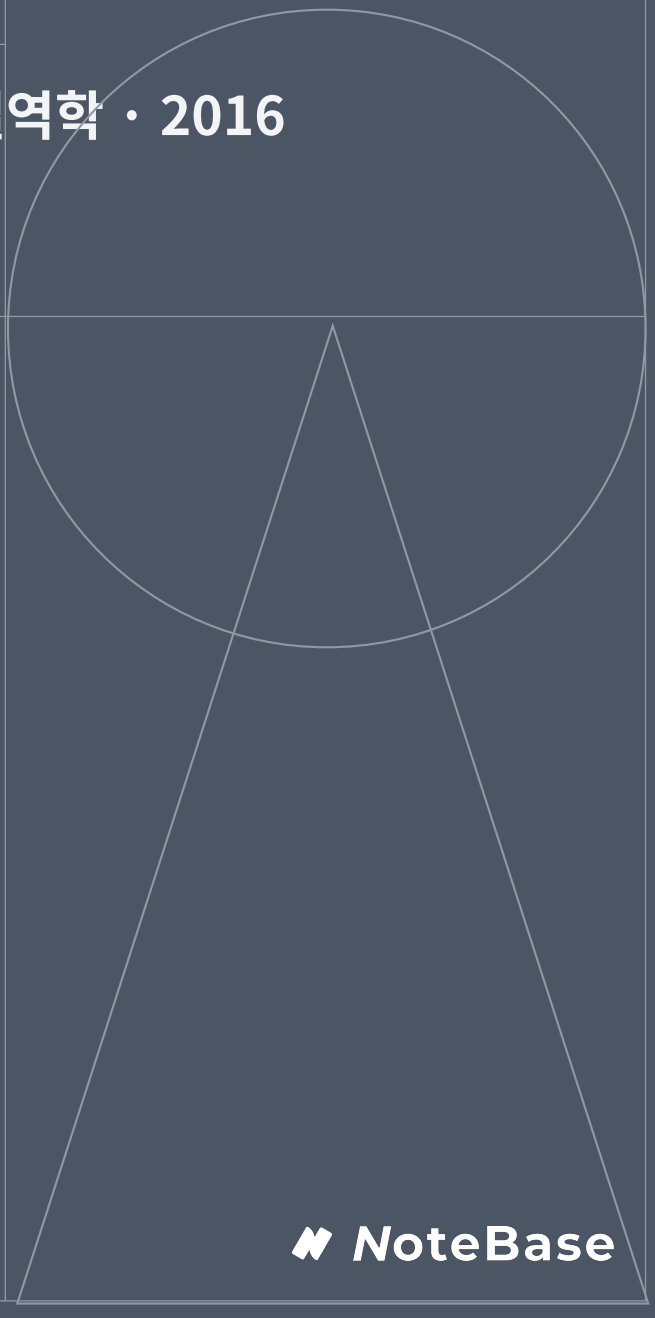
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2016



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2016

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2016

문 1. 1bar의 압력으로 유지되는 대기 중에 1L 부피의 풍선이 1kJ의 열을 받아 2L로 가역등압팽창할 때, 풍선 내부에 있는 공기의 내부에너지 변화(ΔU)와 엔탈피 변화(ΔH)량[kJ]은?

① ΔU = 1.0, ΔH = 1.1

② ΔU = 1.0, ΔH = 0.9

③ ΔU = 1.1, ΔH = 1.0

④ ΔU = 0.9, ΔH = 1.0

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 가역 등압팽창에서 경계일 $W = P\Delta V$, 제1법칙 $\Delta U = Q - W$, 엔탈피 정의 $\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$를 연결해 ΔU와 ΔH를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 압력 $P = 1bar$, 초기부피 $V_1 = 1L$, 최종부피 $V_2 = 2L$, 가한 열량 $Q = 1kJ$이다.
- 구해야 할 값: 공기의 내부에너지 변화 ΔU와 엔탈피 변화 ΔH이다.
- 주의할 조건: 등압 과정이므로 경계일은 $P\Delta V$로 계산하고, $1bar \cdot L = 0.1kJ$로 단위를 맞춘다.

사용할 공식

$W = P\Delta V$

$\Delta U = Q - W$

$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$

등압 과정에서는 $\Delta(PV) = P\Delta V$이므로 $\Delta H = Q$가 된다.

이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 가역등압팽창과 열량이 직접 주어졌기 때문이다. 따라서 먼저 팽창일을 구한 뒤 제1법칙으로 ΔU를 계산하고, 이어서 ΔH를 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 부피 변화는 $\Delta V = 2 - 1 = 1L$이다.
2. 등압팽창 일은 $W = P\Delta V = (1bar)(1L) = 0.1kJ$이다.
3. 제1법칙으로 $\Delta U = Q - W = 1.0 - 0.1 = 0.9kJ$이다.
4. 엔탈피 변화는 $\Delta H = \Delta U + P\Delta V = 0.9 + 0.1 = 1.0kJ$이다. 같은 뜻으로 등압 과정이므로 $\Delta H = Q = 1.0kJ$로 보아도 된다.

선지별 해설

① X
- ΔU는 열량 전체가 아니라 열량에서 팽창일을 뺀 값이다. $W = 0.1kJ$이므로 $\Delta U = 0.9kJ$이다.
- 'ΔU = 1.0' → 올바르게는 'ΔU = 0.9'이다.
- ΔH는 $1.1kJ$가 아니라 $1.0kJ$이다.
- 'ΔH = 1.1' → 올바르게는 'ΔH = 1.0'이다.

② X
- $\Delta U = 1.0kJ$라는 부분이 틀리다. 등압팽창 일을 빼야 하므로 $\Delta U = 0.9kJ$이다.
- 'ΔU = 1.0' → 올바르게는 'ΔU = 0.9'이다.
- ΔH는 등압 과정에서 Q와 같아 $1.0kJ$이다. $0.9kJ$는 ΔU 값과 혼동한 수치이다.
- 'ΔH = 0.9' → 올바르게는 'ΔH = 1.0'이다.

③ X
- $\Delta U = 1.1kJ$는 팽창일의 부호를 반대로 처리한 경우에 해당한다. 계가 팽창하면 일을 하므로 W는 빼야 한다.
- 'ΔU = 1.1' → 올바르게는 'ΔU = 0.9'이다.
- $\Delta H = 1.0kJ$는 맞지만, 한 선지 안에서 ΔU가 틀렸으므로 전체 선지는 오답이다.
- 'ΔU = 1.1, ΔH = 1.0' → 올바르게는 'ΔU = 0.9, ΔH = 1.0'이다.

④ O
- $W = (1bar)(1L) = 0.1kJ$, $\Delta U = 1.0 - 0.1 = 0.9kJ$이다.
- $\Delta H = \Delta U + P\Delta V = 0.9 + 0.1 = 1.0kJ$이므로 선지의 두 값이 모두 맞다.

오답 포인트

가한 열량 Q를 그대로 ΔU로 착각하거나, 등압팽창 일 $P\Delta V$의 단위를 $1bar \cdot L = 0.1kJ$로 바꾸지 못하면 오답이 된다. 또한 $\Delta H = Q$와 $\Delta U = Q - W$를 서로 바꾸어 쓰는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

등압 계산형 문제는 먼저 ΔV를 구하고, 다음에 $W = P\Delta V$의 단위를 맞춘 뒤, 마지막에 $\Delta U = Q - W$와 $\Delta H = \Delta U + P\Delta V$를 순서대로 적용하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

등압팽창에서는 $\Delta U = Q - P\Delta V$, $\Delta H = Q$라는 연결을 함께 기억해 두면 된다.

NoteBase

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

① a는 분자 간의 인력을 반영한다.

② a와 b의 값이 0이면 이상기체 상태방정식이 된다.

③ b는 분자 간의 척력을 나타내며, $b < 0$이다.

④ 몰부피에 대해서 3차인 방정식이다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 반데르발스 상태방정식에서 상수 a, b의 물리적 의미와 식의 형태를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

반데르발스 식 $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$에서 a는 분자 사이의 인력을 보정하는 상수이고, b는 분자의 유한한 크기 때문에 실제로 비워 둘 수 없는 배제부피를 나타내는 양수 상수이다.
또한 이 식을 몰부피 V에 대해 정리하면 3차방정식이 된다.

선지별 해설

1. O: a항은 $-\frac{a}{V^2}$ 형태로 압력을 낮추는 보정항이며, 분자 간 인력 때문에 실제 압력이 이상기체보다 작아지는 효과를 반영한다.
2. O: $a = 0$, $b = 0$이면 식은 $P = \frac{RT}{V}$가 되어 이상기체 상태방정식과 같아진다.
3. X: 틀린 표현은 "분자 간의 척력"과 "$b < 0$"이다. b는 척력 자체를 뜻한다기보다 분자의 실제 크기에서 오는 배제부피를 나타내며 보통 $b > 0$이다. 올바르게는 "b는 분자의 유한한 크기, 즉 배제부피를 나타내며 $b > 0$이다."이다.
4. O: 식의 양변에 $V^2(V-b)$를 곱하면 $PV^3 - (Pb + RT)V^2 + aV - ab = 0$이 되어 몰부피 V에 대한 3차방정식이 된다.

오답 포인트

수험생이 a와 b의 역할을 서로 뒤바꾸거나, 발문의 "옳지 않은 것"을 놓치면 ③을 고르지 못한다. 특히 a는 인력 보정, b는 배제부피라는 구분이 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

반데르발스 식이 나오면 먼저 a는 인력 보정항, b는 분자 크기에 따른 부피 보정항으로 나눈다. 그다음 $a = b = 0$에서 이상기체식이 되는지와, V에 대해 정리했을 때 차수가 몇 차인지 확인하면 선지를 빠르게 판별할 수 있다.

