제7장 용 액

7.1 용해도
7.2 재결정
7.3 수화물
7.4 용액의 농도
7.5 용액의 총괄성
7.6 콜로이드용액

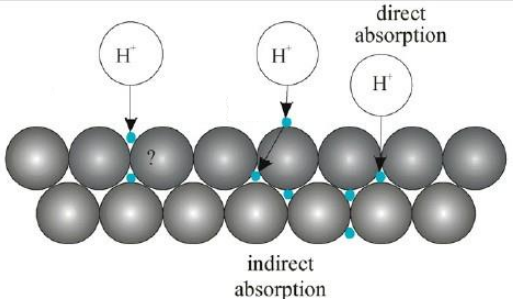
- **용액(solution):** 둘 이상의 구성 요소들이 균일하게 분포된 혼합물을 말함
- 녹이는데 사용되는 액체를 **용매(solvent)**라 하고, 녹는 물질을 **용질(solute)**이라 하며, 녹아 들어가는 현상을 **용해(dissociation)**라 함
- 용액은 혼합물이며, **용매가 물일 때의 용액을 수용액(aqueous solution)**일 함

표 7.1 용액의 종류

용매의 상태	용질의 상태	예
기 체	기 체	공 기
액 체	기 체	물 속의 이산화탄소
액 체	액 체	물 속의 알코올, 부동액
액 체	고 체	설탕물, 소금물
고 체	기 체	팔라듐 속의 기체
고 체	액 체	아말감
고 체	고 체	놋쇠, 합금



물+에틸렌글리콜



The hydrogen absorption in palladium



아말감(수은+금속)



놋쇠(구리+주석 or 아연.니켈 등)

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

7.1 용해도

- 용매 100 g에 녹을 수 있는 용질의 최대량을 g 수로 표시한 것을 그 온도에 있어서의 **용해도(solubility)**라 함
- 0°C에서 물 100 g에 NaCl 35.63 g까지 녹일 수 있으므로 0°C에서 물에 대한 소금의 용해도는 35.63이라 함
- 어떤 온도에서 용액의 용해도는 m이라 하면 포화용액의 중량 %는 다음과 같음

$$x = \frac{m}{100+m} \times 100$$

예제 30℃에서 어떤 물질은 그 포화용액 90 g 속에 30 g 녹아 있다. 30℃에서 이 물질의 용해도는?

풀이 수용액 중에서 용매만의 질량은 $90 - 30 = 60$(g)이다. 용매 60 g 속에 용질 30 g 녹아 있으므로, 용해도 x는 용매 100 g에 녹는 용질의 무게이므로,

$$60 : 30 = 100 : x \qquad \therefore x = 50$$

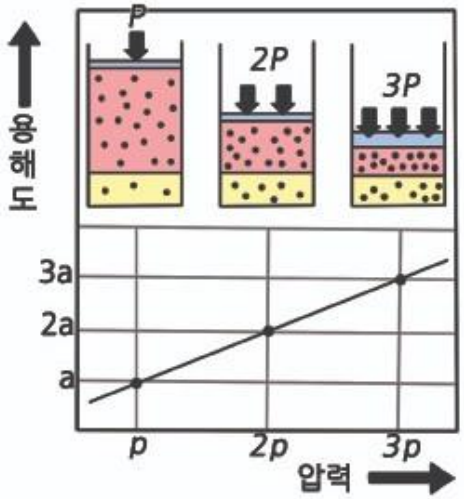
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(1) 물질의 용해성 구분

- 가용성(soluble): 물 100 ㎖에 1 g 이상이 녹는 물질
- 불용성(insoluble): 물 100 ㎖에 0.1 g 미만이 녹는 물질
- 난용성(sparingly soluble): 물 100 ㎖에 0.1~1 g 정도 녹는 물질

(2) 헨리의 법칙

- 어떤 온도에서 기체의 액체에 대한 용해도는 액체에 가해지는 그 기체의 압력에 비례함
- 일정한 온도에서 압력이 높을수록 더 많은 기체가 액체에 녹음



[헨리의 법칙]

표 7.2 산소의 용해도와 압력과의 관계 (0℃)

물에 접하는 산소의 압력	물 100 g에 녹는 산소의 양		
	질 량	용해도	0℃ 때의 부피
1 atm	6.8×10^{-3} g	6.8×10^{-3} g	5 ml(1 atm, 5 ml)
2 atm	$2\times6.8\times10^{-3}$ g	$2\times6.8\times10^{-3}$ g	5 ml(1 atm, 2×5 ml)
3 atm	$3\times6.8\times10^{-3}$ g	$3\times6.8\times10^{-3}$ g	5 ml(1 atm, 3×5 ml)

보일의 법칙: 온도가 일정할 경우, 기체의 부피와 압력은 반비례 함

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

7.2 재결정

- 온도의 변화에 따라 **용해도의 차**가 큰 물질이 불순물로 조금 들어 있을 때 그 물질을 될 수 있는 한 적은 양의 용매로 높은 온도에서 녹여서 진한 용액을 만듦
- 이것을 냉각하면, 녹아 있는 불순물의 양은 적으므로 포화에 도달하지 못하여 용액 속에 남고 그 물질만이 결정으로 석출됨. 이와 같은 것을 **재결정(recrystal)**이라 함
- 이와 같이 물질을 정제하는 법을 **재결정법**이라 함

예제 물에 대한 용해도가 50℃와 20℃에서 각각 40, 20인 염이 있다. 이 염은 50℃에서 포화용액 70 g을 20℃로 냉각시키면 몇 g의 염이 석출되겠는가?

풀이 50℃에서 포화 용액 140 g(물 100 g + 염 40 g)을 20℃로 냉각시키면 물 100 g은 그대로 있고, 20℃에서 물에 녹을 수 있는 양은 20 g이므로 석출되는 양은 20 g이다.
용액 140 g을 냉각해서 석출되는 양은 20 g이므로
용액 70 g을 냉각하여 석출되는 양을 x라고 하면

$$140 : 70 = 20 : x \qquad \therefore x = 10\,\mathrm{g}$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

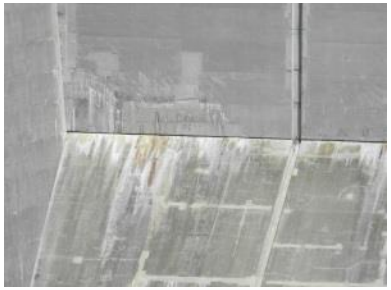
7.3 수화물

- 고체 물질이 결정으로 석출될 때 일정한 비율로 **물을 포함하면서 석출되는 물질**이 있음. 이때에 결정 속에 포함된 물을 결정수라 하며, 결정수를 포함한 물질을 **수화물(hydrate)**이라 함
- 수화물인 $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$ 속에 $10H_2O$를 결정수라 하며 $10H_2O$을 잃고 Na_2CO_3로 된 것을 **무수물(anhydrous)**이라 함

