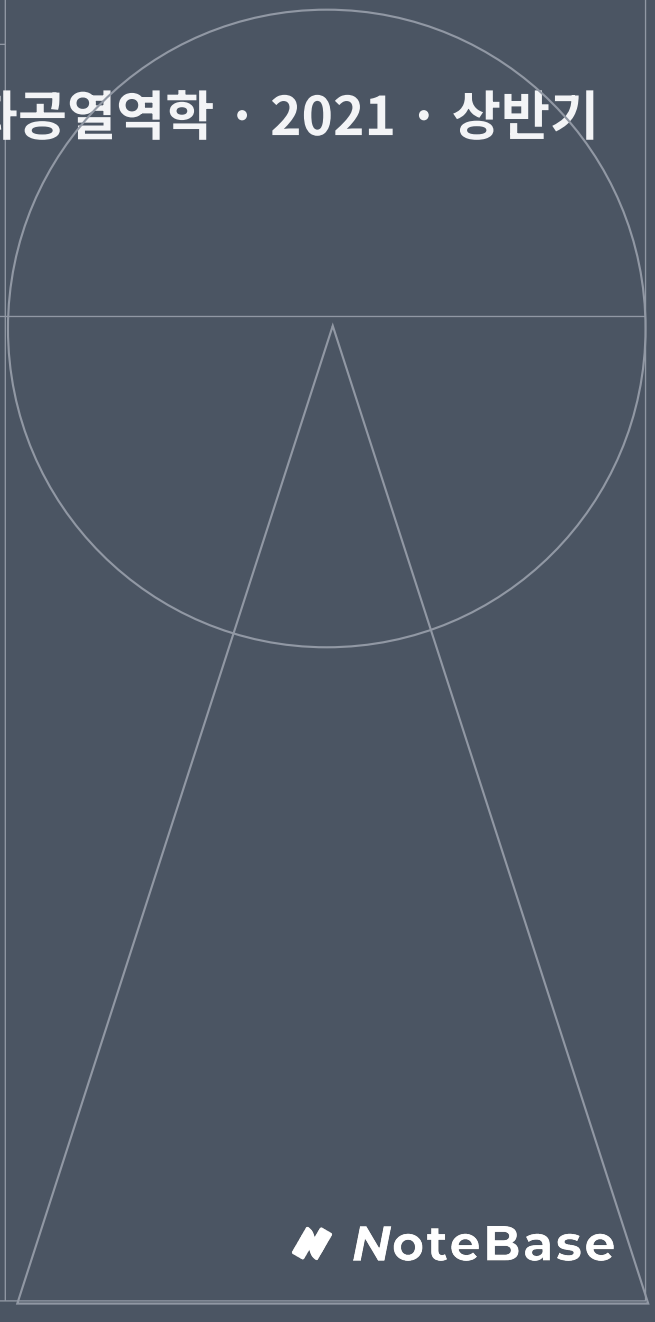
기출OX 해설집

공무원/해경/일반직 7급 · 화공열역학 · 2021 · 상반기



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/해경/일반직 7급 · 화공열역학 · 2021 · 상반기

공무원/해경/일반직 7급 · 화공열역학 · 2021 · 상반기

문 1. 0°C, 10 atm에서 1 mol의 A기체 부피의 실측치가 2.24 L일 때, 압축인자(Z)는?

① 0.5

② 1

③ 1.5

④ 2

정답 2번

출제 포인트

압축인자의 정의식 $Z = PV/(nRT)$에 압력, 부피, 몰수, 절대온도를 대입하여 실제 기체의 이상성 정도를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $P = 10atm$, $V = 2.24L$, $n = 1mol$, $T = 0^\circ C = 273K$이다.
구해야 할 값: 압축인자 Z이다.
주의할 조건: 기체상수는 주어진 압력과 부피의 단위에 맞추어 $R = 0.082L \cdot atm/(mol \cdot K)$를 사용하며, 온도는 반드시 절대온도로 바꾼다.

사용할 공식

실제 기체의 상태방정식은 $PV = ZnRT$이므로 압축인자는 다음과 같다.
$Z = \frac{PV}{nRT}$
압축인자는 동일한 온도와 압력에서 실제 기체의 몰부피가 이상기체의 몰부피에서 얼마나 벗어나는지를 나타내므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

섭씨온도를 절대온도로 바꾸면 $T = 273K$이다.
주어진 값을 대입하면
$Z = \frac{(10atm)(2.24L)}{(1mol)(0.082L \cdot atm/(mol \cdot K))(273K)} \approx 1.00$
따라서 압축인자는 1이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 0.5는 계산값 1과 일치하지 않는다. 틀린 값 0.5가 아니라 올바른 값은 1이다.
② O — $Z = PV/(nRT)$의 계산값이 약 1이므로 옳다.
③ X — 1.5는 계산값 1과 일치하지 않는다. 틀린 값 1.5가 아니라 올바른 값은 1이다.
④ X — 2는 계산값 1과 일치하지 않는다. 틀린 값 2가 아니라 올바른 값은 1이다.

오답 포인트

온도 0을 그대로 공식에 넣거나, 압축인자의 식에서 PV와 nRT의 위치를 혼동하면 안 된다. 이 문항에서는 $0\,^\circ C$를 $273K$로 변환하고 $Z = PV/(nRT)$로 계산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

압력·부피·몰수·온도가 주어지면 먼저 온도를 절대온도로 변환하고, 단위에 맞는 기체상수를 선택한 뒤 $Z = PV/(nRT)$에 대입하여 판단한다.

암기 포인트

$PV = ZnRT$, 따라서 $Z = PV/(nRT)$이며 $Z = 1$이면 이상기체 거동과 일치한다.

NoteBase

문 2. 다음 중 열(Q) 및 일(W)에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 열역학 제1법칙은 열과 일의 변환 관계를 나타낸다.

② 열은 계에서 외계로 전달될 때 (+)의 값을 갖는다.

③ 열과 일은 공정의 경로에 관계없는 상태함수이다.

④ 열과 일은 서로 변환될 수 없다.

정답 1번

출제 포인트

열과 일이 에너지 전달 방식이라는 점, 부호 규약, 경로함수 여부 및 상호 변환 가능성을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

열 Q는 온도 차이 때문에 계의 경계를 통과하는 에너지이고, 일 W는 온도 차이 이외의 원인으로 계의 경계를 통과하는 에너지이다. 둘 다 과정 중에 전달되는 에너지이므로 상태함수가 아니라 경로함수이다. 일반적인 열역학 부호 규약에서는 계로 들어오는 열을 양(+)으로, 계에서 나가는 열을 음(-)으로 둔다.

선지별 해설

① O — 열역학 제1법칙은 에너지 보존법칙으로서 열과 일이 계의 에너지 변화와 어떻게 연결되는지를 나타낸다. 따라서 열과 일의 변환 관계를 나타낸다는 설명은 옳다.
② X — 틀린 표현은 '계에서 외계로 전달될 때 (+)'이다. 일반적인 부호 규약에서 계가 받은 열은 양(+)이고, 계가 외계로 방출한 열은 음(-)이다.
③ X — 틀린 표현은 '경로에 관계없는 상태함수'이다. 열과 일은 같은 처음 상태와 나중 상태 사이에서도 공정 경로에 따라 값이 달라지는 경로함수이다.
④ X — 틀린 표현은 '서로 변환될 수 없다'이다. 열과 일은 서로 변환될 수 있으며, 열역학 제1법칙은 이러한 변환에서도 전체 에너지가 보존됨을 나타낸다. 다만 열을 일로 바꾸는 과정에는 열역학 제2법칙의 제한이 따른다.

오답 포인트

②는 열의 이동 방향과 부호를 반대로 제시했고, ③은 상태함수인 내부에너지와 경로함수인 열·일을 뒤바꾸었다. ④는 열의 완전한 일 변환에 제한이 있다는 사실을 '상호 변환 자체가 불가능하다'는 말로 과장한 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

열과 일이 나오면 먼저 '경계를 통과하는 에너지 전달량이므로 경로함수'임을 확인한다. 이어 열의 부호는 계로 유입되면 양(+), 계에서 유출되면 음(-)이라는 기준으로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

열·일은 경로함수, 내부에너지는 상태함수이다. 열은 계로 들어오면 (+), 나가면 (-)이다.

NoteBase

문 3. 반데르 발스(Van der Waals)의 상태방정식이 $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$로 주어질 때, 이에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① a는 분자 간의 인력을 고려한 보정계수이다.

② b는 분자 간의 척력을 나타내며, $b < 0$이다.

