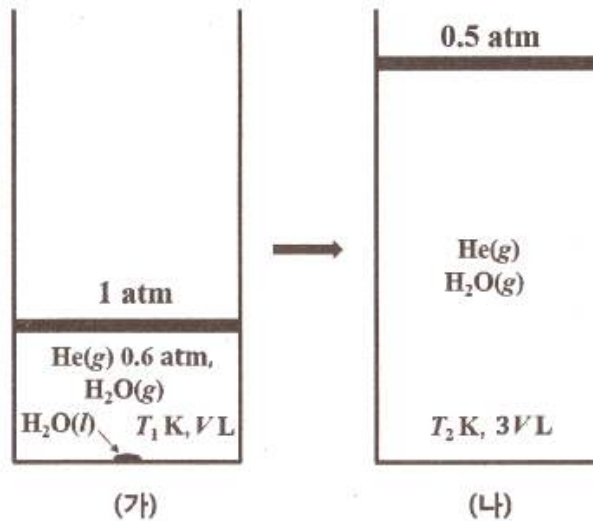


61회 변리사 1차 시험 문제

변리사스쿨 화학 전임 -SM 김 선 민-

11. 그림 (가)는 온도 $T_1\text{K}$, 외부압력 1atm에서 실린더에 1mol $\text{He}(g)$ 와 1mol H_2O 을 넣어 도달한 평형을, (나)는 (가)에서 온도를 $T_2\text{K}$, 외부압력을 0.5atm으로 변화시켜 도달한 새로운 평형을 나타낸 것이다.



이에 관한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, $\text{He}(g)$ 의 용해, $\text{H}_2\text{O}(l)$ 의 부피는 무시한다. 피스톤의 질량과 마찰은 무시하며, 모든 기체는 이상 기체로 거동한다. He과 H_2O 의 몰질량(g/mol)은 각각 4와 18이다. (가)와 (나)에서 외부 압력은 각각 1atm과 0.5atm으로 일정하다.)

< 보 기 >

ㄱ. (가)에서 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 양(g)은 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 양(g)의 2배이다.

ㄴ. (나)에서 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력은 0.3atm이다.

ㄷ. $4T_1 = 3T_2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설)

- ㄱ. (가)에서 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 는 $\text{H}_2\text{O}(l)$ 와 공존하고 있으므로 증기압이며 외부압력 1atm에서 피스톤이 멈추어 있는 것으로 보아 기체 내부의 전체압력도 1atm이 되어야 하고 $\text{He}(g)$ 의 부분 압력이 0.6atm이므로 $\text{H}_2\text{O}(g)$ 의 부분 압력 즉 $T_1\text{K}$ 에서의 증기압은 0.4atm이다.

또한 (가)에서 온도는 T_1K 이고 부피는 $V L$ 로 두 기체가 같으므로 몰비는 압력비가 되어 $He(g)$ 1mol이 0.6atm을 나타내고 있으므로 0.4atm의 $H_2O(g)$ 의 몰수는 $\frac{2}{3}$ mol임을 알 수 있다.

초기에 1mol H_2O 을 넣었다고 하였으므로 $H_2O(l)$ 의 몰수는 $\frac{1}{3}$ mol이다. 따라서 $H_2O(g)$ 양(g)은 $\frac{2}{3}$ mol(12g)이고 $H_2O(l)$ 양(g)은 $\frac{1}{3}$ mol(6g)으로 $H_2O(g)$ 양(g)은 $H_2O(l)$ 양(g)의 2배이다.

ㄴ. 만약 (가)와 (나)에서 온도가 T_1 으로 일정하다면 (나)에서 부피가 3배 증가하였으므로 $He(g)$ 의 부분압은 0.2atm이어야 한다. 그러나 아래 ㄷ.에서 $T_1 = \frac{3V}{5R}$ 이고 $T_2 = \frac{1.5V}{2R}$ 로 T_2 는 T_1 보다 $\frac{5}{4}=1.25$ 배 더 크다는 것을 알았으며 온도가 1.25배 증가되었으므로 $He(g)$ 의 부분압도 1.25배 증가되어 $0.2 \times 1.25 = 0.25$ atm이어야 한다. 참고적으로 (나)에서는 $H_2O(g)$ 의 부분압도 0.25atm으로 전체압은 0.5atm이 된다. 왜냐하면 $He(g)$ 1mol과 $H_2O(g)$ 1mol이 들어있어 $He(g)$ 과 $H_2O(g)$ 의 몰수가 동일하기 때문이다.

