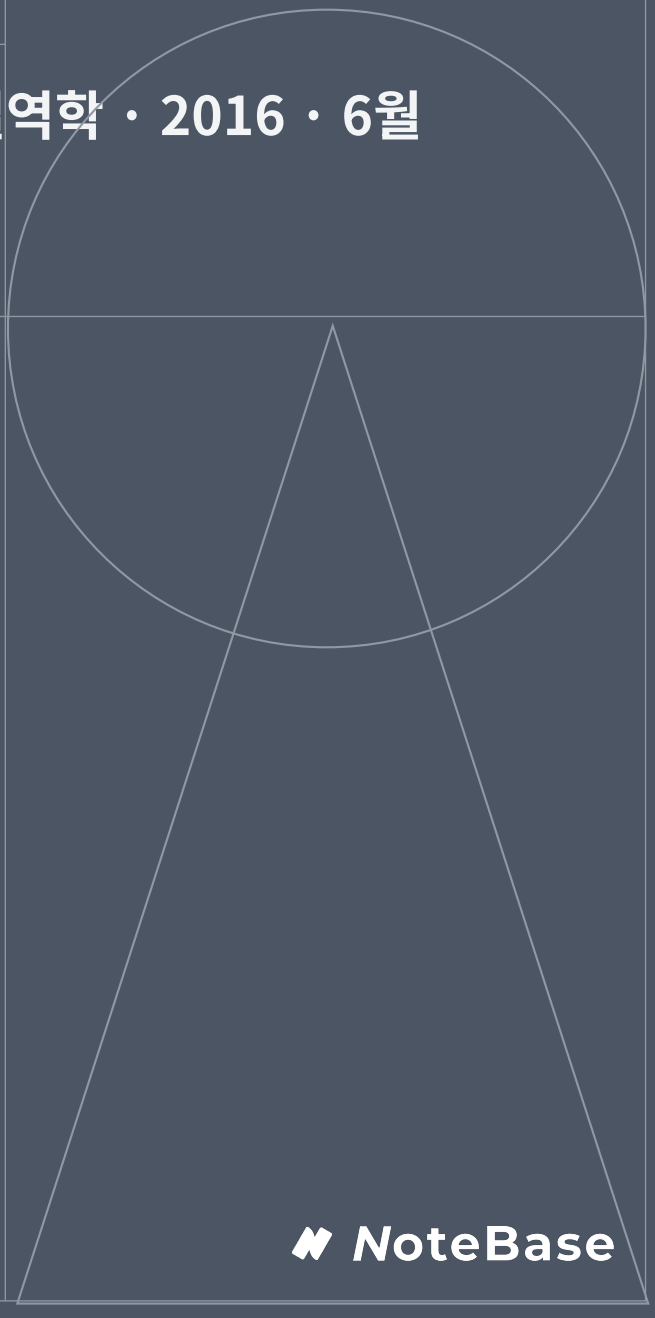
기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2016 · 6월



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2016 · 6월

공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2016 · 6월

문 1. 다음 중 Dalton의 법칙에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 혼합기체의 온도는 일정하다.

② 혼합기체의 전체 압력은 각 성분의 분압의 합과 같다.

③ 혼합기체의 전체 부피는 각 성분의 부피의 합과 같다.

④ 혼합기체의 기체상수는 각 성분의 상수의 합과 같다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 Dalton의 분압법칙과 다른 혼합기체 성질을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

Dalton의 법칙은 비반응성 이상기체 혼합물에서 전체 압력이 각 성분이 같은 온도와 용기 부피에서 단독으로 차지할 때의 분압 합과 같다는 법칙이다.
Amagat의 법칙은 전체 부피가 각 성분의 부분부피 합으로 나타난다는 개념이므로 압력을 다루는 Dalton의 법칙과 구분된다.
혼합기체의 기체상수는 조성에 따라 정해지는 평균 성질이지 각 성분 기체상수의 단순 합이 아니다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 틀린 부분은 "온도는 일정하다"이다. Dalton의 법칙은 혼합기체의 온도가 일정하다는 진술이 아니라, 전체 압력과 성분 분압의 관계를 설명하는 법칙이다. 올바르게는 "혼합기체의 전체 압력은 각 성분의 분압의 합과 같다"이다.
② O: Dalton의 법칙을 그대로 설명한 선지이다. 각 성분이 같은 용적 안에서 독립적으로 가하는 압력을 분압이라 하고, 전체 압력은 그 분압들의 합으로 나타난다.
③ X: 틀린 부분은 "전체 부피는 각 성분의 부피의 합과 같다"를 Dalton의 법칙 설명으로 제시한 점이다. 이 내용은 압력 합이 아니라 부분부피 합을 다루는 Amagat의 법칙 쪽 설명이다. 올바르게는 "Dalton의 법칙은 전체 압력과 각 성분 분압의 합 관계를 나타낸다"이다.
④ X: 틀린 부분은 "기체상수는 각 성분의 상수의 합과 같다"이다. 혼합기체의 기체상수는 혼합물의 평균 분자량 또는 조성으로 결정되는 값이며, 각 성분 기체상수의 단순 합이 아니다. 올바르게는 "혼합기체의 기체상수는 조성에 따른 평균값이다"이다.

오답 포인트

②와 ③은 모두 혼합기체의 합성 법칙처럼 보여 혼동하기 쉽다. 그러나 Dalton은 압력의 합, Amagat은 부피의 합이라는 차이를 놓치면 ③을 정답처럼 보기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

혼합기체 문제에서 무엇을 더하는지부터 본다. 압력을 더하면 Dalton, 부피를 더하면 Amagat, 조성으로 평균을 내면 혼합기체의 성질 정리이다.

암기 포인트

Dalton은 분압의 합, Amagat은 부분부피의 합이다.

NoteBase

문 2. 초기 압력 1bar, 온도 25℃의 공기가 느린 속도로 압축기에 들어가서 3bar로 방출된다. 이 공기가 다시 노즐로 들어가서 초기의 압력과 온도 조건에서 최종속도인 600m/s까지 팽창된다. 압축과정의 일이 공기 1 kg당 240kJ일 때 압축과정에서 제거하여야 할 열 (kJ/kg)은?

① 30kJ/kg

② 60kJ/kg

③ 120kJ/kg

④ 240kJ/kg

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 압축기와 노즐에 정상류 에너지방정식을 적용하여 압축기에서 제거되는 열량을 구하는 계산형 문항이다.

조건 정리

주어진 값: 초기 상태는 $P_1 = 1bar, T_1 = 25^\circ C$이다. 압축기 출구 압력은 $3bar$이다. 노즐 출구는 다시 초기 압력과 초기 온도 조건이므로 $P_3 = P_1, T_3 = T_1$이다. 최종속도는 $V_3 = 600m/s$이다. 압축기 일 입력은 공기 $1kg$당 $240kJ/kg$이다.
구해야 할 값: 압축과정에서 제거해야 할 열량이다.
주의할 조건: 압축기는 느린 속도이므로 운동에너지 변화가 무시된다. 노즐은 축일이 없고 통상 단열로 본다. 이상기체 공기에서는 온도만 같으면 엔탈피도 같으므로 $T_3 = T_1$에서 $h_3 = h_1$이다.

사용할 공식

노즐에는 $q = w_s = 0$인 정상류 에너지방정식을 적용한다.
$h_2 + \frac{V_2^2}{2} = h_3 + \frac{V_3^2}{2}$
압축기에는 정상류 에너지방정식 $q - w_s = h_2 - h_1$을 적용한다.
이 공식을 쓰는 이유: 문제는 압축기에서 들어간 축일이 노즐에서 속도 증가로 어떻게 바뀌는지를 이용해 압축기 열출입을 묻고 있기 때문이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2016 · 6월

계산 과정

1. 노즐에서 $V_2 \approx 0$이므로
$h_2 - h_3 = \frac{V_3^2}{2} = \frac{600^2}{2} = 180000 J/kg = 180 kJ/kg$
2. 노즐 출구 온도가 초기 온도와 같으므로 $h_3 = h_1$이다. 따라서
$h_2 - h_1 = 180 kJ/kg$
3. 압축기에서 일 입력 $240 kJ/kg$는 계에 가해지는 일이므로 $w_s = -240 kJ/kg$이다. 따라서
$q - w_s = h_2 - h_1$
$q - (-240) = 180$
$q = -60 kJ/kg$
열이 계 밖으로 나가므로 제거해야 할 열량의 크기는 $60 kJ/kg$이다.

