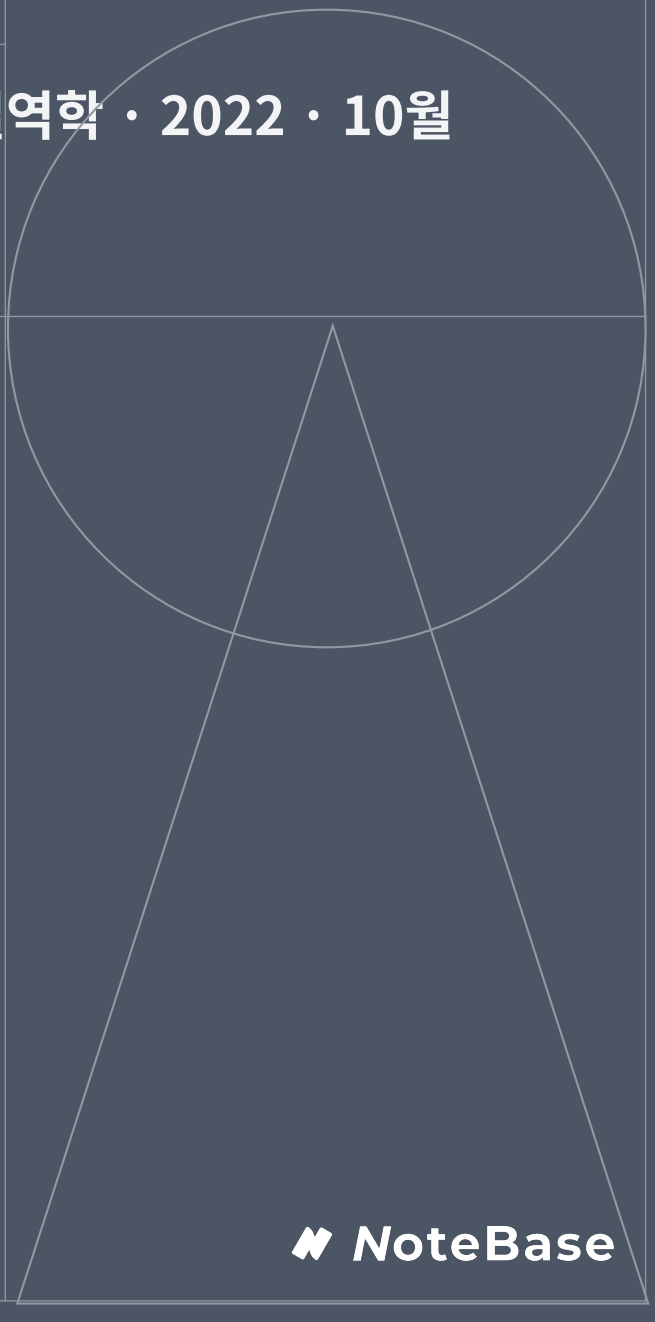
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2022 · 10월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2022 · 10월

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2022 · 10월

문 1. 가역공정(reversible process)에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 외부조건의 미소한 변화에 의하여 그 방향이 반대로 될 수 없다.

② 일련의 평형상태를 거친다.

③ 무한히 빠르게 진행된다.

④ 모든 공정으로부터 항상 최소 출력 일을 생성한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 가역공정의 본질이 미소한 외부조건 변화로 역전 가능한 준정적 공정이라는 점과, 일 산출의 방향성을 함께 구별하는 문제이다.

핵심 개념

가역공정은 계와 주위에 아무 영구 변화도 남기지 않고 역방향으로 되돌릴 수 있는 이상적 공정이다. 결정 차이축은 평형성, 진행 속도, 역전 가능성, 일의 크기이다. 키워드는 일련의 평형상태, 무한히 느린 진행, 미소한 조건 변화로 역전 가능, 최대 출력 일이다.

선지별 해설

① X. 틀린 부분은 "그 방향이 반대로 될 수 없다"이다. 가역공정은 외부조건을 미소하게 바꾸면 진행 방향이 반대로 될 수 있다. 올바르게는 "외부조건의 미소한 변화에 의하여 그 방향이 반대로 될 수 있다"이다.
② O. 가역공정은 비가역성이 없는 준정적 이상공정이므로 각 순간이 평형에 매우 가깝고, 결과적으로 일련의 평형상태를 거친다.
③ X. 틀린 부분은 "무한히 빠르게"이다. 가역공정은 평형에서 거의 벗어나지 않아야 하므로 실제로는 무한히 느리게 진행되는 한계공정으로 본다. 올바르게는 "무한히 느리게 진행된다"이다.
④ X. 틀린 부분은 "항상 최소 출력 일"이다. 가역공정은 같은 초기·최종 상태 사이에서 팽창일과 같은 출력 일을 최대화하고, 반대로 압축과 같은 입력 일을 최소화한다. 올바르게는 "항상 최대 출력 일을 생성한다" 또는 "최소 입력 일을 필요로 한다"이다.

NoteBase

오답 포인트

③과 ④에서 빠르기와 일의 방향을 뒤집어 놓은 점이 함정이다. 가역공정은 이상적이어서 빠른 공정이 아니라 매우 느린 공정이며, 일도 최소 출력이 아니라 최대 출력의 기준이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역공정 문제가 나오면 먼저 미소한 조건 변화로 역전 가능한지, 다음으로 일련의 평형상태를 유지하는지, 마지막으로 출력 일 최대·입력 일 최소 관계인지 순서대로 확인하면 된다.

암기 포인트

가역공정은 미소 변화로 역전 가능, 준정적 평형 경로, 무한히 느림, 최대 출력 일이다.

NoteBase

문 2. 이상기체로 가정한 64g의 산소를 0°C에서 100°C로 가열한다. 역학적으로 가역인 정적과정으로 가열할 때, 내부에너지의 변화량 ΔU의 값[kJ]은? (단, 이 온도 변화 구간에서는 열용량이 일정하다고 가정하며, 정압열용량은 20J/mol · K, 기체상수는 8J/mol · K, 산소의 분자량은 32g/mol로 가정한다.)

① 1.2

② 2.0

③ 2.4

④ 4.0

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 내부에너지 변화식 $\Delta U = nC_v\Delta T$와 $C_v = C_p - R$를 이용해 정적 가열 시 내부에너지 변화량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 산소 질량 64 g
- 분자량 32g/mol
- 정압열용량 $C_p = 20\text{J/(mol} \cdot \text{K)}$
- 기체상수 $R = 8\text{J/(mol} \cdot \text{K)}$
- 온도 변화 $\Delta T = 100\text{K}$

구해야 할 값:
- 내부에너지 변화량 ΔU

주의할 조건:
- 정적과정이므로 부피가 일정하다.
- 이상기체의 내부에너지는 온도에만 의존하므로 ΔU 계산에는 C_v를 사용한다.

사용할 공식

사용 공식은 $C_v = C_p - R$, $\Delta U = nC_v\Delta T$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이상기체의 내부에너지 변화량이 정적과정에서 몰수, 정적열용량, 온도변화의 곱으로 결정되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 몰수는 $n = \frac{64}{32} = 2\text{mol}$이다.
2. 정적열용량은 $C_v = C_p - R = 20 - 8 = 12\text{J/(mol}\cdot\text{K)}$이다.
3. 내부에너지 변화량은 $\Delta U = nC_v\Delta T = 2 \times 12 \times 100 = 2400\text{J}$이다.
4. 따라서 2400J = 2.4kJ이다.

선지별 해설

① X
- 계산 결과는 2.4kJ이므로 '내부에너지 변화량이 1.2 kJ이다'라는 값이 틀렸고, 올바르게는 2.4 kJ이다.
- 1.2 kJ는 $n = 2$를 빠뜨리고 $C_v\Delta T = 12 \times 100$만 계산할 때 나오는 오답값이다.

② X
- 계산 결과는 2.4kJ이므로 '내부에너지 변화량이 2.0 kJ이다'라는 값이 틀렸고, 올바르게는 2.4 kJ이다.
- 2.0 kJ는 몰수를 반영하지 않은 채 $C_p\Delta T = 20 \times 100$으로 잘못 계산할 때 나오는 값이다.

③ O
- $C_v = 12\text{J/(mol}\cdot\text{K)}$, $n = 2\text{mol}$, $\Delta T = 100\text{K}$이므로 $\Delta U = 2.4\text{kJ}$가 된다.
- 따라서 제시값 2.4 kJ가 계산 결과와 일치한다.

④ X
- 계산 결과는 2.4kJ이므로 '내부에너지 변화량이 4.0 kJ이다'라는 값이 틀렸고, 올바르게는 2.4 kJ이다.
- 4.0 kJ는 ΔU에 C_v 대신 C_p를 넣어 $2 \times 20 \times 100$으로 계산할 때 나오는 값이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 ΔU를 구하면서 C_p를 그대로 쓰거나, 질량으로부터 구한 몰수 $n = 2$를 빠뜨리는 데 있다. 정적과정이라는 조건을 보고도 $C_v = C_p - R$ 변환을 하지 않으면 ④ 같은 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 에너지 계산 문제는 먼저 질량을 몰수로 바꾸고, C_p와 C_v 중 어느 열용량을 써야 하는지 정한 뒤, 마지막에 단위를 J에서 kJ로 점검하면 된다.

암기 포인트

이상기체는 $\Delta U = nC_v\Delta T$, 그리고 $C_v = C_p - R$이다.

NoteBase

문 3. 일정온도에서 피스톤 압축에 의해 실린더 내에 저장된 이상기체의 외압을 서서히 감소시켜 초기 부피의 2배로 할 때의 일(W_A)과 외압을 급히 반으로 감소시켜 초기 부피의 2배로 할 때의 일(W_B)의 비($\frac{W_A}{W_B}$)는? (단, $\ln 2 = 0.7$로 계산한다.)

① 1.0

② 1.4

③ 1.6

④ 1.8

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 등온 팽창에서 가역 일과 일정 외압에 대한 비가역 일을 비교해 비 W_A/W_B를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 일정온도, 이상기체, 최종 부피는 초기 부피의 2배, $\ln 2 = 0.7$이다.
구해야 할 값: 서서히 외압을 낮춘 경우의 일 W_A와 외압을 절반으로 급히 낮춘 경우의 일 W_B의 비이다.
주의할 조건: 서서히 외압을 낮추는 경우는 가역 등온 팽창이고, 급히 반으로 낮추는 경우는 외압이 일정한 비가역 팽창이다.

사용할 공식

가역 등온 팽창 일은 $W_A = nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$이다.
일정 외압에서의 비가역 팽창 일은 $W_B = P_{ext}(V_2 - V_1)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 첫 번째 과정이 온도를 일정하게 유지하면서 매우 천천히 진행되는 가역 팽창이고, 두 번째 과정은 외압을 한 번에 $\frac{1}{2}$로 낮춘 뒤 그 일정 외압에 대해 팽창하는 과정이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

초기 평형에서 $P_1V_1 = nRT$이다.

