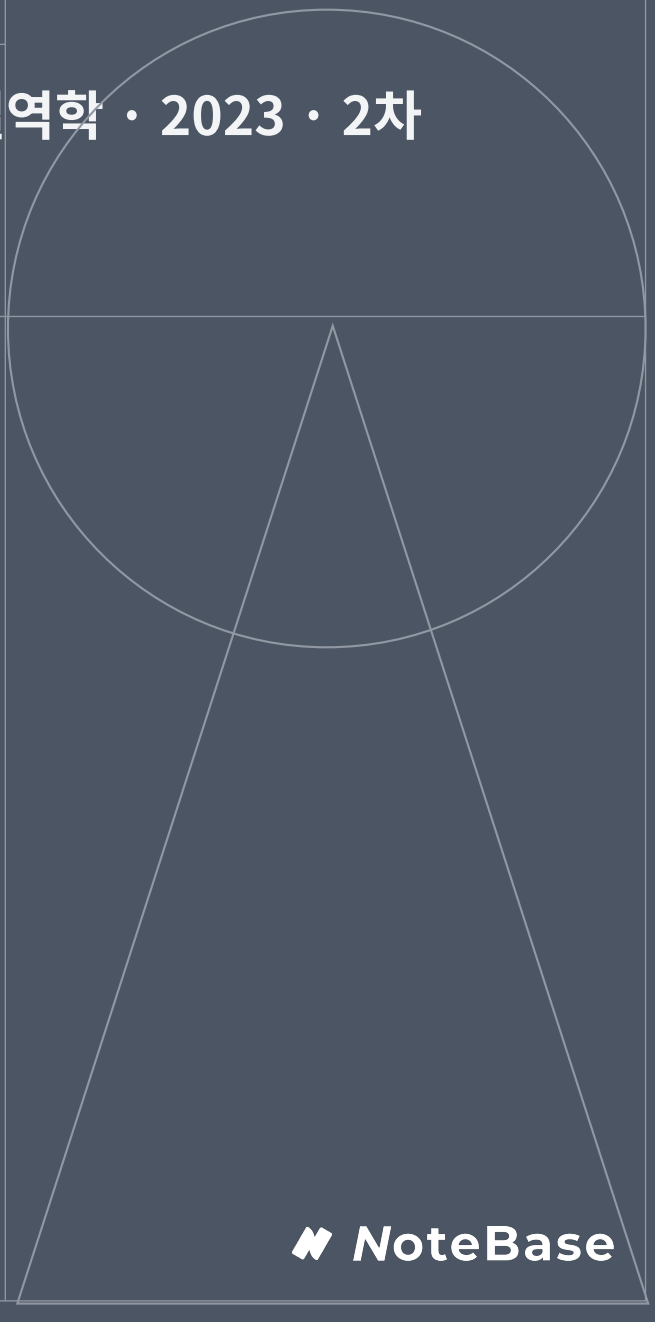
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2023 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2023 · 2차

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2023 · 2차

문 1. 닫힌계의 피스톤-실린더 장치 내 유체(계)에 작용하는 압축-팽창 일(work)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 일은 계로 유입될 때 양수로 간주하고, P는 압력, V^t는 총부피(total volume)이다)

① 계를 압축하는 경우 가역일은 비가역일보다 크다.

② 압축-팽창 일은 초기 및 최종상태들뿐만 아니라 경로에 따라 달라진다.

③ 압축-팽창 일은 계의 총부피 변화와 연관되어 있다.

④ 압축-팽창 일은 가역과정일 때 $-\int PdV^t$이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 닫힌계의 압축-팽창 일이 경로함수라는 점과, 같은 초기·최종 상태에서 가역 압축일과 비가역 압축일의 크기 관계를 구별하는지를 묻는다.

핵심 개념

압축-팽창 일은 경계면 이동에 따른 일로서 상태량이 아니라 경로함수이다.
가역과정에서는 계의 압력과 외부압력이 무한소 차이로 평형을 이루므로 일이 $W = -\int PdV^t$로 표현된다.
일을 계로 유입될 때 양수로 두면 같은 초기·최종 상태의 압축에서는 가역 압축일이 최소이고 비가역 압축일이 더 크다.

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "가역일은 비가역일보다 크다"이다. 일을 계로 유입될 때 양수로 두면, 같은 초기·최종 상태의 압축에서 가역 압축은 필요한 일의 양이 최소이고 비가역 압축은 추가 손실 때문에 더 큰 일이 필요하다. 올바르게는 "계를 압축하는 경우 가역일은 비가역일보다 작다"이다.
2번: O. 압축-팽창 일은 $\int PdV^t$ 형태의 경로적분으로 계산되므로 초기 상태와 최종 상태가 같아도 과정 경로가 달라지면 일의 크기가 달라진다.
3번: O. 압축-팽창 일은 경계가 움직이면서 생기는 일이므로 총부피 변화와 직접 연관된다. $dV^t = 0$이면 압축-팽창 일도 발생하지 않는다.
4번: O. 문제에서 일을 계로 유입될 때 양수로 본다고 했으므로, 가역과정의 압축-팽창 일은 $W = -\int PdV^t$로 쓴다. 팽창에서는 $dV^t > 0$이어서 일이 음수가 된다.

NoteBase

오답 포인트

압축과 팽창의 부호규약을 먼저 확인하지 않으면 1번과 4번을 뒤집기 쉽다. 특히 많은 교재가 "계가 한 일"을 양수로 두므로, 이 문제처럼 "계로 유입된 일"을 양수로 두는 경우에는 부호와 가역·비가역 비교가 반대로 보일 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 일이 계에 들어오는지 나가는지에 대한 부호규약을 확인한다. 그다음 압축-팽창 일이 상태량인지 경로함수인지 판단하고, 같은 초기·최종 상태의 압축에서는 가역과정이 최소 일 입력이라는 기준으로 선지를 판별한다.

암기 포인트

압축일 양수 규약에서는 가역 압축이 최소 일, 압축-팽창 일은 경로함수이다.

NoteBase

문 2. 이상기체의 닫힌계 가역 공정에 대하여 초기상태에서 최종상태로의 계의 엔탈피 변화와 항상 같은 것은? (단, 초기상태와 최종상태의 온도는 다르다)

① 정적 공정에서 내부에너지 변화

② 정적 공정에서 계 내부로 전달되는 열

③ 정압 공정에서 내부에너지 변화

④ 정압 공정에서 계 내부로 전달되는 열

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체에서 엔탈피 변화와 내부에너지 변화의 차이, 그리고 정적 공정과 정압 공정의 열전달 관계를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

이상기체의 내부에너지와 엔탈피는 모두 온도만의 함수이지만 서로 같은 값은 아니다.
내부에너지 변화는 $\Delta U = C_v \Delta T$이고 엔탈피 변화는 $\Delta H = C_p \Delta T$이다.
정적 공정에서는 열전달량이 $q_v = \Delta U$이고, 정압 공정에서는 열전달량이 $q_p = \Delta H$이다.

선지별 해설

1번 X: 정적 공정의 내부에너지 변화는 $\Delta U = C_v \Delta T$이다. 이 문항의 기준량인 엔탈피 변화는 $\Delta H = C_p \Delta T$이므로 온도가 변하면 일반적으로 같지 않다. 틀린 표현은 '엔탈피 변화와 항상 같은 것'이다. 올바르게는 '정적 공정에서의 내부에너지 변화는 이상기체의 엔탈피 변화와 일반적으로 다르다'이다.
2번 X: 정적 공정에서 계 내부로 전달되는 열은 $q_v = \Delta U$이다. 따라서 이는 엔탈피 변화가 아니라 내부에너지 변화와 같다. 틀린 표현은 '정적 공정에서 계 내부로 전달되는 열'을 엔탈피 변화와 동일시한 부분이다.
올바르게는 '정적 공정의 열전달량은 내부에너지 변화와 같다'이다.
3번 X: 내부에너지 변화는 상태량이어서 공정과 무관하지만 크기는 여전히 $\Delta U = C_v \Delta T$이다. 정압 공정이라고 해도 엔탈피 변화 $\Delta H = C_p \Delta T$와 같아지지 않는다. 틀린 표현은 '정압 공정에서 내부에너지 변화'이다.
올바르게는 '정압 공정에서는 계 내부로 전달되는 열이 엔탈피 변화와 같다'이다.
4번 O: 이상기체의 닫힌계 정압 가역 공정에서는 경계일만 존재하므로 $q_p = \Delta U + W = \Delta U + p\Delta V = \Delta H$가 된다. 따라서 초기상태와 최종상태의 엔탈피 변화와 항상 같은 것은 정압 공정에서 계 내부로 전달되는 열이다.

오답 포인트

이상기체에서 ΔU와 ΔH가 모두 온도만의 함수라는 사실만 기억하고 두 값을 같은 것으로 처리하면 틀린다. 이 문항은 '온도만의 함수'와 '서로 같은 값'을 의도적으로 섞어 놓은 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 문제에서 '무엇과 항상 같은가'를 묻으면 먼저 상태량과 공정량을 구분한다. 그다음 정적이면 $q_v = \Delta U$, 정압이면 $q_p = \Delta H$를 연결하고, $\Delta T \neq 0$이면 ΔU와 ΔH는 일반적으로 다르다고 판단한다.

암기 포인트

정적은 열이 ΔU, 정압은 열이 ΔH이다. 이상기체에서 ΔU와 ΔH는 둘 다 온도함수이지만 같은 값은 아니다.

NoteBase

문 3. $3{,}070\text{kJkg}^{-1}$**의 비엔탈피 값을 가진** 300°C**,** 300kPa**의 과열증기가 단열 압축기를 통해** 600kPa**로 압축된다. 가역단열 압축 시** 600kPa**의 과열증기의 비엔탈피 값은** $3{,}270\text{kJkg}^{-1}$**이다. 압축기의 효율이 80%라면, 압축기 출구에서 과열증기의 비엔탈피**$[\text{kJkg}^{-1}]$ **값은? (단, 정상상태 흐름 공정이고, 증기의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)**

① 3,110

② 3,170

③ 3,230

④ 3,320

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 단열 압축기의 등엔트로피 효율 정의를 이용해 실제 출구 비엔탈피를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 입구 비엔탈피 $h_1 = 3070kJ/kg$, 압력 $300kPa$, 온도 $300°C$이다.
- 가역단열 압축 후 비엔탈피: $h_{2s} = 3270kJ/kg$이다.
- 압축기 효율: $\eta_c = 0.80$이다.
- 구해야 할 값: 실제 출구 비엔탈피 h_{2a}이다.
- 주의할 조건: 압축기 효율은 등엔트로피 엔탈피 상승량을 실제 엔탈피 상승량으로 나눈 값이다.

사용할 공식

$\eta_c = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$

이 식을 쓰는 이유는 단열 압축기에서 비가역성이 있으면 같은 출구 압력까지 올리는 데 실제 일이 더 필요하므로 실제 엔탈피 상승량이 등엔트로피 엔탈피 상승량보다 더 크기 때문이다.

계산 과정

1. 등엔트로피 엔탈피 상승량은 $h_{2s} - h_1 = 3270 - 3070 = 200kJ/kg$이다.
2. 효율식에 대입하면 $0.80 = 200/(h_{2a} - 3070)$이다.
3. 따라서 $h_{2a} - 3070 = 200/0.80 = 250kJ/kg$이다.
4. 실제 출구 비엔탈피는 $h_{2a} = 3070 + 250 = 3320kJ/kg$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 3110kJ/kg은 실제 출구 비엔탈피가 등엔트로피 값 3270kJ/kg보다 더 작아지는 값이므로 비가역 단열 압축의 방향과 맞지 않는다. 틀린 값은 3,110이고, 올바르게는 3320kJ/kg이다.
② X: 3170kJ/kg도 등엔트로피 출구 비엔탈피 3270kJ/kg보다 작다. 압축기 효율이 100%보다 낮으면 실제 엔탈피 상승량은 더 커져야 하므로 이 값은 성립하지 않는다. 틀린 값은 3,170이고, 올바르게는 3320kJ/kg이다.
③ X: 3230kJ/kg은 엔탈피 상승량 200kJ/kg에 효율 0.8을 곱해 160kJ/kg로 줄여 잡은 값에 해당한다. 압축기 효율은 실제 상승량을 줄이는 계수가 아니라 (등엔트로피 상승량)/(실제 상승량)이므로 실제 상승량은 250kJ/kg이어야 한다. 틀린 값은 3,230이고, 올바르게는 3320kJ/kg이다.
④ O: 계산 결과 실제 출구 비엔탈피는 3320kJ/kg이다. 압축기 효율 80%에서는 실제 엔탈피 상승량이 등엔트로피 상승량 200kJ/kg보다 큰 250kJ/kg이므로 ④가 맞다.