선지별 해설

① X: 제거열은 $30 kJ/kg$이 아니다. 노즐에서 필요한 엔탈피 강하는 $180 kJ/kg$이고, 압축기 일 입력이 $240 kJ/kg$이므로 열제거량은 $240 - 180 = 60 kJ/kg$이다. 틀린 표현은 "30kJ/kg"이고, 올바르게는 "제거해야 할 열은 60kJ/kg이다"이다.
② O: 노즐에서 $h_2 - h_1 = 180 kJ/kg$를 얻고, 압축기 에너지방정식에 대입하면 $q = -60 kJ/kg$가 된다. 따라서 제거해야 할 열량의 크기는 $60 kJ/kg$이므로 옳다.
③ X: 제거열은 $120 kJ/kg$이 아니다. $120 kJ/kg$로 보면 압축기 축일과 노즐 속도에너지 전환량의 차이를 잘못 계산한 것이다. 틀린 표현은 "120kJ/kg"이고, 올바르게는 "제거해야 할 열은 60kJ/kg이다"이다.
④ X: 제거열은 $240 kJ/kg$이 아니다. 압축기 일 입력 전부가 곧바로 열로 빠져나가는 것이 아니라, 그중 $180 kJ/kg$은 압축기 출구 공기의 엔탈피 증가로 남았다가 노즐에서 속도에너지로 바뀐다. 틀린 표현은 "240kJ/kg"이고, 올바르게는 "제거해야 할 열은 60kJ/kg이다"이다.

오답 포인트

④처럼 압축기 일 입력 $240 kJ/kg$ 전체를 제거열로 보는 실수가 가장 흔하다. 이 문항은 압축기와 노즐을 연결해서 보아야 하며, 노즐 출구 속도 $600 m/s$가 뜻하는 $180 kJ/kg$의 에너지 전환을 반드시 반영해야 한다. 또 w_s의 부호를 잘못 두면 ①이나 ③ 같은 값으로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

압축기-노즐 연계 문제는 먼저 노즐에서 속도에너지 증가량을 $V^2/2$로 구해 엔탈피 차로 바꾼다. 그다음 압축기 정상류 에너지방정식 $q - w_s = \Delta h$에 대입해 열출입을 계산하면 된다. 마지막에는 열이 들어가는지 나가는지까지 부호로 확인한다.

암기 포인트

노즐의 $V^2/2$ 증가는 엔탈피 감소분이고, 압축기 제거열은 "축일 입력 - 출구까지 남긴 엔탈피 증가분"으로 정리된다.

NoteBase

문 3. 다음 중 순수한 물질의 PVT 거동에 대한 설명으로 가장 옳은 것은?

① 물의 삼중점 온도는 1기압에서의 물의 어는점 온도와 같다.

② 용융곡선상의 한 점은 자유도가 2이다.

③ 삼중점에서 자유도는 0이다.

④ 임계점 (T_c, P_c) 이상에서는 기체 또는 액체인 플라즈마 상태이다.

정답 3번

출제 포인트

순수물질의 상평형도에서 삼중점, 공존곡선, 임계점의 의미와 깁스 상규칙 $F = C - P + 2$ 적용을 묻는 문제이다.

핵심 개념

삼중점: 고체·액체·기체가 동시에 평형을 이루는 점이며, 순수물질은 이 점에서 자유도가 0이다.
상평형곡선: 두 상이 공존하는 선이며, 순수물질의 용융곡선 같은 공존선 위에서는 자유도가 1이다.
임계점: 액체와 기체의 구분이 사라지는 끝점이며, 그 이상에서는 플라즈마가 아니라 초임계유체 상태가 된다.

선지별 해설

① X. 물의 삼중점 온도는 약 0.01°C이고, 1기압에서의 물의 어는점은 0°C이다. 틀린 표현은 "같다"이다. 올바르게는 "물의 삼중점 온도는 1기압에서의 물의 어는점과 같지 않다"이다.
② X. 순수물질의 용융곡선은 고체와 액체 두 상이 공존하는 선이므로 $F = 1 - 2 + 2 = 1$이다. 틀린 표현은 "자유도가 2"이다. 올바르게는 "용융곡선상의 한 점의 자유도는 1"이다.
③ O. 삼중점은 고체·액체·기체 세 상이 동시에 공존하는 점이므로 $F = 1 - 3 + 2 = 0$이다. 따라서 온도와 압력이 하나로 고정되어 자유도가 0이 된다.
④ X. 임계점 이상에서는 액체와 기체의 경계가 사라져 초임계유체가 된다. 틀린 표현은 "플라즈마 상태"이다. 올바르게는 "임계점 이상에서는 초임계유체 상태가 된다"이다.

오답 포인트

②와 ③은 둘 다 자유도를 묻지만 공존하는 상의 수가 다르다는 점을 놓치기 쉽다. 또한 ④는 임계점 이상 상태를 플라즈마와 혼동하도록 만든 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

순수물질의 상평형 문제는 먼저 몇 개의 상이 공존하는지를 센 뒤 $F = C - P + 2$를 적용하면 된다. 그다음 삼중점은 3상 공존점, 공존곡선은 2상 공존선, 임계점 이상은 초임계유체라는 기준으로 선지를 판별할 수 있다.

NoteBase

암기 포인트

순수물질은 공존곡선이면 자유도 1, 삼중점이면 자유도 0, 임계점 이상이면 초임계유체이다.

NoteBase

문 4. 수은의 정상 어는점은 약 $-39^\circ C$이고 몰 녹음엔탈피는 2.29kJ/mol이다. 정상 어는점에서 수은 2mol이 얼 때 수은의 엔트로피 변화는 약 얼마인가? (단, 압력은 일정하다.)

① 58.7J/K

② −58.7J/K

③ 19.6J/K

④ −19.6J/K

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 정상 어는점에서의 상변화 엔트로피식 $\Delta S = q_{rev}/T$를 적용하되, 얼 때이므로 부호가 음수라는 점을 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 정상 어는점 약 $-39^\circ C$, 몰 녹임엔탈피 $\Delta H_{fus} = 2.29kJ/mol$, 수은의 양 2 mol이다.
구해야 할 값은 수은 2 mol이 얼 때의 엔트로피 변화이다.
주의할 조건은 어는점 $-39^\circ C$를 절대온도 $234.15K$로 바꾸고, 녹임엔탈피는 녹을 때 양수이므로 얼 때는 음수로 써야 한다는 점이다.

사용할 공식

$\Delta S = \frac{q_{rev}}{T} = \frac{-n\Delta H_{fus}}{T}$
정상 어는점에서는 고체와 액체가 평형이어서 상변화가 가역적으로 일어난다고 볼 수 있으므로 $\Delta S = q_{rev}/T$를 쓴다. 문제에서 준 값은 녹임엔탈피이므로, 얼 때 방출되는 열은 $q_{rev} = -n\Delta H_{fus}$이다.

계산 과정

1. 어는점을 절대온도로 바꾸면 $T = 273.15 - 39 = 234.15K$이다.
2. 수은 2 mol이 얼 때의 열은 $q_{rev} = -2 \times 2.29kJ = -4.58kJ$이다.
3. 따라서 $\Delta S = \frac{-4.58kJ}{234.15K} = -0.0196kJ/K = -19.6J/K$이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2016 · 6월

선지별 해설

① X
계산 결과는 $-19.6 J/K$이므로 $58.7 J/K$는 부호와 크기가 모두 맞지 않는다. 틀린 표현은 `58.7 J/K`이고, 올바르게는 `-19.6 J/K`이다.

② X
얼 때이므로 음수라는 방향은 맞지만 절대값이 계산 결과와 다르다. 틀린 표현은 `-58.7 J/K`이고, 올바르게는 `-19.6 J/K`이다.

③ X
절대값 $19.6 J/K$는 맞지만 이것은 녹을 때의 엔트로피 변화에 해당한다. 틀린 표현은 `19.6 J/K`이고, 올바르게는 `-19.6 J/K`이다.

④ O
정상 어는점에서 수은 2 mol이 얼 때 $\Delta S = -19.6 J/K$이므로 옳은 선지이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 `녹임엔탈피`라는 표현 때문에 ΔH_{fus}의 양수 값만 보고 엔트로피도 양수로 두기 쉽다는 점이다. 그러나 문제는 `얼 때`를 묻고 있으므로 상변화 방향이 반대가 되어 ΔS의 부호도 음수가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

상변화 계산 문제는 먼저 `녹는지, 어는지`를 보고 부호를 정한 뒤, 온도를 반드시 절대온도로 바꾸고, 마지막에 단위를 J/K까지 맞춰 검산하면 된다.

암기 포인트

정상 상변화에서는 $\Delta S = n\Delta H/T$를 쓰고, 녹으면 양수, 얼면 음수이다.

NoteBase

문 5. 냉동속도를 4kJ/S로 하기 위하여 냉동시스템은 2 kW의 동력을 필요로 한다. 열 방출이 27℃에서 일어나면 계가 유지할 수 있는 최저 가능 온도(℃)는?

