

1. 원자, 분자, 그리고 이온

1.1. 원자와 분자에 관한 법칙

(1) 질량 보존 법칙(Law of conservation of mass)

화학 반응이 일어날 때 반응 전 반응물 질량을 더한 값은 반응 후 생성물 질량을 더한 값과 같다.

(2) 일정 성분비 법칙(Law of definite proportion)

반응 경로나 조건 등과 상관없이 같은 화합물이면 구성 원소의 질량비가 일정하다.

(3) 배수 비례 법칙(Law of multiple proportion)

두 가지 원소로 여러 화합물을 만들 수 있을 때 한 원소 일정량에 대응하는 상대 원소 질량이 간단한 정수비를 이룬다.

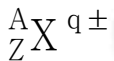
(4) 게이뤼삭 법칙(기체 반응 법칙)

일정 온도와 압력에서 반응하는 기체와 생성 기체들의 부피는 간단한 정수비를 만족한다.

(5) 아보가드로 법칙

온도와 압력이 같을 때 같은 부피를 가진 서로 다른 기체들은 같은 입자(분자) 수를 가진다.

(6) 원소 표시법



Z : 원자 번호 = 양성자 수 = 중성 원자의 총 전자 수

A : 질량수 = (양성자 수)+(중성자 수), $q\pm$: 이온의 전하

(7) 동위원소, 동소체

- 동위원소(isotope) : 원자 번호는 같으나 질량수가 다른 원소들을 말한다. 화학적 성질은 동일하지만 물리적 성질이 다르다.
- 동소체(allotrope) : 같은 원소로 이루어진 홑원소 물질로 원자 배열, 분자 조성 등이 달라 서로 다른 물질들이다.

1.2. 원자 구조와 원자 모형의 발전

(1) 음극선관 실험과 전자 발견

톰슨은 음극선관 실험을 통해 의해 음극선은 질량을 가졌으며 (-)로 대전되었고 모든 원자에 공통으로 존재하는 입자인 전자의 존재를 알게 되었다. 음극선관 실험 결과로부터 '푸딩에 건포도가 듬성 듬성 파묻혀 있듯이 원자는 (+)로 대전된 공에 (-) 전기를 띤 전자가 들어 있다'고 생각하였다.

(2) 알파선 산란 실험과 원자핵 발견

러더퍼드의 α 선 산란 실험에서 다음과 같은 결론을 내린다.

- 원자는 대부분 빈 공간이다.
- 원자 대부분의 질량, (+)로 대전된 작은 입자가 중심에 존재하며, 이것을 원자핵(핵)이라 한다.

러더퍼드는 이런 근거로부터 원자 모형을 ‘원자 가운데에 핵이 있고 둘레에 전자가 원운동을 하는 태양계 모형(행성 모형)’이며, 구심력은 핵과 전자 사이의 전기적 힘이다’라고 제안한다.

(3) 보어 모형

보어는 러더퍼드 모형이 가지는 한계점을 극복하기 위해 다음과 같은 가정을 도입한다.

- 전자가 일정한 준위를 가진 전자 껍질을 돌 때는 에너지를 잃거나 얻지 않는다.
- 에너지 준위가 다른 전자 껍질로 전자가 이동할 때 빛 에너지를 흡수하거나 방출한다.

이로부터 ‘일정한 에너지 준위를 가져 불연속적인 전자 껍질이 핵 주위에 존재하고, 전자가 이들 전자 껍질 사이에서 전이하며 빛에너지를 흡수하거나 방출한다’고 설명함으로써 보어는 수소 원자에서 관찰되는 선 스펙트럼을 정확하게 기술할 수 있었다.

(4) 현대적 원자 모형

보어 모형은 전자가 가지는 파동성 때문에 전자가 1개인 입자(원자, 또는 이온)에 대해서는 매우 정확하게 실험적 결과를 설명할 수 있지만, 전자가 2개 이상인 경우에는 잘 맞지 않는다. 슈뢰딩거는 전자에 대해 ‘일정한 궤도를 따라 움직이는 작은 입자’라는 개념을 버린 다음, 전자의 파동성¹⁾에 관심을 가지고 현대의 원자 모형인 ‘오비탈 모형’을 제안했다. 오비탈에 관한 파동 방정식을 풀어 파동함수(ψ , 오비탈(=orbital))을 구하고 이로부터 핵 주위에서 전자를 발견할 확률 밀도로 설명하는 방법이 현대적 모형이며, ‘전자 구름 모형’이라고도 한다.

1.3. 화학 양론

(1) 원자량

- 원자의 질량에 주로 영향을 미치는 입자는 양성자와 중성자로 양성자와 중성자는 질량비가 거의 1:1이지만, 전자는 약 0.0005 정도로 무시할 만큼 작다. 원자량은 $^{12}\text{C} = 12.00\text{amu}^{2)}$ 로 정하여 상대적 비교값으로 나타낸다.

$$1\text{amu} = \frac{\text{한 } ^{12}\text{C 원자 질량}}{12} = 1.660\,539 \times 10^{-24}\text{g}$$

- 평균 원자량은 동위원소의 원자량을 평균한 값이며, 어떤 물질을 구성하는 원소는 그 동위원소를 항상 일정한 비율로 포함하므로 평균 원자량을 적용한다.

(2) 화학식량, 분자량

구성 원자의 원자량을 모두 더한 값으로 그 화합물이나 분자의 화학식량, 또는 분자량이라 부른다.

(3) 몰의 정의

- ^{12}C 원자 12.00g 속에 들어 있는 탄소 원자 수를 1몰로 정하고 그 수를 아보가드로 수(N_0)라 부르며 6.022×10^{23} 개다.
- 물질량(g/mol)은 원자나 분자, 또는 화합물 1몰의 질량이고, 크기는 화학식량과 같다.

1) 전자는 음전하로 대전된 입자이지만, 동시에 파동의 성질도 가지고 있다. 자연계에 존재하는 물질은 입자적 성질과 동시에 파동적 성질도 가지고 있으므로 물질을 파동으로 해석할 때 ‘물질파’라는 개념을 도입해 설명한다.

2) amu는 atomic mass unit를 뜻하며 Da(Dalton)이라고도 한다. 1 amu의 크기는 ^{12}C 질량의 1/12이며 $1.66 \times 10^{-27}\text{kg}$ 이다.

