

แผนการสอนสัปดาห์ที่ 3

หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย
บทเรียนที่ 2.1 สารละลาย

จำนวนชั่วโมง 3

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับ

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกประเภทสารละลาย
2. บอกสมบัติคอลลิเกทิว
3. บอกคอลลอยด์

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารประกอบการสอน วิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร powerpoint
3. https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=11425
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย

บทเรียนที่ 2.1 สารละลาย

2.1.1 ประเภทสารละลาย

สารละลาย (solution) คือสารผสมของสารสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิด ปริมาณของส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงได้ แต่เปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขตจำกัด ส่วนประกอบของสารละลายมักเป็นสารบริสุทธิ์ อาจเป็นแก๊ส ของเหลวหรือของแข็ง ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากกว่าเรียกว่า ตัวทำละลาย (solvent) ส่วนประกอบที่มีอยู่ในปริมาณน้อยกว่า เรียกว่า ตัวละลาย (solute) สารละลายอาจมีตัวละลายเพียงหนึ่งชนิดหรือมากกว่าก็ได้ การศึกษาเกี่ยวกับสารละลายอาจมีชื่อเรียกได้หลายชื่อตามชนิดหรือปริมาณของตัวละลายและตัวทำละลายเช่น

- สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า สารละลายเอควีลัส (aqueous solution)
- สารละลายที่มีส่วนประกอบเพียงสองส่วนประกอบคือ ตัวทำละลายกับตัวละลายหนึ่งชนิดเรียกว่า สารละลายทวิภาค (binary solution)
- สารละลายที่มีปริมาณของตัวละลายสูงสุดในตัวทำละลายหนึ่งๆ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ เรียกว่าสารละลายอิ่มตัว (saturated solution) แต่ก่อนที่จะถึงจุดที่เป็นสารละลายอิ่มตัวสารละลายนั้นจะเรียกว่า สารละลายไม่อิ่มตัว (unsaturated solution)

สารละลายอาจมีสถานะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งอย่างหนึ่งอย่างใด จึงแบ่งสารละลายออกได้เป็น 3 ประเภท คือสารละลายแก๊ส สารละลายของเหลว และสารละลายของแข็ง แต่เนื่องจากส่วนประกอบของสารละลายจะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง สารละลายจึงแบ่งได้ถึง 9 ชนิดตามประเภทของตัวละลายและตัวทำละลาย ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ประเภทและชนิดของสารละลาย

ประเภทของสารละลาย	ชนิดของสารละลายในแต่ละสถานะ	ตัวอย่าง
สารละลายแก๊ส	แก๊สในแก๊ส	อากาศ (แก๊ส O_2 ใน N_2)
	ของเหลวในแก๊ส	ความชื้นในอากาศ (น้ำในอากาศ)
	ของแข็งในแก๊ส	ไอของ I_2 (แข็ง) ในอากาศ
สารละลายของเหลว	แก๊สในของเหลว	น้ำโซดา (แก๊ส CO_2 ในน้ำ)
	ของเหลวในของเหลว	แอลกอฮอล์ (แอลกอฮอล์ในน้ำ)
	ของแข็งในของเหลว	น้ำเชื่อม (น้ำตาลในน้ำ)
สารละลายของแข็ง	แก๊สในของแข็ง	H_2 ใน Pd
	ของเหลวในของแข็ง	Hg ใน Ag
	ของแข็งในของแข็ง	โลหะเจือ เช่น Cu ใน Zn (ทองเหลือง)

1) สารละลายแก๊ส เป็นตัวทำละลายโดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊ส ของเหลวและของแข็ง กรณีตัวละลายเป็นแก๊ส หมายถึงแก๊สสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดผสมกัน (ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน) ซึ่งจะผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกส่วนตามสมบัติของแก๊ส เช่น แก๊ส O_2 และ N_2 ในอากาศ ส่วนกรณีที่ตัวละลายเป็นของเหลว เช่น ไอ้ในอากาศ (ความชื้น)

2) สารละลายของเหลว สถานะที่ของเหลวเป็นตัวทำละลาย โดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊สของเหลวและของแข็ง ตัวอย่างแก๊สในของเหลว เช่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือน้ำอัดลม (มีแก๊ส CO₂ ละลาย) การละลายของแก๊สแต่ละชนิดในน้ำมีปริมาณน้อยมาก เช่นที่สภาวะ STP แก๊ส N₂ ละลายได้เพียง 0.001 โมลในน้ำ 1 ลิตร หรือแก๊ส O₂ ละลายได้เพียง 0.0022 โมลในน้ำ 1 ลิตร

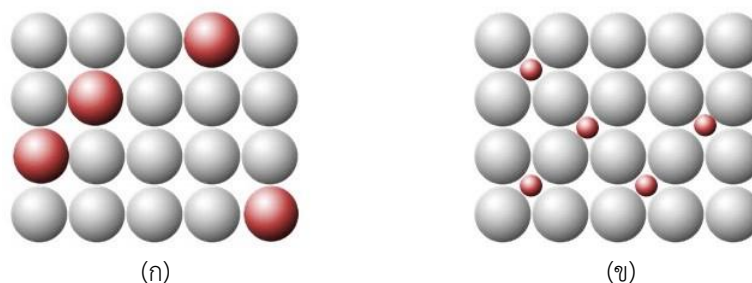
กรณีที่ตัวละลายเป็นของเหลว ถ้าของเหลวสองชนิดไม่ว่าจะใช้องค์ประกอบเท่าไรละลายปนกันอย่างสมบูรณ์ เรียกว่า ของผสมเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ตัวอย่างเช่น เอทานอลกับน้ำ แต่ของเหลวบางชนิดแยกกันอย่างเด็ดขาด ไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่า ของผสมไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneous) เช่น พรอทกับน้ำ น้ำมันกับน้ำ

