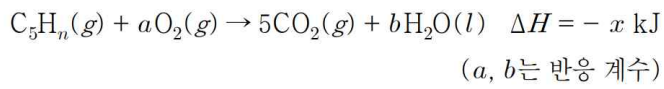


[2026.05.08.]

8. 다음은 25℃, 1 atm에서 $C_5H_n(g)$ 의 연소 반응에 대한 자료이다.

○ 열화학 반응식:



○ 1 mol의 $H_2O(l)$ 이 생성될 때, $\frac{1}{5}x$ kJ의 열이 방출된다.

n 은?

- ① 4 ② 6 ③ 8 ④ 10 ⑤ 12

보통 화학, II에서 반응 계수라고 하면 자연수를 의미합니다. 그러나 열화학 반응식에서는 반드시 그래야 하는 것은 아닙니다. 이러한 개념이 약간 충돌하는 감이 있기에 열화학 반응식에서 반응 계수를 미지수로 - 반응 계수라고 지칭하지는 않는 경우가 많습니다. 실제로 $a=7.5$ 가 나와서 당시에는 이 문항도 조금 아쉽다고 생각했는데, 그냥 뒤의 문항들을 보면 이 정도는 정말 아쉬운 정도에서 그치는 문항 같습니다. 따지자면 교육과정상 문제가 될 소지가 없다는 쪽이 더 맞는 문항 같습니다.

[2026.06.05.]

5. 다음은 어떤 학생이 수행한 탐구 활동이다.

[가설]
 ○ 용액의 어는점 내림(ΔT_f)은

[탐구 과정]
 (가) 표와 같이 용매 100 g에 용질 X를 녹인 용액 I~IV를 준비한다.

용액	I	II	III	IV
용매의 종류	A	A	B	B
용질의 양(mol)	x	$2x$	x	$2x$

(나) 1 atm에서 온도를 낮추면서 용액이 얼기 시작하는 온도를 측정한다.

[탐구 결과]
 ○ 용액이 얼기 시작하는 온도

용액	I	II	III	IV
얼기 시작하는 온도($^{\circ}\text{C}$)	4.0	2.5	0.5	-5.7

[결론]
 ○ 가설은 옳다.

학생의 탐구 과정 및 결과와 결론이 타당할 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따른다.) [3점]

<보 기>

ㄱ. '용질의 종류와 관계없이 용액의 몰랄 농도에 비례한다.'는 ㉠으로 적절하다.
 ㄴ. 기준 어는점은 B(l)가 A(l)보다 높다.
 ㄷ. 1 atm에서 몰랄 내림 상수는 A(l)가 B(l)보다 크다.

① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄷ ⑤ ㄴ, ㄷ

올해 수능 가설 검증 문항 [2026.11.12.]를 보았을 때, 그 당시에는 이 문항이 아쉬운 정도라고 생각했는데 다시금 보니, 문항을 내는 것에만 집중할 뿐 가설 검증 문항을 교육적, 과학적으로 낼 생각은 별로 없다는 생각이 많이 듭니다.

ㄱ의 모순을 판단하는 것은 그리 어렵지 않습니다. 문제는 마땅한 ㉠을 무엇을 제시할 수 있는가? 존재하기는 하는가? 에 대한 답이 없다는 것입니다. 당시 제가 작성한 ㄱ의 해설입니다.

ㄱ. 23년도 6월 평가원 문항 정도부터 '가설 검증' 문제가 일반적인 틀에서 다소 변화하고 있습니다. 물론 여전히 정답률에 영향을 줄 만큼은 아니지만 허들 정도로 살짝 시간이 걸릴만 합니다. 우선 시험장 기준으로, 제시된 그대로 ㄱ의 가설이 맞다고 생각했을 때 모순을 빠르게 판단해 봅시다. ㄱ대로라면 이 실험은 '용질의 종류가 달라지는 상황'으로 '어는점 내림'을 측정해야 할 것인데, (가)에서 보면 용질이 아닌 용매의 종류가 달라지는 상황입니다. 따라서 틀렸습니다.

근데 그러면 '용매의 종류와 관계없이 용액의 몰랄 농도에 비례한다.'로 바꾼다면 맞는 가설일까요? 그렇지 않습니다. 용매의 종류가 달라짐에 따라 몰랄 농도뿐만 아니라 용매마다 다른 어는점 내림 상수에 따라 어는점 내림도 달라지는 게 첫 번째 이유이고,

두 번째로는 그걸 검증하기 위한 자료도 빈약하다고 볼 수 있습니다. 우리야 화학 II 개념을 학습하였기 때문에 이 자료를 보고 A의 기준 어는점은 5.5도이고, B의 기준 어는점은 6.7도이겠구나 역산해서 알 수 있지만, 역산을 하려면 '같은 용매에서 어는점 내림은 몰랄 농도에 비례한다.'는 개념 (=가설)을 다시금 적용해야 합니다. 이런 경우 순환 논증의 오류에 빠지므로 이 문항의 가설과 같이 출제하려면 최소한 L, C에 해당하는 순수 용매의 기준 어는점 혹은 어는점 내림 상수 등의 자료 중 하나 이상을 같이 제시하였어야 합니다. 이 자료 없이 현 (가) 상태만으로는 I과 III을 비교하거나, I과 II를 비교하는 방법뿐이며 여기서는 어떠한 결론도 도출할 수 없습니다.

(몰랄 농도는 같으나 용매의 종류가 다른 I과 III을 비교해도 기준 어는점, 어는점 내림 상수가 없으면 4도와 0.5도를 비교할 방법이 없고, 같은 용매에서 몰랄 농도가 다른 I과 II를 비교한다 해도 기준 어는점을 모른다면 4도와 2.5도의 차이 1.5도가 몰랄 농도에 의한 차이임을 입증할 수 없습니다.)

그래서 ㄱ의 ㉠이 틀린 것은 명확하지만 적절한 ㉠은 무엇일까? 라고 묻는다면 굉장히 난해한 것이 사실입니다. 실제로 이런 부분, L, C과 ㄱ을 같이 묻고 있는 상황 설정이라는 점에서 잘못 출제된 문항이라고 생각하며, 그나마 아예 일반적인 이야기로 '㉠ : 몰랄 농도와 어는점 내림 상수에 비례한다.'로 하고 A, B 용매의 기준 어는점과 어는점 내림 상수가 실제로는 있으나 자료에는 생략되어 있는 것으로 생각하고 넘어가는 게 나을 것 같습니다. (X)

Another class 1부 pdf에서 '가설'로 검색하여 문항들을 풀어보거나, Another class 1부 271-272페이지 [2021.06.08.] 부분을 다시 읽어보시면 이 문항과 비교하여 도움이 될 것입니다.

L. 역산하면 기준 어는점은 A에서 5.5, B에서 6.7입니다. (O)

C. I에서는 구간 당 1.5도씩, II에서는 구간 당 6.2도씩 변하므로 B가 A보다 큼니다. (X)

그리고 결국 [2026.11.12.] 문항이 다시금 가설 검증 문항으로 출제되었습니다.

[2026.11.12.]

12. 다음은 어떤 학생이 수행한 탐구 활동이다.

[가설]

○ 약산과 ㉠가 섞여 있는 수용액에 소량의 강염기를 첨가해도 pH 변화는 크지 않다.

[자료]

○ 25℃에서 CH_3COOH 의 이온화 상수(K_a)는 1.8×10^{-5} 이다.

[탐구 과정 및 결과]

○ 혼합 수용액 I과 II에 각각 $\text{NaOH}(s)$ 1g을 첨가하기 전과 후의 pH를 측정하였다.

혼합 수용액	혼합 조건	$\text{NaOH}(s)$ 첨가 전 액성	pH 변화
I	1 M $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 0.5 L + 1 M $\text{NaCl}(aq)$ 0.5 L	산성	0.96
II	1 M $\text{CH}_3\text{COOH}(aq)$ 0.5 L + 1 M $\text{CH}_3\text{COONa}(aq)$ 0.5 L	㉡	0.04

[결론]

○ I보다 II의 pH 변화가 작으므로 가설은 옳다.

학생의 탐구 과정 및 결과와 결론이 타당할 때, 다음 중 ㉠과 ㉡으로 가장 적절한 것은? (단, 수용액의 온도는 25℃로 일정하다.)

- ㉠

㉡

㉠

㉡
- ① 약산의 짝염기 염기성

② 약산의 짝염기 산성

③ 약산의 짝염기 중성

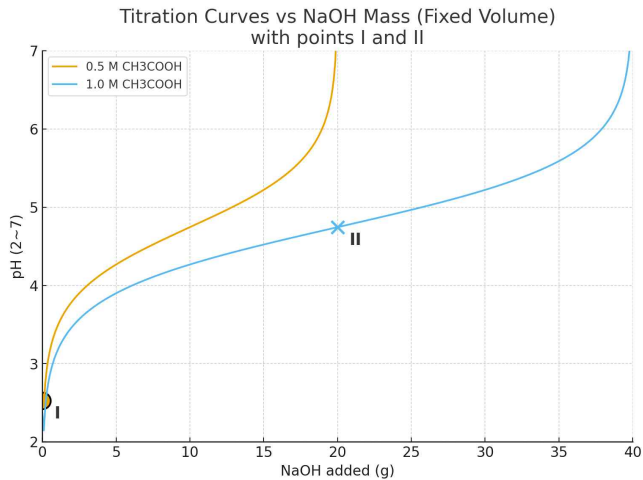
④ 강산의 짝염기 산성

⑤ 강산의 짝염기 중성

가설 문맥부터 완충 용액을 설명하는 맥락임을 알 수 있고, 또한 혼합 수용액 I은 단순 약산만, II는 약산과 그 짝염기의 상황인 완충 용액의 상황이므로 ㉠은 약산의 짝염기입니다.