가역 등온 팽창에서는

$W_A = nRT\ln\frac{V_2}{V_1} = P_1V_1\ln 2 = 0.7P_1V_1$

이다.

외압을 급히 반으로 낮추면 $P_{ext} = \frac{P_1}{2}$로 일정하다. 최종 부피가 $2V_1$이므로

$W_B = P_{ext}(V_2 - V_1) = \frac{P_1}{2}(2V_1 - V_1) = \frac{1}{2}P_1V_1$

이다.

따라서

$\frac{W_A}{W_B} = \frac{0.7P_1V_1}{0.5P_1V_1} = 1.4$

이다.

선지 판단

① X: 계산 결과는 1.4이므로 틀리다. 틀린 표현은 "비가 1.0이다"이고, 올바르게는 "비가 1.4이다"이다.

② O: $W_A/W_B = 1.4$이므로 옳다. 가역 등온 일 $0.7P_1V_1$을 일정 외압 일 $0.5P_1V_1$로 나누면 바로 나온다.

③ X: 계산 결과는 1.4이므로 틀리다. 틀린 표현은 "비가 1.6이다"이고, 올바르게는 "비가 1.4이다"이다.

④ X: 계산 결과는 1.4이므로 틀리다. 틀린 표현은 "비가 1.8이다"이고, 올바르게는 "비가 1.4이다"이다.

오답 포인트

두 과정을 모두 같은 등온식으로 처리하면 틀린다. 특히 W_B를 $nRT\ln 2$로 두면 가역 과정과 비가역 과정을 구분하지 못한 것이다. 또한 외압을 절반으로 낮춘 뒤에는 P_{ext}가 일정하므로 $P_{ext}\Delta V$를 써야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온 문제는 먼저 가역인지 비가역인지부터 구분한다. 가역이면 $nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$, 일정 외압 비가역이면 $P_{ext}\Delta V$를 적용한 뒤 마지막에 비를 정리하면 된다.

암기 포인트

등온 가역 일은 로그식, 일정 외압 비가역 일은 $P\Delta V$식이라는 구분이 핵심이다.

NoteBase

문 4. 온도 $30^\circ C$, 압력 1bar의 이상기체 1 mol이 있다. 이 이상기체를 마찰이 없는 피스톤과 실린더 내에서 PV^γ=상수, $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$의 관계가 유지되도록 압축한 다음, $300^\circ C$까지 등압 가열하여 온도 $300^\circ C$, 압력 10bar의 상태가 될 때 내부에너지 변화량 ΔU의 값[J]은? (단, $C_V = 1.5R$, $C_P = 2.5R$, $R = 8 J/mol \cdot K$, $\ln 10 = 2.3$으로 계산한다.)

① 2,160

② 3,240

③ 5,400

④ 7,560

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 내부에너지가 경로와 무관하게 온도에만 의존한다는 성질을 이용해 $\Delta U = nC_V\Delta T$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 몰수: $n = 1mol$
- 초기 온도: $T_i = 30^\circ C = 303K$
- 최종 온도: $T_f = 300^\circ C = 573K$
- 정적 몰비열: $C_V = 1.5R = 12J/(mol \cdot K)$

구해야 할 값:
- 내부에너지 변화량 ΔU

주의할 조건:
- 이상기체의 내부에너지는 온도만의 함수이므로 중간의 단열 압축과 등압 과정은 ΔU 계산값을 바꾸지 않는다.

사용할 공식

$\Delta U = nC_V\Delta T = nC_V(T_f - T_i)$

이 공식을 쓰는 이유:
이상기체의 내부에너지는 온도만으로 결정되므로 압력 변화나 과정 형태와 무관하게 처음과 끝의 온도차만 알면 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 정적 몰비열을 계산하면 $C_V = 1.5R = 1.5 \times 8 = 12 J/(mol \cdot K)$이다.
2. 온도차는 $\Delta T = 300 - 30 = 270 K$이다.
3. 따라서
$\Delta U = nC_V\Delta T = 1 \times 12 \times 270 = 3240 J$
이다.

선지별 해설

① X
- 2,160 J는 $R\Delta T = 8 \times 270$만 계산한 값이다. 내부에너지는 R이 아니라 C_V를 써야 한다.
- 틀린 값 2,160 J → 올바르게는 3,240 J이다.

② O
- $\Delta U = nC_V\Delta T = 1 \times 12 \times 270 = 3240 J$이므로 맞는 선택지이다.

③ X
- 5,400 J는 $C_P\Delta T = 20 \times 270$를 사용한 값이다. $C_P\Delta T$는 엔탈피 변화 ΔH 계산에 해당한다.
- 틀린 값 5,400 J → 내부에너지 변화량은 3,240 J이다.

④ X
- 7,560 J는 내부에너지 변화량을 경로별로 과도하게 해석하거나 최종 온도만 보고 잘못 곱한 값으로,
$\Delta U = nC_V\Delta T$와 일치하지 않는다.
- 틀린 값 7,560 J → 올바르게는 3,240 J이다.

오답 포인트

내부에너지 변화량과 엔탈피 변화량을 혼동하면 C_V 대신 C_P를 써서 ③으로 흐르기 쉽다. 또 과정 설명에 단열 압축이 들어가 있어 중간 경로를 반드시 계산해야 한다고 생각하면 핵심인 '이상기체의 U는 온도만의 함수'를 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체의 ΔU를 묻는 계산형 문제는 먼저 처음과 끝의 온도만 확인한 뒤 $\Delta U = nC_V\Delta T$를 적용한다. 경로 정보는 내부에너지 자체가 아니라 일이나 열량을 따질 때만 별도로 쓴다.

암기 포인트

이상기체는 $\Delta U = nC_V\Delta T$, 엔탈피는 $\Delta H = nC_P\Delta T$로 구분된다.

NoteBase

문 5. 물질 A와 B의 기액 상평형 혼합물이 300K 2bar 조건에서 액체상의 몰분율 $x_A = 0.2, x_B = 0.8$이고 기체상의 몰분율 $y_A = 0.4, y_B = 0.6$이다. 만약, 액체상에서 물질 A의 활동도 계수가 1.2라면, 기체상에서의 물질 A의 퓨개시티 계수값은? (단, 액체상이 이상 혼합물일 경우의 물질 A의 액체상 퓨개시티 값은 0.2bar이다.)

① 0.25

② 0.3

③ 0.5

④ 0.6

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 액상 활동도 계수와 기상 퓨개시티 계수를 연결하는 기액평형식으로 ϕ_A를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T = 300K, P = 2bar, x_A = 0.2, y_A = 0.4, \gamma_A = 1.2$
구해야 할 값: 기체상에서 물질 A의 퓨개시티 계수 ϕ_A
주의할 조건: 이상 액상일 때의 액상 퓨개시티가 0.2 bar이므로, 실제 액상 퓨개시티는 활동도 계수를 곱해 보정해야 한다.

사용할 공식

기액평형에서 성분 A는 $\hat{f}_A^V = \hat{f}_A^L$를 만족한다.
기상은 $\hat{f}_A^V = y_A \phi_A P$이고, 실제 액상은 $\hat{f}_A^L = \gamma_A \hat{f}_{A,id}^L$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 기상 조성 y_A, 전체 압력 P, 액상 활동도 계수 γ_A, 그리고 이상 액상 기준 퓨개시티 $\hat{f}_{A,id}^L$를 함께 주었으므로 평형식으로 바로 ϕ_A를 계산할 수 있다.

계산 과정

1. 이상 액상 기준 물질 A의 퓨개시티는 $\hat{f}_{A,id}^L = 0.2bar$이다.
2. 실제 액상 퓨개시티는 $\hat{f}_A^L = \gamma_A \hat{f}_{A,id}^L = 1.2 \times 0.2 = 0.24bar$이다.
3. 평형식 $y_A \phi_A P = \hat{f}_A^L$에 대입하면 $0.4 \times \phi_A \times 2 = 0.24$이다.
4. 따라서 $0.8\phi_A = 0.24$이므로 $\phi_A = 0.24/0.8 = 0.3$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
0.25는 $0.2/(0.4 \times 2)$로 계산한 값으로, 활동도 계수 $\gamma_A = 1.2$를 반영하지 않은 결과이다. 틀린 표현은 실제 액상 퓨개시티를 이상 액상 퓨개시티와 같게 본 점이며, 올바르게는 $\hat{f}_A^L = 1.2 \times 0.2 = 0.24bar$로 보정해야 한다.

② O
실제 액상 퓨개시티는 $0.24bar$이고, 이를 $y_A\phi_A P = 0.4 \times \phi_A \times 2$와 같게 두면 $\phi_A = 0.3$이 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

③ X
0.5는 분모에 기상 몰분율 $y_A = 0.4$ 대신 액상 몰분율 $x_A = 0.2$를 넣어 $0.2/(0.2 \times 2)$ 또는 비슷하게 계산할 때 나오는 값이다. 틀린 표현은 기상 퓨개시티 계수를 구하면서 기상식 $y_A\phi_A P$를 쓰지 않은 점이며, 올바르게는 반드시 $y_A = 0.4$를 분모에 써야 한다.

④ X
0.6은 활동도 계수 1.2 자체에만 끌리거나 압력 보정을 잘못 섞었을 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 퓨개시티 계수를 활동도 계수와 같은 종류의 값으로 본 점이며, 올바르게는 평형식으로 계산한 $\phi_A = 0.3$이 정답이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 이상 액상에서의 퓨개시티 0.2 bar를 실제 액상 퓨개시티로 그대로 쓰기 쉽다는 점이다. 또 기상 퓨개시티 계수는 $y_A\phi_A P$에서 구해야 하는데, x_A를 잘못 넣으면 0.5 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

활동도 계수와 퓨개시티 계수가 함께 나오면 먼저 이상 기준값인지 실제값인지 구분한 뒤, 액상은 γ로 보정하고 기상은 $y\phi P$ 형태로 놓아 평형식 $\hat{f}^V = \hat{f}^L$를 세우면 된다.

암기 포인트

이상 액상 기준 퓨개시티는 γ를 곱해 실제 액상 퓨개시티로 바꾸고, 기상은 $y\phi P$로 연결한다.

NoteBase

문 6. 순수한 물질이 기체와 액체 상태로 평형을 이루고 있다. 이때, 이 물질의 포화증기압은 안토인(Antoine)식으로부터 얻을 수 있으며 <보기>와 같다. 저압에서 액체 1 mol이 기체상(phase)으로 상전이할 때 증발잠열의 값은? (단, 액체상의 부피는 기체상의 부피와 비교하여 무시 가능하다. 기체는 이상기체로 가정하며, R은 기체상수이다.)