กรณีที่ตัวละลายเป็นของแข็งพบเห็นมากที่สุด โดยสารละลายส่วนมากจะมีน้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า สารละลายเอควิวส (aqueous) น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีเพราะเป็นสารมีขั้ว สามารถละลายสารประกอบไอออนและสารโคเวเลนต์ที่มีขั้ว

3) สารละลายของแข็ง สถานะที่ของแข็งเป็นตัวทำละลายโดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊สของเหลวและของแข็ง กรณีตัวละลายเป็นแก๊ส โดยของแข็งบางชนิดสามารถรับแก๊สเข้าไปในตัวมันได้ เช่น ถ่านสามารถดูดแก๊ส ส่วนกรณีตัวละลายเป็นของแข็งโดยส่วนมากได้แก่ โลหะเจือ เช่น ทองเหลือง (ทองแดงผสมกับสังกะสี) ได้จากการให้ความร้อนจนทั้งสองผสมกัน แต่ไม่ทำปฏิกิริยาต่อกัน สารละลายประเภทนี้เกิดขึ้นโดยอะตอมตัวละลายเข้าไปแทนที่อะตอมตัวทำละลายในแลตทิซผลึกของตัวทำละลาย จะเกิดได้ดีเมื่อขนาดของอะตอมตัวละลายกับอะตอมตัวทำละลายใกล้เคียงกันจึงแทนที่กันได้ และทำในแลตทิซผลึกเสถียรด้วย การกระจายตัวของตัวละลายในสารละลายของแข็งมี 2 แบบคือ

(1) สารละลายของแข็งแบบแทนที่ (substitutional solid solution) เกิดจากอะตอมของธาตุสองชนิด คืออะตอมของตัวละลาย สามารถเข้าไปแทนที่อะตอมของตัวทำละลาย ในโครงสร้างผลึกได้ โครงสร้างผลึกของโลหะผสมชนิดนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่อาจจะเกิดการเสียรูปไปบ้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดของอะตอมต่างกัน ดังภาพที่ 2.1(ก)

(2) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว (interstitial solid solution) เป็นสารละลายของแข็งที่เกิดขึ้นเนื่องจากอะตอมของตัวละลายเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของอะตอมตัวทำละลาย ระยะช่องว่างระหว่างอะตอมของตัวทำละลายเรียกว่าซอก (interstices) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัวจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อขนาดของอะตอมของตัวทำละลายมีขนาดใหญ่กว่าอะตอมของตัวละลาย ดังภาพที่ 2.1(ข)



ภาพที่ 2.1 การแทนที่ในสารละลายของแข็ง (ก) สารละลายของแข็งแบบแทนที่ และ (ข) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว

4) การละลาย

การละลาย (solubility) คือปริมาณที่มากที่สุดของตัวละลาย (solute) ที่จะละลายได้ในตัวทำละลาย (solvent) ปริมาณหนึ่ง และที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ เขียนเป็นสัดส่วนได้ดังนี้

$$s = \frac{g_{(\text{solute})}}{V_{(\text{solvent})}} \quad \dots\dots(2.1)$$

เมื่อ s = ค่าการละลาย (g/mL หรือ g/L)

$g_{(\text{solute})}$ = ปริมาณที่มากที่สุดของตัวละลาย (g)

$V_{(\text{solvent})}$ = ปริมาตรตัวทำละลาย (mL หรือ L)

ตัวละลายที่ต่างชนิดกันจะมีค่าการละลายที่ต่างกัน เช่น

NaCl มีค่าการละลายเท่ากับ 39.12 กรัมต่อน้ำ 100 mL ที่ 100°C

AgCl มีค่าการละลายเท่ากับ 0.0021 กรัมต่อน้ำ 100 mL ที่ 100°C

ตารางที่ 2.2 ปริมาณตัวละลายและค่าการละลายของเกลือบางชนิดในน้ำ

ตัวละลาย	ปริมาณตัวละลายในสารละลายอิ่มตัว ที่ 20°C (g)	ค่าการละลายที่ 60°C (g/100 g)
NaCl	36.0	37.3
KNO ₃	31.6	110.0
Ag ₂ C ₂ H ₃ O ₂	1.04	1.89
K ₂ Cr ₂ O ₇	13.1	50.5
AgNO ₃	222	525
BaSO ₄	0.00023	0.00036

หน่วยของการละลายส่วนมากคิดน้ำหนักเป็นกรัมตัวละลายต่อตัวทำละลาย 100 กรัม ในกรณี que ตัวละลายเป็นเกลือไอออน (ionic salt) สามารถแบ่งชนิดของเกลือจากค่าการละลายได้ดังนี้

1) เกลือที่ละลายได้ดี (soluble) หมายถึง เกลือที่จะละลายได้มากกว่า 1 กรัม ต่อตัวทำละลาย 100 กรัม

2) ละลายได้น้อย (slightly soluble) หมายถึง และถ้าละลายได้ตั้งแต่ 0.1-1.0 กรัม ต่อตัวทำละลาย 100 กรัม

