

8. 용액과 그 성질

8.1. 물질의 조성

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

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

MV : 용액 속에 들어 있는 용질의 몰수(mol)

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

(4) 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 $d(g/mL)$ 라 할 때, 몰농도는 $\frac{10dp}{W}$ (mol/L)이다.

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

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

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

- 묽은 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)

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

(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.

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

- 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 CO₂는 무극성 분자이므로 헨리 법칙을 적용할 수 없다.
- ② 외부 압력이 높을수록 CO₂의 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. 화학식량이 W 인 용질을 물에 녹여 $p\%$ 용액의, 밀도가 $d(\text{g/mL})$ 일 때 물 농도(mol/L)를 바르게 나타낸 것은?

- ① $\frac{10pW}{d}$ ② $\frac{10dp}{W}$ ③ $\frac{10d}{pW}$
- ④ $\frac{dp}{10W}$ ⑤ $\frac{dW}{10p}$

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. 이온 결합 물질은 대체로 온도가 높을수록 용해도가 증가하는데, 이러한 몇 가지 이온 결합 물질이 물에 녹는 것에 대하여 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 온도가 높을수록 용해도가 증가하는 것은 용해가 흡열적이기 때문이다.
- ② 용해도가 비슷한 물질 혼합물 수용액을 냉각해 각 물질을 분리하는 방법이 분별 결정이다.
- ③ 용해도를 초과하는 양의 이온 결합 물질을 물 100g 에 넣으면 과포화 용액이 된다.
- ④ 저온의 불포화 용액을 가열하면 포화 용액을 거쳐 용질이 석출되는 것을 관찰할 수 있다.

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. 오존층에서 공기의 평균 질량은 29g/mol 이라 가정할 때, 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. 용액의 총괄성은 비휘발성 용질이 녹아 있는 용액에 대해 설명할 수 있다. 용액의 총괄성과 관련이 없는 것은?

- ① 증기압력 내림 ② 끓는점 오름 ③ 삼투압 ④ 물 열용량

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

- ① 0.04atm ② 0.06atm ③ 0.08atm ④ 0.1atm

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, $K_f = 1.86\text{m}/K$ 이다.)

- ① 1.9 ② 2.1 ③ 2.3 ④ 2.6

12. 비휘발성 용질 XY를 물에 녹인 용액이 있다. XY의 이온화가 50%라고 할 때, XY 농도가 0.50m 라면 이 용액의 끓는점은? (단, 물의 끓는점은 100.0°C 이고, $K_b = 0.52^\circ\text{C}/m$ 이다.)

- ① 99.61°C ② 100.26°C ③ 100.39°C ④ 100.52°C

13. 물 500g 에 HF 1.00mol 을 녹여 만든 용액의 어는점은 -3.8°C 지만, 물 500g 에 1.00mol 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. 라울 법칙을 만족하는 용액을 이상 용액이라 한다. 임의의 두 액체 A, B를 섞었을 때, 몰 분율에 따른 변화에 대한 설명으로 옳지 않은 것은? (단, 실험 온도는 25°C이고, 순물질의 증기 압력은 P_A , P_B 이다.)

- ① 용액의 몰 분율이 0.50일 때, 이상 용액의 증기 압력은 $\frac{P_A + P_B}{2}$ 이다.
- ② 라울 법칙을 만족하는 용액에 대한 양의 편차는 용매와 용질 간 인력이 약할 때이다.
- ③ 라울 법칙을 만족하는 용액에 대한 음의 편차는 용매와 용질 간 인력이 강할 때이다.
- ④ 액체 A는 비휘발성이지만, 액체 B는 휘발성이고, A와 B는 서로 잘 섞이는 물질이다.

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

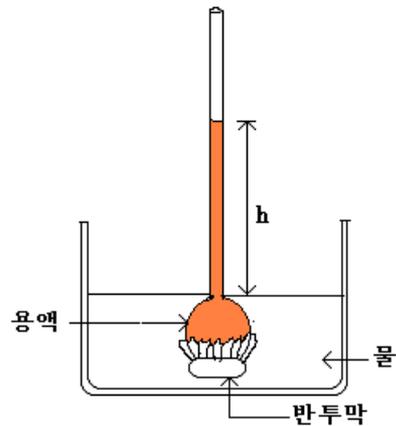
용액 \ 구분	녹인 양(g)	어는점(°C)	끓는점(°C)
A	9	-0.93	-
B	12	-3.72	-
C	15	-	101.30
D	18	-	101.04

같은 물질이 녹아 있는 용액으로 짝지어진 것은? (단, 용액 A~D에는 한 가지 물질만 녹아 있으며, 물의 몰랄내림상수는 1.86 °C/m, 몰랄오름상수는 0.52 °C/m이다.)