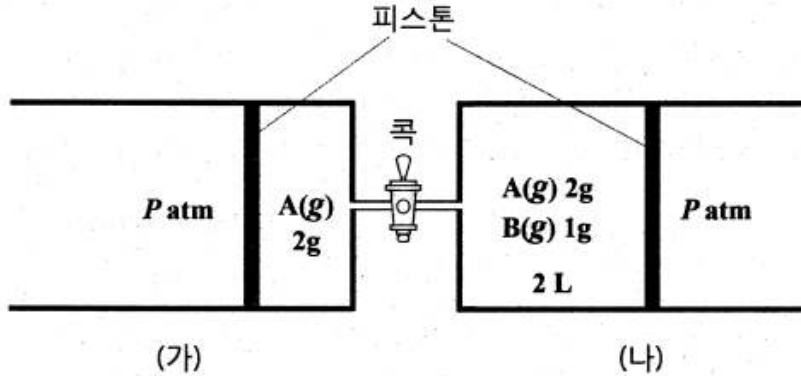
ㄷ. (나)에서 $He(g)$ 1mol과 $H_2O(g)$ 1mol이 들어 있으므로 전체 기체의 몰수는 2mol이고 전체압은 외부압과 같은 0.5atm이며 부피는 $3V L$ 이므로 이상 기체 상태방정식에서 $T_2 = \frac{PV}{nR} = \frac{0.5 \times 3V}{2R} = \frac{1.5V}{2R}$ 이며, (가)에서는 $He(g)$ 1mol과 $H_2O(g)$ $\frac{2}{3}$ mol이 들어 있으므로 전체 기체의 몰수는 $\frac{5}{3}$ mol이고 전체압은 외부압과 같은 1atm이며 부피는 $V L$ 이므로 이상기체 상태방정식에서 $T_1 = \frac{PV}{nR} = \frac{1 \times V}{\frac{5}{3}R} = \frac{3V}{5R}$ 이다. 따라서 $4T_1 = 3T_2$ 이 성립하지 않는다.

정답 : ①

12. 다음은 A(g)가 B(g)를 생성하는 반응식과 압력으로 정의되는 평형 상수(K_p)이다.



그림은 T_1 K에서 닫힌 콕으로 연결되어 있는 실린더 (가)에 A(g)를, (나)에 A(g)와 B(g)를 각각 넣은 초기 상태를 나타낸 것이다.



표는 콕을 열어 반응이 일어날 때, 서로 다른 평형 I 과 II에 대한 자료이다.

상태	온도(K)	실린더 (가) 속 기체의 밀도(g/L)	평형 상수(K_p)
평형 I	T_1	$\frac{3}{2}$	a
평형 II	T_2	$\frac{10}{9}$	$\frac{9}{2}a$

평형 II에서 $[B]$ 평형 I에서 $[B]$ 는? (단, 외부 압력은 P_{atm} 으로 일정하다. 피스톤의 마찰과 연결관의 부피는 무시하며, 모든 기체는 이상 기체로 거동한다.)

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

해설)

① 먼저 (가)에서의 부피를 알아 초기 밀도를 구하기 위하여 다음의 과정을 생각해볼 수 있다.

- 반응식이 $A(g) \rightleftharpoons 2B(g)$ 이므로 A와 B의 물질량 비율은 $M_A : M_B = 2 : 1$ 이다.
- 만약 $M_A = 2g/mol$, $M_B = 1 g/mol$ 이라고 가정하면 기체 A 2g = 1mol이고 기체 B 1g = 1mol로서 두 기체의 몰 수가 동일하므로 초기 (가)의 전체 몰 수는 1mol이고 (나)의 전체 몰수는 2mol로서 그 비율은 (가) : (나) = 1 : 2이다. 초기 (가)와 (나)의 온도 압력이 동일하므로 부피비도 1 : 2가 되어 (나)의 부피가 2L이므로 (가)의 부피는 1L이다.

3. 따라서 초기 전체 5g의 기체가 전체 부피 3L에 존재하므로 밀도는 $\frac{5}{3}g/L$ 이다.

② 이제 콧을 열어 반응이 평형 I에 도달하였을 때 각 기체의 몰수(부분압)와 K_p 값을 구해보자.

평형 I에서 초기 밀도 $\frac{5}{3}g/L$ 와 나중 밀도 $\frac{3}{2}g/L$ 의 비율은 $\frac{5}{3} : \frac{3}{2} = 10 : 9$ 이므로 부피비는 밀도비의 역수로서 9 : 10이다. 온도와 압력이 일정하므로 부피비는 기체 몰수비가 되어 반응 전 몰 수를 9몰이라 가정하면 반응 후 몰 수는 10몰이 된다. 반응 전 A(g) 전체 4g과 B(g) 1g의 몰 수 합을 9몰로 가정하고 $n_A : n_B = 2 : 1$ 을 만족하려면 $n_A = 6mol$, $n_B = 3mol$ 로 놓고 계산하면 편리하며 반응 과정은 다음과 같다.

	A(g)	\rightleftharpoons	2B(g)
반응 전	6몰		3몰
반응	-x		+2x
반응 후	6-x		3+2x

반응 후 전체 몰 수는 $(6 - x) + (3 + 2x) = 10$ 이므로 x 는 1이다. 즉 반응 후에는 A(g) 5몰, B(g) 5몰이 되어 $n_A : n_B = 1 : 1$ 로 존재하고 전체 압력은 P 이므로 각 기체의 부분압은 $\frac{P}{2}$ 이다.

온도 T_1 에서 평형상수(K_p)가 a 이고 각 기체의 분압이 $\frac{P}{2}$ 이므로 $a = \frac{P}{2}$ 이다.

$$K_p = \frac{P_B^2}{P_A} = \frac{\left(\frac{P}{2}\right)^2}{\frac{P}{2}} = \frac{P}{2} = a$$

③ 다음은 평형 II에서의 반응이 완결된후 각 기체의 몰수를 구해보면 다음과 같다.

