

제 4 교시

과학탐구 영역(화학II)

| | | | | | | | | | | | |
|----|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 성명 | | 수험 번호 | | | | | | | | | |
|----|--|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|

1. 다음은 어떤 전지에 대한 설명이다.

(가) 는 전극과 분리막, 전해질로 이루어져 있고, 외부에서 수소와 산소를 계속해서 공급함으로써 전기 에너지를 생산할 수 있다.

(가)로 가장 적절한 것은?

- ① 볼타 전지 ② 수소 연료 전지 ③ 리튬 이온 전지
- ④ 다니엘 전지 ⑤ 니켈-카드뮴 전지

답 : ②

해설 : 볼타 전지는 아연(Zn)판과 구리(Cu)판을 묽은 황산에 담그고 도선으로 두 금속판을 연결한 전지이다.

수소 연료 전지는 2개의 전극과 분리막, 전해질로 이루어져 있고, 외부에서 수소 기체와 산소 기체가 계속 공급되는 전지이다.

리튬 이온 전지는 2개의 전극과 분리막, 전해질로 이루어져 있고, 내부에 LiCoO₂, 탄소 등이 채워진 전지이다.

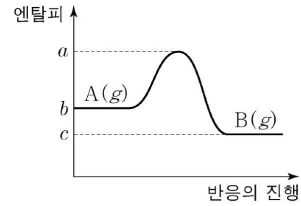
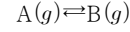
다니엘 전지는 아연(Zn)판을 황산 아연(ZnSO₄)수용액에 담그고, 구리(Cu)판을 황산 구리(CuSO₄)수용액에 담근 다음 두 전해질 수용액을 염다리로 연결하고, 도선으로 두 금속판을 연결한 전지이다.

니켈-카드뮴 전지는 수산화니켈(Ni(OH)₂)로 된 (+)극, 수산화카드뮴(Cd(OH)₂)로 된 (-)극, 분리막, 알카라인 전해질로 구성되어있다.

따라서 설명과 가장 일치하는 전지는 수소 연료 전지이다.

(*니켈-카드뮴 전지는 수특에 안 나와 있으니 알 필요 없을 것이다.)

2. 다음은 온도 T에서 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식이고, 그림은 반응의 진행에 따른 엔탈피를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하다.)

- <보 기>
- ㄱ. 정반응은 발열 반응이다.
 - ㄴ. 정반응의 활성화 에너지는 (a-b)이다.
 - ㄷ. 역반응의 활성화 에너지는 (b-c)이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

답 : ④

해설 : a의 엔탈피를 가지는 상태는 전이 상태이다.

반응물은 b의 엔탈피를 가진다.

생성물은 c의 엔탈피를 가진다.

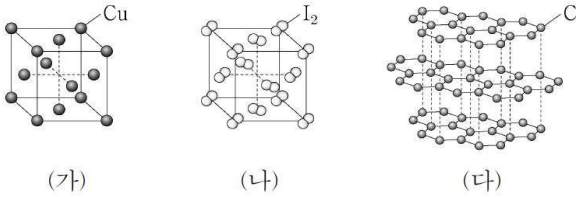
ㄱ. 반응물의 엔탈피가 생성물의 엔탈피보다 크므로 이 반응은 발열 반응이다. (참)

ㄴ. 정반응의 활성화 에너지는 반응물이 전이 상태가 될 때 필요한 에너지 이므로 (a-b)이다. (참)

ㄷ. 역반응의 활성화 에너지는 생성물이 전이 상태가 될 때 필요한 에너지 이므로 (a-c)이다. (거짓)

(b-c)는 이 반응의 역반응의 반응 엔탈피이다.

3. 그림은 Cu(s), I₂(s), C(s, 흑연)의 결정 구조를 모형으로 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>
- ㄱ. (가)는 체심 입방 구조이다.
 - ㄴ. I₂(s)은 분자 결정이다.
 - ㄷ. C(s, 흑연)은 전기 전도성이 있다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ④

해설 : ㄱ. (가)는 단위 세포의 중심에는 원자가 존재하지 않고 각 면의 중심과 꼭짓점에 원자가 존재하므로 면심 입방 구조이다. (거짓)

ㄴ. I₂는 분자이고, 이 분자들이 모여 형성한 고체가 (나)이다. 따라서 I₂(s)은 분자 결정이다. (참)

ㄷ. C(s, 흑연)은 자유 전자가 존재하므로 전기 전도성이 있다. (참)

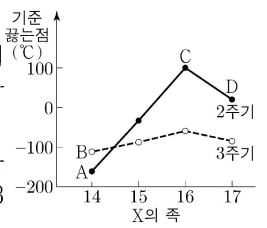
(참고)

| 모형 | Cu(s) | I ₂ (s) | C(s, 흑연) |
|--------|-------|--------------------|----------|
| 결정 구조 | 면심 입방 | 면심 입방 | - |
| 결정 | 금속 결정 | 분자 결정 | 원자 결정 |
| 전기 전도성 | O | X | O |

모든 원자 결정이 전기 전도성을 가지는 것은 아니다.

C(s, 다이아몬드)도 원자 결정이지만 전기 전도성을 가지지 않는다.

4. 그림은 몇 가지 수소 화합물(XH_n)의 기준 끓는점을 원소 X의 족과 주기에 따라 나타낸 것이다. A~D는 각각 CH₄, H₂O, HF, SiH₄ 중 하나이다. 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? [3점]



- <보기>
- ㄱ. 액체 상태에서 D는 수소 결합을 한다.
 - ㄴ. B가 A보다 기준 끓는점이 높은 주된 이유는 쌍극자-쌍극자 힘 때문이다.
 - ㄷ. 액체 상태에서 분자 사이의 인력은 C가 B보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ③

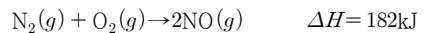
해설 : O와 F는 각각 16, 17족이므로 C와 D는 각각 H₂O, HF이다. 14족 수소 화합물은 비극성이므로 끓는점은 분산력에만 영향을 받는다. 따라서 분자량이 높은 SiH₄가 CH₄보다 끓는점이 높아야 하므로 A가 CH₄, B가 SiH₄이다.