NoteBase

암기 포인트

*a*는 attraction, *b*는 bulk volume으로 기억하면 구분이 쉽다.

NoteBase

문 3. 절대 영도에서 어떤 고체의 엔탈피가 10kJ일 때, 10K에서 고체의 엔탈피[kJ]는? (단, 고체의 정압열용량 $C_P = aT^3$, $a = 40\text{J} \cdot \text{K}^{-4}$, T는 절대온도, 압력은 변하지 않는다)

① 20

② 40

③ 100

④ 110

정답 4번

출제 포인트

정압 과정에서 엔탈피 변화는 $\Delta H = \int C_p dT$로 구하고, 절대영도에서의 기준 엔탈피를 마지막에 더하는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 절대영도에서 엔탈피 $10kJ$, $C_p = aT^3$, $a = 40J/K^4$, 최종 온도 $10K$이다.
구해야 할 값: $10K$에서의 엔탈피이다.
주의할 조건: 압력이 일정하므로 $dH = C_p dT$를 적용하고, 적분으로 구한 값은 엔탈피 변화량이므로 기준 엔탈피를 다시 더해야 한다.

사용할 공식

$H(T) - H(0) = \int_0^T C_p dT = \int_0^T aT^3 dT$
압력이 일정할 때 엔탈피 변화는 정압열용량의 온도 적분값으로 주어지므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

$\Delta H = \int_0^{10} 40T^3 dT = 40\left[\frac{T^4}{4}\right]_0^{10} = 10 \times 10^4 J = 100000J = 100kJ$
따라서 $10K$에서의 엔탈피는
$H(10) = H(0) + \Delta H = 10kJ + 100kJ = 110kJ$
계산 결과가 $110kJ$이므로 정답은 4번이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계산 결과와 맞지 않는다. $20kJ$는 $\int T^3 dT$ 계산을 과소평가하거나 엔탈피 증가량을 잘못 구했을 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 최종 엔탈피를 $20kJ$로 본 점이며, 올바르게는 $110kJ$이다.

② X
계산 결과와 맞지 않는다. $40kJ$는 계수 40만 보고 온도 적분 효과를 반영하지 못한 과소계산이다. 틀린 표현은 최종 엔탈피를 $40kJ$로 본 점이며, 올바르게는 적분으로 증가량 $100kJ$를 구한 뒤 기준 엔탈피를 더해 $110kJ$가 된다.

③ X
$100kJ$는 적분으로 얻은 엔탈피 변화량 ΔH만 쓴 값이다. 틀린 표현은 변화량을 최종 엔탈피와 같게 본 점이며, 올바르게는 초기 엔탈피 $10kJ$를 더해 $110kJ$이다.

④ O
정압 조건에서 $\Delta H = \int_0^{10} 40T^3 dT = 100kJ$이고, 여기에 절대영도에서의 엔탈피 $10kJ$를 더하면 최종 엔탈피는 $110kJ$가 된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 적분으로 구한 값이 최종 엔탈피가 아니라 엔탈피 변화량이라는 점이다. 또한 $\int T^3 dT = T^4/4$ 처리를 놓치거나 $100000J = 100kJ$ 단위 변환을 빠뜨리면 오답으로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

열용량이 주어지는 엔탈피 계산형은 먼저 $\Delta H = \int C_p dT$로 변화량을 구하고, 그다음 기준 상태의 엔탈피를 더하는 순서로 판단한다. 마지막에는 J와 kJ 단위를 다시 확인하면 된다.

암기 포인트

정압에서 엔탈피는 $H(T) = H(0) + \int_0^T C_p dT$이다. 적분값은 변화량이고, 기준 엔탈피를 따로 더한다.

NoteBase

문 4. 조름공정(throttling process)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 유체의 운동에너지와 위치에너지의 변화가 없고 계의 열전달이 없다고 가정한다)

① 일정 엔탈피에서 이루어진다.

② 줄-톰슨(Joule-Thomson)계수가 양(+)인 경우, 조름팽창에 의해 압력이 낮아지면 온도는 높아진다.

③ 유체가 오리피스 또는 다공성 마개와 같은 제한요소를 통하여 흐르는 공정을 조름공정이라 한다.

④ 이상기체의 온도를 변화시키지 않는다.

정답 2번

출제 포인트

조름공정의 기본 성질인 일정 엔탈피 조건, 줄-톰슨계수의 부호 해석, 이상기체의 줄-톰슨 효과 부재를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

조름공정은 유체가 밸브, 오리피스, 다공성 마개 같은 제한요소를 통과하면서 압력이 감소하는 비가역 유동 공정이며, 열전달과 축일이 없고 운동에너지와 위치에너지 변화가 무시되면 엔탈피가 일정하다.
줄-톰슨계수는 $\mu_{JT} = (\partial T/\partial P)_H$로서 일정 엔탈피에서 압력 변화에 대한 온도 변화를 뜻한다.
이상기체는 $\mu_{JT} = 0$이므로 조름으로 압력이 바뀌어도 온도는 변하지 않는다.

선지별 해설

① O: 조름공정은 보통 단열, 무축일, 운동에너지·위치에너지 변화 무시 조건에서 해석하므로 $h_1 = h_2$가 성립한다. 따라서 일정 엔탈피에서 이루어진다는 설명은 옳다.
② X: 틀린 부분은 '줄-톰슨계수가 양(+)인 경우, 조름팽창에 의해 압력이 낮아지면 온도는 높아진다'이다. $\mu_{JT} > 0$이면 일정 엔탈피에서 압력이 낮아질수록 온도는 낮아진다. 실제로는 조름 시 냉각이 일어난다.
③ O: 조름공정은 오리피스, 밸브, 다공성 마개처럼 유동을 제한하는 요소를 통과할 때 나타나는 압력 강하 공정을 뜻한다. 설명이 정확하다.
④ O: 이상기체는 분자간 상호작용이 없어서 줄-톰슨 효과가 나타나지 않는다. 따라서 조름공정으로 압력이 변해도 온도는 변하지 않는다.

오답 포인트

②는 줄-톰슨계수의 부호를 반대로 읽게 만드는 선지이다. $\mu_{JT} > 0$라는 말만 보고 온도가 올라간다고 착각하기 쉽지만, 조름에서는 압력이 감소하므로 온도 변화 방향까지 함께 봐야 한다. ④도 실제기체와 이상기체를 섞어 생각하면 틀리기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

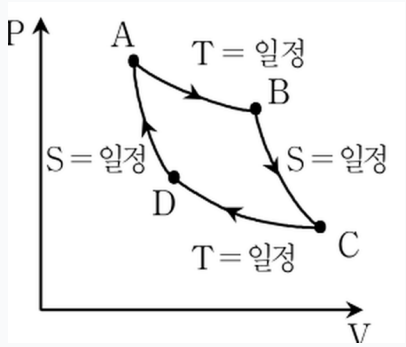
조름공정 문제는 먼저 h 일정 여부를 확인하고, 그다음 μ_{JT}의 부호와 압력 변화 방향을 함께 읽는다. 압력 하강에서 $\mu_{JT} > 0$이면 냉각, $\mu_{JT} < 0$이면 가열이다. 이상기체는 $\mu_{JT} = 0$이라서 온도 변화가 없다고 판단한다.

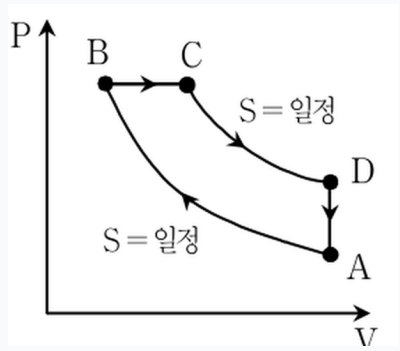
암기 포인트

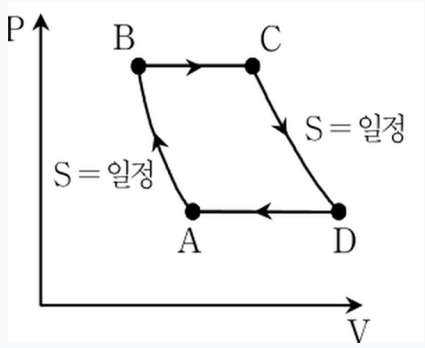
조름은 h 일정, $\mu_{JT} > 0$이면 압력 하강에 따라 냉각, 이상기체는 $\mu_{JT} = 0$이라 온도 변화가 없다는 점이 핵심이다.

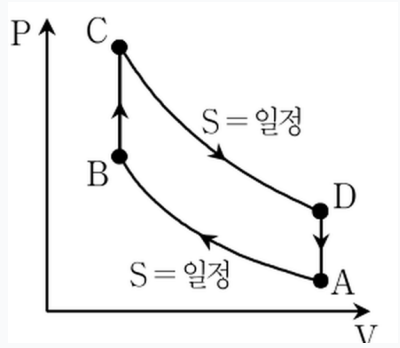
NoteBase

문 5. 이상적인 기체터빈 기관의 압력-부피(P-V) 선도로 옳은 것은?

① 

② 

③ 

④ 

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 P-V 선도에서 이상적 기체터빈 기관, 즉 브레이튼 사이클의 두 등엔트로피 과정과 두 등압 과정을 구별하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 위아래가 T 일정, 양쪽이 S 일정인 형태이므로 카르노 사이클에 해당한다.
- 기체터빈의 이상 사이클은 등온 과정이 아니라 등압 열공급과 등압 열방출을 가진다. 틀린 표현은 등온 과정 표시이고, 올바르게는 브레이튼 사이클의 상하 구간은 등압 과정이어야 한다.