온도 T_2 에서 평형상수(K_p)가 $\frac{9}{2}a$ 이고 $a = \frac{P}{2}$ 이므로 $K_p = \frac{9}{4}P$ 이고, A(g)와 B(g)의 분압의 합이 $P(P_A + P_B = P)$ 가 되어야 하므로 B(g)의 분압(P_B)을 미지수 x 로 두면 $K_p = \frac{9}{4}P = \frac{x^2}{(P-x)}$ 를 만족한다. 식을 정리하면 $4x^2 + 9Px - 9P^2 = 0$ 이고 이 2차 방정식을 근의 공식으로 풀면 $x = \frac{3}{4}P$ 이다.

즉, $P_B = \frac{3}{4}P$ 이며 $P_A = \frac{1}{4}P$ 이다. ($P_A : P_B = 1 : 3$) 이 압력비는 반응이 완결되어 온도는 T_2 로 일정하고 부피도 일정하므로 압력비는 몰비가 된다. 따라서 평형에서 $n_A : n_B = 1 : 3$ 이다.

평형 II에서 A(g)와 B(g)는 $n_A : n_B = 1 : 3$ 으로 존재하게 되므로 반응 과정은 다음과 같다.

	A(g)	\rightleftharpoons	2B(g)
반응 전	6몰		3몰
반응	-z		+2z
반응 후	6-z		3+2z

반응 후 $n_A : n_B = 6 - z : 3 + 2z = 1 : 3$ 이므로 $z = 3$ 이다. 따라서 평형에서 A(g)는 3몰, B(g)는 9몰 존재한다.

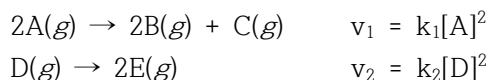
④ 이제 $\frac{\text{평형 II에서 } [B]}{\text{평형 I에서 } [B]}$ 값을 구해보자.

각 평형에서의 B의 몰농도 $[B] = \frac{B\text{의 몰수}}{\text{부피}}$ 이므로 부피를 구해보기 위해 평형에서의 밀도 비를 구하면 다음과 같다. $\frac{3}{2} : \frac{10}{9} = 27 : 20$ 모든 과정에서 전체 질량 5g은 변하지 않으므로(질량 보존의 법칙) 밀도의 역수가 부피 비율이 된다. 즉 평형 I과 평형 II의 밀도 비율이 27 : 20 이므로 부피는 20 : 27이고 평형 I에서의 $n_B = 5$ 이고 평형 II에서의 $n_B = 9$ 이라 볼 수 있으므로 평형 I [B]의 상댓값은 $\frac{5}{20}$ 이고 평형 II [B]의 상댓값은 $\frac{9}{27}$ 이다.

따라서 $\frac{\text{평형 II에서 } [B]}{\text{평형 I에서 } [B]} = \frac{\frac{9}{27}}{\frac{5}{20}} = \frac{4}{3}$ 이다.

정답 : ②

13. 다음은 온도 T에서 A(g)와 D(g)가 분해되는 화학 반응식과 반응 속도 법칙이다. k_1 과 k_2 는 온도 T에서의 반응 속도 상수이다.



표는 온도 T에서 진공 강철 용기 (가)에 A(g)를, (나)에 D(g)를 각각 넣고 반응시켰을 때 반응 시간(min)에 따른 순간 반응 속도(상댓값)를 나타낸 것이다. 반응 전 넣어준 A(g)의 초기농도([A]₀)는 D(g)의 초기 농도([D]₀)의 2배이다.

	용기	반응 시간(min)			
		0	1	2	3
순간 반응 속도 (상댓값)	(가)	64	16		x
	(나)	16		4	

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

< 보 기 >

ㄱ. $k_1 = 2k_2$ 이다.

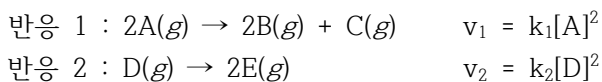
ㄴ. $x = 4$ 이다.

ㄷ. $\frac{\text{(가)에서 } 0 \sim 3\text{min} \text{ 동안 평균 반응 속도 } (M/s)}{\text{(나)에서 } 0 \sim 2\text{min} \text{ 동안 평균 반응 속도 } (M/s)} = 2$ 이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설)

A의 분해 반응을 반응 1, D의 분해 반응을 반응 2라 하고, 초기 [A]₀를 2x M, [D]₀를 x M라 하자. 표의 순간 반응 속도는 모두 반응물의 순간 분해 속도이다.



ㄱ. 모두 2차 반응이므로 순간 반응 속도가 $\frac{1}{4}$ 로 감소할 때의 시간(1min)은 반응물의 농도가 $\frac{1}{2}$ 로 감소할 때까지의 시간이므로 반감기이다. 반응 1의 초기 반감기는 1 min, 반응 2의 초기 반감기는 2 min이므로 k_1, k_2 식은 다음과 같다.

$$\text{반응 1 : } t_{1/2} = \frac{1}{k_1[A]_0} = 1\text{min} = \frac{1}{k_1 \times 2x}, \quad k_1 = \frac{1}{2x}$$

$$\text{반응 2 : } t_{1/2} = \frac{1}{k_2[D]_0} = 2\text{min} = \frac{1}{k_2 \times x}, \quad k_2 = \frac{1}{2x} \text{이며 } k_1 = k_2 \text{이다.}$$

ㄴ. 반응 1에서 초기 반감기가 1min 이었다면 다음 반감기는 2min이 되므로(2차 반응은 초기농도가 반으로 감소되면 반감기는 2배로 증가되므로) 전체 3min이 지난 시점에서는 반응물의 농도가 초기에 비해 $\frac{1}{4}$ 배로 감소하게 된다. 즉, 속도는 초기에 비해 $\frac{1}{16}$ 배 감소되어 $x = \frac{64}{16} = 4$ 이다.