- 어떤 물질의 물질량에 몰수를 곱하면 그 물질의 질량이 되므로 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\text{원자 몰수} = \frac{(\text{질량 } g)}{(\text{원자량 } g/mol)}, \quad \text{분자 몰수} = \frac{(\text{질량 } g)}{(\text{분자량 } g/mol)}$$

(4) 표준 상태와 기체 부피

표준 상태³⁾는 0°C, 1기압(1atm)을 말하며 이 상태를 STP라고 한다. STP에서 모든 기체는 기체 종류와 관계없이 1mol 부피가 22.4L이다.

(5) 화학 반응식 완성

반응식은 반응물 화학식을 왼쪽에, 생성물 화학식을 오른쪽에 쓰고 반응물과 생성물의 원소 종류와 원자 수가 서로 같게 조절하여 반응 계수를 결정한다. 반응 계수비는 다음과 같은 의미를 내포한다.

- 기체 반응에서 반응에 관여하는 기체 부피비는 반응 계수비와 같다.
- (반응 계수비)=(반응 몰수비)

(6) 화학 반응식의 이용

반응식을 완성하고 반응 계수는 반응물과 생성물의 몰수 비를 반영한다는 점을 이용해 질량, 부피, 또는 몰수를 반응식에서 직접 계산한다. 어느 반응물이 화학량론적인 양보다 일방적으로 많을 때 그것을 과량 반응물, 이보다 적은 반응물을 한계 반응물이라 한다.

1.4. 알짜 이온 반응식

(1) 반응식의 상태 표시

반응식에 사용하는 물질에 대한 상태는 화학식 옆에 괄호를 써서 기체는 g, 액체는 l, 고체는 s, 수용액은 aq로 나타낸다.⁴⁾

(예) $H_2(g)$, $H_2O(l)$, $NaCl(s)$, $H_2SO_4(aq)$

(2) 알짜 이온과 구경꾼 이온

수용액 반응에서 반응 전과 후에 변함없이 수용액 상태로 유지되는 이온을 '구경꾼 이온'이라 하고, 반응에 실제로 관여한 이온을 '알짜 이온'이라 한다.

(3) 물에 잘 녹는 이온(수용성 이온)

- 수용성 양이온 : NH_4^+ , 알칼리 금속 이온은 물에서 수화하기 쉽기 때문에 물에 잘 녹는다.
- 수용성 음이온 : CH_3COO^- , NO_3^- , ClO_4^- 및 할로젠화 이온(다음의 양금 생성 사례 제외)은 물에서 쉽게 수화한다.

(4) 양금 생성 물질

- Cl^- , Br^- , I^- : Pb^{2+} , Hg_2^{2+} , Ag^+
- SO_4^{2-} : Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Hg_2^{2+} , Ag^+
- CO_3^{2-} : Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Pb^{2+} , Hg_2^{2+} , Ag^+

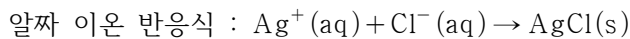
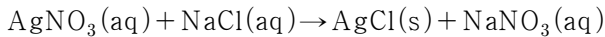
3) 열역학 계산에서는 25°C, 1기압을 표준 상태로 사용한다.

4) g는 gas, l은 liquid, s는 solid, aq는 aqueous solution을 뜻한다.

- 4) PO_4^{3-} : 대부분 물에 안 녹는다. (알칼리 금속 이온, NH_4^+ 제외)
 5) S^{2-} : 대부분 물에 안 녹는다. (알칼리 금속 이온, NH_4^+ , 알칼리 토금속 이온 제외)
 6) OH^- : Be^{2+} , Mg^{2+} 이온을 제외한 1, 2족 금속 이온과 결합한 수산화물은 수용성이고 그밖의 것들은 대부분 물에 녹지 않는다.

(5) 알짜 이온 반응식

반응식에서 구경꾼 이온을 제외한 나머지 화학종들에 의한 반응식을 알짜 이온 반응식이라 한다.



1.5. 이온성 화합물의 화학식과 명명

- ① 이성분 이온성 화합물을 부를 때 영어명으로는 양이온을 먼저 부르고 음이온은 원소 뒤에 -ide를 붙여 읽고, 우리말 이름은 음이온 이름 뒤에 '-소' 대신 '-화'를 붙인 다음 양이온을 읽는다.
- ② 한 금속이 2가지 이상의 양이온을 만들 수 있을 때⁵⁾는 이름 뒤에 괄호 속에 로마 숫자로 양이온 전하를 나타낸다.
- ③ 이성분 분자성 화합물의 명명법 : 이온성 화합물처럼 양성 원소는 원소명 그대로 부르고 음성⁶⁾ 원소명에 -ide를 붙여 부른다.
- ④ 비금속은 다른 비율로 화합하여 다른 화합물을 만드는 경우가 있으므로 그 원소의 수를 나타내는 접두사(mono-, di-, tri-, ...)를 붙인다.
- ⑤ 다원자 이온을 가진 화합물의 명명법
 - 수산화(OH^-), 싸이안화(CN^-), 과산화(O_2^{2-})는 -화(-ide)로 끝나고 이외에는 산소산 음이온으로서 -ite(아-산), -ate(-산)으로 끝난다.
 - 옥소음이온(oxoanion, 산소산 음이온)은 기준산 이온보다 산소 수가 1개 적으면 -ite, 2개 적으면 hypo-ite(하이포아-산)를 붙이고, 산소 수가 많으면 per-ate(과-산)을 붙인다.
 - 옥소음이온에 수소가 결합한 경우 -산 수소(hydrogen -ate, 또는 접두사 bi-)를 붙인다.

5) 대부분의 전이 금속은 2가지 이상의 양이온을 만드는 능력이 있다. 전형 원소의 경우도 그런 예가 종종 있다. SnCl_2 는 염화 주석(II), SnCl_4 는 염화 주석(IV)다.

6) 전기 음성도가 큰 원소는 전자쌍을 더욱 끌어당겨 음성을 띤다. 전기 음성도 서열은 F, O, N, Cl, Br, C...와 같은 순서다. 주기율표에서 왼쪽, 아래로 갈수록 전기적 양성, 오른쪽, 위로 갈수록 전기적 음성이 증가한다.

