력손실 때문에 맞다. ㄷ만 틀리므로 이 조합이 정답이다.
④ X: ㄱ, ㄷ, ㄹ을 고른 선택지이다. ㄱ과 ㄹ은 맞지만 ㄷ은 유속이 빨라진다는 표현이 틀리다. 비압축성 액체가 일정 단면적 관을 정상적으로 흐르면 유속은 입구와 출구가 같다. 또 맞는 진술인 ㄴ이 빠져 있으므로 틀린 선택지이다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄹ'이다.

오답 포인트

단열이면 온도가 변하지 않는다고 단순화하면 ㄴ을 놓치기 쉽다. 이 문항의 함정은 '단열'과 '등온'을 혼동하게 만드는 점과, 압력강하가 있으면 곧바로 유속이 증가한다고 착각하게 만드는 ㄷ의 표현이다. 이 문제는 비압축성·일정 단면적이라는 조건이 있어 유속 증가는 성립하지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 일정 단면적 비압축성 정상유동이면 $V_1 = V_2$인지부터 본다. 다음으로 비가역 단열이면 $s_2 > s_1$인지 판단한다. 마지막으로 수평관의 마찰손실이 있으면 $p_2 < p_1$이고, 단열·축일 없음·속도 변화 없음이면 $h_1 = h_2$이므로 압력강하와 온도상승을 연결하면 된다.

암기 포인트

비가역 단열 관유동은 '엔트로피 증가는 O, 압력은 감소, 일정 단면적 비압축성 유속은 일정, 압력강하가 있으면 온도는 소폭 상승'으로 정리된다.

NoteBase

문 15. 닫힌 계에서 이성분 혼합물이 이루는 기-액 평형에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 계의 모든 평형 상태는 온도-압력-조성의 3차원 공간에 나타낼 수 있다.

② 주어진 온도와 압력에서 평형 상태 계의 총 Gibbs 에너지는 0이다.

③ 주어진 온도와 압력에서 평형 상태 계의 각 성분은 기상 화학 포텐셜과 액상 화학 포텐셜이 같다.

④ 주어진 온도와 압력에서 평형 상태 계의 각 성분은 기상 퓨개시티와 액상 퓨개시티가 같다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이성분 기-액 평형의 평형조건과 총 Gibbs 에너지의 의미를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

이성분 기-액 평형에서는 각 성분의 화학 포텐셜이 두 상에서 같아야 한다. 같은 내용을 퓨개시티로 쓰면 각 성분에 대해 기상과 액상의 퓨개시티가 같다. 한편 주어진 온도와 압력에서 평형은 총 Gibbs 에너지가 0인 상태가 아니라 총 Gibbs 에너지가 최소인 상태이다.

선지별 해설

1번 O: 이성분계는 독립 조성변수가 1개이므로 평형 상태를 온도, 압력, 조성 1개로 나타낼 수 있다. 따라서 온도-압력-조성의 3차원 공간으로 평형 상태를 표현할 수 있다.
2번 X: 틀린 표현은 "평형 상태 계의 총 Gibbs 에너지는 0이다"이다. 실제로는 주어진 온도와 압력에서 평형 상태의 총 Gibbs 에너지가 최소가 된다. 0이 되는 것은 총 Gibbs 에너지의 절대값이 아니라 평형점에서의 변화 구동력이며, 미소 변화에 대해 $dG = 0$으로 본다.
3번 O: 기-액 평형의 기본 조건은 각 성분에 대해 기상 화학 포텐셜과 액상 화학 포텐셜이 같은 것이다. 즉 각 성분 i에 대해 $\mu_i^V = \mu_i^L$가 성립한다.
4번 O: 화학 포텐셜 평형조건은 퓨개시티 평형조건과 동치이다. 따라서 각 성분에 대해 기상 퓨개시티와 액상 퓨개시티가 같다는 설명은 옳다.