오답 포인트

압축기 효율을 터빈 효율처럼 반대로 적용하면 ③ 같은 값이 나온다. 이 문제의 핵심 함정은 효율이 100%보다 낮을 때 압축기의 실제 출구 비엔탈피가 등엔트로피 출구 비엔탈피보다 반드시 커진다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

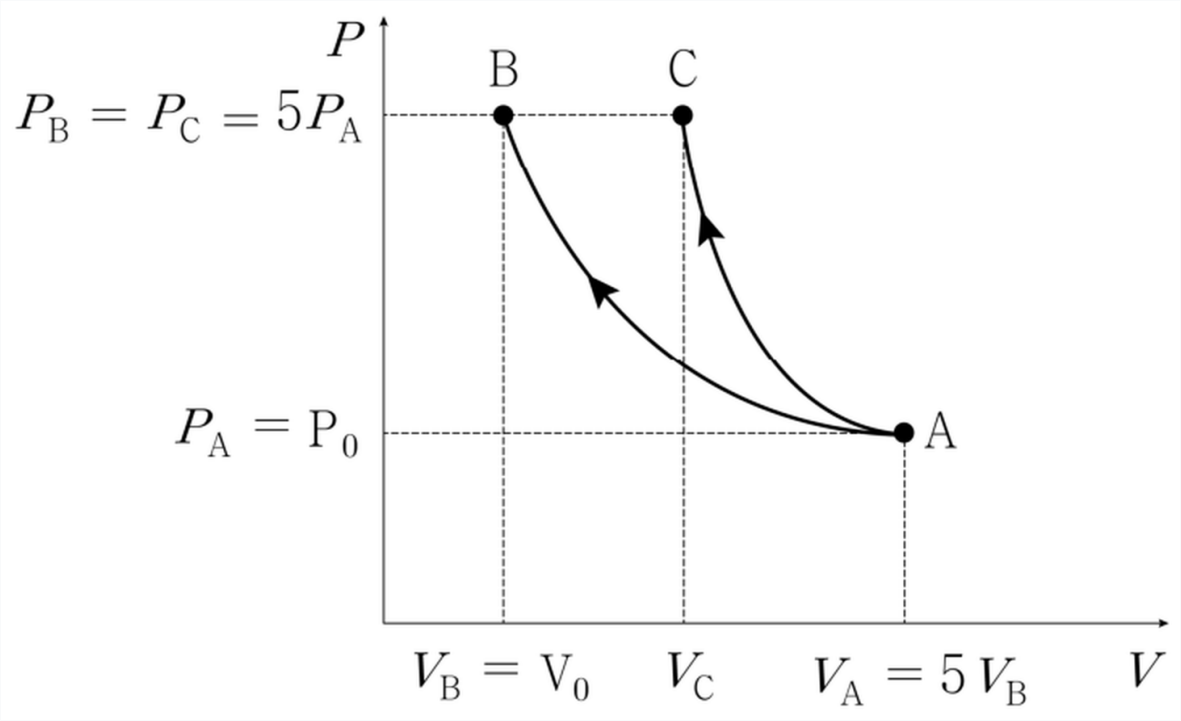
압축기 계산문제는 먼저 이상 상태의 엔탈피 상승량 $h_{2s}-h_1$을 구한 뒤, $\eta_c=(h_{2s}-h_1)/(h_{2a}-h_1)$로 실제 상승량을 역산한다. 효율이 1보다 작으면 실제 출구 비엔탈피가 이상 출구 비엔탈피보다 커져야 한다는 방향 검산까지 하면 된다.

암기 포인트

압축기는 _c=(이상 상승량)/(실제 상승량)이므로 효율이 낮을수록 실제 h_2가 더 커진다.

NoteBase

문 4. 이상기체 1몰이 닫힌계에서 A→B(등온 압축)와 A→C(단열 압축) 두 개의 역학적으로 가역적인 공정을 각각 수행할 때, 공정에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, T_i는 i지점에서의 절대온도, V_i는 i지점에서의 부피, R는 기체상수, ΔU는 내부에너지 변화, ΔH는 엔탈피 변화이고, C_P와 C_V는 각각 정압 열용량과 정적 열용량이며 온도에 무관하다)



① A→B 공정에서 방출한 열량의 절댓값은 $5P_0V_0 \ln 5$이다.

② A→B 공정에서 ΔU는 0이다.

③ A→C 공정에서 $\frac{\Delta U}{\Delta H} = \frac{C_V}{C_P}$이다.

④ A→C 공정에서 $\frac{T_C}{T_A} = \left(\frac{V_A}{V_C}\right)^{C_V/R}$이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 가역 등온 압축과 가역 단열 압축에서 열, 일, 에너지 변화식과 $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ 관계를 정확히 구분하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $P_A = P_0$, $P_B = P_C = 5P_A = 5P_0$, $V_B = V_0$, $V_A = 5V_B = 5V_0$, 몰수는 1몰이다.
구해야 할 값: 옳지 않은 선지를 찾는 것이다.
주의할 조건: $A \to B$는 가역 등온 압축이고 $A \to C$는 가역 단열 압축이며, 이상기체의 U와 H는 온도만의 함수이다.

NoteBase

사용할 공식

등온 공정: $PV = nRT$, $\Delta U = nC_V\Delta T = 0$, $q = w = nRT\ln(V_2/V_1)$이다.
단열 공정: $\Delta U = nC_V\Delta T$, $\Delta H = nC_P\Delta T$, $TV^{\gamma-1} = \text{const}$, $\gamma = C_P/C_V$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 한 공정은 온도가 일정한 등온 압축이고 다른 공정은 열출입이 없는 가역 단열 압축이므로 각 공정의 상태식과 에너지식을 직접 적용할 수 있다.

계산 과정

1. A점에서 $RT_A = P_AV_A = P_0 \cdot 5V_0 = 5P_0V_0$이므로 $nRT_A = 5P_0V_0$이다.
2. $A \to B$는 등온이므로 $T_B = T_A$, $\Delta U = 0$, $q_{AB} = w_{AB} = nRT_A\ln(V_B/V_A) = 5P_0V_0\ln(1/5) = -5P_0V_0\ln 5$이다.
3. $A \to C$는 가역 단열이므로 $\Delta U = nC_V(T_C - T_A)$, $\Delta H = nC_P(T_C - T_A)$여서 $\Delta U/\Delta H = C_V/C_P$이다.
4. 같은 공정에서 $TV^{\gamma-1} = \text{const}$, $\gamma - 1 = (C_P - C_V)/C_V = R/C_V$이므로 $T_C/T_A = (V_A/V_C)^{R/C_V}$이다.

선지 판단

1번: O. 등온 압축에서는 $\Delta U = 0$이어서 열과 일이 크기만 같고 부호가 반대이다. 따라서 $q_{AB} = -5P_0V_0\ln 5$이므로 방출한 열량의 절댓값은 $5P_0V_0\ln 5$이다.
2번: O. 이상기체의 내부에너지는 온도만으로 정해지므로 등온 공정에서는 $\Delta T = 0$이고 $\Delta U = 0$이다.
3번: O. 단열 압축이라도 U와 H는 온도 변화에만 비례하므로 $\Delta U = nC_V\Delta T$, $\Delta H = nC_P\Delta T$이다. 따라서 비는 $\Delta U/\Delta H = C_V/C_P$이다.
4번: X. 가역 단열식은 $TV^{\gamma-1} = \text{const}$이고 $\gamma - 1 = R/C_V$이다. 틀린 표현은 지수를 C_V/R로 둔 점이며, 올바르게는 $T_C/T_A = (V_A/V_C)^{R/C_V}$이다.

오답 포인트

④에서는 $\gamma - 1$를 $(C_P - C_V)/C_V = R/C_V$로 써야 하는데 이를 뒤집어 C_V/R로 잘못 쓰기 쉽다. 또한 등온에서는 $\Delta U = 0$, 단열에서는 $q = 0$이라는 서로 다른 조건을 섞으면 ①, ②, ③ 판단도 흔들린다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 공정 이름에 따라 등온은 온도 일정, 단열은 열출입 없음으로 분리한다. 그다음 이상기체의 U와 H가 온도만의 함수라는 점을 적용하고, 가역 단열이면 $TV^{\gamma-1} = \text{const}$에서 $\gamma - 1 = R/C_V$를 대입하면 선지의 O/X가 바로 갈린다.

암기 포인트

이상기체에서 등온이면 $\Delta U = 0$, 가역 단열이면 $TV^{R/C_V} = \text{const}$이다.

NoteBase

문 5. 어떤 화합물에 대한 증기압의 온도 의존성은 특정 온도 구간에서 식 $\ln P^{sat} = 4 - \frac{A}{T}$와 같다. Clausius-Clapeyron 식을 사용하여 해당 온도 구간에서 증발잠열을 계산한 결과 40kJmol^{-1}의 일정한 값을 얻었을 때, 온도 의존성 식에 보인 상수 $A[K]$의 값은? (단, 이 화합물의 기체상은 이상기체로 간주하며, 기체상수는 $8\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$이다)

① 1,000

② 3,200

③ 5,000

④ 9,000

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Clausius-Clapeyron 적분형에서 상수항의 온도 역수 계수가 $\Delta H_{vap}/R$임을 이용해 A를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $\ln P^{sat} = 4 - \frac{A}{T}$이다.
증발잠열은 일정한 값 $40kJ/mol = 40{,}000J/mol$이다.
기체상은 이상기체로 간주하고 기체상수는 $R = 8Jmol^{-1}K^{-1}$이다.
구해야 할 값은 식의 상수 $A[K]$이다.

사용할 공식

Clausius-Clapeyron 식을 일정한 증발잠열로 적분하면
$\ln P^{sat} = C - \frac{\Delta H_{vap}}{RT}$
가 된다.
이 문제의 식 $\ln P^{sat} = 4 - \frac{A}{T}$와 항을 비교하면 상수항 4는 적분상수 C이고, $\frac{1}{T}$의 계수는 $A = \frac{\Delta H_{vap}}{R}$가 된다.

계산 과정

1. 증발잠열의 단위를 기체상수와 맞추기 위해 $40kJ/mol$을 $40{,}000J/mol$로 바꾼다.
2. 식의 계수 비교로 $A = \frac{\Delta H_{vap}}{R}$를 쓴다.
3. 대입하면
$A = \frac{40{,}000}{8} = 5{,}000K$
가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $A = 1{,}000$이라면 $\Delta H_{vap} = AR = 1{,}000 \times 8 = 8{,}000 J/mol$이 되어 주어진 $40{,}000 J/mol$과 맞지 않는다. 틀린 표현은 \"$A = 1{,}000$\"이고, 올바르게는 \"$A = 5{,}000 K$\"이다.
② X: $A = 3{,}200$이라면 $\Delta H_{vap} = 3{,}200 \times 8 = 25{,}600 J/mol$이 되어 조건보다 작다. 틀린 표현은 \"$A = 3{,}200$\"이고, 올바르게는 \"$A = 5{,}000 K$\"이다.
③ O: $A = \frac{40{,}000}{8} = 5{,}000 K$로 식의 $-A/T$ 항과 정확히 일치한다. 따라서 ③이 옳다.
④ X: $A = 9{,}000$이라면 $\Delta H_{vap} = 9{,}000 \times 8 = 72{,}000 J/mol$이 되어 주어진 증발잠열보다 크다. 틀린 표현은 \"$A = 9{,}000$\"이고, 올바르게는 \"$A = 5{,}000 K$\"이다.

오답 포인트

상수항 4까지 함께 나누거나, $40 kJ/mol$을 $40{,}000 J/mol$로 바꾸지 않고 계산하면 오답이 나온다. 이 문제의 핵심 함정은 적분상수 4와 $1/T$의 계수 A를 분리해서 보지 않는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

증기압 식이 P=C-상수T 꼴로 주어지면 먼저 Clausius-Clapeyron 적분형과 항을 직접 비교한다. 그다음 $\frac{1}{T}$의 계수만 $\Delta H_{vap}/R$에 대응시키고, 증발잠열과 기체상수의 단위를 맞춘 뒤 계산하면 된다.

암기 포인트

$\ln P^{sat} = C - \frac{\Delta H_{vap}}{RT}$에서 $1/T$의 계수는 $\Delta H_{vap}/R$이다.

NoteBase

문 6. 다음 반응계의 자유도(F) 값은?

$CO_2(g) + CaO(s) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$

① 0
② 1
③ 2
④ 3

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 반응계의 자유도를 반응계 상규칙으로 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 계: $CO_2(g) + CaO(s) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$ 평형 반응계이다.
구해야 할 값: 자유도 F이다.
주의할 조건: 서로 조성이 다른 순물질 고체는 각각 별도의 상으로 세며, 독립 반응 수만큼 자유도가 감소한다.

사용할 공식

$F = 2 + N - P - R$
이 문제에서는 성분 수를 직접 세기보다 종수 N, 상수 P, 독립 반응수 R를 세는 반응계 상규칙을 쓰는 것이 가장 빠르다.

계산 과정

1. 종수는 CO_2, CaO, $CaCO_3$의 3종이므로 $N = 3$이다.
2. 상수는 기체 1상, CaO 고체 1상, $CaCO_3$ 고체 1상으로 총 3상이므로 $P = 3$이다.
3. 독립 반응식은 주어진 반응 1개이므로 $R = 1$이다.
4. 따라서 $F = 2 + 3 - 3 - 1 = 1$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 자유도를 0으로 보면 온도와 압력이 모두 자동으로 고정되는 계가 된다. 이 반응계는 온도나 압력 중 하나를 정하면 나머지가 따라 정해지는 1자유도 계이므로 0이 아니라 1이다.
2번 O: $N = 3$, $P = 3$, $R = 1$을 대입하면 $F = 1$이므로 옳다.
3번 X: 2는 두 고체를 하나의 고체상으로 뭉뚱그려 $P = 2$로 잘못 세면 나오는 값이다. $CaO(s)$와 $CaCO_3(s)$는 조성이 다른 별개의 고체상이므로 올바른 자유도는 1이다.
4번 X: 3은 독립 반응수 $R = 1$을 빼지 않거나 상 수를 잘못 세어 나온 값이다. 반응계에서는 반응식 수만큼 자유도가 줄어들므로 정정하면 1이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 고체를 모두 한 덩어리로 보고 상 수를 2로 세거나, 비반응계 상규칙처럼 반응수 감소항을 빼지 않는 데 있다. 상은 물질의 상태명이 아니라 균일한 조성의 구분 단위이므로 CaO와 $CaCO_3$는 각각 따로 센다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응계 자유도 문제는 먼저 종수 N, 상수 P, 독립 반응수 R를 각각 세고, 서로 다른 순고체는 각각 1상으로 분리해서 $F = 2 + N - P - R$에 넣어 판단한다.

암기 포인트

반응계 자유도는 상이 많아질수록 줄고, 반응식이 하나 추가될 때마다 1만큼 더 줄어든다.

