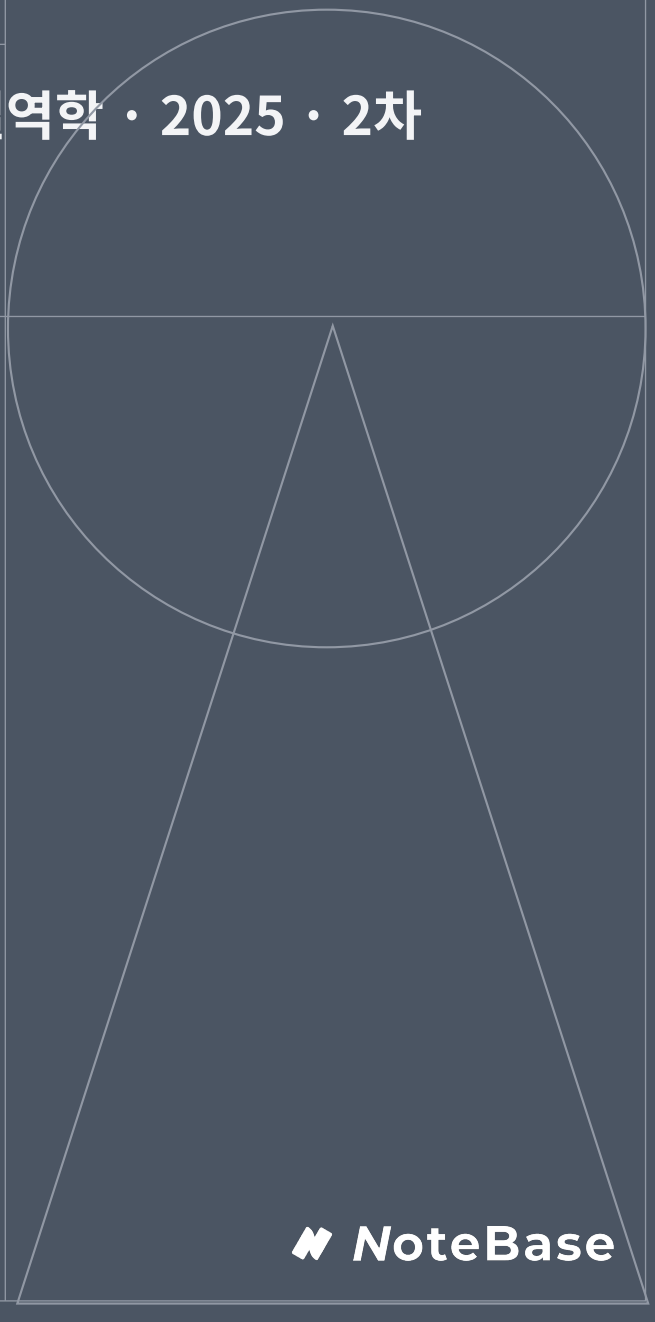
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2025 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2025 · 2차

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2025 · 2차

문 1. 자유도(degree of freedom)가 2인 계만을 모두 고르면?

ㄱ. 삼중점 상태의 물
ㄴ. 초임계 상태의 물
ㄷ. 기-액 평형을 이루고 있는 물
ㄹ. 기-액 평형을 이루고 있는 에탄올 수용액

① ㄱ, ㄷ
② ㄱ, ㄹ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄴ, ㄹ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비반응 평형계의 깁스 상규칙으로 1성분계와 2성분계의 자유도를 판별하는 문제이다.

핵심 개념

자유도는 평형 상태를 정하기 위해 독립적으로 정할 수 있는 집약변수의 수이다.
비반응 평형계의 상규칙은 $F = C - P + 2$이다.
삼중점은 1성분 3상 공존점이므로 $F = 1 - 3 + 2 = 0$이다.
초임계 상태의 물은 액상과 기상의 경계가 없는 1상 계이므로 $F = 1 - 1 + 2 = 2$이다.
순수한 물의 기-액 평형은 1성분 2상 계이므로 $F = 1 - 2 + 2 = 1$이다.
에탄올 수용액의 기-액 평형은 2성분 2상 계이므로 $F = 2 - 2 + 2 = 2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
ㄱ은 삼중점 상태의 순수한 물이므로 고체, 액체, 기체 3상이 공존한다. 따라서 자유도는 0이고, ㄷ도 순수한 물의 기-액 평형이라 자유도 1이므로 'ㄱ, ㄷ' 조합은 성립하지 않는다. 올바른 조합은 ㄴ, ㄹ이다.
② X
ㄱ은 삼중점이라 자유도 0이므로 포함될 수 없다. ㄹ은 맞지만 ㄱ 때문에 전체 조합이 틀리며, 올바른 조합은 ㄴ, ㄹ이다.
③ X
ㄴ은 초임계 상태의 물이라 1상 1성분 계이므로 자유도 2이다. 그러나 ㄷ은 순수한 물의 기-액 평형이라 2상 1성분 계이므로 자유도 1이다. 따라서 'ㄴ, ㄷ' 조합은 성립하지 않으며, 올바른 조합은 ㄴ, ㄹ이다.
④ O
ㄴ은 초임계 상태의 물로 자유도 2이고, ㄹ은 에탄올-물 2성분계의 기-액 평형으로 자유도 2이다. 따라서 자유도 2인 계만 묶은 조합은 ㄴ, ㄹ이다.

오답 포인트

삼중점과 기-액 평형을 모두 '평형 상태'로만 보고 자유도를 같게 처리하면 오답이 된다. 이 문항은 상의 수 P와 성분 수 C를 각각 세지 않고 상태 이름만 보고 판단하는 실수를 노린 문제이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 성분 수 C와 상의 수 P를 센 뒤 $F = C - P + 2$를 적용한다. 1성분계는 1상이면 2, 2상이면 1, 3상이면 0으로 줄어들고, 2성분 기-액 평형은 보통 자유도 2로 판단한다.

암기 포인트

1성분계는 상이 하나 늘 때마다 자유도가 1씩 줄고, 2성분 2상 평형은 $F = 2$이다.

NoteBase

문 2. 이상기체로 채워진 닫힌계의 가역 공정에서 엔탈피 변화량(ΔH)에 대한 설명으로 옳은 것은?

① ΔH는 항상 0이다.

② ΔH는 계의 경로에만 의존한다.

③ 닫힌계에서는 엔탈피를 정의할 수 없다.

④ 정압 공정에서 ΔH는 계로 유입된 열과 같다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔탈피가 상태량이라는 점과 정압 가역 공정의 닫힌계에서 $Q = \Delta H$가 성립하는 조건을 묻는 문제이다.

핵심 개념

엔탈피는 $H = U + PV$로 정의되는 상태량이다.
이상기체에서는 H가 온도만의 함수이므로 $\Delta H = nC_p\Delta T$이다.
정압 가역 공정의 닫힌계에서는 경계일이 $W = \int PdV = P\Delta V$로 정리되므로, 제1법칙에 따라
$Q = \Delta U + P\Delta V = \Delta H$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
\"항상 0\"이라는 표현이 틀렸다. 이상기체의 엔탈피는 온도만의 함수이므로 온도가 변하면 $\Delta H = nC_p\Delta T$로 0이 아닐 수 있다.
올바르게는 \"이상기체에서 온도 변화가 0일 때에만 $\Delta H = 0$이다\"가 된다.

② X
\"경로에만 의존한다\"는 표현이 틀렸다. 엔탈피 변화량은 상태량의 변화이므로 처음 상태와 끝 상태에만 의존한다.
올바르게는 \"ΔH는 계의 경로가 아니라 상태 변화에만 의존한다\"가 된다.

③ X
\"닫힌계에서는 엔탈피를 정의할 수 없다\"는 표현이 틀렸다. 엔탈피는 $H = U + PV$로 정의되므로 닫힌계와 열린계 모두에서 정의할 수 있다.
올바르게는 \"닫힌계에서도 엔탈피를 정의할 수 있으며, 열린계 해석에서 특히 자주 쓸 뿐이다\"가 된다.

④ O
정압 가역 공정의 닫힌계에서 경계일만 존재하면 $Q = \Delta U + W = \Delta U + P\Delta V$이고, 이는 $\Delta H = \Delta(U + PV) = \Delta U + P\Delta V$와 같아진다. 따라서 계로 유입된 열은 ΔH와 같다.

오답 포인트

①은 \"이상기체\"를 보고 엔탈피 변화가 무조건 0이라고 착각하게 만드는 함정이다. ②는 엔탈피를 열량처럼 경로함수로 혼동하게 만들고, ③은 엔탈피를 열린계 전용 개념으로 오해하게 만든다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 엔탈피가 $H = U + PV$인 상태량인지 확인하고, 이상기체이면 $H = H(T)$라는 점을 본다. 그다음 정압 닫힌계에서 가역 경계일이 $P\Delta V$로 정리되는지를 확인하면 $Q = \Delta H$ 여부를 바로 판단할 수 있다.

암기 포인트

이상기체의 엔탈피는 온도만으로 정해지고, 정압 가역 닫힌계의 열전달은 ΔH로 정리된다.

NoteBase

문 3. 200 K에서 기체 A가 비리얼(virial) 방정식을 따르며, 제2 비리얼 계수 B는 $-200\mathrm{cm^3mol^{-1}}$이다. 이 온도에서 기체 A의 몰부피가 $1{,}000\mathrm{cm^3mol^{-1}}$이 되는 압력[bar]은? (단, 비리얼 방정식은 제2 비리얼 계수만 고려하고, 기체상수 $R = 80\mathrm{cm^3barmol^{-1}K^{-1}}$이다)

① 12.8

② 25.6

③ 128

④ 256

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 제2 비리얼 계수까지만 남긴 비리얼 방정식으로 압력을 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값은 $T = 200K, B = -200cm^3mol^{-1}, V_m = 1000cm^3mol^{-1}, R = 80cm^3barmol^{-1}K^{-1}$이다.
구해야 할 값은 몰부피가 $1000cm^3mol^{-1}$일 때의 압력이다.
비리얼 방정식은 제2 비리얼 계수까지만 고려하므로 $Z = 1 + \frac{B}{V_m}$를 사용한다.

사용할 공식

사용 공식은 $Z = \frac{PV_m}{RT} = 1 + \frac{B}{V_m}$이다.
따라서 $P = \frac{RT}{V_m}\left(1 + \frac{B}{V_m}\right)$이다.
문제에서 제2 비리얼 계수만 고려하라고 했으므로 몰부피 전개형의 첫 보정항 $\frac{B}{V_m}$까지만 넣으면 된다.
비리얼 방정식에는 몰부피로 전개한 형태 $Z = 1 + \frac{B}{V_m} + \cdots$와 압력으로 전개한 형태 $Z = 1 + B'P + \cdots$의 두 가지가 있는데, 두 계수는 서로 다르며 이 문제는 몰부피 V_m이 직접 주어졌으므로 몰부피 전개형 $Z = 1 + \frac{B}{V_m}$을 쓰는 것이 자연스럽다.

계산 과정

$\frac{B}{V_m} = \frac{-200}{1000} = -0.2$
$Z = 1 + \frac{B}{V_m} = 1 - 0.2 = 0.8$
$P = \frac{RT}{V_m}Z = \frac{80 \times 200}{1000} \times 0.8 = 16 \times 0.8 = 12.8bar$
따라서 압력은 12.8 bar이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과가 12.8 bar이므로 옳다.
② X: 25.6 bar는 계산 결과와 다르다. 또한 $B < 0$이면 $Z < 1$이 되어 실제 압력은 이상기체값보다 작아져야 하므로 25.6 bar처럼 더 큰 값은 나올 수 없다. 압력은 25.6 bar가 아니라 12.8 bar이다.
③ X: 128 bar는 계산 결과와 크게 다르다. 이상기체값 $\frac{RT}{V_m}$도 16 bar인데, 음의 제2 비리얼 계수를 넣으면 여기서 더 작아져야 하므로 128 bar는 성립할 수 없다. 압력은 128 bar가 아니라 12.8 bar이다.
④ X: 256 bar도 계산 결과와 크게 다르다. 이 값은 몰부피를 과소평가하거나 단위를 잘못 읽어 압력을 과대계산한 경우에 가까우며, 올바른 비리얼 보정을 하면 12.8 bar가 된다. 압력은 256 bar가 아니라 12.8 bar이다.

오답 포인트

음의 제2 비리얼 계수는 Z를 1보다 작게 만들어 압력이 이상기체값보다 작아진다는 방향을 놓치면 틀리기 쉽다. 또한 R의 단위가 이미 $cm^3 bar mol^{-1} K^{-1}$이므로 별도 단위 환산 없이 그대로 계산해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

비리얼 계산형은 먼저 $Z = 1 + \frac{B}{V_m}$인지 확인하고, 다음에 $\frac{RT}{V_m}$로 이상기체값을 구한 뒤, 마지막에 Z를 곱해 압력이 이상기체값보다 커지는지 작아지는지 방향까지 함께 검산한다.

암기 포인트

제2 비리얼까지만 쓰면 $P = \frac{RT}{V_m}\left(1 + \frac{B}{V_m}\right)$이고, $B < 0$이면 실제 압력은 이상기체값보다 작다.

