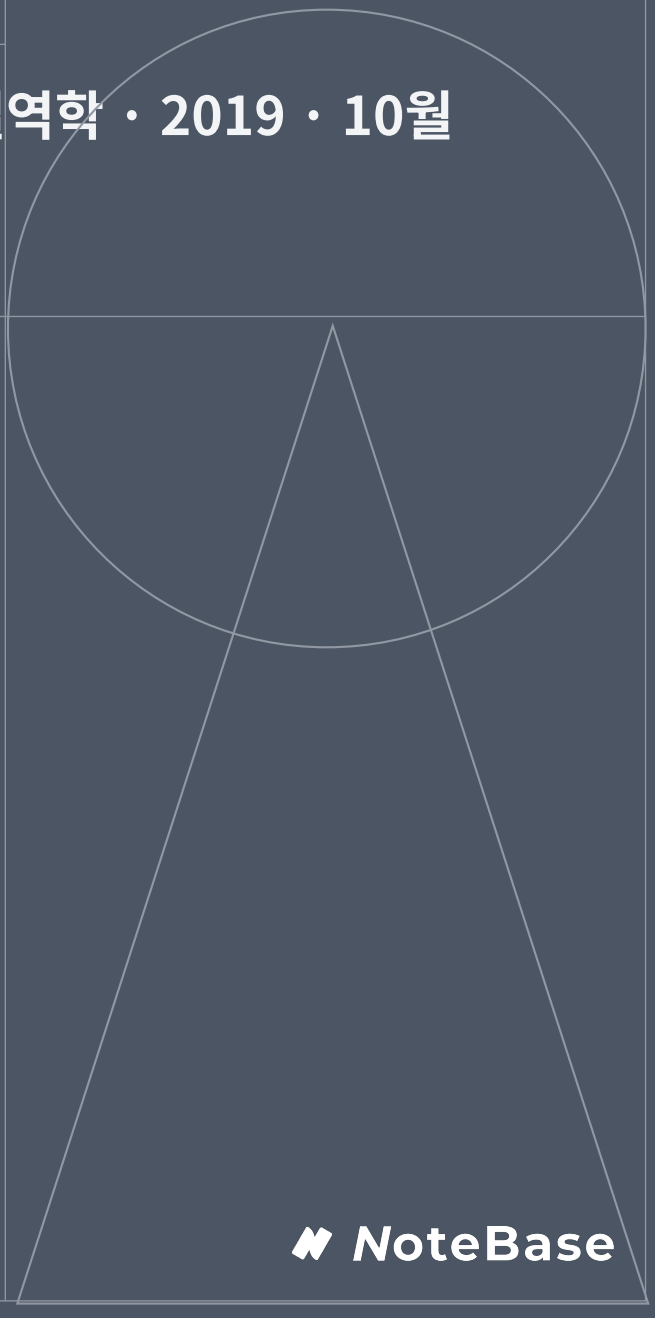
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2019 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2019 · 10월

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2019 · 10월

문 1. 이상기체에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 분자 간의 상호작용이 존재한다.

② 내부에너지는 온도만의 함수이다.

③ 상태방정식은 $PV = T$이다.

④ 압축인자 Z는 2 이상이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 기본 가정과 그에 따른 성질을 정확히 구별하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

이상기체는 분자 자체의 부피와 분자 간 상호작용을 무시하는 가상기체이며, 이 가정 때문에 내부에너지는 온도만의 함수가 된다.
압축인자 Z는 실제기체가 이상기체에서 얼마나 벗어나는지를 나타내며, 이상기체는 $Z = 1$이다.
이상기체 상태방정식은 $PV = nRT$이며, 1몰일 때만 $PV = RT$로 쓸 수 있다.

선지별 해설

① X: 이상기체는 분자 간 인력과 반발력 같은 상호작용이 없다고 가정한다. 틀린 표현은 "상호작용이 존재한다"이며, 올바르게는 "분자 간 상호작용이 없다고 본다"이다.
② O: 이상기체의 내부에너지는 분자 운동에너지에만 대응하므로 온도가 정해지면 내부에너지도 정해진다. 따라서 내부에너지는 온도만의 함수라는 설명이 옳다.
③ X: 이상기체의 일반적인 상태방정식은 $PV = nRT$이다. 틀린 표현은 "$PV = T$"이며, 올바르게는 "$PV = nRT$이고 1몰일 때는 $PV = RT$이다"이다.
④ X: 압축인자 $Z = \frac{PV}{nRT}$는 이상기체에서 정확히 1이다. 틀린 표현은 "2 이상"이며, 올바르게는 "이상기체의 압축인자는 1이다"이다.

NoteBase

오답 포인트

③은 1몰 식 $PV = RT$를 어설프게 기억한 경우에 흔히 속는 선지이다. ④는 압축인자의 의미를 모르고 큰 수일수록 이상적이라고 오해하면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 문항은 먼저 가정을 확인하면 된다. 분자 간 힘 없음, 내부에너지는 온도만 의존, 상태방정식은 $PV = nRT$, 압축인자는 $Z = 1$이라는 네 가지를 기준으로 선지를 바로 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

이상기체는 "힘 없음, $U = U(T)$, $PV = nRT$, $Z = 1$"로 정리된다.

NoteBase

문 2. 액체 물이 수증기, 질소 및 산소와 평형을 이루고 있을 때 계의 자유도는?

① 0

② 1

③ 2

④ 3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 깁스 상규칙으로 성분 수와 상의 수를 세어 계의 자유도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 성분은 물, 질소, 산소의 3개이다.
상은 액상 물 1개와 기상 혼합물 1개로 총 2개이다.
화학반응 조건은 제시되지 않았으므로 반응 수는 0이다.

사용할 공식

비반응계의 깁스 상규칙은 $F = C - P + 2$이다.
여기서 F는 자유도, C는 성분 수, P는 상의 수이다.
이 계는 서로 평형인 여러 상을 가진 비반응계이므로 이 공식을 그대로 적용할 수 있다.

계산 과정

성분 수는 $C = 3$이다.
상의 수는 액체와 기체이므로 $P = 2$이다.
따라서 $F = C - P + 2 = 3 - 2 + 2 = 3$이다.

선지별 해설

① X: 자유도를 0으로 본 값이다. 이 계는 성분 3개와 상 2개인 비반응계이므로 자유도는 0이 아니라 3이다.
② X: 자유도를 1로 본 값이다. 성분 수를 1개로 잘못 세거나 상규칙 적용을 누락한 경우의 오답이다. 올바른 값은 3이다.
③ X: 자유도를 2로 본 값이다. 압력과 온도 중 하나가 상평형 때문에 고정된다고 오해한 경우의 오답이다. 비반응 2상 3성분계에서는 자유도가 2가 아니라 3이다.
④ O: $F = 3$이므로 옳다. 물, 질소, 산소를 성분 3개로 보고 액상과 기상을 상 2개로 세면 정답이 3으로 정해진다.

NoteBase

오답 포인트

액상에 물만 있으므로 성분 수도 1이라고 줄여 세는 실수가 자주 나온다. 성분 수는 전체 계의 조성을 정하는 데 필요한 독립 성분 수이므로 물, 질소, 산소를 모두 포함해 3으로 본다.

다시 나오면 이렇게 판단

상평형 자유도 문제는 먼저 반응 유무를 보고, 다음에 전체 계의 독립 성분 수 C와 상의 수 P를 센 뒤 $F = C - P + 2$에 대입해 판단한다.

암기 포인트

비반응계 자유도는 $F = C - P + 2$이며, 이 문항은 3성분 2상이라 자유도 3이다.

NoteBase

문 3. 이상기체의 엔트로피 변화가 <보기>와 같은 식으로 표현될 수 있는 공정으로 가장 옳은 것은?

<보기>

$\Delta S = C_V \ln(T_2/T_1)$

① 일정압력 가열

② 일정부피 가열

③ 단열압축

④ 가열압축

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔트로피 변화 일반식에서 어떤 상태량 항이 0이 되는지를 보고 공정 조건을 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $\Delta S = C_V \ln(T_2/T_1)$이다.
이상기체의 엔트로피 변화는 $\Delta S = C_V \ln(T_2/T_1) + R \ln(V_2/V_1)$로 쓸 수 있다.
따라서 제시식이 성립하려면 $\ln(V_2/V_1) = 0$, 즉 $V_2 = V_1$이어야 한다.

