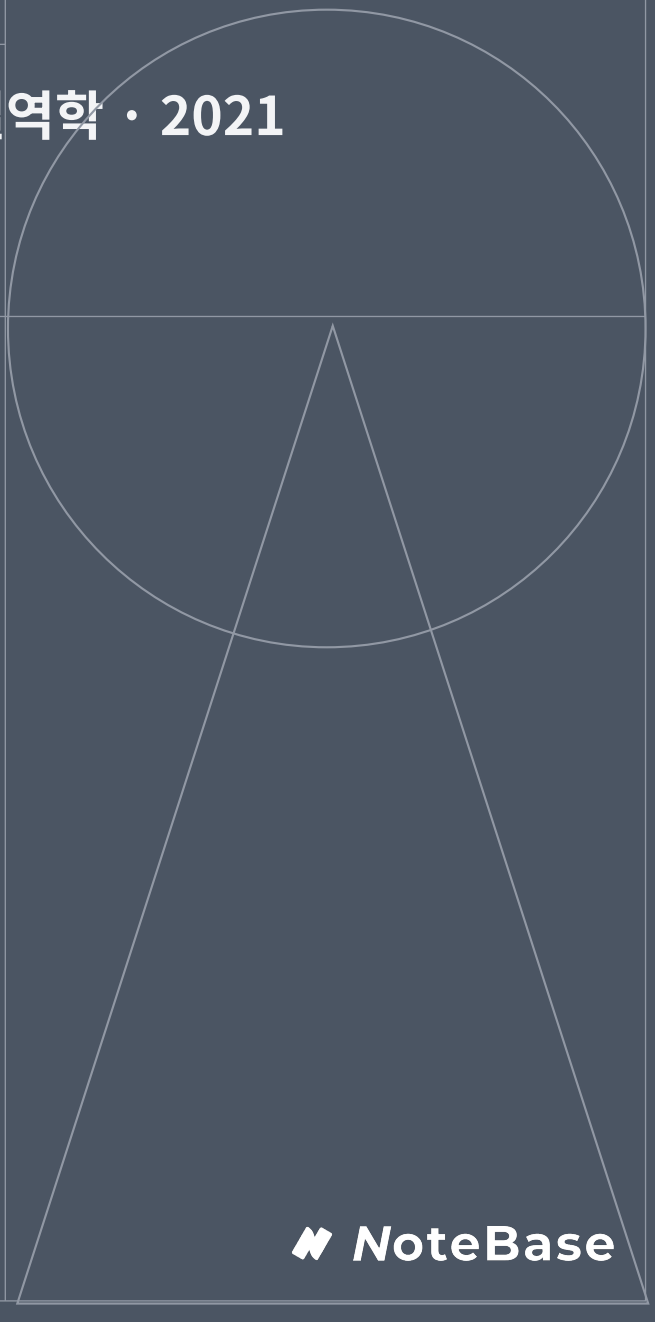
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2021



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2021

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2021

문 1. x mol의 이상기체 A와 6 mol의 이상기체 B가 들어있는 부피가 일정한 용기의 초기 압력은 P이었고 A의 몰분율이 $\frac{1}{3}$이었다. 두 기체 중 하나를 y mol 추가하였더니 충분한 시간이 흐른 후 압력은 $\frac{4}{3}P$가 되었다. $\frac{x}{y}$는? (단, 온도는 일정하다.)

① $\frac{3}{4}$

② $\frac{4}{5}$

③ 1

④ $\frac{4}{3}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 정온·정적 조건에서 압력이 전체 몰수에 비례한다는 관계와 몰분율 정의를 이용해 x와 y를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- A의 몰수는 x, B의 몰수는 6 mol이다.
- A의 초기 몰분율은 $\frac{1}{3}$이다.
- 온도와 부피는 일정하다.
- 압력은 P에서 $\frac{4}{3}P$로 변한다.

구해야 할 값:
- $\frac{x}{y}$이다.

주의할 조건:
- 추가한 기체가 A이든 B이든 이상기체 혼합물에서는 전체 몰수 변화만 압력 변화에 반영된다.

NoteBase

사용할 공식

몰분율은 $y_A = \frac{n_A}{n_{\text{tot}}}$이다.
정온·정적 이상기체에서는 $P \propto n_{\text{tot}}$이므로 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{n_2}{n_1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 온도와 부피가 일정하므로 압력 변화가 전체 몰수 변화와 정확히 대응하기 때문이다.

계산 과정

1. 초기 몰분율 조건에서 $\frac{x}{x+6} = \frac{1}{3}$이므로 $3x = x + 6$, 따라서 $x = 3$이다.
2. 초기 전체 몰수는 $n_1 = x + 6 = 9\,\text{mol}$이다.
3. 압력비가 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{4}{3}$이므로 최종 전체 몰수는 $n_2 = \frac{4}{3} \times 9 = 12\,\text{mol}$이다.
4. 추가된 몰수는 $y = n_2 - n_1 = 12 - 9 = 3\,\text{mol}$이다.
5. 따라서 $\frac{x}{y} = \frac{3}{3} = 1$이다.

선지 판단

① X
- $\frac{x}{y} = \frac{3}{4}$가 되려면 $x = 3$일 때 $y = 4$이어야 한다. 그러나 압력비로부터 $y = 3$이므로 틀리다.
- 틀린 값은 $\frac{3}{4}$이며, 올바르게는 1이다.

② X
- $\frac{4}{5}$는 초기 몰분율 조건으로 구한 $x = 3$과도 맞지 않고, 압력 증가량으로 구한 $y = 3$과도 맞지 않는다.
- 틀린 값은 $\frac{4}{5}$이며, 올바르게는 1이다.

③ O
- 몰분율에서 $x = 3$, 압력비에서 $y = 3$이므로 $\frac{x}{y} = 1$이 된다.
- 계산 결과와 정확히 일치하므로 옳다.

④ X
- $\frac{4}{3}$은 최종 압력비를 그대로 답으로 옮긴 값일 뿐 $\frac{x}{y}$가 아니다.
- 틀린 값은 $\frac{4}{3}$이며, 올바르게는 1이다.

오답 포인트

처음의 몰분율 식으로 x를 먼저 구하지 않고 압력비만 보고 답을 고르면 $\frac{4}{3}$ 같은 값을 그대로 선택하기 쉽다. 또 추가한 기체의 종류를 따지느라 복잡하게 생각하기 쉽지만, 이 문제는 이상기체 혼합물의 전체 몰수만 보면 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 혼합 계산형은 먼저 몰분율로 각 성분의 초기 몰수를 구하고, 그다음 정온·정적 조건에서 압력비를 전체 몰수비로 바꾸어 추가 몰수를 계산하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

정온·정적 이상기체는 $P \propto n$이고, 몰분율은 성분 몰수 나누기 전체 몰수이다.

NoteBase

문 2. Carnot 사이클을 따르는 냉동기를 사용하여 -23°C인 냉동실로부터 27°C인 대기로 열을 뽑아내고 있다. 이때 냉동기의 성능계수는?

① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 Carnot 냉동기의 성능계수 식에 절대온도를 대입해 COP_R를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 냉동실 온도 $-23\,^\circ C$, 대기 온도 $27\,^\circ C$이다.
구해야 할 값: 냉동기의 성능계수이다.
주의할 조건: Carnot 사이클 식은 섭씨온도가 아니라 절대온도 K로 계산해야 한다.

사용할 공식

Carnot 냉동기의 성능계수는 $COP_R = \frac{T_L}{T_H - T_L}$이다.

이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 Carnot 사이클을 따르는 냉동기라고 했으므로 저온열원 온도 T_L와 고온열원 온도 T_H만으로 이상 냉동기의 성능계수를 바로 구할 수 있다.

계산 과정

섭씨온도를 절대온도로 바꾸면 $T_L = -23 + 273 = 250K$, $T_H = 27 + 273 = 300K$이다.
따라서
$COP_R = \frac{250}{300 - 250} = \frac{250}{50} = 5$
이므로 냉동기의 성능계수는 5이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: '성능계수가 2이다'가 틀리다. 계산 결과는 5이므로 올바르게는 '성능계수가 5이다'이다.
2번 X: '성능계수가 3이다'가 틀리다. Carnot 냉동기 식에 절대온도를 넣으면 3이 아니라 5가 나온다.
올바르게는 '성능계수가 5이다'이다.
3번 X: '성능계수가 4이다'가 틀리다. 온도차는 $300 - 250 = 50K$이므로 $\frac{250}{50} = 5$가 되어야 한다. 올바르게는 '성능계수가 5이다'이다.
4번 O: '성능계수가 5이다'는 맞다. 저온열원 절대온도 250 K를 온도차 50 K로 나누면 5가 된다.

오답 포인트

섭씨온도를 그대로 대입하거나, 절대온도로 바꾸지 않고 단순 온도비를 잡으면 오답이 된다. 이 문제의 함정은 공식을 아는지보다 Carnot 성능계수는 반드시 절대온도로 계산한다는 점을 놓치게 하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

Carnot 냉동기 문제가 나오면 먼저 저온열원과 고온열원의 온도를 모두 K로 바꾼 뒤, 냉동기이면 $\frac{T_L}{T_H - T_L}$, 열펌프이면 $\frac{T_H}{T_H - T_L}$를 구분해서 적용한다.