NoteBase

문 4. 다음은 이상기체의 정압 몰열용량(C_P)에 대한 식이다. 일정한 압력에서 이상기체의 온도가 T_1에서 $3T_1$으로 변할 때, 몰엔탈피 변화량(ΔH)은? (단, A와 B는 상수, T는 온도, R은 기체상수이다)

$$\frac{C_P}{R} = A + BT$$

① $R(AT_1 + 4BT_1^2)$

② $R(2AT_1 + BT_1^2)$

③ $R(2AT_1 + 2BT_1^2)$

④ $R(2AT_1 + 4BT_1^2)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 온도의 함수로 주어진 C_P를 적분하여 이상기체의 몰엔탈피 변화량 ΔH를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $\frac{C_P}{R} = A + BT$이므로 $C_P = R(A + BT)$이다.
온도 변화는 $T_1 \rightarrow 3T_1$이다.
구해야 할 값은 일정한 압력에서의 몰엔탈피 변화량 ΔH이다.

사용할 공식

이상기체의 엔탈피는 온도만의 함수이므로
$\Delta H = \int_{T_1}^{3T_1} C_P dT$
이다.
여기에 $C_P = R(A + BT)$를 대입해 적분한다.

계산 과정

1. $\Delta H = \int_{T_1}^{3T_1} R(A + BT)dT = R\int_{T_1}^{3T_1} (A + BT)dT$이다.
2. 적분하면 $\Delta H = R\left[AT + \frac{B}{2}T^2\right]_{T_1}^{3T_1}$이다.
3. 값을 대입하면 $\Delta H = R\left[A(3T_1 - T_1) + \frac{B}{2}\{(3T_1)^2 - T_1^2\}\right]$이다.
4. 정리하면 $\Delta H = R(2AT_1 + 4BT_1^2)$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 틀린 표현은 AT_1이다. 올바르게는 $A(3T_1 - T_1) = 2AT_1$이어야 한다. B항의 $4BT_1^2$는 맞지만 A항 적분 결과를 반만 반영한 값이므로 전체 엔탈피 변화량이 아니다.
② X: 틀린 표현은 BT_1^2이다. 올바르게는 $\frac{B}{2}\{(3T_1)^2 - T_1^2\} = 4BT_1^2$이어야 한다. 이는 BT를 적분한 뒤 상한과 하한을 대입하는 과정을 충분히 반영하지 못한 값이다.
③ X: 틀린 표현은 $2BT_1^2$이다. 올바르게는 $4BT_1^2$이다. 이는 $\frac{1}{2}$는 반영했지만 $(3T_1)^2 - T_1^2 = 8T_1^2$를 끝까지 계산하지 않은 값이다.
④ O: 적분 결과가 $\Delta H = R(2AT_1 + 4BT_1^2)$이므로 옳다.

오답 포인트

이 문제는 C_P 값을 한 점에서 대입하는 문제가 아니라 온도 구간 전체에 대해 적분하는 문제이다. 특히 BT항은 적분하면 $\frac{B}{2}T^2$가 되고, 상한 $3T_1$을 제곱하면 $9T_1^2$가 된다는 점을 놓치면 ②나 ③ 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

온도에 따라 변하는 열용량이 주어지면 먼저 C_P 식을 정리하고, 이상기체 엔탈피 변화는 $\Delta H = \int C_P dT$로 처리한다. 이후 상수항과 T항을 각각 적분한 뒤 상한과 하한을 대입해 선지와 비교하면 된다.

암기 포인트

이상기체는 $H = H(T)$이므로 $\Delta H = \int C_P dT$이다. BT항 적분은 $\frac{B}{2}T^2$가 된다.

NoteBase

문 5. 일정한 압력으로 유지되는 피스톤-실린더 장치 내에 초기온도가 300 K인 이상기체 2몰이 밀폐되어있다. 장치 내부로 800 J의 열이 유입될 때, 이상기체의 최종온도[K]는? (단, 정적 열용량은 $\frac{3}{2}R$이고, 기체상수 $R = 8\text{J}\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$이다. 가역 공정이고, 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)

① 320

② 330

③ 340

④ 350

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 등압 가역 과정에서 이상기체에 대해 $Q = nC_p\Delta T$, $C_p = C_v + R$를 적용하여 최종온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 초기온도 300 K, 몰수 2 mol, 유입 열량 800 J, $C_v = \frac{3}{2}R$, $R = 8\text{J}\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$이다.
구해야 할 값은 최종온도 T_2이다.
일정한 압력의 가역 과정이므로 $Q = nC_p\Delta T$를 바로 쓸 수 있다.

사용할 공식

$C_p = C_v + R = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R$
$Q = nC_p\Delta T$
등압 과정에서는 유입된 열이 내부에너지 증가와 경계일에 함께 쓰이므로 C_p를 사용한다.

계산 과정

$C_p = \frac{5}{2}R = \frac{5}{2} \times 8 = 20\text{J}\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$
$\Delta T = \frac{Q}{nC_p} = \frac{800}{2 \times 20} = 20\text{K}$
$T_2 = T_1 + \Delta T = 300 + 20 = 320\text{K}$
따라서 최종온도는 320 K이다.

NoteBase

선지 판단

① O: 계산 결과 최종온도는 320 K이므로 맞다.
② X: 330 K는 $\Delta T = 30\text{K}$로 본 값인데, 실제로는 $\Delta T = 20\text{K}$이다. 최종온도는 330 K가 아니라 320 K이다.
③ X: 340 K는 $\Delta T = 40\text{K}$를 가정한 값이다. 이 경우 필요한 열량은 $nC_p\Delta T = 2 \times 20 \times 40 = 1600\text{J}$이므로 주어진 800 J와 맞지 않는다. 최종온도는 340 K가 아니라 320 K이다.
④ X: 350 K는 $\Delta T = 50\text{K}$에 해당하는 값이다. 이는 C_p 대신 기체상수 R만 사용하여 $Q = nR\Delta T = 2 \times 8 \times \Delta T = 16\Delta T$로 계산할 때 $\Delta T = \frac{800}{16} = 50\text{K}$가 되어 나오는 오답이다. 올바르게는 등압 과정이므로 $C_p = \frac{5}{2}R$를 써야 하며, 최종온도는 350 K가 아니라 320 K이다.

오답 포인트

등압 과정이라는 조건을 보고도 Q를 모두 경계일로 처리하거나 C_v만 쓰면 틀린다. 이 문제는 등압이므로 $C_p = C_v + R$를 만든 뒤 열량식을 적용해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

피스톤-실린더 문제에서 압력이 일정하면 먼저 등압 과정인지 확인하고, 다음에 $C_p = C_v + R$를 만든 뒤 $Q = nC_p\Delta T$로 온도변화를 계산하면 된다.

암기 포인트

이상기체 등압 가열은 $Q = nC_p\Delta T$, 그리고 $C_p = C_v + R$이다.

NoteBase

문 6. 어느 주택에 냉방용량이 30 kW이고 증기-압축 사이클로 작동하는 냉방 시스템을 설치하고자 한다. 이 냉방 시스템의 성능계수는 Carnot 성능계수의 75%이고, Carnot 사이클로 작동할 경우 응축기 온도(T_H)와 증발기 온도(T_C)의 비율($\frac{T_H}{T_C}$)은 1.25이다. 증기-압축 냉방 시스템에 소요되는 전력량[kW]은? (단, 두 사이클은 같은 온도 수준에서 작동한다)

① 6

② 7.5

③ 10

④ 24

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 카르노 냉동기 성능계수와 실제 성능계수의 관계를 이용해 소요 전력량을 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 냉방용량 $\dot{Q}_L = 30\text{kW}$, 실제 성능계수는 카르노 성능계수의 75%, 온도비는 $T_H/T_C = 1.25$이다.
구해야 할 값은 증기-압축 냉방 시스템의 소요 전력량 $\dot{W}$이다.
주의할 조건은 냉방기이므로 열펌프 COP가 아니라 냉동기 COP COP_R를 사용해야 한다는 점이다.

사용할 공식

$COP_{R,\,\text{Carnot}} = \frac{T_C}{T_H - T_C} = \frac{1}{T_H/T_C - 1}$
$COP_R = 0.75 COP_{R,\,\text{Carnot}}$
$\dot{W} = \frac{\dot{Q}_L}{COP_R}$
이 공식을 쓰는 이유는 주어진 값이 냉방용량과 온도비이므로 먼저 카르노 냉동기의 성능계수를 구한 뒤, 실제 성능계수로 보정하여 전력량을 계산하는 구조이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 카르노 냉동기 성능계수는
$COP_{R,\,\text{Carnot}} = \frac{1}{1.25 - 1} = \frac{1}{0.25} = 4$
이다.
2. 실제 냉방 시스템의 성능계수는
$COP_R = 0.75 \times 4 = 3$
이다.
3. 소요 전력량은
$\dot{W} = \frac{30}{3} = 10\text{kW}$
이다.

선지별 해설

① X: 6 kW는 계산 결과와 다르다. 이는 냉동기 COP 대신 열펌프의 카르노 COP $T_H/(T_H - T_C) = 5$를 잘못 적용해 30/5로 처리한 경우에 나오는 값이다. 올바르게는 소요 전력량이 6 kW가 아니라 10 kW이다.
② X: 7.5 kW는 카르노 냉동기 COP 4는 구했지만 실제 성능계수가 그 75%라는 조건을 누락해 30/4로 계산한 값이다. 올바르게는 실제 COP를 3으로 낮춘 뒤 10 kW를 구해야 한다.
③ O: 실제 성능계수는 $0.75 \times 4 = 3$이고, 전력량은 $30/3 = 10\text{kW}$이므로 맞는 선지이다.
④ X: 24 kW는 $T_C/T_H = 0.8$ 같은 비율만 꺼내어 전력식에 직접 대입하거나 열기관 효율 개념과 냉동기 COP를 혼동할 때 나오는 오답이다. 올바르게는 냉동기 COP를 먼저 계산해야 하며 결과는 24 kW가 아니라 10 kW이다.

오답 포인트

가장 큰 함정은 냉동기 COP와 열펌프 COP를 혼동하는 점, 그리고 실제 성능계수가 카르노 COP의 75%라는 보정 조건을 빠뜨리는 점이다. ②는 보정 조건 누락, ①과 ④는 공식 자체의 선택 오류를 노린 오답이다.

다시 나오면 이렇게 판단

온도비 T_H/T_C가 주어지면 먼저 카르노 냉동기 COP를 $1/(T_H/T_C - 1)$로 바꾸고, 실제 COP 보정값을 적용한 뒤 마지막에 $\dot{W} = \dot{Q}_L/COP$로 전력량을 계산하는 순서로 판단된다.

암기 포인트

카르노 냉동기 성능계수는 $COP_R = T_C/(T_H - T_C) = 1/(T_H/T_C - 1)$이고, 냉방기 전력은 $\dot{Q}_L/COP$로 구해진다.

NoteBase

문 7. 다음은 25°C에서 반응식과 표준 반응열(ΔH°)이다. 1-프로판올(C_3H_7OH)의 연소 반응($C_3H_7OH(l) + aO_2(g) \rightarrow bCO_2(g) + cH_2O(l)$)에 대한 25°C에서의 표준 연소열[$kJmol^{-1}$]은? (단, a, b, c는 상수이다)

반응식	$\triangle H^\circ$ [kJ mol^{-1}]
$C_3H_7OH(l) \rightarrow 3C(s) + 4H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$	200
$CO_2(g) \rightarrow C(s) + O_2(g)$	400
$H_2O(l) \rightarrow H_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$	280

① -2,520

② -2,320

③ -2,280

④ -2,120

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 헤스의 법칙으로 주어진 분해반응의 표준 반응열을 표준 생성열로 바꾼 뒤, 1-프로판올의 표준 연소열을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- C_3H_7OH(l) → 3C(s)+4H_2(g)+12 O_2(g), $\Delta H^\circ = 200 kJmol^{-1}$
- $CO_2(g) \rightarrow C(s) + O_2(g)$, $\Delta H^\circ = 400 kJmol^{-1}$
- H_2O(l) → H_2(g)+12 O_2(g), $\Delta H^\circ = 280 kJmol^{-1}$

구해야 할 값: 25°C에서 1-프로판올의 표준 연소열
주의할 조건: 주어진 세 반응은 생성반응이 아니라 분해반응이므로, 표준 생성열로 쓰려면 반응을 뒤집어 부호를 바꿔야 한다.

NoteBase

사용할 공식

$\Delta H^\circ_{\text{rxn}} = \sum u\Delta H_f^\circ\,(\text{products}) - \sum u\Delta H_f^\circ\,(\text{reactants})$
이 공식을 쓰는 이유:
연소열은 연소반응의 반응엔탈피이므로, 주어진 분해반응을 뒤집어 각 물질의 표준 생성열로 바꾼 다음 생성물 합에서 반응물 합을 빼서 구한다.

계산 과정

1. 주어진 반응을 뒤집으면 $\Delta H_f^\circ\,(C_3H_7OH(l)) = -200$, $\Delta H_f^\circ\,(CO_2(g)) = -400$,
$\Delta H_f^\circ\,(H_2O(l)) = -280\text{kJmol}^{-1}$이다.
2. 1-프로판올의 연소반응은 C_3H_7OH(l)+92 O_2(g)→ 3CO_2(g)+4H_2O(l)이다.
3. 따라서
$\Delta H^\circ_{\text{comb}} = [3(-400) + 4(-280)] - [(-200) + 0]$
$= -1200 - 1120 + 200 = -2120\text{kJmol}^{-1}$
따라서 표준 연소열은 -2120kJmol^{-1}이다.

선지별 해설

① X
- -2520은 1-프로판올의 반응열 200을 뒤집지 않고 그대로 빼서 $-1200 - 1120 - 200$으로 계산한 값이다.
- 올바르게는 1-프로판올의 표준 생성열을 -200으로 두어 $[3(-400) + 4(-280)] - (-200) = -2120$이 된다.

