

### 3. 이온 결합과 공유 결합

[연습문제 해설과 답]

#### 1. 이온성 염의 생성과 에너지 : ①

이온성 염이 생성되는 과정으로  $K(s) + \frac{1}{2}Cl_2(g) \rightarrow KCl(s)$ 의 예에서  $K(s) \rightarrow K(g) \rightarrow K^+(g)$  과정을 먼저 생각하면,  $K(s) \rightarrow K(g)$ 에서는 승화열,  $K(g) \rightarrow K^+(g)$ 에서는 이온화 에너지가 개입된다. 다음에  $\frac{1}{2}Cl_2(g) \rightarrow Cl(g) \rightarrow Cl^-(g)$  과정을 생각할 수 있는데,  $\frac{1}{2}Cl_2(g) \rightarrow Cl(g)$ 에서는 결합 에너지의  $\frac{1}{2}$ ,  $Cl(g) \rightarrow Cl^-(g)$ 에서는 전자 친화도가 개입함을 알 수 있고,  $K^+(g) + Cl^-(g) \rightarrow KCl(s)$  과정에서는 결정 격자 에너지가 개입된다.

#### 2. 본-하버 순환 과정 : ②

step1은 Li의 승화열이 필요하고, step2는 Li의 이온화 에너지가 필요하며, step3에서는  $F_2$ 의 결합 에너지의 절반이 들어간다. step4는 F의 전자 친화도를 방출하는 과정이고, step5는 LiF의 격자 에너지만큼 방출한다. 전체 반응열( $\Delta H$ )은  $|\text{step1} + \text{step2} + \text{step3}| - |\text{step4} + \text{step5}|$ 로 계산한다.

#### 3. 상호 작용 크기 : ④

일반적으로 이온 간 상호 작용은 원소 사이에 강한 정전기적 인력이 작용해 매우 강하고, 쌍극자 간 상호 작용은 분자 간에 작용하는 약한 인력이다.

#### 4. 일산화 탄소의 공유 결합 : ⑤

일산화 탄소에 존재하는 전자쌍을 표현하면 비공유 전자쌍이 2, 공유 전자쌍이 3이다.  $:C \equiv O:$

#### 5. 입체수와 형식 전하 : ④

입체수(steric number) 결합한 원자 수와 비공유 전자쌍까지 포함해 계산하고, 형식 전하(formal charge)를 괄호 속에 표시하면,  $SF_4(5, 0)$ ,  $NO_2(3, +1)$ ,  $SO_4^{2-}(4, 0)$ ,  $POCl_3(4, 0)$ ,  $O_3(3, +1)$ 이다.

#### 6. 다이아몬드와 흑연의 혼성 궤도함수 : ②

다이아몬드는  $sp^3$ , 흑연은  $sp^2$  혼성 궤도함수를 만족한다.

#### 7. 혼성 오비탈(궤도함수) : ④

각 분자들의 혼성 궤도함수는  $XeF_2$   $sp^3d(dsp^3)$ ,  $SF_4$   $sp^3d$ ,  $KrF_4$   $sp^3d^2(d^2sp^3)$ ,  $BF_3$   $sp^2$ 이다.

#### 8. 결합 차수 : ①

결합 차수는 공유 결합 수로 나타낼 수 있는데,  $\frac{(\text{결합 전자 수}) - (\text{반결합 전자 수})}{2}$  로 계산한다. CO : 3, NO : 2.5, OF : 1.5, O<sub>2</sub> : 2

#### 9. 몇 가지 용어 : ①

전자 친화도는 중성 기체 원자가 전자를 받아 음이온이 되면서 방출하는 에너지 크기인데, 이 개념을 좀더 확장해 전자를 받아 방출하는 에너지로 쓰기도 한다. 공명 구조는 루이스 구조가 2 가지 이상 존재할 때 평균 구조를 가리키고, 팔전자 규칙은 중심 원자 바깥에 8 개의 전자가 배열될 때 가장 안정하다는 것인데, NO는 원자가 전자 수가 홀수이고, BF<sub>3</sub>의 B(붕소)는 13족이다. SF<sub>6</sub>의 경우 중심 원자에 배열되는 공유 전자가 12 개로 옥텟을 초과한다.