오답 포인트

평형에서 총 Gibbs 에너지가 최소라는 말과 총 Gibbs 에너지가 0이라는 말을 혼동하면 2번에 걸린다. 또한 3번의 화학 포텐셜 equality와 4번의 퓨개시티 equality는 같은 평형조건을 다른 표현으로 쓴 것이라는 점을 놓치기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

상평형 선지를 보면 먼저 각 성분의 상간 평형조건인지, 계 전체의 에너지 조건인지부터 구분한다. 각 성분 조건이면 $\mu_i^V = \mu_i^L$ 또는 $f_i^V = f_i^L$를 찾고, 계 전체 조건이면 총 Gibbs 에너지가 최소인지 여부를 본다. 총 Gibbs 에너지의 절대값이 0이라는 진술은 오답으로 판단한다.

암기 포인트

상평형은 각 성분에 대해 $\mu_i^V = \mu_i^L$이고 $f_i^V = f_i^L$이다. 총 Gibbs 에너지는 0이 아니라 최소이다.

NoteBase

문 16. CH_4 **가스는 수증기 개질(steam reforming)을 통해** H_2**와** CO**로 변화될 수 있다.** CH_4 **2몰과** H_2O **1몰만으로부터 반응이 진행되어** CH_4**과** H_2**의 몰수가 같아질 때,** CH_4**의 몰분율은? (단, 반응에서는** H_2**와** CO **만이 생성된다)**

① 0.125

② 0.25

③ 0.375

④ 0.5

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 수증기 개질 반응의 양론식을 세우고, 반응 후 혼합물에서 CH4의 몰분율을 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

초기 몰수는 CH4 2몰, H2O 1몰이다.
반응에서는 CH4, H2O, CO, H2만 존재한다.
조건은 반응 후 CH4의 몰수와 H2의 몰수가 같아지는 시점이다.

사용할 공식

반응식은 $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$이다.
몰분율은 $x_{CH_4} = \frac{n_{CH_4}}{n_{\text{tot}}}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 반응 후 성분별 몰수와 CH4의 몰분율을 함께 묻고 있으므로, 먼저 양론식으로 각 성분의 몰수를 구한 뒤 전체 몰수로 나누어야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 반응 진행량을 ξ라 두면 $n_{CH_4} = 2 - \xi$, $n_{H_2O} = 1 - \xi$, $n_{CO} = \xi$, $n_{H_2} = 3\xi$이다.
2. 조건이 $n_{CH_4} = n_{H_2}$이므로 $2 - \xi = 3\xi$이고, 따라서 $\xi = 0.5$이다.
3. 반응 후 몰수는 CH4 1.5몰, H2O 0.5몰, CO 0.5몰, H2 1.5몰이다.
4. 전체 몰수는 4몰이므로 $x_{CH_4} = \frac{1.5}{4} = 0.375$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 0.125는 반응한 CH4의 몰수 0.5를 전체 몰수 4로 나눈 값이다. 틀린 표현은 CH4의 잔존 몰분율을 0.125로 본 점이며, 올바르게는 남은 CH4 1.5몰을 전체 4몰로 나누어 0.375이다.
2번 X: 0.25는 반응한 CH4 0.5몰이 초기 CH4 2몰에서 차지하는 비율일 뿐, 반응 후 혼합물에서의 몰분율이 아니다. 틀린 표현은 기준을 초기량으로 잡은 점이며, 올바르게는 반응 후 전체 몰수 4몰을 기준으로 계산한 0.375이다.
3번 O: 양론식과 조건 $2-\xi=3\xi$를 적용하면 반응 후 CH4는 1.5몰이고 전체는 4몰이므로 몰분율은 0.375이다.
4번 X: CH4와 H2의 몰수가 같다는 사실만으로 CH4의 몰분율이 0.5가 되지는 않는다. 혼합물에는 H2O와 CO도 함께 존재하므로 틀린 표현은 전체를 CH4와 H2만으로 본 점이며, 올바르게는 전체 4몰 중 CH4 1.5몰이어서 0.375이다.