<보기>

$\ln P^{sat} = 15 - \frac{10}{T}$

① $10R$

② $15R$

③ $20R$

④ $30R$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 포화증기압 식을 클라우시우스-클라페이론 식과 연결하여 증발잠열 ΔH_{vap}을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 식: $\ln P^{sat} = 15 - \frac{10}{T}$

구해야 할 값: 액체 1 mol의 증발잠열 ΔH_{vap}

주의할 조건: 액체 부피는 무시 가능하고, 기체는 이상기체이므로 $\frac{d\ln P^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H_{vap}}{RT^2}$를 바로 적용할 수 있다.

사용할 공식

$\frac{d\ln P^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H_{vap}}{RT^2}$

이 공식을 쓰는 이유:

기액 평형에서 액체 부피를 무시하고 증기를 이상기체로 보면 클라우시우스-클라페이론 식이 위 형태로 정리되며, 주어진 안토인식의 온도 미분값과 직접 비교할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 주어진 식을 온도에 대해 미분하면
$\frac{d\ln P^{sat}}{dT} = \frac{d}{dT}\left(15 - \frac{10}{T}\right) = \frac{10}{T^2}$
2. 이를 클라우시우스-클라페이론 식과 비교하면
$\frac{\Delta H_{vap}}{RT^2} = \frac{10}{T^2}$
3. 양변에 RT^2를 곱하면
$\Delta H_{vap} = 10R$
따라서 증발잠열은 10R이다.

선지 판단

① O: 계산 결과가 $10R$이므로 옳다.
② X: 15R은 상수항 15를 증발잠열과 직접 연결한 값인데, 상수항은 미분하면 0이므로 기여하지 않는다. 틀린 표현은 "15R"이고, 올바르게는 "10R"이다.
③ X: 20R은 $-\frac{10}{T}$ 항을 잘못 미분하거나 계수를 두 배로 착각한 값이다. 틀린 표현은 "20R"이고, 올바르게는 "10R"이다.
④ X: 30R은 식의 계수 15와 10을 임의로 더하거나 잘못 결합한 값이다. 포화증기압 식에서는 $\frac{1}{T}$ 항의 계수만 증발잠열과 연결된다. 틀린 표현은 "30R"이고, 올바르게는 "10R"이다.

오답 포인트

안토인식의 상수항과 $\frac{1}{T}$ 항의 역할을 구분하지 않으면 틀린다. 이 문제에서는 상수항 15는 미분 과정에서 사라지고, $-\frac{10}{T}$의 계수 10만이 증발잠열과 연결된다.

다시 나오면 이렇게 판단

기액 평형과 포화증기압 식이 나오면 먼저 $\ln P^{sat}$를 T에 대해 미분한 뒤, 그 결과를 $\frac{\Delta H_{vap}}{RT^2}$와 항별 비교하는 순서로 판단한다.

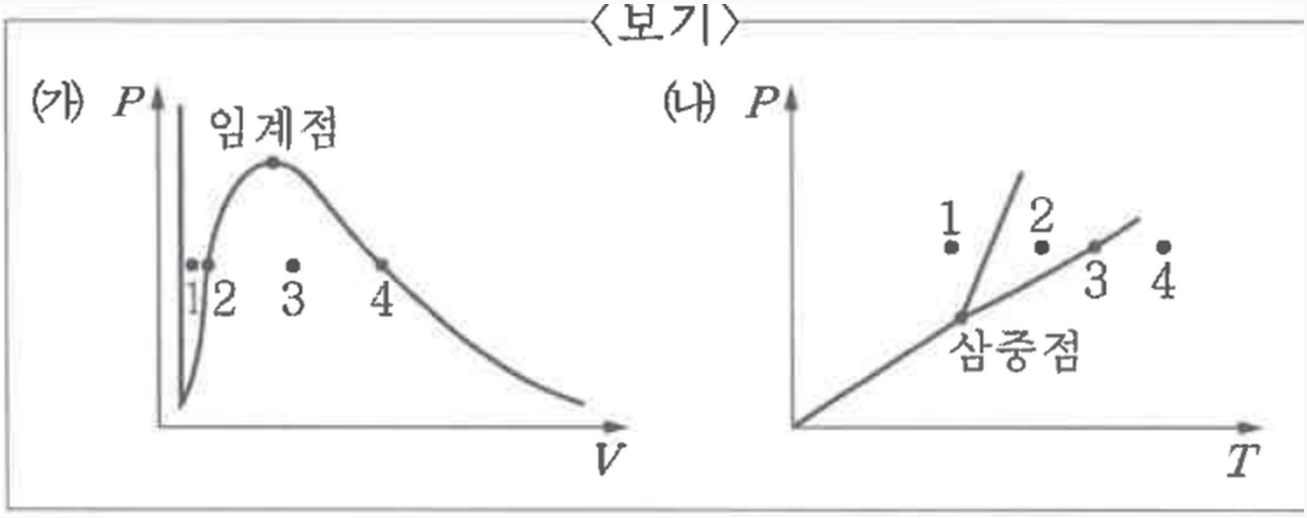
암기 포인트

$\ln P^{sat} = A - \frac{B}{T}$ 형태에서는 증발잠열이 $\Delta H_{vap} = BR$로 바로 연결된다.

NoteBase

문 7. <보기>는 순수성분의 PV(pressure-volume) 선도와 PT(pressure-temperature) 선도를 나타낸 것이다. 두 그림의 점 1, 2, 3, 4는 순수성분의 상(phase)의 상태를 나타낸다. PV 선도 (가)와 PT 선도 (나)의 점의 상의 상태가 같은 것을 옳게 짝지은 것은? (단, 각 점들은 동일선상에 있다.)

<보기>



① (가): 1, (나): 1

② (가): 2, (나): 2

③ (가): 3, (나): 3

④ (가): 4, (나): 4

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 순수성분의 PV 선도와 PT 선도에서 각 위치가 뜻하는 상 상태를 읽어 서로 대응시키는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: (가) 1은 포화곡선 왼쪽이므로 압축액(과냉액) 상태의 액체이다. (나) 1은 융해선 왼쪽이므로 고체 상태이다. 틀린 표현은 "(가) 1과 (나) 1이 같은 상"이라는 대응이다. 올바르게는 (가) 1은 액체상이고 (나) 1은 고체상이다.
② X: (가) 2는 포화곡선 내부이므로 액체와 증기가 함께 존재하는 2상 공존상태이다. (나) 2는 융해선과 증발선 사이이므로 단일 액체상이다. 틀린 표현은 "(가) 2와 (나) 2가 같은 상"이라는 대응이다. 올바르게는 (가) 2는 공존상태이고 (나) 2는 액체 단일상이다.
③ O: (가) 3은 포화곡선 내부이므로 액체-증기 2상 공존상태이다. (나) 3은 증발선 위이므로 액체와 증기가 평형으로 공존하는 상태이다. 두 점 모두 액체-증기 평형상태이므로 올바른 대응이다.
④ X: (가) 4는 포화증기선 위의 상태이므로 상경계에 놓인 포화증기 상태이다. (나) 4는 증발선 오른쪽이므로 기체 단일상태이다. 틀린 표현은 "(가) 4와 (나) 4가 같은 상"이라는 대응이다. 올바르게는 (가) 4는 경계상태이고 (나) 4는 기체 단일상이다.

오답 포인트

PV 선도에서는 돔 내부뿐 아니라 돔의 경계도 포화상태라는 점을 놓치기 쉽다. PT 선도에서는 선 위가 두 상이 공존하는 경계이고, 선의 오른쪽이나 왼쪽 내부는 단일상이라는 점을 구분해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

PV 선도는 포화곡선의 왼쪽, 내부, 오른쪽 경계를 먼저 나누고, PT 선도는 영역 내부인지 상경계선 위인지부터 구분한다. 그 다음 단일상과 2상 공존상을 대응시키면 된다.

암기 포인트

PV의 돔 내부와 PT의 상경계선 위는 공존상태이고, 각 영역 내부는 단일상태이다.

NoteBase

문 8. 실린더에 450K의 이상기체 1 mol이 들어있다. 이 이상기체가 대기압(1atm)이 유지되는 상태에서 대기온도인 300K으로 냉각되었을 때 전체 엔트로피 변화량[J/mol · K]은? (단, 정압비열 값은 5R/2로 온도에 무관하며, 기체상수 R값은 8J/mol · K이다. ln 450 = 6.1, ln 300 = 5.7로 계산한다.)

① 2

② 4

③ 8

④ 10

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정압 냉각되는 이상기체의 계 엔트로피 변화와 주위 엔트로피 변화를 함께 구해 전체 엔트로피 변화를 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 이상기체 1 mol, $T_1 = 450K$, $T_2 = 300K$, $C_p = 5R/2$, $R = 8J/(mol \cdot K)$이다.
구해야 할 값: 계와 주위를 합한 전체 엔트로피 변화량이다.
주의할 조건: 압력은 1 atm으로 일정하므로 계의 엔트로피 변화는 정압식으로 구하고, 전체 엔트로피는 계만이 아니라 주위까지 합해야 한다.

사용할 공식

계의 엔트로피 변화는 $\Delta S_{sys} = nC_p \ln(T_2/T_1)$이다.
주위의 엔트로피 변화는 $\Delta S_{surr} = -q_{sys}/T_{surr}$이다.
이 문제는 정압 과정이며 주위가 300 K의 열저장고처럼 작용하므로 두 식을 함께 써서 전체 엔트로피 변화 $\Delta S_{total} = \Delta S_{sys} + \Delta S_{surr}$를 구한다.

계산 과정

먼저 $nC_p = (1) \times (5R/2) = 5 \times 8/2 = 20J/K$이다.
따라서 계의 엔트로피 변화는 $\Delta S_{sys} = 20\ln(300/450) = 20(5.7 - 6.1) = 20(-0.4) = -8J/K$이다.
정압 과정의 열량은 $q_{sys} = nC_p(T_2 - T_1) = 20 \times (300 - 450) = -3000J$이다.
주위의 엔트로피 변화는 $\Delta S_{surr} = -(-3000)/300 = 10J/K$이다.
따라서 전체 엔트로피 변화는 $\Delta S_{total} = -8 + 10 = 2J/K$이다.
기체가 1 mol이므로 수치상 $2J/(mol \cdot K)$로 보아도 같다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 전체 엔트로피 변화는 계의 −8과 주위의 +10을 합한 2이다. 문제에서 묻는 값은 계만의 엔트로피 변화가 아니라 전체 엔트로피 변화량이다.
② X: 4는 올바른 합산 결과가 아니다. 틀린 표현은 전체 엔트로피 변화가 4라는 판단이며, 올바르게는 계 −8과 주위 +10을 더한 2이다.
③ X: 8은 계의 엔트로피 변화량의 크기만 본 값이다. 틀린 표현은 전체 엔트로피 변화를 8로 보는 것이며, 올바르게는 계의 엔트로피 변화는 −8이고 전체는 2이다.
④ X: 10은 주위의 엔트로피 변화만 계산한 값이다. 틀린 표현은 전체 엔트로피 변화가 10이라는 판단이며, 올바르게는 주위 +10에 계 −8을 더해 2가 된다.