ㄱ. 액체 상태에서 HF는 수소 결합을 한다. (참)

ㄴ. B와 A는 모두 극성을 띠지 않으므로 쌍극자-쌍극자 힘은 존재하지 않는다. B의 기준 끓는점이 높은 주된 이유는 분자량에 의한 분산력 때문이다. (거짓)

ㄷ. 액체 상태에서 분자 사이의 인력이 클수록 끓는점이 높아진다. 따라서 분자 사이의 인력은 C가 B보다 크다. (참)

5. 다음은 25°C, 1atm에서 N₂(g)와 O₂(g)가 반응하여 NO(g)가 생성되는 반응의 열화학 반응식이다.



25°C, 1atm에서 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

- <보기>
- ㄱ. 반응물의 엔탈피 합은 생성물의 엔탈피 합보다 크다.
 - ㄴ. NO(g)의 생성 엔탈피(ΔH)는 91kJ/mol이다.
 - ㄷ. NO(g) 2mol이 분해되어 N₂(g) 1mol과 O₂(g) 1mol이 생성되는 반응의 반응 엔탈피(ΔH)는 364kJ이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

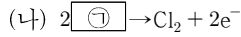
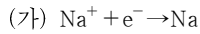
답 : ②

해설 : ㄱ. 해당 반응은 흡열 반응이므로 반응물의 엔탈피 합은 생성물의 엔탈피 합보다 작다. (거짓)

ㄴ. NO(g) 2mol이 생성되는 반응 엔탈피가 182kJ이므로 NO(g)의 생성 엔탈피(ΔH)는 91kJ/mol이다. (참)

ㄷ. NO(g) 2mol의 분해 엔탈피는 주어진 반응의 역반응의 반응 엔탈피(ΔH)이므로 -182kJ이다. (거짓)

6. 다음은 NaCl(l)을 전기 분해할 때 두 전극에서 각각 일어나는 반응의 화학 반응식이다.



전기 분해 반응이 진행될 때, 이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

- ㄱ. (가) 반응은 (-)극에서 일어난다.
- ㄴ. ㉠은 환원된다.
- ㄷ. 0~t s 동안 생성되는 Na과 Cl₂의 양(mol)은 같다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄷ ④ ㄱ, ㄴ ⑤ ㄱ, ㄷ

답 : ①

해설 : NaCl 용융액의 전기 분해이다.

ㄱ. 전기 분해에서 양이온은 (-)극으로, 음이온은 (+)극으로 이동하여 화학 변화를 일으킨다. 따라서 (가)의 반응은 (-)극에서 일어난다. (참)

| | | |
|-----|----|----|
| | 산화 | 환원 |
| 전자 | 잃음 | 얻음 |
| 산화수 | 증가 | 감소 |

ㄴ. 산화-환원의 정의를 정리하면

으로 정리할 수 있다. ㉠은 Cl⁻이고 반응 후 Cl₂가 된다. 이 때 Cl⁻는 전자를 잃고, 산화수가 증가하므로 산화된다. (거짓)

ㄷ. 같은 시간동안 (-)극과 (+)극에서 이동하는 전자의 몰수는 같다. Na와 Cl이 같은 양(mol)이 생성되기 위해 필요한 전자의 몰수는 1:2이므로 t s동안 생성되는 Na와 Cl₂의 양은 같지 않고, Na:Cl₂ = 2:1의 비율로 생성된다. (거짓)

7. 표는 온도 T에서 3개의 강철 용기에 A(g)를 각각 넣고, 반응 A(g)→2B(g)이 일어날 때의 자료이다.

| 실험 | A(g)의 초기 농도(M) | 첨가한 촉매 | 정반응의 활성화 에너지 (kJ/mol) | 초기 반응 속도 (M/s) |
|-----|----------------|--------|-----------------------|----------------|
| I | a | 없음 | ㉠ | v |
| II | a | X(s) | E _a | 4v |
| III | 2a | 없음 | ㉡ | 2v |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하다.) [3점]

<보 기>

- ㄱ. ㉠>㉡이다.
- ㄴ. X(s)는 정촉매이다.
- ㄷ. 실험 I에서의 반응은 1차 반응이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ④

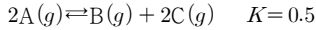
해설 : ㄱ. 실험 I과 III에서는 촉매를 첨가하지 않았다. A(g)의 농도가 변하더라도 반응의 활성화 에너지는 변하지 않으므로 ㉠과 ㉡은 같다. (거짓)

ㄴ. 실험 I과 II에서 [A]는 동일한데 촉매를 넣은 II의 초기 반응 속도가 더 빠르므로 X(s)는 정촉매이다. (참)

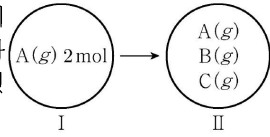
(그러므로 ㉠>E_a이다.)

ㄷ. 실험 I에서 [A]=aM이고, 실험 III에서 [A]=2aM인데, 초기 반응 속도의 비가 1:2이므로 이 반응은 1차 반응이다. (참)

8. 다음은 A(g)로부터 B(g)와 C(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 온도 T에서 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 부피가 1L인 강철 용기에 2mol의 A(g)를 넣은 초기 상태 I과 반응이 진행된 상태 II를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 온도는 T로 일정하다.) [3점]

<보 기>

- ㄱ. 평형에 도달하기 전까지 정반응이 우세하게 진행된다.
- ㄴ. [A]=1M일 때 정반응의 속도와 역반응의 속도는 같다.
- ㄷ. [C]=0.4M일 때 반응 지수(Q)는 K보다 작다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ⑤

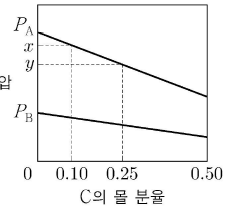
해설 : ㄱ. 초기 반응 지수(Q)는 0이고 반응이 진행되면 $0 < Q < 0.5$ 인 상태에서 정반응이 일어난다. 따라서 평형에 도달하기 전까지 정반응이 우세하게 진행된다. (참)

ㄴ. 용기의 부피가 1L이므로 [A]=1M일 때 A(g)는 1mol 존재한다. 이 때 B(g), C(g)의 양은 각각 0.5mol, 1mol이고, 반응 지수 $Q = \frac{0.5 \times 1^2}{1^2} = 0.5$ 이다. $Q=K$ 이므로 평형 상태이고, 이 때 정반응의 속도와 역반응의 속도는 같다. (참)

ㄷ. [C]=0.4M일 때, $Q=K$ 일 때보다 생성물의 농도가 작으므로 $Q < K$ 이다. (참)

이 때 $Q = \frac{0.2 \times 0.4^2}{1.6^2} = \frac{1}{80} < 0.5$ 이다.