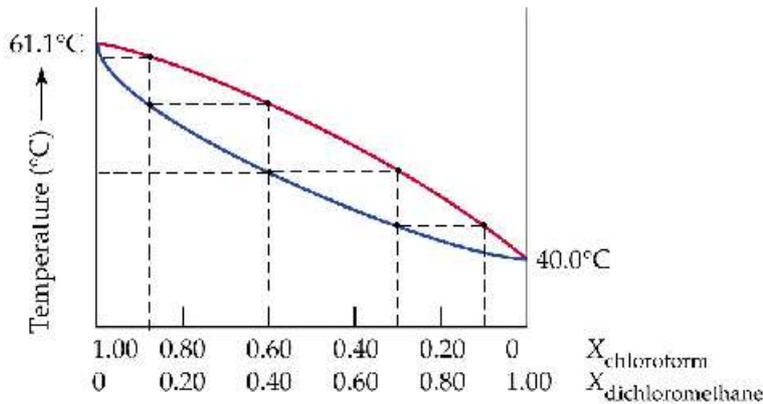
- ① A, C ② A, D ③ B, C ④ B, D ⑤ C, D

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 대기압에서 h 만큼의 용액 기둥 압력을 뺀 값이다.
- ⑤ 용액 위에서 삼투압보다 큰 압력을 가하면 용액에서 수조로 물 분자가 알짜 이동한다.



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



몰분율이 클로로폼 60%, 다이클로로메테인 40%인 혼합 용액을 가열해 끓기 시작했을 때 그 온도에서 증기상의 몰분율은 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. 어떤 세포를 등장액에 넣었을 때 세포의 변화에 대해 바르게 설명한 것은?

- ① 세포 크기에는 아무 변화도 일어나지 않는다.
- ② 세포 안에서 밖으로는 물 분자가 이동하지 않는다.
- ③ 세포막을 중심으로 밖에서 안으로 이동하는 물 분자 수가 더 많다.
- ④ 반투막을 중심으로 용매의 알짜 이동은 (고농도)→(저농도)이므로 세포가 커진다.

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

9. 반응 속도론

9.1. 반응 속도의 정의

(1) 평균 반응 속도

$aA + bB \rightarrow cC$ 반응에서 시간 Δt 동안 농도 변화를 평균 반응 속도로 나타내면 다음과 같다.

$$v = -\frac{1}{a} \frac{\Delta[A]}{\Delta t} = -\frac{1}{b} \frac{\Delta[B]}{\Delta t} = \frac{1}{c} \frac{\Delta[C]}{\Delta t}$$

(2) 순간 반응 속도

$aA + bB \rightarrow cC$ 반응에서 시간 t 에서 순간 반응 속도를 나타내면 다음과 같다.

$$v = -\frac{1}{a} \frac{d[A]}{dt} = -\frac{1}{b} \frac{d[B]}{dt} = \frac{1}{c} \frac{d[C]}{dt}$$

9.2. 속도 법칙과 반응 차수

속도 법칙은 실험적으로 결정하고 $aA + bB \rightarrow cC$ 에서 $v = k[A]$ 이면 1차 반응, $v = k[A]^2$ 또는 $v = k[A][B]$ 와 같은 식이면 2차 반응이다.

9.3. 적분 속도 법칙

(1) 1차 반응의 적분 속도 법칙

$v = k[A] = -\frac{d[A]}{dt}$ 일 때 $\ln[A] = -kt + \ln[A]_0$ 또는 $[A] = [A]_0 e^{-kt}$ 이고, 반감기는 $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$ 이다.

(2) 2차 반응의 속도 법칙

$v = k[A]^2 = -\frac{d[A]}{dt}$ 에서 변수 분리해 적분하면 $\frac{1}{[A]} - \frac{1}{[A]_0} = kt$ 이고 반감기는 $t_{1/2} = \frac{1}{k[A]_0}$ 이다.

9.4. 반응 속도와 촉매, 온도 영향

(1) 활성화 에너지(E_a)

반응을 일으키는 데 필요한 최소한의 에너지를 뜻하며, 활성화 에너지 이상의 충돌 에너지를 가진 분자라고 다 반응하는 것은 아니다. 촉매를 넣으면 활성화 에너지가 감소해 반응 속도가 빨라진다.

