

6. 분자 궤도함수 이론

6.1. H₂의 분자 궤도함수

(1) LCAO

- 두 개의 수소 원자가 가지고 있는 ψ_{1s} 원자 궤도함수를 선형 조합하여 결합 궤도함수와 반결합 궤도함수가 생성된다.
- 두 원자 궤도함수가 보강 간섭으로 결합 궤도함수, 상쇄 간섭을 통해 반결합 궤도함수로 분자 궤도함수(MO)를 생성한다.

(2) MO와 결합 차수

- 두 원자가 가진 3개의 p 오비탈이 접근해 만들 수 있는 MO는 σ_p , σ_p^* 각각 1개와 π_p 2개, π_p^* 2개를 만들어 총 6개의 MO가 생성된다. 두 원자핵은 z 축 방향으로 접근하는 것으로 간주한다.
- 결합 차수는 결합 궤도함수에 배열된 전자 수에서 반결합 궤도함수에 배열된 전자 수를 빼고 전체를 2로 나누어 나타낸다.
- 두 원자의 원자가 전자를 더한 전자 수를 MO에 배열하며, 파울리 배타원리와 훈트 규칙을 만족하도록 배열한다.

6.2. 2주기 동핵 이원자 분자의 MO

(1) σ 결합과 π 결합

- σ 결합은 핵과 핵 사이에서 파동함수가 겹치며 만들어지는 결합
- π 결합은 핵 간 축을 벗어난 공간에서 파동함수가 겹치며 만들어지는 결합

(2) 2주기 동핵 이원자 분자의 MO

- 원자 번호 3~7번까지 이원자 분자의 MO : σ_{2s} , σ_{2s}^* , π_{2p} , σ_{2p} , π_{2p}^* , σ_{2p}^*
- 원자 번호 8~10번까지 이원자 분자의 MO : σ_{2s} , σ_{2s}^* , σ_{2p} , π_{2p} , π_{2p}^* , σ_{2p}^*

(3) 상자기성과 반자기성

- 배열된 전자 중 홀전자가 있으면 상자기성, 모두 짝진 전자로만 이루어져 있으면 반자기성을 띤다. 상자기성 물질은 자기장에 끌리고, 반자기성 물질은 자기장에서 밀린다.

6.3. 2주기 이핵 이원자 분자의 MO

(1) 전기 음성도와 AO의 에너지 준위

- 서로 다른 원자가 결합한 경우 전기 음성도가 큰 원자의 AO의 에너지 준위가 더 낮다.

(2) 몇 가지 분자의 분자 궤도함수

- NO의 분자 궤도함수 : $\sigma_{2s}(2)\sigma_{2s}^*(2)\pi_{2p}(4)\sigma_{2p}(2)\pi_{2p}^*(1)$
- CO의 분자 궤도함수 : $\sigma_{2s}(2)\sigma_{2s}^*(2)\pi_{2p}(4)\sigma_{2p}(2)$
- OF의 분자 궤도함수 : $\sigma_{2s}(2)\sigma_{2s}^*(2)\sigma_{2p}(2)\pi_{2p}(4)\pi_{2p}^*(3)$

[연습 문제]

1. 바닥 상태의 N_2 와 O_2 의 분자 오비탈에서 반결합 궤도에 들어 있는 전자의 총 수를 괄호 속에 차례로 바르게 나타낸 것은? (단, 분자궤도함수의 전자는 최외각 전자만으로 계산한다.)

① (0, 2) ② (2, 2) ③ (2, 4) ④ (4, 4) ⑤ (4, 6)

2. 다음 분자의 전자 상태에 관한 설명에서 맞는 것만을 모두 고른 것은?

[중앙대]

가. Born-Oppenheimer 근사에서는 전자 상태를 연구할 때 핵들은 정지해 있다고 가정한다.
 나. 어떤 이원자 분자의 바닥 상태에서 전자가 결합성 궤도함수(bonding-orbital)에 6개 그리고 반결합성(antibonding) 궤도함수에 4개 들어 있는 경우 이 분자의 결합 차수는 2이다.
 다. 동핵 이원자 분자 궤도함수들은 일반적으로 원자 궤도함수의 일차 결합을 이용하여 근사적으로 설명할 수 있다.
 라. 물(H_2O) 분자에서 산소 원자의 1s 궤도함수는 비결합성 궤도함수로 사용된다.

① 가, 다, 라 ② 가, 나, 라 ③ 가, 나, 다
 ④ 가, 나 ⑤ 나, 라

3. B_2 나 C_2 의 원자 오비탈 중 1s 오비탈에 있는 전자는 실질적으로 결합에 관여하지 않으므로 고려하지 않고 원자가전자만 고려해 분자오비탈을 나타낼 때 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

① 결합 차수는 B_2 가 1이고 C_2 는 2이다.
 ② B_2 에서 결합성 MO에 전자가 4개, 반결합성 MO에 전자가 2개 들어 있다.
 ③ C_2 에서 결합성 MO에 전자가 4개, 반결합성 MO에 전자가 4개 들어 있다.
 ④ 분자 오비탈의 에너지 준위는 $\sigma_{2s} < \sigma_{2s}^* < \pi_{2p_x} = \pi_{2p_y} < \sigma_{2p_z} < \pi_{2p_x}^* = \pi_{2p_y}^* < \sigma_{2p_z}^*$ 이다.

4. 홀전자를 가진 물질을 자기장에 가까이할 때 끌리는 성질을 상자기성이고, 모두 짝진 전자만 가진 물질이 자기장에 밀리는 성질이 반자기성이다. B_2 나 C_2 의 자기성을 바르게 설명한 것은?

① 모두 상자기성이다.
 ② B_2 는 상자기성, C_2 는 반자기성이다.
 ③ B_2 는 반자기성, C_2 는 상자기성이다.
 ④ 모두 반자기성이다.

