

7. 액체, 고체, 그리고 상전이

[연습문제 해설과 답]

1. 증기 압력 : ④ [조선대]

증기 압력이 작은 분자는 분자 간 인력이 크다는 것을 뜻하고, 분자량이 크고 극성인 분자를 선택하면 되는데, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ 는 극성 분자 중에서도 수소 결합으로 강력한 분자 간 인력을 가진다.

2. 분자 간 인력 : ①

수소 결합이 분자량에 비해 분자 간 인력이 크지만, 분자량이 크면 수소 결합도 증가한다.

3. 이중 극자 모멘트 : ④

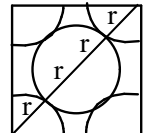
이중 극자 모멘트가 0인 분자는 무극성을 띤다. Cl_2O 는 굽은 구조, XeF_4 는 평면 사각형이고, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{Cl}$ 분자는 Cl 때문에 사면체 구조를 가지고 있다. BF_3 는 평면 삼각형인데, 무극성 분자는 (b), (d)이다.

4. 끓는점과 증발 엔트로피 : ①

끓는점에서 동적 평형을 이루므로 $T = \frac{\Delta H}{\Delta S}$ 를 이용해 ΔS 를 구할 수 있다. 218°C 는 491K이고, ΔS_{vap} 는 $43300 \text{ J/mol} \div 491\text{K} = 88.2 \text{ J/K} \cdot \text{mol}$ 이다.

5. 충전율(%) : ③

면심 입방 구조에서 단위세포의 한 단면을 보면 오른쪽 그림과 같은데, 충전율은 단위세포에서 실제 차지하는 결정 입자 부피가 단위세포 전체 부피에 대한 비율이다. 결정의 한 입자 반지름을 r 이라 하자. 단위세포 당 평균 입자 수는 4개이므로



단위세포 당 결정 입자 부피는 $4 \times \frac{4\pi r^3}{3}$ 이고, 한 변은 대각선($4r$)에 $\cos 45^\circ$ 를 곱한 값이므로 충전

율(%)은 $\frac{4 \times \frac{4\pi r^3}{3}}{(4r \cos 45^\circ)^3} \times 100(\%)$ 이다. $\sqrt{2} = 1.4$, $\pi = 3.1$ 로 계산하면 충전율은 72%이다.

6. 클라우지우스-클라페이론 식 : ②

액체의 증기압은 온도가 증가하면 증가하며 온도에 따라서만 결정된다. 증발열(ΔH_{vap})은 $\ln P_{\text{vap}}$ 와 $\frac{1}{T}$ 를 도시하여 기울기를 통해 구할 수 있다. 서로 다른 두 온도(T_1 , T_2)에 따른 P_1 , P_2 를 측

정해 클라우지우스-클라페이론 식을 적용해 빼면 $\ln \frac{P_1}{P_2} = -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$ 와 같은 van't Hoff 식을 얻을 수 있다.

7. 반트 호프 식 : ①

$\ln P_1 = -\frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_1} \right) + C$, $\ln P_2 = -\frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T_2} \right) + C$ 에서 $\ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = -\left(\frac{\Delta H_{vap}}{R} \right) \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$ 식을 얻을 수 있다.

8. 고체의 용해 : ③

압력이 증가할 때 고체보다 액체 밀도가 더 큰 경우는 용해 곡선의 기울기가 음인 경우이다. 임계점은 기체 상태에 적용된다.

9. 증발 속도 : ③

증발열은 모두 흡열이고, 증발 속도가 빠르면 그만큼 열을 빼앗기 쉽다.

10. 분자 간 인력의 세기 : ④

일반적으로 분자량이 클수록 분자 간 인력이 증가하고, 분자량이 비슷할 때 극성 분자가 무극성 분자보다 분자 간 인력이 더 크다.

11. 물의 상평형 곡선 용어 : ④

12. 상평형 곡선의 해석 : ④

삼중점 아래 조건에서 승화만 일어난다. 온도가 일정한 상태에서 계에 압력을 가하면 수증기→얼음→물의 상태 변화를 관찰할 수 있다. 끓는점은 액체 전체에서 기화가 일어나는 온도이다.

13. 증기압과 끓는점 : ②

수증기가 물로 변하면 적어도 $\frac{1}{1000}$ 이하로 부피가 감소하므로 밀폐 용기 안에서 물 위의 압력이 감소하여 물이 다시 끓는다.