오답 포인트

가장 흔한 오답은 계의 엔트로피 변화만 구해 ③을 고르거나, 주위의 엔트로피 변화만 구해 ④를 고르는 것이다. 문제의 표현이 전체 엔트로피 변화량인지 계의 엔트로피 변화량인지 구분하지 않으면 바로 틀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

엔트로피 문제에서 전체라는 표현이 나오면 먼저 계의 ΔS와 주위의 ΔS를 분리해서 계산한 뒤 마지막에 합산한다. 정압 냉각이면 계는 $nC_p\ln(T_2/T_1)$, 주위는 $-q/T$ 순서로 정리하면 된다.

암기 포인트

계의 엔트로피는 냉각 시 감소하고, 자발적 냉각에서 전체 엔트로피는 계 감소분보다 주위 증가분이 더 커서 증가한다.

NoteBase

문 9. 물질의 내부에너지(U, internal energy)에 포함되지 않는 것은?

① 분자들의 회전운동에 의한 운동에너지

② 분자들의 진동운동에 의한 운동에너지

③ 분자간 반발력에 의한 측정 가능한 포텐셜 에너지

④ 원자들을 이루는 전자들과 원자핵들 간의 상호작용에 의한 에너지

정답 3번

출제 포인트

내부에너지는 분자의 미시적 운동에너지와 분자간 또는 원자 내부 상호작용에 따른 에너지를 포함하지만, 공학열역학의 표준 분류에서 측정 가능한 잠재에너지는 주로 분자간 인력에 의한 항으로 다룬다는 점을 묻는 문제이다.

핵심 개념

내부에너지는 물질 내부의 미시적 에너지 총합으로서 분자의 회전·진동 등 운동에너지와 분자간 인력에 따른 잠재에너지, 전자와 원자핵 수준의 에너지를 포함한다.
분자간 잠재에너지는 시험에서 보통 상변화와 연관되는 인력 항으로 설명되며, 반발력에 의한 항을 별도의 측정 가능한 저장에너지로 보지 않는 것이 표준적인 정리이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2022 · 10월

선지별 해설

① X
분자들의 회전운동에 의한 운동에너지는 내부에너지에 포함된다.
틀린 부분은 이 선지가 '포함되지 않는 것'에 해당한다고 보는 점이다.
올바르게는 '분자들의 회전운동에 의한 운동에너지는 내부에너지에 포함된다'이다.

② X
분자들의 진동운동에 의한 운동에너지도 내부에너지의 구성요소이다.
틀린 부분은 이 선지를 제외 항목으로 보는 점이다.
올바르게는 '분자들의 진동운동에 의한 운동에너지는 내부에너지에 포함된다'이다.

③ O
공학열역학의 기본 분류에서 측정 가능한 분자간 포텐셜 에너지는 보통 분자간 인력에 의한 잠재에너지로 설명된다.
따라서 '분자간 반발력에 의한 측정 가능한 포텐셜 에너지'라는 표현은 내부에너지의 통상적 구성항으로 보지 않으므로, 포함되지 않는 것을 고르는 이 문제의 정답이 된다.

④ X
원자를 이루는 전자들과 원자핵들 간의 상호작용에 의한 에너지는 원자 내부의 에너지이므로 내부에너지에 포함된다.
틀린 부분은 이 선지를 제외 대상으로 보는 점이다.
올바르게는 '전자들과 원자핵들 간의 상호작용에 의한 에너지는 내부에너지에 포함된다'이다.

오답 포인트

③에 '포텐셜 에너지'라는 말이 들어 있어 무조건 내부에너지에 포함된다고 오해하기 쉽다. 이 문항의 함정은 '측정 가능한'과 '반발력'이라는 한정어에 있다. 시험의 표준 분류에서는 측정 가능한 잠재에너지를 주로 분자간 인력과 연결해 정리한다.

다시 나오면 이렇게 판단

내부에너지를 묻는 문제는 먼저 '미시적 운동에너지인가, 분자간 인력에 따른 잠재에너지인가, 전자·원자핵 수준의 에너지인가'를 확인하면 된다. 이 셋에 들어가면 포함되고, 공학열역학의 표준 분류에서 제외하는 표현인지까지 함께 본다.

암기 포인트

내부에너지 = 미시적 운동에너지 + 분자간 인력에 의한 잠재에너지 + 전자·원자핵 에너지이다.

NoteBase

문 10. 압축된 기체가 단열된 좁은 틈을 통과할 때 온도가 변하는 현상을 설명할 수 있는 이론으로 가장 옳은 것은?

① 역행 응축(Retrograde condensation)

② 루이스-란달 규칙(Lewis-Randall rule)

③ 수정된 라울의 법칙(Modified Raoult's law)

④ 줄-톰슨 효과(Joule-Thomson effect)

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 단열 스로틀링 과정에서 압력 강하에 따라 실제 기체의 온도가 변하는 현상을 설명하는 줄-톰슨 효과를 묻는 문제이다.

핵심 개념

줄-톰슨 효과는 압축된 실제 기체가 단열된 밸브, 다공마개, 좁은 틈을 통과할 때 $h_1 \approx h_2$인 등엔탈피 스로틀링 과정에서 온도가 변하는 현상이다. 키워드는 단열, 좁은 틈, 압력 강하, 온도 변화이다.
역행 응축은 임계점 부근의 기체 또는 가스 혼합물이 온도를 거의 일정하게 둔 채 압력을 낮출 때 오히려 액체가 생기는 상거동이다. 키워드는 압력 저하에 따른 응축이다.
루이스-랜들 규칙은 이상용액에서 성분의 퓨가시티를 $f_i = x_i f_i^*$로 나타내는 용액 열역학 규칙이다. 키워드는 이상용액, 퓨가시티이다.
수정된 라울의 법칙은 비이상 액상 혼합물의 기액평형을 $y_i P = x_i \gamma_i P_i^{sat}$로 나타내는 관계식이다. 키워드는 활동도 계수, 기액평형이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
역행 응축은 압력을 낮출 때 액체가 생기는 특이한 상평형 현상을 설명한다.
틀린 부분은 역행 응축을 좁은 틈 통과에 따른 온도 변화 이론으로 본 점이다.
올바르게는 임계점 부근에서 압력 감소에 의해 응축이 일어나는 현상을 설명하는 개념이다.

② X
루이스-랜들 규칙은 이상용액의 조성과 퓨가시티 관계를 다루는 규칙이다.
틀린 부분은 이를 단열 스로틀링의 온도 변화 설명에 연결한 점이다.
올바르게는 이상용액에서 각 성분의 퓨가시티를 조성에 비례시켜 나타내는 규칙이다.

③ X
수정된 라울의 법칙은 비이상 액상 혼합물의 기액평형 계산에 쓰인다.
틀린 부분은 이를 압축 기체의 좁은 틈 통과 시 온도 변화 이론으로 본 점이다.
올바르게는 활동도 계수를 포함하여 증기-액체 평형 조성을 계산하는 관계식이다.

④ O
줄-톰슨 효과는 압축된 기체가 단열된 좁은 틈이나 밸브를 통과할 때 압력이 떨어지면서 온도가 변하는 현상을 직접 설명한다.
스로틀링 과정은 보통 등엔탈피로 다루므로, 이 선지가 발문의 상황과 정확히 대응한다.

오답 포인트

선지 ②와 ③은 모두 화공열역학에서 자주 보는 용액 평형식이어서 익숙하다는 이유로 고르기 쉽다. 그러나 발문에 있는 핵심 표현은 조성이 아니라 압축 기체, 단열, 좁은 틈, 온도 변화이다. ①도 압력 감소와 관련된 현상이라 헷갈릴 수 있지만, 온도 변화 자체를 설명하는 스로틀링 현상은 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

발문에 압축된 기체가 단열된 밸브, 다공마개, 좁은 틈을 통과하면서 온도가 변한다고 나오면 먼저 줄-톰슨 효과를 떠올리면 된다. 반대로 조성, 퓨가시티, 활동도 계수, 기액평형이 나오면 루이스-랜들 규칙이나 수정된 라울의 법칙을 검토하고, 압력 저하 중 액체 생성이 나오면 역행 응축을 판단 기준으로 잡는다.

암기 포인트

좁은 틈의 단열 스로틀링 온도 변화는 줄-톰슨 효과이고, 용액 조성 평형은 루이스-랜들 규칙과 수정된 라울의 법칙이며, 압력 저하 중 액화는 역행 응축이다.

NoteBase

문 11. <보기> 반응의 25°C에서의 표준 반응열[kJ/mol]은? (단, x, y, z는 미지의 반응 계수이며, $NO_2(g)$, $NH_3(g)$, $H_2O(g)$의 표준 생성열은 각각 30, -40, −240kJ/mol이다.)

<보기>

$x \cdot NO_2(g) + y \cdot NH_3(g) \rightarrow z \cdot N_2(g) + 12H_2O(g)$

① -2,740

② -250

③ 250

④ 2,740

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 반응식을 먼저 맞춘 뒤 표준 생성열 관계식으로 25℃ 표준 반응열을 구할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
NO2(g)의 표준 생성열 = 30kJ/mol
NH3(g)의 표준 생성열 = -40kJ/mol
H2O(g)의 표준 생성열 = -240kJ/mol
N2(g)의 표준 생성열 = 0kJ/mol
구해야 할 값:
<보기> 반응의 25℃ 표준 반응열
주의할 조건:
반응식의 계수를 먼저 맞춘 뒤 각 물질의 생성열에 계수를 곱해 합산해야 한다.

사용할 공식

Δ H^_rxn = Σ ν Δ H_f^(생성물) - Σ ν Δ H_f^(반응물)
이 공식을 쓰는 이유:
표준 반응열은 생성물의 표준 생성열 총합에서 반응물의 표준 생성열 총합을 빼서 구하기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 수소 원자수에서 $3y = 24$이므로 $y = 8$이다.
2. 산소 원자수에서 $2x = 12$이므로 $x = 6$이다.
3. 질소 원자수에서 $x + y = 2z$이므로 $6 + 8 = 2z$, 따라서 $z = 7$이다.
4. 따라서 반응식은 $6NO_2 + 8NH_3 \rightarrow 7N_2 + 12H_2O$이다.
5. 표준 반응열은

$$\Delta H^\circ = \{7(0) + 12(-240)\} - \{6(30) + 8(-40)\}$$
$$= -2880 - (180 - 320) = -2880 - (-140) = -2740\text{kJ/mol}$$

이다.