5. 다음 각 화학종에 대한 결합 차수를 괄호 속에 바르지 않은 것은?

- ① $H_2(1)$ ② $H_2^-(1.5)$ ③ $H_2^+(0.5)$ ④ $He_2^+(0.5)$

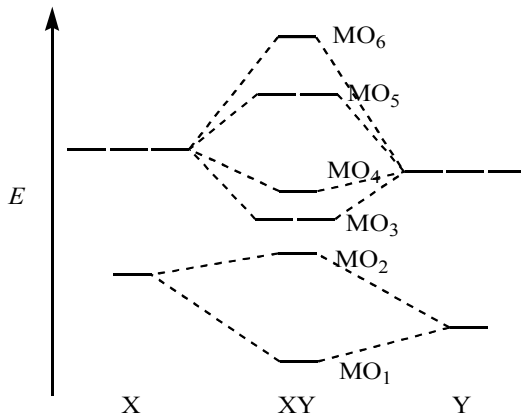
6. 원자 간 결합력은 결합 전자 수와 반결합 전자 수에 의해 결정된다. 다음 중 결합력이 가장 약한 화학종은?

- ① O_2^+ ② O_2 ③ O_2^- ④ O_2^{2-}

7. CO에 대한 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 결합 차수는 3이다.
 ② 모두 짝진 전자를 가지므로 반자기성 분자이다.
 ③ 전자를 1개 추가하면 결합 차수가 2.5로 감소한다.
 ④ 비공유 전자쌍을 가지지 않으므로 리간드로 작용할 수 없다.

8. 다음은 임의의 2주기 원소 X, Y로 이루어진 이원자 분자 XY에 대하여 원자 오비탈과 분자 오비탈 에너지 준위를 나타낸 것이다.



이에 대한 설명으로 옳은 것만을 <보기>에서 모두 고른 것은? (단, XY의 원자가전자 수를 더한 값은 10이고, $MO_1 \sim MO_6$ 은 XY의 분자 궤도함수를 나타낸 것이다.)

- | | |
|-----------------------------------|--------------------|
| <보 기> | |
| ㄱ. 전기 음성도는 Y가 더 크다. | ㄴ. XY의 결합 차수는 3이다. |
| ㄷ. 반결합 궤도함수는 $MO_4 \sim MO_6$ 이다. | |

- ① ㄴ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄱ, ㄷ ④ ㄴ, ㄷ

9. 다음의 2원자 분자 또는 이온 중에서 결합 에너지가 가장 큰 것은 무엇인가? [원광대]

- ① N_2^{2+} ② N_2^+ ③ N_2 ④ N_2^- ⑤ N_2^{2-}

10. 결합 차수를 알면 어떤 화학종이 존재 가능한지를 예측할 수 있다. 다음 각 화학종 중에서 실제로 존재하기 어려운 화학종만을 모두 고른 것은?

Li_2	Be_2	B_2^+	C_2^-	F_2^{2-}
--------	--------	---------	---------	------------

- ① Li_2, Be_2 ② B_2^+, C_2^-
 ③ C_2^-, F_2^{2-} ④ Be_2, F_2^{2-}

11. 2주기 원소로 이루어진 이원자 분자 중 같은 원소로 이루어진 것을 '동핵 이원자 분자', 서로 다른 원소로 이루어진 것을 '이핵 이원자 분자'라 한다. 바닥 상태에서 이것들로 이루어진 분자 궤도함수에 대한 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 원자의 2p 오비탈에 들어 있는 전자들은 σ 결합을 만들 수 없다.
 ② σ_{1s} 궤도함수에 들어 있는 전자들은 결합에 영향을 거의 주지 않는다.
 ③ NO에서 전자를 제거한 NO^+ 의 결합력은 반결합 전자 제거로 NO보다 강하다.
 ④ 전기 음성도가 큰 원소일수록 분자궤도함수를 이루는 원자궤도함수의 위치 에너지가 낮다.

12. N_2 와 O_2 를 경계로 동핵 이원자 분자의 MO가 달라진다. 이에 대한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① N_2 에서 MO 순서는 $\sigma_{2s}, \sigma_{2s}^*, \sigma_{2p}, \pi_{2p}, \pi_{2p}^*, \sigma_{2p}^*$ 와 같다.
 ② 질소 분자의 이온화 에너지보다 질소 원자의 이온화 에너지가 더 작다.
 ③ O_2 에서 전자를 하나 떼어내면 결합이 더 약화된다.
 ④ O_2 에는 공유 전자가 2쌍, 비공유 전자가 4쌍으로 모두 짝진 전자로 되어 있다.

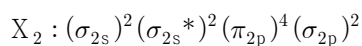
13. 바닥 상태의 O_2 분자와, 최고 에너지 준위의 전자 하나가 다른 에너지 준위로 들뜬 상태의 N_2 분자에 대하여 바르게 설명한 것은?

- ① 홀전자 수가 두 개로 같다.
- ② 모두 반자성 물질이다.
- ③ 반결합 궤도함수의 전자 수가 같다.
- ④ σ_{2p} 오비탈의 전자 수는 2개씩이다.

14. 높은 온도에서 S_2 는 기체 상태 분자로 존재한다. 기체상의 S_2 가 가지는 결합 차수와 자기성을 바르게 짝지은 것은?

- | | 결합 차수 | 자기성 |
|---|-------|-----|
| ① | 1 | 상자성 |
| ② | 1 | 반자성 |
| ③ | 2 | 상자성 |
| ④ | 2 | 반자성 |

15. 다음은 임의의 이원자 분자 X_2 의 분자 궤도함수에 전자를 배열하여 나타낸 것이다.



