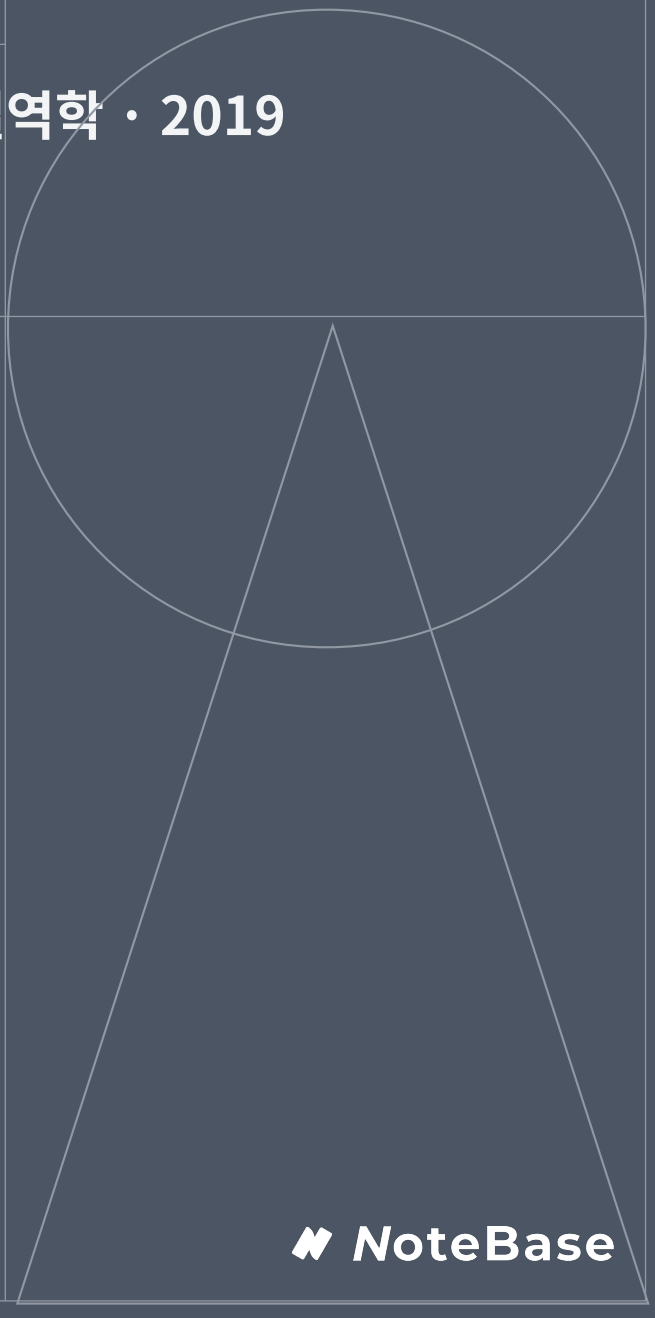
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2019



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2019

공무원/국가직/7급 · 화공열역학 · 2019

문 1. 다음 중 에너지의 차원(dimension)인 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 압력과 부피의 곱
ㄴ. 엔트로피(entropy)와 온도의 곱
ㄷ. 화학포텐셜(chemical potential)
ㄹ. 엔탈피(enthalpy)

① ㄱ, ㄴ
② ㄷ, ㄹ
③ ㄱ, ㄴ, ㄹ
④ ㄱ, ㄴ, ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 각 열역학량이 에너지 차원인지, 아니면 에너지에 다른 차원이 나누어져 있는지를 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

에너지의 차원은 일과 같은 ML^2T^{-2}이다.
압력과 부피의 곱 PV는 일의 단위와 같아 에너지 차원이다.
엔트로피 S는 보통 J/K이므로 TS는 에너지 차원이다.
화학포텐셜 μ는 성분 1몰당 Gibbs 자유에너지로 보아 보통 J/mol 차원이다.
엔탈피 H는 계의 에너지 성질이므로 에너지 차원이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 X: ㄱ, ㄴ만 고르면 불완전하다. ㄹ의 엔탈피도 에너지 차원이다. 올바르게는 ㄱ, ㄴ, ㄹ이다.
2번 X: ㄹ은 맞지만 ㄷ이 틀리다. 화학포텐셜 μ는 에너지가 아니라 물질량으로 한 번 나누어진 J/mol 차원이다. 또한 ㄱ, ㄴ도 빠져 있다. 올바르게는 ㄱ, ㄴ, ㄹ이다.
3번 O: ㄱ의 압력과 부피의 곱 PV, ㄴ의 엔트로피와 온도의 곱 TS, ㄹ의 엔탈피 H는 모두 에너지 차원이다. 반면 ㄷ의 화학포텐셜은 에너지 자체가 아니라 몰당 에너지이므로 제외된다.
4번 X: ㄱ, ㄴ, ㄹ은 맞지만 ㄷ까지 포함해서 틀린 선택지이다. 틀린 부분은 화학포텐셜을 에너지와 같은 차원으로 본 점이다. 올바르게는 ㄱ, ㄴ, ㄹ이다.

오답 포인트

화학포텐셜을 그냥 에너지라고 외우면 틀리기 쉽다. 화학포텐셜은 Gibbs 자유에너지와 연결되지만 기본적으로 몰당 에너지라는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 물리량을 바로 외우기보다 단위를 붙여 본다. PV는 압력 곱하기 부피이므로 일, TS는 J/K에 K를 곱하므로 에너지, μ는 J/mol이라서 에너지와 구별된다.

암기 포인트

열역학에서 PV, TS, H는 에너지, μ는 몰당 에너지이다.

NoteBase

문 2. 오토(Otto) 사이클에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 불꽃 점화 왕복기관의 이상적인 사이클이다.

② 2개의 등엔트로피 과정과 2개의 가역 등압과정으로 구성되어 있다.

③ 작동 유체의 열용량의 비C_p/C_v가 증가하면 열효율은 증가한다.

④ 열효율은 기관의 압축비에 의존한다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 오토 사이클의 구성 과정과 열효율 식이 뜻하는 개념을 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

오토 사이클은 불꽃 점화식 왕복기관의 이상 사이클로, 2개의 등엔트로피 압축·팽창 과정과 2개의 정적 열출입 과정으로 이루어진다.
열효율은 이상기체 비열비 $k = C_p/C_v$와 압축비 r에 의해 $\eta = 1 - 1/r^{k-1}$로 나타나며, k와 r가 커질수록 열효율이 증가한다.

선지별 해설

① O: 오토 사이클은 불꽃 점화식 왕복기관, 즉 가솔린 기관의 이상 사이클이므로 옳다.
② X: 틀린 부분은 '2개의 가역 등압과정'이다. 오토 사이클의 열출입은 정압이 아니라 정적 과정에서 일어나므로, 올바른 표현은 '2개의 등엔트로피 과정과 2개의 가역 정적과정으로 구성되어 있다'이다.
③ O: 오토 사이클의 열효율은 $\eta = 1 - 1/r^{k-1}$이므로 압축비 r가 같다면 비열비 C_p/C_v가 증가할수록 $k - 1$이 커져 열효율이 증가한다.
④ O: 같은 식에서 열효율은 압축비 r의 함수이므로 기관의 압축비에 의존한다.

오답 포인트

디젤 사이클의 정압 열공급과 오토 사이클의 정적 열공급을 혼동하면 ②를 옳다고 보기 쉽다. 출제자는 '등압'이라는 한 단어를 바꿔 사이클 종류를 뒤섞는 함정을 놓았다.

다시 나오면 이렇게 판단

기관 사이클 문제는 먼저 열이 드나드는 과정이 정적인지 정압인지를 확인하면 빠르게 구분된다. 오토는 정적 열출입, 디젤은 정압 열공급으로 판단하면 된다.

암기 포인트

오토는 정적 열출입, 디젤은 정압 열공급이다.

NoteBase

문 3. 난방장치에서 $4\mathrm{kgmin}^{-1}$의 질량유속으로 흐르는 $7^{\circ}\mathrm{C}$의 차가운 외부공기가 $3\mathrm{kgmin}^{-1}$의 질량유속으로 흐르는 $70^{\circ}\mathrm{C}$의 가열된 공기와 단열적으로 혼합된다. 이때 혼합기의 출구온도[$^{\circ}\mathrm{C}$]는? (단, 공기의 열용량은 모든 온도에서 일정하다)

① 34

② 38

③ 43

④ 45

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 같은 기체가 단열적으로 혼합될 때 에너지수지를 적용하여 혼합기 출구온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 차가운 공기 $4kg/min$, $7^{\circ}C$, 뜨거운 공기 $3kg/min$, $70^{\circ}C$이다.
구해야 할 값: 혼합기 출구온도 T_o이다.
주의할 조건: 단열 혼합이고 공기의 열용량 c_p는 일정하므로 엔탈피 변화는 온도에 비례한다.

사용할 공식

$\dot{m}_1 c_p T_1 + \dot{m}_2 c_p T_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) c_p T_o$
같은 공기 두 유입류가 반응 없이 단열 혼합되므로 유입 엔탈피의 합과 유출 엔탈피가 같아야 한다. 두 유입류의 c_p가 같고 일정하므로 c_p는 약분되어 출구온도는 질량유량 가중평균으로 계산된다.

계산 과정

1. 에너지수지에 값을 대입한다.
$(4)(7) + (3)(70) = (4 + 3)T_o$
2. 좌변을 계산한다.
$28 + 210 = 7T_o$
$238 = 7T_o$
3. 출구온도를 구한다.
$T_o = \frac{238}{7} = 34^{\circ}C$

NoteBase

선지별 해설

1번 O: 계산 결과 출구온도는 $34\,^\circ C$이므로 1번과 일치한다.
2번 X: $38\,^\circ C$는 두 유입 온도를 질량유량 없이 단순 평균한 값 $\frac{7+70}{2} = 38.5\,^\circ C$에 가까운 수치이다. 이 문제는 질량유량 가중평균을 써야 하므로 틀리며, 올바르게는 출구온도가 $34\,^\circ C$이다.
3번 X: $43\,^\circ C$는 질량유량 가중치를 거꾸로 적용한 $\frac{4\times 70+3\times 7}{7} = 43\,^\circ C$에 해당하는 값이다. 뜨거운 공기의 유량은 $3 kg/min$이므로 틀리며, 올바르게는 출구온도가 $34\,^\circ C$이다.
4번 X: $45\,^\circ C$는 단열 혼합의 에너지수지와 맞지 않는 값이다. 차가운 공기의 유량이 더 크므로 출구온도는 단순 중간값보다 낮아져야 하며, 올바르게는 출구온도가 $34\,^\circ C$이다.

