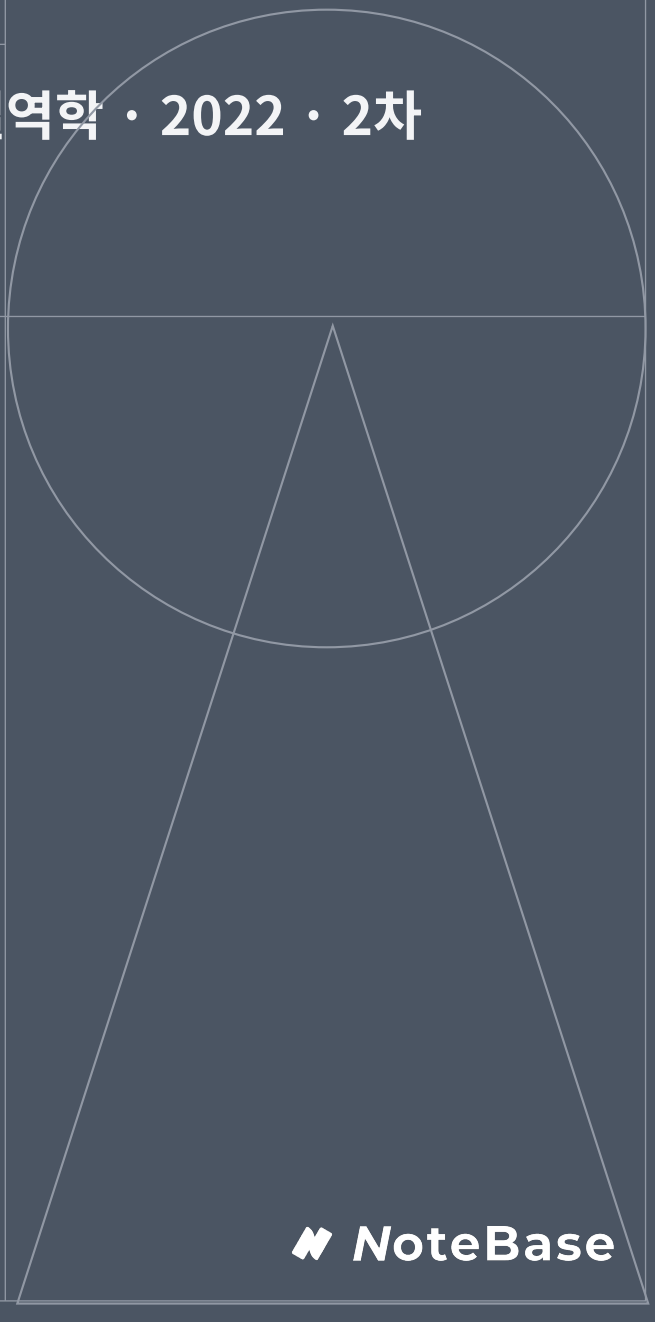
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2022 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2022 · 2차

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2022 · 2차

문 1. 내부가 진공 이중벽인 보온병에 미지근한 물을 반만 채우고 밀봉하였다. 보온병은 이상적으로 완벽하게 단열되어 있으며, 물은 보온병 외부로 전혀 새어 나오지 않는다고 가정한다. 보온병 내부를 열역학적 계(system)라고 할 때, 계에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 해당 계는 물리적으로 닫힌계라고 볼 수 있다.

② 열의 출입이 불가능한 이상적인 단열계이다.

③ 물질은 통과하지 못하는 계이다.

④ 일의 출입이 불가능한 계이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 계의 종류를 물질 출입, 열 출입, 일 출입의 기준으로 구분할 수 있는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

닫힌계는 경계를 통해 물질은 드나들지 않지만 열과 일은 출입할 수 있는 계이다.
단열계는 경계를 통한 열의 출입이 없는 계이다.
따라서 '완전 단열'과 '물질 누설 없음'은 닫힌계이자 단열계라는 뜻이지만, 곧바로 일의 출입까지 불가능하다는 뜻은 아니다.

선지별 해설

① O: 물을 반만 채운 뒤 밀봉했고 외부로 전혀 새어 나오지 않는다고 했으므로 계 경계를 통한 물질 이동이 없다. 따라서 물리적으로 닫힌계로 볼 수 있다.
② O: 보온병이 이상적으로 완벽하게 단열되어 있다고 했으므로 열의 출입은 없다. 따라서 이상적인 단열계이다.
③ O: 계 경계를 통과하는 물질 이동이 없으므로 물질은 통과하지 못하는 계이다. 이는 닫힌계의 정의와 같다.
④ X: 틀린 부분은 '일의 출입이 불가능한 계'라는 표현이다. 닫힌계이면서 단열계라도 일 전달까지 항상 막히는 것은 아니다. 보온병을 흔들거나 외력이 작용하면 계 내부 물에 교반일과 같은 기계적 일이 전달될 수 있다.
올바르게는 '물질 출입은 없고 열출입도 없지만, 일은 전달될 수 있는 계이다.'

NoteBase

오답 포인트

닫힌계를 '아무것도 드나들지 못하는 계'로 외우면 ④에 속기 쉽다. 닫힌계는 물질만 막고, 단열계는 열만 막는다. 일의 가능 여부는 그와 별도로 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

계의 성질은 물질, 열, 일을 각각 분리해서 본다. 물질 이동이 없으면 닫힌계, 열 이동이 없으면 단열계이고, 두 조건이 동시에 성립해도 일 전달 가능성은 별도 조건으로 판단한다.

암기 포인트

닫힌계는 물질 X, 단열계는 열 X, 일 가능 여부는 별도 판단이다.

NoteBase

문 2. 냉동 시스템이 2kW의 동력으로 작동하고 있으며, 냉동되는 속도는 $5kJs^{-1}$라고 한다. 이 냉동 시스템의 성능계수는?

① 0.4

② 2.5

③ 5.0

④ 10.0

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 냉동기의 성능계수 COP_R를 $\dot{Q}_L/\dot{W}_{in}$ 공식으로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 입력동력 $\dot{W}_{in} = 2kW$, 냉동속도 $\dot{Q}_L = 5kJ/s$이다.
$1kW = 1kJ/s$이므로 두 값은 같은 단위계에서 바로 비교할 수 있다.
구해야 할 값은 냉동기 성능계수 COP_R이다.

사용할 공식

냉동기의 성능계수는 $COP_R = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{in}}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 냉동기 성능계수가 냉동효과를 얻기 위해 투입한 일의 비로 정의되기 때문이다.

계산 과정

1. 입력동력 $2kW$를 $2kJ/s$로 본다.
2. 공식에 대입하면 $COP_R = \frac{5kJ/s}{2kJ/s}$ 이다.
3. 계산하면 $COP_R = 2.5$ 이다.

선지별 해설

① X: 0.4는 $\frac{2}{5}$로 계산한 값이다. 이는 성능계수를 거꾸로 계산해 $\dot{W}_{in}/\dot{Q}_L$를 구한 경우이다. 틀린 값 0.4 → 올바르게는 $COP_R = \frac{5}{2} = 2.5$이다.
② O: 성능계수는 $\dot{Q}_L/\dot{W}_{in} = 5/2 = 2.5$이므로 맞는 값이다.
③ X: 5.0은 냉동속도 $5kJ/s$ 자체만 보고 분모의 입력동력 $2kW$를 반영하지 않은 값이다. 틀린 값 5.0 → 올바르게는 입력동력으로 나누어 2.5이다.
④ X: 10.0은 나누기 대신 곱셈을 하거나 공식의 구조를 잘못 적용한 값이다. 틀린 값 10.0 → 올바르게는 곱하는 것이 아니라 5/2를 계산해 2.5이다.

NoteBase

오답 포인트

냉동기 성능계수는 열기관 효율과 달리 $\dot{Q}_L/\dot{W}_{in}$ 형태라는 점을 놓치기 쉽다. 특히 분자와 분모를 뒤집어 0.4를 만들거나, 단순히 냉동속도 숫자 5만 보고 답을 고르는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

냉동기 문제는 먼저 무엇이 냉동효과인지와 무엇이 입력일인지를 구분한 뒤, $COP_R = \dot{Q}_L/\dot{W}_{in}$에 그대로 대입해 계산하면 된다. 단위가 kW와 kJ/s로 섞여 있어도 $1kW = 1kJ/s$임을 확인하면 바로 계산할 수 있다.

암기 포인트

냉동기 성능계수는 냉동효과 나누기 입력일이므로 $COP_R = \dot{Q}_L/\dot{W}_{in}$이다.

NoteBase

문 3. 이상기체로 간주되는 여러 기체 성분들을 혼합시킨다. 혼합 후 혼합물의 열역학적 성질이, 같은 온도와 압력에 있는 혼합 전 순수성분들의 성질에 그 성분의 몰수를 곱한 값의 합과 같은 것은?

① A(헬름홀츠에너지)

② H(엔탈피)

③ S(엔트로피)

④ G(깁스에너지)

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 혼합에서 어떤 상태량이 같은 온도와 압력의 순수성분 몰수 가중합과 그대로 일치하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

엔탈피 H: 이상기체에서는 H가 온도만의 함수이므로 혼합열이 0이고, 혼합물의 총 엔탈피는 각 성분의 $n_i h_i(T)$ 합으로 나타난다.
엔트로피 S: 혼합되면 혼합 엔트로피가 추가되어 같은 T, P의 순수성분 몰수 가중합보다 커진다.
깁스에너지 G: 이상기체 혼합에서는 $\Delta G_{mix} = RT\sum n_i \ln y_i < 0$가 생겨 순수성분 합과 같지 않다.
헬름홀츠에너지 A: $A = U - TS$이고 혼합으로 S가 증가하므로 순수성분 합보다 작아진다.

선지별 해설

1번 X: 헬름홀츠에너지는 $A = U - TS$이다. 이상기체 혼합에서는 내부에너지 U는 가산적이지만 혼합 엔트로피가 추가되어 TS 항이 커지므로 A는 순수성분의 몰수 가중합과 같지 않다. 틀린 표현은 '헬름홀츠에너지'이다. 올바르게는 '엔탈피'이다.
2번 O: 이상기체의 엔탈피는 온도만의 함수이므로 혼합 전후가 같은 온도이면 성분별 엔탈피를 그대로 더하면 된다. 따라서 혼합물의 엔탈피는 같은 T, P에 있는 순수성분 엔탈피의 몰수 가중합과 같다.
3번 X: 엔트로피는 혼합 시 증가하며, 이상기체에서는 혼합 엔트로피 항이 추가된다. 따라서 S는 단순한 순수성분 합보다 크다. 틀린 표현은 '엔트로피'이다. 올바르게는 '엔탈피'이다.
4번 X: 깁스에너지는 이상기체 혼합에서 화학퍼텐셜 감소 효과가 반영되어 $\Delta G_{mix} < 0$가 된다. 따라서 순수성분의 몰수 가중합과 같지 않다. 틀린 표현은 '깁스에너지'이다. 올바르게는 '엔탈피'이다.

오답 포인트

엔탈피와 엔트로피가 모두 광의적 성질이라는 점 때문에 둘 다 단순합으로 처리하기 쉽다. 그러나 이상기체 혼합에서 단순합이 유지되는 것은 혼합열이 0인 H이고, S, G, A에는 혼합으로 인한 추가항이 생긴다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

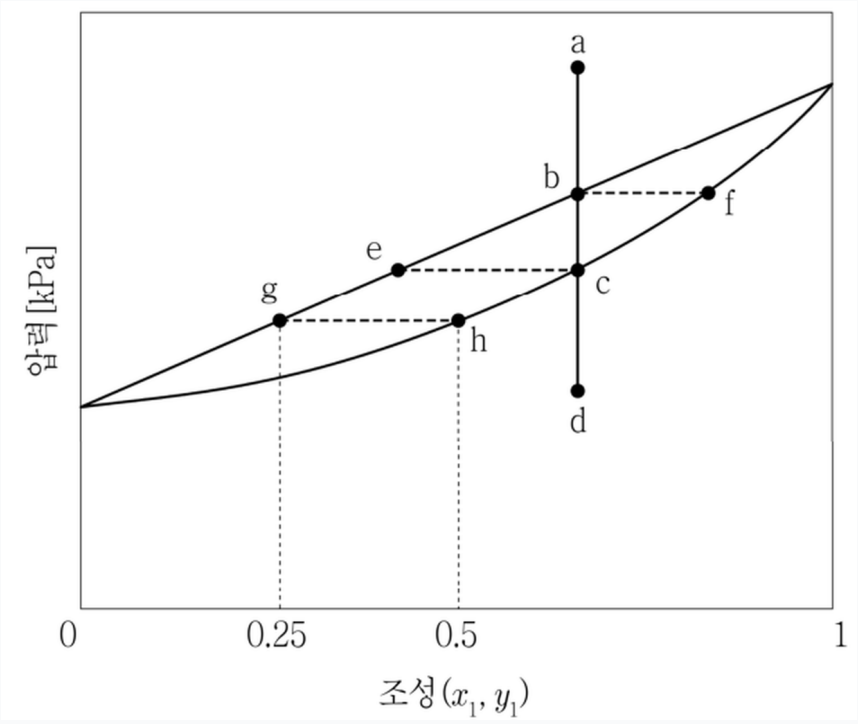
이상기체 혼합 문제에서는 먼저 혼합 시 추가항이 생기는지를 본다. U와 H는 온도만의 함수라서 혼합열이 0이지만, S는 혼합 엔트로피 항이 생기고 G, A도 그 영향을 받아 순수성분 단순합과 달라진다.