II에서는 반당량점이고 $K_a < 10^{-7}$ 이므로 ㉡은 산성입니다.

다만 이 문항은 문제 풀이와는 상관없이 애매한 부분이 있는데, I과 II의 비교가 정말로 타당하냐는 것입니다. 중화 적정 곡선상 I과 II는 다음 부분에 위치하게 됩니다.



완충 용액의 pH 변화를 완충하는 능력은 약산과 짝염기의 비율도 중요하지만, 전체 몰수에도 영향을 받습니다. 지금이야 겨우 두 배 차이로 큰 차이가 없어 보이지만, 두 그래프는 경우가 다릅니다. 같은 1g이라고 하더라도 그래프상 NaOH 1g을 추가함에 따른 x 축 이동은 I이 II의 2배와 비슷한 위상으로 이동하게 됩니다.

따라서 I과 II의 pH 변화 0.96과 0.04의 크기 차이는 두 가지로 설명할 수 있는데,

- 1) 완충 용액과 단순 약산만 존재하는 용액의 완충 능력 차이
- 2) 몰 농도의 차이로 인한 완충 능력 차이

이 두 가지가 겹쳐서 생긴 결과라는 것입니다. 실제로 같은 1M 용액으로 비교할 시 0.96이 아닌 0.78 정도의 변화가 생기게 됩니다.

그래서 I과 II가 이 문제의 가설을 옳다고 하는 데에는 큰 문제는 없습니다. 애초에 가설 자체가 ‘크지 않다’는 내용인데 대체 무엇이 크고 크지 않은 건지 애매한 가설입니다. 이 문제에서는 어찌 되었든 비교군보다는 작으니 괜찮다고 할 수 있겠지요. 하지만 더 나아가서 정말 정확한 비교를 통해 얻은 결론인가? 하면 논쟁의 여지가 있다는 것입니다.

마치 “수소 결합 물질은 끓는점이 높다.”와 같은 가설을 제시하고

분산력이 다른 NH_3 와 H_2 를 제시한 뒤 “ NH_3 의 끓는점이 높으니 가설은 옳다.” 이런 실험과 다를 것이 없습니다.

수소 결합 물질의 인력이 일반적인 수준에서 더 강한 것은 맞습니다. 실제로 NH_3 와 H_2 와 같이 수소 결합 차이에 분자량도 차이 나는 물질을 제시하면 당연히 맞을 수밖에 없습니다. 그러나 그게 “수소 결합 물질은 끓는점이 높다.”는 표현조차 애매한 가설을 증명하기에 과학적으로 적절한 탐구인가? 하면 글썽요...

실제로는 분산력에 따라 결과가 뒤바뀔 수도 있는 경우도 존재하지만 어찌 되었든 이 경우에는 딱히 틀리지 않았고 가설 검증하는 데에도 맞기는 하지만 이걸 과연 과학이나 교육적 목적으로 옳은 탐구라고 할 수 있는가? 라고 하면 논쟁의 여지가 있는 그런 것입니다.

[2026.07.20.]

20. 표는 25℃에서 x M 약산 $\text{HA}(aq)$ 와 y M 약산 $\text{HB}(aq)$ 에 각각 0.5 M $\text{NaOH}(aq)$ 을 혼합하여 만든 수용액 (가)~(다)에 대한 자료이다. $\alpha = \frac{[\text{A}^-]}{[\text{HA}] + [\text{A}^-]}$ 이고, $\beta = \frac{[\text{B}^-]}{[\text{HB}] + [\text{B}^-]}$ 이다.

수용액	혼합 전 수용액의 부피(mL)			α 또는 β	pH
	x M $\text{HA}(aq)$	y M $\text{HB}(aq)$	0.5 M $\text{NaOH}(aq)$		
(가)	150	0	100	$\frac{a}{24}$	b
(나)	0	100	40	$\frac{a}{10}$	
(다)	0	180	80	$\frac{16}{9a}$	$b+1$

$\frac{y}{x} \times \frac{25^\circ\text{C에서 HA의 이온화 상수}(K_a)}{25^\circ\text{C에서 HB의 이온화 상수}(K_a)}$ 는? (단, 수용액의

온도는 25℃로 일정하고, 혼합 수용액의 부피는 혼합 전 각 수용액의 부피의 합과 같다.) [3점]

- ① $\frac{1}{10}$ ② $\frac{5}{8}$ ③ $\frac{4}{5}$ ④ 4 ⑤ 5

이 문항은 중화 적정 그래프 내에 있다고 '가정'해야만 문항을 풀 수 있습니다. 당시 제가 작성한 해설 일부를 인용하겠습니다.

(나), (다)가 전부 중화 적정 구간이라고 가정을 했을 뿐 실제로는 많은 경우의 수가 존재합니다.

- 1) (나)는 중화 적정 구간에, (다)는 당량점일 때
- 2) (나)는 당량점, (다)는 당량점 이후 구간
- 3) (나)는 중화 적정 구간, (다)는 당량점 이후 구간
- 4) 심지어 y 가 매우 큰 경우 (나)는 약산의 초기 상태, (다)는 중화 적정 구간도 가능해집니다.

이 문항에서 1) ~ 4)에 대한 배제 방법은 만족하는 a 가 없음을 직접 계산해서 입증하는 방법뿐이며 한 두가지의 경우가 아닌 이렇게 다양한 경우가 존재하는 것은 의도된 부분이 아닌 실수라고 생각합니다.

실제로 이 문항의 해설에는 당연히 적정 구간으로 상정한 풀이만 존재하며 그 외의 경우에 대한 배제가 없는 것이 문제인 것입니다.

그나마 다행이라고 하면, 현실적으로 4)는 불가능하다고 쳤을 때 1) ~ 3)은 그나마 1)과 2),3)을 묶어서 배제하면 생각보다는 간단하게 배제할 수 있다는 점입니다.

1)의 경우 (다) 당량점이 되려면 $y = \frac{2}{9}$ 가 되고, 당량점인 (다) 대비 (나)에서 $\frac{9}{10}$ 배로 이때 중화

적정 구간이라 $\frac{a}{10} = \frac{9}{10}$, $a = 9$ 여야 하는데 이를 대입하면 (다)에서는 $\frac{16}{9a} = \frac{16}{81}$ 인데 염기를 더 많이 추가한 (다)에서 이온화도가 더 낮은 것은 옳지 않으므로 모순이 됩니다.

2), 3)의 경우 당량점 이후 구간의 경우 사실상 $\frac{16}{9a} = 1$ 이어야 하는데, $a = \frac{16}{9}$ 일 때 (나)의 $\frac{a}{10} = \frac{16}{90} = \frac{8}{45}$ 에서 (나)가 중화 적정 구간으로 확정되고, (나)의 $\frac{10}{9}$ 배한 (다)도 $\frac{8}{45}$ 대비 $\frac{8}{45} \times \frac{10}{9}$ 으로 (다)도 중화 적정 구간에 들어와 있어야 하므로 모순입니다.

이렇게 모순을 보이려면 보일 수는 있지만 꿈보다 해몽이 되는 것이고

문제 풀이에 익숙해져 당연히 적정 구간이라고 가정하고 푸는 학생들이, 이 구간이 정말 적정 구간인지를 판단을 고민하다가 제대로 풀지 못한 학생들보다 뛰어나다고 할 수 있는지 의문이 되어버리는 출제 설계입니다.

~~중략~~

다시 이 문항으로 돌아가서 보면 적정 구간임을 가정하고 푸는 데에는 당연히 반동이 생길 수밖에 없으며

최소한 1) 그 가정이 맞다는 것에 대한 검증 - $a = 4$ 를 대입하여 (나), (다)가 중화 적정 과정임을 다시 한 번 확인하는 과정을 해야 지금 이 경우가 모순 없는 가능한 경우, 답이 될 수 있음을 확정하는 것이고

더 엄밀하게는 2) 그 가정만 맞다는 것에 대한 검증을 해야만 주어진 경우만이 답이 가능함을 확정하는 것입니다.

따라서 이 두 가지가 이루어져야 하지만 이 문항은 이 두 가지 중 어떤 것도 해설에 제시하지 않았습니다.

20. [출제의도] 산 염기 평형 탐구 설계 및 수행하기

$$(가)에서 \frac{1}{x} = \frac{a}{8}, (나)에서 \frac{1}{y} = \frac{a}{2}, (다)에서 \frac{1}{y} = \frac{8}{a}$$

이므로 $a=4$, $x=2$, $y=0.5$ 이다. HA의 이온화 상수(K_a)
 $= 0.2 \times 10^{-b}$, HB의 이온화 상수(K_a) $= 0.8 \times 10^{-(b+1)}$

$$\text{이므로 } \frac{y}{x} \times \frac{\text{HA 이온화 상수}(K_a)}{\text{HB 이온화 상수}(K_a)} = \frac{5}{8} \text{이다.}$$

[2026.09.06.]