③ a와 b의 값이 0이면 이상기체 상태방정식이 된다.

④ a와 b는 기체의 종류에 따라 각각 다른 값을 갖는다.

정답 2번

출제 포인트

반데르발스 상태방정식의 상수 a와 b가 각각 보정하는 분자 간 인력과 분자의 유한한 크기, 그리고 두 상수의 부호를 묻는 문제이다.

핵심 개념

반데르발스 상태방정식은 실제기체의 분자 간 인력과 분자 자체의 부피를 이상기체식에 반영한 식이다.
a: 분자 간 인력으로 실제 압력이 낮아지는 효과를 보정하는 양의 상수이다.
b: 분자의 유한한 크기 때문에 실제로 운동에 이용할 수 없는 배제부피를 반영하는 양의 상수이며, 짧은 거리에서의 척력 효과와 관련된다.

선지별 해설

① O — a는 분자 간 인력에 따른 압력 감소를 보정하는 계수이므로 옳다.
② X — 틀린 표현은 '$b < 0$'이다. b는 분자의 유한한 크기와 배제부피, 즉 척력 효과를 반영하며 실제기체에서 $b > 0$인 상수이다. 따라서 'b는 분자 간의 척력 효과를 나타내며, $b > 0$이다'로 고쳐야 한다.
③ O — $a = 0, b = 0$을 대입하면 $P = RT/V$, 즉 $PV = RT$가 되어 1몰 이상기체 상태방정식과 일치한다.
④ O — 분자 간 인력의 세기와 분자 크기가 물질마다 다르므로 a와 b도 기체의 종류에 따라 각각 다른 값을 갖는다.

오답 포인트

분모가 $V - b$이므로 b 자체가 음수라고 오해하기 쉽다. 그러나 부피 보정은 전체 몰부피 V에서 양의 배제부피 b를 빼는 방식이므로 $b > 0$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

압력 보정항 $-a/V^2$에서는 a를 인력 보정으로, 유효부피 $V - b$에서는 b를 양의 배제부피 보정으로 판단한다. 또한 $a = b = 0$을 대입하여 이상기체식으로 환원되는지 확인한다.

NoteBase

암기 포인트

*a*는 인력, *b*는 배제부피이며 둘 다 양수이다.

NoteBase

문 4. 등온과정의 부피에 대한 엔트로피 변화는 Maxwell 관계식에서 어떻게 나타나는가?

① $-\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V$
② $\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P$
③ $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$
④ $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$

정답 4번

출제 포인트

Helmholtz 자유에너지의 전미분에서 얻는 Maxwell 관계를 이용하여 등온 조건의 엔트로피-부피 편미분을 압력-온도 편미분으로 바꾸는 문제이다.

조건 정리

구해야 할 양은 온도 T를 일정하게 유지할 때의 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$이다. 따라서 자연변수가 T, V인 Helmholtz 자유에너지 A를 사용한다.

사용할 공식

Helmholtz 자유에너지의 전미분은
$dA = -SdT - PdV$
이다. 따라서
$S = -\left(\frac{\partial A}{\partial T}\right)_V, \qquad P = -\left(\frac{\partial A}{\partial V}\right)_T$
이고, 혼합 이계 편미분의 순서를 바꾸어도 같으므로
$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$
가 성립한다.

계산 과정

1. 등온 조건이므로 목표량을 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$로 쓴다.
2. $dA = -SdT - PdV$에서 S와 P를 각각 A의 편미분으로 나타낸다.
3. 혼합 편미분의 동일성을 적용하면 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$가 되므로 4번과 일치한다.

NoteBase

선지 판단

① X — $-\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V$는 내부에너지 $U(S, V)$에서 얻는 $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S$와 대응한다. 틀린 표현은 엔트로피 S를 일정하게 둔 압력의 편미분이며, 올바르게는 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$이다.
② X — $\left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P$는 엔탈피 $H(S, P)$에서 얻는 $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S$와 대응하며, 목표 편미분과 변수 및 고정 조건이 다르다. 올바르게는 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$이다.
③ X — $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$는 압력이 일정할 때의 열팽창을 나타내며, 일반적으로 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$와 같지 않다. 올바르게는 부피를 일정하게 둔 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$이다.
④ O — Helmholtz 자유에너지에서 유도한 Maxwell 관계 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$와 정확히 일치한다.

오답 포인트

편미분에 등장하는 변수만 보고 고르면 ②나 ③을 선택하기 쉽다. Maxwell 관계에서는 분자·분모의 변수뿐 아니라 아래첨자로 표시된 고정 변수와 부호까지 함께 확인해야 한다. 특히 이 문항의 등온 조건 T는 좌변의 아래첨자이고, 대응하는 우변에서는 부피 V가 고정된다.

다시 나오면 이렇게 판단

목표 편미분의 독립변수와 고정변수를 자연변수로 갖는 열역학 퍼텐셜을 먼저 정한다. T, V 조합이면 $dA = -SdT - PdV$를 쓰고, 계수의 교차 편미분으로 Maxwell 관계를 만든다.

암기 포인트

Helmholtz 자유에너지의 자연변수는 T, V이며, 대응 관계는 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$이다.

NoteBase

문 5. 다음 열역학 식에 대한 설명 중 가장 옳지 않은 것은? (단, $\Delta U = Q + W$로 정의한다)

① 단열과정에서는 $\mathrm{d}U = \mathrm{d}W$이다.

② 등압과정에서는 $\mathrm{d}H = \mathrm{d}Q$이다.

③ 등온과정에서는 $\mathrm{d}H = \mathrm{d}W$이다.

④ 정적과정에서는 $\mathrm{d}U = \mathrm{d}Q$이다.

정답 3번

출제 포인트

열역학 제1법칙과 엔탈피의 정의를 이용하여 단열·등압·등온·정적 과정에서 열, 일, 내부에너지, 엔탈피의 관계를 구분하는 문제이다.

조건 정리

문제의 부호 규약은 계가 받은 일을 양수로 두는 $\mathrm{d}U = \delta Q + \delta W$이다. 팽창·압축 일만 있는 단순 압축계에서는 $\delta W = -P\mathrm{d}V$이고, 엔탈피는 $H = U + PV$이므로 $\mathrm{d}H = \mathrm{d}U + P\mathrm{d}V + V\mathrm{d}P$이다. 열과 일은 경로함수이므로 엄밀한 표기는 δQ, δW이다.

사용할 공식

$\mathrm{d}U = \delta Q + \delta W = \delta Q - P\mathrm{d}V$

$\mathrm{d}H = \mathrm{d}U + P\mathrm{d}V + V\mathrm{d}P$

각 과정에서 0이 되는 항을 확인하면 된다. 단열은 $\delta Q = 0$, 등압은 $\mathrm{d}P = 0$, 정적은 $\mathrm{d}V = 0$이다. 등온은 $\mathrm{d}T = 0$일 뿐이므로 그것만으로 $\mathrm{d}H = \delta W$가 되지는 않는다.

선지별 해설

① O — 단열과정에서는 $\delta Q = 0$이므로 제1법칙에서 $\mathrm{d}U = \delta W$가 된다. 선지의 $\mathrm{d}W$는 엄밀히 δW로 표기한다.

② O — 등압과정에서는 $\mathrm{d}P = 0$이다. 팽창·압축 일만 고려하면 $\mathrm{d}U = \delta Q - P\mathrm{d}V$이므로 엔탈피 식에 대입하여 $\mathrm{d}H = \delta Q$를 얻는다. 선지의 $\mathrm{d}Q$는 엄밀히 δQ로 표기한다.

③ X — 등온 조건 $\mathrm{d}T = 0$은 $\mathrm{d}H = \delta W$를 뜻하지 않는다. 특히 이상기체에서는 엔탈피가 온도만의 함수이므로 등온과정에서 $\mathrm{d}H = 0$이고, 내부에너지도 일정하여 $\delta Q = -\delta W$이다. 틀린 표현 '등온과정에서는 $\mathrm{d}H = \mathrm{d}W$'는 '이상기체의 등온과정에서는 $\mathrm{d}H = 0$이며 $\delta Q = -\delta W$'로 고쳐야 한다.

④ O — 정적과정에서는 $\mathrm{d}V = 0$이므로 팽창·압축 일 $\delta W = -P\mathrm{d}V$가 0이다. 따라서 제1법칙에서 $\mathrm{d}U = \delta Q$가 된다. 선지의 $\mathrm{d}Q$는 엄밀히 δQ로 표기한다.