② X
- -2320은 생성물인 $3CO_2$와 $4H_2O$ 항만 합하고, 반응물인 1-프로판올의 생성열 -200을 식에서 빠뜨린 값이다.
- 올바르게는 생성물 합에서 반응물 합을 빼야 하므로 $-2320 - (-200) = -2120$이 된다.

③ X
- -2280은 헤스의 법칙 식 $[3(-400) + 4(-280)] - (-200)$과 일치하지 않는 값이므로 물 항 또는 반응물 항의 계수·부호 처리가 잘못된 계산이다.
- 올바르게는 $3CO_2$와 $4H_2O$의 생성열을 모두 반영하고 1-프로판올 생성열을 빼서 -2120을 얻는다.

④ O
- -2120은 균형 연소반응 C_3H_7OH+92 O_2→ 3CO_2+4H_2O와 표준 생성열 식을 정확히 적용한 값이다.
- 따라서 정답 선택지는 ④이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 핵심 함정은 주어진 값이 표준 생성열이 아니라 분해반응의 표준 반응열이라는 점이다. 반응을 뒤집어 부호를 바꾸지 않으면 ①처럼 틀리고, 반응물 항을 빼는 단계를 빠뜨리면 ②처럼 틀린다. 연소반응 계수를 맞추지 않거나 물의 계수 4를 놓쳐도 오차가 생긴다.

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 열화학 문제는 먼저 주어진 반응이 생성반응인지 분해반응인지 확인하고, 필요하면 반응을 뒤집어 생성열로 바꾼다. 그다음 연소반응의 계수를 맞춘 뒤, 생성물 생성열의 합에서 반응물 생성열의 합을 빼는 순서로 계산하면 된다.

암기 포인트

연소열은 생성물 생성열 합에서 반응물 생성열 합을 뺀 값이며, 분해반응이 주어지면 먼저 반응을 뒤집어 부호를 바꾼다.

NoteBase

문 8. 다음은 일정한 온도와 압력에서 성분 A와 B로 구성된 용액의 몰엔탈피 H [$J\ mol^{-1}$]를 구하는 식이다. 성분 A의 무한희석(infinite dilution) 상태에서 성분 A의 부분 몰엔탈피(partial molar enthalpy) [$J\ mol^{-1}$]는? (단, x_A는 성분 A의 몰분율이다)

$H = 400 - 120x_A - 10x_A^3$

① 250

② 270

③ 280

④ 400

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이성분 용액의 몰엔탈피식으로부터 무한희석 상태의 부분 몰엔탈피를 구하는 관계식을 적용할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $H = 400 - 120x_A - 10x_A^3$
구해야 할 값: 성분 A의 무한희석 부분 몰엔탈피 $\bar{H}_A^{\infty}$
주의할 조건: 무한희석은 $x_A \to 0$이며, 단순히 $H(0)$만 보는 것이 아니라 부분 몰성질 관계식까지 함께 써야 한다.

사용할 공식

이성분계에서 성분 A의 부분 몰엔탈피는 $\bar{H}_A = H + (1 - x_A)\left(\frac{dH}{dx_A}\right)_{T,P}$이다.
무한희석에서는 $x_A \to 0$이므로 $\bar{H}_A^{\infty} = \lim_{x_A \to 0}\left[H + (1 - x_A)\frac{dH}{dx_A}\right]$로 계산한다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 전체 용액의 몰엔탈피 H가 조성 x_A의 함수로 주어졌고, 구하려는 값이 성분 A의 부분 몰엔탈피이기 때문이다.

계산 과정

1. 몰엔탈피식을 미분하면 $\frac{dH}{dx_A} = -120 - 30x_A^2$이다.
2. 무한희석 조건 $x_A \to 0$에서 $H(0) = 400$, $\left.\frac{dH}{dx_A}\right|_{x_A = 0} = -120$이다.
3. 따라서 $\bar{H}_A^{\infty} = 400 + (1 - 0)(-120) = 280 \mathrm{J mol^{-1}}$이다.

NoteBase

선지 판단

① X: 계산값은 250이 아니라 $280\,\mathrm{J\,mol^{-1}}$이다. 250은 $x_A \to 0$와 미분값 평가 지점을 뒤섞어 계산할 때 나올 수 있는 오답이다. 올바르게는 무한희석에서 A의 부분 몰엔탈피는 280이다.
② X: 270은 $x_A = 1$일 때의 몰엔탈피 $H(1) = 270$을 잘못 가져온 값이다. 무한희석은 순수 A가 아니라 $x_A \to 0$이므로 올바른 값은 280이다.
③ O: $\bar{H}_A^{\infty} = H + (1 - x_A)\frac{dH}{dx_A}$에 $x_A = 0$을 대입하면 $400 - 120 = 280$이므로 맞다.
④ X: 400은 $H(0)$만 보고 미분항 $(1 - x_A)\frac{dH}{dx_A}$를 빠뜨린 값이다. 올바르게는 부분 몰엔탈피가 전체 몰엔탈피와 같아지는 것이 아니라 280이 된다.

오답 포인트

무한희석 $x_A \to 0$과 순수성분 $x_A = 1$을 혼동하기 쉽다. 또 전체 몰성질 H와 부분 몰성질 $\bar{H}_A$를 같은 것으로 보고 미분항을 빼먹으면 400이나 270 같은 오답으로 흐른다.

다시 나오면 이렇게 판단

조성의 함수로 전체 몰성질이 주어지면 먼저 부분 몰성질 관계식부터 정한다. 그다음 무한희석이면 $x_A \to 0$ 또는 $x_B \to 0$ 중 어느 성분이 희석되는지 확인하고, 마지막에 함수값과 미분값을 같은 조성점에서 함께 대입해 계산한다.

암기 포인트

이성분계에서 $\bar{M}_A = M + (1 - x_A)\frac{dM}{dx_A}$, $\bar{M}_B = M - x_A\frac{dM}{dx_A}$ 형태를 기본식으로 기억하면 부분 몰성질 계산형을 빠르게 정리할 수 있다.

NoteBase

문 9. 성분 A와 B로 구성된 용액에서 성분 A의 몰분율은 0.2이고, 성분 A와 B의 부분 몰부피는 각각 55 cm^3mol^{-1}, 17.5 cm^3mol^{-1}이다. 순수한 물질 A와 B의 몰부피는 각각 57.5 cm^3mol^{-1}, 18 cm^3mol^{-1}일 때, 용액 1,000 cm^3를 만드는 데 필요한 순수한 물질 A와 B의 부피[cm^3]의 합은? (단, 혼합 과정에서 온도와 압력은 일정하고, 두 성분의 반응 및 증발은 없다고 가정한다)

① 1,000

② 1,018

③ 1,036

④ 1,054

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 부분 몰부피로 용액의 총 몰수를 구한 뒤, 순수 몰부피로 혼합 전에 필요한 원료 부피 합을 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: $x_A = 0.2$, $x_B = 0.8$, $\bar{V}_A = 55 cm^3mol^{-1}$, $\bar{V}_B = 17.5 cm^3mol^{-1}$, $V_A^* = 57.5 cm^3mol^{-1}$, $V_B^* = 18 cm^3mol^{-1}$, 최종 용액 부피 1,000 cm^3이다.
구해야 할 값: 혼합 전에 준비해야 하는 순수 A와 B의 부피 합이다.
주의할 조건: 부분 몰부피는 혼합 후 용액의 부피 계산에 쓰고, 순수 몰부피는 혼합 전 각 성분의 원래 부피 계산에 써야 한다.

사용할 공식

용액의 총부피는 부분 몰부피의 합으로 계산한다.
$V = n_A\bar{V}_A + n_B\bar{V}_B = n(x_A\bar{V}_A + x_B\bar{V}_B)$
필요한 순수 성분의 부피 합은 각 성분 몰수에 순수 몰부피를 곱해 구한다.
$V_{pure} = n_AV_A^* + n_BV_B^*$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 준 55와 17.5는 혼합 용액에서의 부분 몰부피이고, 57.5와 18은 혼합 전 순수 물질의 몰부피이기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 용액의 평균 몰부피를 구한다.
$\bar{V} = x_A\bar{V}_A + x_B\bar{V}_B = 0.2 \times 55 + 0.8 \times 17.5 = 25\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$
2. 1,000 cm^3 용액의 총 몰수는
$n = \frac{1000}{25} = 40\text{mol}$
이다.
3. 각 성분의 몰수는 $n_A = 0.2 \times 40 = 8\text{mol}$, $n_B = 0.8 \times 40 = 32\text{mol}$이다.
4. 혼합 전에 필요한 순수 성분 부피는
$V_A^* = 8 \times 57.5 = 460\text{cm}^3, \quad V_B^* = 32 \times 18 = 576\text{cm}^3$
이다.
5. 따라서 필요한 순수 A와 B의 부피 합은
$460 + 576 = 1036\text{cm}^3$
이다.

선지 판단

① X: 계산 결과는 1,000이 아니라 1,036 cm^3이다. ①의 '1,000'은 혼합 후 최종 용액 부피만 본 값이고, 올바르게는 '필요한 순수 물질 A와 B의 부피 합은 1,036 cm^3이다'가 된다.
② X: 계산 결과와 일치하지 않으므로 틀리다. ②의 '1,018'은 부분 몰부피와 순수 몰부피를 구분하지 못할 때 흔들리기 쉬운 오답이며, 올바른 값은 1,036 cm^3이다.
③ O: 부분 몰부피로 총 몰수 40 mol을 구하고, 이를 순수 몰부피로 환산하면 460 cm^3+576 cm^3=1,036 cm^3이므로 옳다.
④ X: 계산 결과보다 큰 값이므로 틀리다. ④의 '1,054'는 계산식과 맞지 않으며, 올바르게는 '필요한 순수 물질 A와 B의 부피 합은 1,036 cm^3이다'가 된다.

오답 포인트

부분 몰부피와 순수 몰부피를 같은 단계에서 섞어 쓰면 틀린다. 1,000 cm^3는 혼합이 끝난 뒤의 용액 부피이고, 문제는 혼합 전에 준비해야 하는 순수 성분 부피 합을 묻는다는 점이 핵심 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

최종 용액 부피와 부분 몰부피가 주어지면 먼저 $V = n\sum x_i\bar{V}_i$로 총 몰수를 구한다. 그다음 각 성분 몰수에 순수 몰부피를 곱해 혼합 전 부피를 계산하면 된다.

암기 포인트

부분 몰부피는 혼합 후 용액 계산, 순수 몰부피는 혼합 전 원료 부피 계산에 쓴다.

NoteBase

문 10. 용액 1몰의 과잉 깁스 에너지(excess Gibbs energy, G^E)가 $G^E = aT\ln T + aT + b$로 표현될 때, 일정한 압력과 조성에서 용액의 과잉 엔탈피(H^E)를 나타낸 것은? (단, a와 b는 상수, T는 온도이다)

① $-aT + b$

② $aT - b$

③ $(aT + a)\ln T + aT + 2a + b$

④ $(aT - a)\ln T + aT - 2a + b$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 과잉 깁스 에너지와 과잉 엔탈피의 관계식 $H^E = G^E - T(\partial G^E/\partial T)_{P,x}$를 이용해 H^E를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $G^E = aT\ln T + aT + b$이다.
구해야 할 값: 일정한 압력과 조성에서의 과잉 엔탈피 H^E이다.
주의할 조건: G^E를 T로 미분한 뒤 $-T(\partial G^E/\partial T)_{P,x}$를 더하는 형태가 아니라 원래 식 $H^E = G^E - T(\partial G^E/\partial T)_{P,x}$를 그대로 적용해야 한다.

사용할 공식

$H^E = G^E - T\left(\frac{\partial G^E}{\partial T}\right)_{P,x}$
이 공식은 깁스 에너지에 대해 $S^E = -(\partial G^E/\partial T)_{P,x}$이고 $H^E = G^E + TS^E$이므로 바로 유도된다.

계산 과정

1. $G^E = aT\ln T + aT + b$를 T로 미분하면
$\left(\frac{\partial G^E}{\partial T}\right)_{P,x} = a(\ln T + 1) + a = a\ln T + 2a$
2. 이를 관계식에 대입하면
$H^E = aT\ln T + aT + b - T(a\ln T + 2a)$
3. 정리하면
$H^E = aT\ln T + aT + b - aT\ln T - 2aT = -aT + b$
따라서 $H^E = -aT + b$이다.

선지별 해설 ①

O. 계산 결과가 $H^E = -aT + b$이므로 ①과 일치한다.

NoteBase

선지별 해설 ②

X. ②의 $aT - b$는 전체 부호가 뒤집힌 식이다. 틀린 표현은 "aT-b"이고, 올바르게는 "-aT+b"이다. 이는 $-T(\partial G^E/\partial T)$ 항의 음수를 놓치거나 마지막 정리에서 부호를 바꾸면 나오는 오답이다.

선지별 해설 ③

X. ③은 $(aT + a)\ln T + aT + 2a + b$로, 미분식 $a\ln T + 2a$를 구한 뒤 원래 식에 대입하지 않고 미분 결과를 그대로 더한 형태에 가깝다. 틀린 표현은 "(aT+a) T+aT+2a+b"이고, 올바르게는 "-aT+b"이다. H^E에서는 $aT\ln T$ 항이 상쇄되어야 한다.

