

สารละลาย(Solution)



สารละลาย

เป็นสารผสมเนื้อเดียว (homogeneous mixture) เกิดจาก สารอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไปมารวมเป็นเนื้อเดียวกัน

- สารที่มีปริมาณมากกว่า เรียกว่า **ตัวทำละลาย**

(Solvent)

- สารที่มีปริมาณน้อยกว่า เรียกว่า **ตัวถูกละลาย**

(Solute)

เช่น น้ำตาล 5 g + น้ำ 100 cm³ (น้ำเชื่อม)

ชนิดของสารละลาย

สารละลายที่เป็นของแข็ง
เช่น ทองเหลือง
(ทองแดง + สังกะสี)
นาก (ทองคำ + ทองแดง)

สารละลายที่เป็นของเหลว
เช่น น้ำเกลือ น้ำเชื่อม
น้ำส้มสายชู
(น้ำ + กรดแอสซิติค)

สารละลายที่เป็นก๊าซ
เช่น อากาศก๊าซผสม
ต่างๆ

ใช้สถานะของสารละลายเป็นเกณฑ์

สารละลาย (Solution)

- ถ้าสารที่มารวมตัวกันเป็นสารละลายมีสถานะต่างกันสารที่มีสถานะเหมือนกับสารละลายจะเป็นตัวทำละลาย

- ถ้าสารที่มารวมตัวกันเป็นสารละลายมีสถานะเดียวกัน สารที่มีปริมาณมากกว่าจะเป็นตัวทำละลาย ส่วนสารที่มีปริมาณน้อยกว่าจะเป็นตัวถูกละลาย

ใช้สถานะของตัวทำละลายและสถานะของตัวถูกละลายเป็นเกณฑ์

ลำดับที่	ตัวทำละลาย	ตัวถูกละลาย	สารละลาย	ตัวอย่าง
1	ก๊าซ	ก๊าซ	ก๊าซ	อากาศ ก๊าซผสมต่างๆ
2	ก๊าซ	ของเหลว	ก๊าซ	น้ำในอากาศ
3	ก๊าซ	ของแข็ง	ก๊าซ	ลูกเหม็นในอากาศ
4	ของเหลว	ก๊าซ	ของเหลว	ก๊าซ CO ₂ ในน้ำ (โซดา)
5	ของเหลว	ของเหลว	ของเหลว	แอลกอฮอล์ในน้ำ
6.	ของเหลว	ของแข็ง	ของเหลว	น้ำตาลในน้ำ(น้ำเชื่อม)
7.	ของแข็ง	ก๊าซ	ของแข็ง	ก๊าซ H ₂ ในโลหะ Pt
8.	ของแข็ง	ของเหลว	ของแข็ง	ปรอทในเงิน
9.	ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง	นาก

ใช้ปริมาณของตัวถูกละลายในสารละลายเป็นเกณฑ์

สารละลายไม่อิ่มตัว

สารละลายที่มีตัวถูกละลายละลายอยู่น้อยกว่าปกติที่ควรละลายในหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวทำละลาย เมื่อใส่ตัวถูกละลายลงไปอีกก็สามารถละลายได้อีก

สารละลายอิ่มตัว

สารละลายที่มีตัวถูกละลายละลายอยู่เต็มที่ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของตัวทำละลาย ถ้าใส่ตัวถูกละลายลงไปอีกจะไม่ละลายที่อุณหภูมิคงที่

สารละลายอิ่มตัว (Saturated Solution)

คือสารละลายที่มีปริมาณตัวถูกละลายละลายอยู่มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ที่อุณหภูมินั้น ๆ

- จะไม่มีการละลายเพิ่มอีกแม้จะใส่ตัวถูกละลายเพิ่ม
- อาจสังเกตได้จากการที่มีตัวถูกละลายตกตะกอน

ปริมาณของตัวถูกละลายที่ละลายได้ในตัวทำละลายใน

สารละลายอิ่มตัว ณ อุณหภูมิหนึ่ง เรียกว่า การละลายได้

ความเข้มข้นของสารละลาย

1. ร้อยละของตัวถูกละลาย (%)
2. โมลาริตี (Molarity)
3. โมแลลิตี (Molality)
4. ฟอर्मาลิตี (Formality)
5. นอร์มาลิตี (Normality)
6. เศษส่วนโมล (Mole Fraction)

ความเข้มข้นของสารละลาย

1. ร้อยละของตัวถูกละลาย มี 3 แบบ

ก. ร้อยละโดยมวล / มวลของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลาย 100 หน่วย ซึ่งเป็นมวลเดียวกัน

เช่น NaOH เข้มข้น 5% โดยมวล

ในสารละลาย 100 กรัม มี NaOH ละลายอยู่ 5 กรัม

การเตรียม ชั่ง NaOH 5 กรัม ละลายน้ำ 95.0 กรัม

ความเข้มข้นของสารละลาย

ข. ร้อยละโดยปริมาตร : ปริมาตรของตัวถูกละลายที่ละลายในสารละลาย 100 หน่วย ปริมาตรเดียวกัน

เช่น สารละลายเอทานอลเข้มข้น 30% โดยปริมาตร

↳ ในสารละลาย 100 cm^3 มีเอทานอลละลาย อยู่ 30 cm^3 การเตรียมตวงเอทานอล 30 cm^3 เติมน้ำจนได้สารละลาย 100 cm^3

ความเข้มข้นของสารละลาย

ค. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร : มวลของตัวถูกละลาย

ในสารละลาย 100 หน่วยปริมาตร

เช่น สารละลาย NaCl เข้มข้น 15 % โดยมวลต่อปริมาตร

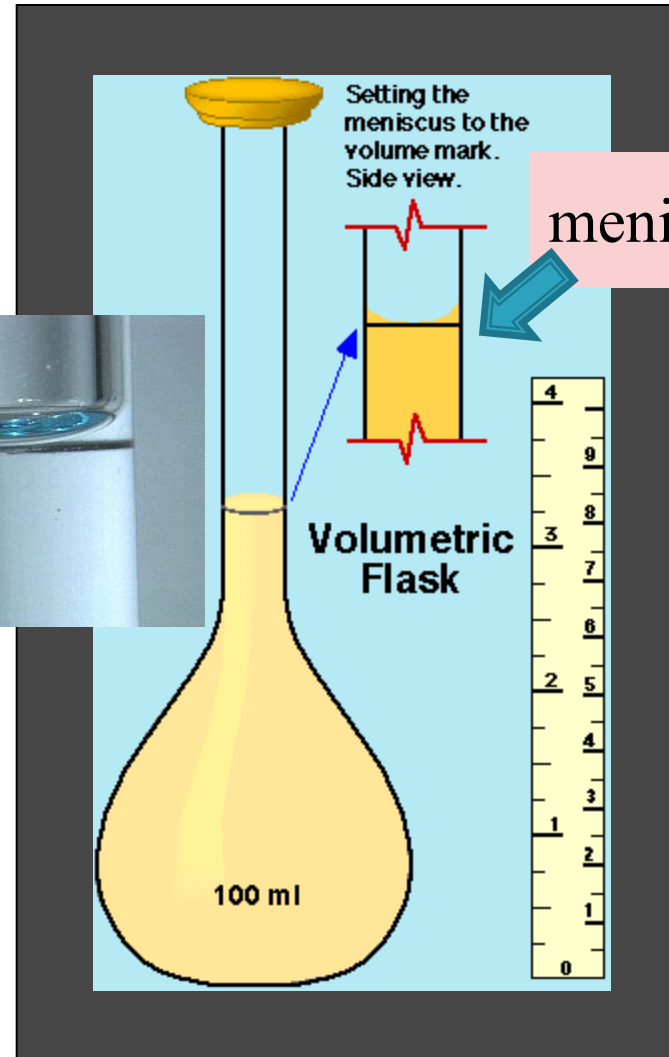


= NaCl 15 กรัม ในสารละลาย 100 cm³

การเตรียม ชั่ง NaCl 15 กรัม

เติมน้ำจนได้สารละลาย 100 cm³

อุปกรณ์เตรียมสารละลาย



ร้อยละของตัวถูกละลาย

1.1 ร้อยละโดยน้ำหนัก (weight/weight)

$$\% (w/w) = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลายเป็นกรัม} \times 100\%}{\text{น้ำหนักสารละลายเป็นกรัม}}$$