NoteBase

오답 포인트

③의 함정은 '등온'을 '엔탈피와 일이 서로 같다'는 조건으로 바꿔 생각하게 하는 데 있다. 등온은 온도가 일정하다는 뜻일 뿐이며, 이상기체라면 $dH = 0$이 되는 것이지 $dH = \delta W$가 되는 것이 아니다. 또한 문제의 $\Delta U = Q + W$ 부호 규약에서는 내부에너지가 일정할 때 열과 일의 부호가 반대이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 문제의 일 부호 규약을 확인하고, 제1법칙과 $H = U + PV$를 적은 뒤 과정 조건에 따라 0이 되는 항을 지운다. 단열은 열, 등압은 압력 변화, 정적은 부피 변화가 0이며, 등온은 온도 변화만 0이라는 점을 구분한다.

암기 포인트

단열: $dU = \delta W$, 등압: $dH = \delta Q$, 정적: $dU = \delta Q$. 이상기체 등온: $dU = dH = 0$, $\delta Q = -\delta W$.

NoteBase

문 6. 피스톤/실린더 장치 내에서 1 mol의 공기가 1 m^3의 초기부피로부터 5 m^3의 최종상태로 가역팽창 할 때, 공기에 의해 행해진 일의 절댓값(J)은? (단, P는 압력, V는 몰부피일 때, 공기는 $PV = 5\ J \cdot mol^{-1}$의 관계를 만족하며 변한다.)

① 4

② 20

③ $5\ln 5$

④ $10\ln 5$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 압력이 부피에 따라 변하는 가역 팽창에서 경계일을 적분하여 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 물질량은 $n = 1mol$, 초기 몰부피는 $V_1 = 1m^3mol^{-1}$, 최종 몰부피는 $V_2 = 5m^3mol^{-1}$이다.
상태 관계: $PV = 5Jmol^{-1}$이므로 $P = 5/V$이다.
구해야 할 값: 공기가 가역 팽창하며 행한 일의 절댓값이다.

사용할 공식

가역 과정에서 계가 행한 경계일은
$W = n\int_{V_1}^{V_2} PdV$
이다. 압력이 일정하지 않고 $P = 5/V$로 변하므로 $P\Delta V$가 아니라 압력을 몰부피에 대해 적분해야 한다.

계산 과정

상태 관계를 일의 식에 대입하면
$W = (1mol)\int_1^5 \frac{5Jmol^{-1}}{V} dV$
$W = 5J[\ln V]_1^5 = 5\ln 5J$
이다. 팽창할 때 공기가 행한 일은 양수이며, 절댓값도 $5\ln 5J$이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 4는 단지 부피의 수치 변화 $5-1$에 해당할 뿐 일의 값이 아니다. 올바른 일의 절댓값은 $5\ln 5$J이다.
② X — 20은 계수 5를 일정한 압력처럼 취급하여 $5(5-1)$로 계산한 값이다. 실제 압력은 $P=5/V$로 변하므로 올바른 값은 $5\ln 5$J이다.
③ O — $\int_1^5 (5/V)dV = 5\ln 5$이므로 주어진 값과 일치한다.
④ X — $10\ln 5$는 올바른 값 $5\ln 5$의 2배이다. 물질량은 1mol이므로 추가로 2를 곱하지 않으며, 올바른 값은 $5\ln 5$J이다.

오답 포인트

상태식의 상수 5를 일정한 압력으로 오해하여 $W=P\Delta V$를 적용하면 ②의 20이 나온다. 이 과정에서는 압력이 $1/V$에 비례하여 계속 감소하므로 반드시 적분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역 팽창·압축의 일은 먼저 $W=n\int PdV$를 세우고, 주어진 상태 관계에서 P를 V의 함수로 바꾼 뒤 적분한다. 마지막에는 물질량과 일의 부호 또는 절댓값 조건을 확인한다.

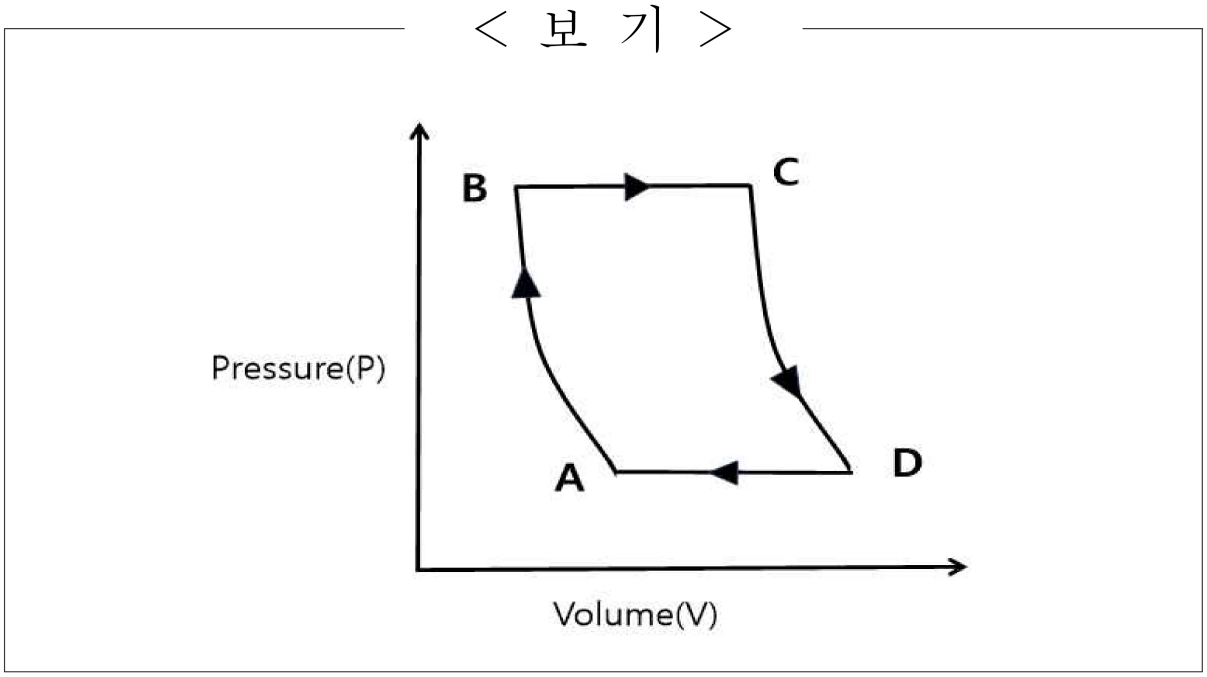
암기 포인트

$PV=C$인 가역 과정에서는 $W=nC\ln(V_2/V_1)$이다.

NoteBase

문 7. 다음 <보기>는 공기를 사용한 이상적인 기체터빈 기관(Brayton 사이클)의 P-V 선도를 나타낸다. 공정이 압력비(P_B/P_A) 4에서 가역적으로 운전될 때, 사이클의 효율은? (단, 공기는 일정한 비열을 갖는 이상기체이며, 공기의 정압비열/정적비열 = 2로 가정한다.)

< 보 기 >



① 0.4

② 0.5

③ 0.6

④ 0.7

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상적인 Brayton 사이클의 압력비와 비열비를 이용하여 열효율을 계산하는 문제이다.

조건 정리

압력비는 $r_p = P_B/P_A = 4$이다.

비열비는 $\gamma = C_p/C_v = 2$이다.

구해야 할 값은 이상적인 Brayton 사이클의 열효율 η이다.

NoteBase

사용할 공식

이상적인 Brayton 사이클의 열효율은
$\eta = 1 - \frac{1}{r_p^{(\gamma-1)/\gamma}}$
이다. 압축과 팽창이 가역 단열이고 비열이 일정한 이상기체이므로 압축기와 터빈의 등엔트로피 온도 관계를 적용한 이 공식을 사용한다.

계산 과정

지수는 $(\gamma-1)/\gamma = (2-1)/2 = 1/2$이다. 따라서
$\eta = 1 - \frac{1}{4^{1/2}} = 1 - \frac{1}{2} = 0.5$
가 된다.

선지 판단

① X
- 0.4는 계산 결과 0.5와 다르다. 틀린 값 0.4가 아니라 올바른 효율은 0.5이다.

② O
- 압력비 4와 비열비 2를 효율식에 대입하면 $\eta = 0.5$이므로 옳다.

③ X
- 0.6은 계산 결과 0.5와 다르다. 틀린 값 0.6이 아니라 올바른 효율은 0.5이다.

④ X
- 0.7은 계산 결과 0.5와 다르다. 틀린 값 0.7이 아니라 올바른 효율은 0.5이다.