② X
- $B \to C$는 등압이지만 $D \to A$가 수직선이므로 등적 과정이다. 이는 디젤 사이클의 전형적 형태이다.
- 기체터빈의 이상 사이클에서는 열방출도 등압으로 일어나야 한다. 틀린 부분은 $D \to A$의 등적 하강이고, 올바르게는 저압 등압선에서 왼쪽으로 진행해야 한다.

③ O
- $A \to B$는 등엔트로피 압축, $B \to C$는 고압 등압 열공급, $C \to D$는 등엔트로피 팽창, $D \to A$는 저압 등압 열방출이다.
- 이상적 기체터빈 기관의 브레이튼 사이클을 P-V 선도에 옮기면 두 개의 등압선과 그 사이를 잇는 두 개의 등엔트로피선으로 나타나므로 맞다.

④ X
- $B \to C$와 $D \to A$가 모두 수직선이므로 열의 출입이 등적 과정에서 일어난다. 이는 오토 사이클의 전형적 형태이다.
- 기체터빈의 이상 사이클은 등적 열공급·열방출을 쓰지 않는다. 틀린 부분은 두 열과정이 등적이라는 점이고, 올바르게는 두 열과정이 모두 등압이어야 한다.

오답 포인트

기체터빈 기관을 '압축기-연소기-터빈' 장치로만 기억하면 등압과 등적을 혼동하기 쉽다. 이 문항은 열이 드나드는 두 구간이 수평선인지, 수직선인지, 또는 등온곡선인지로 브레이튼·디젤·오토·카르노를 가르게 만든 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 열공급과 열방출 구간의 형태를 본다. 두 열과정이 모두 등압이면 브레이튼, 등압과 등적이 섞이면 디젤, 두 열과정이 모두 등적이면 오토, 등온이 들어가면 카르노로 판단할 수 있다.

암기 포인트

브레이튼은 등압-등엔트로피-등압-등엔트로피 사이클이다.

NoteBase

문 6. 300 K의 어떤 액체를 일정부피에서 400 K으로 가열하였을 때, 가해진 열[kJ]은? (단, 주어진 온도 범위에서 액체의 정적열용량 C_V과 절대온도 T의 관계는 $C_V = a + bT$, $a = 100\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$, $b = 0.04\text{J} \cdot \text{K}^{-2}$ 이다)

① 10.0

② 11.4

③ 12.8

④ 14.2

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 일정부피 가열에서 $q = \Delta U = \int C_V dT$를 적용하여 가해진 열량을 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 초기 온도 $300K$, 최종 온도 $400K$, $C_V = a + bT$, $a = 100J \cdot K^{-1}$, $b = 0.04J \cdot K^{-2}$이다.
구해야 할 값은 가해진 열량 q이다.
일정부피이므로 경계일 $W = 0$이고, 따라서 $q = \Delta U$가 된다.

사용할 공식

$q = \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT = \int_{300}^{400} (a + bT) dT$
이 공식을 쓰는 이유는 액체를 일정부피에서 가열하므로 열량이 내부에너지 변화와 같고, C_V가 온도의 함수로 주어져 적분이 필요하기 때문이다.

계산 과정

1. $C_V = a + bT$를 적분한다.
$q = \int_{300}^{400} (100 + 0.04T) dT$
2. 항별로 적분하면
$q = 100(400 - 300) + \frac{0.04}{2}(400^2 - 300^2)$
3. 수치를 대입하면
$q = 10000 + 0.02(160000 - 90000) = 10000 + 1400 = 11400J$
4. 따라서
$q = 11.4kJ$

NoteBase

선지별 해설

① X
$10.0kJ$는 $q = a\Delta T$만 계산하고 bT 항의 적분값 $1.4kJ$를 빠뜨린 값이다. 올바르게는 $q = 11.4kJ$이다.

② O
적분 결과가 정확히 $11.4kJ$이므로 옳다.

③ X
$12.8kJ$는 $\int bT dT$를 $\frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2)$가 아니라 $b(T_2^2 - T_1^2)$처럼 계산하여 $\frac{1}{2}$를 빠뜨릴 때 나오는 값이다. 올바르게는 $11.4kJ$이다.

④ X
$14.2kJ$는 실제 적분 결과 $11.4kJ$보다 큰 과대계산 값이다. C_V의 온도의존성을 적분으로 처리하지 않거나 계수를 잘못 곱하면 이런 값이 나온다. 올바르게는 $11.4kJ$이다.

오답 포인트

상수열용량처럼 $q = C\Delta T$만 적용하면 ①처럼 되고, bT 적분에서 $\frac{1}{2}$를 빠뜨리면 ③처럼 된다. 이 문제의 함정은 C_V가 상수가 아니라 T의 함수라는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

열용량이 온도의 함수로 주어지면 먼저 과정 조건을 확인해 $q = \int C_V dT$ 또는 $q = \int C_P dT$를 정한 뒤, 식을 그대로 적분하고 마지막에 J를 kJ로 환산하면 된다.

암기 포인트

$C_V = a + bT$이면 $q = a\Delta T + \frac{b}{2}(T_2^2 - T_1^2)$가 된다.

NoteBase

문 7. 화학퍼텐셜(chemical potential, μ_i)의 정의로 옳지 않은 것은? (단, n은 계의 총 몰 수이고, n_i는 성분 i의 몰 수이며, $n_{j\neq i}$는 i 성분 이외의 모든 성분의 몰 수를 일정하게 유지한다는 것을 의미한다. H: 몰엔탈피, S: 몰엔트로피, A: 몰헬름홀츠에너지, G: 몰깁스에너지, U: 몰내부에너지, V: 몰부피, T: 온도, P: 압력)

① $\mu_i = \left[\frac{\partial(nH)}{\partial n_i}\right]_{S,P,n_{j\neq i}}$
② $\mu_i = \left[\frac{\partial(nS)}{\partial n_i}\right]_{U,V,n_{j\neq i}}$
③ $\mu_i = \left[\frac{\partial(nA)}{\partial n_i}\right]_{T,V,n_{j\neq i}}$
④ $\mu_i = \left[\frac{\partial(nG)}{\partial n_i}\right]_{P,T,n_{j\neq i}}$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 화학퍼텐셜 μ_i가 각 열역학 퍼텐셜의 성분 i에 대한 부분몰량으로 어떻게 정의되는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

화학퍼텐셜 μ_i는 다른 성분의 몰수를 고정한 채 성분 i를 미소하게 추가할 때 전체 퍼텐셜이 얼마나 변하는지를 나타내는 부분몰 성질이다.
문제의 표기처럼 nH, nS, nA, nG, nU를 전체량으로 보면, μ_i는 nU, nH, nA, nG의 자연변수 조건에서 각각 해당 퍼텐셜의 n_i에 대한 편미분으로 정의된다.
반면 엔트로피 표현에서는 $(\partial(nS)/\partial n_i)_{U,V,n_{j\neq i}} = -\mu_i/T$가 되므로 그대로 μ_i와 같지 않다.

선지별 해설

① O
- 엔탈피 nH는 S, P, n_i를 자연변수로 가지므로 $(\partial(nH)/\partial n_i)_{S,P,n_{j\neq i}}$의 값이 μ_i이다. 부분몰 엔탈피가 아니라 화학퍼텐셜의 일반 정의식과 일치하므로 옳다.

② X
- 틀린 부분은 $\mu_i = (\partial(nS)/\partial n_i)_{U,V,n_{j\neq i}}$라는 등식이다.
- 실제로는 엔트로피 표현에서 $d(nS) = \frac{1}{T}d(nU) + \frac{P}{T}d(nV) - \sum_i \frac{\mu_i}{T}dn_i$이므로 $(\partial(nS)/\partial n_i)_{U,V,n_{j\neq i}} = -\mu_i/T$이다. 즉 부호와 T 인자가 빠져 있어 틀리다.

③ O
- 헬름홀츠에너지 nA는 T, V, n_i를 자연변수로 가지므로 $(\partial(nA)/\partial n_i)_{T,V,n_{j\neq i}} = \mu_i$이다. 화학퍼텐셜의 정의와 맞으므로 옳다.

④ O
- 깁스에너지 nG는 T, P, n_i를 자연변수로 가지므로 $(\partial(nG)/\partial n_i)_{T,P,n_{j\neq i}} = \mu_i$이다. 가장 대표적인 화학퍼텐셜 정의식이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

②는 엔트로피를 미분할 때도 다른 퍼텐셜처럼 그대로 μ_i가 나온다고 착각하게 만드는 선지이다. 엔트로피 표현에서는 항상 $-\mu_i/T$가 붙는다는 점을 놓치면 ②를 맞는 식처럼 보게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 퍼텐셜의 자연변수를 먼저 확인하면 된다. $U \to (S, V)$, $H \to (S, P)$, $A \to (T, V)$, $G \to (T, P)$ 조건에서는 μ_i가 그 퍼텐셜의 n_i 편미분으로 바로 나오고, 엔트로피 S를 직접 미분하는 식만 $-\mu_i/T$ 형태로 바뀐다.

암기 포인트

μ_i는 U, H, A, G에서는 자연변수 조건의 부분몰량이고, S에서는 $-\mu_i/T$로 나타난다.

NoteBase

문 8. 200 K, 100 kPa의 온도와 압력에 있는 1몰의 이상기체가 가역 공정을 거쳐 400 K, 200 kPa로 변화할 때, 엔트로피 변화량 $\left(\frac{\Delta S}{R}\right)$의 절댓값은? (단, 이상기체의 정압열용량 $C_P = 1.5R$, R은 기체상수이다)

① $0.5\ln 2$

② $\ln 2$

③ $1.5\ln 2$

④ $2.5\ln 2$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔트로피 변화식 $\Delta S = nC_p\ln(T_2/T_1) - nR\ln(P_2/P_1)$를 적용해 $|\Delta S|/R$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $n = 1, T_1 = 200K, P_1 = 100kPa, T_2 = 400K, P_2 = 200kPa, C_p = 1.5R$이다.
구해야 할 값: $|\Delta S|/R$이다.
주의할 조건: 온도와 압력이 모두 2배가 되므로 로그항 두 개를 함께 계산해야 한다.