NoteBase

문 7. 어떤 화학반응에 대하여 온도 $T[K]$의 함수로서 반응 평형상수 K는 $\ln K = -\frac{6,000}{T} + 15$로 주어졌다. 반응 평형상수의 온도 의존성을 나타내는 van't Hoff 식을 적용하여 구한 표준 반응엔탈피(ΔH^0)와 300 K에서의 표준 깁스에너지 변화(ΔG^0)의 값을 바르게 연결한 것은? (단, 기체상수 R는 $8 \mathrm{Jmol^{-1}K^{-1}}$이다)

① ΔH^0: 24 $\mathrm{kJmol^{-1}}$, ΔG^0: 6 $\mathrm{kJmol^{-1}}$

② ΔH^0: -24 $\mathrm{kJmol^{-1}}$, ΔG^0: 6 $\mathrm{kJmol^{-1}}$

③ ΔH^0: 48 $\mathrm{kJmol^{-1}}$, ΔG^0: 12 $\mathrm{kJmol^{-1}}$

④ ΔH^0: -48 $\mathrm{kJmol^{-1}}$, ΔG^0: 12 $\mathrm{kJmol^{-1}}$

정답 3번

출제 포인트

van't Hoff 식의 $1/T$ 계수를 비교해 ΔH^0를 구하고, $\Delta G^0 = -RT\ln K$로 300 K에서의 표준 깁스에너지 변화를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
$\ln K = -6000/T + 15$, $R = 8 Jmol^{-1}K^{-1}$
구해야 할 값:
ΔH^0와 300 K에서의 ΔG^0
주의할 조건:
van't Hoff 식 $\ln K = -\Delta H^0/(RT) + \Delta S^0/R$와 비교할 때 $1/T$의 계수와 부호를 그대로 읽어야 한다.

사용할 공식

$\ln K = -\frac{\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R}$
$\Delta G^0 = -RT\ln K$
이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 $\ln K$를 T의 함수로 직접 주었으므로 van't Hoff 식의 $1/T$ 계수에서 ΔH^0를 바로 구할 수 있고, 같은 평형상수 값으로 ΔG^0도 연결할 수 있다.

계산 과정

1. van't Hoff 식과 $\ln K = -6000/T + 15$를 비교하면 $-\Delta H^0/R = -6000$이므로
$\Delta H^0 = 6000R = 6000 \times 8 = 48000 Jmol^{-1} = 48 kJmol^{-1}$이다.
2. $T = 300K$를 대입하면 $\ln K = -6000/300 + 15 = -20 + 15 = -5$이다.
3. 따라서 $\Delta G^0 = -RT\ln K = -(8)(300)(-5) = 12000 Jmol^{-1} = 12 kJmol^{-1}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

ΔH^0는 $48 kJmol^{-1}$, ΔG^0는 $12 kJmol^{-1}$이어야 한다. 틀린 표현은 '24, 6'이고, 올바르게는 '48, 12'이다.

② X

$\ln K$ 식의 $-6000/T$ 항 때문에 $-\Delta H^0/R$가 음수이므로 ΔH^0는 양수이다. 또 $300\,K$에서 $\ln K = -5$이므로 ΔG^0는 양의 값 $12\ kJmol^{-1}$이다. 틀린 표현은 '-24, 6'이고, 올바르게는 '48, 12'이다.

③ O

van't Hoff 식의 계수 비교로 $\Delta H^0 = 48 kJmol^{-1}$, $300\,K$에서 $\Delta G^0 = 12 kJmol^{-1}$가 되어 계산 결과와 정확히 일치한다.

④ X

$\Delta G^0 = 12 kJmol^{-1}$는 맞지만 ΔH^0의 부호가 틀렸다. $-6000/T$는 $-\Delta H^0/(RT)$에 대응하므로 ΔH^0는 음수가 아니라 양수 $48\ kJmol^{-1}$이다. 틀린 표현은 '-48, 12'이고, 올바르게는 '48, 12'이다.

오답 포인트

$-6000/T$의 음수 부호를 보고 ΔH^0까지 음수로 착각하기 쉽고, $\Delta G^0 = -RT\ln K$에서 $\ln K = -5$를 넣을 때 음수 두 개가 곱해져 최종값이 양수가 된다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

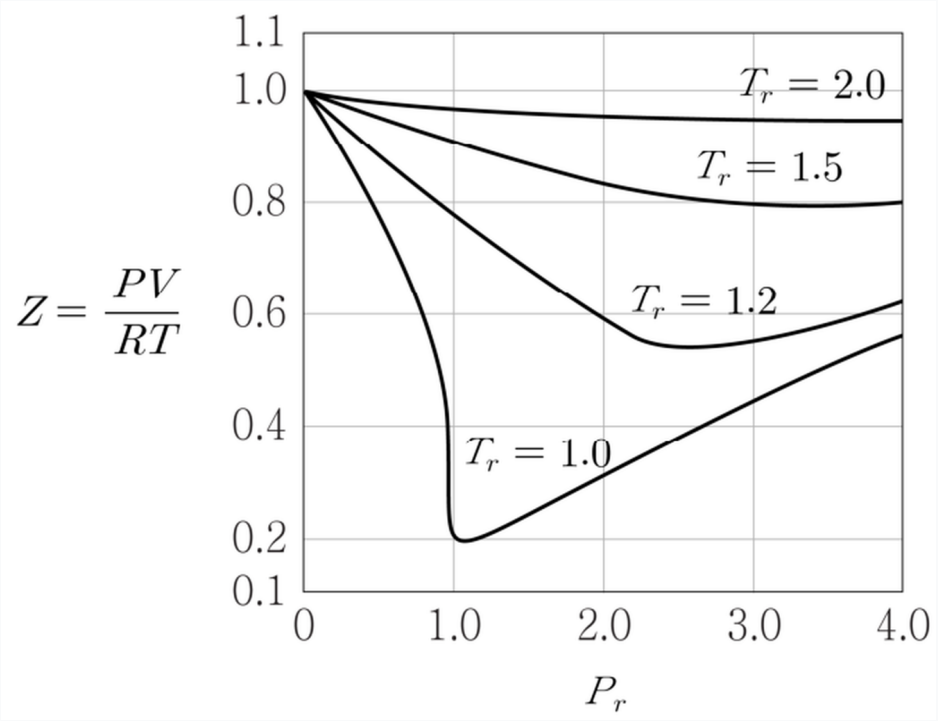
$\ln K$가 $a/T + b$ 꼴로 주어지면 먼저 van't Hoff 식과 계수를 비교해 ΔH^0의 크기와 부호를 정하고, 그다음 원하는 온도를 대입해 $\ln K$를 구한 뒤 $\Delta G^0 = -RT\ln K$로 연결하면 된다.

암기 포인트

van't Hoff 식에서 $1/T$의 계수는 $-\Delta H^0/R$이고, ΔG^0는 $-RT\ln K$로 바로 이어진다.

NoteBase

문 8. 다양한 기체들의 압축성 인자(compressibility factor) Z를 환산압력(reduced pressure) P_r와 환산온도(reduced temperature) T_r의 함수로 나타낸 그림에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?



① 이상기체로부터 벗어난 정도는 임계점 부근에서 가장 작다.

② 매우 낮은 압력($P_r \ll 1$)에서 기체는 온도에 관계없이 이상기체로 가정될 수 있다.

③ 높은 온도($T_r > 2$)에서 기체는 매우 높은 압력($P_r \gg 1$)을 제외하고는 압력에 관계없이 이상기체로 가정될 수 있다.

④ 대응상태의 원리란 동일한 T_r와 P_r에서 모든 기체의 Z는 근사적으로 같다는 것이다.

정답 1번

출제 포인트

환산압력 P_r와 환산온도 T_r에 따른 압축성 인자 Z의 변화를 읽어, 어떤 조건에서 실제 기체가 이상기체와 가장 가깝거나 가장 멀어지는지를 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X. 틀린 표현은 "임계점 부근에서 가장 작다"이다. 그래프에서 $T_r = 1.0$, $P_r \approx 1$ 부근의 Z가 가장 크게 1에서 벗어나므로 임계점 부근은 이상기체로부터의 이탈이 가장 큰 영역이다. 올바르게는 "이상기체로부터 벗어난 정도는 임계점 부근에서 가장 크다"이다.
② O. 매우 낮은 압력에서는 모든 곡선이 $Z \to 1$로 수렴하므로 분자 간 상호작용 영향이 작아지고, 온도와 거의 무관하게 이상기체로 가정할 수 있다.
③ O. 높은 환산온도에서는 곡선이 전체적으로 $Z = 1$에 가깝고 압력이 커질수록만 편차가 커진다. 따라서 $T_r > 2$에서는 매우 높은 압력을 제외하면 이상기체 근사가 대체로 가능하다는 설명이 맞다.
④ O. 대응상태의 원리는 같은 T_r와 P_r에서 여러 기체의 Z가 거의 같다는 일반화 압축성 선도의 전제이다. 그래서 물질이 달라도 환산 변수로 정리하면 비슷한 거동을 보인다고 본다.

오답 포인트

임계점은 특별한 점이라는 인상 때문에 오히려 이상기체에 가깝다고 착각하기 쉽다. 실제로는 임계점 부근에서 분자 간 인력과 반발의 효과가 크게 나타나 Z의 편차가 가장 커진다.

다시 나오면 이렇게 판단

일반화 압축성 선도 문제는 먼저 저압 한계에서 $Z \to 1$인지, 다음으로 $T_r = 1$ 근처에서 편차가 최대인지, 마지막으로 고온으로 갈수록 곡선이 $Z = 1$에 가까워지는지를 확인하면 된다.

암기 포인트

저압이면 이상기체, 임계점 부근이면 비이상성 최대, 고온일수록 Z는 1에 가까워진다.

NoteBase

문 9. 1bar에서 $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ **반응이 진행된다. 이 반응의 표준 반응열이 반응온도와 관계없이 항상 일정한 경우는? (단, 화합물 A와 화합물 B의 정압 몰열용량은 각각 온도에 관계없이 일정한 값을 가진다)**

① A의 정압 몰열용량이 B의 정압 몰열용량과 같을 때

② A의 정압 몰열용량이 B의 정압 몰열용량의 0.5배일 때

③ A의 정압 몰열용량이 B의 정압 몰열용량의 2배일 때

④ A의 정압 몰열용량이 B의 정압 몰열용량의 4배일 때

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Kirchhoff 식으로 표준반응열의 온도 의존성이 없어지는 조건, 즉 $\Delta C_p = 0$ 조건을 묻는 문제이다.

조건 정리

반응은 A(g) → 2B(g)이다.
화합물 A와 B의 정압 몰열용량은 각각 온도와 관계없이 일정하다.
표준반응열이 반응온도와 무관하게 항상 일정하려면 반응열의 온도에 대한 기울기가 0이어야 한다.

사용할 공식

$\frac{d\Delta H^\circ}{dT} = \Delta C_p = \sum \nu_i C_{p,i} = 2C_{p,B} - C_{p,A}$
또는
$\Delta H^\circ(T_2) - \Delta H^\circ(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} \Delta C_p dT = (2C_{p,B} - C_{p,A})(T_2 - T_1)$
이 문제에서는 각 물질의 정압 몰열용량이 상수이므로 ΔH°의 온도 의존성은 $2C_{p,B} - C_{p,A}$의 값으로 바로 판단할 수 있다.

계산 과정

1. 반응의 열용량 변화는 생성물 계수와 반응물 계수를 반영해 $\Delta C_p = 2C_{p,B} - C_{p,A}$로 둔다.
2. 표준반응열이 온도와 무관하게 일정하려면 $\Delta C_p = 0$이어야 한다.
3. 따라서 $2C_{p,B} - C_{p,A} = 0$이고, 정리하면 $C_{p,A} = 2C_{p,B}$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. $C_{p,A} = C_{p,B}$이면 $\Delta C_p = 2C_{p,B} - C_{p,A} = C_{p,B}$가 되어 0이 아니다. 틀린 표현은 "같을 때 항상 일정"이며, 올바르게는 "$C_{p,A} = 2C_{p,B}$일 때 항상 일정"이다.
2번: X. $C_{p,A} = 0.5C_{p,B}$이면 $\Delta C_p = 1.5C_{p,B}$가 되어 온도에 따라 표준반응열이 변한다. 틀린 표현은 "0.5배일 때"이며, 올바르게는 "2배일 때"이다.
3번: O. $C_{p,A} = 2C_{p,B}$이면 $\Delta C_p = 2C_{p,B} - 2C_{p,B} = 0$이므로 표준반응열이 온도와 무관하게 일정하다.
4번: X. $C_{p,A} = 4C_{p,B}$이면 $\Delta C_p = -2C_{p,B}$가 되어 표준반응열이 온도에 따라 감소 방향으로 변한다. 틀린 표현은 "4배일 때 항상 일정"이며, 올바르게는 "2배일 때 항상 일정"이다.

오답 포인트

생성물 B의 계수가 2라는 점을 빼고 $\Delta C_p = C_{p,B} - C_{p,A}$로 두면 1번이나 4번으로 오판하기 쉽다. 이 문항의 함정은 열용량 자체의 크기 비교가 아니라 반응식 계수를 반영한 반응 열용량 변화가 0인지 여부이다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응열의 온도 의존성을 묻는 문제는 먼저 $\Delta C_p = \sum \nu_i C_{p,i}$를 반응식 계수까지 포함해 세운 뒤, "항상 일정" 조건이면 $\Delta C_p = 0$을 바로 적용해 판단한다.

암기 포인트

표준반응열이 온도와 무관한 조건은 $\Delta C_p = 0$이며, 이 반응에서는 $2C_{p,B} = C_{p,A}$이다.

NoteBase

문 10. 온도 (T), 압력 (P), 몰부피 (V)에 관한 van der Waals 상태방정식에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

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

① 이 상태방정식은 주어진 온도에서 부피에 대하여 항상 3개의 실근을 가진다.

② a와 b는 특정 성분에 따라 고유한 값을 가지며 양의 상수들이다.

③ $\frac{a}{V^2}$항이 존재하는 이유는 분자들 간의 인력을 고려하기 위함이다.

④ 물리적으로 의미가 있는 V의 값은 언제나 상수 b보다 큰 양의 실수이어야 한다.

