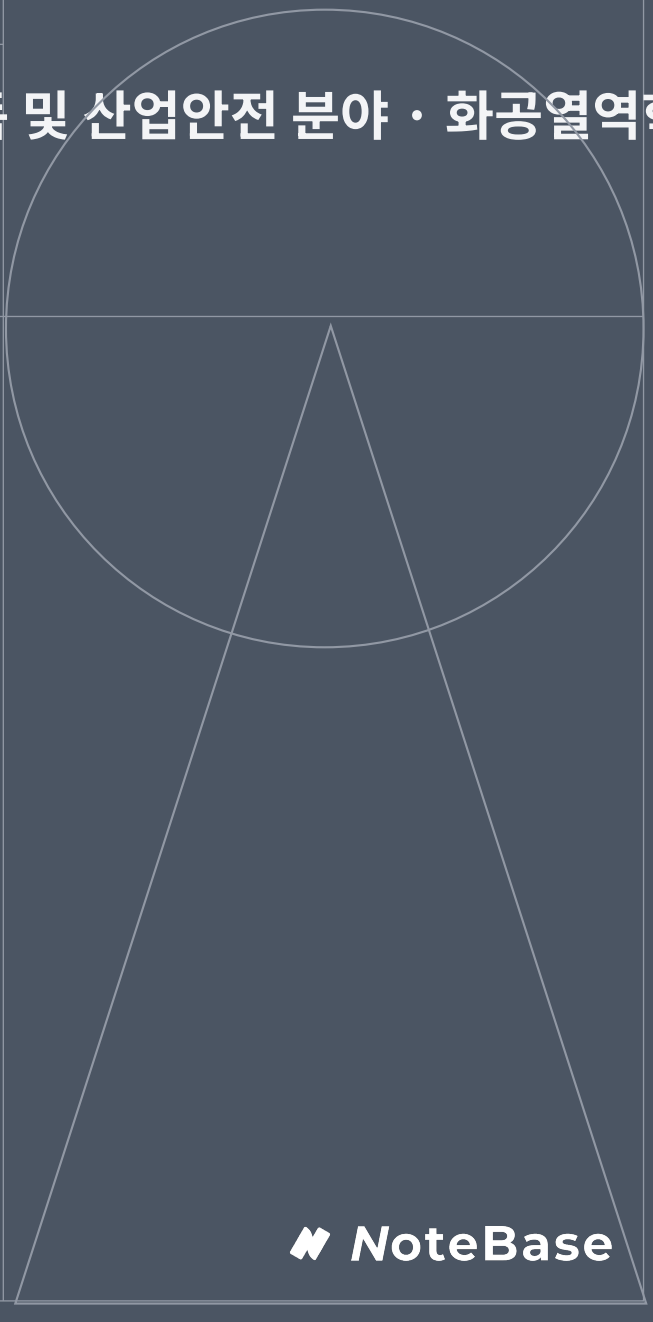
기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 화공열역학 · 2



NoteBase

기출OX 해설집

공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 화공열역학 · 2025 · 2차

공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 화공열역학 · 2025 · 2차

문 1. 가역공정에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 마찰이 없다.

② 연속적으로 일련의 평형상태를 거쳐 진행된다.

③ 외부 조건의 미소 변화에 의해 공정의 방향이 반전될 수 있다.

④ 팽창에서 가장 작은 크기의 일을 생산하고, 압축에서 가장 큰 크기의 일을 소비한다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 가역공정의 성립 조건과 가역팽창·가역압축에서의 일의 극값 관계를 묻는 문제이다.

핵심 개념

가역공정은 계와 주위가 무한소 차이로 연속적인 평형상태를 거치며 진행되어, 외부 조건을 미소하게 바꾸면 반대 방향으로 되돌릴 수 있는 이상적인 공정이다.
가역공정의 핵심 키워드는 무마찰, 준정적 진행, 미소 구동력, 일의 극값이다.
일의 극값 관계는 가역팽창에서 최대 일 생성, 가역압축에서 최소 일 소모이다.

NoteBase

선지별 해설

① O
마찰이 없다는 것은 가역공정의 기본 조건이다. 마찰이 있으면 에너지 손실이 생겨 같은 경로로 정확히 되돌릴 수 없으므로 비가역성이 발생한다.

② O
가역공정은 연속적인 평형상태의 열을 따라 매우 천천히 진행되는 준정적 공정으로 본다. 따라서 일련의 평형상태를 거친다는 설명은 옳다.

③ O
가역공정은 외부 압력이나 온도 같은 조건을 무한소만큼 바꾸면 진행 방향을 반대로 돌릴 수 있다. 이 가역성 때문에 미소 변화에 의해 공정 방향이 반전될 수 있다는 설명이 성립한다.

④ X
틀린 부분은 "팽창에서 가장 작은 크기의 일을 생산하고, 압축에서 가장 큰 크기의 일을 소비한다"는 표현이다. 가역공정은 같은 초기상태와 최종상태 사이에서 팽창 시 최대 일을 생산하고, 압축 시 최소 일을 소비한다. 따라서 이 선지는 가역공정의 일의 극값 관계를 반대로 서술했으므로 옳지 않다.

오답 포인트

④는 가역공정의 대표 성질을 정반대로 뒤집어 놓은 선지이다. 수험생이 가역공정이 가장 이상적인 공정이라는 점은 기억하면서도, 팽창과 압축에서 일의 크기 방향을 혼동하면 ④를 맞는 설명으로 오인하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

가역공정 문제에서는 먼저 무마찰·준정적·미소 변화에 의한 역전 가능성을 확인한 뒤, 일의 크기는 "팽창 최대, 압축 최소"인지 바로 대조하면 된다.

암기 포인트

가역공정은 무마찰·준정적·역전 가능, 일은 팽창 최대·압축 최소이다.

NoteBase

문 2. 수행하는 공정의 경로와 계의 크기에 모두 무관한 열역학적 성질로만 묶은 것은?

① 부피, 압력, 일

② 밀도, 열, 온도

③ 밀도, 압력, 온도

④ 내부에너지, 열, 온도

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 경로와 무관한 상태량인지, 계의 크기와 무관한 집약성질인지를 동시에 만족하는 성질을 구별하는 문제이다.

핵심 개념

상태량은 현재 상태로만 정해져 공정 경로와 무관한 성질이다.
경로함수는 과정에 따라 값이 달라지는 양으로 열과 일이 대표적이다.
집약성질은 계의 크기와 무관한 성질로 압력, 온도, 밀도가 해당한다.
광역성질은 계의 크기에 비례하는 성질로 부피와 내부에너지가 해당한다.

선지별 해설

① X: 부피는 상태량이지만 계의 크기에 따라 변하는 광역성질이다. 일은 공정 경로에 따라 달라지는 경로함수이다. 틀린 표현은 '부피, ... 일'이며, 올바르게는 집약적 상태량인 '밀도, 압력, 온도'가 되어야 한다.
② X: 밀도와 온도는 집약적 상태량이지만 열은 경로에 따라 결정되는 경로함수이다. 틀린 표현은 '열'이며, 올바르게는 '압력'과 같은 집약적 상태량이 들어가야 한다.
③ O: 밀도, 압력, 온도는 모두 현재 상태로 정해지는 상태량이면서 계의 크기와 무관한 집약성질이다. 발문의 두 조건을 모두 만족한다.
④ X: 내부에너지는 상태량이지만 계의 크기에 따라 증가하는 광역성질이다. 열은 경로함수이다. 틀린 표현은 '내부에너지, 열'이며, 올바르게는 '밀도, 압력, 온도'와 같이 집약적 상태량만 묶어야 한다.

오답 포인트

경로 무관과 크기 무관을 같은 기준으로 혼동하기 쉽다. 부피와 내부에너지는 상태량이라는 이유로 고르기 쉽고, 열과 일은 에너지 전달량이라는 이유로 성질처럼 오인하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

각 항목에 대해 먼저 경로에 따라 달라지는지로 상태량과 경로함수를 가르고, 그다음 계의 크기에 따라 변하는지로 집약성질과 광역성질을 가르면 된다. 두 단계 모두 통과한 항목만 정답 후보가 된다.

NoteBase

암기 포인트

경로 무관은 상태량, 크기 무관은 집약성질이며 압력·온도·밀도는 둘 다 만족한다.

NoteBase

문 3. 이상기체에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, P, V, T, U, H, R은 각각 압력, 몰부피, 온도, 몰내부에너지, 몰엔탈피, 기체상수이다)

ㄱ. 실제기체는 압력이 0에 근접하고 온도는 무한대에 접근할 때 이상기체 상태방정식을 따른다.
ㄴ. 분자 간에 작용하는 힘이 없어 몰내부에너지는 온도에만 의존한다.
ㄷ. 정적 열용량과 정압 열용량의 정의는 각각 $C_V \equiv \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$, $C_P \equiv \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P$이며, 동일 기체의 정적 열용량은 정압 열용량보다 R만큼 크다.
ㄹ. 정적 열용량은 온도와 압력의 함수이다.

① ㄱ, ㄴ
② ㄱ, ㄷ
③ ㄴ, ㄷ
④ ㄷ, ㄹ

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 성질, 이상기체의 내부에너지와 엔탈피의 온도의존성, 그리고 열용량 관계 $C_P - C_V = R$을 함께 묻는 문제이다.

핵심 개념

이상기체는 분자 간 상호작용과 분자 자체 부피를 무시하는 모델이어서 저압·고온으로 갈수록 실제기체가 이상기체에 가까워진다.
이상기체에서는 몰내부에너지 U와 몰엔탈피 H가 온도 T만의 함수이므로 $C_V = (\partial U/\partial T)_V$, $C_P = (\partial H/\partial T)_P$도 온도에 의해 정해진다.
또한 이상기체의 열용량 관계는 $C_P = C_V + R$이므로 정압 열용량이 정적 열용량보다 R만큼 크다.

NoteBase

선지별 해설

① O
ㄱ은 옳다. 실제기체는 압력이 낮고 온도가 높을수록 분자 간 인력과 분자 부피의 영향이 작아져 이상기체 상태방정식 $PV = RT$에 가까워진다.
ㄴ도 옳다. 이상기체는 분자 간 퍼텐셜 에너지를 무시하므로 내부에너지는 분자의 운동에너지에 의해 결정되고, 따라서 U는 온도에만 의존한다.

② X
틀린 부분은 ㄷ을 포함한 점이다.
$C_V = (\partial U/\partial T)_V$, $C_P = (\partial H/\partial T)_P$라는 정의 자체는 옳지만, 같은 기체의 정적 열용량이 정압 열용량보다 R만큼 크다는 서술은 틀리다.
올바르게는 이상기체에서 정압 열용량이 정적 열용량보다 R만큼 크므로 $C_P - C_V = R$이다.

③ X
틀린 부분은 ㄹ을 포함한 점이다.
ㄴ은 옳지만, 이상기체의 정적 열용량이 온도와 압력의 함수라는 서술은 틀리다.
올바르게는 이상기체의 정적 열용량 C_V는 온도의 함수이며 압력에는 직접 의존하지 않는다.

④ X
틀린 부분은 ㄷ과 ㄹ이 모두 포함된 점이다.
ㄷ은 열용량의 대소관계를 반대로 쓴 것이고, ㄹ은 이상기체의 C_V가 압력의 함수라고 잘못 서술한 것이다.
올바르게는 $C_P = C_V + R$이고, 이상기체의 C_V와 C_P는 온도에 의해 정해진다.

오답 포인트

ㄷ에서 식의 정의는 맞고 마지막 비교문장만 틀리므로 앞부분이 익숙하다고 전체를 옳다고 판단하기 쉽다. 또 ㄹ은 일반 유체의 열용량 성질과 이상기체의 열용량 성질을 섞어 압력 의존성을 떠올리면 잘못 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체 문항에서는 먼저 U와 H가 온도만의 함수인지 확인하고, 그다음 열용량 관계를 $C_P - C_V = R$로 바로 대조하면 된다. 마지막으로 보기 조합형 문항에서는 각 진술의 O/X를 먼저 확정한 뒤 조합을 고르면 된다.

암기 포인트

이상기체는 저압·고온, U와 H는 온도만, 열용량은 $C_P = C_V + R$이다.

NoteBase

문 4. 열역학 제1법칙에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면?

ㄱ. 에너지는 창조될 수도 없고 파괴될 수도 없다.
ㄴ. 닫힌계의 총에너지 변화는 열과 일의 형태로 계에 전달된 순 에너지와 같다.
ㄷ. 에너지는 항상 열의 형태로만 이동된다.
ㄹ. 임의의 계와 그 주위의 총에너지는 보존된다.