위 전자 배치에 대한 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 결합 차수는 3이다.
- ② X_2^+ 와 X_2^- 의 결합 차수는 모두 2.5로 같다.
- ③ 전자 배열 순서는 π_{2p} 와 σ_{2p} 가 바뀌어야 한다.
- ④ 전자를 떼어내는 데 드는 에너지(이온화 에너지)는 X보다 X_2 가 더 크다.

16. 분자 궤도함수 이론에 의하면 O_2^{2+} 의 결합 차수는?

[원광대]

- ① 1 ② 2 ③ 1.5 ④ 2.5 ⑤ 3

7. 액체, 고체, 그리고 상전이

7.1. 분자 간 인력

(1) 분산력

- 순간 쌍극자와 유발 쌍극자 사이에 작용하는 인력이다.
- 대체로 분자량에 비례하고 분자의 모양이나 크기에 따라 영향을 받는데, 분자 간 접촉면적이 넓을수록 분산력이 증가한다.

(2) 쌍극자-쌍극자 힘

- 극성 분자에서 쌍극자 모멘트가 클수록 분자 간 인력이 커서 끓는점이 높다.

(3) 수소결합

- 전기음성도가 큰 F, O, N과 H가 공유결합한 화합물에서 이들 원소 사이에 수소 원자가 끼어 있는 모양의 분자 간 인력이다.
- 분자 간 인력으로는 가장 강하며 분자량이 비슷하면 수소결합하는 물질의 끓는점이 매우 높다.

7.2. 증발과 끓음

(1) 증발과 증기압

- 증발은 액체 표면에서 공간으로 기화하는 현상을 가리킨다.
- 밀폐용기 안에서 증발속도와 응축속도가 같아 동적평형을 이루는 용기 안의 증기가 나타내는 압력을 증기압이라 한다. 온도가 높을수록 증기압도 증가한다.

(2) 끓음

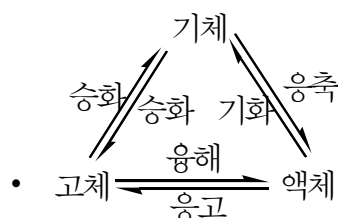
- 액체 전체에서 외부압력에 반하여 기화가 일어나는 현상을 끓음이라 하며 끓는점은 외부압력과 증기압력이 같을 때의 온도를 나타낸다.
- 끓는점이 높을수록 분자 간 인력도 크다.

(3) 클라우지우스-클라페이론 식

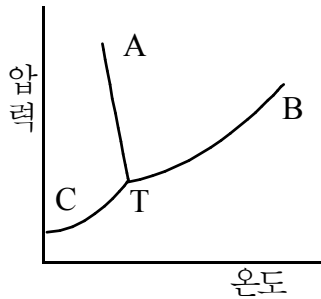
- $\ln P = -\frac{\Delta H_{vap}}{T} \left(\frac{1}{T} \right) + C$, ΔH_{vap} : 증발열(kJ/mol), C : 상수

7.3. 상변화와 상평형

(1) 상변화 용어



(2) 상평형 곡선



T : 삼중점, AT : 용해곡선, BT : 증기압 곡선, CT : 승화곡선

일반적으로 AT 곡선이 오른쪽으로 기울어져 있으나, 그림처럼 AT 곡선이 왼쪽으로 기울어 있는 것은 물의 상평형 곡선이다.

물의 상평형 곡선에서 같은 온도의 고체보다 액체의 밀도가 커서 얼음이 물에 뜨는 것을 설명할 수 있다.

7.4. 금속결정의 단위세포

(1) 결정과 비결정

- 결정은 녹는점이 일정하고 비결정은 녹는점이 일정하지 않다.

(2) 결정성 고체

- 분자 결정 : 결정을 이루는 단위가 분자이므로 녹는점, 끓는점이 낮다.
- 이온 결정 : 양이온과 음이온이 결정을 이루며 액체 상에서 전기 전도성이 있다.
- 원자 결정 : 결정 단위가 원자이고 공유결합으로 흑연을 제외하고는 전기 전도성이 없다.
- 금속 결정 : 금속 원자가 결정의 기본 단위로 금속결합으로 이루어져 전기 전도성이 높다.

(3) 금속결정의 단위세포

- 단순 입방 충전 : 정육면체의 각 꼭짓점에 입자가 배열된다.
- 체심 입방 충전 : 정육면체의 각 꼭짓점과 입방체 중심에 입자가 배열된다.
- 최조밀 충전 : 배열되는 층이 a, b, a, b, ... 순으로 쌓이는 것은 입방 최조밀 충전으로 면심 입방 구조와 같고, a, b, c, a, b, c, ... 순으로 쌓이는 것은 육방 최조밀 충전이다.

(4) 결정 분석의 브래그 방정식

- $2d\sin\theta = n\lambda$, d : 결정의 입자 간 거리, θ : 입사면과 입사광이 이루는 각
 n : 자연수, λ : 입사광의 파장

7.5. 이온결정의 단위세포

(1) NaCl형 단위세포

- 양이온이 체심 위치와 모서리에, 음이온이 꼭짓점과 면심에 배열된다.
- 단위세포 당 평균 입자 수는 Na^+ : 4개, Cl^- : 4개다.

(2) CsCl형 단위세포

- 양이온이 체심 위치에, 음이온이 꼭짓점 위치에 배열된다(반대로 표현해도 같다).
- 단위세포 당 평균 입자 수는 Cs^+ : 1개, Cl^- : 1개다.

[연습 문제]

1. 다음 중 액체 상태에서 가장 작은 증기 압력을 갖는 물질을 예측하라.

[조선대]

- ① $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{F}$ ② $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ ③ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$
 ④ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ⑤ CH_3OCH_3

2. 분자 간에 작용하는 인력은 여러 가지 종류가 있다. 다음 중 그에 관한 설명으로 타당하지 않은 것은?