14. 증기압과 온도 변화 : ②

25°C에서 포화 증기압보다 낮은 증기를 밀폐 용기에 넣으면 증발 속도가 응결 속도보다 빠르고, 용기를 15°C로 냉각하면 포화 증기압을 초과하는 증기의 응결 속도가 빨라 액면 높이가 높아짐을 알 수 있다. 포화 증기압을 초과하는 증기를 넣어도 증발 속도보다 응결 속도가 빠를 뿐이다.

15. 이산화 황의 상태 변화 : ①

이상 기체는 상태 변화를 하지 않는다. 이산화 황이 4.52 기압에 이르러 상태 변화하며, 압력이 높을수록 분자 간 인력이 증가한다. 압력이 낮을수록 보일 법칙을 잘 따른다.

16. 분자량과 끓는점 : ②

세 분자의 분자량이 비슷하지만, 극성이 가장 큰 CH_3CHO 의 끓는점이 가장 높다. CH_3CHO 와 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ 의 탄소 수와 끓는점은 무관하다.

17. 버키 볼의 구조 : ⑤

분자식은 탄소 원자 60개로 이루어져 있으므로 C_{60} 이고, 분자량은 $12 \times 60 = 720$ 이다. 분자량으로 미루어 상온에서 고체로 예상되며, 가운데가 비어 있으므로 밀도는 다이아몬드보다 작다. 각 탄소의 혼성은 sp^2 로 p 오비탈 전자가 비편재화하여 단일 결합과 이중 결합의 중간 구조이다.

18. 분자 간 인력 : ①

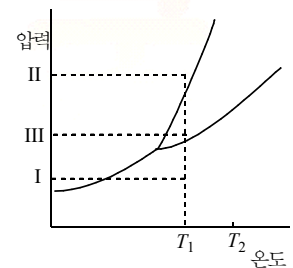
분자량이 비슷하면 분자 간 인력이 가장 강한 것은 수소 결합이고, 가장 약한 것이 분산력이다.

19. 증발과 끓음 : ②

증발은 액체 표면에서 공간으로 기화하는 현상이고, 끓음은 액체 전체에서 기화가 일어나는 현상을 가리킨다. 끓는점은 액체가 끓을 때의 온도인데, 외부 압력이 증기 압력이 같을 때의 온도이다.

20. 상평형 그림 : ③

온도 T_1 에서 가열할 때 압력에 따라 기체가 유지되거나 액체에서 기체로, 고체가 액체로 변하는 경우를 찾는다. 압력 크기 순서는 $\text{II} > \text{III} > \text{I}$ 이다.



21. 단순 입방 충전의 충전율(%) : ①

단순 입방 충전에서 단위세포 당 평균 1개가 들어 있으므로 $1 \times \frac{4\pi r^3}{3} \div (2r)^3 \times 100(\%) = 52\%$ 이다.

22. 면심 입방 구조와 반지름 : ②

면심 구조의 대각선은 $4r$ 이고 한 변이 400 pm이므로 $4r \cos 45^\circ = 400$ 에서 반지름을 구할 수 있다.

23. 브래그 방정식과 결정의 회절 : ⑤

반사 법칙에서 입사각은 면에 대한 수선과 이루는 각도이므로 $90^\circ - \theta$ 이고, 보강 간섭은 파동의 위상이 일치해 진폭이 커지며, 상쇄 간섭으로 파동의 위상이 반대로 진폭이 감소한다. 그림에서 보강 간섭을 하는 경로차는 $2d \sin \theta = n\lambda$ (λ : 파장)를 만족한다. X선에 의해 전자가 방출될 수는 있어도 핵 속의 중성자는 영향받지 않는다.

24. 이온 결정의 유형 : ①

NaCl 형에서 Na^+ 와 Cl^- 모두 3주기 원소지만 양이온이 음이온보다 크게 작다. 염화 이온(Cl^-)

이 면심 위치에 있고 Na^+ 이온이 팔면체 자리에 배열된다. 단위세포 당 평균 입자 수는 Na^+ 4개, Cl^- 4개이고, CsCl 형에서 Cs^+ 이온이 체심 위치에, Cl^- 이온이 꼭짓점 위치에 자리잡는다. 단위세포 당 이온 수는 Cs^+ 1개, Cl^- 1개 비율이며 이온 크기가 비슷하다.

25. 수소 결합 작용기 : ③

수소 결합은 전기 음성도가 큰 F, O, N 사이에 수소(H)가 끼인 형태이다. 반드시 F, O, N과 H가 결합한 분자에서만 나타날 수 있는데, $-\text{CHO}$ 에서 H는 C와 결합하고 있다.