오답 포인트

CH4와 H2의 몰수가 같다는 조건을 CH4와 H2만 남는 상황으로 오해하면 4번에 끌린다. 또 반응한 몰수와 반응 후 잔존 몰수, 초기 기준 비율과 최종 혼합물 기준 몰분율을 섞으면 1번이나 2번 같은 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응 양론 문제는 반응식을 먼저 쓰고 반응 진행량 ξ로 각 성분의 몰수를 표현한 뒤, 문제의 조건식을 세워 ξ를 구하고 마지막에 몰분율 정의 $x_i=\frac{n_i}{n_{\text{tot}}}$를 적용하면 된다.

암기 포인트

수증기 개질은 CH4 1몰이 반응할 때 H2 3몰이 생긴다. 같아진다는 조건은 몰수식에 넣고, 몰분율은 반드시 전체 몰수로 나눈다.

NoteBase

문 17. 표는 30%의 효율로 작동하는 열기관 (가)와 (나)의 고온 및 저온 열원의 온도를 각각 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은?

기관	(가)	(나)
고온 열원 온도[K]	600	1,000
저온 열원 온도[K]	300	300

① (가)의 최대 열효율은 50%이다.

② (나)의 최대 열효율은 30%이다.

③ (가)의 열역학 제2법칙 열효율은 40%이다.

④ (나)의 열역학 제2법칙 열효율은 50%이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 카르노 열기관의 최대 열효율과 실제 효율로부터 열역학 제2법칙 효율을 구분할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

(가): $T_H = 600K$, $T_C = 300K$, 실제 효율 30%

(나): $T_H = 1000K$, $T_C = 300K$, 실제 효율 30%

구해야 할 값은 각 기관의 최대 열효율과 열역학 제2법칙 효율이다.

주의할 조건은 최대 열효율은 카르노 효율이고, 열역학 제2법칙 효율은 실제 효율을 최대 열효율로 나눈 값이라는 점이다.

사용할 공식

최대 열효율은 $\eta_{\max} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ 이다.

열역학 제2법칙 효율은 $\eta_{II} = \frac{\eta_{\text{actual}}}{\eta_{\max}}$ 이다.

이 공식을 쓰는 이유는 고온 열원과 저온 열원의 온도가 주어져 있어 카르노 효율을 바로 계산할 수 있고, 실제 효율 30%와 비교하여 제2법칙 효율도 구할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. (가)의 최대 열효율은 $\eta_{\max} = 1 - \frac{300}{600} = 0.5 = 50\%$ 이다.
2. (가)의 열역학 제2법칙 효율은 $\eta_{II} = \frac{0.30}{0.50} = 0.60 = 60\%$ 이다.
3. (나)의 최대 열효율은 $\eta_{\max} = 1 - \frac{300}{1000} = 0.7 = 70\%$ 이다.
4. (나)의 열역학 제2법칙 효율은 $\eta_{II} = \frac{0.30}{0.70} \approx 0.4286 = 42.9\%$ 이다.

선지 판단

① O. (가)의 최대 열효율은 50%이므로 옳다.
② X. (나)의 최대 열효율은 70%이다. 틀린 표현은 '30%'이고, 올바르게는 '70%'이다.
③ X. (가)의 열역학 제2법칙 효율은 60%이다. 틀린 표현은 '40%'이고, 올바르게는 '60%'이다.
④ X. (나)의 열역학 제2법칙 효율은 약 42.9%이다. 틀린 표현은 '50%'이고, 올바르게는 '약 42.9%'이다.

오답 포인트

최대 열효율과 열역학 제2법칙 효율을 같은 것으로 섞으면 틀린다. 실제 효율 30%는 두 기관에 공통이지만, 최대 열효율은 열원 온도에 따라 달라지므로 제2법칙 효율도 서로 달라진다.