암기 포인트

이상기체 혼합은 H는 그대로 더해지고, S는 늘어나며, G와 A는 내려간다.

NoteBase

문 4. 그림은 일정한 온도에서 2성분계 혼합물에 대한 기액 상평형 $P-x_1-y_1$ 선도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, P는 압력, x_1은 액체상에서의 성분 1의 몰분율, y_1은 기체상에서의 성분 1의 몰분율이다. 점 b, c, d는 점 a로부터 내려오는 수직선 위에 위치하며, 수평 점선들은 각각 서로 다른 압력에서의 연결선(tie line)이다)



① 점 a에 있는 과냉각 액체가 점 b에 도달하면 포화액체가 되며, 점 b는 기포점을 나타낸다.

② 점 b에서 점 c로 이동하면서 증기의 양은 증가하고, 액체의 양은 감소하며, 점 c는 이슬점을 나타낸다.

③ 점 g에서 성분 2의 액체상에서의 조성(x_2)은 0.5이다.

④ 점 c에 있는 포화증기가 점 d로 이동하면 과열증기 상태가 된다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 등온 $P-x_1-y_1$ 선도에서 윗곡선은 기포점선, 아랫곡선은 이슬점선이라는 점과, 수직 이동은 전체 조성 고정, 수평 연결선은 같은 압력에서의 액상·기상 평형조성을 뜻한다는 점을 묻는다.

NoteBase

선지별 해설

1번: O. 점 a는 윗곡선 위쪽이므로 과냉각 액체 상태이다. 같은 전체 조성에서 압력을 낮춰 점 b에 도달하면 처음 기포가 생기는 포화액체가 되므로 점 b는 기포점이다.
2번: O. 점 b에서 점 c로 내려가면 두 상 공존영역을 지나므로 압력이 낮아질수록 액체 일부가 더 증발하여 증기량은 증가하고 액체량은 감소한다. 점 c는 아랫곡선 위의 점이므로 마지막 액적이 사라지는 이슬점이다.
3번: X. 점 g는 윗곡선 위의 점이므로 액체상의 조성은 $x_1 = 0.25$이다. 따라서 성분 2의 액체상 조성은 $x_2 = 1 - x_1 = 0.75$이다. 선지의 잘못된 표현은 "x_2는 0.5"이고, 올바르게는 "점 g에서 액체상 성분 2의 조성 x_2는 0.75이다"이다. 0.5는 같은 연결선 반대편 점 h의 기상 조성 y_1에 해당한다.
4번: O. 점 c는 포화증기 상태이다. 같은 전체 조성에서 더 낮은 압력의 점 d로 내려가면 아랫곡선 아래쪽으로 가므로 과열증기 상태가 된다.

오답 포인트

연결선의 양 끝점을 같은 종류의 조성으로 읽으면 틀린다. 윗곡선에서는 액상 조성 x를 읽고, 아랫곡선에서는 기상 조성 y를 읽어야 한다. 또한 성분 2의 조성은 성분 1의 조성을 1에서 뺀 값으로 바꿔 읽어야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온 $P-x-y$ 선도에서는 먼저 윗곡선이 기포점선, 아랫곡선이 이슬점선인지 확인한다. 그다음 수직 이동이면 전체 조성 고정 상태에서 압력만 변하는 과정으로 보고, 수평 연결선이면 같은 압력에서 액상은 x, 기상은 y를 각각 읽는다.

암기 포인트

등온 $P-x-y$ 선도는 위가 액체 경계인 기포점선, 아래가 증기 경계인 이슬점선이며, 점 g에서 $x_1 = 0.25$이면 $x_2 = 0.75$이다.

NoteBase

문 5. 성질이 유사한 화합물 A와 화합물 B 사이에 2-매개변수 대응 상태의 원리가 적용되어 똑같은 크기의 압축인자를 갖는다. 화합물 A가 390K와 70atm에 있을 때, 화합물 B의 온도(T_B)와 압력(P_B)의 값을 바르게 연결한 것은? (단, 표에서 T_C는 화합물의 임계온도이고, P_C는 화합물의 임계압력이다)

구분 / 화합물	T_C[K]	P_C[atm]
A	130	35
B	150	50

① $T_B[K]$: 450, $P_B[atm]$: 100

② $T_B[K]$: 338, $P_B[atm]$: 49

③ $T_B[K]$: 300, $P_B[atm]$: 150

④ $T_B[K]$: 250, $P_B[atm]$: 130

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 2-매개변수 대응상태 원리에서 같은 압축인자를 가지면 환산온도와 환산압력이 같아진다는 점을 이용해 화합물 B의 상태를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 화합물 A는 $T_A = 390K$, $P_A = 70atm$이다.
임계성질: A는 $T_{C,A} = 130K$, $P_{C,A} = 35atm$, B는 $T_{C,B} = 150K$, $P_{C,B} = 50atm$이다.
구해야 할 값: 화합물 B의 T_B, P_B이다.
주의할 조건: 같은 압축인자이면 $T_{r,A} = T_{r,B}$, $P_{r,A} = P_{r,B}$가 성립한다.

사용할 공식

환산온도와 환산압력은 각각 $T_r = T/T_C$, $P_r = P/P_C$이다.
대응상태 원리에 의해 유사한 화합물의 같은 압축인자에서는 $T_{r,A} = T_{r,B}$, $P_{r,A} = P_{r,B}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 두 화합물이 같은 크기의 압축인자를 가진다고 했으므로 두 환산변수 T_r, P_r를 같게 두어 B의 실제 온도와 압력을 복원할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 화합물 A의 환산온도를 구하면 $T_{r,A} = 390/130 = 3$이다.
2. 화합물 A의 환산압력을 구하면 $P_{r,A} = 70/35 = 2$이다.
3. 따라서 화합물 B도 $T_{r,B} = 3, P_{r,B} = 2$이다.
4. 화합물 B의 실제 온도는 $T_B = 3 \times 150 = 450K$이다.
5. 화합물 B의 실제 압력은 $P_B = 2 \times 50 = 100atm$이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 $T_B = 450K, P_B = 100atm$이므로 정확하다.
2번: X. $T_B = 338K, P_B = 49atm$는 임계성질을 역비례로 잘못 적용한 값이다. 틀린 표현은 $338K, 49atm$이며, 올바르게는 $450K, 100atm$이다.
3번: X. $300K, 150atm$는 환산온도 3과 환산압력 2를 서로 뒤바꿔 곱한 값이다. 틀린 표현은 $300K, 150atm$이며, 올바르게는 $450K, 100atm$이다.
4번: X. $250K, 130atm$를 넣으면 $T_{r,B} = 250/150 \approx 1.67, P_{r,B} = 130/50 = 2.6$이 되어 A의 환산변수 3, 2와 일치하지 않는다. 틀린 표현은 $250K, 130atm$이며, 올바르게는 $450K, 100atm$이다.

오답 포인트

임계성질을 이용하는 문제에서 실제값을 직접 비례식으로 뒤집어 세우거나, 환산온도와 환산압력을 서로 바꾸어 곱하면 쉽게 오답이 된다. 이 문항은 먼저 A의 T_r, P_r를 구한 뒤 B의 임계성질을 곱해 복원하는 순서를 지키는지가 핵심이다.

다시 나오면 이렇게 판단

대응상태 문제는 먼저 기준 물질의 T_r, P_r를 계산하고, 같은 압축인자 조건이면 그 값을 다른 물질에도 그대로 적용한 뒤 해당 물질의 T_C, P_C를 곱해 실제 T, P를 구하면 된다.

암기 포인트

2-매개변수 대응상태 원리에서는 같은 압축인자이면 같은 T_r, 같은 P_r이다.

NoteBase

문 6. (가) ~ (라)에서 정적 몰열용량 C_V와 정압 몰열용량 C_P에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, T는 온도, P는 압력, V는 몰부피, S는 몰엔트로피, U는 몰내부에너지, R은 기체 상수이다)

(가) 균질유체에서 $C_V = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V$ 의 관계가 성립한다.
(나) 균질유체에서 $C_P - C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_P + P\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$ 의 관계가 성립한다.
(다) 비압축성 유체에서 $C_P - C_V = R$의 관계가 성립한다.
(라) 조성이 서로 다른 여러 성분으로 구성된 이상기체 혼합물의 C_P 값은 각 성분의 C_P 값의 산술 평균이다.

① (가), (나)
② (가), (라)
③ (나), (다)
④ (다), (라)

정답 1번

출제 포인트

정적 몰열용량과 정압 몰열용량의 정의, $H = U + PV$ 관계식의 전개, $C_P - C_V = R$의 적용 대상, 이상기체 혼합물 열용량의 평균 방식을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

C_V는 일정 몰부피에서의 열용량이므로 $C_V = (\partial U/\partial T)_V$이고, 균질유체에서 $dU = TdS - PdV$이므로 V 일정이면 $C_V = T(\partial S/\partial T)_V$가 된다.
C_P는 일정 압력에서의 열용량이므로 $C_P = (\partial H/\partial T)_P$이고, $H = U + PV$에서
$C_P - C_V = (\partial U/\partial T)_P + P(\partial V/\partial T)_P - (\partial U/\partial T)_V$가 된다.
$C_P - C_V = R$는 이상기체의 관계식이며, 이상기체 혼합물의 C_P는 각 성분 C_P의 산술평균이 아니라 몰분율 가중평균이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
(가)는 옳다. 균질유체의 기본식 $dU = TdS - PdV$에서 V 일정이면 $dU = TdS$이므로
$C_V = (\partial U/\partial T)_V = T(\partial S/\partial T)_V$가 성립한다.
(나)도 옳다. $C_P = (\partial H/\partial T)_P$, $H = U + PV$이므로 $C_P = (\partial U/\partial T)_P + P(\partial V/\partial T)_P$이고, 여기서 $C_V = (\partial U/\partial T)_V$를 빼면 제시식이 된다.

② X
틀린 부분은 (라)이다. 이상기체 혼합물의 C_P는 각 성분 C_P의 산술평균이 아니라 조성에 따른 몰분율 가중평균 $C_{P,mix} = \sum y_i C_{P,i}$이다. 따라서 (라)는 거짓이고, 옳은 조합은 (가), (나)이다.

③ X
틀린 부분은 (다)이다. $C_P - C_V = R$는 이상기체에서만 성립하는 관계식이다. 비압축성 유체에 대해 같은 식을 적용할 수 없고, 엄밀한 비압축성 가정에서는 V가 일정이므로 $C_P = C_V$로 본다. 따라서 (나)는 옳지만 (다)는 거짓이다.

④ X
(다), (라) 모두 틀렸다. (다)는 이상기체 관계식을 비압축성 유체에 잘못 적용한 것이고, (라)는 혼합물 열용량을 산술평균으로 잘못 쓴 것이다. 올바르게는 $C_P - C_V = R$는 이상기체에 대해 성립하고, 이상기체 혼합물의 C_P는 몰분율 가중평균이다.

오답 포인트

$C_P - C_V = R$를 모든 유체의 보편식처럼 외우면 (다)에 끌리기 쉽다. 또 혼합물 성질을 단순 산술평균으로 처리하면 (라)를 맞는 문장으로 오해하기 쉽다. 이 문항은 개별 진술의 진위를 먼저 가리지 않고 조합만 보면 함정에 빠지기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $C_V = (\partial U/\partial T)_V$, $C_P = (\partial H/\partial T)_P$, $H = U + PV$를 기준식으로 두고 각 진술을 하나씩 판정한다. 그다음 $C_P - C_V = R$는 이상기체 전용인지, 혼합물 평균은 산술평균이 아니라 조성 가중평균인지 확인한 뒤 마지막에 조합을 고르면 된다.

암기 포인트

$C_P - C_V = R$는 이상기체, 혼합물 C_P는 몰분율 가중평균, $C_V = T(\partial S/\partial T)_V$이다.

NoteBase

문 7. 320 K, 500 kPa의 물이 단열펌프를 지나 8,000 kPa로 방출된다. 320 K에서 포화액체 물의 비부피는 $1{,}000\mathrm{cm^3kg^{-1}}$이며, 이송되는 동안 비부피는 변하지 않는다. 펌프의 효율이 25 %라면, 단열 압축공정에 필요한 펌프의 일$[\mathrm{kJkg^{-1}}]$은? (단, 이 과정에서 운동에너지와 위치에너지의 변화는 무시한다. $1\mathrm{J}=1\mathrm{MPacm^3}$이다)

① 7.5

② 15.0

③ 20.0

④ 30.0

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비압축성 액체의 단열 펌프 압축에서 $w_{ideal}=v\Delta P$와 펌프 효율 $\eta_p=\frac{w_{ideal}}{w_{actual}}$를 적용해 실제 필요한 일을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T_1=320K$, $P_1=500kPa$, $P_2=8{,}000kPa$, $v=1{,}000cm^3/kg=0.001m^3/kg$, 펌프 효율 $=25\%$이다.
구해야 할 값: 단열 압축공정에 필요한 실제 펌프 일 kJ/kg이다.
주의할 조건: 이송 동안 비부피가 일정하므로 액체를 비압축성으로 보고 $w_{ideal}=v(P_2-P_1)$를 쓴다. 효율 25%는 실제 일이 이상 일보다 더 크다는 뜻이다.