사용할 공식

$\Delta S = C_V \ln\left(\frac{T_2}{T_1}\right) + R \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$
이 공식을 쓰는 이유는 제시된 식이 일반식에서 부피 변화항이 사라진 특수한 경우인지 확인해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. 이상기체 엔트로피 변화 일반식을 쓴다.
2. 제시식에는 $R \ln(V_2/V_1)$ 항이 없다.
3. 따라서 $V_2/V_1 = 1$, 즉 부피가 일정한 공정이어야 한다.
4. 보기 중 부피가 일정한 채 가열하는 공정은 2번이므로 정답은 2번이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2019 · 10월

선지 판단

1번 X: 일정압력 가열이면 이상기체 엔트로피 변화식은 $\Delta S = C_P \ln(T_2/T_1)$로 쓰는 것이 맞다. 틀린 표현은 '일정압력'이며, 올바르게는 '일정압력이면 C_V가 아니라 C_P가 붙는다'이다.
2번 O: 일정부피 가열이면 $V_2 = V_1$이므로 $R\ln(V_2/V_1) = 0$이 된다. 따라서 $\Delta S = C_V \ln(T_2/T_1)$가 그대로 성립한다.
3번 X: 단열압축, 특히 가역 단열압축이면 $\Delta S = 0$이다. 틀린 표현은 '단열압축'이며, 올바르게는 '가역 단열압축의 엔트로피 변화는 0이고, 비가역 단열압축도 제시식처럼 단순히 정리되지 않는다'이다.
4번 X: 가열압축은 온도와 부피가 함께 변하는 공정이므로 일반적으로 $R\ln(V_2/V_1)$ 항이 남는다. 틀린 표현은 '가열압축'이며, 올바르게는 '압축이 있으면 부피 변화항까지 포함한 일반식으로 판단해야 한다'이다.

오답 포인트

엔트로피가 상태함수라는 점만 기억하고 경로 조건을 흐리게 보면 1번과 4번을 고르기 쉽다. 이 문항은 '온도항 앞의 열용량'과 '부피항의 소거 여부'를 함께 봐야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 엔트로피 식이 나오면 먼저 일반식 C_V형 또는 C_P형을 떠올린다. 그다음 빠진 항이 무엇인지 확인해 일정부피인지, 일정압력인지, 또는 다른 일반 공정인지를 구분한다.

암기 포인트

이상기체 엔트로피는 C_V와 부피항, 또는 C_P와 압력항의 짝으로 기억하며, 부피가 일정하면 C_V형만 남는다.

NoteBase

문 4. 섭씨온도[°C]와 화씨온도[°F]가 같은 값을 가지는 절대 온도[K]는?

① 233.15K

② 243.15K

③ 253.15K

④ 263.15K

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 섭씨와 화씨의 변환식에서 두 온도가 같다는 조건을 적용한 뒤, 그 값을 절대온도로 바꾸는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 섭씨온도와 화씨온도의 수치가 같다.
구해야 할 값: 그 온도의 절대온도 K 값이다.
주의할 조건: 먼저 $C = F$를 변환식에 대입해 공통 온도를 구한 뒤 $K = C + 273.15$로 바꿔야 한다.

사용할 공식

화씨-섭씨 관계식은 $F = \frac{9}{5}C + 32$이고, 절대온도 변환식은 $K = C + 273.15$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제의 핵심 조건이 섭씨값과 화씨값의 일치이므로 먼저 온도 변환식을 세워 공통 온도를 찾고, 그 결과를 절대온도로 환산해야 하기 때문이다.

계산 과정

공통 온도를 x라 두면 $x = \frac{9}{5}x + 32$이다.
이를 정리하면 $x - \frac{9}{5}x = 32$, 즉 $-\frac{4}{5}x = 32$이다.
따라서 $x = -40$이므로 공통 온도는 $-40^\circ C$이다.
이를 절대온도로 바꾸면 $K = -40 + 273.15 = 233.15$이다.

선지 판단

1번 O: 계산 결과가 233.15K이므로 맞다.
2번 X: 243.15K는 $-30^\circ C$에 해당하는 값이다. 이 문항의 올바른 값은 233.15K이다.
3번 X: 253.15K는 $-20^\circ C$에 해당하는 값이다. 이 문항의 올바른 값은 233.15K이다.
4번 X: 263.15K는 $-10^\circ C$에 해당하는 값이다. 이 문항의 올바른 값은 233.15K이다.

NoteBase

오답 포인트

섭씨와 화씨가 같다는 말을 $0^\circ C = 32^\circ F$ 같은 기준점과 혼동하면 안 된다. 또 $-40^\circ C$를 구해 놓고 절대온도 환산 $+273.15$를 빠뜨리면 바로 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 값을 가진다는 조건이 나오면 먼저 미지수 하나로 두고 온도 변환식을 세운다. 그다음 공통 온도를 구한 뒤 요구 단위가 켈빈이면 마지막에만 $+273.15$를 적용하면 된다.

암기 포인트

섭씨와 화씨의 수치가 같아지는 온도는 항상 $-40^\circ C = -40^\circ F$이고, 이는 233.15K이다.

NoteBase

문 5. 공기 1 kg을 정적과정으로 10°C에서 130°C까지 가열하고, 그 다음에 정압과정으로 130°C에서 210°C까지 가열한다고 할 때, 전체 가열에 필요한 열량[kJ]은? (단, $C_V = 0.70\text{kJ/kg} \cdot {}^\circ\text{C}$이고 $C_P = 1.00\text{kJ/kg} \cdot {}^\circ\text{C}$이다.)

① 161kJ

② 162kJ

③ 163kJ

④ 164kJ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정적과정에서는 $Q = mC_V\Delta T$, 정압과정에서는 $Q = mC_P\Delta T$를 적용하여 전체 가열열량을 합산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 공기 1 kg, $C_V = 0.70kJ/(kg \cdot {}^\circ C)$, $C_P = 1.00kJ/(kg \cdot {}^\circ C)$
정적과정 온도변화: 10°C에서 130°C까지이므로 ΔT=120°C이다.
정압과정 온도변화: 130°C에서 210°C까지이므로 ΔT=80°C이다.
구해야 할 값: 두 과정 전체에 필요한 총 열량이다.

사용할 공식

정적과정: $Q_1 = mC_V\Delta T$
정압과정: $Q_2 = mC_P\Delta T$
전체 열량: $Q = Q_1 + Q_2$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 첫 단계는 정적과정, 둘째 단계는 정압과정이라고 과정을 직접 지정했기 때문이다.

계산 과정

1. 정적과정 열량은 $Q_1 = 1 \times 0.70 \times 120 = 84kJ$이다.
2. 정압과정 열량은 $Q_2 = 1 \times 1.00 \times 80 = 80kJ$이다.
3. 전체 열량은 $Q = 84 + 80 = 164kJ$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 계산 결과는 164kJ인데 161kJ는 3kJ 부족하므로 오답이다. 올바르게는 164kJ이다.
2번 X: 계산 결과는 164kJ인데 162kJ는 2kJ 부족하므로 오답이다. 올바르게는 164kJ이다.
3번 X: 계산 결과는 164kJ인데 163kJ는 1kJ 부족하므로 오답이다. 올바르게는 164kJ이다.
4번 O: 정적과정 84kJ와 정압과정 80kJ를 더하면 164kJ이므로 옳다.

오답 포인트

과정이 바뀌는데도 두 구간에 같은 비열을 적용하거나, 각 구간의 온도변화를 한 번에 합쳐 계산하면 틀리기 쉽다. 정적과정은 C_V, 정압과정은 C_P를 따로 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

과정이 구간별로 나뉘면 먼저 각 구간의 과정 조건을 확인한 뒤 해당 비열을 대응시키고, 각 구간의 ΔT를 따로 계산하여 마지막에 열량을 합산하면 된다.

암기 포인트

기체 가열열량은 정적이면 $mC_V\Delta T$, 정압이면 $mC_P\Delta T$ 이다.

NoteBase

문 6. 어떤 순수한 유체의 삼중점 근처에서 액체의 증기압은 $\ln P_l^{vap} = 15 - \frac{2000}{T}$, 고체의 증기압은 $\ln P_s^{vap} = 20 - \frac{3000}{T}$로 표현된다. 이 유체의 녹는점이 압력에 무관하다면 200 kPa에서 녹는점[K]은? (단, 주어진 식에서 P^{vap}는 kPa 단위, T는 K 단위이다.)

① 200K

② 250K

③ 300K

④ 350K

정답 1번

출제 포인트

삼중점에서 고체와 액체의 증기압이 같아진다는 관계와, 녹는점이 압력에 무관하면 그 온도가 모든 압력에서 같다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 액체의 증기압은 $\ln P_l^{vap} = 15 - \frac{2000}{T}$, 고체의 증기압은 $\ln P_s^{vap} = 20 - \frac{3000}{T}$이다.
구해야 할 값: 200 kPa에서의 녹는점 T이다.
주의할 조건: 녹는점이 압력에 무관하므로, 한 번 구한 고체-액체 평형 온도가 200 kPa에서도 그대로 유지된다.

사용할 공식

삼중점에서는 고체와 액체가 같은 온도에서 같은 증기압을 가져야 하므로 $P_l^{vap} = P_s^{vap}$이다.
즉,
$15 - \frac{2000}{T} = 20 - \frac{3000}{T}$
를 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 녹는점이 압력과 무관할 때 고체-액체 평형 온도가 삼중점 온도와 같아지고, 그 온도가 모든 압력에서 같은 녹는점이 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 두 증기압 식을 같게 놓는다.
$15 - \frac{2000}{T} = 20 - \frac{3000}{T}$
2. 정리하면
$-5 = -\frac{1000}{T}$
$5 = \frac{1000}{T}$
이므로
$T = \frac{1000}{5} = 200K$
이다.
3. 녹는점이 압력에 무관하므로 200 kPa에서의 녹는점도 그대로 200 K이다.