ㄷ. (가)에서 0 ~ 3min까지 반응하면 반응물은 반감기를 두 번 거친 시점이 되어 초기농도 $2x$ 가 3min인 시점에서는 $\frac{1}{2}x$ 가 된다. 반응물의 평균 분해 속도는 $\frac{2x - \frac{1}{2}x}{3\text{min}} = \frac{1}{2}x$ M/min 이다.

(나)에서 0 ~ 2min까지 반응하면 반응물이 반감을 한 번 거친 시점이 되어 초기농도 x 가

2min인 시점에서는 $\frac{1}{2}x$ 가 된다. 반응물의 평균 분해 속도는 $\frac{x - \frac{1}{2}x}{2\text{min}} = \frac{1}{4}x$ M/min이다.

$$\text{따라서 } \frac{\text{(가)에서 } 0 \sim 3\text{min} \text{ 동안 평균반응속도 (M/s)}}{\text{(나)에서 } 0 \sim 2\text{min} \text{ 동안 평균반응속도 (M/s)}} = \frac{\frac{2x - \frac{1}{2}x}{3\text{min}}}{\frac{x - \frac{1}{2}x}{2\text{min}}} = 2 \text{이다. 문제에서는 속}$$

도의 단위를 M/s로 제시했으나 M/min로 풀어내도 그 비율은 같다.

정답 : ④

(다른 풀이 방법)

ㄱ. 용기 (가)의 초기 순간 반응 속도는 64이고 용기 (나)의 초기 순간 반응 속도는 16이므로 (가)는 (나)의 4배이다. $v_1 = k_1[A]_0^2$, $v_2 = k_2[D]_0^2$ 이고 반응 전 넣어준 A(g)의 초기농도 ($[A]_0$)는 D(g)의 초기 농도($[D]_0$)의 2배이므로 농도는 2배인데 속도가 4배가 되기 위해서는 $k_1 = k_2$ 이어야 한다.

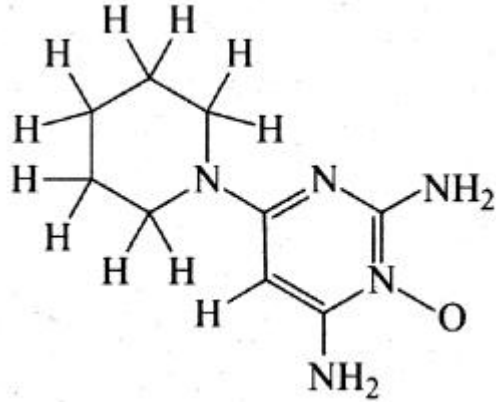
ㄷ. 반응 전 넣어준 A(g)의 초기농도($[A]_0$)는 D(g)의 초기 농도($[D]_0$)의 2배라고 하였으므로 $[A]_0 = 2$, $[D]_0 = 1$ 이라고 하면

(가)에서 0 ~ 3min까지 반응하면 반응물은 반감기를 두 번 거친 시점이 되어 A(g)의 초기 농도에서 $\frac{1}{4}$ 로 줄어든 농도가 되므로 0.5M이다. 따라서 0 ~ 3min동안 평균 반응 속도는

$\frac{2-0.5}{3} = \frac{1.5}{3}$ M/min이며, (나)에서 0 ~ 2min까지 반응하면 반응물이 반감을 한 번 거친 시점이 되어 초기농도 1M 가 2min인 시점에서는 0.5M가 된다. 따라서 0 ~ 2min동안 평균 반응 속도는 $\frac{1-0.5}{2} = \frac{0.5}{2}$ M/min이다.

즉, $\frac{\text{(가)에서 } 0 \sim 3\text{min} \text{ 동안 평균 반응 속도 (M/s)}}{\text{(나)에서 } 0 \sim 2\text{min} \text{ 동안 평균 반응 속도 (M/s)}} = \frac{\frac{1.5}{3}}{\frac{0.5}{2}} = 2$ 이다.

14. 그림은 미녹시달($C_9H_{15}N_5O$)의 구조식이다.

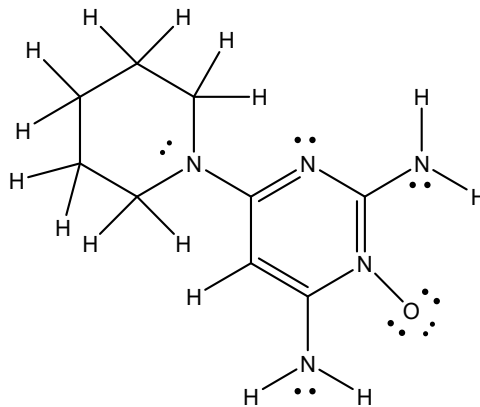


이 구조의 미녹시달 한 분자에는 x 개의 고립(비공유) 전자쌍과 y 개의 시그마(σ)결합이 있다. $x+y$ 는?