1.2 ร้อยละโดยปริมาตร (volume/volume)

$$\% (v/v) = \frac{\text{ปริมาตรตัวถูกละลายเป็น cm}^3 \times 100\%}{\text{ปริมาตรสารละลายเป็น cm}^3}$$

1.3 ร้อยละมวลต่อปริมาตร (weight/volume)

$$\% (w/v) = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลายเป็นกรัม} \times 100\%}{\text{ปริมาตรสารละลายเป็น cm}^3}$$

ตัวอย่างการหาความเข้มข้นเป็นร้อยละ

สารละลายน้ำตาลซูโครส ประกอบด้วยซูโครส
28.6 กรัม ในน้ำ 101.4 กรัม จงหาความเข้มข้น
เป็น ร้อยละโดยมวลของสารละลายนี้

$$\% (w / w) = \frac{28.6}{101.4+28.6} \times 100$$

Ex ถ้าต้องการเตรียมสารละลาย BaCl_2 เข้มข้น 12 % โดยน้ำหนัก ปริมาณ 50 g จากเกลือ $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และน้ำบริสุทธิ์ จะเตรียมได้อย่างไร

วิธีทำ BaCl_2 เข้มข้น 12% โดยน้ำหนัก หมายถึง

สารละลายหนัก 100 g มี BaCl_2 ละลายอยู่ 12 g

สารละลายหนัก 50 g มี BaCl_2 ละลายอยู่ = $\frac{50 \text{ g} \times 12 \text{ g}}{100 \text{ g}} = 6 \text{ g}$

ถ้าต้องการ BaCl_2 208.3 g ต้องใช้ $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 244.3 g

ดังนั้น เมื่อต้องการ BaCl_2 6 g ต้องใช้ $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = \frac{6 \text{ g} \times 244.3}{208.3 \text{ g}}$

= 7.04 g

ดังนั้น ต้องใช้ $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ หนัก 7.04 g ละลายในน้ำ 42.96 g (50-7.04)

จึงจะได้สารละลาย BaCl_2 เข้มข้น 12% โดยน้ำหนัก ปริมาณ 50 g

ตัวอย่างการหาความเข้มข้นเป็นร้อยละ

จะต้องใช้ CaCl_2 กี่กรัม ละลายน้ำ 80 กรัมเพื่อให้
ได้สารละลายเข้มข้น 5 % โดยมวล

$$\% \text{ (w/w)} = \frac{\text{มวลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลของสารละลาย}} \times 100$$

$$5 = \frac{X}{80 + X} \times 100 \quad x = \text{มวลของตัวถูกละลาย}$$

$$5 \approx \frac{X}{80} \times 100 = 4 \text{ กรัม}$$

2. โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร หรือ โมลาริตี (Molarity; Molar; M)

เป็นหน่วยที่บอกจำนวน โมลของตัวถูกละลายที่ละลาย
อยู่ในสารละลาย 1 dm^3 / หน่วยนี้บอกให้ทราบว่าในสาร
ละลาย 1 dm^3 มีตัวถูกละลายอยู่ที่โมล

2. โมลาริตี (Molarity, M)

จำนวนโมลของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในสารละลายปริมาตร
 1 dm^3 (1 L, 1000 cm^3)

$$\text{mol} = \frac{MV}{1000 \text{ cm}^3} = \frac{\text{จำนวนสาร (กรัม)}}{\text{มวลโมเลกุล}}$$

เมื่อ $M =$ ความเข้มข้น หน่วย mol/dm^3

$V =$ ปริมาตรสารละลาย หน่วย cm^3

เช่น สารละลาย NaOH เข้มข้น 5 mol / dm^3 หมายความว่า
มี NaOH 5 โมล ละลายอยู่ในสารละลายนี้ 1 ลิตร
หรือในสารละลาย 1 dm^3 มี NaOH ละลายอยู่ 5 โมล

Ex. นำน้ำตาลกลูโคส ($C_6H_{12}O_6$) 90 กรัม มาละลายน้ำจนได้สารละลาย
อันมีปริมาตร 500 cm^3 จงหาว่าสารละลายนี้มีความเข้มข้นกี่ mol/dm^3

$$n = \frac{g}{MW} = \frac{MV}{1000 \text{ cm}^3}$$

$$\frac{90}{180} = \frac{M \times 500}{1000}$$

$$M = 1 \text{ mol/dm}^3$$

3. โมลต่อกิโลกรัม หรือ โมแลลิตี

(Molality; molal; m)

เป็นหน่วยที่บอกให้ทราบว่าในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม (kg) มีตัวถูกละลาย ละลายอยู่ที่ โมล / หรือบอกจำนวน โมลของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย 1 kg

3. โมแลลิตี (Molality, m)

ใช้บอกจำนวนโมลของตัวถูกละลายที่ละลายอยู่ในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม

$$m = \frac{W_{\text{(ตัวถูกละลาย)}} \times 1000}{M.W. \times W_{\text{(ตัวทำละลาย)}}$$

เมื่อ m = ความเข้มข้น (โมลต่อกิโลกรัม)

$W_{\text{ตัวถูกละลาย}}$ = น้ำหนักตัวถูกละลาย (กรัม)

$W_{\text{ตัวทำละลาย}}$ = น้ำหนักตัวทำละลาย (กรัม)

$M.W.$ = มวลโมเลกุลตัวถูกละลาย

2. โมลาริตี (Molarity, M)

ใช้บอกจำนวนโมลตัวละลายในสารละลาย 1 dm³

$$M = \frac{\text{โมลของตัวถูกละลาย}}{\text{ปริมาตรสารละลาย 1000 cm}^3}$$

3. โมแลลลิตี (Molality, m)

ใช้บอกจำนวนโมลของตัวละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม

$$m = \frac{\text{โมลของตัวถูกละลาย}}{\text{มวลที่เป็น kg ของตัวทำละลาย}}$$

Ex น้ำตาลซึ่งมีสูตร $C_{12}H_{22}O_{11}$ หนัก 10 g ละลายน้ำ 125 g จะมีความเข้มข้นกี่โมแลล

$$\begin{array}{l} \text{น้ำ } 125 \text{ g} \quad \text{มีน้ำตาลละลายอยู่} \quad 10 / 342 \quad \text{mol} \\ \text{น้ำ } 1000 \text{ g} \quad \text{มีน้ำตาลละลายอยู่} \quad \frac{10 \text{ g} \times 1000 \text{ g}}{342 \text{ g/mol} \times 125 \text{ g}} = 0.23 \\ \quad \quad \quad (1 \text{ kg}) \end{array}$$

ดังนั้น สารละลายเข้มข้น 0.23 โมแลล

ตัวอย่าง : เมื่อนำกลูโคส 0.54 กรัม ละลายในน้ำ 100 cm³(ความหนาแน่นของน้ำเป็น 1 กรัม/cm³ จงคำนวณความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสในหน่วยต่อไปนี้