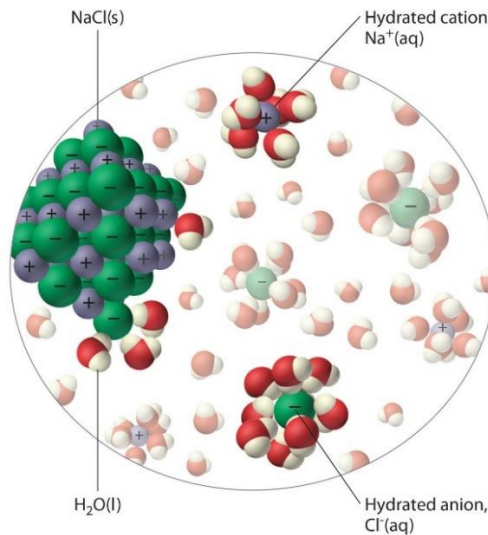
3) เกลือที่ไม่ละลาย (insoluble) หมายถึง เกลือที่ละลายได้น้อยกว่า 0.1 กรัม ต่อตัวทำละลาย 100 กรัม

5) กระบวนการเกิดสารละลาย

สารละลายเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของตัวละลายกระจายเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวทำละลายได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตามอนุภาคของตัวละลายจะสามารถเข้าไปแทนที่อนุภาคของตัวทำละลายได้หรือไม่ หรือมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลาย เช่นแรงไดโพล-ไดโพล จะเกี่ยวข้องกับการละลายสารไอออนในน้ำ หรือแรงกระจายตัว

(dispersion force) จะมีอิทธิพลต่อการละลายของตัวละลายและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้น ปัจจัยสำคัญของการละลาย คือความแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลาย การที่ตัวละลายจะละลายในตัวทำละลายได้นั้น จะต้องทำลายแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคที่ยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวละลายเสียก่อน โดยตัวทำละลายกับอนุภาคของตัวละลายอาจดึงดูดกันแรงมากพอที่จะเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของตัวละลาย และทำให้อนุภาคของตัวละลายหลุดออกจากกัน

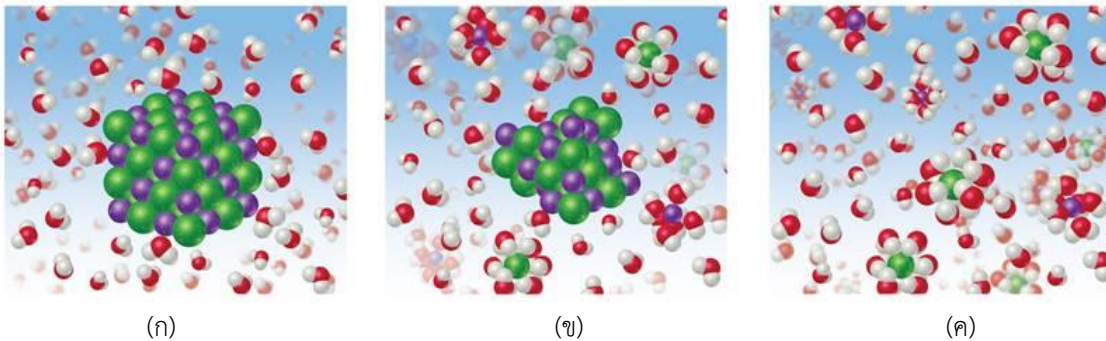
สารละลายจะสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของตัวละลายกับตัวทำละลายมีขนาดใกล้เคียงกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของอนุภาคตัวละลาย หรืออนุภาคตัวทำละลาย จึงทำให้โมเลกุลของตัวละลายเข้าไปแทนที่โมเลกุลของตัวทำละลายได้ดี เช่นเกลือ NaCl ละลายได้ดีในน้ำ เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างไอออน (Na^+ และ Cl^-) กับโมเลกุลมีขั้วของน้ำมีมากพอๆ กัน จึงทำให้สามารถเอาชนะพลังงานแลตทิซของโครงผลึก NaCl ได้ แรงกระทำที่เกิดระหว่างโมเลกุลตัวละลายและโมเลกุลตัวทำละลาย โดยที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลตัวทำละลายล้อมรอบโมเลกุลตัวละลาย เรียกว่าไฮเดรชัน (solvation) ถ้าโมเลกุลตัวทำละลายเป็นน้ำจะเรียกว่า ไฮเดรชัน (hydration) ดังภาพที่ 2.2 แสดงการล้อมรอบสารไอออนโดยโมเลกุลของน้ำ



ภาพที่ 2.2 การล้อมรอบสารไอออนโดยโมเลกุลของน้ำ. ที่มาจาก *Principles of General Chemistry* (Online), by B.A. Averill, 2012.