다시 나오면 이렇게 판단

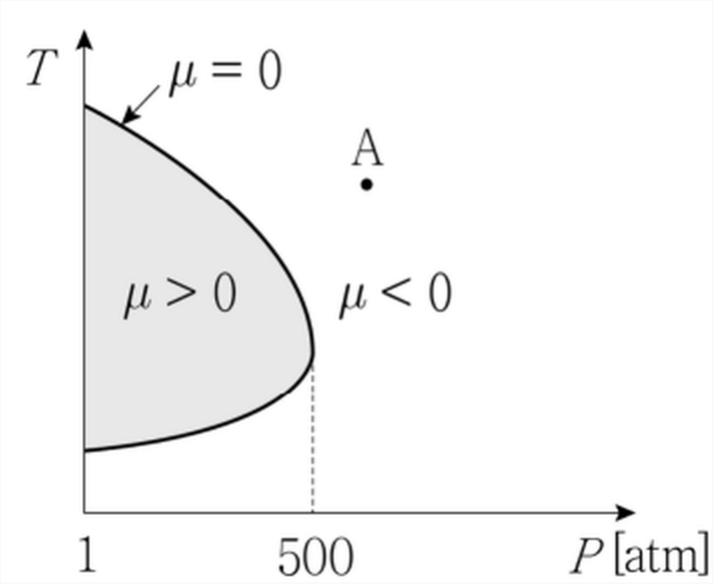
열기관 효율 문제는 먼저 $1 - \frac{T_C}{T_H}$로 최대 열효율을 구한 뒤, 실제 효율을 그 값으로 나누어 제2법칙 효율을 따로 판단하면 된다.

암기 포인트

카르노 효율은 $1 - \frac{T_C}{T_H}$, 제2법칙 효율은 실제 효율 ÷ 최대 열효율이다.

NoteBase

문 18. 그림은 어떤 기체의 Joule-Thomson 계수 μ의 부호를 온도(T)와 압력(P)에 따라 나타낸 것이다. 이 기체에 대한 설명으로 옳은 것은?



① 500 atm보다 낮은 압력에서는 액화되지 않는다.

② A 상태에서는 분자 간 인력이 척력보다 우세하다.

③ A 상태에서는 등엔탈피 과정으로 압력이 증가하면 온도가 증가한다.

④ A 상태의 기체를 조름 공정(throttling process)으로 팽창시키면 온도가 증가한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Joule-Thomson 계수 $\mu = (\partial T/\partial P)_H$의 부호를 도식에서 읽고, 등엔탈피 압력 변화와 조름 팽창 시 온도 변화 방향을 연결할 수 있는지를 묻는다.

NoteBase

선지별 해설

1번: X. "500 atm보다 낮은 압력에서는 액화되지 않는다"가 틀렸다. 도식에서 $\mu > 0$ 영역은 500 atm 이하의 일부 온도 범위에 존재하므로, 이 압력대에서는 조름 팽창에 의한 냉각이 가능하다. 액화가 전혀 불가능한 쪽은 500 atm보다 높은 압력 영역이다.
2번: X. A는 $\mu < 0$ 영역에 있으므로 조름 팽창 시 온도가 올라가는 상태이다. 이는 분자 간 인력보다 척력 또는 배제부피 효과가 더 크게 작용하는 경우에 해당한다. "인력이 우세하다"가 아니라 "척력 효과가 우세하다"가 맞다.
3번: X. 등엔탈피에서 $\mu = (\partial T/\partial P)_H$이고 A에서 $\mu < 0$이다. 따라서 압력이 증가하면 온도는 감소한다. "온도가 증가한다"가 아니라 "온도가 감소한다"가 맞다.
4번: O. A는 $\mu < 0$ 영역이므로 조름 공정에서 압력이 감소할 때 $dT = \mu dP$에서 $dP < 0, \mu < 0$라 $dT > 0$가 된다. 따라서 팽창시키면 온도가 증가한다.

오답 포인트

조름 공정이 등엔탈피라는 점을 놓치거나 μ의 부호를 반대로 읽으면 3번과 4번의 판단이 뒤집힌다. 또 500 atm을 "이하에서 액화 불가"로 읽으면 안 되고, 이 값은 $\mu > 0$ 영역이 존재할 수 있는 최대 압력이라는 뜻으로 해석해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 도식에서 해당 상태가 $\mu > 0$인지 $\mu < 0$인지 확인한다. 그다음 조름 공정은 등엔탈피이므로 $dT = \mu dP$의 부호만 따져 팽창 시 냉각인지 가열인지 판단한다. 최대 역전 압력의 좌우로 $\mu > 0$ 영역 존재 여부도 함께 본다.