- ① 수소 결합은 분자량에 관계없이 분자 간 인력 중 가장 강하다.
 ② 쌍극자 간 인력은 극성 분자에 작용하는 인력을 가리킨다.
 ③ 분산력은 모든 분자에서 순간 쌍극자와 유발 쌍극자 사이에 작용한다.
 ④ 이온과 쌍극자 간 인력은 이온이 중성 분자에 접근할 때 생기는 전자 구름의 왜곡으로 인해 발생한다.

3. 이중 극자 모멘트가 0인 화합물을 보기에서 모두 고른 것은?

<보기>

- (a) Cl_2O (b) XeF_4 (c) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ (d) BF_3

- ① (a), (b) ② (a), (c) ③ (b), (c) ④ (b), (d) ⑤ (c), (d)

4. 나프탈렌은 끓는점이 218°C 이고 증발열은 $\Delta H_{\text{vap}} = 43.3\text{kJ/mol}$ 이다. 나프탈렌의 증발 엔트로피 $\Delta S_{\text{vap}}(\text{J/K} \cdot \text{mol})$ 는 얼마인가?

- ① $88.2 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$ ② $197 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$ ③ $0.197 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$ ④ $0.882 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$

5. 금속의 면심 입방 단위 세포에서 충전율을 백분율로 바르게 계산한 것은? (단, $\pi = 3.1$, $\sqrt{2} = 1.4$ 으로 계산하고 유효숫자 2개로 표시한다.)

- ① 56% ② 68% ③ 74% ④ 81%

6. 액체의 증기압은 다음과 같은 관계를 만족한다.

$$\text{Clausius-Clapeyron 식 : } \ln P_{vap} = \left(-\frac{\Delta H_{vap}}{R} \right) \left(\frac{1}{T} \right) + C$$

위 식에 대한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 액체의 증기압은 대기압에 따라 영향을 받는다.
- ② $\ln P_{vap}$ 는 절대 온도의 역수($\frac{1}{T}$)에 대해 도시하여 증발열을 알 수 있다.
- ③ 서로 다른 두 온도에서 증기압을 측정하면 어떤 액체의 엔트로피를 계산할 수 있다.
- ④ 온도가 높아지면 액체의 증기압은 감소함을 알 수 있다.

7. 어떤 순수한 액체 X가 온도 T_1K 에서 증기압이 $P_1\text{mmHg}$ 이고 온도 T_2K 에서 증기압(P_2)을 예측할 수 있는 식은? (단, 증기압은 ΔH_{vap} , 기체상수는 R 로 나타낸다.)

- ① $\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = -\left(\frac{\Delta H_{vap}}{R}\right)\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$
- ② $\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = -\left(\frac{\Delta H_{vap}}{R}\right)\left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right)$
- ③ $\ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) = -\left(\frac{\Delta H_{vap}}{R}\right)\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$
- ④ $\ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right) = \left(\frac{\Delta H_{vap}}{R}\right)\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$

8. 고체에 압력을 가했을 때 용해 현상을 관찰할 수 있는 어떤 물질에 대한 보기의 설명 중 옳은 것을 모두 고른 것은?

<보기>
ㄱ. 용해 곡선의 기울기가 음이다. ㄴ. 같은 온도에서 고체보다 액체 밀도가 더 크다. ㄷ. 임계 온도와 압력이 표준상태보다 큰 값을 가진다.

- ① ㄱ
- ② ㄷ
- ③ ㄱ, ㄴ
- ④ ㄴ, ㄷ

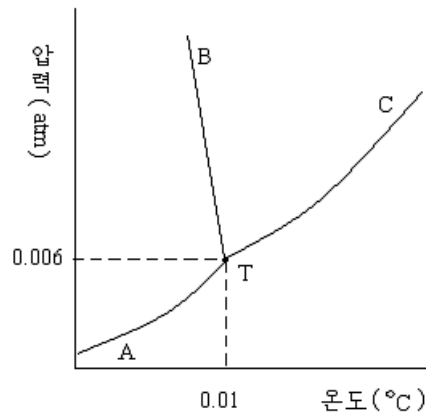
9. 피부를 이소프로판올과 같은 알코올로 닦으면 물로 닦을 때보다 더 차게 느껴진다. 그 이유를 바르게 설명한 것은?

- ① 물보다 수소 결합을 더 강하게 하기 때문이다.
- ② 물보다 증발열이 더 커서 체온을 쉽게 떨어뜨리기 때문이다.
- ③ 물보다 증발 속도가 빨라 체열을 빠르게 빼앗기 때문이다.
- ④ 물보다 벤젠 같은 분자와 섞이기 쉬운 비극성 부분의 영향 때문이다.

10. 다음 화합물의 분자 간 인력의 세기를 바르게 예측한 것은? (단, 부등호는 인력의 세기를 나타낸 것이다.)

- ① $\text{CO}_2 > \text{OCS}$ ② $\text{SeO}_2 < \text{SO}_2$
③ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2 > \text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ④ $\text{CH}_3\text{CH}_3 < \text{H}_2\text{CO}$

[11~12] 다음은 물의 상평형 곡선을 나타낸 것이다.



11. 위 그래프에 대한 설명으로 타당하지 않은 것은?

- ① 점 T는 삼중점이며 얼음, 물, 수증기가 동시에 평형을 이루는 점이다.
- ② AT 곡선은 승화 곡선이며 겨울에 언 빨래가 서서히 마르는 것을 설명할 수 있다.
- ③ BT 곡선은 용해 곡선이며 스케이트를 지칠 수 있는 원리를 설명할 수 있다.
- ④ CT 곡선은 증기압 곡선이며 외부 압력에 따라 영향을 받는다.