[연습문제]

1. 원자가 존재한다는 것은 단순한 믿음이 아닌 충분한 논리적 근거를 가져야 한다. 즉, 이론은 실험으로 검증되고 수정되어야 한다는 것이다. 다음 중, 원자와 분자의 존재를 보여주는 중요한 증거에 해당하지 않는 것은?

- ① 원소들이 한 화합물을 만들 때 일정한 질량비로 반응한다.
- ② 모든 화학 반응에서 반응 전과 후의 물질의 양은 동일하다.
- ③ 화합물을 쪼개다 보면 더 이상 쪼개지지 않는 최소 입자인 원자를 얻을 수 있다.
- ④ 일정 압력 하에서 수소 기체와 염소 기체가 1 : 1로 반응하면 염화수소가 같은 부피로 생긴다.

2. 균일한 혼합물과 화합물에 관한 다음의 설명들 중 옳은 것은?

- ① 균일한 혼합물을 이루는 동안 그 구성 물질들의 성질이 달라진다.
- ② 화합물을 이루어도 그 구성 물질들이 원래 가졌던 성질은 유지된다.
- ③ 균일한 혼합물에 대하여는 일정 성분비의 법칙이 적용된다.
- ④ 화합물의 경우 일정 성분비의 법칙이 적용된다.

3. 알루미늄은 염산이나 NaOH 수용액과 모두 반응해 수소를 발생시키는 양쪽성 원소이다. 알루미늄(원자량=27.0g/mol) 3.0g을 충분한 염산과 반응시켜 발생하는 수소를 표준상태에서 측정하면 부피가 얼마인가?

- ① 373mL ② 747mL ③ 3.73L ④ 7.47L

4. 러더퍼드의 α 선 산란 실험은 톰슨의 원자모형을 새로이 바꾸어 원자의 실제 모양을 기술하는데 크게 기여했다. 다음 설명 중 톰슨의 원자모형과 러더퍼드가 제안한 원자모형을 설명한 것으로 옳지 않은 것은?

- ① 톰슨의 원자모형이 맞다면 α 선은 금박을 모두 통과해야 한다.
- ② α 선 산란 실험에서 일부 α 선이 크게 산란한 것은 원자 중심에 있는 양전하 입자 때문이다.
- ③ 원자 중심에 있는 양전하 입자의 질량은 원자 전체 질량과 거의 같다.
- ④ 러더퍼드가 제안한 원자모형에서 중심에 원자핵이 있고 전자는 전체에 고르게 분산되어 있다.

9. 보어 모형은 러더퍼드 모형이 가지는 한계점을 수정하기 위해 가정을 도입해 현대적 모형에도 많은 설명을 할 수 있게 만들었다. 보어 모형에서 수소 원자의 에너지 준위를 바르게 설명한 것은? (단, n 은 주양자수를 뜻하고 단위는 kJ/mol이다.)

- ① $E_n = -\frac{1312}{n}$ ② $E_n = \frac{1312}{n}$ ③ $E_n = -\frac{1312}{n^2}$ ④ $E_n = \frac{1312}{n^2}$

10. 원자량은 $^{12}\text{C} = 12.00$ 을 기준으로 하여 상대적인 비교로 정한다. 원자량, 분자량에 대한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 1몰은 ^{12}C 원자 12.00g 속에 들어 있는 탄소 원자 수를 가리킨다.
 ② 평균 원자량은 각 원소의 동위원소 질량의 합을 동위원소의 수로 나누어 나타낸다.
 ③ 아보가드로 수는 고유 상수로서 6.022×10^{23} 이 광속처럼 불변의 상수이다.
 ④ 원자량을 나타내는 단위인 amu는 질량 단위로 g과 같은 값이다.

11. $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (화학식량 : 249.69)를 사용하여 0.10M Cu^{2+} 이온 수용액 1.0 L를 제조하는 방법에 관한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 최종 용액에 들어 있어야 할 구리 이온의 수는 0.010 몰이다.
 ② 사용해야 할 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 의 무게는 24.969g이다.
 ③ 사용해야 할 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 의 수는 0.010 몰이다.
 ④ 사용해야 할 $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 의 무게는 0.24969g이다.

12. 실험에는 오차가 따른다. 이에 대한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 정밀도 높은 실험은 여러 실험값의 오차가 작다.
 ② 정확도가 높은 실험은 정밀도가 높은 실험과 의미가 같다.
 ③ 실험에서 실수를 해서 만들어진 측정값은 계통 오차에 해당한다.
 ④ 우연 오차는 우발적인 원인으로 생기며 작게 할 수 있고, 보정할 수도 있다.

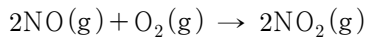
13. 「 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{NaCl}$ 」에 관한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 10% Na_2CO_3 용액 10.0mL에 10% HCl 수용액 20.0mL를 가하면 이 반응은 완결될 수 있다.
- ② 10% Na_2CO_3 용액 10.0mL에 20% HCl 수용액 10.0mL를 가하면 이 반응은 완결될 수 있다.
- ③ 0.10M Na_2CO_3 용액 10.0mL에 0.20M HCl 수용액 10.0mL를 가하면 이 반응은 완결될 수 있다.
- ④ 0.10M Na_2CO_3 용액 10.0mL에 0.10M HCl 수용액 10.0mL를 가하면 이 반응은 완결될 수 있다.

14. 80%(wt/wt) 메탄올 수용액의 메탄올 몰분율과 가장 가까운 것은? (단, CH_3OH 의 분자량 = 32g/mol, H_2O 의 분자량 = 18 g/mol 이다.) [영남대]

- ① 0.7 ② 0.3 ③ 0.5 ④ 0.9 ⑤ 0.8

15. 다음과 같은 반응을 생각해 보자.



위 반응에 대한 설명 중 가장 타당한 것은? (단, 반응은 완전히 진행된다.)

- ① 산소 224g을 다 소모시키면 $\text{NO}(\text{g})$ 는 14몰이 소모된다.
- ② $\text{NO}(\text{g})$ 15.5g과 산소 0.5몰을 반응시키면 산소가 한계 반응물이다.
- ③ $\text{NO}(\text{g})$ 0.5몰을 모두 소모하는 데 필요한 산소의 양은 0°C 1기압에서 2.24리터이다.
- ④ $\text{NO}_2(\text{g})$ 를 5.6L의 용기에서 0°C 1기압이 유지되게 하려면 $\text{NO}(\text{g})$ 가 7.5g, $\text{O}_2(\text{g})$ 는 2.0g이 필요하다.