계산 결과가 0.5이므로 정답은 2번이다.

오답 포인트

압력비 4를 열효율식에 그대로 곱하거나 빼는 것이 아니라, 비열비로 정해지는 지수 $(\gamma-1)/\gamma = 1/2$를 먼저 적용해야 한다. 또한 $4^{1/2} = 2$이므로 마지막에 $1 - 1/2$를 계산한다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상적인 Brayton 사이클의 효율 문제는 압력비 r_p와 비열비 γ를 확인하고, 지수 $(\gamma-1)/\gamma$를 계산한 뒤 효율식에 대입하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

이상적 Brayton 사이클은 $\eta = 1 - r_p^{-(\gamma-1)/\gamma}$이며, 압력비가 커질수록 열효율이 커진다.

NoteBase

문 8. 다음 <보기>의 표준상태 엔탈피 값을 이용하여 A반응의 표준상태 엔탈피(kJ/mol)를 구하면?

<보기>

$4Cu(s) + O_2(g) \rightarrow 2Cu_2O(s) \quad \Delta H^\circ = -333.4\ kJ/mol$

$Cu(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CuO(s) \quad \Delta H^\circ = -155.2\ kJ/mol$

A반응 : $2Cu_2O(s) + O_2(g) \rightarrow 4CuO(s)$

① 143.7 kJ/mol

② 287.4 kJ/mol

③ −143.7 kJ/mol

④ −287.4 kJ/mol

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 헤스의 법칙을 이용하여 반응식을 조합하고 A반응의 표준상태 엔탈피를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 반응은 다음과 같다.

$4Cu(s) + O_2(g) \rightarrow 2Cu_2O(s), \quad \Delta H_1^\circ = -333.4kJ/mol$

$Cu(s) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightarrow CuO(s), \quad \Delta H_2^\circ = -155.2kJ/mol$

구해야 할 반응은 $2Cu_2O(s) + O_2(g) \rightarrow 4CuO(s)$이다. 두 번째 반응을 4배하고 첫 번째 반응을 역반응으로 더해야 목표 반응식이 만들어진다.

사용할 공식

헤스의 법칙에 따라 반응식을 배수로 만들면 엔탈피도 같은 배수가 되고, 반응식을 뒤집으면 엔탈피의 부호가 바뀐다. 따라서

$\Delta H_A^\circ = 4\Delta H_2^\circ - \Delta H_1^\circ$

를 사용한다. 이 조합에서 4Cu와 O_2가 소거되어 A반응식이 남기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 두 번째 반응을 4배한다.

$4Cu(s) + 2O_2(g) \rightarrow 4CuO(s), \quad \Delta H^\circ = 4(-155.2) = -620.8 kJ/mol$

2. 첫 번째 반응을 역반응으로 바꾼다.

$2Cu_2O(s) \rightarrow 4Cu(s) + O_2(g), \quad \Delta H^\circ = +333.4 kJ/mol$

3. 두 반응을 더하면 $4Cu(s)$와 한 분자의 $O_2(g)$가 소거되어 A반응이 된다.

$\Delta H_A^\circ = -620.8 + 333.4 = -287.4 kJ/mol$

선지 판단

① X — 143.7kJ/mol은 목표 반응의 계수를 절반으로 줄이고 부호까지 반대로 처리한 값이다. 올바르게는 −287.4kJ/mol이다.

② X — 287.4kJ/mol은 크기는 같지만 부호가 틀리다. A반응은 계산 결과 음의 엔탈피를 가지므로 올바르게는 −287.4kJ/mol이다.

③ X — −143.7kJ/mol은 목표 반응식의 계수를 그대로 두고 엔탈피만 절반으로 계산한 값이다. 올바르게는 −287.4kJ/mol이다.

④ O — 헤스의 법칙으로 구한 값 −287.4kJ/mol과 일치한다.

오답 포인트

첫 번째 반응을 역반응으로 사용할 때 ΔH°의 부호도 함께 바뀐다는 점이 핵심이다. 또한 두 번째 반응을 4배했으므로 엔탈피도 4배해야 하며, 목표 반응식의 계수를 임의로 절반으로 줄이면 ① 또는 ③과 같은 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

목표 반응식에 맞추어 각 반응의 방향과 배수를 먼저 정한 뒤, 같은 방향·배수를 엔탈피에도 적용한다.
마지막에는 중간 물질이 소거되고 목표 반응식의 모든 계수가 정확히 남는지 검산한다.

암기 포인트

반응식 배수는 엔탈피 배수, 반응식 역전은 엔탈피 부호 역전이다.

NoteBase

문 9. 균일 혼합물의 열역학적 특성치 중에 i성분의 화학포텐셜로 가장 옳지 않은 것은?

① $\mu_i = \left[\frac{\partial(nA)}{\partial n_i}\right]_{nV,T,n_j}$
② $\mu_i = \left[\frac{\partial(nU)}{\partial n_i}\right]_{nS,nV,n_j}$
③ $\mu_i = \left[\frac{\partial(nH)}{\partial n_i}\right]_{nS,P,n_j}$
④ $\mu_i = \left[\frac{\partial(nS)}{\partial n_i}\right]_{nV,T,n_j}$

정답 4번

출제 포인트

화학포텐셜 μ_i가 각 열역학 퍼텐셜의 자연변수를 고정했을 때 성분 몰수 n_i에 대한 편미분으로 표현되는지를 판별하는 문제이다.

조건 정리

U, H, A는 각각 몰 내부에너지, 몰 엔탈피, 몰 헬름홀츠 에너지이고, nU, nH, nA는 그 전체량이다. 각 퍼텐셜의 자연변수는 $U : S, V$, $H : S, P$, $A : T, V$이다. 편미분할 때 다른 성분의 몰수 n_j도 일정하게 둔다.

사용할 공식

기본식은 다음과 같다.
$dU = TdS - PdV + \sum_i \mu_i dn_i$
르장드르 변환으로 다음 관계도 얻는다.
$dH = TdS + VdP + \sum_i \mu_i dn_i$
$dA = -SdT - PdV + \sum_i \mu_i dn_i$
따라서 각 퍼텐셜의 자연변수를 고정하면 dn_i의 계수가 곧 μ_i가 된다.

선지 판단

① O — A의 자연변수는 T, V이므로 $\mu_i = \left[\frac{\partial(nA)}{\partial n_i}\right]_{nV,T,n_j}$이다. 선지의 고정 조건과 일치한다.
② O — U의 자연변수는 S, V이므로 $\mu_i = \left[\frac{\partial(nU)}{\partial n_i}\right]_{nS,nV,n_j}$이다.
③ O — H의 자연변수는 S, P이므로 $\mu_i = \left[\frac{\partial(nH)}{\partial n_i}\right]_{nS,P,n_j}$이다.
④ X — 틀린 표현은 $\mu_i = \left[\frac{\partial(nS)}{\partial n_i}\right]_{nV,T,n_j}$이다. 엔트로피를 T, V 고정 조건에서 미분한 값을 화학포텐셜로 둘 수 없다. 엔트로피 표현을 사용하려면 올바르게는 $\left[\frac{\partial(nS)}{\partial n_i}\right]_{nU,nV,n_j} = -\frac{\mu_i}{T}$이다.

오답 포인트

④는 전체 엔트로피 nS도 상태함수라는 점을 이용해 화학포텐셜의 정의처럼 보이게 만든 선지이다. 그러나 편미분식은 미분 대상뿐 아니라 고정하는 자연변수까지 함께 맞아야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 열역학 퍼텐셜과 자연변수의 짝 $U(S,V)$, $H(S,P)$, $A(T,V)$, $G(T,P)$을 확인한다. 그 자연변수를 고정하고 전체 퍼텐셜을 n_i로 미분한 식만 μ_i로 판단한다.

암기 포인트

화학포텐셜은 전체 퍼텐셜의 성분 몰수 편미분이다: $U \leftrightarrow (S,V)$, $H \leftrightarrow (S,P)$, $A \leftrightarrow (T,V)$, $G \leftrightarrow (T,P)$.

NoteBase

문 10. 다음 중 순수한 물질의 PVT 거동에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 순수한 물질의 임계점보다 높은 온도와 압력에서는 상의 계면이 없어지며, 두 개의 상을 이루게 된다.

② 용융곡선상의 한 점은 자유도가 1이다.

③ 삼중점에서 자유도는 2이다.

④ 임계점(Tc, Pc) 이상에서는 기체 또는 액체인 플라즈마 상태이다.

정답 2번

출제 포인트

순수물질의 상평형에서 깁스 상률로 자유도를 구하고, 임계점 이상의 상태를 구분하는 문제이다.