정답 1번

출제 포인트

van der Waals 상태방정식에서 상수 a, b의 물리적 의미와 주어진 상태에서 부피 해의 개수를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

a는 분자 간 인력을 보정하는 상수이고 b는 분자의 유한한 크기 때문에 생기는 배제부피를 나타내는 상수이다. van der Waals 식은 주어진 T, P에서 V에 대한 3차방정식이 되지만, 실근의 개수는 상태에 따라 1개일 수도 있고 3개일 수도 있다.

선지별 해설

① X: 틀린 부분은 "항상 3개의 실근을 가진다"는 표현이다. van der Waals 식은 V에 대한 3차방정식이지만 항상 실근이 3개인 것은 아니다. 온도와 압력 조건에 따라 실근이 1개만 존재할 수도 있고, 액상·기상 공존 영역에서는 3개의 실근이 나타날 수도 있다. 올바르게는 "주어진 온도와 압력에 따라 1개 또는 3개의 실근을 가질 수 있다"이다.

② O: a와 b는 물질 고유의 van der Waals 상수이다. a는 인력 보정, b는 분자 크기 보정에 대응하며 일반적으로 양의 값을 가진다.

③ O: 식의 a/V^2 항이 존재하는 이유는 분자들 간의 인력을 고려하기 위함이다. 이 인력 때문에 실제 압력은 이상기체보다 작아지므로 식에서는 $-a/V^2$ 형태의 보정이 들어간다.

④ O: 물리적으로 의미 있는 몰부피는 언제나 b보다 커야 한다. $V-b$가 분모에 있으므로 $V \le b$이면 식이 물리적 의미를 잃기 때문이다.

오답 포인트

3차방정식이라는 사실만 보고 실근이 언제나 3개라고 단정하면 ①에 걸리기 쉽다. 이 문항은 "3차식"과 "3개의 실근"을 의도적으로 바꿔 놓은 함정이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

상태방정식 문항에서는 먼저 각 상수의 물리적 의미를 확인한다. 그다음 방정식의 차수와 실근의 개수는 같지 않다는 점을 분리해서 판단하면 된다.

암기 포인트

a는 인력 보정, b는 배제부피 보정, 3차식이라고 해서 실근이 항상 3개인 것은 아니다.

NoteBase

문 11. 임계점 아래 순수유체의 기액 상거동에서 과냉각된 액체를 포화 액체로 만드는 방법으로 옳지 않은 것은?

① 일정한 압력에서 온도를 높인다.

② 일정한 온도에서 압력을 낮춘다.

③ 일정한 압력에서 부피를 증가시킨다.

④ 일정한 부피에서 압력을 높인다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 과냉각된 액체와 포화액체의 차이, 그리고 포화선에 도달시키는 상태변화 방향을 묻는 문제이다.

핵심 개념

과냉각된 액체는 주어진 압력에서 포화온도보다 낮거나, 주어진 온도에서 포화압력보다 높은 액체 상태이다.
포화액체는 기화가 막 시작되기 직전의 액체로서 포화선 위에 있는 상태이다.
따라서 과냉각된 액체를 포화액체로 만들려면 $T_{sat}(P)$에 맞게 온도를 올리거나, $P_{sat}(T)$에 맞게 압력을 낮추는 방향으로 포화선에 접근해야 한다.

선지별 해설

① O: 일정한 압력에서 온도를 높이면 현재 압력에서의 포화온도에 가까워지므로 과냉각된 액체가 포화액체가 된다.
② O: 일정한 온도에서 압력을 낮추면 현재 온도에 대응하는 포화압력에 가까워지므로 과냉각된 액체가 포화액체가 된다.
③ O: 일정한 압력에서는 과냉각된 액체에서 포화액체로 갈수록 비체적이 증가한다. 따라서 일정한 압력에서 부피를 증가시키는 방향은 포화액체 쪽으로 가는 변화이다.
④ X: 틀린 부분은 "일정한 부피에서 압력을 높인다"는 표현이다. 일정한 부피에서 압력을 높이면 일반적으로 포화선에 접근하는 것이 아니라 압축액 영역으로 더 들어가므로 과냉각된 액체를 포화액체로 만들 수 없다.
올바르게는 압력을 높이는 것이 아니라 압력을 낮추거나, 압력을 일정하게 두고 온도를 높여야 한다.

오답 포인트

④는 압력을 바꾸면 언젠가 포화상태가 된다고 막연히 생각하면 고르기 쉽다. 그러나 과냉각된 액체는 같은 온도 기준으로는 압력을 낮춰야 포화선에 접근하고, 압력을 높이면 오히려 더 압축된 액체 상태가 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

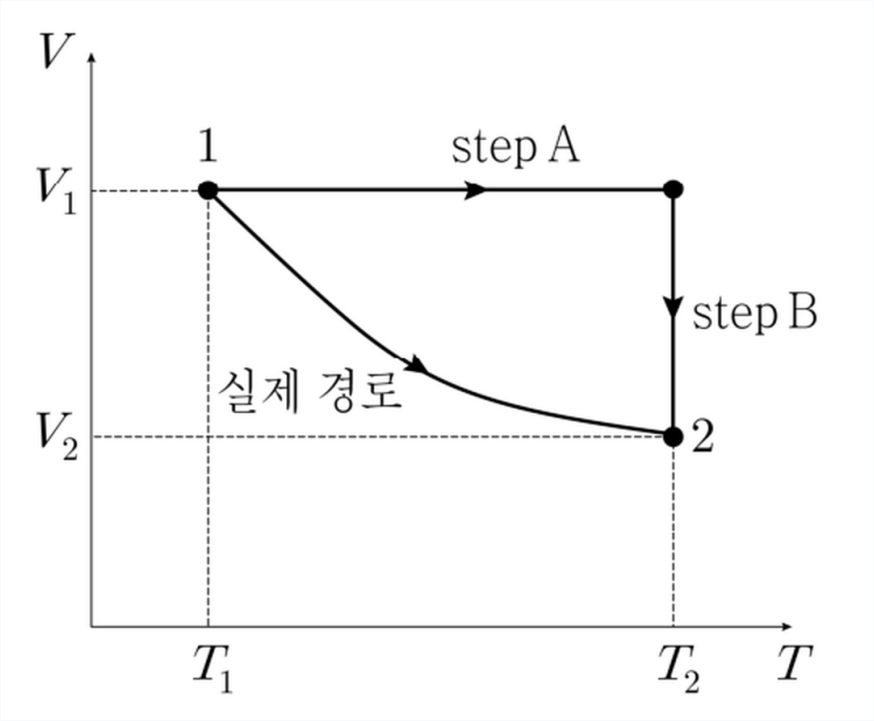
과냉각된 액체 문제는 먼저 현재 상태가 포화선의 액체 쪽에 있다는 점을 잡는다. 그다음 포화선으로 가려면 온도는 올리고, 압력은 내리는 방향인지 확인하면 된다. 압력을 더 높이는 선택지는 대체로 포화선에서 멀어지는 방향이다.

암기 포인트

과냉각 액체는 가열하거나 감압하면 포화액체에 가까워지고, 가압하면 더 압축액 쪽으로 간다.

NoteBase

문 12. 그림은 닫힌계의 피스톤-실린더 장치에서 이상기체가 상태 1 (T_1, V_1)에서 상태 2 (T_2, V_2)로 가역적으로 변화하는 과정을 보여 준다. 실제 경로를 그림과 같이 두 단계(step A와 step B)로 나누었을 때, 각 단계에 대한 계의 엔트로피 변화 ($\Delta S_{\text{sys, stepA}}$, $\Delta S_{\text{sys, stepB}}$)를 바르게 연결한 것은? (단, C_P와 C_V는 각각 정압 열용량과 정적 열용량이고, T와 V는 각각 온도와 부피이며, R는 기체상수이다)



① $\Delta S_{\text{sys, stepA}} = \int_{T_1}^{T_2} C_V \frac{dT}{T}$, $\Delta S_{\text{sys, stepB}} = R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

② $\Delta S_{\text{sys, stepA}} = \int_{T_1}^{T_2} C_V \frac{dT}{T}$, $\Delta S_{\text{sys, stepB}} = R\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$

③ $\Delta S_{\text{sys, stepA}} = \int_{T_1}^{T_2} C_P \frac{dT}{T}$, $\Delta S_{\text{sys, stepB}} = R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$

④ $\Delta S_{\text{sys, stepA}} = \int_{T_1}^{T_2} C_P \frac{dT}{T}$, $\Delta S_{\text{sys, stepB}} = R\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 T-V 도식에서 각 단계의 과정 조건을 읽고 이상기체의 엔트로피 변화식 $dS = C_V\frac{dT}{T} + R\frac{dV}{V}$를 단계별로 올바르게 적용할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

step A는 $V = V_1$인 수평 이동이므로 정적 가열이다.
step B는 $T = T_2$인 수직 이동이므로 등온 압축이다.
문제가 가역 변화라고 했으므로 이상기체의 가역 엔트로피 변화식을 그대로 적분할 수 있다.

NoteBase

사용할 공식

이상기체의 엔트로피 변화는 $dS = C_V\frac{dT}{T} + R\frac{dV}{V}$이다.
정적 과정에서는 $dV = 0$이므로 $\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} C_V\frac{dT}{T}$가 된다.
등온 과정에서는 $dT = 0$이므로 $\Delta S = R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$가 된다.

계산 과정

1. step A는 V_1에서 부피가 일정하고 온도만 $T_1 \to T_2$로 증가하므로 $\Delta S_{\text{sys, step A}} = \int_{T_1}^{T_2} C_V\frac{dT}{T}$이다.
2. step B는 T_2에서 온도가 일정하고 부피가 $V_1 \to V_2$로 감소하므로 $\Delta S_{\text{sys, step B}} = R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$이다.
3. 그림에서 $V_2 < V_1$이므로 step B의 엔트로피 변화는 음수이고, 두 식을 함께 만족하는 보기는 1번이다.

선지별 해설

1번: O. step A를 정적 가열로 보아 C_V를 쓰고, step B를 등온 압축으로 보아 $R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$를 쓴 식이 맞다.
2번: X. step B의 로그 비가 뒤집혀 있다. 실제 변화는 $V_1 \to V_2$이므로 $R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$가 맞고, $R\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$는 부호를 반대로 쓴 것이다.
3번: X. step A는 정적 과정이므로 C_P가 아니라 C_V를 써야 한다. 올바르게는 $\Delta S_{\text{sys, step A}} = \int_{T_1}^{T_2} C_V\frac{dT}{T}$이다.
4번: X. step A에서 C_P를 쓴 점과 step B의 로그 비를 $\frac{V_1}{V_2}$로 뒤집은 점이 모두 틀리다. 올바르게는 step A에 C_V, step B에 $R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$를 써야 한다.

오답 포인트

가로선이면 V 일정, 세로선이면 T 일정이라는 축 해석을 놓치면 C_V와 C_P를 바꾸어 쓰기 쉽다. 또 압축 과정에서 $V_2 < V_1$인데 로그를 $\ln\left(\frac{V_1}{V_2}\right)$로 쓰면 step B의 부호가 반대로 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 도식의 축을 보고 각 단계가 정적, 정압, 등온 중 무엇인지 확정한 뒤 $dS = C_V\frac{dT}{T} + R\frac{dV}{V}$에서 사라지는 항을 지우는 순서로 판단한다. 그다음 부피 변화 방향까지 확인해 로그의 분자와 분모를 정한다.

암기 포인트

이상기체 엔트로피는 정적이면 $C_V\frac{dT}{T}$, 등온이면 $R\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$로 정리된다.

NoteBase

문 13. $450^\circ C$, $20 kgf cm^{-2}$**의 어떤 기체가 정상상태 흐름에서 조름 공정을 통해 출구 압력이** $5 kgf cm^{-2}$**로 감소할 때, 기체의 출구 온도[**$^\circ C$**]는? (단, 이 기체의 Joule-Thomson 계수는** $6^\circ C cm^2 kgf^{-1}$**로 일정하다)**

① 330

② 360

③ 390

④ 420

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 조름 공정의 등엔탈피 조건에서 Joule-Thomson 계수를 이용해 출구 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 입구 온도 $450^\circ C$, 입구 압력 $20 kgf/cm^2$, 출구 압력 $5 kgf/cm^2$, Joule-Thomson 계수 $\mu_{JT} = 6^\circ C \cdot cm^2 \cdot kgf^{-1}$이다.
구해야 할 값: 출구 온도이다.
주의할 조건: 조름 공정이므로 엔탈피가 일정하고, 압력 변화는 $\Delta P = P_2 - P_1$로 잡는다.

사용할 공식

$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_H, \quad \Delta T = \mu_{JT} \Delta P$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 정상상태 흐름의 조름 공정과 일정한 Joule-Thomson 계수를 주었으므로, 등엔탈피 조건에서 압력 변화에 따른 온도 변화를 바로 계산할 수 있다.

계산 과정

1. 압력 변화는 $\Delta P = P_2 - P_1 = 5 - 20 = -15 kgf/cm^2$이다.
2. 온도 변화는 $\Delta T = \mu_{JT} \Delta P = 6 \times (-15) = -90^\circ C$이다.
3. 출구 온도는 $T_2 = T_1 + \Delta T = 450 - 90 = 360^\circ C$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과 출구 온도는 $360^\circ C$이다. $330^\circ C$는 압력 강하를 실제 $15 kgf/cm^2$가 아니라 $20 kgf/cm^2$로 잘못 넣었을 때 나오는 값이므로, 올바른 값은 $330^\circ C$가 아니라 $360^\circ C$이다.
② O: 조름 공정에서 $\Delta T = \mu_{JT}\Delta P$를 적용하면 $\Delta T = -90^\circ C$이고, 따라서 출구 온도는 $360^\circ C$이다. 제시값이 계산 결과와 일치하므로 옳다.
③ X: $390^\circ C$는 실제 압력 강하 $15 kgf/cm^2$를 반영하지 못한 값이다. 올바른 계산 결과는 $390^\circ C$가 아니라 $360^\circ C$이다.
④ X: Joule-Thomson 계수는 압력 자체가 아니라 압력 변화량에 곱한다. $420^\circ C$는 출구 압력 $5 kgf/cm^2$만 곱한 식에 가까운 오답이며, 올바른 값은 $420^\circ C$가 아니라 $360^\circ C$이다.