ก. เป็น mol/dm³

$$\text{สูตร } n = \frac{g}{MW} = \frac{MV}{1000 \text{ cm}^3}$$

ข. เป็นร้อยละโดยมวล

$$\% \text{ (w/v)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวถูกละลายเป็นกรัม} \times 100\%}{\text{ปริมาตรสารละลายเป็น cm}^3}$$

ค. เป็น mol/kg

$$\text{สูตร } m = \frac{W(\text{ตัวถูกละลาย}) \times 1000}{M.W. \times W(\text{ตัวทำละลาย})}$$

ง. เป็นเศษส่วนโมล

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

$$\text{น้ำหนักสมมูล} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุล}}{n}$$

(equivalent weight)

$$\text{น้ำหนักสมมูล} = \frac{\text{น้ำหนักอะตอม}}{\text{จำนวนประจุไฟฟ้า}} = \frac{\text{น้ำหนักโมเลกุล}}{\text{จำนวนประจุไฟฟ้า}}$$

ความสัมพันธ์ที่ได้ระหว่าง Normality กับ Molarity คือ

$$N = nM$$

n หมายถึง จำนวน H^+ ในโมเลกุลของกรดหรือจำนวน OH^- ในเบส

3. เศษส่วนโมล (Mole Fraction)

คือ จำนวนโมลของสารองค์ประกอบนั้นหารด้วยจำนวนโมลของสารองค์ประกอบทั้งหมดในสารละลาย เช่น ถ้าสารละลายประกอบด้วยองค์ประกอบ 2 ชนิด เศษส่วนโมล ของแต่ละสารองค์ประกอบเขียนได้ดังนี้

$$X_1 = \frac{n_1}{n_1 + n_2}$$

$$X_2 = \frac{n_2}{n_1 + n_2}$$

เมื่อ X_1 และ X_2 เป็นเศษส่วนโมลของสารองค์ประกอบที่ 1 และ 2 ในสารละลายตามลำดับ n_1 และ n_2 เป็นจำนวนโมลของสารองค์ประกอบที่ 1 และ 2 ในสารละลายตามลำดับผลบวกของเศษส่วนโมลของสารองค์ประกอบทั้งหมดเท่ากับ 1 เสมอนั้นคือ

$$X_1 + X_2 + X_3 + \dots = 1$$

Ex สารละลายประกอบด้วยน้ำ 36 g และกลีเซอริน ($C_3H_5(OH)_3$) 46 g จงคำนวณหาเศษส่วนโมลของน้ำและกลีเซอริน

จำนวนโมลของของน้ำ	=	$36 / 18$	=	2.0 mol
จำนวนโมลของกลีเซอริน	=	$46 / 92$	=	0.5 mol
ดังนั้นจำนวนโมลทั้งหมด	=	$2.0 + 0.5$	=	2.5 mol
ดังนั้นเศษส่วนโมลของน้ำ	=	$2.0 / 2.5$	=	0.8
ดังนั้นเศษส่วนโมลของกลีเซอริน	=	$0.5 / 2.5$	=	0.2

หน่วยความเข้มข้นเป็น ppm, ppb และ ppt

ppm = parts per million (ส่วนในล้านส่วน)

ppb = parts per billion (ส่วนในพันล้านส่วน)

เช่น ในแหล่งน้ำแห่งหนึ่งมีสารตะกั่วปนเปื้อน 0.1 ppm
หมายความว่า น้ำในแหล่งน้ำนั้น 1 ล้านกรัมมีตะกั่วละลายอยู่ 0.1 กรัม
หรือ สารละลายเข้มข้น 1 ppm หมายถึง มีตัวถูกละลาย 1 กรัม ในสาร
ละลาย 10^6 กรัม

หน่วยเหล่านี้นิยมใช้สำหรับบอกความเข้มข้นในระดับต่ำๆ ของสาร
เช่น ไอออนที่เจือปนในน้ำดื่ม

$$\text{ppt} = \frac{\text{ปริมาณของตัวละลาย}}{\text{ปริมาณของสารละลาย}} \times 10^3$$

$$\text{ppm} = \frac{\text{ปริมาณของตัวละลาย}}{\text{ปริมาณของสารละลาย}} \times 10^6$$

$$\text{ppb} = \frac{\text{ปริมาณของตัวละลาย}}{\text{ปริมาณของสารละลาย}} \times 10^9$$

สำหรับสารละลายในน้ำที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับ 1.00 กรัมต่อมิลลิลิตร 1 ppm อาจเทียบเท่ากับ $1 \mu\text{g/ml}$ หรือ 1 mg/L

$$\text{ppm} = \text{mg/kg} = \text{mg/L} = \mu\text{g/g} = \mu\text{g/ml}$$

1 ppm หมายถึง มีตัวถูกละลาย 1 กรัมในสารละลาย
 10^6 มิลลิลิตร

$$\text{ppb} = \mu\text{g/kg} = \mu\text{g/L} = \text{ng/g} = \text{ng/ml}$$

1 ppb หมายถึง มีตัวถูกละลาย 1 กรัมในสารละลาย
 10^9 มิลลิลิตร

ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์น้ำตัวอย่างหนึ่งพบว่า มี Pb 3.5×10^{-3} กรัม
ต่อสารละลาย 250 มิลลิลิตร จงคำนวณความเข้มข้น
ของสารละลาย Pb นี้ในหน่วย ppm และ ppb

คำนวณความเข้มข้นในหน่วย ppm

$$\text{สารละลาย } 250 \text{ cm}^3 \text{ มี Pb} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ กรัม}$$

$$\text{สารละลาย } 10^6 \text{ cm}^3 \text{ มี Pb} = \frac{3.5 \times 10^{-3} \times 10^6}{250} = 14 \text{ กรัม}$$

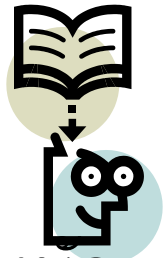
คำนวณความเข้มข้นในหน่วย ppb

$$\text{สารละลาย } 250 \text{ cm}^3 \text{ มี Pb} = 3.5 \times 10^{-3} \text{ กรัม}$$

$$\text{สารละลาย } 10^9 \text{ cm}^3 \text{ มี Pb} = \frac{3.5 \times 10^{-3} \times 10^9}{250} = 14,000 \text{ กรัม}$$

ดังนั้นสารละลาย Pb นี้มีความเข้มข้น 14,000 ppb

ฝึกทำโจทย์ ประลองความคิด....