9. 그림은 $t^\circ\text{C}$, 1atm에서 용매 A와 B에 각각 용질 C를 녹인 용액의 증기압을 C의 몰 분율에 따라 나타낸 것이다. 증기압 P_A 와 P_B 는 각각 $t^\circ\text{C}$, 1atm에서 A(l)와 B(l)의 증기압이다.



A(l)와 B(l) 중 기준 끓는점이 높

은 것(㉠)과 $\frac{x}{y}$ (㉡)로 옳은 것은? (단, C는 비휘발성, 비전해질이고, 용액은 라울 법칙을 따르며, 온도는 $t^\circ\text{C}$, 대기압은 1atm으로 일정하다.) [3점]

- | | | | | | |
|---|------|---------------|---|------|---------------|
| | ㉠ | ㉡ | | ㉠ | ㉡ |
| ① | A(l) | $\frac{5}{4}$ | ② | A(l) | $\frac{8}{5}$ |
| ③ | B(l) | $\frac{6}{5}$ | ④ | B(l) | $\frac{5}{4}$ |
| ⑤ | B(l) | $\frac{8}{5}$ | | | |

답 : ③

해설 : 같은 온도에서 증기압이 낮은 액체가 끓는점이 높다. 따라서 ㉠은 B(l)이다.

순수한 용매 A의 증기 압력은 P_A 이고, 용액에서 용매 A의 몰 분율을 χ_A 라고 하면 용액의 증기 압력 $P' = P_A \times \chi_A$ 이다. 용액에는 A와 C만 존재하므로 $\chi_A = 1 - \chi_C$ 이다. $x = P_A \times (1 - 0.1) = \frac{9}{10}P_A$ 이고, $y = P_A \times (1 - 0.25) = \frac{3}{4}P_A$ 이므로 $\frac{x}{y} = \frac{6}{5}$ 이다.

10. 표는 0.5atm에서 온도에 따른 물질 A와 B의 안정한 상의 수에 대한 자료이다. 25°C, 0.5atm에서 A와 B는 모두 액체 상태로 존재한다.

| 온도 (°C) | 안정한 상의 수 | |
|------------|----------|---|
| | A | B |
| 82 | 2 | 1 |
| 96 | 1 | 2 |

A와 B에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

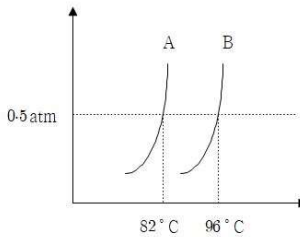
<보기>

- ㄱ. 70°C에서 A(l)의 증기압은 0.5atm보다 낮다.
- ㄴ. 증기압이 0.5atm일 때의 온도는 B가 A보다 높다.
- ㄷ. 90°C, 0.25atm에서 A의 안정한 상의 수는 2이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ③

해설 : 압력이 일정하고 온도가 25°C보다 높은 온도에서 안정한 상의 수가 2개가 되는 지점이 그 기압에서 끓는점이다. 이를 통해 A와 B의 증기 압력 곡선을 그려보면

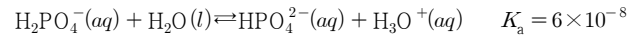


와 같은 모양의 곡선이

나온다.

- ㄱ. A(l)은 82°C에서 증기압이 0.5atm이므로 70°C에서 증기압은 그보다 낮다. (참)
- ㄴ. 증기압이 0.5atm일 때의 온도는 B가 A보다 높다. (참)
- ㄷ. 90°C, 0.25atm에서 A의 안정한 상은 기체뿐이다. (거짓)

11. 다음은 생체 내에서 완충 작용과 관련된 이온화 반응식과 25°C에서의 이온화 상수(K_a)이다.



그림은 1M $\text{NaH}_2\text{PO}_4(aq)$ 과 1M $\text{Na}_2\text{HPO}_4(aq)$ 을 혼합하여 만든 수용액을 나타낸 것이다.

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 수용액의 온도는 25°C로 일정하다.) [3점]

$$\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 1$$

<보기>

- ㄱ. H_2PO_4^- 의 짝염기는 HPO_4^{2-} 이다.
- ㄴ. 수용액의 pH < 7.0이다.
- ㄷ. 수용액에 소량의 NaOH(s)을 가하면 H_2PO_4^- 의 양(mol)이 증가한다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ①

해설 : 신체는 최대한 일정한 상태를 유지하려한다. pH도 유지해야 하는 것 중 하나이고, 이를 위해 사용되는 원리가 완충 작용이다. 사용되는 이온은 H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , H_2CO_3 , HCO_3^- 등이 있다.

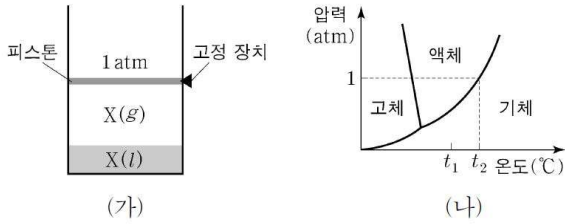
ㄱ. 주어진 반응식을 보면 반응물의 산은 H_2PO_4^- , 염기는 H_2O 이고 생성물의 산은 H_3O^+ , 염기는 HPO_4^{2-} 이다. 따라서 H_2PO_4^- 의 짝염기는 HPO_4^{2-} 이다. (참)

ㄴ. $K_a = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}][\text{H}_3\text{O}^+]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]}$ 이고, 수용액에서 $\frac{[\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_2\text{PO}_4^-]} = 1$ 이므로

로 $[\text{H}_3\text{O}^+] = 6 \times 10^{-8}$ 이다. $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$ 이므로 $\text{pH} > 7.0$ 이다. (거짓)

ㄷ. 수용액에 소량의 NaOH(s)을 가하면 H_3O^+ 가 감소하여 평형이 정반응 쪽으로 이동한다. 따라서 H_2PO_4^- 의 양(mol)은 감소한다. (거짓)

12. 그림 (가)는 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 고정 장치로 피스톤이 고정된 실린더 속에서 물질 X가 상평형을 이루고 있는 상태를, (나)는 X의 상평형 그림을 나타낸 것이다.