การละลายของเกลือไอออนในน้ำ เช่น เกลือ NaCl เมื่ออยู่ในน้ำ เนื่องจากสารประกอบไอออน (ionic compound) ประกอบด้วยแคตไอออนประจุบวก (แคตไอออน) และประจุลบ (แอนไอออน) ยึดเหนี่ยวกันอยู่ภายในแลตทิซผลึกด้วยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิต ดังนั้น เกลือไอออนจะละลายได้ก็ต่อเมื่อแคตไอออนและแอนไอออนแยกออกจากกัน ดังภาพที่ 2.3 เมื่อใส่ NaCl ลงไปในน้ำ โมเลกุลน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว (สภาพขั้วมีทั้งบวกและลบ) จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้ำกับไอออนของสารประกอบ NaCl โดยโมเลกุลน้ำจะหันด้านที่เป็นสภาพขั้วบวก (ด้านไฮโดรเจน) เข้าหาแอนไอออน (Cl^-) ที่อยู่ตามผิวของแข็ง และบางโมเลกุลน้ำจะหันด้านสภาพขั้วลบ (ด้านออกซิเจน) เข้าหาแคตไอออน (Na^+) เมื่อแรงดึงดูดระหว่างขั้วของไอออนและโมเลกุลของน้ำแข็งแรงพอที่จะดึงเอาไอออนนั้น ๆ หลุดออกจากตำแหน่งผิวของโครงผลึกได้แล้ว แคตไอออนและแอนไอออนจะถูกโมเลกุลน้ำเข้ามาห้อมล้อม เรียกว่า ไอออนที่ถูกไฮเดรต (hydrated ion) ไอออนที่ถูกไฮเดรตจะแพร่ออกไปในตัวทำละลาย แคตไอออน

และแอนไอออนที่อยู่ผิวของแข็งถูกไฮเดรตหลุดออกไปเรื่อย ๆ จนของแข็งละลายหมดทั้งก้อน จำนวนโมเลกุลน้ำที่เข้าไปห้อมล้อมไอออนแต่ละชนิดมากขึ้นน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับประจุ รัศมีของไอออนและโครงสร้างอะตอมของไอออนนั้น ๆ การละลายของสารขึ้นกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ถ้าแรงดึงดูดคล้ายคลึงกัน (มีความแรงใกล้เคียงกัน) จะละลายซึ่งกันและกัน เรียกว่า “like dissolves like” สารไม่มีขั้วจะละลายในตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว และในทำนองเดียวกัน สารมีขั้วหรือสารประกอบไอออนจะละลายในตัวทำละลายที่มีขั้ว



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 2.3 กระบวนการละลายของเกลือไอออนในน้ำ (ก) ผลึกไอออนถูกห้อมล้อมโดยโมเลกุลของน้ำ (ข) ของแข็งเริ่มละลาย ไอออนถูกไฮเดรต และ (ค) ของแข็งละลายเป็นสารละลาย. ดัดแปลงจาก *Chemistry: The Central Science* (p. 528), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

2.1.2 สมบัติคอลลิเกทีฟ

สมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative properties) คือสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปจากตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายเท่านั้น (ปริมาณตัวละลาย) แต่ไม่ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดหรือธรรมชาติของตัวละลาย

ตัวทำละลายบริสุทธิ์จะมีความดันไอ จุดเดือด และจุดเยือกแข็งที่แน่นอน แต่เมื่อมีตัวละลายที่ไม่สามารถระเหยผสมอยู่เป็นเนื้อเดียวกันในสารละลาย จะทำให้สารละลายมีสมบัติบางประการเปลี่ยนแปลงไป เช่น จุดเดือด จุดเยือกแข็ง ความดันไอ และความดันออสโมติก โดยสำหรับสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ การลดลงของความดันไอ การลดลงของจุดเยือกแข็ง และการเพิ่มขึ้นของจุดเดือดของสารละลาย และความดันออสโมติกของสารละลายจะขึ้นอยู่กับปริมาณหรือจำนวนอนุภาคของตัวละลายที่มีอยู่ในสารละลาย (ความเข้มข้น) เท่านั้น

1) การลดลงของความดันไอ

สารละลายมีความดันไอน้อยกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ เนื่องจากเมื่อมีตัวละลายที่ไม่สามารถระเหยผสมอยู่ในสารละลาย จะทำให้ความดันไอของสารละลายลดต่ำกว่าความดันไอของตัวทำละลาย เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายที่บริเวณผิวหน้าของสารละลายลดน้อยกว่าเดิมจากที่เคยเป็นตัวทำละลาย เพราะมีโมเลกุลของตัวละลายปนอยู่ เมื่อจำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายที่บริเวณผิวหน้าลดลง การที่โมเลกุลหนึ่งๆ ของตัวทำละลายจะสามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวกลายเป็นไอได้จะต้องเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างตัวทำละลายอื่นๆ และแรงดึงดูดระหว่างตัว

ละลายที่ล้อมรอบอยู่ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ โมเลกุลของตัวทำละลายระเหยได้น้อยลง ส่งผลให้ความดันไอของสารละลาย มีค่าน้อยกว่าความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2.4

ในปี ค.ศ.1881 ราอูลต์ (François-Marie Raoult) นักเคมีชาวฝรั่งเศสเสนอกฎทางอุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) ที่เรียกว่า กฎของราอูลต์ (Raoult's law) กล่าวคือ “ความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์จะสูงกว่าสารละลาย” กฎของราอูลต์ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันไอย่อยของตัวทำละลาย (P_A) ซึ่งจะลดลงจากความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์ (P_A^0) เมื่อมีตัวละลายในระบบสารละลายนั้นเพิ่มมากขึ้น