1. สารละลายชนิดหนึ่งเตรียมโดยละลาย methanol(CH_3OH , น้ำหนักโมเลกุล=32.042 ความหนาแน่น 0.7914 g/ml) ปริมาตร 25.00 ml ใน Chloroform จนได้ปริมาตรสุทธิเป็น 500 ml

- จงคำนวณ molarity ของ methanol ในสารละลาย
- ถ้าสารละลายมีความหนาแน่น 1.454 g /ml จงคำนวณ molality ของ methanol

2. สารละลาย 12.6 ppm MgCl_2 ซึ่งแตกตัวได้เป็น Mg^{2+} และ 2Cl^- มีความเข้มข้นของ chloride ion กี่ ppm

3. สารตัวอย่างน้ำเกลือซึ่งมีความหนาแน่น 1.02 g /ml มี NO_3^- อยู่ 17.8 ppm จงคำนวณ molarity ของ NO_3^-

การเปลี่ยนหน่วยความเข้มข้นจากร้อยละเป็น โมลต่อลิตร (mol/dm^3)

1. ร้อยละโดยมวล (%w/w) \Rightarrow mol/dm^3

$$M (\text{mol/dm}^3) = \frac{10 \%(\text{w/w}) (D)}{\text{มวลโมเลกุลตัวถูกละลาย}}$$

2. ร้อยละโดยปริมาตร (%v/v) \Rightarrow mol/dm^3

$$M (\text{mol/dm}^3) = \frac{10 \%(\text{v/v}) (D)}{\text{มวลโมเลกุลตัวถูกละลาย}}$$

D = ความหนาแน่น
ของสารละลาย (g/cm^3)

3. ร้อยละโดยมวลต่อปริมาตร (%w/v) \Rightarrow mol/dm^3

$$M (\text{mol/dm}^3) = \frac{10 \%(\text{w/v})}{\text{มวลโมเลกุลตัวถูกละลาย}}$$

ตัวอย่าง สารละลาย H_2SO_4 เข้มข้น 27% โดยน้ำหนัก และมีความหนาแน่น 1.198 g/cm^3
จะมีความเข้มข้นกี่โมลาร์

สารละลาย H_2SO_4 หนัก 100 g (คิดเป็นปริมาตร $\frac{100 \text{ cm}^3}{1.198}$) มี H_2SO_4 27 g ($\frac{27 \text{ mole}}{98}$)

สารละลาย H_2SO_4 ปริมาตร 1000 cm^3 มี H_2SO_4

$$= \frac{(27) \text{ mole} (1000 \text{ cm}^3) (1.198)}{(98) (100 \text{ cm}^3)}$$
$$= 3.30 \text{ mole}$$

ดังนั้น สารละลาย H_2SO_4 จะมีความเข้มข้น 3.30 M

สารละลาย 20%w/w KI ในน้ำ มีความหนาแน่น 1.168 g/ml จงคำนวณ
Molarity และ molality ของ KI

สารละลาย 20%w/w KI หมายความว่า

สารละลาย 100 g ประกอบด้วย KI 20 g

เปลี่ยน g เป็น mL จาก
ความหนาแน่น
 $= (100\text{g}) / (1.168\text{g/mL})$

เปลี่ยน g เป็น mole
โดย g/MW
 $= (20\text{g}) / (166\text{g/mole})$

สารละลาย 85.62 mL ประกอบด้วย KI 0.120 mol

สารละลาย 1000 mL ประกอบด้วย KI = $\frac{0.120 \times 1000}{85.62} = 1.402 \text{ mol}$

ดังนั้น สารละลาย 20 %w/w KI ในน้ำ มีความเข้มข้น 1.402 M

คำนวณ โมแลล (molality)

สารละลาย 20%w/w KI หมายความว่า

สารละลาย 100 g ประกอบด้วยน้ำ(ตัวทำละลาย) 80 g และ KI 20 g หรือ

KI 0.120 mol

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้น น้ำ(ตัวทำละลาย) 1,000 g หรือ 1 kg ประกอบด้วย KI} &= \frac{0.120 \times 1000}{80} \\ &= 1.5 \text{ mol} \end{aligned}$$

ดังนั้น สารละลาย 20% w/w KI ในน้ำ มีความเข้มข้น 1.5 molal

การเตรียมสารละลายจากความเข้มข้นเดิมมาทำให้เจือจางลง (การเจือจางสารละลาย)

การเตรียมสารละลายจากสารละลายเข้มข้น จึงทำให้สารละลายเจือจางลงโดยการเติมน้ำ มีหลักการคือ

เมื่อเติมน้ำ แต่ไม่ได้เติมปริมาณตัวถูกละลาย ดังนั้นสารละลายก่อนและหลังการทำให้เจือจาง (ซึ่งมีปริมาตรต่างกัน) จะมีเนื้อของตัวถูกละลายเท่ากัน

จำนวน โมลของตัวถูกละลายก่อนเติมน้ำ = จำนวน โมลของตัวถูกละลายหลังเติมน้ำ

$$\frac{M_1 V_1}{1000} = \frac{M_2 V_2}{1000}$$

เมื่อ M_1 เป็นความเข้มข้นของสารละลายก่อนเจือจาง (Stock solution)
(mol/dm^3)

V_1 เป็นปริมาตรของสารละลายก่อนทำให้เจือจาง
(ปริมาตรของ Stock ที่ต้องแบ่งมาเจือจาง) (cm^3)

M_2 เป็นความเข้มข้นของสารละลายหลังเจือจาง(ที่ต้องการเตรียม)
(mol/dm^3)

V_2 เป็นปริมาตรของสารละลายหลังทำให้เจือจาง(ปริมาตรที่ต้องการเตรียม) (cm^3)

$$** \text{ ปริมาตรของน้ำที่เติมลงไป} = V_2 - V_1 \text{ cm}^3$$

ตัวอย่าง จงอธิบายวิธีการเตรียม 0.25 M H_2SO_4 500 mL จาก
5.00 M H_2SO_4

วิธีที่ 1

สารละลาย H_2SO_4 1000 cm^3 มีเนื้อกรด = 0.25 mol

ถ้า "—————" 500 cm^3 " = $\frac{0.25 \times 500}{1000} = 0.125$ mol

จากกรด H_2SO_4 5 mol ได้จากสารละลาย 1000 cm^3

ถ้า "—————" 0.125 mol " = $\frac{0.125 \times 1000}{5} = 25$ cm^3

ดังนั้น เตรียม 0.25 M H_2SO_4 500 mL โดยปิเปตจาก Stock เข้มข้น 5 M
มา 25 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำ
จนครบ 500 mL

วิธีที่ 2

ใช้สูตร จาก
$$\frac{M_1 V_1}{1000} = \frac{M_2 V_2}{1000}$$
$$(5 \text{ M}) (V_1) = (0.25 \text{ M}) (500 \text{ mL})$$
$$V_1 = 25 \text{ mL}$$

ดังนั้น เตรียม 0.25 M H₂SO₄ 500 mL โดยปิเปตจาก Stock เข้มข้น 5 M มา 25 mL ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 500 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำจนครบ 500 mL

ตัวอย่าง ถ้าต้องการเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก H_2SO_4 เข้มข้น 0.2 mol/dm^3 จำนวน 50 cm^3 จากสารละลายกรดซัลฟิวริกในขวดที่มีป้ายบอกว่า เข้มข้น 1 mol/dm^3 จะต้องใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกในขวด และน้ำกลั่นสำหรับเติมอย่างละกี่ cm^3

$$\text{จาก} \quad \frac{M_1 V_1}{1000} = \frac{M_2 V_2}{1000}$$

$$(1 \text{ M}) (V_1) = (0.2 \text{ M}) (50) \text{ cm}^3$$

$$V_1 = 10 \text{ cm}^3$$

ดังนั้นต้องใช้สารละลายกรดซัลฟิวริกเดิม 10 cm^3

$$\text{และต้องเติมน้ำกลั่น} = V_2 - V_1 \text{ cm}^3$$

$$= 50 - 10 = 40 \text{ cm}^3$$

เตรียมสารละลายโดยการผสมสารละลายชนิดเดียวกันที่มีความเข้มข้นต่างกัน

$$M_1 V_1 + M_2 V_2 + M_3 V_3 + \dots = M_f V_f$$

เมื่อ M_1, M_2, M_3, \dots เป็นความเข้มข้นของสารละลายชนิดที่ 1, 2, 3, ...