#### 10. PF<sub>5</sub>와 SF<sub>6</sub>의 혼성 오비탈 : ④

각각 중심 원자의 원자가 전자가 모두 공유 결합에 참여해 혼성 오비탈을 만들며, 각 분자의 혼성 오비탈은 다음과 같다. PF<sub>5</sub> :  $ds^3(sp^3d)$ , SF<sub>6</sub> :  $d^2sp^3(sp^3d^2)$

#### 11. 결합 에너지 : ①

간단한 이원자 분자는 결합 에너지가 분자를 원자로 만드는 데 들어가는 에너지로 측정하면 되지만, 삼원자 분자 이상은 결합을 끊을 때마다 결합을 둘러싼 환경이 달라 에너지 크기가 달라지므로 평균 결합 에너지 개념을 적용해야 한다. H<sub>2</sub>O(l) → 2H(g) + O(g)에서는 물의 증발열 정보를 알아야 하고, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(g) → 2C(g) + 4H(g)에서는 C = C 결합을 분해하는 데 들어가는 에너지도 계산해야 한다.

#### 12. 평균 결합 에너지와 반응 엔탈피(ΔH) : ①

어떤 반응의 반응 엔탈피는 (반응물의 결합 에너지 총 합) - (생성물의 결합 에너지 총 합)으로 계산한다. 생성물이 탄소 간 이중 결합을 가진 에텐이므로 2C(g) + 2H<sub>2</sub>(g) → C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>(g) 반응 과정의 엔탈피 변화(ΔH)는 ΔH = 2 × 432 - 614 - 4 × 413 = -1402 kJ이다.

#### 13. 혼성 궤도함수와 기하학적 구조 : ②

$sp^2$  혼성 궤도함수의 구조는 평면 삼각형(또는 삼각 평면형)이다.

#### 14. 이온 결정 생성 과정 : ③

K(s) → K<sup>+</sup>(g) 과정에서는 승화열(K(s) → K(g))과 이온화 에너지(K(g) + IE → K<sup>+</sup>(g) + e<sup>-</sup>)가 필요하고, F<sub>2</sub>(g) → 2F<sup>-</sup>(g) 과정에서는 F<sub>2</sub> 결합 에너지의 절반이 투입되고 전자 친화도 방출 과정(F(g) + e<sup>-</sup> → F<sup>-</sup>(g))이 필요하다. K<sup>+</sup>(g) + F<sup>-</sup>(g) → KF(s) 과정에서는 결정 격자 에너지 크기를 방출한다.

15. 결합의 극성과 전기 음성도 : ④

전기 음성도가 가장 큰 원소는 F이고, 결합의 극성이 클수록 결합하는 원소 간의 전기 음성도 차이는 크다. 카보닐 탄소는  $C=O$  이중 결합이 존재하며,  $BF_3$ 는 평면 삼각형으로 쌍극자 모멘트가 0( $\mu=0$ )이다.

16. 비공유 전자쌍의 힘 : ①

중심 원자의 혼성 오비탈은 같아도 중심 원자에 배열되는 비공유 전자쌍 사이의 반발력이 더 커서 결합각에 영향을 끼친다. 결합각이  $CH_4 > NH_3 > H_2O$  순서인 것은 비공유 전자쌍 수가 0, 1, 2인 까닭으로 설명한다.

17. 루이스 전자식 : ④

루이스 전자식은 원자가 전자 수를 모두 더한 값에서 시작하며, 공명 구조를 가질 경우 가능한 형식 전하가 0에 가까운 구조를 가장 실제 구조에 가까운 것으로 판단한다. ①에서는 산소 쪽에 비공유 전자쌍이 없고, ②는 탄소와 산소 사이가 이중 결합이고 선형 구조여야 하며, ③에서는 중심 원자인 황에 비공유 전자쌍이 있어야 한다.

18. 인산 구조 : ③

산소 산(산소가 결합하고 있는 산)에서 수소는 산소와 결합하는 것을 원칙으로 한다. 이후 중심 원소의 형식 전하가 0이 되도록 구조를 만들면 된다.

19. 혼성 오비탈과 구조 : ①

$NF_3$ 는  $sp^3$ ,  $SF_4$ 는  $sp^3d$ ,  $XeF_4$ 는  $d^2sp^3$ 로서 평면 사각형 구조이다.