6. 다음은 물질 (가)와 (나)의 전기 분해 실험에 대한 자료이다.
 (가)와 (나)는 $\text{AgNO}_3(aq)$ 과 $\text{NaCl}(aq)$ 을 순서 없이 나타낸 것이고,
 ㉠과 ㉡은 각각 $\text{Ag}(s)$ 과 $\text{H}_2(g)$ 중 하나이다.

- 환원되기 쉬운 경향: $\text{Ag}^+(aq) > \text{H}_2\text{O}(l) > \text{Na}^+(aq)$
- $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 환원 반응: $2\text{H}_2\text{O}(l) + 2e^- \rightarrow \text{H}_2(g) + 2\text{OH}^-(aq)$
- $\text{AgNO}_3(aq)$ 과 $\text{NaCl}(aq)$ 에 각각 페놀프탈레인 용액을 2~3방울 넣고 전기 분해 반응이 진행되는 동안 관찰된 (−)극 주변 수용액의 색 변화와 (−)극에서 생성된 물질

물질	색 변화	생성된 물질
(가)	붉은색으로 변화	㉠
(나)	변화 없음	㉡

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]

—<보 기>—

- ㄱ. 전기 분해가 진행될 때 환원 반응은 (+)극에서 일어난다.
- ㄴ. (가)는 $\text{NaCl}(aq)$ 이다.
- ㄷ. ㉠과 ㉡이 각각 1 mol씩 생성되었을 때 얻은 전자의 양(mol)은 (가)에서가 (나)에서의 2배이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄴ, ㄷ

문제 자체의 이상보다는 대체 어디까지 공부를 해야 하는가, 어디까지가 배경지식의 범위인가를 반문하게 되는 문항입니다. 결국 이는 올해 수능 [2026.11.09.]까지 결국 이 질문이 계속되어 버린 셈입니다. 당시 해설 일부입니다.

아주 오랜만에 등장한 전기화학에서의 산염기 융합 문항으로, 이전에 출제된 적이 없는 문항까지는 아닙니다. [2018.09.12.]와 같이 단순 pH를 묻기도 하였고, [2015.07.14.]와 같이 페놀프탈레인보다 더한 BTB 지시약을 물어본 경우도 있었습니다.

이게 참 정도가 애매한 게 페놀프탈레인 정도는 상식 선에 해당한다고 생각하면서도, 그와 별개로 염기성이 붉은색인지는 몰랐더라도 이 문항을 푸는 데에는 크게 지장이 없어서 과연 어디까지 물어볼 생각을 하고 있는지? 어디까지 암기를 해야 하는지? 하면 애매한 것 같습니다.

그래서 정말 웬만해서는 큰 문제가 없을 거라고 생각하지만 지시약의 기본 개념에 대해서도 잘 모르거나 페놀프탈레인도 잘 몰라서 틀릴 정도라면 다음 문항들을 풀어 보시면서 익히시면 좋겠습니다.

이 문항의 출제 경향은 단원은 다르지만 결국 [2026.11.09.]로 이어집니다.

[2026.11.09.]

9. 표는 2주기 14~17족 원소 X와 Y의 수소 화합물 (가)~(라)의 기준 끓는점에 대한 자료이다. (가)와 (나)는 각각 XH_m 과 YH_n 중 하나이고, (다)와 (라)는 각각 $\text{X}_2\text{H}_{2m-2}$ 와 $\text{Y}_2\text{H}_{2n-2}$ 중 하나이다.

수소 화합물	(가)	(나)	(다)	(라)
기준 끓는점(°C)	-162	-33	114	-89

액체 상태의 (가)~(라)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X와 Y는 임의의 원소 기호이다.) [3점]

<보 기>

- ㄱ. 분자 사이에 수소 결합이 존재하는 물질은 2가지이다.
 ㄴ. 분자 사이의 쌍극자·쌍극자 힘은 (나)가 (가)보다 크다.
 ㄷ. (나)와 (라)를 각각 구성하는 원소의 종류는 같다.

① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

어느 정도의 배경지식을 가져야 하는지 의도한 풀이가 맞는지 굉장히 난해한 문항입니다. 다양한 논리 중 어떤 것을 의도하고 냈는지, 또 어떤 논리를 인정하느냐에 따라 앞으로 어디까지 출제될 수 있을지 난해합니다.

첫 번째로 사용하는 논리로, 일단 2주기 수소 화합물이라고 하면 CH_4 , NH_3 , H_2O , HF 정도인데 HF 같은 경우 $m=1$ 혹은 $n=1$ 을 대입하였을 때 $2m-2, 2n-2=0$ 이 되므로 불가능합니다.

두 번째로 CH_4 , NH_3 , H_2O 가 남는데 이 중 끓는점이 100도인 것이 없으니, 혹은 끓는점의 값이 적당한지를 보고 CH_4 , NH_3 여야 한다는 논리를 쓸 수 있습니다. 아마 현장에서 푸신 분들은 이 두 가지 정도의 생각으로 푸셨을 것이라 생각합니다. 저 역시 처음 풀 때 그러했구요.

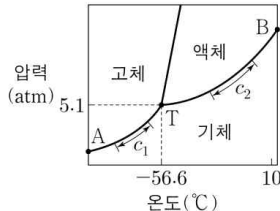
그런데 과연 이 논리가 맞을까 싶습니다. $m=1, n=1$ 이 안 된다는 논리도 그렇고, 지금까지 끓는 점을 묻는 문항에서 이렇게 대놓고 배경지식을 묻는 문항은 없었습니다. 물론 물은 배경지식의 범 위에 충분히 들어갈 만 하지만 그렇다면 대체 어디까지, 어느 물질의 끓는점까지 배경지식의 범 위에 포함시킬 것인가? 하는 의문이 생깁니다.

세 번째로 오히려 화학적인 의미를 찾자면 N_2H_2 가 있겠죠. N_2H_2 는 한 분자당 수소 결합이 2개 가능하므로 H_2O 의 100도와 비슷한 것도, B와 C가 같은 수소결합임에도 끓는점 차이가 큰 것을 설명할 수 있을 것입니다. 그러나 이 논리 역시 맹점은 현재까지 출제된 문항에 그런 내용이 없는 것은 둘째치고, 수소 결합의 개수가 많기 때문에 H_2O 가 NH_3 보다 강하다는 내용은 교과서/수능특강/수능완성 모두에 명시되어 있지 않습니다. 분산력과 수소 결합을 그렇게 정량적으로 비교하는 능력 또한 화학 II에는 없다는 것입니다. 그나마 문제는 H_2O 가 육각 구조를 형성한다는 내용에서 추측은 해볼 수 있겠지만 이 역시도 정말 맞는 논리인지 의문입니다.

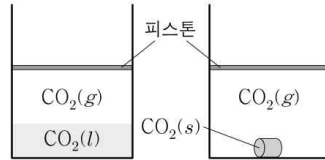
문항 자체가 잘못되었다고 할 수는 없지만, 대체 퍼즐 문항의 논리를 어디까지 사용할 수 있는가? 첫째 논리도, 둘째 논리도, 셋째 논리도 그 자체로 명확하다고 느껴지지 않아서 과연 어떤 것을 의도하고 냈는지, 다시 공부한다면 어떤 것을 공부해야 하는지 불명확한 문항입니다.

[2026.09.10.]

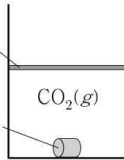
10. 그림 (가)는 CO_2 의 상평형 그림을, (나)와 (다)는 각각 실린더 속에서 CO_2 가 상평형을 이루고 있는 상태를 나타낸 것이다. (가)에서 c_1 과 c_2 는 각각 곡선 AT와 BT의 일부이고, (나)와 (다)에서 $\text{CO}_2(g)$ 의 온도와 압력은 c_1 또는 c_2 의 한 점에 해당한다.



(가)



(나)



(다)

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.) [3점]

<보 기>

- ㄱ. (나)에서 $\text{CO}_2(g)$ 의 온도와 압력은 c_2 의 한 점에 해당한다.
 ㄴ. (나)에서의 압력과 (다)에서의 온도에서 CO_2 의 안정한 상은 고체이다.
 ㄷ. (다)에서 외부 압력을 일정하게 유지하면서 온도를 10°C 로 높여 충분한 시간이 흐른 후, CO_2 의 안정한 상은 기체이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

이 문항은 하자가 있는 문항이라서 수록한 것이 아닙니다. 지금 다시 보시면 눈치채셨을 수도 있지만, [2026.11.14.]의 원형 문항입니다. 당시 제가 작성한 [2026.09.10.] 해설 코멘트입니다.

문항은 쉬우나 (나)와 (다)의 상황 자체는 눈여겨 볼만 한데, 강철 용기가 아닌 실린더에서 이렇게 두 개의 상으로 존재하는 경우는 이론상으로는 가능하지만 실제로는 보기 어렵기 때문입니다. 외부 압력과 증기 압력이 조금만 차이가 있어도 응축 or 증발이 계속 일어나 하나의 상으로 귀결되기 쉽습니다.