오답 포인트

2번처럼 온도를 단순 평균하면 질량유량 차이를 놓치게 된다. 3번처럼 온도와 유량의 짝을 바꾸면 가중치 방향이 뒤집힌다. 4번처럼 뜨거운 유체의 영향만 크게 보면 차가운 공기의 더 큰 유량을 반영하지 못한다.

다시 나오면 이렇게 판단

계산형 혼합 문제는 먼저 단열 여부와 같은 물질인지 확인한 뒤, 에너지수지를 세우고, 같은 물질에 c_p가 일정하면 질량유량 가중평균으로 정리해 계산한다.

암기 포인트

같은 기체의 단열 혼합에서 c_p가 일정하면 출구온도는 온도의 단순 평균이 아니라 질량유량 가중평균이다.

NoteBase

문 4. 기체의 냉각 및 액화 공정에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 상압에서 수증기를 냉각하면 액화시킬 수 있다.

② 단열 팽창과정을 거쳐 냉각시킬 수 있다.

③ Claude 액화공정이 Linde 액화공정보다 효율적이다.

④ Joule-Thomson 계수가 음의 값을 갖는 조건에서 조름공정(throttling)을 통해 냉각시킬 수 있다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 기체의 냉각 방식과 액화 공정의 성립 조건, 특히 조름공정에서 Joule-Thomson 계수의 부호가 냉각 방향을 어떻게 결정하는지를 묻는다.

핵심 개념

응축 액화: 일정 압력에서 포화온도 이하로 냉각하면 기체가 액체로 바뀌는 현상이다.
단열 팽창 냉각: 기체가 일을 하며 팽창하면 내부에너지가 낮아져 온도가 내려갈 수 있는 과정이다.
조름 냉각: 엔탈피가 거의 일정한 압력 강하에서 μ_{JT}의 부호에 따라 냉각 또는 가열이 결정되는 과정이다.
Claude 공정과 Linde 공정의 차이: Claude 공정은 팽창기에서 일을 회수하는 단열 팽창을 포함하고, Linde 공정은 주로 조름효과를 이용한다.

선지별 해설

1번: O. 상압의 수증기도 포화온도 이하로 냉각하면 응축되어 액화된다. 액화는 반드시 고압이 필요한 것이 아니라 해당 압력에서 포화조건 아래로 온도를 낮추면 일어날 수 있다.
2번: O. 기체는 일을 수반하는 단열 팽창을 하면 온도가 내려갈 수 있다. 실제 액화 공정에서도 팽창기를 이용한 단열 팽창 냉각이 사용된다.
3번: O. Claude 액화공정은 조름 외에 팽창기에서의 단열 팽창과 일 회수를 함께 사용하므로, 조름 중심의 Linde 액화공정보다 일반적으로 더 효율적이다.
4번: X. 틀린 부분은 'Joule-Thomson 계수가 음의 값을 갖는 조건에서 조름공정을 통해 냉각시킬 수 있다'는 표현이다. 조름 시 온도 변화는 $\mu_{JT} = (\partial T/\partial P)_H$의 부호에 좌우되며, $\mu_{JT} > 0$일 때 압력 강하가 냉각을 만든다. $\mu_{JT} < 0$이면 조름 후 오히려 온도가 올라간다. 올바르게는 'Joule-Thomson 계수가 양의 값을 갖는 조건에서 조름공정을 통해 냉각시킬 수 있다'이다.

오답 포인트

조름과 단열 팽창을 같은 냉각 메커니즘으로 보면 4번에 속기 쉽다. 이 문항의 함정은 '팽창하면 무조건 냉각된다'는 막연한 기억을 이용해, 조름에서는 μ_{JT}의 부호가 핵심이라는 점을 뒤집어 놓은 데 있다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

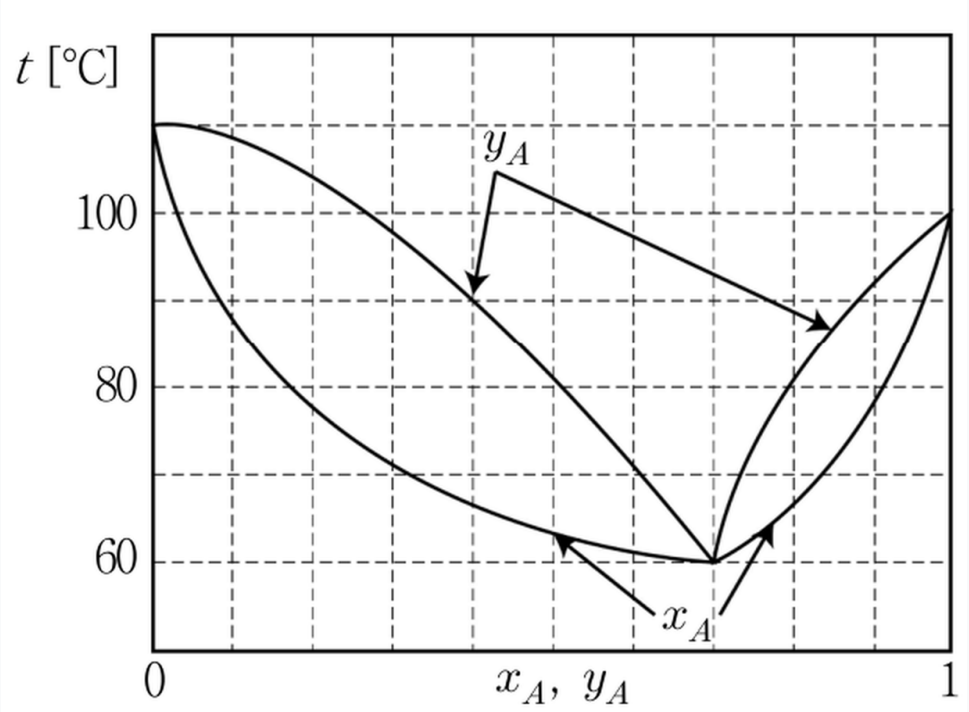
액화공정 선지가 나오면 먼저 응축 냉각, 일을 수반하는 단열 팽창 냉각, 조름 냉각으로 메커니즘을 나눈다. 그다음 조름이 나오면 $\mu_{JT} > 0$에서만 냉각이고 $\mu_{JT} < 0$이면 가열이라는 기준으로 판정한다.

암기 포인트

조름은 $\mu_{JT} > 0$에서 냉각, Claude는 팽창일 회수 포함, Linde는 조름 중심 공정이다.

NoteBase

문 5. 그림은 A와 B 혼합물의 정압 기-액 평형곡선이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, x_A는 A의 액상 몰분율, y_A는 A의 기상 몰분율이다)



① x_A가 0.7인 액상 혼합물은 기화되더라도 그 조성은 변하지 않는다.

② x_A가 0.8인 액상 혼합물의 기포점은 80°C이다.

③ x_A가 0.2인 액상 혼합물로부터 y_A가 0.5 이상인 기상 혼합물을 얻기 위해서는 90°C 이상으로 가열하여야 한다.

④ x_A가 0.3인 액상 혼합물을 50°C에서 90°C로 가열하여 계속 유지하였을 때 y_A는 0.6이다.

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 정압 기-액 평형곡선에서 공비점에서는 $x_A = y_A$가 되고, 액상 조성의 기포점은 아래 곡선에서 읽으며 같은 온도의 평형 기상 조성은 위 곡선에서 읽는다는 점을 묻는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① O

- $x_A = 0.7$ 부근은 기포점 곡선과 이슬점 곡선이 만나는 공비점이다. 공비점에서는 평형인 액상과 기상의 조성이 같으므로 기화가 진행되어도 조성이 변하지 않는다.

② X

- 틀린 표현은 "기포점은 $80^\circ C$이다"이다. 기포점은 액상 조성 x_A에서 아래쪽 곡선으로 읽어야 하며, $x_A = 0.8$의 기포점은 그래프상 $80^\circ C$가 아니라 약 $65^\circ C$ 부근이다. 올바르게는 "$x_A = 0.8$인 액상 혼합물의 기포점은 $80^\circ C$보다 낮다"이다.

③ X

- 틀린 표현은 "$90^\circ C$ 이상으로 가열하여야 한다"이다. $x_A = 0.2$인 액상은 약 $78^\circ C$ 부근에서 끓기 시작하고, 그 온도에서의 평형 기상 조성은 위쪽 곡선에서 읽으면 이미 $y_A \geq 0.5$이다. 올바르게는 "기포점 이상으로만 가열되어도 y_A가 0.5 이상인 기상을 얻을 수 있다"이다.

④ X

- 틀린 표현은 "계속 유지하였을 때 $y_A = 0.6$이다"이다. $x_A = 0.3$ 혼합물을 $90^\circ C$에 두면 수평 타이선이 위쪽 곡선과 만나는 점의 기상 조성은 그래프상 $y_A \approx 0.4 \sim 0.5$ 범위로 읽히며 0.6이 아니다. 올바르게는 "$90^\circ C$에서의 평형 기상 조성은 $y_A = 0.6$보다 작다"이다.

오답 포인트

공비점이 아닌데도 $x_A = y_A$라고 보거나, 기포점은 아래 곡선에서 읽고 그 온도에서의 기상 조성은 수평선으로 위 곡선에서 읽는 절차를 뒤바꾸면 ②, ③, ④를 잘못 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 액상 조성 x_A에서 아래 곡선으로 기포점을 읽고, 그 온도에서 수평선을 그어 위 곡선과 만나는 값으로 y_A를 읽는다. 두 곡선이 만나는 점이면 공비점이므로 $x_A = y_A$라고 판단한다.

암기 포인트

정압 $T - x - y$ 곡선은 아래가 기포점, 위가 이슬점, 두 곡선이 만나는 점은 공비점이라서 $x = y$이다.

NoteBase

문 6. 1 bar, 60 °C에 있는 분자량이 $100 g mol^{-1}$이고 끓는점이 100 °C인 액체 100 g을 1 bar하에서 가열하여 모두 120 °C의 기체로 만들었다. 이때 총 40 kJ의 열이 필요하였다면 이 액체의 증발잠열 $[J mol^{-1}]$은? (단, 액체열용량 $C_p^l[J mol^{-1} {}^\circ C^{-1}] = 40 + 2t[{}^\circ C]$이고, 기체열용량 $C_p^v[J mol^{-1} {}^\circ C^{-1}] = 60 + 4t[{}^\circ C]$이다)

① 20,000

② 21,000

③ 22,000

④ 23,000

정답 3번

출제 포인트

전체 공급 열량에서 액체 가열열과 기체 가열열을 구간별 적분으로 계산해 빼고, 남는 값을 증발잠열로 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값

- 질량은 $100 g$, 분자량은 $100 g mol^{-1}$이므로 물질량은 $1 mol$이다.
- 초기 상태는 $1 bar$, $60 {}^\circ C$의 액체이다.
- 끓는점은 $100 {}^\circ C$이다.
- 최종 상태는 $1 bar$, $120 {}^\circ C$의 기체이다.
- 총 공급 열량은 $40 kJ = 40{,}000 J$이다.