선지 판단

① O: 계산 결과가 -2740kJ/mol이므로 맞다.
② X: -250kJ/mol은 반응 계수를 반영하지 않거나 반응물과 생성물의 합산을 잘못한 값이다. 틀린 표현은 반응열의 크기를 지나치게 작게 본 점이며, 올바르게는 -2740kJ/mol이다.
③ X: 250kJ/mol은 부호를 반대로 처리한 값이다. 이 반응은 발열반응이므로 표준 반응열은 음수여야 하며, 올바르게는 -2740kJ/mol이다.
④ X: 2740kJ/mol은 절댓값만 맞고 부호를 놓친 값이다. 올바르게는 -2740kJ/mol이다.
계산 결과가 -2740kJ/mol이므로 정답은 ①이다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 반응식을 먼저 맞추지 않고 숫자만 대입하거나, 생성물 합에서 반응물 합을 빼는 순서를 뒤집어 부호를 틀리는 점이다. 특히 ④는 크기만 맞고 부호가 틀린 대표적 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응열 문제는 원자수 보존으로 계수를 먼저 맞춘 뒤 생성물 합 - 반응물 합 순서로 계산하고 마지막에 발열인지 흡열인지로 부호를 검산하면 된다.

암기 포인트

표준 반응열은 계수 맞춤 후 생성물 합 - 반응물 합이며, 발열반응은 음수이다.

NoteBase

문 12. 단열된 컨테이너에 25℃의 물 2 kg이 들어있다. 컨테이너에는 교반기가 설치되어 있고, 이 교반기는 자유 낙하하는 40 kg의 추와 연결되어 작동한다. 추에 작용한 모든 일이 교반기를 통해 고스란히 물로 전달된다고 가정할 때, 물의 온도가 30℃에 도달하는 동안 추가 자유낙하한 거리의 값[m]은? (단, 물의 비열은 4 J/g·℃, 중력가속도는 $10\mathrm{m/s^2}$이며, 공기의 저항은 무시한다.)

① 1

② 10

③ 40

④ 100

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 단열된 계에서 추의 위치에너지 감소가 교반 일을 거쳐 물의 내부에너지 증가로 그대로 전달된다는 에너지수지를 이용해 낙하거리 h를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 물의 질량 2 kg, 초기 온도 25°C, 최종 온도 30°C, 물의 비열 4 J/g·°C, 추의 질량 40 kg, 중력가속도 $10\mathrm{m/s^2}$이다.
구해야 할 값은 추가 자유낙하한 거리 h이다.
단열된 컨테이너이므로 외부와의 열교환은 없고, 추에 작용한 모든 일이 물로 전달된다고 본다.

사용할 공식

필요한 관계는 물이 얻는 에너지와 추의 위치에너지 감소를 같게 두는 것이다.
$Q = mc\Delta T, \quad W = mgh, \quad Q = W$
이 공식을 쓰는 이유는 단열 조건에서 열출입이 없고, 교반기에 전달된 축일이 모두 물의 온도 상승으로 바뀐다고 주어졌기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 물의 질량을 비열 단위에 맞춰 $2kg = 2000g$로 바꾼다.
2. 물이 흡수한 에너지는
$Q = 2000 \times 4 \times (30 - 25) = 40000J$
이다.
3. 추가 h만큼 떨어질 때 잃는 위치에너지는
$W = 40 \times 10 \times h = 400hJ$
이다.
4. $Q = W$를 적용하면
$400h = 40000$
이므로
$h = 100m$
이다.

선지별 해설

① X
1m 낙하 시 전달 일은 $40 \times 10 \times 1 = 400J$이다. 필요한 에너지 40000 J에 한참 못 미치므로 틀린 값이다. 틀린 표현은 "1m"이고, 올바르게는 "100m"이다.

② X
10m 낙하 시 전달 일은 $40 \times 10 \times 10 = 4000J$이다. 물을 5°C 올리기 위한 에너지보다 10배 부족하므로 틀린 값이다. 틀린 표현은 "10m"이고, 올바르게는 "100m"이다.

③ X
40m 낙하 시 전달 일은 $40 \times 10 \times 40 = 16000J$이다. 여전히 필요한 40000 J에 도달하지 못하므로 틀린 값이다. 틀린 표현은 "40m"이고, 올바르게는 "100m"이다.

④ O
100m 낙하 시 전달 일은 $40 \times 10 \times 100 = 40000J$이다. 이는 물의 온도를 25°C에서 30°C로 올리는 데 필요한 에너지와 정확히 같으므로 옳다.

오답 포인트

비열 단위가 J/g·°C인데 질량 2 kg를 그대로 대입하면 에너지를 1000배 작게 계산하게 된다. 또한 단열계라는 말을 놓치고 열전달 문제처럼 접근하거나, $mc\Delta T$와 mgh의 두 질량이 서로 다른 물리량이라는 점을 섞으면 오답이 나온다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

교반기나 추, 패들휠이 나오면 먼저 어떤 에너지가 어떤 형태로 바뀌는지 에너지수지를 세운다. 그다음 비열 단위에 맞춰 질량 단위를 맞추고, $mc\Delta T$와 기계적 일 mgh를 같게 두어 계산하면 된다.

암기 포인트

단열된 교반 문제는 "축일 = 내부에너지 증가"로 정리된다. 물 비열이 J/g·°C이면 질량을 g로 맞춘다.

NoteBase

문 13. 이상기체 A가 단열압축기를 통해 1bar, 300K로부터 최종압력 32bar로 압축되는 공정이 있다. 등엔트로피 공정과 비교시 이 압축기의 효율이 80%일 때, 기체 A의 압축 후 최종 온도의 값[K]은? (단, $C_p = 40\text{J/mol}\cdot\text{K}$이고 기체상수 $R = 8\text{J/mol}\cdot\text{K}$이다.)

① 540

② 600

③ 650

④ 675

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 등엔트로피 압축식과 압축기 등엔트로피 효율식을 이용해 실제 출구온도를 구하는 계산형 문항이다.

조건 정리

주어진 값: $P_1 = 1bar, T_1 = 300K, P_2 = 32bar, C_p = 40J/mol\cdot K, R = 8J/mol\cdot K$, 압축기 효율 $\eta_c = 0.8$이다.
구해야 할 값: 실제 압축 후 최종 온도 T_2이다.
주의할 조건: 압축기 효율은 $\eta_c = (h_{2s} - h_1)/(h_2 - h_1) = (T_{2s} - T_1)/(T_2 - T_1)$로 둔다.

사용할 공식

먼저 $C_v = C_p - R$, $\gamma = C_p/C_v$를 구한 뒤 등엔트로피 관계식
$\frac{T_{2s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$
을 사용해 이상적인 출구온도 T_{2s}를 구한다.
그 다음 압축기 효율식
$\eta_c = \frac{T_{2s} - T_1}{T_2 - T_1}$
으로 실제 출구온도 T_2를 구한다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 단열압축기와 등엔트로피 공정을 비교한 효율이 주어졌기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. $C_v = C_p - R = 40 - 8 = 32 J/mol \cdot K$이므로 $\gamma = C_p/C_v = 40/32 = 1.25$이다.
2. 등엔트로피 출구온도는
$T_{2s} = 300 \times \left(\frac{32}{1}\right)^{(1.25-1)/1.25} = 300 \times 32^{0.2} = 300 \times 2 = 600K$
이다.
3. 압축기 효율식에서
$0.8 = \frac{600 - 300}{T_2 - 300} = \frac{300}{T_2 - 300}$
이므로
$T_2 - 300 = \frac{300}{0.8} = 375$
따라서
$T_2 = 675K$
이다.

선지별 해설

① X: 540 K는 실제 온도상승을 $(T_{2s} - T_1) \times 0.8$로 잘못 계산했을 때의 값이다. 압축기 효율은 실제 일이 더 크다는 뜻이므로 실제 출구온도는 등엔트로피 값 600 K보다 높아야 한다. 올바르게는 540 K가 아니라 675 K이다.
② X: 600 K는 등엔트로피 압축만 가정했을 때의 출구온도 T_{2s}이다. 효율 80%를 반영하지 않은 값이므로 실제 압축기의 최종 온도와 다르다. 올바르게는 600 K가 아니라 675 K이다.
③ X: 650 K는 효율 보정을 어림하거나 온도상승폭 $300K$를 부정확하게 계산한 오답값이다. 정확히는 $T_2 - 300 = 300/0.8 = 375$이므로 최종 온도는 675 K가 된다. 올바르게는 650 K가 아니라 675 K이다.
④ O: $\gamma = 1.25$에서 등엔트로피 출구온도는 600 K이고, 압축기 효율식으로 실제 출구온도는 675 K가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

압축기 효율을 터빈 효율처럼 반대로 적용하는 실수가 가장 흔하다. 압축기에서는 실제 온도상승이 등엔트로피 온도상승보다 크므로 $T_2 > T_{2s}$가 되어야 한다는 방향을 먼저 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

단열 압축기 계산형 문항은 C_v와 γ를 먼저 구하고, 등엔트로피식으로 T_{2s}를 계산한 뒤, 마지막에 압축기 효율식 $(T_{2s} - T_1)/(T_2 - T_1)$으로 실제 온도를 보정하는 순서로 판단한다.