선지별 해설 ④

X. ④의 $(aT - a)\ln T + aT - 2a + b$도 $\ln T$ 항이 남아 있어 최종 정리와 맞지 않는다. 틀린 표현은 "(aT-a) T+aT-2a+b"이고, 올바르게는 "-aT+b"이다. 이는 $T\ln T$를 미분할 때 $\ln T + 1$이 아니라 $\ln T - 1$처럼 잘못 처리하거나, $T(a\ln T + 2a)$를 전개할 때 항 소거를 놓치면 나오는 오답이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, $H^E = G^E - T(\partial G^E/\partial T)$에서 마이너스 부호를 놓치기 쉽다. 둘째, $T\ln T$의 미분을 $\ln T + 1$로 처리하지 못하면 $\ln T$ 항을 제대로 소거하지 못해 ③, ④처럼 불필요한 $\ln T$ 항이 남는다.

다시 나오면 이렇게 판단

과잉 성질 관계식 문제는 먼저 G^E, H^E, S^E의 연결식을 적고, 다음에 T 미분을 정확히 한 뒤, 마지막에 같은 항이 소거되는지 확인하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

$H = G - T(\partial G/\partial T)_P$이고, $T\ln T$의 미분은 $\ln T + 1$이다.

NoteBase

문 11. 이상기체 1몰의 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$와 같은 것은? (단, P는 압력, T는 온도, V는 부피, S는 엔트로피, R은 기체상수이다)

① $\frac{R}{V}$
② $-\frac{R}{V}$
③ $\frac{P}{R}$
④ $-\frac{P}{R}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 1몰의 엔트로피 식에서 T 일정 조건의 편미분값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 이상기체 1몰, T 일정
구해야 할 값: $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$
주의할 조건: 압력 P가 아니라 부피 V에 대한 편미분이므로 결과식에 V가 남는다.

사용할 공식

이상기체 1몰의 엔트로피 변화식은 $dS = C_V\frac{dT}{T} + R\frac{dV}{V}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 이상기체 1몰이라는 조건과 T 일정이라는 조건을 주었으므로 $dT = 0$으로 두고 V에 대한 엔트로피 변화를 바로 읽을 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 이상기체 1몰에 대해 $dS = C_V\frac{dT}{T} + R\frac{dV}{V}$를 쓴다.
2. T 일정이므로 $dT = 0$이다.
3. 따라서 $dS = R\frac{dV}{V}$가 된다.
4. 양변을 dV로 나누면 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \frac{R}{V}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \frac{R}{V}$이므로 옳다.
② X: 부호가 틀렸다. T 일정인 이상기체에서 부피가 증가하면 엔트로피는 증가하므로 미분값은 음수가 아니라 양수이다. 틀린 표현은 $-\frac{R}{V}$이고, 올바르게는 $\frac{R}{V}$이다.
③ X: 변수 대응이 틀렸다. $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T$는 부피에 대한 변화율이므로 압력 P가 아니라 부피 V가 분모에 와야 한다. 틀린 표현은 $\frac{P}{R}$이고, 올바르게는 $\frac{R}{V}$이다.
④ X: ③의 변수 혼동에 더해 부호까지 틀렸다. P/R 꼴도 아니고 음수도 아니다. 틀린 표현은 $-\frac{P}{R}$이고, 올바르게는 $\frac{R}{V}$이다.

오답 포인트

엔트로피 미분식을 외울 때 $dS = C_V dT/T + R dV/V$에서 두 번째 항의 부호와 분모의 변수 V를 혼동하기 쉽다. 특히 압력 P가 문제에 함께 제시되면 $PV = RT$를 떠올리며 P를 답식에 억지로 끌어들이는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 편미분 문제는 먼저 엔트로피 미분식이나 상태방정식을 쓴 뒤, 일정한 조건이 무엇인지 확인하고 해당 미분항을 0으로 둔 다음 남는 변수만 정리해서 판단한다.

암기 포인트

이상기체 1몰에서 T 일정이면 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \frac{R}{V}$이다.

NoteBase

문 12. van der Waals 상태방정식($P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, P는 압력, T는 온도, V는 몰부피, R은 기체상수, a와 b는 상수이다)

ㄱ. a와 b는 물질의 종류와 무관한 상수이다.
ㄴ. 기체 분자의 크기와 분자 간 상호작용을 고려한 상태방정식이다.
ㄷ. 임계온도보다 낮은 온도영역에서 실제기체의 거동을 완벽하게 예측한다.
ㄹ. van der Waals 상태방정식으로 계산한 임계점에서의 압축인자(Z)는 0.375이다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄹ
④ ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 van der Waals 상태방정식에서 상수 a, b의 의미와 식의 적용 한계, 그리고 임계점 압축인자를 묻는 문제이다.

핵심 개념

van der Waals 상태방정식은 이상기체식에 실제기체의 분자 부피와 분자 간 인력을 보정한 식이다.
a는 분자 간 인력 보정항의 크기를 나타내는 물질 고유 상수이고, b는 분자의 유한한 부피에 따른 배제부피를 나타내는 물질 고유 상수이다.
임계점에서 van der Waals 식은 $V_c = 3b$, $P_c = \frac{a}{27b^2}$, $T_c = \frac{8a}{27Rb}$를 주므로 압축인자는 $Z_c = \frac{P_c V_c}{RT_c} = \frac{3}{8} = 0.375$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

이 조합에는 ㄱ이 포함되어 있어 틀리다. ㄱ의 '물질의 종류와 무관한'이 틀린 표현이다. a와 b는 모든 기체에 공통인 상수가 아니라 각 물질마다 다른 van der Waals 상수이다. ㄱ은 'a와 b는 물질마다 다른 상수이다'로 고쳐야 한다.

② X

ㄱ과 ㄷ이 모두 틀리므로 이 조합은 성립하지 않는다. ㄷ의 '완벽하게 예측한다'가 틀린 표현이다. van der Waals 식은 임계온도 이하에서 실제기체의 정성적 거동을 설명하는 데 의미가 있지만 액-기 평형을 완벽하게 맞추지는 못한다. ㄷ은 '임계온도보다 낮은 온도영역에서는 실제기체 거동을 완벽하게 예측하지 못한다'로 고쳐야 한다.

③ O

ㄴ과 ㄹ만 옳으므로 이 조합이 정답이다. ㄴ은 분자 크기와 분자 간 상호작용을 각각 b와 a로 반영한다는 설명이므로 옳다. ㄹ도 van der Waals 식의 임계 압축인자가 $Z_c = 3/8 = 0.375$이므로 옳다.

④ X

ㄹ은 옳지만 ㄷ이 틀리므로 이 조합은 성립하지 않는다. 이 선택지는 'ㄷ, ㄹ'이 아니라 'ㄴ, ㄹ'이어야 옳다.

오답 포인트

ㄱ의 '상수'를 보고 a, b가 모든 물질에 공통이라고 오해하거나, ㄷ의 '완벽하게' 같은 절대 표현을 그대로 받아들이면 틀리기 쉽다. 또한 ㄹ의 0.375를 모르더라도 ㄱ과 ㄷ이 틀리다는 판단만 정확하면 정답 조합을 걸러낼 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 a는 인력, b는 분자 부피라는 대응을 잡고, 다음으로 '물질 고유 상수인가'와 '완벽한 예측인가' 같은 절대 표현을 점검한다. 임계 관련 수치가 나오면 van der Waals 식의 $Z_c = 3/8$을 바로 떠올리면 조합형 선택지를 빠르게 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

vdW에서 a=인력, b=배제부피, $Z_c = 3/8$, 그리고 임계 이하에서는 완전한 예측식이 아니다.

NoteBase

문 13. 잔류 성질(residual property)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 임의의 열역학적 성질에 대하여 M^R은 잔류 성질, M은 실제기체의 성질, M^{ig}는 이상기체의 성질이다)

① 잔류 성질 $M^R = M - M^{ig}$로 정의된다.

② 잔류 성질은 압축인자(Z)를 이용하여 계산될 수 있다.

③ 열역학적 성질값은 실제기체가 이상기체보다 더 크므로 잔류 성질은 항상 0보다 크다.

④ 실제기체의 성질 변화를 예측하기 위해 이상기체로 가정하여 성질 변화를 계산하고 잔류 성질로 보정한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 잔류 성질의 정의 $M^R = M - M^{ig}$, 잔류 성질의 부호 해석, 이상기체 기준 보정 방법을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

잔류 성질은 같은 온도와 압력에서 실제기체 성질과 이상기체 성질의 차이인 $M^R = M - M^{ig}$로 정의된다.
이상기체 기준으로 실제기체 성질을 구할 때는 이상기체 값을 먼저 계산한 뒤 잔류 성질을 더해 보정한다.
잔류 성질의 부호는 성질 종류와 상태에 따라 달라지므로 항상 양수이거나 항상 음수라고 할 수 없다.

선지별 해설

① O: 잔류 성질의 정의 자체를 묻는 선지이다. 같은 T, P에서 실제기체 성질에서 이상기체 성질을 뺀 값이 잔류 성질이므로 $M^R = M - M^{ig}$가 맞다.
② O: 잔류 엔탈피, 잔류 엔트로피, 잔류 깁스에너지 등은 상태방정식과 압축인자 Z 관계를 이용해 유도하고 계산할 수 있다. 압축인자는 잔류 성질 계산의 대표적인 출발점이다.
③ X: 틀린 부분은 "실제기체가 이상기체보다 더 크므로"와 "항상 0보다 크다"이다. 잔류 성질은 실제기체 성질이 이상기체보다 클 때는 양수일 수 있지만, 작을 때는 음수일 수도 있다. 올바르게는 "잔류 성질의 부호는 성질과 상태에 따라 달라지며 항상 0보다 크지 않다"이다.
④ O: 실제기체의 성질 변화는 이상기체로 가정한 변화량을 먼저 구하고, 그 뒤 각 상태의 잔류 성질 차이로 보정하는 방식으로 계산한다. 실무적으로는 $\Delta M = \Delta M^{ig} + (M_2^R - M_1^R)$ 형태로 정리한다.

오답 포인트

③은 잔류 성질의 정의만 외우고 부호 해석을 기계적으로 일반화하면 틀리기 쉽다. M^R는 실제값과 이상기체값의 차이일 뿐이므로, 어느 쪽이 더 큰지는 성질과 상태를 보고 따로 판단해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

잔류 성질 문제가 나오면 먼저 $M^R = M - M^{ig}$를 적고, 다음으로 선지가 정의를 묻는지, 계산 경로를 묻는지, 부호를 일반화하는지 확인하면 된다. 특히 "항상"이라는 표현이 나오면 상태 의존성을 무시한 과도한 일반화인지 점검한다.

암기 포인트

잔류 성질은 "실제기체 - 이상기체"이며, 값의 부호는 항상 일정하지 않고 상태에 따라 달라진다.

NoteBase

문 14. 성분 A와 B로 구성된 이성분계가 300 K, 0.3 bar에서 기-액 평형 상태에 있다. 성분 A의 활동도계수 γ_A에 대하여 $\ln(\gamma_A) = \frac{10}{7}(x_B)^2$를 만족하고, $x_A = 0.3$일 때, 기체상에서 A의 몰분율은? (단, 기체상은 이상기체이고, 해당 온도에서 물질 A의 포화 증기압은 0.2 bar이다. x_A와 x_B는 액체상에서 성분 A, B의 몰분율이고, $\ln 2 = 0.7$로 계산한다)

① 0.2

② 0.4

③ 0.6

④ 0.7

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 활동도계수와 수정 라울 법칙을 이용해 기체상에서 성분 A의 몰분율 y_A를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $T = 300K, P = 0.3bar, x_A = 0.3, P_A^{sat} = 0.2bar, \ln\gamma_A = \frac{10}{7}(x_B)^2$이다.
구해야 할 값은 기체상에서 A의 몰분율 y_A이다.
주의할 조건은 기체상은 이상기체이고, 액상 비이상성은 활동도계수 γ_A로 반영한다는 점이다.

사용할 공식

수정 라울 법칙은 $y_A P = x_A \gamma_A P_A^{sat}$이다.
따라서
$y_A = \frac{x_A \gamma_A P_A^{sat}}{P}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 액상은 비이상용액이어서 γ_A가 필요하고, 기체상은 이상기체이므로 기상 조성은 부분압과 전체압의 비로 바로 연결되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

먼저 $x_B = 1 - x_A = 0.7$이다.
주어진 식에 대입하면
$\ln \gamma_A = \frac{10}{7}(0.7)^2 = \frac{10}{7} \times 0.49 = 0.7$
이다.
문제에서 $\ln 2 = 0.7$로 계산하라고 했으므로 $\gamma_A = 2$이다.
이를 수정 라울 법칙에 대입하면
$y_A = \frac{(0.3)(2)(0.2)}{0.3} = 0.4$
이다.

선지 판단

① X
- 계산 결과 $y_A = 0.4$이므로 0.2는 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "기체상 A의 몰분율이 0.2"이다. 올바르게는 0.4이다.
- 0.2는 활동도계수 γ_A를 1로 두는 이상용액 가정을 해 버릴 때 나오는 값이다.

② O
- 계산 결과가 정확히 0.4이므로 옳다.
- x_B로부터 γ_A를 구한 뒤 수정 라울 법칙에 대입하면 일관되게 0.4가 나온다.

③ X
- 계산 결과 $y_A = 0.4$이므로 0.6은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "기체상 A의 몰분율이 0.6"이다. 올바르게는 0.4이다.
- 0.6은 $x_A\gamma_A = (0.3)(2)$까지만 계산하고 P_A^{sat}/P 비를 반영하지 않을 때 나오는 값이다.