① ㄱ, ㄷ
② ㄴ, ㄹ
③ ㄱ, ㄴ, ㄹ
④ ㄱ, ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열역학 제1법칙의 핵심 문장인 에너지 보존, 닫힌계의 에너지 수지, 열과 일의 전달 형태를 구분할 수 있는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

열역학 제1법칙은 에너지가 생성되거나 소멸되지 않고 형태만 바뀐다는 보존 법칙이다.
닫힌계는 질량 출입은 없지만 열과 일의 형태로 에너지를 주고받을 수 있는 계이다.
열은 온도차에 의한 에너지 전달이고, 일은 경계 이동·축일 등 열 이외의 방식에 의한 에너지 전달이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- ①은 ㄱ, ㄷ의 조합이다.
- ㄱ은 맞다. 에너지는 창조되거나 파괴되지 않고 다른 형태로 전환될 뿐이다.
- ㄷ은 틀리다. 에너지는 열로만 이동하는 것이 아니라 일의 형태로도 이동한다.
- 틀린 부분은 ㄷ을 포함한 점이다. 올바르게는 "에너지는 열 또는 일의 형태로 전달될 수 있다"이다.

② X
- ②는 ㄴ, ㄹ의 조합이다.
- ㄴ은 맞다. 닫힌계의 총에너지 변화는 계로 들어온 열과 일의 순전달량과 대응한다.
- ㄹ도 맞다. 계와 주위를 합한 전체의 총에너지는 보존된다.
- 그러나 옳은 진술인 ㄱ이 빠져 있다. 두 진술 모두 옳더라도 옳은 것을 모두 고르지 못한 불완전한 조합이므로 오답이다. 올바른 조합은 "ㄱ, ㄴ, ㄹ"이다.

③ O
- ③은 ㄱ, ㄴ, ㄹ의 조합이다.
- ㄱ은 에너지 보존의 일반 진술로 옳다.
- ㄴ은 닫힌계에 대한 제1법칙 진술로 옳다.
- ㄹ은 계와 주위를 포함한 전체의 총에너지가 보존된다는 뜻이므로 옳다.
- 따라서 옳은 것만 모두 고른 조합은 ③이다.

④ X
- ④는 ㄱ, ㄷ, ㄹ의 조합이다.
- ㄱ과 ㄹ은 옳지만, ㄷ이 틀리므로 전체 조합은 틀리다.
- 또한 옳은 진술인 ㄴ이 빠져 있다.
- 틀린 부분은 ㄷ을 포함하고 ㄴ을 누락한 점이다. 올바른 조합은 "ㄱ, ㄴ, ㄹ"이다.

오답 포인트

ㄷ의 "항상"과 "열의 형태로만"이 함정이다. 제1법칙을 에너지 보존으로만 외우면 열과 일을 구분하지 못해 ㄷ을 맞는 진술처럼 보기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

제1법칙 문항에서는 먼저 에너지 보존 여부를 확인하고, 다음으로 에너지 전달 방식이 열만인지 열과 일 모두인지를 본다. 닫힌계라고 해서 일이 사라지는 것은 아니므로 열과 일의 두 경로를 함께 점검하면 된다.

NoteBase

암기 포인트

제1법칙은 에너지 보존, 닫힌계 에너지 변화는 열과 일의 수지이다.

NoteBase

문 5. 열역학 제2법칙에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

① 외부의 도움 없이 열은 저온체에서 고온체로 흐르지 않는다. (단, 반응은 일어나지 않는다고 가정한다)

② 고립계(isolated system)의 엔트로피는 일정할 수 있다.

③ 고온 열저장고와 저온 열저장고 사이에서 작동하는 실제 열기관의 열효율은 같은 조건에서 작동하는 카르노(Carnot) 열기관의 열효율을 초과할 수 있다.

④ 비가역 공정에서는 우주의 엔트로피가 증가한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 열역학 제2법칙의 핵심 귀결인 자연적인 열의 흐름, 고립계 엔트로피 변화, 카르노 열기관의 최대 효율을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

열역학 제2법칙은 자연 과정의 방향성과 에너지 질의 한계를 설명하는 법칙이다.
자연적인 열전달은 외부 일이 없으면 고온에서 저온으로만 진행된다.
고립계의 엔트로피는 비가역 과정에서 증가하고, 가역 과정이거나 변화가 없는 상태에서는 일정할 수 있다.
카르노 열기관은 같은 두 열저장고 사이에서 작동하는 모든 열기관이 도달할 수 있는 최대 열효율의 기준이다.

선지별 해설

① O: 외부의 도움 없이 열이 저온체에서 고온체로 이동하지 않는다는 것은 클라우지우스 진술에 해당한다. 반응이 없다고 가정하면 자발적인 열전달 방향은 고온체에서 저온체뿐이므로 옳다.
② O: 고립계의 엔트로피는 감소할 수 없지만, 가역 과정이거나 이미 평형 상태이면 증가하지 않고 일정할 수 있다. 따라서 "일정할 수 있다"는 표현은 옳다.
③ X: 틀린 부분은 "카르노 열기관의 열효율을 초과할 수 있다"는 표현이다. 실제로는 같은 고온 열저장고와 저온 열저장고 사이에서 작동하는 실제 열기관의 열효율은 카르노 열기관의 열효율보다 항상 작거나 같고, 이를 초과할 수 없다.
④ O: 비가역 공정에서는 엔트로피 생성이 발생하므로 계와 주위를 합한 우주의 엔트로피가 증가한다. 이는 제2법칙의 대표적인 서술이므로 옳다.

오답 포인트

③에서 실제 열기관과 카르노 열기관의 관계를 거꾸로 외우면 틀린다. 카르노 열기관은 현실 장치의 한 예가 아니라 같은 온도 조건에서 가능한 최대 효율의 상한이다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

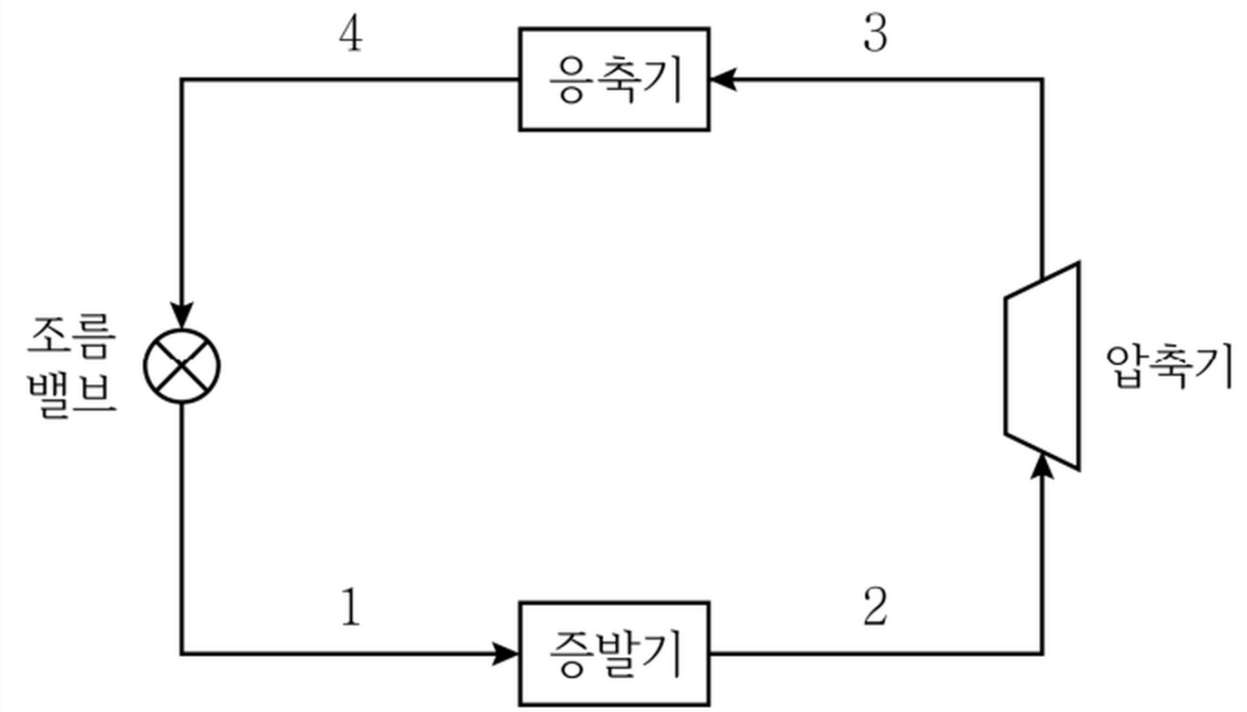
제2법칙 문제는 먼저 발문이 "옳지 않은 것"인지 확인한 뒤, 열의 자연 방향, 고립계 엔트로피의 증감 가능 범위, 카르노 효율이 최대인지 여부를 차례로 대조하면 판단할 수 있다.

암기 포인트

제2법칙은 열은 저온에서 고온으로 저절로 가지 않고, 고립계 엔트로피는 감소하지 않으며, 카르노 효율은 넘을 수 없는 상한이라는 점으로 정리된다.

NoteBase

문 6. 그림과 같이 작동하는 실제 증기-압축 냉동 사이클에 대한 설명으로 옳은 것은? (단, 정상상태로 작동되며, 운동에너지 및 위치에너지의 변화는 없다. 장치 사이의 배관에서 압력 강하와 열전달은 무시한다)



① 압축기(2→3)에서 등엔트로피 공정을 거쳐 증기상의 냉매가 압축된다.

② 증발기(1→2)에서 액체상의 냉매가 열을 흡수하며 기화되어 온도가 감소한다.

③ 응축기(3→4)에서 비가역적인 공정에 의해 냉매의 엔트로피가 증가한다.

④ 조름밸브(throttling valve)(4→1)에서 냉매의 줄-톰슨(Joule-Thomson) 계수는 양수이다.

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 실제 증기-압축 냉동 사이클의 각 장치에서 일어나는 상태 변화와 엔트로피, 온도, 줄-톰슨 계수의 의미를 정확히 구분하는지를 묻는 문제이다.

선지별 해설 ①

X이다. 압축기(2→3)에서 증기 냉매가 압축된다는 점은 맞지만, 문제는 실제 증기-압축 냉동 사이클을 묻고 있으므로 압축은 비가역적이어서 등엔트로피 공정이 아니다. 틀린 표현은 '등엔트로피 공정'이며, 올바르게는 '실제 압축기에서는 엔트로피가 증가하는 비등엔트로피 압축이 일어난다'이다.

NoteBase

선지별 해설 ②

X이다. 증발기(1→2)에서 냉매가 열을 흡수하며 기화하는 방향은 맞지만, 조름밸브를 지난 1점의 냉매는 보통 저온 저압의 액-증기 혼합상이고, 증발 과정의 온도는 대체로 거의 일정하다. 틀린 표현은 '액체상의 냉매'와 '온도가 감소한다'이며, 올바르게는 '저온 저압의 액-증기 혼합 냉매가 열을 흡수하며 기화하고 온도는 거의 일정하다'이다.

선지별 해설 ③

X이다. 응축기(3→4)에서는 냉매가 외부로 열을 방출하며 응축되므로 냉매의 엔트로피는 일반적으로 감소한다. 비가역성이 있다고 해서 항상 계의 엔트로피가 증가하는 것은 아니며, 열 방출 효과가 더 크게 작용한다. 틀린 표현은 '엔트로피가 증가한다'이며, 올바르게는 '응축기에서는 열을 방출하며 엔트로피가 감소한다'이다.

선지별 해설 ④

O이다. 조름밸브(4→1)는 일과 열교환이 거의 없는 등엔탈피 과정이며, 실제 냉동용 냉매는 이 구간에서 압력이 떨어질 때 온도도 함께 내려가도록 운전된다. 줄-톰슨 계수 $\mu_{JT} = (\partial T/\partial P)_H$가 양수이면 압력 강하에 따라 온도가 감소하므로 이 선지는 옳다.

오답 포인트

이 문제의 함정은 이상 사이클과 실제 사이클을 혼동하는 데 있다. ①은 압축기를 이상적인 등엔트로피 압축으로 바꾸어 놓았고, ②는 증발기의 상변화와 온도 변화를 잘못 묶었으며, ③은 비가역성이라는 말만 보고 엔트로피 증가로 단정하게 만든 선지이다.