선지 판단

1번 O: 계산 결과 고체와 액체의 평형 온도는 200 K이다. 녹는점이 압력과 무관하므로 200 kPa에서도 녹는점은 200 K이다.
2번 X: 250 K를 대입하면 $15 - 2000/250 = 7$, $20 - 3000/250 = 8$이 되어 두 증기압의 로그값이 같지 않다. 틀린 표현은 '녹는점이 250 K이다'이고, 올바르게는 '녹는점은 200 K이다'이다.
3번 X: 300 K를 대입하면 $15 - 2000/300 \approx 8.33$, $20 - 3000/300 = 10$으로 여전히 같지 않다. 틀린 표현은 '녹는점이 300 K이다'이고, 올바르게는 '녹는점은 200 K이다'이다.
4번 X: 350 K를 대입하면 $15 - 2000/350 \approx 9.29$, $20 - 3000/350 \approx 11.43$으로 차이가 더 남는다. 틀린 표현은 '녹는점이 350 K이다'이고, 올바르게는 '녹는점은 200 K이다'이다.

오답 포인트

200 kPa를 바로 증기압 식에 넣어 온도를 구하려는 실수가 대표적 함정이다. 이 문제는 증기압 자체를 묻는 것이 아니라 고체-액체 평형 온도인 녹는점을 묻고 있으므로, 먼저 두 상의 증기압이 같아지는 온도를 구한 뒤 압력 무관 조건을 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

상평형 계산 문제는 먼저 어떤 두 상의 평형을 묻는지 확인한다. 녹는점이 압력과 무관하다고 주어지면 압력값에 끌리지 말고, 삼중점에서 $P_l^{vap} = P_s^{vap}$를 세워 고체-액체 평형 온도를 먼저 구하면 된다.

암기 포인트

녹는점 압력 무관이면 임의 압력의 녹는점은 삼중점 온도와 같고, 삼중점 온도는 고체와 액체의 증기압을 같게 놓아 구한다.

NoteBase

문 7. 60°C에서 2 mol의 단원자 이상기체가 30기압에서 5기압으로 가역 등온팽창 할 때, 내부에너지의 변화[kcal]는?

① 0kcal

② 25kcal

③ 50kcal

④ 1500kcal

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 내부에너지가 온도만의 함수라는 성질을 이용해 등온과정에서 ΔU를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 60°C, 2 mol, 단원자 이상기체, 30기압에서 5기압으로 가역 등온팽창이다.
구해야 할 값: 내부에너지 변화량이다.
주의할 조건: '등온'이므로 온도가 일정하고, 이상기체의 내부에너지는 압력이나 부피가 아니라 온도에만 의존한다.

사용할 공식

$\Delta U = nC_V\Delta T$
단원자 이상기체라면 $U = \frac{3}{2}nRT$이므로 역시 온도만 바뀔 때만 내부에너지가 변한다.
이 공식을 쓰는 이유: 이상기체의 내부에너지 변화는 과정의 가역성이나 압력 변화량이 아니라 ΔT로만 결정되기 때문이다.

계산 과정

1. 등온팽창이므로 초기와 최종 온도가 같아 $\Delta T = 0$이다.
2. 따라서 $\Delta U = nC_V\Delta T = 0$이다.
3. 내부에너지 변화는 0kcal이므로 정답은 1번이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 0kcal이므로 맞다. 이상기체의 등온과정에서는 내부에너지 변화가 없다.
② X: ②의 '25 kcal'이 틀렸고, 올바르게는 '0 kcal'이다. 등온 이상기체 팽창에서 열과 일이 오가더라도 내부에너지 변화는 온도 변화가 없으므로 0이다.
③ X: ③의 '50 kcal'이 틀렸고, 올바르게는 '0 kcal'이다. 압력비가 크다는 이유만으로 내부에너지가 변하지 않으며, 변화량은 ΔT로만 정해진다.
④ X: ④의 '1500 kcal'이 틀렸고, 올바르게는 '0 kcal'이다. 절대 내부에너지 식이나 압력값을 그대로 대입해 큰 수를 만드는 것은 오개념이며, 이 문제는 변화량을 묻는다.

오답 포인트

'가역 팽창'과 '압력이 크게 감소한다'는 표현에 시선이 쏠리면 일이나 열을 내부에너지 변화와 혼동하기 쉽다. 이 문제의 결정어는 '등온'이며, 이상기체에서는 이 한 조건만으로 $\Delta U = 0$이 바로 정해진다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 과정문제에서는 먼저 구하려는 값이 q, w, ΔU 중 무엇인지 구분한다. 그다음 '등온'이면 곧바로 $\Delta T = 0$을 확인하고, 내부에너지를 묻는 경우 $\Delta U = 0$으로 판단한다.

암기 포인트

이상기체 내부에너지 변화는 오직 온도 변화만 따른다. 등온이면 $\Delta U = 0$이다.

NoteBase

문 8. 623K의 고열원으로부터 1MW의 열량을 받아서 223K의 대기 중으로 450 kW의 열량을 방출하는 열기관이 있다. 이 열기관의 효율은?

① 0.40

② 0.45

③ 0.50

④ 0.55

정답 4번

출제 포인트

열기관의 효율 η를 에너지수지 $\eta = W/Q_H = (Q_H - Q_C)/Q_H$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 고열원에서 받은 열량 $Q_H = 1MW = 1000kW$, 저열원으로 방출한 열량 $Q_C = 450kW$이다.
구해야 할 값: 열기관 효율 η이다.
주의할 조건: 623 K와 223 K는 카르노 한계와 비교할 때 의미가 있으나, 이 문제의 실제 효율 계산은 받은 열량과 버린 열량만으로 바로 구할 수 있다.

사용할 공식

열기관의 일은 $W = Q_H - Q_C$이고, 효율은 $\eta = W/Q_H$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 열기관은 고열원에서 받은 열량 중 일부를 일로 바꾸고 나머지를 저열원으로 방출하므로, 일과 효율은 열수지로 바로 결정된다.

계산 과정

1. 일의 크기를 구하면 $W = Q_H - Q_C = 1000 - 450 = 550kW$이다.
2. 효율을 구하면 $\eta = W/Q_H = 550/1000 = 0.55$이다.
3. 따라서 열기관의 효율은 0.55이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 효율은 0.40이 아니다. 계산 결과는 0.55이다. 0.40으로 보려면 방출열 비율 $Q_C/Q_H = 450/1000 = 0.45$와도 맞지 않으므로 문제의 열수지를 잘못 읽은 값이다. 올바르게는 효율이 0.55이다.

② X: 효율은 0.45가 아니다. 0.45는 효율이 아니라 저열원으로 버린 열의 비율 Q_C/Q_H이다. 올바르게는 효율 $\eta = 1 - Q_C/Q_H = 1 - 0.45 = 0.55$이다.

③ X: 효율은 0.50이 아니다. 이 값은 받은 열량과 버린 열량의 차이를 절반 정도로 막연히 잡았을 때 나오는 오답이다. 올바르게는 $(1000 - 450)/1000 = 0.55$이다.

④ O: 효율은 $\eta = (Q_H - Q_C)/Q_H = (1000 - 450)/1000 = 0.55$이므로 옳다.

오답 포인트

②처럼 방출열 비율 Q_C/Q_H를 그대로 효율로 착각하기 쉽다. 이 문제는 온도 623 K, 223 K가 함께 제시되어 카르노 효율 $1 - T_C/T_H$을 떠올리게 하지만, 실제로는 받은 열량과 방출한 열량이 이미 주어져 있어 열수지로 바로 계산하면 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

열기관 문제에서 받은 열량과 버린 열량이 함께 주어지면 먼저 $W = Q_H - Q_C$를 구하고, 다음에 $\eta = W/Q_H$를 계산하면 된다. 온도 정보는 추가 검산 자료로 보고, 효율 계산의 1순위는 열수지인지부터 판단한다.

암기 포인트

열기관 효율은 받은 열량 전체가 아니라 받은 열량 중 일로 바뀐 몫이므로 $\eta = 1 - Q_C/Q_H$이다.

NoteBase

문 9. 평형 상태에서 <보기> 반응의 표준 자유에너지 변화ΔG°는 $\Delta G^\circ = -ART^2 - BR$와 같이 온도의 함수로 주어진다. 표준 엔트로피 변화ΔS°는? (단, A와 B는 상수이고 R은 기체 상수이다.)

<보기>

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

① $\frac{AT}{R}$

② $\frac{AR}{T}$

③ $\frac{2AR}{T}$

④ $2ART$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 표준 자유에너지와 엔트로피의 관계식 $\Delta S^\circ = -(\partial \Delta G^\circ / \partial T)_P$를 이용해 ΔS°를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $\Delta G^\circ = -ART^2 - BR$
구해야 할 값: 표준 엔트로피 변화 ΔS°
주의할 조건: A, B, R은 상수이므로 온도에 대해 미분할 때 T에만 주목한다.

사용할 공식

$\Delta S^\circ = -\left(\frac{\partial \Delta G^\circ}{\partial T}\right)_P$
이 공식을 쓰는 이유: 표준 자유에너지가 온도의 함수로 직접 주어졌으므로, 온도 미분만으로 표준 엔트로피 변화를 바로 구할 수 있다.