오답 포인트

압력이 감소하면 ΔP가 음수라는 점을 빼먹기 쉽다. 또한 압력 변화량 $15 kgf/cm^2$ 대신 입구 압력 $20 kgf/cm^2$이나 출구 압력 $5 kgf/cm^2$ 자체를 대입하면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

조름 공정이 보이면 먼저 등엔탈피 조건을 떠올리고, $\Delta P = P_2 - P_1$의 부호를 정한 뒤 $\Delta T = \mu_{JT}\Delta P$로 계산하면 된다.

암기 포인트

양의 Joule-Thomson 계수에서는 조름 시 압력이 내려가면 온도도 함께 내려간다.

NoteBase

문 14. 고온부의 온도 T_H와 저온부의 온도 T_C 사이에서 작동하는 이상적인 Carnot 열기관의 효율이 0.25이다. 같은 T_H와 T_C 사이를 이상적인 Carnot 냉동기로 냉각시킨다고 할 때, Carnot 냉동기의 성능계수는?

① 0.25

② 1

③ 3

④ 4

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 카르노 열기관 효율과 카르노 냉동기의 성능계수 관계를 이용해 냉동기의 성능계수를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 카르노 열기관 효율 $\eta = 0.25$이다.
- 구해야 할 값: 같은 T_H, T_C 사이에서 작동하는 카르노 냉동기의 성능계수이다.
- 주의할 조건: 열기관과 냉동기의 작동 온도 구간이 같으므로 T_C/T_H 비를 먼저 구하면 된다.

사용할 공식

카르노 열기관 효율은 $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ 이고, 카르노 냉동기의 성능계수는 $COP_R = \frac{T_C}{T_H - T_C}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 발문이 이상적인 카르노 열기관과 카르노 냉동기를 같은 T_H, T_C 사이에서 비교하고 있기 때문이다. 따라서 효율식으로 T_C/T_H를 구한 뒤 이를 냉동기 성능계수 식에 대입하면 된다.

계산 과정

1. 열기관 효율식에 $\eta = 0.25$를 대입하면 $0.25 = 1 - \frac{T_C}{T_H}$ 이다.
2. 따라서 $\frac{T_C}{T_H} = 0.75$ 이다.
3. 이를 냉동기 성능계수 식에 대입하면 $COP_R = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{T_C/T_H}{1 - T_C/T_H} = \frac{0.75}{0.25} = 3$ 이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 성능계수는 0.25가 아니다. 0.25는 카르노 열기관의 효율값이며, 냉동기의 성능계수는 같은 값이 아니라 계산 결과 3이다. 틀린 표현은 수치를 그대로 옮긴 점이고, 올바르게는 3이다.
② X: 성능계수는 1이 아니다. 1은 $T_C/(T_H - T_C)$ 계산을 하지 않고 두 온도 차 관계를 잘못 단순화할 때 나오는 오답이다. 올바르게는 $0.75/0.25 = 3$이므로 3이다.
③ O: $T_C/T_H = 0.75$이므로 카르노 냉동기의 성능계수는 $\frac{0.75}{0.25} = 3$이다.
④ X: 성능계수는 4가 아니다. 4는 효율 0.25의 역수 1/0.25를 그대로 취하는 실수에서 나오는 값이다. 냉동기 성능계수는 효율의 역수가 아니라 $T_C/(T_H - T_C)$로 계산하므로 올바르게는 3이다.

오답 포인트

열기관 효율 η와 냉동기 성능계수 COP를 같은 개념으로 착각하면 ①처럼 효율값을 그대로 고르거나 ④처럼 효율의 역수를 고르는 실수가 나온다. 이 문항의 함정은 같은 온도 구간이라는 조건을 이용해 T_C/T_H를 먼저 구해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노 기관이 함께 나오면 먼저 열기관 효율식 $\eta = 1 - T_C/T_H$로 T_C/T_H를 구한 다음, 기관 종류에 맞는 식에 다시 대입해 판단한다. 효율과 성능계수를 직접 같다고 두지 않는 것이 핵심이다.

암기 포인트

카르노 열기관은 $1 - T_C/T_H$, 카르노 냉동기는 $T_C/(T_H - T_C)$이다.

NoteBase

문 15. 프로페인(propane)을 제조하는 프로펜(propene)의 기상 수소첨가 반응[$C_3H_6(g) + H_2(g) \rightleftharpoons C_3H_8(g)$]의 298 K에서 표준 반응 엔탈피가 -124 kJ일 때, 이 반응의 평형 전환율을 높이기 위한 압력과 온도의 변화를 바르게 연결한 것은?

① 압력: 증가, 온도: 증가

② 압력: 증가, 온도: 감소

③ 압력: 감소, 온도: 증가

④ 압력: 감소, 온도: 감소

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 기상 반응 평형에서 압력 변화와 온도 변화가 평형 전환율에 미치는 방향을 연결할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

압력 효과: 기체 몰수가 더 적은 쪽으로 평형이 이동한다. 이 반응은 반응물 쪽이 2몰, 생성물 쪽이 1몰이므로 압력을 증가시키면 프로판 생성 쪽으로 이동한다.
온도 효과: 정반응의 표준 반응 엔탈피가 음수이므로 발열반응이다. 발열반응은 온도를 낮추면 열을 만들어 내는 생성물 쪽이 유리해진다.

선지별 해설

1번: X. 압력을 증가시키면 기체 몰수가 적은 생성물 쪽으로 평형이 이동하므로 이 부분은 맞다. 그러나 온도를 증가시키면 발열반응의 평형은 흡열 방향인 반응물 쪽으로 이동하므로 평형 전환율이 높아지지 않는다. 틀린 표현은 '온도 증가'이고, 올바르게는 '온도 감소'이다.
2번: O. 압력 증가는 2몰에서 1몰로 가는 생성물 쪽을 유리하게 하고, 온도 감소는 발열인 정반응을 유리하게 한다. 두 변화가 모두 프로펜의 평형 전환율을 높이는 방향이다.
3번: X. 압력을 감소시키면 기체 몰수가 많은 반응물 쪽이 유리해져 전환율이 낮아진다. 또한 온도 증가도 발열반응의 정반응에 불리하다. 틀린 표현은 '압력 감소'와 '온도 증가'이고, 올바르게는 '압력 증가'와 '온도 감소'이다.
4번: X. 온도 감소 자체는 발열반응의 전환율을 높이는 방향이지만, 압력 감소는 기체 몰수가 많은 반응물 쪽으로 평형을 이동시켜 전환율을 낮춘다. 틀린 표현은 '압력 감소'이고, 올바르게는 '압력 증가'이다.

오답 포인트

압력 효과와 온도 효과를 따로는 알면서도 한 선지 안에서 동시에 연결하지 못하면 1번이나 4번으로 흔들리기 쉽다. 특히 발열반응에서 '온도를 올리면 반응이 빨라진다'는 속도 개념을 평형 이동과 혼동하면 1번을 고르기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

평형 문제는 먼저 정반응이 발열인지 흡열인지 확인하고, 다음으로 기체 몰수 변화를 센다. 발열반응은 온도 감소가 정반응에 유리하고, 압력 증가는 기체 몰수가 적은 쪽에 유리하다고 연결하면 된다.

암기 포인트

발열은 저온이 유리하고, 압력 증가는 기체 몰수가 적은 쪽이 유리하다.

NoteBase

문 16. 성분 A와 B로 구성된 2성분계 혼합물을 기상과 액상으로 플래시(flash)시켰을 때, 100 °C의 온도와 100 kPa의 압력에서 기상과 액상이 평형을 이루고 있다. 성분 A의 포화증기압은 200 kPa이고, 액상에서 성분 A의 몰분율은 0.2이다. 기상과 액상 전체에서 성분 A의 총괄 몰분율이 0.3일 때, 기상과 액상 전체에서 기상이 차지하는 몰분율은? (단, 기액 상평형 계산은 Raoult의 법칙을 따른다)

① 0.2

② 0.4

③ 0.5

④ 0.6

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 Raoult의 법칙으로 기상 조성 y_A를 구한 뒤, 전체 조성 z_A에 대한 플래시 물질수지로 기상이 차지하는 몰분율 V를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 압력 $P = 100kPa$, 성분 A의 포화증기압 $P_A^{sat} = 200kPa$, 액상 조성 $x_A = 0.2$, 전체 조성 $z_A = 0.3$이다.
구해야 할 값은 기상과 액상 전체 중 기상이 차지하는 몰분율 V이다.
주의할 조건은 0.2가 액상에서의 성분 A 몰분율이고, 물어보는 값은 기상 자체의 조성 y_A가 아니라 전체 중 기상의 비율이라는 점이다.

사용할 공식

Raoult의 법칙과 전체 성분수지를 사용한다.
$y_A = \frac{x_A P_A^{sat}}{P}$
$z_A = V y_A + (1 - V) x_A$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 기액 상평형이 Raoult의 법칙을 따른다고 주어졌고, 전체 조성은 기상과 액상의 조성에 각 상의 몰분율을 곱해 합한 값으로 표현되기 때문이다.

계산 과정

1. 성분 A의 부분압은 $p_A = x_A P_A^{sat} = 0.2 \times 200 = 40kPa$이다.
2. 따라서 기상에서의 성분 A 몰분율은 $y_A = \frac{p_A}{P} = \frac{40}{100} = 0.4$이다.
3. 전체 조성식에 대입하면 $0.3 = V \times 0.4 + (1 - V) \times 0.2$이다.
4. 정리하면 $0.3 = 0.4V + 0.2 - 0.2V = 0.2 + 0.2V$이므로 $0.1 = 0.2V$, 따라서 $V = 0.5$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 0.2는 액상에서 성분 A의 몰분율 x_A이다. 기상이 차지하는 몰분율은 $V = 0.5$이므로 0.2라는 수치는 묻는 대상 자체가 다르다.
- 틀린 표현은 "기상이 차지하는 몰분율이 0.2"라는 값이다. 올바르게는 "액상 조성은 0.2이고, 기상이 차지하는 몰분율은 0.5"이다.

② X
- 0.4는 계산된 기상 조성 y_A이다. 이는 기상 속 성분 A의 조성이지, 전체 중 기상이 차지하는 비율이 아니다.
- 틀린 표현은 "기상이 차지하는 몰분율이 0.4"라는 값이다. 올바르게는 "기상에서 A의 몰분율은 0.4이고, 전체 중 기상의 비율은 0.5"이다.

③ O
- 전체 조성식 $z_A = Vy_A + (1 - V)x_A$에 $z_A = 0.3$, $y_A = 0.4$, $x_A = 0.2$를 넣으면 $V = 0.5$가 나온다.
- 따라서 기상과 액상 전체에서 기상이 차지하는 몰분율은 0.5이므로 ③이 옳다.

④ X
- 0.6은 정답 0.5와 일치하지 않는다. 0.6을 넣으면 전체 조성은 $0.6 \times 0.4 + 0.4 \times 0.2 = 0.32$가 되어 주어진 $z_A = 0.3$을 만족하지 못한다.
- 틀린 표현은 "기상이 차지하는 몰분율이 0.6"이라는 값이다. 올바르게는 전체 조성을 정확히 맞추는 값이 0.5이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 조성 x_A, y_A, z_A와 상의 비율 V를 서로 다른 값인데도 같은 종류의 수치로 착각하게 만드는 데 있다. ②의 0.4를 정답으로 고르면 기상 조성 y_A를 그대로 기상 비율 V로 오해한 것이고, ①의 0.2를 고르면 액상 조성 x_A를 그대로 옮긴 것이다.

다시 나오면 이렇게 판단

플래시 계산 문제는 먼저 각 상의 조성과 전체 조성을 구분한 뒤, Raoult의 법칙으로 y를 계산하고 마지막에 전체 물질수지 $z = Vy + (1 - V)x$로 상의 비율을 구하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

Raoult로 y를 구하고, 플래시 비율은 $z = Vy + (1 - V)x$로 마무리하는 문제이다.

NoteBase

문 17. 견고한 고압가스 용기에 $300\mathrm{K}$의 질소가 충전되어 있다. 질소가 $0.1\mathrm{kg\,h^{-1}}$의 일정한 속도로 밸브를 통해 배출되고 있다. 배출 중 용기 내 온도를 일정하게 유지하기 위해 시간당 공급해야 할 열 $[\mathrm{kJ\,h^{-1}}]$은? (단, 질소는 이상기체이고, 정압 열용량은 $1.0\mathrm{kJ\,kg^{-1}K^{-1}}$, 정적 열용량은 $0.7\mathrm{kJ\,kg^{-1}K^{-1}}$이다. 배출 과정에서 질소의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시하며, 열손실과 축일은 없다)

① 6

② 9

③ 21

④ 30

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 강체 용기에서 기체가 배출될 때의 비정상 에너지수지를 이용해 온도를 일정하게 유지하는 데 필요한 열공급량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 질소 배출속도는 $0.1kg/h$, 용기 내 온도는 $300K$, $c_p = 1.0kJ/(kg \cdot K)$, $c_v = 0.7kJ/(kg \cdot K)$이다.
구해야 할 값: 시간당 공급해야 할 열 $\dot{Q}$이다.
주의할 조건: 용기는 견고하므로 부피가 일정하고 축일이 없으며, 배출 유체는 엔탈피 $h = c_pT$를 가지고 나간다.

사용할 공식

비정상 개방계 에너지수지는 $\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{m}_{out}h_{out}$이다.
이상기체이므로 용기 내부 에너지는 $U = mc_vT$, 배출 엔탈피는 $h_{out} = c_pT$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 질소가 밸브를 통해 계속 빠져나가는 동안 강체 용기 내부의 질량이 감소하는 비정상 과정이기 때문이다.