조건 정리

순수물질이므로 성분 수는 $C = 1$이다.
용융곡선에서는 고체와 액체의 두 상이 공존하므로 $P = 2$이다.
삼중점에서는 고체·액체·기체의 세 상이 공존하므로 $P = 3$이다.

사용할 공식

깁스 상률은 다음과 같다.
$F = C - P + 2$
여기서 F는 자유도, C는 성분 수, P는 공존하는 상의 수이다. 순수물질의 상평형에서 독립적으로 정할 수 있는 온도와 압력의 수를 판단하므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

용융곡선: $F = 1 - 2 + 2 = 1$이다.
삼중점: $F = 1 - 3 + 2 = 0$이다.

선지 판단

① X — 임계온도와 임계압력을 넘은 영역에서는 액체와 기체의 구별 및 상의 계면이 사라져 하나의 초임계 유체상을 이룬다. '두 개의 상을 이루게 된다'가 틀렸으며, 올바르게는 '하나의 초임계 유체상을 이룬다'이다.
② O — 용융곡선에서는 고체와 액체 두 상이 공존하므로 $F = 1 - 2 + 2 = 1$이다.
③ X — 삼중점에서는 세 상이 공존하므로 $F = 1 - 3 + 2 = 0$이다. '자유도는 2이다'가 틀렸으며, 올바르게는 '자유도는 0이다'이다.
④ X — 임계온도와 임계압력을 넘으면 액체와 기체의 경계가 사라진 초임계 유체 상태가 된다. '플라즈마 상태'가 틀렸으며, 올바르게는 '초임계 유체 상태'이다.

NoteBase

오답 포인트

용융곡선처럼 두 상이 공존하는 선 위에서는 자유도가 1이지만, 삼중점처럼 세 상이 공존하는 점에서는 자유도가 0이다. 또한 임계점 이상에서 액체와 기체의 구별이 사라진다는 사실을 두 상의 공존이나 플라즈마 형성으로 오해하면 안 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

순수물질에서는 먼저 공존하는 상의 수를 세고 $F = 3 - P$를 적용한다. 이어 임계점 이상은 액체와 기체가 분리된 두 상이 아니라 하나의 초임계 유체상이라는 점으로 판단한다.

암기 포인트

순수물질은 두 상 공존선에서 자유도 1, 삼중점에서 자유도 0, 임계점 이상에서 단일 초임계 유체상이다.

NoteBase

문 11. 다음 중 열역학 제2법칙에 관한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 같은 온도에서 가역 사이클로 작동하는 기관의 열효율이 가장 크다.

② 열역학 제2법칙을 위반하면서 작동하는 기관을 제2종 영구기관이라 한다.

③ 모든 가역공정에서 총 엔트로피 변화량은 항상 양(+)의 값을 가진다.

④ 외부에서 일이 가해지지 않으면 열은 낮은 곳에서 높은 곳으로 흐를 수 없다.

정답 3번

출제 포인트

열역학 제2법칙의 대표적 표현인 카르노 정리, 제2종 영구기관, 엔트로피 생성, 클라우지우스 진술을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

가역공정은 계와 주위가 모두 원래 상태로 돌아갈 수 있도록 역전 가능한 이상적 공정이며, 엔트로피 생성량이 0이다. 따라서 가역공정에서 계와 주위를 합한 전체의 엔트로피 변화는 $\Delta S_{\text{total}} = 0$이다. 비가역공정에서는 엔트로피가 생성되어 $\Delta S_{\text{total}} > 0$이다.
카르노 정리에 따르면 같은 두 열원 사이에서 작동하는 가역 열기관은 가능한 최대 열효율을 가지며, 제2법칙은 외부의 일 없이 열이 저온부에서 고온부로 이동하는 것을 허용하지 않는다.

선지별 해설

① O — 같은 고온 열원과 저온 열원 사이에서 작동하는 열기관 중 가역 열기관의 열효율이 가장 크다. 이는 카르노 정리의 내용이다.
② O — 열역학 제2법칙을 위반하여 열을 전부 일로 바꾸거나 외부 일 없이 저온부의 열을 고온부로 옮기는 기관을 제2종 영구기관이라 한다.
③ X — 틀린 표현은 '총 엔트로피 변화량은 항상 양(+)'이다. 가역공정에서는 엔트로피가 생성되지 않으므로 계와 주위를 합한 총 엔트로피 변화량은 0이다. 양의 총 엔트로피 변화량은 비가역공정에서 나타난다.
④ O — 외부에서 일이 공급되지 않으면 열이 스스로 저온부에서 고온부로 흐를 수 없다는 클라우지우스 진술에 해당한다.

오답 포인트

③은 계의 엔트로피 변화와 계·주위를 합한 총 엔트로피 변화를 혼동하게 한다. 가역공정에서도 계의 엔트로피는 열의 출입에 따라 증가하거나 감소할 수 있지만, 주위의 변화까지 합한 총 엔트로피 변화는 0이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

‘가역’이 나오면 엔트로피 생성은 0, ‘비가역’이 나오면 엔트로피 생성은 양수로 판단한다. 열기관은 같은 두 열원 사이의 가역기관이 최대 효율이고, 저온부에서 고온부로 열을 옮기려면 외부 일이 필요하다.

암기 포인트

가역은 총 엔트로피 변화 0, 비가역은 총 엔트로피 변화 양수이다.

NoteBase

문 12. 다음 식 중 비가역 과정에 있어서 가장 옳은 것은? (단, S는 엔트로피, Q는 열량, T는 절대온도이다.)

① $\Delta S > \int \frac{dQ}{T}$
② $\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$
③ $\Delta S < \int \frac{dQ}{T}$
④ $\Delta S = 0$

정답 1번

출제 포인트

비가역 과정의 엔트로피 수지에서 엔트로피 생성량이 양수라는 점을 이용해 클라우지우스 부등식의 방향을 판단하는 문제이다.

조건 정리

계의 엔트로피 변화는 열전달에 의해 출입하는 엔트로피와 계 내부에서 생성되는 엔트로피의 합이다. 비가역 과정에서는 엔트로피 생성량 S_{gen}이 양수이다.

사용할 공식

엔트로피 수지는 다음과 같다.
$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$
비가역 과정에서는 $S_{gen} > 0$이므로
$\Delta S > \int \frac{\delta Q}{T}$
가 된다. 가역 과정에서는 $S_{gen} = 0$이므로 등호가 성립한다.

관계식 전개

1. 비가역 과정이므로 $S_{gen} > 0$이다.
2. 엔트로피 수지에서 $\int \frac{\delta Q}{T}$에 양수인 S_{gen}을 더해야 ΔS가 된다.
3. 따라서 $\Delta S > \int \frac{\delta Q}{T}$이다.

NoteBase

선지 판단

① O — $\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$이고 비가역 과정에서는 $S_{gen} > 0$이므로 $\Delta S > \int \frac{\delta Q}{T}$가 성립한다.
② X — '$\Delta S = \int \frac{dQ}{T}$'는 엔트로피 생성량을 빠뜨린 표현이다. 올바르게는 가역 과정에서만 등호가 성립하고, 비가역 과정에서는 $\Delta S > \int \frac{\delta Q}{T}$이다.
③ X — '$\Delta S < \int \frac{dQ}{T}$'는 부등호의 방향이 반대이다. 올바르게는 비가역 과정에서 내부 엔트로피가 생성되므로 $\Delta S > \int \frac{\delta Q}{T}$이다.
④ X — '$\Delta S = 0$'은 비가역 과정 일반에 성립하지 않는다. 올바르게는 상태 변화에 따른 ΔS를 엔트로피 수지로 구하며, 비가역성 자체가 $\Delta S = 0$을 뜻하지 않는다.

오답 포인트

②의 등호는 가역 과정의 관계이고, 비가역 과정에는 양의 엔트로피 생성량이 추가된다. 또한 비가역 과정이라는 말만으로 계의 엔트로피 변화 ΔS가 항상 양수이거나 0이라고 단정할 수는 없다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 엔트로피 수지 $\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$를 세운다. 그다음 가역이면 $S_{gen} = 0$, 비가역이면 $S_{gen} > 0$을 대입해 등호 또는 부등호의 방향을 판단한다.

암기 포인트

가역은 등호, 비가역은 엔트로피 생성 때문에 ΔS 쪽이 더 크다.