- ① 27 ② 28 ③ 31 ④ 35 ⑤ 38

해설)

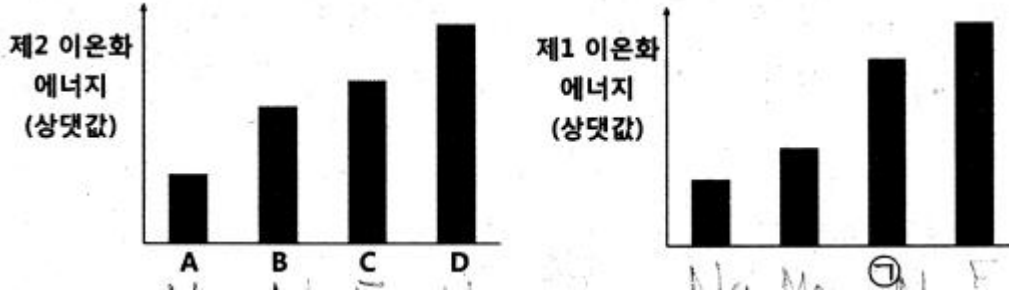
미녹시달($C_9H_{15}N_5O$)의 구조식을 비공유 전자쌍을 포함하여 그리면 다음과 같다.



위 그림에서처럼 비공유 전자쌍은 7쌍이 있으므로 $x = 7$ 이고 모든 단일결합은 시그마 결합이며 시그마(σ)결합의 개수는 31개이다. 즉 $y = 31$ 이고 $x + y = 38$ 이다.

정답 : ⑤

15. 그림은 원자 A~D의 제2 이온화 에너지(상댓값)과 제1 이온화 에너지(상댓값)를 나타낸 것이다. A~D는 각각 N, F, Na, Mg 중 하나이다.



이에 관한 설명으로 옳은 것만을 < 보기 >에서 있는 대로 고른 것은? (단, A~D는 임의의 원소 기호이다.)

- < 보 기 >
- ㄱ. ㉠은 B이다.
- ㄴ. 전기음성도는 C > B 이다.
- ㄷ. 원자 반지름은 A > D 이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설)

이온화 에너지는 같은 주기에서는 원자 번호가 증가할수록 증가하고(예외 있음) 같은 족에서는 원자 번호가 증가할수록 감소하므로 주기율표의 오른쪽 위로 갈수록 증가하는 성질이 있다. 즉 4가지 원소의 제1 이온화 에너지를 순서대로 나열하면 Na < Mg < N < F이다. 또한 제2 이온화 에너지는 1족인 Na가 가장 크며(원자가 전자가 1개이므로) 제2 이온화 에너지를 순서대로 나열하면 Mg < N < F < Na이다. 즉 A = Mg, B = N, C = F, D = Na이다.

- ㄱ. ㉠은 질소(N)이며 B이다.
- ㄴ. 전기음성도는 불소(F) > 질소(N) 이므로 C > B 이다.
- ㄷ. 원자 반지름은 같은 주기에서는 원자번호가 증가하며 핵의 전하가 커져 감소되는 경향이 있어 Mg < Na 이므로 A < D 이다.

정답 : ③

16. 다음은 분자 궤도함수 이론에 근거한 바닥상태의 3가지 화학종 XY, ZY⁻, Z₂²⁻에 관한 자료이다. X~Z는 각각 C, N, O 중 하나이다.

XY의 전자 배치는 $(\sigma_{1s})^2 (\sigma_{1s}^*)^2 (\sigma_{2s})^2 (\sigma_{2s}^*)^2 (\pi_{2p})^4 (\sigma_{2p})^2$ 이다.
 ZY⁻의 결합 차수는 2이다.
 Z₂²⁻은 상자기성이다.

분자 궤도함수 이론에 근거하여 다음 화학종에 관한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, X~Z는 임의의 원소 기호이고, 모든 화학종은 바닥상태이다.)

< 보 기 >

ㄱ. $\frac{Z_2^+ \text{의 결합 차수}}{Z_2 \text{의 결합 차수}} < \frac{Y_2^- \text{의 결합 차수}}{Y_2 \text{의 결합 차수}}$ 이다.
 ㄴ. 홀전자 수는 ZY와 X₂⁻이 같다.
 ㄷ. XZ⁻은 반자기성이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설)

Z₂²⁻은 상자기성이라고 하였으므로 Z = N이다. 왜냐하면 C₂²⁻과 O₂²⁻은 홀전자가 없는 반자기성이기 때문이다.

ZY⁻의 결합 차수는 2이라고 하였으므로 Y = O이다. 왜냐하면 NO⁻은 결합 차수가 2이나 CN⁻은 결합 차수가 3이기 때문이다.

XY의 전자 배치는 $(\sigma_{1s})^2 (\sigma_{1s}^*)^2 (\sigma_{2s})^2 (\sigma_{2s}^*)^2 (\pi_{2p})^4 (\sigma_{2p})^2$ 이라고 하였으므로 X = C임을 알 수 있다.

ㄱ. $\frac{N_2^+ \text{의 결합 차수} = 2.5}{N_2 \text{의 결합 차수} = 3}$ 이고 $\frac{O_2^- \text{의 결합 차수} = 1.5}{O_2 \text{의 결합 차수} = 2}$ 이므로

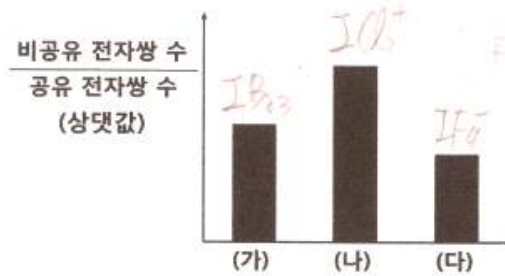
$\frac{Z_2^+ \text{의 결합 차수}}{Z_2 \text{의 결합 차수}} > \frac{Y_2^- \text{의 결합 차수}}{Y_2 \text{의 결합 차수}}$ 이다.