④ X
- 계산 결과 $y_A = 0.4$이므로 0.7은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 "기체상 A의 몰분율이 0.7"이다. 올바르게는 0.4이다.
- 0.7은 액상 조성 x_B 또는 $\ln \gamma_A = 0.7$을 기체상 몰분율과 혼동할 때 나오는 값이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $\ln \gamma_A = 0.7$에서 바로 0.7을 답으로 고르거나, $\gamma_A = 2$를 구해 놓고도 수정 라울 법칙의 P_A^{sat}/P를 빠뜨리는 데 있다. 액상 조성 x, 활동도계수 γ, 기상 조성 y는 서로 다른 물리량이므로 섞어 쓰면 오답이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

기액평형 계산형은 먼저 액상 조성에서 빠진 성분 몰분율을 구하고, 다음으로 활동도계수 식에서 γ를 계산한 뒤, 마지막에 수정 라울 법칙 $yP = x\gamma P^{sat}$에 대입하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

비이상 액상 기액평형은 $yP = x\gamma P^{sat}$이며, $\ln\gamma$가 주어지면 먼저 γ로 바꾼 뒤 대입한다.

NoteBase

문 15. 초기에 CH_4, H_2O, CO_2가 각각 2몰, 1몰, 1몰 존재하는 계에서 $3CH_4(g) + 2H_2O(g) + CO_2(g) \rightarrow 8H_2(g) + 4CO(g)$의 반응이 일어난다. 반응이 일어나는 동안 각 성분의 몰분율을 반응진척도(extent of reaction, ε)를 이용하여 옳게 나타낸 것은? (단, 반응 전 초기 상태에서 $\varepsilon = 0$이고, y_i는 성분 i의 기체상에서의 몰분율이다)

① $y_{CH_4} = \frac{2+3\varepsilon}{4-6\varepsilon}$

② $y_{H_2O} = \frac{1-2\varepsilon}{4-6\varepsilon}$

③ $y_{H_2} = \frac{4-8\varepsilon}{4+6\varepsilon}$

④ $y_{CO} = \frac{4\varepsilon}{4+6\varepsilon}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 반응진척도 ε로 각 성분의 몰수와 총몰수를 먼저 나타낸 뒤 몰분율 $y_i = n_i/n_T$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 초기 몰수 $n_{CH_4,0} = 2$, $n_{H_2O,0} = 1$, $n_{CO_2,0} = 1$이다.
반응식은 $3CH_4 + 2H_2O + CO_2 \rightarrow 8H_2 + 4CO$이다.
구해야 할 값은 반응 중 각 성분의 기체상 몰분율이다.
주의할 조건은 반응진척도만큼 각 성분 몰수가 화학양론계수에 따라 증감하고, 총몰수도 함께 변한다는 점이다.

사용할 공식

각 성분의 몰수는 $n_i = n_{i,0} + u_i\varepsilon$로 쓴다.
총몰수는 $n_T = \sum n_i$이고 몰분율은 $y_i = n_i/n_T$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 반응진척도 ε가 반응 전후 몰수 변화를 화학양론계수와 직접 연결하기 때문이다.

계산 과정

1. 성분별 몰수를 쓰면 $n_{CH_4} = 2 - 3\varepsilon$, $n_{H_2O} = 1 - 2\varepsilon$, $n_{CO_2} = 1 - \varepsilon$, $n_{H_2} = 8\varepsilon$, $n_{CO} = 4\varepsilon$이다.
2. 총몰수는
$n_T = (2 - 3\varepsilon) + (1 - 2\varepsilon) + (1 - \varepsilon) + 8\varepsilon + 4\varepsilon = 4 + 6\varepsilon$
이다.
3. 따라서 몰분율은 $y_{CH_4} = (2 - 3\varepsilon)/(4 + 6\varepsilon)$, $y_{H_2O} = (1 - 2\varepsilon)/(4 + 6\varepsilon)$, $y_{H_2} = 8\varepsilon/(4 + 6\varepsilon)$,
$y_{CO} = 4\varepsilon/(4 + 6\varepsilon)$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: CH_4는 반응물이라 몰수가 $2-3\varepsilon$로 줄어야 한다. 선지의 $2+3\varepsilon$는 부호가 반대로 되어 있고, 분모도 총몰수 $4+6\varepsilon$가 아니라 $4-6\varepsilon$로 잘못 썼다. 틀린 표현은 $(2+3\varepsilon)/(4-6\varepsilon)$이고, 올바르게는 $(2-3\varepsilon)/(4+6\varepsilon)$이다.
② X: H_2O의 분자는 반응물이라 $1-2\varepsilon$가 맞지만, 분모는 항상 전체 몰수 $4+6\varepsilon$이어야 한다. 틀린 표현은 분모 $4-6\varepsilon$이고, 올바르게는 $(1-2\varepsilon)/(4+6\varepsilon)$이다.
③ X: H_2는 생성물이라 몰수가 8ε로 증가해야 한다. 선지의 분자 $4-8\varepsilon$는 초기 몰수 4를 생성물 몰수처럼 잘못 넣은 값이다. 틀린 표현은 $(4-8\varepsilon)/(4+6\varepsilon)$이고, 올바르게는 $8\varepsilon/(4+6\varepsilon)$이다.
④ O: CO는 생성물이므로 $n_{CO}=4\varepsilon$이고, 총몰수는 $4+6\varepsilon$이므로 $y_{CO}=4\varepsilon/(4+6\varepsilon)$가 맞다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 반응물과 생성물의 부호를 뒤집거나, 분모를 초기 총몰수에서 반응으로 변한 총몰수로 갱신하지 않는 데 있다. 특히 ②처럼 분자는 맞고 분모만 틀린 선지가 가장 잘 헷갈린다.

다시 나오면 이렇게 판단

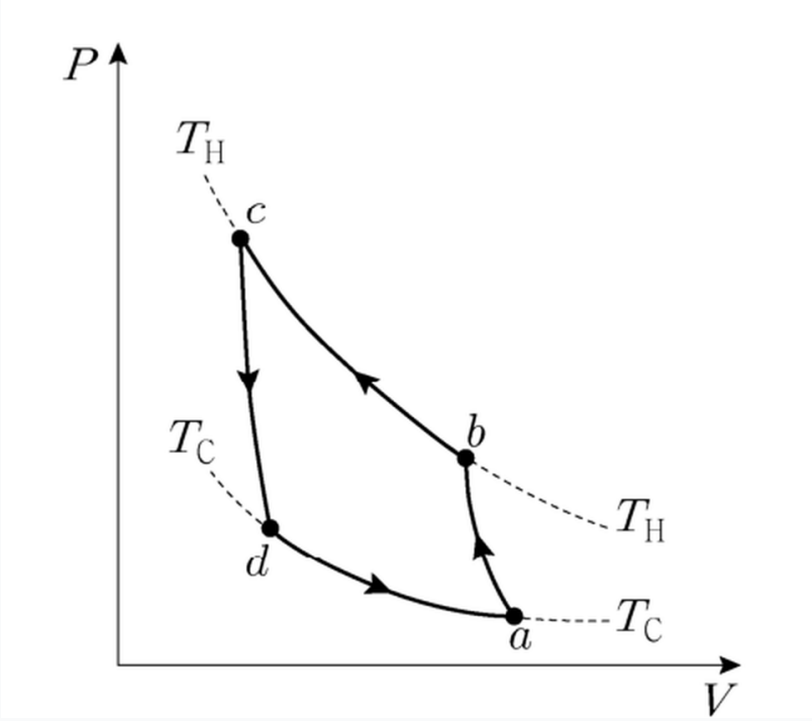
반응진척도 문제는 각 성분 몰수를 $n_{i,0}+\nu_i\varepsilon$로 먼저 쓴 다음, 총몰수 n_T를 다시 합산하고 마지막에 $y_i=n_i/n_T$를 적용하면 된다. 반응물은 음수 계수, 생성물은 양수 계수라는 점을 먼저 확인하면 된다.

암기 포인트

반응진척도 몰분율은 성분몰수부터 쓰고, 분모는 항상 변한 뒤의 총몰수이다.

NoteBase

문 16. 그림은 작동 유체가 이상기체인 Carnot 냉동 사이클의 압력(P)-부피(V) 선도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, T_H와 T_C는 각각 고온 열저장고와 저온 열저장고의 온도이다)



① $a \rightarrow b$ 공정은 온도가 T_C에서 T_H로 상승하는 단열압축 공정이다.

② $c \rightarrow d$ 공정은 온도가 T_H에서 T_C로 감소하며 열을 방출하는 공정이다.

③ $d \rightarrow a$ 공정에서 출입하는 열의 크기는 $b \rightarrow c$ 공정에서 출입하는 열의 크기보다 작다.

④ Carnot 냉동 사이클의 T_H와 T_C가 각각 35 ◦C와 7 ◦C라면 이 사이클의 성능계수는 약 10이다.

정답 2번

출제 포인트

카르노 냉동 사이클의 P-V 선도에서 각 과정이 등온/단열, 압축/팽창, 흡열/방열 중 무엇인지와 성능계수 공식을 연결할 수 있는지를 묻는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: O. $a \to b$는 냉동기의 압축기 구간에 해당하는 단열압축이다. 이상기체의 단열압축에서는 외부에서 일이 가해져 온도가 T_C에서 T_H로 상승하므로 선지의 설명이 맞다.
2번: X. $c \to d$는 온도가 T_H에서 T_C로 내려가는 것은 맞지만, 단열팽창 구간이므로 열교환이 없다. 틀린 표현은 '열을 방출하는'이고, 올바르게는 '열교환 없이 온도가 감소하는 단열팽창 공정'이다.
3번: O. $d \to a$는 T_C에서의 등온팽창으로 저온 열원으로부터 Q_C를 흡수하고, $b \to c$는 T_H에서의 등온압축으로 Q_H를 방출한다. 냉동기에서는 $Q_H = Q_C + W$이므로 항상 $|Q_H| > |Q_C|$이고, 따라서 $d \to a$에서 출입하는 열의 크기가 더 작다.
4번: O. 카르노 냉동기의 성능계수는 $COP_R = T_C/(T_H - T_C)$이다. 절대온도로 $T_H = 35 + 273 = 308K$, $T_C = 7 + 273 = 280K$이므로 $COP_R = 280/(308 - 280) = 280/28 = 10$이다. 약 10이라는 설명이 맞다.

오답 포인트

온도가 내려가는 구간을 곧바로 방열로 연결하면 2번에서 틀린다. 열의 출입은 온도 증감이 아니라 등온인지 단열인지로 먼저 구분해야 하며, $c \to d$는 온도는 감소하지만 단열이라 $Q = 0$이다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노 냉동 선도는 먼저 화살표 방향을 따라 두 등온선과 두 단열선을 구분한다. 그다음 T_H 등온선은 방열, T_C 등온선은 흡열, 단열선은 $Q = 0$으로 판정한다. 성능계수는 반드시 절대온도로 바꾼 뒤 $COP_R = T_C/(T_H - T_C)$를 적용한다.

암기 포인트

역카르노 냉동기는 $a \to b$ 단열압축, $b \to c$ 고온등온방열, $c \to d$ 단열팽창, $d \to a$ 저온등온흡열 순서이다.

NoteBase

문 17. 이상기체로 이루어진 닫힌계의 엔트로피 변화량(ΔS)에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 계가 비가역 공정을 거쳐 초기상태로 돌아오면 ΔS는 0이다.

② 가역 단열 공정에서 계에 가해진 일은 계의 엔트로피를 변화시키지 않는다.

③ 가역 공정에서 계의 온도가 T로 유지되면서 열 Q가 유입될 때, ΔS는 Q/T이다.

④ 정적 공정에서 계의 온도가 T_1에서 T_2로 변화할 때, ΔS는 온도비 T_2/T_1에 비례한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔트로피가 상태함수라는 점과 가역 단열, 가역 등온, 정적 가열에서의 ΔS 식을 구별하는지를 묻는다.

핵심 개념

엔트로피는 상태함수이므로 과정이 비가역이어도 처음 상태와 끝 상태가 같으면 $\Delta S = 0$이다. 가역 단열 공정은 $\delta Q_{rev} = 0$이어서 $\Delta S = 0$이고, 가역 등온 공정은 $\Delta S = Q_{rev}/T$이다. 이상기체의 정적 공정에서는 $\Delta S = nC_v \ln(T_2/T_1)$가 된다.

선지별 해설

1번: O. 엔트로피는 상태함수이므로 비가역 공정을 거쳤더라도 계가 다시 초기상태로 돌아오면 순변화는 0이다. 사이클 전체의 ΔS는 0이다.
2번: O. 가역 단열 공정은 열전달이 없고 $\Delta S = \int \delta Q_{rev}/T = 0$이므로 계에 일이 가해져 내부에너지가 바뀌어도 엔트로피는 변하지 않는다.
3번: O. 가역 공정에서 온도가 T로 일정한 상태에서 열 Q가 유입되면 $\Delta S = Q_{rev}/T$이다. 등온 가역 팽창·압축의 기본식이다.
4번: X. 틀린 부분은 '온도비 T_2/T_1에 비례한다'는 표현이다. 정적 공정에서 이상기체의 엔트로피 변화는 $\Delta S = nC_v \ln(T_2/T_1)$이므로 온도비 자체가 아니라 온도비의 자연로그에 비례한다.

오답 포인트

엔트로피 식은 온도에 대해 $1/T$를 적분하므로 비례식이 아니라 로그식이 자주 나온다. 4번은 T_2/T_1와 $\ln(T_2/T_1)$를 바꿔 놓은 전형적인 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

엔트로피 문제는 먼저 상태함수인지 확인하고, 다음으로 공정 조건을 가역 단열, 가역 등온, 정적 가열로 나눈다. 온도 변화만 들어간 열용량 적분이 보이면 $\int dT/T$ 꼴인지 확인하여 로그식으로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

사이클이면 $\Delta S = 0$, 가역 단열이면 $\Delta S = 0$, 가역 등온이면 Q/T, 정적 가열이면 $nC_v \ln(T_2/T_1)$이다.