① -13℃

② -33℃

③ -53℃

④ -73℃

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 냉동기의 성능계수 COP_R와 카르노 냉동기 관계를 이용해 유지 가능한 최저 저온부 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 냉동속도 $Q_L = 4\text{kJ/s} = 4\text{kW}$, 소요동력 $W = 2\text{kW}$
- 열 방출 온도: $T_H = 27\,^\circ\text{C} = 300\text{K}$
- 구해야 할 값: 유지 가능한 최저 온도 T_L
- 주의할 조건: 카르노 냉동기 식에는 절대온도 K를 사용한다.

사용할 공식

$\text{COP}_R = \frac{Q_L}{W} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$

주어진 냉동속도와 동력으로 필요한 성능계수는 Q_L/W로 구할 수 있고, 같은 조건에서 유지 가능한 최저 온도는 이상적인 카르노 냉동기 관계 $\frac{T_L}{T_H - T_L}$로 결정된다.

계산 과정

1. 냉동기의 성능계수는 $\text{COP}_R = Q_L/W = 4/2 = 2$이다.
2. 카르노 냉동기 식에 대입하면 $2 = \frac{T_L}{300 - T_L}$이다.
3. 정리하면 $2(300 - T_L) = T_L$, 즉 $600 - 2T_L = T_L$이므로 $3T_L = 600$이다.
4. 따라서 $T_L = 200\text{K}$이고, 이를 섭씨로 바꾸면 $200 - 273 = -73\,^\circ\text{C}$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

- $-13\,^{\circ}\mathrm{C}$는 260 K이므로 카르노 성능계수는 $260/(300-260)=6.5$이다. 문제 조건의 성능계수 2와 맞지 않아 최저 가능 온도가 아니다. 틀린 표현은 '-13°C'이고, 올바르게는 '-73°C'이다.

② X

- $-33\,^{\circ}\mathrm{C}$는 240 K이므로 카르노 성능계수는 $240/(300-240)=4$이다. 주어진 조건보다 훨씬 큰 성능계수가 필요하므로 정답이 아니다. 틀린 표현은 '-33°C'이고, 올바르게는 '-73°C'이다.

③ X

- $-53\,^{\circ}\mathrm{C}$는 220 K이므로 카르노 성능계수는 $220/(300-220)=2.75$이다. 역시 주어진 성능계수 2와 일치하지 않는다. 틀린 표현은 '-53°C'이고, 올바르게는 '-73°C'이다.

④ O

- $-73\,^{\circ}\mathrm{C}$는 200 K이고, 이때 카르노 성능계수는 $200/(300-200)=2$이다. 주어진 $\mathrm{COP}_R=2$와 정확히 일치하므로 옳다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 $27\,^{\circ}\mathrm{C}$를 그대로 식에 넣어 절대온도 변환을 빼먹는 것이다. 또 냉동기의 성능계수 Q_L/W 대신 열펌프 식 Q_H/W를 쓰거나, 더 따뜻한 온도가 더 쉽게 유지된다는 이유만으로 '-13°C' 같은 값을 고르면 '최저 가능 온도'라는 발문을 놓치게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

냉동기 최저온도 문제는 먼저 $\mathrm{COP}_R=Q_L/W$를 구하고, 그다음 카르노 식 $\mathrm{COP}_R=T_L/(T_H-T_L)$에 K 단위의 온도를 넣어 T_L를 푼 뒤 마지막에만 섭씨로 환산하면 된다.

암기 포인트

냉동기 기본식은 $\mathrm{COP}_R=Q_L/W=T_L/(T_H-T_L)$이고, 카르노 온도는 반드시 절대온도 K로 계산한다.

NoteBase

문 6. 다음 중 카르노사이클에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 이상적인 2개의 등온과정 + 이상적인 2개의 단열과정

② 이상적인 2개의 정압과정 + 이상적인 2개의 정적과정

③ 이상적인 2개의 정압과정 + 이상적인 2개의 단열과정

④ 이상적인 2개의 등온과정 + 이상적인 2개의 정압과정

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 카르노사이클을 구성하는 과정이 무엇인지 묻는 문제이다.

핵심 개념

카르노사이클은 이상적인 열기관의 기준 사이클로서 2개의 가역 등온과정과 2개의 가역 단열과정으로 이루어진다.
등온과정은 온도가 일정한 상태에서 열을 출입시키는 과정이고, 단열과정은 열출입 없이 상태가 변하는 과정이다.
정압과정은 압력이 일정한 과정이고 정적과정은 부피가 일정한 과정이므로, 카르노사이클을 구분하는 핵심 축은 압력이나 부피가 아니라 온도 일정 여부와 열출입 여부이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/서울시/7급 · 화공열역학 · 2016 · 6월

선지별 해설

① O
카르노사이클은 이상적인 2개의 등온과정과 이상적인 2개의 단열과정으로 구성되므로 옳다.

② X
틀린 부분은 "2개의 정압과정 + 2개의 정적과정"이다.
카르노사이클은 정압과정과 정적과정의 조합이 아니라, 올바르게는 이상적인 2개의 등온과정과 이상적인 2개의 단열과정이다.

③ X
틀린 부분은 "2개의 정압과정"이다.
카르노사이클에는 정압과정이 들어가지 않으며, 올바르게는 2개의 등온과정과 2개의 단열과정의 조합이다.

④ X
틀린 부분은 "2개의 정압과정"이다.
등온과정 2개는 맞지만 나머지는 정압과정이 아니라 단열과정이어야 하므로, 올바르게는 이상적인 2개의 등온과정과 이상적인 2개의 단열과정이다.

오답 포인트

정압, 정적, 등온, 단열이라는 상태변화 이름을 서로 바꿔 넣어도 그럴듯해 보여 혼동하기 쉽다. 특히 ④처럼 등온과정 일부만 맞게 제시하고 나머지를 정압과정으로 바꾸는 방식이 대표적 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노사이클이 보이면 먼저 "등온 2개, 단열 2개"를 기준으로 판단하면 된다. 선지에 정압이나 정적이 들어가면 카르노사이클 설명으로는 틀린 진술이다.

암기 포인트

카르노사이클은 등온 2개와 단열 2개이다.

NoteBase

문 7. 연구원 A는 고체 탄산칼슘을 진공 용기에 보관하고 있었다. 시간이 지나면 해당 용기 내에 자발적으로 기체가 형성되어 진공이 조금 풀리는 현상이 발생한다. 이러한 계에서의 자유도는?

① 0

② 1

③ 2

④ 3

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 반응을 포함하는 상평형계에서 성분수와 상수를 구해 자유도를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 계: 고체 탄산칼슘을 진공 용기에 보관하자 시간이 지나며 기체가 생성된다.
평형에서 고려할 종: $CaCO_3(s)$, $CaO(s)$, $CO_2(g)$
독립 반응: $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$
구해야 할 값: 이 계의 자유도
주의할 조건: 종수와 성분수를 같게 보면 안 되고, 반응이 1개 있으면 성분수는 그만큼 줄어든다.

사용할 공식

성분수는 $C = S - R$이고 자유도는 깁스 상률 $F = C - P + 2$로 구한다.
이 공식을 쓰는 이유: 이 계는 화학반응이 있는 다상 평형계이므로 먼저 종수 S와 독립 반응수 R로 성분수 C를 구한 뒤, 공존 상수 P를 넣어 자유도를 계산해야 한다.

계산 과정

1. 존재하는 종은 $CaCO_3$, CaO, CO_2의 3개이므로 $S = 3$이다.
2. 독립 반응은 $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$ 1개이므로 $R = 1$이다.
3. 따라서 성분수는 $C = S - R = 3 - 1 = 2$이다.
4. 공존 상은 고체 $CaCO_3$, 고체 CaO, 기체 CO_2의 3상이므로 $P = 3$이다.
5. 자유도는 $F = C - P + 2 = 2 - 3 + 2 = 1$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 자유도를 0으로 보면 이 계를 1성분 3상처럼 잘못 본 셈이다. 반응 1개를 고려한 성분수는 2이므로 자유도는 0이 아니라 1이다. 틀린 표현은 '0'이고, 올바르게는 '자유도는 1이다.'이다.
② O: 성분수 $C = 2$, 상수 $P = 3$이므로 $F = 2 - 3 + 2 = 1$이다. 따라서 2번이 맞다.
③ X: 자유도를 2로 보면 세 종을 그대로 성분 3개로 센 오류이다. 반응계에서는 $C = S - R$를 적용해야 하므로 올바른 값은 1이다. 틀린 표현은 '2'이고, 올바르게는 '자유도는 1이다.'이다.
④ X: 자유도를 3으로 보면 반응 제약과 3상 평형 조건을 모두 무시한 값이다. 이 계에서는 온도와 압력이 모두 독립으로 움직이지 못하므로 자유도는 3이 아니라 1이다. 틀린 표현은 '3'이고, 올바르게는 '자유도는 1이다.'이다.