ㄴ. ZY(NO)홀전자 수는 1개이고, X₂⁻(C₂⁻)의 홀전자 수도 1개이므로 홀전자 수는 ZY와 X₂⁻이 같다.

ㄷ. XZ⁻(CN⁻)은 결합 차수가 3이며 홀전자가 없는 반자기성이다.

정답 : ④

17. 그림은 화합물 (가)~(다)의 가장 안정한 루이스 구조에서 중심 원자 아이오딘(I)의 $\frac{\text{비공유 전자쌍 수}}{\text{공유 전자쌍 수}}$ 를 나타낸 것이다. (가)~(다)는 각각 IF_4^- , IBr_3 , ICl_2^+ 중 하나이다.



루이스 구조, 원자가 껍질 전자쌍 반발 이론, 원자가 결합 이론에 근거하여 (가)~(다)를 설명한 것으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은?

< 보 기 >

ㄱ. (나)는 굽은형 구조이다.

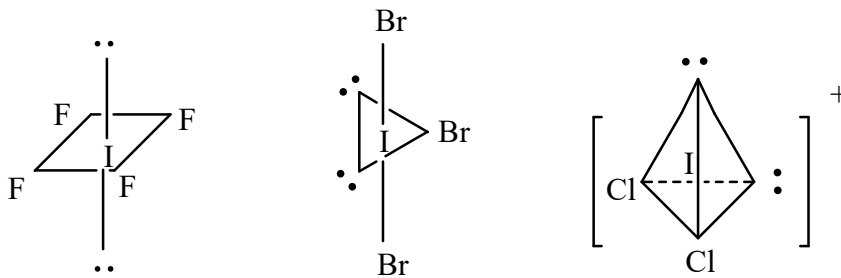
ㄴ. I의 형식 전하는 (나) > (가)이다.

ㄷ. I의 혼성 궤도함수에서 s 오비탈의 기여도는 (가) > (다)이다.

- ① ㄱ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

해설)

IF_4^- , IBr_3 , ICl_2^+ 의 루이스 구조를 각각 그려보면 다음과 같다.



따라서 $\frac{\text{비공유 전자쌍 수}}{\text{공유 전자쌍 수}}$ 는 각각 IF_4^- 는 $\frac{14}{4}$ 이고 IBr_3 는 $\frac{11}{3}$ 이며 ICl_2^+ 는 $\frac{8}{2}$ 이다. 이 때 중심 원자(I)에 있는 비공유 전자쌍의 수만 세어서는 안되며 바깥쪽에 있는 원자들의 비공유 전자쌍의 수도 세어줘야 한다.

즉, (가)는 $\frac{\text{비공유 전자쌍 수}}{\text{공유 전자쌍 수}}$ 값이 2번째인 IBr_3 이고 (나)는 $\frac{\text{비공유 전자쌍 수}}{\text{공유 전자쌍 수}}$ 값이 가장 큰 ICl_2^+ 이며 (다)는 가장 작은 IF_4^- 이다.

ㄱ. (나)는 ICl_2^+ 이며 분자의 모양은 굽은형 구조이다.

ㄴ. (나)는 ICl_2^+ 이며 I의 형식 전하는 $7 - \frac{4}{2} - 4 = +1$ 이고 (가)는 IBr_3 이고 I의 형식 전하는 $7 - \frac{6}{2} - 4 = 0$ 이므로 I의 형식 전하는 (나) > (가)이다.

ㄷ. (가)는 IBr_3 이며 중심 원자의 I의 혼성 오비탈은 sp^3d 이고 s-character는 $\frac{1}{5}$ 이다. (다)는 IF_4^- 이며 중심 원자의 I의 혼성 오비탈은 sp^3d^2 이고 s-character는 $\frac{1}{6}$ 이다. 따라서 혼성 궤도함수에서 s 오비탈의 기여도는 (가) > (다)이다.

정답 : ⑤

18. 표는 결정장 이론에 근거한 바닥상태의 3가지 착이온에 대한 자료이다. X~Z는 각각 Fe, Co, Ni 중 하나이다.

화학식	$[XCl_4]^{2-}$	$[YCl_4]^{2-}$	$[ZCl_6]^{3-}$
홀전자 수	2	3	5
입체 구조	정사면체	정사면체	정팔면체

결정장 이론에 근거하여 바닥상태의 다음 착이온에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 있는 대로 고른 것은? (단, Fe, Co, Ni의 원자 번호는 각각 26, 27, 28이고, Δ_o 는 정팔면체 착화합물의 결정장 갈라짐 에너지이다. X~Z는 임의의 원소 기호이다.)

< 보 기 >

ㄱ. X는 Ni이다.

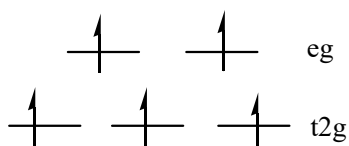
ㄴ. $[YCl_6]^{3-}$ 의 결정장 안정화 에너지의 절댓값은 $0.4\Delta_o$ 이다.