사용할 공식

$\Delta S = nC_p\ln\frac{T_2}{T_1} - nR\ln\frac{P_2}{P_1}$
양변을 R로 나누면
$\frac{\Delta S}{R} = \frac{C_p}{R}\ln\frac{T_2}{T_1} - \ln\frac{P_2}{P_1}$
이 공식을 쓰는 이유: 이상기체의 엔트로피 변화는 상태함수이므로 초기 상태와 최종 상태의 T, P만으로 계산할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 온도비와 압력비를 정리하면 $T_2/T_1 = 400/200 = 2$, $P_2/P_1 = 200/100 = 2$이다.
2. $C_p = 1.5R$이므로 $C_p/R = 1.5$이다.
3. 식에 대입하면 $\Delta S/R = 1.5\ln 2 - \ln 2 = 0.5\ln 2$이다.
4. 절댓값을 취해도 $|\Delta S|/R = 0.5\ln 2$이다.

NoteBase

선지 판단

① O
- 계산 결과가 $0.5\ln 2$이므로 맞다.

② X
- 제시값 $\ln 2$는 식 $1.5\ln 2 - \ln 2$를 끝까지 정리하면 남지 않는 값이므로 틀리다. 틀린 수치 → 올바르게는 $0.5\ln 2$이다.

③ X
- $1.5\ln 2$는 $-\ln(P_2/P_1)$ 압력항을 빠뜨리고 $C_p\ln(T_2/T_1)$만 쓴 값이므로 틀리다. 틀린 수치 → 올바르게는 $0.5\ln 2$이다.

④ X
- $2.5\ln 2$는 압력항을 빼야 하는데 더한 $1.5\ln 2 + \ln 2$에 해당하므로 틀리다. 틀린 수치 → 올바르게는 $0.5\ln 2$이다.

오답 포인트

온도 상승 항과 압력 상승 항이 각각 $+1.5\ln 2$, $-\ln 2$로 함께 들어간다는 점이 함정이다. 압력항을 누락하면 ③이 되고, 압력항의 부호를 반대로 쓰면 ④가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 엔트로피 변화 문제는 먼저 (T, P)식 또는 (T, V)식을 정한 뒤, 상태비를 대입하고 각 로그항의 부호가 더하기인지 빼기인지 끝까지 확인하면 된다.

암기 포인트

$\Delta S/R = (C_p/R)\ln(T_2/T_1) - \ln(P_2/P_1)$이다. 온도 상승은 엔트로피를 증가시키고 압력 상승은 엔트로피를 감소시킨다.

NoteBase

문 9. 사이클로헥사논(1)/페놀(2)로 구성된 이성분계가 140°C에서 기-액 평형상태에 있다. 다음 ㉠, ㉡에 대한 활동도 계수 비 $\frac{\gamma_1}{\gamma_2}$를 각각 구하면? (단, 140°C에서 사이클로헥사논의 증기압은 70 kPa, 페놀의 증기압은 30 kPa, γ는 활동도 계수, α_{12}는 페놀에 대한 사이클로헥사논의 상대휘발도, 기상은 이상기체이다)

㉠ $\alpha_{12} = 3.5$에서의 활동도 계수 비
㉡ 공비점에서의 활동도 계수 비

① ㉠: 1.50, ㉡: 0.43
② ㉠: 1.50, ㉡: 2.33
③ ㉠: 8.17, ㉡: 0.43
④ ㉠: 8.17, ㉡: 2.33

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 기액 평형에서 상대휘발도와 활동도 계수의 관계식 $\alpha_{12} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{\gamma_1 P_1^{sat}}{\gamma_2 P_2^{sat}}$를 이용해 γ_1/γ_2를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $P_1^{sat} = 70kPa, P_2^{sat} = 30kPa$이다.
ㄱ에서는 $\alpha_{12} = 3.5$가 주어진다.
ㄴ의 공비점에서는 기상과 액상의 조성이 같으므로 $K_1 = K_2$, 즉 $\alpha_{12} = 1$이다.
구해야 할 값은 각각의 경우에 대한 γ_1/γ_2이다.

사용할 공식

$\alpha_{12} = \frac{K_1}{K_2} = \frac{\gamma_1 P_1^{sat}}{\gamma_2 P_2^{sat}}$
따라서
$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \alpha_{12}\frac{P_2^{sat}}{P_1^{sat}}$
이 공식을 쓰는 이유는 기상이 이상기체이고 액상 비이상성은 활동도 계수 γ로 반영되므로, 상대휘발도가 바로 활동도 계수 비와 순수성분 증기압 비의 곱으로 정리되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. ㄱ에서
$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 3.5 \times \frac{30}{70} = 1.5$
2. ㄴ의 공비점에서는 $\alpha_{12} = 1$이므로
$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 1 \times \frac{30}{70} = 0.42857 \approx 0.43$
3. 따라서 ㄱ=1.50, ㄴ=0.43이다.

선지별 해설

① O: ㄱ이 1.50, ㄴ이 0.43이므로 계산 결과와 일치한다.
② X: ㄱ의 1.50은 맞지만 ㄴ의 2.33이 틀리다. 공비점에서는 $\alpha_{12} = 1$이므로 $\gamma_1/\gamma_2 = 30/70 = 0.43$이어야 한다. 틀린 표현은 "ㄴ = 2.33"이고, 올바르게는 "ㄴ = 0.43"이다.
③ X: ㄱ의 8.17이 틀리다. $3.5 \times 30/70 = 1.5$인데 이를 반대로 나누거나 역수를 취하면 큰 값이 나온다. 틀린 표현은 "ㄱ = 8.17"이고, 올바르게는 "ㄱ = 1.50"이다. ㄴ의 0.43은 맞다.
④ X: ㄱ의 8.17과 ㄴ의 2.33이 모두 틀리다. γ_1/γ_2는 증기압 비 30/70를 곱해야 하므로 ㄱ은 1.50, 공비점의 ㄴ은 0.43이 된다. 틀린 표현은 "ㄱ = 8.17, ㄴ = 2.33"이고, 올바르게는 "ㄱ = 1.50, ㄴ = 0.43"이다.

오답 포인트

상대휘발도 식에서 P_1^{sat}/P_2^{sat}와 P_2^{sat}/P_1^{sat}를 뒤집는 실수가 가장 흔하다. 또 공비점에서 $\alpha_{12} = 1$이라는 성질을 놓치면 ㄴ을 2.33처럼 역수 형태로 잘못 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

기액 평형에서 상대휘발도와 활동도 계수 비를 묻는 문제는 먼저 $\alpha_{12} = \frac{\gamma_1 P_1^{sat}}{\gamma_2 P_2^{sat}}$를 쓴 뒤, 구하려는 항이 γ_1/γ_2이면 증기압 비를 P_2^{sat}/P_1^{sat}로 넘겨 정리한다. 공비점이 나오면 즉시 $\alpha_{12} = 1$을 대입하면 된다.

암기 포인트

상대휘발도는 $\alpha_{12} = \frac{\gamma_1 P_1^{sat}}{\gamma_2 P_2^{sat}}$이며, 공비점에서는 항상 $\alpha_{12} = 1$이다.

NoteBase

문 10. 닫힌계에 대한 열역학적 관계식으로 옳지 않은 것은? (단, P: 압력, V: 몰부피, T: 온도, U: 몰내부에너지, H: 몰엔탈피, S: 몰엔트로피, G: 몰깁스에너지)

① $T = \left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$

② $P = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_S$

③ $V = \left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S$

④ $S = -\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P$

정답 2번

출제 포인트

닫힌계의 기본 열역학 관계식 $dU = TdS - PdV$, $dH = TdS + VdP$, $dG = -SdT + VdP$에서 자연변수에 대한 편미분 관계와 부호를 정확히 읽는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

이 문항은 상태함수의 자연변수를 정리해 두면 바로 판별된다.
$U = U(S, V)$, $H = H(S, P)$, $G = G(T, P)$로 본다.
발문은 '옳지 않은 것'이므로 틀린 관계식 하나를 골라야 한다.

사용할 공식

$dU = TdS - PdV$

$dH = TdS + VdP$

$dG = -SdT + VdP$

이 식들은 각 상태함수의 전미분형이다. 따라서 자연변수의 계수는 해당 편미분값과 바로 연결되고, 특히 dU와 dG에서는 음의 부호를 놓치지 않아야 한다.

NoteBase

선지별 해설

① O

$dU = TdS - PdV$에서 V를 일정하게 두면 $T = (\partial U/\partial S)_V$가 된다. 내부에너지 U의 자연변수는 S, V이므로 맞는 관계식이다.

② X

같은 식에서 S를 일정하게 두면 $(\partial U/\partial V)_S = -P$가 된다. 틀린 표현은 압력 앞의 부호가 빠진 점이다. 올바르게는 $P = -(\partial U/\partial V)_S$이다.

③ O

$dH = TdS + VdP$이므로 S 일정에서 $(\partial H/\partial P)_S = V$가 된다. 엔탈피 H의 자연변수는 S, P이므로 맞다.

