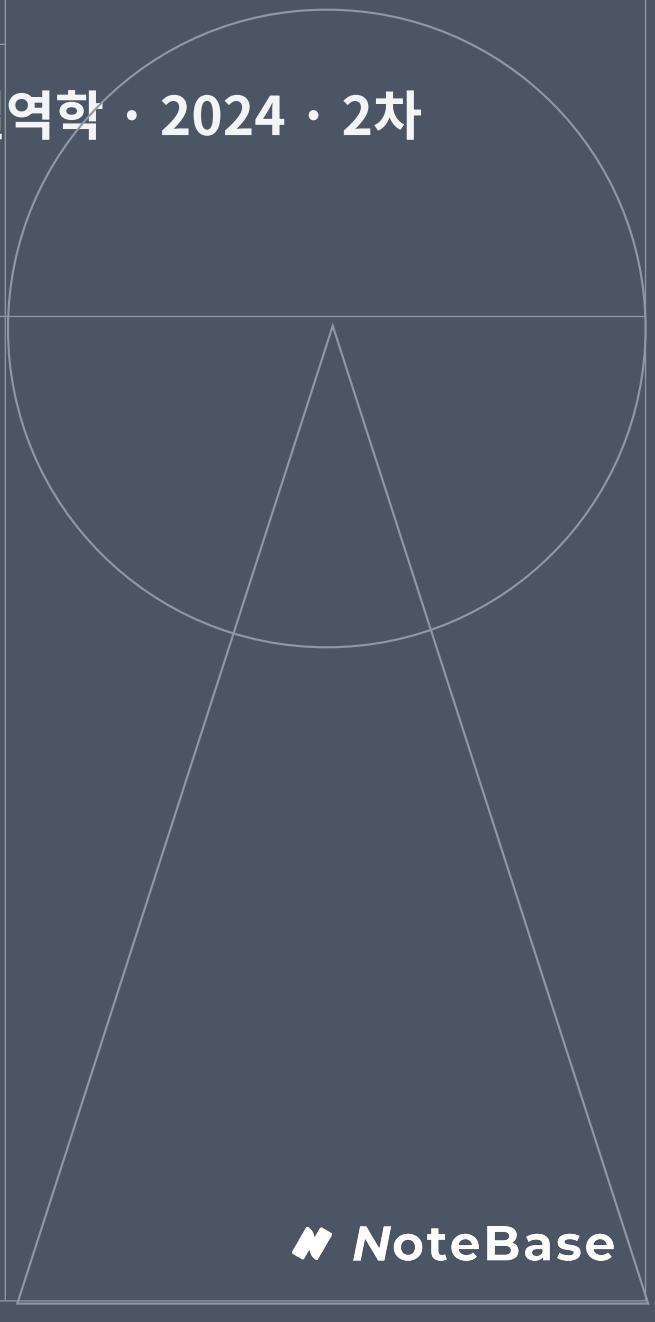
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2024 · 2차



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2024 · 2차

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2024 · 2차

문 1. 평형상태에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 평형은 미시적인 변화도 없는 정적 상태이다.

② 단일 성분의 기체와 액체가 평형을 이룰 때, 깁스 상률에 의한 자유도는 2이다.

③ 일정한 온도와 압력에서 닫힌계의 평형상태는 시스템의 전체 깁스 에너지가 최소인 상태이다.

④ 모든 가역반응의 평형상태에서 정반응과 역반응의 반응속도상수는 같다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열역학적 평형의 의미와 평형 판정 기준, 깁스 상률, 화학반응 평형에서 같아지는 물리량을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

평형상태는 계의 거시적 성질이 시간에 따라 변하지 않는 상태이다.
상평형의 자유도는 비반응계에서 깁스 상률 $F = C - P + 2$로 판단한다.
닫힌계가 일정한 온도와 압력에 있을 때 평형조건은 계 전체의 깁스 에너지 G가 최소가 되는 것이다.
반응평형에서는 정반응속도와 역반응속도가 같아지며, 속도상수 자체가 같아지는 것은 아니다.

선지별 해설

① X: 평형은 거시적으로 변화가 없는 상태이지, 미시적 운동까지 멈춘 정지 상태가 아니다. 틀린 부분은 "미시적인 변화도 없는 정적 상태"이다. 올바르게는 "거시적 변화가 없고 미시적으로는 상반된 과정이 같은 속도로 진행될 수 있는 상태"이다.
② X: 단일 성분에서 기체와 액체 두 상이 평형이면 $C = 1$, $P = 2$이므로 $F = C - P + 2 = 1$이다. 틀린 부분은 "자유도는 2"이다. 올바르게는 "자유도는 1"이다.
③ O: 닫힌계가 일정한 온도와 압력에 있을 때 자발 변화는 깁스 에너지를 감소시키는 방향으로 진행되며, 평형에서는 계 전체의 깁스 에너지가 최소가 된다.
④ X: 평형에서 같은 것은 정반응속도와 역반응속도이다. 틀린 부분은 "반응속도상수는 같다"이다. 올바르게는 "반응속도는 같고, 속도상수는 일반적으로 같지 않다"이다.

NoteBase

오답 포인트

①은 평형을 정적 상태로 오해하게 만드는 선지이고, ④는 반응속도와 반응속도상수를 바꿔 놓은 선지이다. ②는 깁스 상률 공식을 알고 있어도 상의 수를 잘못 대입하면 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

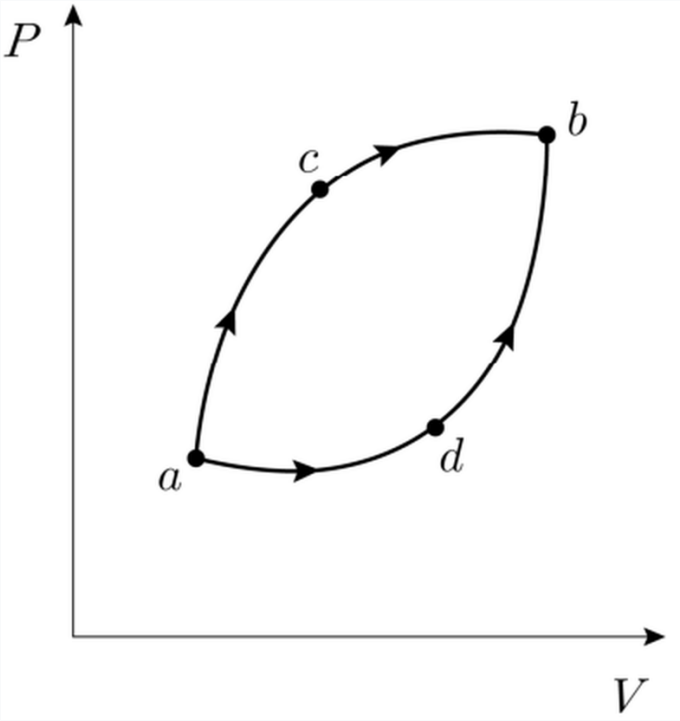
평형 문제는 먼저 무엇이 일정한 조건인지 본다. 일정한 T, P이면 G 최소를 떠올리고, 상의 수가 나오면 $F = C - P + 2$를 적용하며, 반응평형이면 같아지는 것이 속도인지 속도상수인지 구분한다.

암기 포인트

평형은 거시적 정지, 미시적 동적 상태이다. T, P 일정이면 G 최소, 반응평형이면 정·역반응속도가 같다.

NoteBase

문 2. 닫힌계에서 물질의 상태가 경로 $a - c - b$를 따라서 변할 때, 100 J의 열이 계로 유입되고 계는 50 J의 일을 수행한다. 동일한 닫힌계에서 경로 $a - d - b$를 따라서 수행한 일이 10 J일 때, 계로 유입되는 열[J]은? (단, P는 압력, V는 부피이다)



① 40

② 50

③ 60

④ 110

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 닫힌계의 제1법칙 $\Delta U = Q - W$를 경로와 무관한 상태량 변화에 적용해 열량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 경로 $a \to c \to b$에서 $Q = 100J$, $W = 50J$

구해야 할 값: 경로 $a \to d \to b$에서 계로 유입되는 열 Q

주의할 조건: 닫힌계에서 내부에너지 변화 ΔU는 상태량이므로 시작점 a와 끝점 b가 같으면 경로가 달라도 동일하다.

NoteBase

사용할 공식

공식: $\Delta U = Q - W$
이 공식을 쓰는 이유: 문제에서 열의 유입량과 계가 한 일을 함께 주었고, 두 경로 모두 같은 상태 a에서 b로 가므로 먼저 ΔU를 구한 뒤 다른 경로의 열량을 역산할 수 있다.

계산 과정

경로 $a \to c \to b$에서
$\Delta U = Q - W = 100 - 50 = 50J$
따라서 상태 a에서 b로 갈 때 내부에너지 변화는 항상 $50J$이다.
경로 $a \to d \to b$에서는 $W = 10J$이므로
$Q = \Delta U + W = 50 + 10 = 60J$
따라서 계로 유입되는 열은 60 J이다.

선지 판단

1번 X: 40 J는 경로 $a \to d \to b$에서 한 일 10 J를 내부에너지 변화 50 J에서 잘못 빼서 나온 값이다. 올바르게는 $Q = \Delta U + W$이므로 60 J가 된다.
2번 X: 50 J는 내부에너지 변화량 자체만 적은 값이다. 열량은 내부에너지 변화와 계가 한 일을 함께 반영해야 하므로 올바른 값은 60 J이다.
3번 O: 첫 번째 경로에서 $\Delta U = 50J$를 구한 뒤 두 번째 경로에 대해 $Q = \Delta U + W = 50 + 10$을 적용하면 60 J가 되어 맞다.
4번 X: 110 J는 첫 번째 경로의 열 100 J에 두 번째 경로의 일 10 J를 그대로 더한 값으로, 경로가 바뀌어도 일정한 값은 열이 아니라 내부에너지 변화라는 점을 놓친 경우이다. 올바르게는 먼저 $\Delta U = 50J$를 구한 뒤 60 J를 얻어야 한다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 상태량과 경로함수를 섞는 점이다. 내부에너지 변화 ΔU는 경로와 무관하지만 열 Q와 일 W는 경로에 따라 달라진다. 또한 계가 한 일을 양수로 두는 부호 규약에서 $Q = \Delta U + W$로 바꿔 써야 하는데, 여기서 일을 빼면 40 J 오답으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

닫힌계 경로문제는 먼저 한 경로에서 제1법칙으로 ΔU를 구하고, 같은 시작점과 끝점인지 확인한 뒤 다른 경로의 미지수 Q 또는 W를 다시 제1법칙에 대입해 판단한다.

암기 포인트

닫힌계 제1법칙은 $\Delta U = Q - W$이며, 같은 두 상태 사이에서는 ΔU만 경로와 무관하다.

NoteBase

문 3. 압축인자(compressibility factor) Z에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 압축인자는 같은 온도와 압력에서 실제기체의 몰부피를 이상기체의 몰부피로 나눈 값이다.

② 이상기체의 압축인자는 항상 1이다.

③ 압력이 매우 낮아질 때, 압축인자의 값은 1에 접근한다.

④ 압력이 매우 낮아질 때, 실제기체에서 측정한 압력 변화에 따른 압축인자의 변화량은 기체 종류와 무관하다.

정답 4번

출제 포인트

압축인자 Z의 정의와 이상기체 한계, 저압에서의 실제기체 거동을 묻는 문제이다.

핵심 개념

압축인자 Z는 $Z = \frac{PV}{nRT}$이며, 같은 온도와 압력에서 실제기체의 몰부피를 이상기체의 몰부피로 나눈 값이다. 이상기체는 항상 $Z = 1$이다. 실제기체도 압력이 매우 낮아지면 분자 간 상호작용의 영향이 작아져 $Z \to 1$이다. 다만 저압에서 Z가 1로 접근하는 기울기는 기체별 비리얼계수 $B(T)$에 따라 달라진다.

선지별 해설

① O: 압축인자는 같은 온도와 압력에서 실제기체와 이상기체의 거동 차이를 나타내는 값이므로, 실제기체 몰부피를 이상기체 몰부피로 나눈 정의가 맞다.
② O: 이상기체는 상태방정식이 정확히 $PV = nRT$이므로 $Z = \frac{PV}{nRT} = 1$이다.
③ O: 압력이 매우 낮아지면 분자 간 거리가 멀어져 실제기체도 이상기체처럼 거동하므로 Z는 1에 접근한다.
④ X: 틀린 부분은 '기체 종류와 무관하다'이다. 실제로는 저압에서 Z의 압력 의존성이 $Z = 1 + \frac{B(T)}{RT}P + \cdots$로 나타나므로, 압력 변화에 따른 Z의 변화량과 기울기는 기체 종류와 온도에 따라 달라진다.