20. ③

질산 이온( $NO_3^-$ )의 공명 구조를 통해 질소와 산소 사이에는 이중 결합이나 단일 결합이 존재하지 않고 모두 2주기 원소로 구성되어 있어 옥텟을 초과할 수 없음을 알 수 있다. 중심 원자의 형식 전하는 +1이다.

21. 중심 원자의 족 예측 : ④

중심 원자의 형식 전하가 0이란 것은 X의 원자가 전자가 모두 결합에 참여했음을 뜻한다. 따라서, X는 15족이다. 5족은 전이 원소로 금속이다.

22.  $\sigma$  결합과  $\pi$  결합 : ②

$\sigma$  결합은 오비탈이 핵 간 축을 따라 겹치므로  $s-s$ ,  $s-sp^3$ ,  $s-p$  등 다양한 유형이 생길 수 있다.  $\pi$  결합은 오비탈 겹침이 핵 간 축을 벗어나 있으므로  $p-p$ 뿐만 아니라,  $p-d$ ,  $d-d$  겹침 등도 가능하며,  $CO_2$ 는 C와 O 사이가 이중 결합이지만,  $SiO_2$ 는 Si와 O 사이가 단일 결합으로 이루어져 있다.

23. 형식 전하 : ②

형식 전하는 실제로 양이나 음의 전하를 가지는 것이 아니고 이론적으로만 부여한다. 계산하는 방법은  $\left( \text{원자가 전자 수} - \frac{\text{공유결합 전자 수}}{2} - \text{비공유 전자 수} \right)$ 이다. 괄호 속에 나타내는 형식 전하는  $\text{O}_3(+1)$ ,  $\text{SO}_4^{2-}(0)$ ,  $\text{NH}_4^+(0)$ 이다.

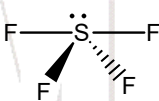

24. 결합 에너지와 반응열 : ①

반응열은  $\Delta H = (\text{반응물 결합 } E) - (\text{생성물 결합 } E)$ 로 계산한다.  $\Delta H = 430 + 150 - 2 \times 300 = -20$  kJ이다.

25. 반응계에서 용어 : ④

정반응(반응물→생성물)의 활성화 에너지는  $E_1$ 이고, 역반응(생성물→반응물)의 활성화 에너지는  $E_1 + E_2 = E_3$ 이다. 반응의 엔탈피 변화는  $\Delta H = E_2$ 로 발열 반응이다. 발열 반응은 계에서 주위로 열이 흘러간다는 뜻이고, 열은 반드시 조금이라도 높은 온도에서 낮은 온도 방향으로만 흐른다.

26. 극성 분자 : ②

극성 분자는 쌍극자 모멘트 합이  $\mu \neq 0$ 이며, 쌍극자 모멘트 합은 분자 구조 영향을 받는다. 각 분자 구조는 다음과 같다.  $\text{O}=\text{C}=\text{O}$  무극성,  극성,  무극성,  $\text{Cl}-\text{Be}-\text{Cl}$  무극성이다.

27. 분자 모양과 혼성 궤도함수 : ③

$\text{BCl}_3$ 는 평면 삼각형으로 중심 원자 혼성 궤도함수는  $sp^2$ 이고,  $\text{NCl}_3$  분자에서 질소의 혼성 궤도함수는  $sp^3$ 이다.  $s$  오비탈이 혼성에 관여하는 것과 평면 형성은 관계가 없다.

28. 결합 차수 : ④

$\text{F}_2$ 의 결합 차수는 결합 전자가 8개이고 반결합 전자가 6개이므로  $\frac{8-6}{2} = 1$ 이다.

29. 분자 구조와 전자쌍 반발 원리 : ①

$\text{BrCl}_3$ 은  $2\text{BrCl}_3 \rightleftharpoons \text{BrCl}_2^+ + \text{BrCl}_4^-$ 와 같은 자동 이온화 반응을 한다.  $\text{BrCl}_3$ 의 구조는 T자형이고,  $\text{BrCl}_2^+$ 는 굽은 형,  $\text{BrCl}_4^-$ 는 사각 평면형이다.  $\text{I}_3^-$ 의 중심 원소는  $sp^3d$  혼성 오비탈을 가지는 선형 구조이다.