NoteBase

문 13. 25°C, 1기압의 초기상태에서 고무풍선에 들어 있는 이상기체 1 mol이 다음 <보기>의 과정을 거칠 때, 기체의 물성에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

<보기>
㉠ 초기상태에서 온도를 100°C로 올렸다가 원래의 상태로 변화시킨다.
㉡ 초기상태에서 온도를 0°C로 내렸다가 원래의 상태로 변화시킨다.

① ㉠의 경우에 일어나는 내부에너지의 변화가 ㉡의 경우에 일어나는 내부에너지의 변화보다 크다.
② ㉠의 경우에 일어나는 깁스 자유에너지의 변화가 ㉡의 경우에 일어나는 깁스 자유에너지 변화보다 크다.
③ ㉠의 경우에 일어나는 엔탈피의 변화가 ㉡의 경우에 일어나는 엔탈피의 변화보다 크다.
④ ㉠과 ㉡에서 엔트로피의 변화는 0이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 처음과 끝이 같은 상태인 순환과정에서 내부에너지, 엔탈피, 엔트로피, 깁스 자유에너지와 같은 상태함수의 전체 변화량이 0임을 묻는다.

핵심 개념

상태함수는 계가 지나온 경로가 아니라 처음 상태와 마지막 상태만으로 변화량이 결정되는 물성이다. ㉠과 ㉡은 중간에 도달하는 온도는 다르지만 모두 25°C, 1기압의 초기상태로 돌아오므로 각 과정 전체에 대해 $\Delta U = \Delta H = \Delta S = \Delta G = 0$이다. 따라서 두 과정의 각 상태함수 변화량은 서로 같다.

NoteBase

선지별 해설

① X
㉠과 ㉡ 모두 처음 상태로 돌아오므로 내부에너지 변화는 각각 $\Delta U = 0$이다. 틀린 표현은 '㉠의 내부에너지 변화가 ㉡보다 크다'이며, 올바르게는 '두 경우의 내부에너지 변화는 같고 모두 0이다'이다.

② X
깁스 자유에너지도 상태함수이므로 두 과정에서 각각 $\Delta G = 0$이다. 틀린 표현은 '㉠의 깁스 자유에너지 변화가 ㉡보다 크다'이며, 올바르게는 '두 경우의 깁스 자유에너지 변화는 같고 모두 0이다'이다.

③ X
엔탈피도 상태함수이며, 이상기체의 엔탈피는 온도의 함수이다. 두 과정 모두 원래 온도인 25°C로 돌아오므로 각각 $\Delta H = 0$이다. 틀린 표현은 '㉠의 엔탈피 변화가 ㉡보다 크다'이며, 올바르게는 '두 경우의 엔탈피 변화는 같고 모두 0이다'이다.

④ O
엔트로피는 상태함수이므로 중간 온도까지의 경로와 관계없이 처음 상태로 돌아온 과정 전체의 변화는 0이다. 따라서 ㉠과 ㉡에서 각각 $\Delta S = 0$이다.

오답 포인트

㉠은 100°C까지 가고 ㉡은 0°C까지 가므로 중간 과정의 변화 폭은 다르다. 그러나 선지는 각 과정 전체의 상태함수 변화량을 묻는다. 중간 경로의 차이를 최종 변화량의 차이로 착각하면 ①~③을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

과정의 처음 상태와 마지막 상태가 같은지 먼저 확인한다. 같다면 순환과정이므로 모든 상태함수에 대해 Δ(상태함수)=0을 적용하고, 열과 일처럼 경로에 의존하는 양과 구별한다.

암기 포인트

제자리로 돌아오면 상태함수의 변화량은 0이다: $\Delta U = \Delta H = \Delta S = \Delta G = 0$.

NoteBase

문 14. 닫힌계에서 300 K, 1 bar의 이상기체 1 mol을 일정 부피에서 온도가 900 K가 되도록 가열할 때, 엔트로피 변화(J/mol·K)는? (단, 정압열용량 $C_p = \frac{5}{2}R$이고, $\ln 3 = 1.10$이며, R은 기체 상수이다.)

① $1.12R$

② $1.65R$

③ $2.45R$

④ $3.26R$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 일정 부피에서 이상기체의 엔트로피 변화식을 적용하고, 정압열용량에서 정적열용량을 구하는 문제이다.

조건 정리

초기 온도는 $T_1 = 300K$, 최종 온도는 $T_2 = 900K$이다.
과정은 일정 부피이므로 $V_2/V_1 = 1$이다.
$C_p = \frac{5}{2}R$이고 이상기체에서는 $C_v = C_p - R = \frac{3}{2}R$이다.

사용할 공식

이상기체의 엔트로피 변화식은
$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$
이다. 일정 부피에서는 $V_2/V_1 = 1$이므로 부피항이 0이 되어 $\Delta S = C_v \ln(T_2/T_1)$을 사용한다.

계산 과정

$C_v = C_p - R = \frac{5}{2}R - R = \frac{3}{2}R$
$\frac{T_2}{T_1} = \frac{900}{300} = 3$
따라서
$\Delta S = \frac{3}{2}R \ln 3 = \frac{3}{2}R \times 1.10 = 1.65R$
이다.

선지 판단

① X — $1.12R$는 $C_v = \frac{3}{2}R$와 $\ln 3 = 1.10$을 곱한 결과가 아니다. 올바르게는 $1.65R$이다.
② O — $\Delta S = (\frac{3}{2}R)(1.10) = 1.65R$이므로 계산 결과와 일치한다.
③ X — $2.45R$는 일정 부피 조건의 엔트로피 변화식으로 계산한 값과 일치하지 않는다. 올바르게는 $1.65R$이다.
④ X — $3.26R$는 일정 부피 조건의 엔트로피 변화식으로 계산한 값과 일치하지 않는다. 올바르게는 $1.65R$이다.

NoteBase

오답 포인트

문제에서 C_p를 주었더라도 일정 부피 과정의 온도 변화에는 C_v를 사용한다. C_p를 그대로 대입하거나 일정 부피인데도 부피 변화항을 남기면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 과정 조건이 일정 부피인지 일정 압력인지 확인한 뒤, 일정 부피이면 $C_v = C_p - R$로 바꾸고 $\Delta S = C_v \ln(T_2/T_1)$을 적용한다.

암기 포인트

이상기체의 일정 부피 가열에서는 $\Delta S = C_v \ln(T_2/T_1)$이고, $C_v = C_p - R$이다.

NoteBase

문 15. 다음 <보기>의 관계식을 이용하여 기체의 정압 열용량과 정적 열용량 사이의 일반식을 옳게 나타낸 것은?

<보기>

$dS = \left(\frac{C_P}{T}\right)dT - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$

① $C_p - C_V = \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V$

② $C_p - C_V = T\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V$

③ $C_p - C_V = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$

④ $C_p - C_V = T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$

정답 4번

출제 포인트

주어진 엔트로피 미분식에 정적 조건을 적용하여 정압 열용량과 정적 열용량의 차를 유도하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $dS = \frac{C_P}{T}dT - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$이다.
정적 과정에서는 $dV = 0$이고, 압력은 온도에 따라 $dP = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dT$로 변한다.
또한 열용량의 정의에서 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T}$이다.

사용할 공식

$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T}$
이 관계는 부피가 일정할 때 온도 변화에 따른 엔트로피 변화율을 정적 열용량으로 나타내므로 사용한다.

계산 과정

정적 조건에서 주어진 식을 온도 변화량으로 정리하면
$\frac{C_V}{T} = \frac{C_P}{T} - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$
이다. 양변에 T를 곱하고 항을 이항하면
$C_P - C_V = T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$
를 얻는다.

NoteBase

선지 판단

① X — T가 빠졌고 두 편미분도 역수 형태로 쓰였다. 올바르게는 $C_P - C_V = T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$이다.
② X — T는 포함되어 있지만 $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_P$와 $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_V$로 편미분의 분자와 분모를 뒤집었다. 올바르게는 각각 $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$, $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$를 사용한다.
③ X — 편미분의 방향은 맞지만 전체에 곱해지는 T가 누락되었다. 올바르게는 선지의 우변 전체에 T를 곱한다.
④ O — 정적 조건을 대입하여 얻은 $C_P - C_V = T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$와 일치한다.

오답 포인트

①·②는 편미분을 단순히 역수로 바꾸는 함정을, ①·③은 엔트로피 식의 $1/T$를 정리할 때 T를 누락하는 함정을 노린다. 특히 두 편미분은 주어진 식과 정적 조건에서 직접 나타나는 방향을 그대로 유지해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

부피 일정 조건에서 먼저 $dP = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dT$를 대입하고, $dS/dT = C_V/T$와 계수를 비교한 뒤 마지막에 T를 곱한다.