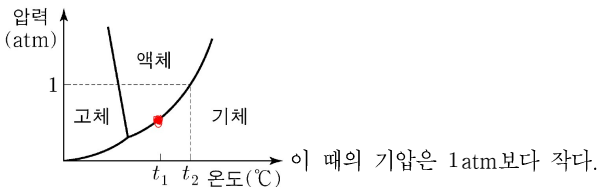
(가)에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, 대기압은 1atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

- <보 기>
- ㄱ. X(g)의 압력은 1atm보다 작다.
 - ㄴ. 고정 장치를 풀고 $t_1^\circ\text{C}$ 에서 충분한 시간이 흐른 후 안정한 상은 액체이다.
 - ㄷ. 고정 장치를 풀고 온도를 $t_2^\circ\text{C}$ 로 높여 충분한 시간이 흐른 후 안정한 상은 2가지이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

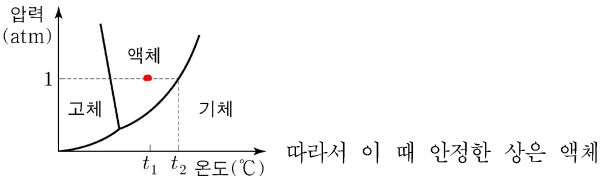
답 : ⑤

해설 : ㄱ. 피스톤은 움직이지 않기 때문에 실린더의 부피는 일정한 상태이다. 이 때 X(l)은 외부 기압과 상관없이 내부 기압이 $t_1^\circ\text{C}$ 에서의 증기 압력과 같아질 때까지 증발한다.



(참)

ㄴ. 고정 장치를 풀면 1atm의 압력을 받게 된다. $t_1^\circ\text{C}$ 에서 X(l)의 증기 압력은 1기압보다 작으므로 외부 압력에 의해 기체는 액화된다.



이다. (참)

ㄷ. 고정 장치를 풀고 온도를 $t_2^\circ\text{C}$ 로 높이면 1atm의 X(g)가 외부 압력과 균형을 이루며 X(l)과 X(g)가 평형을 이루게 된다. 따라서 안정한 상은 2가지이다. (참)

13. 다음은 서로 다른 농도의 A(aq)을 혼합하여 2m A(aq)을 만드는 실험이다.

[자료]

- A의 화학식량: 100
- $t^\circ\text{C}$ 에서 1M A(aq)의 밀도: 1.1g/mL

[실험 과정]

- (가) 1M A(aq)과 20% A(aq)을 준비한다.
- (나) 비커에 1M A(aq) 10mL를 넣는다.
- (다) (나)의 비커에 20% A(aq) xg을 넣어 혼합한다.

x는? (단, 수용액의 온도는 $t^\circ\text{C}$ 로 일정하다.) [3점]

- ① 25 ② 30 ③ 35 ④ 40 ⑤ 50

답 : ①

해설 : 1M A(aq) 10mL에 존재하는 A는 0.01mol이고, 용액의 밀도가 1.1g/mL이므로 용액의 질량은 11g이다. A의 화학식량이 100이므로 A의 질량은 1g, 용매의 질량은 10g이다.

xg의 20% A(aq)에는 $\frac{x}{5}$ g의 A와 $\frac{4}{5}x$ g의 용매가 존재한다.

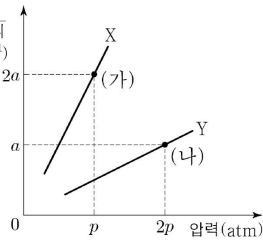
따라서 (다)의 용액에는 A는 $(1 + \frac{x}{5})$ g, 용매는 $(10 + \frac{4}{5}x)$ g만

큼 존재한다. 몰랄 농도 공식을 사용하면 $\frac{(1 + \frac{x}{5}) \times \frac{1}{100}}{10 + \frac{4}{5}x} \times 1000$

= 2이고, 분모를 우변으로 이항하면 $10 + 2x = 20 + \frac{8}{5}x$ 에서 $x = 25$ 이다.

14. 그림은 일정한 온도 TK 에서 $\frac{1}{\text{부피}}$ 같은 질량의 $X(g)$ 와 $Y(g)$ 의 압력 (L^{-1})에 따른 $\frac{1}{\text{부피}}$ 를 나타낸 것이다.

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



<보 기>

- ㄱ. 분자량은 X가 Y의 4배이다.
- ㄴ. (나)에서 $Y(g)$ 의 밀도 = $\frac{1}{2}$ 이다.
- ㄷ. (나)에서 압력을 유지하며 $Y(g)$ 의 온도를 $2TK$ 로 높이면 부피는 $\frac{1}{2a}$ L이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ③

해설 : ㄱ. 기체이므로 $PV=nRT$ 를 사용한다.

$n = \frac{w}{M}$ 이므로 $PV = \frac{wRT}{M}$ 이다.

기체의 질량을 w , X와 Y와 화학식량을 각각 M_X , M_Y 라 하자.

(가)에서 부피는 $\frac{1}{2a}$ 이고 압력이 p 이므로 $\frac{p}{2a} = \frac{wRT}{M_X}$

(나)에서 부피는 $\frac{1}{a}$ 이고 압력이 $2p$ 이므로 $\frac{2p}{a} = \frac{wRT}{M_Y}$ 이다.