30. 평균 결합 에너지와 반응열( $\Delta H$ ) : ②

반응열은 반응물 결합 에너지 총합에서 생성물 결합 에너지 총합을 빼서 계산한다.  $\Delta H = 413 \times 4 + 242 - (413 \times 3 + 328 + 431) = -104$  kJ

## 4. 기체의 성질과 거동

[연습 문제 해설과 답]

1. 실제 기체에 대한 Van der Waals 식 : ④

$\left(P + a \frac{n^2}{V^2}\right)(V - nb) = nRT$  식은 이상 기체 상태 방정식을 실제 기체에 적용할 때 측정되는 압력( $P$ )에 대한 영향을 나타낸다.

※ a, b를 제가 강의중에 헛갈렸던 모양이네요.

a는 인력에 의해 측정 압력이 감소하는 것이고 b는 실제 기체 분자가 움직일 수 있는 공간을 설명하기 위해 실제 기체 분자 고유의 크기를 반영하는 것이므로 답을 4번으로 하는 게 맞습니다.

2. 기체의 압력 : ④

압력을 나타내는 단위로는  $N/m^2$ , atm, mmHg, torr 등이 있다.  $25^\circ C$ 에서 1atm은 760mmHg인데, 액체 금속인 수은주의 높이를 압력으로 나타낸 것인데, 수은주도 온도에 따른 부피 팽창 영향이 있으므로 보정한 단위가 torr이다.

3. 이상 기체 상태 방정식 : ③

매우 고온이나 고압이 아닌 경우 실제 기체는 이상 기체 상태 방정식( $PV = nRT$ )을 이용해 계산할 수 있다. 온도가 일정하므로  $0.4L \times 5.20atm = P \times 2.14L$ 에서  $P = 0.97 atm$ 이다.

4. 샤를 법칙 : ③

기체 부피( $V$ )가 절대온도( $K$ )와 비례 관계임이 샤를 법칙이다.  $273K \times 22.4L = 546K \times V$ 에서 부피는  $44.8L$ 이다.

5. 온실 기체 : ④

온실 기체는 쌍극자 모멘트가 존재하면 된다. 자외선은 공유 결합을 끊을 수 있고, 가시광선은 전자를 들뜨게 하지만, 적외선은 분자의 회전이나 진동을 유발한다. 태양 복사는 주로 가시광선이지만, 지구 복사는 적외선이기 때문에 온실 기체가 많을수록 지구 평균 온도가 높아진다.

6. 이상 기체 상태 방정식( $PV = nRT$ )의 변형 : ③

$P = \frac{nR}{V} T$ ,  $V = \frac{nR}{P} T$ ,  $V = \frac{RT}{P} n$ 이지만  $PV = nRT$ 이므로 압력과 부피는 반비례 관계이다.

7. 기체의 압력과 몰 수 : ②

온도가 0°C이고 A 2몰, B 1몰을 3L에 넣은 셈이므로  $P = \frac{(2\text{mol} + 1\text{mol}) \times \frac{22.4\text{L}}{273\text{K}} \times 273\text{K}}{3\text{L}}$  (atm)이다.

8. 기체의 속력 분포 : ①

온도가 높으면 그래프가 오른쪽, 아래로 이동한다. 곡선 아래 면적이 같고 평균값 왼쪽과 오른쪽의 넓이가 같아야 한다. 분자량이 크면 평균적으로 느리기 때문에 왼쪽, 위로 이동하고, 근 평균 제곱 속력은 점 P보다 약간 오른쪽에 존재해야 하므로 최고 분율보다 약간 낮아야 한다.

9. 압력 단위 : ②

뉴턴(N)은 힘의 단위이고, 압력은 단위 면적당 작용하는 힘이므로  $P = \frac{f}{A}$ 로 나타낸다.

10. 기체 부피와 온도 관계(샤를 법칙) : ⑤

온도가 낮을수록 부피가 줄어들고, 실제 기체(수소, H<sub>2</sub>)의 경우 상태 변화에 따라 끓는점(또는 승화점)이 달라진다.  $V = \frac{nRT}{P}$ 이므로 압력은  $P_1 < P_2 < P_3$  순이다. 점 A보다 낮은 온도에서는 기체 부피가 음으로 변해 논리적으로 있을 수 없으므로 점 A의 온도는 절대 영도(0K)이다.