마치 그림에는 (나)와 (다)가 평범한 상황처럼 보이지만 (나)를 실생활 예시로 들면 '물을 실린더에 넣고 외부 온도, 압력을 정확하게 맞춰 끓고 있는 상황'에 해당하는 것입니다. 보통 우리가 1기압에서 물을 끓일 때에는 열을 지속적으로 가하므로 물이 전부 수증기가 될 때까지 반응이 일어나지만 이 온도와 압력이 정확하게 맞춰진다면 상태 변화에 필요한 에너지가 얼마나 공급되었는지에 따라 끓기는 하되 물과 수증기가 적당한 비율로 존재하게 됩니다.

그런 점에서 (나), (다) 실린더 내 CO_2 는 상황에 따라 전부 기화/승화하여 기체로 존재하게 될 수도 있고 전부 응축/승화되어 액체/고체상으로만 존재할 수도 있습니다. 즉 (나), (다) 그림들은 상평형 그래프 위 c_1, c_2 한 점의 가능한 다양한 상황들 중 하나입니다.

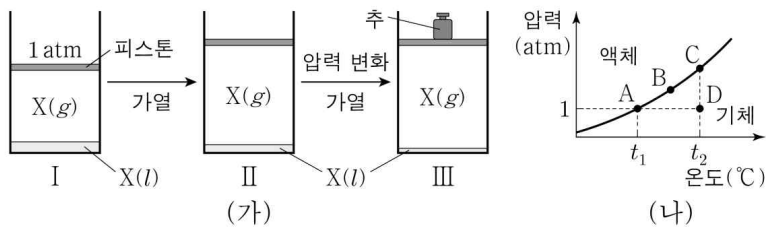
그래서 조금 쓸데없이 엄밀히 구분하면 (나)이면 c_2 , (다)이면 c_1 인 것은 맞으나 모든 c_2, c_1 의 상황이 반드시 (나), (다)처럼 되는 것¹⁾은 아닙니다. ㄴ, ㄷ. 선지에서 설정한 온도, 압력에서는 단 하나

의 경우(기체로만 존재 or 고체로만 존재)만 가능한 것과 약간 다르구나~ 정도로 상평형 개념을 다질 수 있겠습니다.

바로 이어서 [2026.11.14.]를 봅시다.

[2026.11.14.]

14. 그림 (가)는 $t_1^\circ\text{C}$, 1 atm에서 실린더 속 물질 X의 평형 상태 I 과, I 에서 순차적으로 조건을 달리하여 새롭게 도달한 평형 상태 II와 III을, (나)는 X의 상평형 그림 일부를 나타낸 것이다. III에서 X의 온도는 $t_2^\circ\text{C}$ 이고, I ~III은 각각 A~D 중 하나이다.



II와 III으로 옳은 것은? (단, 대기압은 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

- | | | | | | | | | |
|---|-----------|------------|---|-----------|------------|---|-----------|------------|
| | <u>II</u> | <u>III</u> | | <u>II</u> | <u>III</u> | | <u>II</u> | <u>III</u> |
| ① | A | C | ② | A | D | ③ | B | C |
| ④ | C | D | ⑤ | D | C | | | |

그래서 이 문항은 출제는 악의적이지만, 나름의 스토리가 있는 문항입니다.

지금 생각하면 조금 더 정리를 했어야 했다고 생각이 들어 매우 안타깝고 죄송한 마음입니다. 결국 이 볼드체 첫 문단의 내용이 문제 상황으로, 뒷 문단은 답을 고를 때의 언어적 함정으로 출제된 셈입니다.

볼드체 첫 문단의 c_1, c_2 위의 한 점(수능 문항의 점 A)의 가능한 다양한 상황들로 I, II가 있을 수 있다는 내용이 출제가 된 것이고

다른 일반적인 문항과 다르게 I ~ III은 각각 A ~ D 중 하나인데 I과 II가 중복되게 만듦으로 쉽게 답을 고르지 못하게 만들었는데

사실 이것은 반대로 A ~ D는 각각 I, II, III 중 하나이다. 라고 서술하였으면 A가 I, II 둘 다 가능하기 때문에 출제 오류가 되었겠지만

1) 물의 가열, 끓는점 그래프에서, 끓는점으로 온도가 일정한 구간의 시작부터 끝까지 다양한 경우가 존재하는 것과 마찬가지로입니다.

I ~ III은 각각 A ~ D 중 하나이나, 단 중복은 가능한 상황은 통념과는 다르지만 출제 오류라고는 할 수 없는 상황이 됩니다. 이것이 '(나)이면 c_2 , (다)이면 c_1 인 것은 맞으나 모든 c_2, c_1 의 상황이 반드시 (나), (다)처럼 되는 것²⁾은 아니다'라는 내용을 정확히 문제화 의도에 담긴 것이라고 볼 수 있습니다.

물론 이 정도의 설명으로 이 문항에서 이 내용을 연결 짓기는 굉장히 어려웠을 것이라고 생각합니다. 저 역시도 애초에 이런 중복이 가능한 선지가 구성될 것이라고 생각하지 않아 조금 쓸데없이 엄밀히 구분한다는 내용을 달았었고요.

이런 9평에서부터 이어지는 스토리를 보았을 때에는 개념적으로 좋은 문항이라고 생각하지만 솔직히 아쉬움이 많이 남습니다.

개념적으로 중요한 상황이고, 화학적으로 의미도 많은 상황이지만, 실제 이 문제의 변별은 이런 화학적 개념이 아닌 제시문의 함정을 의도하고 변별했기 때문입니다.

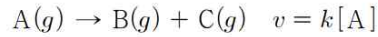
대부분 이 문항을 틀린 학생들은 '중복이 불가능하다는 선입견'을 깨지 못했기 때문에 틀린 것이지 화학적 개념이 부족해서 틀렸을 것이라고 생각하지 않습니다. 저조차도 처음 풀 때 I, II, III을 A, A, C라고 보고 무언가 잘못되었는지 확인하고 있었으니까요. 맞춘 사람들 역시 이와 비슷했을 것이라고 생각합니다.

문항에 중복이 가능하다는 언급 혹은 암시가 있었다면 과연 이 문항을 그렇게 많이 틀렸을까? 혹은 그렇게 많은 시간을 들였을까? 솔직히 아니라고 생각합니다. 물론 이러한 인지적 부조화에도 확실히 답을 밀고 맞춘 사람들은 대단한 것이 맞지만, 틀린 사람들을 전부 화학적 개념이 부족했기 때문이라고 할 수 있을까요. 의도적인 함정에 이 좋은 문항을 배치한 게 안타까울 따름입니다.

2) 물의 가열, 끓는점 그래프에서, 끓는점으로 온도가 일정한 구간의 시작부터 끝까지 다양한 경우가 존재하는 것과 마찬가지로입니다.

[2026.10.16.]

16. 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다. k 는 반응 속도 상수이다.



표는 He(g)이 들어 있는 강철 용기 I과 II에 A(g)를 넣어 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 He(g)의 몰 분율에 대한 자료이다. I과 II에서 온도는 각각 T_1 과 T_2 로 일정하다.

반응 시간	0	t	$2t$
I에서 He(g)의 몰 분율	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	x
II에서 He(g)의 몰 분율	y	$\frac{1}{8}$	$\frac{4}{35}$

$\frac{y}{x}$ 는? [3점]

- ① $\frac{9}{10}$ ② $\frac{5}{4}$ ③ $\frac{9}{7}$ ④ $\frac{3}{2}$ ⑤ $\frac{9}{5}$

이 문항은 여타 문항과 다르게 명백한 오류 문항입니다. 참고용으로 해설 전문을 올려 드립니다.

이 문항의 해설을 시작하는 것 자체가 매우 어려워 먼저 문항의 오류인 부분을 정확히 짚고 넘어가자면,

이 문항은 정확한 풀이를 했으나 미처 생각하지 못한 해가 존재하는 오류 문항이 아닙니다.

출제자가 애초에 근거가 없는 풀이를 기반으로 출제하여 오류가 된 경우기에 제대로 된 풀이를 작성하는 것이 애초에 불가능한 것입니다.

또한 이에 대해 제대로 된 풀이가 존재하기는 하나

지금까지 이 풀이를 단독으로 묻는 문항은 출제된 바가 없으며 화학 II 개념도 일부 넘어가는 데다가 가능한 경우가 1개가 아닌 2개로 존재하므로

이 문항은 명백한 오류문항입니다.

I에서는 B, C가 없이 초기 A와 He만 존재하는 상황이므로 주어진 분수를 해석할 수 있습니다.

$0 \rightarrow t$ 에서 $\frac{1}{2+1} \rightarrow \frac{1}{3+1}$ 이 되는 상황으로 A 2몰이 A, B, C 전체 3몰이 되었으므로 I에서 t 는 반

감기이며, $2t$ 일 때 $x = \frac{1}{3.5+1} = \frac{1}{4.5}$ 임을 쉽게 구할 수 있습니다.