암기 포인트

Carnot 냉동기 성능계수는 '저온절대온도 나누기 온도차'이므로 $COP_R = \frac{T_L}{T_H - T_L}$이다.

NoteBase

문 3. 에탄올, 물의 혼합물이 기액 평형 상태로 존재하는 계(system)에서 산소, 질소, 수증기로 구성된 공기가 주입되어 평형에 도달하였을 때, 계의 자유도 변화는?

① 1→3

② 1→4

③ 2→3

④ 2→4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비반응계의 기브스 상규칙을 적용하여 성분 수 변화에 따른 자유도 변화를 묻는 문제이다.

조건 정리

초기 계는 에탄올-물 혼합물의 기액 평형이므로 성분은 에탄올, 물의 2개이고 상은 기상과 액상의 2개이다.
공기 주입 후에는 산소와 질소가 새 독립 성분으로 추가되고, 수증기는 기존의 물 성분과 같으므로 새 성분이 아니다.
따라서 최종 성분은 에탄올, 물, 산소, 질소의 4개이고 상은 계속 2개이다.

사용할 공식

비반응계의 기브스 상규칙은 $F = 2 + C - P$이다.
이 문제는 반응이 없고, 기액 평형에서 성분 수 C와 상 수 P만으로 자유도 F를 판단하는 상황이므로 이 공식을 그대로 적용한다.

계산 과정

초기에는 $C = 2$, $P = 2$이므로 $F = 2 + 2 - 2 = 2$이다.
공기 주입 후에는 새로 추가되는 독립 성분이 산소와 질소이므로 $C = 4$, $P = 2$이다.
따라서 최종 자유도는 $F = 2 + 4 - 2 = 4$이다.
자유도 변화는 2에서 4로의 변화이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: "1→3"은 초기 자유도와 최종 자유도를 모두 하나씩 작게 본 선택지이다. 올바르게는 초기 자유도는 1이 아니라 2이고, 최종 자유도는 3이 아니라 4이다.
2번 X: "1→4"는 최종 자유도 4는 맞지만 초기 자유도를 1로 본 점이 틀리다. 에탄올-물의 기액 2상 평형은 $C = 2$, $P = 2$이므로 초기 자유도는 2이다.
3번 X: "2→3"은 초기 자유도 2는 맞지만 최종 자유도를 3으로 본 점이 틀리다. 수증기는 기존의 물 성분과 동일하므로 새 성분은 산소와 질소만 추가되어 최종 성분 수는 4가 된다. 올바르게는 최종 자유도는 4이다.
4번 O: 초기에는 $F = 2$, 공기 주입 후에는 $F = 4$이므로 "2→4"가 맞다.

오답 포인트

수증기를 기존의 물과 별개 성분으로 중복 계산하거나, 기액 평형이면 자유도가 무조건 1이라고 외워서 초기 자유도를 잘못 잡는 경우가 많다. 이 문항의 함정은 새로 들어온 물질 중 기존 성분과 겹치는 성분을 제외해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자유도 문제는 먼저 반응 유무를 확인한 뒤 성분 수와 상 수를 다시 센다. 외부에서 물질이 추가되면 기존 성분과 독립적인지부터 판단하고, 그다음 $F = 2 + C - P$에 대입하면 된다.

암기 포인트

기브스 상규칙은 $F = 2 + C - P$이며, 기존 성분과 같은 물질은 성분 수를 늘리지 않는다.

NoteBase

문 4. 오토(Otto) 사이클의 압축비가 6.25이고 $\frac{C_P}{C_V}$가 1.5일 때 열효율의 값은? (단, $\sqrt{6.25}=2.5$로 한다.)

① 0.2

② 0.4

③ 0.6

④ 0.8

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 오토 사이클의 열효율식 $\eta=1-\frac{1}{r^{\gamma-1}}$로 열효율을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 압축비 $r=6.25$, 비열비 $\gamma=C_P/C_V=1.5$이다.
구해야 할 값: 오토 사이클의 열효율 η이다.
주의할 조건: $\gamma-1=0.5$이므로 $r^{\gamma-1}=\sqrt{6.25}=2.5$이다.

사용할 공식

오토 사이클 열효율은 $\eta=1-\frac{1}{r^{\gamma-1}}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 압축비와 C_P/C_V가 직접 주어졌으므로 이상 오토 사이클의 표준 열효율식을 바로 적용할 수 있다.

계산 과정

1. $\gamma-1=1.5-1=0.5$이다.
2. $r^{\gamma-1}=6.25^{0.5}=\sqrt{6.25}=2.5$이다.
3. $\eta=1-\frac{1}{2.5}=1-0.4=0.6$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 열효율 계산값은 0.2가 아니라 0.6이다.
- 틀린 표현은 숫자 0.2이며, 올바르게는 0.6이다.

② X
- $\frac{1}{2.5} = 0.4$까지만 계산하고 앞의 $1 -$를 빠뜨리면 0.4가 나오지만, 열효율은 $1 - 0.4 = 0.6$이다.
- 틀린 표현은 숫자 0.4이며, 올바르게는 0.6이다.

③ O
- 오토 사이클 열효율을 계산하면 0.6이므로 정답값과 일치한다.

④ X
- 열효율 계산값은 0.8이 아니라 0.6이다.
- 틀린 표현은 숫자 0.8이며, 올바르게는 0.6이다.

오답 포인트

$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$에서 앞의 $1 -$를 빼먹으면 0.4를 고르게 된다. 또 $\gamma - 1$을 먼저 계산하지 않으면 지수를 잘못 넣어 다른 값을 만들기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

오토 사이클 문제는 먼저 $\gamma - 1$을 계산하고, 다음에 $r^{\gamma-1}$을 구한 뒤, 마지막에 $1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$를 적용하는 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

오토 사이클 열효율은 압축비가 클수록 커지며, 공식은 $\eta = 1 - 1/r^{\gamma-1}$이다.

NoteBase

문 5. 10 mol의 이상기체를 일정한 압력하에 27°C에서 327°C로 가열했을 때, 엔트로피의 변화량 [J/K]은? (단, $C_P = 20\text{J/mol}\cdot\text{K}$, $\ln 2 = 0.7$로 한다.)

① 100

② 120

③ 140

④ 160

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 일정 압력에서 이상기체의 엔트로피 변화량을 $\Delta S = nC_P\ln(T_2/T_1)$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $n = 10mol$, $C_P = 20J/(mol\cdot K)$, $T_1 = 27^\circ C = 300K$, $T_2 = 327^\circ C = 600K$, $\ln 2 = 0.7$이다.
구해야 할 값: 전체 기체의 엔트로피 변화량 ΔS이다.
주의할 조건: 섭씨온도는 그대로 비에 넣지 않고 절대온도 K로 바꿔야 한다.

사용할 공식

$\Delta S = nC_P\ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$
일정 압력에서 이상기체를 가열하고 C_P가 일정하므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 온도를 절대온도로 바꾸면 $T_1 = 300K$, $T_2 = 600K$이다.
2. 온도비는 $\frac{T_2}{T_1} = \frac{600}{300} = 2$이다.
3. 따라서 $\Delta S = 10 \times 20 \times \ln 2 = 10 \times 20 \times 0.7 = 140J/K$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과는 140 J/K이므로 100 J/K는 틀리다. 틀린 표현은 '엔트로피 변화량이 100 J/K이다'이고, 올바르게는 '엔트로피 변화량은 140 J/K이다'이다.
② X: 계산 결과는 140 J/K이므로 120 J/K는 틀리다. 틀린 표현은 '엔트로피 변화량이 120 J/K이다'이고, 올바르게는 '엔트로피 변화량은 140 J/K이다'이다.
③ O: $\Delta S = nC_P\ln(T_2/T_1)$에 주어진 값을 대입하면 140 J/K가 되므로 맞다.
④ X: 계산 결과는 140 J/K이므로 160 J/K는 틀리다. 틀린 표현은 '엔트로피 변화량이 160 J/K이다'이고, 올바르게는 '엔트로피 변화량은 140 J/K이다'이다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 실수는 27과 327을 그대로 비에 넣는 것과 $\ln(T_2/T_1)$에서 절대온도 비를 쓰지 않는 것이다. 이 문제는 온도 차 $300K$를 쓰는 문제가 아니라 온도비 $600/300 = 2$를 쓰는 문제라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 엔트로피 계산형은 과정 조건을 먼저 본다. 일정 압력이면 $nC_P\ln(T_2/T_1)$, 일정 부피면 $nC_V\ln(T_2/T_1)$를 떠올리고, 온도는 반드시 절대온도로 바꾼 뒤 비를 계산하면 된다.

암기 포인트

일정 압력 이상기체 가열의 엔트로피 변화는 $\Delta S = nC_P\ln(T_2/T_1)$이며, 로그에는 온도차가 아니라 절대온도비가 들어간다.

NoteBase

문 6. 엔트로피에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

① 열전달에 의하여 생성되는 계의 엔트로피 변화는 그 열전달이 비가역적으로 이루어지면 $\int \frac{dQ}{T}$에 의하여 계산될 수 없다.

② 엔트로피는 열역학 제2법칙과 관련된다.

③ 엔트로피는 상태함수이다.