계산 과정

1. $\Delta G^\circ = -ART^2 - BR$를 T에 대해 미분하면 $\frac{\partial \Delta G^\circ}{\partial T} = -2ART$이다.
2. $-BR$은 온도와 무관한 상수항이므로 미분값은 0이다.
3. 따라서 $\Delta S^\circ = -(-2ART) = 2ART$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: AT/R는 계산 결과 $2ART$와 다르다. 미분 뒤에 붙는 R은 분모로 가지 않으므로, 이 선지를 맞는 식으로 고치면 $\Delta S^\circ = 2ART$가 된다.
② X: AR/T는 온도 미분 결과를 분수꼴로 잘못 바꾼 오답이다. T^2를 미분하면 $2T$가 남아야 하므로, 이 선지를 맞는 식으로 고치면 $\Delta S^\circ = 2ART$가 된다.
③ X: $2AR/T$도 T가 분모로 내려간 잘못된 결과이다. T^2의 미분은 $2T$이므로, 이 선지를 맞는 식으로 고치면 $\Delta S^\circ = 2ART$가 된다.
④ O: ΔG°를 온도에 대해 미분하면 $-2ART$이고, 관계식의 마이너스 부호까지 반영하면 $\Delta S^\circ = 2ART$가 되므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $\Delta S^\circ = -\partial \Delta G^\circ / \partial T$의 앞쪽 마이너스 부호와 T^2의 미분 결과 $2T$를 동시에 놓치는 데 있다. 오답 선지들은 R을 분모로 보내거나 T를 분모로 보내는 식의 미분 실수를 노린 형태이다.

다시 나오면 이렇게 판단

자유에너지가 T의 함수로 주어지면 먼저 $\Delta S = -\partial \Delta G/\partial T$를 떠올리고, 그다음 T에 대한 미분과 앞의 마이너스 부호를 순서대로 확인하면 된다.

암기 포인트

엔트로피는 자유에너지의 온도기울기에 마이너스 부호를 붙인 값이다: $\Delta S = -\partial \Delta G/\partial T$.

NoteBase

문 10. 혼합물에서 i 성분에 대한 화학포텐셜 μ_i의 정의로 가장 옳은 것은?

① 혼합물에서 온도, 압력, i 성분을 제외한 나머지 물질의 몰수가 일정할 때, i 성분의 몰수 변화에 따른 전체 깁스에너지 변화량의 비

② 혼합물에서 온도, 압력, 전체 몰수가 일정할 때, i 성분의 몰수 변화에 따른 전체 깁스에너지 변화량의 비

③ 혼합물에서 온도, i 성분을 제외한 나머지 물질의 몰수가 일정할 때, i 성분의 몰수 변화에 따른 전체 깁스에너지 변화량의 비

④ 혼합물에서 i 성분을 제외한 나머지 물질의 몰수가 일정할 때, i 성분의 몰수 변화에 따른 전체 깁스에너지 변화량의 비

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 화학포텐셜이 부분몰 깁스에너지라는 점과, 그 정의 조건이 온도, 압력, 다른 성분의 몰수 일정이라는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

화학포텐셜은 혼합물에서 i 성분의 부분몰 깁스에너지이다. 식으로는 $\mu_i = (\partial G/\partial n_i)_{T,P,n_{j\neq i}}$이며, 온도 T, 압력 P, i 성분을 제외한 다른 성분의 몰수 n_j를 고정한 상태에서 n_i를 변화시킬 때의 G 변화율이다.

선지별 해설

① O: 화학포텐셜의 정의를 그대로 옮긴 선지이다. 온도, 압력, i 성분을 제외한 나머지 성분의 몰수를 일정하게 둔 채 n_i를 바꿀 때 전체 깁스에너지의 증가율이 μ_i이다.
② X: 틀린 부분은 "전체 몰수가 일정할 때"이다. 전체 몰수를 일정하게 두면 n_i 변화에 따라 다른 성분 몰수도 함께 변할 수 있어서 부분몰 깁스에너지의 정의가 아니다. 올바르게는 "온도, 압력, i 성분을 제외한 나머지 물질의 몰수가 일정할 때"이다.
③ X: 틀린 부분은 압력 조건이 빠진 점이다. 화학포텐셜은 $(\partial G/\partial n_i)$를 T와 P에서 모두 고정한 편미분으로 정의한다. 올바르게는 "온도, 압력, i 성분을 제외한 나머지 물질의 몰수가 일정할 때"이다.
④ X: 틀린 부분은 온도와 압력 조건이 모두 빠진 점이다. 다른 성분 몰수만 고정해서는 G 변화에 온도와 압력 영향이 섞여 화학포텐셜의 정의가 되지 않는다. 올바르게는 "온도, 압력, i 성분을 제외한 나머지 물질의 몰수가 일정할 때"이다.

오답 포인트

부분몰량 정의에서 가장 자주 섞이는 조건은 "전체 몰수 일정"과 "다른 성분 몰수 일정"의 구분이다. ②처럼 전체 몰수 일정으로 바꾸면 조성 변화 경로가 달라져 부분몰 정의가 아니게 되고, ③과 ④처럼 T, P 조건을 하나라도 빼면 화학포텐셜 정의가 무너진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

화학포텐셜이나 부분몰량 정의를 묻는 문항은 먼저 대상 함수가 G인지 확인하고, 다음으로 아래첨자 조건이 항상 $T, P, n_{j \neq i}$인지 점검하면 된다. 전체 몰수 일정이라는 표현이 나오면 우선 오답 후보로 판단할 수 있다.

암기 포인트

화학포텐셜은 G의 부분몰량이며, 조건은 $T, P, n_{j \neq i}$ 고정이다.

NoteBase

문 11. 1 mol의 이상기체가 닫힌계(closed system)에서 <보기>의 (가), (나), (다) 순으로 일련의 가역 공정을 거친다고 할 때, 전체 공정에 대한 일의 절댓값은? (단, $C_V = \frac{3}{2}R$이고, e는 자연로그이다.)

<보기>
(가) 400K 온도에서 초기 부피의 e배 되는 부피로 등온 팽창
(나) 일정한 부피에서 온도가 200K로 냉각
(다) 초기 상태로 단열 압축

① 50R
② 75R
③ 100R
④ 125R

정답 3번

출제 포인트

가역 등온팽창, 정적 냉각, 단열압축이 이어지는 닫힌계 순환공정에서 각 공정의 일과 열을 구하고 전체 공정의 순일을 합산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건:
- 이상기체 1 mol
- (가) 400 K 등온팽창, 최종부피 $= eV_1$
- (나) 일정부피에서 200 K까지 냉각
- (다) 초기 상태로 단열 압축
- $C_V = \frac{3}{2}R$

구해야 할 값:
- 전체 공정에 대한 일의 절댓값

주의할 조건:
- 전체 과정은 초기 상태로 돌아오는 순환공정이므로 전체 내부에너지 변화는 0이다.

NoteBase

사용할 공식

등온 가역팽창 일:

W_(가)=nRT(V_2)/(V_1)

정적과정 일:

W_(나)=0

단열과정에서는 $Q = 0$ 이므로

$W = -\Delta U = -nC_V\Delta T$

또는 순환공정 전체에 대해

$\Delta U_{\text{cycle}} = 0 \Rightarrow W_{\text{total}} = Q_{\text{total}}$

이 공식을 쓰는 이유:

- (가)는 온도가 일정한 가역 등온팽창이므로 이상기체의 등온 일 공식을 바로 적용한다.
- (나)는 부피가 일정하므로 경계일이 0이다.
- (다)는 단열압축이므로 열출입이 없고, 초기 상태로 복귀하는 순환공정이어서 전체 ΔU는 0으로 정리된다.

계산 과정

1. (가) 등온팽창의 일

W_(가)=(1)· R· 400· e=400R

2. (나) 정적 냉각의 일

W_(나)=0

3. (다) 단열압축의 일

냉각 후 온도는 200 K이므로, 단열압축으로 200 K에서 초기온도 400 K까지 돌아간다.

W_(다)=-nC_V(T_4-T_3)=-(1)· (3)/(2)R·(400-200)=-300R

4. 전체 공정의 일

W_total=W_(가)+W_(나)+W_(다)=400R+0-300R=100R

따라서 전체 공정에 대한 일의 절댓값은 $100R$이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X
- 전체 공정의 순일은 $100R$이므로 $50R$는 맞지 않는다.
- $50R$는 정적 냉각에서 일이 생긴다고 잘못 보거나, 단열압축의 내부에너지 변화를 절반만 반영할 때 나올 수 있는 오답값이다.
- 올바르게는 전체 공정의 일의 절댓값은 $50R$가 아니라 $100R$이다.

2번 X
- 전체 공정의 순일은 $100R$이므로 $75R$도 맞지 않는다.
- $75R$는 등온팽창의 $400R$ 또는 단열압축의 $300R$ 계산에서 로그값이나 C_V를 잘못 대입했을 때 생기는 값이다.
- 올바르게는 전체 공정의 일의 절댓값은 $75R$가 아니라 $100R$이다.

3번 O
- 등온팽창에서 $400R$, 정적과정에서 0, 단열압축에서 $-300R$이므로 전체는 $100R$이다.
- 따라서 전체 공정의 일의 절댓값을 묻는 3번이 옳다.