문제는 II인데, t 와 $2t$ 의 비교에서 분수 자체는 $\frac{1}{7+1} \rightarrow \frac{1}{7.75+1}$ 로 0.75 증가했음을 알 수 있으

나, I과 다르게 A, B, C 전체 7 중 얼마큼이 A인지 알 수 없으므로 반감인지/ $\frac{1}{4}$ 반감인지 전혀 알 수 없습니다.

애초에 해설의 논리대로라면 $\frac{1}{5.5+1} \rightarrow \frac{1}{7+1} \rightarrow \frac{1}{7.75+1}$ 로 t 마다 반감되는 것이라고 주장해도 아무 상관이 없어집니다.

16. [출제의도] 1차 반응을 이해한다.

I에서 He의 양(mol)을 m 이라고 하면 A의 양(mol)은 $2m$ 이고, 반감기는 t 이므로 $x = \frac{2}{9}$ 이다. II에서 t 일 때 He의 양(mol)을 n 이라고 하면 다른 기체의 양은 $7n$ 이고, $2t$ 에서 다른 기체의 양이 $\frac{31}{4}n$ 이 되므로 반감기가 $\frac{t}{2}$ 이다. 따라서 $y = \frac{1}{5}$ 이다.

심지어 $7n$ 과 $\frac{3}{4}n$ 이 대체 무슨 관계인지, I과 비슷하게 생각했다고 하더라도 전혀 관련이 없을 정도로 계산 과정조차 잘못되었습니다.³⁾

그나마 여기서 $\frac{1}{5.5+1} \rightarrow \frac{1}{7+1} \rightarrow \frac{1}{7.75+1}$ 같은 사례가 안되는 이유는 5.5→7로 반감되는 것이 말이 안 된다 같은 가정을 끼워넣었다면 학생 입장에서 실전을 감안한 불완전한 귀납적 풀이라고도 인정해 줄 수도 있었겠지만⁴⁾

설령 그런 확인을 걸쳤다고 하더라도 연역적 방법이 아닌 귀납적 방법으로 풀이하는 이상 출제 과정 상의 큰 오류이며 면죄부가 될 수는 없습니다.

결론은 이 0.75만을 이용하여 풀이하는 해설지의 풀이는 전혀 문항으로 출제할 근거 자체가 없다는 것입니다.

한편 그렇다고 이 문제는 그렇다면 정말 풀 수 없는 문항인가? 그것은 아닙니다. 숨겨진 조건으로 반응 초기/완결점과 무한등비급수를 사용하는 방법이 있습니다.

1) 1차 반응이라는 점

2) 그래도 구간 $t \rightarrow 2t$ 로 한 가지 구간이 제시되었다는 점⁵⁾

때문에 무수히 많은 경우가 생기는 것은 아니고 한정된 경우로 좁혀지게 됩니다.

3) 함축적으로 $t = 0$ 에서 $\frac{1}{4+1}$ 이니까 $4 \rightarrow 7 \rightarrow 7.75$ 이다... 같은 이야기긴 하겠지만 그건 답을 알거나

찍고 억지로 끼워넣는 풀이입니다.

4) 실제로 학생들 중에서는 이렇게 여러 반감기를 써보고 가능한 경우를 확정지어 푸는 경우도 많았을 것이라 생각하고 이 자체는 시험이라는 특성 상 그렇게 틀린 풀이는 아니라고 생각합니다.

5) 여기서 구간 하나가 더 제시되어야 1가지 경우로만 확정됩니다.

t 시간당 다음 구간 전체 물수 변화량이 r 배 된다고 일반적으로 풀이하면 ($0 < r < 1$)

$t \rightarrow 2t$ 일 때 0.75이므로 $0 \rightarrow t$ 일 때 $\frac{0.75}{r}$ 만큼 증가했어야 합니다.

따라서 0초에서 초기 A 는 $7 - \frac{0.75}{r}$ 가 됩니다.

반응 시간 0초일 때 대비 $\lim_{t \rightarrow \infty}$ 일 때 전체 물수가 2배가 되어야 합니다. 즉

$\frac{0.75}{r}, 0.75, 0.75r, 0.75r^2, \dots, 0.75r^{n-1}$ 로 이어지는 등비수열의 무한등비급수가 $7 - \frac{0.75}{r}$ 가 되어야 합니다.

초항이 $\frac{0.75}{r}$, 공비가 r 이므로 $\frac{\frac{0.75}{r}}{1-r} = 7 - \frac{0.75}{r}$ 에서 $7r - 0.75 = \frac{0.75}{1-r} - 7r^2 + 7.75r - 1.5 = 0$

$28r^2 - 31r + 6 = 0$ ($4r - 1$)($7r - 6$) = 0으로

정리하면 $r = \frac{1}{4}$ or $r = \frac{6}{7}$ 이 나오게 됩니다.

이 $r = \frac{1}{4}$, 즉 반감기가 $\frac{t}{2}$ 라는 것이 출제자가 역지로 끼워맞춘 답인 것이며

이때 $7 - 0.75 \times 4 = 4$ 로 $y = \frac{1}{4+1}$ 이 됩니다.

또한 무한등비급수로 $4 \rightarrow 7 \rightarrow 7.75 \rightarrow \dots \rightarrow 8$ 에 도달한다는 점에서 가능한 경우가 맞습니다.

$r = \frac{6}{7}$ 일 경우에도 한번 대입을 해보면

$7 - \frac{7}{8} = \frac{49}{8}$ 로 $y = \frac{1}{\frac{49}{8} + 1} = \frac{8}{57}$ 이 되며

초기 $\frac{49}{8}$ 에서 A 는 구간 t 마다 $\frac{6}{7}$ 배되고 첫 $0 \rightarrow t$ 에서는 전체 물수 $\frac{7}{8}$ 물 증가, $t \rightarrow 2t$ 에서는

$\frac{6}{7} \times \frac{7}{8}$ 물 증가로 각각 $t, 2t$ 에서 7물, $\frac{31}{4}$ 물을 만족하며 무한등비급수로 계산하면 $\frac{\frac{7}{8}}{1 - \frac{6}{7}} = \frac{49}{8}$ 로

초기 $A = \frac{49}{8}$ 물과도 일치함을 확인할 수 있습니다.

이 경우는 조건 $0 < r < 1$ 을 만족하는 순간 풀이 과정에서 얻은 충분조건 r 이 필요충분조건이 되는 것이 맞아 검토 과정이 반드시 필요한 것은 아니지만 실제로 가능함을 대입하여 보였습니다.

그러나 실제로 이런 풀이가 유의미하다고는 할 수 없고 문항이 잘못 출제되었음에 따른 해설이 필요하여 남기게 되었습니다.

[2026.10.17.]

17. 다음은 $A(g)$ 가 $B(g)$ 로 분해되는 반응의 열화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.

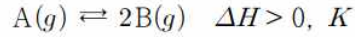
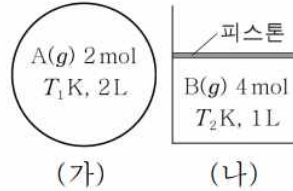


그림 (가)는 2 L 강철 용기에 $A(g)$ 가, (나)는 실린더에 $B(g)$ 가 들어 있는 상태를 나타낸 것이고, 표는 (가)와 (나)가 각각 $T_1 K$ 와 $T_2 K$ 에서 평형 상태에 도달하였을 때 $A(g)$ 또는 $B(g)$ 의 몰 분율에 대한 자료이다. $T_2 > T_1$ 이다.



	(가)	(나)
평형 상태에서 $A(g)$ 또는 $B(g)$ 의 몰 분율	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$

$\frac{T_2 K \text{에서의 } K}{T_1 K \text{에서의 } K}$ 는? (단, 외부 압력은 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.) [3점]

- ① $\frac{3}{10}$ ② $\frac{1}{2}$ ③ 3 ④ 6 ⑤ 8

이 문항은 어찌 되었든 답을 구할 수 있으므로 오류 문항이라고 할 수는 없으나 해설을 보면 출제자의 의도와 다르게 풀어야 옳게 풀 수 있으므로 역시 잘못된 출제입니다.

(가)는 A, B의 몰 분율이 동일하므로 어찌 되었든 몰분율 공식에서 A, B의 몰수를 $2 \times \frac{1}{1 + \frac{1}{2}} = \frac{4}{3}$ 몰로 구할 수 있습니다.

문제는 II인데, $T_2 > T_1$ 로 온도 변화에 의해 정반응으로 우세하게 평형 이동하는 것은 맞으나, (가)의 부피는 2L로 고정, (나)는 B 4몰이면 A 2몰로 가장 몰수가 적은 경우까지 상정하여 평형 도달 후 가능한 (나)의 부피는 $0.5L < (\text{평형 도달 후 (나)의 부피}) < 1L$ 이 됩니다. 어찌 되었든 같은 A, B 몰수에서 (가) 대비 (나)의 부피가 작기 때문에 부피 변화로 인해 몰수가 줄어드는 방향, 역반응이 우세하게 일어나게 됩니다.

따라서 온도 변화에 의한 효과 / 부피 변화에 의한 효과의 방향이 상충되기 때문에 제시된 조건만으로 A, B의 몰분율을 확정할 수 없습니다.