사용할 공식

$w_{ideal}=v(P_2-P_1)$
$\eta_p=\frac{w_{ideal}}{w_{actual}}\quad\Rightarrow\quad w_{actual}=\frac{w_{ideal}}{\eta_p}$
이 공식을 쓰는 이유는 물이 포화액체이고 이송 동안 비부피가 변하지 않는다고 했으므로 비압축성 액체 펌프 일식을 적용할 수 있기 때문이다. 문제에서 묻는 값은 실제 필요한 펌프 일이므로 이상 일에 효율을 반영해야 한다.

계산 과정

1. 압력차를 구하면 $\Delta P=8{,}000-500=7{,}500kPa=7.5MPa$이다.
2. 이상 펌프 일은 $w_{ideal}=v\Delta P=(1{,}000cm^3/kg)(7.5MPa)=7{,}500J/kg=7.5kJ/kg$이다.
3. 펌프 효율이 25%이므로 실제 필요한 일은 $w_{actual}=\frac{7.5}{0.25}=30.0kJ/kg$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 7.5kJ/kg는 $v\Delta P$로 구한 이상 펌프 일이다. 문제는 효율 25%인 실제 필요 일을 묻고 있으므로 올바르게는 30.0kJ/kg이다.
② X: 15.0kJ/kg는 본 조건의 공식 적용 결과와 맞지 않는다. 효율 적용 방향이나 압력차 계산을 잘못 잡은 값에 가깝고, 올바르게는 7.5/0.25 = 30.0kJ/kg이다.
③ X: 20.0kJ/kg도 본 조건에서 나오지 않는 값이다. 펌프 효율은 $\eta_p = w_{ideal}/w_{actual}$이므로 실제 일은 이상 일보다 커지되 정확한 값은 30.0kJ/kg이다.
④ O: 이상 일 7.5kJ/kg에 효율 25%를 반영하면 실제 필요한 일은 30.0kJ/kg이므로 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 $v\Delta P$로 구한 7.5kJ/kg를 그대로 정답으로 고르는 실수와, 효율 25%를 곱해야 하는지 나누어야 하는지 거꾸로 판단하는 실수이다. 펌프 효율이 1보다 작으면 실제 필요 일은 이상 일보다 반드시 커진다.

다시 나오면 이렇게 판단

액체 펌프 계산은 먼저 비부피 일정 여부를 확인하고 $v\Delta P$로 이상 일을 구한 뒤, 효율이 주어지면 _p=(이상 일)/(실제 일)의 방향을 확인해 실제 일을 다시 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

비압축성 액체 펌프는 $w_{ideal} = v\Delta P$, 실제 필요 일은 $w_{actual} = w_{ideal}/\eta_p$이다.

NoteBase

문 8. 다음은 고정된 온도와 압력에서 성분 1과 성분 2로 구성된 용액의 몰부피 $V[cm^3mol^{-1}]$를 구하는 식이다. 성분 1의 몰분율(x_1)이 0.1일 때, 성분 1의 부분몰부피(partial molar volume)$[cm^3mol^{-1}]$는?

$V = 100 + 50x_1 - 20x_1^2 - 10x_1^3$

① 약 109

② 약 120

③ 약 130

④ 약 146

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이성분 용액의 몰부피식 $V(x_1)$로부터 성분 1의 부분몰부피 $\bar{V}_1$를 미분 관계식으로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $V = 100 + 50x_1 - 20x_1^2 - 10x_1^3, x_1 = 0.1$
구해야 할 값: 성분 1의 부분몰부피 $\bar{V}_1$
주의할 조건: 이성분계이므로 $x_2 = 1 - x_1 = 0.9$이고, 성분 1의 부분몰부피는 x_1이 아니라 x_2를 곱하는 식을 쓴다.

사용할 공식

이성분계에서 몰성질 V가 x_1의 함수로 주어지면 성분 1의 부분몰부피는
$\bar{V}_1 = V + (1 - x_1)\left(\frac{dV}{dx_1}\right)_{T,P}$
이다.
이 공식을 쓰는 이유는 T, P 일정한 이성분 용액에서 전체 몰부피곡선의 접선절편이 부분몰부피가 되기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. $x_1 = 0.1$을 대입해 전체 몰부피를 구하면

$V = 100 + 50(0.1) - 20(0.1)^2 - 10(0.1)^3 = 104.79$

이다.

2. 몰부피식을 x_1로 미분하면

$\frac{dV}{dx_1} = 50 - 40x_1 - 30x_1^2$

이고, $x_1 = 0.1$에서

$\frac{dV}{dx_1} = 50 - 4 - 0.3 = 45.7$

이다.

3. $x_2 = 0.9$를 써서 부분몰부피를 구하면

$\bar{V}_1 = 104.79 + 0.9(45.7) = 145.92(cm^3/mol)$

이다. 따라서 약 $146(cm^3/mol)$이다.

선지별 해설

① X. 약 109는 정답값 145.92와 맞지 않는다. $V + x_1(dV/dx_1)$처럼 x_2 대신 x_1을 잘못 곱하면 $104.79 + 0.1 \times 45.7 = 109.36$이 되어 이 값이 나온다. 틀린 값은 약 109이고 올바르게는 약 146이다.

② X. 약 120은 계산 결과 145.92보다 작아 맞지 않는다. 부분몰부피는 평균몰부피 V에 미분항 $x_2(dV/dx_1)$를 끝까지 더해야 하므로 중간 단계에서 덜 더한 값은 오답이다. 틀린 값은 약 120이고 올바르게는 약 146이다.

③ X. 약 130도 계산 결과 145.92와 일치하지 않는다. 부분몰부피는 접선절편 개념으로 구하므로 단순 반올림이나 임의의 중간값 선택으로는 결정되지 않는다. 틀린 값은 약 130이고 올바르게는 약 146이다.

④ O. $V = 104.79$, $dV/dx_1 = 45.7$, $x_2 = 0.9$이므로 $\bar{V}_1 = 145.92(cm^3/mol)$이다. 약 146이므로 옳다.

오답 포인트

평균몰부피 V와 부분몰부피 $\bar{V}_1$를 혼동하기 쉽다. 특히 성분 1의 부분몰부피에서 $x_2 = 1 - x_1$를 곱해야 하는데 x_1를 곱하면 ① 같은 과소값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

이성분계 부분몰성질 문제는 먼저 $x_2 = 1 - x_1$를 정리하고, 다음에 $V(x_1)$를 미분한 뒤 $\bar{V}_1 = V + x_2(dV/dx_1)$, $\bar{V}_2 = V - x_1(dV/dx_1)$를 구분해 적용하면 된다.

암기 포인트

이성분계에서 성분 1은 $+x_2(dV/dx_1)$, 성분 2는 $-x_1(dV/dx_1)$가 붙는다.

NoteBase

문 9. 500 K, 1 bar에서 주어진 반응의 표준 깁스에너지 변화(ΔG^0)가 $4{,}980 \mathrm{J mol^{-1}}$일 때, 그 반응의 $\ln K$는? (단, K는 반응의 평형상수이고, 기체상수 R은 $8.3 \mathrm{J mol^{-1} K^{-1}}$이다)

$C_2H_4(g) + H_2O(g) \rightarrow C_2H_5OH(g)$

① -2.0

② -1.2

③ 1.2

④ 2.0

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 표준 깁스에너지와 평형상수의 관계식 $\Delta G^\circ = -RT\ln K$를 이용해 $\ln K$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $T = 500K$, $\Delta G^\circ = 4{,}980 Jmol^{-1}$, $R = 8.3 Jmol^{-1}K^{-1}$이다.
구해야 할 값: $\ln K$이다.
주의할 조건: ΔG°가 양수이므로 $\ln K$는 음수가 된다.

사용할 공식

사용 공식은 $\Delta G^\circ = -RT\ln K$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 표준 깁스에너지 변화, 온도, 기체상수를 주고 평형상수의 자연로그 값을 직접 묻고 있기 때문이다.

계산 과정

1. 식을 $\ln K$에 대해 정리하면 $\ln K = -\frac{\Delta G^\circ}{RT}$이다.
2. 수치를 대입하면 $\ln K = -\frac{4{,}980}{8.3 \times 500}$이다.
3. $8.3 \times 500 = 4{,}150$이므로 $\ln K = -\frac{4{,}980}{4{,}150} = -1.2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산값은 -1.2이므로 -2.0은 맞지 않는다. "$\ln K = -2.0$이다"가 틀린 표현이고, 올바르게는 "$\ln K = -1.2$이다"이다. 이 값은 나눗셈을 거칠게 처리한 산술 오차에 가깝다.
② O: $\ln K = -\frac{4{,}980}{8.3 \times 500} = -1.2$이므로 정답과 일치한다.
③ X: 1.2는 부호를 빠뜨렸을 때 나오는 값이다. "$\ln K = 1.2$이다"가 틀린 표현이고, 올바르게는 "$\ln K = -1.2$이다"이다.
④ X: 계산값의 크기와 부호가 모두 맞지 않는다. "$\ln K = 2.0$이다"가 틀린 표현이고, 올바르게는 "$\ln K = -1.2$이다"이다. 이 값은 공식 적용과 산술 계산을 함께 잘못한 경우에 해당한다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 $\Delta G^\circ = -RT\ln K$의 음수를 놓쳐 ③처럼 양수 1.2를 고르는 경우이다. 또 RT를 정확히 계산하지 않으면 ①이나 ④ 같은 오차값을 고르게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

이 관계식 문제는 먼저 $\Delta G^\circ = -RT\ln K$를 떠올리고, 다음에 $\ln K = -\Delta G^\circ/(RT)$로 정리한 뒤, 마지막에 부호와 나눗셈 값을 함께 검산하면 된다.

암기 포인트

$\Delta G^\circ > 0$이면 $\ln K < 0$이고, $\Delta G^\circ < 0$이면 $\ln K > 0$이다.

NoteBase

문 10. 유량이 10kgs^{-1}인 수증기가 100ms^{-1}의 속도로 압축기로 들어가서 압축기 입구 압력의 3배로 압축되었다가 다시 노즐로 들어가서 압축기 입구 조건(온도 및 압력)과 같은 상태로 팽창되면서 500ms^{-1}의 속도로 방출된다. 이 과정이 정상상태, 단열조건에서 일어날 때, 압축기에서 필요한 동력[kW]은? (단, 압축기 입구와 노즐 출구의 높이차는 없다고 가정한다)

① 120

② 240

③ 1,200

④ 2,400

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정상상태 단열 흐름계에서 입구와 최종 출구의 상태가 같으면 엔탈피 변화가 0이 되어, 필요한 축동력이 운동에너지 증가분으로만 결정된다는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 질량유량은 $10kg/s$, 압축기 입구 속도는 $100m/s$, 노즐 출구 속도는 $500m/s$이다.
구해야 할 값: 압축기에 필요한 동력이다.
주의할 조건: 전체 과정은 정상상태, 단열, 높이차 무시 조건이며 노즐 출구의 온도와 압력이 압축기 입구와 같으므로 $h_{out} = h_{in}$이다.

사용할 공식

정상류 에너지 방정식은 $\dot{Q} - \dot{W}_s = \dot{m}\left[(h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right]$이다.
이 문제는 전체 과정이 단열이므로 $\dot{Q} = 0$, 높이차가 없으므로 $g(z_2 - z_1) = 0$, 최종 상태와 초기 상태의 온도·압력이 같아 $h_2 - h_1 = 0$이므로 축일은 운동에너지 변화만으로 계산된다.

NoteBase

계산 과정

전체 장치를 하나의 제어체적으로 잡으면 비축일 입력은
$w_{in} = \frac{V_{out}^2 - V_{in}^2}{2}$
이다.
수치를 대입하면
$w_{in} = \frac{500^2 - 100^2}{2} = \frac{250000 - 10000}{2} = 120000 J/kg = 120 kJ/kg$
이다.
따라서 필요한 동력은
$\dot{W}_{in} = \dot{m} w_{in} = 10 \times 120 kJ/s = 1200 kW$
이다.

선지 판단

1번 X: $120 kW$는 비축일 $120 kJ/kg$까지만 구하고 질량유량 $10 kg/s$를 반영하지 않은 값이다. 올바르게는 필요한 동력은 $1200 kW$이다.
2번 X: $240 kW$는 $\Delta(V^2/2)$에서 $/2$ 처리나 단위 변환을 잘못한 값이다. 운동에너지 항은 반드시 $(V^2/2)$ 형태로 써야 하며 계산 결과는 $1200 kW$이다.
3번 O: 최종 상태와 초기 상태의 엔탈피가 같으므로 축동력은 운동에너지 증가분만큼 필요하다.
$\dot{W}_{in} = 10 \times (500^2 - 100^2)/2 = 1200 kW$이므로 정답이다.
4번 X: $2400 kW$는 운동에너지 변화를 $\Delta(V^2)$로 두어 2배 크게 계산한 값이다. 올바르게는 $\Delta(V^2/2)$를 사용하여 $1200 kW$가 된다.

오답 포인트

노즐 출구의 온도와 압력이 압축기 입구와 같다는 조건을 놓치면 압축기 내부 변화만 따로 계산하려고 하다가 막힌다. 이 문항은 전체 장치를 하나로 묶어 $h_{out} = h_{in}$를 먼저 확인하면 바로 풀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

압축기와 노즐이 연속으로 연결된 정상류 문제는 먼저 전체 장치를 하나의 제어체적으로 묶는다. 그다음 단열 여부, 높이차, 입구와 최종 출구의 상태 동일 여부를 확인하고, 남는 항만으로 축동력을 계산한다.