12. H_2O 의 삼중점 아래에서 수증기가 존재하고 있다고 할 때, 이 조건의 수증기에 대하여 다양한 조건 변화를 통해 상태 변화를 설명한 것으로 옳은 것은?

- ① 압력을 일정하게 한 상태에서 온도를 낮추면 수증기가 액화하는 것을 볼 수 있다.
- ② 온도를 일정하게 유지한 상태에서 계의 압력을 증가시키면 응고와 승화를 관찰할 수 있다.
- ③ 압력을 일정하게 유지한 상태에서 온도를 높이면 끓는점이 높아지는 것을 관찰할 수 있다.
- ④ 온도를 일정하게 유지하면서 계의 압력을 높여 수증기→얼음→물의 상태 변화를 관찰할 수 있다.

13. 물 100mL를 500mL들이 둥근바닥플라스크에서 끓인 다음 마개를 닫고 가열을 중지했더니 끓음이 멈췄다. 그 뒤 플라스크 목 부분을 찬물로 식혔더니 물이 다시 끓기 시작했다. 다음 중 가장 타당한 설명은?

- ① 냉각으로 인해 플라스크 내의 수증기가 과포화되었기 때문이다.
- ② 냉각으로 플라스크 내의 수증기가 응축해 물 위의 압력이 낮아졌기 때문이다.
- ③ 수증기가 응축하면서 방출한 열이 물을 끓게 만들기에 충분했기 때문이다.
- ④ 밀폐된 플라스크가 냉각 때문에 수축해 압력이 증가했기 때문이다.

14. 다음은 어떤 액체 상태의 물질 A에 대한 증기 압력을 몇 가지 온도에서 측정한 결과이다.

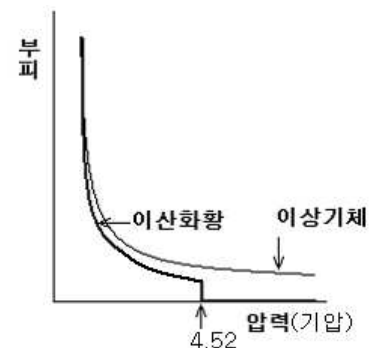
온도(°C)	15	25	30	50
증기 압력(atm)	0.01683	0.03126	0.04187	0.1217

상온(25°C)에서 밀폐 용기에 물질 A를 넣고 즉시 증기 압력을 측정하였더니 0.0250atm이었다. 다음 설명 중 옳지 않은 것은?

- ① 온도가 높을수록 증기 압력이 커진다.
- ② 용기를 15°C로 냉각하면 용기의 액면 높이는 낮아진다.
- ③ 용기 안에서는 증발 속도가 응결 속도보다 빠르다.
- ④ 용기에 0.0400atm의 증기를 넣어도 증발은 일어난다.

15. 30°C를 유지하면서 1몰의 이산화황(SO_2) 기체를 압축시킨 결과 오른쪽과 같은 그래프를 얻을 수 있었다. 그래프에 대한 해석으로 옳은 것을 고르면?

- ① 이산화황은 4.52기압에 이르면 상태 변화가 일어난다.
- ② 이산화황은 압력이 높을수록 보일의 법칙을 잘 따른다.
- ③ 이상기체에서는 액체나 고체의 부피가 기체 부피와 큰 차이가 없다.
- ④ 이산화황은 4.52기압 이전보다 이후일 때 분자 간 인력이 작다.



16. 다음은 몇 가지 물질의 분자량과 끓는점을 나타내는 자료이다.

물질	분자량	끓는점(K)
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$	44	231
CH_3OCH_3	46	248
CH_3CHO	44	294

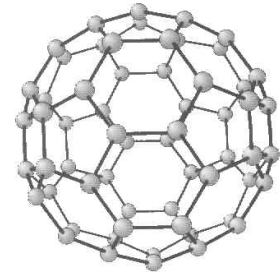
위 자료에서 알 수 있는 내용으로 옳은 것을 보기에서 모두 고르면?

<보 기>

- ㄱ. 분자 간 인력은 분자량에 비례한다.
 ㄴ. 분자량이 비슷할 때 극성이 클수록 끓는점이 높다.
 ㄷ. CH_3CHO 보다 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ 의 끓는점이 낮은 것은 탄소 수가 많기 때문이다.

- ① ㄱ ② ㄴ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄴ, ㄷ ⑤ ㄱ, ㄴ, ㄷ

17. 흑연, 다이아몬드와 같이 순수한 탄소만으로 이루어진 새로운 물질이 1985년에 발견되었다. 이 물질의 분자는 일명 버키볼이라 부르는데, 그림과 같이 탄소 원자 60개가 오각형, 육각형 모양으로 결합한 속이 빈 축구공 형태이다. 이 구조는 다이아몬드의 그물 구조나 흑연의 층상 구조와는 완전히 다르다. 이 물질에 대한 서술 중 옳지 않은 것은? (단, C의 원자량은 12이다.)



- ① 분자식은 C_{60} 이다.
 ② 분자량은 720이다.
 ③ 상온에서 고체이다.
 ④ 밀도는 다이아몬드보다 작다.
 ⑤ 분자 내의 모든 결합은 이중 결합이다.

8. 용액과 그 성질

8.1. 물질의 조성

$$(1) \text{질량 \% 농도(백분율)} : \text{질량}(\%) = \frac{\text{용질 질량}(g)}{\text{용액 질량}(g)} \times 100$$

$$(2) \text{몰농도(molarity)} : \text{몰 농도}(\text{mol/L} = M) = \frac{\text{용질 몰수}(\text{mol})}{\text{용액 부피}(L)} = 1L \text{ 당 몰수}(\text{mol})$$

MV : 용액 속에 들어 있는 용질의 몰수(mol)

$$(3) \text{몰랄농도(molality)} : \text{몰랄 농도}(\text{mol/kg} = m) = \frac{\text{용질 몰수}(\text{mol})}{\text{용매 질량}(kg)}$$

$$(4) \text{몰분율(mole fraction)} : X_i = \frac{n_i}{n_1 + n_2 + \dots}$$

(5) 몰농도의 확장 : 순수한 고체나 액체의 몰농도는 밀도와 화학식량이 일정해 상수다.