④ 엔트로피는 다수 분자들, 혹은 다른 양들의 집합적인 성질이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 엔트로피가 상태함수라는 점과 비가역 과정에서 열전달 적분을 어떻게 해석해야 하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

엔트로피는 계의 상태만으로 정해지는 상태함수이다.
가역 경로에서는 엔트로피 변화가 $\Delta S = \int \frac{\delta Q_{rev}}{T}$로 계산된다.
비가역 경로에서는 실제 경로에 대해 $\int \frac{\delta Q}{T}$를 그대로 적용할 수 없지만, 같은 처음과 끝 상태를 잇는 가상적인 가역 경로를 잡으면 ΔS는 계산할 수 있다.

NoteBase

선지별 해설

① X
이 선지는 비가역 열전달이면 엔트로피 변화를 적분으로 계산할 수 없다고 단정한 점이 틀리다.
틀린 표현은 "비가역적으로 이루어지면 $\int dQ/T$에 의하여 계산될 수 없다"는 부분이다.
실제로는 실제 비가역 경로에 대해 $\int \frac{\delta Q}{T}$를 그대로 쓰면 안 되지만, 엔트로피는 상태함수이므로 같은 두 상태를 연결하는 가역 경로에 대해 $\Delta S = \int \frac{\delta Q_{rev}}{T}$로 계산할 수 있다.

② O
엔트로피 개념은 열역학 제2법칙과 직접 연결된다.
자발 과정의 방향성과 비가역성 판단이 엔트로피 증가 개념으로 설명되므로 옳다.

③ O
엔트로피는 상태량이므로 초기상태와 최종상태가 정해지면 변화량이 정해진다.
경로에 따라 달라지는 열이나 일과 달리 상태함수라는 설명이 맞다.

④ O
엔트로피는 미시상태 수와 관련된 집합적 성질로 이해한다.
개별 분자 하나의 성질이라기보다 많은 분자들이 이루는 계의 거시적 성질이라는 설명이므로 옳다.

오답 포인트

비가역 과정에서는 $\int \frac{\delta Q}{T}$를 실제 경로에 그대로 적용할 수 없다는 사실과, 엔트로피 자체는 상태함수라서 가역 경로를 이용해 계산할 수 있다는 사실을 혼동하기 쉽다. ①은 이 둘을 일부러 섞어서 출제한 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

엔트로피 문제가 나오면 먼저 상태함수인지부터 본다. 상태함수이면 실제 과정이 비가역이어도 처음과 끝 상태만 같으면 가역 기준식으로 ΔS를 계산할 수 있고, 실제 경로 적분이 안 된다는 말과 엔트로피 변화 자체를 못 구한다는 말은 구분해서 판단한다.

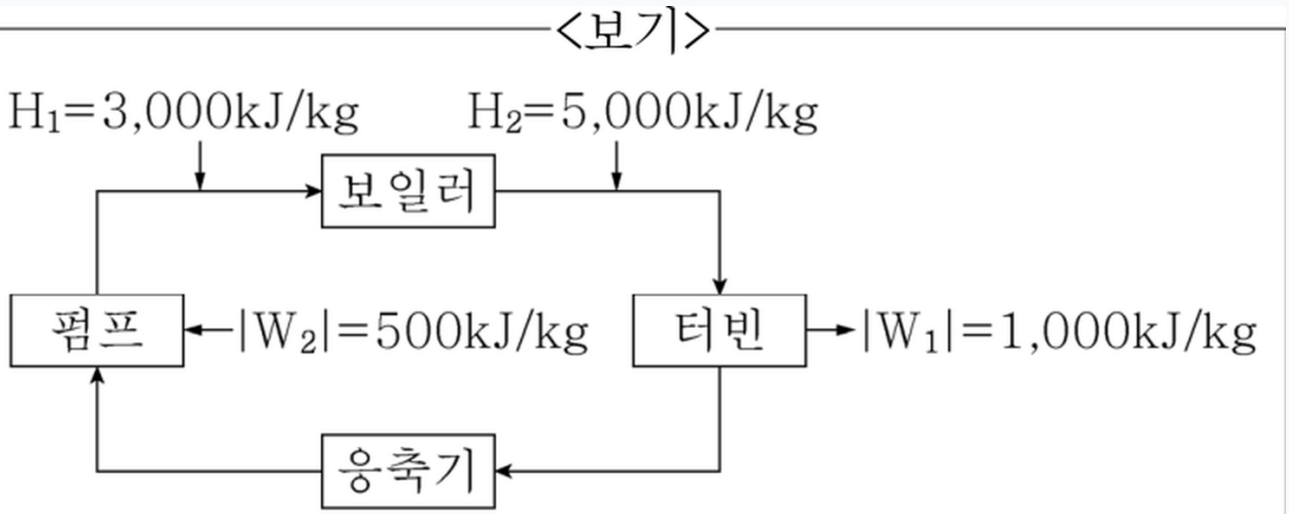
암기 포인트

엔트로피는 상태함수, 열과 일은 경로함수이다. 비가역 경로는 실제 적분이 어렵지만 ΔS 자체는 가역 경로로 계산된다.

NoteBase

문 7. <보기>와 같은 랭킨 사이클의 열효율 값[%]은?

<보기>



① 25

② 33

③ 50

④ 75

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 랭킨 사이클의 열효율을 $\eta = W_{net}/Q_{in}$으로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $H_1 = 3000$kJ/kg, $H_2 = 5000$kJ/kg, 터빈 일 $W_1 = 1000$kJ/kg, 펌프 소비 일 $W_2 = 500$kJ/kg 이다.
구해야 할 값은 랭킨 사이클의 열효율이다.
주의할 점은 터빈 일만 쓰지 않고 펌프 소비 일을 빼서 순일을 구해야 한다는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $\eta = W_{net}/Q_{in}$이다.
여기서 $W_{net} = W_1 - W_2$, $Q_{in} = H_2 - H_1$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 보일러에서 들어간 열량과 터빈·펌프를 포함한 사이클의 순일로 열효율을 정의하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 보일러 열공급량은 $Q_{in} = H_2 - H_1 = 5000 - 3000 = 2000\text{kJ/kg}$이다.
2. 순일은 $W_{net} = W_1 - W_2 = 1000 - 500 = 500\text{kJ/kg}$이다.
3. 따라서 열효율은 $\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = \frac{500}{2000} = 0.25 = 25\%$이다.

선지별 해설

1번 O

- $Q_{in} = 2000\text{kJ/kg}$, $W_{net} = 500\text{kJ/kg}$이므로 열효율은 25%이다.

2번 X

- 오답 표현은 "33%"이고, 올바르게는 "25%"이다. 33%는 열효율 정의식 W_{net}/Q_{in}과 맞지 않는 값이며, 분모를 보일러 열공급량이 아닌 다른 값으로 잘못 잡을 때 나오는 오답이다.

3번 X

- 오답 표현은 "50%"이고, 올바르게는 "25%"이다. 50%는 터빈 일 1000kJ/kg만 쓰고 펌프 소비 일 500kJ/kg을 빼지 않아 1000/2000으로 계산한 경우의 오답이다.

4번 X

- 오답 표현은 "75%"이고, 올바르게는 "25%"이다. 75%는 순일과 열공급량의 관계를 잘못 잡은 값으로, 이 문제의 에너지수지와 맞지 않는다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 터빈 일만 보고 바로 열효율을 구하는 실수이다. 랭킨 사이클의 열효율은 반드시 순일 $W_{net} = W_1 - W_2$를 써야 하므로 펌프 소비 일을 빼야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

랭킨 사이클 효율 문제는 먼저 보일러 열공급량 $H_2 - H_1$을 잡고, 다음에 순일 $W_{turbine} - W_{pump}$을 구한 뒤, 마지막에 $\eta = W_{net}/Q_{in}$으로 나누는 순서로 판단한다.

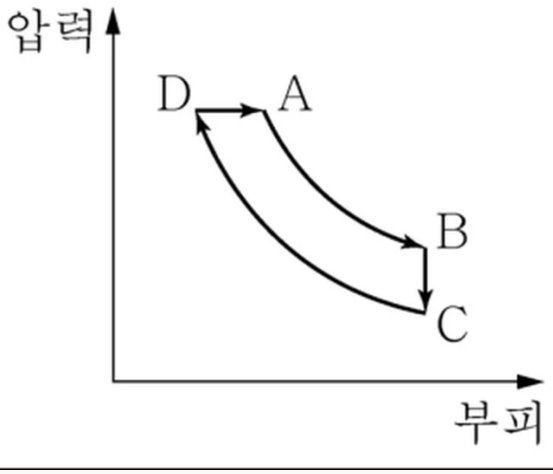
암기 포인트

랭킨 사이클 열효율은 "보일러 열투입 대비 순일"이므로 $\eta = (W_{turbine} - W_{pump})/(H_2 - H_1)$이다.

NoteBase

문 8. <보기>와 같은 압력-부피(P-V) 선도를 갖는 열기관에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

<보기>



① 연료와 공기는 같이 흡입된다.

② 일정한 압력에서 열을 공급받고 일정한 부피에서 열이 방출된다.

③ 압축비는 V_A/V_B로 정의된다.