④ O

$dG = -SdT + VdP$이므로 P 일정에서 $(\partial G/\partial T)_P = -S$이다. 따라서 $S = -(\partial G/\partial T)_P$가 되어 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 상태함수의 자연변수는 기억하면서도 미분식의 계수 부호를 놓치는 것이다. 특히 dU의 $-PdV$와 dG의 $-SdT$는 음수 계수이므로, ②처럼 부호를 빼먹으면 바로 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 상태함수와 자연변수를 짝지은 뒤 전미분형을 쓴다. 그다음 물어보는 편미분이 어느 항의 계수인지 확인하고, 마지막에 음의 부호가 있는 항인지 한 번 더 대조하면 된다.

암기 포인트

$dU = TdS - PdV$, $dH = TdS + VdP$, $dG = -SdT + VdP$에서 계수는 편미분값이며, U와 G 식의 음수 부호가 함정이다.

NoteBase

문 11. $100^\circ\mathrm{C}$, 1bar**의 물이 일정온도와 일정압력에서 증발할 때, 내부에너지 변화량**$[\mathrm{kJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}]$**은? (단, 주어진 조건에서 물의 증발잠열은** $2,200\mathrm{kJ}\cdot\mathrm{kg}^{-1}$**, 물과 수증기의 비부피는 각각** $0.001\mathrm{m}^3\cdot\mathrm{kg}^{-1}$**과** $1.671\mathrm{m}^3\cdot\mathrm{kg}^{-1}$**이다)**

① 167

② 2,033

③ 2,200

④ 2,367

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 일정압력에서 물이 증발할 때 $q=\Delta u+P\Delta v$ 관계를 이용해 내부에너지 변화량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 증발잠열 $q=2200kJ/kg$, 압력 $P=1bar=100kPa$, 액체 물의 비부피 $v_f=0.001m^3/kg$, 수증기의 비부피 $v_g=1.671m^3/kg$이다.
구해야 할 값은 내부에너지 변화량 Δu이다.
주의할 조건은 잠열 q 자체가 내부에너지 변화량이 아니라, 일정압력 팽창일 $P\Delta v$를 제외한 값이 Δu라는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $q=\Delta u+P\Delta v$ 이다.
이 문제는 일정온도·일정압력에서의 증발 과정이므로, 들어간 열량 q 중 일부가 경계면 팽창일 $P\Delta v$로 쓰이고 나머지가 내부에너지 증가분 Δu가 된다.

계산 과정

1. 비부피 변화량을 구하면 $\Delta v=v_g-v_f=1.671-0.001=1.670m^3/kg$ 이다.
2. 팽창일은 $P\Delta v=100kPa\times1.670m^3/kg=167kJ/kg$ 이다. 여기서 $1kPa\cdot m^3=1kJ$ 이다.
3. 따라서 내부에너지 변화량은 $\Delta u=q-P\Delta v=2200-167=2033kJ/kg$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: ①의 $167 kJ/kg$ 는 내부에너지 변화량이 아니라 팽창일 $P\Delta v$ 이다. 틀린 값 167을 내부에너지 변화량으로 고치면 $2033 kJ/kg$ 이다.
② O: $\Delta u = 2200 - 167 = 2033 kJ/kg$ 이므로 옳다.
③ X: ③의 $2200 kJ/kg$ 는 주어진 증발잠열 q 자체이다. 일정압력 증발에서는 열량 전부가 내부에너지로 가지 않으므로, 틀린 값 2200을 내부에너지 변화량으로 고치면 $2033 kJ/kg$ 이다.
④ X: ④의 $2367 kJ/kg$ 는 $2200 + 167$ 로 계산한 값으로, 팽창일의 부호를 반대로 처리한 결과이다. 틀린 값 2367을 내부에너지 변화량으로 고치면 $2033 kJ/kg$ 이다.

오답 포인트

잠열 q, 엔탈피 변화, 내부에너지 변화량을 같은 값으로 두기 쉽다는 점이 함정이다. 이 문항은 일정압력 증발에서 $P\Delta v$ 를 빼야 한다는 부호 판단을 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

상변화 계산에서 일정압력과 비부피 변화가 함께 주어지면 먼저 $P\Delta v$ 를 계산하고, 문제에서 묻는 값이 q, Δh, Δu 중 무엇인지 구분한 뒤 관계식을 적용하면 된다.

암기 포인트

일정압력 기화에서는 $q = \Delta u + P\Delta v$ 이므로 잠열 q 가 내부에너지 증가량보다 $P\Delta v$ 만큼 크다.

NoteBase

문 12. 디젤기관(Diesel engine)과 오토기관(Otto engine)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

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

② 압축비가 같다면 디젤기관이 오토기관보다 열효율이 높다.

③ 실제 디젤기관에서는 오토기관의 압축비보다 높은 압축비를 사용한다.

④ 디젤기관은 압축착화 왕복기관이고 오토기관은 불꽃점화 왕복기관이다.

정답 2번

출제 포인트

디젤기관과 오토기관의 점화 방식, 실제 압축비, 같은 압축비에서의 이상사이클 열효율 차이를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

디젤기관은 공기만 먼저 높은 압축비로 압축한 뒤 연료를 분사하여 압축착화시키는 기관이다. 키워드는 고압축, 연료 분사, 자기착화이다.
오토기관은 공기와 연료의 혼합기를 압축한 뒤 점화플러그의 불꽃으로 점화하는 기관이다. 키워드는 혼합기 압축, 불꽃점화이다.
같은 압축비로 이상사이클을 비교하면 오토사이클의 열효율이 디젤사이클보다 높고, 실제 엔진은 디젤기관이 더 높은 압축비를 사용하므로 실용 열효율이 높게 나타난다.

NoteBase

선지별 해설

① O
디젤기관은 흡입 시 공기만 받아들이고 이를 연료의 자연발화 온도 이상이 되도록 압축한 뒤 연료를 분사하여 자기착화시킨다. 선지의 설명은 디젤기관의 기본 작동 원리를 정확히 말한다.

② X
틀린 부분은 "압축비가 같다면 디젤기관이 오토기관보다 열효율이 높다"는 표현이다.
실제로는 같은 압축비에서 이상사이클 열효율은 오토기관이 더 높다. 디젤사이클은 정압가열 구간이 있어 같은 압축비 조건에서는 오토사이클보다 열효율이 낮다.

③ O
실제 디젤기관은 자기착화를 위해 오토기관보다 높은 압축비를 사용한다. 이 때문에 실제 운전에서는 디젤기관이 높은 효율을 갖기 쉽다.

④ O
디젤기관은 압축착화식 왕복기관이고 오토기관은 불꽃점화식 왕복기관이다. 점화 방식의 구분을 정확히 쓴 선지이다.

오답 포인트

실제 엔진의 높은 효율과 같은 압축비에서의 이상사이클 효율을 혼동하면 ②를 맞는 선지로 오해하게 된다. 이 문항은 실제 사용 조건과 동일 압축비 이론 비교를 의도적으로 섞어 놓은 함정이 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 점화 방식을 구분하고, 그다음 비교 조건이 실제 엔진인지 같은 압축비의 이상사이클인지 확인하면 된다. 같은 압축비 비교이면 오토사이클 효율이 높고, 실제 엔진 비교이면 디젤기관이 더 높은 압축비를 써서 효율이 높게 나타난다.

암기 포인트

오토는 불꽃점화, 디젤은 압축착화이다. 같은 압축비 효율은 오토가 높고, 실제 압축비는 디젤이 높다.

NoteBase

문 13. 다음 괄호 안에 들어갈 용어로 옳은 것은?

닫힌계의 순수한 물질이 일정온도, 일정압력에서 상변화를 일으킬 때, 1몰당 (㉠)는 변화하지 않으며, 이로부터 액체의 증발잠열과 증기압곡선과의 연관성을 나타내는 (㉡)식을 유도할 수 있다.

① ㉠: 엔탈피(enthalpy), ㉡: 왓슨(Watson)

② ㉠: 내부(internal)에너지, ㉡: 클라페이론(Clapeyron)

③ ㉠: 깁스(Gibbs)에너지, ㉡: 클라페이론(Clapeyron)

④ ㉠: 엔트로피(entropy), ㉡: 왓슨(Watson)

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 상평형에서 변하지 않는 몰 성질이 깁스에너지라는 점과, 그 성질로부터 증발잠열과 증기압곡선을 연결하는 클라페이론 식을 유도한다는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

깁스에너지: 일정 온도, 일정 압력에서 자발성 및 상평형을 판단하는 상태함수이며, 순수물질의 상평형에서는 두 상의 몰 깁스에너지가 같아 $g^{\alpha} = g^{\beta}$이다.
클라페이론 식: 상평형선의 기울기와 잠열의 관계를 나타내는 식이며 $\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H}{T\Delta V}$로 쓴다.
왓슨 식: 한 온도에서의 증발잠열을 다른 온도의 증발잠열로 추산하는 경험식이며, 증기압곡선의 기본 평형식 자체는 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 틀린 부분은 "(ㄱ) 엔탈피"와 "(ㄴ) 왓슨"이다.
- 상변화 중 엔탈피는 증발잠열만큼 변하므로 일정하게 유지되는 몰 성질이 아니다. 또한 증기압곡선과 잠열의 직접 관계식은 클라페이론 식이다.
- 올바르게는 "(ㄱ) 깁스에너지, (ㄴ) 클라페이론"이다.

② X
- 틀린 부분은 "(ㄱ) 내부에너지"이다.
- 내부에너지는 상변화 시 분자 간 상호작용 상태가 달라져 변할 수 있다. 반면 상평형에서 변하지 않는 것은 각 상의 몰 깁스에너지이고, 클라페이론 식은 맞는 연결이다.
- 올바르게는 "(ㄱ) 깁스에너지, (ㄴ) 클라페이론"이다.