M_f เป็นความเข้มข้นของสารละลายสุดท้าย

V_1, V_2, V_3, \dots เป็นปริมาตรของสารละลายชนิดที่ 1, 2, 3, ... ที่นำมาผสม

V_f เป็นปริมาตรของสารละลายสุดท้าย

ถ้าต้องการเตรียมสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) เข้มข้น 1 mol/dm^3 ให้มีปริมาตร 14 dm^3 โดยการเติมกรด HNO_3 เข้มข้น 15 mol/dm^3 ลงไปในกรด HNO_3 เข้มข้น 2 mol/dm^3 จำนวน $1,250 \text{ cm}^3$ จะต้องใช้กรด HNO_3 15 mol/dm^3 กี่ dm^3 และต้องเติมน้ำกี่ dm^3

$$\text{จาก } M_1V_1 + M_2V_2 = M_fV_f$$

$$(15 \times V_1) + (2 \times 1.250) = 1 \times 14$$

$$V_1 = 0.767 \text{ dm}^3$$

$$\text{ดังนั้นต้องใช้สารละลายกรด } \text{HNO}_3 \text{ } 15 \text{ mol/dm}^3 = 0.767 \text{ dm}^3$$

$$\text{และต้องเติมน้ำ} = 14 - 1.25 - 0.767 = 11.98 \text{ dm}^3$$

การเตรียมสารเคมีจากขวดที่ระบุสมบัติ



ข้อมูลที่ได้

- %ความเข้มข้น
- น้ำหนักโมเลกุล
- ความหนาแน่น/ความถ่วงจำเพาะ

HAZARDOUS	
BENZENE	
Contains benzene 99.9%	
<p>ชื่อ: 1,2-ไดเบนซีน (Benzene)</p> <p>สูตรเคมี: C₆H₆</p> <p>เลขทะเบียน CAS: 71-43-2</p> <p>เลขทะเบียน EINECS: 203-701-5</p> <p>เลขทะเบียน EC: 203-701-5</p> <p>เลขทะเบียน RTECS: UH0010000</p> <p>เลขทะเบียน HMDB: 000011</p> <p>เลขทะเบียน CAS: 71-43-2</p> <p>เลขทะเบียน EINECS: 203-701-5</p> <p>เลขทะเบียน EC: 203-701-5</p> <p>เลขทะเบียน RTECS: UH0010000</p> <p>เลขทะเบียน HMDB: 000011</p>	<ul style="list-style-type: none"> - ระคายเคืองผิวหนัง - อาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม - อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบสืบพันธุ์ - อาจก่อให้เกิดมะเร็ง - ไม่ไวไฟ - ไม่เป็นพิษเฉียบพลัน - อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ <p>สัญลักษณ์:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ระเบิด - ความเป็นพิษเฉียบพลัน - ความเป็นพิษต่อระบบสืบพันธุ์ - ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม - ความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ
<p>NETT:</p> <p>BATCH: NO:</p>	
<p>บริษัท สถานะดีตั้ง เบอร์โทรฉุกเฉิน</p>	

จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลาย 1M HCl ปริมาตร 500 mL
จากกรดเข้มข้นซึ่งมีฉลากข้างขวด และข้อมูลดังนี้

HCl
M=36.46g/mol
1L=1.19kg

pro analysi
Salzsaure rauchend 37%
Hydrochloric acid fuming 37%

ความหนาแน่น

น้ำหนักโมเลกุล

%W/W

วิธีการเตรียม

จากข้อมูลที่ได้จากฉลากข้างขวดสาร ทราบ ความเข้มข้น, น้ำหนักโมเลกุล, ความหนาแน่น

การคำนวณความเข้มข้นของกรดจากข้างขวดในหน่วย molarity โดยเปลี่ยนจาก %w/w เป็น M

สารละลาย 37 %w/w หมายความว่า

สารละลาย 100 g ประกอบด้วย HCl 37 g

เปลี่ยน g เป็น ml จากความหนาแน่น
 $= 100\text{g} / 1.19\text{ g/mL} = 84\text{ mL}$

เปลี่ยน g เป็น mol จาก %w/w
 $= 37\text{g} / 36.5\text{ g/mol} = 1.02\text{ mol}$

สารละลาย 84 mL ประกอบด้วย HCl 1.02 mol

$$\text{ถ้าสารละลาย 1000 mL "-----"} = \frac{1.02 \times 1000}{84} = 12.1 \text{ mol}$$

ดังนั้น กรด HCl เข้มข้น 12.1 M

การคำนวณการเจือจางกรดเข้มข้น

$$\text{จาก } M_1 V_1 = M_2 V_2$$

$$12.1 \times V_1 = 1 \times 500$$

$$V_1 = 41 \text{ mL}$$

ดังนั้นต้องนำกรดเข้มข้น 41 mL มาเจือจางจนได้ปริมาตร 500 mL

วิธีการเจือจางกรดที่เข้มข้น!

การผสมกรดเข้มข้นกับน้ำจะเกิดความร้อนสูงมาก ดังนั้นจึงต้องเติมกรดเข้มข้นอย่างช้าๆ ลงในน้ำ และคนเบาๆ ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เทใส่ขวดปิดฉลาก

**** ห้ามเติมน้ำลงในกรดเข้มข้นเด็ดขาด! อาจระเบิดแล้วเป็นอันตราย**

การทำการทดลองบางครั้งจำเป็นต้องใช้สารละลายที่ทราบความเข้มข้นที่แน่นอน “สารละลายมาตรฐาน” → ทำโดยการไทเทรต หรือทำปฏิกิริยากับสารละลายมาตรฐานอีกชนิดหนึ่ง “สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิ”
→ คำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายที่เตรียมได้

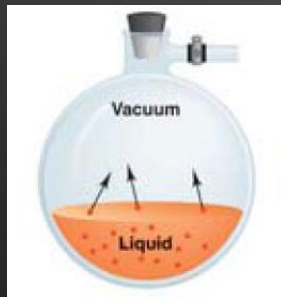
สมบัติบางประการของสารละลาย

เมื่อตัวถูกละลายผสมลงไปในตัวทำละลายบริสุทธิ์ จะทำให้ตัวทำละลายมีสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น ความดันไอ จุดเดือด และจุดหลอมเหลว ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย สมบัติดังกล่าว เรียกว่า **“สมบัติคอลลิเกทีฟ (Colligative)”**

ความดันไอ (Vapor Pressure)

ความดันที่เกิดจากโมเลกุลของของเหลวที่ระเหยเป็นไออยู่ในที่ว่างเหนือของเหลวภายในภาชนะปิด

การที่ของเหลวกลายเป็นไอแล้วควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวใหม่ในอัตราที่เท่ากันเรียกว่า “ของเหลวอยู่ในสมดุลพลวัต (dynamic equilibrium)”



ของเหลวระเหยเป็นไอ

อัตราการระเหยเท่ากับ

อัตราการควบแน่น

ความดันไอกับจุดเดือดของของเหลว

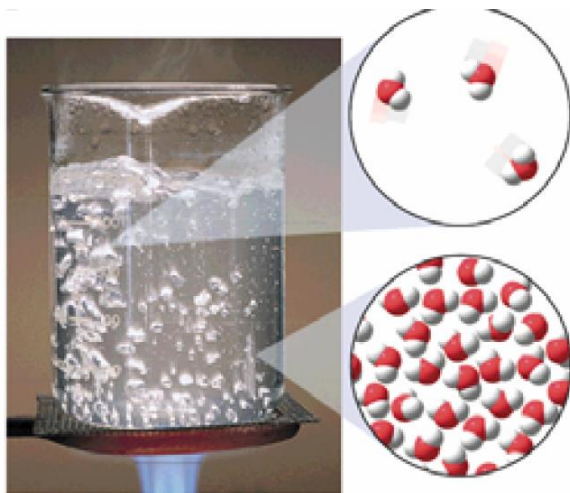
ของเหลว	การระเหย	ความดันไอ	แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล	ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ
จุดเดือดต่ำ	เร็ว	สูง	น้อย	น้อย
จุดเดือดสูง	ช้า	ต่ำ	มาก	มาก