다시 나오면 이렇게 판단

증기-압축 냉동 사이클 문제는 먼저 장치별 핵심 과정부터 대응시키면 된다. 압축기에서는 실제 비등엔트로피 압축, 응축기에서는 열 방출과 엔트로피 감소, 조름밸브에서는 등엔탈피 팽창, 증발기에서는 열 흡수와 기화를 기준으로 선지를 판별하면 된다.

암기 포인트

실제 냉동사이클은 압축기 비등엔트로피, 응축기 열방출, 조름밸브 등엔탈피, 증발기 열흡수로 정리된다.

NoteBase

문 7. 랭킨(Rankine) 순환공정으로 운전되는 수증기 동력 발전소의 보일러에 공급되는 열이 $3{,}000\text{kJkg}^{-1}$이다. 터빈이 생산하는 일이 $1{,}200\text{kJkg}^{-1}$이고 펌프가 소비하는 일이 60kJkg^{-1}일 때, 이 발전소의 열효율[%]은?

① 36

② 38

③ 40

④ 42

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 랭킨 순환의 열효율을 순일과 보일러 공급열의 비로 계산할 수 있는지를 묻는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 보일러 공급열 3,000 kJ/kg, 터빈 일 1,200 kJ/kg, 펌프 소요일 60 kJ/kg이다.
구해야 할 값: 발전소의 열효율이다.
주의할 조건: 열효율은 터빈 일만이 아니라 순일을 사용하므로 펌프 일을 빼야 한다.

사용할 공식

열효율은 $\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} \times 100 = \frac{W_t - W_p}{Q_{in}} \times 100$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 랭킨 순환의 열효율은 보일러에서 받은 열에 대해 실제로 외부에 내보낸 순일의 비이기 때문이다.

계산 과정

1. 순일은 $W_{net} = W_t - W_p = 1200 - 60 = 1140\text{kJ/kg}$이다.
2. 열효율은 $\eta = \frac{1140}{3000} \times 100$이다.
3. 따라서 $\eta = 38\%$이다.

선지 판단

① X: 36%는 계산된 열효율 38%와 다르다. 올바른 값은 38%이다.
② O: 순일 1,140 kJ/kg를 공급열 3,000 kJ/kg로 나누면 38%이므로 맞다.
③ X: 40%는 1200/3000 × 100으로 펌프 일을 빼지 않고 터빈 일만 사용했을 때 나오는 값이다. 올바르게는 펌프 일 60 kJ/kg를 뺀 뒤 38%가 된다.
④ X: 42%는 펌프 일을 빼야 하는데 오히려 더했거나 순일 개념을 잘못 적용한 값이다. 올바른 값은 38%이다.

NoteBase

오답 포인트

랭킨 순환에서 열효율을 구할 때 터빈 출력만 보고 바로 나누면 ③처럼 40%를 고르기 쉽다. 이 문제의 함정은 펌프 일이 작더라도 반드시 순일 계산에 반영해야 한다는 점이다.

다시 나오면 이렇게 판단

증기동력 사이클 효율 문제는 먼저 순일인지 터빈 일인지 구분한 뒤, $W_{net} = W_t - W_p$를 만든 다음 $\eta = W_{net}/Q_{in}$ 순서로 계산하면 된다.

암기 포인트

랭킨 순환 열효율은 터빈 일이 아니라 순일 나누기 공급열이다.

NoteBase

문 8. 카르노(Carnot) 냉동기의 저온부(증발기)에서 흡수한 열은 19.5 kJ이며, 계에 가해진 알짜 일(net work)은 3 kJ이다. 저온부의 온도가 260 K일 때, 고온부(응축기)의 온도[K]는?

① 280

② 300

③ 320

④ 340

정답 2번

출제 포인트

카르노 냉동기의 성능계수 COP_R와 온도 관계 $COP_R = T_L/(T_H - T_L)$를 이용해 고온부 온도를 구하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: 저온부에서 흡수한 열 $Q_L = 19.5kJ$, 계에 가해진 알짜 일 $W = 3kJ$, 저온부 온도 $T_L = 260K$이다.
- 구해야 할 값: 고온부 온도 T_H이다.
- 주의할 조건: 카르노 냉동기이므로 성능계수는 절대온도 관계를 그대로 따른다.

사용할 공식

$COP_R = \frac{Q_L}{W} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$

이 공식을 쓰는 이유는 카르노 냉동기의 성능계수가 저온부에서 빼앗은 열과 입력 일의 비이면서, 동시에 두 열원 온도의 함수로 정해지기 때문이다.

계산 과정

1. 먼저 냉동기의 성능계수를 구한다.

$COP_R = \frac{Q_L}{W} = \frac{19.5}{3} = 6.5$

2. 카르노 냉동기 관계식에 대입한다.

$6.5 = \frac{260}{T_H - 260}$

3. 이를 정리하면

$T_H - 260 = \frac{260}{6.5} = 40$

따라서

$T_H = 300K$

NoteBase

선지 판단

① X

280 K이면 $COP_R = 260/(280 - 260) = 13$이 되어 주어진 $Q_L/W = 6.5$와 맞지 않는다. 틀린 표현은 '280 K'이며 올바르게는 300 K이다.

② O

$COP_R = 6.5$를 온도식에 대입하면 $T_H = 300K$가 나온다. 주어진 조건과 일치하므로 옳다.

③ X

320 K이면 $COP_R = 260/(320 - 260) \approx 4.33$이 되어 성능계수가 작아진다. 틀린 표현은 '320 K'이며 올바르게는 300 K이다.

④ X

340 K이면 $COP_R = 260/(340 - 260) = 3.25$가 되어 역시 주어진 값과 다르다. 틀린 표현은 '340 K'이며 올바르게는 300 K이다.

오답 포인트

냉동기 문제에서 열기관 효율식 $\eta = 1 - T_L/T_H$를 잘못 쓰거나, $COP_R = Q_L/W$ 대신 Q_H/W를 넣으면 오답이 나온다. 또한 절대온도 관계를 쓰는 문제이므로 섭씨 개념으로 접근하면 판단이 흐려진다.

다시 나오면 이렇게 판단

카르노 냉동기 문항은 먼저 $COP_R = Q_L/W$로 수치값을 구한 뒤, 카르노 관계식 $COP_R = T_L/(T_H - T_L)$에 대입해 미지 온도를 정하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

카르노 냉동기는 $COP_R = T_L/(T_H - T_L)$이고, 냉동기의 성능계수와 열기관의 효율식은 서로 다른 식이다.

NoteBase

문 9. 닫힌계에서 순수 물질의 증기상과 액체상이 일정한 온도와 압력에서 상평형을 이루고 있다. 포화증기의 비엔트로피가 7.5 $kJkg^{-1}K^{-1}$이며, 포화액체의 비엔트로피는 1.5 $kJkg^{-1}K^{-1}$이다. 계 전체의 비엔트로피가 6.0 $kJkg^{-1}K^{-1}$일 때, 증기의 질량은 액체의 질량의 몇 배인가?

① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 습증기 혼합물의 평균 비엔트로피 관계식으로 건도를 구한 뒤 증기 질량과 액체 질량의 비를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 포화증기 비엔트로피 $s_g = 7.5\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, 포화액체 비엔트로피 $s_f = 1.5\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$, 계 전체 비엔트로피 $s = 6.0\text{kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$이다.
구해야 할 값: 증기 질량과 액체 질량의 비 m_g/m_f이다.
주의할 조건: 전체 비엔트로피로 먼저 건도 x를 구하고, 건도 자체가 아니라 질량비 $x/(1-x)$로 바꾸어야 한다.

사용할 공식

습증기 혼합물의 평균 비엔트로피는 $s = s_f + x(s_g - s_f)$이다.
또한 건도는 $x = \frac{m_g}{m_g + m_f}$이므로 질량비는 $\frac{m_g}{m_f} = \frac{x}{1-x}$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 포화액체와 포화증기가 상평형으로 공존하는 2상 혼합물이므로 전체 비엔트로피가 포화액체 값과 포화증기 값 사이에서 건도에 따라 선형적으로 결정되기 때문이다.

계산 과정

$x = \frac{s - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.0 - 1.5}{7.5 - 1.5} = \frac{4.5}{6.0} = 0.75$
따라서 건도는 0.75이다.
$\frac{m_g}{m_f} = \frac{x}{1-x} = \frac{0.75}{0.25} = 3$
증기의 질량은 액체 질량의 3배이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
- 계산 결과 질량비는 2가 아니라 3이다.
- 2배라는 값은 건도를 질량비로 바꾸는 단계에서 $m_g/m_f = x/(1-x)$를 적용하지 못하고 비를 잘못 옮길 때 나오는 오답이다.
- 올바르게는 증기의 질량은 액체 질량의 3배이다.

② O
- 전체 비엔트로피로 구한 건도는 0.75이고, 이를 질량비로 바꾸면 0.75/0.25 = 3이 된다.
- 따라서 증기의 질량은 액체 질량의 3배이므로 옳다.

③ X
- 계산 결과 질량비는 4가 아니라 3이다.
- 4배라는 값은 건도 0.75를 분모 없이 과대 해석하거나 혼합물 평균식의 차이를 잘못 계산할 때 생기는 오답이다.
- 올바르게는 증기의 질량은 액체 질량의 3배이다.

④ X
- 계산 결과 질량비는 5가 아니라 3이다.
- 5배라는 값은 전체 비엔트로피와 포화액체 비엔트로피의 차이만 보고 나머지 변환식을 생략할 때 생기는 오답이다.
- 올바르게는 증기의 질량은 액체 질량의 3배이다.

오답 포인트

가장 흔한 함정은 건도 x와 증기 대 액체의 질량비 m_g/m_f를 같은 값으로 보는 실수이다. 이 문제에서는 $x = 0.75$가 바로 정답이 아니라, 이를 다시 $x/(1-x)$로 바꾸어야 3배가 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

포화액체와 포화증기가 함께 주어지면 먼저 평균 물성식으로 건도 x를 구하고, 물은 값이 질량분율인지 질량비인지 발문을 다시 확인한다. 발문이 몇 배인지를 묻는다면 마지막에 반드시 $x/(1-x)$ 또는 $(1-x)/x$ 형태로 변환해 검산한다.

암기 포인트

2상 혼합물 물성은 평균식으로 건도를 구하고, 증기 대 액체 질량비는 $x : (1-x)$로 바꾼다.

NoteBase

문 10. 다음 메테인(methane)의 수증기 개질반응에서 600 K에서의 평형상수는 300 K에서의 평형상수의 두 배일 때, 반응의 평형 전환율을 높이기 위한 온도와 압력의 변화를 바르게 연결한 것은? (단, 반응의 표준 엔탈피 변화는 온도와 무관하며, 부반응은 일어나지 않는다. 온도가 변할 때는 압력은 고정되고, 압력이 변할 때는 온도는 고정된다)

$CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$

① 온도: 증가, 압력: 증가

② 온도: 증가, 압력: 감소

③ 온도: 감소, 압력: 증가

④ 온도: 감소, 압력: 감소

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 평형상수의 온도의존성으로 반응의 흡열·발열성을 판단하고, 기체 몰수 변화로 압력 변화가 평형 전환율에 미치는 영향을 구분하는 문제이다.

핵심 개념

평형상수 K는 온도에 따라 변하며, 온도가 올라갈수록 K가 커지면 정반응은 흡열반응이다.
압력 변화는 K 자체를 바꾸지 않지만, 기체 몰수가 더 적은 쪽 또는 더 많은 쪽으로 평형 조성을 이동시킨다.
이 반응은 $CH_4(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO(g) + 3H_2(g)$이므로 좌변 기체 몰수는 2, 우변 기체 몰수는 4이다.

NoteBase

선지별 해설

① X
온도 증가는 맞다. 600 K에서의 평형상수가 300 K에서보다 크므로 온도가 올라갈수록 정반응이 유리한 흡열반응이다.
틀린 부분은 압력 증가이다. 이 반응은 생성물 쪽의 기체 몰수가 더 많으므로 압력을 높이면 몰수가 더 적은 반응물 쪽으로 평형이 이동한다. 올바르게는 압력 감소이다.

② O
온도 증가는 정반응의 평형상수를 키우므로 평형 전환율을 높인다.
압력 감소는 기체 몰수가 더 많은 생성물 쪽을 유리하게 하므로 정반응 전환율을 높인다.

③ X
틀린 부분은 온도 감소이다. 이 반응은 온도가 올라갈수록 K가 커지므로 올바르게는 온도 증가이다.
또한 압력 증가도 틀리다. 올바르게는 생성물 쪽 4몰을 유리하게 하는 압력 감소이다.

④ X
압력 감소는 맞다. 그러나 틀린 부분은 온도 감소이다. 평형상수가 온도 상승에 따라 증가하므로 올바르게는 온도 증가이다.