8.2. 농도 사이의 관계

(1) %와 몰농도 관계 : 화학식량이 W 인 용질을 물에 녹여 $p\%$ 용액으로 만들었다. 밀도를 $d(\text{g/mL})$ 라 할 때, 몰농도는 $\frac{10dp}{W}(\text{mol/L})$ 이다.

(2) %와 몰랄농도 : 화학식량이 W 인 용질을 물에 녹여 만든 $p\%$ 용액의 몰랄 농도는 용액 100g을 기준으로 계산하면 $\frac{1000p}{W(100-p)}(\text{mol/kg})$ 이다.

(3) 몰 농도와 몰랄 농도 : 몰 농도가 $M(\text{mol/L})$ 인 용액의 밀도를 $d(\text{g/mL})$ 라 할 때 1L 용액을 기준으로 몰랄농도를 구하면 $\frac{1000M}{1000d - MW}(\text{mol/kg})$ 이다.

8.3. 용해

(1) 용매, 용질, 용액

- 고체, 기체가 액체와 용액을 만들 때 : 고체, 기체를 용질, 액체를 용매라 한다.
- 액체와 액체가 용액을 만들 때 : 질량이 작은 액체를 용질, 질량이 큰 액체를 용매라 한다.

(2) 용해와 용해도

온도가 일정할 때 용매에 용질이 일정 한계 내에서 녹아들어가는 현상을 용해라 하고 용해속도와 석출속도가 같은 상태로 동적평형이라 한다. 이때 용매 100g에 녹아 있는 용질의 양을 용해도라 하고, 용해도가 만큼 용질이 녹은 용액을 포화용액, 그보다 적게 녹아 있으면 불포화용액이라 한다.

(3) 기체의 용해

물을 용매로 기체가 물에 녹는 양은 물 위에 작용하는 기체의 부분압력에 비례하는데, 이런 성질을 헨리 법칙이라 한다. 헨리 법칙은 물에 대한 용해도가 작은 비극성 또는 무극성 기체에 적용한다.

(4) 분별결정 또는 재결정

물에 대한 용해도가 크게 차이나는 용질이 서로 섞여 있을 때 용해도 격차를 이용하면 한 용질을 순수하게 분리할 수 있다.

8.4. 용액의 총괄성

(1) 라울 법칙

- 비휘발성, 비전해질 용질이 녹아 있는 용액의 증기압은 순수 용매의 증기압보다 낮으며, 용액의 증기압은 용매의 몰분율에 비례하는 것을 라울 법칙이라 하고 이를 만족하면 이상용액이라 한다.

$$P_{\text{용액}} = X_{\text{용매}} \cdot P_{\text{용매}}$$

- 물은 용액에서 용액의 증기압은 몰랄농도에 비례한다. 전해질 용액은 몰랄농도에 반트 호프 인자 i 를 곱해 나타낸다.

(2) 끓는점 오름(ΔT_b)과 어는점 내림(ΔT_f)

$$\Delta T_b = K_b \cdot m \cdot i, \Delta T_f = K_f \cdot m \cdot i : K_b(\text{몰랄오름상수, } K/m), K_f(\text{몰랄내림상수, } K/m)$$

(3) 삼투압에 관한 반트호프 법칙

- 반투막을 경계로 저농도 용액에서 고농도 용액 방향으로 용매 분자가 알짜 이동해 두 용액의 경계 반투막에 걸리는 압력을 삼투압(π)이라 한다.
- 반투막은 용매만을 선택적으로 투과시킬 수 있는 막으로 생체내의 막은 대부분 반투막이다.

$$\pi = CRT \cdot i : \pi(\text{삼투압, atm}), C(\text{몰농도, } M), R(\text{기체상수, atm} \cdot L/K \cdot \text{mol}), T(\text{절대온도, } K)$$

- 삼투압을 이용하면 고분자 물질의 분자량(M)을 측정할 수 있다. $\pi = CRT = \frac{nRT}{V} = \frac{wRT}{MV}$ 에서

$$M = \frac{wRT}{\pi V} \text{이다.}$$

8.5. 콜로이드 용액의 성질

(1) 콜로이드의 정의

콜로이드는 1~1000nm 정도의 크기를 가진 입자를 가리키며, 콜로이드 입자를 분산질이라 하고 분산매에 분산질인 콜로이드 입자가 분산되어 있는 용액을 콜로이드 용액이라 한다.

(2) 콜로이드의 성질

- 콜로이드의 입자적 성질 : 틴들 현상, 브라운 운동, 흡착, 투석
- 콜로이드의 전기적 성질 : 전기 이동, 영김, 염석

[연습 문제]

1. 다음 중 주어진 고체가 가장 덜 녹는 경우는?

[강원대]

- ① 고체 요오드를 요오드화칼륨 수용액에 녹인다.
- ② 고체 요오드를 물에 녹인다.
- ③ 고체 요오드를 사염화탄소에 녹인다.
- ④ 고체 과망간산칼륨을 물에 녹인다.

2. 물에 대한 기체의 용해도를 나타내는 법칙에 헨리 법칙이 있다. 헨리 법칙에 대한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① CO_2 는 무극성 분자이므로 헨리 법칙을 적용할 수 없다.
- ② 외부 압력이 높을수록 CO_2 의 용해도가 증가한다.
- ③ 헨리 법칙은 물에 대한 용해도가 작은 기체에 대해 적용한다.
- ④ 암모니아는 물에 대한 용해도가 크므로 헨리 법칙에 잘 따른다.
- ⑤ 기체의 분압이 2배가 되면 용해하는 기체 부피도 2배가 된다.