④ 연료를 연소하기 위해서 점화장치가 필요하다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 P-V 선도에서 상단 수평 구간 $D \rightarrow A$가 정압 열공급, 곡선 구간 $A \rightarrow B$가 단열팽창, 우측 수직 구간 $B \rightarrow C$가 정적 열방출, 곡선 구간 $C \rightarrow D$가 단열압축임을 보고 디젤 사이클의 특징을 판단하는 문제이다. 즉 정압에서 열을 받고 정적에서 열을 버리는 열출입 방식이 디젤 사이클의 핵심 식별 기준이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 디젤기관은 흡입행정에서 공기만 흡입하고, 압축으로 공기 온도를 높인 뒤 연료를 분사하여 연소시킨다. 틀린 표현은 "연료와 공기는 같이 흡입된다"이며, 올바르게는 "공기만 흡입되고 연료는 압축 말기에 분사된다"이다.
② O. 그림의 $D \to A$는 압력이 일정한 수평선이므로 정압 열공급 과정이고, $B \to C$는 부피가 일정한 수직선이므로 정적 열방출 과정이다. 이는 디젤 사이클의 전형적인 열출입 방식과 일치한다.
③ X. 압축비(compression ratio)는 실린더의 최대체적을 최소체적으로 나눈 값으로 정의된다. 이 선도에서 최소체적은 단열압축이 끝난 D점의 V_D이고, 최대체적은 정적방열 구간 $B \to C$가 수직선이어서 부피가 변하지 않으므로 $V_B = V_C$로 같은 우측 끝의 $V_B (= V_C)$이다. 따라서 압축비는 V_C/V_D(또는 V_B/V_D)이다. 선지의 V_A/V_B는 $V_A < V_B$여서 1보다 작은 값이므로 압축비가 될 수 없고, 정압 열공급 구간의 부피비인 차단비(cut-off ratio, V_A/V_D)와도 다르다. 틀린 표현은 "압축비는 V_A/V_B로 정의된다"이며, 올바르게는 "압축비는 최대체적/최소체적, 즉 V_C/V_D로 정의된다"이다.
④ X. 디젤기관은 점화플러그로 불꽃을 튀겨 점화하는 기관이 아니라 압축착화기관이다. 틀린 표현은 "점화장치가 필요하다"이며, 올바르게는 "고온·고압의 공기에 연료를 분사하여 자발적으로 착화된다"이다.

오답 포인트

오토 사이클과 디젤 사이클을 열공급 방식으로 구분하지 않으면 ①과 ④를 함께 헷갈리기 쉽다. 정적 열공급이면 오토, 정압 열공급이면 디젤이라는 기준을 놓치면 연료 흡입 방식과 점화 방식까지 반대로 판단하게 된다. 또한 ③에서 압축비(최대체적/최소체적=V_C/V_D)와 차단비(정압 구간 부피비=V_A/V_D)를 혼동하지 않도록 두 정의를 구분해 두어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

P-V 선도 문제는 먼저 열이 들어가는 구간이 정압인지 정적인지 확인한다. 정압 열공급이면 디젤 사이클로 보고, 이어서 공기만 흡입하는지와 압축착화인지까지 연결하면 선지 대부분을 바로 판별할 수 있다. 압축비를 묻는 선지가 나오면 선도에서 가장 오른쪽 점(최대체적)과 가장 왼쪽 점(최소체적)을 찾아 그 비로 정의됨을 기준으로 삼는다.

암기 포인트

디젤기관은 공기만 흡입하고 정압에서 열을 공급받으며 압축착화된다. 압축비는 최대체적/최소체적, 차단비는 정압 열공급 구간의 부피비이다.

NoteBase

문 9. 질소 가스가 닫힌 실린더 안에 있다. 이때, 계(system)의 열역학적 상태를 설명한 것으로 가장 옳은 것은?

① 피스톤을 가역적으로 밀어 실린더의 부피가 줄어들면 계(system)는 외부로부터 일을 받고, 외계(surroundings)의 에너지는 줄어든다.

② 이상기체로 가정할 경우 질소 가스 분자 간 미치는 힘의 크기는 일정하다.

③ 이상기체일 경우 질소 가스의 내부에너지는 온도와 압력의 함수이다.

④ 피스톤을 뒤로 당겨 계(system)의 부피가 증가하면 압축인자는 상대적으로 0에 가까워진다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 압축·팽창 시 일의 방향, 이상기체의 분자간 힘, 이상기체 내부에너지의 의존 변수, 압축인자 Z의 의미를 구별하는 문제이다.

핵심 개념

압축 일: 피스톤이 계를 눌러 부피가 줄면 외계가 계에 일을 하는 상태이다.
이상기체: 분자 자체의 부피와 분자 간 상호작용을 무시하는 모델이므로 분자 간 힘은 0으로 본다.
내부에너지: 이상기체의 내부에너지는 분자 운동에너지에 대응하므로 온도만의 함수이다.
압축인자: $Z = \frac{PV}{nRT}$이며 이상기체에 가까울수록 1에 접근한다.

선지별 해설

1번 O: 가역적으로 압축하면 $dV < 0$이므로 계는 외부로부터 일을 받는다. 이때 그 일만큼 외계의 에너지는 감소하므로 선지의 설명이 옳다.
2번 X: 틀린 부분은 "분자 간 미치는 힘의 크기는 일정하다"이다. 이상기체는 분자 간 인력을 무시하므로 올바르게는 "분자 간 힘을 0으로 본다"이다.
3번 X: 틀린 부분은 "내부에너지는 온도와 압력의 함수"이다. 이상기체의 내부에너지는 압력이나 부피와 무관하고 올바르게는 "온도만의 함수"이다.
4번 X: 틀린 부분은 "압축인자는 상대적으로 0에 가까워진다"이다. 부피가 증가하여 저압 영역으로 갈수록 실제 기체도 이상기체 거동에 가까워지므로 올바르게는 "압축인자 Z는 1에 가까워진다"이다.

오답 포인트

2번과 3번은 이상기체의 가정을 정확히 외우지 못하면 흔들리기 쉽다. 4번은 압축인자를 숫자 하나로만 외워 0과 1을 혼동하는 함정이 있다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

부피 변화가 나오면 먼저 일의 방향을 본다. 이상기체가 나오면 분자 간 힘은 0, 내부에너지는 온도만의 함수, 압축인자는 이상기체에서 1이라는 기준으로 바로 판단할 수 있다.

암기 포인트

압축이면 외계가 계에 일하고, 이상기체는 분자간 힘 0·내부에너지 T만·압축인자 $Z \to 1$이다.

NoteBase

문 10. 일정한 압력하에서 이상기체 1mol이 80°C에서 100°C로 가열될 때 엔탈피의 변화량 [J]은? (단, 기체상수는 8J/mol · K이며 $C_V = \frac{3}{2}R$, $C_P = \frac{5}{2}R$로 한다.)

① 240

② -240

③ 400

④ -400

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔탈피 변화량을 $\Delta H = nC_P\Delta T$로 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 이상기체 1 mol, $T_1 = 80^\circ C$, $T_2 = 100^\circ C$, $R = 8J/(mol \cdot K)$, $C_V = \frac{3}{2}R$, $C_P = \frac{5}{2}R$이다.
구해야 할 값: 엔탈피 변화량 ΔH이다.
주의할 조건: 온도차는 $100 - 80 = 20$이므로 섭씨와 켈빈의 차이가 같아 그대로 20 K로 계산된다.

사용할 공식

사용 공식은 $\Delta H = nC_P\Delta T$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이상기체의 엔탈피가 압력이나 부피가 아니라 온도에만 의존하고, 문제에서 직접 C_P가 주어졌기 때문이다.

계산 과정

1. $C_P = \frac{5}{2}R = \frac{5}{2} \times 8 = 20J/(mol \cdot K)$이다.
2. 온도 변화는 $\Delta T = 100 - 80 = 20K$이다.
3. 따라서
$\Delta H = nC_P\Delta T = 1 \times 20 \times 20 = 400J$
이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: X. 240 J는 엔탈피가 아니라 내부에너지 변화량 $\Delta U = nC_V\Delta T = 1 \times \frac{3}{2}R \times 20 = 240J$를 계산한 값이다. 틀린 표현은 엔탈피 변화량을 240 J로 본 점이며, 올바르게는 내부에너지 변화량이 240 J이고 엔탈피 변화량은 400 J이다.
2번: X. -240 J는 C_V를 쓴 데다가 가열 과정을 음수로 처리한 값이다. 틀린 표현은 가열인데 엔탈피가 감소한다고 본 점이며, 올바르게는 가열이므로 $\Delta T > 0$, 따라서 엔탈피 변화량도 $+400J$이다.
3번: O. $C_P = 20J/(mol \cdot K)$, $\Delta T = 20K$이므로 $\Delta H = 400J$가 되어 정답과 일치한다.
4번: X. -400 J는 공식을 맞게 골라도 온도 변화를 $T_1 - T_2$로 잘못 두어 부호를 반대로 계산한 값이다. 틀린 표현은 엔탈피 변화량의 부호가 음수라는 점이며, 올바르게는 $T_2 - T_1 = 20K$이므로 $\Delta H = +400J$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 엔탈피 변화량에서 C_P 대신 C_V를 쓰는 실수와, 가열인데도 ΔT의 부호를 반대로 두는 실수이다. 이 문항의 1번은 ΔU를, 4번은 부호 반전값을 노린 선택지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 변화량 문제는 먼저 무엇을 묻는지부터 구분한 뒤, 엔탈피면 C_P, 내부에너지면 C_V를 대응시키고 마지막에 가열인지 냉각인지로 $\Delta T = T_2 - T_1$의 부호를 점검하면 된다.