③ O
- 상평형의 순수물질은 일정 온도, 일정 압력에서 두 상의 몰 깁스에너지가 같고, 이 평형조건과 $dg = vdP - sdT$ 관계로부터 클라페이론 식을 유도할 수 있다.
- 따라서 "(ㄱ) 깁스에너지, (ㄴ) 클라페이론"의 짝이 옳다.

④ X
- 틀린 부분은 "(ㄱ) 엔트로피"와 "(ㄴ) 왓슨"이다.
- 엔트로피는 상변화에서 $\Delta s = \Delta h_{vap}/T$ 만큼 변하므로 일정하지 않다. 또한 왓슨 식은 경험적 잠열 상관식이지 증기압곡선의 평형 미분식이 아니다.
- 올바르게는 "(ㄱ) 깁스에너지, (ㄴ) 클라페이론"이다.

오답 포인트

상변화와 잠열이 함께 나오면 엔탈피를 먼저 떠올리기 쉽지만, 문제의 핵심은 "상평형에서 변하지 않는 1몰당 성질"이다. 이 표현은 엔탈피나 엔트로피가 아니라 두 상에서 같아지는 몰 깁스에너지를 가리킨다. 또한 잠열 식이라는 이유만으로 왓슨 식을 고르면, 경험 상관식과 평형식의 구분을 놓치게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

상변화 평형 문제에서 일정 온도, 일정 압력, 순수물질, 두 상 공존이 보이면 먼저 몰 깁스에너지의 동일조건을 떠올리면 된다. 이어서 상평형선의 기울기나 증기압곡선과 잠열의 관계를 묻는다면 클라페이론 식으로 연결하면 된다.

암기 포인트

상평형은 몰 깁스에너지 동일, 증기압곡선과 잠열의 연결은 클라페이론, 잠열 온도보정 경험식은 왓슨이다.

NoteBase

문 14. 어떤 열기관이 500 K에서 100 kJ의 열을 흡수하여 일을 생산하고, 300 K에서 열을 버린다. 열기관의 실제 열효율이 최대 가능 값의 50%일 때, 열기관이 한 일[kJ]은?

① 20

② 30

③ 40

④ 50

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 카르노 열기관의 최대 효율과 실제 효율의 관계를 이용해 일의 양을 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 고온 열원 온도 $T_H = 500K$, 저온 열원 온도 $T_C = 300K$, 흡수한 열 $Q_H = 100kJ$이다.
- 구해야 할 값: 열기관이 한 일 W이다.
- 주의할 조건: 실제 열효율은 50%가 아니라 최대 가능 효율의 50%이다.

사용할 공식

$\eta_{max} = 1 - \frac{T_C}{T_H}, \quad \eta = \frac{W}{Q_H}$

이 공식을 쓰는 이유는 두 열원 사이에서 작동하는 열기관의 최대 가능 효율이 카르노 효율로 주어지고, 실제 효율은 그 최대값의 50%라는 조건이 있기 때문이다.

계산 과정

1. 최대 가능 효율은 $\eta_{max} = 1 - \frac{300}{500} = 0.4$이다.
2. 실제 효율은 최대 가능값의 50%이므로 $\eta = 0.5 \times 0.4 = 0.2$이다.
3. 따라서 한 일은 $W = \eta Q_H = 0.2 \times 100kJ = 20kJ$이다.

선지별 해설

① O: 계산 결과 일이 $20kJ$이므로 옳다.

② X: $30kJ$는 실제 효율을 30%로 잘못 두었을 때의 값이다. 틀린 표현은 실제 효율을 0.3으로 보는 판단이며, 올바르게는 실제 효율이 $0.5\eta_{max} = 0.2$이므로 일은 $20kJ$이다.

③ X: $40kJ$는 최대 가능 효율 40%를 실제 효율과 같다고 본 값이다. 틀린 표현은 최대 효율과 실제 효율을 동일시한 판단이며, 올바르게는 실제 효율이 최대 효율의 절반이므로 일은 $20kJ$이다.

④ X: $50kJ$는 문제의 50%를 절대 열효율 50%로 오해했을 때의 값이다. 틀린 표현은 실제 열효율이 50%라는 판단이며, 올바르게는 실제 열효율이 최대 가능 효율 40%의 절반인 20%이므로 일은 $20kJ$이다.

NoteBase

오답 포인트

함정은 '최대 가능값의 50%'를 '열효율 50%'로 읽는 데 있다. 먼저 카르노 최대 효율을 구한 뒤 그 값에 0.5를 곱해야 하며, 절대온도 K를 그대로 사용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

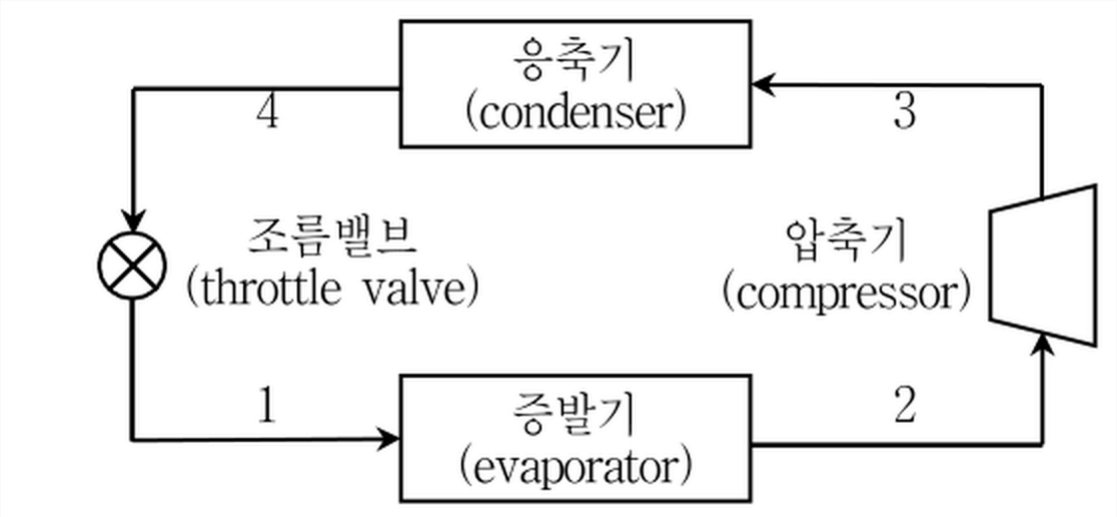
열기관 계산문제는 먼저 $\eta_{max} = 1 - T_C/T_H$로 최대 효율을 구하고, 실제 효율이 최대값의 몇 배인지 반영한 다음 $W = \eta Q_H$로 연결하면 된다.

암기 포인트

'최대의 50%'는 열효율 50%가 아니라 $0.5\eta_{max}$이며, 카르노 효율은 $1 - T_C/T_H$이다.

NoteBase

문 15. 그림은 냉방기의 증기-압축 사이클을 나타낸다. 어떤 공간에 냉방기를 설치했을 때 응축기(condenser), 조름밸브(throttle valve), 증발기(evaporator), 압축기(compressor) 중에서 실내 공기로부터 열을 흡수하여 냉방효과를 주는 장치는?



① 응축기

② 조름밸브

③ 증발기

④ 압축기

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 증기-압축 냉동사이클 도식에서 증발기가 저압 냉매가 증발하면서 실내 공기로부터 열을 흡수하는 장치라는 점을 파악하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
응축기는 고온·고압 냉매가 외부로 열을 방출하여 액화되는 장치이다. 틀린 표현은 실내 공기로부터 열을 흡수하여 냉방효과를 준다는 점이다. 올바르게는 응축기는 냉매의 열을 외부로 내보낸다.

② X
조름밸브는 냉매의 압력을 떨어뜨려 증발기 입구 상태를 만드는 장치이다. 틀린 표현은 조름밸브가 열을 흡수하여 냉방효과를 준다는 점이다. 올바르게는 조름밸브는 압력강하를 일으킬 뿐, 실내 공기와 열교환하는 장치는 아니다.

③ O
증발기는 저온·저압 냉매가 증발하면서 실내 공기로부터 열을 흡수하는 장치이다. 도식에서도 조름밸브 뒤의 냉매가 증발기를 지나며 냉방효과를 만든다.

④ X
압축기는 증발기에서 나온 냉매 증기를 높은 압력으로 압축하는 장치이다. 틀린 표현은 압축기가 실내 공기로부터 열을 흡수한다는 점이다. 올바르게는 압축기는 일 입력으로 냉매의 압력과 온도를 높여 응축기로 보낸다.

오답 포인트

조름밸브를 지나면 냉매 온도가 내려가므로 ②가 냉방을 직접 만드는 장치처럼 보이기 쉽다. 그러나 냉방효과는 온도가 낮아진 냉매가 증발기에서 실제로 실내 공기와 열교환할 때 발생한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

냉동사이클 문제에서는 먼저 열을 흡수하는 쪽과 열을 방출하는 쪽을 구분하면 된다. 실내에서 열을 빼앗는 장치는 항상 증발기이고, 외부로 열을 버리는 장치는 응축기이다.

암기 포인트

증발기는 흡열, 응축기는 방열, 조름밸브는 압력강하, 압축기는 압력상승 역할을 한다.

NoteBase

문 16. 1 bar, $12m^3$의 상태에 있는 이상기체가 가역등온압축공정을 거쳐 12 bar, $1m^3$으로 변화할 때, 소요된 일[kJ]의 절댓값은? (단, $\ln 12 = 2.5$이다)

① 0

② 300

③ 3,000

④ 30,000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 가역등온과정에서 압축 일의 절댓값을 $P_1V_1\ln(V_1/V_2)$로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $P_1 = 1bar$, $V_1 = 12m^3$, $P_2 = 12bar$, $V_2 = 1m^3$, $\ln 12 = 2.5$이다.
구해야 할 값: 가역등온압축에서 소요된 일의 절댓값이다.
주의할 조건: 등온 이상기체이므로 $P_1V_1 = P_2V_2$가 성립하고, 압축 일은 부호가 음수이지만 문제는 절댓값을 묻는다.