암기 포인트

정상류 단열계에서 입구와 최종 출구의 상태가 같으면 축일은 운동에너지 변화량으로 정리된다.

NoteBase

문 11. 표준 반응열에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 표준 반응열에서 표준 상태는 고체, 액체, 기체와 상관없이 1 bar 압력을 기반으로 한다.

② 음수의 표준 반응열을 갖는 반응은 흡열반응이다.

③ 화학 반응식의 각 화학양론계수들이 두 배가 되면 표준 반응열도 두 배가 된다.

④ 표준 반응열을 계산하기 위해 표준 생성열을 이용할 수 있다.

정답 2번

출제 포인트

표준 반응열 ΔH_{rxn}°의 부호 해석과 표준 상태, 반응식 배수성, 표준 생성열과의 관계를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

표준 반응열은 표준 상태에서 반응이 화학양론대로 진행될 때의 엔탈피 변화이다.
표준 상태는 각 물질의 기준 상태로서 보통 $1bar$를 기준으로 잡는다.
$\Delta H_{rxn}^{\circ} > 0$이면 열을 흡수하는 흡열반응이고, $\Delta H_{rxn}^{\circ} < 0$이면 열을 방출하는 발열반응이다.
반응식의 화학양론계수를 n배 하면 ΔH_{rxn}°도 n배가 된다.
표준 반응열은 생성물의 표준 생성열 합에서 반응물의 표준 생성열 합을 뺀 값으로 계산한다.

선지별 해설

① O
표준 반응열은 각 성분이 표준 상태에 있을 때 정의한다. 고체, 액체, 기체 모두 표준 상태의 압력 기준은 $1bar$이므로 맞는 설명이다.

② X
틀린 부분은 "양수의 표준 반응열"을 발열반응과 연결한 점이다. 실제로는 표준 반응열이 양수이면 외부에서 열을 받아야 하므로 흡열반응이다. 발열반응은 표준 반응열이 음수일 때이다.

③ O
반응열은 화학양론계수에 비례하는 광역량이다. 따라서 반응식의 모든 계수를 두 배로 하면 표준 반응열도 두 배가 된다.

④ O
표준 반응열은 헤스의 법칙에 따라 표준 생성열로 계산할 수 있다. 즉 생성물의 표준 생성열 합에서 반응물의 표준 생성열 합을 빼면 된다.

NoteBase

오답 포인트

가장 흔한 함정은 반응열의 부호와 발열·흡열의 대응을 거꾸로 외우는 점이다. ②는 바로 그 부호 함정을 찌른 선지이며, 양수는 열을 받아들이는 경우라는 점을 놓치면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

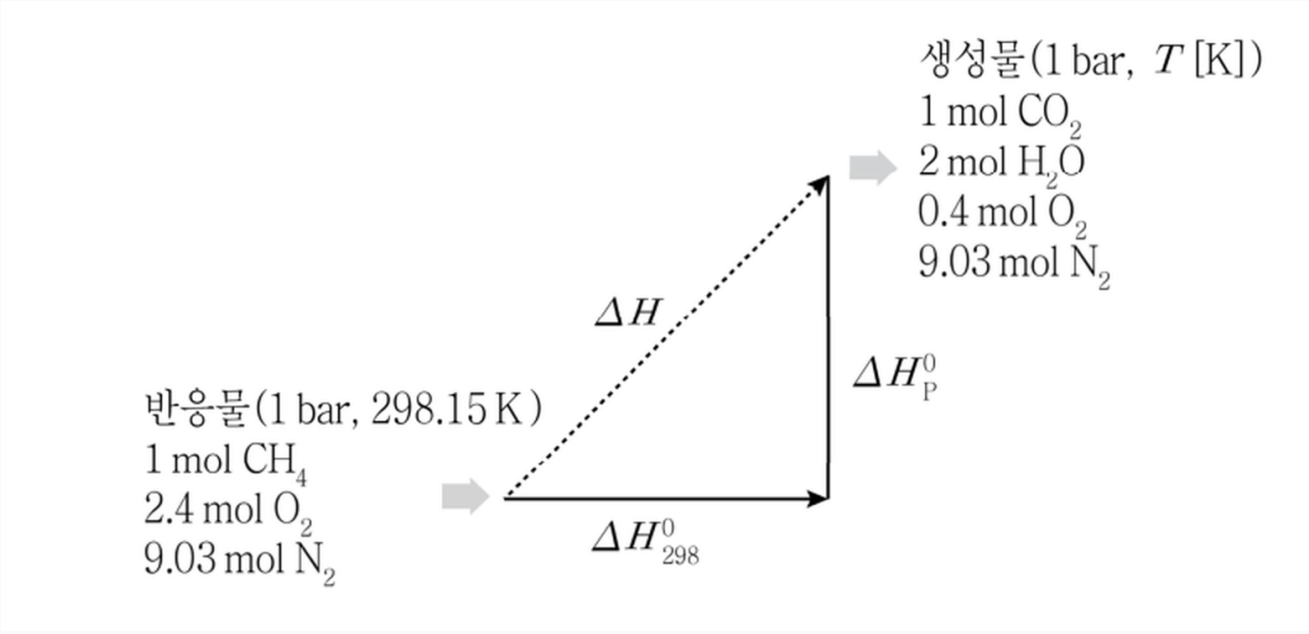
먼저 발문이 "옳지 않은 것"인지 확인한 뒤, 부호 문제는 $\Delta H^{\circ}_{rxn} > 0$이면 흡열, $\Delta H^{\circ}_{rxn} < 0$이면 발열로 바로 연결한다. 이어서 반응식 계수가 바뀌면 반응열도 같은 배수로 바뀌는지, 표준 생성열로 환산 가능한지도 함께 점검하면 된다.

암기 포인트

표준 반응열은 양수면 흡열, 음수면 발열이며, 반응식 계수를 n배 하면 반응열도 n배가 된다.

NoteBase

문 12. 그림과 같이 메테인(CH4)을 20 %의 과잉 산소를 사용하여 도달할 수 있는 최고 온도 조건에서 연소시킬 때, 과정별 엔탈피 변화에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 시스템 전체의 운동에너지 및 위치에너지 변화는 무시할 수 있으며, 축일(shaft work)은 없다)



① 문제에 주어진 메테인 연소 반응에서 도달할 수 있는 최고 온도를 얻기 위한 조건은 단열적으로 반응이 완결되는 것이다.

② $\Delta H_{298}^0 = \Delta H_{f298,\,CO_2}^0 + 2\Delta H_{f298,\,H_2O}^0 - \Delta H_{f298,\,CH_4}^0 - 2\Delta H_{f298,\,O_2}^0$로 정의된다. (단, $\Delta H_{f298,\,i}^0$는 298.15 K에서 반응에 참여하는 성분 i의 표준 생성 엔탈피이다)

③ $\Delta H_P^0 = \left(\sum_i n_i \langle C_{P,\,i}^0 \rangle_H\right)_P (T - 298.15) - \left(\sum_i n_i \langle C_{P,\,i}^0 \rangle_H\right)_R (T - 298.15)$이다. (단, $\langle C_{P,\,i}^0 \rangle_H$는 엔탈피를 계산할 때 주어진 온도 구간에서 성분 i의 평균 열용량이다. 아래첨자인 P와 R은 생성물과 반응물을 의미한다)

④ $\Delta H_{298}^0 = -\Delta H_P^0$이다.

정답 3번

출제 포인트

단열 연소의 최대 도달온도에서 전체 엔탈피 수지와 표준반응엔탈피, 생성물 감열엔탈피의 관계를 구분하는 문제이다.

조건 정리

반응물은 $1bar$, $298.15K$에서 $1molCH_4 + 2.4molO_2 + 9.03molN_2$이다.
생성물은 $1bar$, TK에서 $1molCO_2 + 2molH_2O + 0.4molO_2 + 9.03molN_2$이다.
도달 가능한 최고 온도는 단열, 완전연소, 축일 없음 조건의 단열화염온도이다.

NoteBase

사용할 공식

그림의 엔탈피 수지는 $\Delta H = \Delta H_{298}^{0} + \Delta H_{P}^{0}$이다.
단열, 축일 없음, 운동에너지 및 위치에너지 무시 조건에서는 $\Delta H = 0$이므로 $\Delta H_{298}^{0} = -\Delta H_{P}^{0}$이다.
또한 생성물 감열엔탈피는 $\Delta H_{P}^{0} = \sum_{\text{products}} n_i \int_{298.15}^{T} C_{P,i}^{0} dT \approx \left(\sum_i n_i \langle C_{P,i}^{0} \rangle_H\right) P(T - 298.15)$로 본다.

선지별 해설

① O
최고 온도는 외부로 열손실이 없는 단열 조건에서 완전연소할 때의 단열화염온도이다. 열이 빠져나가면 생성물 온도는 더 낮아진다.

② O
ΔH_{298}^{0}는 $298.15K$ 기준 표준반응엔탈피이다. 연소식 $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$에 대해 $\Delta H_{298}^{0} = \Delta H_{f,298}^{0}(CO_2) + 2\Delta H_{f,298}^{0}(H_2O) - \Delta H_{f,298}^{0}(CH_4) - 2\Delta H_{f,298}^{0}(O_2)$로 쓸 수 있다. O_2와 N_2의 표준생성엔탈피는 0이므로 수치에는 영향이 없다.

③ X
그림의 ΔH_{P}^{0}는 $298.15K$의 생성물을 최종온도 T까지 올리는 생성물의 감열엔탈피 증가분이다. 따라서 $\Delta H_{P}^{0} \approx \left(\sum_i n_i \langle C_{P,i}^{0} \rangle_H\right) P(T - 298.15)$처럼 생성물 항만 들어간다.
제시식처럼 반응물 항을 빼면 생성물과 반응물이 같은 온도구간에서 함께 가열된 차이를 쓴 셈이어서 그림의 ΔH_{P}^{0} 정의와 다르다. 틀린 표현은 반응물 항까지 포함한 차라는 부분이고, 올바르게는 생성물의 감열엔탈피만 계산한 값이다.

④ O
단열, 축일 없음, 운동에너지 및 위치에너지 무시 조건에서는 전체 엔탈피 변화가 0이므로 $\Delta H = \Delta H_{298}^{0} + \Delta H_{P}^{0} = 0$이다. 따라서 $\Delta H_{298}^{0} = -\Delta H_{P}^{0}$가 된다.

오답 포인트

ΔH_{P}^{0}와 전체 엔탈피 변화 ΔH를 혼동하면 ③을 맞는 식처럼 보게 된다. 그림의 수평 화살표는 표준반응엔탈피, 수직 화살표는 생성물 감열엔탈피라는 점을 분리하지 않으면 반응물 sensible enthalpy 항을 불필요하게 끌어오게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응물 기준 상태가 이미 $298.15K$인지 먼저 본다. 그다음 수평 화살표는 ΔH_{298}^{0}, 수직 화살표는 생성물 감열엔탈피 ΔH_{P}^{0}, 단열이면 두 값의 합이 0이라는 순서로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

단열화염온도에서는 $\Delta H = 0$이고 그림의 수직항은 생성물만 나타내므로 $\Delta H_{298}^{0} = -\Delta H_{p}^{0}$이다.

문 13. 카르노(Carnot) 기관의 사이클(순환)을 구성하는 각 단계를 순서대로 바르게 나열한 것은?

(가) 계는 온도가 T_H인 고온 열저장고와 접촉을 유지하면서 가역 등온 과정을 거치는 동안에 고온 열저장고로부터 일정량의 열을 흡수한다.
(나) 온도가 T_H로 유지되는 고온 열저장고와 초기 온도가 동일한 계가 가역 단열 과정을 거쳐서 그 온도가 저온 열저장고의 온도와 같은 T_C로 내려간다.
(다) 온도가 T_C로 유지되는 저온 열저장고와 초기 온도가 동일한 계가 가역 단열 과정을 거쳐서 그 온도가 고온 열저장고의 온도와 같은 T_H로 상승한다.
(라) 계는 온도가 T_C인 저온 열저장고와 접촉을 유지하면서 가역 등온 과정을 거쳐서 저온 열저장고에 일정량의 열을 방출하고 원래의 상태로 되돌아간다.

① (나) - (가) - (다) - (라)
② (나) - (다) - (가) - (라)
③ (다) - (가) - (나) - (라)
④ (다) - (나) - (가) - (라)

정답 3번

출제 포인트

카르노 기관의 네 과정이 T_H 등온 팽창 → 가역 단열 팽창 → T_C 등온 압축 → 가역 단열 압축으로 이어진다는 점과, 순환과정에서는 시작점을 어디로 잡아도 인접 단계의 연결이 유지되어야 한다는 점을 묻는 문제이다.

올바른 순서

1. (가) — 계가 T_H에서 고온 열저장고와 접촉하며 가역 등온 팽창을 하면서 열을 흡수한다.
2. (나) — 열교환 없이 가역 단열 팽창을 하여 온도가 T_H에서 T_C로 내려간다.
3. (라) — 계가 T_C에서 저온 열저장고와 접촉하며 가역 등온 압축을 하면서 열을 방출한다.
4. (다) — 열교환 없이 가역 단열 압축을 하여 온도가 T_C에서 T_H로 올라가 원상태로 이어진다.