오답 포인트

평형상수가 커진다는 정보와 압력 변화의 영향을 서로 섞어 판단하면 틀리기 쉽다. ①과 ④는 한 조건만 맞는 반쪽짜리 선지이고, 특히 ①은 온도 판단이 맞아서 정답처럼 보이기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 온도 변화에 따라 K가 커지는지 작아지는지로 정반응의 흡열·발열성을 판단한다. 그다음 반응식의 좌우 기체 총몰수를 세어, 압력 감소는 몰수가 많은 쪽을, 압력 증가는 몰수가 적은 쪽을 유리하게 한다고 연결하면 된다.

암기 포인트

온도 상승에 K 증가이면 정반응 흡열, 압력 감소는 기체 몰수 많은 쪽 유리이다.

NoteBase

문 11. 어떤 순수 물질의 압력 P-몰부피 V-온도 T 거동이 다음 반데르발스(van der Waals) 상태방정식을 따를 때, 임계점에서 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$와 $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$의 값을 바르게 연결한 것은? (단, a와 b는 상수이며, R은 기체상수이다)

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

① $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$: 0, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$: 0
② $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$: 0, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$: $2a$
③ $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$: RT, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$: 0
④ $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$: RT, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$: $2a$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 반데르발스 상태방정식에서 임계점이 등온선의 변곡점이라는 성질을 이용해 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$와 $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$의 값을 판단하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$이다.
구해야 할 값은 임계점에서의 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$와 $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$이다.
임계점은 $P-V$ 등온선이 수평 접선을 가지는 변곡점이라는 조건이 핵심이다.

사용할 공식

상태방정식을 V에 대해 미분하면
$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3}$
한 번 더 미분하면
$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = \frac{2RT}{(V-b)^3} - \frac{6a}{V^4}$
이 식들을 쓴 이유는 임계점이 등온선의 변곡점이어서 1차 미분값과 2차 미분값이 모두 0이 되는 점이기 때문이다.

계산 과정

1. 반데르발스 식을 V에 대해 미분해 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T$를 구한다.
2. 다시 한 번 미분해 $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T$를 구한다.
3. 임계점에서는 등온선이 변곡점이므로 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0$, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 0$이다.
4. 두 값을 연결하면 0, 0이므로 정답은 ①이다.

NoteBase

선지별 해설

① O: 임계점은 등온선의 변곡점이므로 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0$이고 $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 0$이다.
② X: 1차 미분값이 0이라는 점은 맞지만 2차 미분값이 $2a$라는 연결이 틀렸다. 틀린 표현은 "$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 2a$"이고, 올바르게는 임계점에서 2차 미분값도 0이다.
③ X: 2차 미분값이 0이라는 점은 맞지만 1차 미분값이 RT라는 연결이 틀렸다. 틀린 표현은 "$\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = RT$"이고, 올바르게는 임계점에서 1차 미분값은 0이다.
④ X: 1차 미분값을 RT, 2차 미분값을 $2a$로 둔 것이 모두 틀렸다. 올바르게는 임계점에서 두 미분값이 모두 0이다.

오답 포인트

임계점의 정의를 수치 대입 문제처럼 오해하면 RT나 a가 식에 들어 있으므로 결과도 그대로 남는다고 착각하기 쉽다. 이 문항의 함정은 미분식을 구하는 데서 끝내지 않고, 임계점에서는 그 미분값 자체가 0이 되어야 한다는 조건을 놓치게 만드는 데 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

임계점이 보이면 먼저 "등온선의 변곡점"을 떠올리고, 곧바로 $\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T = 0$, $\left(\frac{\partial^2 P}{\partial V^2}\right)_T = 0$를 적용하는 방식으로 판단한다. 이후에만 필요한 미분식을 전개하면 된다.

암기 포인트

반데르발스 임계점은 $P - V$ 등온선의 변곡점이므로 1차 미분과 2차 미분이 모두 0이다.

NoteBase

문 12. 닫힌계에서 이상기체 2몰이 아래 두 단계 가역공정을 연속해 모두 거칠 때, 전체 공정에서 계로 전달되는 열[J]은? (단, 기체의 정적 열용량 $C_V = \frac{3}{2}R$이며, 기체상수 $R = 8\text{J}\text{mol}^{-1}\text{K}^{-1}$이다)

공정 1: 온도가 300 K으로 일정하게 유지되며 부피가 20 L에서 40 L로 팽창한다.
공정 2: 부피가 일정하게 유지되며 온도가 300 K에서 500 K으로 증가한다.

① $2{,}400\ln 2 + 2{,}400$
② $2{,}400\ln 2 + 4{,}800$
③ $4{,}800\ln 2 + 2{,}400$
④ $4{,}800\ln 2 + 4{,}800$

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 가역 등온팽창의 열량과 정적가열의 열량을 각각 구한 뒤 전체 열전달량을 합하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값: 이상기체 $n = 2mol$, $R = 8Jmol^{-1}K^{-1}$, $C_V = \frac{3}{2}R$이다.
공정 1: $T = 300K$에서 $V : 20L \rightarrow 40L$인 가역 등온팽창이다.
공정 2: 부피 일정, $T : 300K \rightarrow 500K$인 정적가열이다.
구해야 할 값: 전체 공정에서 계로 전달되는 열 Q_{total}이다.

사용할 공식

공정 1은 이상기체의 가역 등온과정이므로 $\Delta U = 0$이고 $Q_1 = W_1 = nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$이다.
공정 2는 정적과정이므로 $W_2 = 0$이고 $Q_2 = \Delta U_2 = nC_V\Delta T$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 첫 단계는 온도가 일정하여 내부에너지 변화가 없고, 둘째 단계는 부피가 일정하여 경계일이 0이기 때문이다.

계산 과정

공정 1:
$Q_1 = nRT\ln\frac{V_2}{V_1} = 2 \times 8 \times 300 \times \ln\frac{40}{20} = 4800\ln 2J$
공정 2:
$Q_2 = nC_V\Delta T = 2 \times \left(\frac{3}{2} \times 8\right) \times (500 - 300) = 2 \times 12 \times 200 = 4800J$
따라서 전체 열전달량은
$Q_{total} = Q_1 + Q_2 = 4800\ln 2 + 4800J$
이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $2400\ln 2 + 2400$은 두 공정 모두에서 몰수 $n = 2$를 한 번씩 빠뜨린 값이다. 틀린 표현은 전체 열량의 계수가 절반이라는 점이며, 올바르게는 $4800\ln 2 + 4800$이다.
② X: $2400\ln 2 + 4800$은 등온팽창 열량 Q_1 계산에서만 몰수 2를 빠뜨린 값이다. 틀린 표현은 첫 단계 열량이 $2400\ln 2$라는 점이며, 올바르게는 $Q_1 = 4800\ln 2$이다.
③ X: $4800\ln 2 + 2400$은 정적가열 열량 Q_2 계산에서만 몰수 2를 빠뜨린 값이다. 틀린 표현은 둘째 단계 열량이 2400 J라는 점이며, 올바르게는 $Q_2 = 4800J$이다.
④ O: 등온가역팽창에서 $Q_1 = 4800\ln 2J$, 정적가열에서 $Q_2 = 4800J$이므로 전체는 $4800\ln 2 + 4800J$이다.

오답 포인트

등온과정에서는 $\Delta U = 0$이라는 사실만 보고 첫 단계 열량 계산에서 몰수 $n = 2$를 빠뜨리기 쉽다.
정적과정에서는 $Q = nC_V\Delta T$를 쓰면서도 다시 한 번 몰수를 누락하거나 $C_V = \frac{3}{2}R$ 대입을 절반만 반영하는 실수가 자주 나온다.

다시 나오면 이렇게 판단

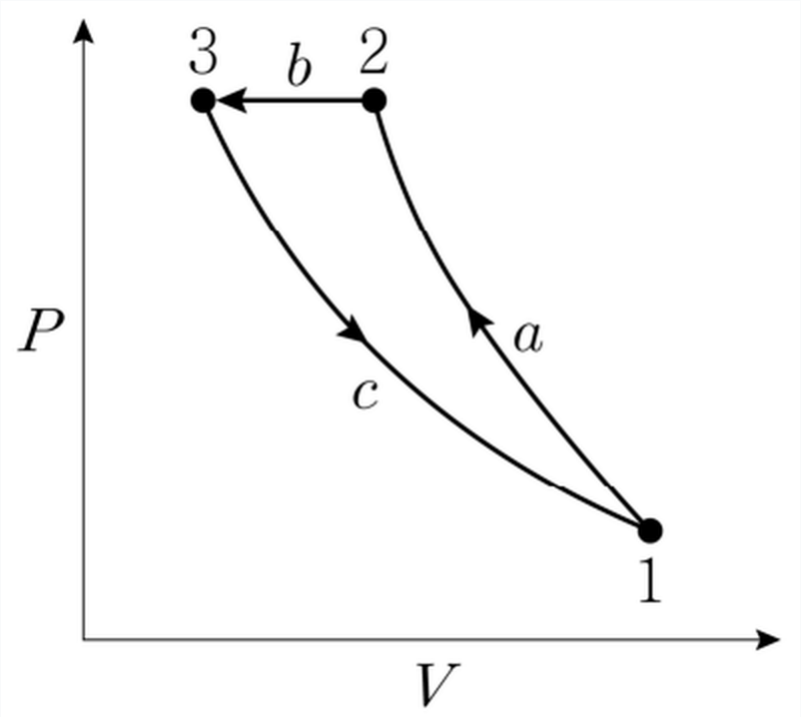
연속 공정 열량 문제는 각 공정을 분리해 과정 종류를 먼저 판별한 뒤, 등온이면 $Q = nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$, 정적이면 $Q = nC_V\Delta T$를 적용하여 마지막에 합산하는 방식으로 판단한다.

암기 포인트

이상기체 가역 등온은 $\Delta U = 0$이라서 $Q = W = nRT\ln\frac{V_2}{V_1}$이고, 정적과정은 $W = 0$이라서 $Q = nC_V\Delta T$이다.

NoteBase

문 13. 다음은 닫힌계에서 이상기체가 거치는 가역 순환공정을 나타낸 압력 P-부피 V 선도이다. 이때, 공정 $a(1 \rightarrow 2)$는 단열압축, 공정 $b(2 \rightarrow 3)$는 정압냉각, 공정 $c(3 \rightarrow 1)$는 등온팽창 공정이며, 각 공정에서 계에 가해진 일은 각각 $W_a = 800J$, $W_b = 400J$, $W_c = -1{,}000J$이다. 만약 각 공정이 가역공정 대비 80% 효율의 비가역공정으로 진행된다면, 이 순환공정의 전체 일[J]은 가역 순환공정과 비교해 얼마나 더 큰가? (단, 일은 계로 유입될 때 양수로 간주한다)



① 200

② 500

③ 700

④ 800

정답 2번

출제 포인트

가역 대비 효율이 주어졌을 때 입력일 공정과 출력일 공정의 효율 정의를 구분하여 순환공정 전체 일을 비교하는 문제이다.

NoteBase

조건 정리

주어진 값: 가역 기준 $W_a = 800J$, $W_b = 400J$, $W_c = -1000J$이다.
구해야 할 값: 각 공정이 가역공정 대비 80% 효율의 비가역공정일 때 순환공정 전체 일이 가역 순환공정보다 얼마나 더 커지는지이다.
주의할 조건: 일은 계로 유입될 때 양수이므로 a와 b는 입력일 공정이고 c는 출력일 공정이다.

사용할 공식

입력일 공정은 $\eta = W_{rev}/W_{irr}$이다.
출력일 공정은 $\eta = |W_{irr}|/|W_{rev}|$이다.
이 공식을 쓰는 이유: 효율이 80%이면 입력일 공정은 실제 필요한 일이 가역보다 커지고, 출력일 공정은 실제 얻는 일의 크기가 가역보다 작아지기 때문이다.

계산 과정

1. 가역 순환공정의 전체 일은 $W_{rev,\,cycle} = 800 + 400 - 1000 = 200J$이다.
2. a와 b는 입력일 공정이므로 $W_{a,\,irr} = 800/0.8 = 1000J$, $W_{b,\,irr} = 400/0.8 = 500J$이다.
3. c는 출력일 공정이므로 실제 출력일의 크기는 가역의 80%이다. 따라서 $W_{c,\,irr} = 0.8 \times (-1000) = -800J$이다.
4. 비가역 순환공정의 전체 일은 $W_{irr,\,cycle} = 1000 + 500 - 800 = 700J$이다.
5. 가역공정보다 더 큰 값은 $700 - 200 = 500J$이다.