오답 포인트

종수와 성분수를 혼동하면 ③으로 기울기 쉽다. 또 진공 용기라는 표현만 보고 기체상을 빼거나, 탄산칼슘 하나만 보고 ①처럼 1성분계로 처리하면 오답이 된다. 이 문제의 핵심은 시간이 지나 기체가 생성되므로 실제 평형계가 3상이라는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

반응 평형의 자유도 문제는 먼저 실제 존재하는 종을 적고, 독립 반응수만큼 빼서 성분수를 구한 뒤, 공존 상수를 세어 $F = C - P + 2$를 적용하면 된다.

암기 포인트

반응계 자유도는 '종수에서 반응수를 빼 성분수를 만든 뒤 상률 적용'으로 정리된다.

NoteBase

문 8. 표준상태에 있는 임의의 순수물질의 부피팽창률(volume expansivity)과 등온압축률(isothermal compressibility)이 각각 3, 6이었다. 해당 물질의 비부피(specific volume)가 3일 때, 정적조건에서의 $(\partial P/\partial T)_V$는 얼마인가? (단, 단위는 무시하고, 부피는 T, P의 함수로 가정하여 $V = V(T, P)$가 된다.)

① 2

② 1.5

③ 1

④ 0.5

정답 4번

출제 포인트

정적 조건 $dv = 0$에서 부피팽창률과 등온압축률의 정의를 이용해 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 부피팽창률 $\beta = 3$, 등온압축률 $\kappa_T = 6$, 비부피 $v = 3$이다.
구해야 할 값: 정적조건에서 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$이다.
주의할 조건: 등온압축률은 $\kappa_T = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T$로 정의되어 음수 부호가 포함된다.

사용할 공식

$\beta = \frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P, \qquad \kappa_T = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T$
정적조건에서는 $dv = 0$이므로
$0 = \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T dP$
따라서
$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = -\frac{\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P}{\left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T} = \frac{\beta}{\kappa_T}$
이 공식은 $v = v(T, P)$에서 정적 조건을 미분해 얻는다.

계산 과정

1. $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = \beta v = 3 \times 3 = 9$이다.
2. $\left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T = -\kappa_T v = -6 \times 3 = -18$이다.
3. 따라서
$\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = -\frac{9}{-18} = \frac{1}{2} = 0.5$
또는 v가 약분되어 바로 $\beta/\kappa_T = 3/6 = 0.5$가 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 2는 β/κ_T를 거꾸로 써서 $\kappa_T/\beta = 6/3$로 계산한 값이다. 틀린 표현은 비율의 방향이다. 올바르게는 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \beta/\kappa_T = 0.5$이다.
② X: 1.5는 분자에만 비부피 $v = 3$을 곱하고 분모의 v는 약분하지 않은 값 9/6에서 나온다. 틀린 표현은 v가 한쪽에만 남는다는 점이다. 올바르게는 분자와 분모에 모두 v가 들어가 서로 상쇄된다.
③ X: 1은 정적 조건의 미분식을 세우지 않고 주어진 수치를 임의로 단순 조합한 오답이다. 틀린 표현은 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$를 직접 비례값처럼 보는 점이다. 올바르게는 $dv = 0$에서 $-\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P/\left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T$를 구해야 하므로 0.5가 된다.
④ O: $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \beta/\kappa_T = 3/6 = 0.5$이므로 맞다. 비부피 3은 정의식을 전개하면 분자와 분모에서 함께 소거된다.

오답 포인트

등온압축률 정의의 음수 부호를 빼먹거나, β와 κ_T 정의식에 들어 있는 v가 서로 약분된다는 점을 놓치면 1.5나 2 같은 오답이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

상태량이 $v = v(T, P)$로 주어지고 정적조건을 묻으면 먼저 $dv = 0$을 쓴다. 그다음 $\beta = \frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P$, $\kappa_T = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial P}\right)_T$를 대입해 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \beta/\kappa_T$ 형태로 정리하면 된다.

암기 포인트

정적조건 미분비는 $\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V = \beta/\kappa_T$이며, 압축률 정의의 음수 부호까지 포함해야 한다.

NoteBase

문 9. 다음 중 과열증기에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 주어진 온도T에서 $P < P_{sat}$이면 과열증기이다.

② 주어진 압력P에서 $T > T_{sat}$이면 과열증기이다.

③ 주어진 온도T 또는 압력P에서 $\hat{V} > \hat{V}_g$이면 과열증기이다. ($\hat{V}$는 비체적)

④ 주어진 온도T 또는 압력P에서 $\hat{U} < \hat{U}_g$이면 과열증기이다. ($\hat{U}$는 비내부에너지)

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 과열증기를 포화증기 상태와 비교하여 P, T, 비체적 $\hat{V}$, 비내부에너지 $\hat{U}$의 판정 방향을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

포화증기는 주어진 T 또는 P에서 막 증발이 끝난 경계 상태의 증기이다.
과열증기는 그 경계를 넘어 더 가열되거나 더 감압된 증기이므로 같은 온도에서는 $P < P_{sat}$, 같은 압력에서는 $T > T_{sat}$가 된다.
같은 T 또는 P에서 과열증기는 포화증기보다 비체적 $\hat{V}$와 내부에너지 $\hat{U}$가 더 큰 쪽에 놓인다.

선지별 해설

1번: O. 주어진 온도 T에서 포화압력은 P_{sat}이다. 실제 압력이 P_{sat}보다 낮으면 그 온도에서 포화선 밖의 증기 영역이므로 과열증기이다.
2번: O. 주어진 압력 P에서 포화온도는 T_{sat}이다. 실제 온도가 T_{sat}보다 높으면 같은 압력의 포화상태를 넘어선 증기이므로 과열증기이다.
3번: O. 주어진 온도 또는 압력에서 포화증기의 비체적은 $\hat{V}_g$이다. 과열증기는 포화증기보다 더 팽창한 상태이므로 $\hat{V} > \hat{V}_g$이면 과열증기로 본다.
4번: X. 틀린 부분은 $\hat{U} < \hat{U}_g$이다. 과열증기는 포화증기보다 에너지 수준이 높은 상태이므로 판정 방향은 $\hat{U} > \hat{U}_g$이다.

오답 포인트

과열증기를 포화증기보다 '더 큰 상태량' 쪽으로 기억하지 않으면 4번의 부등호를 반대로 잡기 쉽다. 특히 비체적은 커지는데 내부에너지는 작아진다고 섞어 기억하면 틀린다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 발문이 옳은지 옳지 않은지를 확인한다. 그다음 포화선 경계를 기준으로 같은 T에서는 P, 같은 P에서는 T, 그리고 포화증기값과 비교하는 상태량은 큰 쪽이 과열증기라는 방향으로 판단한다.

NoteBase

암기 포인트

과열증기는 포화선 밖의 고에너지 증기 상태이므로 같은 기준에서 P는 작고, T, $\hat{V}$, $\hat{U}$는 큰 쪽이다.

NoteBase

문 10. 수소와 같은 단분자(singular molecule) 이상기체를 0°C에서 단열과정으로 1기압에서 10기압까지 압축시켰다. 최종온도(K)는 대략 얼마인가? (단, $C_v = \frac{3}{2}R$, $10^{0.4} = 2.5$, $10^{2.5} = 316.2$이다.)

① 약 1170K

② 약 750K

③ 약 680K

④ 약 110K

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 단분자 이상기체의 단열압축에서 $T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma}$를 적용해 최종온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 초기온도 $T_1 = 273K$, 압력비 $P_2/P_1 = 10$, $C_v = \frac{3}{2}R$
구해야 할 값: 최종온도 T_2
주의할 조건: 단분자 기체이므로 $C_p = C_v + R = \frac{5}{2}R$이고, 따라서 $\gamma = C_p/C_v = \frac{5}{3}$이다.

사용할 공식

단열관계식은 $T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이상기체의 단열압축에서 압력비가 주어졌을 때 온도비를 바로 구할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $\gamma = \frac{5}{3}$이므로 $(\gamma-1)/\gamma = (\frac{2}{3})/(\frac{5}{3}) = \frac{2}{5} = 0.4$이다.
2. 따라서 $T_2 = 273 \times 10^{0.4}$이다.
3. $10^{0.4} = 2.5$이므로 $T_2 = 273 \times 2.5 = 682.5K$이다.
4. 최종온도는 약 680 K이므로 정답은 3번이다.