오답 포인트

③과 ④를 함께 보고 '저압이면 모든 기체가 완전히 똑같이 거동한다'고 일반화하면 틀리기 쉽다. 저압에서 공통인 것은 $Z \to 1$이라는 한계값이지, 1에 접근하는 방식까지 동일하다는 뜻은 아니다.

다시 나오면 이렇게 판단

압축인자 문제는 먼저 정의 $Z = \frac{PV}{nRT}$를 확인하고, 다음으로 이상기체는 항상 $Z = 1$, 실제기체는 저압에서 $Z \to 1$이라는 두 축으로 판단하면 된다. 이후 선지에 '항상', '무관하다', '동일하다' 같은 절대 표현이 나오면 기체별 상호작용 차이가 남는지를 점검하면 된다.

암기 포인트

압축인자는 값은 저압에서 1로 가고, 1에 접근하는 기울기는 기체마다 다르다고 기억하면 된다.

NoteBase

문 4. 단원자 이상기체 A 3몰을 일정한 압력에서 250 K부터 750 K까지 가열할 때, 엔트로피 변화량$[kJK^{-1}]$은? (단, A의 열용량 $C_P = 1.0kJmol^{-1}K^{-1}$이다)

① 0

② ln 3

③ 3

④ 3ln 3

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 일정 압력에서 이상기체의 엔트로피 변화식 $\Delta S = nC_P\ln(T_2/T_1)$를 적용해 값을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 몰수 3 mol, $C_P = 1.0kJmol^{-1}K^{-1}$, $T_1 = 250K$, $T_2 = 750K$이다.
구해야 할 값은 엔트로피 변화량 ΔS이다.
주의할 조건은 일정한 압력이므로 C_P를 사용하고, 온도는 비율 T_2/T_1로 넣어야 한다는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $\Delta S = nC_P\ln(T_2/T_1)$이다.
이 문제는 이상기체를 일정 압력에서 가열하는 과정이므로 엔트로피 변화가 온도비의 자연로그와 정압 열용량으로 결정된다.

계산 과정

1. 온도비는 $T_2/T_1 = 750/250 = 3$이다.
2. 엔트로피 변화식에 대입하면 $\Delta S = 3 \times 1.0 \times \ln 3$이다.
3. 따라서 $\Delta S = 3\ln 3 kJ/K$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
0은 엔트로피 변화가 없는 경우의 값인데, 이 문제는 일정 압력 가열이므로 온도가 상승하여 엔트로피가 증가한다. '0'이라는 표현이 틀렸고, 올바른 값은 $3\ln 3 kJ/K$이다.

② X
ln 3은 몰수 3 mol를 빠뜨린 값이다. '총 엔트로피 변화량'을 묻고 있으므로 1 mol 기준값이 아니라 3 mol 전체에 대해 계산해야 하며, 올바른 값은 $3\ln 3 kJ/K$이다.

③ X
3은 자연로그 ln 3을 단순히 1로 본 것과 같은 잘못이다. 일정 압력 엔트로피 변화는 온도비 자체가 아니라 그 자연로그를 곱해야 하므로, '3'이라는 표현이 틀렸고 올바른 값은 $3\ln 3 kJ/K$이다.

④ O
$\Delta S = nC_P \ln(T_2/T_1) = 3 \times 1.0 \times \ln 3 = 3\ln 3 kJ/K$이므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 1 mol 기준식을 전체 몰수에 그대로 쓰거나, T_2/T_1를 그대로 넣고 ln을 빠뜨리는 데 있다. 일정 압력에서는 C_P, 온도항은 $\ln(T_2/T_1)$라는 두 요소를 동시에 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 엔트로피 계산 문제는 먼저 과정 조건이 정압인지 정적인지 구분하고, 그다음 총몰수 n을 포함한 식을 세운 뒤, 마지막에 온도비에 자연로그를 취했는지 검산하면 된다.

암기 포인트

정압 가열 엔트로피 변화는 $\Delta S = nC_P \ln(T_2/T_1)$이고, 총량 문제에서는 몰수 n을 반드시 곱한다.

NoteBase

문 5. 다음 조건들을 고려할 때, 전기 오븐을 이용하여 밀폐 용기에 담긴 음식물을 가열하는 상황에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

◯ 외부에서 유입된 전기는 전기 오븐 내부의 히터에서 열로 변환되어 전기 오븐 내부의 물질을 가열한다.
◯ 전기 오븐은 외부와 완벽하게 단열되어 있다.
◯ 닫힌 상태에서 전기 오븐 내부의 물질은 외부로 전혀 새어 나가지 않는다.

① 전기 오븐 외부를 열역학적 계라고 할 때, 전기는 일의 형태로 경계를 통과한다.
② 전기 오븐을 열역학적 계라고 할 때, 계 내부의 에너지는 일정하게 유지된다.
③ 밀폐 용기를 열역학적 계라고 할 때, 주변 환경과의 에너지 교환 방식은 열 또는 일이다.
④ 밀폐 용기에 담긴 음식물을 열역학적 계라고 할 때, 주변 환경보다 온도가 낮을 때에만 열이 유입될 수 있다.

정답 2번

출제 포인트

전기적 일, 열전달, 닫힌계의 에너지 출입 방식을 실제 가열 상황에 맞게 구분하는지를 묻는 문제이다.

사례 정리

전기 오븐은 외부와 완벽하게 단열되어 있다.
외부에서 유입된 전기는 오븐 내부 히터에서 열로 전환된다.
밀폐 용기와 그 안의 음식물은 질량이 외부로 새지 않는 닫힌계이다.

핵심 개념

일은 온도차가 아닌 다른 구동력으로 계 경계를 통과하는 에너지 전달이며, 전기는 대표적인 일의 형태이다.
열은 온도차 때문에 계 경계를 통과하는 에너지 전달이다.
닫힌계는 질량 출입은 없지만 열과 일의 형태로 에너지를 주고받을 수 있다.

적용 기준

계를 어디까지로 잡는지 먼저 정한 뒤, 경계를 통과하는 것이 질량인지 열인지 일인지 구분하면 된다. 전기 오븐 전체를 계로 잡으면 외부 전기는 일로 들어오고, 음식물만 계로 잡으면 주변보다 낮은 온도일 때 열이 유입된다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 전기 오븐 전체를 계로 잡으면 외부 전선으로부터 들어오는 전기는 전기적 일의 형태로 경계를 통과한다. 전기는 온도차가 아니라 전위차에 의해 전달되므로 열이 아니라 일이다.
② X: 오븐이 완전 단열이라도 외부에서 전기적 일이 계속 유입되므로 계 내부 에너지가 일정하게 유지된다고 볼 수 없다. 틀린 표현은 "계 내부의 에너지는 일정하게 유지된다"이고, 올바르게는 "전기적 일 유입만큼 계 내부 에너지가 증가할 수 있다"이다.
③ O: 밀폐 용기는 질량이 드나들지 않는 닫힌계이므로 주변과의 에너지 교환 방식은 열 또는 일이다. 이 상황에서는 주로 오븐 내부와의 온도차로 열이 전달된다.
④ O: 음식물을 계로 잡으면 자발적인 열 유입은 주변이 더 뜨겁고 음식물이 더 차가울 때 일어난다. 따라서 주변 환경보다 온도가 낮을 때만 열이 유입될 수 있다는 설명은 옳다.

오답 포인트

"단열"을 "에너지 출입이 전혀 없음"으로 오해하면 ②를 맞는 선지로 보기 쉽다. 단열은 열의 출입이 없다는 뜻일 뿐이며, 전기적 일은 여전히 계로 들어올 수 있다. 또한 "밀폐"와 "단열"을 같은 뜻으로 섞어 보면 ③의 닫힌계 개념도 흔들리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

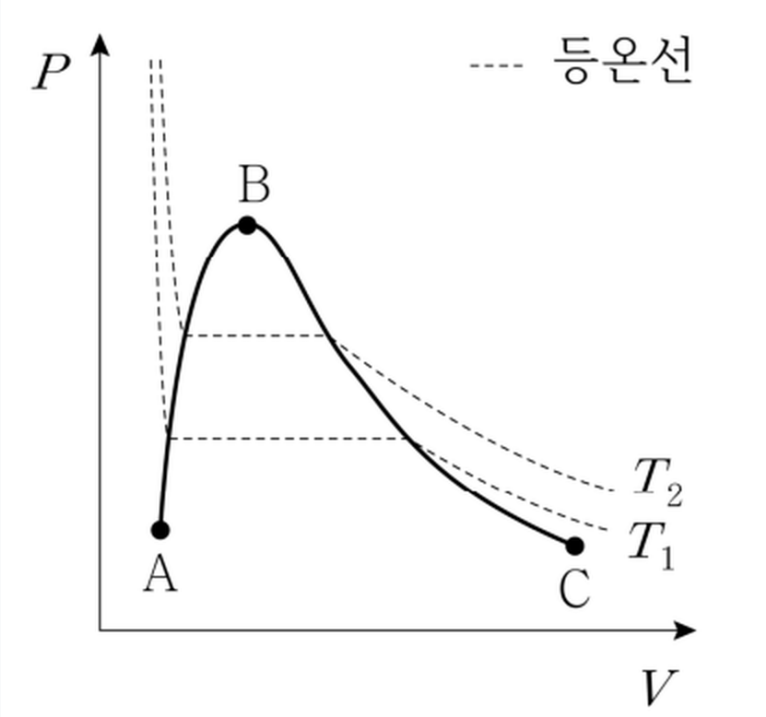
열역학 사례형 문제는 먼저 계의 경계를 정하고, 다음으로 질량 출입 유무를 본 뒤, 마지막으로 에너지 전달이 온도차에 의한 열인지 전위차·축일 같은 일인지를 구분하면 된다.

암기 포인트

단열은 열 차단이고, 밀폐는 질량 차단이며, 전기는 계를 드나드는 일이다.

NoteBase

문 6. 다음 그림은 등온선들과 함께 나타낸 순수한 물질에 대한 액체, 액체/증기, 증기 영역의 PV 선도이다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, P는 압력, V는 부피이다)



① 곡선 AB에 존재하는 물질은 기화 온도에서의 단일상 증기이다.

② 온도 T_2는 온도 T_1보다 높다.

③ 곡선 ABC에 존재하는 액체와 증기는 포화상태이다.

④ 물질의 임계점은 B이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 순수물질의 P-V 선도에서 포화액선, 포화증기선, 임계점, 등온선의 상대적 위치를 구분할 수 있는지를 묻는다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: 곡선 AB는 포화액선이므로 이 선 위의 상태는 기화 직전의 포화액이다. '단일상 증기'가 아니라 '포화액' 또는 액체 쪽 포화상태라고 고쳐야 한다.
2번 O: 증기 영역에서 같은 부피 기준으로 더 위에 있는 등온선이 더 높은 압력에 대응하므로 온도도 더 높다. 따라서 T_2는 T_1보다 높다.
3번 O: 곡선 ABC는 포화곡선이므로 AB는 포화액선, BC는 포화증기선이며 꼭짓점 B는 임계점이다. 따라서 이 곡선 위의 액체와 증기는 포화상태이다.
4번 O: 포화액선과 포화증기선이 만나는 꼭짓점 B가 임계점이다. 이 점에서는 액체와 증기의 구분이 사라진다.

오답 포인트

AB를 포화증기선으로 착각하면 1번을 옳은 설명으로 보기 쉽다. P-V 포화돔에서는 왼쪽 경계가 포화액선이고 오른쪽 경계가 포화증기선이라는 방향을 먼저 잡아야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

포화돔 문제는 먼저 왼쪽 경계=포화액선, 오른쪽 경계=포화증기선, 꼭짓점=임계점으로 잡는다. 그다음 등온선은 같은 영역에서 위쪽일수록 높은 온도라는 순서로 선지를 판정한다.

암기 포인트

포화돔은 좌액 우증기, 꼭대기는 임계점이다.

NoteBase

문 7. 300 K에서 기체 A가 비리얼(virial) 방정식을 따른다. 제2 비리얼 계수 $B = -190\text{cm}^3\text{mol}^{-1}$일 때, 10bar에서 A의 몰부피 $[\text{cm}^3\text{mol}^{-1}]$는? (단, 기체상수는 $83\text{barcm}^3\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$이고, 비리얼 계수는 B만 이용한다)

① 2,110

② 2,300

③ 2,490

④ 2,680

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 제2 비리얼 계수 B만 사용하여 실제기체의 몰부피를 이상기체 몰부피에서 보정하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $T = 300K$, $P = 10bar$, $R = 83barcm^3mol^{-1}K^{-1}$, $B = -190cm^3mol^{-1}$이다.
구해야 할 값은 기체 A의 몰부피 $\bar{V}$이다.
비리얼 계수는 B만 이용하므로 저압 근사에서 이상기체 몰부피에 B를 더해 보정한다.