암기 포인트

이상기체는 $\Delta U = nC_V\Delta T$, $\Delta H = nC_P\Delta T$이며, 가열이면 온도와 엔탈피 변화량의 부호가 모두 양수이다.

NoteBase

문 11. 질소 1mol이 정상상태의 흐름과정에서 상태1에서 상태2로 변한다. 이때, 엔탈피의 변화가 $-15,000\text{J/mol}$, 엔트로피의 변화가 $30\text{J/mol}\cdot\text{K}$, 외계의 온도가 300K이라고 하면, 이 과정에서 할 수 있는 최대 일[J]은?

① -15,000

② -24,000

③ -30,000

④ -6,000

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정상류 과정에서 최대 유용일을 $\Delta h - T_0\Delta s$로 계산하고, 부호 규약까지 함께 해석하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\Delta h = -15{,}000J/mol$, $\Delta s = 30J/(mol\cdot K)$, $T_0 = 300K$이다.
구해야 할 값은 이 과정의 최대 일이다.
이 문항은 정상류에서 계에 가해지는 일을 양(+)으로 두는 부호 규약을 쓰므로, 계가 외부에 일을 하면 값이 음수로 나타난다. 본 문항의 선택지가 모두 음수인 것도 이 규약을 따라 $w_{max} = \Delta h - T_0\Delta s$를 그대로 계산한 값을 답으로 제시했기 때문이다.

사용할 공식

최대 일은
$w_{max} = \Delta h - T_0\Delta s$
이다.
이 식은 정상류 과정에서 외계 온도 T_0와 가역적으로 열교환할 때 얻을 수 있는 최대 유용일을 나타낸다. 이 식은 열역학 제1법칙(정상류 에너지 균형)과 제2법칙(Clausius 부등식 $q \le T_0\Delta s$)을 결합해 유도된다. 즉 계가 외계와 주고받을 수 있는 열이 $T_0\Delta s$로 제한되고, 이를 에너지 균형에 대입하면 위 식이 얻어진다.
여기서 $\Delta s > 0$이므로 $T_0\Delta s$만큼을 빼게 되는데, 이는 계가 주위로 열을 방출해야 하고 그만큼 외부로 가역적으로 회수할 수 있는 일이 줄어든다는 물리적 의미를 담는다. 따라서 엔탈피 변화만 볼 것이 아니라 엔트로피항 $T_0\Delta s$까지 함께 반영해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 엔트로피항을 계산하면 $T_0\Delta s = 300 \times 30 = 9{,}000 J/mol$이다.
2. 이를 식에 대입하면 $w_{\max} = -15{,}000 - 9{,}000$이다.
3. 따라서
$w_{\max} = -24{,}000 J/mol$
이므로 정답은 2번이다.

선지 판단

① X: $-15{,}000 J/mol$은 엔탈피 변화만 본 값이다. 틀린 표현은 '엔탈피 변화가 곧 최대 일이다'이고, 올바르게는 $T_0\Delta s = 9{,}000 J/mol$를 추가로 빼서 $-24{,}000 J/mol$이 되어야 한다.
② O: $w_{\max} = \Delta h - T_0\Delta s = -15{,}000 - 9{,}000 = -24{,}000 J/mol$이므로 옳다.
③ X: $-30{,}000 J/mol$은 엔트로피항 $9{,}000 J/mol$를 잘못 계산해 과대하게 뺀 오답값이다. 예를 들어 외계 온도를 500 K로 착각하거나 엔트로피항의 크기를 15,000으로 오계산하면 $-15{,}000 - 15{,}000 = -30{,}000$이 된다. 틀린 표현은 '엔트로피항의 크기 계산'이고, 올바르게는 $300 \times 30 = 9{,}000$이다.
④ X: $-6{,}000 J/mol$은 $\Delta h - T_0\Delta s$에서 엔트로피항의 부호를 반대로 넣어 $-15{,}000 + 9{,}000$으로 계산한 값이다. 틀린 표현은 '엔트로피항을 더한다'이고, 올바르게는 최대 일 식에서 $T_0\Delta s$를 뺀다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 두 가지이다. 하나는 최대 일을 엔탈피 변화와 동일시하는 것이고, 다른 하나는 $T_0\Delta s$ 항의 부호를 반대로 넣는 것이다. 이 문항은 정답 선택지가 모두 음수이므로, 부호 규약을 확인하지 않으면 24,000의 크기만 맞추고도 오답을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

정상류 최대 일 문제는 먼저 Δh, Δs, T_0를 정리하고, 다음에 $T_0\Delta s$를 계산한 뒤, 마지막에 $w_{\max} = \Delta h - T_0\Delta s$에 대입해 부호까지 확인하면 된다.

암기 포인트

정상류 최대 일은 엔탈피 변화에서 외계 온도 기준 엔트로피항 $T_0\Delta s$를 뺀 값이다.

NoteBase

문 12. 닫힌계(Closed system)와 일정한 압력에서 균질상의 열역학적 깁스에너지를 온도에 대한 도함수 $\left(\frac{\partial G}{\partial T}\right)_P$로 나타낸 식은?

① H

② S

③ V

④ $-S$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 깁스 자유에너지의 기본 미분식 $dG = VdP - SdT$에서 일정 압력 조건의 편미분을 읽어내는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 단순 압축계인 균질상의 닫힌계이다.
구해야 할 값: $(\partial G/\partial T)_P$이다.
주의할 조건: 온도에 대한 미분이므로 압력항이 아니라 엔트로피 항의 부호를 봐야 한다.

사용할 공식

$dG = VdP - SdT$
이 공식을 쓰는 이유는 깁스 자유에너지 G의 자연변수가 T, P이므로 온도와 압력에 대한 편미분값을 이 미분식에서 바로 읽을 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 깁스 자유에너지의 기본 관계식은 $dG = VdP - SdT$이다.
2. 일정 압력에서는 $dP = 0$이므로 $dG = -SdT$가 된다.
3. 따라서 $(\partial G/\partial T)_P = -S$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

H는 엔탈피로서 G 자체의 정의식 $G = H - TS$에는 들어가지만, 일정 압력에서의 온도 편미분값은 아니다. 틀린 표현은 "$(\partial G/\partial T)_P = H$"이고, 올바르게는 "$(\partial G/\partial T)_P = -S$"이다.

② X

엔트로피 S 자체가 아니라 부호가 붙은 $-S$가 된다. 틀린 표현은 부호를 빠뜨린 "$(\partial G/\partial T)_P = S$"이고, 올바르게는 "$(\partial G/\partial T)_P = -S$"이다.

③ X

부피 V는 깁스 자유에너지의 압력 편미분에 대응한다. 즉 $(\partial G/\partial P)_T = V$이다. 틀린 표현은 미분 대상을 온도로 본 "$(\partial G/\partial T)_P = V$"이고, 올바르게는 "$(\partial G/\partial P)_T = V$" 또는 이 문제의 물음에 대해서는 "$(\partial G/\partial T)_P = -S$"이다.

④ O

기본 미분식 $dG = VdP - SdT$에서 일정 압력 조건 $dP = 0$을 대입하면 $dG = -SdT$가 되므로 $(\partial G/\partial T)_P = -S$가 맞다.

오답 포인트

깁스 자유에너지의 자연변수 대응을 뒤섞으면 ②와 ③에 쉽게 흔들린다. V는 압력 편미분, $-S$는 온도 편미분이라는 짝을 구분하지 못하거나, ②처럼 엔트로피의 부호를 놓치는 실수가 대표적이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자유에너지 문제가 나오면 먼저 해당 퍼텐셜의 자연변수를 확인한 뒤 미분식의 계수를 읽는다. G는 T, P의 함수이므로 $dG = VdP - SdT$에서 온도 미분은 $-S$, 압력 미분은 V로 바로 연결된다.

암기 포인트

깁스 자유에너지 G: 온도 미분은 $-S$, 압력 미분은 V이다.

NoteBase

문 13. 초기 압력이 15atm, 온도가 300K인 이상기체 1 mol이 최종 압력 1atm이 될 때까지 등온 가역팽창하였다. 이때 외부에 행해진 절대일의 값[J]은? (단, 기체상수는 8J/mol · K, ln15=3으로 한다.)

① 7,000

② 7,200

③ 7,400

④ 7,600

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 등온 가역팽창에서 외부에 행해진 일의 절댓값을 압력비 로그식으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $n = 1mol$, $T = 300K$, $P_1 = 15atm$, $P_2 = 1atm$, $R = 8J/(mol \cdot K)$, $\ln 15 = 3$이다.
구해야 할 값: 외부에 행해진 절대일이다.
주의할 조건: 이상기체의 등온 가역팽창이므로 부피비 대신 P_1/P_2를 써도 되고, 문제에서 준 근사값만 사용해야 한다.

사용할 공식

등온 가역팽창에서 기체가 외부에 한 일의 절댓값은
$|W| = nRT\ln\frac{P_1}{P_2}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유:
이상기체가 등온으로 가역팽창하면 $PV = nRT$가 일정하므로 $W = \int PdV$를 적분한 결과를 그대로 적용할 수 있다.