선지별 해설

① X: ①의 '약 1170K'는 계산값보다 지나치게 크다. 지수 $(\gamma-1)/\gamma$ 대신 더 큰 지수를 잘못 넣으면 이런 과대계산이 나온다. 올바르게는 약 683 K이다.
② X: ②의 '약 750K'는 초기온도를 0°C가 아니라 300 K로 둔 경우에 가까운 값이다. 이 문제의 초기온도는 0°C이므로 $273K$를 써야 하며, 올바르게는 약 683 K이다.
③ O: $T_2 = 273 \times 10^{0.4} = 682.5K$이므로 약 680 K가 맞다.
④ X: ④의 '약 110K'는 압축인데도 온도가 내려간 것처럼 역으로 계산한 값이다. 단열압축에서는 온도가 상승하므로 올바르게는 약 683 K이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항의 함정은 두 가지이다. 하나는 0°C를 바로 0으로 두지 않고 반드시 $273K$로 바꿔야 한다는 점이고, 다른 하나는 단분자 기체의 $\gamma = 5/3$에서 지수 $(\gamma - 1)/\gamma = 2/5$를 정확히 써야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

단열압축 계산문제는 먼저 섭씨를 절대온도로 바꾸고, 다음에 $C_v \to C_p \to \gamma$를 구한 뒤, 마지막에 $T_2/T_1 = (P_2/P_1)^{(\gamma-1)/\gamma}$를 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

단분자 이상기체는 $\gamma = 5/3$, 따라서 단열식에서 온도와 압력 관계의 지수는 항상 2/5이다.

NoteBase

문 11. 어떤 기체 8 mol이 4 L 부피의 용기에 들어있을 때, 온도는 700K이고 압력은 300atm이다. 이 기체의 압축인자는 약 얼마인가? (단, 기체상수 R=0.08 L·atm/K·mol이다.)

① 1.50

② 1.88

③ 2.24

④ 2.68

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 압축인자 $Z = \frac{PV}{nRT}$를 이용해 실제 기체의 비이상성을 수치로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 압력 300 atm, 부피 4 L, 몰수 8 mol, 온도 700 K, 기체상수 0.08 L·atm/(K·mol)이다.
구해야 할 값: 압축인자 Z이다.
주의할 조건: 모든 값이 이미 L·atm, mol, K 단위로 주어져 있어 추가 단위 변환이 필요하지 않다.

사용할 공식

사용 공식은 $Z = \frac{PV}{nRT}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 압축인자가 실제 기체 상태와 이상기체식 $PV = nRT$의 차이를 나타내는 비이기 때문이다.

계산 과정

1. 분자는 $PV = 300 \times 4 = 1200$이다.
2. 분모는 $nRT = 8 \times 0.08 \times 700 = 448$이다.
3. 따라서 $Z = \frac{1200}{448} = 2.67857\ldots$이다.
4. 소수 둘째 자리까지 정리하면 압축인자는 2.68이다.

선지 판단

1번 X: 1.50은 계산 결과와 다르다. 압축인자는 1.50이 아니라 약 2.68이다.
2번 X: 1.88은 계산 결과와 다르다. 압축인자는 1.88이 아니라 약 2.68이다.
3번 X: 2.24는 계산 결과와 다르다. 압축인자는 2.24가 아니라 약 2.68이다.
4번 O: $Z = \frac{1200}{448} \approx 2.68$이므로 옳다.

NoteBase

오답 포인트

이 문제의 함정은 압축인자 정의를 반대로 쓰거나, nRT 계산에서 $8 \times 0.08 = 0.64$를 놓쳐 분모를 잘못 잡는 데 있다. 보기의 오답 숫자는 계산 중간값을 부정확하게 처리했을 때 쉽게 고를 수 있는 값이다.

다시 나오면 이렇게 판단

실제 기체의 압축인자를 묻는 계산형 문제는 먼저 $Z = \frac{PV}{nRT}$를 적고, 다음에 분자와 분모를 따로 계산한 뒤 마지막에 나눗셈과 반올림을 검산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

압축인자는 $Z = \frac{PV}{nRT}$이며, 이상기체이면 $Z = 1$, 실제 기체는 이 값에서 벗어난다.

NoteBase

문 12. 다음 중 이상용액의 열역학적 상관관계를 나타낸 식으로 옳지 않은 것은?

① $G^{id} = \sum_i x_i G_i + RT\sum_i x_i \ln x_i$
② $S^{id} = \sum_i x_i S_i + R\sum_i x_i \ln x_i$
③ $V^{id} = \sum_i x_i V_i$
④ $H^{id} = \sum_i x_i H_i$

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상용액에서 혼합에 따라 변하는 성질과 단순 가산되는 성질을 구분하고, 특히 엔트로피 혼합항의 부호를 묻는 문제이다.

핵심 개념

이상용액은 $\Delta H_{mix} = 0$, $\Delta V_{mix} = 0$이고, 무질서도 증가로 $\Delta S_{mix} = -R\sum_i x_i \ln x_i$이다.
$0 < x_i < 1$이면 $\ln x_i < 0$이므로 $-R\sum_i x_i \ln x_i > 0$가 되어 혼합 엔트로피는 증가한다.
따라서 $G^{id} = \sum_i x_i G_i + RT\sum_i x_i \ln x_i$, $S^{id} = \sum_i x_i S_i - R\sum_i x_i \ln x_i$, $V^{id} = \sum_i x_i V_i$, $H^{id} = \sum_i x_i H_i$가 된다.

선지별 해설

① O
$G^{id} = \sum_i x_i G_i + RT\sum_i x_i \ln x_i$는 이상용액의 깁스에너지식이다. $\sum_i x_i \ln x_i < 0$이므로 혼합 자유에너지는 감소한다.

② X
틀린 부분은 $+R\sum_i x_i \ln x_i$의 부호이다.
실제로는 $S^{id} = \sum_i x_i S_i - R\sum_i x_i \ln x_i$이다. 이상용액의 혼합 엔트로피는 증가해야 하므로 플러스가 아니라 마이너스가 들어간다.

③ O
이상용액은 부피 변화가 없어서 $\Delta V_{mix} = 0$이다. 따라서 전체 몰부피는 성분 몰분율 가중평균인 $V^{id} = \sum_i x_i V_i$로 쓴다.

④ O
이상용액은 성분 사이 상호작용이 순수 성분과 같아 혼합 엔탈피가 0이다. 따라서 $H^{id} = \sum_i x_i H_i$가 맞다.

오답 포인트

②는 혼합 엔트로피가 증가한다는 사실과 식의 부호를 뒤집어 놓은 선지이다. $\sum_i x_i \ln x_i \le 0$라는 성질까지 함께 보지 않으면 G식의 플러스와 S식의 마이너스를 헷갈리기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

이상용액이 나오면 먼저 $\Delta H_{mix}=0$, $\Delta V_{mix}=0$, $\Delta S_{mix}>0$를 떠올리면 된다. 그다음 $G=H-TS$에서 $\Delta G_{mix}=-T\Delta S_{mix}=RT\sum_i x_i \ln x_i<0$를 연결하면 부호가 틀린 선지를 바로 걸러낼 수 있다.

암기 포인트

이상용액은 H, V는 단순 가산이고, S는 $-R\sum x\ln x$, G는 $+RT\sum x\ln x$ 형태이다.

NoteBase

문 13. 일정 온도 300K, 일정 압력 1bar로 유지된 채 계의 상태가 변할 때, 계의 엔탈피와 엔트로피는 각각 8kJ, 30J/K씩 감소한다. 이 상태 변화에 대한 깁스(Gibbs) 자유에너지 변화를 계산하고, 이 과정이 자발적인지, 비자발적인지 판단하면? (단, $1\text{bar} = 10^5\text{Pa} = 10^5\text{N/m}^2$이다.)

① 1kJ, 비자발적

② 1kJ, 자발적

③ −17kJ, 비자발적

④ −17kJ, 자발적

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 일정 온도, 일정 압력 조건에서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$를 계산하고, ΔG의 부호로 자발성을 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $\Delta H = -8kJ$, $\Delta S = -30J/K$, $T = 300K$이다.
구해야 할 값은 깁스 자유에너지 변화 ΔG와 자발성이다.
주의할 조건은 엔트로피가 감소하므로 ΔS의 부호가 음수라는 점과, $30J/K = 0.03kJ/K$로 단위를 맞춰야 한다는 점이다.

사용할 공식

사용 공식은 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$이다.
일정 온도, 일정 압력에서 과정의 자발성은 ΔG의 부호로 판단하므로 이 공식을 사용한다.