16. 농업과 공업에 많이 사용되는 유레아[(NH_2) $_2\text{CO}$] 15.02g에 포함된 수소 원자의 수와 전체 원자의 수를 맞게 나타낸 것은? 유레아의 몰 질량은 60.06g이다. 예, (수소 원자 수)-(전체 원자 수) [전남대]

- ① $(6.022 \times 10^{23}) - (1.204 \times 10^{24})$ ② $(6.022 \times 10^{22}) - (1.204 \times 10^{23})$
- ③ $(6.022 \times 10^{21}) - (1.204 \times 10^{22})$ ④ $(6.022 \times 10^{24}) - (1.204 \times 10^{25})$

17. 다음 중 「 $\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{NaCl}$ 」과 같은 반응식을 「유효 이온 반응식(또는 알짜 이온 반응식)」의 형태로 올바르게 표현한 것은? [강원대]

- ① $2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \rightarrow 2\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
 ② $2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{Na}^+ + \text{Cl}^-$
 ③ $2\text{Na}^+ + \text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ + 2\text{Cl}^- \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3 + 2\text{NaCl}$
 ④ $\text{CO}_3^{2-} + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$

18. 에탄올($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$)에 들어 있는 탄소의 함량을 %로 바르게 나타낸 것은? (단, 원자량은 $\text{C}=12.00$, $\text{H}=1.00$, $\text{O}=16.00$ 이다.)

- ① 13.04 ② 34.78 ③ 52.17 ④ 65.21

19. $1.0 \times 10^{-6}\text{M}$ HCl 용액 1mL를 100L의 물로 희석하면 (1.0×10^5 배로 희석)이 용액의 pH는 얼마인가? [전남대]

- ① 11 ② 9 ③ 12 ④ 7

20. 화학 반응의 주된 내용은 전자를 주고 받는 산화-환원 반응과, 양성자를 주고 받는 산-염기 반응이다. 일반적으로 많이 쓰이는 산과 염기에 대해 강산과 강염기, 약산과 약염기로 구분하는데, 다음 중 이에 맞지 않는 것은? (단, 모두 수용액을 전제로 한다.)

- ① HCl(강산) ② NH_3 (강염기)
 ③ $\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$ (약산) ④ CH_3NH_2 (약염기)

2. 주기성과 원자의 전자 배치

2.1. 파동함수

(1) 파동함수와 양자수

파동 방정식의 해를 파동함수(ψ)라 부르며, ψ^2 은 전자가 발견될 확률에 비례한다. 핵 주위에서 오비탈을 규정하는 양자수가 3가지, 전자를 규정하는 양자수가 1가지 있다.

- 주양자수(n) : 전자껍질을 규정하며 핵으로부터 차례로 1(K껍질), 2(L껍질), 3(M껍질),...의 자연수로 나타낸다.

- 각운동량 양자수(l) : 오비탈의 3차원 모양을 규정하며 $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$ 로 나타낼 수 있다.

$$\begin{array}{ccccccc} l=0 & 1 & 2 & 3 & 4 & \cdots \\ s & p & d & f & g & \cdots \end{array}$$

- 자기 양자수(m_l) : 표준 좌표축에 대한 오비탈의 공간적 배향을 규정하며 $-l$ 에서 l 까지 있다.

$$\begin{array}{ll} l=0 : m_l = 0 & l=1 : m_l = -1, 0, +1 \\ l=2 : m_l = -2, -1, 0, +1, +2 \end{array}$$

- 스핀 양자수(m_s) : 오비탈에 배열되는 전자의 스핀을 규정하며 $+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$ 로 두 가지가 있다.

2.2. 원자의 에너지 준위

(1) 수소 원자의 에너지 준위

수소 원자와 같이 양전하를 띠는 핵과 핵 바깥의 전자가 1개인 입자는 전자가 배치되는 오비탈의 에너지 준위가 주양자수에 의해 결정된다.

$$\text{수소 원자의 에너지 준위 : } E_n = -\frac{1312}{n^2} (\text{kJ/mol})$$

(2) 수소 원자의 방출 스펙트럼

Lyman 계열(자외선) : $n \geq 2 \rightarrow n=1$

Balmer 계열(가시광선) : $n \geq 3 \rightarrow n=2$

Paschen 계열(적외선) : $n \geq 4 \rightarrow n=3$

(3) 다전자 원자의 에너지 준위

전자가 2개 이상인 경우 오비탈의 에너지 준위는 $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p \dots$ 이다.

2.3. 전자 배치

(1) 파울리 배타 원리

- 한 오비탈에 들어가는 두 전자는 스핀이 반대여야 한다.

(2) 훈트 규칙

- 축퇴 오비탈⁷⁾에 배열되는 2개 이상의 전자는 홀전자가 최대이고 평행 스핀으로 배열된다.

7) 여러 오비탈이 서로 같은 에너지 준위를 가지고 있을 때 이 오비탈들은 '축퇴되었다(degenerated)'고 하며 이 오비탈을 축퇴 오비탈이라 부른다.

(3) $n+l$ 규칙

오비탈의 에너지 준위를 모두 외워서 전자를 배열하는 것보다 $n+l$ 규칙을 이용해 전자 배열 순서를 판단하는 게 쉽다.

- $n+l$ 값이 작은 오비탈에 전자가 우선 배열된다.
- $n+l$ 값이 같으면 n 값이 작은 오비탈에 전자가 우선 배열된다.

2.4. 원소의 주기적 성질

(1) 원자와 이온 반지름

- 같은 족에서 원자 번호가 클수록 전자껍질 수가 증가해 원자 반지름이 증가한다.
- 같은 주기에서 원자 번호가 클수록 유효 핵전하가 증가해 원자 반지름이 감소한다.
- 등전자 이온에서 원자 번호가 클수록 유효 핵전하가 증가해 이온 반지름이 감소한다.
- 원자 반지름과 이온 반지름은 (원자 반지름) > (양이온 반지름), (원자 반지름) < (음이온 반지름)이다.