26. 클라우지우스-클라페이론 식 : ②

증발 엔트로피(ΔH_{vap})는 항상 흡열($\Delta H_{vap} > 0$)이며, 증발열은 기울기에 $(-)R$ 을 곱해야 한다. 포화 증기압도 일종의 평형상수와 같으므로 온도가 같으면 같은 값을 가진다. 서로 다른 두 온도에서 증기압을 측정해 정리하면 $\ln \frac{P_1}{P_2} = -\frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{T_2 - T_1}{T_1 T_2} \right)$ 식을 얻을 수 있으며 클라우지우스-클라페이론 식 $\ln P = -\frac{\Delta H_{vap}}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + C$ 에서 상수 C 는 양의 값이다.

27. 상평형 곡선 : ④

T 는 삼중점, C 는 임계점이며, 승화는 삼중점 아래 조건에서만 가능하다. $P_1 \sim P_2$ 압력 하에서 가열하면 세 가지 상이 모두 있어 고체→액체→기체로 변한다. 승화 곡선에 대응하는 압력은 대기압이 아니고 이 물질의 증기압이다.

28. 끓는점과 분자 간 인력 : ④

끓는점이 높으면 분자 간 인력도 크므로 분자 간 인력은 $\text{H}_2\text{O} > \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} > \text{CH}_3\text{COCH}_3 > \text{NH}_3$ 순이다.

29. 결정 고체와 비결정 고체 : ③

다이아몬드, 수정 등은 결정 고체, 유리나 고무 등은 비결정 고체이다. 단순 입방 구조는 단위세포 당 평균 1개, 체심 입방 구조는 2개, 면심 입방 구조는 4개가 배열된다. NaCl 결정에서 반지름이 크게 작은 Na^+ 이온은 팔면체 자리에 배열되고, 결정 고체에 결함이 많으면 비결정으로 된다. 분자 결정은 분자 간 인력, 공유 결정은 공유 결합이 결정을 이루는 힘이다.

30. 액체의 성질 : ⑤

표면장력이 큰 물질이 구형에 가깝게 배열되고, 모세관 현상은 가는 관에 작용하는 액체의 접착력과 응집력에 의해 결정된다. 플라스틱은 물과 친하지 않아서 접착력이 응집력보다 작아 위로 볼록한 메니스커스가 형성되고, 물과 수은도 마찬가지이다.

8. 용액과 그 성질

[연습 문제 해설과 답]

1. 분자의 극성과 용해 : ②

요오드(I_2 , 아이오딘)는 무극성 분자로서 무극성 용매인 사염화 탄소(CCl_4)에 잘 녹지만, 강한 극성 분자인 물에는 잘 녹지 않는다. 과망간산 칼륨($KMnO_4$), 과망가니즈산 포타슘(칼륨)은 이온 결합 물질로서 물에 잘 녹는다. I_2 는 KI와 반응해 KI_3 를 형성하므로 KI 수용액에 잘 녹는다.

2. 기체의 용해 : ③

CO_2 는 무극성 분자이므로 헨리 법칙을 적용하기 좋다. 헨리 법칙은 물에 용해하는 기체의 양이 그 기체의 부분압력에 비례한다는 것인데, 물에 잘 녹지 않는 기체에 적용하는 게 타당하다.

3. 헨리 법칙(1) : ⑤

기체의 부분 압력이 증가하면 물에 용해하는 기체의 양이 비례하여 증가하는 것이 헨리의 법칙으로, 극성이 매우 큰 물에 잘 녹지 않는 기체는 극성이 매우 작거나 무극성인 것에 적용된다.

4. 헨리 법칙(2) : ①

헨리 법칙에 따라 $P_{O_2} = K_H X_{O_2}$ (P_{O_2} 는 산소 분압, K_H 는 헨리 법칙 상수, X_{O_2} 는 산소의 몰 분율)이다. $X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{H_2O}} \simeq \frac{n_{O_2}}{n_{H_2O}}$ 이고, 헨리 법칙에 따라 $X_{O_2} = \frac{0.8 \text{ atm}}{4 \times 10^4 \text{ atm}}$ 이다. 물의 분자량을 20으로 하면 1L에 들어 있는 물의 몰 수(n_{H_2O})는 50몰이고 $n_{O_2} = 10^{-3} \text{ mol}$ 이므로 공기에 접한 물에 녹아 있는 산소의 농도는 0.001 M이다.

5. 물질의 이온화와 어는점 내림 : ①

$\Delta T_f = K_f \cdot m \cdot i$ 에서 물 100 mL가 100 g이므로 H_2Z 의 몰랄 농도(m)는 0.1이다. $i = \frac{0.4}{0.1 \times 2}$ 이므로 이온화로 생기는 총 몰 수가 H_2Z 1몰 당 2몰이어야 한다.