사용할 공식

비리얼 방정식을 B까지만 쓰면 $Z = \frac{P\bar{V}}{RT} \approx 1 + \frac{B}{\bar{V}}$이고, 시험 계산에서는 $\bar{V} \approx \frac{RT}{P} + B$로 정리해 사용한다.
이 공식을 쓰는 이유는 B가 이상기체 거동에서 벗어나는 1차 보정항이며, 문제도 B만 이용하라고 주었기 때문이다.

계산 과정

1. 이상기체 몰부피를 구하면 $\frac{RT}{P} = \frac{83 \times 300}{10} = 2490cm^3mol^{-1}$이다.
2. 여기에 제2 비리얼 계수 보정 $B = -190cm^3mol^{-1}$를 더하면 $\bar{V} \approx 2490 - 190 = 2300cm^3mol^{-1}$이다.
3. 따라서 선택지 값 중 $2300cm^3mol^{-1}$가 맞다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $2110 cm^3 mol^{-1}$는 B의 음의 보정을 과하게 반영한 값이라서 틀리다. 올바르게는 이상기체 값 2490에 $B = -190$을 한 번만 더해 $2300 cm^3 mol^{-1}$가 된다.
② O: $\bar{V} \approx \frac{RT}{P} + B = 2490 - 190 = 2300 cm^3 mol^{-1}$이므로 맞다.
③ X: $2490 cm^3 mol^{-1}$는 B 보정을 완전히 무시한 이상기체 몰부피라서 틀리다. 올바르게는 실제기체 보정을 반영한 $2300 cm^3 mol^{-1}$이다.
④ X: $2680 cm^3 mol^{-1}$는 $B = -190$의 부호를 반대로 넣어 $2490 + 190$으로 계산한 값이라서 틀리다. 올바르게는 음의 B를 더해 $2300 cm^3 mol^{-1}$가 된다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 B의 부호를 반대로 넣는 실수와, 실제기체 보정을 하지 않고 이상기체 값 $\frac{RT}{P}$만 고르는 실수이다. 이 문항에서는 $B < 0$이므로 몰부피가 이상기체 값보다 작아진다는 방향을 먼저 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

비리얼 계수 B만 주어진 실제기체 계산은 먼저 $\frac{RT}{P}$로 이상기체 몰부피를 구한 뒤, B의 부호까지 포함해 그대로 더하는 순서로 판단한다. $B < 0$이면 몰부피가 줄고, $B > 0$이면 몰부피가 커진다.

암기 포인트

제2 비리얼 계수만 쓰는 저압 근사에서는 $\bar{V} \approx \frac{RT}{P} + B$이고, B의 부호가 실제기체 몰부피 보정 방향을 정한다.

NoteBase

문 8. 일정한 온도와 압력에서 일어나는 반응 전후의 내부에너지 변화와 엔탈피 변화가 같은 것은? (단, 기체는 이상기체이고, 계는 닫힌계이며, 모든 반응은 완료되었다)

① $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$

② $2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow 2H_2O(l)$

③ $2MnO_2(s) \rightarrow 2MnO(s) + O_2(g)$

④ $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 반응에서 $\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT$ 관계를 이용해 기체 몰수 변화가 0인 반응을 고르는 문제이다.

핵심 개념

이상기체 반응에서는 $\Delta H = \Delta U + \Delta n_g RT$이다.
따라서 일정한 온도에서 반응 전후의 엔탈피 변화와 내부에너지 변화가 같으려면 기체 몰수 변화 Δn_g가 0이어야 한다.
여기서 Δn_g = 생성기체 몰수 - 반응기체 몰수이다.

선지별 해설

① X: 생성기체는 $3CO_2 + 4H_2O$로 7몰, 반응기체는 $C_3H_8 + 5O_2$로 6몰이어서 $\Delta n_g = +1$이다. 따라서 $\Delta H \neq \Delta U$이다. 틀린 표현은 이 반응에서 두 변화가 같다는 판단이며, 올바르게는 기체 몰수가 1몰 증가하므로 두 값이 같지 않다.
② X: 생성물인 $2H_2O(l)$는 액체이므로 기체 몰수에 포함되지 않는다. 반응기체는 3몰, 생성기체는 0몰이어서 $\Delta n_g = -3$이다. 틀린 표현은 액체 생성물까지 포함해 두 변화가 같다고 보는 판단이며, 올바르게는 기체 몰수가 감소하므로 두 값이 같지 않다.
③ X: 고체 분해반응이지만 생성물 쪽에 $O_2(g)$ 1몰이 새로 생긴다. 반응기체는 0몰, 생성기체는 1몰이어서 $\Delta n_g = +1$이다. 틀린 표현은 고체 반응이라는 이유만으로 두 변화가 같다고 보는 판단이며, 올바르게는 기체가 1몰 생성되므로 두 값이 같지 않다.
④ O: $H_2(g) + Cl_2(g) \rightarrow 2HCl(g)$에서 반응기체 2몰과 생성기체 2몰이 같아 $\Delta n_g = 0$이다. 따라서 $\Delta H = \Delta U$가 된다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 반응식의 총 계수만 세거나 액체·고체까지 함께 세는 데 있다. Δn_g는 전체 몰수가 아니라 기체 상태 종의 몰수 변화만 보므로, ②에서 액체 물을 제외하고 ③에서 생성된 산소 기체를 반드시 포함해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

이 유형은 먼저 반응식에서 (g)만 남긴 뒤 반응 전후 기체 몰수를 센다. 그다음 $\Delta n_g = 0$이면 $\Delta H = \Delta U$이고, 0이 아니면 두 값이 다르다고 판단한다.

암기 포인트

$\Delta H - \Delta U = \Delta n_g RT$, 기체 몰수 변화가 0이면 두 값이 같다.

NoteBase

문 9. 300K, 1atm의 아르곤(Ar) 기체 1몰이 닫힌계에서 가역공정을 수행한다. 각 과정을 통해 기체의 부피가 2배로 팽창할 때, 외부에 수행한 일의 크기($|W|$)가 큰 것부터 순서대로 바르게 나열한 것은? (단, 기체는 이상기체이다)

(가) 등온과정
(나) 등압과정
(다) 단열과정

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

정답 3번

출제 포인트

같은 초기상태에서 이상기체가 가역적으로 $V_2 = 2V_1$까지 팽창할 때 등압, 등온, 단열 과정의 일 $|W|$을 식으로 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $n = 1mol, T_1 = 300K, P_1 = 1atm, V_2 = 2V_1$이다. 아르곤은 단원자 이상기체이므로 $\gamma = C_p/C_v = 5/3$이다. 닫힌계의 가역팽창이므로 각 과정의 경로에 따라 $W = \int PdV$를 비교하면 된다.

사용할 공식

등압과정은 $W = P\Delta V = P_1(V_2 - V_1) = P_1V_1 = nRT_1$이다.
등온과정은 $W = nRT_1\ln(V_2/V_1) = nRT_1\ln 2$이다.
단열과정은 $TV^{\gamma-1} = \text{constant}$이므로 $T_2 = T_1(V_1/V_2)^{\gamma-1} = 300 \cdot 2^{-2/3}$이고,
$W = nC_v(T_1 - T_2) = nR(T_1 - T_2)/(\gamma - 1)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 세 과정이 모두 같은 초기상태에서 같은 부피비까지 가역적으로 팽창하므로 경로별 압력 변화만 비교하면 일의 크기 순서가 바로 결정되기 때문이다.

계산 과정

등압과정은 W_등압=nRT_1=300R이다.
등온과정은 W_등온=300R2≈207.9R이다.
단열과정은 $T_2 = 300 \cdot 2^{-2/3} \approx 189.0K$이므로 W_단열=R(300-189.0)/(2/3)≈166.5R이다.
따라서 W_등압>W_등온>W_단열이므로 순서는 (나),(가),(다)이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: (가),(나),(다)는 등온을 등압보다 크게 둔 순서라서 틀리다. 실제로 $300R\ln 2 < 300R$이므로 등압이 더 크다. 올바르게는 (나),(가),(다)이다.
② X: (가),(다),(나)는 등압을 가장 작게 둔 부분이 틀리다. 같은 초기상태와 같은 부피비에서는 압력이 끝까지 유지되는 등압과정의 면적이 가장 크다. 올바르게는 (나),(가),(다)이다.
③ O: (나),(가),(다)는 $300R > 300R\ln 2 > 166.5R$ 비교와 일치하므로 옳다.
④ X: (나),(다),(가)는 단열을 등온보다 크게 둔 부분이 틀리다. 단열팽창은 온도가 내려가 압력이 등온보다 더 빨리 감소하므로 일이 더 작다. 올바르게는 (나),(가),(다)이다.

오답 포인트

등온과정의 $\ln 2$ 값을 감각적으로 놓치거나, 단열과정에서도 온도가 일정하다고 착각하면 순서가 뒤바뀐다. 이 문항의 함정은 같은 $V_2/V_1 = 2$라도 과정별 압력곡선 아래 면적이 서로 다르다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

같은 초기상태에서 같은 최종 부피비까지 팽창시키는 비교문제는 먼저 $W = \int PdV$의 면적 비교로 본다. 등압은 압력이 일정해서 가장 크고, 등온은 $P \propto 1/V$, 단열은 $P \propto V^{-\gamma}$로 더 급하게 떨어지므로 등압 > 등온 > 단열 순서가 된다.

암기 포인트

같은 초기상태와 같은 팽창비에서는 압력 유지 정도가 등압 > 등온 > 단열이므로 일의 크기도 등압 > 등온 > 단열이다.

NoteBase

문 10. $25^\circ C$**에서 다음 반응의 표준반응열[kJ]은? (단, 해당 온도에서** $NH_3(g)$**와** $H_2O(g)$**의 표준생성열은 각각** $-46 kJ mol^{-1}$**,** $-242 kJ mol^{-1}$**이다)**

$4NH_3(g) + 3O_2(g) \rightarrow 2N_2(g) + 6H_2O(g)$

① -1,636

② -1,268

③ 1,268

④ 1,636

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 표준반응열을 표준생성열의 합으로 계산하는 원리를 적용해 반응식의 ΔH_{rxn}°을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $\Delta H_f^\circ\,(\mathrm{NH_3(g)}) = -46 kJ/mol$, $\Delta H_f^\circ\,(\mathrm{H_2O(g)}) = -242 kJ/mol$
- 반응식: $4\mathrm{NH_3(g)} + 3\mathrm{O_2(g)} \rightarrow 2\mathrm{N_2(g)} + 6\mathrm{H_2O(g)}$
- 구해야 할 값: 반응식 그대로 진행될 때의 표준반응열
- 주의할 조건: 홑원소 기체인 $\mathrm{N_2(g)}$, $\mathrm{O_2(g)}$의 표준생성열은 0이다.

사용할 공식

Δ H^_rxn=Σ ν Δ H_f^(생성물)-Σ ν Δ H_f^(반응물)
이 공식은 반응열을 각 물질의 표준생성열과 화학양론계수로 계산하는 정의식이기 때문에 사용된다.

계산 과정

1. 생성물 쪽의 표준생성열 합을 계산하면 $2\mathrm{N_2(g)}$는 0이고, $6\mathrm{H_2O(g)}$는 $6 \times (-242) = -1452 kJ$이다.
2. 반응물 쪽의 표준생성열 합을 계산하면 $4\mathrm{NH_3(g)}$는 $4 \times (-46) = -184 kJ$, $3\mathrm{O_2(g)}$는 0이므로 합은 $-184 kJ$이다.
3. 따라서 $\Delta H_{rxn}^\circ = (-1452) - (-184) = -1268 kJ$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $-1636kJ$는 반응물의 표준생성열 $-184kJ$를 빼지 않고 같은 부호로 더한 값이다.
- 틀린 표현은 표준반응열을 $-1636kJ$로 본 부분이고, 올바르게는 $(-1452)-(-184)=-1268kJ$이다.

② O
- 생성물 합에서 반응물 합을 빼면 $-1268kJ$가 되어 계산 결과와 일치한다.
- 반응식 그대로 1회 진행될 때의 표준반응열이므로 ②가 옳다.

③ X
- $1268kJ$는 크기는 맞지만 부호를 반대로 쓴 값이다.
- 틀린 표현은 반응이 흡열인 것처럼 양수로 쓴 부분이고, 올바르게는 $-1268kJ$로 발열 반응이다.