NoteBase

문 18. 이상기체가 느린 유속으로 압축기에 유입되어 압축 공정을 거친 후, 단열된 노즐을 통해 초기 압력과 온도 조건으로 돌아가면서 최종 속도 $400\mathrm{ms}^{-1}$로 팽창된다. 압축 공정에서 $170\mathrm{kJkg}^{-1}$의 일이 가해졌을 때, 압축 공정에서 방출되는 열의 크기$[\mathrm{kJkg}^{-1}]$는? (단, 정상상태 흐름 공정이고, 압축기에 유입되는 지점에서 이상기체의 운동에너지는 무시하며, 위치에너지의 변화와 마찰에 의한 손실은 없다)

① 10

② 90

③ 130

④ 170

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 단열 노즐의 에너지방정식으로 압축기 출구와 입구의 엔탈피 차를 구한 뒤, 압축기의 정상상태 에너지방정식으로 방출열을 계산하는 문제이다.

조건 정리

상태 1은 압축기 입구, 상태 2는 압축기 출구이자 노즐 입구, 상태 3은 노즐 출구이다.
주어진 조건은 $p_3 = p_1$, $T_3 = T_1$, 압축기 일 입력 $170 kJkg^{-1}$, 노즐 출구 속도 $400 ms^{-1}$이다.
이상기체는 온도만 같으면 엔탈피도 같으므로 $T_3 = T_1$에서 $h_3 = h_1$이다.
압축기 입구의 운동에너지는 무시하고, 노즐 입구 속도도 별도 제시가 없으므로 무시한다.

사용할 공식

단열 노즐에는
$h_2 + \frac{V_2^2}{2} = h_3 + \frac{V_3^2}{2}$
를 적용한다.
압축기에는 일 입력을 양으로 두고
$q + w_{in} = h_2 - h_1$
를 적용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 노즐에서는 축일과 열전달이 없고, 압축기에서는 정상류 조건에서 위치에너지 변화와 운동에너지 변화를 무시할 수 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 노즐 에너지방정식에서 $V_2 \approx 0$이므로
$h_2 - h_3 = \frac{V_3^2}{2} = \frac{(400)^2}{2} = 80{,}000 J kg^{-1} = 80 kJ kg^{-1}$
이다.
2. $h_3 = h_1$이므로
$h_2 - h_1 = 80 kJ kg^{-1}$
이다.
3. 압축기에서
$q + 170 = 80$
이므로
$q = -90 kJ kg^{-1}$
이다.
따라서 압축 공정에서 방출되는 열의 크기는 $90 kJ kg^{-1}$이다.

선지 판단

① X
계산된 방출열의 크기는 $90 kJ kg^{-1}$이다. 10은 노즐의 운동에너지 증가를 $400^2/1000 = 160$처럼 계산하여 $\frac{1}{2}$를 빠뜨렸을 때 생기기 쉬운 오답이다.
틀린 표현은 "방출열이 10"이다. 올바르게는 "방출열은 90"이다.

② O
노즐에서 $h_2 - h_1 = 80 kJ kg^{-1}$이고 압축기에서 $q + 170 = 80$이므로 $q = -90 kJ kg^{-1}$이다. 따라서 방출되는 열의 크기는 $90 kJ kg^{-1}$이므로 옳다.

③ X
130은 노즐의 운동에너지 항을 $40 kJ kg^{-1}$로 잘못 환산했을 때 나오는 값이다. 실제 운동에너지 증가는 $80 kJ kg^{-1}$이다.
틀린 표현은 "방출열이 130"이다. 올바르게는 "방출열은 90"이다.

④ X
170은 압축기 일 입력 전체가 그대로 열로 빠져나간다고 본 오답이다. 실제로는 $80 kJ kg^{-1}$가 유체의 엔탈피 증가로 남고, 나머지 $90 kJ kg^{-1}$만 열로 방출된다.
틀린 표현은 "방출열이 170"이다. 올바르게는 "방출열은 90"이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 노즐 출구의 속도 $400 ms^{-1}$를 곧바로 압축기 식에 넣거나, $\frac{V^2}{2}$를 $kJkg^{-1}$로 바꾸는 과정에서 $\frac{1}{2}$와 단위 환산을 놓치는 데 있다. 또한 $p_3 = p_1$, $T_3 = T_1$이면 이상기체에서 $h_3 = h_1$이라는 연결고리를 놓치면 식이 풀리지 않는다.

다시 나오면 이렇게 판단

압축기와 노즐이 연달아 나오면 먼저 노즐의 단열 에너지방정식으로 엔탈피 차를 구하고, 그다음 그 엔탈피 차를 압축기 정상류 식에 넣어 열과 일을 정리한다. 이상기체에서 온도가 같으면 엔탈피가 같다는 점을 바로 연결하면 계산이 짧아진다.

암기 포인트

이상기체는 T가 같으면 h도 같고, 노즐의 Δh는 속도 변화로 바뀐다. 이 문항에서는 $400 ms^{-1} \rightarrow 80 kJkg^{-1}$를 먼저 잡으면 답이 바로 정리된다.

NoteBase

문 19. 화학 반응의 평형에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, T는 온도, R은 기체상수, ΔH°는 반응의 표준 엔탈피 변화, ΔG°는 반응의 표준 깁스 에너지 변화, μ_i는 물질 i의 화학포텐셜(chemical potential)이다)

① 표준상태에서 $\frac{d(\Delta G^\circ/RT)}{dT} = -\frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$가 성립한다.

② 정반응이 발열 반응이면 온도가 증가함에 따라 평형상수는 증가한다.

③ 평형상태의 닫힌계에서 온도와 압력이 일정할 때, 전체 깁스 에너지는 최소이다.

④ 물질 A, B, C의 화학반응 $A + B \rightarrow C$가 평형에 도달했을 때, $-\mu_A - \mu_B + \mu_C = 0$이 성립한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 화학 평형에서 Gibbs-Helmholtz 식, van't Hoff 식, 평형의 최소 깁스 에너지 조건, 화학퍼텐셜의 평형 조건을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

표준 반응 깁스에너지와 엔탈피는 Gibbs-Helmholtz 식 $\frac{d(\Delta G^\circ/RT)}{dT} = -\frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$로 연결된다.
평형상수의 온도의존성은 van't Hoff 식 $\frac{d\ln K}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$로 판단하므로, 정반응이 발열이면 $\Delta H^\circ < 0$여서 온도가 올라갈수록 K는 감소한다.
닫힌계에서 온도와 압력이 일정한 평형은 전체 깁스 에너지가 최소인 상태이며, 반응 평형에서는 화학양론계수에 대한 화학퍼텐셜 합 $\sum u_i\mu_i = 0$이 성립한다.

선지별 해설

1번: O. 표준상태 반응량에도 Gibbs-Helmholtz 식이 그대로 적용되어 $\frac{d(\Delta G^\circ/RT)}{dT} = -\frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$가 성립한다.
2번: X. 틀린 표현은 "발열 반응이면 온도가 증가함에 따라 평형상수는 증가한다"이다. van't Hoff 식에서 $\Delta H^\circ < 0$인 발열 반응은 $\frac{d\ln K}{dT} < 0$이므로 온도가 증가하면 평형상수는 감소한다.
3번: O. 닫힌계에서 온도와 압력이 일정하면 자발 변화는 깁스 에너지를 낮추는 방향으로 진행되고, 평형에서 전체 깁스 에너지가 최소가 된다.
4번: O. 반응 $A + B \rightarrow C$의 화학양론계수는 $u_A = -1, u_B = -1, u_C = +1$이므로 평형 조건 $\sum u_i\mu_i = 0$은 $-\mu_A - \mu_B + \mu_C = 0$으로 쓸 수 있다.

오답 포인트

2번은 르샤틀리에 원리만 막연히 떠올리면 헷갈리기 쉽다. 발열 반응은 열을 생성하므로 온도를 올리면 열을 더하는 효과가 되어 정반응보다 역반응 쪽이 유리해지고, 그 결과 평형상수는 커지지 않는다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

평형상수의 온도 효과는 먼저 정반응의 ΔH° 부호를 본다. 그다음 van't Hoff 식 $\frac{d\ln K}{dT} = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2}$에서 부호만 판단하면 발열은 온도 상승 시 K 감소, 흡열은 온도 상승 시 K 증가로 바로 정리된다.

암기 포인트

발열은 $T\uparrow \Rightarrow K\downarrow$, 흡열은 $T\uparrow \Rightarrow K\uparrow$이다. 평형에서는 G 최소, $\sum u_i\mu_i = 0$이다.

NoteBase

문 20. 이상기체와 그 혼합물에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, P는 압력, V는 부피, R은 기체상수, C_P는 정압 열용량, C_V는 정적 열용량, y_i는 성분 i의 기체상에서의 몰분율이다)

ㄱ. 이상기체의 Joule-Thomson 계수는 0이다.
ㄴ. C_P와 C_V가 온도 의존성이 없을 때, 가역 단열팽창 공정에서 $P(V)^{C_P/C_V}$는 항상 일정하다.
ㄷ. 단원자 기체 분자의 C_P는 온도 의존성이 있다.
ㄹ. 혼합 과정에서 엔트로피 변화량은 $\Delta S_{mix} = R\sum_i (y_i \ln y_i)$이고, $\Delta S_{mix} > 0$이다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄴ, ㄷ
③ ㄷ, ㄹ
④ ㄱ, ㄴ, ㄹ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 Joule-Thomson 계수, 가역 단열식, 단원자 기체의 열용량, 이상기체 혼합 엔트로피 식의 부호를 함께 구별하는 문제이다.

핵심 개념

Joule-Thomson 계수: 등엔탈피 과정에서 압력 변화에 따른 온도 변화율이며, 이상기체는 엔탈피가 온도만의 함수이므로 0이다.
가역 단열 이상기체 관계식: C_P, C_V가 일정하면 $PV^\gamma = \text{const.}$, $\gamma = C_P/C_V$가 성립한다.
단원자 이상기체의 열용량: 병진 자유도만 기여하므로 $C_V = \frac{3}{2}R$, $C_P = \frac{5}{2}R$로 일정하다.
혼합 엔트로피: 이상기체 혼합에서는 $\Delta S_{mix} = -R\sum_i y_i \ln y_i$이고, $0 < y_i < 1$이면 $\ln y_i < 0$이므로 $\Delta S_{mix} > 0$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- ①은 ㄱ, ㄴ만 고른 조합이고 두 진술이 모두 옳으므로 정답이다.
- ㄱ은 이상기체에서 엔탈피가 온도만의 함수이므로 Joule-Thomson 계수 $\mu_{JT} = (\partial T/\partial P)_H$가 0이어서 옳다.
- ㄴ은 C_P, C_V가 일정한 이상기체의 가역 단열팽창에서 $PV^{C_P/C_V} = \text{const.}$가 성립하므로 옳다.

② X
- ②는 ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀리므로 오답이다.
- 틀린 부분은 ㄷ의 '온도 의존성이 있다'는 표현이다.
- 단원자 이상기체의 C_P는 $\frac{5}{2}R$로 일정하므로 올바른 표현은 '단원자 이상기체의 C_P는 온도 의존성이 없다'이다.

③ X
- ③은 ㄷ, ㄹ을 고른 조합인데 둘 다 틀리므로 오답이다.
- ㄷ은 위와 같이 틀리고, ㄹ의 틀린 부분은 $\Delta S_{mix} = R\sum_i y_i \ln y_i$라는 식의 부호이다.
- 올바르게는 이상기체 혼합의 엔트로피 변화가 $\Delta S_{mix} = -R\sum_i y_i \ln y_i$이며, 이 값이 0보다 크다.

④ X
- ④는 ㄱ, ㄴ은 옳지만 ㄹ이 틀리므로 오답이다.
- 틀린 부분은 ㄹ의 혼합 엔트로피 식에서 마이너스 부호가 빠진 점이다.
- 올바른 표현은 '$\Delta S_{mix} = -R\sum_i y_i \ln y_i$이고, $\Delta S_{mix} > 0$이다'이다.

오답 포인트

ㄹ은 마지막에 $\Delta S_{mix} > 0$까지 붙어 있어 맞는 식처럼 보이지만, 실제 함정은 앞 식의 부호이다. 또한 단원자 기체의 열용량은 자유도 변화가 없는 기본 모델에서는 상수인데, 이를 일반 기체처럼 온도 의존성이 있다고 착각하면 ㄷ을 옳게 보기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 문항은 엔탈피의 온도 의존성, 가역 단열 지수식, 단원자 기체의 열용량 상수 여부, 혼합 엔트로피 식의 부호를 차례로 대입하면 빠르게 판별된다. 특히 $y_i \ln y_i < 0$이므로 혼합 엔트로피 식 앞에는 반드시 마이너스 부호가 붙는다고 보면 ㄹ 유형 함정을 바로 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

이상기체는 $\mu_{JT} = 0$, 단원자는 $C_P = \frac{5}{2}R$, 혼합 엔트로피는 $-R\sum y_i \ln y_i$이다.