암기 포인트

$\mu > 0$이면 조름 팽창 냉각, $\mu < 0$이면 조름 팽창 가열이며, 500 atm은 역전 곡선의 최대 압력이다.

NoteBase

문 19. 닫힌 계의 기체가 상태 (1)에서 상태 (2)로 변하는 과정에서 30 J의 일을 하고 80 J의 열을 흡수했다. 상태 (2)에서 상태 (1)로 되돌아가는 과정에서 기체가 20 J의 일을 했다면 열의 흡수량[J]은?

① -30

② -10

③ 10

④ 30

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 닫힌계의 에너지수지식 $\Delta U = Q - W$를 이용해 되돌아가는 과정의 열량 부호를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
상태 $1 \rightarrow 2$: 기체가 한 일 $W_{12} = 30J$, 흡수한 열 $Q_{12} = 80J$
상태 $2 \rightarrow 1$: 기체가 한 일 $W_{21} = 20J$
구해야 할 값:
상태 $2 \rightarrow 1$에서의 열량 Q_{21}
주의할 조건:
기체가 한 일은 양수, 기체가 흡수한 열은 양수로 둔다. 되돌아가는 과정에서는 내부에너지 변화가 부호만 반대가 된다.

사용할 공식

닫힌계의 제1법칙은 $\Delta U = Q - W$이다.
이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 열과 일의 양이 직접 주어졌고, 같은 두 상태 사이의 왕복 과정이므로 먼저 $1 \rightarrow 2$에서 내부에너지 변화를 구한 뒤 $2 \rightarrow 1$의 열량을 역산할 수 있다.

계산 과정

1. 상태 $1 \rightarrow 2$에서 내부에너지 변화는 $\Delta U_{12} = Q_{12} - W_{12} = 80 - 30 = 50J$이다.
2. 상태 $2 \rightarrow 1$은 되돌아가는 과정이므로 $\Delta U_{21} = -50J$이다.
3. 다시 제1법칙을 적용하면 $\Delta U_{21} = Q_{21} - W_{21}$이므로 $-50 = Q_{21} - 20$이다.
4. 따라서 $Q_{21} = -30J$이다. 즉 이 과정에서는 열을 30 J 방출한다.

NoteBase

선지 판단

1번: O
계산 결과 $Q_{21} = -30J$이므로 옳다.
2번: X
$-10J$는 되돌아가는 과정의 일을 $20J$가 아니라 부호를 잘못 두거나 내부에너지 변화 $-50J$를 잘못 결합할 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 열량이 $-10J$라는 부분이고, 올바르게는 $-30J$이다.
3번: X
$10J$는 열을 흡수한다고 보고 부호를 반대로 처리한 값이다. 틀린 표현은 열량이 양수라는 부분이고, 올바르게는 이 과정의 열량은 음수이며 $-30J$이다.
4번: X
$30J$는 열의 크기만 보고 부호를 빠뜨렸을 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 $+30J$라는 부분이고, 올바르게는 $30\ J$를 방출하므로 $-30J$이다.

오답 포인트

되돌아가는 과정에서는 내부에너지 변화가 $-50J$로 바뀐다는 점과, 열의 흡수는 양수이지만 방출은 음수라는 점을 동시에 놓치기 쉽다. 4번처럼 절댓값만 맞추고 부호를 빠뜨리는 함정이 가장 전형적이다.