사용할 공식

$Q_{total} = q_{liq} + \Delta H_{vap} + q_{vap}$

$q_{liq} = \int_{60}^{100} C_p^l dt, \qquad q_{vap} = \int_{100}^{120} C_p^v dt$

이 문제는 액체를 끓는점까지 가열한 뒤 증발시키고, 다시 기체를 과열하는 3단계 과정이므로 총열량을 액체 감열, 증발잠열, 기체 감열로 나누어 계산한다.

NoteBase

계산 과정

1. 물질량은 $100g \div 100gmol^{-1} = 1mol$이다.
2. 액체 가열열은
$q_{liq} = \int_{60}^{100} (40 + 2t)dt = [40t + t^2]_{60}^{100} = 8{,}000J$
3. 기체 가열열은
$q_{vap} = \int_{100}^{120} (60 + 4t)dt = [60t + 2t^2]_{100}^{120} = 10{,}000J$
4. 따라서 증발잠열은
$\Delta H_{vap} = 40{,}000 - 8{,}000 - 10{,}000 = 22{,}000Jmol^{-1}$
이다.

선지별 해설

① X: $20{,}000Jmol^{-1}$이면 감열의 합이 $20{,}000J$여야 하지만, 적분 결과 액체 가열열과 기체 가열열의 합은 $18{,}000J$이다. 올바르게는 증발잠열은 $22{,}000Jmol^{-1}$이다.
② X: $21{,}000Jmol^{-1}$이면 감열의 합이 $19{,}000J$가 되어야 한다. 그러나 실제 적분값은 $8{,}000 + 10{,}000 = 18{,}000J$이므로 틀리다. 올바르게는 증발잠열은 $22{,}000Jmol^{-1}$이다.
③ O: 총열량 $40{,}000J$에서 액체 가열열 $8{,}000J$과 기체 가열열 $10{,}000J$을 빼면 $22{,}000Jmol^{-1}$가 남는다. 계산 결과와 일치하므로 옳다.
④ X: $23{,}000Jmol^{-1}$이면 감열의 합이 $17{,}000J$가 되어야 한다. 하지만 주어진 열용량식을 적분하면 감열의 합은 $18{,}000J$이므로 맞지 않는다. 올바르게는 증발잠열은 $22{,}000Jmol^{-1}$이다.

오답 포인트

열용량이 온도의 함수일 때는 $C_p\Delta T$를 단순히 한 번 적용하면 오차가 생긴다. 이 문항의 함정은 액체 구간과 기체 구간을 분리하지 않거나, 구간별 열용량식을 적분하지 않고 임의의 평균값으로 처리하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

상변화가 포함된 열량 문제는 상태 변화를 구간별로 나눈 뒤, 각 구간의 감열을 먼저 계산하고 마지막에 총열량에서 빼는 순서로 판단한다. 열용량이 t의 함수이면 각 구간마다 적분값을 구해 검산한다.

암기 포인트

상변화 총열량은 액체 감열 + 증발잠열 + 기체 감열의 합이다. C_p가 온도의 함수이면 구간별 적분이 기본이다.

NoteBase

문 7. 다음 중 부피(V)를 나타내는 관계식만을 모두 고르면? (단, U는 내부에너지, H는 엔탈피, G는 깁스에너지, S는 엔트로피, P는 압력, V는 부피, T는 온도이다)

ㄱ. $\left(\frac{\partial U}{\partial S}\right)_V$
ㄴ. $\left(\frac{\partial H}{\partial S}\right)_P$
ㄷ. $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_S$
ㄹ. $\left(\frac{\partial G}{\partial P}\right)_T$

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄷ, ㄹ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 열역학 퍼텐셜의 전미분식에서 자연변수를 보고 편미분계수가 온도 T인지 부피 V인지 판별하는 문제이다.

조건 정리

부피 V를 나타내는 관계식만 고르는 문제이다.
기본식은 $dU = TdS - PdV$, $dH = TdS + VdP$, $dG = -SdT + VdP$이다.

사용할 공식

열역학 퍼텐셜의 전미분식에서 자연변수에 대한 편미분은 해당 미분항의 계수와 같다.
따라서 $(\partial U/\partial S)_V = T$, $(\partial H/\partial S)_P = T$, $(\partial H/\partial P)_S = V$, $(\partial G/\partial P)_T = V$이다.

계산 과정

1. $dU = TdS - PdV$이므로 $(\partial U/\partial S)_V$는 T이다.
2. $dH = TdS + VdP$이므로 $(\partial H/\partial S)_P$는 T, $(\partial H/\partial P)_S$는 V이다.
3. $dG = -SdT + VdP$이므로 $(\partial G/\partial P)_T$는 V이다.
4. 따라서 부피를 나타내는 식은 ㄷ, ㄹ만이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: ①은 ㄱ, ㄴ만 고른 선택지이다. ㄱ은 $(\partial U/\partial S)_V = T$, ㄴ은 $(\partial H/\partial S)_P = T$이므로 둘 다 부피가 아니다. 틀린 표현은 '부피를 나타내는 식'이다. 올바르게는 '온도 T를 나타내는 식'이다.
② X: ②는 ㄱ, ㄷ을 고른 선택지이다. ㄷ은 맞지만 ㄱ은 V가 아니라 T이므로 조합이 틀리다. 틀린 부분은 ㄱ 포함이다. 올바르게는 ㄱ 대신 ㄹ을 포함한 ㄷ, ㄹ이다.
③ X: ③은 ㄴ, ㄷ을 고른 선택지이다. ㄷ은 맞지만 ㄴ은 V가 아니라 T이므로 조합이 틀리다. 틀린 부분은 ㄴ 포함이다. 올바르게는 ㄴ 대신 ㄹ을 포함한 ㄷ, ㄹ이다.
④ O: ④는 ㄷ, ㄹ을 고른 선택지이다. $(\partial H/\partial P)_S$는 $dH = TdS + VdP$에서 V이고, $(\partial G/\partial P)_T$도 $dG = -SdT + VdP$에서 V이므로 둘 다 부피를 나타낸다.

오답 포인트

엔트로피 S로 미분한다고 해서 결과가 모두 부피가 되는 것은 아니다. dS 앞 계수는 T이고, dP 앞 계수는 V라는 자연변수 구조를 놓치면 ㄱ, ㄴ을 부피식으로 착각하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

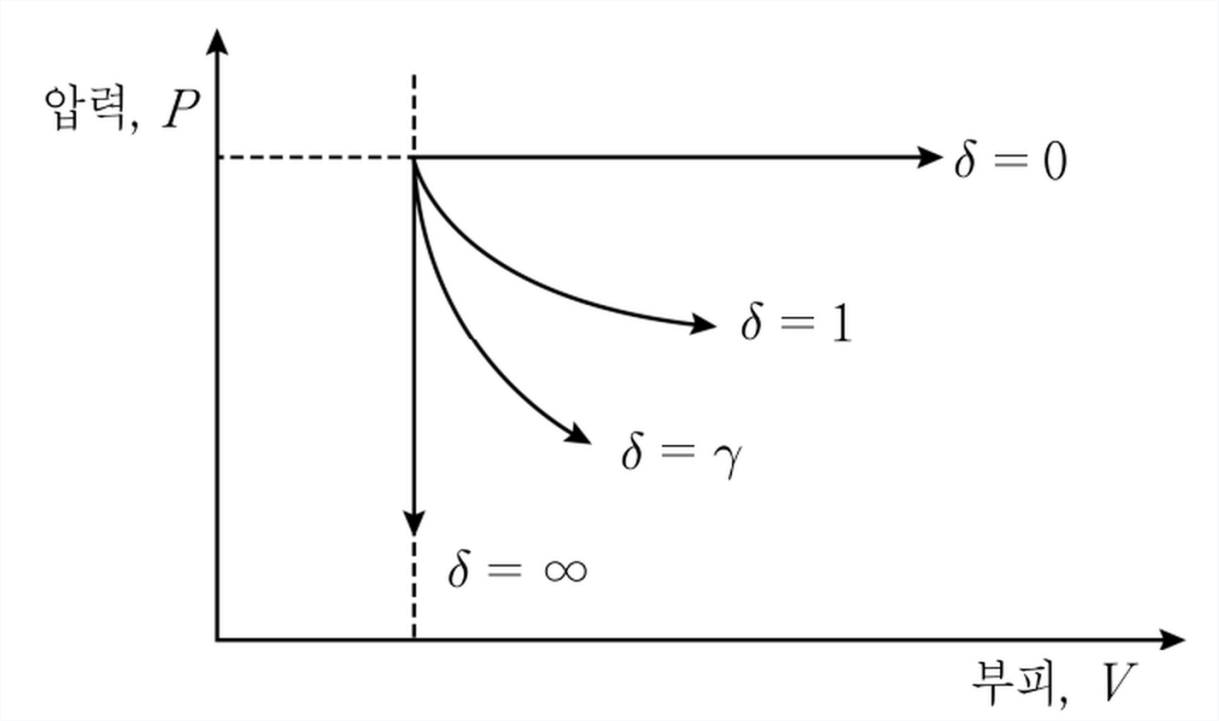
열역학 퍼텐셜 문제는 먼저 전미분식을 쓴 뒤, 아래첨자로 고정된 변수를 확인하고, 해당 미분항 앞의 계수를 그대로 읽어내면 된다. dS 앞은 T, dP 앞은 V로 판단한다.

암기 포인트

$dU = TdS - PdV$, $dH = TdS + VdP$, $dG = -SdT + VdP$에서 dP 앞 계수는 부피 V이다.

NoteBase

문 8. 그림은 닫힌 계에서 PV^δ = 일정을 따르는 이상기체의 가역공정을 나타낸다. 이에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$이고, C_p와 C_V는 각각 정압열용량과 정적열용량이며 온도에 따라 변하지 않는 상수이다)



① $\delta = \infty$일 때, 계에 의해 행해진 일은 0이다.

② $\delta = 1$일 때, 계의 내부에너지 변화량은 계의 엔탈피 변화량과 같다.

③ $\delta = \gamma$일 때, 계에 출입하는 열의 양은 일의 양과 같다.

④ $\delta = 0$일 때, 계에 전달되는 열의 양은 계의 엔탈피 변화량과 같다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 $PV^{\delta} = \text{const}$ 도식에서 특수 지수 $\delta = 0, 1, \gamma, \infty$가 각각 정압, 등온, 가역단열, 정적 과정에 대응한다는 점과 각 과정의 $Q, W, \Delta U, \Delta H$ 관계를 연결할 수 있는지를 묻는다.