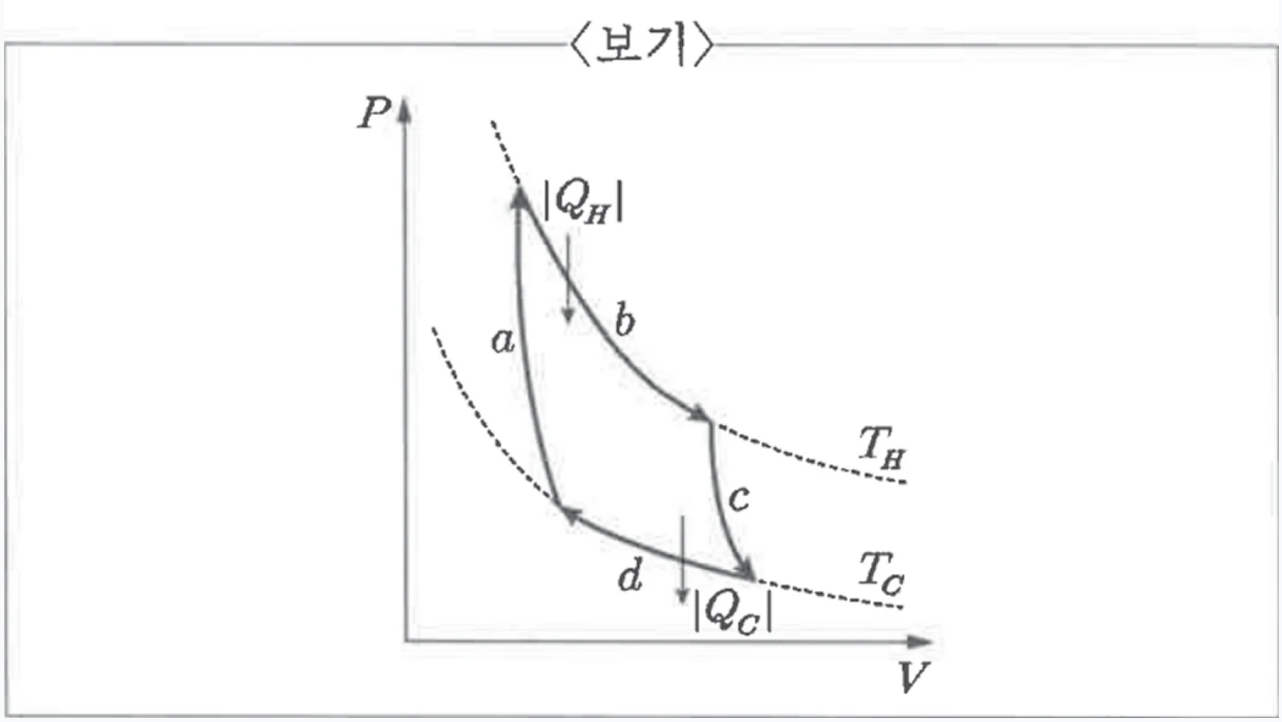
암기 포인트

압축기 효율은 $\eta_c = (T_{2s} - T_1)/(T_2 - T_1)$이므로 실제 압축 출구온도는 항상 등엔트로피 출구온도보다 높다.

NoteBase

문 14. <보기>는 이상기체에 대한 카르노 사이클(Carnot cycle)의 PV 선도이다. 각 과정에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

〈보기〉



① a: 가역, 등온, b: 가역, 단열, c: 가역, 등온, d: 가역, 단열

② a: 가역, 단열, b: 가역, 등온, c: 가역, 단열, d: 가역, 등온

③ a: 비가역, 등온, b: 비가역, 단열, c: 비가역, 등온, d: 비가역, 단열

④ a: 비가역, 단열, b: 비가역, 등온, c: 비가역, 단열, d: 비가역, 등온

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 카르노 사이클의 *P*-*V* 선도에서 등온 과정과 단열 과정을 구분하고, 카르노 사이클이 전 과정 가역이라는 점을 판별하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: X. 이 선지는 a와 c를 등온, b와 d를 단열로 둔 점이 틀리다. 그림에서 b는 T_H 위의 등온 팽창이고 d는 T_C 위의 등온 압축이다. a와 c는 두 등온선을 연결하는 과정이므로 가역 단열이다. 틀린 표현은 "a 가역, 등온"과 "c 가역, 등온"이며, 올바르게는 "a 가역, 단열", "c 가역, 단열"이다.
2번: O. b는 고온원 T_H에서 열 Q_H를 흡수하는 가역 등온 팽창이고, d는 저온원 T_C에서 열 Q_C를 방출하는 가역 등온 압축이다. 이 둘을 연결하는 a와 c는 열출입이 없는 가역 단열 과정이므로 a 가역 단열, b 가역 등온, c 가역 단열, d 가역 등온이 맞다.
3번: X. 카르노 사이클은 정의상 모든 과정이 가역이어야 하므로 "비가역"이라는 표현이 틀리다. 또한 1번과 마찬가지로 a, c를 등온으로 둔 것도 틀리다. 올바르게는 "a 가역, 단열 / b 가역, 등온 / c 가역, 단열 / d 가역, 등온"이다.
4번: X. 등온과 단열의 배치는 2번과 같지만, 카르노 사이클의 각 과정은 모두 가역이므로 "비가역"이 틀린 표현이다. 올바르게는 각 과정 모두 가역이며, a와 c는 단열, b와 d는 등온이다.

오답 포인트

점선으로 표시된 T_H, T_C를 놓치면 등온선 위의 경로와 그 사이를 잇는 단열 경로를 뒤바꾸기 쉽다. 또 카르노 사이클이라는 이름을 보고도 가역성을 확인하지 않으면 4번처럼 과정 종류는 맞지만 가역성을 틀린 선지에 흔들릴 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노 P-V 선도는 먼저 T_H, T_C 위를 따라가는 두 경로를 등온으로 잡고, 그 두 등온선을 연결하는 나머지 두 경로를 단열로 판단한다. 그 다음 카르노 사이클은 전 과정이 가역이라는 정의를 대입하면 정답을 바로 고를 수 있다.

암기 포인트

카르노 사이클은 T_H 등온 팽창 1개, T_C 등온 압축 1개, 그 사이를 잇는 가역 단열 2개로 이루어진다.

NoteBase

문 15. 카르노 기관(Carnot engine)이 400K의 고온의 열원으로부터 500 J의 열을 받아 일을 생산하고, 나머지의 열을 200K의 저온의 열원으로 버린다. 이때 저온의 열원의 엔트로피 변화량[J/K]은?

① 0.5

② 0.75

③ 1.25

④ 1.75

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 카르노 기관의 열효율과 가역과정의 엔트로피 관계를 이용해 저온 열원의 엔트로피 변화량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 고온 열원 온도 400 K, 저온 열원 온도 200 K, 고온 열원에서 받은 열량 500 J이다.
구해야 할 값: 저온 열원의 엔트로피 변화량이다.
주의할 조건: 카르노 기관은 가역기관이므로 $\eta = 1 - T_L/T_H$를 그대로 적용할 수 있고, 저온 열원은 열을 받으므로 엔트로피가 증가한다.

사용할 공식

$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$
$W = \eta Q_H, \quad Q_L = Q_H - W$
Δ S_저온 열원 = (Q_L)/(T_L)
이 공식을 쓰는 이유는 카르노 기관이 가역기관이어서 온도비로 효율이 정해지고, 저온 열원은 버려진 열량 Q_L 만큼 엔트로피가 증가하기 때문이다.

계산 과정

1. 카르노 효율은 $\eta = 1 - 200/400 = 0.5$이다.
2. 생산한 일은 $W = \eta Q_H = 0.5 \times 500 = 250J$이다.
3. 저온 열원으로 버려지는 열량은 $Q_L = 500 - 250 = 250J$이다.
4. 저온 열원의 엔트로피 변화량은 $\Delta S = Q_L/T_L = 250/200 = 1.25J/K$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 0.5는 카르노 효율 값과 같을 뿐 저온 열원의 엔트로피 변화량이 아니다. 올바르게는 저온 열원이 받은 250J를 200K로 나눈 1.25J/K이다.
② X: 0.75는 버려진 열량 Q_L를 잘못 잡아 생기는 오답이다. 올바르게는 $Q_L = 250J$이므로 엔트로피 변화량은 $250/200 = 1.25J/K$이다.
③ O: 저온 열원은 250J의 열을 받아 엔트로피가 $\Delta S = 250/200 = 1.25J/K$만큼 증가하므로 옳다.
④ X: 1.75는 받은 열량과 버린 열량을 혼동해 나온 값이다. 올바르게는 저온 열원으로 간 열량만 사용하므로 1.25J/K이다.

오답 포인트

기관 자체의 가역순환에서 전체 엔트로피 변화가 0이라는 사실과 각 열원의 엔트로피 변화를 혼동하면 틀린다. 또 고온 열원에서 받은 500 J를 바로 200 K로 나누지 않고, 먼저 저온 열원으로 버려진 열량 Q_L를 구해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노 기관 문제는 T_H, T_L로 효율을 먼저 구하고, $Q_H \to W \to Q_L$ 순서로 열량을 정리한 뒤, 엔트로피를 묻는 대상 열원에 대해 Q/T를 적용하면 된다.

암기 포인트

가역 카르노 기관에서는 $Q_H/T_H = Q_L/T_L$이고, 저온 열원의 엔트로피 변화는 $+Q_L/T_L$이다.

NoteBase

문 16. 성분 1과 성분 2로 이루어진 혼합물이 기-액 평형을 이루고 있고 계의 온도는 400K이다. 400K에서 성분 1과 성분 2의 증기압은 각각 75.0bar, 37.5bar이며, 공비조성이 $x_1^{az} = y_1^{az} = 0.3$인 공비혼합물을 형성한다. 성분 1과 성분 2의 활동도 계수(activity coefficient) γ_1, γ_2에 대해 $\ln \gamma_1 = Ax_2^2$, $\ln \gamma_2 = Ax_1^2$이 성립할 때, 상수 A의 값은? (단, 기체는 이상기체로 가정하며, $\ln 0.5 = -0.7$로 계산한다.)

① -1.75

② -0.35

③ 0.35

④ 1.75

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 수정 라울 법칙과 $x_i = y_i$ 조건을 이용해 활동도 계수식의 상수 A를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $P_1^{sat} = 75.0bar$, $P_2^{sat} = 37.5bar$, $x_1 = y_1 = 0.3$이다.
따라서 $x_2 = y_2 = 0.7$이다.
활동도 계수식은 $\ln \gamma_1 = Ax_2^2$, $\ln \gamma_2 = Ax_1^2$이다.
기체는 이상기체이므로 기상은 수정 라울 법칙으로 다룬다.

사용할 공식

$y_i P = x_i \gamma_i P_i^{sat}$
이 공식을 쓰는 이유는 기상이 이상기체이고 액상 비이상성은 활동도 계수 γ_i로 반영되기 때문이다.
또한 이 문제는 $x_i = y_i$인 공비 조건이므로 각 성분에 대해 $P = \gamma_i P_i^{sat}$로 바로 정리된다.

NoteBase

계산 과정

1. 성분 1, 2에 대해 각각 $y_iP = x_i\gamma_iP_i^{sat}$를 적용한다.
2. $x_1 = y_1 = 0.3, x_2 = y_2 = 0.7$이므로
$P = \gamma_1P_1^{sat} = \gamma_2P_2^{sat}$
이다.
3. 따라서
$\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \frac{P_2^{sat}}{P_1^{sat}} = \frac{37.5}{75.0} = 0.5$
이다.
4. 양변에 로그를 취하면
$\ln\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = \ln\gamma_1 - \ln\gamma_2 = A(x_2^2 - x_1^2)$
이다.
5. $x_2^2 - x_1^2 = 0.7^2 - 0.3^2 = 0.49 - 0.09 = 0.40$이므로
$\ln 0.5 = 0.4A$
이다.
6. 문제 조건 $\ln 0.5 = -0.7$을 쓰면
$A = \frac{-0.7}{0.4} = -1.75$
이다.

선지 판단

① O
- 계산 결과 $A = -1.75$이므로 옳다.