(2) 균일 촉매와 불균일 촉매

균일 촉매는 반응물과 상이 같은 촉매로 촉매 농도가 반응 속도와 비례하고, 불균일 촉매는 반응물과 상이 다른 촉매로 백금, 팔라듐 같은 금속을 많이 사용한다.

(3) 효소

생체 촉매로서 단백질로 이루어져 있으며 온도와 pH에 따라 영향을 받는다. 촉매와 효소는 반응 경로를 변화시켜 반응 속도를 빠르게 만든다. 반응 속도를 감소시키는 것은 inhibitor(억제제)라 한다.

(4) 온도 영향 : 온도가 높을수록 활성화 에너지 이상에 도달하는 충돌 분자 수가 많아 반응 속도가 빨라진다. 온도가 10°C 높아지면 반응 속도는 약 2배 정도 빨라진다.

9.5. 아레니우스 식

실험적으로 얻어진 결과를 바탕으로 제안된 식이다.

$k = A \exp(-E_a/RT)$, k : 속도 상수, A : 아레니우스 인자

양변에 자연로그를 취해 얻은 식 $\ln k = -\frac{E_a}{R}\left(\frac{1}{T}\right) + \ln A$ 에서 $\ln k$ 를 $\frac{1}{T}$ 에 관하여 도시하면 활성화 에너지와 아레니우스 인자¹⁾를 구할 수 있다. 활성화 에너지는 그래프를 도시하여 얻은 기울기가 $-\frac{E_a}{R}$ 과 같다는 사실에서, 아레니우스 인자는 y 절편이 $\ln A$ 와 같다는 사실로부터 얻을 수 있다. 활성화 에너지가 클수록(반응 속도가 느릴수록) 그래프의 기울기는 가파르고, 촉매를 사용하면 기울기가 완만해진다.

9.6. 반응 메커니즘

(1) 단일 단계 반응

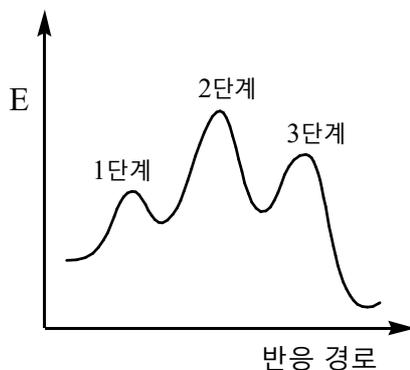
반응식에 나타난 화학종이 그대로 반응 속도에 반영되므로 실제 분자도를 알 수 있다.

(2) 분자도

반응 차수가 얼마인지를 알 수 있으며 일분자 반응, 이분자 반응, 삼분자 반응처럼 나타낸다.

(3) 반응 메커니즘

반응이 일어나는 단계를 모두 나타낸 것으로 각 단일 단계 반응 중 가장 느린 반응이 전체 반응 속도와 같고 이 단계를 속도 결정 단계라 한다. 속도 결정 단계는 에너지 도표에서 가장 높은 에너지 언덕을 넘어가는 단계를 나타내며, 전체 반응이 발열 반응이거나 흡열 반응인 것은 관계가 없다.



위와 같은 반응 메커니즘을 가지는 반응이라면 속도 결정 단계는 2단계, 전체 반응은 발열 반응이라는 것을 보여준다.

1) 정확하게는 아레니우스 인자에 자연로그를 취한 값($\ln A$)이다.

[연습 문제]

1. $aA \rightarrow bB$ 반응에 대한 반응 속도를 측정하여 이를 시간 대 $1/[A]$ 으로 도시하였더니 직선이 얻어졌다. 반응 차수를 결정하여라. [영남대]

- ① 0차 반응 ② 1차 반응 ③ 2차 반응
 ④ 3차 반응 ⑤ 알 수 없다.

2. 질소 산화물은 다양한데, 그 중 N_2O_5 는 다음과 같이 반응한다.



위와 같은 반응에서 반응속도(v)를 바르게 나타낸 것은?