(1) 풍해: 결정수를 가진 결정이 공기 중에 방치하면서 서서히 결정수를 잃고 흰 분말로 되는 현상

$$Na_2CO_3 \cdot 10H_2O \xrightarrow{\text{풍해}} Na_2CO_3 \cdot H_2O + 9H_2O$$

(2) 조해: 물에 잘 녹는 고체 물질이 공기 중의 수분을 흡수하여 스스로 녹는 현상 (NaOH, $CaCl_2$, P_4O_{10}, $MgCl_2$(간수)-건조제로 이용)





WIKIPEDIA

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

7.4 용액의 농도

(1) 몰분율(mole fraction): 모든 물질들의 전체 몰수에 대한 각 성분의 몰 수의 비로 나눈값

$$X_A = \frac{n_A}{n_A + n_B + \cdots} \qquad X_B = \frac{n_B}{n_A + n_B + \cdots}$$

X_A는 성분 A의 몰 분율
n_A, n_B는 각 성분 A, B의 몰 수
모든 성분들의 몰 분율의 합은 1

문제 7.1 물 18.0 g, 아세트산 120 g 및 에틸알코올 138 g으로 이루어진 혼합물에서 아세트산의 몰분율을 구하여라. 물(H_2O), 아세트산(CH_3COOH), 에틸알코올(C_2H_5OH)

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(2) 용질의 질량퍼센트(% 농도)

- 용액 100 g 속에 들어있는 용질의 질량(g)을 백분율로 나타낸 것

$$\text{용질의 질량퍼센트} = \frac{\text{용질의 질량}}{\text{용액의 질량}} \times 100\%$$

- 용질의 질량퍼센트가 3.5%인 염화나트륨 수용액 = 용액 100.0 g에 NaCl 3.5 g이 들어있음을 의미

① **질량/질량 퍼센트**

- 화학실험에서 퍼센트 농도가 사용될 때 가장 주로 사용되는 것
- 질량/질량 퍼센트(W/W) 퍼센트(weight/weight percent)는 용액 100 g 당 용질의 g 수
- 10%(w/w) NaOH 용액은 100 g의 용액당 10 g의 NaOH를 가지고 있음

② **부피/부피 퍼센트**

- 용질과 용매가 모두 **액체**일 때 용액의 농도를 나타낸 것
- 부피/부피(V/V) 퍼센트(volume/volume percent)는 용액 100부피 당 용질의 부피
- 10%(V/V) 에틸알코올 용액은 100 ㎖ 용액에 10 ㎖ 의 에틸알코올이 포함된 것

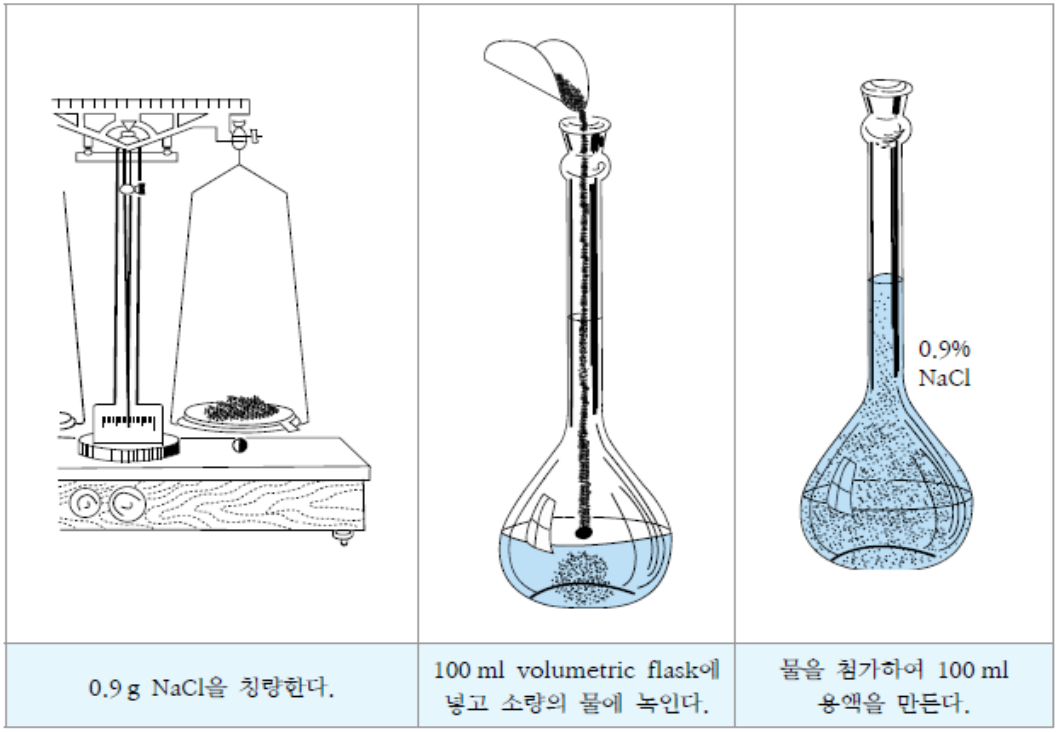
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

③ 질량/부피 퍼센트

- 임상적 보고에 자주 발견됨
- 질량/부피(W/V) 퍼센트(weight/volume percent)는 용액 100ml 당 용질의 g수
- 10%(W/V) NaOH 용액은 100 ml의 용액에 10 g의 NaOH를 포함한 것

예제 용액 200.0 ml에 용해되어 있는 10.0 g 포도당의 %(W/V) 농도를 구하여라.

풀이 $\frac{10.0\text{g 용질}}{200.0\text{ml 용액}} \times 100\% = 5.00\%(\text{W/V})$



0.9 g NaCl을 칭량한다.	100 ml volumetric flask에 넣고 소량의 물에 녹인다.	물을 첨가하여 100 ml 용액을 만든다.

그림 7.1 식염수(0.9% NaCl) 100 ml를 만드는 과정

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

문제 7.2 설탕물 90 g에 설탕 10 g을 녹인 용액의 %(W/W) 농도를 구하여라.

문제 7.3 수용액 80.0 ml에 용해되어 있는 10.0 ml의 에틸알콜에 대한 %(V/V) 농도를 구하여라.