NoteBase

선지별 해설

1번 O: $\delta = \infty$는 정적 과정이므로 부피 변화가 없어 $dV = 0$이다. 따라서 경계일은 $W = \int PdV = 0$이므로 옳다.
2번 O: $\delta = 1$이면 $PV = \text{const}$이므로 이상기체에서는 온도가 일정한 등온 과정이다. 따라서 $\Delta U = C_v \Delta T = 0$, $\Delta H = C_p \Delta T = 0$이어서 두 변화량은 서로 같다.
3번 X: $\delta = \gamma$는 이상기체의 가역단열 과정이므로 $Q = 0$이다. 따라서 계에 출입하는 열이 일의 양과 같지 않다. 틀린 표현은 "계에 출입하는 열의 양은 일의 양과 같다"이고, 올바르게는 "$\delta = \gamma$일 때 출입열은 0이고 $\Delta U = -W$가 성립한다"이다.
4번 O: $\delta = 0$은 정압 과정이다. 닫힌계의 정압 준정적 과정에서는 전달열이 엔탈피 변화량과 같아 $Q = \Delta H$가 성립하므로 옳다.

오답 포인트

$\delta = 1$과 $\delta = \gamma$를 모두 곡선 과정으로만 보고 같은 종류로 처리하면 틀린다. 이 문항의 함정은 $\delta = \gamma$를 등온처럼 생각해 Q와 W를 같은 것으로 착각하는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 지수와 과정 종류를 대응시킨다. $\delta = 0$은 정압, $\delta = 1$은 이상기체 등온, $\delta = \gamma$는 가역단열, $\delta = \infty$는 정적 과정으로 본다. 그다음 각 과정에 대해 Q, W, ΔU, ΔH의 대표 관계를 바로 대입하면 선지를 빠르게 가를 수 있다.

암기 포인트

0 정압, 1 등온, γ 단열, ∞ 정적으로 외워 두면 폴리트로픽 공정 선지는 대부분 정리된다.

NoteBase

문 9. 닫힌 계의 이상기체가 T_1, P_1의 온도[K], 압력 조건을 갖는 표준상태에서 $2T_1, 2P_1$의 상태로 가역적으로 변하였을 때, 엔트로피의 변화는? (단, T는 온도[K], R은 기체상수이며, 이상기체의 정압 열용량 $C_p^{ig} = aT + 2bT^2$이고 a와 b는 양의 상수이다)

① $-R\ln 2$

② 0

③ $aT_1 + 3bT_1^2 - R\ln 2$

④ $aT_1 + 3bT_1^2$

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔트로피 변화식 $\Delta s = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT - R\ln\frac{P_2}{P_1}$를 적용해 상태 변화의 엔트로피 변화를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $T_2 = 2T_1, P_2 = 2P_1, C_p^{ig} = aT + 2bT^2$이다.
구해야 할 값은 닫힌 계 이상기체의 엔트로피 변화 Δs이다.
주의할 조건은 이상기체이므로 엔트로피 변화가 상태함수라는 점과, C_p가 온도의 함수이므로 적분이 필요하다는 점이다.

사용할 공식

사용할 공식은 $\Delta s = \int_{T_1}^{T_2} \frac{C_p}{T} dT - R\ln\frac{P_2}{P_1}$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 이상기체의 엔트로피 변화를 온도와 압력 변화로 바로 표현할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. $\frac{C_p}{T} = \frac{aT + 2bT^2}{T} = a + 2bT$로 정리된다.
2. 따라서 $\int_{T_1}^{2T_1} \frac{C_p}{T} dT = \int_{T_1}^{2T_1} (a + 2bT) dT = a(2T_1 - T_1) + b((2T_1)^2 - T_1^2) = aT_1 + 3bT_1^2$이다.
3. 압력항은 $-R\ln\frac{P_2}{P_1} = -R\ln 2$이다.
4. 최종적으로 $\Delta s = aT_1 + 3bT_1^2 - R\ln 2$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
$-R\ln 2$는 압력 변화항만 반영한 값이므로 온도 상승에 따른 $\int \frac{C_p}{T}dT$ 항이 빠져 있다. 올바르게는 $aT_1 + 3bT_1^2 - R\ln 2$이다.

② X
0이 되려면 전체 엔트로피 변화가 상쇄되어야 하는데, 이 문제에서는 온도가 T_1에서 $2T_1$로 증가하므로 $\int \frac{C_p}{T}dT$가 양수이다. 또한 T/P가 일정하여 비체적이 일정하더라도 등엔트로피를 뜻하지는 않는다. 올바르게는 $aT_1 + 3bT_1^2 - R\ln 2$이다.

③ O
$\Delta s = \int_{T_1}^{2T_1} (a + 2bT)dT - R\ln 2 = aT_1 + 3bT_1^2 - R\ln 2$이므로 맞는 식이다.

④ X
$aT_1 + 3bT_1^2$는 온도 변화에 따른 항만 계산한 값이다. 압력이 P_1에서 $2P_1$로 증가했으므로 $-R\ln 2$를 반드시 더해야 한다. 올바르게는 $aT_1 + 3bT_1^2 - R\ln 2$이다.

오답 포인트

①과 ④는 엔트로피 식의 두 항 중 하나만 계산하게 만드는 함정이다. 특히 P와 T가 같은 배수로 증가하므로 비체적이 일정하다는 사실에만 끌리면 ②처럼 등엔트로피로 오해하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 엔트로피 변화 문제는 먼저 Δs를 온도-압력식 또는 온도-비체적식으로 정하고, 다음에 C_p/T 또는 C_v/T를 적분한 뒤 로그항을 빠짐없이 합쳐 판단한다.

암기 포인트

이상기체의 엔트로피 변화는 열용량 적분항과 로그항을 함께 계산해야 하며, 이 문제에서는 $aT_1 + 3bT_1^2 - R\ln 2$가 된다.

NoteBase

문 10. 밀도가 매우 작은 경우에 압축인자(compressibility factor)가 이상기체의 값인 1에 수렴하는 상태방정식은? (단, R은 기체상수이며, a와 b는 양의 상수이다)

① $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V}$
② $P = \frac{RT}{(V-b)^2} - \frac{a}{V}$
③ $P = \frac{RT}{V(V-b)} - \frac{a}{V^2}$
④ $P = \frac{RT}{V} - \frac{a}{V^2}$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 밀도가 매우 작을 때, 즉 몰부피 V가 매우 클 때 압축인자 $Z = PV/(RT)$가 1로 수렴하는 상태방정식을 판별하는 문제이다.

조건 정리

주어진 조건은 밀도가 매우 작은 경우이므로 $V \to \infty$로 본다는 점이다.
구해야 할 값은 각 상태방정식에서의 압축인자 $Z = PV/(RT)$의 극한값이다.
주의할 조건은 이상기체 한계에서는 $P \approx RT/V$가 되어야 하며, 보정항은 $V \to \infty$에서 0으로 사라져야 한다는 점이다.

사용할 공식

사용할 공식은 $Z = PV/(RT)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 직접 압축인자가 이상기체 값 1에 수렴하는지를 묻고 있으므로, 각 식을 Z로 바꾸어 $V \to \infty$ 극한을 비교하면 바로 판별할 수 있기 때문이다.

계산 과정

1. 밀도가 매우 작으면 $V \to \infty$로 둔다.
2. 각 선지의 P에 $V/(RT)$를 곱해 $Z = PV/(RT)$를 만든다.
3. $V \to \infty$에서 $Z \to 1$이 되는 식을 고른다.
4. ④는 $P = RT/V - a/V^2$이므로 $Z = (RT/V - a/V^2)V/(RT) = 1 - a/(RTV)$이고, $V \to \infty$에서 $Z \to 1$이 된다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$Z = (RT/(V-b) - a/V)V/(RT) = V/(V-b) - a/(RT)$이다. $V \to \infty$이면 $V/(V-b) \to 1$이지만 $a/(RT)$는 상수로 남아 $Z \to 1 - a/(RT)$가 된다. 틀린 부분은 보정항이 $-a/V$인 점이며, 올바르게는 보정항이 $-a/V^2$처럼 0으로 사라져야 한다.

② X

$Z = (RT/(V-b)^2 - a/V)V/(RT) = V/(V-b)^2 - a/(RT)$이다. $V \to \infty$이면 첫째 항은 0에 가까워지고 둘째 항은 상수로 남으므로 $Z \to -a/(RT)$가 된다. 틀린 부분은 첫 항이 이상기체 한계의 RT/V 꼴로 가지 않는 점이며, 올바르게는 첫 항이 RT/V에 수렴해야 한다.

③ X

$Z = (RT/[V(V-b)] - a/V^2)V/(RT) = 1/(V-b) - a/(RTV)$이다. $V \to \infty$이면 두 항 모두 0으로 가서 $Z \to 0$이 된다. 틀린 부분은 첫 항이 $RT/[V(V-b)]$로 너무 작아진다는 점이며, 올바르게는 주항이 RT/V 꼴이어야 이상기체 한계를 만족한다.

④ O

$Z = (RT/V - a/V^2)V/(RT) = 1 - a/(RTV)$이다. $V \to \infty$이면 $a/(RTV) \to 0$이므로 $Z \to 1$이 된다. 이상기체 항 RT/V를 주항으로 두고, 보정항 $-a/V^2$가 희박한 상태에서 사라지므로 조건에 맞는다.

오답 포인트

밀도가 매우 작다를 압력이나 질량밀도만의 문장으로 읽고 지나가면 안 된다. 이 조건은 곧 $V \to \infty$ 극한을 뜻한다. 또 P 식만 보고 비슷한 꼴을 고르면 ①에 끌리기 쉬운데, $Z = PV/(RT)$로 바꾸면 ①의 $-a/(RT)$ 상수항이 끝까지 남아 이상기체 한계가 깨진다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

희박기체 한계나 이상기체 수렴 여부를 묻는 문항은 먼저 $Z = PV/(RT)$를 만든 뒤 $V \to \infty$에서 주항이 1이 되는지, 나머지 보정항이 모두 0으로 사라지는지를 확인하는 방식으로 판단한다.

암기 포인트

이상기체 한계 판정은 $Z \to 1$ 확인이며, 주항은 RT/V, 보정항은 $V \to \infty$에서 0으로 사라져야 한다.

NoteBase

문 11. 단열계에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, T는 온도, V는 부피이며, C_p와 C_v는 각각 정압열용량과 정적열용량이고 $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$이다)

① 모두 등엔트로피(isentropic) 상태이다.

② 열과 일이 출입하지 못한다.