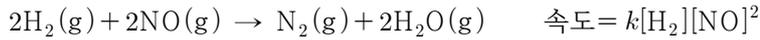
- ① $\frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t}$ ② $-\frac{1}{2} \frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t}$ ③ $\frac{\Delta[NO_2]}{\Delta t}$
 ④ $-\frac{1}{4} \frac{\Delta[N_2O_5]}{\Delta t}$ ⑤ $-\frac{\Delta[O_2]}{\Delta t}$

3. 기체 일산화질소와 산소를 반응시키면 빠르게 반응하여 이산화질소 기체를 생성한다. 서로 다른 농도를 혼합하여 다음의 실험 결과가 얻어졌다. 알맞은 속도 법칙은 무엇인가? [조선대]

실험	[NO] (mol/L)	[O ₂] (mol/L)	초기 속도(mol/L)
1	1×10^{-4}	1×10^{-4}	2.0×10^{-6}
2	1×10^{-4}	3×10^{-4}	6.0×10^{-6}
3	2×10^{-4}	3×10^{-4}	2.4×10^{-5}

- ① 반응 속도 = $k[O_2][NO]$ ② 반응 속도 = $k[O_2]^2[NO]$
 ③ 반응 속도 = $k[O_2][NO]^2$ ④ 반응 속도 = $k[O_2]^3[NO]$
 ⑤ 반응 속도 = $k[O_2]^2[NO]^2$

4. 아래 반응식과 속도 법칙을 근거로 제시된 메커니즘이 (가), (나), (다)이다. 이에 대한 설명으로 맞는 것은? [전남대]



<p>(가) 메커니즘</p> $\text{H}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{N}(\text{느림})$ $\text{N} + \text{NO} \rightarrow \text{N}_2 + \text{O}(\text{빠름})$ $\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}(\text{빠름})$ <p>(다) 메커니즘</p> $2\text{NO} \rightleftharpoons \text{N}_2\text{O}_2(\text{빠른 평형})$ $\text{N}_2\text{O}_2 + \text{H}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}(\text{느림})$ $\text{N}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}(\text{빠름})$	<p>(나) 메커니즘</p> $\text{H}_2 + 2\text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O}(\text{느림})$ $\text{N}_2\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}(\text{빠름})$
--	---

- ① 메커니즘 (가)와 (나)는 타당하다.
- ② 메커니즘 (나)와 (다)는 타당하다.
- ③ 메커니즘 (나)는 타당하지 않다.
- ④ 메커니즘 (다)는 타당하지 않다.

5. 화학반응식의 계수(a)와 속도법칙의 지수(n)와의 관계 중 옳은 것은? [덕성여대]

$$a\text{A} \rightarrow \text{생성물}, \quad \text{속도} = k[\text{A}]^n$$

- ① 화학 반응식의 계수 (a)가 속도 법칙에서 지수 (n)이다.
- ② 화학 반응식의 계수 (a)가 2개 이상인 경우 그 합이 속도 법칙의 지수 (n)이다.
- ③ 반응 차수가 0인 반응은 존재하지 않는다.
- ④ 화학 반응식의 계수 (a)와 속도 법칙에서의 지수 (n)사이엔 직접적인 관계는 없고 실험적으로 결정된다.

6. 어떤 반응이 $\text{A} \rightarrow \text{B}$ 일 때, 이 반응이 1차 반응이라고 하자. 이 반응의 반감기($t_{1/2}$)에 대해 다음 중 옳은 것은? (단, 초기 농도를 $[\text{A}]_0$ 라고 하고, k 는 속도상수이다.)

- ① $\frac{\ln 2}{k}$
- ② $\frac{k}{\ln 2}$
- ③ $\frac{1}{k[\text{A}]_0}$
- ④ $k[\text{A}]_0$

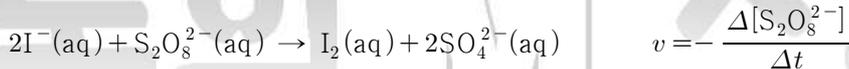
10. 내연기관은 고온, 고압 조건에서 나온 NO는 O₂와 반응해 다음과 같은 메커니즘을 통해 NO₂를 생성한다.



위 반응 메커니즘에 대한 다음 설명 중 옳지 않은 것은? (단, 전체 활성화 에너지는 E_a, 각 단계의 활성화 에너지는 E₁, E₂로 나타낸다.)

- ① 반응속도는 $v = k[\text{NO}]^2[\text{O}_2]$ 로 나타낼 수 있다.
- ② 전체 반응속도는 2단계 반응속도와 같다.
- ③ 가장 느린 단계를 속도결정단계라 부른다.
- ④ 전체 활성화 에너지(E_a)는 E₁ + E₂와 같다.

11. 다음 반응을 25°C에서 조사한 결과가 다음과 같다.



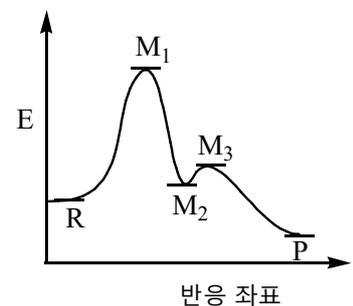
[I ⁻] ₀ (mol/L)	[S ₂ O ₈ ²⁻] ₀ (mol/L)	초기 속도 (mol/L · s)
0.080	0.040	12.5 × 10 ⁻⁶
0.040	0.040	6.25 × 10 ⁻⁶
0.080	0.020	6.25 × 10 ⁻⁶

이 반응의 속도식으로 타당한 것은?