계산 과정

1. 엔트로피 변화를 단위 변환하면 $\Delta S = -30J/K = -0.03kJ/K$이다.
2. $T\Delta S = 300 \times (-0.03) = -9kJ$이다.
3. 따라서 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -8 - (-9) = 1kJ$이다.
4. 일정 온도, 일정 압력에서 $\Delta G > 0$이면 비자발적이므로 이 과정은 비자발적이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
- $\Delta G = 1kJ$이고, $\Delta G > 0$이므로 비자발적이다.
- 수치와 자발성 판단이 모두 맞는 선지이다.

② X
- "자발적"이 틀린 표현이다.
- $\Delta G = 1kJ > 0$이므로 올바르게는 "1kJ, 비자발적"이다.

③ X
- "-17kJ"가 틀린 표현이다.
- 엔트로피가 감소했으므로 $T\Delta S = -9kJ$인데, 이를 $+9kJ$처럼 잘못 넣으면 오답이 된다.
- 올바르게는 "1kJ, 비자발적"이다.

④ X
- "-17kJ"와 "자발적"이 모두 틀린 표현이다.
- $-17kJ$는 ΔS의 음수 부호를 놓치고 $\Delta G = -8 - 9$로 계산할 때 나오는 값이다.
- 올바르게는 "1kJ, 비자발적"이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 엔트로피가 감소한다는 문장을 보고도 ΔS의 음수 부호를 빠뜨리는 데 있다. ΔH와 ΔS가 모두 감소하면 $-T\Delta S$ 항이 오히려 플러스 효과를 내므로, 부호를 끝까지 유지해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

일정 온도, 일정 압력 문제는 먼저 $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$를 세우고, 다음으로 ΔS의 부호와 단위를 정리한 뒤 마지막에 ΔG의 부호로 자발성을 판단하면 된다.

암기 포인트

T, P 일정이면 ΔG를 본다. $\Delta G < 0$는 자발적, $\Delta G > 0$는 비자발적이다.

NoteBase

문 14. 이상기체를 사용한 닫힌계, 폴리트로픽 공정에서 공정계수(δ)가 2라고 하자. 초기 온도 27°C에서 127°C까지 공정의 온도가 상승했다면, 최종 부피는 초기 부피의 몇 배가 되겠는가?

① 1/4배

② 3/4배

③ 4/3배

④ 4배

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 폴리트로픽 과정 $PV^n = \text{const}$에서 $TV^{n-1} = \text{const}$를 이용해 부피비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 공정계수 $n = 2$, 초기 온도 $T_1 = 27^\circ C = 300K$, 최종 온도 $T_2 = 127^\circ C = 400K$이다.
구해야 할 값은 V_2/V_1이다.
온도는 반드시 절대온도 K로 계산해야 한다.

사용할 공식

폴리트로픽 과정은 $PV^n = \text{const}$이다.
이상기체에서 $PV = RT$이므로 $P = RT/V$를 대입하면 $(RT/V)V^n = RTV^{n-1} = \text{const}$가 되어 $TV^{n-1} = \text{const}$를 쓴다.
이 문제는 공정계수와 온도 변화가 주어졌으므로 압력 대신 온도-부피 관계식을 쓰는 상황이다.

계산 과정

1. $TV^{n-1} = \text{const}$에 $n = 2$를 대입하면 $TV = \text{const}$이다.
2. 따라서 $T_1V_1 = T_2V_2$이다.
3. $V_2/V_1 = T_1/T_2 = 300/400 = 3/4$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: 계산 결과는 $V_2/V_1 = 3/4$이므로 1/4배는 맞지 않는다. 틀린 표현은 "최종 부피가 1/4배"라는 부분이며, 올바르게는 "최종 부피가 3/4배"이다.
② O: $n = 2$이면 $TV = \text{const}$이므로 온도가 $300K$에서 $400K$로 오를 때 부피는 300/400 = 3/4배가 된다.
③ X: 4/3배는 $V_2/V_1 = T_2/T_1$로 두어 정비례로 처리한 값이다. 이는 등압 과정에서나 가능한 해석이고, 이 문제의 폴리트로픽 과정 $n = 2$와는 다르다. 올바르게는 $V_2/V_1 = T_1/T_2 = 3/4$이다.
④ X: 4배는 섭씨온도를 그대로 비율에 쓰거나 온도 상승만 보고 부피가 크게 늘었다고 오해한 선택지이다. 이 과정에서는 절대온도를 써야 하고, $n = 2$이면 온도 증가에 따라 부피가 오히려 3/4배로 줄어든다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 폴리트로픽 관계를 무시하고 등압 과정처럼 $V \propto T$로 처리하는 점이다. 또 섭씨온도 27, 127을 그대로 비율에 넣으면 잘못된 값이 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

폴리트로픽 계산형은 먼저 $PV^n = \text{const}$에서 필요한 변수 관계식으로 바꾸고, 그다음 온도를 절대온도로 환산한 뒤 비를 계산하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

이상기체 폴리트로픽 과정은 $PV^n = \text{const} \Rightarrow TV^{n-1} = \text{const}$이며, $n = 2$이면 $TV = \text{const}$이다.

NoteBase

문 15. 어떤 특정한 동력장치가 350°C의 열원 저장고와 50°C의 열싱크 저장고 사이에서 운전된다. 이 장치의 열효율은 같은 온도 사이에서 운전되는 Carnot 엔진이 갖는 열효율의 60%이다. 이 장치의 열효율은 얼마인가? (단, 소수점 둘째자리에서 반올림한다.)

① 0.3

② 0.4

③ 0.5

④ 0.6

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 카르노 기관의 열효율 공식을 절대온도에 적용한 뒤, 실제 장치 효율이 그 60%라는 조건으로 최종 열효율을 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 열원 온도는 350°C, 열싱크 온도는 50°C이다.
구해야 할 값: 실제 동력장치의 열효율이다.
주의할 조건: 카르노 효율은 반드시 절대온도 K로 계산해야 하고, 실제 장치 효율은 카르노 효율의 60%이다.

사용할 공식

카르노 기관의 열효율은 $\eta_C = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ 이다.
실제 장치의 열효율은 $\eta = 0.6\eta_C$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 같은 두 열저장고 사이에서 운전되는 카르노 기관의 효율을 기준으로 실제 장치 효율이 그 60%라고 직접 제시했기 때문이다.

계산 과정

1. 섭씨온도를 절대온도로 바꾸면 $T_H = 350 + 273 = 623K$, $T_L = 50 + 273 = 323K$이다.
2. 카르노 기관의 효율은 $\eta_C = 1 - \frac{323}{623} = \frac{300}{623} \approx 0.4815$ 이다.
3. 실제 장치의 효율은 $\eta = 0.6 \times 0.4815 \approx 0.2889$ 이다.
4. 소수점 둘째자리에서 반올림하면 0.3이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 0.2889이므로 소수점 둘째자리에서 반올림하면 0.3이 된다.
② X: 선지의 '0.4'가 틀렸고, 올바르게는 0.3이다. 실제 효율은 카르노 효율 0.4815에 60%를 다시 곱해야 하므로 0.4가 될 수 없다.
③ X: 선지의 '0.5'가 틀렸고, 올바르게는 0.3이다. 0.5는 카르노 효율 0.4815만 반올림했을 때 가까운 값이며, 실제 장치 효율이 카르노 효율의 60%라는 조건을 빠뜨린 값이다.
④ X: 선지의 '0.6'이 틀렸고, 올바르게는 0.3이다. 문제의 60%는 장치 효율 그 자체가 아니라 카르노 효율에 곱하는 비율이므로 0.6을 그대로 답으로 둘 수 없다.

오답 포인트

가장 흔한 실수는 두 가지이다. 첫째, 온도를 섭씨 그대로 넣어 카르노 효율을 계산하는 실수이다. 둘째, 실제 장치 효율이 카르노 효율의 60%라는 문장을 놓치고 카르노 효율 자체인 약 0.48만 보고 0.5를 고르는 실수이다.

다시 나오면 이렇게 판단

열효율 계산형 문제는 먼저 온도를 절대온도로 바꾸고, 다음에 카르노 효율을 구한 뒤, 마지막에 실제 장치에 적용되는 비율 조건을 곱하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

카르노 효율은 $1 - T_L/T_H$이고, 온도는 반드시 절대온도이며, 실제 장치 조건은 마지막에 별도로 반영한다.

NoteBase

문 16. 아래의 반데르발스(van der Waals) 상태방정식에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, $\hat{V}$는 몰부피이다.)

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

① 반데르발스 상태방정식은 3차 상태방정식 중 하나이다.

② $\frac{a}{\hat{V}^2}$항은 분자들의 상호인력을 보정하는 항이다.

③ a와 b는 임계온도(T_c)와 임계압력(P_c)에 영향을 받지 않는다.