③ 닫힌 계에만 적용된다.

④ 이상기체는 'TV^γ-1 = 일정'의 관계를 따른다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 단열과 등엔트로피를 구분하고, 단열 이상기체의 기본 관계식을 판별하는 문제이다.

핵심 개념

단열은 계와 주위 사이에 열전달이 없는 상태 또는 과정이다.
등엔트로피는 엔트로피가 일정한 상태 또는 과정이며, 단열이라도 비가역이면 등엔트로피가 아니다.
이상기체의 가역 단열변화에서는 $PV^{\gamma} = \text{const}$, $TV^{\gamma-1} = \text{const}$ 관계가 성립한다.

선지별 해설

① X: 단열이라고 해서 모두 등엔트로피는 아니다. 마찰이나 비가역 손실이 있으면 열출입이 없어도 엔트로피는 증가할 수 있다. 틀린 표현은 '모두'이며, 올바르게는 '가역 단열변화일 때 등엔트로피가 된다'이다.
② X: 단열은 열의 출입이 없다는 뜻일 뿐이다. 일은 경계일, 축일 등의 형태로 출입할 수 있다. 틀린 표현은 '열과 일이'이며, 올바르게는 '열은 출입하지 못하지만 일은 출입할 수 있다'이다.
③ X: 단열 조건은 닫힌 계에만 한정되지 않는다. 노즐, 터빈처럼 열린 계도 외부와 열교환이 없으면 단열로 취급한다. 틀린 표현은 '닫힌 계에만'이며, 올바르게는 '닫힌 계와 열린 계 모두에 적용될 수 있다'이다.
④ O: 시험 문맥에서 단열 이상기체의 기본식은 가역 단열관계를 뜻하며, 이때 $TV^{\gamma-1} = \text{const}$가 성립한다.
따라서 ④는 옳다.

오답 포인트

단열을 '아무것도 출입하지 않는 상태'로 넓게 외우면 ②에 걸리기 쉽다. 또한 단열과 등엔트로피를 같은 뜻으로 섞어 외우면 ①을 고르기 쉽다. ④는 단열 이상기체의 대표 관계식을 묻는 전형 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

단열 문제가 나오면 먼저 '막히는 것은 열인가, 열과 일 모두인가'를 구분한다. 그다음 단열과 등엔트로피를 분리해서 보고, 이상기체 관계식이 나오면 가역 단열의 대표식 $PV^{\gamma} = \text{const}$, $TV^{\gamma-1} = \text{const}$인지 확인하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

단열은 $Q = 0$이고, 가역 단열 이상기체는 $PV^{\gamma} = \text{const}$, $TV^{\gamma - 1} = \text{const}$를 따른다.

문 12. 기체와 액체의 열역학적 특성에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① Clapeyron 식을 사용하여 증발잠열을 구하기 위해서는 포화액체 및 포화증기의 몰부피 데이터가 필요하다.

② 기체의 경우에 일정압력에서의 열용량은 일정부피에서의 열용량보다 항상 크거나 같다.

③ 닫힌 계에서 완전 비압축성 물질의 내부에너지는 온도에만 의존한다.

④ Joule–Thomson 계수는 엔탈피가 일정한 과정에서 온도변화에 따른 압력의 변화이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 상변화식, 비열 관계, 비압축성 물질의 내부에너지, Joule-Thomson 계수의 정의를 정확히 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

Clapeyron 식은 포화선에서 증발잠열을 구할 때 포화압력-온도 관계와 포화액체·포화증기의 비체적 차이를 이용하는 식이다.
정압비열과 정적비열은 각각 일정압력, 일정부피에서의 열용량이며 기체는 정압 과정에서 팽창일이 추가되므로 정압비열이 정적비열보다 작아지지 않는다.
완전 비압축성 물질은 부피변화가 없다고 보므로 내부에너지는 온도의 함수로 다룬다.
Joule-Thomson 계수는 등엔탈피 과정에서 압력 변화에 대한 온도 변화율인 $\mu_{JT} = (\partial T/\partial P)_H$이다.

선지별 해설

1번 O: Clapeyron 식은 $h_{fg} = T(v_g - v_f)(dP_{sat}/dT)$ 형태로 쓰이므로 포화액체와 포화증기의 비체적, 즉 물부피 데이터가 필요하다. 선지의 진술은 필요한 데이터의 핵심을 짚고 있으므로 옳다.
2번 O: 기체는 일정압력에서 가열하면 온도 상승뿐 아니라 팽창일에도 에너지가 쓰인다. 따라서 같은 온도 상승을 만들 때 필요한 열량은 일정부피보다 일정압력에서 더 크거나 같으므로 $C_p \geq C_v$로 본다.
3번 O: 완전 비압축성 물질은 부피가 변하지 않는 이상화 물질이므로 $du \approx cdT$로 다루며 내부에너지를 온도의 함수로 본다. 따라서 내부에너지가 온도에만 의존한다는 설명은 옳다.
4번 X: 틀린 표현은 "온도변화에 따른 압력의 변화"이다. Joule-Thomson 계수는 등엔탈피 과정에서 압력 변화에 따라 온도가 얼마나 변하는지를 나타내는 값이므로 올바르게는 "엔탈피가 일정한 과정에서 압력변화에 따른 온도변화"이다.

오답 포인트

4번은 미분의 방향을 뒤집어 놓은 함정이다. $(\partial T/\partial P)_H$와 $(\partial P/\partial T)_H$는 서로 같은 의미가 아니므로, 정의식에서 무엇이 종속변수인지 끝까지 확인해야 한다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

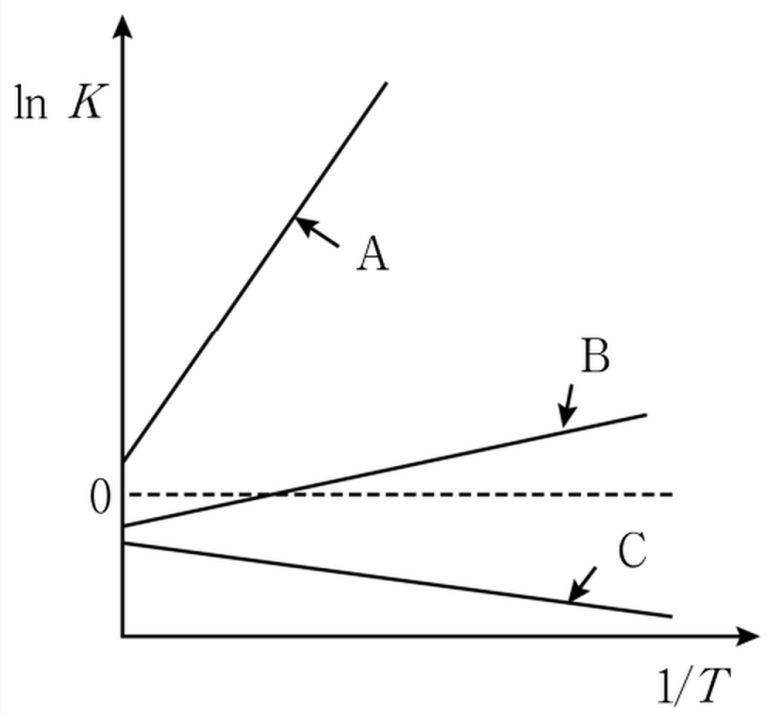
열역학 성질 문제는 먼저 각 물리량의 정의식을 확인한 뒤, 선지가 그 정의의 방향과 조건을 바꾸지 않았는지를 본다. 특히 일정압력·일정부피·등엔탈피처럼 붙는 과정 조건과 미분의 순서를 분리해서 읽으면 판단이 빨라진다.

암기 포인트

Clapeyron은 포화선과 비체적 차이, 비압축성 내부에너지는 온도 함수, Joule-Thomson은 등엔탈피에서 $(\partial T/\partial P)_H$이다.

NoteBase

문 13. 그림은 화학반응 A, B, C의 평형상수 K와 온도 T의 관계를 나타낸다. 표준상태에서 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 각 반응의 표준반응 엔탈피 ΔH°와 표준반응 엔트로피 ΔS°는 온도와 무관하다)



① A는 발열반응이고, B와 C는 흡열반응이다.

② A와 B는 발열반응이고, C는 흡열반응이다.

③ A는 흡열반응이고, B와 C는 발열반응이다.

④ A와 B는 흡열반응이고, C는 발열반응이다.

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 $\ln K$ 대 $1/T$ 그래프의 기울기와 표준반응 엔탈피 ΔH°의 부호 관계를 읽어 각 반응이 발열반응인지 흡열반응인지 판단하는 문제이다.

핵심 관계

반트호프 식은 $\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{R}\frac{1}{T} + \frac{\Delta S^\circ}{R}$이다. 따라서 $\ln K$ 대 $1/T$ 그래프의 기울기는 $-\Delta H^\circ/R$이므로, 기울기가 양수이면 $\Delta H^\circ < 0$인 발열반응이고 기울기가 음수이면 $\Delta H^\circ > 0$인 흡열반응이다.

NoteBase

선지별 해설

1번: X. A의 기울기는 양수이므로 A는 발열반응이다. B의 기울기도 양수이므로 B도 발열반응이다. C는 기울기가 음수이므로 흡열반응이다. 틀린 표현은 "B와 C는 흡열반응"이고, 올바르게는 "B는 발열반응이고 C는 흡열반응"이다.
2번: O. A와 B는 모두 기울기가 양수이므로 발열반응이고, C는 기울기가 음수이므로 흡열반응이다. 반트호프 식의 기울기 부호만으로 바로 판단할 수 있다.
3번: X. A의 기울기는 양수이므로 A를 흡열반응으로 본 부분이 틀리다. 또한 C의 기울기는 음수이므로 C를 발열반응으로 본 부분도 틀리다. 올바르게는 "A와 B는 발열반응이고 C는 흡열반응"이다.
4번: X. A와 B는 모두 기울기가 양수이므로 흡열반응이 아니라 발열반응이다. C는 기울기가 음수이므로 발열반응이 아니라 흡열반응이다. 올바르게는 "A와 B는 발열반응이고 C는 흡열반응"이다.