계산 과정

1. 압력비는 $P_1/P_2 = 15/1 = 15$이다.
2. 절대일은
$|W| = nRT\ln\frac{P_1}{P_2} = 1 \times 8 \times 300 \times 3$
이다.
3. 따라서
$|W| = 7200J$
이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 7,000 J라는 값이 틀리다. 올바르게는 7200J이다. 1번은 로그값이나 곱셈을 임의로 줄여 잡은 경우에 가까운 값이다.
2번 O: 계산 결과가 7200J이므로 맞다.
3번 X: 7,400 J라는 값이 틀리다. 올바르게는 7200J이다. 3번은 문제에서 준 $R = 8$, $\ln 15 = 3$ 대신 다른 상수값을 섞어 쓴 경우에 가까운 값이다.
4번 X: 7,600 J라는 값이 틀리다. 올바르게는 7200J이다. 4번은 주어진 조건을 벗어난 근사값 사용이나 산술오류에서 나오는 값이다.

오답 포인트

등온 가역팽창에서는 $W = nRT\ln(V_2/V_1) = nRT\ln(P_1/P_2)$라는 관계를 써야 한다. 또한 문제는 부호가 붙은 일이 아니라 외부에 행해진 절대일을 묻고, $R = 8$, $\ln 15 = 3$이라는 제시값을 그대로 써야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온 가역팽창 계산형은 먼저 절대일인지 부호 포함 일인지를 확인하고, 다음으로 $nRT\ln(P_1/P_2)$ 또는 $nRT\ln(V_2/V_1)$를 적용한 뒤, 문제에서 준 상수와 로그 근사값만 넣어 계산하면 된다.

암기 포인트

등온 가역 이상기체의 팽창일 크기는 $nRT\ln(P_1/P_2)$이고, 팽창이면 항상 초기압력이 최종압력보다 크다.

NoteBase

문 14. <보기>는 실제 기체 1 mol의 상태 방정식을 나타낸 것이다. 임계 부피 V_c는? (단, a와 b는 상수이다.)

<보기>

$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{TV^2}$

① b

② 2b

③ 3b

④ 4b

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 임계점에서의 조건 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0$, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 0$을 이용해 임계 부피를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 상태방정식은 $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{TV^2}$이다.
구해야 할 값은 임계 부피 V_c이다.
상수는 a, b이고, 임계점에서는 등온선이 수평 변곡점을 이룬다.

사용할 공식

임계점 조건은 다음과 같다.
$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0, \qquad \left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 0$
이 문제는 주어진 상태방정식에서 임계 부피를 묻고 있으므로, 압력을 부피에 대해 1차와 2차 미분한 식을 동시에 만족시키는 V를 구하면 된다.

NoteBase

계산 과정

압력을 V에 대해 미분하면

$\frac{\partial P}{\partial V} = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{TV^3} = 0$

다시 한 번 미분하면

$\frac{\partial^2 P}{\partial V^2} = \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{6a}{TV^4} = 0$

첫째 식에서

$RT = \frac{2a(V-b)^2}{TV^3}$

둘째 식에서

$RT = \frac{3a(V-b)^3}{TV^4}$

두 식의 우변을 같게 두면

$\frac{2(V-b)^2}{V^3} = \frac{3(V-b)^3}{V^4}$

$V-b \neq 0$이므로 약분하면

$2V = 3(V-b)$

따라서

$2V = 3V - 3b \Rightarrow V_c = 3b$

계산 결과 임계 부피는 $3b$이다.

선지별 해설

① X

$V_c = b$이면 상태방정식의 첫 항 분모 $V-b$가 0이 되어 정상적인 임계점 조건을 만족시킬 수 없다. 틀린 표현은 "임계 부피가 b이다"이고, 올바르게는 임계 부피가 $3b$이다.

② X

$V_c = 2b$를 대입하면 임계점에서 얻어야 하는 관계식 $2V = 3(V-b)$를 만족하지 않는다. 이 값은 1차 미분식과 2차 미분식의 계수 2와 3 중 하나를 놓쳤을 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 "임계 부피가 $2b$이다"이고, 올바르게는 $V_c = 3b$이다.

③ O

임계점 조건 두 개를 동시에 적용하면 $2V = 3(V-b)$가 되고, 이를 정리하면 $V_c = 3b$가 된다. 따라서 3번이 옳다.

④ X

$V_c = 4b$이면 $(V-b)/V = 3/4$가 되지만, 임계 조건에서 실제로 나오는 비는 $(V-b)/V = 2/3$이다. 따라서 이 값은 미분식 소거 결과와 맞지 않는다. 틀린 표현은 "임계 부피가 $4b$이다"이고, 올바르게는 $V_c = 3b$이다.

NoteBase

오답 포인트

임계점 문제에서는 상태방정식만 보고 반데르발스식의 결과를 기계적으로 외워 적용하거나, 1차 미분식의 계수 2와 2차 미분식의 계수 3을 혼동하는 경우가 많다. 이 문항의 핵심은 두 미분식을 각각 세운 뒤 공통항을 소거해 V와 b의 비를 정확히 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

임계 부피를 묻는 상태방정식은 먼저 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0$, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 0$를 세우고, 이어서 두 식의 공통항을 소거해 V와 상수의 비를 구하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

임계점은 기울기 0과 변곡점 조건을 함께 쓰는 지점이며, 이 식에서는 그 결과가 $V_c = 3b$로 정리된다.

NoteBase

문 15. 일정한 온도와 압력에서 2성분계 혼합물이 안정된 단일상을 형성하기 위한 조건을 옳게 짝지은 것은?

① $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} > 0, \frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} > -\frac{1}{x_1 x_2}$
② $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} > 0, \frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} < -\frac{1}{x_1 x_2}$
③ $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} < 0, \frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} < -\frac{1}{x_1 x_2}$
④ $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} < 0, \frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} > -\frac{1}{x_1 x_2}$

정답 1번

출제 포인트

일정한 온도와 압력에서 2성분계 혼합물이 안정한 단일상을 이루려면 혼합 깁스에너지 곡선이 조성에 대해 위로 볼록해야 한다는 안정성 조건을 묻는 문제이다.

조건 정리

안정한 단일상 조건은 조성에 대한 혼합 깁스에너지의 곡률이 양수인 것이다.
$\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} > 0$
또한
$\frac{\Delta G}{RT} = x_1 \ln x_1 + x_2 \ln x_2 + \frac{G^E}{RT}$
이므로 이를 두 번 미분하면
$\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} = \frac{1}{x_1 x_2} + \frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2}$
가 된다. 따라서 안정성 조건은
$\frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} > -\frac{1}{x_1 x_2}$
로도 쓸 수 있다.

NoteBase

선지별 해설

① O
안정한 단일상은 $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} > 0$이어야 한다. 이를 $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} = \frac{1}{x_1x_2} + \frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2}$에 대입하면 $\frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} > -\frac{1}{x_1x_2}$가 되어 두 조건이 모두 맞다.

② X
첫 번째 조건 $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} > 0$는 맞지만, 두 번째 부등호 방향이 틀렸다. $\frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} < -\frac{1}{x_1x_2}$이면 전체 곡률이 음수 또는 0 쪽으로 가서 안정한 단일상이 될 수 없다. 틀린 표현은 둘째 식의 $<$이고, 올바르게는 $> -\frac{1}{x_1x_2}$이다.

③ X
안정한 단일상은 혼합 깁스에너지 곡선이 위로 볼록해야 하므로 $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} < 0$는 성립할 수 없다. 둘째 식도 ②와 같은 이유로 틀리다. 틀린 표현은 첫째 식의 < 0과 둘째 식의 $< -\frac{1}{x_1x_2}$이고, 올바르게는 각각 > 0, $> -\frac{1}{x_1x_2}$이다.

④ X
둘째 식 $\frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} > -\frac{1}{x_1x_2}$는 맞지만, 첫째 식이 틀렸다. 안정한 단일상에서는 $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} < 0$가 아니라 > 0이어야 하므로 올바른 짝이 아니다. 틀린 표현은 첫째 식의 < 0이고, 올바르게는 > 0이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 안정성 조건을 ΔG의 곡률과 G^E의 곡률로 옮길 때 부등호 방향을 뒤집어 기억하는 데 있다. 특히 ④처럼 둘째 식만 맞는 선지를 보면 일부 조건만 맞아도 정답처럼 느껴지기 쉽지만, 문제는 두 식의 짝이 모두 맞아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

혼합물 안정성 문제는 먼저 $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} > 0$라는 기본 조건을 잡고, 그다음 $\Delta G = \Delta G^{id} + G^E$로 나누어 이상혼합항의 곡률 $\frac{1}{x_1x_2}$를 더한 형태로 바꿔 본다. 이후 과잉 깁스에너지 쪽 부등호가 $> -\frac{1}{x_1x_2}$인지 확인하면 된다.

암기 포인트

안정한 단일상은 혼합 깁스에너지 곡선이 위로 볼록이고, 따라서 $\frac{d^2(\Delta G/RT)}{dx_1^2} > 0$와 $\frac{d^2(G^E/RT)}{dx_1^2} > -\frac{1}{x_1x_2}$를 함께 만족한다.

NoteBase

문 16. 일정한 온도와 압력에서 성분 1과 2로 구성된 2성분 액상계의 엔탈피 H는 <보기>와 같은 식으로 주어진다. $x_1 = 0.5$일 때 성분 2의 부분 몰 엔탈피 $\overline{H}_2$의 값[J/mol]은?