② X
- 틀린 표현은 $A = -0.35$라는 값이다. 올바르게는 $A = -1.75$이다.
- $A = -0.35$이면 $0.4A = -0.14$가 되어 $\ln 0.5 = -0.7$을 만족하지 못한다.

③ X
- 틀린 표현은 $A = 0.35$라는 값이다. 올바르게는 $A = -1.75$이다.
- $A = 0.35$이면 $0.4A = 0.14$가 되어 부호와 크기 모두 맞지 않는다.

④ X
- 틀린 표현은 $A = 1.75$라는 값이다. 올바르게는 $A = -1.75$이다.
- $A = 1.75$이면 $\ln(\gamma_1/\gamma_2) = 0.7$이 되어 $\ln 0.5 = -0.7$과 부호가 반대가 된다.

계산 결과 $A = -1.75$이므로 정답은 1번이다.

NoteBase

오답 포인트

공비 조건 $x_i = y_i$를 보면 두 성분 식에서 바로 $P = \gamma_i P_i^{sat}$가 된다는 점을 놓치기 쉽다.
또한 $\gamma_1/\gamma_2 = 0.5$이므로 $\ln 0.5$가 음수라는 점을 놓치면 ④처럼 부호가 뒤집힌다.

다시 나오면 이렇게 판단

기액 평형 계산형에서 $x_i = y_i$가 주어지면 먼저 수정 라울 법칙을 성분별로 쓰고, 두 식을 나누어 압력을 없앤 뒤, 마지막에 활동도 계수식을 대입해 로그 형태로 정리하면 된다.

암기 포인트

공비에서 $x_i = y_i$이면 $P = \gamma_i P_i^{sat}$이고, 두 성분 식의 비를 취하면 활동도 계수 상수가 바로 정리된다.

NoteBase

문 17. 온도와 압력이 300K, 100 kPa인 조건에서 성분 1과 성분 2의 두 화합물을 혼합할 때의 혼합열을 열량계로 측정했다. 이때 엔탈피의 변화량 H^E과 성분 2의 부분 과잉 엔탈피 $\overline{H}_2^E$ 식은 <보기>와 같다. $x_1 = 0.1$ 일 때, 성분 2의 부분 과잉 엔탈피의 값은?

<보기>

- $H^E = x_1 x_2 (40x_1 + 20x_2)$
- $\overline{H}_2^E = H^E - x_1 \frac{dH^E}{dx_1}$

① -0.001

② -0.05

③ 0.02

④ 0.04

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 과잉 엔탈피 식 H^E를 조성 변수 x_1로 정리한 뒤 성분 2의 부분 과잉 엔탈피 $\overline{H}_2^E$를 구하는 계산형 문항이다.

조건 정리

주어진 값: $x_1 = 0.1, x_2 = 1 - x_1 = 0.9$이다.
구해야 할 값: 성분 2의 부분 과잉 엔탈피 $\overline{H}_2^E$이다.
주의할 조건: 이성분계이므로 x_2를 $1 - x_1$로 치환한 뒤 x_1에 대해 미분해야 한다.

사용할 공식

사용할 공식은 $H^E = x_1 x_2 (40x_1 + 20x_2), \overline{H}_2^E = H^E - x_1 \frac{dH^E}{dx_1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 전체 과잉 엔탈피 식과 성분 2의 부분 과잉 엔탈피 식을 직접 제시했으므로, $x_2 = 1 - x_1$로 정리한 뒤 미분값을 대입하면 된다.

계산 과정

$H^E = x_1(1 - x_1)\{40x_1 + 20(1 - x_1)\} = x_1(1 - x_1)(20x_1 + 20) = 20x_1 - 20x_1^3$
$\frac{dH^E}{dx_1} = 20 - 60x_1^2$
x_1=0.1일 때 H^E=20(0.1)-20(0.1)^3=1.98, (dH^E)/(dx_1)=20-60(0.1)^2=19.4
$\therefore \overline{H}_2^E = 1.98 - 0.1(19.4) = 0.04$

NoteBase

선지별 해설

① X
- 계산 결과 $\overline{H}_2^E = 0.04$이므로 -0.001은 맞지 않는다. 올바르게는 0.04이다.
- 이 값은 식 전개나 미분 과정에서 부호를 잘못 처리했을 때 나오는 오답이다.

② X
- $\overline{H}_2^E$는 음수가 아니라 0.04이다. 따라서 -0.05는 성분 2의 부분 과잉 엔탈피 값이 아니다.
- 올바르게는 $H^E - x_1\frac{dH^E}{dx_1}$를 그대로 대입해야 하며, 결과는 0.04이다.

③ X
- 0.02는 계산 결과와 일치하지 않는다. 올바른 값은 0.04이다.
- 이 값은 미분항을 일부만 반영하거나 $x_2 = 1 - x_1$ 치환을 끝까지 하지 않았을 때 생기기 쉬운 오답이다.

④ O
- $\overline{H}_2^E = 1.98 - 1.94 = 0.04$이므로 정답 선택지이다.
- 주어진 식을 그대로 적용하면 성분 2의 부분 과잉 엔탈피는 0.04로 결정된다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 x_2를 독립변수처럼 두고 미분하거나, $\overline{H}_2^E = H^E - x_1\frac{dH^E}{dx_1}$의 두 번째 항 부호를 틀리는 데 있다. 특히 이성분계에서는 $x_2 = 1 - x_1$ 치환을 먼저 해야 계산이 단순해진다.

다시 나오면 이렇게 판단

부분몰 성질 계산형 문제는 먼저 종속 조성변수를 하나로 정리한 뒤, 전체 성질식을 전개하고 미분값을 구해 부분몰 식에 대입하는 순서로 판단한다. 마지막에는 부호와 자릿수를 다시 검산하면 된다.

암기 포인트

이성분계 부분 과잉 엔탈피는 $x_2 = 1 - x_1$ 치환 후 미분한다는 점과 $\overline{H}_2^E = H^E - x_1\frac{dH^E}{dx_1}$ 공식을 함께 묶어 기억해 둔다.

NoteBase

문 18. 어떤 유체의 상거동에 대한 상태방정식이 $Z = 1 - \frac{bp}{T_r}$로 주어져 있을 때, 잔류 깁스에너지에 대한 표현식으로 옳은 것은? (단, b는 상수이며, T는 일정하다.)

① $-\frac{bp}{T_r}RT$
② $-\frac{2bp}{T_r}RT$
③ $\left\{-\frac{2bp}{T_r} + \ln\left(1 - \frac{bp}{T_r}\right)\right\}RT$
④ $\left\{-\frac{2bp}{T_r} - \ln\left(1 - \frac{bp}{T_r}\right)\right\}RT$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 밀도형 상태방정식 $Z = 1 - \frac{b\rho}{T_r}$가 주어졌을 때 잔류 깁스에너지 G^R를 잔류 헬름홀츠에너지 식과 Z 관계식으로 연결할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 식은 $Z = 1 - \frac{b\rho}{T_r}$이다.
구해야 할 값은 잔류 깁스에너지 G^R의 표현식이다.
b는 상수이고 T는 일정하므로 $\frac{b}{T_r}$를 상수처럼 두고 적분할 수 있다.

사용할 공식

밀도형 상태방정식에서는 먼저
$\frac{A^R}{RT} = \int_0^\rho \frac{Z-1}{\rho} d\rho$
를 구하고,
$\frac{G^R}{RT} = \frac{A^R}{RT} + (Z-1) - \ln Z$
를 이용해 G^R로 바꾼다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 Z가 압력이 아니라 밀도 ρ의 함수로 직접 주어졌기 때문이다.

계산 과정

$a = \frac{b}{T_r}$로 두면 $Z = 1 - a\rho$이다.
따라서
$\frac{A^R}{RT} = \int_0^\rho \frac{(1-a\rho)-1}{\rho} d\rho = \int_0^\rho (-a) d\rho = -a\rho$
또한 $Z - 1 = -a\rho$, $-\ln Z = -\ln(1-a\rho)$이므로
$\frac{G^R}{RT} = -a\rho - a\rho - \ln(1-a\rho)$
$\frac{G^R}{RT} = -\frac{2b\rho}{T_r} - \ln\left(1 - \frac{b\rho}{T_r}\right)$
따라서
$G^R = RT\left\{-\frac{2b\rho}{T_r} - \ln\left(1 - \frac{b\rho}{T_r}\right)\right\}$

NoteBase

선지 판단

① X: $-\frac{b\rho}{T_r}RT$는 적분으로 얻는 A^R 한 항만 남긴 형태이다. 잔류 깁스에너지로 바꾸는 $+(Z-1)-\ln Z$ 보정이 빠졌다. 올바르게는 $RT\left\{-\frac{2b\rho}{T_r}-\ln\left(1-\frac{b\rho}{T_r}\right)\right\}$가 된다.
② X: $-\frac{2b\rho}{T_r}RT$는 선형항 두 개만 더한 형태이다. $-\ln Z=-\ln\left(1-\frac{b\rho}{T_r}\right)$ 항이 빠졌다. 올바르게는 로그항까지 포함해야 한다.
③ X: 앞의 선형항은 맞지만 로그항 부호가 틀렸다. G^R/RT에는 $+\ln Z$가 아니라 $-\ln Z$가 들어가므로, 올바르게는 $\ln\left(1-\frac{b\rho}{T_r}\right)$ 앞에 마이너스가 붙는다.
④ O: $\frac{A^R}{RT}+(Z-1)-\ln Z$를 그대로 대입하면 $RT\left\{-\frac{2b\rho}{T_r}-\ln\left(1-\frac{b\rho}{T_r}\right)\right\}$가 되어 정확하다.

오답 포인트

잔류 깁스에너지와 잔류 헬름홀츠에너지를 같은 것으로 처리하면 ①처럼 한 항이 부족해진다. 또한 $G^R/RT=A^R/RT+(Z-1)-\ln Z$에서 로그항 부호를 반대로 쓰면 ③처럼 바로 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

밀도형 상태방정식이 나오면 먼저 $\frac{A^R}{RT}=\int(Z-1)/\rho d\rho$를 만든 뒤, 마지막에 $+(Z-1)-\ln Z$를 붙여 G^R로 변환하는 순서로 판단한다.