ㄷ. $[Z(CN)_6]^{4-}$ 은 반자기성이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

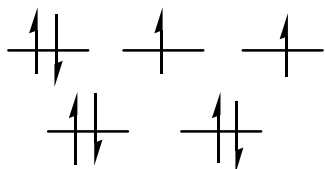
해설)

$[ZCl_6]^{3-}$ 은 정팔면체 구조이며 홀전자 수가 5개이므로 $Z = Fe$ 이다. 왜냐하면 $[FeCl_6]^{3-}$ 에서 중심원자는 Fe^{3+} 이며 전자배치는 $[Ar] 3d^5$ 이고 정팔면체 구조이고 약한장 리간드와 결합되어 있으므로 high spin을 선호하여 홀전자가 5개이기 때문이다.



weak field ligand = high spin

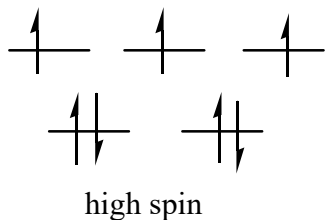
또한 $[XCl_4]^{2-}$ 은 $[NiCl_4]^{2-}$ 이다. 왜냐하면 중심원자는 Ni^{2+} 이며 전자배치는 $[Ar] 3d^8$ 이고 정사면체 구조이므로 홀전자가 2개 존재하기 때문이다.



high spin

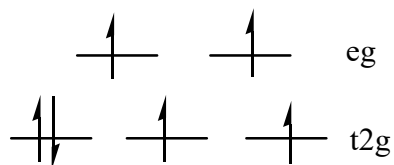
그리고 $[YCl_4]^{2-}$ 은 $[CoCl_4]^{2-}$ 이다. 왜냐하면 중심원자는 Co^{2+} 이며 전자배치는 $[Ar] 3d^7$ 이고 정

사면체 구조이므로 홀전자가 3개 존재하기 때문이다.



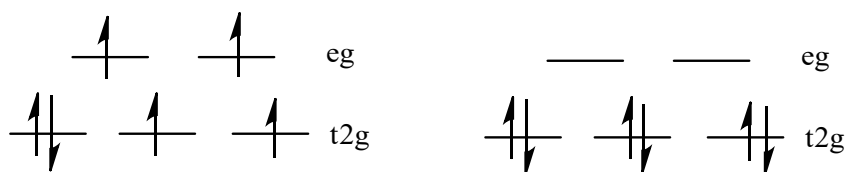
ㄱ. X는 Ni이고 Y는 Co이며 Z는 Fe이다.

ㄴ. $[YI_6]^{3-} = [CoI_6]^{3-}$ 에서 중심 원자는 Co^{3+} 이며 전자배치는 $[Ar] 3d^6$ 이고 약한장 리간드인 I^- 과 결합하면 고스핀(high spin)이 우세하여 다음과 같은 전자배치를 가지며 결정장 안정화 에너지는 $4(-\frac{2}{5}\Delta_o) + 2(\frac{3}{5}\Delta_o) = -\frac{2}{5}\Delta_o$ 이므로 절대값은 $0.4\Delta_o$ 이다.



weak field ligand = high spin

ㄷ. $[Z(CN)_6]^{4-} = [Fe(CN)_6]^{4-}$ 에서 중심 원자는 Fe^{2+} 이며 전자배치는 $[Ar] 3d^6$ 이다. 또한 강한장 리간드인 CN^- 과 결합하고 있으므로 저스핀(low spin)이 우세하여 t_{2g} 에 전자가 모두 쌍을 이루고 있으므로 반자기성이다.

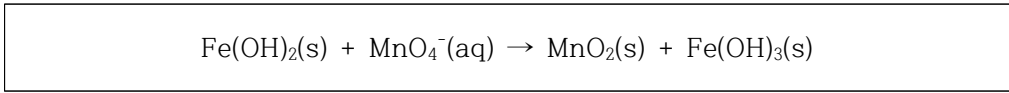


weak field ligand = high spin

strong field ligand = low spin

정답 : ⑤

19. 다음은 산화-환원 반응에서 불균형 알짜 이온 반응식을 나타낸 것이다.



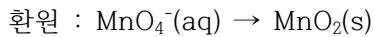
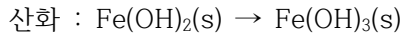
염기성 수용액에서 이 반응의 균형을 맞추었을 때, 1mol의 Fe(OH)₂(s)가 모두 반응하여 생성되는 OH⁻(aq)의 양(mol)은?

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

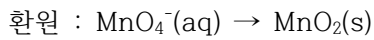
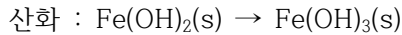
해설)

반쪽 반응식을 이용하여 반응식을 완결해보면 다음과 같다.

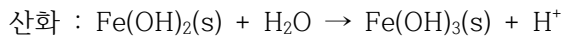
(1) 산화 환원 반쪽 반응으로 나누어준다.



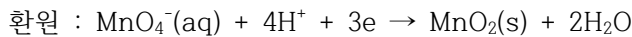
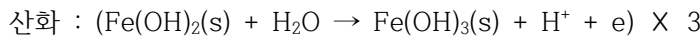
(2) 산화되고 환원되는 화학종의 원자수를 맞춘다.