계산 과정

1. 온도가 일정하므로 $\frac{dU}{dt} = c_vT\frac{dm}{dt}$이고, 배출만 있으므로 $\frac{dm}{dt} = -0.1kg/h$이다.
2. 따라서 $\frac{dU}{dt} = 0.7 \times 300 \times (-0.1) = -21kJ/h$이다.
3. 배출 엔탈피 항은 $\dot{m}_{out}h_{out} = 0.1 \times 1.0 \times 300 = 30kJ/h$이다.
4. 에너지수지에 대입하면 $-21 = \dot{Q} - 30$이므로 $\dot{Q} = 9kJ/h$이다.
5. 같은 결과를 $\dot{Q} = \dot{m}(c_p - c_v)T$로 바로 써도 $0.1 \times (1.0 - 0.7) \times 300 = 9kJ/h$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $6kJ/h$는 올바른 에너지수지식 $\dot{Q} = \dot{m}(c_p - c_v)T$와 일치하지 않는 값이다. 틀린 수치는 ①의 $6kJ/h$이고, 올바르게는 필요한 열공급량이 $9kJ/h$이다.
② O: $\dot{Q} = 0.1 \times (1.0 - 0.7) \times 300 = 9kJ/h$이므로 맞는 선지이다. 강체 용기에서는 내부에너지 감소분과 유출 엔탈피를 함께 고려해야 한다.
③ X: $21kJ/h$는 c_vT만 사용해 내부에너지 감소량의 크기만 계산한 값이다. 틀린 수치는 ③의 $21kJ/h$이고, 올바르게는 유출 엔탈피까지 포함한 열공급량이 $9kJ/h$이다.
④ X: $30kJ/h$는 c_pT만 사용해 유출 엔탈피만 계산한 값이다. 틀린 수치는 ④의 $30kJ/h$이고, 올바르게는 내부에너지 감소 $-21kJ/h$를 함께 반영한 $9kJ/h$가 된다.

오답 포인트

강체 용기라는 조건을 보고 닫힌계처럼 생각하면 유출 엔탈피 항을 빠뜨리기 쉽다. 반대로 유출되는 유체만 보고 c_pT만 쓰면 내부에너지 감소를 놓치게 된다. 이 문제의 함정은 $21kJ/h$와 $30kJ/h$ 중 하나만 계산하고 끝내는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

강체 용기에서 질량이 드나드는 문제는 먼저 비정상 개방계인지부터 판단한다. 그다음 $\frac{dU}{dt} = \dot{Q} - \dot{m}h$를 세우고, 온도 일정이면 $U = mc_vT$의 질량 변화와 유출 엔탈피 c_pT를 함께 넣어 계산한다.

암기 포인트

강체 용기의 등온 배출에서는 $\dot{Q} = \dot{m}(c_p - c_v)T = \dot{m}RT$가 된다.

NoteBase

문 18. 부피가 일정한 닫힌계 반응기에서 1 mol의 일산화탄소(CO) 가스와 2 mol의 수소(H_2) 가스를 반응시켜 1 mol의 메탄올(CH_3OH) 가스를 합성한다. 1,000 K, 1 bar에서 이 반응에 대한 반응 엔탈피는 -103 kJ이다. 반응이 1,000 K의 일정한 온도에서 일어난다면, 이 과정 동안에 전달되는 열($|Q|$)[kJ]은? (단, 반응물과 생성물은 모두 이상기체로 간주하고, 관련된 일은 없으며, 기체상수 R는 $8\mathrm{J\,mol^{-1}K^{-1}}$이다)

① 87

② 95

③ 103

④ 119

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 반응에서 $\Delta H = \Delta U + \Delta nRT$ 관계를 이용해 정적 닫힌계의 전달열 크기를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 반응 엔탈피 $\Delta H = -103\mathrm{kJ}$, 온도 $T = 1000\mathrm{K}$, 기체상수 $R = 8\mathrm{J\,mol^{-1}K^{-1}}$이다.
반응식은 $\mathrm{CO} + 2\mathrm{H_2} \rightarrow \mathrm{CH_3OH}$이므로 기체 몰수 변화는 $\Delta n = 1 - 3 = -2$이다.
부피가 일정한 닫힌계이고 관련된 일이 없으므로 $Q = \Delta U$이다.
문제는 전달열의 크기 $|Q|$를 묻는다.

사용할 공식

$\Delta H = \Delta U + \Delta nRT$, $Q = \Delta U$
이 반응은 이상기체 반응이므로 엔탈피와 내부에너지 차이는 ΔnRT로 정리된다.
또한 정적 닫힌계에서는 경계일이 없으므로 전달열은 내부에너지 변화와 같다.

계산 과정

1. 기체 몰수 변화는 $\Delta n = 1 - 3 = -2$이다.
2. $\Delta nRT = (-2) \times 8 \times 1000\mathrm{J} = -16000\mathrm{J} = -16\mathrm{kJ}$이다.
3. $\Delta U = \Delta H - \Delta nRT = -103 - (-16) = -87\mathrm{kJ}$이다.
4. 따라서 $Q = \Delta U = -87\mathrm{kJ}$이고, 전달열의 크기는 $|Q| = 87\mathrm{kJ}$이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: 계산 결과 전달열의 크기는 87kJ이므로 옳다.
2번 X: 95kJ는 ΔnRT 보정을 일부만 반영하거나 몰수 변화를 잘못 잡을 때 나오는 값이다. 틀린 값 → 올바르게는 87kJ이다.
3번 X: 103kJ는 반응 엔탈피의 절댓값을 그대로 전달열로 본 값이다. 정적 닫힌계에서는 $Q = \Delta U$이므로 틀린 값 → 올바르게는 87kJ이다.
4번 X: 119kJ는 ΔnRT의 부호를 반대로 처리해 $-103 - 16 = -119$kJ로 계산할 때 나오는 값이다. 틀린 값 → 올바르게는 87kJ이다.

오답 포인트

정적 과정이라는 조건을 놓치고 $Q = \Delta H$로 바로 두면 3번으로 흐르기 쉽다.
또한 Δn의 부호를 생성물 몰수에서 반응물 몰수를 빼는 순서로 잡지 않으면 4번 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응열 계산 문제는 먼저 계가 닫힌계인지와 정적 조건인지 확인한 뒤 $Q = \Delta U$ 또는 $Q = \Delta H$를 결정한다.
그다음 이상기체 반응이면 Δ n=생성물 기체 몰수-반응물 기체 몰수를 계산해 $\Delta H = \Delta U + \Delta nRT$로 변환한다.

암기 포인트

이상기체 반응에서 정압은 $Q = \Delta H$, 정적은 $Q = \Delta U$이며, 두 값의 차이는 ΔnRT이다.

NoteBase

문 19. 엔트로피에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 가역 공정으로 구성된 Carnot 열기관이 순환되어 초기상태로 돌아왔을 때 계의 엔트로피 변화는 0이다.
ㄴ. 온도가 다른 열원 사이의 열전달 과정에서 우주(전체)의 엔트로피는 감소한다.
ㄷ. 임의의 비가역 공정에 대해 계의 엔트로피 변화는 언제나 0보다 크다.
ㄹ. 초기상태와 최종상태가 같은 가역 공정과 비가역 공정을 비교했을 때, 계의 엔트로피 변화는 항상 같다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄱ, ㄹ
④ ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

엔트로피가 상태함수라는 점과, 비가역 공정에서 항상 증가한다고 말할 수 있는 대상이 계인지 우주인지 구분하는 문제이다.

핵심 개념

엔트로피는 상태함수이므로 계의 엔트로피 변화는 경로가 아니라 초기상태와 최종상태로 결정된다. 따라서 순환공정처럼 처음과 끝 상태가 같으면 계의 엔트로피 변화는 0이다. 비가역 공정에서 항상 증가하는 것은 우주 전체 또는 고립계의 엔트로피이지, 계의 엔트로피 변화 자체가 언제나 양수인 것은 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- ㄱ은 옳다. 가역 공정으로 구성된 Carnot 열기관이 한 순환을 마치고 초기상태로 돌아오면 계의 상태가 원래와 같으므로 계의 엔트로피 변화는 0이다.
- ㄴ은 틀리다. 틀린 표현은 "우주(전체)의 엔트로피는 감소한다"이다. 실제로는 온도 차가 있는 두 열원 사이의 자연 열전달에서는 우주 전체의 엔트로피가 증가한다.
- 따라서 ㄱ, ㄴ만 고른 ①은 틀리다.

② X
- ㄱ은 옳다.
- ㄷ은 틀리다. 틀린 표현은 "계의 엔트로피 변화는 언제나 0보다 크다"이다. 실제로는 비가역 공정이라도 계의 엔트로피 변화는 초기상태와 최종상태에 따라 음수, 0, 양수가 모두 가능하다. 항상 0보다 큰 것은 우주 전체 또는 고립계의 엔트로피 변화이다.
- 따라서 ㄱ, ㄷ만 고른 ②는 틀리다.

③ O
- ㄱ은 옳고 ㄹ도 옳다.
- ㄹ은 엔트로피가 상태함수라는 점을 묻는 진술이다. 초기상태와 최종상태가 같으면 가역 공정이든 비가역 공정이든 계의 엔트로피 변화는 같다.
- 따라서 옳은 것만 모두 고른 조합은 ③이다.

④ X
- ㄷ은 틀리고 ㄹ은 옳다.
- ㄷ의 올바른 표현은 "비가역 공정에서 우주 전체의 엔트로피 변화는 0보다 크다" 또는 "고립계의 엔트로피는 증가한다"이다.
- ㄹ만 옳은데 ④는 ㄷ까지 포함하므로 틀리다.

오답 포인트

비가역이라는 말만 보고 계의 엔트로피도 무조건 증가한다고 연결하면 ㄷ에 걸린다. 또 열은 고온에서 저온으로 자발적으로 이동하므로 우주 전체의 엔트로피는 감소가 아니라 증가한다는 점을 놓치면 ㄴ에 걸린다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 엔트로피가 상태함수인지 확인하고, 그다음 진술의 대상이 계인지 우주인지 구분하면 된다. 순환이면 계의 엔트로피 변화는 0이고, 같은 초기상태와 최종상태라면 경로가 달라도 계의 엔트로피 변화는 같다. 비가역에서 항상 증가한다고 말할 수 있는 대상은 우주 전체 또는 고립계이다.

NoteBase

암기 포인트

순환이면 계의 엔트로피 변화는 0이고, 같은 상태면 경로와 무관하며, 비가역에서 증가하는 것은 우주 전체의 엔트로피이다.

NoteBase

문 20. 대기압에서 수행되는 정상상태 흐름 공정에서 T_1의 온도와 $\dot{n}_1[mols^{-1}]$의 유속으로 공급되는 공기가 T_2의 온도와 $\dot{n}_2[mols^{-1}]$의 유속으로 공급되는 공기와 연속적으로 혼합되어 대기압에서 온도가 T_3인 생성물 흐름으로 배출된다. 이 공정의 엔트로피 생성률($\dot{S}_{gen}$)을 구하는 식은? (단, 공기는 이상기체이고, 공기의 정압 열용량 C_P는 온도에 무관하게 일정하며, 외부의 온도는 T_0이고, $\dot{Q}$는 계로 전달되는 열전달률로서 계로 전달될 때 양의 값을 갖는다. $T_1 > T_2 > T_3 > T_0$이며, 흐름들의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)

① $C_P\left(\dot{n}_1 \ln\frac{T_2}{T_1} + \dot{n}_2 \ln\frac{T_3}{T_2}\right) - \frac{\dot{Q}}{T_0}$
② $C_P(\dot{n}_1 + \dot{n}_2)\left(\ln\frac{T_2}{T_1} + \ln\frac{T_3}{T_2}\right) - \frac{\dot{Q}}{T_0}$
③ $C_P\left(\dot{n}_1 \ln\frac{T_3}{T_1} + \dot{n}_2 \ln\frac{T_3}{T_2}\right) - \frac{\dot{Q}}{T_0}$
④ $C_P(\dot{n}_1 + \dot{n}_2)\left(\ln\frac{T_3}{T_1} + \ln\frac{T_3}{T_2}\right) - \frac{\dot{Q}}{T_0}$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 혼합기의 엔트로피 수지식과 이상기체의 $C_P\ln(T_2/T_1)$ 형태의 엔트로피 변화를 이용해 $\dot{S}_{gen}$ 식을 고르는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 두 유입류의 온도 T_1, T_2, 몰유량 $\dot{n}_1, \dot{n}_2$, 유출 온도 T_3, 외부 온도 T_0, 열전달률 $\dot{Q}$이다.
모든 흐름은 대기압이므로 압력에 의한 엔트로피 항은 서로 상쇄된다.
공기는 이상기체이고 C_P가 일정하므로 각 유입류의 엔트로피 변화는 온도비의 로그항으로 각각 계산된다.

사용할 공식

정상상태 엔트로피 수지는 $\dot{S}_{gen} = \sum \dot{n}_{out} s_{out} - \sum \dot{n}_{in} s_{in} - \frac{\dot{Q}}{T_0}$ 이다.
이 문제는 두 유입류가 하나의 유출류로 섞이는 정상상태 혼합기이므로
$\dot{S}_{gen} = \dot{n}_1(s_3 - s_1) + \dot{n}_2(s_3 - s_2) - \frac{\dot{Q}}{T_0}$ 로 쓴다.
또한 같은 압력에서 이상기체의 엔트로피 변화는 $s_3 - s_1 = C_P \ln\frac{T_3}{T_1}$, $s_3 - s_2 = C_P \ln\frac{T_3}{T_2}$ 이다.