$\frac{1}{M_X} : \frac{1}{M_Y} = \frac{p}{2a} : \frac{2p}{a}$ 이므로 $M_X : M_Y = 4 : 1$ 이다. (참)

ㄴ. 밀도는 $\frac{w}{V}$ 이다. 식의 y 축이 $\frac{1}{V}$ 이고 두 기체의 질량은 동일하므로 (가)에서 밀도는 $2wa$, (나)에서 밀도는 wa 이므로 (나)에서 $Y(g)$ 의 밀도 = $\frac{1}{2}$ 이다. (참)

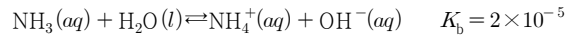
ㄷ. (나)에서 압력을 유지하며 $Y(g)$ 의 온도를 $2TK$ 로 높이면 부피가 2배가 되므로 부피는 $\frac{2}{a}$ L가 된다. (거짓)

(참고) $PV=nRT$ 의 변형과 그래프의 기울기를 활용한 풀이

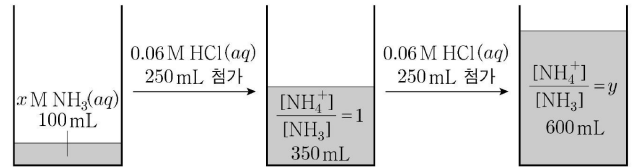
주어진 그래프는 x 축이 P , y 축이 $\frac{1}{V}$ 이므로 $y = ax$ 꼴의 그래프를 만들 수 있다. $aP = \frac{1}{V}$ 의 꼴에서 $a = \frac{M}{wRT}$ 이므로 기울기의 비가 곧 M 의 비임을 알 수 있다.

그래프의 기울기는 $X : Y = 4 : 1$ 이므로 화학식량의 비는 $4 : 1$ 이다.

15. 다음은 $NH_3(aq)$ 의 이온화 반응식과 $25^\circ C$ 에서의 이온화 상수 (K_b)이다.



그림은 $25^\circ C$ 에서 $xM NH_3(aq)$ 에 $0.06M HCl(aq)$ 을 넣어 혼합 용액을 만드는 과정을 나타낸 것이다.



$x \times y$ 는? (단, $25^\circ C$ 에서 물의 이온화 상수(K_w)는 1×10^{-14} 이고, 수용액의 온도는 $25^\circ C$ 로 일정하다.)

- ① 2000 ② 3000 ③ 4000 ④ 5000 ⑤ 6000

답 : ②

해설 : $0.06M HCl(aq)$ 250mL가 첨가되었을 때 염기와 짝산의 몰농도가 동일하므로 $0.06M HCl(aq)$ 500mL가 첨가되면 $\frac{x}{6}M NH_4^+(aq)$ 와 같은 상태가 된다. 중화 반응에서 사용하는 공식인 $nMV = n' M' V'$ 에 대입해보면 $1 \times x \times 100 = 1 \times 0.06 \times 500$ 이므로 $x = 0.3$ 이다.

염기의 이온화 상수 K_b 에 대하여 짝염기의 이온화 상수 K_a 는 $\frac{K_w}{K_b}$ 이므로 $K_a = \frac{1}{2} \times 10^{-9}$ 이다. $0.05M NH_4^+(aq)$ 의 $[H_3O^+]$ 를 구

해보면, $[H_3O^+] = \sqrt{\frac{1}{20} \times \frac{1}{2} \times 10^{-9}} = \frac{1}{2} \times 10^{-5}$ 이다. NH_4^+ 의

$K_a = \frac{[NH_3][H_3O^+]}{[NH_4^+]}$ 이므로 이에 대입해보면

$\frac{1}{2} \times 10^{-9} = \frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} \times \frac{1}{2} \times 10^{-5}$ 이다. $\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = 10^{-4}$ 에서 $\frac{[NH_4^+]}{[NH_3]} = y = 10000$ 이다.

따라서 $x \times y = 3000$ 이다.

(참고)

화II에서 중화 적정이 사라진 지금 $nMV = n' M' V'$ 은 화I의 교육 과정에 존재하는 공식이다. 또한 중화 적정이 사라진 관계로 평가원에서 반 중화점과 같은 단어는 최대한 쓰지 않을 수 있다. 중화점은 화I 교육 과정에 포함되어 있으므로 예측이 불가능하다.

16. 다음은 25 °C, 1atm에서의 2가지 열화학 반응식과 CO₂(g)의 생성 엔탈피이고, 표는 25 °C, 1atm에서 4가지 결합의 결합 에너지에 대한 자료이다.

- CH₄(g) + 2O₂(g) → CO₂(g) + 2H₂O(g) ΔH₁ = a kJ
- C(s, 흑연) → C(g) ΔH₂ = x kJ
- CO₂(g)의 생성 엔탈피: -394 kJ/mol

| 결합 | C=O | O-H | O=O | C-H |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| 결합 에너지 (kJ/mol) | b | c | d | y |

이 자료로부터 구한 x와 y로 옳은 것은? (단, 25 °C, 1atm에서 C(s, 흑연)과 O₂(g)의 생성 엔탈피는 0이다.) [3점]

- | | x | y |
|---|-----------------|--|
| ① | $2b - d - 394$ | $\frac{a}{4} + \frac{b}{2} + c - \frac{d}{2}$ |
| ② | $2b - 2d - 394$ | $\frac{a}{4} + \frac{b}{2} + c - \frac{d}{2}$ |
| ③ | $b - d - 197$ | $-\frac{a}{4} + \frac{b}{2} + c - \frac{d}{2}$ |
| ④ | $2b - 2d - 394$ | $\frac{a}{2} + b + 2c - d$ |
| ⑤ | $2b - d - 394$ | $-\frac{a}{4} + \frac{b}{2} + c - \frac{d}{2}$ |

답 : ①

해설 : x를 구하기 위해 제일 필요한 자료는 CO₂(g)의 생성 반응식이다. C(s, 흑연) + O₂(g) → CO₂(g)의 반응의 반응 엔탈피는 곧 CO₂(g)의 생성 엔탈피이므로 -394 kJ/mol이다.

반응물의 총 결합 에너지는 (x+d)이고, 생성물의 총 결합 에너지는 2b이다. Σ(반응물의 결합 에너지) - Σ(생성물의 결합 에너지) = 반응 엔탈피 이므로 (x+d) - 2b = -394에서 x = 2b - d - 394임을 알 수 있다.

y를 구하기 위해 제일 필요한 자료는 처음에 주어진 반응식이다. 반응물의 총 결합 에너지는 (4y+2d)이고 생성물의 총 결합 에너지는 (2b+4c)이다. (4y+2d) - (2b+4c) = a이므로 4y = a + 2b + 4c - 2d에서 y = $\frac{a}{4} + \frac{b}{2} + c - \frac{d}{2}$ 임을 알 수 있다.