จุดเดือด คือ อุณหภูมิที่ความดันไอกเท่ากับ
ความดันบรรยากาศ

จุดเดือดปกติ คือ อุณหภูมิที่ความดันไอก
เท่ากับความดัน 1 บรรยากาศ

ผลของความดันที่มีต่อการเดือดของน้ำ

น้ำเดือดที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$



ความดันบรรยากาศ = 1 บรรยากาศ

น้ำเดือดได้ที่อุณหภูม이하ง



ความดันบรรยากาศ \longrightarrow (สูญญากาศ)

สมบัติคอลลิเกทีฟ (Colligative Properties)

สมบัติคอลลิเกทีฟเป็นสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่ขึ้นอยู่กับ

- 1) ชนิดของตัวทำละลาย
- 2) จำนวนอนุภาคของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลายหรือความเข้มข้นของสารละลาย (molality)
- 3) การแตกตัวของตัวถูกละลาย

เมื่อสารบริสุทธิ์ใดๆ ถูกนำไปเป็นตัวทำละลาย เมื่อกลายเป็นสารละลายจุดเดือดจะสูงขึ้น และจุดเยือกแข็งจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายนั้น

สมบัติคอลลิเกทีฟ (Colligative properties)

สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย เป็นสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่ขึ้นกับจำนวนอนุภาคของตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย แต่ ไม่ขึ้นกับชนิดของตัวถูกละลายนั้น สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลาย มี 4 ข้อ ได้แก่

1. การลดต่ำลงของความดันไอ (Vapor pressure lowering)

ความดันไอของสารละลายต่ำกว่าความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน เพราะที่ผิวหน้าของสารละลายมีจำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายน้อยลงจากเดิมที่เคยเป็นตัวทำละลายบริสุทธิ์

2. การสูงขึ้นของจุดเดือด (Boiling point elevation)

การที่ความดันไอของสารละลายลดต่ำลง มีผลทำให้จุดเดือดสารละลายสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์และจุดเยือกแข็งของสารละลายต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์

$$\text{จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้น} = T_b^0 - T_b$$

เมื่อ $T_b =$ จุดเดือดของน้ำบริสุทธิ์

$T_b^0 =$ จุดเดือดของสารละลาย

T_b เป็นค่าที่ขึ้นกับจำนวนอนุภาคของตัวทำละลายในสารละลายและชนิดของตัวทำละลาย แต่ไม่ขึ้นกับชนิดของตัวถูกละลาย

$$\Delta T_b = K_b \times M$$

$$= \frac{K_b \times 1000 \times W_2}{W_1 \times M.W}$$

$$W_1 \times M.W$$

เมื่อ m = โมลลิตีของสารละลาย

K_b = จุดเดือดของสารละลายที่เพิ่มขึ้นเมื่อ ตัวถูกละลาย 1 โมลละลายในตัวทำละลาย 1 kg

W_1 = มวลของตัวทำละลาย (g)

W_2 = มวลของตัวถูกละลาย (g)

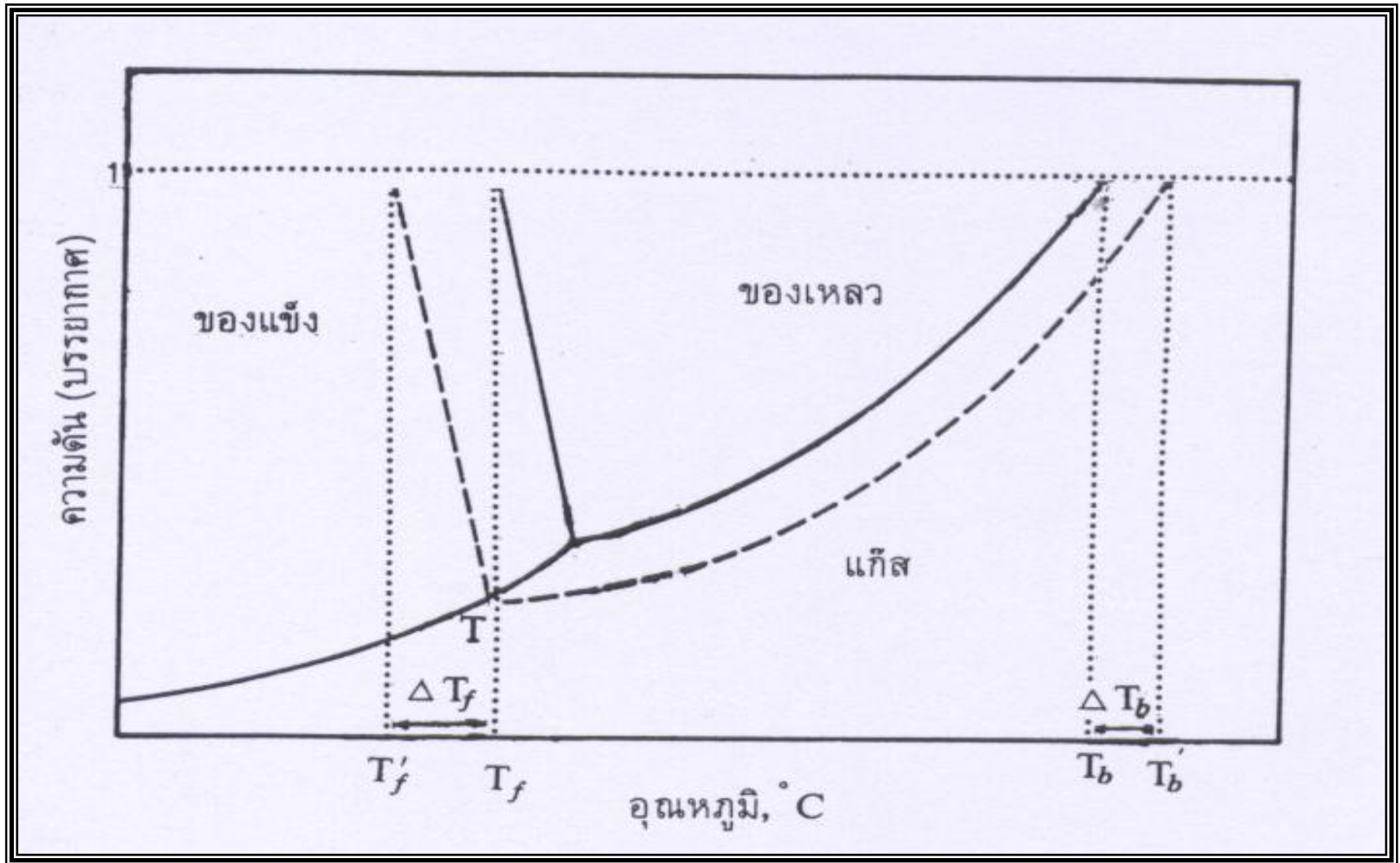
$M.W$ = มวลโมเลกุลของสารละลาย

3. การลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง (Freezing point depression)

$$\begin{aligned}\Delta T_f &= K_f \cdot M \\ &= \frac{K_b \times 1000 \times W_2}{W_1 \times M.W}\end{aligned}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}\Delta T_f &= \text{จุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์} - \\ &\quad \text{จุดเยือกแข็งของสารละลาย} \\ &= T_f - T_f^0 \\ K_f &= \text{จุดเยือกแข็งของสารละลายที่ลดต่ำลง เมื่อ} \\ &\quad \text{ตัวถูกละลาย 1 โมลละลายในตัวทำละลาย 1 kg}\end{aligned}$$