계산 과정

1. 각 유입류를 자기 입구 상태에서 공통 출구 상태 T_3까지 따로 계산한다.
2. 따라서 $\dot{S}_{gen} = C_P\left(\dot{n}_1 \ln\frac{T_3}{T_1} + \dot{n}_2 \ln\frac{T_3}{T_2}\right) - \frac{\dot{Q}}{T_0}$ 가 된다.
3. 보기와 대조하면 3번과 일치한다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. 첫 번째 유입류의 엔트로피 변화를 $\dot{n}_1 \ln(T_2/T_1)$로 쓴 부분이 틀렸다. 첫 번째 유입류는 $T_1 \rightarrow T_3$으로 가야 하므로 올바르게는 $\dot{n}_1 \ln(T_3/T_1)$이다.
2번: X. $\dot{n}_1 + \dot{n}_2$ 전체 유량에 $\ln(T_2/T_1) + \ln(T_3/T_2)$를 곱하면 두 유입류를 하나의 가상 유체처럼 순차 가열한 꼴이 된다. 실제로는 각 유입류의 입구 온도가 다르므로 $\dot{n}_1 \ln(T_3/T_1) + \dot{n}_2 \ln(T_3/T_2)$로 분리해야 한다.
3번: O. 정상상태 엔트로피 수지와 이상기체의 일정 C_P 가정을 그대로 적용한 식이다. 열전달률이 계로 들어올 때 양의 값이라는 조건 때문에 열전달 항은 $-\dot{Q}/T_0$로 들어간다.
4번: X. 전체 유량에 $\ln(T_3/T_1) + \ln(T_3/T_2)$를 모두 곱해 두 유입류의 온도차 효과를 이중 반영한 식이다. 올바르게는 각 유입류별 유량을 따로 곱한 3번 식으로 써야 한다.

오답 포인트

혼합기 문제에서 가장 흔한 실수는 각 유입류의 엔트로피 변화를 따로 잡지 않고 총유량으로 묶어 버리는 점이다. 또한 문제에서 $\dot{Q}$를 계로 전달될 때 양으로 정의했으므로 엔트로피 수지식의 열전달 항 부호를 반대로 쓰면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

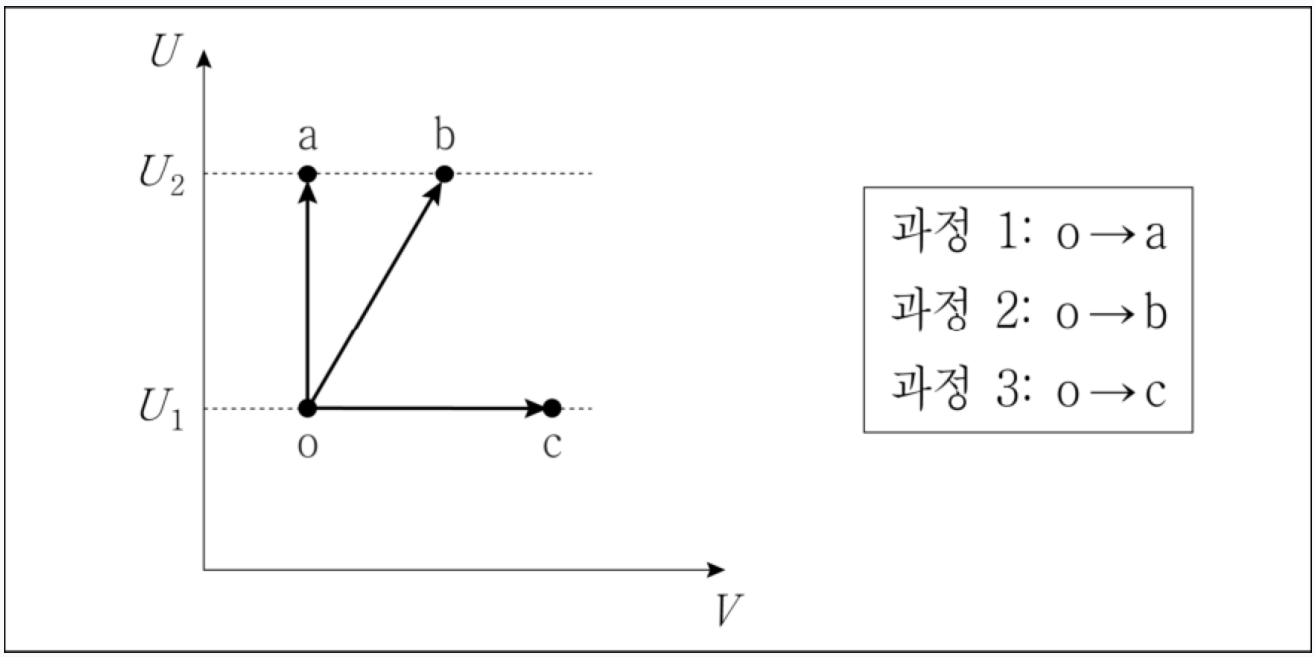
혼합기의 엔트로피 생성률은 먼저 유출 엔트로피합에서 유입 엔트로피합과 $\dot{Q}/T_b$를 뺀 정상상태 수지식을 세운다. 그다음 각 유입류를 자기 입구 상태에서 공통 출구 상태까지 따로 계산하고, 같은 압력이면 이상기체의 압력항은 상쇄된다고 판단한다.

암기 포인트

혼합 엔트로피는 총유량 한 번이 아니라 각 유입류별 $\dot{n} C_P \ln(T_{out}/T_{in})$의 합으로 계산된다.

NoteBase

문 21. 그림은 닫힌계에서 이상기체의 내부에너지(U) 변화를 나타낸 것이다. 정압 열용량 C_P와 정적 열용량 C_V는 온도에 무관하다고 가정할 때, 역학적으로 가역인 각 과정(과정 1 ~ 3)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, V는 부피이고, Q_i는 과정 i에서 계로 전달되는 열이다. U_1에 대한 온도는 T_1이고, U_2에 대한 온도는 T_2이다)



ㄱ. 과정 1과 과정 2에서 이 기체의 내부에너지 변화는 모두 $C_V(T_2 - T_1)$으로 같다.

ㄴ. 과정 3에서 이 기체의 엔탈피 변화는 내부에너지 변화보다 크다.

ㄷ. $Q_1 > Q_2$이다.

① ㄱ

② ㄱ, ㄴ

③ ㄱ, ㄷ

④ ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 U-V 도식에서 이상기체의 ΔU, ΔH, 그리고 가역과정의 열출입 Q와 일 W의 관계를 판단하는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: O. 1번은 ㄱ만 옳다고 본 보기이다. 과정 1과 과정 2는 모두 상태 U_1에서 U_2로 가므로 이상기체의 내부에너지 변화는 경로와 무관하게 $\Delta U = C_V(T_2 - T_1)$로 같다. 따라서 ㄱ은 옳다.
2번: X. 2번은 ㄱ, ㄴ을 옳다고 본 보기인데 ㄴ이 틀리므로 오답이다. 과정 3은 U가 U_1로 일정하므로 이상기체에서는 온도도 일정하고 $\Delta U = 0$이다. 이상기체의 엔탈피 H도 온도만의 함수이므로 $\Delta H = 0$이다. 따라서 '엔탈피 변화는 내부에너지 변화보다 크다'가 아니라 '엔탈피 변화와 내부에너지 변화가 모두 0으로 같다'가 올바르다.
3번: X. 3번은 ㄱ, ㄷ을 옳다고 본 보기인데 ㄷ이 틀리므로 오답이다. 과정 1은 등적과정이라 $W_1 = 0$이므로 $Q_1 = \Delta U$이다. 과정 2는 가역 팽창이므로 $W_2 = \int P dV > 0$이고, 같은 ΔU를 만들기 위해 $Q_2 = \Delta U + W_2$가 된다. 따라서 $Q_1 > Q_2$가 아니라 $Q_2 > Q_1$이 올바르다.
4번: X. 4번은 ㄴ, ㄷ을 옳다고 본 보기인데 ㄴ과 ㄷ이 모두 틀리므로 오답이다. 과정 3에서는 $\Delta H = \Delta U = 0$이고, 과정 2는 팽창일이 있어 $Q_2 > Q_1$이다. 올바르게는 ㄱ만 옳다.

오답 포인트

수험생이 U-V 도식을 P-V 도식처럼 읽거나, ΔU와 ΔH가 경로에 따라 달라진다고 착각하면 ㄴ에서 흔들린다. 또 과정 2에서 부피가 증가한다는 사실을 놓치면 가역 팽창일 $W_2 > 0$를 빼먹어 ㄷ을 옳다고 보기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

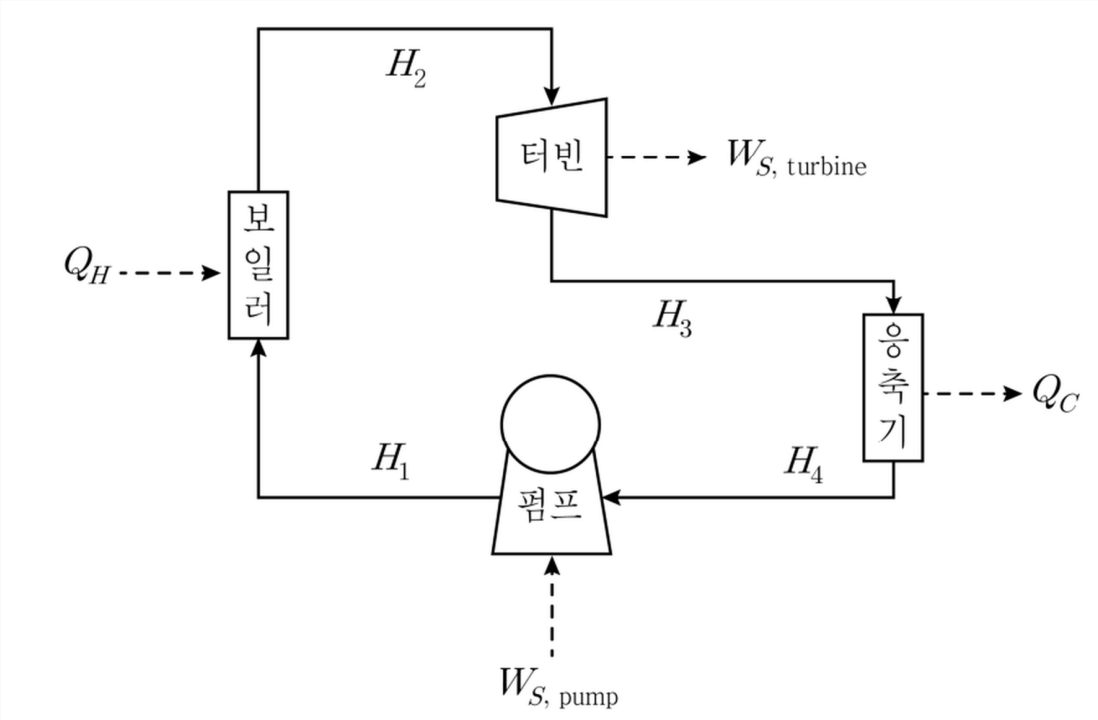
이상기체 문제에서는 먼저 상태함수인 U와 H가 온도만의 함수인지부터 확인한다. 그다음 도식에서 시작점과 끝점이 같으면 ΔU는 같다고 보고, 부피 변화가 있으면 $W = \int P dV$의 부호를 따져 $Q = \Delta U + W$를 적용하면 된다.

암기 포인트

이상기체는 U, H가 모두 온도만으로 결정되고, 같은 ΔU라도 팽창일이 있으면 Q가 더 커진다.

NoteBase

문 22. 그림은 수증기로 작동하는 단순 이상적 Rankine 순환 공정을 나타낸다. 보일러에서 생성된 8,000 kPa, 500 °C의 과열수증기(엔탈피 $H_2 = 3{,}400\,\mathrm{kJkg^{-1}}$)가 터빈으로 공급된다. 터빈으로부터 나오는 증기는 10 kPa에서 응축기로 들어가 포화 액체로 응축된 후, 펌프를 거쳐 보일러로 이송된다. 터빈과 펌프는 등엔트로피 공정으로 작동되며, 터빈에서 나오는 일과 펌프로 들어간 일은 각각 1,280 $\mathrm{kJkg^{-1}}$과 8 $\mathrm{kJkg^{-1}}$이다. 이 조건에서 운전되는 Rankine 순환 공정에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 10 kPa에서 포화 액체의 엔탈피는 192 $\mathrm{kJkg^{-1}}$이고, 정상상태 흐름의 에너지 식을 적용하며, 작동유체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)



① 보일러에서의 엔탈피 변화는 3,200 $\mathrm{kJkg^{-1}}$이다.

② 터빈 공정 후의 엔탈피 H_3 값은 2,800 $\mathrm{kJkg^{-1}}$이다.

③ 펌프 공정 후의 엔탈피 H_1 값은 200 $\mathrm{kJkg^{-1}}$이다.

④ 이 Rankine 순환 공정의 열효율은 45 %보다 낮다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 흐름의 에너지식을 이용해 Rankine 순환의 각 상태 엔탈피와 열효율을 계산하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:
- 터빈 입구 엔탈피 $H_2 = 3400kJ/kg$
- 터빈 일 $W_{S,\,turbine} = 1280kJ/kg$
- 펌프 일 $W_{S,\,pump} = 8kJ/kg$
- 응축기 출구 포화액 엔탈피 $H_4 = 192kJ/kg$

구해야 할 값:
- 터빈 출구 엔탈피 H_3
- 펌프 출구 엔탈피 H_1
- 보일러 열투입량과 열효율

주의할 조건:
- 정상상태 흐름의 에너지식을 적용한다.
- 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다.

사용할 공식

터빈과 펌프는 각각 단열 정상류 장치로 보아 엔탈피 차와 축일을 직접 연결한다.

$W_{turbine} = H_2 - H_3$

$W_{pump} = H_1 - H_4$

$Q_H = H_2 - H_1$

$\eta_{th} = \frac{W_{turbine} - W_{pump}}{Q_H}$

이 공식을 쓰는 이유:

문제에서 터빈에서 나온 일과 펌프로 들어간 일을 질량당 값으로 직접 주었으므로, 정상상태 에너지식에서 열교환이 거의 없는 터빈과 펌프의 엔탈피 차를 바로 계산할 수 있다.

계산 과정

1. 터빈 출구 엔탈피를 구하면

$H_3 = H_2 - W_{turbine} = 3400 - 1280 = 2120kJ/kg$

2. 펌프 출구 엔탈피를 구하면

$H_1 = H_4 + W_{pump} = 192 + 8 = 200kJ/kg$

3. 보일러 열투입량은

$Q_H = H_2 - H_1 = 3400 - 200 = 3200kJ/kg$

4. 순일과 열효율은

$W_{net} = 1280 - 8 = 1272kJ/kg$

$\eta_{th} = \frac{1272}{3200} = 0.3975 = 39.75\%$

따라서 열효율은 45%보다 낮다.