(2) 이온화 에너지

- 이온화 에너지는 중성 기체 원자 1몰에서 전자 1몰을 떼어내 양이온이 될 때 드는 에너지다.
- 이온화 에너지(E_1)는 같은 주기에서 원자 번호가 클수록 대체로 증가하며, 예외가 (2족) > (13족)이고 (15족) > (16족)이다.
- 한 원소에서 순차적 이온화 에너지가 $E_n \ll E_{n+1}$ 일 때 원자가 전자는 n 개다.

(3) 전자 친화도

- 전자 친화도는 중성 기체 원자 1몰이 전자 1몰을 받아 음이온이 될 때 내어놓는 에너지다.
- 최외각의 오비탈에 들어가는 전자가 팔전자를 만족하는 원소는 같은 주기에서 방출 에너지량이 크고, 높은 에너지 준위의 오비탈에 전자가 들어가는 원소는 방출 에너지량이 적다.

2.5. 주요 전형원소의 성질

(1) 알칼리 금속과 알칼리 토금속

- 최외각 전자 배치 : 알칼리 금속 ns^1 , 알칼리 토금속 ns^2 이다.
- 산소와 염기성 산화물을 생성하고, 물과 반응하면 염기와 수소를 발생시킨다.
- 주요 원소들은 특유의 불꽃색을 가진다.

(2) 할로젠 원소와 비활성 기체

- 할로젠은 이원자 분자로 반응성은 $F_2 > Cl_2 > Br_2 > I_2$ 순이다.
- F_2 는 담황색 기체, Cl_2 황록색 기체, Br_2 적갈색 액체, I_2 흑자색 고체
- 최외각 전자 배치 : 할로젠 $ns^2 np^5$, 비활성 기체 $ns^2 np^6$
- 비활성 기체는 반응성이 거의 없어 단원자 기체로 존재한다.

5. 다음 중 옳은 것은 어느 것인가?

[영남대]

- ① 금속의 이온 반경은 그 금속의 원자 반경과 같다.
- ② 금속의 이온 반경은 그 금속의 원자 반경보다 크다.
- ③ 비금속의 원자 반경은 그 비금속의 이온 반경과 같다.
- ④ 비금속의 원자 반경은 그 비금속의 이온 반경보다 크다.
- ⑤ 금속의 이온 반경은 그 금속의 원자 반경보다 작다.

6. 전자가 많은 다전자 원자에 대해 전자가 채워지는 오비탈 순서를 바르게 나타낸 것은? (단, 먼저 채워지는 오비탈을 왼쪽부터 나타내기로 한다.)

- ① $6s, 4f$ ② $4d, 5s$ ③ $6p, 5d$ ④ $5f, 6p$

7. 다음의 원자나 이온에 관한 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 2주기 비금속 원소 음이온의 이온 반지름 크기는 $N^{3-} > O^{2-} > F^-$ 순서이다.
- ② 2주기 비금속 원소의 전자 친화도는 $F > O > N$ 순서이다.
- ③ 3주기 금속 원소의 원자 반지름 크기는 $Na > Mg > Al$ 순서이다.
- ④ 3주기 금속 원소의 1차 이온화 에너지 크기는 $Al > Mg > Na$ 순서이다.

8. 파동 역학(wave mechanics) 또는 양자 역학(quantum mechanics)에 대한 설명 중 옳지 않은 것은? [덕성여대]

- ① 전자와 같은 작은 입자의 운동을 설명하는 현대 이론이다.
- ② 전자의 운동을 파동으로 간주하고 전자가 발견될 위치를 확률(Ψ^2)로만 말할 수 있다.
- ③ 소립자의 운동은 물론 모든 물체의 운동을 설명할 수 있는 획기적인 현대 이론이다.
- ④ 전자가 발견될 확률이 큰 공간 영역이 원자궤도이다.

9. 핵 주위의 전자는 오비탈에 배열되며 전자가 배열되는 오비탈을 규정하는 양자수는 3가지가 있고, 전자의 스핀을 규정하는 양자수는 $+\frac{1}{2}$, $-\frac{1}{2}$ 로 두 가지가 있다. 오비탈을 규정하는 양자수에는 일정한 규칙이 적용되는데, 다음 중 양자수 조합을 괄호 안에 바르게 나타낸 것은? (단, 양자수는 (n, l, m_l) 로 나타낸다.)

- ① (1, 1, 0) ② (2, 1, 2) ③ (3, 2, -3) ④ (4, 3, -2)

10. 다음은 4주기 전이원소 중 바닥 상태에서 일부 원소의 전자 배치를 나타낸다. 바르게 나타낸 것은? (단, [Ar] 표시는 Ar의 바닥 상태 전자 배치를 나타낸다.)

- ① $_{21}\text{Sc} : [\text{Ar}]3d^3$ ② $_{24}\text{Cr} : [\text{Ar}]3d^54s^1$
 ③ $_{26}\text{Fe} : [\text{Ar}]3d^8$ ④ $_{29}\text{Cu} : [\text{Ar}]3d^94s^2$

11. $_{22}\text{Ti}^{4+}$ 의 전자 배치는 $_{22}\text{Ti}^{4+} : [\text{Ar}]$ 와 같다. Ti와 Ti^{2+} 의 전자 배치로 바르게 나타낸 것은?

- | <u>Ti</u> | <u>Ti^{2+}</u> | <u>Ti</u> | <u>Ti^{2+}</u> |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------|------------------------------------|
| ① $[\text{Ar}]3d^24s^2$ | $[\text{Ar}]3d^2$ | ② $[\text{Ar}]4s^24p^2$ | $[\text{Ar}]4s^2$ |
| ③ $[\text{Ar}]3d^24s^2$ | $[\text{Ar}]4s^2$ | ④ $[\text{Ar}]3d^4$ | $[\text{Ar}]3d^2$ |

12. 다음은 몇 가지 주족 원소의 최외각 전자를 나타낸 것이다. 옳지 않은 것을 고르면? (단, n 은 최대 주양자수를 뜻한다.)

- | <u>알칼리 금속</u> | <u>질소족</u> | <u>탄소족</u> | <u>할로젠족</u> |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| ① ns^1 | ② ns^2np^3 | ③ ns^2np^4 | ④ ns^2np^5 |

13. 원자나 이온은 주기성을 나타낸다. 주기성을 근거로 $_{20}\text{Ca}^{2+}$, $_{16}\text{S}^{2-}$, $_{17}\text{Cl}^-$ 이온의 반지름을 예측한 것으로 바른 것은?