รูปแสดงแผนผังวัฏภาคของน้ำบริสุทธิ์เปรียบเทียบกับสารละลาย

ค่า K_b และ K_f ของตัวทำละลายบางชนิด

ตัวทำละลาย	จุดเดือด, °C	K_b , °C/mol	จุดเยือกแข็ง, °C	K_f , °C/mol
น้ำ	100.0	0.51	0.0	1.86
เบนซีน	80.1	2.53	5.5	5.12
กรดอะซิติก	118.2	2.93	17.0	3.90
เอทิลแอลกอฮอล์	78.4	1.19	-115.0	1.99
แนพทาลีน	218.0	6.34	80.2	6.92

ตัวอย่าง

จงหาจุดเดือดของสารละลาย ซึ่งประกอบด้วยสารหนัก 24 g
ละลายในน้ำ 600 g สารนั้นมีน้ำหนักโมเลกุล = 58 และ น้ำ
บริสุทธิ์ เดือดที่อุณหภูมิ 99.72 °C (K_b ของน้ำ = 0.51 °C/m)

$$\begin{aligned}\Delta T_b &= K_b m \\ T_b^0 - 99.72 &= \frac{0.51 \times 24 \times 1000}{600 \times 58} = 0.35\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T_b^0 &= 0.35 + 99.72 \\ &= 100.07 \text{ } ^\circ\text{C}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง

เมื่อนำตัวถูกละลายหนัก 4.5 g ละลายในน้ำ 125 g ได้สารละลายซึ่งมีจุดเยือกแข็ง $-0.372\text{ }^{\circ}\text{C}$ จงคำนวณหาน้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลาย

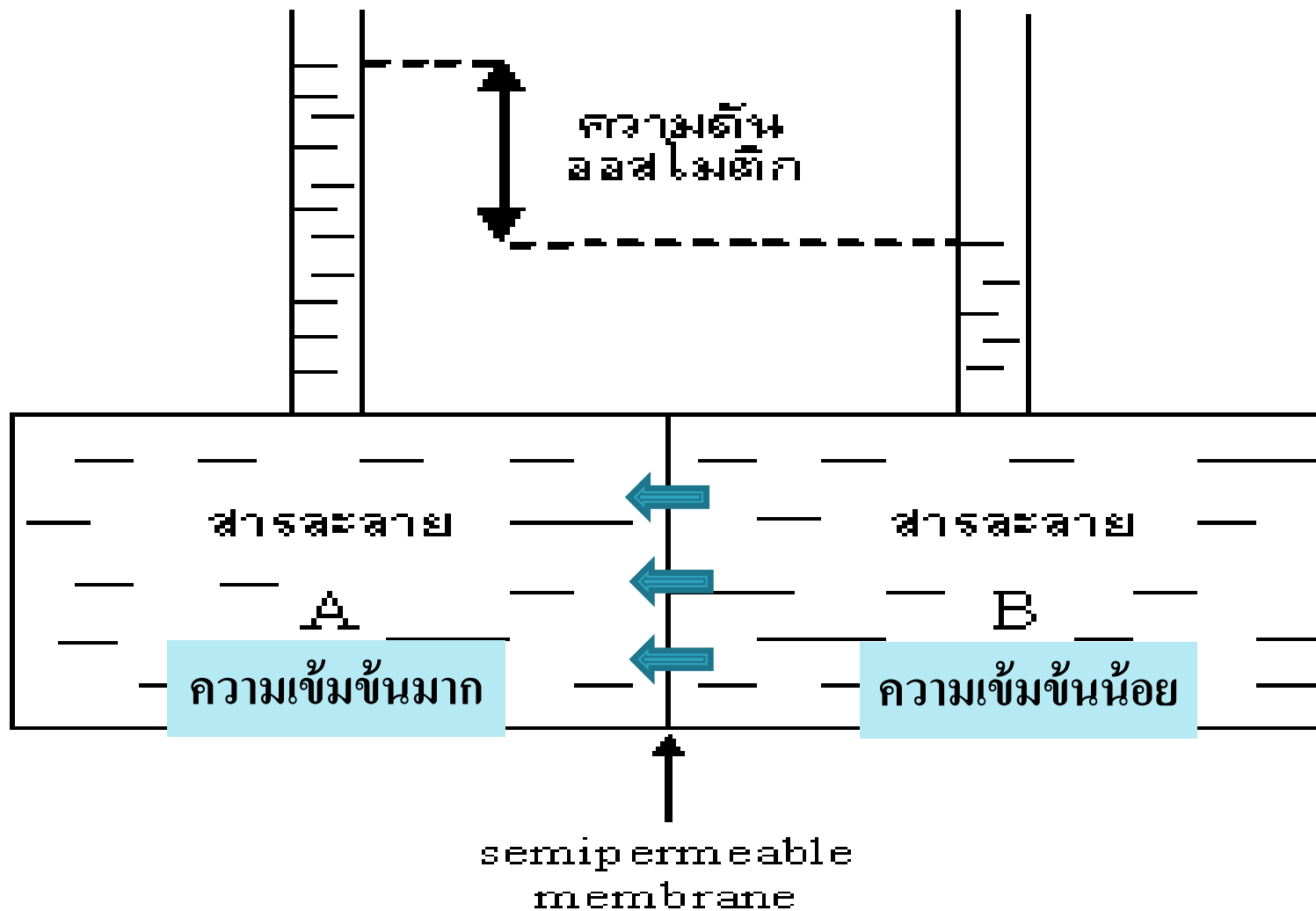
$$\Delta T_f = K_f \cdot m$$

M.W. = น้ำหนักโมเลกุลของตัวถูกละลาย

$$\begin{aligned} 0 - (-0.372) &= \frac{1.86 \times 4.5 \times 1000}{125 \times \text{M.W.}} \\ &= 180 \end{aligned}$$

4. ความดันออสโมติก (Osmotic pressure)

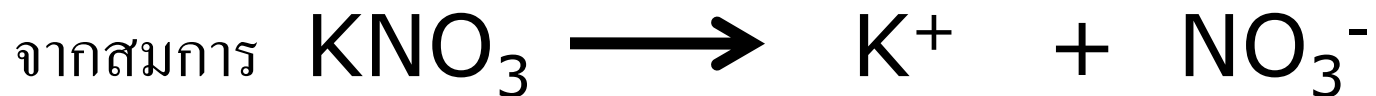
สารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ถูกกั้นให้แยกจากกันด้วยเยื่อบางชนิดซึ่งยอมให้เฉพาะตัวทำละลายเท่านั้นไหลผ่านได้ (semipermeable membrane) ตัวทำละลายจะไหลผ่านเยื่อเข้าไปในสารละลายทำให้สารละลายเจือจาง ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า **ออสโมซิส (osmosis)** เกิดขึ้นระหว่าง สารละลายสองชนิดซึ่งมีความเข้มข้นต่างกันได้เช่นกัน