3. 다음은 어느 법칙을 설명하는가? “물 900g 중에 어떤 기체가 1atm일 때는 0.003몰이 녹을 수 있고, 압력이 2atm이 되면 0.006몰이 녹을 수 있다”

[영남대]

- ① Dalton의 부분압력의 법칙
- ② Graham의 법칙
- ③ Raoult의 법칙
- ④ Boyle의 법칙
- ⑤ Henry의 법칙

4. 25°C 에서 물에 녹은 산소의 헨리법칙상수는 $4 \times 10^4 \text{ atm}$ 이다. 대기압에서 공기 중에 있는 산소가 0.80 atm의 압력을 갖는다면, 25°C 에서 공기와 평형을 이루며 물에 용해되어 있는 산소의 농도(mol/L)는 얼마인가? 단, 편의상 물의 분자량은 20으로 가정하고 계산하라.

- ① 0.001
- ② 0.002
- ③ 0.004
- ④ 0.008
- ⑤ 위에는 맞는 농도가 없다.

5. H_2Z 는 비휘발성이며 물에 잘 녹는 고체이다. $0.01\text{mol } H_2Z$ 가 100mL 물에 녹을 때, 어는점은 -0.4°C 이었다. 이 실험에서 얻은 결과를 이용하여 H_2Z 의 용해를 나타내는 화학식은 무엇인가? 단, 물의 어는점 상수는 2.0°C/m 이라고 가정하라. [조선대]

- ① $H_2Z(s) \rightarrow H^+(aq) + HZ^-(aq)$
- ② $H_2Z(s) \rightarrow 2H^+(aq) + Z^{2-}(aq)$
- ③ $H_2Z(s) \rightarrow H_2Z(aq)$
- ④ $H_2Z(s) \rightarrow H_2(g) + Z(s)$
- ⑤ 위 답 중에는 맞는 식이 없다.

6. 용해도에 관한 다음의 설명 중 옳은 것은?

[덕성여대]

- ① 물에 대한 기체의 용해도는 일반적으로 온도가 증가함에 따라 증가한다.
- ② 이온성 화합물의 용해 과정은 엔트로피가 증가하므로 발열 과정이다.
- ③ 액체의 용해도는 외부 압력의 영향을 거의 받지 않는다.
- ④ 외부 압력이 증가하면 기체의 용해도는 감소한다.

7. $CaCl_2(s)$ 는 물에 녹아 발열 반응($\Delta H_{soln} = -81.3\text{kJ/mol}$)을 한다. 25.0°C 물을 가지고 시작하여 $1.00\text{m } CaCl_2$ 용액을 만들면 이 용액의 최종 온도($^\circ\text{C}$)는 얼마인가? 물과 용액의 비열은 모두 $4.18\text{J/K} \cdot \text{g}$ 이고 $CaCl_2$ 의 몰질량은 111.0g/mol 이다.

- ① 32.8°C ② 42.5°C ③ 53.4°C ④ 61.3°C

8. 지구 대기권에 있는 오존층은 전체 압력이 평균 $10\text{mmHg}(1.3 \times 10^{-2}\text{atm})$ 이다. 오존층에서 오존의 부분압은 $1.2 \times 10^{-6}\text{mmHg}(1.6 \times 10^{-9}\text{atm})$ 이다. 공기의 평균 질량은 29g/mol 이라 가정하고 오존 농도는 몇 ppm인가? (단, 원자량은 $O = 16\text{g/mol}$ 이고 농도는 질량으로 나타낸 값이다.)

- ① 0.90ppm ② 0.70ppm ③ 0.40ppm ④ 0.20ppm

9. 술은 화학적으로 보면 물에 에탄올이 녹아 있는 용액이다. 다른 성분은 무시하고 계산할 때, 물 200.0g에 에탄올 46.0g이 섞인 술의 경우 몰랄 농도($m = \text{mol/kg}$)는 얼마인가? (단, 원자량은 $C=12.0$, $H=1.0$, $O=16.0$ 으로 계산한다.)

- ① 1.0m ② 2.0m ③ 4.0m ④ 5.0m

10. 물고기는 물에서 O_2 농도가 적어도 4mg/L은 되어야 살 수 있다. 물 위에서(0°C , 대기압에서) 이 농도를 얻는 데 산소 부분압은 얼마 필요한가? (단, 0°C 와 1atm 부분압에서 물에 대한 O_2 용해도는 $2.21 \times 10^{-3} \text{mol/L}$, O_2 분자량은 32g/mol이고, 대기 중 O_2 구성 비율은 20%이다.)

- ① 0.05atm ② 0.06atm ③ 0.07atm ④ 0.08atm

11. 질소 비료로도 사용할 수 있는 질산암모늄(NH_4NO_3) 1.5m 수용액의 어는점은 -5.4°C 이다. NH_4NO_3 에 대한 van't Hoff 인자 i 값은 얼마인가? (단, $KF_f = 1.86K/\text{mol}$ 이다.)

- ① 1.9 ② 2.1 ③ 2.3 ④ 2.6

12. 50.0g 아세트산에 녹아 있는 citric acid 용액은 끓는점 오름이 $\Delta T_b = 1.76^\circ\text{C}$ 이다. 아세트산에 대한 몰랄 오름 상수 $K_b = 3.07^\circ\text{C} \cdot \text{kg/mol}$ 이면 이 용액에 녹아 있는 citric acid는 몇 몰인가?

- ① 1.54×10^{-2} 몰 ② 2.87×10^{-2} 몰 ③ 3.07×10^{-2} 몰 ④ 3.52×10^{-2} 몰

13. 물 500g에 HF 1.00몰을 녹여 만든 용액의 어는점은 -3.8°C 지만, 물 500g에 1.00몰 HCl을 녹여 만든 용액의 어는점은 -7.4°C 다. 그 까닭을 가장 타당하게 설명한 것은?