- ① $_{20}\text{Ca}^{2+} > _{16}\text{S}^{2-} > _{17}\text{Cl}^-$ ② $_{20}\text{Ca}^{2+} > _{17}\text{Cl}^- > _{16}\text{S}^{2-}$
 ③ $_{17}\text{Cl}^- > _{20}\text{Ca}^{2+} > _{16}\text{S}^{2-}$ ④ $_{16}\text{S}^{2-} > _{17}\text{Cl}^- > _{20}\text{Ca}^{2+}$

14. 순차적 이온화 에너지는 전자를 차례 차례 떼어낼 때 들어가는 에너지를 나타낸 것이다. 다음 3주기 원소 중에서 2차 이온화 에너지가 가장 큰 것은?

- ① $_{11}\text{Na}$ ② $_{12}\text{Mg}$ ③ $_{13}\text{Al}$ ④ $_{14}\text{Si}$

15. 다음은 전자 친화도에 대한 설명이다. 옳지 않은 것은?

- ① 기체 원자가 전자를 얻을 때 방출하는 에너지를 전자 친화도라 한다.
 ② 같은 주기 원소 중 전자 친화도가 가장 큰 원소는 할로젠이다.
 ③ 알칼리 금속은 전자를 받기 어려워 전자 친화도가 $\Delta H > 0$ 이다.
 ④ 알칼리 토금속은 s 오비탈 전자가 채워져 있어 전자 친화도가 0에 가깝다.

16. 알칼리 금속과 할로젠 원소에 대한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 알칼리 금속은 물과 쉽게 반응해 산소가 생성된다.
 ② 같은 주기의 알칼리 금속과 할로젠 원소의 전자 배치는 같다.
 ③ 알칼리 금속은 전자를 잃고 +1가 양이온, 할로젠은 전자를 얻어 -1가 음이온을 만들기 쉽다.
 ④ 같은 주기에서 알칼리 금속 이온 반지름은 할로젠 이온 반지름보다 크다.

17. 다음은 알칼리 토금속에 대한 설명이다. 옳은 것은?

- ① 12족 원소로 최외각 전자는 ns^2 로 12개이다.
 ② 전자를 잃어 +2가 양이온이 되기 쉽다.
 ③ 알칼리 토금속은 산화력이 커서 쉽게 산화한다.
 ④ 마그네슘의 산화수는 -6~+2로 다양하게 나타난다.

18. 0.1M 염산에 알루미늄을 넣은 상태에서 0.1M NaOH 수용액을 조금씩 떨어뜨리면서 기포가 발생하는 정도를 관찰했더니 기포 발생량이 점점 줄어들었다. 어느 순간 기포 발생이 완전히 멈추었다가 계속 NaOH 수용액을 떨어뜨렸더니 다시 기포가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 이 실험과 관련해 보기의 설명 중 옳은 것을 모두 고르면?

<보 기>

- ㄱ. 알루미늄은 산과 염기 모두 반응한다.
 ㄴ. 발생하는 기포는 산성 용액과 염기성 용액에서 서로 다르다.
 ㄷ. 아연을 이용해 같은 실험을 해도 비슷한 결과를 얻을 수 있다.

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ

19. 알루미늄은 반응성이 큰 금속인데도 부식하기 쉬운 환경에서 노출된 채 실생활에 많이 이용한다. 알루미늄 식기, 창틀, 자동차 바퀴 등에 사용하는 것이 그 예다. 이것을 설명하는 데 가장 타당한 것은?

- ① 알루미늄을 보호하기 위해 반응성이 작은 금속을 도금해 사용하기 때문이다.
 ② 알루미늄보다 반응성이 큰 금속을 붙여 음극화 보호를 이용하기 때문이다.
 ③ 크롬과 알루미늄 합금을 만들어 크롬 산화 피막이 부식을 막기 때문이다.
 ④ 알루미늄 표면의 산화알루미늄(Al_2O_3)은 매우 치밀하고 단단한 피막을 이루기 때문이다.

20. 탄소(C)와 질소(N)의 전자 친화도와 관련한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 원자에 추가되는 전자의 오비탈 배열은 서로 같다.
 ② 원자에 전자 하나를 추가할 때 더 발열적인 것은 질소이다.
 ③ 탄소에 전자가 추가되면 홀전자가 3개, 질소에 전자가 추가되면 홀전자는 2개가 된다.
 ④ 탄소의 전자 친화도가 질소보다 더 발열적인 것은 오비탈 에너지 준위가 $2s < 2p$ 이기 때문이다.

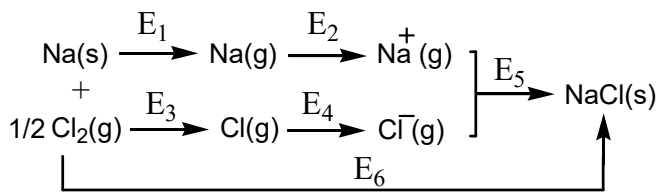
3. 이온 결합과 공유 결합

3.1. 이온 결합

(1) 이온 결합과 에너지 관계

양이온과 음이온이 무한히 떨어져 있을 때 에너지 상태를 기준으로 0이라 하고 양이온을 고정하고 음이온을 가까이 가져오면 두 이온 사이에는 인력과 반발력이 작용해 균형을 이루는 지점에서 가장 안정하게 이온 결합이 형성된다.

(2) 본-하버 순환 과정



$\text{Na(s)} + \frac{1}{2} \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{NaCl(s)}$ 반응의 반응열은 전체 각 단계의 순환 과정에서 작용하는 에너지를 통해 알아낼 수 있다.

E_1 : Na 승화열(흡열) E_2 : Na 이온화 에너지(흡열), E_3 : 결합 에너지 절반(흡열)
 E_4 : 염소 전자 친화도(발열) E_5 : 격자 에너지(방출) E_6 : NaCl 생성열

3.2. 공유 결합

(1) 결합의 극성

공유 결합에서 전기 음성도 차이에 따라 결합 전자쌍이 한 원소로 치우칠 때 극성 공유 결합이라 한다. 결합의 이온성이 50%를 넘으면 이온 결합, 50%를 밑돌면 공유 결합으로 간주한다.

(2) 루이스 전자식

공유 결합을 형성하는 분자들에서 각 원자의 원자가 전자 수를 점으로 표시하고 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍을 표시해 가능한 한 팔전자 규칙을 만족하도록 배열한다.