6. 용해도 일반 : ③

온도가 높을수록 기체의 용해도는 감소(발열)하고, 고체의 용해도는 일반적으로 증가(흡열)한다. 액체나 고체의 용해는 외부 압력 영향을 거의 받지 않고, 기체의 압력이 증가하면 기체의 용해도는 증가한다.

7. 수화열과 온도 : ②

용액 질량은 물 1 kg에 CaCl_2 1몰(111 g)으로 계산해 1111 g이므로 $\Delta t = \frac{81300}{4.18 \times 1111} ^\circ\text{C}$ 이다.

8. 오존층 : ④

이상 기체 상태 방정식을 이용해 $P = \frac{nRT}{V}$ 에서 같은 부피와 온도 조건이라면 기체의 질량이 압력과 비례 관계임을 알 수 있다. 성층권에서 전체 압력이 10 mmHg이고, 오존의 부분 압력이 1.2×10^{-6} mmHg이므로 $\frac{1.2 \times 10^{-6}}{10} = 0.12$ ppm이다.

9. 술의 몰랄 농도 : ④

에탄올의 분자량이 46 g/mol이므로 에탄올 1.0 몰이 물 0.200 kg에 녹아 있는 용액이다. 따라서 몰랄 농도는 $\frac{1.0}{0.200} = 5.0$ (m)이다.

10. 산소(O_2)의 용해(헨리 법칙) : ②

물고기가 사는 산소의 최소 농도 4 mg/L는 몰 농도로 환산하면 $\frac{4 \times 10^{-3}}{32}$ mol/L이다. 따라서, 산소의 대기 중 최소 부분 압력은 $\frac{1.25 \times 10^{-4}}{2.21 \times 10^{-3}} = 0.056561 \dots$ 이므로 0.06 atm이다.

11. 반트 호프 인자 : ①

$\Delta T_f = K_f \cdot m \cdot i$ 에서 $i = \frac{5.4}{1.86 \times 1.5} = 1.93548 \dots$ 이다.

12. 끓는점 오름 : ②

$\Delta T_b = K_b m$ 에서 몰랄 농도(m)는 $\frac{\text{citric acid mol}}{0.050 \text{ kg}} = \frac{1.76 ^\circ\text{C}}{3.07 ^\circ\text{C} \cdot \text{kg/mol}}$ 이므로 이것을 이용해 citric acid의 몰 수를 구할 수 있다.

13. 어는점과 강전해질, 약전해질 : ②

HF는 약산이므로 소량만 이온화하지만, HCl은 강산이므로 거의 완전히 이온화한다.

14. 용액의 총괄성과 어는점 내림 : ④

요소 질량이 x g이면 혼합물의 총 몰 수는 $\frac{120-x}{180} + \frac{x}{60} = \frac{4.96}{1.86} \times 0.500$ 에서 x 를 구한다.

15. 끓는점 오름과 어는점 내림 : ③

각 분자량(M_w g/mol)을 질량(W g)으로 나누면 몰 수가 되고 이것을 용매 질량(0.100 kg)으로 나눈 것이 몰랄 농도이므로 $\frac{\Delta T}{K}$ 으로 계산한 것과 비교하면 분자량이 A : 180, B : 60, C : 60, D : 90으로 분자량이 같은 것은 B, C이다.

16. 삼투압 : ⑤

고분자 물질의 삼투압은 $\pi = CRT$ 이고, C 는 몰 농도(mol/L)이다. 분자량이 클수록 몰 농도가 작아 삼투압이 작고 h 가 낮다. h 가 일정하다는 것은 용액과 수조 사이에 물 분자 이동 수가 같다는 의미이다. 용액 위에서 삼투압보다 큰 압력을 가하면 역삼투가 일어나 용액에서 수조로 물 분자가 알짜 이동한다.

17. 액체 혼합물과 증기상 몰 분율 : ③

온도-몰 분율 상평형 그림에서 아랫쪽은 액상의 몰 분율, 윗쪽은 기상의 몰 분율을 가리킨다. 클로로폼 60%, 다이클로로메테인 40%인 혼합 용액이 끓었을 때 그 온도에서 수평 점선을 따라 이동하면 대략 증기상에서 클로로폼 30%, 다이클로로메테인 70% 정도의 몰 분율이 나온다.

18. 염산의 몰 농도 : ③

% 농도가 주어졌을 때는 100 g을 기준으로 계산한다. 용액 100 g 속에 HCl 36.5 g이 들어 있다는 뜻이므로 HCl 몰 수는 1.00 몰, 부피는 $V = \frac{100 \text{ g}}{d \text{ g/mL}} = \frac{100}{d} \text{ mL}$ 이므로 부피를 L 단위로 고쳐 계산하면 된다.