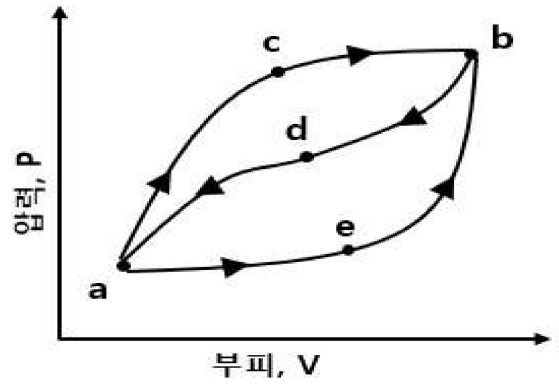
암기 포인트

열용량 차는 온도와 두 변화율의 곱이다: $C_P - C_V = T(V_T)_P(P_T)_V$.

NoteBase

문 16. 다음 <보기>의 P-V 선도에서 a와 b 사이의 가역 과정에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

< 보 기 >



① a → c → b → d → a 순환 경로에서 한 일은 0이다.

② a → c → b 경로와 a → e → b 경로에서 한 일의 양은 서로 다르다.

③ a → c → b → d → a 순환 경로의 내부에너지 변화량은 0이다.

④ a → e → b 경로와 b → d → a 경로에 대한 엔탈피 변화량의 절댓값은 같다.

정답 1번

출제 포인트

P-V 선도에서 일은 경로에 따라 달라지는 경로함수이고, 내부에너지와 엔탈피는 처음과 끝의 상태만으로 정해지는 상태함수이다. 선도에서 과정이 한 일은 경로 아래의 면적이며, 순환 과정의 순일은 폐곡선이 둘러싼 면적이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- '순환 경로에서 한 일은 0이다'가 틀린 표현이다. 순환 경로 a → c → b → d → a가 P-V 선도에서 유한한 면적을 둘러싸므로 순일은 $W_{cycle} = \oint PdV$로서 0이 아니다. 올바르게는 'a → c → b → d → a 순환 경로에서 한 순일은 폐곡선의 면적과 같아 0이 아니다'이다.

② O

- 일은 $W = \int PdV$이므로 경로에 의존한다. a → c → b 경로는 같은 부피 구간에서 a → e → b 경로보다 대체로 높은 압력에 놓여 있어 경로 아래 면적, 즉 한 일의 양이 더 크다.

③ O

- 내부에너지는 상태함수이다. a에서 출발하여 다시 a로 돌아오는 순환 과정에서는 처음과 끝의 상태가 같으므로 $\Delta U_{cycle} = 0$이다.

④ O

- 엔탈피도 상태함수이므로 경로와 무관하게 두 끝 상태만으로 변화량이 정해진다. a → e → b에서는 $\Delta H = H_b - H_a$이고, b → d → a에서는 $\Delta H = H_a - H_b$이므로 두 변화량의 부호는 반대이고 절댓값은 같다.

오답 포인트

순환 과정에서 0이 되는 것은 상태함수의 변화량이지 일이 아니다. ①은 $\Delta U_{cycle} = 0$이라는 성질을 경로함수인 일에 잘못 적용한 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

P-V 선도에서는 먼저 일 $W = \int PdV$을 면적으로 판단한다. 서로 다른 두 경로의 일은 경로 아래 면적을 비교하고, 순환 과정의 일은 폐곡선의 면적을 확인한다. 내부에너지와 엔탈피는 상태함수이므로 같은 두 상태 사이에서는 경로와 무관하며, 출발 상태로 돌아오면 변화량이 0이다.

암기 포인트

일은 경로와 면적, 내부에너지·엔탈피는 처음과 끝의 상태로 판단한다. 순환이면 $\Delta U = \Delta H = 0$이지만 일반적으로 $W \neq 0$이다.

NoteBase

문 17. 다음 <보기>와 같은 조건에서 랭킨 사이클의 효율은 얼마인가?

<보기>
· 보일러 입구에서의 엔탈피($H_1 = 250$ kJ/kg)
· 보일러 출구에서의 엔탈피($H_2 = 3,000$ kJ/kg)
· 터빈 출구에서의 엔탈피($H_3 = 2,300$ kJ/kg)
· 응축기 출구에서의 엔탈피($H_4 = 240$ kJ/kg)

① 15.5%
② 21.5%
③ 25.1%
④ 38.1%

정답 3번

출제 포인트

랭킨 사이클에서 터빈 일과 펌프 일을 함께 반영한 순일을 보일러의 공급열로 나누어 열효율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $H_1 = 250kJ/kg, H_2 = 3{,}000kJ/kg, H_3 = 2{,}300kJ/kg, H_4 = 240kJ/kg$이다.
구해야 할 값: 랭킨 사이클의 열효율 η이다.
주의할 조건: 터빈 발생 일에서 펌프 소비 일을 빼야 사이클의 순일이 된다.

사용할 공식

$W_t = H_2 - H_3, \qquad W_p = H_1 - H_4$
$Q_{in} = H_2 - H_1$
$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$
정상상태 랭킨 사이클에서 터빈은 일을 생산하고 펌프는 일을 소비하므로 두 일의 차가 순일이며, 보일러에서 유체가 받은 엔탈피 증가량이 공급열이기 때문에 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 터빈 일은 $W_t = 3{,}000 - 2{,}300 = 700kJ/kg$이다.
2. 펌프 일은 $W_p = 250 - 240 = 10kJ/kg$이다.
3. 순일은 $W_{net} = 700 - 10 = 690kJ/kg$이다.
4. 보일러 공급열은 $Q_{in} = 3{,}000 - 250 = 2{,}750kJ/kg$이다.
5. 따라서 $\eta = 690/2{,}750 = 0.2509\ldots$이므로 열효율은 약 25.1%이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 15.5%는 계산된 열효율 25.1%와 일치하지 않는다. 틀린 값 15.5% → 올바르게는 25.1%이다.
② X — 21.5%는 순일 $690 kJ/kg$을 공급열 $2{,}750 kJ/kg$으로 나눈 결과가 아니다. 틀린 값 21.5% → 올바르게는 25.1%이다.
③ O — $690/2{,}750 \times 100 = 25.09\ldots$%이고 소수 첫째 자리로 나타내면 25.1%이다.
④ X — 38.1%는 계산된 열효율보다 크며 주어진 엔탈피 차로 얻을 수 없다. 틀린 값 38.1% → 올바르게는 25.1%이다.

오답 포인트

터빈 일 $H_2 - H_3$만 순일로 보거나, 공급열의 분모를 잘못 잡으면 오답이 된다. 이 문제에서는 펌프 일 $H_1 - H_4$을 터빈 일에서 빼고, 보일러 공급열 $H_2 - H_1$으로 나누는 것이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

상태점의 흐름을 확인한 뒤 터빈 일, 펌프 일, 보일러 공급열을 각각 엔탈피 차로 계산하고, 마지막에 =(터빈 일-펌프 일)/공급열을 적용한다.

암기 포인트

랭킨 열효율은 순일/공급열이며, 순일은 터빈 일에서 펌프 일을 뺀 값이다.

NoteBase

문 18. 다음 중 디젤기관과 오토기관에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 디젤기관에서 공기는 연료의 자연발화 온도 이상까지 압축되고, 연소는 연료가 이 고온의 공기 속에서 분사되어 접촉함으로써 시작된다.

② 실제 디젤기관에서는 오토기관의 압축비보다 높은 압축비를 사용한다.

③ 압축비가 같다면 디젤기관이 오토기관보다 열효율이 높다.

④ 디젤기관은 압축착화 왕복기관이고 오토기관은 불꽃점화 왕복기관이다.

정답 3번

출제 포인트

디젤기관과 오토기관의 착화 방식, 실제 압축비, 동일 압축비에서의 공기표준 열효율을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

디젤기관은 공기만 압축하여 온도를 연료의 자연발화 온도 이상으로 높인 뒤 연료를 분사해 스스로 착화시키는 압축착화 왕복기관이다. 오토기관은 공기와 연료의 혼합기를 압축한 뒤 점화플러그의 불꽃으로 착화시키는 불꽃점화 왕복기관이다.
이상적인 공기표준 사이클에서 압축비가 같으면 정적 가열을 가정하는 오토사이클의 열효율이 정압 가열을 가정하는 디젤사이클보다 높다. 다만 실제 디젤기관은 노킹의 제약이 상대적으로 작아 오토기관보다 높은 압축비를 사용하므로 실제 운전 조건의 효율 비교와 동일 압축비에서의 이론 비교를 구분해야 한다.