문제 7.4 다음 용액을 어떻게 만들어야 하는가? (기준 500 ㎖)

(1) 10%(W/V) NaOH 500 g
(2) 20.0%(V/V) 메탄올 500 ml

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(3) 몰랄농도(mol/kg)

- 용매 1 kg 중에 녹아있는 용질의 몰수를 나타낸 것
- 기호는 m으로 나타냄

$$m = \frac{\text{용질의 몰 수}}{\text{용매의 질량(kg)}}$$

- 온도변화에 영향을 받지 않음
- 온도가 변화해도 몰랄농도는 변화하지 않으므로 용액의 어느점 내림, 끓는점 오름, 삼투압 측정에 이용됨
- 예) 물 500 g에 수산화나트륨 4.0 g이 녹아 있다면 몰랄농도는

  수산화나트륨(NaOH) 몰수 40 (4.0 g X 1 몰/40 g)

$$m = \frac{0.1\,\text{몰}}{0.5\,\text{kg}} = 0.2\,\text{m} \quad \text{NaOH}$$

문제 7.5 물 200.0 g에 염화나트륨(NaCl) 5.85 g이 녹아있는 용액의 몰랄농도를 구하여라.

(4) 몰농도(M) (mol/ℓ)

- 용액 1ℓ 당 들어 있는 용질의 몰 수를 나타낸 농도를 몰농도(molarity)

$$\text{몰농도(M)} = \frac{\text{용질의 몰 수}}{\text{용액의 부피}(\ell)}$$

- 1M 용액은 충분한 물에 용질의 1몰이 포함되어 1ℓ의 용액으로 만든 것
- 6.0M HCl이라 표기된 병은 1ℓ의 용액에 6.0몰의 HCl을 포함
- 예) 물에 0.25몰의 수산화나트륨을 녹여 500ml 용액으로 하면 몰농도는

$$\frac{0.25\text{몰 NaOH}}{0.5\ell \text{ 용액}} = 0.5\text{M NaOH}$$

예제 물과 수산화나트륨을 사용하여 0.500 M NaOH 용액 0.150 ℓ를 어떻게 만드는가?

풀이 먼저 필요한 NaOH의 몰수를 계산한다.

$$\text{필요한 NaOH의 몰 수} = 0.150\ell \times \frac{0.500\,\text{mol NaOH}}{1\ell} = 0.0750\,\text{mol NaOH}$$

$$\text{필요한 NaOH의 질량} = 0.0750\,\text{mol} \times \frac{40.0\,\text{g}}{1\,\text{mol}} = 3.00\,\text{g}$$

NaOH 3.00 g을 평량한 후, 물에 녹여 용액의 부피를 0.150 ℓ로 만든다. (150 mℓ)

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

문제 7.6 H_2SO_4 4.90 g이 녹아있는 500 ml 수용액의 몰 농도는 얼마인가?

문제 7.7 NaOH 100.0 g을 물에 녹여 1.00 ℓ의 용액으로 만들었을 때 몰 농도는 얼마인가?

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(5) 노르말 농도(N)

– 1ℓ의 용액 속에 들어있는 산 또는 염기의 그램당량수를 노르말 농도 (normality) 라 함

당량(Equivalents, Eq)

- 어떤 반응에서 임의로 그 양이 고정된 다른 물질과 정확히 반응하거나 또는 그 물질과 결합가가 같은 물질의 양을 나타내는 화학용어
- 물질들은 화학량론적으로, 즉 화학적으로 등가인 비율로 서로 반응하며 원소에 대해서는 수소 1g 혹은 산소 8g과 결합하거나 이와 치환되는 양
- 간단히 반응하는 상대물질 1몰에 대응하여 반응에 참여하는 양
- 이온 화합물의 농도를 설명하는데 사용 (당량 = 원자량/원자가)
- 1당량 = 양전하 또는 음전하 1몰
- Na^+ 이온 1몰 = 1몰의 양전하를 가짐. 1당량
- Mg^{2+} 이온 1몰 = 1몰의 양전하를 가짐. Mg^{2+} = 2당량이고 Mg^{2+} ½몰이 1당량
- HCO_3^- 1몰은 1몰의 음전하를 가짐. 1당량

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

그램당량 (Gram equivalent weight)

- 1당량에 포함된 물질의 g 질량
- 그램당량 = 물질의 g/1당량(Eq)
- Na^+의 그램당량 = 23 g(1몰 Na^+ = 1 Eq)
- Mg^{2+}의 그램당량 = 24 g/2 당량 = 12 g (1/2 몰 Mg^{2+} = 1 Eq)

밀리당량 (Milliequivalents. mEq) 1000 밀리당량 (mEq) = 1 당량 (Eq)

- 원자 및 이온의 당량 = 원자량/원자가
  - Ca^{2+}의 당량 = 40/2 = 20
  - Mg^{2+}의 당량 = 24/2 = 12

- 분자(화합물)의 당량 = 분자량/양이온의 가수
  - $CaCO_3$의 당량 = 100/2 = 50 ($CaCO_3 \rightarrow Ca^{2+} + CO_3^{2-}$)
  - $CaSO_4$의 당량 = 136/2 = 68 ($CaSO_4 \rightarrow Ca^{2+} + SO_4^{2-}$)

- 산의 당량 = 분자량/수소이온 (H^+)의 수
  - H_2SO_4의 당량 = 98/2 ($H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$)

- 염기의 당량 = 분자량/히드록시 이온 (OH^-)의 수
  - $Ca(OH)_2$의 당량 = 74/2 = 37 ($Ca(OH)_2 \rightarrow Ca^{2+} + 2OH^-$)

원자 및 이온의 당량

단순히 원자량을 그 원자의 원자가로 나눈 값이 당량이 된다.

원자 및 이온의 당량 = 원자량/원자가

종류	g 원자량	g 당량(eq)	meq
Ca^{+2}(칼슘)	40	40/2=20g	20mg
Mg^{+2}(마그네슘)	24	24/2=12g	12mg
Na^{+}(나트륨)	23	23/1=23g	23mg
OH^{-}(수산기)	17	17/1=17g	17mg
CO_3^{-2}(탄산염)	60	60/2=30g	30mg
HCO_3^{-}(중탄산염)	61	61/1=61g	61mg
Cl^{-}(염소이온)	35.5	35.5/1=35.5g	35.5mg
SO_4^{-2}(황산염)	96	96/2=48g	48mg

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

분자(화합물)의 당량

분자량을 분자식 내에 들어 있는 양이온의 원자가로 나눈 값.

분자(화합물)의 당량 = 분자량/양이온의 가수

종 류	g분자량	g당량	meq
H_2SO_4(황산)	98g	98/2=49g	49mg
HCl(염산)	36.5g	36.5/1=36.5g	36.5mg
NaOH(수산화나트륨)	40g	40/1=40g	40mg
$Ca(OH)_2$(수산화칼슘)	74g	74/2=37g	37mg
$CaCO_3$(탄산칼슘)	100g	100/2=50g	50mg

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

예제 1.00 ℓ 용액에 HCl 50.0 g을 포함하는 HCl의 노르말 농도는 얼마인가?