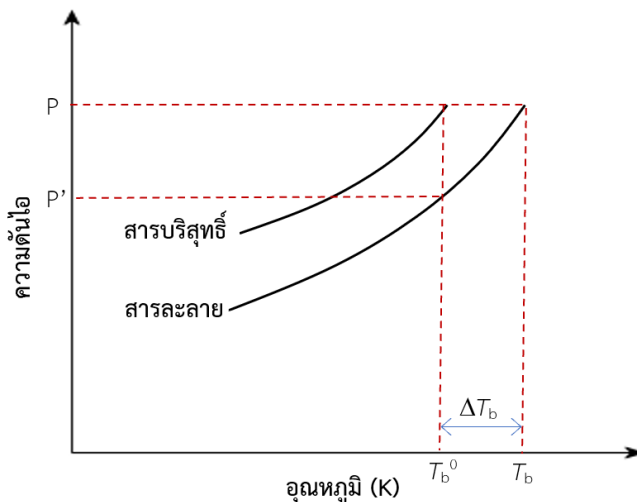
โดยความสัมพันธ์จะขึ้นกับเศษส่วนโมล (mol fraction) ของตัวทำละลาย (X_A) ความสัมพันธ์จะเป็นไปตามกฎของราอูลต์ต่อเมื่อสารละลายในอุดมคติ (ideal solution) เท่านั้น คือกระบวนการละลายไม่มีการดูดหรือคายความร้อน สมการของกฎของราอูลต์ เขียนได้เป็น

$$P_A = X_A P_A^0 \quad \dots(2.2)$$

เมื่อ P_A = ความดันไอย่อยของตัวทำละลายเมื่อเป็นสารละลาย

P_A^0 = ความดันไอย่อยของตัวทำละลายบริสุทธิ์

X_A = เศษส่วนโมลของตัวทำละลาย



ภาพที่ 2.4 ความดันไอของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

ตัวอย่างเช่น ความดันไอของน้ำที่ 20°C เท่ากับ 17.5 ทอร์รี่ ณ อุณหภูมิคงที่ เมื่อเติมกลูโคสลงไปทำให้เศษส่วนโมลของน้ำ (X_{water}) เท่ากับ 0.800 และกลูโคส (X_{glucose}) เท่ากับ 0.200 จากสมการ (2.2) ความดันไอย่อยของน้ำ คือ

$$P_{\text{water}} = (0.800)(17.5 \text{ torr}) = 14.0 \text{ torr}$$

หมายความว่าความดันไอย่อยของน้ำเมื่อเป็นสารละลายจะลดลงจาก 17.5 ทอร์รี่ เหลือ 14.0 ทอร์รี่

ตัวอย่าง 2.1 กลีเซอริน ($C_3H_8O_3$) เป็นสารละลายที่ไม่ระเหยมีความหนาแน่น 1.26 g/cm^3 ที่ 25°C คำนวณความดันไอของสารละลายเมื่อเติมกลีเซอรินปริมาตร 50.0 mL ลงในน้ำ 500 mL (กำหนดความดันไอของน้ำที่ 25°C เท่ากับ 23.8 Torr และความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.0 g/cm^3)

วิธีคิด คำนวณโมลของ $C_3H_8O_3$

$$\text{mol } C_3H_8O_3 = (50.0 \text{ mL } C_3H_8O_3) \left(\frac{1.26 \text{ g } C_3H_8O_3}{1 \text{ mL } C_3H_8O_3} \right) \left(\frac{1 \text{ mol } C_3H_8O_3}{92.0 \text{ g } C_3H_8O_3} \right) = 0.684 \text{ mol}$$

คำนวณโมลของ H_2O

$$\text{mol } H_2O = (500 \text{ mL } H_2O) \left(\frac{1.0 \text{ g } H_2O}{1 \text{ mL } H_2O} \right) \left(\frac{1 \text{ mol } H_2O}{18.0 \text{ g } H_2O} \right) = 27.8 \text{ mol}$$

ดังนั้น เศษส่วนโมลของน้ำคือ

$$X_{H_2O} = \frac{\text{mol } H_2O}{\text{mol } H_2O + \text{mol } C_3H_8O_3} = \frac{27.8}{27.8 + 0.684} = 0.976$$

จากสมการของกฎของราอูลต์ สมการ (2.2)

$$P_{H_2O} = X_{H_2O} P_{H_2O}^0 \\ = (0.976)(23.8 \text{ torr}) = 23.2 \text{ torr}$$

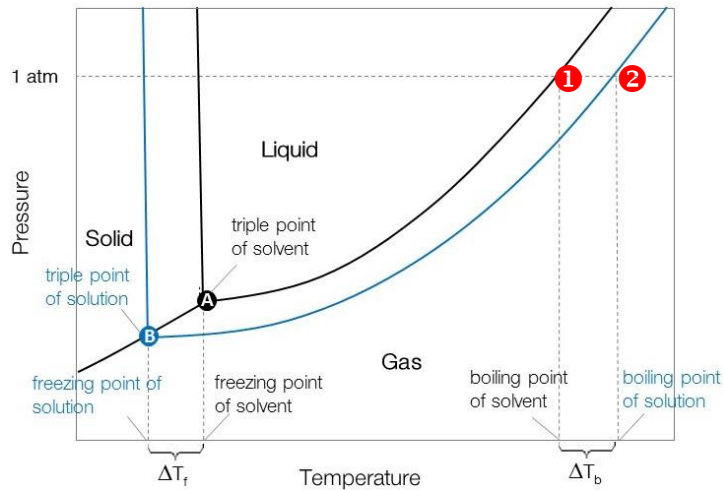
ดังนั้น ความดันไอของน้ำของสารละลายจะลดลงจาก 23.8 Torr เป็น 23.2 Torr แสดงว่าเมื่อเกิดเป็นสารละลายความดันไอลดลงไป 0.6 Torr

2) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือดและการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง

สมบัติของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ณ ที่สถานะหนึ่งๆ จะมีสมบัติจุดเดือดและจุดเยือกแข็งที่แน่นอน แต่เมื่อมีตัวละลายที่ไม่ระเหยผสมอยู่ในสารละลาย โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะทำให้เกิดการลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง และการเพิ่มสูงขึ้นของจุดเดือดของสารละลาย การเปลี่ยนแปลงจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารละลายเทียบกับตัวทำละลายสารบริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2.5 โดยใช้แผนผังวัฏภาค เส้นสีดำ (1) แสดงวัฏภาคของสารบริสุทธิ์ และเส้นสีฟ้า (2) แสดงวัฏภาคของสารละลาย สรุปอุณหภูมิจุดเดือดและการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งได้ คือ

จุดเดือดของสารละลายจะสูงกว่าจุดเดือดปกติของตัวทำละลายบริสุทธิ์

จุดเยือกแข็งของสารละลายจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งปกติของตัวทำละลายบริสุทธิ์



ภาพที่ 2.5 วัฏภาคแสดงการเปลี่ยนแปลงของจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลาย. ตัดแปลงจาก Chemistry: The Central Science (p.545-546), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

การศึกษาสมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายนิยมใช้ความเข้มข้นในหน่วย โมลล (m) ซึ่งเป็นการบอกจำนวนโมลของตัวละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม จากกราฟภาพที่ 2.5 ถ้าให้ ΔT_b คืออุณหภูมิจุดเดือดที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งพบว่า ΔT_b เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

$$\Delta T_b = K_b m \quad \dots(2.3)$$

เมื่อ ΔT_b = ผลต่างของอุณหภูมิจุดเดือดของสารละลายกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ ($T_b^0 - T_b$)

m = ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลล)

K_b = ค่าคงที่โมลลของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด

ถ้าให้ ΔT_f คืออุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งพบว่า ΔT_f เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

$$\Delta T_f = K_f m \quad \dots(2.4)$$

เมื่อ ΔT_f = ผลต่างของอุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งของสารละลายกับสารบริสุทธิ์ ($T_f^0 - T_f$)

K_f = ค่าคงที่โมลลของการลดลงของจุดเยือกแข็ง

ΔT_b และ ΔT_f ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคของตัวละลายที่อยู่ในสารละลายและชนิดของตัวทำละลายเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลาย นั่นคือ ปริมาณของตัวละลายจะมีผลทำให้จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้น และจุดเยือกแข็งจะลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะมีปริมาณของตัวละลายมากหรือน้อย หรือกล่าวง่าย ๆ คือ จุดเดือดและจุดเยือกแข็งจะแปรผันตรงกับโมลลของสารละลาย ถ้ามีปริมาณตัวละลายอยู่น้อย จุดเดือดของสารละลายจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยและจุดเยือกแข็งลดต่ำลงเล็กน้อย ในทางกลับกัน ถ้ามีปริมาณตัวละลายอยู่มาก จุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้นและจุดเยือกแข็งจะต่ำลงมาก

ค่า K_b และ K_f เป็นค่าคงที่เฉพาะสำหรับตัวทำละลายแต่ละชนิด ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวทำละลาย ที่ความดัน 1 atm

ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่โมแลลของจุดเดือดที่เพิ่มสูงขึ้นและจุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงของตัวทำละลายสามัญ

ตัวทำละลาย	จุดเดือดปกติ (°C)	K_b (°C/m)	จุดเยือกแข็งปกติ (°C)	K_f (°C/m)
น้ำ (H ₂ O)	100.0	0.51	0.0	1.86
เบนซีน (C ₆ H ₆)	80.1	2.53	5.5	5.12
เอทานอล (C ₂ H ₅ OH)	78.4	1.22	-114.6	1.99
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl ₄)	76.8	5.02	-22.3	29.8
โคโรฟอร์ม (CHCl ₃)	61.2	3.63	-63.5	4.68

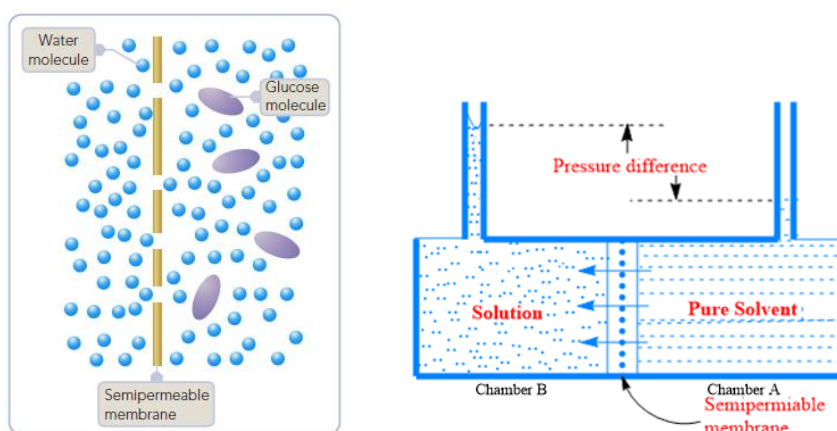
หมายเหตุ. ดัดแปลงจาก *Chemistry: The Central Science* (p. 546), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