왜 이 순서: 각 단계의 끝 온도와 다음 단계의 시작 조건이 맞아야 한다. 따라서 기본 배열은 (가) → (나) → (라) → (다)이고, 순환이므로 시작점을 (다)로 잡으면 (다) → (가) → (나) → (라)가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X
(나)는 가역 단열 팽창이 끝나 T_C에 도달한 상태이므로, 바로 다음은 T_C에서의 등온 과정인 (라)이어야 한다. 그런데 ①은 (나) 다음에 T_H 등온 팽창인 (가)를 두어 온도 연결이 끊긴다.
틀린 표현: (나) - (가) - (다) - (라)
올바르게는: (나) - (라) - (다) - (가)이다.

② X
(나) 다음 단계는 저온에서 열을 방출하는 등온 압축 (라)인데, ②는 곧바로 단열 압축 (다)로 넘어간다. (다)는 (라) 뒤에 와야 T_C에서 T_H로 복귀하는 흐름이 된다.
틀린 표현: (나) - (다) - (가) - (라)
올바르게는: (나) - (라) - (다) - (가)이다.

③ O
(다)는 가역 단열 압축으로 온도를 T_H까지 올린 단계이므로, 그다음에 T_H에서 열을 흡수하는 등온 팽창 (가)가 온다. 이어서 단열 팽창 (나), 저온 등온 압축 (라)로 가면 카르노 순환이 완결된다. 이는 (가) → (나) → (라) → (다)를 순환 이동한 배열이다.

④ X
(다) 다음에는 T_H 상태에서의 등온 팽창 (가)가 와야 한다. 그런데 ④는 (다) 다음에 다시 단열 팽창 (나)를 두어, 고온에서의 열흡수 등온 과정을 건너뛴다.
틀린 표현: (다) - (나) - (가) - (라)
올바르게는: (다) - (가) - (나) - (라)이다.

오답 포인트

카르노 순환의 대표 배열을 (가)에서만 시작해야 한다고 생각하면 ③을 놓치기 쉽다. 이 문제의 함정은 순환과정의 시작점은 임의라는 점과, 단열 팽창은 $T_H \to T_C$, 단열 압축은 $T_C \to T_H$라는 온도 연결을 동시에 확인해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

순서형 열역학 문제는 각 단계의 열출입과 온도 변화를 먼저 적으면 판단이 쉬워진다. 고온 등온에서는 열흡수, 그다음 단열 팽창으로 T_C 도달, 저온 등온에서는 열방출, 마지막 단열 압축으로 T_H 복귀의 틀을 잡으면 시작점이 달라도 올바른 순환만 골라낼 수 있다.

암기 포인트

카르노 기관은 고온 등온 팽창 → 단열 팽창 → 저온 등온 압축 → 단열 압축의 순환으로 기억한다.

NoteBase

문 14. 1 kW의 동력을 생산하기 위해 제작된 열기관이 있다. 600 K의 수증기를 열원으로 사용하고 300 K의 주위로 열을 버린다. 열기관의 효율을 최대치의 80 %로 운전할 때, 한 시간 동안 주위로 버리는 열량[kWh]은?

① 1.0
② 1.5
③ 2.0
④ 2.5

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 카르노 최대효율의 80%로 운전하는 열기관에서 실제 효율을 구한 뒤 1시간 동안의 폐열량을 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 고온 열원 $T_H = 600K$
- 저온 열원 $T_C = 300K$
- 출력 $W = 1kW$
- 실제 효율은 최대효율의 80%

구해야 할 값:
- 1시간 동안 주위로 버리는 열량 Q_L

주의할 조건:
- 최대효율은 카르노 효율이며, 80%는 효율 자체에 곱한다.

사용할 공식

카르노 최대효율은 $\eta_{max} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$이다.
실제 효율은 $\eta = 0.8\eta_{max}$, 열기관 효율은 $\eta = \frac{W}{Q_H}$, 버리는 열은 $Q_L = Q_H - W$이다.
이 문제는 고온 열원과 저온 열원이 주어진 열기관의 실제 효율과 폐열을 묻기 때문에 이 식들을 사용한다.

계산 과정

1. 최대효율은 $\eta_{max} = 1 - \frac{300}{600} = 0.5$이다.
2. 실제 효율은 $\eta = 0.8 \times 0.5 = 0.4$이다.
3. 입력열은 $Q_H = \frac{W}{\eta} = \frac{1}{0.4} = 2.5kW$이다.
4. 버리는 열은 $Q_L = Q_H - W = 2.5 - 1.0 = 1.5kW$이다.
5. 1시간 동안 버리는 열량은 $1.5kW \times 1h = 1.5kWh$이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: $1.0kWh$는 최대효율 0.5를 그대로 써서 $Q_H = 2.0kW$, $Q_L = 1.0kW$로 계산한 값이다. 틀린 표현은 실제 효율을 최대효율과 같게 본 점이며, 올바르게는 실제 효율이 최대효율의 80%이므로 0.4를 써야 한다.
2번 O: 실제 효율 0.4로 계산하면 1시간 동안 버리는 열량이 $1.5kWh$가 된다.
3번 X: $2.0kWh$는 버리는 열량이 아니라 최대효율을 잘못 적용했을 때의 입력열 Q_H 또는 중간 계산을 답으로 착각한 경우에 해당한다. 올바르게는 실제 효율을 구한 뒤 $Q_L = Q_H - W$를 계산해야 하므로 정답이 아니다.
4번 X: $2.5kWh$는 실제 효율 0.4에서 구한 입력열 Q_H이다. 틀린 표현은 흡수열과 폐열을 혼동한 점이며, 올바르게는 주위로 버리는 열은 $Q_L = 2.5 - 1.0 = 1.5kWh$이다.

오답 포인트

최대효율의 80%라는 조건을 폐열에 직접 곱하거나, 입력열 Q_H와 버리는 열 Q_L를 혼동하면 오답이 나온다. 특히 1번은 카르노 효율을 그대로 적용한 함정이고, 4번은 입력열을 그대로 고르게 만든 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

열기관 계산형은 먼저 η_{max}와 실제 효율 η를 구하고, 다음에 $Q_H = \frac{W}{\eta}$, 마지막에 $Q_L = Q_H - W$ 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

열기관은 $\eta = \frac{W}{Q_H}$, 폐열은 $Q_L = Q_H - W$이며, 실제 효율이 최대효율의 몇 %인지를 먼저 반영한다.

NoteBase

문 15. 터보 제트 기관에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 압축 일을 줄이기 위해 확산기를 이용한다.

② 축방향 흐름 압축기는 압축 일을 행하며, 연료는 연소실로 분사되어 연소된다.

③ 방출압력까지의 나머지 팽창은 노즐에서 이루어지며, 여기에서 기관에 대한 기체의 속도는 유입되는 공기속도 이상의 수준까지 증가된다.

④ 압축과 팽창 과정이 가역 단열 과정이라면, 터보 제트 기관의 사이클은 Otto 사이클을 따른다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 터보제트 기관의 구성요소 기능과 이상 사이클이 Otto 사이클이 아니라 Brayton 사이클이라는 점을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

터보제트는 흡입구 확산기에서 유입 공기의 속도를 낮추고 압력을 높여 압축기 입구 조건을 만든 뒤,
압축기-연소실-터빈-노즐을 거쳐 추력을 얻는 기관이다.
Brayton 사이클은 압축과 팽창이 가역 단열이고 열의 출입이 거의 정압에서 이루어지는 기체터빈 사이클이다.
Otto 사이클은 압축점화가 아니라 스파크점화 내연기관의 이상 사이클로, 열공급이 정적 과정이라는 점이 Brayton 사이클과 다르다.

NoteBase

선지별 해설

① O
확산기는 유입 공기의 운동에너지를 압력에너지로 바꾸어 압축기 입구 압력을 높인다. 이렇게 하면 압축기가 맡아야 할 압력 상승 부담이 줄어 압축 일을 줄이는 방향으로 작용한다.

② O
축방향 흐름 압축기는 공기에 실제로 압축 일을 가하는 장치이고, 연료는 연소실에 분사되어 압축된 공기와 섞인 뒤 연소된다. 터보제트의 기본 구성 설명으로 맞다.

③ O
터빈은 압축기를 돌릴 만큼의 일만 회수하고, 남은 엔탈피 강하는 노즐에서 이루어진다. 따라서 노즐에서는 기체 속도가 크게 증가하며, 배기속도는 유입 공기속도보다 커져 추력이 생긴다.

④ X
틀린 표현은 "Otto 사이클을 따른다"이다.
압축과 팽창이 가역 단열이라면 터보제트의 이상 사이클은 Otto가 아니라 Brayton 사이클이다. 터보제트는 정압 열공급과 정압 열방출을 갖는 기체터빈 계열로 본다.

오답 포인트

4번은 "가역 단열 압축·팽창"이라는 문구만 보고 Otto, Diesel, Brayton을 한꺼번에 떠올리면 흔들리기 쉽다. 이 문항의 핵심 함정은 압축과 팽창만 보지 말고 열이 어떻게 공급되는지까지 함께 봐야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

가스터빈이나 터보제트가 나오면 먼저 이상 사이클을 Brayton으로 연결한다. 이후 열공급이 정압인지 정적인지만 확인하면 Otto와 Brayton을 빠르게 구분할 수 있다.

암기 포인트

터보제트는 확산기-압축기-연소실-터빈-노즐, 이상 사이클은 Brayton이다.

NoteBase

문 16. 어떤 기체 1mol이 피스톤에 의해 실린더 내에 밀폐되어 있다. 다음의 표와 같이 이 기체가 4단계의 열역학적 순환과정을 거친다고 할 때, (가)와 (나)에 들어갈 양[J]을 바르게 연결한 것은? (단, ΔU^t는 기체의 총 내부에너지 변화, Q는 열, W는 일이다. Q와 W는 주위로부터 기체로 전달되는 경우에 양(+)의 값을 갖는다. 열역학적 순환과정에서 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시하며, 축일은 없다)

단계	ΔU^t [J]	Q [J]	W [J]
$1 \rightarrow 2$	200	5,000	( )
$2 \rightarrow 3$	(가)	$-1{,}800$	( )
$3 \rightarrow 4$	( )	-500	100
$4 \rightarrow 1$	3,000	( )	(나)
$1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$	( )	( )	$-2{,}500$

① (가): -2,800, (나): 2,800

② (가): -3,600, (나): 2,800

③ (가): -2,800, (나): 3,200

④ (가): -3,600, (나): 3,200

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 폐계의 열역학 제1법칙 $\Delta U = Q + W$와 순환과정의 $\sum \Delta U = 0$을 이용해 미지의 에너지 항을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 부호 규약은 열 Q와 일 W이 주위에서 기체로 전달될 때 양(+)이라는 점이다.
주어진 값은 $1 \rightarrow 2$에서 $\Delta U = 200J$, $Q = 5000J$, $2 \rightarrow 3$에서 $Q = -1800J$, $3 \rightarrow 4$에서 $Q = -500J$, $W = 100J$, $4 \rightarrow 1$에서 $\Delta U = 3000J$, 전체 순환에서 $W_{total} = -2500J$이다.
구해야 할 값은 $2 \rightarrow 3$의 (가)=Δ U와 $4 \rightarrow 1$의 (나)=W이다.

NoteBase

사용할 공식

폐계의 에너지수지는 $\Delta U = Q + W$이다.
순환과정에서는 처음 상태와 마지막 상태가 같으므로 $\sum \Delta U = 0$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 표에 각 단계의 ΔU, Q, W 중 두 항씩이 주어져 있어 나머지 한 항을 단계별로 복원할 수 있고, 전체 순환 조건으로 미지수를 연결할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $1 \to 2$에서 $W_{12} = \Delta U - Q = 200 - 5000 = -4800J$이다.
2. $3 \to 4$에서 $\Delta U_{34} = Q + W = -500 + 100 = -400J$이다.
3. 순환과정이므로 $\Delta U_{12} + \Delta U_{23} + \Delta U_{34} + \Delta U_{41} = 0$에서 200+(가)-400+3000=0이므로 (가)=-2800 J이다.
4. $2 \to 3$에서 $W_{23} = \Delta U - Q = -2800 - (-1800) = -1000J$이다.
5. 전체 일에 대해 $W_{12} + W_{23} + W_{34} + W_{41} = -2500$이므로 -4800-1000+100+(나)=-2500이다. 따라서 (나)=3200 J이다.

선지별 해설

① X
(가)=-2800 J는 맞지만 (나)=2800 J는 틀리다. 전체 일의 합이 $-2500J$가 되려면 $4 \to 1$의 일은 $3200J$이어야 한다. 틀린 표현은 "(나)=2800 J"이고, 올바르게는 "(나)=3200 J"이다.

② X
(가)=-3600 J, (나)=2800 J는 둘 다 틀리다. 순환과정에서는 내부에너지 총변화가 0이므로 (가)는 $-2800J$가 되어야 한다. 또한 이에 따라 (나)는 $3200J$가 된다. 틀린 표현은 "(가)=-3600 J, (나)=2800 J"이고, 올바르게는 "(가)=-2800 J, (나)=3200 J"이다.

③ O
순환과정의 $\sum \Delta U = 0$으로 (가)=-2800 J가 나오고, 단계별 일과 전체 일의 합을 맞추면 (나)=3200 J가 된다. 따라서 ③이 옳다.

④ X
(나)=3200 J는 맞지만 (가)=-3600 J는 틀리다. (가)를 구할 때 $3 \to 4$의 $\Delta U = -400J$를 정확히 반영해야 하므로 결과는 $-2800J$이다. 틀린 표현은 "(가)=-3600 J"이고, 올바르게는 "(가)=-2800 J"이다.