선지 판단

① X: 200 J는 가역 순환공정 자체의 전체 일이다. 문제는 비가역 전체 일이 가역보다 얼마나 더 큰지를 묻기 때문에 올바르게는 500 J 더 크다.
② O: 입력일 공정 a, b는 각각 $800/0.8 = 1000J$, $400/0.8 = 500J$가 되고, 출력일 공정 c는 실제 출력일 크기가 줄어 $0.8 \times 1000 = 800J$이므로 $W_c = -800J$이다. 따라서 비가역 전체 일은 700 J이고 증가분은 500 J이다.
③ X: 700 J는 비가역 순환공정의 전체 일 자체이다. 선택지의 수치를 고치면 비가역 전체 일이 아니라 가역 대비 증가분 500 J가 되어야 한다.
④ X: 800 J는 팽창공정 c의 비가역 출력일 크기일 뿐 순환공정 전체 증가분이 아니다. 선택지의 수치를 고치면 500 J가 맞다.

오답 포인트

팽창공정 c에도 압축공정과 같은 방식으로 가역일을 효율로 나누면 틀린다. 또 700 J는 비가역 전체 일이고 문제는 가역 대비 증가분을 묻는다는 점을 놓치면 ③을 고르기 쉽다.

NoteBase

다시 나오면 이렇게 판단

효율이 붙은 순환공정 일 비교 문제는 먼저 각 공정을 입력일과 출력일로 나눈다. 입력일은 가역값을 효율로 나누고, 출력일은 가역 출력일의 크기에 효율을 곱한 뒤, 마지막에 전체 일을 합산하여 가역값과의 차이를 비교한다.

암기 포인트

입력일 공정은 $W_{irr} = W_{rev}/\eta$, 출력일 공정은 $|W_{irr}| = \eta|W_{rev}|$이다.

NoteBase

문 14. 298 K의 일정한 온도에서 $H_2S(g)$와 $H_2O(g)$가 양론비로 반응하여 $H_2(g)$와 $SO_2(g)$가 생성되는 반응의 표준 반응열 [$kJ\ mol^{-1}$]은? (단, 같은 온도에서 $H_2S(g)$, $H_2O(g)$, $SO_2(g)$의 표준 생성열은 각각 $-20\ kJ\ mol^{-1}$, $-242\ kJ\ mol^{-1}$, $-300\ kJ\ mol^{-1}$이다)

① -562

② -38

③ 38

④ 204

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 반응식을 먼저 맞춘 뒤 표준 반응열 ΔH°_{rxn}을 표준생성열의 합으로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- ΔH_f° of H2S(g) = -20 kJ mol^-1
- ΔH_f° of H2O(g) = -242 kJ mol^-1
- ΔH_f° of SO2(g) = -300 kJ mol^-1
- ΔH_f° of H2(g) = 0

구해야 할 값:
- 반응의 표준 반응열

주의할 조건:
- 반응물은 양론비로 반응하므로 먼저 $H_2S + 2H_2O \rightarrow 3H_2 + SO_2$로 계수를 맞춰야 한다.

사용할 공식

$\Delta H^\circ_{rxn} = \sum u\Delta H_f^\circ\ (\text{products}) - \sum u\Delta H_f^\circ\ (\text{reactants})$

이 공식을 쓰는 이유:

표준 반응열은 생성물 표준생성열의 합에서 반응물 표준생성열의 합을 뺀 값으로 구하며, 이 문제는 각 물질의 표준생성열이 직접 주어져 있기 때문이다.

NoteBase

계산 과정

1. 반응식을 원자수에 맞게 정리하면 $H_2S + 2H_2O \rightarrow 3H_2 + SO_2$이다.
2. 생성물 쪽 표준생성열의 합은 $3 \times 0 + (-300) = -300$ kJ mol^-1이다.
3. 반응물 쪽 표준생성열의 합은 $(-20) + 2 \times (-242) = -504$ kJ mol^-1이다.
4. 따라서
$\Delta H^\circ_{rxn} = -300 - (-504) = 204\ \text{kJ mol}^{-1}$
계산 결과 204 kJ mol^-1이므로 정답은 4번이다.

선지별 해설

① X
- -562는 주어진 세 표준생성열 수치를 그대로 더한 값 $(-20) + (-242) + (-300)$에 불과하여 반응열 계산식이 아니다.
- 틀린 수치 -562 → 올바르게는 계수를 반영한 생성물합과 반응물합의 차이인 204이다.

② X
- -38은 반응식을 $H_2S + H_2O \rightarrow H_2 + SO_2$처럼 잘못 두고 H2O의 계수 2를 빠뜨리면 나오는 값이다.
- 틀린 수치 -38 → 올바르게는 $H_2S + 2H_2O \rightarrow 3H_2 + SO_2$로 맞춘 뒤 계산한 204이다.

③ X
- 38은 ②의 잘못된 계산 결과에 부호까지 반대로 준 값으로, 반응식 계수와 부호 처리가 모두 어긋난다.
- 틀린 수치 38 → 올바르게는 생성물합에서 반응물합을 뺀 204이다.

④ O
- 반응식을 맞춘 뒤 헤스의 법칙을 적용하면 $\Delta H^\circ_{rxn} = -300 - [(-20) + 2(-242)] = 204$가 된다.
- 따라서 204가 맞는 값이다.

오답 포인트

반응열 문제에서 가장 흔한 함정은 반응식을 맞추기 전에 숫자만 대입하는 점이다. 이 문항은 H2O의 계수 2와 생성물-반응물의 순서를 놓치면 -38이나 부호가 뒤집힌 값으로 빠지기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

표준 반응열 문제는 반응식 계수 확정 → 각 물질의 표준생성열에 계수 반영 → 생성물합에서 반응물합 차감의 순서로 판단하면 된다.

암기 포인트

표준 반응열은 생성물합 - 반응물합이며, 계수부터 맞춘 뒤 계산한다.

NoteBase

문 15. 동일한 초기 상태의 이상기체를 피스톤-실린더 장치 내에서 각각 다음의 두 가지 가역공정(A, B)으로 변화시킬 때, 두 공정 간의 엔트로피 변화의 비 $\Delta S_A : \Delta S_B$는? (단, 기체의 정압 열용량(C_P)은 $\frac{5}{2}R$이며, R은 기체상수이다. 기체의 운동에너지와 위치에너지 변화는 무시한다)

공정 A: 100kPa, 300K → 100kPa, 100K
공정 B: 100kPa, 300K → 300kPa, 300K

① 1 : 1
② 2 : 5
③ 3 : 1
④ 5 : 2

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 엔트로피 변화식 $\Delta s = C_P \ln(T_2/T_1) - R\ln(P_2/P_1)$를 이용해 두 가역공정의 엔트로피 변화 비를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 공정 A: 100 kPa, 300 K → 100 kPa, 100 K
- 공정 B: 100 kPa, 300 K → 300 kPa, 300 K
- $C_P = \frac{5}{2}R$

구해야 할 값:
- $\Delta S_A : \Delta S_B$

주의할 조건:
- A는 등압 변화이고 B는 등온 변화이다.
- 두 공정 모두 가역공정이므로 상태량인 엔트로피 변화식을 바로 적용할 수 있다.

사용할 공식

이상기체의 엔트로피 변화는 $\Delta s = C_P \ln(T_2/T_1) - R\ln(P_2/P_1)$이다.

이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 초기 상태와 최종 상태의 압력, 온도와 C_P를 직접 주었으므로 상태량인 엔트로피 변화를 압력과 온도만으로 계산할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 공정 A는 등압 변화이므로 $P_2/P_1 = 1$이다.
$\Delta S_A = C_P \ln\left(\frac{100}{300}\right) - R\ln(1) = \frac{5}{2}R\ln\left(\frac{1}{3}\right) = -\frac{5}{2}R\ln 3$
2. 공정 B는 등온 변화이므로 $T_2/T_1 = 1$이다.
$\Delta S_B = C_P \ln(1) - R\ln\left(\frac{300}{100}\right) = -R\ln 3$
3. 두 값을 비로 정리하면
$\Delta S_A : \Delta S_B = \left(-\frac{5}{2}R\ln 3\right) : (-R\ln 3) = \frac{5}{2} : 1 = 5 : 2$
따라서 정답 비는 5:2이다.

선지별 해설

① X
- 공정 A의 엔트로피 변화는 $-\frac{5}{2}R\ln 3$, 공정 B의 엔트로피 변화는 $-R\ln 3$이므로 1:1이 아니다. 틀린 표현은 "1:1"이며, 올바르게는 "5:2"이다.

② X
- 2:5는 공정 A와 B의 비를 거꾸로 뒤집은 값이다. ΔS_A의 절댓값이 ΔS_B보다 $\frac{5}{2}$배 크므로 틀린 표현은 "2:5"이며, 올바르게는 "5:2"이다.

③ X
- 3:1은 $C_P = \frac{5}{2}R$ 조건을 반영하지 않거나 로그항을 잘못 약분했을 때 나오는 오답이다. 틀린 표현은 "3:1"이며, 올바르게는 "5:2"이다.

④ O
- $\Delta S_A : \Delta S_B = \left(-\frac{5}{2}R\ln 3\right) : (-R\ln 3) = 5 : 2$이므로 옳다.

오답 포인트

공정 A는 등압이라 $-R\ln(P_2/P_1)$ 항이 0이고, 공정 B는 등온이라 $C_P\ln(T_2/T_1)$ 항이 0이라는 점을 놓치기 쉽다. 또한 두 엔트로피 변화가 모두 음수라는 이유로 비를 뒤집거나 부호만 보고 판단하면 ②처럼 틀리기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

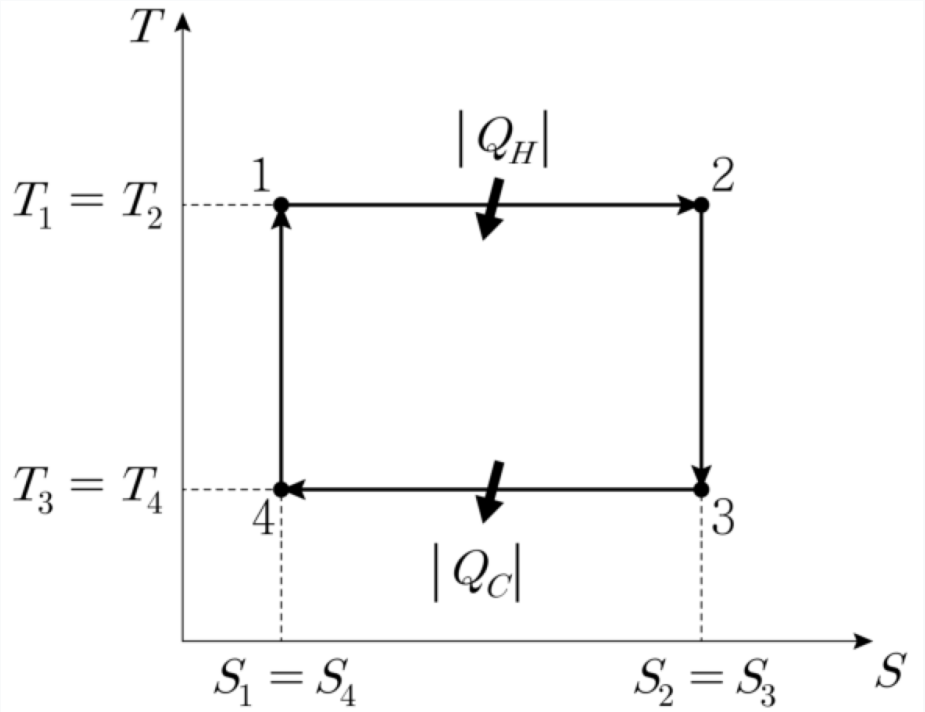
이상기체 엔트로피 비 문제는 먼저 등압인지 등온인지 구분해 사라지는 로그항을 정리한 뒤, 남는 항만 계산해서 공통인 $R\ln 3$ 같은 인자를 약분하면 빠르게 판단할 수 있다.

암기 포인트

등압 엔트로피 변화는 $C_P\ln(T_2/T_1)$, 등온 엔트로피 변화는 $-R\ln(P_2/P_1)$로 바로 정리된다.

NoteBase

문 16. 그림은 임의의 가역 순환공정의 온도T-엔트로피S 선도이다. 해당 공정으로 진행되는 열기관에 대한 설명으로 옳은 것만을 모두 고르면? (단, $|Q_H|$는 고온 열저장고와 열기관 간에 전달되는 열의 크기이며, $|Q_C|$는 저온 열저장고와 열기관 간에 전달되는 열의 크기이다)



ㄱ. 같은 온도 조건에서 순환공정 전체의 압력이 증가하면 열기관의 열효율은 증가한다.