<보기>

$H = 100x_1 + 200x_2 + x_1x_2(20x_1 + 10x_2)$

H의 단위는 J/mol이다.

① 105.0

② 107.5

③ 197.5

④ 202.5

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이성분계의 몰 엔탈피식 $H(x_1)$로부터 성분 2의 부분몰 엔탈피 $\bar{H}_2$를 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 몰 엔탈피는 $H = 100x_1 + 200x_2 + x_1x_2(20x_1 + 10x_2)$이다.
구해야 할 값은 $x_1 = 0.5$에서의 성분 2의 부분몰 엔탈피 $\bar{H}_2$이다.
이성분계이므로 $x_2 = 1 - x_1$ 관계를 먼저 적용할 수 있다.

사용할 공식

이성분계에서 몰 성질 H를 x_1의 함수로 쓰면 성분 2의 부분몰 성질은 $\bar{H}_2 = H - x_1 dH/dx_1$이다.
이 공식은 전체 몰 엔탈피가 조성에 따라 어떻게 변하는지를 미분으로 반영해 각 성분의 부분몰 기여를 구하는 식이다.

NoteBase

계산 과정

1. $x_2 = 1 - x_1$를 대입하면

$H = 100x_1 + 200(1 - x_1) + x_1(1 - x_1)\{20x_1 + 10(1 - x_1)\} = 200 - 90x_1 - 10x_1^3$

2. 이를 x_1로 미분하면

$\frac{dH}{dx_1} = -90 - 30x_1^2$

3. $x_1 = 0.5$를 대입하면

$H = 200 - 90(0.5) - 10(0.5)^3 = 153.75$

$\frac{dH}{dx_1} = -90 - 30(0.5)^2 = -97.5$

4. 따라서

$\bar{H}_2 = H - x_1\frac{dH}{dx_1} = 153.75 - 0.5(-97.5) = 202.5\text{J/mol}$

선지 판단

1번 X: 105.0은 성분 2가 아니라 성분 1의 부분몰 엔탈피 $\bar{H}_1 = H + x_2 dH/dx_1$를 계산하면 나오는 값이다. 성분 2를 묻고 있으므로 올바르게는 202.5J/mol이다.

2번 X: 107.5는 부분몰 엔탈피 공식을 정확히 적용하지 못한 값이다. 성분 2의 부분몰 엔탈피는 반드시 $\bar{H}_2 = H - x_1 dH/dx_1$로 계산해야 하며 결과는 202.5J/mol이다.

3번 X: 197.5는 미분값을 구하고도 $x_1 = 0.5$를 곱하는 단계를 빠뜨린 오답이다. 올바르게는 $153.75 - 0.5(-97.5) = 202.5$이다.

4번 O: 계산 결과 $\bar{H}_2 = 202.5\text{J/mol}$이므로 옳다.

오답 포인트

부분몰 엔탈피 문제에서는 순수성분 항만 보거나 성분 1과 성분 2의 공식을 뒤바꾸기 쉽다. 특히 1번처럼 $\bar{H}_1$ 값을 구해 놓고 $\bar{H}_2$로 착각하는 함정이 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

이성분 부분몰 성질 문제는 먼저 $x_2 = 1 - x_1$로 정리한 뒤 $H(x_1)$를 만든다. 그 다음 $\bar{H}_1 = H + x_2 dH/dx_1$, $\bar{H}_2 = H - x_1 dH/dx_1$를 구분해서 적용하면 된다.

암기 포인트

이성분계 부분몰 성질은 $H(x_1)$로 바꾼 뒤 성분 1은 더하고 성분 2는 뺀다.

NoteBase

문 17. 잔류성질과 관련된 식으로 옳지 않은 것은?

① $\frac{H^R}{RT} = \int_0^P (Z-1)\frac{dP}{P}$ (T는 일정)
② $G = G^{ig} + G^R$
③ $\frac{V^R}{RT} = \left[\frac{\partial (G^R/RT)}{\partial P}\right]_T$
④ $V^R = \frac{RT}{P}(Z-1)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 잔류성질의 정의와 G^R, H^R, V^R, 압축인자 Z 사이의 기본 관계식을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

잔류성질은 같은 온도와 압력에서 실제기체 성질과 이상기체 성질의 차이로 정의된다.
G^R는 $\int_0^P (Z-1)dP/P$와 직접 연결되고, V^R는 $V - RT/P$이므로 $V^R = RT(Z-1)/P$가 된다.
반면 H^R는 G^R의 온도의존성에서 나오므로 단순히 $\int_0^P (Z-1)dP/P$와 같지 않다.

선지별 해설

1번: X
틀린 부분은 $H^R/RT = \int_0^P (Z-1)dP/P$라는 대응이다.
$\int_0^P (Z-1)dP/P$는 잔류 깁스에너지에 대한 식으로 $G^R/RT = \int_0^P (Z-1)dP/P$이다.
잔류 엔탈피는 $H^R/RT = -T\int_0^P (\partial Z/\partial T)_P dP/P$로 써야 한다.
2번: O
깁스에너지는 기준 상태를 이상기체로 잡으면 전체 성질이 이상기체 부분과 잔류 부분의 합으로 분해되므로
$G = G^{ig} + G^R$가 맞다.
3번: O
$V = (\partial G/\partial P)_T$이므로 잔류성질에도 같은 미분관계가 적용된다.
따라서 $V^R/RT = [\partial (G^R/RT)/\partial P]_T$는 올바른 식이다.
4번: O
압축인자 정의 $Z = PV/RT$에서 이상기체는 $V^{ig} = RT/P$이다.
따라서 $V^R = V - V^{ig} = RT(Z-1)/P$가 되어 식이 맞다.

오답 포인트

1번은 G^R 식을 H^R 식으로 바꿔 끼운 함정이다. 잔류 깁스에너지는 $Z-1$ 적분형이고, 잔류 엔탈피는 온도미분 $(\partial Z/\partial T)_P$가 들어간다는 점을 구별하지 못하면 틀리기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

잔류성질 식이 나오면 먼저 $M^R = M - M^{ig}$ 정의를 떠올린다. 그다음 G^R는 $Z-1$의 압력적분, V^R는 $Z-1$의 대수식, H^R는 Z의 온도미분이 들어간 식인지 순서대로 확인하면 판단할 수 있다.

암기 포인트

G^R: 적분식, V^R: $Z-1$, H^R: $(\partial Z/\partial T)_P$이다.

NoteBase

문 18. 평형 상태에서 <보기> 반응의 평형 상수 온도 의존성은 $\ln K = \frac{a}{T} + b$로 주어진다. 이때 표준 엔트로피의 변화 (ΔS°)는? (단, a와 b는 상수이고 R은 기체상수이다.)

<보기>

$X(g) \rightleftharpoons 2Y(g)$

① aR

② aRT

③ bRT

④ bR

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 평형상수의 온도 의존식과 $\Delta G^\circ = -RT\ln K = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$를 연결해 ΔS°를 계수 비교로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $\ln K = \frac{a}{T} + b$이다.
구해야 할 값은 반응 $X(g) \rightleftharpoons 2Y(g)$의 표준 엔트로피 변화 ΔS°이다.
a와 b는 상수이고, 선택지의 핵심은 $1/T$ 항의 계수와 상수항이 각각 무엇을 뜻하는지 구분하는 데 있다.

사용할 공식

$\Delta G^\circ = -RT\ln K = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$
따라서
$\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R}$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 $\ln K$를 $1/T$의 함수로 직접 주었으므로, 표준 반응 엔탈피와 표준 반응 엔트로피를 각 항의 계수로 바로 비교할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \frac{\Delta S^\circ}{R}$를 주어진 식 $\ln K = \frac{a}{T} + b$와 비교한다.
2. $1/T$ 항의 계수끼리 비교하면 $a = -\frac{\Delta H^\circ}{R}$이다.
3. 상수항끼리 비교하면 $b = \frac{\Delta S^\circ}{R}$이다.
4. 따라서 $\Delta S^\circ = bR$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: aR는 $1/T$ 항의 계수 a를 엔트로피 항으로 잘못 연결한 값이다. a는 ΔS°가 아니라 $-\Delta H^\circ/R$에 대응한다. 틀린 표현은 "Δ S^=aR"이고, 올바르게는 "Δ S^=bR"이다.
2번 X: aRT는 a에 다시 RT를 곱해 온도 의존성을 잘못 붙인 값이다. ΔS°는 이 계수 비교에서 상수항 b로 정해지므로 aRT가 아니다. 틀린 표현은 "Δ S^=aRT"이고, 올바르게는 "Δ S^=bR"이다.
3번 X: bRT는 정답식 bR에 불필요하게 T를 더 곱한 값이다. 상수항 비교 결과는 $b = \Delta S^\circ/R$이므로 $\Delta S^\circ = bR$만 남는다. 틀린 표현은 "Δ S^=bRT"이고, 올바르게는 "Δ S^=bR"이다.
4번 O: $\ln K$ 식의 상수항 b는 $\Delta S^\circ/R$에 해당하므로 $\Delta S^\circ = bR$이다. 계수 비교 결과와 정확히 일치한다.