오답 포인트

가장 큰 함정은 일의 부호이다. 이 문제는 기체가 일을 받으면 $W > 0$으로 두므로, 통상적인 "계가 한 일 양(+)" 규약과 반대이다. 또 순환과정에서는 $\sum \Delta U = 0$이라는 조건을 빠뜨리면 (가)를 잘못 구하게 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

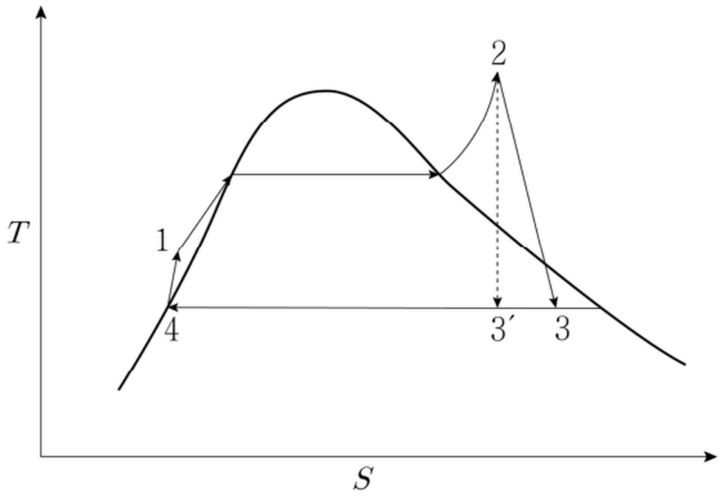
순환 계산 문제는 먼저 부호 규약을 확인하고, 다음으로 각 단계에 $\Delta U = Q + W$를 적용해 비어 있는 값을 채운 뒤, 마지막에 $\sum \Delta U = 0$ 또는 전체 합 조건으로 남은 미지수를 정리하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

이 문제의 핵심은 "이 부호 규약에서는 $\Delta U = Q + W$, 순환이면 $\sum \Delta U = 0$"이다.

NoteBase

문 17. 그림은 수증기로 작동되는 Rankine 순환 공정의 온도-엔트로피 $T-S$ 선도이며, 표는 0.01 MPa에서 포화액체 상태에 있는 물의 열역학적 성질이다. $P_1 = P_2 = 10.01$ MPa이고, $P_3 = P_4 = 0.01$ MPa이며, 터빈과 펌프의 효율이 각각 0.7과 0.8일 때, 1지점에서의 엔탈피[$kJkg^{-1}$]는? (단, $1kJ = 10^{-3}MPam^3$이다)



압력 P[MPa]	비부피 V^L[$m^3\,kg^{-1}$]	비엔탈피 H^L[$kJ\,kg^{-1}$]	비엔트로피 S^L[$kJ\,kg^{-1}\,K^{-1}$]
0.01	0.001	191.8	0.65

① 191.8

② 199.8

③ 201.8

④ 204.3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 비압축성 액체의 이상 펌프 일 $w_{p,s} = v\Delta P$와 펌프 효율 $\eta_p = \frac{h_{1s} - h_4}{h_1 - h_4}$를 이용해 1지점 엔탈피를 구하는 문제이다.

조건 정리

상태 4는 $P_4 = 0.01MPa$의 포화액체 상태이다.
주어진 값은 $v_4 = 0.001m^3/kg$, $h_4 = 191.8kJ/kg$, $P_1 = 10.01MPa$, $\eta_p = 0.8$이다.
압력차는 $\Delta P = 10.01 - 0.01 = 10MPa$이다.
터빈 효율 0.7은 1지점 계산에는 쓰이지 않는다.

NoteBase

사용할 공식

비압축성 액체의 이상 펌프 일은 $w_{p,s} = v\Delta P$이다.
펌프 효율은 $\eta_p = \frac{w_{p,s}}{w_{p,actual}} = \frac{h_{1s} - h_4}{h_1 - h_4}$이다.
이 문제의 4→1 과정은 포화액체를 고압으로 올리는 펌프 과정이므로 이 식을 사용한다.

계산 과정

1. 이상 펌프 일은 $w_{p,s} = 0.001 \times 10 = 0.01 MPa \cdot m^3/kg$이다.
2. $1kJ = 10^{-3} MPa \cdot m^3$이므로 $0.01 MPa \cdot m^3/kg = 10 kJ/kg$이다.
3. 실제 펌프 일은 $w_{p,actual} = \frac{10}{0.8} = 12.5 kJ/kg$이다.
4. 따라서 $h_1 = h_4 + w_{p,actual} = 191.8 + 12.5 = 204.3 kJ/kg$이다.

선지 판단

1번 X: 191.8은 펌프 일을 전혀 더하지 않은 값이다. 4에서 1로 압축되면 엔탈피가 증가하므로 올바른 값은 204.3이다.
2번 X: 199.8은 이상 펌프 일 10에 효율 0.8을 곱해 8만 더한 값이다. 펌프 효율은 실제 일이 더 크므로 나누어야 하며 올바른 값은 204.3이다.
3번 X: 201.8은 펌프 일을 이상값 10으로만 처리해 효율을 무시한 값이다. 실제 펌프 일은 12.5이므로 올바른 값은 204.3이다.
4번 O: 펌프 효율을 반영한 실제 엔탈피 증가량이 12.5이므로 $h_1 = 204.3 kJ/kg$이 되어 맞는 선지이다.

오답 포인트

펌프 효율을 $w_{p,actual} = \eta_p w_{p,s}$처럼 곱하는 실수를 하기 쉽다. 펌프는 $\eta_p = \frac{w_{p,s}}{w_{p,actual}}$이므로 실제 일이 더 크며, 터빈 효율 0.7을 여기 끌어오면 계산이 엉킨다.

다시 나오면 이렇게 판단

랭킨 순환의 펌프 출구 상태를 묻는 문제는 상태 4의 포화액체 성질을 읽고, $v\Delta P$로 이상 일을 구한 뒤, 펌프 효율로 실제 일을 보정하여 입구 엔탈피에 더하면 된다.

암기 포인트

펌프는 $w_{p,actual} = \frac{w_{p,s}}{\eta_p}$이고 터빈은 실제 일이 이상 일보다 작다는 방향 차이를 구분하는 것이 핵심이다.

NoteBase

문 18. 정상 끓는점(normal boiling point)에서 물의 기화 엔탈피 변화는 $40.7\,\mathrm{kJmol^{-1}}$이다. 이 조건에서 2mol의 물이 기화할 때, 물의 엔트로피 변화[$\mathrm{JK^{-1}}$]는?

① 약 109

② 약 218

③ 약 407

④ 약 814

정답 2번

출제 포인트

정상 끓는점에서의 가역 기화에 대해 $\Delta S = \frac{n\Delta H_{vap}}{T_b}$를 적용해 엔트로피 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 물의 기화 엔탈피 변화는 $40.7\ \mathrm{kJmol^{-1}}$이다.
구해야 할 값: 2 mol의 물이 기화할 때의 엔트로피 변화이다.
주의할 조건: 정상 끓는점은 물에 대해 $100\ ^\circ\mathrm{C} = 373\ \mathrm{K}$로 써야 하며, 엔트로피 계산에서는 절대온도 K를 사용한다.

사용할 공식

$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T} = \frac{n\Delta H_{vap}}{T_b}$
이 공식을 쓰는 이유: 정상 끓는점에서의 상변화는 일정한 온도에서 가역적으로 진행된다고 볼 수 있으므로, 기화에 필요한 열량 q_{rev}를 절대온도 T로 나누면 엔트로피 변화를 구할 수 있다.

계산 과정

1. 기화에 필요한 열량은 $q_{rev} = n\Delta H_{vap} = 2 \times 40.7 = 81.4\ \mathrm{kJ}$이다.
2. 정상 끓는점은 $100\ ^\circ\mathrm{C} = 373\ \mathrm{K}$이다.
3. 따라서 $\Delta S = \frac{81.4 \times 10^3\ \mathrm{J}}{373\ \mathrm{K}} \approx 218\ \mathrm{JK^{-1}}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 약 109 $\mathrm{JK^{-1}}$는 1 mol만 기화한다고 보고 $\frac{40.7\times10^3}{373}$으로 계산한 값이다. 이 문항은 2 mol이므로 올바르게는 약 218 $\mathrm{JK^{-1}}$이다.
② O: $\Delta S=\frac{2\times40.7\times10^3}{373}\approx218\ \mathrm{JK^{-1}}$이므로 맞는 선지이다.
③ X: 약 407 $\mathrm{JK^{-1}}$는 분모에 절대온도 373 K 대신 섭씨온도 100을 넣었을 때 나오는 값이다. 상변화 엔트로피 계산에서는 반드시 절대온도를 써야 하므로 올바르게는 약 218 $\mathrm{JK^{-1}}$이다.
④ X: 약 814 $\mathrm{JK^{-1}}$는 $2\times40.7=81.4$까지만 계산하고 온도로 나누지 않은 값이다. 엔트로피 변화는 열량 자체가 아니라 $\frac{q_{rev}}{T}$이므로 올바르게는 약 218 $\mathrm{JK^{-1}}$이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 첫째, 40.7 $\mathrm{kJmol^{-1}}$가 몰당 값이라는 점을 놓치면 ①처럼 1 mol 값만 구하게 된다. 둘째, 정상 끓는점 100 °C를 그대로 넣으면 ③처럼 잘못된 값이 나오므로, 엔트로피 식에서는 반드시 373 K로 바꿔야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

상변화 엔트로피 문제는 먼저 총 열량 $n\Delta H$를 구하고, 그다음 상변화가 일어나는 절대온도 T로 나누는 순서로 판단한다. 몰수 반영과 섭씨-켈빈 변환을 끝까지 확인하면 된다.

암기 포인트

정상 끓는점 기화는 $\Delta S=\frac{n\Delta H_{vap}}{T_b}$이며, °C가 아니라 K를 쓴다.

NoteBase

문 19. 초기온도와 초기압력이 각각 300 K와 P_1인 이상기체를 가역적으로 압축시키는 닫힌계를 고려하자. 이 기체를 $P_2(=2P_1)$까지 등온 압축시킬 때 필요한 일과 같은 크기의 일을 사용하여 동일한 초기조건에 있는 기체를 단열 압축시킨다면, 기체의 온도변화(ΔT)는? (단, 기체의 정적 열용량(C_V)은 기체상수 R과 같다. 압축과정에서 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시하며, 축일은 없다)

① $(300)\ln 2$

② $\frac{300}{\ln 2}$

③ $(300R)\ln 2$

④ $\frac{300R}{\ln 2}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 등온 가역 압축에 필요한 일과 단열 압축에서의 내부에너지 증가를 연결해 ΔT를 구하는 문제이다.

조건 정리

초기 상태는 $T_1 = 300K$, 압력은 P_1이다.
등온 가역 압축의 최종 압력은 $P_2 = 2P_1$이다.
같은 초기 상태의 기체를 단열 압축할 때, 사용한 일의 크기는 위 등온 압축에 필요한 일의 크기와 같다.
주어진 조건은 $C_v = R$이며, 닫힌계이고 축일은 없다.

사용할 공식

등온 가역 압축에 필요한 일의 크기는 $W_{iso} = nRT\ln(P_2/P_1)$이다.
단열 압축에서는 $Q = 0$이므로 닫힌계 에너지식에서 입력한 일의 크기가 내부에너지 증가와 같아
$W_{ad} = \Delta U = nC_v\Delta T$가 된다.
이 문제는 두 과정의 일의 크기가 같다고 했으므로 두 식을 같게 두면 된다.

NoteBase

계산 과정

등온 가역 압축에 필요한 일의 크기는
$W_{iso} = nR(300)\ln\left(\frac{2P_1}{P_1}\right) = 300nR\ln 2$
이다.
단열 압축에서는
$W_{ad} = nC_v\Delta T = nR\Delta T$
이다.
두 일의 크기가 같으므로
$nR\Delta T = 300nR\ln 2$
이고, nR을 약분하면
$\Delta T = 300\ln 2$
가 된다.

선지 판단

1번: O. $nC_v\Delta T = 300nR\ln 2$이고 $C_v = R$이므로 $\Delta T = 300\ln 2$가 된다.
2번: X. $300/\ln 2$는 $\ln 2$를 곱해야 할 자리에 나눈 값이다. 틀린 표현은 $\ln 2$를 분모에 둔 점이며, 올바르게는 $300\ln 2$이다.
3번: X. $(300R)\ln 2$는 온도변화가 아니라 일 또는 에너지 차원의 양이다. 틀린 표현은 ΔT에 R을 남긴 점이며, 올바르게는 R이 약분되어 $300\ln 2$만 남는다.
4번: X. $300R/\ln 2$는 R도 남기고 $\ln 2$도 분모로 잘못 둔 값이다. 올바르게는 R을 약분하고 $\ln 2$를 곱한 $300\ln 2$이다.

오답 포인트

등온 압축의 일 식에서 $\ln(P_2/P_1)$가 곱해진다는 점을 놓치면 $\ln 2$를 분모로 보내는 오답이 나온다. 또 단열 압축에서 구하는 값이 일이 아니라 ΔT라는 점을 놓치면 R을 약분하지 못한 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 일의 크기를 서로 다른 과정에 연결하는 문제는 먼저 각 과정의 일 식을 세운 뒤, 단열에서는 $Q = 0$이라서 입력한 일이 $nC_v\Delta T$로 간다는 점을 적용해 미지수를 정리하면 된다.