(3) 형식 전하

공유 결합 화합물의 구성 원자가 전하를 가지는 것으로 형식적인 할당을 하는 것이다.

(형식 전하) = (자유 원자의 원자가 전자 수) - (결합 전자 수)/2 - (비결합 전자 수)

- 분자나 이온의 형식 전하를 모두 더하면 0이거나 이온의 전하와 같다.
- 공명 혼성 구조는 루이스 구조가 2가지 이상 가능할 때 실제 전자 배열이 그 루이스 구조의 평균적 구조와 같은데, 형식 전하가 0에 가까울수록 공명 구조에 가장 기여도가 큰 구조다.

3.3. 분자 구조

(1) 전자쌍 반발 원리

중심 원자 바깥에 배열된 전자들이 서로 반발하여 최대한 멀리 배열될 때 분자를 구성하는 각 원자들로 이루어지는 분자 구조가 결정된다.

(2) 분자의 극성

분자 구조에 따라 전기 음성도 차에 의한 쌍극자 모멘트 합이 0이면 무극성(비극성) 분자, 0이 아니면 극성 분자라 한다.

3.4. 혼성 궤도함수

(1) sp^3 , sp^2 , sp

sp^3 는 사면체형, sp^2 는 평면 삼각형, sp 는 선형 분자다.

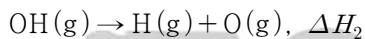
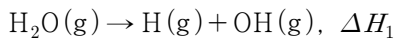
(2) sp^3d , sp^3d^2 , sp^2d

$sp^3d(dsp^3)$ 는 삼각 쌍뿔형, $sp^3d^2(d^2sp^3)$ 는 팔면체형, $sp^2d(dsp^2)$ 는 평면 사각형 구조를 이룬다.

3.5. 결합 에너지

(1) 평균 결합 에너지

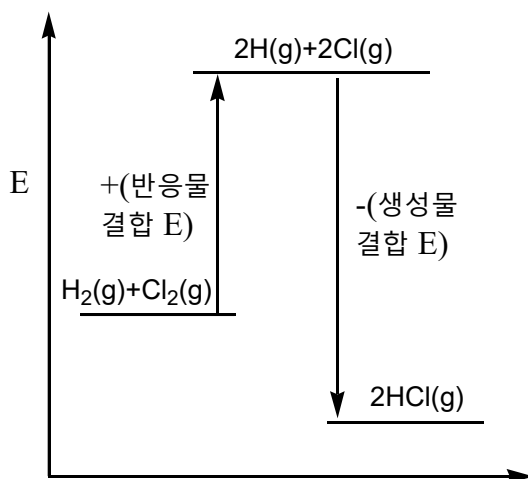
이원자 분자는 결합을 끊는 데 들어가는 에너지를 바로 이용할 수 있으나, 같은 결합이 여럿인 경우는 각 결합을 끊는 데 들어가는 에너지를 평균해 사용해야 한다.



위 반응에서 OH의 결합 에너지를 D_{OH} 라 하면 $D_{\text{OH}} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2}$ 와 같이 평균해 계산한다.

(2) 결합 에너지와 반응 엔탈피

결합 에너지를 이용하면 반응 엔탈피(ΔH)를 계산할 수 있다. 반응물을 모두 끊어 원자로 만들 때 들어가는 에너지가 반응물 결합 에너지고, 생성물을 모두 끊어 원자로 만들 때 들어가는 에너지가 생성물 결합 에너지이므로 반응 엔탈피는 $\Delta H = (\text{반응물 결합에너지}) - (\text{생성물 결합에너지})$ 로 계산할 수 있다.

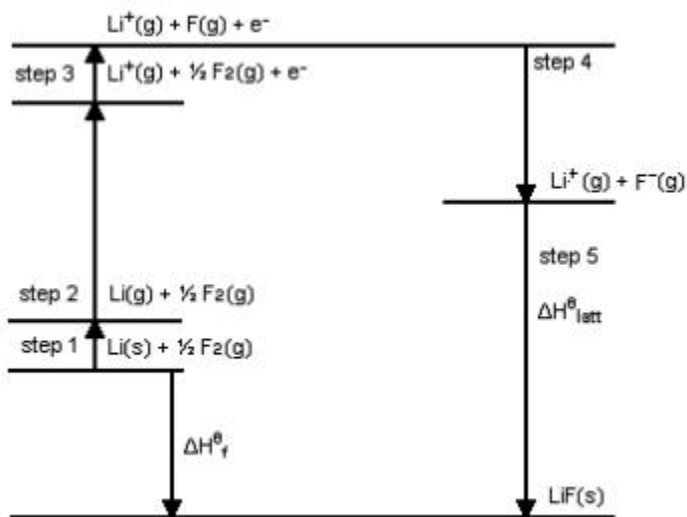


[연습 문제]

1. 금속 고체와 할로젠 기체로부터 이온성 염이 생성되는 과정과 관계 없는 것은? [영남대]

- ① 녹음열 ② 격자 에너지 ③ 이온화 에너지
 ④ 전자 친화도 ⑤ 결합 에너지

2. 다음은 LiF(s) 생성에 대한 Born-Haber cycle을 나타낸 것이다.



위 과정에 대한 보기의 설명 중 옳은 것을 모두 고른 것은?

<보기>

- ㄱ. step1~step3은 고체 리튬이 기체 리튬 이온으로 변하는 데 드는 에너지를 나타낸다.
 ㄴ. step4는 플루오린이 전자 친화도만큼 에너지를 방출하는 과정이다.
 ㄷ. LiF(s)의 생성열은 step5 과정에서 방출되는 에너지이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ

3. 이온 결합 물질의 녹는점은 이온 전하량과 이온 간 거리에 따라 영향을 받는다. LiCl, NaCl, MgS에 대해 녹는점이 높은 것부터 바르게 나열하면?