오답 포인트

a/T 항과 상수항 b의 역할을 뒤바꾸면 오답이 된다. 이 식에서 a는 엔탈피 항, b는 엔트로피 항에 대응하며, 2번과 3번처럼 T를 임의로 곱하는 실수도 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

$\ln K$가 $1/T$ 꼴로 주어지면 먼저 $\ln K = -\Delta H^\circ/(RT) + \Delta S^\circ/R$로 바꾼다. 그다음 $1/T$의 계수는 엔탈피, 상수항은 엔트로피로 대응시켜 바로 비교하면 된다.

암기 포인트

$\ln K = -\Delta H^\circ/(RT) + \Delta S^\circ/R$에서 $1/T$ 계수는 엔탈피, 상수항은 엔트로피이다.

NoteBase

문 19. 액체 아세톤 1 g이 온도 T_1, 부피 V_1, 압력 P_1에서 온도 T_2, 압력 P_1으로 상태가 변할 때 나중 부피 V_2를 구하는 식으로 옳은 것은? (단, β는 상수이다.)

$\beta \equiv \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

① $V_2 = V_1 e^{\beta(T_2 - T_1)}$
② $V_2 = \frac{V_1}{e^{\beta(T_2 - T_1)}}$
③ $V_2 = V_1 e^{\beta(T_1 - T_2)}$
④ $V_2 = \frac{V_1}{e^{\beta(T_1 - T_2)}}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정압 체적팽창계수 정의를 적분해 온도 변화에 따른 액체의 부피 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 초기 상태는 T_1, V_1, P_1이고 최종 상태는 T_2, P_1이다.
구해야 할 값: 최종 부피 V_2이다.
주의할 조건: 압력은 계속 P_1로 일정하고, β는 상수이다.

사용할 공식

정압 체적팽창계수의 정의는 $\beta \equiv \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$이다.
정압에서 β가 상수이므로 $\frac{dV}{V} = \beta dT$로 둘 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 압력이 일정하고 β를 상수로 주었으므로, 정의식을 바로 분리적분하면 V_1에서 V_2로의 변화를 구할 수 있다.

계산 과정

1. 정의식을 정압 조건에 맞게 쓰면 $\frac{dV}{V} = \beta dT$이다.
2. 초기 상태와 최종 상태 사이를 적분하면
$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \int_{T_1}^{T_2} \beta dT$
$\ln \frac{V_2}{V_1} = \beta(T_2 - T_1)$
3. 양변에 지수를 취하면
$V_2 = V_1 e^{\beta(T_2 - T_1)}$
이므로 정답식은 ①과 같다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- 적분 결과가 그대로 $V_2 = V_1 e^{\beta(T_2 - T_1)}$이므로 맞다.

② X
- 이 식은 $V_2 = \frac{V_1}{e^{\beta(T_2 - T_1)}} = V_1 e^{-\beta(T_2 - T_1)}$이므로 지수의 부호가 반대로 들어간 값이다.
- 틀린 표현은 분모로 내려가면서 부호가 뒤집힌 형태이고, 올바르게는 $V_2 = V_1 e^{\beta(T_2 - T_1)}$이다.

③ X
- $\beta(T_1 - T_2) = -\beta(T_2 - T_1)$이므로 ③도 결국 $V_1 e^{-\beta(T_2 - T_1)}$가 되어 부호가 반대이다.
- 틀린 표현은 $(T_1 - T_2)$이고, 올바르게는 $(T_2 - T_1)$로 써서 $V_2 = V_1 e^{\beta(T_2 - T_1)}$가 되어야 한다.

④ △ (복수정답 소지)
- 이미지의 식을 그대로 계산하면 $V_2 = \frac{V_1}{e^{\beta(T_1 - T_2)}} = V_1 e^{-\beta(T_1 - T_2)} = V_1 e^{\beta(T_2 - T_1)}$이므로 ①과 수학적으로 완전히 같은 식이다.
- 즉 ④는 ①과 동일한 값을 주므로 엄밀히 보면 정답이 두 개로 성립하는 출제 결함에 해당한다. 다만 공식 정답은 표준형인 ①로 처리되었다.

오답 포인트

이 문제의 핵심 함정은 $\beta = \frac{1}{V}(\partial V/\partial T)_P$에서 바로 dV/V 형태로 넘긴 뒤 적분 부호를 반대로 쓰는 실수이다. ②와 ③은 모두 $(T_2 - T_1)$의 부호를 잘못 처리하면 나오는 식이다. 또한 이미지상 ④는 $\frac{V_1}{e^{\beta(T_1 - T_2)}} = V_1 e^{\beta(T_2 - T_1)}$로 ①과 수학적으로 동일한 식이므로, 이 문항은 정답이 ①과 ④ 두 개로 성립하는 출제 결함을 안고 있으며 공식 정답은 표준형인 ①로 확정되었다는 점에 주의한다.

다시 나오면 이렇게 판단

정압 팽창계수 문제가 나오면 먼저 $\frac{dV}{V} = \beta dT$로 정리한 뒤, 적분 구간을 $V_1 \to V_2$, $T_1 \to T_2$ 순서로 그대로 넣어 $\ln(V_2/V_1) = \beta(T_2 - T_1)$를 만든 다음 지수형으로 바꾸면 된다.

암기 포인트

정압에서 β가 상수이면 $\ln(V_2/V_1) = \beta \Delta T$, 따라서 $V_2 = V_1 e^{\beta \Delta T}$이다.

NoteBase

문 20. 실제 기체의 조름공정(Throttling process)에서 온도가 증가하는 경우에 해당하는 것은?

① $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H > 0$

② $\frac{1}{C_P}\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T > 0$

③ $V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P < 0$

④ $\frac{RT^2}{C_P P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P > 0$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 조름공정에서의 조름계수 $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$의 부호와 그 동치식을 묻는 문제이다.

조건 정리

조름공정은 단열 정상흐름에서 엔탈피가 일정하므로 $dH = 0$이다.
밸브를 지나는 동안 압력은 감소하므로 $dP < 0$이다.
온도가 증가하려면 $dT > 0$이어야 하므로 $dT = \mu_{JT} dP$에서 $\mu_{JT} < 0$이어야 한다.

사용할 공식

$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H = \frac{1}{C_P}\left[T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V\right] = -\frac{1}{C_P}\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$이다.
또한 $V = ZRT/P$를 대입하면 $\mu_{JT} = \frac{RT^2}{C_P P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$이다.
이 식들은 모두 같은 조름계수의 표현이므로, 온도 상승 조건은 각 식의 부호 조건으로 서로 바꿔 쓸 수 있다.

계산 과정

1. 조름공정에서는 H가 일정하므로 $\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$로 온도 변화와 압력 변화의 부호를 직접 연결한다.
2. 실제 조름에서는 $dP < 0$이므로 온도 증가 $dT > 0$가 되려면 $\mu_{JT} < 0$이어야 한다.
3. 따라서 $-\frac{1}{C_P}\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T < 0$이고, $C_P > 0$이므로 $\frac{1}{C_P}\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T > 0$가 된다.
4. 같은 뜻으로 $T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V < 0$이며, 이를 바꾸어 쓰면 $V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P > 0$이다.
5. 또 $\mu_{JT} = \frac{RT^2}{C_P P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$이므로 이 값도 < 0이어야 한다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H$ 자체가 조름계수이다. 조름에서는 $dP<0$인데 온도가 증가하려면 $dT>0$여야 하므로 이 값은 >0가 아니라 <0이어야 한다. 틀린 표현은 부등호 >0이며, 올바르게는 <0이다.
② O: $\mu_{JT}=-\frac{1}{C_P}\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$이다. 온도 증가 조건은 $\mu_{JT}<0$이므로 $C_P>0$인 실제 기체에서 $\frac{1}{C_P}\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T>0$가 된다.
③ X: $\mu_{JT}=\frac{1}{C_P}\left[T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P-V\right]$이다. 온도 증가 조건은 $T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P-V<0$이므로, 이를 옮겨 쓰면 $V-T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P>0$이다. 틀린 표현은 부등호 <0이며, 올바르게는 >0이다.
④ X: $V=ZRT/P$를 대입하면 $\mu_{JT}=\frac{RT^2}{C_PP}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$이다. 온도 증가 조건은 $\mu_{JT}<0$이므로 이 식도 >0가 아니라 <0이어야 한다. 틀린 표현은 부등호 >0이며, 올바르게는 <0이다.

오답 포인트

이 문항의 핵심 함정은 압력이 감소하는 과정이라는 점을 빼먹고 조름계수의 부호를 반대로 잡는 데 있다. `온도 증가`만 보고 $\mu_{JT}>0$로 착각하면 ①과 ④를 고르게 된다. ③은 식을 정리할 때 항의 위치만 바뀌고 의미상 부호 조건은 반대로 읽혀야 한다는 점을 놓치기 쉬운 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

조름공정 문제는 먼저 H 일정과 $dP<0$를 적고, 그다음 $dT=\mu_{JT}dP$에서 원하는 온도 변화에 맞는 μ_{JT}의 부호를 정한다. 이후 μ_{JT}의 다른 표현식들에 같은 부호 조건을 대입하면 동치 선지를 바로 판별할 수 있다.

암기 포인트

조름공정에서 냉각은 $\mu_{JT}>0$, 가열은 $\mu_{JT}<0$이다. 또한 $\mu_{JT}=\frac{1}{C_P}\left[T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P-V\right]=-\frac{1}{C_P}\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$이다.

NoteBase