④ b는 분자들 자체가 차지하고 있는 부피를 고려한 보정항이다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 반데르발스 상태방정식에서 보정상수 a, b의 물리적 의미와 임계상수와의 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

반데르발스 상태방정식은 이상기체식에 실제기체의 분자 인력과 분자 부피를 반영한 상태방정식이다. a는 분자 사이 인력 때문에 실제 압력이 낮아지는 효과를 보정하는 상수이고, b는 분자 자체가 차지하는 유효 부피를 반영하는 상수이다. 이 식을 $\hat{V}$에 대해 정리하면 3차식이 되므로 대표적인 3차 상태방정식에 속한다.

선지별 해설

① O: 반데르발스 식 $P = \frac{RT}{\hat{V} - b} - \frac{a}{\hat{V}^2}$을 몰부피 $\hat{V}$에 대해 정리하면 3차 다항식 형태가 되므로 3차 상태방정식으로 분류한다.

② O: $\frac{a}{\hat{V}^2}$ 항은 분자 간 인력을 반영하는 압력 보정항이다. 인력이 있으면 벽에 가하는 충돌 효과가 줄어 실제 압력이 이상기체보다 작아진다.

③ X: 틀린 부분은 '영향을 받지 않는다'이다. 실제로는 a와 b가 임계온도 T_c, 임계압력 P_c와 연결되며, 반데르발스 상수는 $a = \frac{27R^2T_c^2}{64P_c}$, $b = \frac{RT_c}{8P_c}$로 나타낼 수 있다.

④ O: b는 분자들이 유한한 크기를 가진다는 점을 반영하는 부피 보정상수이다. 따라서 분자 자체가 차지하는 부피, 즉 배제부피 효과를 고려한 설명이 맞다.

오답 포인트

③은 a, b를 단순한 경험상수로만 기억하면 틀리기 쉽다. 이 상수들은 물질의 임계성질과 연결되어 있으므로 '영향을 받지 않는다'라는 절대 표현이 함정이 된다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

실제기체 상태방정식 문제에서는 먼저 a가 인력 보정인지, b가 분자 부피 보정인지 확인한다. 그다음 임계상수로 a, b를 표현할 수 있는지 보면 상수의 물리적 의미와 의존관계를 빠르게 판별할 수 있다.

암기 포인트

a는 인력, b는 부피, 반데르발스식은 3차 상태방정식이다.

NoteBase

문 17. 다음 중 압축인자 데이터로부터 일정 온도에서 용액 중의 i성분의 퓨개시티(fugacity) 계수, Φ_i를 구하기 위한 계산식으로 옳은 것은?

① $\ln \Phi_i = \int_0^P (Z_i - 1)\frac{dP}{P}$
② $1/\ln \Phi_i = \int_0^P (Z_i - 1)\frac{dP}{P}$
③ $\ln \Phi_i = \int_0^P (1 - Z_i)\frac{dP}{P}$
④ $1/\ln \Phi_i = \int_0^P (1 - Z_i)\frac{dP}{P}$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 일정 온도에서 성분 i의 퓨개시티 계수 Φ_i와 부분 압축인자 Z_i의 압력적분 관계를 정확히 쓰는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 것: 성분 i의 압축인자 데이터 Z_i이다.
구해야 할 것: 퓨개시티 계수 Φ_i를 계산하는 식이다.
주의할 조건: 좌변은 $\ln \Phi_i$ 형태이며, 적분항의 부호는 $Z_i - 1$이다.

사용할 공식

사용식은 $\ln \Phi_i = \int_0^P (Z_i - 1)\frac{dP}{P}$ 이다.
이 식은 일정 온도에서 성분 i의 부분 몰부피를 압축인자 형태로 바꾼 뒤, 기준상태 $P \to 0$에서 $\Phi_i \to 1$임을 이용해 적분한 결과이다.

계산 과정

1. 일정 온도에서 퓨개시티 계수의 미분형은 $d\ln \Phi_i = (Z_i - 1)\frac{dP}{P}$ 이다.
2. 이를 $P = 0$부터 현재 압력 P까지 적분하면 좌변은 $\ln \Phi_i$가 된다.
3. 따라서 최종식은 $\ln \Phi_i = \int_0^P (Z_i - 1)\frac{dP}{P}$ 이다.

선지 판단

1번: O. 좌변이 $\ln \Phi_i$이고 적분항이 $Z_i - 1$이므로 부분 퓨개시티 계수 식을 정확히 쓴 것이다.
2번: X. 틀린 표현은 좌변의 $1/\ln \Phi_i$이다. 올바르게는 $1/\ln \Phi_i$가 아니라 $\ln \Phi_i$이다.
3번: X. 틀린 표현은 적분항의 $1 - Z_i$이다. 올바르게는 부호가 반대인 $Z_i - 1$이어야 한다.
4번: X. 틀린 표현은 좌변의 $1/\ln \Phi_i$와 적분항의 $1 - Z_i$이다. 올바르게는 좌변이 $\ln \Phi_i$이고 적분항이 $Z_i - 1$인 식이다.

NoteBase

오답 포인트

이 문항은 좌변을 $\ln \Phi_i$ 대신 역수처럼 바꾸거나, 적분항의 부호를 뒤집어 $1 - Z_i$로 쓰는 실수를 노린 문제이다. 퓨개시티 계수 적분식은 형태가 짧아서 부호와 로그 위치를 한 번에 혼동하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

퓨개시티 계수 식이 나오면 먼저 좌변이 $\ln \Phi_i$인지 확인하고, 그다음 적분항이 항상 $Z_i - 1$ 형태인지 확인하면 된다. 마지막으로 $P \to 0$에서 $\Phi_i \to 1$이 되어 적분상수가 없어지는지 점검하면 된다.

암기 포인트

퓨개시티 계수 적분식은 $\ln \Phi_i$, 적분항은 $Z_i - 1$ 순서로 기억하면 된다.

NoteBase

문 18. 2 mol의 CO_2 기체가 300K에서 15 L의 일정한 부피의 용기 안에 들어있다. 이 기체에 2kJ의 열을 가했을 때 온도가 340K로 변했다. 이 과정 동안 기체의 엔탈피 변화량은 얼마인가? (단, 이 기체는 이상기체이고, 기체상수 $R = 8J/K \cdot mol$이다.)

① 2kJ

② 2.32kJ

③ 2.64kJ

④ 2.96kJ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 정적 과정의 $Q = \Delta U$와 이상기체의 $\Delta H = \Delta U + nR\Delta T$ 관계를 이용해 엔탈피 변화량을 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $n = 2mol$, $T_1 = 300K$, $T_2 = 340K$, $Q = 2kJ$, $R = 8J/(mol \cdot K)$이다.
- 구해야 할 값: 과정 동안의 엔탈피 변화량 ΔH이다.
- 주의할 조건: 부피가 일정하므로 경계일 $W = 0$이고, 따라서 $Q = \Delta U$가 된다.

사용할 공식

$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = \Delta U + nR\Delta T$

Δ U=Q(정적 과정)

이 공식을 쓰는 이유는 이상기체에서 엔탈피가 온도만의 함수이고, 정적 과정에서는 일이 없어서 가해준 열량이 그대로 내부에너지 증가량이 되기 때문이다.

계산 과정

1. 정적 과정이므로 $W = 0$이고, 제1법칙에서 $\Delta U = Q = 2kJ = 2000J$이다.
2. 온도 변화는 $\Delta T = 340 - 300 = 40K$이다.
3. 이상기체의 엔탈피 변화는

$\Delta H = \Delta U + nR\Delta T = 2000 + (2)(8)(40) = 2640J$

이다.

4. 따라서

$\Delta H = 2.64kJ$

이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- $2kJ$는 정적 과정에서의 ΔU 값이다.
- 엔탈피 변화는 ΔU에 $nR\Delta T = 0.64kJ$를 더해야 하므로, 엔탈피 변화량을 $2kJ$라고 본 점이 틀렸고 올바르게는 $2.64kJ$이다.

② X
- $2.32kJ$는 $nR\Delta T$를 $0.32kJ$로 잘못 계산한 값이다.
- $2mol$ 조건을 빠뜨리지 않으면 $nR\Delta T = (2)(8)(40) = 640J = 0.64kJ$이므로, 올바른 값은 $2.64kJ$이다.

③ O
- $\Delta H = \Delta U + nR\Delta T = 2.00 + 0.64 = 2.64kJ$이므로 맞는 선지이다.

④ X
- 상수부피 과정에서도 엔탈피 변화는 ΔU에 $nR\Delta T$만 추가하면 되며, 그 추가분은 $0.64kJ$이다.
- 따라서 엔탈피 변화량을 $2.96kJ$라고 본 점이 틀렸고, 올바르게는 $2.64kJ$이다.