유일한 방법은 (A가 $\frac{1}{3}$, B가 $\frac{2}{3}$)인 경우와 (A가 $\frac{2}{3}$, B가 $\frac{1}{3}$)인 경우 두 가지를 모두 계산해서 불가능한 경우를 찾는 방법뿐이며

각각의 경우를 몰분율 공식으로 대입해보면 (A 1몰, B 2몰)일 때와 A 1.6, B 0.8몰인 경우이며

$$K_1 = \frac{\left(\frac{4}{3}\right)^2}{\frac{4}{3} \times 2} = \frac{2}{3} \text{ 이고}$$

A 1몰, B 2몰일 때 부피는 $\frac{3}{4}$ L으로 $K_2 = \frac{2^2}{1 \times \frac{3}{4}} = \frac{16}{3}$ 인데 $K_1 < K_2$ 를 만족하므로 가능하고

A 1.6몰, B 0.8몰일 때 부피는 0.6L로 $K_2 = \frac{(0.8)^2}{1.6 \times 0.6} = \frac{2}{3}$ 로

$K_1 = K_2$ 가 되어버리기 때문에 불가능합니다.

결국 이렇게 케이스를 나누어 풀어야만 하므로 출제자의 해설과 같이 단순 온도만으로 평형 이동의 방향을 판단한 것은 잘못된 풀이입니다.

17. [출제의도] 화학 평형을 이해한다.

평형 상수는 T_2 K일 때가 T_1 K일 때보다 크다. (가)

의 평형 상태에서 A와 B의 양(mol)은 모두 $\frac{4}{3}$ 이고,

(나)의 평형 상태에서 A와 B의 양(mol)은 각각 1,

2이다. T_1 K에서 $K = \frac{2}{3}$ 이고, (나)에서 실린더 속

기체의 부피는 $\frac{3}{4}$ L이므로 T_2 K에서 $K = \frac{16}{3}$ 이다.

[2026.11.07.]

7. 다음은 온도 T 에서 $A(g)$ 가 반응하여 $B(g)$ 와 $C(g)$ 를 생성하는 반응의 열화학 반응식이다.

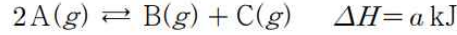
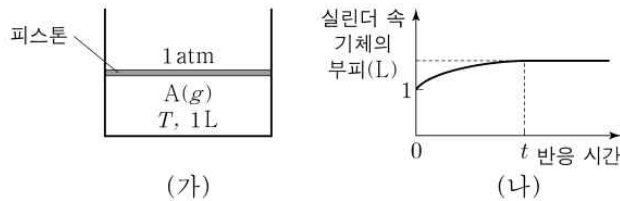


그림 (가)는 실린더에 $A(g)$ 가 들어 있는 초기 상태를, (나)는 (가)에서 반응이 진행될 때 반응 시간에 따른 실린더 속 기체의 부피를 나타낸 것이다. 시간 t 에서 평형에 도달했을 때, $A(g)$ 의 몰 분율은 0.2이고 $B(g)$ 의 부분 압력은 $P \text{ atm}$ 이다. 실린더 안과 밖의 열 출입은 없다.



a 의 부호(㉠)와 P 의 크기(㉡)로 옳은 것은? (단, 외부 압력은 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.) [3점]

- | | | | | | |
|-----|-----------|-----|-----------|-----|-----------|
| ㉠ | ㉡ | ㉠ | ㉡ | ㉠ | ㉡ |
| ① + | $P = 0.4$ | ② + | $P < 0.4$ | ③ - | $P > 0.4$ |
| ④ - | $P = 0.4$ | ⑤ - | $P < 0.4$ | | |

쉬운 문항처럼 보이지만 가장 중요한 것은 '실린더 안과 밖의 열 출입은 없다.'는 내용입니다. 사실상 이는 고립계를 설명한 것과 같은 내용입니다.

이전 개정 화학 II에서는 열린계, 닫힌계, 고립계 내용을 설명하였고 실제로 이에 대한 문항도 출제되었습니다. 이 문항은 개정 후 화학 II에서도 처음 출제되는 유형이고 교과과정의 선을 넘는지 아닌지 논쟁의 여지가 있습니다.

물론 실제로 답을 내는 데에는 설명만 읽고 풀 수는 있었겠지만, 열린계/닫힌계/고립계 개념을 실제로 적용하는 것은 생각보다 더 어려운 일인데 이를 어디까지 알고 있어야 하나? 의문이 가득한 문항입니다.

개정 이후의 교육과정만 공부한 일반적인 학생들은 이 문제를 보고 개념 공부가 부족했다고 생각하실 수도 있습니다.

그러나 저는 그렇게 생각하지 않습니다. 이는 이전 교육과정과 비교하면 매우 빠저리게 느낄 수 있습니다. 이 문항과 관련된 개정 이후인 2026년도 수능특강과, 개정 이전 2019년도 수능특강 일부 내용들입니다. 직접 읽어보시면 좋겠습니다.

먼저 2026 수능특강입니다.

1 반응 엔탈피

(1) 반응열

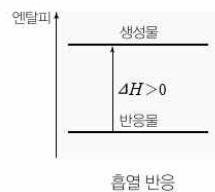
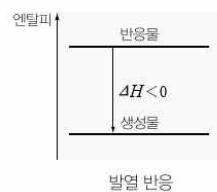
- ① 반응물과 생성물이 가지고 있는 에너지가 다르기 때문에 화학 반응이 일어나면 항상 에너지의 출입이 뒤따른다. 화학 반응이 일어날 때 방출하거나 흡수하는 열을 반응열이라고 한다.
- ② 발열 반응 : 화학 반응이 일어날 때 열을 방출하는 반응으로 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다.
- ③ 흡열 반응 : 화학 반응이 일어날 때 열을 흡수하는 반응으로 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다.

교과서도 읽어 보았는데 특별한 설명은 찾을 수 없었습니다.

이제 2019 수능특강의 관련 내용들을 보겠습니다.

(4) 발열 반응과 흡열 반응

- ① 발열 반응 : 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 커서 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 방출하는 반응이다.
 - 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 작은 반응으로, 발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 높아진다. $\Rightarrow \Sigma H_{\text{반응물}} > \Sigma H_{\text{생성물}} \quad \therefore \Delta H < 0$
 - 예 $\text{C}(s, \text{흑연}) + \text{O}_2(g) \longrightarrow \text{CO}_2(g) \quad \Delta H = -393.5 \text{ kJ}$
- ② 흡열 반응 : 반응물의 엔탈피 합이 생성물의 엔탈피 합보다 작아서 반응이 일어날 때 엔탈피 차에 해당하는 열을 흡수하는 반응이다.
 - 엔탈피 변화(ΔH)가 0보다 큰 반응으로, 흡열 반응이 일어나면 주위의 온도가 낮아진다. $\Rightarrow \Sigma H_{\text{반응물}} < \Sigma H_{\text{생성물}} \quad \therefore \Delta H > 0$
 - 예 $\text{N}_2(g) + \text{O}_2(g) \longrightarrow 2\text{NO}(g) \quad \Delta H = 180.6 \text{ kJ}$



(2) 화학 반응에서의 에너지 전환과 보존

- ① 화학 반응이 일어날 때 계에서 주위로, 또는 주위에서 계로 열에너지의 출입이 있다.
 - 계 : 화학 반응이 일어날 때 우리가 관심을 갖는 대상인 반응물과 생성물을 말한다.
 - 주위 : 우리가 관심을 갖는 대상인 계를 제외한 모든 영역을 말하는데, 화학 반응의 경우에는 주변 물질(반응이 일어나고 있는 비커, 공기 등)과 주변 공간을 모두 포함한다.
 - 우주 : 계와 주위를 합한 모든 영역을 말한다.



3 열역학 법칙

(1) 계의 종류

계와 주위 사이에 물질 및 에너지의 교환 여부에 따라 열린계, 닫힌계, 고립계로 구분할 수 있다.

- ① 열린계 : 계와 주위 사이에 물질과 에너지를 모두 교환할 수 있다.
- ② 닫힌계 : 계와 주위 사이에 에너지는 교환할 수 있지만 물질은 교환할 수 없다.
- ③ 고립계 : 계와 주위 사이에 물질과 에너지를 모두 교환할 수 없다.