④ X
- $1636kJ$는 ①의 부호 오류에 더해 최종 부호까지 반대로 쓴 값이다.
- 틀린 표현은 표준반응열의 크기와 부호를 모두 잘못 잡은 부분이고, 올바르게는 $-1268kJ$이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 Σ Δ H_f^(생성물)- Σ Δ H_f^(반응물)에서 반응물 항의 음수를 다시 빼야 한다는 점을 놓치는 것이다. 또한 정답의 크기 1268만 보고 부호를 반대로 쓰면 ③에 걸리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

표준반응열 문제는 먼저 홑원소 물질의 표준생성열이 0인지 확인하고, 다음에 생성물 합과 반응물 합을 각각 따로 구한 뒤 마지막에 생성물 minus 반응물 순서로 부호까지 검산하면 된다.

암기 포인트

표준반응열은 생성물 합에서 반응물 합을 빼며, 홑원소의 표준생성열은 0이다.

NoteBase

문 11. 이상기체 상태의 작동 유체에 의해 수행되는 Carnot 기관에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. Carnot 사이클의 가역 단열과정은 등엔트로피 과정이다.
ㄴ. 두 열 저장고의 온도가 각각 1,000 K, 300 K일 때 열효율은 30 %이다.
ㄷ. Carnot 기관에서 일은 오직 등온과정에 의해 생성된다.
ㄹ. Carnot 사이클이 가역적인 과정을 통해 한 번 순환할 때 기관의 엔트로피는 변하지 않고 그대로 유지된다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄹ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄷ, ㄹ

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 카르노 기관에서 가역 단열과정의 의미, 카르노 효율식, 열교환과 일의 구분, 순환과정의 엔트로피 변화를 함께 묻는 문제이다.

핵심 개념

가역 단열과정은 열출입이 없고 가역이므로 엔트로피가 일정한 등엔트로피 과정이다.
카르노 기관의 열효율은 $\eta = 1 - T_C/T_H$이다.
카르노 사이클에서 열교환은 두 등온과정에서만 일어나지만, 일은 등온과정과 단열과정 모두에서 경계일의 형태로 출입한다.
기관이 한 사이클을 마치면 처음 상태로 되돌아오므로 시스템의 엔트로피 변화는 0이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- ①은 ㄱ, ㄴ을 모두 맞다고 본 조합인데 ㄴ이 틀리므로 오답이다.
- ㄱ은 맞다. 카르노 사이클의 가역 단열과정은 $\delta Q_{rev} = 0$이므로 $dS = \delta Q_{rev}/T = 0$가 되어 등엔트로피 과정이 된다.
- ㄴ의 틀린 표현은 "열효율은 30%"이다. 카르노 효율은 $1 - 300/1000 = 0.7$이므로 올바른 값은 70%이다.

② O
- ②는 ㄱ, ㄹ의 조합이다. ㄱ과 ㄹ이 모두 옳으므로 정답이다.
- ㄱ은 가역 단열과정과 등엔트로피 과정의 일치를 정확히 말한 선지이다.
- ㄹ도 맞다. 카르노 사이클은 가역 순환과정이며 한 번 순환한 뒤 기관은 처음 상태로 돌아오므로 상태량인 엔트로피는 변하지 않는다.

③ X
- ③은 ㄴ, ㄷ을 모두 맞다고 본 조합인데 두 진술 모두 틀리므로 오답이다.
- ㄴ의 틀린 표현은 "열효율은 30%"이다. 올바르게는 고온원 1000 K, 저온원 300 K일 때 열효율은 70%이다.
- ㄷ의 틀린 표현은 "일은 오직 등온과정에 의해 생성된다"이다. 올바르게는 열교환은 등온과정에서만 일어나지만, 일은 등온 팽창과 단열 팽창, 등온 압축과 단열 압축 과정 전체에서 출입한다.

④ X
- ④는 ㄷ, ㄹ의 조합인데 ㄷ이 틀리므로 오답이다.
- ㄹ은 맞다. 순환을 마치면 기관의 상태량이 원래 값으로 복귀하므로 엔트로피 변화도 0이다.
- ㄷ의 틀린 표현은 "오직 등온과정"이다. 카르노 기관의 순일은 사이클 전체의 면적으로 나타나며, 단열과정에서도 분명히 일교환이 존재한다.

오답 포인트

ㄴ에서는 카르노 효율식을 거꾸로 적용하거나 백분율 환산을 틀리기 쉽다. ㄷ에서는 "열교환은 등온과정에서만 일어난다"는 사실을 "일도 등온과정에서만 생긴다"로 잘못 바꾸기 쉽다. ㄹ에서는 순환 전체의 엔트로피 변화 0과 각 과정의 엔트로피 변화 0을 혼동하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노 문제가 나오면 먼저 가역 단열이면 등엔트로피인지 확인한다. 다음으로 효율은 항상 $1 - T_C/T_H$로 바로 계산한다. 마지막으로 순환과정은 상태량이 제자리로 돌아오므로 시스템의 $\Delta S = 0$이라는 점과, 열교환이 없는 과정에서도 일교환은 있을 수 있다는 점을 구분하면 된다.

암기 포인트

카르노는 가역 단열=등엔트로피, 효율은 $1 - T_C/T_H$, 한 사이클 후 기관의 $\Delta S = 0$이다.

NoteBase

문 12. 혼합용액의 상평형에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 성분 i의 활동도는 순수성분 i의 퓨개시티(fugacity)에 정비례한다.

② 같은 온도와 압력에서 모든 구성성분에 대해 각 성분의 기체상과 액체상의 퓨개시티가 동일할 때, 용액은 평형이다.

③ 온도와 압력이 일정할 때, 부분 몰 성질은 독립적으로 변화할 수 없다.

④ 이상기체 혼합물에서 성분 i의 퓨개시티는 성분 i의 부분 압력과 같다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 혼합용액 상평형에서 활동도와 퓨개시티의 관계, 상평형 조건, 부분 몰 성질의 종속성, 이상기체 혼합물의 부분 퓨개시티를 정확히 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

활동도는 성분 i의 용액 내 퓨개시티를 기준상태 퓨개시티로 나눈 무차원량으로서 $a_i = \hat{f}_i / f_i^*$로 나타낸다.
상평형은 같은 온도와 압력에서 각 성분의 상별 퓨개시티가 같을 때 성립한다.
부분 몰 성질은 일정한 온도와 압력에서 기브스-뒤헴 관계로 서로 연결되어 독립적으로 변할 수 없다.
이상기체 혼합물에서는 성분 i의 퓨개시티가 그 성분의 부분 압력과 같아진다.

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "순수성분 i의 퓨개시티에 정비례한다"는 표현이다. 활동도는 순수성분의 퓨개시티 자체에 비례하는 값이 아니라, 용액 속 성분 i의 퓨개시티를 기준상태 퓨개시티로 나눈 값이다. 올바르게는 "성분 i의 활동도는 용액 속 성분 i의 퓨개시티를 기준상태 퓨개시티로 나눈 값이다"이다.
2번: O. 같은 온도와 압력에서 모든 구성성분에 대해 기상과 액체상의 퓨개시티가 각각 같으면 상 사이 물질이동의 구동력이 없으므로 용액은 상평형 상태이다.
3번: O. 온도와 압력이 일정할 때 부분 몰 성질들은 기브스-뒤헴 관계를 만족하므로 한 성분의 부분 몰 성질이 변하면 다른 성분들의 값도 연동되어야 한다. 따라서 독립적으로 각각 따로 변할 수 없다.
4번: O. 이상기체 혼합물에서는 성분 i의 부분 퓨개시티가 부분 압력과 같으므로 $\hat{f}_i = y_i P$이다.

오답 포인트

1번은 활동도 정의식의 분자와 분모를 뒤바꾸게 만드는 선지이다. 활동도는 "용액 속 성분의 퓨개시티"를 "기준상태 퓨개시티"로 나눈 값인데, 이를 순수성분 퓨개시티와의 단순 정비례 관계로 바꾸면 정의가 흐려져 틀리게 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

활동도 관련 선지는 먼저 정의식 $a_i = \hat{f}_i / f_i^*$를 떠올려 무엇이 분자이고 무엇이 기준상태인지 확인하면 된다. 상평형 선지는 각 성분의 상별 퓨개시티가 같은지, 이상기체 혼합물 선지는 퓨개시티가 부분 압력으로 바로 줄어드는지를 기준으로 판단하면 된다.

암기 포인트

활동도는 "용액 속 퓨개시티 / 기준상태 퓨개시티"이고, 이상기체 혼합물은 "부분 퓨개시티 = 부분 압력"이다.

NoteBase

문 13. $300^{\circ}C$**, 10 Pa의 기체 A가 엔탈피의 변화 없이 오리피스를 지난다. 온도와 압력이** $280^{\circ}C$**, 2 Pa로 감소했다면, 기체 A의 Joule-Thomson 계수** $[^{\circ}CPa^{-1}]$**는? (단, 기체 흐름은 정상상태이고, 해당 공정에서 Joule-Thomson 계수는 일정하다)**

① 1.5

② 2.5

③ 3.5

④ 4.5

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 스로틀링 과정에서 엔탈피가 일정할 때 Joule-Thomson 계수 $\mu_{JT} = (\partial T/\partial P)_H$를 온도변화와 압력변화의 비로 구할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

주어진 값: 입구 온도 300°C, 출구 온도 280°C, 입구 압력 10 Pa, 출구 압력 2 Pa이다.
구해야 할 값: Joule-Thomson 계수 μ_{JT}의 값이다.
주의할 조건: 오리피스를 지나는 과정은 엔탈피 변화가 없고, 계수는 일정하므로 $\mu_{JT} = \Delta T/\Delta P$를 그대로 적용할 수 있다.

사용할 공식

사용 공식은 $\mu_{JT} = (\partial T/\partial P)_H \approx \Delta T/\Delta P$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이 과정이 스로틀링 과정이며 문제에서 엔탈피 변화가 없다고 주어졌기 때문이다.

계산 과정

1. 온도변화는 $\Delta T = 280 - 300 = -20^{\circ}C$이다.
2. 압력변화는 $\Delta P = 2 - 10 = -8Pa$이다.
3. 따라서 $\mu_{JT} = \Delta T/\Delta P = (-20)/(-8) = 2.5^{\circ}CPa^{-1}$이다.

NoteBase

선지 판단

1번: X. 계산 결과는 $2.5^\circ C Pa^{-1}$이므로 1.5와 일치하지 않는다. 틀린 표현은 값이 1.5라는 부분이고, 올바르게는 2.5이다.
2번: O. $\Delta T = -20^\circ C$, $\Delta P = -8 Pa$이므로 비는 2.5가 된다. 값과 단위가 모두 맞다.
3번: X. 3.5는 주어진 온도차와 압력차의 비로 나오지 않는다. 틀린 표현은 값이 3.5라는 부분이고, 올바르게는 2.5이다.
4번: X. 4.5 역시 $(-20)/(-8)$의 계산값과 다르다. 틀린 표현은 값이 4.5라는 부분이고, 올바르게는 2.5이다.

오답 포인트

온도와 압력이 모두 감소하므로 부호가 둘 다 음수라는 점을 놓치면 오답이 된다. Joule-Thomson 계수를 절댓값이 아니라 변화량의 비로 계산해야 하며, 스로틀링에서 엔탈피 일정 조건을 먼저 잡지 못하면 다른 공식을 떠올리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

스로틀링과 엔탈피 일정이 보이면 먼저 $\mu_{JT} = \Delta T/\Delta P$를 떠올린다. 그다음 출구값에서 입구값을 빼서 ΔT와 ΔP의 부호를 함께 계산하면 정답을 바로 판별할 수 있다.

암기 포인트

Joule-Thomson 계수는 엔탈피 일정에서 $\mu_{JT} = \Delta T/\Delta P$이며, 온도와 압력이 함께 감소하면 비의 부호는 양수가 된다.

NoteBase

문 14. 표준상태에서 이상기체들의 가역반응 중 온도가 T_1에서 T_2로 증가하였을 때, 평형상수(K_P)가 4배 증가하였다. 반응엔탈피(ΔH°)는? (단, ΔH°는 온도에 무관하게 일정하고, R은 기체상수이다)

① $4R\frac{T_1T_2}{T_2-T_1}$
② $4R\frac{T_2-T_1}{T_1T_2}$
③ $R\frac{T_2-T_1}{T_1T_2}\ln 4$
④ $R\frac{T_1T_2}{T_2-T_1}\ln 4$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 반트호프 식으로 온도 변화에 따른 K_P의 변화를 이용해 반응엔탈피 ΔH°를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 온도가 T_1에서 T_2로 증가할 때 $K_{P,2}=4K_{P,1}$이라는 점이다.
구해야 할 값은 반응엔탈피 ΔH°이다.
주의할 조건은 ΔH°가 온도에 무관하게 일정하므로 반트호프 식의 적분형을 그대로 쓸 수 있다는 점이다.