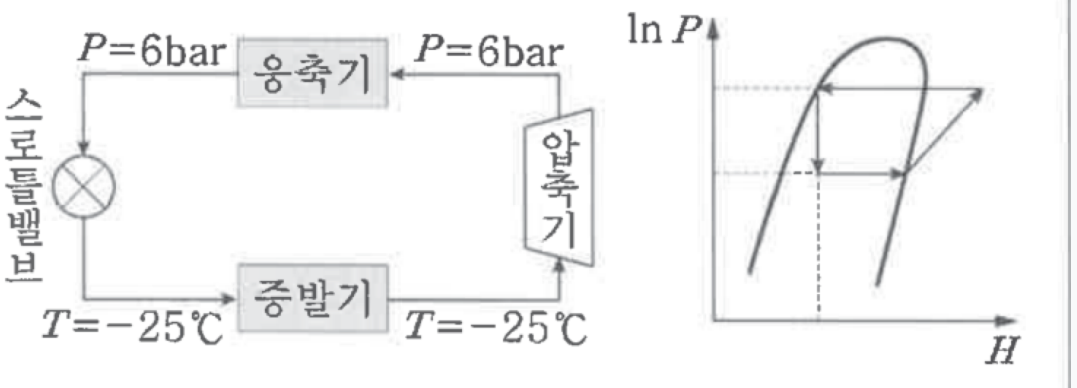
암기 포인트

밀도형 EOS에서는 A^R를 적분으로 구하고, 잔류 깁스에너지는 항상 $G^R/RT=A^R/RT+(Z-1)-\ln Z$로 마무리된다.

NoteBase

문 19. <보기>와 같은 냉각 사이클의 성능 계수(coefficient of performance) 값은?

〈보기〉



- −25℃에서 포화증기의 엔탈피=400kJ/kg
- 6bar에서 포화액체의 엔탈피=250kJ/kg
- 단위 시간당 압축기 작동에 필요한 일=50,000kJ/h
- 냉각공정의 냉매 순환 속도=1,000kg/h

① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 증발기 냉동효과와 압축기 일을 이용해 냉동기 성능계수 COP_R를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 다음과 같다.

- 증발기 출구 포화증기 엔탈피 $h_1 = 400kJ/kg$
- 응축기 출구 포화액체 엔탈피 $h_3 = 250kJ/kg$
- 스로틀밸브는 등엔탈피 과정이므로 $h_4 = h_3 = 250kJ/kg$
- 냉매 순환 속도 $\dot{m} = 1000kg/h$
- 압축기 일률 $\dot{W} = 50000kJ/h$

구해야 할 값은 냉동기 성능계수 COP_R이다.

NoteBase

사용할 공식

사용 공식은 다음과 같다.
$COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}} = \frac{\dot{m}(h_1 - h_4)}{\dot{W}}$
이 공식을 쓰는 이유는 냉동기 성능계수가 증발기에서 흡수한 열량을 압축기에 투입한 일로 나눈 값이기 때문이다. 이 문제는 증발기 입출구 엔탈피와 압축기 일률이 모두 주어져 있어 바로 적용할 수 있다.

계산 과정

1. 스로틀밸브는 등엔탈피 과정이므로 $h_4 = h_3 = 250kJ/kg$이다.
2. 단위 질량당 냉동효과는
$q_L = h_1 - h_4 = 400 - 250 = 150kJ/kg$
이다.
3. 시간당 냉동효과는
$\dot{Q}_L = \dot{m}q_L = 1000 \times 150 = 150000kJ/h$
이다.
4. 따라서 성능계수는
$COP_R = \frac{150000}{50000} = 3$
이다.

선지별 해설

① X
- 2는 계산 결과와 다르다. 실제 성능계수는 3이다.
- 2라는 값은 냉동효과를 잘못 읽거나 $h_4 = h_3$ 관계를 놓쳐 분자를 과소평가할 때 나오기 쉬운 오답이다.
- 틀린 표현은 성능계수를 2로 본 부분이며, 올바르게는 3이다.

② O
- $q_L = 400 - 250 = 150kJ/kg$, $\dot{Q}_L = 150000kJ/h$, $COP_R = 150000/50000 = 3$이므로 옳다.

③ X
- 4는 계산 결과보다 크다. 실제 성능계수는 3이다.
- 4라는 값은 압축기 일률을 잘못 대입하거나 냉동효과를 과대평가할 때 나오는 오답이다.
- 틀린 표현은 성능계수를 4로 본 부분이며, 올바르게는 3이다.

④ X
- 5는 계산 결과와 명확히 다르다. 주어진 데이터만 사용하면 성능계수는 3을 넘을 수 없다.
- 5라는 값은 응축기 출구 엔탈피 250을 무시하고 다른 상태량을 임의로 넣을 때 생기는 오답이다.
- 틀린 표현은 성능계수를 5로 본 부분이며, 올바르게는 3이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 스로틀밸브에서 엔탈피가 변하지 않는다는 점을 놓치는 데 있다. $h_4 = h_3$를 놓치면 증발기 냉동효과 $h_1 - h_4$를 잘못 계산하게 되고, 그 뒤의 성능계수도 모두 틀리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

냉동사이클 계산 문제는 먼저 각 상태점 엔탈피를 정리하고, 스로틀밸브의 등엔탈피 관계를 확인한 뒤, 증발기 냉동효과 ($h_1 - h_4$)와 압축기 일의 비로 성능계수를 계산하는 순서로 판단한다.

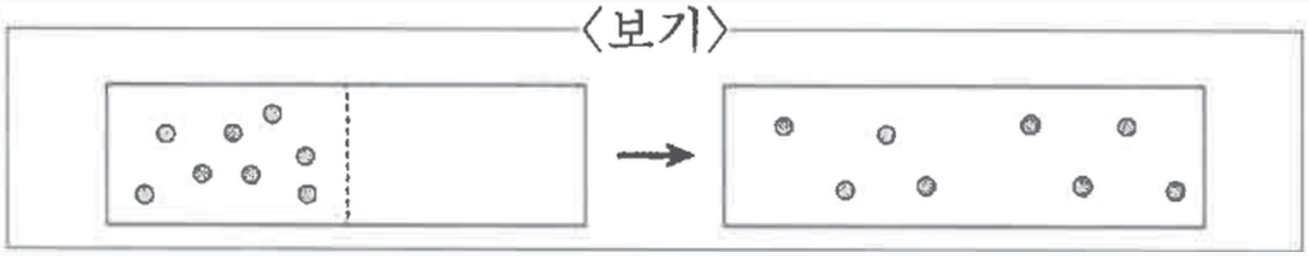
암기 포인트

냉동기 성능계수는 $COP_R = \frac{h_1 - h_4}{w_c}$이며, 스로틀밸브에서는 $h_3 = h_4$가 성립한다.

NoteBase

문 20. 외부온도가 300K인 곳에 어떤 용기가 <보기>와 같이 칸막이에 의해 같은 체적을 갖는 두 부분으로 나뉘어져 있다. 한쪽 부분은 아보가드로(Avogadro) 수 N_A만큼의 분자들이 있고 다른 쪽 부분에는 아무 분자도 없다고 가정한다. 칸막이가 제거되면 이상기체 분자들은 빠르게 확산하여 전체 부피에 걸쳐서 균일하게 분포되고 $2^\circ C$만큼의 온도변화가 발생한다. 이 과정에서 발생하는 엔트로피 변화량[J/mol·K]은? (단 $C_P^{ig} = 2 \times T[J/mol \cdot K]$, $R = 8.0[J/mol \cdot K]$, $\ln 2 = 0.7$로 계산한다.)

<보기>



① 0.7

② 5.6

③ 8

④ 9.6

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 1 mol의 자유팽창에서 부피 증가에 따른 엔트로피 증가와 외부 300 K와의 열교환에 따른 온도상승 항을 함께 계산하는 문제이다.

조건 정리

- 기체의 양: 1 mol
- 초기 부피: 전체의 절반
- 최종 부피: 전체 부피이므로 $V_2 = 2V_1$
- 외부 온도: 300 K
- 온도변화: 2 K 상승이므로 $T_1 = 298K, T_2 = 300K$
- 열용량: $C_P^{ig} = 2T[J/(mol \cdot K)]$
- 기체상수: $R = 8.0[J/(mol \cdot K)]$, $\ln 2 = 0.7$

사용할 공식

$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_P}{T} dT - R\ln\frac{P_2}{P_1}$

이상기체이므로 엔트로피 변화는 온도항과 압력항으로 쓸 수 있다. 또 $P \propto T/V$ 이므로 $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 V_1}{T_1 V_2}$를 이용하면 주어진 부피 변화와 온도 변화를 한 번에 반영할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 압력비를 구하면
$\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2 V_1}{T_1 V_2} = \frac{300}{298} \times \frac{1}{2}$
2. 열용량 항은
$\int_{298}^{300} \frac{2T}{T} dT = \int_{298}^{300} 2 dT = 4$
3. 따라서
$\Delta S = 4 - 8\ln\left(\frac{300}{298} \times \frac{1}{2}\right)$
$= 4 - 8\ln\frac{300}{298} + 8\ln 2$
$\approx 4 - 8 \times 0.0067 + 8 \times 0.7$
$\approx 4 - 0.05 + 5.6 = 9.55 \approx 9.6[J/(mol \cdot K)]$
계산 결과는 9.6이므로 정답은 4번이다.

선지별 해설

① X
0.7은 ln 2 값만 적은 것이다. 1 mol 기체의 자유팽창 부피항만 보아도 $R\ln 2 = 8 \times 0.7 = 5.6$이므로 0.7은 기체상수와 온도항을 모두 빠뜨린 값이다. 올바르게는 엔트로피 변화량이 9.6J/mol·K이다.

② X
5.6은 $\Delta S = R\ln 2$만 적용한 등온 자유팽창 값이다. 이 문항은 외부가 300 K이고 기체 온도도 2 K 상승하므로 $\int C_P/T dT = 4$ 항을 추가해야 한다. 올바르게는 9.6J/mol·K이다.

③ X
8은 $R\ln 2$와 온도항을 불완전하게 처리한 오답이다. 이 문제는 부피 증가 항 5.6과 온도상승 항 약 4.0을 함께 더하고, ln(300/298)의 작은 보정도 반영해야 한다. 올바르게는 9.6J/mol·K이다.

④ O
$V_2 = 2V_1, T_1 = 298K, T_2 = 300K$를 대입하면 $\Delta S \approx 9.55J/(mol \cdot K)$가 된다. 보기 값으로는 9.6이 맞다.

오답 포인트

자유팽창을 보면 $R\ln 2$만 떠올려 ②를 고르기 쉽다. 그러나 이 문항은 외부 온도 300 K와 2 K의 온도변화를 함께 제시했으므로 등온이 아니며, 온도항을 반드시 더해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

자유팽창처럼 비가역 과정이 나와도 엔트로피는 상태함수이므로 가역경로로 바꾸어 계산한다. 먼저 V 변화와 T 변화를 분리해 확인하고, 주어진 열용량 식으로 온도항을 계산한 뒤 $R\ln(V_2/V_1)$ 또는 압력비 항을 합치면 된다.

NoteBase

암기 포인트

이상기체 엔트로피는 부피항 $R\ln(V_2/V_1)$와 온도항 $\int C/T dT$를 함께 본다.