3. ความดันออสโมติก

ปรากฏการณ์ออสโมซิส (osmosis) เป็นการซึมผ่านเยื่อเลือกผ่านบางที่มีรูพรุน (semi-permeable membrane) หรือเรียกว่าเมมเบรน ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนประมาณ 0.0001 ถึง 0.1 ไมโครเมตร ความดันออสโมติก (osmotic pressure) จึงเป็นผลต่างระหว่างความดันของสารละลายที่มีความเข้มข้นไม่เท่ากันซึ่งแยกกันด้วยเยื่อเลือกผ่าน

สารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าจะซึมผ่านเมมเบรนไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า เมมเบรนจะยอมให้เฉพาะอนุภาคของตัวทำละลายผ่านไปได้เท่านั้น แต่ไม่ยอมให้โมเลกุลหรือไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุนผ่านไปได้

โมเลกุลของตัวทำละลายของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าซึมผ่านเมมเบรนไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จนกระทั่งเกิดสภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทั้งสอง ดังภาพที่ 2.6



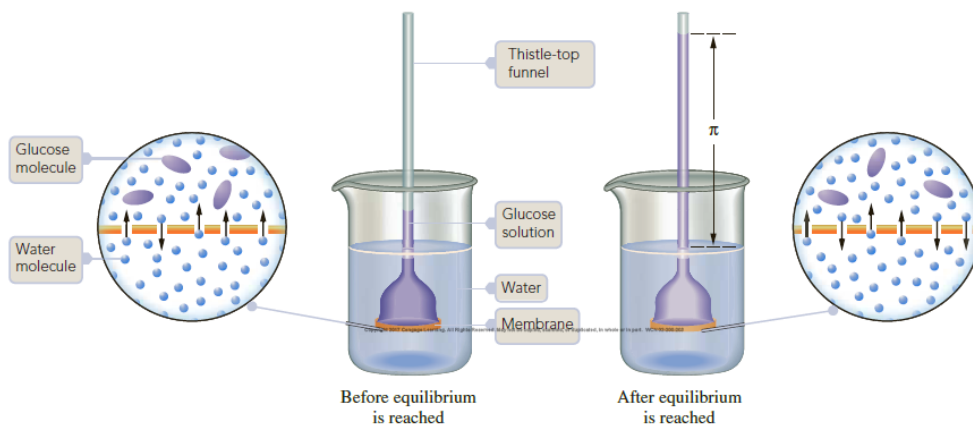
ภาพที่ 2.6 ความดันออสโมติก. จาก *General Chemistry* (p. 428), by D.D. Ebbing & S.D. Gammon, 2017, Cengage Learning.

ความดันออสโมติกจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความดันออสโมติกสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ความดันออสโมติกสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสาร ดังนี้

$$\pi = MRT \quad \dots(2.5)$$

- เมื่อ π = ความดันออสโมติก
 M = ความเข้มข้น หน่วย mol/L
 R = ค่าคงที่ของแก๊ส (0.082 L·atm/K·mol)
 T = อุณหภูมิสัมบูรณ์

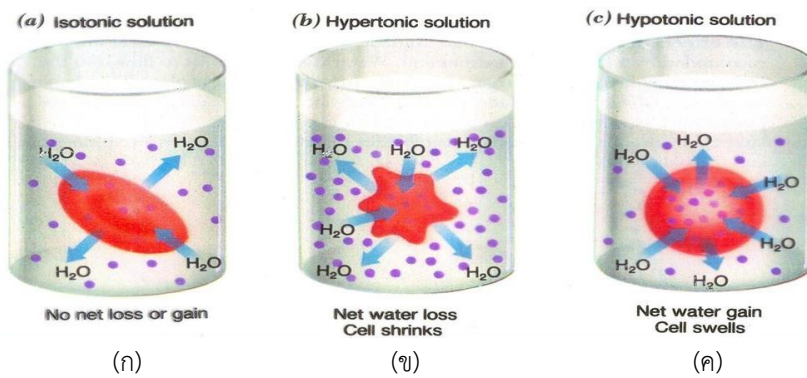
การทดลองความดันออสโมติกของสารละลายกลูโคส ดังภาพที่ 2.7 (ซ้าย) ก่อนภาวะสมดุล โมเลกุลน้ำซึมผ่านเมมเบรนเข้าไปในสารละลายกลูโคสที่บรรจุในกรวยคว่ำ จึงทำให้ระดับของสารละลายกลูโคสสูงกว่าระดับน้ำ และเมื่อภาวะสมดุลระดับของสารละลายกลูโคสขึ้นสูงสุด (ขวา) เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของโมเลกุลน้ำที่เข้าและออกในสารละลายกลูโคสเท่ากัน ความดันออสโมติกจึงหยุด



ภาพที่ 2.7 การทดลองความดันออสโมติกของสารละลายกลูโคส. จาก *General Chemistry* (p. 428), by D.D. Ebbing & S.D. Gammon, 2017, Cengage Learning.