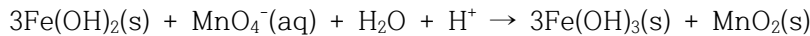
(3) O는 H₂O로 H는 H⁺으로 개수를 맞춘다.



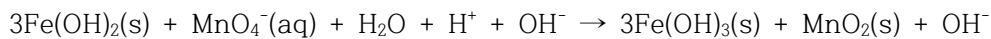
(4) 전자는 최소공배수로 맞춘다.



(5) 산화 환원 두 반응식을 더한다.



(6) 염기성 용액이므로 양변에 1개의 OH⁻를 더하여 H⁺을 H₂O로 변화시킨다.



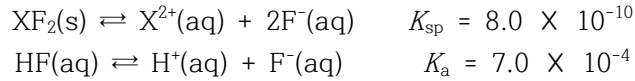
반응식을 완결하면 다음과 같다.



반응식을 보면 3mol의 Fe(OH)₂(s)가 반응하여 1mol의 OH⁻을 생성시키므로 1mol의 Fe(OH)₂(s)가 반응하면 생성되는 OH⁻은 $\frac{1}{3}$ mol이다.

정답 : ①

20. 다음은 $T^{\circ}\text{C}$ 에서 $\text{XF}_2(\text{s})$ 와 $\text{HF}(\text{aq})$ 에 대한 수용액에서의 평형 반응식과 용해도 곱 상수 (K_{sp}) 및 산 해리 상수(K_{a})이다.



표는 $T^{\circ}\text{C}$ 에서 $\text{XF}_2(\text{s})$ 를 순수한 물과 산성 완충 용액에서 녹여 도달한 평형 I과 II에 대한 자료이다.

상태	$[\text{H}^{+}](\text{M})$	$\frac{[\text{HF}]}{[\text{F}^{-}]}$	$[\text{X}^{2+}](\text{M})$
평형 I	1.0×10^{-7}		y
평형 II	4.9×10^{-3}	x	z

$\frac{x \times z}{y}$ 는? (단, 온도는 $T^{\circ}\text{C}$ 로 일정하고, 평형 I에서 F^{-} 이 염기로 작용하는 것은 무시한다. 평형 II에서 $\text{XF}_2(\text{s})$ 의 용해는 주어진 평형 반응들만을 고려한다. X는 임의의 금속이다.)

- ① 28 ② 35 ③ 42 ④ 49 ⑤ 56

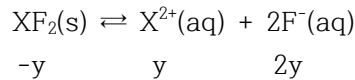
해설)

① 먼저 x 값을 구해보면 다음과 같다.

$$K_{\text{a}} = 7.0 \times 10^{-4} = \frac{[\text{F}^{-}][\text{H}^{+}]}{[\text{HF}]}$$

이고 평형 II에서 $[\text{H}^{+}]$ 는 $4.9 \times 10^{-3}\text{M}$ 이므로 $\frac{[\text{HF}]}{[\text{F}^{-}]} = \frac{4.9 \times 10^{-3}}{7.0 \times 10^{-4}} = 7$ 이므로 $x = 7$ 이다.

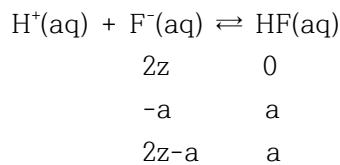
② 다음으로 y 값을 구해보면 다음과 같으나 계산의 편의를 위해 y^3 값을 구해본다.



평형 I에서는 F^{-} 의 가수분해반응을 무시하므로 $\text{XF}_2(\text{s})$ 의 용해 반응만 진행되어 $[\text{X}^{2+}]$ 가 y 라면 $[\text{F}^{-}]$ 는 $2y$ 가 되어 $K_{\text{sp}} = 8.0 \times 10^{-10} = [\text{X}^{2+}][\text{F}^{-}]^2 = y(2y)^2 = 4y^3$ 으로서 $y^3 = 2.0 \times 10^{-10}$ 이다.

③ z 값은 다음과 같이 구할 수 있으며 역시 계산의 편의를 위해 z^3 값을 구해본다.

평형 II에서는 F^{-} 의 가수분해 반응을 고려하면, $\text{XF}_2(\text{s})$ 가 용해되어 $[\text{X}^{2+}]$ 가 z 만큼 생성될 때 우선 $[\text{F}^{-}]$ 는 $2z$ 가 되고 그 중 일부분(아래식의 a 만큼)이 $[\text{HF}]$ 가 된다.



따라서 $[F^-] + [HF] = (2z - a) + a = 2z$ 이고, $x = \frac{[HF]}{[F^-]} = 7$ 이므로 $[HF] = 7[F^-]$ 이며

$[F^-] + [HF] = [F^-] + 7[F^-] = 8[F^-] = 2z$ 으로서 $[F^-] = \frac{2z}{8} = \frac{z}{4}$ 이다.

즉, $K_{sp} = 8.0 \times 10^{-10} = [X^{2+}][F^-]^2 = z \left(\frac{z}{4}\right)^2$ 이므로 $z^3 = 128 \times 10^{-10}$ 이다.

$\frac{z^3}{y^3} = \frac{(128 \times 10^{-10})}{(2.0 \times 10^{-10})} = 64$ 이므로 $\frac{z}{y} = \sqrt[3]{64} = 4$ 이다.

따라서 $\frac{x \times z}{y} = 7 \times 4 = 28$ 이다.

정답 : ①