4번 X
- 전체 공정의 순일은 $100R$이므로 $125R$는 맞지 않는다.
- $125R$는 단열압축에서 음의 일을 양수로 더하거나, 순환공정인데도 전체 ΔU가 0이라는 점을 놓쳤을 때 나올 수 있는 오답값이다.
- 올바르게는 전체 공정의 일의 절댓값은 $125R$가 아니라 $100R$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 각 공정의 일 부호를 따로 보지 않고 모두 양수로 더하는 실수에 있다. 특히 정적과정은 일이 0이고, 단열압축은 계가 받은 일이므로 계가 한 일은 음수라는 점을 놓치면 오답으로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

순환공정 계산형 문제는 먼저 각 공정을 등온, 정적, 단열로 분류한 뒤 공정별 일 공식을 적용한다. 마지막에는 초기 상태로 복귀하는지 확인하여 전체 $\Delta U = 0$인지 검산하면 순일의 부호와 크기를 안정적으로 판단할 수 있다.

암기 포인트

순환공정은 전체 $\Delta U = 0$이고, 정적과정은 $W = 0$, 등온 이상기체는 $W = nRT\ln(V_2/V_1)$이다.

NoteBase

문 12. 두 물질 A와 B가 기-액 상평형을 이루고 있으며 액상에서 A가 무한희석 상태일 때 두 물질에 각각 적용되는 법칙은?

① A: Henry 법칙, B: Henry 법칙

② A: Henry 법칙, B: Lewis/Randall 법칙

③ A: Lewis/Randall 법칙, B: Henry 법칙

④ A: Lewis/Randall 법칙, B: Lewis/Randall 법칙

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 기-액 평형에서 무한희석 용질에는 Henry 법칙을, 주성분 용매에는 Lewis/Randall 법칙을 적용하는 구별을 묻는 문제이다.

핵심 개념

A: 액상에서 무한희석인 용질이다. 무한희석 용질의 기상 분압은 액상 몰분율에 비례하며 Henry 법칙으로 다룬다.
B: 액상에서 대부분을 차지하는 용매이다. 용매는 순수 성분 기준의 Lewis/Randall 법칙을 따른다.
구별 기준은 액상에서 그 성분이 무한희석 용질인지, 주성분 용매인지이다.

선지별 해설

① X: A는 무한희석 용질이므로 Henry 법칙이 맞다. 그러나 B는 주성분 용매이므로 Henry 법칙이 아니라 Lewis/Randall 법칙을 적용한다.
② O: A가 액상에서 무한희석 상태이므로 A에는 Henry 법칙을 적용한다. 반대로 B는 용매 성분이므로 Lewis/Randall 법칙을 적용하는 조합이 맞다.
③ X: 틀린 표현은 A에 Lewis/Randall 법칙을, B에 Henry 법칙을 적용한 부분이다. 실제로는 무한희석인 A에 Henry 법칙을, 용매인 B에 Lewis/Randall 법칙을 적용한다.
④ X: B에 Lewis/Randall 법칙을 적용한 점은 맞지만, 무한희석 용질 A까지 Lewis/Randall 법칙으로 본 부분이 틀리다. 실제로 A에는 Henry 법칙이 적용된다.

오답 포인트

무한희석이라는 조건을 놓치면 두 성분 모두 같은 법칙을 적용한다고 오해하기 쉽다. 이 문항의 함정은 성분별로 기준 상태가 다르다는 점이며, A와 B의 역할을 서로 바꾸어 넣은 ③도 자주 헷갈리는 선택지이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 액상에서 어느 성분이 무한희석 용질인지 확인한다. 무한희석 용질이면 Henry 법칙, 액상의 주성분 용매이면 Lewis/Randall 법칙으로 바로 연결하면 된다.

암기 포인트

무한희석 용질은 Henry, 주성분 용매는 Lewis/Randall이다.

NoteBase

문 13. 300K인 이산화탄소 2 mol을 일정 압력하에서 600K으로 가열하였을 때, 엔트로피 변화[J/K]는? (단, 이산화탄소는 이상기체로 가정하며, 이산화탄소의 $C_P[J/K \cdot mol] = 30 + 5 \times 10^{-3}T$이고 $\ln 2 \simeq 0.7$로 한다.)

① 22.5 J/K

② 30 J/K

③ 45 J/K

④ 60 J/K

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 정압 가열에서 $\Delta S = n\int_{T_1}^{T_2} \frac{C_P(T)}{T} dT$를 적용해 엔트로피 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $n = 2mol$, $T_1 = 300K$, $T_2 = 600K$, $C_P = 30 + 5 \times 10^{-3}T$이다.
구해야 할 값은 정압 가열에서의 엔트로피 변화 ΔS이다.
정압 과정이므로 $P_2 = P_1$이고, $\ln 2 \approx 0.7$을 사용한다.

사용할 공식

공식은 $\Delta S = n\int_{T_1}^{T_2} \frac{C_P(T)}{T} dT - nR\ln\frac{P_2}{P_1}$이다.
이 문제는 이상기체를 일정 압력에서 가열하므로 $P_2 = P_1$가 되어 $-nR\ln(P_2/P_1)$ 항은 0이 된다. 따라서 $C_P(T)$를 T로 나눈 뒤 온도에 대해 적분하면 된다.

계산 과정

1. 정압이므로 $\Delta S = 2\int_{300}^{600} \frac{30 + 5 \times 10^{-3}T}{T} dT$이다.
2. 적분하면 $\Delta S = 2\left[30\ln\frac{600}{300} + 5 \times 10^{-3}(600 - 300)\right]$이다.
3. $\ln 2 \approx 0.7$을 대입하면 $\Delta S = 2[30 \times 0.7 + 0.005 \times 300] = 2(21 + 1.5) = 45J/K$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 22.5 J/K는 적분값을 1 mol 기준으로만 계산한 값이다. 이 문제는 2 mol이므로 2를 곱해야 한다. 틀린 표현은 22.5 J/K이고, 올바르게는 45 J/K이다.
2번 X: 30 J/K는 몰수 2 또는 $5 \times 10^{-3}(T_2 - T_1)$ 항을 일부 누락한 값으로 볼 수 있다. 전체 적분값은 45 J/K이다. 틀린 표현은 30 J/K이고, 올바르게는 45 J/K이다.
3번 O: 계산 결과가 45 J/K이므로 맞는 선지이다.
4번 X: 60 J/K는 정압 과정의 조건을 벗어나 로그항이나 적분값을 과대평가한 값이다. 주어진 $C_P(T)$를 그대로 적분하면 45 J/K만 나온다. 틀린 표현은 60 J/K이고, 올바르게는 45 J/K이다.

오답 포인트

정압 과정이라는 조건을 놓치면 ΔS 식의 압력항 처리에서 흔들리기 쉽다. 또 C_P가 상수가 아니라 T의 함수라는 점과 전체 2 mol이라는 점을 한 번에 반영하지 않으면 22.5 J/K나 30 J/K 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 엔트로피 문제는 먼저 과정 조건이 정압인지 정적인지부터 확인한다. 그다음 해당 과정에 맞는 ΔS 식을 고르고, 열용량이 온도의 함수이면 C_P/T 또는 C_V/T를 적분한 뒤 마지막에 몰수를 곱해 검산한다.

암기 포인트

이상기체 정압 가열의 엔트로피 변화는 $n\int C_P/T dT$로 계산하고, 정압이면 $-nR\ln(P_2/P_1)$ 항은 0이다.

NoteBase

문 14. 랭킨사이클의 과정으로 가장 옳은 것은?

① 정압가열 → 정압방열 → 단열팽창 → 단열압축

② 정압가열 → 단열팽창 → 정압방열 → 단열압축

③ 단열팽창 → 단열압축 → 정압방열 → 정압가열

④ 단열팽창 → 정압가열 → 단열압축 → 정압방열

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 랭킨사이클의 기본 공정 순서와 각 공정의 연결 관계를 묻는 문제이다.

올바른 순서

1. 정압가열 - 보일러에서 물에 열을 가해 증기 상태로 만든다.
2. 단열팽창 - 터빈에서 증기가 일을 하며 팽창한다.
3. 정압방열 - 응축기에서 열을 방출하며 물로 응축된다.
4. 단열압축 - 펌프에서 응축수를 다시 고압으로 압축한다.

왜 이 순서인가: 보일러에서 가열되어 만들어진 고온·고압 증기가 먼저 터빈으로 들어가 팽창해야 하고, 팽창이 끝난 유체를 응축한 뒤에야 펌프로 압축할 수 있기 때문이다.

선지별 해설

① X: 정압방열의 위치가 잘못되었다. 랭킨사이클에서는 정압가열 다음에 터빈의 단열팽창이 와야 한다. 틀린 표현은 '정압가열 → 정압방열'이고, 올바르게는 '정압가열 → 단열팽창 → 정압방열 → 단열압축'이다.

② O: 정압가열 → 단열팽창 → 정압방열 → 단열압축의 배열은 보일러, 터빈, 응축기, 펌프의 실제 흐름과 일치한다.