ㄴ. 1→2 공정은 등온압축 공정이다.

ㄷ. 직사각형 1234의 면적은 $|Q_H| - |Q_C|$와 동일하다.

ㄹ. 열기관이 930K인 고온 열저장고에서 300kJ의 열을 받고, 저온 열저장고로 100kJ의 열을 방출할 때, 저온 열저장고의 온도는 310K이다.

① ㄱ, ㄴ

② ㄱ, ㄷ

③ ㄴ, ㄹ

④ ㄴ, ㄷ, ㄹ

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 T-S 선도에서 등온 구간의 열출입, 수직선의 단열 과정, 그리고 직사각형 면적이 순일과 같다는 관계를 묻는 문제이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: ①은 ㄱ, ㄴ을 모두 옳다고 본 조합이다. ㄱ은 카르노 열기관의 효율 $\eta = 1 - \frac{T_C}{T_H}$가 고온원과 저온원의 온도에만 의해 결정되므로 압력이 올라가도 효율이 증가하지 않아 틀리다. ㄴ은 1→2에서 S가 증가하므로 등온압축이 아니라 등온 팽창이다. 틀린 표현은 '압력이 증가하면 효율이 증가한다', '등온압축'이고, 올바르게는 '효율은 온도에만 좌우된다', '1→2는 등온팽창'이다.
② X: ②는 ㄱ, ㄷ을 옳다고 본 조합이다. ㄷ은 직사각형 1234의 면적이 $(T_H - T_C)(S_2 - S_1)$이고, 이는 $|Q_H| - |Q_C|$와 같아 맞다. 그러나 ㄱ은 앞과 같이 틀리므로 이 조합은 성립하지 않는다. 틀린 부분은 ㄱ을 포함한 점이고, 올바르게는 ㄱ을 제외한 조합만 정답 후보가 된다.
③ O: ③은 ㄷ, ㄹ을 옳다고 본 조합이다. ㄷ은 T-S 선도의 닫힌 면적이 순일 $W_{net} = |Q_H| - |Q_C|$와 같으므로 맞다. ㄹ은 가역 열기관에서 $\frac{|Q_C|}{|Q_H|} = \frac{T_C}{T_H}$이므로 $T_C = 930 \times \frac{100}{300} = 310K$가 되어 맞다. 따라서 옳은 것만 묶은 조합은 ③이다.
④ X: ④는 ㄴ, ㄷ, ㄹ을 옳다고 본 조합이다. ㄷ과 ㄹ은 맞지만 ㄴ이 틀리므로 전체 조합은 틀리다. 틀린 표현은 '1→2 공정은 등온압축 공정'이고, 올바르게는 '1→2 공정은 등온팽창 공정'이다.

오답 포인트

T-S 선도에서 수평선만 보고 온도 일정이라는 사실만 떠올리고, S가 증가하면 팽창이라는 점을 놓치기 쉽다. 또 열기관 효율을 압력 변화와 연결하면 ㄱ을 맞는 말처럼 오해하기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 순환 방향이 시계방향인지 반시계방향인지 본다. 그다음 수평선은 등온, 수직선은 등엔트로피로 읽고, T-S 면적은 열량 또는 순일이라는 관계로 각 진술의 O/X를 판정한다.

암기 포인트

카르노 열기관은 '효율은 온도, 면적은 순일, 상부 등온은 열흡수, 하부 등온은 열방출'로 정리된다.

NoteBase

문 17. 300 K, 1 bar의 액체에 대해 일정한 온도에서 압력만 101 bar로 증가시켰다. 액체의 밀도는 $1{,}000 kg m^{-3}$이며 부피 팽창률β은 $2 \times 10^{-4} K^{-1}$일 때, 액체의 비엔탈피 변화$[kJ kg^{-1}]$는? (단, $\beta = \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$ 이며, P, V, T는 각각 압력, 비부피, 온도이다)

① 4.7

② 6.0

③ 8.0

④ 9.4

정답 4번

출제 포인트

이 문제는 일정 온도에서 액체의 압력이 변할 때 비엔탈피 변화량을 $\Delta h = v(1 - \beta T)\Delta P$로 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값:
- 온도 $T = 300 K$
- 압력 변화 $\Delta P = (101 - 1) bar = 100 bar = 10^7 Pa$
- 밀도 $\rho = 1000 kg m^{-3}$
- 부피 팽창률 $\beta = 2 \times 10^{-4} K^{-1}$

구해야 할 값:
- 액체의 비엔탈피 변화 Δh

주의할 조건:
- 비부피는 $v = 1/\rho = 0.001 m^3 kg^{-1}$로 바꾸어 써야 한다.

사용할 공식

일정 온도에서
$dh = \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P\right] dP = v(1 - \beta T) dP$
이다.

이 공식을 쓰는 이유:
문제에서 온도는 일정하고 압력만 변하며, $\beta \equiv \frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$가 주어졌으므로
$\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P = \beta v$를 대입해 바로 비엔탈피 변화를 구할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

1. 비부피를 구하면 $v = 1/1000 = 0.001 m^3 kg^{-1}$이다.
2. $\beta T = (2 \times 10^{-4}) \times 300 = 0.06$이므로 $1 - \beta T = 0.94$이다.
3. 따라서
$\Delta h = v(1 - \beta T)\Delta P = (0.001)(0.94)(10^7) = 9.4 \times 10^3 J kg^{-1} = 9.4 kJ kg^{-1}$
이다.

선지 판단

① X
- 계산 결과는 $9.4 kJ kg^{-1}$이므로 4.7은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 비엔탈피 변화를 4.7로 본 점이다. 올바르게는 $9.4 kJ kg^{-1}$이다.

② X
- 계산 결과는 $9.4 kJ kg^{-1}$이므로 6.0은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 비엔탈피 변화를 6.0으로 본 점이다. 올바르게는 $\beta T = 0.06$을 반영한 $9.4 kJ kg^{-1}$이다.

③ X
- 계산 결과는 $9.4 kJ kg^{-1}$이므로 8.0은 맞지 않는다.
- 틀린 표현은 비엔탈피 변화를 8.0으로 본 점이다. 올바르게는 $1 - \beta T = 0.94$를 써서 $9.4 kJ kg^{-1}$로 계산해야 한다.

④ O
- $v = 0.001 m^3 kg^{-1}$, $\Delta P = 10^7 Pa$, $1 - \beta T = 0.94$를 대입하면 $\Delta h = 9.4 kJ kg^{-1}$이므로 옳다.

오답 포인트

밀도를 바로 쓰지 않고 비부피 $v = 1/\rho$로 바꾸지 않으면 수치가 틀어진다. 또한 $100 bar = 10^7 Pa$ 변환과 $1 - \beta T$의 보정항을 빠뜨리면 오답이 된다.

다시 나오면 이렇게 판단

액체의 압력 변화로 엔탈피를 묻는 계산형 문제는 먼저 일정 온도 조건을 확인하고, $v = 1/\rho$ 변환 후 $dh = v(1 - \beta T)dP$를 적용해 압력 단위까지 함께 검산하면 된다.

암기 포인트

일정 온도 액체의 비엔탈피 변화는 $\Delta h = v(1 - \beta T)\Delta P$이다.

NoteBase

문 18. 내부에너지, 엔탈피, 헬름홀츠(Helmholtz) 에너지, 깁스(Gibbs) 에너지는 특별한 쌍의 열역학적 독립변수들로 구성된 식들로 나타낼 수 있다. 이 식들을 통하여 얻을 수 있는 맥스웰(Maxwell) 관계식 중 옳지 않은 것은? (단, P, V, T, S는 각각 압력, 몰부피, 온도, 몰엔트로피이다)

① $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = \left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V$
② $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P$
③ $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$
④ $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 내부에너지, 엔탈피, 헬름홀츠 에너지, 깁스 에너지의 자연변수에서 유도되는 맥스웰 관계식의 부호와 변수쌍 대응을 구별할 수 있는지를 묻는다.

핵심 개념

내부에너지 U는 자연변수가 S, V이고 $dU = TdS - PdV$이므로 맥스웰 관계식은 $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V$가 된다.
엔탈피 H는 자연변수가 S, P이고 $dH = TdS + VdP$이므로 $\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_S = \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_P$가 된다.
헬름홀츠 에너지 A는 자연변수가 T, V이고 $dA = -SdT - PdV$이므로 $\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$가 된다.
깁스 에너지 G는 자연변수가 T, P이고 $dG = -SdT + VdP$이므로 $\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$가 된다.

선지별 해설

1번: X. 내부에너지 $U(S, V)$에서 얻는 관계식은 $\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S = -\left(\frac{\partial P}{\partial S}\right)_V$이다. 틀린 부분은 우변 앞의 부호가 빠진 표현이다. 올바르게는 음수가 붙어야 한다.
2번: O. 엔탈피 $H(S, P)$의 전미분 $dH = TdS + VdP$에서 유도되는 맥스웰 관계식과 일치한다.
3번: O. 헬름홀츠 에너지 $A(T, V)$의 전미분 $dA = -SdT - PdV$에서 얻는 관계식이므로 맞는 표현이다.
4번: O. 깁스 에너지 $G(T, P)$의 전미분 $dG = -SdT + VdP$에서 유도되는 관계식과 같으므로 옳다.

오답 포인트

내부에너지와 깁스 에너지처럼 식에 음의 부호가 들어가는 퍼텐셜은 맥스웰 관계식에서도 부호가 바뀔 수 있다. 1번처럼 변수쌍은 맞는데 부호만 틀리게 바꾸는 선택지가 대표적인 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

먼저 어떤 열역학 퍼텐셜의 자연변수인지 확인한 뒤 그 전미분식을 쓴다. 그다음 각 계수 $T,\ -P,\ -S, V$를 대응시켜 혼합편미분을 취하면 부호와 변수 고정조건까지 함께 정리할 수 있다.

NoteBase

암기 포인트

맥스웰 관계식은 퍼텐셜의 전미분식에서 바로 읽는다. $U : TdS - PdV$, $H : TdS + VdP$, $A : -SdT - PdV$, $G : -SdT + VdP$의 부호를 함께 외워 두면 된다.

NoteBase

문 19. 닫힌계에서 이상기체 1몰이 일정한 온도에서 가역적으로 팽창할 때, 기체의 헬름홀츠(Helmholtz) 에너지의 변화(ΔA)와 깁스(Gibbs) 에너지의 변화(ΔG) 간의 관계로 옳은 것은?

① $\Delta A = \Delta G$

② $\Delta A = -\Delta G$

③ $\Delta A > \Delta G$

④ $\Delta A < \Delta G$

정답 1번

출제 포인트

이 문제는 이상기체의 등온 가역팽창에서 헬름홀츠 에너지와 깁스 에너지의 변화가 어떻게 연결되는지를 묻는다.

핵심 개념

헬름홀츠 에너지는 $A = U - TS$, 깁스 에너지는 $G = H - TS$이다. 이상기체는 U와 H가 온도만의 함수이므로 등온 과정에서는 $\Delta U = 0$, $\Delta H = 0$이다. 따라서 $\Delta A = \Delta U - T\Delta S = -T\Delta S$, $\Delta G = \Delta H - T\Delta S = -T\Delta S$가 되어 두 값은 같다.

선지별 해설

① O: 등온에서 이상기체 1몰은 $PV = RT$가 일정하고, U와 H도 변하지 않는다. 그래서 $\Delta A = \Delta G = -T\Delta S$가 되어 두 변화량은 같다.
② X: 틀린 부분은 \"$\Delta A = -\Delta G$\"라는 부호 관계이다. 가역팽창에서는 $\Delta S = R\ln(V_2/V_1) > 0$이므로 ΔA와 ΔG는 둘 다 음수이며 서로 반대부호가 아니다. 올바르게는 $\Delta A = \Delta G$이다.
③ X: 틀린 부분은 \"$\Delta A > \Delta G$\"라는 대소 비교이다. 두 값은 같은 식 $-T\Delta S$로 정해지므로 크고 작음의 관계가 아니라 같다. 올바르게는 $\Delta A = \Delta G$이다.
④ X: 틀린 부분은 \"$\Delta A < \Delta G$\"라는 대소 비교이다. 이상기체의 등온 과정에서는 $\Delta U = 0$, $\Delta H = 0$이므로 두 자유에너지 변화는 동일하다. 올바르게는 $\Delta A = \Delta G$이다.