- ① LiCl > NaCl > MgS ② NaCl > LiCl > MgS
 ③ MgS > LiCl > NaCl ④ MgS > NaCl > LiCl

4. 다음은 화학종들 사이의 상호 작용들을 그 크기 순서로 나열한 것이다. 올바른 것은? [강원대]

- ① 수소 결합 > 이온-이온 작용 > 쌍극자-쌍극자 작용 > 이온-쌍극자 작용
- ② 이온-이온 작용 > 쌍극자-쌍극자 작용 > 이온-쌍극자 작용 > 수소 결합
- ③ 수소 결합 > 이온-이온 작용 > 쌍극자-쌍극자 작용 > 이온-쌍극자 작용
- ④ 이온-이온 작용 > 이온-쌍극자 작용 > 수소 결합 > 쌍극자-쌍극자 작용

5. 원소마다 전자쌍을 끌어당기는 정도가 달라 결합을 설명할 때 유용하게 이용할 수 있다. 원소들에 생성되는 결합과 관련해 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 전기 음성도가 가장 큰 원소는 염소(Cl)이다.
- ② 원소가 전자쌍을 끌어당기는 정도를 전자 친화도라 한다.
- ③ 원소 간의 전기 음성도 차이가 작을수록 이온 결합성이 강하다.
- ④ 결합의 이온성이 50%에 못 미치는 결합은 공유 결합으로 간주한다.

6. 일산화탄소의 루이스식에서 공유 전자쌍과 비공유 전자쌍의 개수는? [영남대]

- ① 1 ② 2 ③ 3 ④ 4 ⑤ 5

7. 다음 각 화합물이나 이온에 대하여 중심 원자의 입체수와 형식 전하를 (입체수, 형식 전하)와 같은 형태로 괄호 속에 나타낸 것으로 옳지 않은 것은?

- ① SF₄(5, 0) ② NO₂(3, +1) ③ SO₄²⁻(4, 0) ④ POCl₃(4, +1) ⑤ O₃(3, +1)

8. 다음 중에서 가장 큰 결합각을 가진 화합물은 어떤 것인가?

- ① HCOOH ② CO₂ ③ COCl₂ ④ BF₃ ⑤ O₃

9. 다이아몬드와 흑연에서, 시그마(σ) 결합을 형성하는 각 탄소 원자의 혼성궤도함수를 올바르게 짝지은 것은? [조선대]

- ① $sp^3 - sp^3$ ② $sp^3 - sp^2$ ③ $sp^2 - sp^3$
- ④ $sp^2 - sp^2$ ⑤ $sp - sp^3$

10. 다음 분자들의 중심 원자가 취하고 있는 혼성 오비탈이 바르게 짝지어진 것은?

- ① XeF_2 - sp ② SF_4 - sp^3
 ③ KrF_4 - dsp^2 ④ BF_3 - sp^2

11. 공유 결합을 하고 있는 원자 사이의 공유 전자쌍 수를 결합 차수라 한다. 다음 분자 중 결합 차수가 가장 큰 분자는?

- ① CO ② NO ③ OF ④ O_2

12. 다음 분자나 이온들 중 모양이 서로 다른 것으로 짝지어진 것은?

- ① CH_4 , NH_4^+ ② H_2O , NH_3
 ③ BH_3 , CO_3^{2-} ④ BeF_2 , CO_2

13. 화학 결합을 이루는 데에는 원소가 가진 여러 가지 성질이 작용한다. 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 이온 결합을 만들 때 양이온이 형성되는 데 필요한 에너지는 전자 친화도이다.
 ② 이온 결합의 음이온은 원자에 전자를 추가할 때 방출하는 에너지로 생성된다.
 ③ 분자의 루이스 구조가 여러 가지 가능할 때 공명 구조를 가진다.
 ④ 팔전자 규칙에서 벗어나는 분자는 NO, BF_3 , SF_6 와 같은 예가 있다.

14. 인과 황이 3주기 원소라는 점을 고려해 이 원소들의 플루오린 화합물 중 PF_5 와 SF_6 의 혼성 오비탈에 대하여 바르게 설명한 것을 고르면?

- | | PF_5 | SF_6 |
|---|---------------|---------------|
| ① | sp^3d | sp^3d^2 |
| ② | sp^2d | sp^3d |
| ③ | dsp^2 | sp^3d^2 |
| ④ | dsp^3 | d^2sp^3 |

15. 형식 전하는 공유 결합 화합물의 구성 원자에 전하를 가지는 것으로 형식적인 할당을 하는 것을 말한다. 다음 몇 가지 분자에 대하여 공명 구조를 가질 경우 가장 안정한 상태에서 밑줄친 원소의 형식 전하가 잘못 표시된 것을 고르면? (단, 괄호 속의 숫자는 밑줄친 원소의 형식 전하를 나타낸다.)

- ① CO(-1) ② SO₂(+1) ③ I-I-I⁻(-1) ④ BF₃(0)

16. 결합 에너지와 관련한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① $\text{CH}_4(\text{g}) \rightarrow \text{C}(\text{g}) + 4\text{H}(\text{g})$ 에 들어가는 에너지는 C-H의 평균 결합 에너지의 4배이다.
 ② $\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightarrow 2\text{H}(\text{g}) + \text{O}(\text{g})$ 에 들어가는 에너지는 O-H의 평균 결합 에너지의 2배이다.
 ③ $\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Cl}(\text{g})$ 에 들어가는 에너지는 Cl-Cl의 평균 결합 에너지의 2배이다.
 ④ $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) \rightarrow 2\text{C}(\text{g}) + 4\text{H}(\text{g})$ 에 들어가는 에너지는 C-H의 평균 결합 에너지의 4배이다.

17. 다음 평균 결합 에너지 자료를 참고하여 $2\text{C}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$ 반응의 엔탈피 변화(ΔH)를 바르게 계산하면?

결합	H-H	C-C	C=C	C-H
결합 에너지(kJ/mol)	432	345	614	413

- ① -1402 ② 1402 ③ -1057 ④ 1057

18. 루이스 전자식을 그려보면 오존(O₃)의 경우 산소 원자 사이에 이중 결합과 단일 결합이 나타난다. 이런 분자에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 분자 구조는 직선형이다.
 ② 산소 원자 사이에는 σ 결합만 이루어진다.
 ③ 산소 원자 사이의 결합 길이가 서로 다르다.
 ④ 오존의 산소 간 결합은 동등하며 공명 구조를 형성한다.

19. 다음 혼성 궤도함수와 여기에서 볼 수 있는 기본적인 기하학적 구조를 바르게 짝짓지 못한 것은?

- ① sp : 선형 ② sp^2 : 삼각뿔형
 ③ sp^3 : 사면체형 ④ sp^3d : 삼각쌍뿔형