③ X: 단열팽창 직후에 단열압축이 오는 것이 틀렸다. 팽창이 끝난 증기는 먼저 응축기에서 정압방열을 거쳐 액체가 된 뒤 펌프로 압축된다. 올바르게는 '단열팽창 → 정압방열 → 단열압축 → 정압가열'이다.

④ X: 단열팽창 다음에 정압가열이 오는 것이 틀렸다. 터빈 출구 유체는 다시 가열하기 전에 먼저 응축기에서 열을 내보내야 한다. 올바르게는 '단열팽창 → 정압방열 → 단열압축 → 정압가열'이다.

오답 포인트

순환과정은 시작점을 어디에 두어도 되지만, 인접한 단계의 선후관계는 바뀌지 않는다. ③과 ④는 단열팽창 뒤에 와야 할 정압방열을 다른 단계로 바꿔 놓은 점이 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

랭킨사이클은 보일러에서 가열, 터빈에서 팽창, 응축기에서 방열, 펌프에서 압축의 흐름으로 판단한다. 특히 팽창 뒤에는 방열, 방열 뒤에는 압축이 온다는 연결을 기준으로 선지를 거르면 된다.

암기 포인트

랭킨사이클은 보일러 → 터빈 → 응축기 → 펌프, 즉 정압가열 → 단열팽창 → 정압방열 → 단열압축이다.

NoteBase

문 15. 액상 반응에서 평형조성과 평형상수는 <보기>와 같은 식으로 주어진다. 이에 대한 설명으로 가장 옳지 않은 것은?

<보기>

$$\prod_i (x_i\gamma_i)^{\nu_i} = K\exp\left[\frac{(P^\circ - P)}{RT}\sum_i(\nu_i V_i)\right]$$

① 압력에 따른 V_i의 변화가 고려되었다.

② 고압일 때를 제외하면 지수항은 1에 가까워 생략될 수 있다.

③ 활동도 계수는 Wilson 또는 UNIFAC 방법으로 계산될 수 있다.

④ 평형 혼합물이 이상용액이면 질량작용의 법칙이 된다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 액상 반응 평형식에서 활동도 항과 압력 보정항의 의미, 그리고 이상용액 가정을 정확히 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

액상 반응 평형식에서 $(x_i\gamma_i)$는 성분 i의 활동도를 뜻한다. 이상용액이면 $\gamma_i = 1$이 되어 활동도는 조성 x_i로 단순화된다. 지수항은 액상의 압력 효과를 보정하는 Poynting 보정항이며, 보통 V_i 자체의 압력의존성까지 모델링한 식으로 보지는 않는다.

선지별 해설

1번 X: 틀린 부분은 '압력에 따른 V_i의 변화가 고려되었다'는 표현이다. 이 식의 지수항은 압력 변화가 평형에 미치는 영향을 보정하는 항이지, V_i 자체가 압력에 따라 어떻게 변하는지까지 상세하게 반영한 식은 아니다. 올바르게는 '액상 몰부피 V_i를 이용한 압력 보정항이 포함되었다'이다.
2번 O: 액체는 압축성이 매우 작으므로 보통 압력이 아주 높지 않으면 Poynting 보정항은 1에 가깝다. 따라서 일반적인 액상 반응 평형 계산에서는 이 지수항을 생략하는 근사가 자주 성립한다.
3번 O: 활동도 계수 γ_i는 비이상성을 나타내며, Wilson식이나 UNIFAC 같은 활동도 계수 모델로 계산할 수 있다. 따라서 이 설명은 타당하다.
4번 O: 이상용액이면 $\gamma_i = 1$이므로 활동도 항이 x_i만으로 바뀐다. 그래서 평형식은 조성만으로 표현되는 질량작용식 형태로 단순화된다.

오답 포인트

지수항 안에 V_i가 들어 있다는 이유만으로 '압력에 따른 V_i 변화까지 고려했다'고 받아들이면 틀린다. 이 식의 핵심은 V_i의 변화 자체가 아니라 액상 반응의 압력 보정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

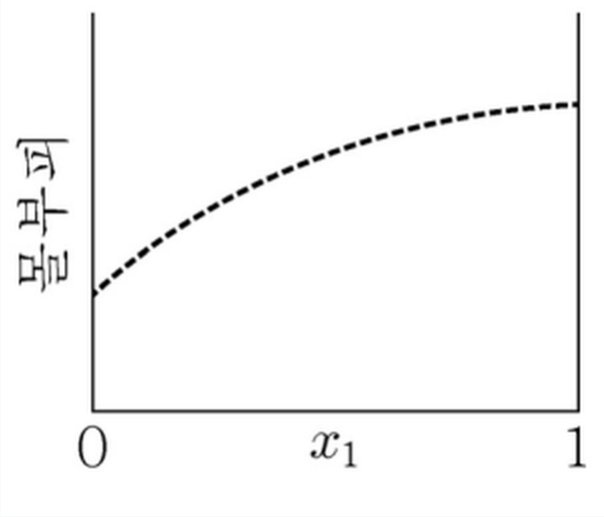
액상 평형식이 나오면 먼저 $x_i\gamma_i$가 활동도라는 점을 본다. 다음으로 지수항은 압력 보정항인지 확인하고, 이상용액 조건이 붙으면 즉시 $\gamma_i = 1$로 바꾸어 판단한다.

암기 포인트

액상 반응 평형은 활동도 $x_i\gamma_i$, 압력 보정은 지수항, 이상용액이면 $\gamma_i = 1$이다.

NoteBase

문 16. 일정 온도와 압력하에서 액체 상태인 두 물질 1과 2의 혼합에 따른 몰부피 변화를 그래프와 같이 얻었을 때, 물질 1의 몰분율 x_1이 증가함에 따라 물질 1과 물질 2의 부분 몰부피 변화에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?



① 물질 1의 부분 몰부피와 물질 2의 부분 몰부피 모두 증가한다.

② 물질 1의 부분 몰부피는 증가하고 물질 2의 부분 몰부피는 감소한다.

③ 물질 1의 부분 몰부피는 감소하고 물질 2의 부분 몰부피는 증가한다.

④ 물질 1의 부분 몰부피와 물질 2의 부분 몰부피 모두 감소한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 액체 2성분계의 몰부피-조성 그래프에서 기울기와 곡률을 읽어 부분 몰부피의 조성 변화 방향을 판단하는 문제이다.

핵심 개념

일정한 온도와 압력에서 2성분계의 전체 몰부피를 V, 성분 1의 몰분율을 x_1라 하면 부분 몰부피는 $\bar{V}_1 = V + (1 - x_1)\frac{dV}{dx_1}$, $\bar{V}_2 = V - x_1\frac{dV}{dx_1}$이다.
그림의 곡선은 x_1가 증가할수록 V가 증가하지만 오목하향이므로 $\frac{dV}{dx_1} > 0$, $\frac{d^2V}{dx_1^2} < 0$이다.
따라서 $\frac{d\bar{V}_1}{dx_1} = (1 - x_1)\frac{d^2V}{dx_1^2} < 0$, $\frac{d\bar{V}_2}{dx_1} = -x_1\frac{d^2V}{dx_1^2} > 0$가 되어 성분 1의 부분 몰부피는 감소하고 성분 2의 부분 몰부피는 증가한다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 두 부분 몰부피가 모두 증가하지는 않는다. 그래프가 오목하향이므로 x_1가 증가할 때 $\bar{V}_1$은 감소하고 $\bar{V}_2$는 증가한다.
- 틀린 표현은 "모두 증가한다"이다. 올바르게는 "물질 1의 부분 몰부피는 감소하고 물질 2의 부분 몰부피는 증가한다"이다.

② X
- 성분 1과 성분 2의 변화 방향을 반대로 판단한 선지이다. $\frac{d\bar{V}_1}{dx_1} < 0, \frac{d\bar{V}_2}{dx_1} > 0$이므로 성분 1은 감소하고 성분 2는 증가한다.
- 틀린 표현은 "물질 1의 부분 몰부피는 증가하고 물질 2의 부분 몰부피는 감소한다"이다. 올바르게는 "물질 1은 감소, 물질 2는 증가"이다.

③ O
- 그래프에서 전체 몰부피는 증가하지만 증가율은 점점 작아진다. 이 오목하향 성질 때문에 x_1가 증가할수록 $\bar{V}_1$은 감소하고 $\bar{V}_2$는 증가한다.

④ X
- 두 부분 몰부피가 모두 감소하지는 않는다. 오목하향 곡선에서는 성분 1의 부분 몰부피만 감소하고 성분 2의 부분 몰부피는 오히려 증가한다.
- 틀린 표현은 "모두 감소한다"이다. 올바르게는 "물질 1의 부분 몰부피는 감소하고 물질 2의 부분 몰부피는 증가한다"이다.

오답 포인트

전체 몰부피 V가 증가한다는 사실만 보고 두 부분 몰부피도 같이 증가한다고 오해하기 쉽다. 이 문항의 핵심은 전체값의 증감이 아니라 곡선의 오목하향 여부이며, 부분 몰부피는 접선식으로 판단해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

2성분계의 $V - x_1$ 그래프가 나오면 먼저 기울기 부호와 곡률 부호를 본다. 그다음 $\bar{V}_1 = V + (1 - x_1)\frac{dV}{dx_1}$, $\bar{V}_2 = V - x_1\frac{dV}{dx_1}$ 또는 접선 절편 해석으로 각 부분 몰부피의 증가·감소 방향을 판단한다.