- ① 물에 대한 용해도가 HF보다 HCl이 훨씬 크기 때문이다.
 ② HF는 물에서 매우 소량만 이온화하고 HCl은 거의 완전히 이온화하기 때문이다.
 ③ 결합 에너지가 HF보다 HCl이 매우 작아서 HCl은 휘발성이 큰 산이기 때문이다.
 ④ HF는 물과 수소 결합을 쉽게 하지만 HCl은 물과 수소 결합을 만들지 않기 때문이다.

14. 포도당(몰질량=180g/mol)과 요소(몰질량=60.0g/mol) 혼합물 120g을 물 500g에 녹여 만든 용액은 어는점이 -4.96°C 이다. 요소의 질량은 얼마인가? (단, $K_b = 1.86^{\circ}\text{C}/m$ 이다.)

- ① 20.0g ② 30.0g ③ 50.0g ④ 60.0g

15. 표는 분자량이 서로 다른 세 가지 비휘발성, 비전해질 물질을 각각 물 100g에 녹여 용액 A~D를 만든 후, 1기압에서 어는점과 끓는점을 측정한 결과이다.

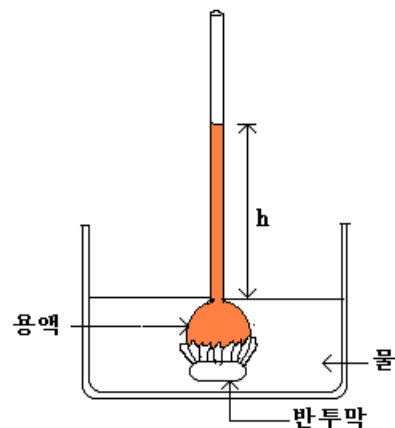
용액 \ 구분	녹인 양(g)	어는점($^{\circ}\text{C}$)	끓는점($^{\circ}\text{C}$)
A	9	-0.93	-
B	12	-3.72	-
C	15	-	101.30
D	18	-	101.04

같은 물질이 녹아 있는 용액으로 짝지어진 것은? (단, 용액 A~D에는 한 가지 물질만 녹아 있으며, 물의 몰랄내림상수는 $1.86^{\circ}\text{C}/m$, 몰랄오름상수는 $0.52^{\circ}\text{C}/m$ 이다.)

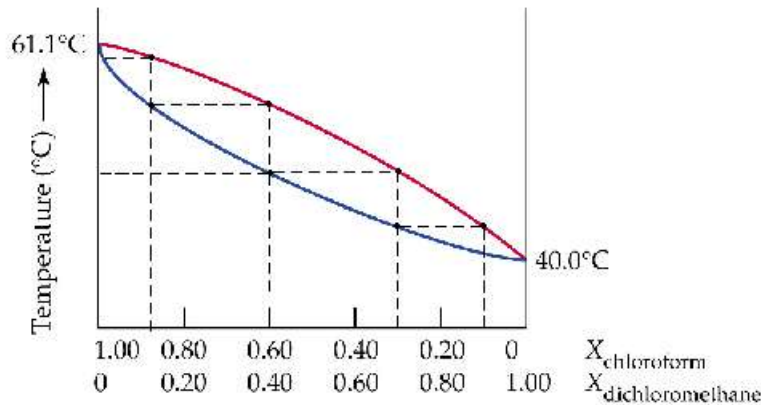
- ① A, C ② A, D ③ B, C ④ B, D ⑤ C, D

16. 어떤 고분자 물질 수용액의 삼투압을 측정하면 분자량을 구하는 데 이용할 수 있다. 수조에 그림과 같이 장치하고, 수면에서 용액의 높이가 더 이상 올라가지 않을 때 높이 h 를 측정하는 실험을 하였다. 이 실험과 관련한 다음 설명 중 옳은 것을 고르면?

- ① 분자량이 클수록 h 가 크다.
 ② h 가 일정할 때 수조에서 용액쪽으로 흐르는 물 분자가 더 많다.
 ③ 반투막에 작용하는 압력은 h 만큼의 용액 압력보다 작은 값이다.
 ④ 삼투압은 대기압과 h 만큼의 용액 기둥 압력을 합한 값이다.
 ⑤ 용액 위에서 삼투압보다 큰 압력을 가하면 용액에서 수조로 물 분자가 알짜 이동한다.



17. 다음 그림은 클로로폼과 다이클로로메테인 액체 혼합물에 대한 온도-물분율 상평형 그림이다.



물분율이 클로로폼 60%, 다이클로로메테인 40%인 혼합 용액을 가열해 끓기 시작했을 때 그 온도에서 증기상의 물분율은 각각 얼마인가?

- | | 클로로폼 | 다이클로로메테인 |
|---|------|----------|
| ① | 0.90 | 0.10 |
| ② | 0.60 | 0.40 |
| ③ | 0.30 | 0.70 |
| ④ | 0.10 | 0.90 |

18. 염산은 HCl(분자량 ; 36.5g/mol) 기체를 물에 녹인 수용액을 가리킨다. 밀도가 1.20g/mL인 진한 염산의 농도가 36.5%라 할 때, 이 염산의 몰 농도는 얼마인가? (단, 압력과 온도는 일정하게 유지한다.)

- ① 10.0M ② 11.0M ③ 12.0M ④ 13.0M

19. 설탕(Sucrose, 분자량 342g/mol)을 가수분해하면 포도당(Glucose 분자량 180g/mol)과 과당(Fructose 분자량 180g/mol)이 생성된다. 25°C(상온)에서 설탕 3.42g을 함유하는 200.0mL 수용액에 소량의 염산을 첨가해 가수분해가 일어났을 때 용액의 삼투압은 얼마인가? (단, 가수분해 반응은 완전히 일어나며, 상온에서 $RT=24.5 \text{ L atm/mol}$ 로 계산하고, 소량의 염산을 첨가한 부피는 무시한다.)

- ① 2.45 atm ② 3.45 atm ③ 76.0 mmHg ④ 152.0 mmHg