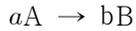
- ① $v = k[\text{I}^-][\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ ② $v = k[\text{I}^-]^2[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]$ ③ $v = k[\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^2$
- ④ $v = k[\text{I}^-][\text{S}_2\text{O}_8^{2-}]^2$ ⑤ $v = k[\text{I}^-]^2$

12. 오른쪽 그림은 반응 R → P 진행에 대하여 에너지 변화를 나타낸 것이다. 다음 중 이에 대한 설명으로 옳은 것은?

- ① 반응은 M₁ ~ M₃를 지나는 3단계로 이루어진다.
- ② 이 반응의 속도 결정 단계는 두 번째 단계이다.
- ③ 반응이 진행되면 계는 에너지를 잃어 냉각된다.
- ④ 이 반응의 활성화 에너지는 반응물이 M₁에 이르기 위해 필요한 에너지이다.



[13-15] 다음과 같은 일반식으로 일어나는 반응이 있다고 하자.



어떤 온도에서 초기 농도가 $[A]_0 = 2.00 \times 10^{-2} M$ 인 상태에서 시간에 따른 농도 변화를 측정해 시간에 대한 $\ln[A]$ 를 도시한 결과 직선을 얻었고 기울기는 $-2.97 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$ 으로 나타났다.

13. 이 반응은 몇 차 반응인가?

- ① 0차 ② 1차 ③ 2차 ④ 알 수 없다.

14. 이 반응에서 반응물 농도가 $1.00 \times 10^{-2} M$ 로 될 때까지 걸리는 시간은 얼마인가? (단, $\ln 2 = 0.693$, $\ln 10 = 2.30$, $\ln 2.97 = 1.09$ 이다.)

- ① 23.3분 ② 23.3초 ③ 1.78분 ④ 1.78초

15. 이 반응의 속도 상수 k 는 얼마인가?

- ① $5.94 \times 10^{-4} \text{min}^{-1}$ ② $5.94 \times 10^{-4} \text{s}^{-1}$
③ $2.97 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$ ④ $-2.97 \times 10^{-2} \text{min}^{-1}$

16. 생체 내에서 효소가 없으면 거의 모든 반응이 일어나지 않는다. 그만큼 효소는 중요한 역할을 차지한다. 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 효소의 활성도는 온도와 pH 영향을 받는다.
② 효소에 대한 Michaelis-Menten 메커니즘에서 평형 상태를 이용한다.
③ 초기 반응에서 기질 농도가 낮을 때는 반응속도가 거의 2차 반응이다.
④ 효소 분자가 포화 상태에 이르렀을 때 반응속도는 거의 1차 반응이다.

10. 화학 평형

10.1. 평형의 정의

(1) 가역 반응과 비가역 반응

가역 반응은 정반응과 역반응이 모두 일어나는 것이고, 비가역 반응은 정반응만 일어난다.

(2) 화학 평형의 정의

정반응 속도와 역반응 속도가 같을 때 평형에 이르렀다 하고 정반응과 역반응이 계속 일어나고 있는 동적 평형이다.

(3) 평형 상태와 정류 상태

평형 상태는 반응물과 생성물 사이에 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 것을 가리키고, 정류 상태는 중간 생성물의 소멸 속도와 생성 속도가 같아 중간 생성물의 농도가 일정하게 유지되는 경우이다.

10.2. 평형 상수

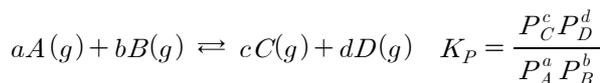
(1) 질량 작용 법칙

반응에 관여하는 물질의 농도를 반응 계수만큼 거듭제곱한 비로 나타내 평형 상수를 사용한다.



(2) 압력 평형 상수(K_p)

기체 반응의 경우 각 기체의 부분 압력이 몰 농도와 비례하므로 압력 평형 상수를 부분 압력으로 나타낼 수 있다. $P = \frac{nRT}{V} = MRT$ 이므로 $K_p = \frac{P_C^c P_D^d}{P_A^a P_B^b} = (RT)^{(a+b)-(c+d)} K$ 관계가 성립한다.