열린계	닫힌계	고립계
병의 입구를 통해 열과 물질을 교환할 수 있다. 또한 병의 벽면을 통해서도 열을 교환할 수 있다.	병의 입구가 막혀 있어서 주위와 물질을 교환할 수 없지만 주위와 열은 교환할 수 있다.	병의 입구가 막혀 있어서 주위와 물질을 교환할 수 없고, 단열재로 둘러싸여 있어서 주위와 열도 교환할 수 없다.
☐ 사람의 몸, 자동차 엔진	☐ 건전지, 냉찜질용 팩	☐ 밀폐된 단열 용기, 우주

(1) 계의 엔탈피 변화와 주위의 엔트로피 변화의 관계

- ① 계의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{계}}$)는 쉽게 알 수 있지만 주위의 엔트로피 변화($\Delta S_{\text{주위}}$)는 계를 제외한 나머지 모든 영역이므로 정확하게 측정하기가 어렵다.
- ② 화학 반응이 일어날 때 고립계가 아니라면 계에서 주위로 열을 방출하거나 계가 주위로부터 열을 흡수하는데, 주위의 엔트로피 변화는 이러한 에너지의 출입에 영향을 받는다.
 - ➡ 주위의 엔트로피 변화는 계의 엔탈피 변화와 밀접한 관계가 있다.
 - 발열 반응 : 계의 엔탈피 감소($\Delta H_{\text{계}} < 0$) ➡ 계에서 주위로 열 방출
➡ 주위의 엔트로피 증가($\Delta S_{\text{주위}} > 0$)
 - 흡열 반응 : 계의 엔탈피 증가($\Delta H_{\text{계}} > 0$) ➡ 계가 주위로부터 열 흡수
➡ 주위의 엔트로피 감소($\Delta S_{\text{주위}} < 0$)

흡열, 발열 반응에 의한 주위 온도의 변화에 대한 내용이 있는 것은 동일하나, 실제 다양한 경우에서 계와 주위가 어떻게 정의되는지, 주어진 상황이 어떤 계에 해당하는지 다루지 않았습니다. 단열 용기는 고립계로 이 문제에서 처음 본 상황을 이미 개념으로 가르치고 있습니다. 모든 상황이 당연히 열린계/닫힌계인 것처럼 설명한 개정 교육과정 내용인 '발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 증가한다.'만을 알고 있었던 학생들은 이 닫힌계와 고립계에 대한 기존의 관념을 깨는 질문을 처음 도전한 것입니다.

반면에 이를 알고 있는 개정 전 교육과정, 현재는 교과 외 과정을 알고 있는 사람들과 당연히 이 내용을 알고 있는 "출제자"는 열 출입이 없다는 말을 그냥 너무 익숙한 '고립계를 의미하는구나' 한 마디로 바로 이해가 되는 것입니다.

다만 출제 근거가 완전히 없지는 않은 것이 2026 수능특강에 간이 열량계 관련 내용이 있습니다. 물론 이는 2019 수능특강에도 있습니다. 그리고 정말 우연히도 [2026.11.01.] 열량계가 제시되어 있는 것을 보아 심증이지만 출제 근거로 거의 확실한 것 같습니다.

(2) 간이 열량계를 이용한 반응열의 측정

① 발생하거나 흡수한 열에너지를 열량계 속의 수용액이 모두 흡수하거나 방출한다고 가정한다.

② 반응 과정에서 발생한 열에너지

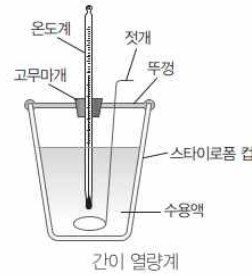
$$= \text{수용액이 흡수한 열에너지}(Q) = c_{\text{수용액}} \times m_{\text{수용액}} \times \Delta t$$

• 비열(c) : 물질 1g의 온도를 1°C 높이는 데 필요한 열에너지로 단위는 $\text{J}/(\text{g} \cdot ^\circ\text{C})$ 이다.

• $m_{\text{수용액}}$: 수용액의 질량(g)

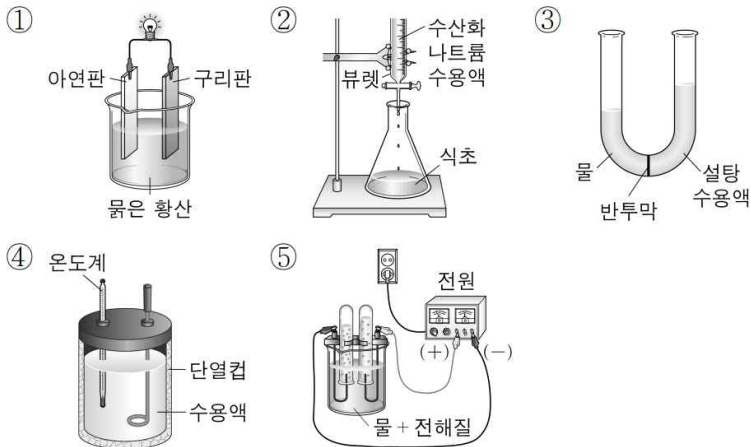
• Δt : 수용액의 온도 변화($^\circ\text{C}$) = $t_{\text{반응 후}} - t_{\text{반응 전}}$

③ 반응열을 간단하게 측정할 수 있으나, 반응열의 일부가 열량계 등 실험 기구의 온도를 변화시키는 데 쓰이거나 열량계 바깥과 열 교환이 일어나 오차가 발생한다.



[2026.11.01.]

1. 다음 중 화학 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치로 가장 적절한 것은?



6(이 문제도 풀이에는 도움 안 되지만, 교육과정 외의 지식의 시각에서 3번은 Chemical Potential 을 물리적 Potential energy로 전환했다고 생각할 수 있습니다.)

물론 이마저도 계에 대한 일반화된 지식이라기보다 단열이 되는 특수한 상황으로, 심지어 오차도 발생하는 그런 상황을 표현한 것이라 애매하긴 하지만 어쨌든 언급은 했다고 받아들이면,

이 문항을 오류 문항이다, 교육과정을 완전히 벗어난다고는 주장할 수 없겠습니다만

수능특강과 수능완성, 교과서를 정독하면서 ‘발열 반응이 일어나면 주위의 온도가 증가한다.’ 및 간이 열량계의 사례 이 두 가지 개념만을 연결지어 혼자서 닫힌계와 고립계의 개념을 스스로 깨우치고 공부했어야 한다고 주장하거나

다시 지금 수능의 기억을 갖고 돌아가서 개념 공부를 다시 한다고 이 내용을 공부할 수 있었을지, 이런 개념을 스스로 깨우칠 수 있었을까? 라고 반문해본다면...

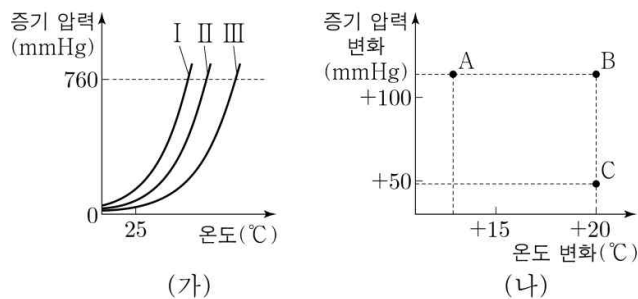
불합리하죠. 학생들은 현 교육과정만 알기 때문에 공부가 부족했다고 생각할 수 있지만 이전 교육과정과 그 이상을 알고 보는 입장에서는, 이 정보의 격차를 바탕으로 출제한 시각과 학생의 시각으로 보면 매우 불합리한 문제가 맞습니다.

애초에 없던 내용을 출제한 것이라 모두가 처음이라면 모르겠습니다. 차라리 그러면 필요하다고 가르치기라도 했겠지요. 기존 교육과정에 있었으나 없어져 더 이상 출제되지 않던 내용을, 단어만 바꾸어서 다시 낸다고 하면 교육과정에서 뻔 이유가 대체 무엇일까요...

문제 자체는 그래서 A가 반응하며 출입한 열이 전부 A, B, C의 온도 변화에 쓰이는데, 반응물과 생성물의 계수 합이 같은 반응으로 몰수는 동일한데 부피는 증가하므로 온도가 증가하는 상황입니다. 따라서 발열로 a 는 $(-)$ 이고, 외부 1기압은 항상 동일하므로 B 0.4, C 0.4기압으로 $P=0.4$ 입니다.

[2026.11.06.]

6. 그림 (가)는 3가지 액체 I ~ III의 증기 압력 곡선을, (나)는 25 °C에서 I ~ III을 각각 가열하였을 때 온도 변화에 따른 증기 압력 변화를 나타낸 것이다. A ~ C는 각각 I ~ III 중 하나이다.



A ~ C의 기준 끓는점을 비교한 것으로 옳은 것은?

- ① $A > B > C$ ② $A > C > B$ ③ $B > A > C$
 ④ $C > A > B$ ⑤ $C > B > A$

저는 이 문항은 비록 이의제기 신청 기간이 지나 이의제기하지 못하였으나 찬찬히 뜯어볼수록 오류 문항이라고 생각합니다.

이 문항에서 제시한 정답 (나)의 $A < B < C$ 에 따르면 (가)의 기준 끓는점은 I, II, III 순서이므로 I은 A, II는 B, III은 C에 해당합니다.

화학 II 개념에서, “온도가 증가하면 증기 압력은 증가한다.”는 내용은 참이므로 (나)의 A 역시 $+20^{\circ}\text{C}$ 에서 B보다 증기 압력 변화가 큰 것은 자명합니다. 즉 (나) 그래프의 같은 $x=20$ 지점에서 A, B, C를 비교할 수 있습니다.

제시된 것은 총 3가지의 액체를 비교하였지만, 제시된 정답에서 3가지의 액체의 대소 비교 관계가 변하지 않았기 때문에 이 문제에서 제시한 정답대로라면 다음 두 물질의 비교 명제가 성립하여야 합니다.

“특정 온도 25도에서 같은 온도를 증가시켰을 때 증기 압력이 큰 물질 I의 증기 압력 증가량은 증기 압력이 작은 물질에 비해 증기 압력 변화가 더 크다.”
가 성립하여야 합니다.