11. 압력 평형 상수( $K_p$ ) : ⑤

$2\text{NO}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$   
 $\begin{array}{ccc} 2(\text{atm}) & 0 & \\ -2x & +x & \\ \hline 2-2x & x & \end{array}$  산화 질소(NO<sub>2</sub>)는 46 g이 1 몰이므로 N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 0.4 atm은 0.2 몰이고, NO<sub>2</sub> 1.2 atm은 0.6 몰이다. 압력이 감소한 것은 분자 수가 감소하기 때문이다.

$2 - 2x + x = 1.6(\text{atm})$ 에서  $x = 0.4(\text{atm})$ 이다.  $K_p = \frac{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}{P_{\text{NO}_2}^2} = \frac{1}{3.6}$ 이다. 이

12. 보일 법칙 : ②

수소 기체에 보일 법칙을 적용하면,  $3 \text{ atm} \times 2 \text{ L} = P \times 3 \text{ L}$ 에서  $P = 3 \text{ atm}$ 이다.

13. 혼합 기체의 압력 : ④

$1 \text{ atm} \times 1 \text{ L} + 2 \text{ atm} \times 2 \text{ L} = P \times (1 + 2 + 2) \text{ L}$ 이고,  $P_{\text{O}_2} = 0.2 \text{ atm}$ ,  $n \propto PV$ 이므로  $n_{\text{N}_2} > n_{\text{O}_2}$ 이다. 기체의 평균 운동 에너지는 절대온도에 비례하고, 기체가 반응하지 않고 골고루 섞이므로 각 용기에서 기체의 부분 압력은 같다.

14. 이상 기체의 상태 방정식 : ①

용기 부피가 모두 같으므로 각 용기에는 A 4몰, B 3몰씩 들어간다.

도익 M ^ K

15. 압축 인자와 압력 : ⑤

CO<sub>2</sub> 기체에 작용하는 압력이 증가하면 분자들의 거리가 가까워지고 분자 간 인력이 증가한다. 수소는 압력이 증가할수록 압축 인자가 1보다 계속 커진다. 분자량이 크면 분자 간 인력이 증가하므로 이상 기체에서 멀어지고,  $z > 1$ 인 영역은 분자 고유 크기 때문에 생기는 반발력 증가가 원인이다.  $z = 1$ 이 이상 기체,  $z < 1$ 인 영역은 인력의 영향,  $z > 1$ 인 영역은 반발력의 영향 때문이다.

16. 그레이엄의 분출 법칙 : ①

분출 속도는 절대온도의 제곱근에 비례하고, 분자량의 제곱근에 반비례한다.  $\frac{v_{\text{SO}_2}}{v_{\text{X}}} = \frac{\sqrt{16}}{\sqrt{64}} = \frac{1}{2}$  이

고 분출 부피를 같은  $V$ 로 하면 분출 속도는  $\frac{1}{2} = \frac{\frac{V}{4}}{\frac{V}{t}} = \frac{t}{4}$ 에서 걸린 시간  $t = 2$ 초이다.

17. 기체 분자 운동론 : ④

기체 분자의 평균 운동 에너지는 절대온도에 비례하지만, 분자의 종류에는 영향을 받지 않는다.

18. 보일 법칙 : ③

대기압이 75 cmHg이므로  $30 \times (75 + 15) = h \times (75 + 30)$ 에서  $h = 25.7$  cm이다.

19. 압축 인자( $z = \frac{PV_m}{RT}$ ) ②

이상 기체는  $z = 1$ 이므로 점 B는 이상 기체와 같은 결과를 보인다. 점 A는 인력의 상대적 효과가 가장 큰 것이고, 압력이 클수록 분자가 가까워지고 인력은 증가한다. 압축 인자가 1보다 작은 영역은 인력의 영향이 크고, 압축 인자가 1보다 큰 영역은 분자 간 반발력이 영향을 끼친다.

20. 산성 산화물과 산성비 : ②

일반적으로 비금속 산화물은 산성 산화물, 금속 산화물은 염기성 산화물인데 예외적으로 CO, NO는 산과 염기 어느 쪽과도 반응하지 않는다.