풀이 노르말 농도는 리터당 당량수이므로 HCl 1몰의 당량을 구하면 된다.
50.0 g 속의 HCl 당량수를 계산하면

$$50.0\,\text{g HCl} \times \frac{1\text{당량 HCl}}{36.5\,\text{g Hcl}} = 1.37\text{당량 HCl}$$

노르말 농도를 구한다.

$$\text{N} = \frac{1.37\text{당량 HCl}}{1.00\,\ell} = 1.37\text{당량 HCl}/\ell$$

문제 7.8 1.50 N-H_2SO_4 1.00 ℓ에 포함된 H_2SO_4는 몇 g인가?

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(6) 혼합용액의 농도

– 용질의 전체 몰 수는 변하지 않고 농도와 부피만 변함

– M몰 농도용액 V ℓ와 M' 몰 농도용액 V' 를 혼합할 경우 용질의 전체 몰수는 다음과 같음

$$\text{용질의 전체 몰 수} = MV + M'V' = M''(V + V')$$

예제 2 M–NaOH 용액 5 ℓ에 4 M–NaOH 5 ℓ를 혼합하였다. 혼합한 용액의 몰농도는 얼마인가?

풀이

$$MV + M'V' = M''(V + V')$$
$$2 \times 5 + 4 \times 5 = M''(5+5)$$
$$\therefore M'' = 3$$

문제 7.9 1.0 M NaCl 용액 300 ml와 2.0 M NaCl 용액 200 ml를 혼합한 용액의 몰농도를 구하여라.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(7) 농도의 희석

– 농축된 용액으로부터 필요한 용액을 만드는 것

– 희석된 용액은 농축된 용액보다 불안정하고, 농축된 용액에서 다양한 농도를 만드는 것이 가능

– **농도와 부피의 곱은 일정**

– M몰 농도용액 V ℓ에 물을 가해 M'몰 농도용액을 V' ℓ로 희석하면 다음식이 성립됨

$$MV = M'V'$$

예제 12 M–HCl 30 ml를 희석하여 6 M–HCl 용액으로 만들려면?

풀이 $MV = M'V'$에서 $12 \times 30 = 6 \times V'$ $V' = 60\text{ml}$

∴ 12M–HCl용액 30 ml에 물 30 ml를 가한다.

문제 7.10 50.0 ml 15.0%(W/V) 용액을 10.0%(W/V) 용액으로 희석시켰을 때 최종부피는 얼마인가?

(8) 중화적정

– 산과 염기가 반응하여 중화가 일어날 때, 양적관계를 이용하여 농도를 모르는 산, 염기의 농도를 결정하는 것을 중화적정이라고 함

– M몰 농도의 n가 산 Vmℓ를 중화시키는데, M' 몰농도, n'가 염기 V' mℓ가 필요했을 경우 H^+의 몰 수와 OH^-의 몰수가 같으므로

$$nM \times \frac{V}{1000} = n'M' \times \frac{V'}{1000} \qquad (n \times V) = (n' \times V')$$

– n'가의 염기 Wg을 중화시키는데 M몰 농도, n가산, vmℓ가 필요했을 경우 산이 내는 H^+의 몰 수와 염기가 내는 OH^-의 몰수는 같으므로 다음 식이 성립함

$$nM \times \frac{V}{1000} = \frac{Wg}{\text{화학식량}} \times n'$$

예제

(1) 0.1M 황산을 0.1M 암모니아수로 적정할 경우 중화점에서 pH는 ( )이다.

(2) 0.1M 아세트산 수용액을 0.1M 수산화 나트륨으로 적정할 경우 중화점에서 pH는 ( )이다.

풀이

강산과 약 염기로 적정할 때는 pH가 7보다 작고, 약산과 강염기로 적정할 때 중화점은 pH가 7보다 크다.

문제 7.11

1 M H_2SO_4 20 ml를 중화하는데 1 M NaOH 몇 ml가 필요한가?

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(9) %농도와 M농도의 환산

- 용액 1ℓ 중의 용질의 몰수

  = (1000 X 비중 X %농도/100) / 분자량

예제 96%의 진한 황산의 비중은 1.84이다. 이때 몰농도와 노르말농도는 얼마인가?

풀이

$$M = (1000 \times 1.84 \times 96 / 100) \div 98 = 18.02\,M$$
$$N = (1000 \times 1.84 \times 96 / 100) \div 49 = 36.04\,N$$

문제 7.12 50%의 황산용액의 비중은 1.40이다. 이 용액의 몰농도와 노르말농도를 구하여라.

(10) ppm과 ppb

- 용액이 매우 희석되었을 때 ppm, ppb의 **농도 단위**가 쓰임
- parts per million (백만분의 일)과 parts per billion (10억분의 일)
- 1 ppm = 1 ℓ 용액에 1 ㎎의 용질이 들어있는 것
- 1 ppb = 1 ℓ 용액에 1 ㎍의 용질이 들어있는 것

$$1\,\text{ppm} = \frac{1\,\text{mg 용질}}{1\,\ell\ \text{용액}} \qquad 1\,\text{ppb} = \frac{1\,\mu\text{g 용질}}{1\,\ell\ \text{용액}}$$

예제 분유는 탈수시킨 우유로부터 만들어진다. 1972년에 깡통분유에 3.2 ppm의 납이 깡통을 제조시 사용되는 땜납으로부터 용해되어 있음을 발견하였다. 이 농도에서 분유(470 ml)에 존재하는 납은 몇 g이 되겠는가?

풀이 이 농도 단위에 연관된 두 변환인자는

$$\frac{3.2\,\text{mg Pb}}{1000\,\text{ml 우유}} \quad \text{그리고} \quad \frac{1000\,\text{ml 우유}}{3.2\,\text{mg Pb}}$$

그러므로, 탈수 우유의 470ml에는

$$470\,\text{ml 우유} \times \frac{3.2\,\text{mg Pb}}{1000\,\text{ml 우유}} = 0.0015\,\text{g Pb}$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY


TAKE A BREAK

7.5 용액의 총괄성

• 총괄성(collative properties)