19. 용액의 삼투압 : ①

설탕 1몰이 가수분해하면 포도당과 과당이 각각 1몰씩 생긴다. 설탕 농도가 $\frac{0.01}{0.2} = 0.05 \text{ M}$ 이므로 용액의 삼투압은 $\pi = 0.05 \times RT \times 2 = 2.45 \text{ atm}$ 이다.

20. H^+ 몰 수 : ③

몰 농도(mol/L, M)와 부피(mL)를 곱하면 용질의 mmol 수를 구할 수 있다. 0.010 M HCl 20 mL를 곱하면 0.20 mmol이다.

21. 용해도 : ④

X 40 g과 물 150 g에 녹이면 % 농도는 $\frac{40}{40+150} \times 100 \% = 21.1 \%$ 이고, 석출량(g)은 냉각 온도에 의해 결정된다. 용해도가 30이라는 것은 물 100 g에 최대 30 g까지 녹는다는 뜻이고, 포화 용액이 되려면 물 150 g에는 30+15=45 g까지 녹을 수 있다. 용해에 관한 동적 평형은 용해 속도와 석출 속도가 0이 아니며 같다는 뜻이다.

22. 액체의 증기압 : ③

A, B라는 액체가 섞인 용액에서 A의 증기압은 $P_A = X_A \cdot P_A^\circ$ 와 같이 나타내는데, X_A 는 A의 물 분율을 나타낸다. 전체 증기압은 $P = P_A + P_B$ 이고 두 액체의 물 분율이 각각 $\frac{2}{3}, \frac{1}{3}$ 이므로 증기압은 $\frac{2}{3} \times 30 + \frac{1}{3} \times 60 = 40$ mmHg이다.

23. 끓는점 오름과 어는점 내림 : ④

$\Delta T_b = K_b \cdot m \cdot i$ 이므로 몰랄 농도(m)와 반트 호프 인자(i) 곱이 클수록 끓는점이 높다.

24. 전해질의 삼투압 : ③

$XY \rightarrow X^+ + Y^-$
 $1-\alpha \quad \alpha \quad \alpha$ 이므로 $i = 1 - \alpha + \alpha + \alpha = 1 + \alpha$ 이고 이온화도($\alpha = 0.75$)이다. $\pi = CRT \cdot i$ 에서 삼투압을 계산하면 $\pi = 1 \text{ M} \cdot R \cdot 300 \text{ K} \cdot 1.75 = 525R$ 이다.

25. 콜로이드 용액의 응집 : ①

(+) 콜로이드는 (-) 전해질에 의해 응집하는데, (-) 전하가 클수록 효과가 크므로 (-) 전하 수를 확인한다. 음이온 전하는 순서대로 $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , Cl^- , SO_4^{2-} 이다.

26. 혼합 용액의 물 분율 : ⑤

A의 물 분율은 $X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B}$ 이고, $n_A = \frac{120 \text{ g}}{60 \text{ g/mol}} = 2 \text{ mol}$, $n_B = \frac{80 \text{ g}}{80 \text{ g/mol}} = 1 \text{ mol}$ 이므로
 $X_A = \frac{2}{2+1} = \frac{2}{3}$ 이다.

27. 재결정 : ①

재결정으로 분리할 수 있는 고체 결정의 혼합물은 가열에 따라 용해도 변화가 큰 고체와 용해도 변화가 완만한 물질이 섞인 혼합물이다. 이 혼합물을 물에 녹여 불포화 용액으로 만들고 냉각해 결정을 분리하면 용액 속에는 용해도 변화가 온도에 따라 완만한 용질이 남아 있다.

28. 헨리 법칙(3) : ⑤

물에 녹는 질소의 물 농도는 $C_{N_2} = k_H \cdot P_{N_2}$ 관계가 성립하므로, 물에 녹는 질소(N_2)의 농도는 헨리 상수(k_H)와 질소 분압(0.78 atm)의 곱으로 나타난다.

29. 용혈 현상 : ①

세포막은 반투막이므로 저농도에서 고농도로 물 분자가 알짜 이동하는 삼투 현상이 일어난다.

30. 몰 농도(M, mol/L)와 몰랄 농도(m, mol/kg) : ⑤

용매 질량은 용액 질량에서 용질 질량을 빼면 되고, 몰 농도(mol/L)를 몰랄 농도(mol/kg)로 전환할 때는 용액 1 L(1000 mL)를 기준으로 한다. 용질 몰 수는 M mol이고 질량은 MW g이다. 용매 질량 g은 kg으로 계산하기 위해 1000으로 나눈다.