17. 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 반응 속도식이다.



표는 A(g)만 들어 있는 강철 용기에서 반응이 시작되어 A(g)가 특정 농도가 될 때까지 걸린 시간을 나타낸 것이다.

| 실험 | 온도(K) | A(g)의 초기 농도(M) | 시간(s) | |
|----|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | [A] = $\frac{a}{3}$ M | [A] = $\frac{a}{6}$ M |
| I | T ₁ | [A] ₀ | 4 | 8 |
| II | T ₂ | 2[A] ₀ | 8 | 12 |

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

<보 기>

ㄱ. T₁ = T₂이다.

ㄴ. 실험 I에서 0~8s 동안 A(g)의 평균 반응 속도는 $\frac{1}{16} aM/s$ 이다.

ㄷ. 실험 II에서 5s일 때 [B]는 $\frac{4}{3} aM$ 보다 크다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

답 : ⑤

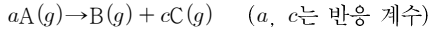
해설 : 주어진 반응식은 1차 반응이므로 반감기는 일정하다.

ㄱ. $\frac{a}{6} M$ 은 $\frac{a}{3} M$ 의 절반이므로 [A]가 각각의 수치에 도달했을 때의 시간의 차이가 반감기이다. 실험 I과 II에서 시간의 차이는 4s로 일정하다. 촉매는 들어가지 않았으므로 반감기는 온도에만 영향을 받는데, 반감기가 동일하므로 두 실험에서 온도는 동일하다. 따라서 T₁ = T₂이다. (참)

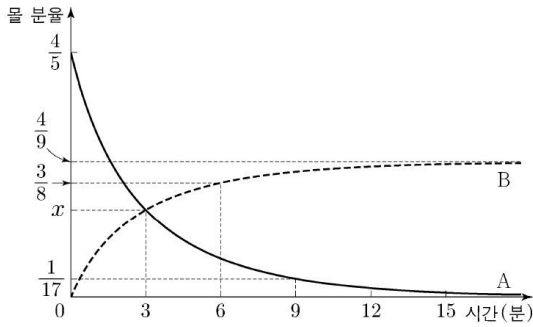
ㄴ. 실험 I에서 초기 [A]₀ = $\frac{2}{3} aM$ 이다. 평균 반응 속도는 $\frac{\Delta[A]}{\Delta t}$ 이고, Δ[A] = $\frac{1}{2} aM$ 이므로 평균 반응 속도는 $\frac{1}{16} aM/s$ 이다. (참)

ㄷ. 실험 II에서 초기 A(g)의 농도는 $\frac{4}{3} aM$ 이다. 반응 4s가 지났을 때 [A] = $\frac{2}{3} aM$ 이고, 이 때 [B] = $\frac{4}{3} aM$ 이다. 따라서 5s일 때 [B]는 $\frac{4}{3} aM$ 보다 크다. (참)

18. 다음은 온도 T 에서 $A(g)$ 로부터 $B(g)$ 와 $C(g)$ 가 생성되는 반응의 화학 반응식이다.



그림은 $C(g)$ 가 들어 있는 1L 강철 용기에 $A(g)$ 0.4mol을 넣어 반응시킬 때, 반응 시간에 따른 $A(g)$ 와 $B(g)$ 의 몰 분율을 나타낸 것이다. $[A]+[C]$ 는 항상 일정하고, 역반응은 일어나지 않는다. $[A]+[B]+[C]=\frac{7}{8}M$ 가 될 때까지 걸린 시간은 y 분이다.



$\frac{y}{x}$ 는? (단, 온도는 T 로 일정하다.) [3점]

- ① $\frac{21}{2}$ ② 21 ③ 28 ④ $\frac{63}{2}$ ⑤ 42

답 : ⑤

해설 : 우선 반응이 '그래프만 보고 1차일 것이다.' 라고 판단하기 이전에, 좀 더 깊이 생각해 보도록 하자. $B(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{[B]}{[A]+[B]+[C]}$ 이다. 반응 시간이 0분일 때 $A(g)$ 의 몰 분율은 $\frac{4}{5}$ 인데, 이 때 $B(g)$ 는 존재하지 않으므로 $\frac{[A]}{[A]+[C]} = \frac{4}{5}$ 에서 $[C]=0.1M$ 임을 알 수 있다. 따라서 $[A]+[C]=0.5M$ 로 항상 일정하다.

반응 시간 6분에서 $B(g)$ 의 몰분율은 $\frac{[B]}{0.5+[B]}$ 이므로 $[B]=0.3M$ 이다.

만약 반응이 0차 반응이라면, 반응 속도는 일정해야 하므로 12분에서 $B(g)$ 의 몰분율은 $\frac{0.6}{0.5+0.6} = \frac{6}{11}$ 이다. 하지만 이는 그래프에서 보여주는 점근선인 $\frac{4}{9}$ 보다 큰 값이고, 그래프에서 12분에는 반응이 완결되지 않았으므로 이 반응은 0차 반응이 될 수 없다.

이제 1차인지 아닌지 판별할 수 있어야한다.

$[A]+[C]$ 가 항상 일정하기 위해서는 A 가 줄어든 만큼 C 가 늘어나야 한다. 그러므로 $a=c$ 이다.

반응이 완결난 후 $B(g)$ 의 몰분율은 $\frac{4}{9}$ 이므로 $[B]=0.4M$ 이다. 초기 $[A]=0.4M$ 이고, 반응이 끝났을 때 $[A]=0M$ 이므로 $a=1$ 이다. 따라서 반응식은 $A(g) \rightarrow B(g) + C(g)$ 이다.