오답 포인트

정적 과정에서 $Q = \Delta U$가 된다는 사실만 보고 바로 $\Delta H = 2kJ$로 끝내기 쉽다. 이 문항은 내부에너지 변화와 엔탈피 변화를 구분하는지를 묻는 문제이며, 이상기체에서는 항상 $\Delta H = \Delta U + nR\Delta T$를 한 번 더 확인해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

정적 가열 문제는 먼저 $W = 0 \rightarrow Q = \Delta U$를 잡고, 그다음 이상기체 관계식 $\Delta H = \Delta U + nR\Delta T$로 옮겨 간다. 내부에너지와 엔탈피를 같은 값으로 두지 않으면 정답에 도달할 수 있다.

암기 포인트

정적 과정은 $Q = \Delta U$이고, 이상기체 엔탈피는 $\Delta H = \Delta U + nR\Delta T$이다.

NoteBase

문 19. 이상기체의 $T-S$ 선도를 통해 다양한 열역학적 관계식과 변수를 예측할 수 있다. 다음 중 이에 관한 관계식으로 옳지 않은 것은? (단, C_P, C_V는 각각 정압열용량, 정적열용량을 나타낸다.)

① $(\partial T/\partial S)_P = T/C_P$

② $(\partial T/\partial S)_V = T/C_V$

③ $(\partial S/\partial P)_T = (\partial V/\partial T)_P$

④ $T(\partial S/\partial T)_P = (\partial H/\partial T)_P$

정답 3번

출제 포인트

정압·정적 과정의 엔트로피 미분식과 맥스웰 관계식의 부호를 구별하는 문제이다.

조건 정리

이상기체에서 정압이면 $dS = \frac{C_P}{T}dT$, 정적이면 $dS = \frac{C_V}{T}dT$ 이다.
또한 일반적인 T-S 관계식은 $TdS = C_P dT - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$ 이고, 엔탈피의 정의로 $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = C_P$ 이다.

사용할 공식

$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$, $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T}$, $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$, $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = C_P$ 를 사용한다.
이 문항은 각 선지가 이 미분 관계식들과 정확히 일치하는지만 확인하면 된다.

계산 과정

1. ①은 정압에서 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$ 이므로 역수 관계를 취하면 $\left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_P = \frac{T}{C_P}$ 가 된다.
2. ②는 정적에서 같은 방식으로 $\left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_V = \frac{T}{C_V}$ 가 된다.
3. ③은 깁스 자유에너지의 미분식 $dG = -SdT + VdP$ 에서 얻는 맥스웰 관계식으로 보면 $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ 이어야 한다.
4. ④는 $T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = C_P$ 이고 동시에 $\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P = C_P$ 이므로 성립한다.

선지별 해설

① O: 정압 과정에서는 $dS = \frac{C_P}{T}dT$ 이므로 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$ 이다. 따라서 역수 관계로 $\left(\frac{\partial T}{\partial S}\right)_P = \frac{T}{C_P}$ 가 되어 옳다.
② O: 정적 과정에서는 $dS = \frac{C_V}{T}dT$ 이므로 $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{T}{C_V}$ 가 된다. 선지의 식과 일치하므로 옳다.
③ X: 옳은 맥스웰 관계식은 $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ 이다. 틀린 표현은 우변의 부호이며, 올바르게는 음수 부호가 붙어야 한다.
④ O: $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$ 이므로 양변에 T를 곱하면 $T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = C_P$ 이다. 또 $C_P = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$ 이므로 두 식은 같다.

NoteBase

오답 포인트

③은 맥스웰 관계식의 부호를 바꾸어 놓은 전형적인 함정이다. 열용량이 들어가는 정압·정적 식은 비교적 바로 떠올리기 쉽지만, $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T$ 같은 혼합 미분은 깁스 자유에너지에서 나온 음수 부호를 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 정압이면 C_P/T, 정적이면 C_V/T 형태가 나온다는 점으로 ①, ②, ④를 정리하고, 압력과 엔트로피가 함께 나온 선지는 맥스웰 관계식의 부호를 따로 확인하는 순서로 판단할 수 있다.

암기 포인트

정압은 C_P/T, 정적은 C_V/T, $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T$ 는 맥스웰 관계식에서 항상 마이너스 부호를 가진다.

NoteBase

문 20. 1bar 및 300K의 등온, 등압상태에서 일어나는 다음 반응에 대한 반응엔탈피(ΔH)와 내부에너지 변화(ΔU)는? (단, 모든 기체는 이상기체이고, 기체상수 $R = 8\text{J/K} \cdot \text{mol}$, 주어진 조건에서 $H_2O(g)$, $H(g)$, $O(g)$의 생성엔탈피는 각각 -240, 220, 250kJ/mol이다.)

$H_2O(g) \rightarrow 2H(g) + O(g)$

① ΔH : 930kJ ΔU : 925.2kJ

② ΔH : 930kJ ΔU : 934.8kJ

③ ΔH : 710kJ ΔU : 705.2kJ

④ ΔH : 710kJ ΔU : 714.8kJ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 생성엔탈피로 반응엔탈피를 구하고, 이상기체에서 $H = U + nRT$ 관계를 이용해 내부에너지 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

반응식은 $H_2O(g) \rightarrow 2H(g) + O(g)$이다.
생성엔탈피는 $H_2O(g) = -240$kJ/mol, $H(g) = 220$kJ/mol, $O(g) = 250$kJ/mol이다.
온도는 300 K, 기체상수는 $8\text{J/(K} \cdot \text{mol)}$이다.
기체 몰수 변화는 생성물 3몰에서 반응물 1몰을 뺀 $\Delta n = 2$이다.

사용할 공식

반응엔탈피는 생성물의 생성엔탈피 합에서 반응물의 생성엔탈피 합을 뺀다.
$\Delta H = \sum \nu \Delta H_f(\text{products}) - \sum \nu \Delta H_f(\text{reactants})$
이상기체에서는 $H = U + nRT$이므로 등온 반응에서 다음 관계가 성립한다.
$\Delta H = \Delta U + \Delta nRT$
따라서 $\Delta U = \Delta H - \Delta nRT$이다.

계산 과정

1. 반응엔탈피는 $2(220) + 250 - (-240) = 930$kJ이다.
2. $\Delta nRT = 2 \times 8 \times 300 = 4800\text{J} = 4.8$kJ이다.
3. 내부에너지 변화는 $\Delta U = 930 - 4.8 = 925.2$kJ이다.

NoteBase

선지 판단

1번 O: $\Delta H = 930\text{kJ}$, $\Delta U = 925.2\text{kJ}$로 계산 결과와 일치한다.
2번 X: $\Delta H = 930\text{kJ}$는 맞지만 $\Delta U = 934.8\text{kJ}$가 틀렸다. 틀린 표현은 $\Delta U = 934.8\text{kJ}$이고, 올바르게는 $\Delta U = 925.2\text{kJ}$이다. 이 값은 $\Delta U = \Delta H + \Delta nRT$처럼 부호를 반대로 적용하면 나오는 오답이다.
3번 X: $\Delta H = 710\text{kJ}$가 틀렸고, 이에 따른 $\Delta U = 705.2\text{kJ}$도 틀렸다. 틀린 표현은 $\Delta H = 710\text{kJ}$, $\Delta U = 705.2\text{kJ}$이고, 올바르게는 $\Delta H = 930\text{kJ}$, $\Delta U = 925.2\text{kJ}$이다. 710kJ는 H(g)의 계수 2를 반영하지 않고 $220 + 250 - (-240)$으로 계산한 값이다.
4번 X: $\Delta H = 710\text{kJ}$도 틀리고 $\Delta U = 714.8\text{kJ}$도 틀렸다. 틀린 표현은 $\Delta H = 710\text{kJ}$, $\Delta U = 714.8\text{kJ}$이고, 올바르게는 $\Delta H = 930\text{kJ}$, $\Delta U = 925.2\text{kJ}$이다. 이 선지는 H(g)의 계수 2를 빠뜨린 뒤 ΔnRT까지 더한 오답이다.

오답 포인트

출제자가 노린 함정은 두 가지이다. 첫째, 반응식의 $2H(g)$ 계수 2를 생성엔탈피 계산에 반드시 곱해야 한다. 둘째, 이상기체에서 ΔH가 ΔU보다 ΔnRT만큼 크므로 ΔU를 구할 때는 ΔH에서 ΔnRT를 빼야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

생성엔탈피 문제는 먼저 반응식 계수를 모두 반영해 ΔH를 구하고, 기체 몰수 변화 Δn을 계산한 뒤 $\Delta U = \Delta H - \Delta nRT$로 판단한다.

암기 포인트

이상기체 반응에서는 $\Delta H = \Delta U + \Delta nRT$이고, 생성엔탈피 계산에서는 반응식 계수가 그대로 곱해진다.

NoteBase