암기 포인트

등온 가역 압축 일은 $nRT\ln(P_2/P_1)$, 단열 압축의 온도상승은 $nC_v\Delta T$로 연결되며, 이 문제에서는 $C_v = R$이라서 $\Delta T = 300\ln 2$가 된다.

NoteBase

문 20. 액체(l)에서 증기(v)로 상전이가 일어나는 2상 계가 있다. 화합물의 포화 증기압(P^{sat})의 온도 의존성을 표현하는 Clapeyron 식으로 옳은 것은? (단, T는 온도, R은 기체상수, $\Delta H^{lv}(=H^v-H^l)$는 상전이 시 엔탈피(H)의 변화, $\Delta V^{lv}(=V^v-V^l)$는 상전이 시 몰부피(V)의 변화, $\Delta Z^{lv}(=Z^v-Z^l)$는 상전이 시 압축인자(Z)의 변화이다)

① $\frac{d\ln P^{sat}}{dT}=\frac{\Delta H^{lv}}{RT^2\Delta V^{lv}}$
② $\frac{d\ln P^{sat}}{d(1/T)}=-\frac{\Delta H^{lv}}{R\Delta Z^{lv}}$
③ $\frac{d\ln P^{sat}}{d(1/T)}=-\frac{\Delta H^{lv}}{R\Delta V^{lv}}$
④ $\frac{dP^{sat}}{dT}=\frac{\Delta H^{lv}}{RT^2\Delta Z^{lv}}$

정답 2번

출제 포인트

Clapeyron 기본식과 $V=ZRT/P$ 관계를 결합하여 $d\ln P^{sat}/d(1/T)$를 ΔZ^{lv}로 바꾸는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 정의는 $\Delta H^{lv}=H^v-H^l$, $\Delta V^{lv}=V^v-V^l$, $\Delta Z^{lv}=Z^v-Z^l$이다.
구해야 할 식은 포화증기압 P^{sat}의 온도 의존식이다.
핵심 주의점은 Clapeyron 식의 기본형이 dP^{sat}/dT라는 점, 그리고 $d\ln P^{sat}/dT=(1/P^{sat})dP^{sat}/dT$라는 점이다.

사용할 공식

$\frac{dP^{sat}}{dT}=\frac{\Delta H^{lv}}{T\Delta V^{lv}}$
$V=\frac{ZRT}{P^{sat}}\quad\Rightarrow\quad\Delta V^{lv}=\frac{RT}{P^{sat}}\Delta Z^{lv}$
$\frac{d\ln P^{sat}}{d(1/T)}=-T^2\frac{d\ln P^{sat}}{dT}$
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 ΔV^{lv}와 ΔZ^{lv}를 함께 주었으므로 Clapeyron 식을 ΔZ^{lv} 형태로 바꾼 뒤 미분변수를 $1/T$로 변환해야 하기 때문이다.

계산 과정

1. Clapeyron 식에서 시작하면 $\frac{dP^{sat}}{dT}=\frac{\Delta H^{lv}}{T\Delta V^{lv}}$이다.
2. 양변을 P^{sat}로 나누면 $\frac{d\ln P^{sat}}{dT}=\frac{\Delta H^{lv}}{P^{sat}T\Delta V^{lv}}$이다.
3. $\Delta V^{lv}=\frac{RT}{P^{sat}}\Delta Z^{lv}$를 대입하면 $P^{sat}\Delta V^{lv}=RT\Delta Z^{lv}$이므로 $\frac{d\ln P^{sat}}{dT}=\frac{\Delta H^{lv}}{RT^2\Delta Z^{lv}}$가 된다.
4. $x=1/T$로 두면 $dT/dx=-T^2$이므로 $\frac{d\ln P^{sat}}{d(1/T)}=-T^2\frac{d\ln P^{sat}}{dT}=-\frac{\Delta H^{lv}}{R\Delta Z^{lv}}$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X. Clapeyron 기본식은 $\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H^{lv}}{T\Delta V^{lv}}$이다. 따라서 $\frac{d\ln P^{sat}}{dT}$는 $\frac{\Delta H^{lv}}{P^{sat}T\Delta V^{lv}}$이어야 한다. 틀린 표현은 분모의 $RT^2\Delta V^{lv}$이고, 올바르게는 $P^{sat}T\Delta V^{lv}$ 또는 ΔZ^{lv}를 쓰면 $RT^2\Delta Z^{lv}$이다.
② O. $V = ZRT/P^{sat}$를 이용하면 $\Delta V^{lv} = (RT/P^{sat})\Delta Z^{lv}$이다. 이를 Clapeyron 식과 $d\ln P^{sat}/d(1/T) = -T^2 d\ln P^{sat}/dT$에 차례로 대입하면 $\frac{d\ln P^{sat}}{d(1/T)} = -\frac{\Delta H^{lv}}{R\Delta Z^{lv}}$가 되어 선지와 일치한다.
③ X. $\frac{d\ln P^{sat}}{d(1/T)}$를 ΔV^{lv}로 직접 쓰면 $-\frac{T\Delta H^{lv}}{P^{sat}\Delta V^{lv}}$가 되어야 한다. 틀린 표현은 분모의 $R\Delta V^{lv}$이고, 올바르게는 $P^{sat}\Delta V^{lv}/T$가 반영된 식 또는 ΔZ^{lv}를 사용한 식이다.
④ X. ΔZ^{lv}로 바꾼 dP^{sat}/dT 식은 $\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{P^{sat}\Delta H^{lv}}{RT^2\Delta Z^{lv}}$이다. 틀린 표현은 앞의 P^{sat}가 빠진 점이고, 올바르게는 $\frac{P^{sat}\Delta H^{lv}}{RT^2\Delta Z^{lv}}$이다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 dP/dT와 $d\ln P/dT$를 같은 식으로 취급하는 것이다. 또 ΔV를 ΔZ로 바꿀 때 $V = ZRT/P$에서 나오는 P^{sat}를 빠뜨리기 쉽다. 마지막으로 미분변수가 T에서 $1/T$로 바뀌면 반드시 $-T^2$가 곱해진다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 기본식이 dP^{sat}/dT인지 $d\ln P^{sat}/dT$인지 구분한다. 그다음 $V = ZRT/P^{sat}$로 $P^{sat}\Delta V^{lv} = RT\Delta Z^{lv}$를 만든다. 마지막으로 미분변수가 $1/T$이면 $-T^2$를 곱해 변수를 바꾸면 된다.

암기 포인트

Clapeyron 기본형은 $\frac{dP^{sat}}{dT} = \frac{\Delta H^{lv}}{T\Delta V^{lv}}$이고, Z형으로 바꾸면 $\frac{d\ln P^{sat}}{d(1/T)} = -\frac{\Delta H^{lv}}{R\Delta Z^{lv}}$이다.

NoteBase

문 21. 순수한 유체의 부피(V)는 온도(T)와 압력(P)의 함수이며 부피 팽창률(β, volume expansivity)과 등온 압축률(κ, isothermal compressibility)은 항상 양의 값으로 온도와 압력의 변화에 대해 일정하다고 가정할 때, 유체의 부피 변화의 비($\frac{V_2}{V_1}$)를 계산하는 식으로 옳은 것은?

① $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \kappa(T_2 - T_1) - \beta(P_2 - P_1)$
② $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \kappa(T_2 - T_1) + \beta(P_2 - P_1)$
③ $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \beta(T_2 - T_1) + \kappa(P_2 - P_1)$
④ $\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \beta(T_2 - T_1) - \kappa(P_2 - P_1)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 부피 팽창률과 등온 압축률의 정의를 전체 미분식에 대입하여 $\ln(V_2/V_1)$의 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 순수한 유체의 부피 $V = V(T, P)$, 부피 팽창률 β, 등온 압축률 κ가 모두 양수이며 온도와 압력 변화에 대해 일정하다는 점이다.
구해야 할 값은 $\ln(V_2/V_1)$이다.
주의할 조건은 등온 압축률의 정의에 음의 부호가 포함된다는 점이다.

사용할 공식

$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP$
$\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P, \quad \kappa = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$
따라서
$\frac{dV}{V} = \beta dT - \kappa dP$
이 공식을 쓰는 이유는 V가 T와 P의 함수이므로 전체 미분으로 부피 변화를 나타낸 뒤, β와 κ의 정의로 각 편미분항을 바로 치환할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 전체 미분을 쓰면 $dV = (\partial V/\partial T)_P dT + (\partial V/\partial P)_T dP$이다.
2. 정의식을 대입하면 $(\partial V/\partial T)_P = \beta V$, $(\partial V/\partial P)_T = -\kappa V$이므로 $dV = \beta V dT - \kappa V dP$이다.
3. 양변을 V로 나누면 $dV/V = \beta dT - \kappa dP$이다.
4. β와 κ를 상수로 보고 적분하면
$\int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \int_{T_1}^{T_2} \beta dT - \int_{P_1}^{P_2} \kappa dP$
$\ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = \beta(T_2 - T_1) - \kappa(P_2 - P_1)$
이므로 정답은 4번이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- κ와 β의 역할이 서로 바뀌어 있다. κ는 압력 변화항에, β는 온도 변화항에 붙어야 한다.
- 틀린 표현은 $\kappa(T_2 - T_1) - \beta(P_2 - P_1)$이다. 올바르게는 $\beta(T_2 - T_1) - \kappa(P_2 - P_1)$이다.

② X

- 온도항과 압력항의 계수가 서로 바뀌었고, 압력항 부호도 잘못되었다. 압력이 증가하면 부피는 감소하므로 압력항은 음수이어야 한다.
- 틀린 표현은 $\kappa(T_2 - T_1) + \beta(P_2 - P_1)$이다. 올바르게는 $\beta(T_2 - T_1) - \kappa(P_2 - P_1)$이다.

③ X

- 온도항의 계수는 맞지만 압력항 부호가 반대이다. κ는 양수이지만 정의식 자체에 음의 부호가 포함되므로 결과식은 $-\kappa(P_2 - P_1)$가 된다.
- 틀린 표현은 $+\kappa(P_2 - P_1)$이다. 올바르게는 $-\kappa(P_2 - P_1)$이다.

④ O

- $\beta = (1/V)(\partial V/\partial T)_P$, $\kappa = -(1/V)(\partial V/\partial P)_T$를 대입하면 바로 $dV/V = \beta dT - \kappa dP$가 되고, 상수 적분으로 $\ln(V_2/V_1) = \beta(T_2 - T_1) - \kappa(P_2 - P_1)$가 된다.

오답 포인트

등온 압축률 κ가 양수라는 말만 보고 결과식의 압력항까지 양수로 쓰기 쉽다. 그러나 κ의 정의 자체가 $-\frac{1}{V}(\partial V/\partial P)_T$이므로 압력항에는 반드시 음의 부호가 남는다. 또한 β는 온도항, κ는 압력항에 대응한다는 짝을 바꾸지 않아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

이런 열역학 미분식 문항은 먼저 전체 미분을 쓴 뒤 각 편미분을 정의식으로 치환하고, 마지막에 부호를 검산하는 순서로 판단한다. 특히 압축률은 정의에 포함된 음의 부호를 끝까지 유지하는지가 정답을 가른다.

암기 포인트

β는 온도가 오를 때 부피가 늘어나는 항이고, κ는 압력이 오를 때 부피가 줄어드는 항이므로 $dV/V = \beta dT - \kappa dP$로 기억한다.

NoteBase

문 22. 한 발명가가 1 mol의 공기를 이용하여 500 K, 2 bar에서 350 K, 1.4 bar로 상태를 변화시키면서 300 K에 있는 주위로 열을 방출하는 비흐름 공정을 고안했다. 이 공정에서 생성될 수 있는 최대 일[J]은? (단, 공기는 이상기체로 간주하고, $C_P = \frac{7}{2}R$이며, R은 기체상수이고, $\ln(0.7) \approx -0.36$으로 계산한다)

① $-105R$

② $-106R$

③ $-107R$

④ $-108R$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 $300K$ 열저장고와 열교환하는 닫힌계에서 최대 일을 $\Delta U - T_0\Delta S$로 구하는 계산형 문제이다.

조건 정리

주어진 값: $n = 1mol, T_1 = 500K, P_1 = 2bar, T_2 = 350K, P_2 = 1.4bar, T_0 = 300K, C_P = \frac{7}{2}R$
구해야 할 값: 이 공정에서 생성될 수 있는 최대 일
주의할 조건: 비흐름 공정이므로 내부에너지 변화는 C_V로 계산하고, 최대 일 조건에서는 주위 온도 T_0를 써서 $\Delta U - T_0\Delta S$를 적용한다.

사용할 공식

$W_{\max} = \Delta U - T_0\Delta S$
$\Delta U = nC_V(T_2 - T_1), \qquad \Delta S = nC_P\ln\frac{T_2}{T_1} - nR\ln\frac{P_2}{P_1}$
이 공식을 쓰는 이유: 열은 $300K$ 주위와만 교환하고 최대 일은 엔트로피 생성이 0인 가역 한계에서 얻어지므로, 닫힌계의 최대 일은 상태량 ΔU와 $T_0\Delta S$로 정리된다.

NoteBase

계산 과정

1. $C_V = C_P - R = \frac{5}{2}R$이다.
2. 내부에너지 변화는
$\Delta U = \left(\frac{5}{2}R\right)(350 - 500) = -375R$
이다.
3. 엔트로피 변화는
$\Delta S = \left(\frac{7}{2}R\right)\ln\frac{350}{500} - R\ln\frac{1.4}{2}$
인데, 두 로그가 모두 $\ln(0.7)$이므로
$\Delta S = \left(\frac{7}{2}R - R\right)\ln(0.7) = \left(\frac{5}{2}R\right)(-0.36) = -0.9R$
이다.
4. 따라서 최대 일은
$W_{\max} = \Delta U - T_0\Delta S = -375R - 300(-0.9R) = -105R$
이다. 계가 한 일의 크기로 쓰면 $105R$이고, 이 문항의 부호 규약으로는 $-105R$이다.