사용할 공식

가역등온과정의 일은 $W = \int PdV = nRT\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$ 이다.
이상기체의 등온과정에서는 $nRT = P_1V_1 = P_2V_2$이므로 일의 절댓값은 $|W| = P_1V_1\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$ 로 바로 계산할 수 있다.

계산 과정

1. $P_1V_1 = (1bar)(12m^3) = 12bar \cdot m^3$이다.
2. $1bar \cdot m^3 = 10^5J = 100kJ$이므로 $12bar \cdot m^3 = 1200kJ$이다.
3. 따라서 $|W| = 1200 \times \ln 12 = 1200 \times 2.5 = 3000kJ$ 이다.

선지별 해설

① X: 가역등온압축에서는 부피 변화가 있으므로 일이 0이 아니다. 올바르게는 $|W| = 3000kJ$이다.
② X: $300kJ$는 $1bar \cdot m^3 = 10kJ$로 잘못 환산하면 나오는 값이다. 올바르게는 $1bar \cdot m^3 = 100kJ$이므로 $3000kJ$가 된다.
③ O: $|W| = P_1V_1\ln(V_1/V_2) = 1200 \times 2.5 = 3000kJ$이므로 맞다.
④ X: $30000kJ$는 $1bar \cdot m^3$를 $1000kJ$로 과대환산한 값이다. 올바르게는 단위 환산 후 $3000kJ$이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 압축 일의 부호와 절댓값을 섞는 것, 그리고 $1bar \cdot m^3 = 100kJ$ 환산을 틀리는 것이다. 이 문항은 공식 자체보다 단위 환산과 로그항 방향 $\ln(V_1/V_2)$를 정확히 쓰는지를 묻는다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역등온 이상기체 문제는 먼저 $P_1V_1 = P_2V_2 = nRT$를 확인하고, 그다음 $W = nRT\ln(V_2/V_1)$ 또는 절댓값 $|W| = nRT\ln(V_1/V_2)$를 적용한 뒤 $1bar \cdot m^3 = 100kJ$로 단위 검산을 하면 된다.

암기 포인트

가역등온 이상기체의 일은 PV 한 점 값에 로그항을 곱하고, $1bar \cdot m^3 = 100kJ$로 환산한다.

NoteBase

문 17. 300 마력의 출력을 가진 자동차의 열효율이 25 %이다. 연료 1 kg이 30,000 kJ의 열을 낸다면, 이 자동차의 시간당 연료 소비량 $[kg \cdot h^{-1}]$은? (단, 1 마력 = 0.75 kW이다)

① 1.80

② 6.75

③ 108

④ 192

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 출력, 열효율, 연료의 발열량을 연결하여 시간당 연료 소비량을 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 출력 300 마력, 열효율 25%, 연료 발열량 $30{,}000 kJ/kg$이다.
구해야 할 값은 시간당 연료 소비량 kg/h이다.
주의할 조건은 1 마력 = 0.75 kW 변환과 초당 값을 시간당 값으로 바꾸는 과정이다.

사용할 공식

열효율은 = 유효출력/열입력이다.
연료 소비율은 m = Q_in/발열량이다.
이 문제는 자동차의 유효출력이 주어졌으므로, 먼저 출력에서 필요한 열입력률을 구한 뒤 그 값을 연료 $1kg$당 방출열로 나누면 연료 소비율을 구할 수 있다.

계산 과정

1. 출력 변환은 $300 \times 0.75 = 225 kW$이므로 유효출력은 $225 kJ/s$이다.
2. 열효율 $\eta = 0.25$이므로 열입력률은 $\dot{Q}_{in} = 225/0.25 = 900 kJ/s$이다.
3. 연료 소비율은 $\dot{m} = 900/30{,}000 = 0.03 kg/s$이다.
4. 시간당 소비량은 $0.03 \times 3600 = 108 kg/h$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 1.80은 0.03*kg/s*를 1시간이 아니라 1분으로 환산한 값이다. 틀린 표현은 '1.80'이고, 올바르게는 '108 *kg/h*'이다.
② X. 6.75는 열효율 25%를 나누지 않고 곱하는 식의 오류에서 나오는 값이다. 효율은 같은 출력을 얻기 위해 필요한 열입력률을 키우므로 225/0.25로 계산해야 한다. 틀린 표현은 '6.75'이고, 올바르게는 '108 *kg/h*'이다.
③ O. 출력 225*kJ/s*, 열입력률 900*kJ/s*, 연료 소비율 0.03*kg/s*를 거치면 시간당 108*kg/h*가 된다. 따라서 ③이 옳다.
④ X. 정확한 계산값은 108*kg/h*이므로 '192'는 맞지 않는다. 이 값은 열입력률이나 시간 환산을 잘못 잡은 오답이다. 틀린 표현은 '192'이고, 올바르게는 '108 *kg/h*'이다.

오답 포인트

효율 문제에서 가장 흔한 함정은 효율을 곱할지 나눌지 반대로 잡는 점과, *kg/s*를 *kg/h*로 바꾸는 ×3600 환산을 빠뜨리는 점이다. ①은 시간 환산 실수, ②는 효율 적용 실수를 노린 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

동력과 효율이 함께 주어지면 먼저 출력을 *kW* 또는 *kJ/s*로 통일하고, 효율식 = 유효출력/열입력에서 열입력률을 구한 뒤, 마지막에 발열량으로 나누고 시간 단위를 맞추는 순서로 판단한다.

암기 포인트

효율은 유효출력/투입에너지이므로 필요한 투입에너지는 항상 효율로 나누어 구한다.

NoteBase

문 18. 400 K와 4 bar의 상태에 있는 이상기체가 1 bar까지 가역단열팽창될 때, 최종온도[K]는? (단, $C_p = 2R$이며 R은 기체상수이다)

① 100

② 200

③ 300

④ 400

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 가역단열 관계식과 $C_p - C_v = R$를 이용해 최종온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 초기온도 $T_1 = 400K$, 초기압력 $P_1 = 4bar$, 최종압력 $P_2 = 1bar$, $C_p = 2R$이다.
구해야 할 값은 최종온도 T_2이다.
주의할 조건은 이상기체의 가역단열팽창이므로 비열비 γ를 먼저 구한 뒤 등엔트로피 관계식을 적용해야 한다는 점이다.

사용할 공식

$C_v = C_p - R = R$이므로 $\gamma = C_p/C_v = 2$이다.
가역단열 이상기체에서는
$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제 조건이 이상기체의 가역단열팽창이므로 압력비와 비열비로 최종온도를 바로 연결할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $C_p = 2R$에서 $C_v = C_p - R = R$이므로 $\gamma = 2$이다.
2. 지수는 $(\gamma-1)/\gamma = (2-1)/2 = 1/2$이다.
3. 따라서
$T_2 = 400\left(\frac{1}{4}\right)^{1/2} = 400 \times \frac{1}{2} = 200K$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계산 결과 $T_2 = 200K$이므로 100은 아니다.
틀린 표현은 "최종온도는 100K"이고, 올바르게는 "최종온도는 200K"이다.
100K는 온도가 압력에 정비례한다고 잘못 두면 나오는 값이다.

② O
$\gamma = 2$이므로 $T_2 = 400 \times (1/4)^{1/2} = 200K$이다.
따라서 200K가 맞다.

③ X
계산 결과와 일치하지 않으므로 틀리다.
틀린 표현은 "최종온도는 300K"이고, 올바르게는 "최종온도는 200K"이다.
압력비에 대한 지수 적용을 잘못하면 이런 중간값을 고르기 쉽다.

④ X
가역단열팽창에서는 기체가 일을 하면서 온도가 내려가므로 400K로 유지되지 않는다.
틀린 표현은 "최종온도는 400K"이고, 올바르게는 "최종온도는 200K"이다.

오답 포인트

C_p가 주어졌다고 바로 γ를 쓰지 못하고, 먼저 $C_v = C_p - R$를 구해야 한다는 점이 함정이다.
또한 가역단열팽창에서 T가 압력과 단순비례한다고 보면 100K를 고르게 되고, 단열인데 온도 변화가 없다고 착각하면 400K를 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역단열 이상기체 문제는 먼저 $C_p - C_v = R$로 C_v와 γ를 구하고, 그다음 $T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma}$를 적용해 최종상태를 판단한다.

암기 포인트

$C_p = 2R$이면 $C_v = R$, $\gamma = 2$이고, 가역단열팽창에서는 압력이 내려가면 온도도 함께 내려간다.

NoteBase

문 19. 1기압, 100°C의 물 10 g과 같은 조건의 수증기 10 g을 일정한 압력에서 각각 냉각시켜 50°C의 물로 만들 때 방출하는 열[cal]을 비교한 것으로 옳은 것은? (단, 물의 비열은 $1\mathrm{cal}\cdot\mathrm{g}^{-1}\cdot{}^{\circ}\mathrm{C}^{-1}$, 증발잠열은 $540\mathrm{cal}\cdot\mathrm{g}^{-1}$이다)

① 수증기와 물은 같은 양의 열을 방출한다.

② 수증기가 방출하는 열은 물이 방출하는 열의 9.8배이다.

③ 수증기가 방출하는 열은 물이 방출하는 열의 10.8배이다.