다시 나오면 이렇게 판단

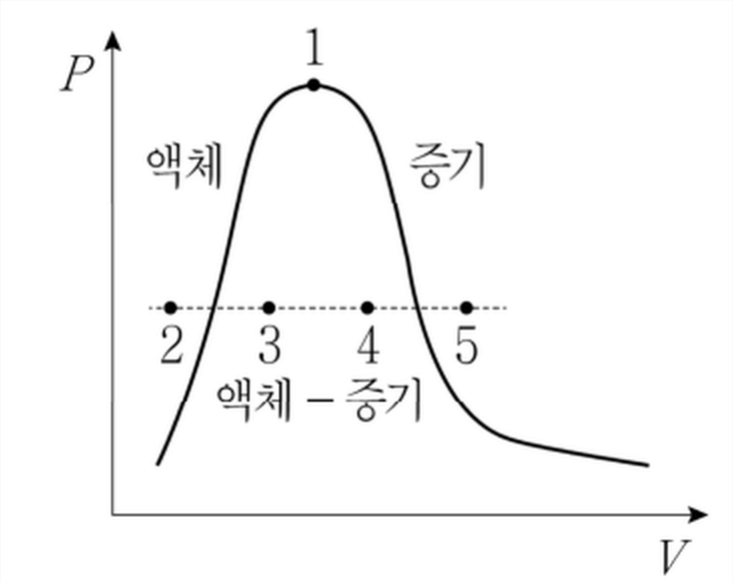
왕복하는 닫힌계 문제는 먼저 한 과정의 ΔU를 구하고, 반대 과정에서는 부호를 뒤집은 뒤 $\Delta U = Q - W$에 그대로 대입해 판단한다. 마지막에는 열과 일의 부호가 물리적 의미와 맞는지 검산한다.

암기 포인트

닫힌계는 $\Delta U = Q - W$, 같은 두 상태를 거꾸로 가면 ΔU의 부호만 반대가 된다.

NoteBase

문 20. 그림은 어떤 순물질의 상평형을 압력(P)-부피(V) 평면에 나타낸 것이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 물질의 총량은 일정하다)



① 상태 1은 임계점이다.

② 상태 2는 과냉각 액체이다.

③ 상태 5는 과열 증기이다.

④ 상태 3은 상태 4보다 액체의 양이 적다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 순물질의 압력-부피 상평형도에서 임계점, 과냉각 액체, 과열 증기, 액-증기 혼합영역의 의미를 그림 위치로 판별할 수 있는지를 묻는다.

선지별 해설

1번: O. 돔의 꼭대기인 상태 1은 액체와 증기의 구분이 사라지는 임계점이다.
2번: O. 상태 2는 포화액선의 왼쪽에 있으므로 압력이 같은 포화상태보다 더 압축된 액체영역이다. 따라서 과냉각 액체로 본다.
3번: O. 상태 5는 포화증기선의 오른쪽에 있으므로 증기 단상영역이다. 따라서 과열 증기이다.
4번: X. 상태 3과 상태 4는 모두 액-증기 혼합영역에 있지만, 같은 압력에서 오른쪽으로 갈수록 증기분율이 커지고 액체분율이 작아진다. 상태 3은 상태 4보다 왼쪽에 있으므로 액체의 양이 더 많다. 틀린 표현은 '액체의 양이 적다'이고, 올바르게는 '상태 3은 상태 4보다 액체의 양이 많다'이다.

NoteBase

오답 포인트

혼합영역 내부의 두 점을 비교할 때 좌우 위치를 놓치면 4번을 반대로 판단하기 쉽다. 같은 압력의 수평선에서 왼쪽은 포화액 쪽, 오른쪽은 포화증기 쪽이므로 오른쪽으로 갈수록 액체는 줄고 증기는 늘어난다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 돔의 꼭대기를 임계점으로 본다. 그다음 돔의 왼쪽은 압축액 또는 과냉각 액체, 돔의 오른쪽은 과열 증기, 돔 내부는 액-증기 혼합영역으로 구분한다. 혼합영역 내부에서는 같은 압력에서 오른쪽일수록 증기분율이 크다고 판단한다.

암기 포인트

상평형도 돔 내부는 혼합영역, 왼쪽 끝에 가까울수록 액체가 많고 오른쪽 끝에 가까울수록 증기가 많다.

NoteBase