선지별 해설

① O
- 계산 결과 $W_{\max} = -105R$이다. 비흐름계 최대 일을 계에 가해진 일의 부호로 쓰면 음수가 되므로 ①이 맞다.

② X
- $-106R$는 계산값보다 절댓값이 $1R$ 큰 값이다. 문제에서 준 $\ln(0.7) \approx -0.36$을 그대로 쓰면 $\Delta S = -0.9R$이므로 최대 일은 $-105R$가 된다. 틀린 표현은 최대 일을 $-106R$로 둔 부분이고, 올바르게는 $-105R$이다.

③ X
- $-107R$는 계산값보다 절댓값이 $2R$ 큰 값이다. 이 문항에서는 로그 근삿값과 비열 값이 이미 주어져 있어 추가 반올림 여지가 거의 없다. 틀린 표현은 최대 일을 $-107R$로 둔 부분이고, 올바르게는 $-105R$이다.

④ X
- $-108R$는 계산값보다 절댓값이 $3R$ 큰 값이다. $\Delta U = -375R$, $T_0\Delta S = -270R$를 정확히 대입하면 $-105R$가 된다. 틀린 표현은 최대 일을 $-108R$로 둔 부분이고, 올바르게는 $-105R$이다.

오답 포인트

가장 큰 함정은 일의 부호 규약이다. $T_0\Delta S - \Delta U$로 계산하면 계가 한 일의 크기 $105R$가 나오지만, 선택지는 계에 가해진 일을 기준으로 써서 $-105R$를 정답으로 둔다. 또 ΔU에 C_P를 넣거나, 엔트로피식에서 압력항 $-R\ln(P_2/P_1)$을 빼먹으면 값이 달라진다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

닫힌계 최대 일 문제는 먼저 부호 규약을 확인하고, 다음에 ΔU는 C_V, ΔS는 $C_P \ln(T_2/T_1) - R\ln(P_2/P_1)$로 계산한 뒤, 마지막에 $W_{\max} = \Delta U - T_0 \Delta S$를 적용하면 된다.

암기 포인트

최대 일 닫힌계는 $\Delta U - T_0 \Delta S$이고, 이상기체의 ΔU는 C_V, ΔS는 C_P와 압력 로그항으로 계산한다.

NoteBase

문 23. $1{,}000K$, $3bar$**에서 다음 반응의 초기 반응물이** $1mol$**의** $CO(g)$**,** $1mol$**의** $H_2O(g)$**,** $1mol$**의** $CO_2(g)$**일 때, 반응한** $CO(g)$**의 분율은? (단, 혼합물은 이상기체로 가정하며, 주어진 온도와 압력에서 평형상수(**K**)는 1이다)**

$$CO(g) + H_2O(g) \rightarrow CO_2(g) + H_2(g)$$

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

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 수성가스 전환반응의 평형상수식을 세워 반응진행도 x를 구하고, 이를 반응한 CO의 분율로 해석하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 초기 몰수는 CO $1mol$, H_2O $1mol$, CO_2 $1mol$, H_2 $0mol$이다.
구해야 할 값: 반응한 CO의 분율이다.
주의할 조건: 이상기체이고 반응식의 총 몰수 변화가 0이므로 압력 $3bar$는 평형식에서 소거된다.

사용할 공식

$K = \frac{p_{CO_2}p_{H_2}}{p_{CO}p_{H_2O}} = 1$
반응진행도를 x라 두면 평형 몰수는 CO $1-x$, H_2O $1-x$, CO_2 $1+x$, H_2 x이다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 평형상수 K가 주어졌고, 반응한 CO의 양은 반응진행도와 같기 때문이다.

계산 과정

총 몰수는 반응 전후 모두 $3mol$이므로 각 성분의 분압비는 몰수비와 같다.
$1 = \frac{(1+x)x}{(1-x)(1-x)}$
$(1+x)x = (1-x)^2$
$x + x^2 = 1 - 2x + x^2$
$3x = 1$
$x = \frac{1}{3}$
초기 CO가 $1mol$이므로 반응한 CO의 분율은 $\frac{x}{1} = \frac{1}{3}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
값이 $\frac{1}{3}$으로 평형식 $K=1$을 정확히 만족한다. 반응한 CO의 분율은 $\frac{1}{3}$이므로 옳다.

② X
$x=\frac{1}{2}$를 대입하면 $K=\frac{(3/2)(1/2)}{(1/2)(1/2)}=3$이 되어 주어진 $K=1$과 맞지 않는다. 틀린 값은 $\frac{1}{2}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{3}$이다.

③ X
$x=\frac{2}{3}$를 대입하면 $K=\frac{(5/3)(2/3)}{(1/3)(1/3)}=10$이 되어 평형조건과 어긋난다. 틀린 값은 $\frac{2}{3}$이고, 올바르게는 $\frac{1}{3}$이다.

④ X
$x=1$이면 CO와 H_2O가 모두 0이 되어 분모가 0이 되므로 평형식 자체를 만족할 수 없다. 완전 전환으로 보는 값은 틀렸고, 올바른 반응 분율은 $\frac{1}{3}$이다.

오답 포인트

초기 생성물인 CO_2 $1mol$을 빠뜨리고 시작하면 $x=\frac{1}{2}$ 같은 오답으로 흐르기 쉽다. 이 문제는 생성물이 처음부터 존재한다는 조건과, $\Delta n=0$이라 압력이 소거된다는 점을 함께 봐야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

평형 조성 계산 문제는 먼저 반응진행도 x를 두고 각 성분의 평형 몰수를 적은 다음, 평형상수식에 그대로 대입해 푼다. 생성물이 초기부터 있으면 반드시 초기 몰수에 더한 형태로 넣어야 한다.

암기 포인트

$CO+H_2O \rightleftharpoons CO_2+H_2$처럼 $\Delta n=0$인 기체반응은 이상기체 가정에서 압력항이 소거되고, 핵심은 초기 조성을 포함한 평형 몰수식이다.

NoteBase

문 24. van der Waals 상태 방정식 $\left(P+\frac{a}{V^2}\right)(V-b)=RT$이 적용되는 기체의 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$는? (단, U는 몰내부에너지, V는 몰부피이다)

① a
② $\frac{1}{V}$
③ $\frac{1}{V^2}$
④ $\frac{a}{V^2}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 열역학 관계식 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T=T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V-P$에 van der Waals 상태방정식을 대입해 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $\left(P+\frac{a}{V^2}\right)(V-b)=RT$이다.
이를 P에 대해 정리하면 $P=\frac{RT}{V-b}-\frac{a}{V^2}$이다.
구해야 할 값은 등온 조건에서의 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$이다.

사용할 공식

$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T=T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V-P$
이 식을 쓰는 이유는 내부에너지의 부피 의존성을 등온 조건에서 직접 계산할 때 Maxwell 관계를 이용한 열역학 일반식을 적용할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 상태방정식을 압력 형태로 쓰면 $P=\frac{RT}{V-b}-\frac{a}{V^2}$이다.
2. 부피 일정에서 온도로 미분하면 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V=\frac{R}{V-b}$이다.
3. 이를 일반식에 대입하면
$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T=T\frac{R}{V-b}-\left(\frac{RT}{V-b}-\frac{a}{V^2}\right)=\frac{a}{V^2}$
따라서 구하는 값은 $\frac{a}{V^2}$이다.

선지별 해설

① X: a만 남기면 부피 의존성 V^{-2}를 빠뜨린 것이다. 틀린 표현은 a이고, 올바르게는 $\frac{a}{V^2}$이다.
② X: $\frac{1}{V}$는 van der Waals 상수 a가 빠져 있어 차원부터 맞지 않는다. 틀린 표현은 $\frac{1}{V}$이고, 올바르게는 $\frac{a}{V^2}$이다.
③ X: $\frac{1}{V^2}$는 형태만 맞고 계수 a를 누락한 값이다. 틀린 표현은 $\frac{1}{V^2}$이고, 올바르게는 $\frac{a}{V^2}$이다.
④ O: $T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V-P$에 상태방정식을 대입하면 $\frac{RT}{V-b}$ 항이 소거되고 $\frac{a}{V^2}$만 남으므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 상태방정식을 바로 미분하는 것이 아니라 먼저 P를 정리한 뒤 열역학 일반식에 넣어야 한다는 점이다. 특히 $\frac{RT}{V-b}$ 항이 상쇄된다는 사실을 놓치면 a, $\frac{1}{V}$, $\frac{1}{V^2}$처럼 계수나 차원이 빠진 오답으로 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온에서 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$를 묻는 문제는 먼저 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P$를 떠올리고, 상태방정식을 $P(T, V)$ 형태로 정리한 다음 T 미분과 대입 순서로 판단한다.

암기 포인트

van der Waals 기체에서는 $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$이므로 $\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T$에는 인력항 $\frac{a}{V^2}$만 남는다.

NoteBase

문 25. 1,700 kPa, 477 K의 포화액체 물이 부분적으로 닫힌 밸브를 지나 100 kPa로 조름팽창될 때, 팽창 후 습윤(wet) 수증기의 질(quality)은? (단, 이 흐름공정에서 유체의 운동에너지와 위치에너지의 변화는 무시하고, 축일을 생성하지 않으며, 열전달은 없다)

포화압력 P^{sat} [kPa]	포화온도 T^{sat} [K]	포화액체의 엔탈피 H^L [kJ kg^{-1}]	포화증기의 엔탈피 H^V [kJ kg^{-1}]
100	373	420	2,680
1,700	477	872	2,800

① 0.15

② 0.20

③ 0.25

④ 0.30

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 부분적으로 닫힌 밸브를 지나는 조름팽창이 등엔탈피 과정이라는 점과 습증기 엔탈피식 $h = h_f + xh_{fg}$를 이용해 건도 x를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:

- 입구 상태: $P_1 = 1700kPa$, 포화액체, $h_1 = 872kJ/kg$
- 출구 상태: $P_2 = 100kPa$, 습증기
- $100kPa$에서 $h_f = 420kJ/kg$, $h_g = 2680kJ/kg$

구해야 할 값:

- 출구 습증기의 건도 x

주의할 조건:

- 조름밸브이므로 열전달 없음, 축일 없음, 운동에너지와 위치에너지 변화 무시이므로 $h_1 = h_2$이다.

NoteBase

사용할 공식

사용 공식은 다음과 같다.

$h_1 = h_2$

$h_2 = h_f + x(h_g - h_f)$

이 공식을 쓰는 이유는 밸브를 지나는 조름팽창이 정상류 단열 과정에서 대표적으로 등엔탈피로 취급되기 때문이다. 또한 출구가 습증기이므로 포화액체와 포화증기 사이의 혼합물 엔탈피식을 적용할 수 있다.

계산 과정

1. 입구는 $1700kPa$의 포화액체이므로 $h_1 = 872kJ/kg$이다.
2. 조름팽창에서는 $h_2 = h_1 = 872kJ/kg$이다.
3. $100kPa$에서 $h_{fg} = h_g - h_f = 2680 - 420 = 2260kJ/kg$이다.
4. 따라서

$872 = 420 + x(2260)$

$x = \frac{872 - 420}{2260} = \frac{452}{2260} = 0.20$

5. 출구 습증기의 건도는 0.20이다.

선지별 해설

① X: $x = 0.15$이면 출구 엔탈피는 $420 + 0.15 \times 2260 = 759kJ/kg$가 되어 입구 엔탈피 $872kJ/kg$와 같지 않다. 틀린 표현은 "최종 건도가 0.15이다"이다. 올바르게는 "최종 건도는 0.20이다."이다.

② O: $x = 0.20$이면 출구 엔탈피는 $420 + 0.20 \times 2260 = 872kJ/kg$가 되어 등엔탈피 조건을 정확히 만족한다.

③ X: $x = 0.25$이면 출구 엔탈피는 $420 + 0.25 \times 2260 = 985kJ/kg$가 되어 너무 크다. 틀린 표현은 "최종 건도가 0.25이다"이다. 올바르게는 "최종 건도는 0.20이다."이다.

④ X: $x = 0.30$이면 출구 엔탈피는 $420 + 0.30 \times 2260 = 1098kJ/kg$가 되어 더 크게 벗어난다. 틀린 표현은 "최종 건도가 0.30이다"이다. 올바르게는 "최종 건도는 0.20이다."이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 팽창이라는 말만 보고 등엔트로피 과정이나 터빈 일을 떠올리는 데 있다. 그러나 밸브를 지나는 조름팽창은 일과 열전달이 없는 정상류 과정으로 h가 일정하다. 또 h_g를 바로 건도로 착각하지 말고 반드시 $h = h_f + xh_{fg}$ 형태로 혼합물 식을 세워야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

밸브, 모세관, 다공마개가 나오면 먼저 조름팽창인지 확인하고 등엔탈피 조건 $h_1 = h_2$를 세운다. 출구가 습증기이면 해당 압력의 h_f, h_g를 읽어 $x = (h - h_f)/(h_g - h_f)$로 바로 연결하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

조름밸브는 h 일정, 습증기 건도는 $h = h_f + xh_{fg}$로 구한다는 점이 핵심이다.

NoteBase