암기 포인트

오목하향 $V - x_1$ 곡선에서는 x_1 증가 시 $\bar{V}_1$은 내려가고 $\bar{V}_2$는 올라간다.

NoteBase

문 17. 균질상의 일정한 압력에서 열역학적 엔트로피의 온도에 대한 도함수 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P$를 나타낸 식은?

① $C_P V$
② $\frac{C_P}{V}$
③ $C_P T$
④ $\frac{C_P}{T}$

정답 4번

출제 포인트

정압 조건에서 엔탈피의 미분식과 정압열용량의 정의를 연결하여 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P$를 구하는 관계식을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 균질상, 일정한 압력이다.
구해야 할 값은 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P$이다.
정압 과정이므로 엔탈피의 자연변수 관계와 C_P의 정의를 바로 연결하면 된다.

사용할 공식

엔탈피의 기본식은 $dH = TdS + VdP$이다.
압력이 일정하면 $dP = 0$이므로 $dH = TdS$가 된다.
또한 정압열용량의 정의는 $C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$이다.
따라서
$\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = C_P$
이므로
$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$
가 된다.
이 공식을 쓰는 이유는 발문이 정압에서 엔트로피의 온도 미분을 직접 묻고 있기 때문이다.

계산 과정

1. $dH = TdS + VdP$에서 정압 조건이므로 $dP = 0$을 대입한다.
2. 그러면 $dH = TdS$이므로 $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P$이다.
3. 여기에 $C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$를 대입하면 $T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = C_P$이다.
4. 따라서 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: $C_P V$는 온도 미분식에 부피를 곱한 형태라서 정압 엔트로피 미분 관계와 맞지 않는다. 틀린 표현은 V가 곱해진 부분이며, 올바르게는 $\frac{C_P}{T}$이다.
2번 X: $\frac{C_P}{V}$는 분모를 부피로 잘못 둔 식이다. 엔트로피는 열량을 온도로 나눈 양과 연결되므로 분모는 V가 아니라 T가 된다. 올바르게는 $\frac{C_P}{T}$이다.
3번 X: $C_P T$는 온도를 곱한 식인데, 실제 관계는 온도로 나누는 형태이다. 틀린 표현은 T가 분자에 있는 점이며, 올바르게는 $\frac{C_P}{T}$이다.
4번 O: 정압에서 $dH = TdS$, 또 $C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$이므로 $T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = C_P$가 성립한다. 따라서 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$가 되어 옳다.

오답 포인트

정압열용량 C_P가 보이면 기계적으로 T를 곱하거나 다른 상태량 V를 붙이는 실수가 자주 나온다. 이 문항의 함정은 엔트로피가 열량 그 자체가 아니라 열량을 온도로 나눈 양과 연결된다는 점을 놓치게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

정압에서 엔트로피의 온도미분을 묻는 문제는 먼저 $dH = TdS + VdP$를 쓰고, 정압이면 $dP = 0$으로 정리한 뒤 $C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$를 연결해 판단한다. 정압이면 C_P와 S 사이에 반드시 $\frac{1}{T}$가 남는지를 확인하면 된다.

암기 포인트

정압 엔트로피 미분은 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$이다.

NoteBase

문 18. 이상기체의 식 $PV^n = C$에서 $n = 0$일 때, 변화 과정은? (단, C=상수)

① 등온과정

② 정압과정

③ 단열과정

④ 정적과정

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 다항식 과정식 $PV^n = C$에서 지수 n의 값이 어떤 열역학적 과정에 대응하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

정압과정은 압력 P가 일정한 과정이다.
등온과정은 온도 T가 일정한 과정으로 이상기체에서는 $PV = \text{const}$에 해당한다.
단열과정은 열출입이 없는 과정이며 가역 이상기체에서는 $PV^\gamma = \text{const}$로 나타난다.
정적과정은 부피 V가 일정한 과정이다.
이 문항에서는 $n = 0$을 대입하면 $PV^0 = C$, 즉 $P = C$가 되어 압력이 일정하다는 점만 확인하면 된다.

선지별 해설

① X
등온과정은 온도가 일정한 과정이며 이상기체에서는 $PV = \text{const}$로 정리된다. 틀린 부분은 등온과정으로 본 점이다. 올바르게는 $n = 1$일 때 등온과정으로 볼 수 있다.

② O
$n = 0$이면 $V^0 = 1$이므로 식은 $P = C$가 된다. 따라서 압력이 일정한 정압과정이 맞다.

③ X
단열과정은 열출입이 없는 과정이며 가역 이상기체에서는 보통 $PV^\gamma = \text{const}$로 표현된다. 틀린 부분은 $n = 0$을 단열과정으로 본 점이다. 올바르게는 단열지수 γ가 지수로 들어가야 한다.

④ X
정적과정은 부피가 일정한 과정이므로 조건은 $V = \text{const}$이다. 틀린 부분은 압력 일정 조건을 정적과정으로 바꾼 점이다. 올바르게는 $P = \text{const}$이면 정압과정이고, $V = \text{const}$이면 정적과정이다.

NoteBase

오답 포인트

등온, 단열, 정압, 정적을 이름만 외우면 헷갈리기 쉽다. 이 문항의 함정은 과정 이름을 바로 고르는 것이 아니라 먼저 $n = 0$을 식에 대입해 무엇이 상수로 남는지를 보지 않으면 등온이나 단열의 익숙한 식과 혼동한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

다항식 과정식 $PV^n = C$에서 특정 n이 주어지면 먼저 그 값을 대입해 상수로 유지되는 상태량이 무엇인지 확인한다. $n = 0$이면 P가 일정, $n = 1$이면 등온식 형태, $n = \gamma$이면 가역 단열식 형태로 판단할 수 있다.

암기 포인트

$PV^0 = C \Rightarrow P = \text{const}$이므로 $n = 0$은 정압과정이다.

NoteBase

문 19. $T^\circ C$의 부피가 일정한 용기에 두 휘발성 액체 A와 B가 섞여 있고 순수한 A의 증기압은 순수한 B의 증기압의 2배이다. 평형 상태에서 증기 상에서의 B의 몰분율이 $\frac{1}{3}$일 때 액체 상에서의 A의 몰분율은? (단, 온도는 일정하고, 두 휘발성 액체는 라울의 법칙을 따른다.)

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

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 라울의 법칙과 증기 조성식으로 액상 조성을 역으로 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 순수 A의 증기압은 순수 B의 증기압의 2배이다.
- 평형에서 증기상의 B 몰분율은 1/3이다.
- 액상과 증기상 모두 이상용액 거동을 따른다.

구해야 할 값:
- 액체상에서의 A 몰분율

주의할 조건:
- 액상 조성 x_i와 증기상 조성 y_i를 구분해야 한다.

사용할 공식

라울의 법칙과 증기 조성식은 다음과 같다.

$p_A = x_A p_A^*, \quad p_B = x_B p_B^*, \quad y_B = \frac{p_B}{p_A + p_B}$

이 공식을 쓰는 이유:
이 문제는 이상용액의 기액평형에서 순수 성분의 증기압과 액상 몰분율이 주어졌고, 증기상 조성으로부터 액상 조성을 찾아야 하는 상황이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 순수 성분 증기압 비를 $p_A^* = 2p_B^*$로 둔다.

2. 증기상에서 $y_B = 1/3$이면 $y_A = 2/3$이다.

3. 기액평형에서

$\frac{y_A}{y_B} = \frac{x_A p_A^*}{x_B p_B^*}$

이므로

$\frac{2/3}{1/3} = \frac{x_A \cdot 2p_B^*}{x_B \cdot p_B^*} = \frac{2x_A}{x_B}$

이다.

4. 왼쪽은 2이므로

$2 = \frac{2x_A}{x_B} \Rightarrow x_A = x_B$

이다.

5. 액상에서 $x_A + x_B = 1$이므로

$x_A = x_B = \frac{1}{2}$

이다.

선지별 해설

1번 X

- $x_A = 1/4$이면 $x_B = 3/4$이다. 이때

$\frac{y_A}{y_B} = \frac{2x_A}{x_B} = \frac{2 \cdot 1/4}{3/4} = \frac{2}{3}$

이므로 $y_B = 3/5$가 된다. 증기상 B 몰분율이 1/3이 아니므로 틀리다.

- 틀린 표현은 액상 A 몰분율을 1/4로 둔 점이고, 올바르게는 1/2이다.

2번 X

- $x_A = 1/3$이면 $x_B = 2/3$이다. 이때

$\frac{y_A}{y_B} = \frac{2x_A}{x_B} = \frac{2 \cdot 1/3}{2/3} = 1$

이므로 $y_A = y_B = 1/2$가 된다. 문제 조건의 $y_B = 1/3$과 맞지 않는다.

- 틀린 표현은 액상 A 몰분율을 1/3으로 본 점이고, 올바르게는 1/2이다.