오답 포인트

많이 틀리는 지점은 K가 온도에 따라 증가하는지 감소하는지를 직접 보지 않고, 기울기 부호와 ΔH°의 부호 관계를 반대로 연결하는 점이다. 이 그래프는 T가 아니라 $1/T$를 가로축으로 쓰므로, 양의 기울기라는 사실만 보고 바로 발열반응으로 연결해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

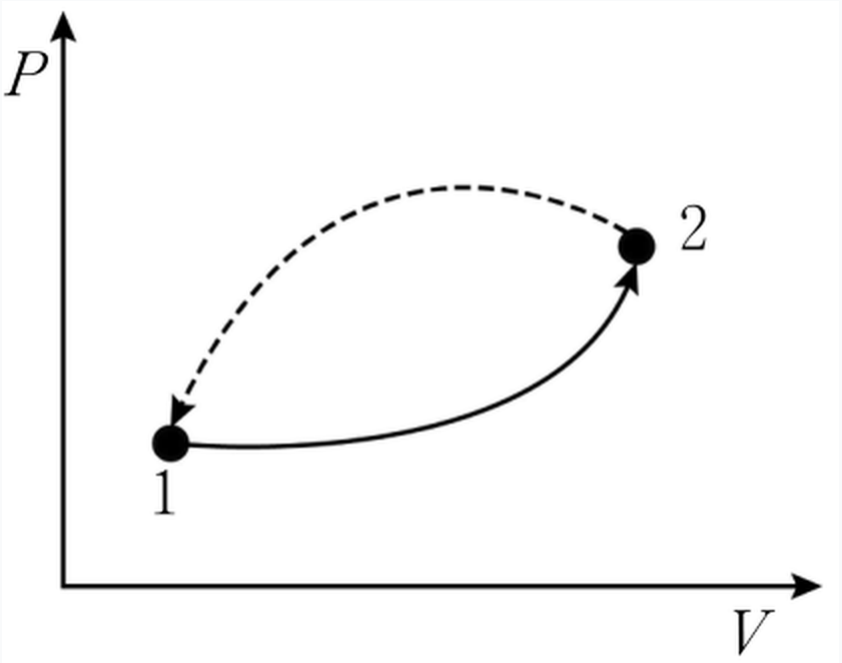
평형상수 그래프가 $\ln K$ 대 $1/T$ 형태이면 먼저 반트호프 식을 떠올린다. 그다음 기울기 부호를 보고 양수면 발열반응, 음수면 흡열반응으로 판단하면 된다.

암기 포인트

$\ln K$ 대 $1/T$의 기울기 $= -\Delta H^\circ / R$이므로 양의 기울기는 발열, 음의 기울기는 흡열이다.

NoteBase

문 14. 그림은 상태 1에서 상태 2를 거쳐 다시 상태 1로 돌아오는 사이클 공정을 나타낸다. 과정 1 → 2(실선)는 가역과정이고 과정 2 → 1(점선)은 비가역과정이며, 각 과정에서 출입하는 열이 각각 Q_1과 Q_2이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, P는 압력, V는 부피, T는 온도이다)



ㄱ. 전체 사이클에 대한 내부에너지 변화량은 0이다.

ㄴ. 전체 사이클에 대한 계의 엔트로피 변화량은 0이다.

ㄷ. 과정 2 → 1(점선)에서 엔트로피 변화량은 $\int_2^1 \frac{\delta Q_2}{T}$이다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㄷ

③ ㄴ, ㄷ

④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 사이클에서 상태함수인 내부에너지와 엔트로피의 전체 변화량, 그리고 비가역과정에서 엔트로피 적분식의 적용 조건을 구별할 수 있는지를 묻는다.

NoteBase

핵심 개념

내부에너지 U와 엔트로피 S는 상태함수이므로 처음 상태와 마지막 상태가 같으면 변화량이 0이다.
따라서 상태 1에서 출발해 다시 상태 1로 돌아오는 전체 사이클에 대해서는 $\Delta U_{cycle} = 0$, $\Delta S_{cycle} = 0$이다.
또한 엔트로피 변화식 $\Delta S = \int \frac{\delta Q_{rev}}{T}$의 등호는 가역과정에만 직접 성립하고, 실제 비가역과정에는 그대로 쓸 수 없다.

선지별 해설

1번: O. ㄱ은 전체 사이클이 닫힌 경로이므로 내부에너지 변화량이 0이라는 뜻이어서 옳다. ㄴ도 계가 다시 원래 상태 1로 돌아오므로 엔트로피 변화량이 0이어서 옳다. 따라서 ㄱ, ㄴ만 묶은 1번이 맞다.
2번: X. 틀린 부분은 ㄷ을 포함한 점이다. 과정 2→1은 비가역과정이므로 엔트로피 변화량을 실제 경로에 대해 바로 $\int_2^1 \frac{\delta Q_2}{T}$로 둘 수 없다. 올바르게는 ㄱ, ㄴ만 옳다.
3번: X. 틀린 부분은 ㄱ을 빠뜨리고 ㄷ을 포함한 점이다. ㄱ은 사이클 전체의 내부에너지 변화량이 0이므로 옳고, ㄷ은 비가역과정에 대한 등호 적용이어서 틀리다. 올바르게는 ㄱ, ㄴ만 옳다.
4번: X. 틀린 부분은 ㄷ까지 옳다고 본 점이다. ㄱ과 ㄴ은 상태함수 성질 때문에 옳지만, ㄷ은 비가역과정의 엔트로피 변화식을 잘못 쓴 것이다. 올바르게는 ㄱ, ㄴ만 선택해야 한다.

오답 포인트

사이클이면 $\Delta U = 0$만 기억하고 $\Delta S = 0$을 놓치기 쉽고, 엔트로피 적분식의 등호를 모든 과정에 기계적으로 적용하면 ㄷ이 맞아 보인다. 이 문항의 함정은 상태함수와 경로함수를 섞어 판단하게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

사이클 문항은 먼저 상태함수와 경로함수를 나눈다. U, S처럼 상태함수는 출발점과 도착점이 같으면 전체 변화량이 0이고, $\int \delta Q/T$의 등호는 가역과정일 때만 직접 적용된다고 판단하면 된다.

암기 포인트

사이클이면 상태함수 변화량은 0이고, 엔트로피 적분 등호는 가역과정에서만 성립한다.

NoteBase

문 15. 595 K에서 몰부피가 $2Lmol^{-1}$인 벤젠 기체의 압력 P은 Redlich-Kwong 상태방정식으로부터 $P = 21.4bar$로 계산되었다. 이상기체 상태방정식을 적용하여 계산된 벤젠 기체의 압력을 P_{ideal}이라고 할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 기체상수 $R = 0.08atmLmol^{-1}K^{-1}$이다)

① $P < P_{ideal}$이며, 분자 간 밀치는 힘이 이상기체보다 우세하다.

② $P > P_{ideal}$이며, 분자 간 밀치는 힘이 이상기체보다 우세하다.

③ $P < P_{ideal}$이며, 분자 간 당기는 힘이 이상기체보다 우세하다.

④ $P > P_{ideal}$이며, 분자 간 당기는 힘이 이상기체보다 우세하다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 상태방정식으로 P_{ideal}을 계산한 뒤, 실제기체 압력 P와 비교하여 분자 간 상호작용의 지배 방향을 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $T = 595K, \bar{V} = 2Lmol^{-1}, P = 21.4bar, R = 0.08atmLmol^{-1}K^{-1}$이다.
구해야 할 값은 이상기체로 계산한 압력 P_{ideal}와 그 압력 비교가 뜻하는 분자 간 힘의 방향이다.
주의할 점은 R이 atm 기준이므로 P_{ideal}를 atm으로 계산한 뒤 실제 압력과 비교할 때는 bar 감각으로 함께 해석해야 한다는 점이다.

사용할 공식

이상기체 상태방정식은 $P_{ideal}\bar{V} = RT$ 이므로 $P_{ideal} = \frac{RT}{\bar{V}}$ 이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 실제기체 압력 P는 이미 Redlich-Kwong 상태방정식으로 계산해 주었고, 비교 대상인 P_{ideal}만 이상기체 가정으로 다시 계산하면 되기 때문이다.

계산 과정

1. $P_{ideal} = \frac{0.08 \times 595}{2} = 23.8atm$이다.
2. 이를 bar로 보면 $23.8atm \approx 24.12bar$이다.
3. 따라서 $P = 21.4bar < P_{ideal} \approx 24.12bar$이다.
4. 실제기체 압력이 이상기체 압력보다 작다는 것은 분자 간 인력이 벽 충돌을 줄여 압력을 낮춘다는 뜻이므로, 당기는 힘이 이상기체보다 더 두드러진다고 해석한다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $P < P_{ideal}$라는 비교 자체는 맞지만, 이 경우 우세한 것은 밀치는 힘이 아니라 당기는 힘이다. 틀린 표현은 "분자 간 밀치는 힘이 이상기체보다 우세하다"이고, 올바르게는 "분자 간 당기는 힘이 이상기체보다 우세하다"이다.
② X: $P > P_{ideal}$라면 반발력이나 배제부피 효과가 커서 실제 압력이 더 높아진 경우에 가깝다. 계산 결과는 $P < P_{ideal}$이므로 전제부터 틀리다. 틀린 표현은 "$P > P_{ideal}$"이고, 올바르게는 "$P < P_{ideal}$"이다.
③ O: 계산 결과 $P = 21.4bar$, $P_{ideal} \approx 24.12bar$이므로 $P < P_{ideal}$이다. 실제 압력이 더 낮다는 것은 분자 간 인력이 존재하여 벽에 가하는 충돌 효과를 줄인다는 뜻이므로, 당기는 힘이 이상기체보다 우세하다는 설명이 옳다.
④ X: 당기는 힘이 우세하면 실제 압력은 이상기체값보다 낮아져야 하므로 $P > P_{ideal}$와는 연결되지 않는다. 틀린 표현은 "$P > P_{ideal}$"이고, 올바르게는 "$P < P_{ideal}$"이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 압력의 대소관계와 힘의 성격을 반대로 연결하는 데 있다. $P < P_{ideal}$이면 인력이 우세하여 압력이 내려가고, $P > P_{ideal}$이면 반발력이나 분자 부피 효과가 우세하여 압력이 올라간다. 이 대응을 뒤집으면 ①과 ④ 같은 오답에 걸리게 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 $P_{ideal} = RT/\bar{V}$로 이상기체 압력을 계산한다.
그다음 실제 압력과 크기를 비교한다.
$P < P_{ideal}$이면 인력 우세, $P > P_{ideal}$이면 반발력 또는 배제부피 효과 우세로 정리하면 된다.

암기 포인트

실제기체에서 $P < P_{ideal}$는 인력 우세, $P > P_{ideal}$는 반발력 우세로 기억해 둔다.