오답 포인트

헬름홀츠 에너지와 깁스 에너지의 정의만 따로 외우고 ΔU, ΔH의 등온 이상기체 성질을 연결하지 않으면 ②처럼 부호가 반대라고 착각하거나 ③, ④처럼 막연한 대소 비교로 흐르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

이상기체와 등온 조건이 보이면 먼저 $\Delta U = 0$, $\Delta H = 0$를 확인한다. 그다음 $A = U - TS$, $G = H - TS$에 대입해 두 자유에너지 변화가 모두 $-T\Delta S$로 정리되는지 보면 된다.

NoteBase

암기 포인트

이상기체 등온과정은 $\Delta U = \Delta H = 0$, 따라서 $\Delta A = \Delta G = -T\Delta S$이다.

NoteBase

문 20. 혼합물에서 성분 i의 화학포텐셜을 정의한 식은? (단, G는 혼합물의 몰 깁스(Gibbs) 에너지, H는 혼합물의 몰엔탈피, n은 혼합물의 몰수, n_i는 성분 i의 몰수이며, P, V, T는 각각 압력, 몰부피, 온도이다)

① $\left[\frac{\partial(nG)}{\partial n_i}\right]_{P,T,n_{j\neq i}}$

② $\left[\frac{\partial(nG)}{\partial n_i}\right]_{V,T,n_{j\neq i}}$

③ $\left[\frac{\partial(nH)}{\partial n_i}\right]_{P,T,n_{j\neq i}}$

④ $\left[\frac{\partial(nH)}{\partial n_i}\right]_{V,T,n_{j\neq i}}$

정답 1번

출제 포인트

이 문항은 혼합물에서 화학퍼텐셜을 총 Gibbs 에너지의 부분몰량으로 정의하는 식과 그 자연변수를 구별하는지를 묻는 문제이다.

핵심 개념

화학퍼텐셜 μ_i는 혼합물의 총 Gibbs 에너지 nG를 T, P, n_{jei} 일정에서 성분 i의 몰수 n_i로 편미분한 값이다.
즉 $\mu_i = \left(\frac{\partial(nG)}{\partial n_i}\right)_{T,P,n_{jei}}$이다.
핵심 구별점은 화학퍼텐셜이 엔탈피가 아니라 Gibbs 에너지에서 정의되고, 조건도 T, V가 아니라 T, P라는 점이다.

선지별 해설

① O
$\left(\frac{\partial(nG)}{\partial n_i}\right)_{P,T,n_{jei}}$는 혼합물에서 성분 i의 화학퍼텐셜 정의식과 같다. 압력과 온도를 일정하게 두고 다른 성분 몰수를 고정한 채 n_i를 변화시킬 때의 총 Gibbs 에너지 변화율이다.

② X
틀린 부분은 V, T를 일정 조건으로 둔 표현이다. 화학퍼텐셜의 정의는 T, P, n_{jei} 일정에서의 nG 편미분이다.
올바르게는 $\left(\frac{\partial(nG)}{\partial n_i}\right)_{P,T,n_{jei}}$이다.

③ X
틀린 부분은 nH를 사용한 표현이다. 화학퍼텐셜은 총 엔탈피가 아니라 총 Gibbs 에너지에서 정의된다.
올바르게는 nH 대신 nG를 써야 한다.

④ X
틀린 부분은 상태함수와 조건이 모두 맞지 않는다는 점이다. 화학퍼텐셜은 nH를 V, T 일정에서 미분한 값이 아니라 nG를 P, T 일정에서 미분한 값이다. 올바르게는 $\left(\frac{\partial(nG)}{\partial n_i}\right)_{P,T,n_{jei}}$이다.

NoteBase

오답 포인트

②는 nG는 맞지만 조건을 T, V로 바꾸어 자연변수 구별을 흐리게 만든 함정이다. ③과 ④는 화학퍼텐셜을 엔탈피와 연결하도록 유도하는 함정이다. 이 문항은 어떤 상태함수를 쓰는지와 어떤 변수를 고정하는지를 동시에 확인해야 맞출 수 있다.

다시 나오면 이렇게 판단

화학퍼텐셜이 보이면 먼저 총 Gibbs 에너지 nG인지 확인하고, 그다음 고정 조건이 T, P, n_{jei}인지 확인하면 된다. 상태함수가 H로 바뀌거나 조건이 V로 바뀌면 곧바로 오답으로 판단할 수 있다.

암기 포인트

화학퍼텐셜은 G에서 정의되고 조건은 T, P이다.

NoteBase

문 21. 디에틸케톤(1)과 n-헥산(2)으로 구성된 2성분계 혼합물이 $65^\circ C$의 일정한 온도에서 기-액 상평형을 이루고 있다. 순수 디에틸케톤과 순수 n-헥산의 포화증기압은 각각 30 kPa과 90 kPa이다. 액체상에서 디에틸케톤의 몰분율이 0.4일 때, 혼합물의 압력(P)과 기체상에서 디에틸케톤의 몰분율(y_1)의 값을 바르게 연결한 것은? (단, 주어진 조건에서 디에틸케톤과 n-헥산의 활동도계수는 각각 1.35와 1.20이다. 기-액 상평형 계산은 수정된 라울(Raoult)의 법칙을 따른다)

① P[kPa]: 67.5, y_1: 0.20

② P[kPa]: 67.5, y_1: 0.36

③ P[kPa]: 81.0, y_1: 0.20

④ P[kPa]: 81.0, y_1: 0.36

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 수정된 라울 법칙으로 전체 압력 P와 기체상 조성 y_1를 계산하는 문제이다.

조건 정리

주어진 값은 액체상 조성 $x_1 = 0.4$, $x_2 = 0.6$, 활동도계수 $\gamma_1 = 1.35$, $\gamma_2 = 1.20$, 순수성분 포화증기압 $P_1^{sat} = 30kPa$, $P_2^{sat} = 90kPa$이다.
구해야 할 값은 혼합물의 전체 압력 P와 기체상 디에틸케톤 몰분율 y_1이다.
주의할 조건은 이상용액이 아니라 활동도계수를 포함한 수정된 라울 법칙을 써야 한다는 점이다.

사용할 공식

성분별 부분압은 $p_i = x_i\gamma_i P_i^{sat}$이고, 전체 압력은 $P = p_1 + p_2 = \sum x_i\gamma_i P_i^{sat}$이다. 기체상 몰분율은 $y_i = p_i/P$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 문제에서 활동도계수를 직접 주었고, 기-액 상평형 계산이 수정된 라울 법칙을 따른다고 명시했기 때문이다.

계산 과정

1. 디에틸케톤의 부분압을 계산하면 $p_1 = x_1\gamma_1 P_1^{sat} = 0.4 \times 1.35 \times 30 = 16.2kPa$이다.
2. n-헥산의 부분압을 계산하면 $p_2 = x_2\gamma_2 P_2^{sat} = 0.6 \times 1.20 \times 90 = 64.8kPa$이다.
3. 전체 압력은 $P = p_1 + p_2 = 16.2 + 64.8 = 81.0kPa$이다.
4. 기체상 디에틸케톤 몰분율은 $y_1 = p_1/P = 16.2/81.0 = 0.20$이다.

NoteBase

선지별 해설

① X

$P = 67.5kPa, y_1 = 0.20$은 압력이 틀리다. 올바르게는 활동도계수를 포함해 $P = 81.0kPa$가 된다. 67.5 kPa는 수정된 라울 법칙 대신 단순한 평균값처럼 잘못 계산했을 때 나올 수 있는 오답이다.

② X

$P = 67.5kPa, y_1 = 0.36$은 압력과 기상 조성이 모두 틀리다. 올바르게는 $P = 81.0kPa, y_1 = 0.20$이다. 0.36은 $y_1 = p_1/P$ 대신 액체상 조성이나 활동도 보정 전 비율을 혼동했을 때 나올 수 있는 값이다.

③ O

계산 결과 $P = 81.0kPa, y_1 = 0.20$이므로 맞다. 수정된 라울 법칙으로 각 성분의 부분압을 구한 뒤 합산하고, 다시 디에틸케톤 부분압을 전체 압력으로 나누면 된다.

④ X

$P = 81.0kPa, y_1 = 0.36$은 압력은 맞지만 기상 조성이 틀리다. 올바르게는 $y_1 = 0.20$이다. 0.36은 $y_1 = 16.2/45$처럼 분모를 전체 압력이 아닌 다른 값으로 잘못 잡았을 때 생기는 분모 혼동형 오답이다.

오답 포인트

이 문항의 함정은 활동도계수를 빼먹거나, 전체 압력 P를 구한 뒤 $y_1 = p_1/P$를 다시 계산하지 않고 액체상 몰분율 $x_1 = 0.4$와 비슷한 값으로 착각하는 데 있다. 특히 압력 계산과 조성 계산을 한 단계씩 분리하지 않으면 0.36 같은 분모 혼동 오답으로 이어진다.

다시 나오면 이렇게 판단

기-액 평형 계산형 문제는 먼저 어떤 법칙을 쓰는지 확인하고, 다음에 각 성분의 부분압을 계산한 뒤, 마지막에 전체 압력과 기체상 조성을 순서대로 구하면 된다. 활동도계수가 주어지면 $x_i P_i^{sat}$가 아니라 $x_i \gamma_i P_i^{sat}$를 사용한다.

암기 포인트

수정된 라울 법칙은 $p_i = x_i \gamma_i P_i^{sat}$, 기체상 조성은 $y_i = p_i/P$이다.

NoteBase

문 22. 용액 열역학에 대한 설명으로 옳은 것은?

① 라울(Raoult)의 법칙은 온도 및 압력 조건과 관계없이 모든 액체 혼합물에 정확하게 적용된다.

② 혼합과정에서 엔트로피의 변화가 없다면 해당 용액은 이상용액이다.

③ 동일한 온도와 압력에서 각 성분의 화학포텐셜이 모든 상에서 같을 때 그 상들이 평형을 이룬다.

④ 루이스-랜달(Lewis-Randall) 규칙에 따라 이상용액 중의 각 성분의 퓨가시티(fugacity)는 그 성분의 몰분율에 반비례한다.

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 이상용액, 라울 법칙, 루이스-랜달 규칙, 상평형 조건의 정확한 정의를 구분하는 문제이다.

핵심 개념

라울 법칙: 이상용액에서 성분 i의 부분증기압이 $p_i = x_i p_i^*$로 주어지는 관계이다. / 결정 차이축: 적용 대상이 모든 용액이 아니라 이상용액인지 여부 / 키워드: 이상용액, 부분증기압

이상용액: 혼합 엔탈피와 혼합 부피 변화가 0이고, 혼합 엔트로피는 조성이 달라지면 증가하는 용액이다. / 결정 차이축: $\Delta H_{mix} = 0$, $\Delta V_{mix} = 0$, $\Delta S_{mix} > 0$ / 키워드: 무열혼합, 무체적변화, 엔트로피 증가

상평형 조건: 같은 온도와 압력에서 각 성분의 화학포텐셜이 모든 상에서 서로 같을 때 상평형이 성립한다. / 결정 차이축: 성분별 화학포텐셜의 상간 평등 여부 / 키워드: $\mu_i^{\alpha} = \mu_i^{\beta}$

루이스-랜달 규칙: 이상용액에서 성분 i의 퓨가시티가 $\hat{f}_i = x_i f_i^*$로 몰분율에 비례하는 관계이다. / 결정 차이축: 퓨가시티가 몰분율에 비례인지 반비례인지 여부 / 키워드: 퓨가시티, 몰분율 비례

NoteBase

선지별 해설

① X

라울 법칙은 모든 액체 혼합물에 정확히 적용되는 일반법칙이 아니라 이상용액에서 정확히 성립하는 관계이다.

틀린 부분은 '온도 및 압력 조건과 관계없이 모든 액체 혼합물에 정확하게'이다.

올바르게는 '라울 법칙은 이상용액 또는 이에 가까운 용액에서 각 성분의 부분증기압을 설명한다'이다.

② X

이상용액이라도 혼합이 일어나면 조성 변화 때문에 혼합 엔트로피가 증가한다.

틀린 부분은 '엔트로피의 변화가 없다면 해당 용액은 이상용액이다'이다.

올바르게는 '이상용액은 일반적으로 $\Delta H_{mix} = 0$, $\Delta V_{mix} = 0$이지만 ΔS_{mix}는 양수이다'이다.

③ O

같은 온도와 압력에서 각 성분의 화학포텐셜이 모든 상에서 같아지는 것이 상평형의 열역학적 조건이다.