– 용질의 종류나 화학적 특성에는 상관 없이 용질의 입자 개수(몰 수)에 의존하는 성질

– 용액에 용질의 수가 많을수록 물의 어는점은 낮아지고 끓는점은 높아짐

(1) 증기압력 내림

– 증기 압력: 액체의 표면에서 증발 속도와 응축 속도가 같아져서 평형을 이루었을 때 기화한 증기가 나타내는 압력

– 순수한 용매는 일정한 온도에서 일정한 증기 압력을 나타냄

– 설탕과 같은 비휘발성 용질을 녹여 용액을 만들게 되면, 용질입자가 용매 표면의 일부를 막아 용매 분자가 증발하는 것을 방해함

– 따라서 용액의 증기 압력은 순수한 용매 때보다 낮아지게 됨

– 이것을 용액의 증기압력 내림(vapor pressure lowering)이라고 함

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- 20°C의 물에 에틸렌글리콜을 넣었다고 가정
  - 에틸렌글리콜은 20°C에서 매우 낮은 증기압력을 가짐
  - 물은 이 온도에서17.54 mmHg의 증기압력을 가짐
  - 에틸렌글리콜을 물에 가하면 물의 증기압력은 낮아짐
  - 예로 0.0100 몰분율(molar fraction)의 에틸렌글리콜이 들어있는 수용액은 17.36 mmHg의 증기압력을 가짐
  - 용액의 증기압력 내림은 순수한 용매의 증기압력과 용액의 증기압력의 차이

$$\text{증기압력 내림} = 17.54 - 17.36 = 0.18\ \text{mmHg}$$

- Raoult(라울)의 법칙
  - 용액의 증기압력 P는 순수한 용매의 증기압력 P'에, 용액 속에 용매의 몰분율 x를 곱한 것과 같음

$$P = P^{\circ} X$$

  - 용액에서 x는 항상 1보다 작아야 하므로 Raoult의 법칙에 의해 비휘발성 용질을 포함하는 용액의 증기압력은 순수한 용매의 증기압력보다 작음

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

- **Raoult(라울)의 법칙**

  – 용액의 증기압력 P는 순수한 용매의 증기압력 P'에, 용액 속에 용매의 몰분율 x를 곱한 것과 같음

$$P = P^{\circ} X$$

예제 Raoult의 법칙을 이용하여 25℃의 물 23.4 g에 글루코오스, $C_6H_{12}O_6$ 5.40g을 녹인 증기압력 내림을 계산하여라. 25℃에서 물의 증기압력은 23.8 mmHg이고 글루코오스의 증기압력은 무시한다.

풀이 글루코오스 $5.40\,g \times \frac{1\,mol}{180.2\,g} = 0.03\,mol$,

물 $23.4\,g \times \frac{1\,mol}{18.0\,g} = 1.30\,mol$

물의 몰분율 $= \frac{1.30\,mol}{1.33\,mol}$은 0.977이였다. 그러므로 증기압력은

$$P = P^{\circ} X$$

$$P = 23.8 \times 0.977 = 23.3\,mmHg$$

증기압력 내림은

$$P^{\circ} - P = 23.8 - 23.3 = 0.5\,mmHg$$

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

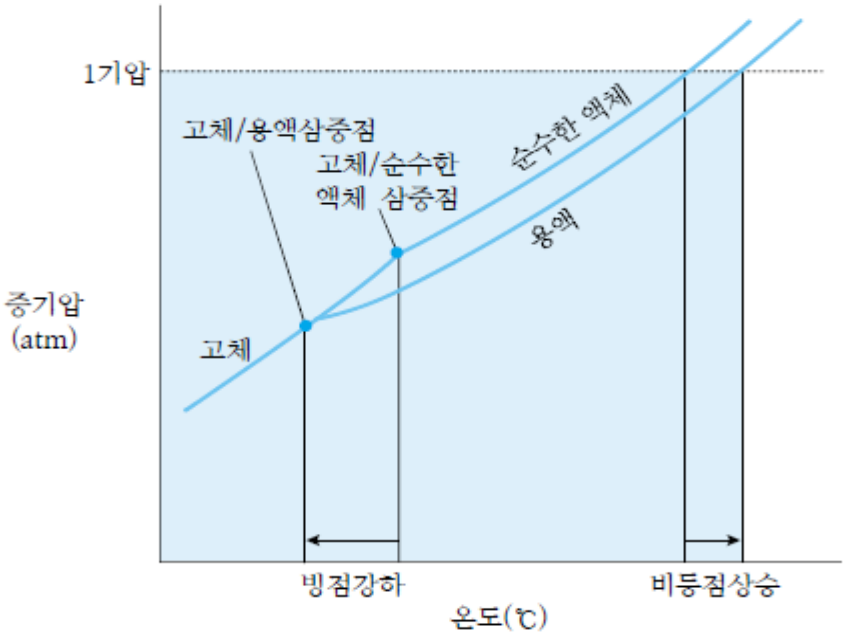
(2) 끓는점 오름(boiling-point elevation)과 어는점 내림 (freezing-point depression)

– 용액은 순수한 용매보다 높은 온도에서 끓고, 낮은 온도에서 언다.

– 비휘발성 용질이 용액에 존재하면 순수한 물질의 끓는점에서도 증기압이 대기압보다 작으므로 용액의 끓는점은 순수한 액체보다 높아짐 (끓는점 오름)

끓는점 오름 ΔT_b = 용액의 끓는점 – 순수한 용매 끓는점

어는점 내림 ΔT_f = 순수한 용매 어는점 – 용액의 어는점



비휘발성 용액이 들어있는 용액의 끓는점은 순수한 용매의 끓는점보다 더 높아지며 어는점은 더 감소한다.

그림 7.2 순수한 액체와 용액의 증기압력 곡선

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

표 7.3 끓는점 오름과 어는점 내림의 상수

용 액	화 학 식	빙점(℃)	비등점(℃)	K_f(℃/m)	K_b(℃/m)
아 세 트 산	CH_3COOH	16.6	118.5	3.59	3.08
벤 젠	C_6H_6	5.455	80.2	5.065	2.61
장 뇌	$C_{10}H_{16}O$	179.5	–	40	–
이황화탄소	CS_2	–	46.3	–	2.40
에 탄 올	C_2H_5OH	–	78.3	–	1.07
물	H_2O	0.000	100.000	1.858	0.52

- **끓는점 오름은 용액의 몰랄농도 m에 정비례 함**

$\Delta T_b = K_b \times m$ (K_b: 몰랄 오름 상수, m: 몰랄농도)

- **삼중점(액체와 고체의 증기압력 곡선의 교차점)은 순수한 용매에서 용액으로 갈수록 더 낮은 온도로 이동함 (어는점 내림)**
  - **어는점 내림은 용액의 몰랄농도 m에 정비례 함**

$\Delta T_f = K_f \times m$ (K_f: 몰랄 내림 상수)

예제 글루코오스 $C_6H_{12}O_6$ 수용액의 농도는 0.15 m이다. 이 용액의 끓는점과 어는점은 얼마인가?

풀이 표 7.3을 보면 물에 대한 K_b와 K_f는 각각 0.521℃/m과 1.86℃/m이다. 그러므로

$\Delta T_b = K_b \times m = 0.521℃/m \times 0.15m = 0.078℃$

$\Delta T_f = K_f \times m = 1.86℃/m \times 0.15m = 0.279℃$

따라서 용액의 끓는점은 100.000 + 0.078 = 100.078℃이며 어는점은 0.000 − 0.279 = −0.279℃이다.