NoteBase

선지별 해설

① O
보일러에서의 엔탈피 변화는 $H_2 - H_1$ 이다. 계산하면 $3400 - 200 = 3200 kJ/kg$ 이므로 옳다.

② X
터빈 공정 후의 엔탈피는 $H_3 = H_2 - W_{turbine} = 2120 kJ/kg$ 이다. 선지의 "$2800 kJ/kg$"가 틀린 표현이며, 올바르게는 "터빈 공정 후의 엔탈피 H_3 값은 $2120 kJ/kg$이다"가 된다.

③ O
펌프 공정 후의 엔탈피는 $H_1 = H_4 + W_{pump} = 192 + 8 = 200 kJ/kg$ 이다. 따라서 옳다.

④ O
열효율은 $\eta_{th} = W_{net}/Q_H = 1272/3200 = 39.75\%$ 이다. 39.75%는 45%보다 낮으므로 옳다.

오답 포인트

②는 터빈 일 $1280 kJ/kg$을 엔탈피 강하로 연결하지 못하면 쉽게 틀린다. 터빈에서는 $H_2 - H_3 = W_{turbine}$이고, 펌프에서는 $H_1 - H_4 = W_{pump}$라는 부호 방향이 서로 다르다는 점도 함께 혼동하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

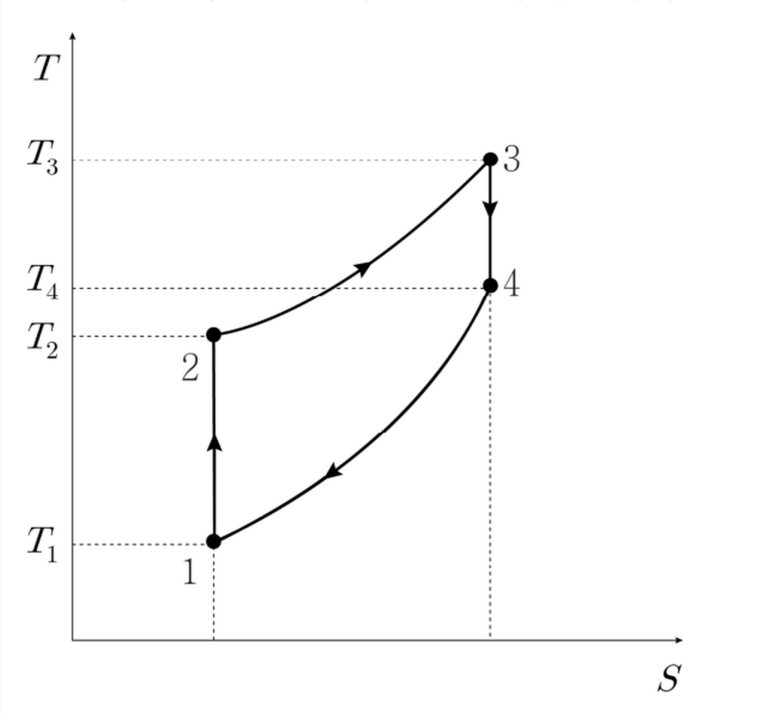
Rankine 순환 계산형 문항은 각 장치별로 입구와 출구 상태를 먼저 적고, 터빈은 엔탈피가 감소하고 펌프는 엔탈피가 증가한다는 방향을 확인한 뒤 Q_H, W_{net}, η_{th} 순서로 계산하면 안정적으로 풀린다.

암기 포인트

단순 Rankine 순환은 $H_3 = H_2 - W_t$, $H_1 = H_4 + W_p$, $\eta_{th} = (W_t - W_p)/(H_2 - H_1)$로 정리된다.

NoteBase

문 23. 그림은 이상적인 공기표준 디젤 사이클의 온도(T)-엔트로피(S) 선도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, C_P와 C_V는 각각 정압 열용량과 정적 열용량이고 온도에 무관하다)



① 1→2 과정과 3→4 과정은 단열 과정이다.

② 2→3 과정에서 압력이 증가한다.

③ 4→1 과정은 정적 과정이다.

④ 열효율은 $\eta = 1 - \frac{C_V}{C_P}\left(\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}\right)$이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 디젤 사이클의 T-S 선도에서 수직선은 등엔트로피 과정, 우상향 곡선은 정압 가열, 좌하향 곡선은 정적 냉각이라는 대응을 읽어 내는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: O. 1→2와 3→4는 T-S 선도에서 수직선이므로 엔트로피가 일정한 등엔트로피 과정이다. 이상적인 공기표준 디젤 사이클에서는 이 두 과정이 가역 단열 압축과 가역 단열 팽창에 해당하므로 단열 과정이라는 설명이 옳다.
2번: X. 2→3은 디젤 사이클의 열공급 구간으로 정압 과정이다. 따라서 압력은 증가하지 않고 일정하다. 틀린 표현은 "압력이 증가한다"이고, 올바르게는 "압력이 일정한 상태에서 열이 공급된다"이다.
3번: O. 4→1은 열방출 구간이며 디젤 사이클에서는 정적 과정으로 가정한다. 따라서 부피가 일정한 상태에서 온도와 엔트로피가 감소하므로 정적 과정이라는 설명이 맞다.
4번: O. 열효율은 $\eta = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$이다. 이 사이클에서 $q_{in} = C_P(T_3 - T_2)$, $q_{out} = C_V(T_4 - T_1)$이므로 $\eta = 1 - \frac{C_V T_4 - T_1}{C_P T_3 - T_2}$가 되어 제시식이 옳다.

오답 포인트

2→3을 오토 사이클처럼 정적으로 착각하면 2번을 고르지 못한다. 디젤 사이클은 열공급이 정압, 열방출이 정적이라는 점을 바꿔 읽는 함정이 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

사이클 선도가 나오면 먼저 수직선 두 구간을 등엔트로피 압축·팽창으로 고정하고, 그다음 열이 들어가는 구간이 정압인지 정적인지로 오토 사이클과 디젤 사이클을 구분하면 된다.

암기 포인트

디젤 사이클은 정압 가열, 정적 냉각, 양끝은 등엔트로피 압축·팽창이다.

NoteBase

문 24. 가스 터빈 기관에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 압축기, 연소실, 터빈의 구성요소를 포함한다.

② 터빈에 유입되는 연소기체의 온도가 높을수록 효율은 높아진다.

③ 실제 가스 터빈에서 기체의 터빈 입구 최고온도는 터빈의 재료에 따라 제한된다.

④ 이상적인 사이클의 알짜(net) 일은 등엔트로피 팽창으로 터빈에서 생산된 일이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 가스 터빈 기관의 기본 구성과 이상 브레이턴 사이클의 효율·알짜일 개념을 구분할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

가스 터빈 기관의 기본 구성은 압축기, 연소실, 터빈이다. 실제 가스 터빈의 터빈 입구 최고온도는 재료의 내열 한계로 제한된다. 이상 브레이턴 사이클의 알짜일은 터빈이 생산한 일 전체가 아니라 터빈일에서 압축기 소요일을 뺀 값이다.

선지별 해설

1번: O. 가스 터빈 기관의 대표적인 기본 구성요소는 압축기, 연소실, 터빈이다.
2번: O. 가스 터빈에서 터빈 입구 연소가스 온도가 높아지면 터빈이 낼 수 있는 일이 커져 효율이 높아지는 방향으로 작용한다.
3번: O. 실제 가스 터빈의 터빈 입구 최고온도는 터빈 재료와 냉각 기술의 한계에 의해 제한된다.
4번: X. 틀린 표현은 "알짜(net) 일은 등엔트로피 팽창으로 터빈에서 생산된 일"이라는 부분이다. 알짜일은 터빈이 생산한 일 자체가 아니라 압축기에 들어간 일을 뺀 순일이며, 이상 브레이턴 사이클에서는 $W_{net} = W_t - W_c$이다.

오답 포인트

터빈에서 생산된 일과 사이클의 알짜일을 같은 뜻으로 보면 4번에 속기 쉽다. 가스 터빈은 압축기에 다시 일을 투입하므로 순일은 항상 차감 개념으로 본다.

다시 나오면 이렇게 판단

구성요소를 묻는 선지는 장치 목록을 확인하고, 효율이나 일 개념을 묻는 선지는 터빈이 만든 일과 압축기에 들어간 일을 분리해서 본다. 특히 "알짜"라는 표현이 나오면 생성일과 소요일의 차인지부터 확인한다.

NoteBase

암기 포인트

가스터빈 기본구성은 압축기-연소실-터빈이고, 브레이턴 사이클의 순일은 터빈일-압축기일이다.

NoteBase

문 25. 상온에서 총부피(V^t)가 $2{,}000\text{cm}^3$인 2성분계 등몰 혼합용액을 만들고자 할 때, 투입해야 하는 각 성분의 부피 V_1^t, V_2^t를 바르게 연결한 것은? (단, 성분 1의 부분 몰부피와 순수 몰부피는 각각 $\overline{V}_1 = 30\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$, $V_1 = 32\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$이고, 성분 2의 부분 몰부피와 순수 몰부피는 각각 $\overline{V}_2 = 10\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$, $V_2 = 12\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$이다. 두 성분은 반응하지 않으며, 혼합열과 증발은 무시한다)

① V_1^t: $1{,}500\text{cm}^3$, V_2^t: 500cm^3

② V_1^t: $1{,}500\text{cm}^3$, V_2^t: 600cm^3

③ V_1^t: $1{,}600\text{cm}^3$, V_2^t: 500cm^3

④ V_1^t: $1{,}600\text{cm}^3$, V_2^t: 600cm^3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 순수 몰부피로 투입 몰수를 구한 뒤, 부분 몰부피로 최종 총부피를 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
성분 1의 부분 몰부피는 $\overline{V}_1 = 30cm^3mol^{-1}$, 순수 몰부피는 $V_1 = 32cm^3mol^{-1}$이다.
성분 2의 부분 몰부피는 $\overline{V}_2 = 10cm^3mol^{-1}$, 순수 몰부피는 $V_2 = 12cm^3mol^{-1}$이다.
최종 총부피는 $V^t = 2000cm^3$이다.
구해야 할 값: 각 성분의 투입 부피 V_1^t, V_2^t이다.
주의할 조건: 투입 부피는 순수 몰부피로 몰수를 환산해야 하고, 혼합 후 총부피는 부분 몰부피로 계산해야 한다.
등몰 혼합용액이므로 두 성분의 몰수는 $n_1 = n_2$이다.

사용할 공식

투입 몰수는 $n_1 = V_1^t/V_1$, $n_2 = V_2^t/V_2$로 구한다.
혼합 후 총부피는 $V^t = n_1\overline{V}_1 + n_2\overline{V}_2$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 최종 혼합용액의 총부피를 물었고, 혼합계의 실제 부피는 순수 몰부피의 단순합이 아니라 각 성분의 부분 몰부피로 계산되기 때문이다.

계산 과정

1. 각 선택지의 투입 부피를 순수 몰부피로 나누어 투입 몰수를 구한다.
2. 구한 몰수에 부분 몰부피를 곱해 최종 총부피 $V^t = n_1\overline{V}_1 + n_2\overline{V}_2$를 계산한다.
3. ④의 경우 $n_1 = 1600/32 = 50mol$, $n_2 = 600/12 = 50mol$이다.
4. 따라서 최종 총부피는 $V^t = 50 \times 30 + 50 \times 10 = 2000cm^3$이다.
5. 조건을 정확히 만족하는 연결은 ④이다.

NoteBase

선지 판단

① X. $V_1^t = 1500cm^3$이면 $n_1 = 1500/32 = 46.875mol$, $V_2^t = 500cm^3$이면 $n_2 = 500/12 \approx 41.67mol$이다. 최종 총부피는 $46.875 \times 30 + 41.67 \times 10 \approx 1822.9cm^3$이므로 부족하다. 잘못 연결된 값이고, 올바르게는 $V_1^t = 1600cm^3$, $V_2^t = 600cm^3$이어야 한다.
② X. $V_1^t = 1500cm^3$이면 $n_1 = 46.875mol$, $V_2^t = 600cm^3$이면 $n_2 = 50mol$이다. 최종 총부피는 $46.875 \times 30 + 50 \times 10 = 1906.25cm^3$이다. 성분 1의 투입량이 부족한 연결이고, 올바르게는 성분 1을 $1600cm^3$ 투입해야 한다.
③ X. $V_1^t = 1600cm^3$이면 $n_1 = 50mol$, $V_2^t = 500cm^3$이면 $n_2 \approx 41.67mol$이다. 최종 총부피는 $50 \times 30 + 41.67 \times 10 \approx 1916.7cm^3$이다. 성분 2의 투입량이 부족한 연결이고, 올바르게는 성분 2를 $600cm^3$ 투입해야 한다.
④ O. $V_1^t = 1600cm^3$, $V_2^t = 600cm^3$이면 각각 $50mol$, $50mol$이 투입된다. 따라서 최종 총부피는 $50 \times 30 + 50 \times 10 = 2000cm^3$가 되어 조건을 정확히 만족한다.

오답 포인트

순수 몰부피 V_i와 부분 몰부피 $\overline{V}_i$를 같은 값처럼 다루면 틀린다. 이 문제는 투입 단계에서는 순수 몰부피를, 혼합 후 총부피 계산에서는 부분 몰부피를 써야 하는데, 이 둘을 섞어 쓰면 ①~③ 같은 부족한 값이 정답처럼 보이기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

혼합계 부피 문제는 먼저 투입 부피를 순수 몰부피로 나누어 몰수를 구하고, 그다음 그 몰수에 부분 몰부피를 곱해 최종 부피를 계산하는 순서로 판단한다. 투입 전 성질과 혼합 후 성질을 분리하면 계산 실수를 줄일 수 있다.

암기 포인트

투입 부피는 순수 몰부피로, 혼합 후 총부피는 부분 몰부피로 계산한다.

NoteBase