④ 수증기가 방출하는 열은 물이 방출하는 열의 11.8배이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 물의 현열과 수증기의 응축잠열을 함께 계산하여 총 방출열의 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 1기압, 100°C의 물 10g과 같은 조건의 수증기 10g, 최종 상태는 50°C의 물, 물의 비열은 $1cal\cdot g^{-1}\cdot{}^{\circ}C^{-1}$, 증발잠열은 $540cal\cdot g^{-1}$이다.
구해야 할 값은 각각 방출하는 열과 그 비이다.
주의할 조건은 수증기는 먼저 100°C에서 응축한 뒤, 생성된 물이 다시 50°C까지 냉각된다는 점이다.

사용할 공식

물의 냉각에는 $Q = mc\Delta T$를 사용하고, 수증기의 응축에는 $Q = mL$를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 물은 상변화 없이 100°C에서 50°C로 내려가므로 현열만 계산하면 되고, 수증기는 100°C에서 물로 바뀌는 상변화와 그 뒤의 냉각이 연속해서 일어나기 때문이다.

계산 과정

1. 물 10g이 100°C에서 50°C로 냉각될 때 방출열은 Q_물=mcΔ T=10×1×(100-50)=500 cal 이다.
2. 수증기 10g이 100°C에서 응축할 때 방출열은 Q_응축=mL=10×540=5400 cal 이다.
3. 응축된 물 10g이 다시 100°C에서 50°C로 냉각될 때 방출열은 Q_냉각=10×1×50=500 cal 이다.
4. 따라서 수증기의 총 방출열은 Q_수증기=5400+500=5900 cal 이고, 비는 (Q_수증기)/(Q_물)=(5900)/(500)=11.8 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: "같은 양의 열"이 틀린 표현이다. 물은 500*cal*, 수증기는 5900*cal*을 방출하므로 두 값은 같지 않다. 올바르게는 수증기가 물보다 11.8배 많은 열을 방출한다.
② X: "9.8배"가 틀린 표현이다. 수증기는 응축잠열 5400*cal*뿐 아니라 응축 후 물이 식으면서 내는 500*cal*도 함께 방출하므로 총량은 5900*cal*이다. 올바르게는 11.8배이다.
③ X: "10.8배"가 틀린 표현이다. 이 값은 응축잠열 5400*cal*만 보고 응축된 물의 냉각열 500*cal*을 빠뜨렸을 때 나온다. 올바르게는 11.8배이다.
④ O: 수증기의 총 방출열은 5900*cal*, 물의 방출열은 500*cal*이므로 비는 11.8배가 된다.

오답 포인트

수증기를 단순히 100℃의 기체로만 보고 잠열만 계산하거나, 응축 뒤의 물 냉각 과정을 빼먹으면 ③처럼 10.8배로 오판하기 쉽다. 이 문항의 함정은 상변화와 냉각이 연속 과정이라는 점을 놓치게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

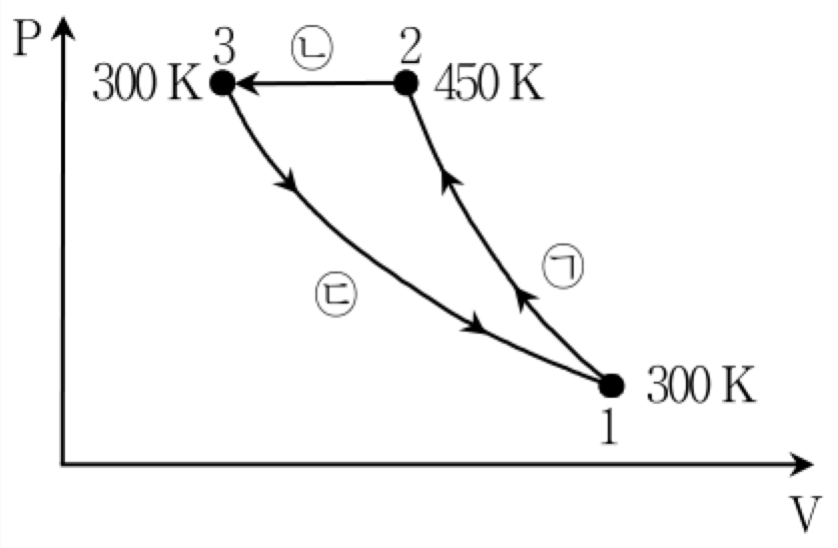
상변화가 들어간 계산형 문제는 상태 변화를 단계별로 끊어서 본다. 기체가 액체가 되면 잠열을 먼저 계산하고, 그 다음 최종 온도까지의 현열을 더한 뒤 비교한다.

암기 포인트

수증기 냉각열은 응축잠열과 응축 후 물의 냉각열의 합이다.

NoteBase

문 20. 어떤 이상기체가 닫힌계에서 다음과 같은 가역공정을 거친다. ㉠과 ㉡의 공정을 거치는 동안 소요되는 열(Q)과 일(W)의 총량 $[\mathrm{J \cdot mol^{-1}}]$은? (단, 기체의 $C_V = 12\mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$, 기체상수는 $R = 8.3\mathrm{J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}}$, $\ln 2.7 = 1.0$이다)



㉠ 1 → 2: 300K, 100kPa에서 450K, 270kPa까지 단열 압축

㉡ 2 → 3: 일정압력하에서 450K로부터 300K까지 냉각

㉢ 3 → 1: 초기상태로 등온 팽창

① $|Q|$: 555, $|W|$: 555

② $|Q|$: 3,045, $|W|$: 1,800

③ $|Q|$: 1,800, $|W|$: 3,045

④ $|Q|$: 3,045, $|W|$: 3,045

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 단열 과정과 등압 과정에서 ΔU, Q, W의 관계를 계산하여 두 과정 전체의 $|Q|$와 $|W|$를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 1 → 2: 단열 압축, T : 300 → 450K
- 2 → 3: 등압 냉각, T : 450 → 300K
- $C_V = 12J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$, $R = 8.3J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
- $C_P = C_V + R = 20.3J \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$
- 구할 값: ㄱ과 ㄴ 전체의 $|Q|$, $|W|$

NoteBase

사용할 공식

Δ U=nC_VΔ T, Q=nC_PΔ T (등압), Δ U=Q-W
이 문제는 이상기체의 내부에너지가 온도에만 의존하고, ㄱ은 단열이라 $Q = 0$, ㄴ은 등압이라 $Q = nC_P\Delta T$, $W = nR\Delta T$를 바로 적용할 수 있으므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. ㄱ 과정 $1 \rightarrow 2$
$\Delta U_{12} = C_V(450 - 300) = 12 \times 150 = 1800 J \cdot mol^{-1}$
단열이므로 $Q_{12} = 0$이다. 따라서
$W_{12} = Q_{12} - \Delta U_{12} = 0 - 1800 = -1800 J \cdot mol^{-1}$
즉, $|W_{12}| = 1800$이다.

2. ㄴ 과정 $2 \rightarrow 3$
$Q_{23} = C_P(300 - 450) = 20.3 \times (-150) = -3045 J \cdot mol^{-1}$
$\Delta U_{23} = C_V(300 - 450) = 12 \times (-150) = -1800 J \cdot mol^{-1}$
따라서
$W_{23} = Q_{23} - \Delta U_{23} = -3045 - (-1800) = -1245 J \cdot mol^{-1}$

3. ㄱ과 ㄴ의 총합
Q_총=Q_12+Q_23=0-3045=-3045 J· mol^-1
W_총=W_12+W_23=-1800-1245=-3045 J· mol^-1
따라서 $|Q| = 3045$, $|W| = 3045$이다.

선지별 해설

① X: $|Q| = 555$, $|W| = 555$는 계산 결과와 맞지 않는다. ㄱ에서 $Q_{12} = 0$, ㄴ에서 $Q_{23} = -3045$이므로 전체 $|Q| = 3045$이다. 또 $W_{12} = -1800$, $W_{23} = -1245$이므로 전체 $|W| = 3045$이다. 틀린 표현은 '555, 555'이고, 올바르게는 '3045, 3045'이다.
② X: $|Q| = 3045$는 맞지만 $|W| = 1800$은 틀리다. 이는 ㄱ의 단열압축 일만 반영하고 ㄴ의 등압냉각 일 $W_{23} = -1245$를 빠뜨린 값이다. 틀린 표현은 '|W|=1800'이고, 올바르게는 '|W|=3045'이다.
③ X: $|W| = 3045$는 맞지만 $|Q| = 1800$은 틀리다. 등압냉각의 열량은 $Q_{23} = C_P\Delta T = 20.3 \times (-150) = -3045$이므로 전체 $|Q| = 3045$이다. 틀린 표현은 '|Q|=1800'이고, 올바르게는 '|Q|=3045'이다.
④ O: $Q_{12} = 0$, $Q_{23} = -3045$라서 전체 $|Q| = 3045$이고, $W_{12} = -1800$, $W_{23} = -1245$라서 전체 $|W| = 3045$이다. 제시값이 계산 결과와 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

단열 과정에서 $Q = 0$이라는 조건은 잘 쓰면서도, 등압 과정의 열량을 $C_V\Delta T$로 잘못 두거나 등압 과정의 일 $R\Delta T$를 누락하는 실수가 잦다. 또 압축과 냉각에서 나온 음의 일을 절댓값으로 바꾸기 전에 부호를 포함해 먼저 합산해야 한다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역과정 계산형은 과정별로 Q, ΔU, W를 따로 적은 뒤 합산한다. 단열이면 $Q = 0$, 등압이면 $Q = C_P\Delta T$, $W = R\Delta T$를 적용하고, 마지막에 총합의 절댓값을 취하면 된다.

암기 포인트

이상기체 닫힌계는 $\Delta U = C_V\Delta T$, 등압열량은 $Q = C_P\Delta T$, 일은 $\Delta U = Q - W$로 정리하며 $C_P = C_V + R$를 함께 묶어 기억한다.

NoteBase