사용할 공식

사용할 공식은 반트호프 식의 적분형
$\ln\frac{K_{P,2}}{K_{P,1}}=\frac{\Delta H^\circ}{R}\left(\frac{1}{T_1}-\frac{1}{T_2}\right)$
이다.
이 식은 평형상수의 온도 의존성과 반응엔탈피의 관계를 직접 연결하므로, K_P의 변화량이 주어진 이 문제에 바로 적용된다.

NoteBase

계산 과정

문제에서 $K_{P,2}/K_{P,1} = 4$이므로
$\ln\frac{K_{P,2}}{K_{P,1}} = \ln 4$
이다.
또한
$\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} = \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}$
이므로 반트호프 식에 대입하면
$\ln 4 = \frac{\Delta H^\circ}{R} \cdot \frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}$
이다.
이를 ΔH°에 대해 정리하면
$\Delta H^\circ = R\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}\ln 4$
이 된다.

선지 판단

① X
- $4R\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}$은 $\ln 4$가 빠진 식이다. 틀린 표현은 '4배 증가'를 그대로 계수 4로 옮긴 부분이며, 올바르게는 $K_{P,2}/K_{P,1} = 4$에서 $\ln(K_{P,2}/K_{P,1}) = \ln 4$를 써야 한다.

② X
- $4R\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}$는 온도항이 뒤집혀 있다. 틀린 표현은 ΔH°를 구하면서 $(T_2 - T_1)/(T_1 T_2)$를 분자로 남긴 부분이며, 올바르게는 그 값을 나누어 $R\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}\ln 4$로 정리된다.

③ X
- $R\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2}\ln 4$도 같은 온도항 역수 정리를 하지 않은 식이다. 틀린 표현은 $(T_2 - T_1)/(T_1 T_2)$를 그대로 곱한 부분이며, 올바르게는 $\Delta H^\circ = R\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}\ln 4$이다.

④ O
- 반트호프 식 적분형에서 $K_{P,2}/K_{P,1} = 4$를 넣고 ΔH°를 정리하면 $R\frac{T_1 T_2}{T_2 - T_1}\ln 4$가 된다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 '4배 증가'를 $\ln 4$가 아니라 4로 직접 넣는 실수와, $1/T_1 - 1/T_2$를 통분한 뒤 ΔH°를 풀면서 역수를 취하지 않는 실수이다. ①은 로그 처리를 놓친 오답이고, ②와 ③은 온도항 정리를 거꾸로 한 오답이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

평형상수와 온도 변화가 함께 나오면 먼저 반트호프 식을 쓴다. 그다음 K_2/K_1는 바로 넣지 말고 반드시 $\ln(K_2/K_1)$로 바꾸고, 마지막에는 $(1/T_1 - 1/T_2)$를 통분한 뒤 ΔH°를 역수까지 포함해 정리한다.

암기 포인트

반트호프 식은 $\ln(K_2/K_1) = \frac{\Delta H^\circ}{R}(1/T_1 - 1/T_2)$이고, '몇 배' 변화는 계수 자체가 아니라 로그값으로 들어간다.

NoteBase

문 15. 현열(sensible heat)과 잠열(latent heat)에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 일정한 압력에서 순수한 고체 물질의 결정 구조가 변화할 때, 온도가 증가하지 않는다.
ㄴ. 분자의 진동 운동에너지가 증가하는 것은 현열에너지에 의한 것이다.
ㄷ. 순수한 액체가 기화될 때의 잠열은 상변화에 수반되는 부피 변화에 반비례한다.
ㄹ. 현열에너지는 분자 간 인력을 극복하고 상변화를 일으킨다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄹ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄷ, ㄹ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 현열과 잠열의 정의를 구분하고, 온도 변화와 상변화를 각각 어느 열이 담당하는지 판별하는 문제이다.

핵심 개념

현열은 물질의 상은 그대로 둔 채 온도를 변화시키는 데 드는 열이다.
잠열은 온도 변화 없이 상변화나 결정 구조 변화에 쓰이는 열이다.
현열은 분자의 평균 운동에너지 변화가 핵심이고, 잠열은 분자 간 배열이나 결합 상태 변화가 핵심이다.

선지별 해설

1번 O: ㄱ, ㄴ만 옳으므로 정답이다. ㄱ은 일정 압력에서 순수 고체의 결정 구조가 변하는 동안에는 잠열이 출입하므로 온도가 증가하지 않는다는 뜻이어서 옳다. ㄴ은 분자의 진동 운동에너지 증가가 온도 상승과 연결되므로 현열에 의한 변화라는 점에서 옳다.
2번 X: ㄱ은 옳지만 ㄹ이 틀려서 오답이다. ㄹ의 틀린 표현은 '현열에너지'이다. 올바르게는 '잠열에너지는 분자 간 인력을 극복하고 상변화를 일으킨다'이다.
3번 X: ㄴ은 옳지만 ㄷ이 틀려서 오답이다. ㄷ의 틀린 표현은 '부피 변화에 반비례한다'이다. 올바르게는 '순수한 액체의 기화 잠열은 해당 압력에서 액체가 증기로 변할 때 필요한 에너지로, 상변화에 따른 엔탈피 변화로 본다'이다.
4번 X: ㄷ과 ㄹ이 모두 틀려서 오답이다. ㄷ은 잠열을 부피 변화와 단순 반비례 관계로 설명한 점이 틀렸고, ㄹ은 상변화를 일으키는 열을 현열이라고 한 점이 틀렸다. 올바르게는 '잠열은 상변화에 쓰이고, 현열은 온도 변화에 쓰인다'이다.

NoteBase

오답 포인트

ㄹ처럼 '분자 간 인력을 극복한다'는 표현을 보면 에너지가 커진다는 이유만으로 현열로 착각하기 쉽다. 그러나 분자 운동이 빨라져 온도가 오르면 현열이고, 상이 바뀌도록 결합 상태를 바꾸면 잠열이다. 또 ㄷ처럼 잠열을 부피 변화와 직접적인 반비례 관계로 외우면 정의 자체를 놓치게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 온도가 변하는지, 상이 변하는지를 구분하면 된다. 온도 상승이나 하강이 핵심이면 현열이고,
녹음·기화·승화·결정 구조 변화처럼 상이나 구조 변화가 핵심이면 잠열이다.

암기 포인트

현열은 온도 변화, 잠열은 상변화이다.

NoteBase

문 16. 기체의 상태를 정의하기 위해 다음 방정식을 사용할 수 있다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, P는 압력, V는 몰부피, T는 온도, R은 기체상수이다)

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

① Redlich-Kwong 상태방정식이다.

② 상수 a는 실제기체 분자 사이의 척력에 의해 증가된 압력을 보정한다.

③ 상수 b는 실제기체가 지닌 입자 자체의 부피 영향을 보정한다.

④ 상수 a, b는 임계점의 온도, 압력과 무관하다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 반데르발스 상태방정식에서 a와 b의 물리적 의미와 식의 종류를 정확히 구별하는지를 묻는다.

핵심 개념

반데르발스 상태방정식은 $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$로, 이상기체식에 분자 자체의 부피와 분자 사이 인력을 보정한 식이다.
a는 분자 사이 인력 때문에 실제 압력이 이상기체보다 작아지는 효과를 보정하는 상수이다.
b는 분자가 실제 부피를 가지므로 사용 가능한 부피가 V가 아니라 $V - b$로 줄어드는 효과를 보정하는 상수이다.

선지별 해설

1번: X. 틀린 부분은 "Redlich-Kwong 상태방정식"이다. 제시식은 반데르발스 상태방정식이다.
Redlich-Kwong 식은 온도 의존항과 $V(V + b)$ 형태가 들어가며 식의 형태가 다르다.
2번: X. 틀린 부분은 "척력에 의해 증가된 압력"이다. 실제로 a는 분자 사이 인력 때문에 이상기체보다 낮아진 압력을 보정하는 항이다. 올바르게는 "분자 사이 인력에 의해 감소된 압력을 보정한다"이다.
3번: O. b는 분자 자체가 차지하는 배제부피 효과를 반영하므로 실제기체가 가진 입자 자체의 부피 영향을 보정한다는 설명이 맞다.
4번: X. 틀린 부분은 "임계점의 온도, 압력과 무관하다"이다. 반데르발스 상수 a, b는 물질의 임계상수와 연결되며 $a = \frac{27R^2T_c^2}{64P_c}$, $b = \frac{RT_c}{8P_c}$처럼 나타낼 수 있다. 올바르게는 "임계온도와 임계압력과 관계가 있다"이다.

오답 포인트

출제자는 a와 b의 의미를 서로 바꾸거나, a가 압력을 증가시키는 것처럼 표현하는 함정을 넣는다. 또한 반데르발스식과 Redlich-Kwong식을 이름만 보고 혼동하면 1번과 2번을 함께 잘못 고르기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

식에서 $-a/V^2$가 보이면 인력 보정, $V-b$가 보이면 분자 부피 보정으로 먼저 읽으면 된다. 그다음 a는 압력을 낮추는 원인, b는 유효부피를 줄이는 원인이라는 두 축으로 각 선지를 판별하면 된다.

암기 포인트

반데르발스식에서 a는 인력, b는 배제부피이다.

NoteBase

문 17. 이상기체 1몰의 엔트로피(S)가 일정할 때, $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S$와 같은 것은? (단, P는 압력, T는 온도, V는 몰부피, R은 기체상수, C_P는 정압 열용량, C_V는 정적 열용량이다)

① $\frac{V}{C_P}$
② $\frac{R}{P}$
③ $\frac{T}{C_P}$
④ $\frac{RT}{C_V}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔트로피 미분식에서 등엔트로피 조건 $dS = 0$을 적용해 $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건: 이상기체 1몰, 엔트로피 S 일정
구해야 할 값: $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S$
주의할 조건: 이상기체 1몰이므로 $PV = RT$를 사용할 수 있고, 등엔트로피이므로 $dS = 0$이다.

사용할 공식

이상기체 1몰의 엔트로피 변화식은 $dS = C_P\frac{dT}{T} - R\frac{dP}{P}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제가 S 일정 조건에서 T와 P의 관계를 직접 묻고 있으므로, dS를 T, P로 쓴 식이 가장 바로 연결되기 때문이다.

계산 과정

1. 등엔트로피 조건이므로 $dS = 0$이다.
2. 따라서 $0 = C_P\frac{dT}{T} - R\frac{dP}{P}$이므로 $C_P\frac{dT}{T} = R\frac{dP}{P}$이다.
3. 정리하면 $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \frac{RT}{C_P P}$이다.
4. 이상기체 1몰에서 $RT = PV$이므로 $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \frac{V}{C_P}$이다.

선지 판단

1번: O. 계산 결과가 $\frac{RT}{C_P P} = \frac{V}{C_P}$이므로 맞는 식이다.
2번: X. $\frac{R}{P}$는 $\frac{T}{C_P}$가 빠져 있어 등엔트로피 미분 결과가 아니다. 틀린 표현은 $\frac{R}{P}$이고, 올바르게는 $\frac{RT}{C_P P} = \frac{V}{C_P}$이다.
3번: X. $\frac{T}{C_P}$는 압력 미분에서 생기는 $\frac{R}{P}$ 인자가 빠져 있다. 틀린 표현은 $\frac{T}{C_P}$이고, 올바르게는 $\frac{RT}{C_P P} = \frac{V}{C_P}$이다.
4번: X. $\frac{RT}{C_V}$는 정압비열 대신 정적비열을 썼고, 압력 P로 나누는 항도 빠져 있다. 틀린 표현은 $\frac{RT}{C_V}$이고, 올바르게는 $\frac{RT}{C_P P} = \frac{V}{C_P}$이다.
계산 결과는 $\frac{V}{C_P}$이므로 정답은 1번이다.