반응 시간이 3분일 때 A 와 B 의 몰 분율이 동일하므로 두 기체의 몰 농도 또한 동일하다. 즉, $[A]=[B]=0.2M$ 이다. 반응 시간이 3분일 때 $[B]=0.2M$ 이고 6분일 때 $[B]=0.3M$ 이다. $\Delta[B]$

가 동일한 반응 시간동안 절반이 되었으므로 이 반응은 1차 반응을 알 수 있다.

$$[A]+[C]=0.5M \text{로 일정하므로 } [A]+[B]+[C]=\frac{7}{8}M \text{에서}$$

$[B]=\frac{3}{8}M$ 이다. 반응 시간에 따른 모든 기체의 몰농도를 표로 나타내면

| | [A] | [B] | [C] |
|-----|----------------|----------------|-----------------|
| 0분 | $\frac{2}{5}$ | 0 | $\frac{1}{10}$ |
| 3분 | $\frac{1}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{3}{10}$ |
| 6분 | $\frac{1}{10}$ | $\frac{3}{10}$ | $\frac{2}{5}$ |
| 9분 | $\frac{1}{20}$ | $\frac{7}{20}$ | $\frac{9}{20}$ |
| 12분 | $\frac{1}{40}$ | $\frac{3}{8}$ | $\frac{19}{40}$ |

이다.

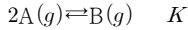
따라서 $[B]=\frac{3}{8}M$ 가 되는 시간은 12분이고, $x=\frac{2}{7}$ 이므로

$$\frac{y}{x}=42 \text{이다.}$$

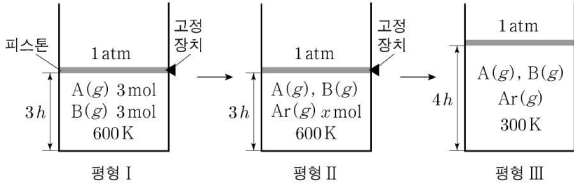
(참고)

반응식에서 차수를 판단할 때 현장에서는 직관적인 모습으로 판단해도 무방하지만, 공부할 때는 왜 0차인지, 왜 1차인지 꼼꼼히 따져보는 것이 중요하다.

19. 다음은 A(g)로부터 B(g)가 생성되는 반응의 화학 반응식과 농도로 정의되는 평형 상수(K)이다.



그림은 실린더에 A(g)와 B(g)가 들어 있는 평형 I과, 평형 I에서 Ar(g) x mol을 첨가한 평형 II, 평형 II에서 고정 장치를 제거한 후 온도를 변화시켜 도달한 평형 III을 나타낸 것이다. 평형 II에서 Ar(g)의 부분 압력은 $\frac{4}{15}x \text{ atm}$ 이고, 평형 III에서 $K = 16$ 이다.



평형 II에서 $\frac{[B]}{[Ar]}$ 는? (단, 대기압은 1 atm으로 일정하고, 피스톤의 질량과 마찰은 무시한다.)

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

답 : ②

해설 : 실린더의 단면적은 일정하므로 높이를 부피로 그대로 사용하자. A(g), B(g)의 몰수를 각각 n_A, n_B 라 하면, $K = \frac{[B]}{[A]^2} = \frac{n_B}{n_A^2} \times V$ 이다.

평형 I에서 $K = \frac{3}{3^2} \times 3h = h$ 이고, 평형 I과 II에서 온도는 동일하므로 K도 동일하다. 평형 III에서 $K = 16$ 이므로 평형 III에서 $K = 16h$ 이다. 이 때 $K = \frac{n_B}{n_A^2} \times 4h = 16h$ 이므로 $\frac{n_B}{n_A^2} = 4$ 이다. 평형 II에서 III으로 변화할 때 반응한 A(g)의 몰수를 2p몰이라 하면, $\frac{(3+p)}{(3-2p)^2} = 4$ 에서 $p = 1$ 임을 알 수 있다.

PV=nRT를 이용하여 Ar(g)를 구해보자.

$\frac{4}{15}x \times 3h = x \times R \times 600$ 에서 $R = \frac{h}{750}$ 이다. 평형 III에서 총 기체의 압력은 1기압이고, A(g), B(g), Ar(g)의 몰수는 각각 1, 4, x이므로 $1 \times 4h = (5+x) \times \frac{h}{750} \times 300$ 에서 $x = 5$ 이다.

평형 II에서 $[B] = \frac{3}{3h} = \frac{1}{h}$ 이고, 평형 III에서 $[Ar] = \frac{5}{4h}$ 이므로 $\frac{\text{평형 II에서 } [B]}{\text{평형 III에서 } [Ar]} = \frac{4}{5}$ 이다.

(참고) K_p 를 이용하여 푸는 법

약간 고급적인 테크닉이다. K_p 는 기체의 농도가 아닌 압력으로 정의되는 평형 상수이다. 기체에서 몰농도는 $\frac{n}{V}$ 이고 이는 $\frac{P}{RT}$ 와 같다. 주어진 반응식에서 $K_p = \frac{P_B}{P_A^2}$ 이므로 $K \times \frac{1}{RT} = K_p$ 이다.

평형 III에서 $K = 16$ 이고 평형 II에서 $T = 600$, 평형 III에서 $T = 300$ 이므로 $\frac{\text{평형 III에서 } K_p}{\text{평형 II에서 } K_p} = 32$ 이다. 평형 II에서 Ar(g) x mol의 부분 압력이 $\frac{4}{15}x \text{ atm}$ 이므로 A(g), B(g)의 부분 압력은 모두 $\frac{4}{15}x \times \frac{3}{x} = \frac{4}{5} \text{ atm}$ 이다. 따라서 평형 II에서 $K_p = \frac{5}{4}$ 이다.

평형 III에서 $K_p = 32$ 이므로 평형 III에서 $K_p = 40$ 이다. 평형 II의 실린더와 평형 III의 실린더를 비교하면 부피는 $\frac{4}{3}$ 배가 되었고, 온도는 $\frac{1}{2}$ 배가 되었으므로 Ar(g)의 부분 압력은 $\frac{1}{10}x \text{ atm}$ 이다. 외부 압력이 1atm이므로 Ar의 부분 압력 $P_{Ar} = 1 \times \chi_{Ar}$ (χ_{Ar} 은 Ar의 몰분율)에서 $\chi_{Ar} = \frac{x}{10}$ 이다. 평형 III에서 A(g), B(g)의 몰수를 각각 n_A, n_B 라 할 때 $n_A + n_B + x = 10$ 이고, $\frac{\chi_B}{\chi_A^2} = \frac{n_B}{n_A^2} \times (n_A + n_B + x) = 40$ 이므로 $\frac{n_B}{n_A^2} = 4$ 이다. (이하 동일)

(해설에 있는 풀이보다 더 복잡하지만, K_p 의 활용을 익혀두면 쓸모가 있을 것이다.)