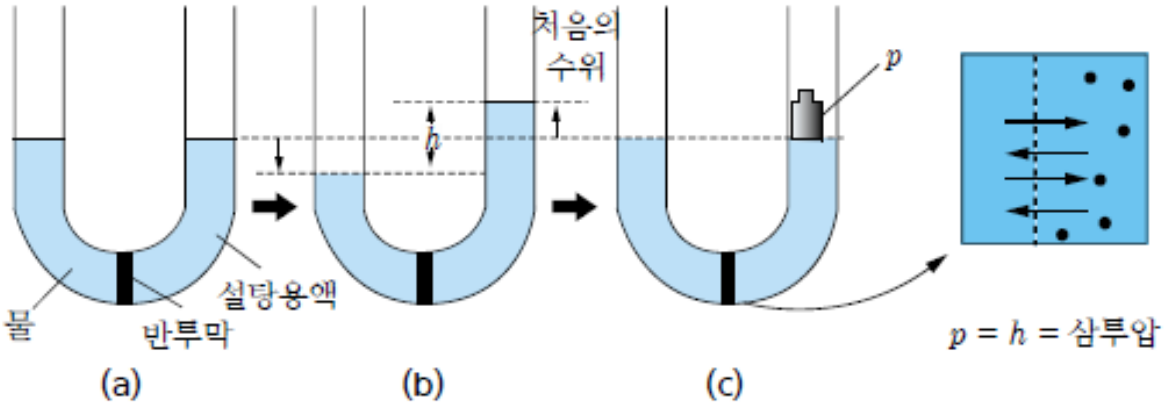
※ ΔT_b는 더해주고 ΔT_f는 빼준 것에 유의하여라.

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(3) 삼투압

• 삼투 현상(Osmosis): 반투막(용매는 통과시키고 용질은 통과시키지 않음)을 통하여 용매가 용액으로 흘러 들어가는 것. 두 용액의 농도가 같아지려고 함

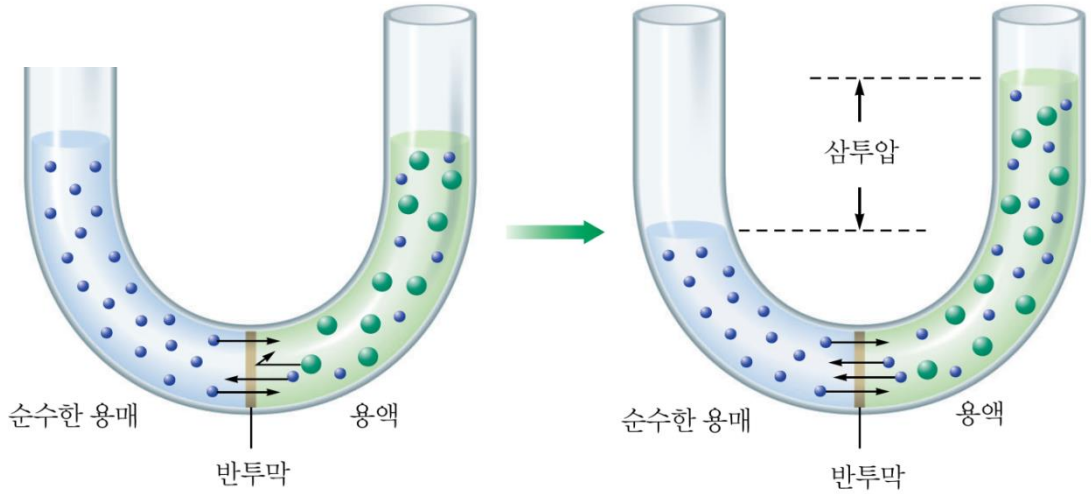
• 삼투압(Osmotic pressure): 반투막을 통하여 용매가 용액으로 흘러 들어감으로써 생기는 압력. 즉, 삼투현상을 막는데 필요한 압력의 양



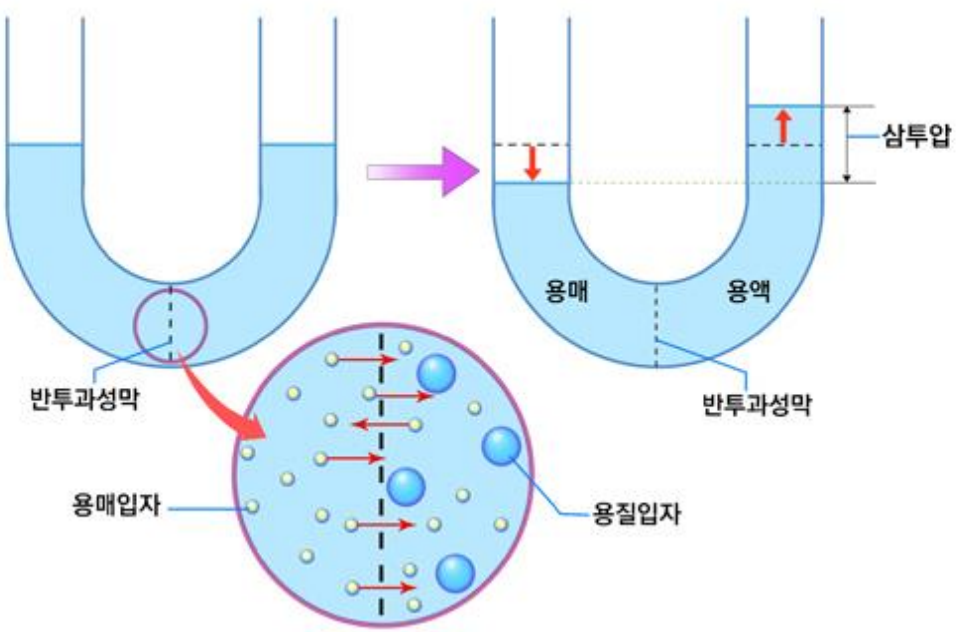
용액과 용매가 반투막에 의해 분리되었을 때, 삼투 현상으로 용액 쪽의 높이가 용매 쪽보다 높아진다. 그런데 용액 쪽에 더 큰 압력을 가하면 용매가 용액 쪽으로 흘러 들어가는 것을 막을 수 있는데, 이 때 가하는 여분의 압력을 삼투압이라 한다.