NoteBase

오답 포인트

등엔트로피 조건을 보면서도 $dS = 0$을 식에 대입하지 않거나, C_P와 C_V를 바꾸어 쓰거나, $\frac{dP}{P}$에서 나온 $\frac{1}{P}$를 빠뜨리면 2번, 3번, 4번 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

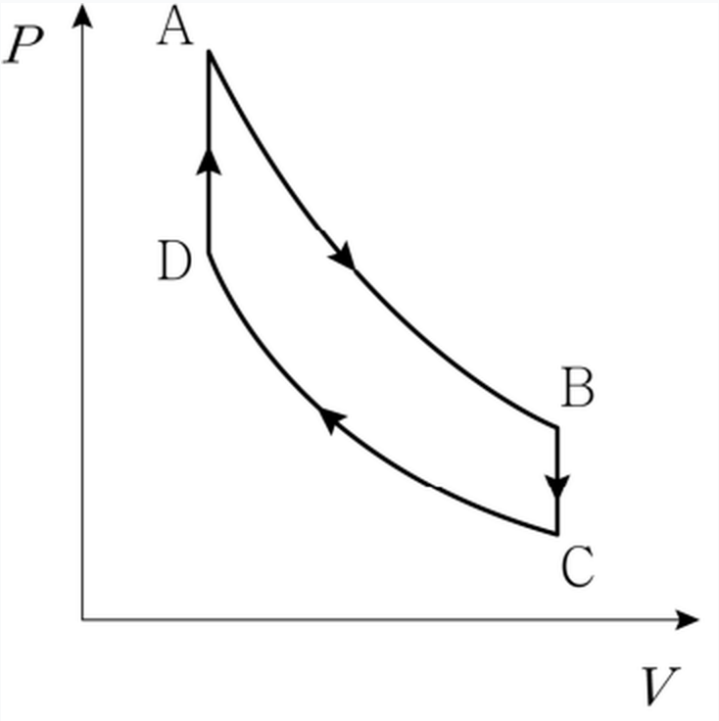
열역학 미분관계 문제는 먼저 어떤 상태량이 일정한지 확인하고, 그 상태량의 미분식을 해당 변수쌍으로 쓴 뒤, 0으로 둘 조건을 적용해 정리한다. 마지막에는 이상기체식 $PV = RT$로 보기 형태까지 치환해 맞춘다.

암기 포인트

이상기체 등엔트로피에서 $dS = C_P\frac{dT}{T} - R\frac{dP}{P}$, 따라서 $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \frac{RT}{C_P P} = \frac{V}{C_P}$이다.

NoteBase

문 18. 그림과 같이 공기표준 사이클이 이상적으로 거동하고 있다. A→B와 C→D는 단열공정일 때, 열효율(η)은? (단, 정압 열용량(C_P)과 정적 열용량(C_V)은 일정하고, $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$이다. 또한, T_i와 P_i는 상태 i에서의 온도와 압력이다)



① $1 - \left(\frac{P_A}{P_B}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$
② $1 - \frac{T_A - T_D}{T_B - T_C}$
③ $1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$
④ $1 - \frac{1}{\gamma}\left(\frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}\right)$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상 오토 사이클에서 단열구간은 $q = 0$, 열출입은 정적구간에서만 일어난다는 점을 이용해 열효율 $\eta = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$를 정리할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

A→B와 C→D는 단열공정이므로 각 구간에서 $q = 0$이다.
B→C와 D→A는 P-V 선도에서 수직선이므로 정적공정이다.
따라서 열방출은 B→C에서, 열공급은 D→A에서 일어나며 각각 $q = C_V \Delta T$로 쓴다.

NoteBase

사용할 공식

$\eta = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{C_V(T_B - T_C)}{C_V(T_A - T_D)}$
이 공식을 쓰는 이유는 이 사이클에서 열교환이 있는 두 구간이 모두 정적공정이어서 열량을 $C_V\Delta T$로 바로 쓸 수 있고, 단열구간은 효율식의 분자와 분모에 들어가지 않기 때문이다.

계산 과정

1. A→B, C→D는 단열이므로 $q_{AB} = q_{CD} = 0$이다.
2. D→A는 정적가열이므로 $q_{in} = C_V(T_A - T_D)$이다.
3. B→C는 정적냉각이므로 $q_{out} = C_V(T_B - T_C)$이다.
4. 따라서 $\eta = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}} = 1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$가 된다.

선지 판단

1번 X: $1 - \left(\frac{P_A}{P_B}\right)^{(\gamma-1)/\gamma}$는 이 문제의 정적 열교환 오토 사이클 효율식이 아니다. 압력비 식을 쓰려면 브레이턴 사이클 형태와 구간 정의가 맞아야 하며, 이 문항에서는 열량비 $1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$로 판단하는 것이 맞다. 올바르게는 $1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$이다.
2번 X: $\frac{T_A - T_D}{T_B - T_C}$는 열공급량과 열방출량의 위치를 뒤집어 놓은 식이다. D→A가 열공급, B→C가 열방출이므로 분자는 $T_B - T_C$, 분모는 $T_A - T_D$가 되어야 한다. 올바르게는 $1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$이다.
3번 O: 정적가열 열량은 $C_V(T_A - T_D)$, 정적냉각 열량은 $C_V(T_B - T_C)$이므로 C_V가 약분되어 $\eta = 1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$가 된다. 보기 3이 정확하다.
4번 X: 두 열교환 과정이 모두 정적공정이므로 열량식에 C_V만 들어가고 C_P나 $\gamma = \frac{C_P}{C_V}$는 남지 않는다. 앞의 $\frac{1}{\gamma}$는 C_P와 C_V를 혼동한 결과이다. 올바르게는 $1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$이다.

오답 포인트

그림만 보고 브레이턴 사이클의 압력비 식을 가져오거나, 문제에 제시된 γ 때문에 C_P와 C_V를 섞어 쓰기 쉽다. 이 문항의 핵심은 단열구간을 먼저 지우고, 남은 두 정적구간의 열량만 비교하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

사이클 효율 문제는 먼저 열이 드나드는 구간과 단열구간을 분리해서 본다. 단열이면 $q = 0$, 정적이면 $q = C_V\Delta T$, 정압이면 $q = C_P\Delta T$를 대입한 뒤 $\eta = 1 - \frac{q_{out}}{q_{in}}$로 바로 정리하면 된다.

암기 포인트

오토 사이클은 정적에서 열을 주고받으므로 $\eta = 1 - \frac{T_B - T_C}{T_A - T_D}$이고, γ는 이 식에 직접 남지 않는다.

NoteBase

문 19. 두 종류의 액체가 섞인 실제용액의 과잉 깁스 에너지가 $\frac{G^E}{RT} = Ax_1x_2$로 주어졌다. 해당 용액을 이루고 있는 순수한 성분들의 증기압비($\frac{P_1^{sat}}{P_2^{sat}}$)는 온도에 무관하게 1.649로 일정하다. 공비점에서 $x_1 = 0.7$일 때, 상수 A의 값은? (단, T는 온도, R은 기체상수, x_i는 액체상에서 성분 i의 몰분율, $\ln 1.649 = 0.5$이다)

① 0.5

② 0.75

③ 1.0

④ 1.25

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 2-상수 Margules식 $G^E/RT = Ax_1x_2$로부터 활동도계수 식을 만들고, 공비점 조건을 이용해 A를 구하는 계산형 문항이다.

조건 정리

주어진 값은 $G^E/RT = Ax_1x_2$, $P_1^{sat}/P_2^{sat} = 1.649$, 공비점 조성 $x_1 = 0.7$, $\ln 1.649 = 0.5$이다.
구해야 할 값은 상수 A이다.
공비점에서는 $y_i = x_i$이므로 각 성분의 수정 라울트 법칙에서 $P = \gamma_1 P_1^{sat} = \gamma_2 P_2^{sat}$ 관계가 성립한다.

사용할 공식

2-상수 Margules식 $G^E/RT = Ax_1x_2$에서는
$\ln \gamma_1 = Ax_2^2, \quad \ln \gamma_2 = Ax_1^2$
가 된다.
공비점에서는
$\frac{\gamma_2}{\gamma_1} = \frac{P_1^{sat}}{P_2^{sat}}$
이므로
$\ln\left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right) = A(x_1^2 - x_2^2)$
를 바로 쓸 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 공비점 조성과 순수성분 증기압비를 함께 주었기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. $x_1 = 0.7$이므로 $x_2 = 0.3$이다.
2. 공비점 조건에서
$\ln\left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right) = \ln\left(\frac{P_1^{sat}}{P_2^{sat}}\right) = \ln 1.649 = 0.5$
이다.
3. 따라서
$0.5 = A(0.7^2 - 0.3^2) = A(0.49 - 0.09) = 0.4A$
이므로
$A = \frac{0.5}{0.4} = 1.25$
이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과 $A = 1.25$이므로 0.5는 틀린 값이다. 이 값은 $x_1^2 - x_2^2 = 0.4$로 나누는 단계를 빠뜨린 경우에 해당한다. 올바르게는 $A = 1.25$이다.
② X: $A = 0.75$를 대입하면 $A(x_1^2 - x_2^2) = 0.75 \times 0.4 = 0.3$이 되어 $\ln 1.649 = 0.5$를 만족하지 못한다. 올바르게는 $A = 1.25$이다.
③ X: $A = 1.0$을 대입하면 $A(x_1^2 - x_2^2) = 1.0 \times 0.4 = 0.4$가 되어 역시 공비 조건과 맞지 않는다. 올바르게는 $A = 1.25$이다.
④ O: $A = 1.25$를 대입하면 $A(x_1^2 - x_2^2) = 1.25 \times 0.4 = 0.5$가 되어 $\ln 1.649$와 정확히 일치한다. 따라서 ④가 옳다.

오답 포인트

공비점 조건을 $\gamma_1 P_1^{sat} = \gamma_2 P_2^{sat}$로 연결하지 못하면 식이 바로 정리되지 않는다. 또 $x_2 = 0.3$을 구한 뒤 $x_1^2 - x_2^2 = 0.4$ 계산을 빠뜨리면 ①처럼 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

실제용액 공비 계산 문제는 먼저 공비점에서 $y_i = x_i$를 써서 활동도계수와 증기압의 관계를 만든다. 그다음 Margules식에서 $\ln \gamma_i$를 조성의 제곱항으로 바꾸고, 마지막에 주어진 로그값을 대입해 상수를 정리하면 된다.

암기 포인트

2-상수 Margules식에서는 $\ln \gamma_1 = Ax_2^2$, $\ln \gamma_2 = Ax_1^2$이고, 공비점에서는 $\gamma_2/\gamma_1 = P_1^{sat}/P_2^{sat}$이다.

NoteBase

문 20. 400 K, 1 bar의 이상기체 A 1몰을 4 bar로 등온압축할 때, 필요한 일[/]은? (단, 기체상수 $R = 8 J mol^{-1} K^{-1}$이고, $\ln 2 = 0.7$이다)

① 2,240

② 3,200

③ 4,480

④ 6,400

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 가역 등온압축에서 필요한 일을 $W_{req} = nRT\ln(P_2/P_1)$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $n = 1 mol$, $T = 400 K$, $P_1 = 1 bar$, $P_2 = 4 bar$, $R = 8 J mol^{-1} K^{-1}$이다.
구해야 할 값은 등온압축에 필요한 일이다.
등온 과정이므로 이상기체의 내부에너지 변화는 0이고, 압축에 필요한 일의 크기는 압력비의 자연로그로 계산된다.

사용할 공식

사용 공식은 $W_{req} = nRT\ln(P_2/P_1)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이상기체를 등온으로 가역 압축할 때 일의 크기가 $\int PdV$에서 정리되어 압력비 또는 부피비의 자연로그 꼴로 나오기 때문이다.

계산 과정

1. 압력비를 구하면 $P_2/P_1 = 4/1 = 4$이다.
2. $\ln 4 = \ln 2^2 = 2\ln 2 = 2 \times 0.7 = 1.4$이다.
3. 필요한 일은 $W_{req} = 1 \times 8 \times 400 \times 1.4 = 4480 J$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

2,240은 3200 × 0.7로 계산한 값이다. 이는 ln 4를 써야 하는데 ln 2만 넣어 압력비를 4가 아니라 2로 잘못 본 경우의 오답이다. 올바른 값은 4,480 J이다.

② X

3,200은 nRT까지만 계산하고 로그항 $\ln(P_2/P_1)$을 빠뜨린 값이다. 등온압축 일은 반드시 압력비의 자연로그를 곱해야 하므로 올바른 값은 4,480 J이다.

③ O

압력비가 4이므로 $\ln 4 = 1.4$를 적용하면 $W_{req} = 3200 \times 1.4 = 4480J$가 된다. 따라서 ③이 옳다.

④ X

6,400은 3200 × 2로 계산한 값으로, ln 4를 2로 잘못 둔 경우의 오답이다. 자연로그 값은 $\ln 4 = 1.4$이므로 올바른 값은 4,480 J이다.

오답 포인트

압축에 필요한 일의 부호와 크기를 혼동하거나, ln 4를 2로 잘못 두는 실수가 자주 나온다. 또 nRT만 계산하고 로그항을 빠뜨리면 3,200처럼 그럴듯한 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

등온 이상기체 일 문제는 먼저 압축인지 팽창인지 확인하고, 그다음 압력비 또는 부피비를 구한 뒤 nRT(비)를 적용하면 된다. 마지막에는 자연로그 값과 부호 대신 필요한 일의 크기를 묻는지까지 함께 점검한다.