รูปการวัดความดันออสโมติก

จากรูป สารละลาย A และตัวทำละลายบริสุทธิ์ B ถูกกั้นด้วย semipermeable membrane ออสโมซิส เกิดขึ้นโดยโมเลกุลของตัวทำละลายจาก B ไหลผ่านเยื่อเข้าไปในสารละลาย A (ในขณะเดียวกัน โมเลกุลของตัวทำละลายจากสารละลาย A ก็สามารถไหลเข้าไปใน B ได้แต่ด้วยอัตราที่ช้ากว่า) จะสังเกตเห็นระดับของของเหลวในหลอดเล็กเหนือสารละลาย A สูงขึ้น ส่วนทางด้าน B ลดลง เมื่อระดับของเหลวในหลอดเล็กทั้งสองคงที่แสดงว่าระบบเข้าสู่ภาวะสมดุล อย่างไรก็ตาม เราสามารถทำให้ ออสโมซิสหยุดลงได้โดยใช้ความดันทางด้านสารละลาย **ความดันที่ทำให้ ออสโมซิสหยุดพอดีนี้เรียกว่า ความดันออสโมติก** ซึ่งเป็นปริมาณโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลายและจากการทดลองของ Van't Hoff ได้สรุปว่า

ตัวอย่าง จงคำนวณหาจุดเดือดของสารละลาย KNO_3 ที่มีความเข้มข้น 0.012 โมลแอล



$$\begin{aligned}\Delta T_b &= i \cdot K_b \cdot m \\ &= 2 \times (0.51)(0.012) \\ &= 0.0122\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{คั้งน้ันจุดเดือดของ } \text{KNO}_3 &= 100 + 0.0122 \\ &= 100.012 \text{ }^\circ\text{C}\end{aligned}$$

ตัวอย่าง จงคำนวณหาจุดเยือกแข็งของสารละลาย MgCl_2 ที่มีความเข้มข้น 0.25 โมลแอล



$$\begin{aligned}\Delta T_f &= i \cdot K_f \cdot m \\ &= 3 \times (1.86) (0.25) \\ &= 1.395\end{aligned}$$

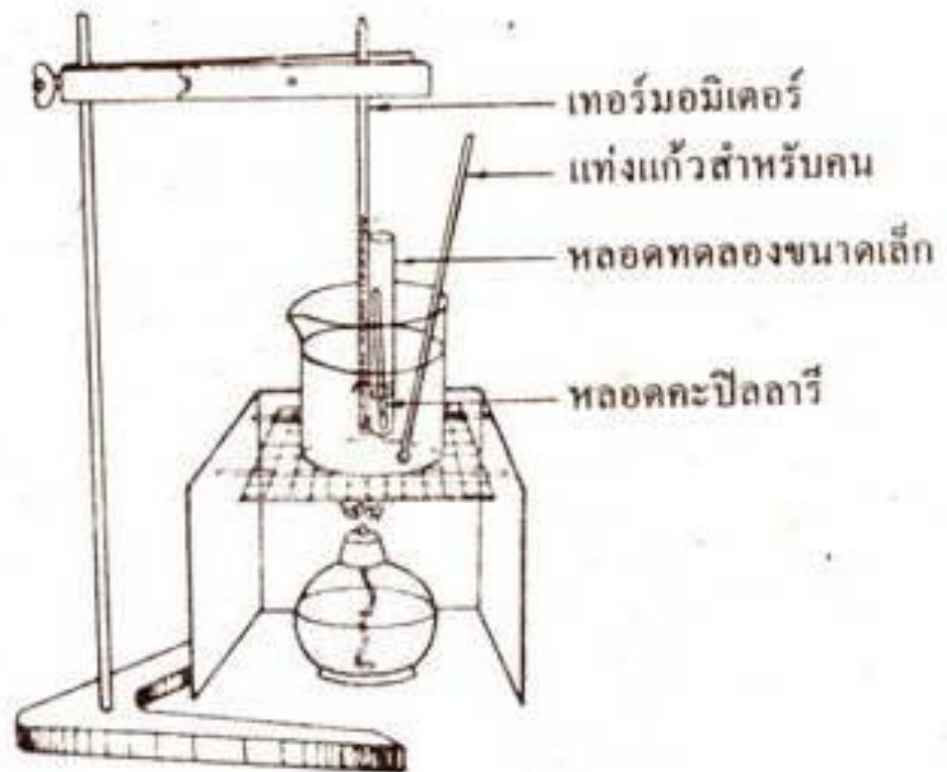
ดังนั้นจุดเยือกแข็งของสารละลาย $\text{MgCl}_2 = 0 - 1.395$
 $= - 1.395 \text{ } ^\circ\text{C}$

การศึกษาสมบัติเกี่ยวกับจุดเดือดของสารละลายกับสารบริสุทธิ์

สาร	ความเข้มข้น (mol/kg)	จุดเดือด ($^{\circ}\text{C}$)
เอทานอล	-	78.5
สารละลายกลีเซอรอลในเอทานอล	2	80.94
สารละลายกลีเซอรอลในเอทานอล	4	83.38
สารละลายกรด โอเลอิกในเอทานอล	2	80.94
สารละลายกรด โอเลอิกในเอทานอล	4	83.38
สารละลายกรด โอเลอิกในเมทานอล	2	66.62

b.p.ของสารละลายจะสูงกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์เสมอ

- ถ้าสารละลายเข้มข้นเท่ากัน ไม่ว่าจะใช้ตัวทำละลายใด ก็ตามจุดเดือดของสารละลายจะเท่ากัน
- สารละลายที่มีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ถ้าความเข้มข้นเป็น mol/kg ต่างกัน สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่า จะมีจุดเดือดที่สูงกว่า



การศึกษาสมบัติเกี่ยวกับจุดหลอมเหลวของสารละลายกับสารบริสุทธิ์

สาร	อุณหภูมิที่หลอมเหลว		ช่วง อุณหภูมิที่ หลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	จุด หลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)	จุด หลอมเหลว ลดลง ΔT_f
	เริ่มหลอมเหลว	หลอมเหลวหมด			
แนฟทาลีน บริสุทธิ์	80	81	$81 - 80 = 1$	$\frac{80 + 81}{2} = 80.5$	-
สารละลาย กรดเบนโซ อิกในแนฟทา ลีน	74.5	79.5	$79.5 - 74.5 = 5$	$\frac{74.5 + 79.5}{2} = 77$	$80.5 - 77 = 3.5$

- สารบริสุทธิ์จะมีช่วงอุณหภูมิของการหลอมเหลวแคบกว่าสารละลายที่มีสารบริสุทธิ์ชนิดนั้น เป็นตัวทำละลาย
- สารบริสุทธิ์จะมีจุดหลอมเหลวสูงกว่าสารละลายที่มีสารบริสุทธิ์ชนิดนั้นเป็นตัวทำละลาย
- สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน ไม่ว่าจะใช้ตัวทำละลายใดก็ตาม จุดหลอมเหลวจะเท่ากัน
- สารละลายที่มีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน ถ้าความเข้มข้นเป็น mol/kg ต่างกัน สารละลายที่มีความเข้มข้นมากกว่าจะมีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า

แบบฝึกหัด

- ▶ 1. NaCl นำมาละลายน้ำได้สารละลาย NaCl เข้มข้น 0.5 mol/kg จงหาว่าสารละลายนี้มีจุดเดือดเท่าใด (K_b ของน้ำ = $0.51 \text{ }^\circ\text{C/m}$)

แบบฝึกหัด

2. นำยูเรียมาละลายในน้ำได้สารละลายยูเรีย ความเข้มข้น 0.25 mol/kg จงหาว่าสารละลายยูเรีย มีจุดเยือกแข็งเท่าใด (K_f ของน้ำ = 0.51°C/m)

แบบฝึกหัด

3. น้ำตาลหนัก 0.5 g ละลายในน้ำ 50 g นำสารละลายที่ได้ไปหาจุดเยือกแข็ง พบว่ามีจุดเยือกแข็งลดลง 0.103 C จงหามวลโมเลกุลของน้ำตาลนี้ (K_f ของน้ำ = 1.86°C/m)