21. 산화제 오존(O<sub>3</sub>) : ④

NO<sub>2</sub>는 산성 산화물이고 자외선의 작용으로 NO<sub>2</sub>가 NO + O로 분해될 때, NO의 촉매 작용을 통해 오존이 생성되고 오존에 의해 탄화수소가 산화되어 PAN과 같은 스모그 물질이 만들어진다.



22. 온실 기체 : ④

온실 기체는 적외선을 흡수할 수 있는 기체로 분자 구조에서 극성 변화가 유발된다.  $O_2$ 는 온실 기체가 될 수 없다.

23. 오존 구멍 : ①

CFC는 오존 구멍을 유발하는 주원인 물질이다. 과정 (ㄱ)에서 자외선에 의해 Cl 원자가 생성되어 오존을 파괴하는 촉매로 작용한다. 과정 (ㄴ)에서 홀전자를 가지고 있는 것은 Cl이고, 과정 (ㄷ)에서 ClO는 중간체이다.

24. Van der Waals 식 : ③

$a$ 는 기체 분자 고유의 인력을 반영한 값이고,  $b$ 는 분자마다 일정한 값을 가지며 실제 분자가 움직일 수 있는 공간을 반영한다. 측정된 압력에  $a$ 는 감소하게 만들고,  $b$ 는 증가하게 만드는 효과가 있다.

25. 속력 분포 : ②

그림의 분포에서 평균 속력은 점 A의 위치보다 약간 오른쪽에 위치해 확률은 낮아진다. 분자량이 클수록 평균 속력이 낮으며 곡선 아래 면적은 같아야 하므로 왼쪽 위로 이동한다. 온도가 높으면 평균 속력이 증가하므로 오른쪽 아래로 이동하고, 곡선 아래 넓이는 모두 같아야 한다.

26. 기체에서 밀도와 분자량 : ①

이상 기체 상태 방정식을 변형하면  $P = \frac{nRT}{V} = \frac{wRT}{M_w V}$ 이므로 밀도는  $d = \frac{w}{V} = \frac{PM_w}{RT}$ 이다. 1 atm,  $0^\circ\text{C}=273\text{K}$  조건을 대입해 계산한다.

27. 분출 속도와 분자량 : ②

그레이엄 법칙에 따라  $\bar{v} = \sqrt{\frac{3RT}{M_w}}$ 이므로  $\frac{v_{O_2}}{v_X} = \frac{v}{2v} = \sqrt{\frac{X}{32}}$ 이다. 기체 X의 분자량을 X라 할 때,  $X = 8 \text{ g/mol}$ 이다.

28. 확산과 분출의 비교 : ①

확산과 분출은 분자량( $M$ )의 제곱근에 반비례( $v \propto \frac{1}{\sqrt{M}}$ )하며 절대온도( $K$ )의 제곱근에 비례( $v \propto \sqrt{T}$ )한다. 압력이 높으면 분출하기 쉽고, 기체의 분출 부피를  $V$ 라 할 때 분출 속도 비는 분자량의 제곱근에 반비례하므로 미지 기체 분자량( $M$ )이고,  $\frac{V}{8s} : \frac{V}{2s} = \frac{1}{\sqrt{64}} : \frac{1}{\sqrt{M}}$ 이 성립한다.

29. 실제 기체의 상태 변화 : ③

이상 기체는 상태 변화가 없지만, 실제 기체는 상태 변화가 있다. 그래프에서 실제 기체에 압력을 가해  $P_0$ 에 이르렀을 때 기체→액체 변화(액화)가 일반적이지만, 기체→고체 변화(승화)도 일어날 수 있다.

30. 기체에 관한 법칙 : ③

기체에서 보일 법칙은  $PV = \text{일정}(n, T \text{ 일정})$ 이고, 샤를 법칙은  $V \propto T(n, P \text{ 일정})$ 를 가리키며, 아보가드로 법칙은  $n \propto V(P, T \text{ 일정})$  조건이지만, 배수 비례 법칙은 두 가지 원소로 여러 화합물을 만들 수 있을 때 적용되는 원자에 관한 법칙이다.