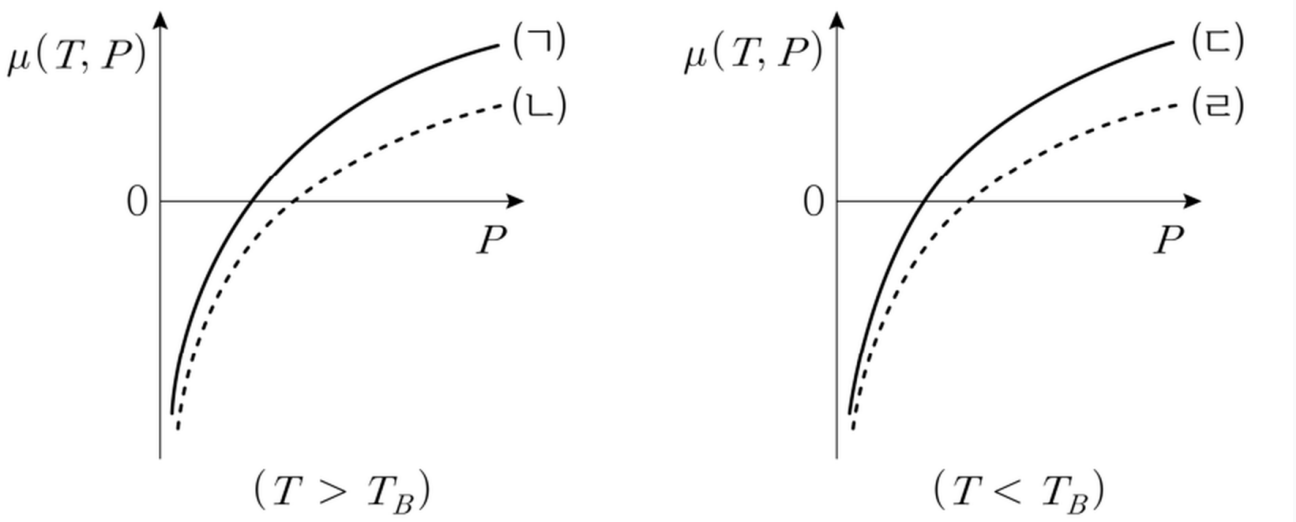
암기 포인트

등온 이상기체의 일은 nRT(최종/초기) 꼴이며, 압축에 필요한 일의 크기는 압력비를 넣으면 바로 계산된다.

NoteBase

문 21. 다음은 서로 다른 온도(T) 조건에서 이상기체와 실제기체의 압력(P)에 따른 화학 포텐셜(μ) 변화를 그린 것이다. 실제기체가 주어진 비리얼(virial) 방정식을 따를 때, 실제기체의 곡선만을 모두 고르면? (단, a와 b는 상수이고, $a > 0$, $b > 0$이다. T_B는 보일(Boyle) 온도이고, V는 몰부피, R은 기체상수이다)

$PV = RT\left(1 + \left(b - \frac{a}{RT}\right)\frac{P}{RT}\right)$



① ㄱ, ㄷ

② ㄱ, ㄹ

③ ㄴ, ㄷ

④ ㄴ, ㄹ

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 비리얼 방정식의 두 번째 비리얼 계수 $B(T) = b - \frac{a}{RT}$의 부호에 따라 실제기체의 화학 포텐셜이 이상기체보다 위에 놓이는지 아래에 놓이는지를 도식에서 판단하는 문제이다.

핵심 관계

주어진 식은 $Z = 1 + \frac{B(T)P}{RT}$, $B(T) = b - \frac{a}{RT}$로 정리된다.
따라서 $V = \frac{RT}{P} + B(T)$이고, 일정한 T에서 $d\mu = VdP$이므로 $\mu - \mu^{ig} = \int_0^P \left(V - \frac{RT}{P'}\right)dP' = B(T)P$이다.
즉 $B(T) > 0$이면 실제기체의 μ가 이상기체보다 크고, $B(T) < 0$이면 더 작다. 보일 온도 T_B에서는 $B(T_B) = 0$이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: X. 왼쪽 $T > T_B$에서는 $B(T) > 0$이므로 실제기체가 이상기체보다 위쪽 곡선인 ㄱ이 맞다. 그러나 오른쪽 $T < T_B$에서는 $B(T) < 0$이므로 실제기체는 아래쪽 곡선인 ㄹ이어야 한다. 틀린 표현은 'ㄷ' 선택이고, 올바르게는 'ㄹ'이다.
2번: O. $T > T_B$에서는 $\mu - \mu^{ig} = B(T)P > 0$가 되어 실제기체 곡선이 위쪽 ㄱ이 된다. $T < T_B$에서는 $B(T) < 0$이므로 실제기체 곡선이 아래쪽 ㄹ이 된다. 따라서 실제기체의 곡선만 고르면 ㄱ, ㄹ이다.
3번: X. ㄴ은 $T > T_B$에서 실제기체가 아니라 이상기체보다 아래에 있는 곡선이므로 맞지 않는다. ㄷ도 $T < T_B$에서 실제기체가 아니라 위쪽 곡선이다. 틀린 표현은 'ㄴ, ㄷ' 선택이고, 올바르게는 'ㄱ, ㄹ'이다.
4번: X. 오른쪽의 ㄹ 선택은 맞지만, 왼쪽의 ㄴ 선택이 틀리다. $T > T_B$에서는 실제기체가 이상기체보다 위쪽으로 가므로 왼쪽은 ㄱ이어야 한다. 틀린 표현은 'ㄴ, ㄹ' 선택이고, 올바르게는 'ㄱ, ㄹ'이다.

오답 포인트

많이 틀리는 지점은 $a > 0, b > 0$만 보고 실제기체 곡선의 방향이 항상 같다고 생각하는 점이다. 핵심은 상수의 부호가 아니라 $B(T) = b - \frac{a}{RT}$의 부호이며, 이 부호가 T_B를 기준으로 바뀐다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $B(T) = b - \frac{a}{RT}$의 부호를 본다. 그다음 $\mu - \mu^{ig} = B(T)P$를 써서 $B(T) > 0$이면 실제기체 곡선이 이상기체보다 위, $B(T) < 0$이면 아래라고 판단하면 된다.

암기 포인트

보일 온도 기준으로 $B(T)$의 부호가 바뀌며, $B(T) > 0$이면 실제기체의 화학 포텐셜이 이상기체보다 크고 $B(T) < 0$이면 더 작다.

NoteBase

문 22. 내부 온도를 250 K로 유지하기 위한 냉동기 작동 동력은 0.5 kW이다. 냉동기 외부 온도가 300 K로 유지될 때, 단위시간당 방출되는 열의 크기($|\dot{Q}|$)[kW]는? (단, 냉동기는 Carnot 사이클로 작동하며, 냉동기의 성능계수는 Carnot 성능계수의 60 %이다)

① 1.5

② 2

③ 3

④ 5

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 냉동기의 실제 성능계수와 에너지수지를 이용해 단위시간당 방출열량을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 저온부 온도 $T_L = 250K$
- 고온부 온도 $T_H = 300K$
- 작동 동력 $\dot{W} = 0.5kW$
- 실제 성능계수 = Carnot 성능계수의 60%

구해야 할 값:
- 단위시간당 방출열량 $|\dot{Q}_H|$

주의할 조건:
- 냉동기의 성능계수는 $COP_R = \dot{Q}_L/\dot{W}$이다.
- 방출열량은 저온부에서 빼앗은 열량에 일 입력을 더한 값이다.

NoteBase

사용할 공식

Carnot 냉동기의 성능계수는 $COP_{R,\,Carnot} = T_L/(T_H - T_L)$이다.
실제 냉동기의 성능계수는
$COP_R = 0.6 \times COP_{R,\,Carnot}$
이다.
또한 냉동기 에너지수지는
$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}$
이고, $\dot{Q}_L = COP_R \dot{W}$이다.
이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 저온부 온도, 고온부 온도, 작동 동력, 실제 성능계수 비율이 주어졌으므로 먼저 COP_R를 구한 뒤 $\dot{Q}_L$, $\dot{Q}_H$ 순서로 계산할 수 있다.

계산 과정

1. Carnot 냉동기 성능계수를 구하면
$COP_{R,\,Carnot} = \frac{250}{300-250} = \frac{250}{50} = 5$
이다.
2. 실제 성능계수는 그 60%이므로
$COP_R = 0.6 \times 5 = 3$
이다.
3. 저온부에서 흡수하는 열량은
$\dot{Q}_L = COP_R \dot{W} = 3 \times 0.5 = 1.5kW$
이다.
4. 고온부로 방출하는 열량은
$\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W} = 1.5 + 0.5 = 2.0kW$
이다.

선지별 해설

① X: $1.5kW$는 방출열량이 아니라 저온부에서 흡수한 열량 $\dot{Q}_L$이다. 틀린 표현은 방출되는 열의 크기이고, 올바르게는 저온부에서 흡수되는 열의 크기라면 $1.5kW$가 된다.
② O: 계산 결과 고온부로 방출되는 열량은 $\dot{Q}_H = 2.0kW$이다. 에너지수지 $\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}$를 만족하므로 옳다.
③ X: 3은 실제 냉동기 성능계수 COP_R 값이다. 틀린 표현은 방출열량을 3으로 본 점이고, 올바르게는 실제 성능계수는 3이며 방출열량은 $2.0kW$이다.
④ X: 5는 Carnot 냉동기의 이상 성능계수 $COP_{R,\,Carnot}$ 값이다. 틀린 표현은 이상 성능계수를 그대로 방출열량으로 본 점이고, 올바르게는 실제 성능계수는 그 60%인 3이며 방출열량은 $2.0kW$이다.

NoteBase

오답 포인트

흡수열량 $\dot{Q}_L$, 방출열량 $\dot{Q}_H$, 성능계수 COP_R를 서로 다른 물리량으로 구분하지 못하면 ①, ③, ④에 흔들리기 쉽다. 특히 60% 조건을 빼먹고 Carnot 성능계수 5를 그대로 쓰거나, $\dot{Q}_L = 1.5kW$를 곧바로 방출열량으로 착각하는 함정이 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

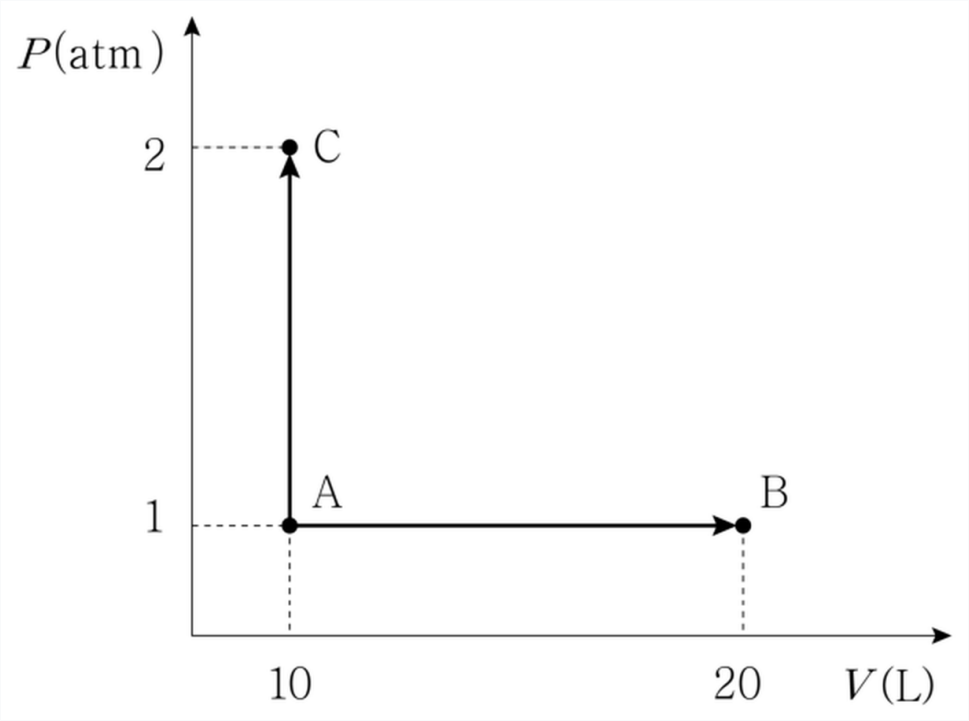
냉동기 계산형 문항은 먼저 $COP_{R,\,Carnot}$를 구하고, 문제에서 준 실제 효율 비율을 반영해 COP_R를 만든 뒤, $\dot{Q}_L = COP_R\dot{W}$, $\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}$ 순서로 물리량을 구분해 판단한다.

암기 포인트

냉동기는 $COP_R = \dot{Q}_L/\dot{W}$, 방출열은 항상 $\dot{Q}_H = \dot{Q}_L + \dot{W}$이다.