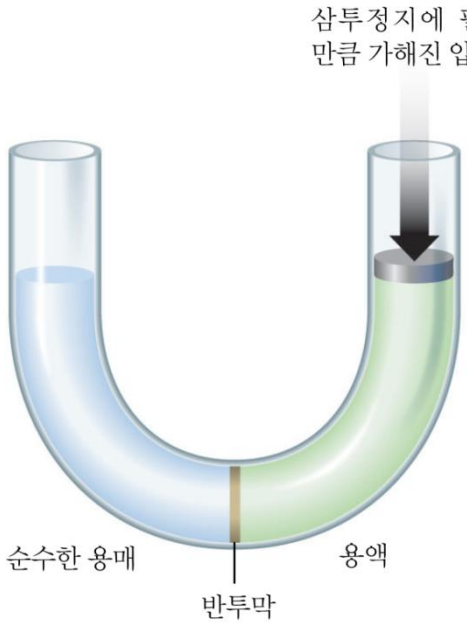
그림 7.3 삼투압 측정

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

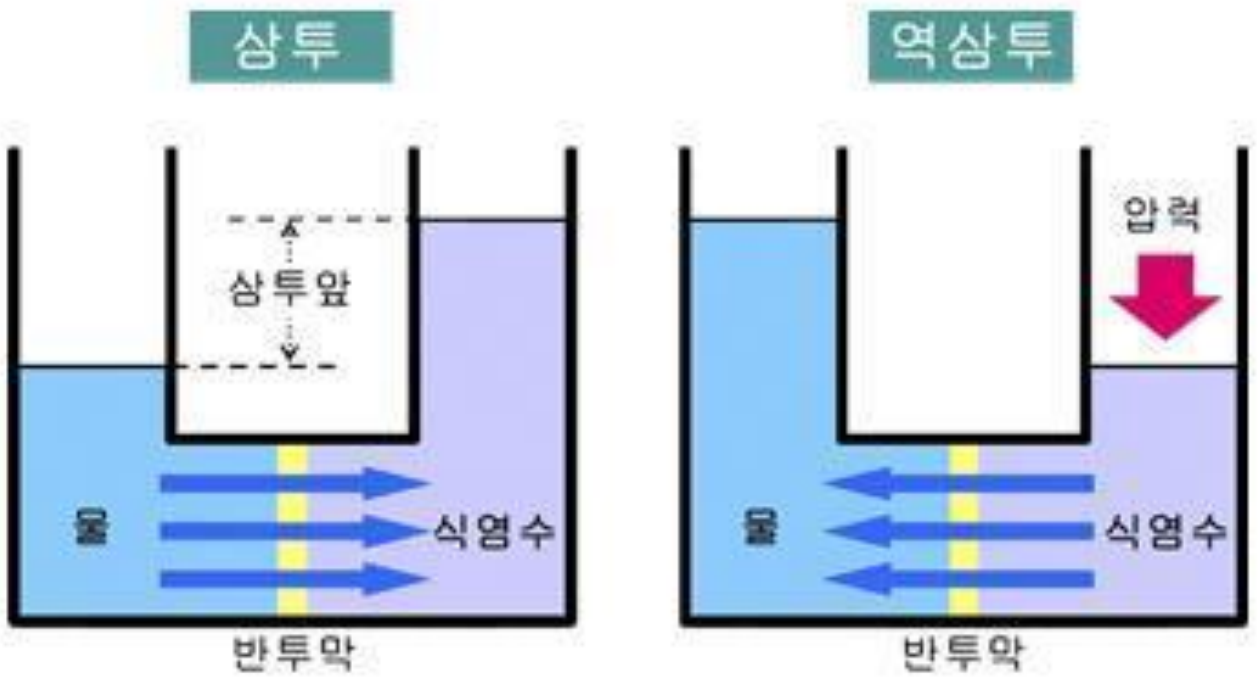


삼투 현상을 막기 위한 최소 압력: 용액의 삼투압





중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY



중원대학교
JUNGWON UNIVERSITY

- 묽은 용액의 삼투압은 용매나 용질의 종류에 관계없이 **용액의 몰수(*n*)와 절대온도(*T*)에 비례하고, 용액의 부피(*V*)에 반비례** 함
- 이것을 van't Hoff's law 또는 **삼투압 법칙**이라고 함

$$\pi V = nRT$$ (V: 용액의 부피, n: 용질의 몰수, R: 기체상수 0.0821, T: 절대온도)

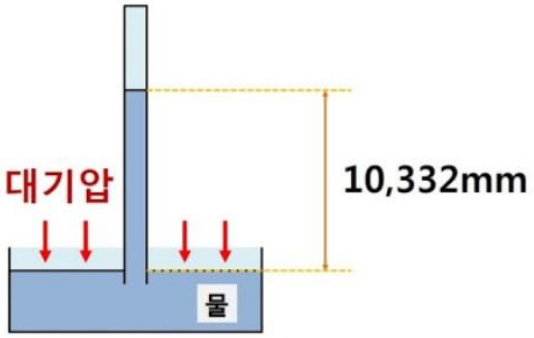
$$\pi V = \frac{W}{M}RT$$ (V: 용액의 부피, n=W/M, R: 기체상수 0.0821, T: 절대온도)

- 27°C에서 1ℓ 당 0.10몰의 용질이 녹아 있다면 이 용액의 삼투압력은?

$$\pi = (\frac{n}{V})RT = (0.10\,\mathrm{mol}/\ell) \times (0.0821\,\ell \cdot \mathrm{atm}/\mathrm{mol} \cdot \mathrm{K}) \times (27+273)\mathrm{K}$$
$$= 2.46\,\mathrm{atm}$$

- 수주로 환산하면 (수은 1 atm = 76 cm)

$$2.46\,\mathrm{atm} \times \frac{10.33\,\mathrm{m}\ \ \mathrm{H_2O}}{1\,\mathrm{atm}} = 25.4\,\mathrm{m}\ \ \mathrm{H_2O}$$

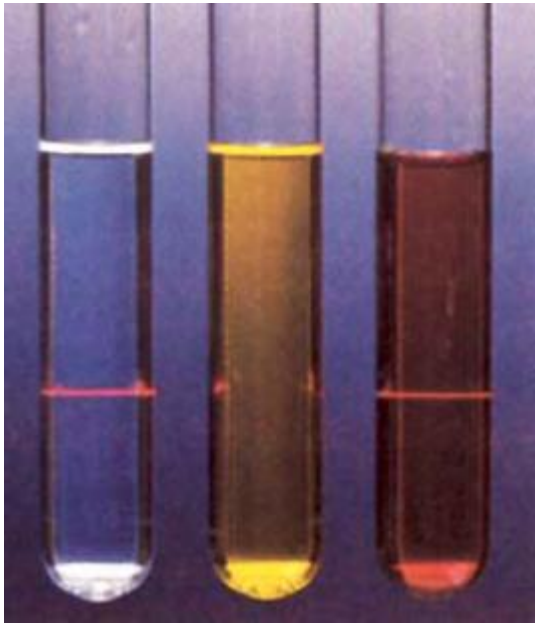


7.6 콜로이드 용액

- 진흙물을 휘젖지 않고 내버려두면 굵은 입자는 곧 가라앉고 작은 입자는 오랜 시간을 두어도 물에 부유함
- 이러한 입자들은 분리하기는 매우 어렵고 더 작은 입자들은 여과로도 분리되지 않음
- 이러한 상태를 콜로이드(colloid)라 함

(1) 틴들 현상 (tyndall phenomenon)