이는 앞서 사용한 개념인 “온도가 증가하면 증기 압력은 증가한다.”와 다릅니다.

수학적으로 표현하면 “온도가 증가하면 증기 압력은 증가한다.”는 내용은 증기 압력의 그래프 $f(t)$ 는 전 구간에서 증가함수, $f'(t) > 0$ 임을 의미하는 것이고

이 문항은 물질 I, II의 두 증기 압력 그래프 $f(x), g(x)$ 에 대해 $f(25) > g(25)$ 이면 $f(t+25) - f(25) > g(t+25) - g(25)$ 여야 한다. 와 같은 두 물질, 두 함수 간의 비교를 하고 있는 것입니다.

그리고 증기 압력과 관련된 화학 II 개념에는 해당 개념에 대한 명시적인 언급이 없습니다.
그나마 사용할 수 있는 것은 다음 정도입니다.

증기 압력이 큰 물질은 작은 물질에 비해 분자 간 인력이 작고, 끓는점이 낮다.

그러나 이것으로 같은 온도 증가량 대비 증기 압력이 더 크게 증가해야 한다는 당위성을 이끌어 낼 수는 없습니다. 혹시 다른 개념을 적용해서 설명할 수 있다면 알려주시면 감사하겠습니다.

확실히 알려진 지점 $x = 25$ 와 $y = 760$ 에서의 교점을 이어서 $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ 로 기울기를 구한다고 했을 때조차, 분모, 분자 $\Delta x, \Delta y$ 모두가 $f(x)$ 에서보다 $g(x)$ 에서 크기 때문에 이것으로 단순 기울기의 크기 비교를 할 수 없습니다.

지금부터는 이 문항을 최대한 방어하기 위해 노력한 뒤, 그에 대한 반박을 제시함으로 이 문항의 문제점을 지적하겠습니다.

과거 기출 및 귀납적으로 볼 때 다음의 2가지는 참인 조건으로 가정하고 풀 수 있을 것입니다.

- 1) 모든 물질의 증기 압력 곡선은 아래로 볼록한 증가함수이다.
- 2) 특정 온도 25도에서 A의 증기 압력이 B보다 크다면, 모든 온도에서 A의 증기 압력이 B보다 크다. 다시 말해 두 물질 A, B의 증기 압력 곡선은 모든 온도에서 교차하지 않는다.

1)은 지금까지 모든 증기 압력 그래프가 아래로 볼록한 증가함수로 제시되었고 뒤에서 제시되는 것과 같이 실제로 그러하며

2) 이 개념은 사실 화학 II 개념의 암묵적 전제가 되는데 “증기 압력이 큰 물질은 작은 물질에 비

해 분자 간 인력이 작고, 끓는점이 낮다.”

가 성립하려면 증기 압력의 대소 관계가 온도에 따라 달라지면 문장 자체가 성립하지 않기 때문입니다.

사실 이 가정까지 성립한다 해도 실제로 입증할 수 있는지를 생각해보면 굉장히 어려운데 관련된 화학적 개념을 제시할 수도 없고, 수학적으로 가능 여부를 떠나 매우 어려운 증명을 요구하고 있기 때문에 교육 과정 내에서 불가능합니다.

그리고 미리 결론을 이야기하면 실제로 수학적으로 증명이 불가능한데 여기까지의 모든 가정을 만족해도 $f(t+25)-f(25) < g(t+25)-g(25)$ 가 되는 반례가 되는 그래프를 찾을 수 있기 때문입니다.⁷⁾

한 번 여기서 화학적으로 옳으나 교육과정 밖의 내용을 적용해봅시다.

일반적으로 증기 압력 곡선은 Clausius-Clapeyron equation에 의해 다음과 같이 정의됩니다. 미분방정식은 생략했습니다.

$$\ln\left(\frac{P}{P_0}\right) = -\frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}\right)$$

이때 ΔH_{vap} 는 기화 엔탈피입니다. 식의 형태를 보시면 아시겠지만, 이 식은 기화 엔탈피 및 증기 압력 평형뿐이 아닌 다양한 열화학 반응식 ΔH 및 다양한 평형의 서로 다른 T_1, T_2 에서 일반화하여 적용할 수 있는 식입니다.

현재 온도 T 에 대한 압력 P 의 함수를 구해야 하는 것이므로, 비교를 위한 상수항 P_0, T_0 와 관련된 항들을 상수 처리하여 정리하면

$$P = P_0 \times e^{-\frac{\Delta H_{vap}}{RT} + \frac{\Delta H_{vap}}{RT_0}} \text{ 이고, 이는 } P_1 = e^{-\frac{\Delta H_{vap}}{RT_1} + c} \text{ 와 같은 형태로 정리가 가능하며 기화 엔탈피}$$

는 양수임을 감안하면 더 쉽게 $f(t) = ae^{-\frac{b}{t}}$ ($a > 0, b > 0$) 꼴의 함수로 정의할 수 있는 것입니다.

그러나 사실 이마저도 임계점의 존재로 전 구간 적용을 할 수 없으며, 설사 이렇게 풀이해도 정말로 $f(t+25)-f(25) > g(t+25)-g(25)$ 임을 입증하기 어려우며

더 알기 생성 엔탈피(ΔH)와 표준 생성 엔탈피(ΔH°)

- 1 atm에서의 생성 엔탈피는 표준 생성 엔탈피를 뜻한다.
- 생성 엔탈피와 표준 생성 엔탈피는 온도에 따라 달라진다.
- 1 atm에서의 생성 엔탈피는 표준 생성 엔탈피와 같은 값을 가지므로, '1 atm' 조건에서 표준 생성 엔탈피 대신 생성 엔탈피로 ΔH 를 제공한다.
 \square 25°C, 1 atm에서 C(s, 흑연)과 O₂(g)가 반응하여 CO₂(g) 1 mol을 생성할 때 반응 엔탈피(ΔH)는 -393.5 kJ이다.
 $\text{C(s, 흑연)} + \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -393.5 \text{ kJ}$
 25°C, 1 atm에서 CO₂(g)의 생성 엔탈피=25°C에서 CO₂(g)의 표준 생성 엔탈피=-393.5 kJ/mol이다.

7) $x > 0$ 에서 정의된 함수 $f(x) = x^2 + \frac{1}{2}e^{-x^2} + 10$, $g(x) = x^2$

수능완성에도 나와있는 개념과 같이 ΔH_{vap} 는 온도에 따라 변화하기 때문에

$f(t) = ae^{-\frac{b}{t}}$ ($a > 0, b > 0$) 역시 정확한 상수로 표현되는 식이 아닌 근사식에 불과하다는 것입니다.

결국 다시 돌아와 다음의 조건만으로 입증을 해야 하는데,

“온도가 증가하면 증기 압력은 증가한다.”

증기 압력이 큰 물질은 작은 물질에 비해 분자 간 인력이 작고, 끓는점이 낮다.

+) 모든 물질의 증기 압력 곡선은 아래로 볼록한 증가함수이다.

+) 특정 온도 25도에서 A의 증기 압력이 B보다 크다면, 모든 온도에서 A의 증기 압력이 B보다 크다. 다시 말해 두 물질 A, B의 증기 압력 곡선은 모든 온도에서 교차하지 않는다.

화학적으로 적합한 함수 및 주어진 질문을 입증하는 것이 교과 내 과정으로도 교과 외 과정으로도 불가능하고,

수학적으로도 $x > 0$ 에서 정의된 함수 $f(x) = x^2 + \frac{1}{2}e^{-x^2} + 10$, $g(x) = x^2$ 일 경우에 주어진 조건만으로는 입증이 불가능하다는 반례가 발생하므로

“특정 온도 25도에서 같은 온도를 증가시켰을 때 증기 압력이 큰 물질 I의 증기 압력 증가량은 증기 압력이 작은 물질에 비해 증기 압력 변화가 더 크다.”

는 풀 수 없는 명제가 됩니다.

결론은 이 문항은 화학 II에서 암묵적으로 유지되는 ‘증기 압력 곡선은 교차하지 않는다.’는 내용을 최소한의 전제로 깔고 있으나

그 내용은 교육과정 밖에서는 틀린 내용, 따라서 교육 과정 내에서도 이를 명시적으로 언급하지 않고 있으며

교과 과정으로 애매한 개념을 활용함에도 불구하고 최종 답은 도함수와 이계도함수를 활용한 고등학교 수학적 내용으로 시간 내 증명이 불가능한 수학적 증명이 필요하거나, 증기 압력 곡선은 지수함수 꼴을 따르는 임의의 함수임을 알아야 하는⁸⁾ 문항이 됩니다.

대체 어떤 화학적 의미가 있는지, 심지어 그게 교과 과정 바깥으로도 무슨 의미가 있는지, 대체 어떤 부분을 출제 근거로 낸 것인지 전혀 알 수 없는 문항입니다.

이 문항은 사실 더 깊이있게 다루어야하고, 아직 검증이 훨씬 많이 남았습니다. 그리고 혹시 놓친 부분이 있는지 많은 분들의 의견을 듣고 싶습니다...

8) 뭐 이걸 안다고 문제 상황이 크게 달라지지도 않습니다.