3번 X

- $x_A = 2/3$이면 $x_B = 1/3$이다. 이때

$\frac{y_A}{y_B} = \frac{2x_A}{x_B} = \frac{2 \cdot 2/3}{1/3} = 4$

이므로 $y_B = 1/5$가 된다. 따라서 주어진 증기 조성과 다르다.

- 틀린 표현은 액상 A 몰분율을 2/3으로 본 점이고, 올바르게는 1/2이다.

4번 O

- $x_A = 1/2$, $x_B = 1/2$이면

$\frac{y_A}{y_B} = \frac{2x_A}{x_B} = \frac{2 \cdot 1/2}{1/2} = 2$

이다. 따라서 $y_A : y_B = 2 : 1$이고 $y_B = 1/3$이므로 문제 조건과 정확히 일치한다.

NoteBase

오답 포인트

증기압이 큰 A가 증기상에 더 많이 간다는 사실만 보고 액상에서도 A가 더 많다고 바로 결론내리기 쉽다. 이 문제의 함정은 증기상 몰분율 $y_B = 1/3$과 액상 몰분율 x_A를 같은 비율로 착각하는 점에 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상용액 기액평형 문제는 먼저 x와 y를 구분하고, 다음으로 $y_i \propto x_i p_i^*$ 관계를 세운 뒤, 마지막에 $x_A + x_B = 1$ 조건으로 마무리하면 된다.

암기 포인트

이상용액 평형에서는 증기 조성비가 $y_A : y_B = x_A p_A^* : x_B p_B^*$로 결정된다.

NoteBase

문 20. 닫힌계(closed system)에서 어떤 기체 1 mol의 거동은 <보기>의 상태방정식을 따른다. 기체 1 mol이 초기 부피 V_1에서 최종 부피 V_2로 등온 가역 팽창 시 계가 한 일을 옳게 표현한 것은? (단, α는 온도만의 함수이고 R은 상수이다.)

<보기>

$PV = RT + \alpha P$

① $RT\ln\frac{P_2}{P_1}$
② $RT\ln\frac{P_1}{P_2}$
③ $RT\ln\left(\frac{P_1-\alpha}{P_2-\alpha}\right)$
④ $RT\ln\left(\frac{P_2-\alpha}{P_1-\alpha}\right)$

정답 1번

출제 포인트

상태방정식 $PV = RT + \alpha P$를 $P(V-\alpha) = RT$로 정리해 등온 가역 팽창에서 일의 크기를 압력비로 나타내는 문제이다. 일의 크기는 $RT\ln\frac{P_1}{P_2}$로 한 가지로 정해지지만, '계가 한 일'을 어느 부호 규약으로 읽느냐에 따라 부호가 갈려 1번과 2번이 모두 답이 될 수 있다는 점이 이 문항의 쟁점이다.

조건 정리

주어진 값: 1 mol 기체, 상태방정식 $PV = RT + \alpha P$, 등온 가역 팽창
구해야 할 값: 초기 상태 (P_1, V_1)에서 최종 상태 (P_2, V_2)까지 계가 한 일
주의할 조건: α는 온도만의 함수이므로 등온 과정에서는 상수처럼 취급된다. 일의 크기는 $RT\ln\frac{P_1}{P_2}$로 한 가지로 정해지고 α는 상쇄된다. 갈리는 것은 부호뿐이다. 화공열역학 교재에서 널리 쓰는 규약(에너지식 $\Delta U = Q + W$, 이때 $W = -\int PdV$는 '계가 받은 일')을 따르면 일은 $RT\ln\frac{P_2}{P_1}$로 음수가 되어 1번이고, '계가 외부에 한 일'을 문자 그대로 $W = \int PdV$로 보면 $RT\ln\frac{P_1}{P_2}$로 양수가 되어 2번이다.

사용할 공식

상태방정식은
$PV = RT + \alpha P \Rightarrow P(V-\alpha) = RT \Rightarrow P = \frac{RT}{V-\alpha}$
이고, 일의 크기는 부호 규약과 무관하게
$|W| = \int_{V_1}^{V_2} PdV = RT\ln\frac{P_1}{P_2}$
로 같다. 부호만 규약에 따라 달라진다. 계가 외부에 한 일은 $W_{\text{by}} = +\int PdV = RT\ln\frac{P_1}{P_2}$(2번)이고, 화공열역학 에너지식에 들어가는 일은 $W = -\int PdV = RT\ln\frac{P_2}{P_1}$(1번)이다.

NoteBase

계산 과정

1. 상태방정식에서 $P = \frac{RT}{V-\alpha}$를 얻는다.
2. 이를 적분하면
$\int_{V_1}^{V_2} \frac{RT}{V-\alpha} dV = RT \ln \frac{V_2-\alpha}{V_1-\alpha}$
이다.
3. 각 상태에서 $P_i(V_i-\alpha) = RT$이므로 $V_i - \alpha = \frac{RT}{P_i}$이다. 대입하면
$\int_{V_1}^{V_2} PdV = RT \ln \frac{RT/P_2}{RT/P_1} = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$
로 정리된다. α가 저절로 상쇄되어 압력비만 남는 것이 핵심이며, 이 때문에 α를 로그 안에 남긴 3번·4번은 성립할 수 없다.
4. 남는 것은 부호이다. 계가 외부에 한 일로 보면 $+\int PdV = RT \ln \frac{P_1}{P_2} > 0$(팽창)이라 2번이고, 교재의 부호 규약 $W = -\int PdV$로 보면 $RT \ln \frac{P_2}{P_1} < 0$이라 1번이다. 공식 정답은 1번으로 발표되었으나, '계가 한 일'을 문자 그대로 읽으면 2번이 더 자연스러워 실질적으로 복수정답으로 볼 수 있다.

선지별 해설

1번 △ (공식 정답)
- 화공열역학 교재에서 일반적으로 쓰는 부호 규약은 에너지식 $\Delta U = Q + W$에서 $W = -\int PdV$로 두는 방식이다. 이 규약의 '일'을 적용하면 $W = RT \ln \frac{P_2}{P_1}$가 되어 1번이 되며, 팽창에서는 $P_2 < P_1$이라 음수이다. 공식 정답은 이 규약을 따른 1번이다.

2번 △ (복수정답으로 인정 가능)
- 문항의 표현 '계가 한 일'을 계가 외부에 한 일로 문자 그대로 보면 $W = \int PdV = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$이고, 팽창에서는 양수이다. 계가 팽창하며 외부에 양의 일을 한다는 물리적 직관과도 맞는다. 따라서 1번과 2번은 부호 규약 차이일 뿐 크기가 같아, 2번을 골라도 물리적으로 틀린 것은 아니다.

3번 X
- 상태방정식을 정리하면 $P(V-\alpha) = RT$로 α는 부피 쪽에 $V-\alpha$ 형태로 묶인다. 적분 후에는 α가 상쇄되어 $\frac{P_1}{P_2}$만 남으므로, 로그 안에 $P_1-\alpha, P_2-\alpha$가 남는 식은 유도되지 않는다.
- 틀린 표현은 $\frac{P_1-\alpha}{P_2-\alpha}$이다.

4번 X
- 4번도 3번과 같은 이유로 α를 압력에서 빼는 $P-\alpha$ 형태가 잘못이며, 부호까지 반대라 이중으로 틀렸다.
- 틀린 표현은 $\frac{P_2-\alpha}{P_1-\alpha}$이다.

NoteBase

오답 포인트

확실한 오답은 3번·4번이다. αP를 보고 $P-\alpha$를 만들면 안 되며, 상태방정식은 $P(V-\alpha)=RT$로 정리되어 적분 뒤 α가 상쇄되고 압력비 $\frac{P_1}{P_2}$만 남는다. 반면 1번과 2번의 구분은 오답이 아니라 '계가 한 일'의 부호 규약 문제이다. 교재의 규약 $W=-\int PdV$를 따르면 1번, 계가 외부에 한 일 $+\int PdV$로 보면 2번으로, 크기가 같아 둘 다 답으로 인정될 수 있다. 공식 정답은 1번이지만 2번을 골랐더라도 물리적으로 틀린 것은 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

변형된 상태방정식이 나오면 먼저 $P(V-\alpha)=RT$처럼 V 쪽으로 정리되는지 확인해 α가 상쇄되는지 본다. 일의 크기는 $RT\ln\frac{P_1}{P_2}$로 고정되므로 α가 남는 선택지는 곧바로 제외한다. 남는 것은 부호뿐인데, '계가 한 일'이면 계가 외부에 한 일 $+\int PdV$(양수)로 보는 것이 문자 그대로의 해석이고, 화공열역학 에너지식의 일 $W=-\int PdV$로 보면 부호가 반대가 된다. 두 해석의 크기가 같으면 복수정답 가능성을 의심한다.

암기 포인트

$PV=RT+\alpha P$는 $P(V-\alpha)=RT$로 바꾸고, 등온 가역 팽창에서 일의 크기는 $RT\ln\frac{P_1}{P_2}$이며 α는 상쇄된다(3번·4번 제외). 부호는 규약에 따라 갈려, 계가 외부에 한 일 $+\int PdV$면 2번, 교재의 $W=-\int PdV$면 1번이 되어 복수정답 성격이 있다.

NoteBase