성분별로 $\mu_i^{\alpha} = \mu_i^{\beta} = \cdots$가 성립해야 상 사이의 물질 이동 구동력이 사라진다.

④ X

루이스-랜달 규칙은 이상용액에서 성분의 퓨가시티가 몰분율에 비례함을 말한다.

틀린 부분은 '반비례한다'이다.

올바르게는 '퓨가시티는 $\hat{f}_i = x_i f_i^*$로 그 성분의 몰분율에 비례한다'이다.

오답 포인트

①은 '모든'이라는 절대 표현이 함정이고, ②는 이상용액의 조건을 $\Delta H_{mix} = 0$과 $\Delta V_{mix} = 0$에서 $\Delta S_{mix} = 0$로 잘못 바꾸는 함정이며, ④는 비례와 반비례를 뒤집어 놓은 함정이다.

다시 나오면 이렇게 판단

용액 열역학 선지는 먼저 적용 범위가 이상용액인지 모든 용액인지, 다음으로 혼합량의 부호가 0인지 양수인지, 마지막으로 평형 조건이나 비례식의 방향이 맞는지를 확인하면 빠르게 걸러진다.

암기 포인트

이상용액은 라울 법칙과 루이스-랜달 규칙이 성립하고, 혼합하면 엔트로피는 증가하며, 상평형에서는 각 성분의 μ_i가 상마다 같다.

NoteBase

문 23. 환산온도는 1.20이고 환산압력은 1.25의 상태에 있는 어떤 순수 기체에 대해 일반화된 상관관계 방법으로 계산한 퓨가시티(fugacity) 계수는 0.8이다. 기체의 임계온도와 임계압력이 각각 300 K, 50 bar일 때, 기체의 퓨가시티[bar]는?

① 30

② 40

③ 50

④ 60

정답 3번

출제 포인트

이 문제는 환산압력으로 실제 압력을 구한 뒤 $f = \phi P$를 적용하여 퓨가시티를 계산하는 문제이다.

조건 정리

- 주어진 값: $T_r = 1.20, P_r = 1.25, \phi = 0.8, T_c = 300K, P_c = 50bar$
- 구할 값: 기체의 퓨가시티 f
- 주의할 조건: 퓨가시티 계수는 실제 압력에 곱한다. T_c는 이미 주어진 환산값의 배경 정보이고, 이번 수치 계산의 핵심은 P_r와 P_c이다.

사용할 공식

$P_r = \frac{P}{P_c}, \quad f = \phi P$

이 문제에서는 일반화된 상관관계로부터 퓨가시티 계수 ϕ가 이미 주어졌으므로, 먼저 환산압력으로 실제 압력 P를 복원한 다음 $f = \phi P$를 적용하면 된다.

계산 과정

1. 환산압력 관계에서 실제 압력을 구하면 $P = P_r P_c = 1.25 \times 50 = 62.5bar$이다.
2. 퓨가시티는 $f = \phi P = 0.8 \times 62.5 = 50bar$이다.
3. 계산 결과가 50 bar이므로 정답은 ③이다.

NoteBase

기출OX 해설집 · 공무원/국가직/7급 근로감독 및 산업안전 분야 · 화공열역학 · 2025 · 2차

선지 판단

① X

- 계산값은 50 bar이므로 30 bar는 맞지 않는다. '퓨가시티가 30 bar이다'가 틀렸고, 올바르게는 '퓨가시티는 50 bar이다'이다.

② X

- $0.8 \times 50 = 40 bar$로 계산하면 임계압력에 바로 퓨가시티 계수를 곱한 셈이 된다. 퓨가시티 계수는 임계압력이 아니라 실제 압력 62.5 bar에 곱해야 한다. '퓨가시티가 40 bar이다'가 틀렸고, 올바르게는 '퓨가시티는 50 bar이다'이다.

③ O

- 실제 압력 62.5 bar에 퓨가시티 계수 0.8을 곱하면 $50 bar$가 된다. 따라서 옳은 선택지이다.

④ X

- 실제 압력을 거의 그대로 답처럼 본 오답이다. 그러나 $\phi = 0.8 < 1$이므로 퓨가시티는 실제 압력 62.5 bar보다 작아야 한다. '퓨가시티가 60 bar이다'가 틀렸고, 올바르게는 '퓨가시티는 50 bar이다'이다.

오답 포인트

환산압력으로 실제 압력을 먼저 복원하지 않고 임계압력 50 bar에 바로 ϕ를 곱하면 40 bar로 잘못 간다. 또한 ϕ를 무시하면 실제 압력 자체를 답처럼 고르기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

퓨가시티 계산 문제는 P_r에서 실제 압력 P를 먼저 구하고, 그다음 $f = \phi P$를 적용하는 순서로 판단한다.
마지막에는 $\phi < 1$이면 $f < P$, $\phi = 1$이면 $f = P$가 되는지 크기 검산을 하면 된다.

암기 포인트

환산압력은 $P = P_r P_c$, 퓨가시티는 $f = \phi P$이다.

NoteBase

문 24. 298.15 K, 100 kPa의 일정한 온도와 압력에서 벤젠과 사이클로헥산으로 구성된 2성분계 혼합용액의 몰엔탈피 H [J mol^{-1}]는 다음 식으로 표현된다. 등몰 혼합용액에서 사이클로헥산의 부분 몰엔탈피 [J mol^{-1}]는? (단, x_1은 혼합용액에서 벤젠의 몰분율이다)

$$H = -3{,}400 + 4{,}500x_1 - 3{,}200x_1^2$$

① -4,200

② -2,600

③ -1,950

④ -1,300

정답 2번

출제 포인트

이 문제는 이성분계에서 몰엔탈피 식 $H(x_1)$로부터 등몰 혼합물의 사이클로헥산 부분몰엔탈피를 구하는 문제이다.

조건 정리

주어진 식은 $H = -3400 + 4500x_1 - 3200x_1^2$이다.
등몰 혼합용액이므로 $x_1 = x_2 = 0.5$이다.
구해야 할 값은 사이클로헥산의 부분몰엔탈피 $\bar{H}_2$이다.

사용할 공식

이성분계에서 몰성질이 $M(x_1)$로 주어지면
$\bar{M}_1 = M + (1 - x_1)\frac{dM}{dx_1}, \qquad \bar{M}_2 = M - x_1\frac{dM}{dx_1}$
이다.
이 문제는 전체 몰엔탈피 H가 조성 x_1의 함수로 주어졌으므로 이 식을 그대로 적용할 수 있다.

NoteBase

계산 과정

먼저 등몰 혼합물의 몰엔탈피를 구하면

$H = -3400 + 4500(0.5) - 3200(0.5)^2 = -3400 + 2250 - 800 = -1950$

이다.

미분하면

$\frac{dH}{dx_1} = 4500 - 6400x_1$

이므로 $x_1 = 0.5$에서

$\frac{dH}{dx_1} = 4500 - 6400(0.5) = 1300$

이다.

따라서 사이클로헥산의 부분몰엔탈피는

$\bar{H}_2 = H - x_1\frac{dH}{dx_1} = -1950 - 0.5(1300) = -2600$

이다.

선지 판단

① X: 값 -4200은 $\bar{H}_2 = -2600$과 다르다. 부분몰엔탈피 식이나 미분항의 계수·부호를 잘못 처리한 값이며, 올바른 값은 -2600이다.

② O: $\bar{H}_2 = H - x_1\frac{dH}{dx_1}$에 $x_1 = 0.5$를 대입하면 -2600이므로 옳다.

③ X: -1950은 등몰 혼합용액의 몰엔탈피 H 값이다. 묻는 값은 혼합물 전체의 몰엔탈피가 아니라 사이클로헥산의 부분몰엔탈피이므로 올바르게는 -2600이다.

④ X: -1300은 벤젠의 부분몰엔탈피 $\bar{H}_1 = H + (1 - x_1)\frac{dH}{dx_1}$를 계산한 값이다. 묻는 성분은 사이클로헥산이므로 올바르게는 -2600이다.

오답 포인트

③처럼 전체 몰엔탈피 H를 부분몰엔탈피와 혼동하거나, ④처럼 성분을 바꾸어 $\bar{H}_1$를 계산하면 틀린다. 이 문항의 핵심 함정은 평균 성질과 부분몰 성질의 구분, 그리고 어느 성분의 부분몰값을 묻는지의 구분이다.

다시 나오면 이렇게 판단

이성분계 부분몰성질 문제는 먼저 조성을 정하고, 다음에 전체 몰성질 M과 $\frac{dM}{dx_1}$를 구한 뒤, 성분 1이면 $M + (1 - x_1)\frac{dM}{dx_1}$, 성분 2이면 $M - x_1\frac{dM}{dx_1}$를 적용하는 순서로 판단한다.

암기 포인트

이성분계에서 $\bar{M}_1 = M + (1 - x_1)\frac{dM}{dx_1}$, $\bar{M}_2 = M - x_1\frac{dM}{dx_1}$이며, 전체 몰성질 M와 부분몰성질 $\bar{M}_i$는 다르다.

NoteBase

문 25. 3몰의 고체 시료 A와 1몰의 기체 시료 B가 반응하여 2몰의 기체 C를 생성하는 화학반응이 있다. 300 K에서 전체 압력이 6 bar일 때 해당 반응은 평형에 도달하며 반응의 평형상수는 1이다. 평형 상태에서 기체 B의 부분압력[bar]은? (단, A는 기체상으로부터 분리되는 고체이며, B와 C는 이상기체 상태에 있다고 가정한다)

① 2

② 3

③ 4

④ 5

정답 3번

출제 포인트

순수 고체의 활동도를 1로 두고 이상기체의 평형상수식을 부분압력으로 세워 기체 B의 평형 부분압력을 구하는 문제이다.

조건 정리

반응식은 $3A(s) + B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$이다.
A는 기체상으로부터 분리되는 순수 고체이므로 평형식에서 활동도는 1이다.
평형 상태에서 기체는 B와 C뿐이므로 $p_B + p_C = 6bar$이다.
구해야 할 값은 평형 상태의 p_B이다.

사용할 공식

평형상수식은 $K = \frac{a_C^2}{a_B a_A^3} = \frac{p_C^2}{p_B} = 1$이다.
이 공식을 쓰는 이유는 순수 고체 A는 활동도 1로 처리되어 빠지고, 이상기체 B와 C의 부분압력만 평형을 결정하기 때문이다.

계산 과정

평형에서 $p_B = x$라 두면 $p_C = 6 - x$이다.
따라서 $\frac{(6-x)^2}{x} = 1$이 된다.
이를 정리하면 $(6-x)^2 = x \Rightarrow 36 - 12x + x^2 = x \Rightarrow x^2 - 13x + 36 = 0$이다.
인수분해하면 $(x-4)(x-9) = 0$이므로 $x = 4$ 또는 $x = 9$이다.
전체 압력이 6 bar인데 $p_B = 9bar$는 불가능하므로 가능한 해는 $p_B = 4bar$뿐이다.

NoteBase

선지별 해설

① X: $p_B = 2bar$이면 $p_C = 4bar$이고 $K = \frac{4^2}{2} = 8$이 되어 평형상수 1을 만족하지 못한다. 올바르게는 $p_B = 4bar$이다.
② X: $p_B = 3bar$이면 $p_C = 3bar$이고 $K = \frac{3^2}{3} = 3$이 된다. 총압을 둘로 나누는 식의 단순 대입에서 나온 오답이며, 올바르게는 $p_B = 4bar$이다.
③ O: $p_B = 4bar$이면 $p_C = 2bar$이고 $K = \frac{2^2}{4} = 1$이므로 주어진 평형상수를 정확히 만족한다.
④ X: $p_B = 5bar$이면 $p_C = 1bar$이고 $K = \frac{1^2}{5} = \frac{1}{5}$가 된다. 반응계수만 보고 압력을 임의로 크게 잡은 값에 가깝고, 올바르게는 $p_B = 4bar$이다.

오답 포인트

순수 고체 A를 평형상수식에 넣거나, 반응계수를 바로 부분압력비로 오해하면 오답이 된다. 또한 이차방정식의 두 근 중에서 전체 압력 조건을 만족하는 해만 남겨야 한다는 점을 놓치기 쉽다.

다시 나오면 이렇게 판단

기체-고체 평형 문제는 먼저 순수 고체를 평형식에서 제외하고, 총압으로 기체 부분압력을 한 변수로 만든 뒤, 평형상수식을 세워 나온 해 중 물리적으로 가능한 값만 선택하면 된다.

암기 포인트

순수 고체는 활동도 1이므로 평형식에서 빠지고, 기체 부분압력만으로 K_p를 계산한다.

NoteBase