NoteBase

문 16. 24 atm, 300 K으로 압축된 이상기체 10 L를 가역적으로 0.5 atm, 100 K으로 단열팽창시켰을 때, 얻어질 일(W)의 양($|W|$)은? (단, 기체상수 $R = 0.08\text{atmLmol}^{-1}\text{K}^{-1}$이며, 이 과정에서 이상기체의 정적열용량 $C_v = 20\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$로 간주한다)

① 10 kJ

② 20 kJ

③ 30 kJ

④ 40 kJ

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체 상태방정식으로 몰수를 구한 뒤, 단열과정에서 $Q = 0$임을 이용해 내부에너지 변화와 일의 관계로 $|W|$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 초기 상태: $P_1 = 24atm$, $V_1 = 10L$, $T_1 = 300K$
- 최종 상태: $P_2 = 0.5atm$, $T_2 = 100K$
- 기체상수: $R = 0.08atmLmol^{-1}K^{-1}$
- 정적열용량: $C_v = 20Jmol^{-1}K^{-1}$

구해야 할 값:
- 단열팽창에서 얻어지는 일의 크기 $|W|$

주의할 조건:
- 단열과정이므로 $Q = 0$이다.
- 일의 크기를 묻고 있으므로 부호가 아니라 절댓값을 구한다.

사용할 공식

1. 이상기체 상태방정식: $n = \frac{PV}{RT}$
2. 이상기체의 내부에너지 변화: $\Delta U = nC_v\Delta T$
3. 단열과정의 에너지식: $Q = 0$이므로 $W = -\Delta U$이고, 따라서 $|W| = |\Delta U|$이다.

이 공식을 쓰는 이유:
주어진 값에 초기 P, V, T가 있으므로 먼저 몰수 n을 구할 수 있다. 또 단열팽창에서는 열출입이 없어서 내부에너지 감소량이 그대로 기체가 한 일의 크기가 된다.

NoteBase

계산 과정

1. 몰수를 구하면 $n = \frac{24 \times 10}{0.08 \times 300} = \frac{240}{24} = 10mol$이다.
2. 온도 변화는 $\Delta T = T_2 - T_1 = 100 - 300 = -200K$이다.
3. 내부에너지 변화는 $\Delta U = nC_v\Delta T = 10 \times 20 \times (-200) = -40000J = -40kJ$이다.
4. 단열과정이므로 $Q = 0$, 따라서 기체가 한 일의 크기는 $|W| = |\Delta U| = 40kJ$이다.

선지별 해설

① X: 계산 결과 $|W| = 40kJ$이므로 10 kJ는 맞지 않는다. 선지의 '10 kJ'를 '40 kJ'로 고치면 옳다.

② X: 계산 결과와 다르므로 틀리다. 선지의 '20 kJ'를 '40 kJ'로 고치면 옳다.

③ X: 내부에너지 감소량의 크기는 $40kJ$이므로 30 kJ는 부족한 값이다. 선지의 '30 kJ'를 '40 kJ'로 고치면 옳다.

④ O: $n = 10mol$, $\Delta U = -40kJ$, 단열과정에서 $|W| = |\Delta U|$이므로 40 kJ가 맞다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 단열팽창에서 곧바로 PV 일만 떠올리거나, 일의 부호와 일의 크기를 혼동하는 데 있다. 또한 R의 단위가 $atmLmol^{-1}K^{-1}$이므로 몰수를 먼저 정확히 구해야 하며, $\Delta U = nC_v\Delta T$에서 $n = 10mol$을 빠뜨리면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

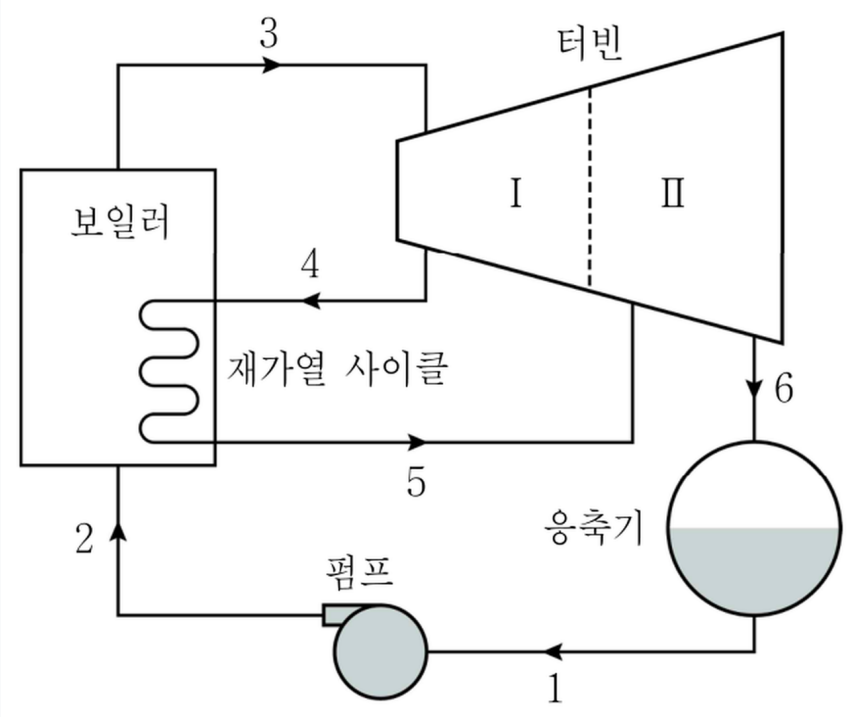
단열 계산형은 먼저 $Q = 0$ 여부를 확인하고, 다음에 초기 상태로 몰수 n를 구한 뒤, $\Delta U = nC_v\Delta T$를 계산해서 일의 크기와 연결하면 된다. 마지막에는 부호를 묻는지, 크기를 묻는지를 반드시 다시 확인한다.

암기 포인트

이상기체 단열과정에서는 $Q = 0$이므로 내부에너지 감소량의 크기가 곧 기체가 한 일의 크기이다.

NoteBase

문 17. 그림과 같이 재가열(re-heating) 과정을 갖는 Rankine 사이클 기관의 에너지 효율은? (단, 지점 1 ~ 6의 엔탈피[kJ]는 각각 $H_1 = 500$, $H_2 = 1{,}000$, $H_3 = 9{,}500$, $H_4 = 8{,}000$, $H_5 = 9{,}500$, $H_6 = 7{,}500$ 이며, 지점 1과 지점 6은 각각 포화액체와 포화기체 상태이다)



① 0.25

② 0.30

③ 0.35

④ 0.40

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 재가열 Rankine 사이클의 열효율을 엔탈피 차로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $H_1 = 500kJ, H_2 = 1{,}000kJ, H_3 = 9{,}500kJ, H_4 = 8{,}000kJ, H_5 = 9{,}500kJ, H_6 = 7{,}500kJ$ 이다.

구해야 할 값은 기관의 열효율이다.

주의할 조건은 재가열 구간의 열공급 $H_5 - H_4$를 포함하고, 순일은 두 터빈의 일에서 펌프일을 뺀 값이라는 점이다.

NoteBase

사용할 공식

열효율은 $\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}}$이다.
터빈일은 $W_t = (H_3 - H_4) + (H_5 - H_6)$이다.
펌프일은 $W_p = H_2 - H_1$이다.
열공급은 $Q_{in} = (H_3 - H_2) + (H_5 - H_4)$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 재가열 Rankine 사이클이 보일러와 재가열기에서 받은 열을 분모로 하고, 두 터빈의 출력에서 펌프 소비일을 뺀 순일을 분자로 하기 때문이다.

계산 과정

1. 터빈일은 $(9{,}500 - 8{,}000) + (9{,}500 - 7{,}500) = 1{,}500 + 2{,}000 = 3{,}500kJ$이다.
2. 펌프일은 $1{,}000 - 500 = 500kJ$이므로 순일은 $3{,}500 - 500 = 3{,}000kJ$이다.
3. 열공급은 $(9{,}500 - 1{,}000) + (9{,}500 - 8{,}000) = 8{,}500 + 1{,}500 = 10{,}000kJ$이다.
4. 따라서 열효율은 $\eta = \frac{3{,}000}{10{,}000} = 0.30$이다.

선지별 해설

① X
계산 결과 열효율은 0.30이므로 0.25는 틀리다.
틀린 표현은 "효율이 0.25이다"이고, 올바르게는 "효율은 0.30이다"이다.
이 값은 순일이나 열공급을 잘못 잡아 재가열 구간을 일부 누락할 때 나올 수 있는 오답이다.

② O
열효율이 0.30으로 계산되므로 옳다.
재가열 구간의 터빈일과 열공급을 모두 반영하면 선택지 ②와 정확히 일치한다.

③ X
0.35는 두 터빈의 일 $3{,}500kJ$만 쓰고 펌프일 $500kJ$를 빼지 않았을 때 나오는 값이다.
틀린 표현은 "효율이 0.35이다"이고, 올바르게는 "펌프일을 차감한 순일을 써야 하므로 효율은 0.30이다"이다.

④ X
0.40은 재가열 열공급 $H_5 - H_4$를 분모에서 빼먹는 식의 잘못된 계산에서 가까워지는 값이다.
틀린 표현은 "효율이 0.40이다"이고, 올바르게는 "보일러 열공급과 재가열 열공급을 모두 포함하면 효율은 0.30이다"이다.

오답 포인트

재가열 Rankine 사이클에서는 두 터빈의 일은 모두 더하고, 펌프일은 반드시 빼며, 열공급은 보일러 구간과 재가열 구간을 모두 더해야 한다. 이 셋 중 하나라도 누락하면 0.35나 0.40 같은 오답으로 쉽게 흔들린다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

사이클 문제는 흐름 방향대로 각 장치의 엔탈피 차를 먼저 적고, W_t, W_p, Q_{in}을 구분해 정리한 뒤 마지막에 $\eta = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}}$를 적용하면 안정적으로 판단할 수 있다.

암기 포인트

재가열 Rankine 열효율은 $\eta = \frac{(h_3 - h_4) + (h_5 - h_6) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)}$로 정리된다.

NoteBase

문 18. 가역 압축기로 비열이 일정한 이상기체를 압축하는 정상상태 흐름공정이 등온압축(PV= 일정), 폴리트로픽압축(PV^n= 일정), 단열압축(PV^m= 일정)인 각각의 경우에 대해 공정에 필요한 일(W)의 양($|W|$)이 적은 것부터 순서대로 바르게 나열한 것은? (단, P는 압력, V는 부피이고, $1 < n < m$이며, 각 공정의 압력범위는 동일하고, 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)

① 등온압축, 폴리트로픽압축, 단열압축

② 폴리트로픽압축, 단열압축, 등온압축

③ 단열압축, 등온압축, 폴리트로픽압축

④ 등온압축, 단열압축, 폴리트로픽압축

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 가역 정상류 압축기에서 공정식 $PV^k = \text{const}$에 따라 압축 일의 크기가 어떻게 달라지는지를 비교하는 문제이다.