- 콜로이드 입자에 의한 빛의 산란
- 광선이 지나간 방향을 관찰 가능



콜로이드 용액 콜로이드

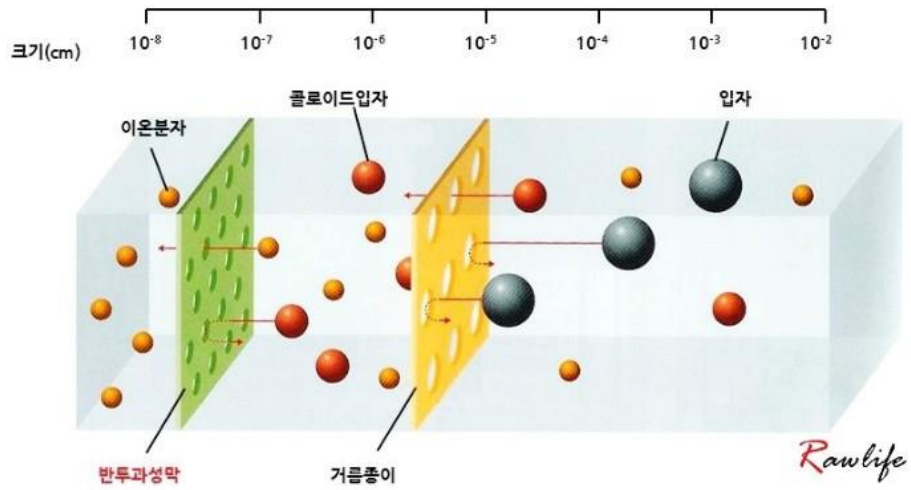
중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(2) 브라운 운동 (Brownian movement)

- 액체나 기체 속에서 나타나는 콜로이드 입자들의 불규칙한 움직임
- 물 위에서 꽃가루 입자의 끊임없는 불규칙적인 움직임
- 햇빛에서 먼지의 움직임, 담배연기
- 초기에는 이러한 입자를 생명체인 극미동물로 생각
- 무기물도 같은 운동을 나타냄
- 콜로이드 입자가 열운동을 하는 용매분자와 충돌로 인해 불규칙적인 움직임이 발생

(3) 다이알리스시(dialysis, 투석)

- 콜로이드 입자는 **거름종이를 통과하나 반투막은 통과하지 못하므로** 반투막을 이용하면 보통분자나 이온은 반투막을 통과하여 제거되고 콜로이드 입자만 남게됨
- 이와같은 현상을 투석이라 함



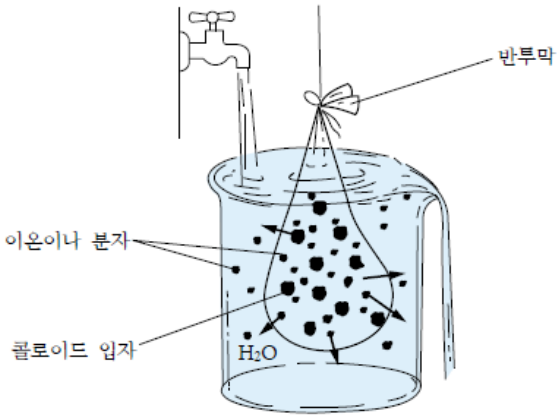


그림 7.4 다이알리시스

(4) 전기영동(electrophoresis)

– 콜로이드 용액에 (+), (–) 두 전극을 넣고 직류전압을 걸어주면 콜로이드 입자가 종류에 따라 어느 한쪽 극으로 이동해 가는 현상

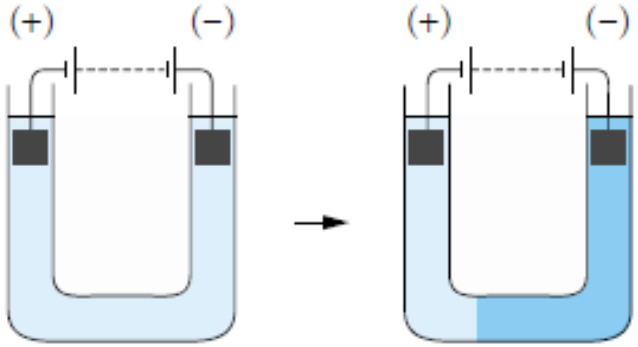


그림 7.5 수산화철(Ⅲ)의 전기영동

음극으로 끌려갔으므로 양극으로 대전된 양성콜로이드

표 7.4 콜로이드 입자의 하전

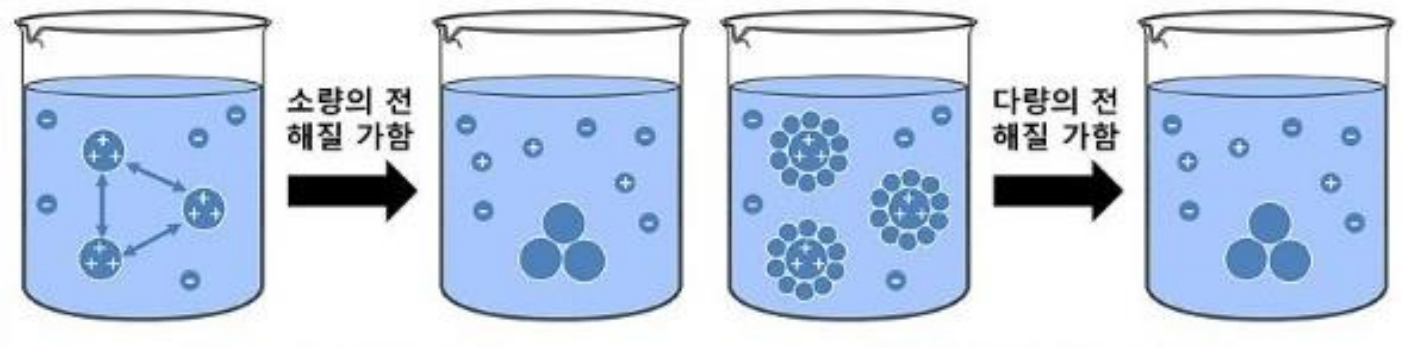
양성(+)콜로이드	음성(–) 콜로이드
$Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$ 등의 금속 산화물 Fe_2O_3, ZnO 등의 금속 산화물 염기성 색소 단백질 한천, 헤모글로빈	Au, Ag, Cu 등의 금속 콜로이드 CuS, CdS 등의 금속 황화물 산성색소 전분, 점토, 유리

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY

(5) 엉김(응석) (Coagulation)

– 전하를 띤 콜로이드에 반대되는 전하의 이온을 넣으면 전하가 중화되어 콜로이드 입자가 서로 엉겨 가라앉는 것. 엉김(응석)

– 잘 가라앉지 않는 콜로이드를 다량의 전해질을 가하여 엉기게 하는 방법을 염석(salting out)이라 함



〈엉김〉 〈염석〉

중원대학교 JUNGWON UNIVERSITY