(3) 불균일 평형에서 평형 상수

불균일 평형에서 순수한 고체나 순수한 액체는 농도가 상수이므로 평형 상수에 포함시켜 계산한다.

(4) 용매가 반응에 관여할 때 평형 상수

보통의 용액에서 용매가 반응에 관여해도 용매의 농도는 거의 일정하기 때문에 용매 농도 역시 평형 상수에 포함시켜 계산한다.

(5) 2가지 이상의 평형이 연속된 형태

반응 메커니즘이 2가지 이상의 평형이 연속된 형태에서는 전체 반응의 평형 상수는 단계별 평형 상수의 곱과 같다. 반응이 2개 단계로 평형을 이루며 진행되는 반응이라면 전체 평형 상수는 다음과 같다.

$$K = K_1 K_2, \quad (K_1 : 1\text{단계 평형 상수}, K_2 : 2\text{단계 평형 상수})$$

10.3. 반응 지수

(1) 평형 상수 계산

반응 계수를 고려하여 계산한다. $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$ 반응에서 처음 반응물 농도를 1M라고 하면 $K = \frac{(2x)^2}{(1-x)(1-x)}$ 이다.

(2) 반응 진행 방향과 반응 지수(Q)

모든 반응은 평형을 향해 진행한다는 것을 염두에 두고 초기 농도를 이용해 계산한 반응 지수와 평형 상수를 비교해 반응 진행 방향을 예측한다.

$Q > K$: 정반응보다 역반응이 빠르게 진행되다가 평형에 이른다.

$Q = K$: 정반응 속도와 역반응 속도가 같아 우연히 평형 상태에 있는 경우다.

$Q < K$: 정반응이 역반응보다 빠르게 진행되다가 평형에 이른다.

10.4. 평형 이동

(1) 르 샤틀리에 원리

한 평형 상태에서 외부에서 가한 변화를 거스르는 방향으로 평형이 이동해 새 평형에 이른다.

(2) 농도, 압력 변화의 영향

외부에서 반응물을 첨가하면 반응물을 제거하는 방향으로, 생성물을 첨가하면 역반응쪽으로 평형이 이동한다. 반응 지수와 평형 상수를 비교해 판단한다. 기체 반응에서 용기에 압력을 가해 부피가 줄어들면 압력을 가하면 압력이 줄어드는 방향(분자 수가 줄어드는 방향)으로 평형이 이동한다.

(3) 온도 변화의 영향

발열 반응은 가열하면 평형 상수가 감소하므로 역반응쪽(열을 흡수하는 방향)으로 평형이 이동하고, 흡열 반응은 가열하면 정반응쪽(열을 흡수하는 쪽)으로 평형이 이동한다.

(4) 평형과 수득률

기체 반응에서 압력이 증가할 때 수득률이 증가하면 반응물 계수보다 생성물 계수가 작아 정반응 쪽으로 우세하게 진행되고, 계를 가열하여 수득률이 증가하면 정반응이 흡열 반응이다.

(5) 촉매와 수득률

촉매는 최종 수득률에 영향을 미치지 않고 반응 시간만 단축할 뿐이다.

10.5. 평형 상수의 열역학적 의미

(1) 기체 상 평형 반응과 자유 에너지

$G = G^\circ + nRT \ln P$ 에서 $\Delta G = \Delta G^\circ + RT \ln K_p$ 이므로 평형 상태는 $\Delta G = 0$ 인 것을 이용해 나타낼 수 있다. $\ln K = -\frac{\Delta G^\circ}{RT} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T} \right) + \frac{\Delta S^\circ}{R}$ 이다.

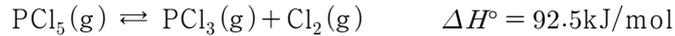
(2) 열역학적 의미

$\ln K$ 와 $1/T$ 를 도시하면 기울기로부터 반응의 ΔH° , y 절편에서 ΔS° 를 결정할 수 있다.

[연습 문제]

1. 다음과 같은 평형 반응을 생각해보자.

[전남대]



조건을 다음과 같이 변화시킬 때 평형은 어느 쪽으로 이동하는가?

- | | |
|---------------|-------------------------|
| (가) 온도를 올린다 | (나) 염소 기체를 반응 혼합물에 첨가한다 |
| (다) 압력을 증가시킨다 | (라) 촉매를 첨가한다. |

- ① (가) 왼쪽, (나) 오른쪽, (다) 변화없음, (라) 오른쪽
 ② (가) 왼쪽, (나) 왼쪽, (다) 오른쪽, (라) 변화없음
 ③ (가) 오른쪽, (나) 오른쪽, (다) 변화없음, (라) 왼쪽
 ④ (가) 오른쪽, (나) 왼쪽, (다) 왼쪽, (라) 변화없음

2. 다음 각 평형에 대한 평형 상수식을 바르게 나타내지 않은 것은?