20. 다음은 기체의 반응 실험이다.

[화학 반응식]
 $A(g) + bB(g) \rightarrow 2C(g)$ (b는 반응 계수)

[실험 과정]
 (가) 그림과 같이 일정한 온도 TK에서 실린더에 A(g) wg와 B(g)를, 강철 용기에 A(g) wg를 각각 넣는다. 넣은 후 실린더 속 B(g)의 부분 압력은 $\frac{2}{3}$ atm이다.

(나) 꼭지를 열고 온도를 올려 $\frac{3}{2}TK$ 로 충분한 시간이 흐른 후 꼭지를 닫는다. 이 때 반응은 일어나지 않았다.

(다) 온도를 2TK로 올려 강철 용기에서 반응물 A와 B 중 하나가 모두 소모될 때까지 반응시키고, 충분한 시간이 흐른 후 혼합 기체의 온도와 압력을 측정한다.

[실험 결과]
 ○ (다) 과정 후 강철 용기에서 혼합 기체의 온도와 압력:
 2TK, $\frac{4}{5}$ atm

(가) 과정의 실린더에서 [A]는? (단, 대기압은 1atm으로 (다) 과정 후 강철 용기에서 [A] 일정하고, 연결관의 부피와 피스톤의 마찰은 무시한다.) [3점]

- ① $\frac{5}{4}$ ② $\frac{3}{2}$ ③ $\frac{5}{3}$ ④ $\frac{15}{8}$ ⑤ $\frac{5}{2}$

답 : ①

해설 : 실험을 먼저 분석해야 한다. (가)에서 실린더와 강철 용기의 A(g)의 몰수는 동일하고, (나)에서 콕을 열었다 닫은 후 강철 용기에 관해서만 묻고 있으므로 (다)에서 실린더는 신경 쓸 필요가 없다.

실험 (가)에서 B(g)의 부분 압력은 $\frac{2}{3}$ atm이므로 실린더 내 A(g)의 부분 압력은 $\frac{1}{3}$ atm이다.

$PV=nRT$ 에서 $3 \times \frac{2}{3} = n_B \times RT$ 이므로 $n_B = \frac{2}{RT}$ 이다.

실린더의 A(g)의 몰수는 $\frac{1}{RT}$ 이므로 꼭지를 열었을 때 총 A(g)의 몰수는 $\frac{2}{RT}$ 이다.

(나)에서 온도가 $\frac{3}{2}TK$ 가 되었고, 총 기체의 몰수는 $\frac{4}{RT}$, 외

부 압력은 1atm이므로 기체의 총 부피는 $V = \frac{4}{RT} \times \frac{3}{2}RT = 6$ 이다. 이 때 콕을 닫았는데, 실린더의 부피는 4L, 강철 용기의 부피는 2L이므로 강철 용기에 존재하는 A(g), B(g)의 몰수는 모두 $\frac{2}{3RT}$ 몰이다.

온도를 2TK로 올리면 용기 내부의 기체의 압력은 $P = \frac{4}{3RT} \times \frac{1}{2} \times 2RT = \frac{4}{3}$ atm이다. 반응이 완결된 후 기체의 압력은 $\frac{4}{5}$ atm이고 이 때 기체의 총 몰수 $n = 2 \times \frac{4}{5} \times \frac{1}{2RT} = \frac{4}{5RT}$ 이다.

A(g)와 B(g)의 몰수가 같은데, B(g)가 전부 소모된 것으로 계

$$A(g) + bB(g) \rightarrow 2C(g)$$

| | | | |
|---------------------|-----------------|------------------|---|
| $\frac{2}{3RT}$ | $\frac{2}{3RT}$ | | |
| $\frac{2}{3bRT}$ | $\frac{2}{3RT}$ | $\frac{4}{3bRT}$ | 이고, $\frac{2b+2}{3bRT} = \frac{4}{5RT}$ 이므로 |
| $\frac{2b-2}{3bRT}$ | 0 | $\frac{4}{3bRT}$ | |

b = 5이다.

(가) 과정의 실린더에서 $[A] = \frac{2}{RT} \times \frac{1}{6} = \frac{1}{3RT}$ 이고,

(다) 과정 후 강철 용기에서 $[A] = \frac{8}{15RT} \times \frac{1}{2} = \frac{4}{15RT}$ 이므로

(가) 과정의 실린더에서 [A] $\frac{5}{4}$ 이다.
(다) 과정 후 강철 용기에서 [A] $\frac{4}{4}$

대부분의 학생이 $b \geq 1$ 이라고 생각하여 B(g)가 전부 소모된 것으로 계산하였을 것이다. $0 < b < 1$ 로 나올 확률은 거의 0에 가깝지만 만약 $0 < b < 1$ 라서 A(g)가 전부 쓰였다고 가정하면 어떻게 될까?

$$A(g) + bB(g) \rightarrow 2C(g)$$

| | | | |
|-----------------|--------------------|-----------------|---|
| $\frac{2}{3RT}$ | $\frac{2}{3RT}$ | | |
| $\frac{2}{3RT}$ | $\frac{2b}{3RT}$ | $\frac{4}{3RT}$ | 에서 $\frac{6-2b}{3RT} = \frac{4}{5RT}$ 인데, 이 때 $b = \frac{9}{5}$ |
| 0 | $\frac{2-2b}{3RT}$ | $\frac{4}{3RT}$ | |

이다. 조건에서 $0 < b < 1$ 라 하였고, B(g)의 몰수에 $b = \frac{9}{5}$ 를 대입하면 B(g)의 몰수가 음수가 나오므로 불가능하다.

가끔은 이상한 상황을 가정하고 계산해보는 것도 실력 향상에 도움을 줄 수 있다.