NoteBase

문 23. 단원자 이상기체가 닫힌계에서 $A \to B$와 $A \to C$의 가역적인 공정을 수행할 때, 옳지 않은 것은? (단, $i \to j$ 공정에서 ΔS_{ij}는 엔트로피 변화, ΔU_{ij}는 내부에너지 변화, ΔH_{ij}는 엔탈피 변화, Q_{ij}는 열, P는 압력, V는 부피이다)



① $\Delta S_{AB} < \Delta S_{AC}$

② $\Delta U_{AB} = \Delta U_{AC}$

③ $\Delta H_{AB} > Q_{AC}$

④ $Q_{AB} > \Delta U_{AC}$

정답 1번

출제 포인트

이 문항은 $T \propto PV$ 관계로 각 상태의 온도변화를 먼저 비교한 뒤, 단원자 이상기체의 ΔU, ΔH, Q, ΔS 관계를 공정별로 적용하는 문제이다.

조건 정리

상태 A는 $P = 1atm$, $V = 10L$이고, 상태 B는 $P = 1atm$, $V = 20L$, 상태 C는 $P = 2atm$, $V = 10L$이다.
이상기체이므로 $T \propto PV$이어서 $T_B = T_C = 2T_A$이다.
단원자 이상기체이므로 $C_V = \frac{3}{2}R$, $C_P = \frac{5}{2}R$이다.
A→B는 정압 팽창, A→C는 정적 가열이다.

NoteBase

사용할 공식

$\Delta U = nC_V\Delta T$, $\Delta H = nC_P\Delta T$이다.
가역 과정의 엔트로피 변화는 정압에서 $\Delta S = nC_P\ln\frac{T_2}{T_1}$, 정적에서 $\Delta S = nC_V\ln\frac{T_2}{T_1}$이다.
정적 과정에서는 일 $W = 0$이므로 $Q = \Delta U$이고, 정압 과정에서는 $Q = \Delta H$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 세 선지가 모두 온도변화가 같은 두 공정에서 상태함수와 경로함수를 비교하기 때문이다.

계산 과정

1. PV를 비교하면 A는 10, B는 20, C는 20이므로 $T_B = T_C = 2T_A$이다.
2. 따라서 $\Delta T_{AB} = \Delta T_{AC} = T_A$이므로 $\Delta U_{AB} = \Delta U_{AC} = nC_VT_A = \frac{3}{2}nRT_A$이다.
3. $\Delta H_{AB} = nC_PT_A = \frac{5}{2}nRT_A$이다.
4. A→C는 정적 과정이므로 $Q_{AC} = \Delta U_{AC} = \frac{3}{2}nRT_A$이다.
5. A→B는 정압 과정이므로 $Q_{AB} = \Delta H_{AB} = \frac{5}{2}nRT_A$이다.
6. 엔트로피 변화는 $\Delta S_{AB} = nC_P\ln 2 = \frac{5}{2}nR\ln 2$, $\Delta S_{AC} = nC_V\ln 2 = \frac{3}{2}nR\ln 2$이므로 $\Delta S_{AB} > \Delta S_{AC}$이다.

선지별 해설

① X: $\Delta S_{AB} < \Delta S_{AC}$라는 진술이 틀리다. 같은 온도비 $T_2/T_1 = 2$에서도 정압 과정은 C_P, 정적 과정은 C_V가 들어가며, 단원자 이상기체에서는 $C_P > C_V$이므로 $\Delta S_{AB} > \Delta S_{AC}$가 맞다. 틀린 표현은 " <"이고, 올바르게는 " $\Delta S_{AB} > \Delta S_{AC}$"이다.
② O: 이상기체의 내부에너지는 온도만의 함수이므로 두 공정의 온도변화가 같으면 ΔU도 같다. 여기서는 $T_B = T_C = 2T_A$이므로 $\Delta U_{AB} = \Delta U_{AC}$이다.
③ O: $\Delta H_{AB} = \frac{5}{2}nRT_A$, $Q_{AC} = \frac{3}{2}nRT_A$이므로 $\Delta H_{AB} > Q_{AC}$이다. 정압 가열의 엔탈피 변화가 정적 가열의 열량보다 크다.
④ O: $Q_{AB} = \frac{5}{2}nRT_A$, $\Delta U_{AC} = \frac{3}{2}nRT_A$이므로 $Q_{AB} > \Delta U_{AC}$이다. 정압 과정의 열량은 정적 과정의 내부에너지 변화보다 크다.

오답 포인트

엔트로피도 온도만 보면 같아진다고 오해하면 ①에 걸린다. ΔU와 ΔH는 상태함수이지만, ΔS의 가역식에는 공정에 따라 C_P 또는 C_V가 들어간다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 공정 비교문제는 먼저 PV로 온도비를 확인하고, 다음에 ΔU는 온도만, Q는 공정식, ΔS는 C_P와 C_V의 구분으로 판단하면 된다.

암기 포인트

이상기체에서 ΔU와 ΔH는 온도만 따르고, 가역 엔트로피 변화는 정압이면 C_P, 정적이면 C_V를 쓴다.

NoteBase

문 24. 흐름과정에 대한 열역학적 설명으로 옳지 않은 것은?

① 아음속의 압축성 유체가 단면적이 일정하고 마찰이 있는 수평관을 단열 정상상태로 흐를 때, 흐름방향으로 압력은 감소한다.

② 수렴 노즐공정에서 아음속 흐름에 대해 이론적으로 도달 가능한 최대 유속은 음속이다.

③ 축일과 열전달이 없는 등엔탈피 조름공정에서 이상기체는 압력이 감소하면 온도가 감소한다.

④ 유체가 터빈에서 가역 단열팽창할 때, 축일은 주어진 터빈에서 얻을 수 있는 최대의 일이다.

정답 3번

출제 포인트

Fanno 유동, 수렴 노즐의 초크, 이상기체의 등엔탈피 조름과정, 가역 단열 터빈의 최대 축일을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

Fanno 유동은 단면적 일정, 단열, 마찰 있음 조건의 유동이며 아음속에서는 마찰 때문에 마하수가 증가하고 정압은 감소한다.
조름과정은 열전달과 축일이 거의 없는 등엔탈피 과정이며, 이상기체는 엔탈피가 온도만의 함수이므로 압력이 변해도 온도는 변하지 않는다.
수렴 노즐의 아음속 유동은 출구가 초크되면 최대 속도가 음속에 도달한다.
가역 단열 터빈 팽창은 등엔트로피 팽창이므로 같은 입구상태와 출구조건에서 최대 축일을 준다.

NoteBase

선지별 해설

① O
아음속 유체가 단면적 일정, 단열, 마찰 있음 조건의 수평관을 흐르는 Fanno 유동에서는 마찰 때문에 마하수가 1 쪽으로 증가하고 정압은 흐름방향으로 감소한다. 따라서 옳은 설명이다.

② O
수렴 노즐에서는 아음속 유동이 가속되지만, 기하적으로 가능한 최고 상태는 출구 초크의 $M = 1$이다. 따라서 이론적으로 도달 가능한 최대 유속은 음속이라는 설명이 옳다.

③ X
틀린 부분은 "압력이 감소하면 온도가 감소한다"이다. 이상기체의 조름과정은 등엔탈피 과정이고 이상기체 엔탈피는 온도만의 함수이므로 압력이 떨어져도 온도는 일정하다. 올바르게는 "축일과 열전달이 없는 등엔탈피 조름과정에서 이상기체는 압력이 감소해도 온도는 변하지 않는다"이다.

④ O
터빈에서 가역 단열팽창은 엔트로피 생성이 없는 등엔트로피 팽창이다. 같은 입구상태와 출구조건이 주어지면 비가역 손실이 없을 때 축일이 가장 커지므로 옳은 설명이다.

오답 포인트

③은 실제 기체의 줄-톰슨 효과와 이상기체의 조름과정을 혼동하면 잘못 고르기 쉽다. 이 문항은 압력 강하가 항상 온도 강하를 뜻하지 않는다는 점, 그리고 이상기체 조름에서는 $h = h(T)$라서 온도가 그대로라는 점을 노린 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

유동과정 문제는 먼저 대표 모형을 대응시키면 판별이 빨라진다. 단면적 일정·단열·마찰 있음은 Fanno 유동, 수렴 노즐의 최대 속도는 초크된 음속, 조름은 등엔탈피, 가역 단열 터빈은 최대 축일이라는 기준으로 판단하면 된다.

암기 포인트

이상기체 조름은 압력강하가 아니라 등엔탈피가 핵심이며, 온도는 변하지 않는다.

NoteBase

문 25. 칸막이에 의해 동일한 부피로 나누어진 박스에 질소(N_2) 2몰과 산소(O_2) 4몰이 각각 들어있다. 일정한 온도에서 칸막이를 제거하여 두 기체가 혼합될 때, $\frac{\Delta G}{RT}$의 값은? (단, 기체는 반응하지 않는 이상기체이고, 칸막이의 부피는 무시한다. $\ln 2 = 0.7$, $\ln 3 = 1.1$로 계산하고, ΔG는 깁스 에너지 변화량, R은 기체상수, T는 온도이다)

① -0.4

② -3.8

③ -4.2

④ -6.6

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 칸막이 제거 후 이상기체 각 성분의 부분압력 변화를 이용해 ΔG를 계산할 수 있는지를 묻는다.

조건 정리

- 질소 2몰, 산소 4몰이 각각 부피 V인 칸에 들어 있다.
- 칸막이를 제거하면 두 기체 모두 최종적으로 부피 $2V$를 쓸 수 있다.
- 이상기체이므로 각 성분에 대해 $P_{i,i} = n_i RT/V$, $P_{i,f} = n_i RT/2V$이다.

사용할 공식

$\Delta G = \sum_i n_i RT \ln\left(\frac{P_{i,f}}{P_{i,i}}\right)$

이 공식을 쓰는 이유는 온도가 일정한 이상기체의 깁스 에너지 변화가 같은 성분의 초기·최종 부분압력비로 정해지기 때문이다.

계산 과정

1. N_2는 초기 압력이 $2RT/V$, 최종 부분압력이 RT/V이므로 $P_f/P_i = 1/2$이다.
2. O_2는 초기 압력이 $4RT/V$, 최종 부분압력이 $2RT/V$이므로 역시 $P_f/P_i = 1/2$이다.
3. 따라서

(Δ G)/(RT)=2≤ft(12)+4≤ft(12)=6≤ft(12)=-62=-6×0.7=-4.2

따라서 정답은 3번이다.

NoteBase

선지 판단

1번 X: 두 기체 모두 $V \to 2V$로 팽창하므로 $\Delta G/RT$의 크기는 $6\ln 2$가 되어야 한다. -0.4는 이 팽창 효과를 거의 반영하지 못한 값이며, 올바른 값은 -4.2이다.
2번 X: -3.8은 $2\ln(1/3) + 4\ln(2/3)$처럼 몰분율식만 바로 적용할 때 나오는 값이다. 그러나 이 문항의 초기상태는 같은 압력의 순수기체 혼합이 아니라 같은 부피에서 서로 다른 압력으로 분리된 상태이므로, 각 성분의 $P_{i,f}/P_{i,i} = 1/2$를 써서 -4.2를 구해야 한다.
3번 O: 각 성분이 등온에서 $V \to 2V$로 팽창하므로 $\Delta G/RT = 6\ln(1/2) = -4.2$가 된다.
4번 X: -6.6은 몰분율을 잘못 넣어 두 성분을 모두 1/3처럼 처리할 때 나올 수 있는 값이다. 실제로는 O_2의 최종 몰분율이 2/3이며, 이 문항의 올바른 계산값은 -4.2이다.

오답 포인트

혼합 문제라는 이유만으로 $\sum n_i \ln x_i$를 기계적으로 쓰면 2번으로 흔들릴 수 있다. 이 문항은 초기 두 칸의 압력이 서로 다르므로, 먼저 각 성분이 칸막이 제거 전후에 어떤 부피와 부분압력 변화를 겪는지를 따져야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

칸막이 제거형 이상기체 문제는 먼저 각 성분이 차지하는 초기 부피와 최종 사용 가능 부피를 비교한다. 각 성분이 $V_i \to V_f$로 바뀌면 $\Delta G_i/RT = n_i \ln(P_{i,f}/P_{i,i}) = n_i \ln(V_i/V_f)$로 계산한 뒤 모두 합하면 된다.

암기 포인트

칸막이 제거 후 각 성분이 같은 배수로 팽창하면 ΔG는 그 배수의 로그만 보면 된다. 이 문항은 두 성분 모두 $V \to 2V$이므로 $\Delta G/RT = -6\ln 2 = -4.2$이다.

NoteBase