- ① $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}(\text{l}) + 3\text{CO}_2(\text{g})$ $K_c = \frac{[\text{Fe}]^2[\text{CO}_2]^3}{[\text{CO}]^3}$
 ② $4\text{Fe}(\text{s}) + 3\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ $K_c = \frac{1}{[\text{O}_2]^3}$
 ③ $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{BaO}(\text{s}) + \text{SO}_3(\text{g})$ $K_p = P_{\text{SO}_3}$
 ④ $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ $K_{sp} = [\text{Ba}^{2+}][\text{SO}_4^{2-}]$

3. 평형과 그에 관련한 다음 설명 중 옳은 것은?

- ① 평형과 정류 상태는 같은 의미를 가진다.
 ② 반응물에서 평형으로 이르는 것과, 생성물에서 평형에 이르는 것은 다르다.
 ③ 평형은 반응속도가 0이 아니며, 정반응 속도와 역반응 속도가 같은 것이다.
 ④ 평형이 수용액에서 기체, 고체 상태가 모두 관여할 때, 평형은 압력에 영향을 받지 않는다.

4. 일산화질소(NO)는 자동차 엔진에서 고온 반응에 의해 생성된다.



2300K에서 N_2 와 O_2 초기 농도가 모두 1.40M라면 평형에 이르렀을 때 [NO]는 얼마인가?

- ① 0.0375 ② 0.0275 ③ 0.0750 ④ 0.0550

5. 평형에 도달했을 때, 외부 조건이 달라지면 새로운 평형으로 이동한다. 다음 각 반응이 평형 상태에서 오른쪽 괄호 안의 조작으로 평형 상수가 증가하는 경우는?

- ① $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$, $\Delta H = -92\text{kJ}$ (용기 압축)
② $\text{CaCO}_3(\text{s}) \rightleftharpoons \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$, $\Delta H = 178\text{kJ}$ (CaO 첨가)
③ $3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$, $\Delta H = -136 \text{ kJ/mol}$ (NO_2 첨가)
④ $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$, $\Delta H = -198\text{kJ}$ (계를 냉각)



6. $\text{CoCl}_4^{2-}(\text{aq}) + 6\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{2+}(\text{aq}) + 4\text{Cl}^-(\text{aq})$ 반응에 대하여 다음과 같이 조작했을 때 CoCl_4^{2-} 농도가 감소하는 것은? (단, 정반응은 발열 반응이다.)

- ① HCl을 가한다. ② 용액을 가열한다.
③ $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 를 가한다. ④ 용액을 물로 묽힌다.

7. 어떤 반응식을 제시하고 그 반응의 평형상수(K)를 알 때, 다음 설명 중 옳은 것은? (단, 반응 온도는 일정하게 유지하며, 초기 농도로 표시하는 반응지수는 Q 로 나타낸다.)

- ① $Q > K$ 일 때, 역반응 속도가 정반응 속도보다 빠르다.
② $Q < K$ 일 때, 정반응 속도가 역반응 속도보다 느리다.
③ $Q = K$ 이면, 정반응과 역반응 모두 정지해 평형에 이른다.
④ 일반적으로 $K < \frac{1}{1000}$ 인 반응은 생성물이 반응물보다 우세하다.

8. 다음 평형 반응 중에서 반응 용기 부피를 증가시켰을 때 평형이 오른쪽으로 이동하는 것을 모두 고른 것은?

- | | |
|--|--|
| (a) $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ | (b) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ |
| (c) $H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g)$ | (d) $COCl_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + Cl_2(g)$ |

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

9. 다음 자료는 $2NO(g) \rightleftharpoons N_2(g) + O_2(g)$ 반응에 대한 정반응 속도 상수(k_f)와 역반응 속도 상수(k_r)를 나타낸 것이다.

온도(K)	$k_f(M^{-1}s^{-1})$	$k_r(M^{-1}s^{-1})$
1400	0.29	1.1×10^{-6}
1500	1.3	1.4×10^{-5}

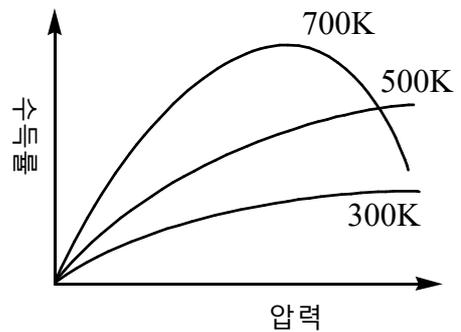
위 자료에서 알 수 있는 것을 보기에서 모두 고른 것은?