조건 정리

주어진 공정은 등온압축 PV=일정, 폴리트로픽압축 PV^n=일정, 단열압축 PV^m=일정이다.
조건은 $1 < n < m$이고, 세 공정의 압력범위 $P_1 \rightarrow P_2$는 동일하다.
구해야 할 값은 각 공정에 필요한 일의 양 $|W|$의 크기 순서이다.

사용할 공식

가역 정상류 압축기의 일 입력 크기는 $|W| = \int_{P_1}^{P_2} V dP$이다.
또한 폴리트로픽 관계 $PV^k = \text{const}$에서 $V = C^{1/k} P^{-1/k}$로 쓸 수 있다.
이 공식을 쓰는 이유는 세 공정의 차이가 같은 압력 상승 구간에서 압력에 따른 비체적 V의 크기 차이로 나타나고, 그 차이가 그대로 일 적분값 차이로 이어지기 때문이다.

계산 과정

1. 세 공정 모두 압력은 같은 P_1에서 P_2까지 상승한다.
2. $PV^k = \text{const}$이면 $V = C^{1/k} P^{-1/k}$이므로 같은 압력 P에서 지수 k가 클수록 V가 더 크게 유지된다.
3. 따라서 같은 dP에 대해 면적 요소 VdP도 k가 클수록 커진다.
4. 등온압축은 $k = 1$, 폴리트로픽압축은 $k = n$, 단열압축은 $k = m$이며 $1 < n < m$이므로 |W|_등온<|W|_폴리<|W|_단열이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 등온압축은 압축 중 열이 빠져나가 기체 온도 상승이 억제되므로 같은 압력범위에서 필요한 일의 크기가 가장 작다. 그다음은 폴리트로픽압축이고, 열교환이 없는 단열압축이 가장 큰 일 입력을 요구하므로 배열이 맞다.
② X: "폴리트로픽압축, 단열압축, 등온압축"이라고 한 순서가 틀리다. 등온압축을 가장 뒤에 둔 부분이 잘못되었고, 올바르게는 "등온압축, 폴리트로픽압축, 단열압축"이다.
③ X: "단열압축, 등온압축, 폴리트로픽압축"이라고 한 순서가 틀리다. 단열압축을 가장 작은 일로 둔 부분이 잘못되었고, 올바르게는 단열압축이 가장 큰 일이다.
④ X: "등온압축, 단열압축, 폴리트로픽압축"이라고 한 순서가 틀리다. 앞의 등온압축은 맞지만 단열압축과 폴리트로픽압축의 순서가 뒤바뀌었고, 올바르게는 "등온압축, 폴리트로픽압축, 단열압축"이다.

오답 포인트

닫힌계의 $\int PdV$와 정상류 압축기의 $\int VdP$를 혼동하면 순서를 반대로 판단하기 쉽다. 또한 단열압축은 열이 빠져나가지 않으므로 압축 중 온도와 비체적 변화가 더 커져 일 입력이 가장 커진다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

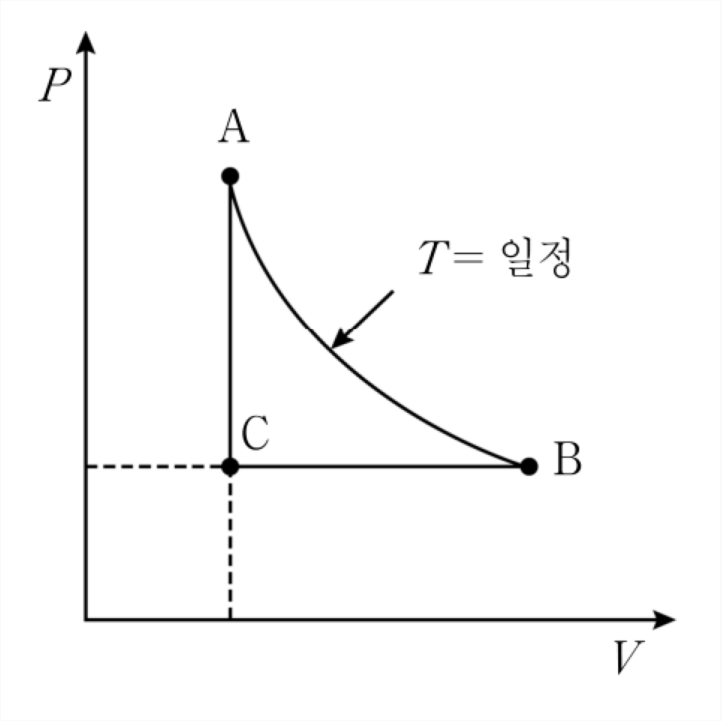
압축 일의 크기 비교 문제는 먼저 정상류 가역 압축기에서 $|W| = \int VdP$를 떠올린다. 그다음 같은 압력에서 어떤 공정의 V가 더 크게 유지되는지를 비교하면 일의 크기 순서를 바로 정할 수 있다.

암기 포인트

같은 압력비 압축에서는 열을 많이 버릴수록 일 입력이 작고, 열을 못 버릴수록 일 입력이 크다. 따라서 등온 < 폴리트로픽 < 단열이다.

NoteBase

문 19. 어떤 닫힌 계의 압력(P) - 부피(V) 선도에서 단분자 이상기체의 가역공정에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, T는 온도이고, 단분자 이상기체의 정적열용량과 정압열용량은 서로 다른 상수값을 갖는다)



① A→B 경로에 대한 내부에너지 변화량은 0이다.

② B→C 경로를 거치면 온도가 감소한다.

③ C→A 경로에 대한 엔탈피 변화량은 정적열용량과 온도차의 곱이다.

④ A→C 경로에 대한 엔탈피 변화량과 B→C 경로에 대한 엔탈피 변화량은 같다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 P-V 선도에서 등온 과정, 등압 과정, 등적 과정과 이상기체의 상태함수 관계를 연결해 ΔU와 ΔH가 무엇에 의해 결정되는지를 묻는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

1번 O: A→B는 그림에 T 일정으로 표시된 가역 등온과정이다. 이상기체의 내부에너지는 온도만의 함수이므로 $\Delta T = 0$이면 $\Delta U = 0$이다.
2번 O: B→C는 수평선이므로 등압과정이고, 부피가 B에서 C로 감소한다. 이상기체에서 $PV = nRT$이므로 압력이 일정할 때 부피가 감소하면 온도도 감소한다.
3번 X: 틀린 표현은 "엔탈피 변화량은 정적열용량과 온도차의 곱"이다. 이상기체의 엔탈피 변화량은 경로와 무관하게 $\Delta H = nC_P\Delta T$로 주어지므로, C→A가 등적과정이어도 C_V가 아니라 C_P를 써야 한다.
4번 O: A와 B는 같은 등온선 위에 있으므로 온도가 같다. 엔탈피는 이상기체에서 온도만의 함수이므로 $H_A = H_B$이고, 따라서 A→C의 엔탈피 변화량과 B→C의 엔탈피 변화량은 모두 H_C-H_초기로서 서로 같다.

오답 포인트

3번은 C→A가 등적과정이라는 사실 때문에 ΔH에도 C_V를 적용하기 쉽다는 점이 함정이다. 등적이면 $q = nC_V\Delta T$, $\Delta U = nC_V\Delta T$가 성립하지만, 엔탈피 변화는 항상 $nC_P\Delta T$로 판단해야 한다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 과정문제는 먼저 선도에서 등온·등압·등적 여부를 읽고, 다음에 상태함수별 의존 변수를 구분하면 된다. ΔU와 ΔH는 온도만, 일과 열은 경로까지 함께 본다고 정리하면 선지 판단이 빨라진다.

암기 포인트

이상기체는 $\Delta U = nC_V\Delta T$, $\Delta H = nC_P\Delta T$이고, 등온이면 $\Delta U = \Delta H = 0$이다.

NoteBase

문 20. 300 K의 물 1 g에 대한 $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$의 계산값 $[cm^3]$은? (단, 300 K에서 물의 $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = 2 \times 10^{-4} cm^3 K^{-1}$ 이고, 밀도는 $1 g cm^{-3}$이며, H는 엔탈피, P는 압력, T는 온도, V는 부피이다)

① 0.94

② 0.99

③ 1.06

④ 1.24

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 엔탈피의 압력 미분식 $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$를 이용해 $300K$에서 물 $1g$의 $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 $T = 300K$, $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = 2 \times 10^{-4} cm^3/K$, 밀도 $\rho = 1 g/cm^3$이다.
물의 질량이 $1g$이므로 부피는 $V = \frac{1g}{1 g/cm^3} = 1 cm^3$이다.
구해야 할 값은 $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$이며, 단위는 cm^3이다.

사용할 공식

$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$
이 식은 엔탈피의 미분형에서 온도를 일정하게 둘 때 바로 얻는 관계식이므로, 문제에서 준 V, T, $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$를 그대로 대입하면 된다.

계산 과정

1. 밀도로부터 물 $1g$의 부피를 구하면 $V = 1 cm^3$이다.
2. 온도항을 계산하면 $T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = 300 \times 2 \times 10^{-4} = 0.06 cm^3$이다.
3. 따라서 $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T = 1 - 0.06 = 0.94 cm^3$이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 계산 결과가 $0.94cm^3$이므로 옳다.
② X: $0.99cm^3$는 주어진 $T=300K$와 $2\times10^{-4}cm^3/K$를 정확히 곱했을 때 나오는 값이 아니다. 틀린 표현은 계산값을 $0.99cm^3$로 본 점이며, 올바르게는 $0.94cm^3$이다.
③ X: $1.06cm^3$는 $V-T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$에서 부호를 반대로 써서 더한 값이다. 틀린 표현은 감산해야 할 항을 가산한 점이며, 올바르게는 $1-0.06=0.94cm^3$이다.
④ X: $1.24cm^3$는 주어진 조건을 대입한 결과와 전혀 맞지 않는다. 틀린 표현은 문제의 수치와 관계없는 값을 계산값으로 본 점이며, 올바르게는 $0.94cm^3$이다.

오답 포인트

밀도에서 바로 $V=1cm^3$를 구하지 못하거나, $V-T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$의 마이너스 부호를 놓치면 오답이 나온다. 특히 $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ 앞의 온도 T를 곱한 뒤 빼야 한다는 점이 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이 유형은 먼저 밀도에서 실제 부피 V를 구한 뒤, $\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T$ 관계식에 대입해 부호까지 확인하면서 계산하면 된다. 계산형 열역학 문제는 조건 정리, 공식 선택, 수치 대입, 부호 검산의 순서로 판단하면 흔들리지 않는다.

암기 포인트

$\left(\frac{\partial H}{\partial P}\right)_T=V-T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$이며, 물처럼 $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P>0$인 경우에는 V에서 그 온도항만큼 빼 준다.

NoteBase