선지별 해설

① O — 디젤기관은 공기를 먼저 강하게 압축하여 연료의 자연발화 온도 이상으로 만든 뒤 연료를 분사하므로, 연료가 고온의 공기와 접촉하면서 연소가 시작된다.
② O — 실제 디젤기관은 공기만 압축하므로 오토기관처럼 미리 형성된 혼합기의 노킹에 의해 압축비가 제한되는 정도가 작아 더 높은 압축비를 사용한다.
③ X — 틀린 표현은 '디젤기관이 오토기관보다 열효율이 높다'이다. 동일한 압축비의 이상적인 공기표준 사이클에서는 오토기관의 열효율이 디젤기관보다 높다. 디젤사이클은 열공급이 진행되는 동안 체적이 증가하는 정압 가열을 가정하므로, 동일 압축비에서 오토사이클보다 열효율이 낮다.
④ O — 디젤기관은 압축으로 높아진 공기 온도를 이용하는 압축착화 기관이고, 오토기관은 점화플러그를 이용하는 불꽃점화 기관이다.

오답 포인트

③은 실제 디젤기관이 높은 압축비를 사용해 효율이 높은 경우가 많다는 사실을 '압축비가 같은' 이상사이클 비교에 그대로 적용하도록 유도한다. 동일 압축비에서는 오토사이클의 열효율이 더 높고, 실제 기관에서는 사용 압축비가 서로 다르다는 점이 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 비교 조건이 동일 압축비인지 실제 기관인지 확인한다. 동일 압축비의 공기표준 비교이면 오토사이클의 열효율이 더 높고, 실제 기관의 압축비 비교이면 디젤기관의 압축비가 더 높다. 착화 방식은 디젤기관이 압축착화, 오토기관이 불꽃점화이다.

암기 포인트

같은 압축비에서는 오토 효율이 더 높고, 실제 압축비는 디젤이 더 높다. 디젤은 압축착화, 오토는 불꽃점화이다.

NoteBase

문 19. 어떤 냉동기는 매 냉동톤당 2 kW의 전력이 소요된다. 이 냉동기의 성능계수(COP)는 얼마인가? (단, 1냉동톤당 12,000 Btu/h이고, 1 kW ☒ 3,400 Btu/h이다.)

① 0.88

② 1.76

③ 3.54

④ 7.03

정답 2번

출제 포인트

냉동기의 성능계수(COP)를 냉동효과와 투입 일의 비로 계산하고, 냉동톤의 열량 단위를 전력 단위로 환산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 냉동능력: 냉동톤당 $12{,}000 Btu/h$
소요 전력: 냉동톤당 $2kW$
단위 환산: $1kW \simeq 3{,}400 Btu/h$
구해야 할 값: 냉동기의 성능계수 COP

사용할 공식

냉동기의 성능계수는 제거한 열량인 냉동효과를 투입 일로 나눈 값이다.

$$COP = \frac{Q_L}{W}$$

냉동능력과 소요 전력을 같은 전력 단위로 맞춘 뒤 이 비를 계산한다.

계산 과정

1. 냉동능력을 kW로 환산한다.
$Q_L = \frac{12{,}000 Btu/h}{3{,}400 Btu/hperkW} \simeq 3.529 kW$
2. 환산한 냉동능력을 소요 전력으로 나눈다.
$COP = \frac{3.529 kW}{2 kW} \simeq 1.7645$
3. 선지의 자릿수에 맞추면 $COP \simeq 1.76$이다. 성능계수는 같은 단위의 비이므로 무차원이다.

NoteBase

선지 판단

① X — 0.88은 계산값 1.76을 다시 2로 나눈 값에 해당한다. 소요 전력 $2kW$는 COP 공식의 분모에 한 번만 적용하며, 올바른 값은 1.76이다.
② O — $12{,}000/3{,}400 \simeq 3.529kW$를 $2kW$로 나누면 $COP \simeq 1.76$이다.
③ X — 3.54는 냉동능력 $12{,}000Btu/h$을 약 kW로 환산한 값일 뿐이다. 투입 전력으로 한 번 더 나누어야 하므로 올바른 값은 1.76이다.
④ X — 7.03은 환산한 냉동능력에 소요 전력 2를 곱한 값에 가깝다. COP에서는 냉동능력을 소요 전력으로 나누므로 올바른 값은 1.76이다.

오답 포인트

냉동능력 $12{,}000Btu/h$을 kW로 환산한 약 3.53에서 계산을 끝내면 ③을 고르게 된다. 또한 COP는 냉동효과를 투입 일로 나누는 비이므로, 소요 전력 2를 곱하거나 두 번 나누지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

냉동톤을 열량률 또는 전력으로 환산한 뒤, 냉동기에서는 $COP = Q_L/W$에 대입하고 마지막에 분자와 분모의 단위가 같은지 확인한다.

암기 포인트

냉동기 COP는 '빼앗은 열량 ÷ 투입 일'이며, 이 문제에서는 $(12{,}000/3{,}400)/2 \simeq 1.76$이다.

NoteBase

문 20. 1 kg의 어떤 액체가 실린더 내에서 일정 온도와 100 kPa 압력에서 완전히 기화하는 가역공정이 있다. 이 공정이 일어나는 동안 200 kJ의 열량이 실린더 내부로 가해질 때, 이 물질이 얻는 내부 에너지(kJ)는? (단, 액체의 비부피(Specific volume)는 0.01 m^3/kg, 증기의 비부피는 1.67 m^3/kg이다.)

① 34

② 168

③ 200

④ 366

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 닫힌계의 열역학 제1법칙과 일정 압력에서의 경계일을 이용해 기화 과정의 내부에너지 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 질량 $m = 1kg$, 압력 $P = 100kPa$, 유입 열량 $Q = 200kJ$, 액체와 증기의 비부피 $v_1 = 0.01m^3/kg$, $v_2 = 1.67m^3/kg$이다.
구해야 할 값: 물질이 얻는 내부에너지, 즉 ΔU이다.
주의할 조건: 가역적인 일정 압력 팽창이므로 계가 외부에 한 경계일 $W = P(V_2 - V_1)$을 열량에서 빼야 한다.

사용할 공식

닫힌계의 열역학 제1법칙은 $\Delta U = Q - W$ 이고, 일정 압력에서의 경계일은 $W = P(V_2 - V_1) = Pm(v_2 - v_1)$ 이다. 기화하면서 부피가 증가하므로 계가 외부에 양의 일을 하며, $1kPa \cdot m^3 = 1kJ$의 단위 관계를 사용한다.

계산 과정

1. 전체 부피 변화는 $V_2 - V_1 = m(v_2 - v_1) = 1kg \times (1.67 - 0.01)m^3/kg = 1.66m^3$ 이다.
2. 계가 한 경계일은 $W = 100kPa \times 1.66m^3 = 166kJ$ 이다.
3. 따라서 내부에너지 변화는 $\Delta U = 200kJ - 166kJ = 34kJ$ 이다.

NoteBase

선지 판단

① O — 계산 결과 $\Delta U = 34kJ$이므로 옳다.
② X — 168은 계산된 내부에너지 변화와 일치하지 않는다. 올바르게는 부피 변화 $1.66m^3$로 경계일 $166kJ$을 구하고 이를 열량에서 빼므로 $34kJ$이다.
③ X — 200은 내부에너지가 아니라 계에 가해진 열량 Q이다. 올바르게는 열량에서 경계일 $166kJ$을 뺀 $34kJ$이 내부에너지 증가량이다.
④ X — 366은 열량과 경계일을 더한 값이다. 올바르게는 팽창하면서 계가 외부에 한 일을 빼므로 $200 - 166 = 34kJ$이다.

오답 포인트

기화에 공급된 열량 200을 모두 내부에너지 증가로 보면 ③을 고르게 된다. 그러나 부피가 증가하는 동안 일부 열은 외부에 대한 경계일로 나가므로 반드시 $Q - W$로 계산한다. 또한 팽창일에는 최종 부피가 아니라 부피 변화 $V_2 - V_1$를 사용한다.

다시 나오면 이렇게 판단

닫힌계의 가열·팽창 문제는 먼저 부피 변화로 경계일을 구하고, 계가 한 일을 양수로 두는 부호 규약에서 $\Delta U = Q - W$를 적용한 뒤 $kPa \cdot m^3 = kJ$인지 단위를 검산한다.

암기 포인트

받은 열 = 내부에너지 증가 + 계가 외부에 한 일, 즉 $Q = \Delta U + W$이다.

NoteBase