NoteBase

문 21. 환산온도 $T_r = 1.2$, 환산압력 $P_r = 0.6$인 조건에서 기체 A의 압축인자(Z)는 압력에 대한 비리얼(virial) 방정식을 이용하여 계산할 수 있다. 비리얼 방정식은 제2 비리얼 계수만 고려하고, 제2 비리얼 계수가 Pitzer 상관관계식을 따른다고 할 때, 기체 A의 압축인자는? (단, 해당 온도, 압력 조건에서 제2 비리얼 계수에 대한 Pitzer 상관관계식의 B^0와 B^1은 각각 -0.23, 0.06이고, 기체 A의 이심인자(acentric factor)는 0.2이다)

① 0.564

② 0.891

③ 0.986

④ 1.014

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 압력에 대한 비리얼 방정식과 Pitzer 상관관계식으로 압축인자 Z를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T_r = 1.2$, $P_r = 0.6$, $B^0 = -0.23$, $B^1 = 0.06$, $\omega = 0.2$이다.
구해야 할 값: 기체 A의 압축인자 Z이다.
주의할 조건: 제2 비리얼 계수만 고려하므로 압력에 대한 비리얼 방정식을 $Z = 1 + BP/RT$ 형태로만 적용한다.

사용할 공식

Pitzer 상관관계식은 $B^* = B^0 + \omega B^1$이고, 이를 압력에 대한 비리얼 방정식에 넣으면 $Z = 1 + B^* \frac{P_r}{T_r}$가 된다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 제2 비리얼 계수만 고려한다고 했고 B^0, B^1, 이심인자 ω를 모두 주었으므로 generalized second virial correlation을 바로 적용하는 상황이기 때문이다.

계산 과정

1. 먼저 제2 비리얼 계수의 무차원형을 구한다.
$B^* = B^0 + \omega B^1 = -0.23 + (0.2)(0.06) = -0.218$
2. 다음으로 $\frac{P_r}{T_r}$를 계산한다.
$\frac{P_r}{T_r} = \frac{0.6}{1.2} = 0.5$
3. 압축인자를 계산한다.
$Z = 1 + B^* \frac{P_r}{T_r} = 1 + (-0.218)(0.5) = 1 - 0.109 = 0.891$
따라서 계산 결과는 $Z = 0.891$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과 $Z = 0.891$이므로 0.564는 맞지 않는다. 이 값은 $\frac{P_r}{T_r}$를 $\frac{T_r}{P_r}$로 뒤집어 $1 + (-0.218) \times 2 = 0.564$처럼 계산할 때 나오는 전형적인 오답이다. 틀린 표현은 "압축인자가 0.564이다"이고, 올바르게는 "압축인자가 0.891이다"이다.
② O: $B^* = -0.218$, $\frac{P_r}{T_r} = 0.5$를 넣으면 $Z = 0.891$가 되므로 옳다.
③ X: 0.986은 비리얼 보정항의 크기를 0.109가 아니라 약 0.014 수준으로 과소평가한 값이다. $B^0 = -0.23$의 음의 기여를 제대로 반영하면 Z는 1에 매우 가까운 값이 아니라 0.891이 된다. 틀린 표현은 "압축인자가 0.986이다"이고, 올바르게는 "압축인자가 0.891이다"이다.
④ X: $B^* = -0.218 < 0$이고 $\frac{P_r}{T_r} > 0$이므로 비리얼 보정항은 음수이다. 따라서 Z는 1보다 작아야 하며 1.014는 부호를 반대로 처리한 오답이다. 틀린 표현은 "압축인자가 1.014이다"이고, 올바르게는 "압축인자가 0.891이다"이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 $B^* = B^0 + \omega B^1$를 먼저 만든 뒤 $\frac{P_r}{T_r}$를 곱해야 한다는 순서를 놓치는 데 있다. 특히 $\frac{P_r}{T_r}$를 $\frac{T_r}{P_r}$로 뒤집거나, B^0의 음의 부호를 놓치면 ①이나 ④ 같은 값으로 쉽게 흐른다.

다시 나오면 이렇게 판단

제2 비리얼 계수 문제는 먼저 $B^* = B^0 + \omega B^1$를 계산하고, 그다음 $\frac{P_r}{T_r}$를 곱해 보정항의 부호와 크기를 확인하는 순서로 판단한다. 최종적으로 $B^* < 0$이면 $Z < 1$, $B^* > 0$이면 $Z > 1$인지까지 검산할 수 있다.

암기 포인트

Pitzer 제2 비리얼 보정은 $Z = 1 + (B^0 + \omega B^1)\frac{P_r}{T_r}$이고, 음의 제2 비리얼 계수는 Z를 1보다 작게 만든다.

NoteBase

문 22. 이상기체로 채워진 피스톤-실린더 장치 내부를 계라고 할 때, 계에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, 가역 공정을 가정하고, 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)

ㄱ. 피스톤을 단열압축할 때, 계의 내부에너지 변화량은 가해진 일과 같다.
ㄴ. 피스톤을 고정하고 실린더를 가열할 때, 계의 내부에너지 변화량은 계에 가해진 열과 같다.
ㄷ. 피스톤을 고정하지 않고 실린더를 가열할 때, 계의 내부에너지 변화량은 계에 가해진 열보다 작다.

① ㄱ
② ㄱ, ㄴ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 4번

출제 포인트

닫힌계인 피스톤-실린더에서 제1법칙 $\Delta U = Q - W$를 공정 조건별로 적용할 수 있는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

단열압축은 열출입이 없는 과정이므로 $Q = 0$이고, 압축 중 계에 가해진 일만큼 내부에너지가 증가한다.
정적가열은 부피가 일정하므로 경계일이 0이어서 공급된 열이 그대로 내부에너지 증가량이 된다.
가열하면서 피스톤이 움직이면 계가 팽창일을 하므로, 들어온 열의 일부가 일로 나가서 내부에너지 증가량은 가해진 열보다 작다.

선지별 해설

① X: ①은 ㄱ만 옳다고 본 조합이다. ㄱ은 단열압축에서 $Q = 0$, $\Delta U = -W$이며 압축에서는 계가 한 일이 음수이므로 계에 가해진 일과 ΔU가 같아 옳다. 그러나 ㄴ과 ㄷ도 옳으므로 'ㄱ만'이라는 판단이 틀리다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ'이다.
② X: ②는 ㄱ, ㄴ만 옳다고 본 조합이다. ㄴ은 피스톤 고정으로 $W = 0$이므로 $\Delta U = Q$가 되어 옳다. 다만 ㄷ도 옳다. 피스톤을 고정하지 않고 가열하면 팽창일이 발생하여 $\Delta U = Q - W < Q$가 된다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ'이다.
③ X: ③은 ㄴ, ㄷ만 옳다고 본 조합이다. ㄴ과 ㄷ의 판단은 맞지만 ㄱ을 제외한 점이 틀리다. 단열압축에서는 열전달이 없고 외부가 계에 일을 하므로 내부에너지 변화량은 계에 가해진 일과 같다. 올바르게는 'ㄱ, ㄴ, ㄷ'이다.
④ O: ㄱ, ㄴ, ㄷ이 모두 옳다는 조합이다. ㄱ은 단열압축, ㄴ은 정적가열, ㄷ은 팽창을 동반한 가열의 에너지수지를 각각 정확히 설명하므로 정답이다.

NoteBase

오답 포인트

ㄱ에서 일의 부호를 '계가 한 일'과 '계에 가해진 일'로 구분하지 않으면 헷갈리기 쉽다. 또한 ㄷ에서는 '가열했으니 내부에너지 증가량이 열과 같다'고 단순화하면 틀리며, 피스톤이 움직이면 경계일이 빠져나간다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

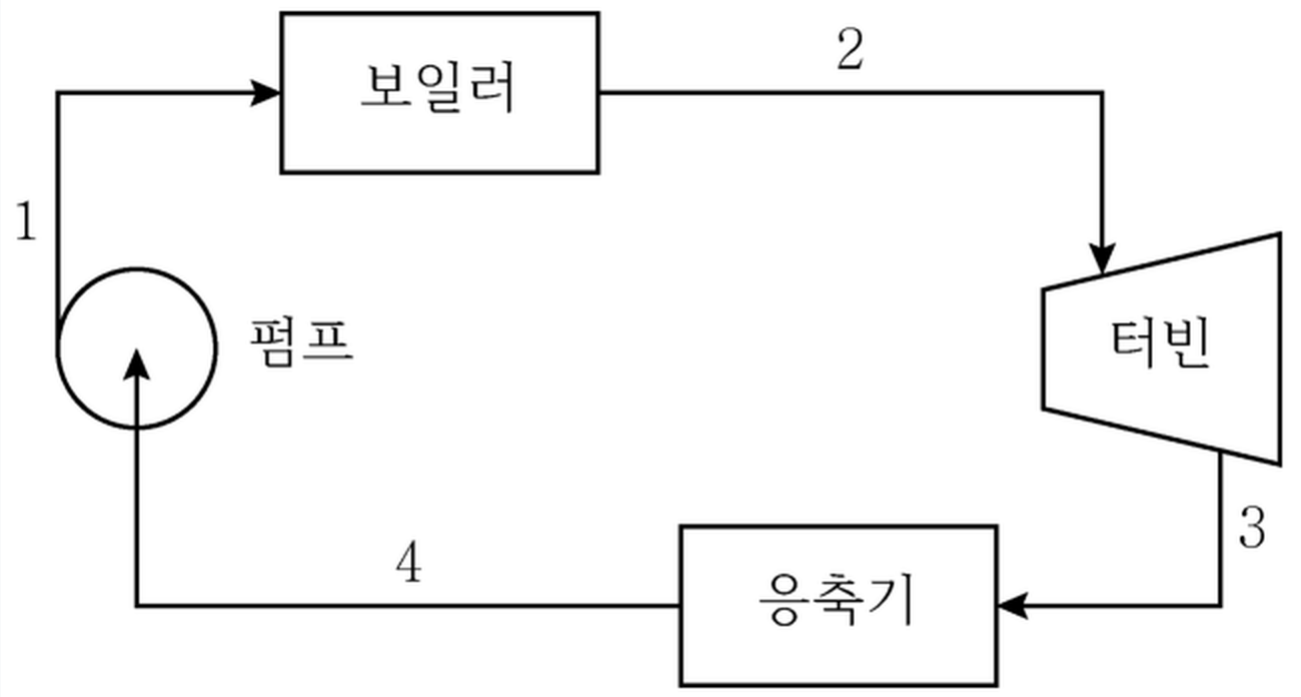
닫힌계 문제는 먼저 $\Delta U = Q - W$를 놓고, 열출입이 없는지, 피스톤이 고정되어 일이 0인지, 팽창일이 발생하는지를 차례로 본다. 단열이면 $Q = 0$, 정적이면 $W = 0$, 가열과 팽창이 함께 있으면 $\Delta U < Q$라는 기준으로 판단하면 된다.

암기 포인트

단열압축은 일이 내부에너지로, 정적가열은 열이 내부에너지로, 팽창가열은 열의 일부가 일로 빠져나간다.

NoteBase

문 23. 그림은 수증기로 작동하는 Rankine 사이클 기관을 나타낸 것이다. 지점 2와 4에서 작동유체의 엔탈피는 각각 $H_2 = 3{,}400\text{kJkg}^{-1}$과 $H_4 = 190\text{kJkg}^{-1}$이고, 터빈과 펌프의 효율은 각각 0.9와 0.8이며, 이상적인 조건(등엔트로피 공정)에서 터빈과 펌프의 축일은 각각 $W_{T,ideal} = -900\text{kJkg}^{-1}$과 $W_{P,ideal} = 8\text{kJkg}^{-1}$이다. 이 기관의 열효율은? (단, 사이클은 정상상태 흐름으로 작동하고, 작동유체의 이송 시 열손실은 없으며, 작동유체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)



① 0.20

② 0.25

③ 0.30

④ 0.40

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 터빈과 펌프의 실제 효율을 반영하여 Rankine 사이클의 열효율을 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값:

- $H_2 = 3400\,\mathrm{kJkg^{-1}}$
- $H_4 = 190\,\mathrm{kJkg^{-1}}$
- 이상적 터빈 축일 $W_{T,\,ideal} = -900\,\mathrm{kJkg^{-1}}$
- 이상적 펌프 축일 $W_{P,\,ideal} = 8\,\mathrm{kJkg^{-1}}$
- 터빈 효율 0.9, 펌프 효율 0.80

구해야 할 값:

- 사이클 열효율 η_{th}

주의할 조건:

- 터빈 일은 출력이므로 음수, 펌프 일은 입력이므로 양수 부호를 쓴다.
- 이상적 일과 실제 일의 관계를 효율 정의에 맞게 바꿔 써야 한다.

사용할 공식

사용 공식은 다음과 같다.

$$\eta_T = \frac{W_{T,\,actual}}{W_{T,\,ideal}}, \qquad \eta_P = \frac{W_{P,\,ideal}}{W_{P,\,actual}}$$

$$Q_{in} = H_2 - H_1, \qquad \eta_{th} = \frac{W_{net,\,out}}{Q_{in}}$$

이 공식을 쓰는 이유:

문제에서 터빈과 펌프의 이상적 축일과 각 효율을 함께 주었으므로 먼저 실제 축일을 구한 뒤, 실제 Rankine 사이클의 순일과 보일러 열투입으로 열효율을 계산해야 한다.