- <보 기>
- | |
|--|
| ㄱ. 정반응은 발열 반응이다.
ㄴ. 평형 상수는 $K_c = \frac{k_f}{k_r}$ 로 나타낼 수 있다.
ㄷ. 온도를 높이면 정반응 속도 증가율보다 역반응 속도 증가율이 더 크다. |
|--|

- ① ㄱ ② ㄱ, ㄴ ③ ㄴ, ㄷ ④ ㄱ, ㄴ, ㄷ

10. 그래프는 $aA(g) + bB(g) \rightleftharpoons cC(g) + dD(g) + QkJ$ 반응에 대해서 압력에 따라 수득률 변화를 나타낸 것이다. 그래프에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① $a + b > c + d$ 이다.
 ② 반응열(Q)은 $Q > 0$ 이다.
 ③ 고온, 고압 조건에서 생성물이 쉽게 분해한다.
 ④ 수득률은 반응에서 생성물이 생성된 정도를 나타낸다.



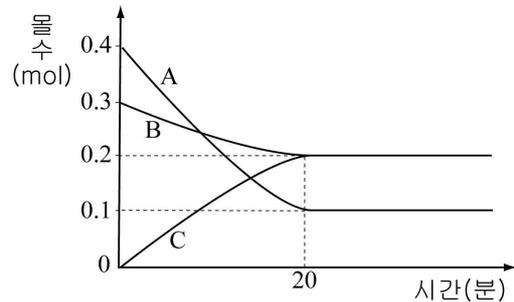
14. 평형 상태에서 괄호 안의 조작으로 평형을 오른쪽으로 이동시키는 것을 보기에서 있는 대로 고르면? (단, Hb는 헤모글로빈을 나타낸다.)

<보 기>

ㄱ. $\text{CH}_3\text{COOH}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{COO}^-(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq})$ (pH 증가) ㄴ. $2\text{CO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s})$ (용기 부피 감소) ㄷ. $\text{Hb}(\text{CO})_4(\text{aq}) + 4\text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons \text{Hb}(\text{O}_2)_4(\text{aq}) + 4\text{CO}(\text{g})$ (P_{CO} 증가)
--

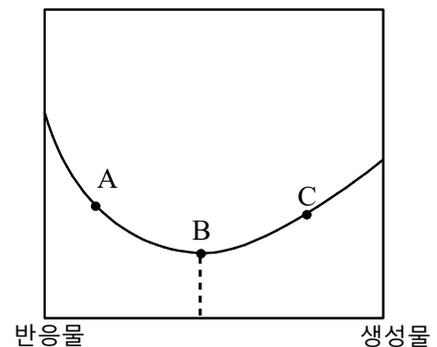
- ① ㄴ ② ㄷ ③ ㄱ, ㄴ ④ ㄱ, ㄷ

15. A 기체와 B 기체가 반응하면 C 기체가 생성된다. 그래프는 1 L의 용기 속에 0.4 몰의 A 기체와 0.3 몰의 B 기체를 넣고 온도를 $t^\circ\text{C}$ 로 일정하게 유지시켰을 때, 시간에 따른 각 기체의 몰수 변화를 나타낸 것이다. 위 그래프에 대한 해석으로 옳지 않은 것은? (단, 화학 반응식은 가장 간단한 정수비로 나타낸다.)



- ① 화학 반응식은 $3\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{C}(\text{g})$ 이다.
 ② $t^\circ\text{C}$ 에서 반응의 평형 상수(K)는 10이다.
 ③ 용기 속 기체의 전체 압력은 처음보다 감소한다.
 ④ 20 분 이후에는 정반응의 속도와 역반응의 속도가 같다.
 ⑤ $t^\circ\text{C}$ 에서 1 L의 용기에 A, B, C 기체를 0.1 몰씩 넣으면 정반응이 우세하게 일어난다.

16. 오른쪽 그림은 반응물, 생성물 비율에 대해 깁스 자유에너지 변화(ΔG)를 나타내고 있다. 가장 타당한 설명을 고른다면?



- ① 평형에 이르면 $\Delta G = 0$ 이다.
 ② 점 A에서 $\Delta G > 0$ 이다.
 ③ 점 B에서 $\Delta G^\circ = 0$ 이다.
 ④ 점 C에서 생성물 생성이 유리하다.