NoteBase

계산 과정

1. 터빈 실제 축일은
$W_{T,actual} = \eta_T W_{T,ideal} = 0.9 \times (-900) = -810\text{kJkg}^{-1}$
이다.
2. 펌프 실제 축일은
$W_{P,actual} = \frac{W_{P,ideal}}{\eta_P} = \frac{8}{0.80} = 10\text{kJkg}^{-1}$
이다.
3. 펌프 출구 엔탈피는
$H_1 = H_4 + W_{P,actual} = 190 + 10 = 200\text{kJkg}^{-1}$
이다.
4. 보일러 열투입은
$Q_{in} = H_2 - H_1 = 3400 - 200 = 3200\text{kJkg}^{-1}$
이다.
5. 사이클 순출력은 터빈 출력 810에서 펌프 입력 10을 뺀 값이므로
$W_{net,out} = 810 - 10 = 800\text{kJkg}^{-1}$
이다.
6. 따라서 열효율은
$\eta_{th} = \frac{800}{3200} = 0.25$
이다.

선지별 해설

① X: 열효율은 0.20이 아니라 0.25이다. 실제 축일과 열투입을 반영하면 $\eta_{th} = 800/3200$으로 바로 확인된다.
② O: 계산 결과 열효율이 정확히 0.25이므로 옳다.
③ X: 열효율은 0.30이 아니라 0.25이다. 터빈 효율과 펌프 효율을 적용한 실제 순일이 800이므로 이 값과 맞지 않는다.
④ X: 열효율은 0.40이 아니라 0.25이다. 보일러 열투입을 $H_2 - H_1$로 계산하면 3200이므로 이런 큰 값은 나오지 않는다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 펌프 효율 정의를 거꾸로 써서 실제 펌프 일을 10이 아니라 6.4 또는 8로 두는 경우이다. 또 터빈 일의 부호를 그대로 더해 순일 계산을 헷갈리거나, 보일러 열투입을 $H_2 - H_4$로 잘못 잡는 경우도 많다.

다시 나오면 이렇게 판단

Rankine 계산형 문항은 먼저 각 장치의 효율 정의로 실제 일을 구하고, 그다음 엔탈피를 복원한 뒤 Q_{in}과 순출력을 계산하는 순서로 판단한다. 열효율은 마지막에 순출력/열투입으로 정리하면 된다.

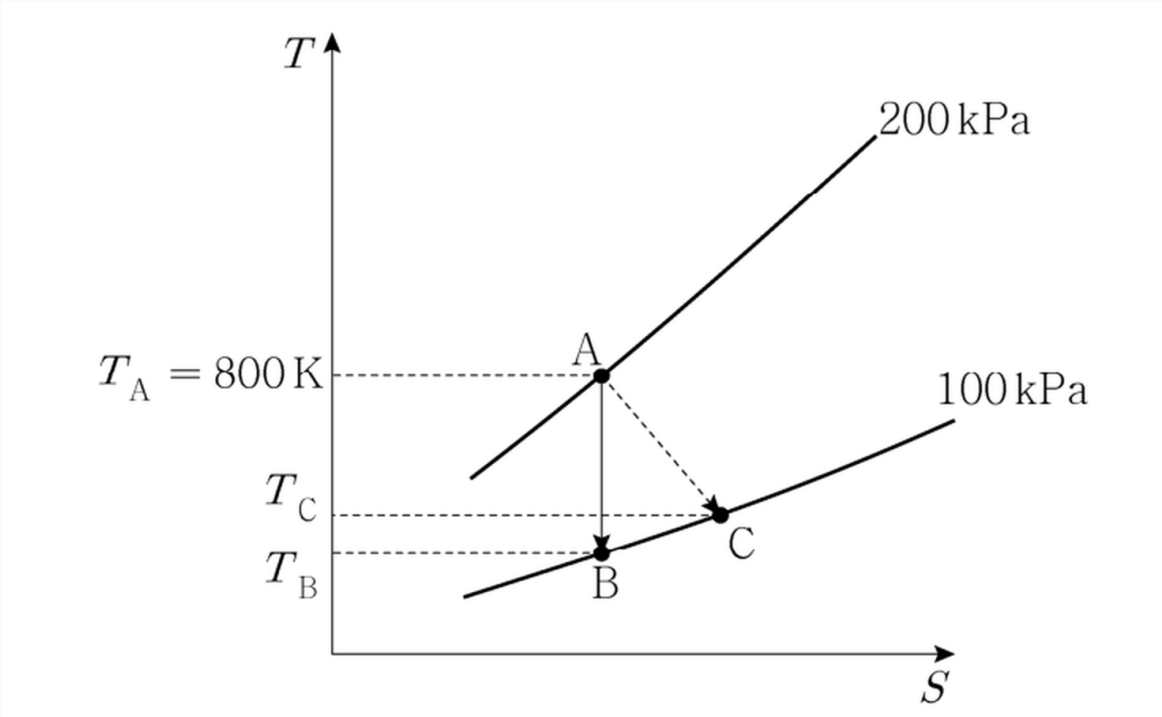
NoteBase

암기 포인트

터빈은 $\eta_T = W_{actual}/W_{ideal}$, 펌프는 $\eta_P = W_{ideal}/W_{actual}$로 방향이 서로 반대이다.

NoteBase

문 24. 그림은 정상상태 흐름에서 200 kPa, 800 K의 이상기체가 단열된 터빈으로 유입(지점 A)되어 100 kPa의 압력으로 배출(지점 C)되는 공정을 온도(T)-엔트로피(S) 선도에 나타낸 것이다. 이때, A→B 공정과 A→C 공정은 각각 이상적인(등엔트로피) 공정과 실제 공정을 나타낸다. 터빈의 효율이 90%일 때, 출구(지점 C)에서 이상기체의 온도[K]는? (단, T_i는 지점 i에서의 온도이고, 이상기체의 정압 열용량(C_P)과 정적 열용량(C_V)은 일정하다. $\frac{R}{C_P} = 0.32$, $2^{0.32} = 1.25$로 계산하고, R은 기체상수이며, 이상기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)



① 650

② 656

③ 665

④ 674

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 등엔트로피 관계식과 터빈 등엔트로피 효율을 이용해 실제 출구 온도 T_C를 구하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값은 $P_A = 200kPa$, $T_A = 800K$, $P_B = P_C = 100kPa$, 터빈 효율 90%이다.
$A \to B$는 이상적인 등엔트로피 팽창이고, $A \to C$는 실제 팽창이다.
또한 $R/C_P = 0.32$, $2^{0.32} = 1.25$를 사용한다.

사용할 공식

등엔트로피 과정에서는
$\frac{T_B}{T_A} = \left(\frac{P_B}{P_A}\right)^{R/C_P}$
가 성립한다.
터빈 등엔트로피 효율은
$\eta_t = \frac{h_A - h_C}{h_A - h_B} = \frac{T_A - T_C}{T_A - T_B}$
로 쓸 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 이상기체이고 C_P가 일정하므로 엔탈피 차가 온도 차에 비례하며, 문제에서 이상 공정 $A \to B$와 실제 공정 $A \to C$를 함께 제시했기 때문이다.

계산 과정

1. 이상 등엔트로피 출구 온도 T_B를 구한다.
$T_B = 800\left(\frac{100}{200}\right)^{0.32} = 800 \times \frac{1}{2^{0.32}} = 800 \times \frac{1}{1.25} = 640K$
2. 터빈 효율식을 적용한다.
$0.9 = \frac{800 - T_C}{800 - 640}$
3. 정리하면
$800 - T_C = 0.9 \times 160 = 144$
이므로
$T_C = 800 - 144 = 656K$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
계산 결과 실제 출구 온도는 $656K$이므로 650 K는 맞지 않는다. 틀린 표현은 '650 K'이며, 올바르게는 '656 K'이다.

② O
등엔트로피 출구 온도 $T_B = 640K$를 구한 뒤 효율 90%를 적용하면 실제 출구 온도는 $656K$가 된다. 따라서 656 K가 옳다.

③ X
665 K라면 효율식 $\eta_t = (T_A - T_C)/(T_A - T_B)$를 만족하지 않는다. 틀린 표현은 '665 K'이며, 올바르게는 '656 K'이다.

④ X
674 K는 실제 팽창의 온도 강하를 지나치게 작게 본 값이다. 틀린 표현은 '674 K'이며, 올바르게는 '656 K'이다.

계산 결과 $T_C = 656K$이므로 정답은 2번이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 등엔트로피 관계에서 압력비 지수를 잘못 적용하는 실수이다. 이 문제는 이미 $R/C_P = 0.32$를 주었으므로 그대로 쓰면 된다. 둘째, 실제 터빈 출구 온도는 이상 출구 온도 T_B보다 높아야 하는데 이를 반대로 판단하는 실수이다. 비가역 손실이 있으면 같은 압력까지 팽창해도 실제 온도 강하는 더 작아진다.

다시 나오면 이렇게 판단

터빈 계산형 문항은 먼저 압력비로 이상 출구 상태를 구하고, 다음에 효율식으로 실제 출구 상태를 구하는 순서로 판단한다. 마지막에는 실제 출구 온도가 항상 $T_B < T_C < T_A$ 범위에 있는지 검산하면 계산 방향 오류를 줄일 수 있다.

암기 포인트

단열 터빈은 먼저 이상 상태, 그다음 실제 상태를 구한다. 실제 출구 온도는 이상 출구 온도보다 높다.

NoteBase

문 25. 일정한 온도에서 단일 성분의 기체와 액체가 평형을 이루고 있다. 기체의 잔류 몰부피(residual molar volume, V^R)가 $V^R = a + bT$로 표현될 때, 액체의 퓨개시티 계수(fugacity coefficient)를 옳게 나타낸 것은? (단, a와 b는 상수, T는 온도, R은 기체상수, P^{sat}은 해당 조건에서 물질의 포화 증기압이다)

① $\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}$
② $\frac{(2a+bT)P^{sat}}{2RT}$
③ $\exp\left(\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}\right)$
④ $\exp\left(\frac{(2a+bT)P^{sat}}{2RT}\right)$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 잔류 몰부피와 퓨개시티 계수의 관계식 $\left(\frac{\partial \ln \phi}{\partial P}\right)_T = \frac{V^R}{RT}$를 적분해 포화압에서의 퓨개시티 계수를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 단일 성분의 기체와 액체가 일정한 온도에서 평형을 이룬다. 기체의 잔류 몰부피는 $V^R = a + bT$이다.
구해야 할 값: 액체의 퓨개시티 계수이다.
주의할 조건: 일정 온도이므로 T는 상수이다. 또한 순수물질의 기액평형에서는 $f^L = f^V$이므로 액체의 퓨개시티 계수는 같은 압력에서의 기체 퓨개시티 계수와 같게 쓸 수 있다.

사용할 공식

$\left(\frac{\partial \ln \phi}{\partial P}\right)_T = \frac{V^R}{RT}$
$\ln \phi = \int_0^{P^{sat}} \frac{V^R}{RT} dP$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 잔류 몰부피 V^R가 직접 주어졌기 때문이다. 퓨개시티 계수는 잔류 깁스에너지와 연결되며, 그 압력 미분형이 바로 위 식이다.

계산 과정

1. 일정 온도에서 $V^R = a + bT$는 압력 P에 대해 상수처럼 취급된다.
2. 따라서
$\ln \phi = \int_0^{P^{sat}} \frac{a+bT}{RT} dP = \frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}$
3. 양변에 지수를 취하면
$\phi = \exp\left(\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}\right)$
4. 순수물질 기액평형에서 액체와 기체의 퓨개시티는 같으므로 액체의 퓨개시티 계수도 같은 식으로 나타난다.

NoteBase

선지 판단

① X
$\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}$는 $\ln\phi$에 해당한다. 퓨개시티 계수 ϕ 자체는 이 값을 지수화한 형태여야 한다. 틀린 표현은 지수함수가 빠진 점이며, 올바르게는 $\phi = \exp\left(\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}\right)$이다.

② X
분모에 2가 들어갈 근거가 없다. 일정 온도에서 $V^R = a + bT$는 압력 적분 구간 전체에서 상수이므로 평균값 처리로 $\frac{1}{2}$가 생기지 않는다. 올바르게는 $\ln\phi = \frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}$이다.

③ O
압력 적분 결과가 $\ln\phi = \frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}$이므로 퓨개시티 계수는 $\phi = \exp\left(\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}\right)$가 된다. 따라서 ③이 옳다.

④ X
②와 같은 잘못으로 지수 내부에 불필요한 $\frac{1}{2}$가 들어갔다. 틀린 표현은 $\frac{(2a+bT)P^{sat}}{2RT}$이고, 올바르게는 $\frac{(a+bT)P^{sat}}{RT}$가 지수 내부에 들어가야 한다.

오답 포인트

퓨개시티 계수 ϕ와 그 로그값 $\ln\phi$를 혼동하면 ①로 흐르기 쉽다. 또 V^R가 온도의 함수라는 이유만으로 적분에서 평균값을 잘못 넣으면 ②나 ④ 같은 형태가 나온다. 이 문제의 핵심은 적분 변수가 압력이고, 일정 온도에서는 $a + bT$가 압력에 대해 상수라는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

잔류 성질이 주어지면 먼저 $\left(\frac{\partial \ln\phi}{\partial P}\right)_T$ 관계를 떠올리고, 주어진 식이 압력의 함수인지 아닌지를 구분한다. 압력에 무관한 상수이면 바로 $\ln\phi = V^R P/(RT)$ 꼴로 적분한 뒤 마지막에 지수함수를 취해 ϕ를 얻는다. 기액평형 문구가 있으면 $f^L = f^V$를 함께 연결한다.

암기 포인트

일정 온도에서 V^R가 압력에 무관하면 $\ln\phi = \frac{V^R P}{RT}$이고, 퓨개시티 계수 ϕ는 항상 지수형으로 나타난다.

NoteBase