ถ้าแยกความเข้มข้นของสารละลายออกตามการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำผ่านเมมเบรนจะแยกเป็น 3 ประเภท ดังภาพที่ 2.8

- 1) สารละลายไอโซโทนิก (isotonic solution) หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากัน จะมีความดันออสโมติกเท่ากัน
- 2) สารละลายไฮโปโทนิก (hypotonic solution) หมายถึง สารละลายภายนอกมีความเข้มข้นต่ำกว่า
- 3) สารละลายไฮเปอร์โทนิก (hypertonic solution) หมายถึง สารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่า



ภาพที่ 2.8 ประเภทสารละลายจำแนกตามแรงดันออสโมติก

ความสามารถของตัวทำละลายในการซึมผ่านเมมเบรนจะลดลง เมื่อความเข้มข้นของตัวละลายที่ไม่สามารถซึมผ่านเมมเบรนเพิ่มขึ้น ทำให้ระดับของเหลวระหว่างสองฝั่งของเมมเบรนมีค่าไม่เท่ากัน

2.1.3 คอลลอยด์

คอลลอยด์ (colloids) คือสถานะสารที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาค (โมเลกุล หรือไอออน) ซึ่งอาจอยู่ในสถานะแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส ในทำนองเดียวกับสารละลาย สถานะคอลลอยด์ (colloidal state) หรือการกระจายอนุภาคแบบคอลลอยด์ (colloidal dispersion) เป็นการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 5–1,000 nm แขนงลอยอยู่ในตัวกลางในทุกระดับของสารละลาย อนุภาคแขวนลอยอาจเป็นกลุ่มของโมเลกุลหรือไอออน คอลลอยด์ไม่จัดเป็นสารเนื้อเดียวหรือสารเนื้อผสมอย่างแท้จริง เพราะลักษณะขององค์ประกอบของคอลลอยด์บางชนิดสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เช่น นม เบียร์ และเม็ดเลือด แต่บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

1) ประเภทของคอลลอยด์

สถานะคอลลอยด์อาจเป็นได้ทั้งของแข็ง ของเหลวและแก๊สที่มีการกระจายตัวอยู่ในตัวกลางที่อาจเป็นของแข็ง ของเหลวหรือแก๊สก็ได้ แต่คอลลอยด์ในระบบแก๊สกระจายตัวในตัวกลางที่เป็นแก๊ส เพราะแก๊สกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันตามสมบัติของแก๊ส ดังนั้นคอลลอยด์จึงสามารถแบ่งตามสถานะของตัวกลางและอนุภาค ดังนี้

1.1) โซล (sols) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคของแข็งฟุ้งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลว ซึ่งเมื่อตั้งทิ้งไว้นานๆ อนุภาคและตัวกลางจะแยกออกจากกัน คอลลอยด์ประเภทนี้ได้แก่ แมกนีเซียมไฮดรอกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ในน้ำ น้ำแป้ง และโปรตีนในน้ำ

1.2) อิมัลชัน (emulsion) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของเหลวฟุ้งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลวเช่น นมสด และครีมนวดนม อิมัลชันส่วนหนึ่งจะไม่ค่อยเสถียรจะต้องมีใส่สารที่เรียกว่า emulsifying agent เพื่อให้อิมัลชันเสถียร

1.3) เจล (gel) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของแข็งฟุ้งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลว โดยอนุภาคของแข็งจะสานกันเป็นตาข่ายอย่างต่อเนื่องกับตัวกลาง เช่นวุ้น เจลลี่ และเจลาติน

1.4) ละอองลอย (aerosol) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของแข็งหรือของเหลวฟุ้งกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นแก๊ส เช่น หมอก และควัน

ตารางที่ 2.4 ประเภทของคอลลอยด์

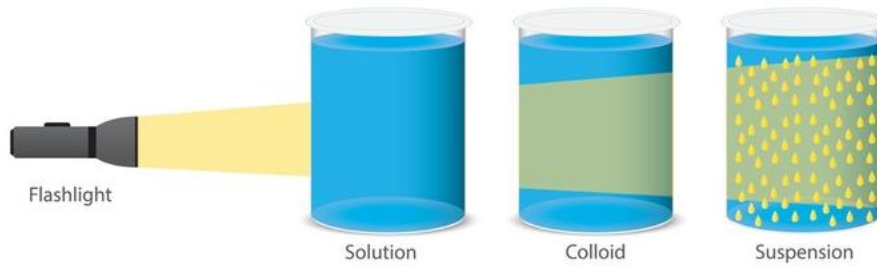
สถานะคอลลอยด์	อนุภาคฟุ้งกระจายในตัวกลาง	ตัวกลาง	ชนิดคอลลอยด์	ตัวอย่าง
แก๊ส	แก๊ส	แก๊ส	-	-
แก๊ส	แก๊ส	ของเหลว	ละอองลอย	หมอก (fog)
แก๊ส	แก๊ส	ของแข็ง	ละอองลอย	ควัน (smoke)
ของเหลว	ของเหลว	แก๊ส	โฟม	ครีม (whipped cream)
ของเหลว	ของเหลว	ของเหลว	อิมัลชัน	นม (milk)
ของเหลว	ของเหลว	ของแข็ง	โซล	สี (paint)
ของแข็ง	ของแข็ง	แก๊ส	โฟมของแข็ง	ขนมหวานละลายในปาก (marshmallow)
ของแข็ง	ของแข็ง	ของเหลว	อิมัลชันของแข็ง	เนย (butter)
ของแข็ง	ของแข็ง	ของแข็ง	โซลของแข็ง	แก้ว (ruby glass)

2) สมบัติของคอลลอยด์

คอลลอยด์มีขนาดของอนุภาคที่อยู่ระหว่างสารแขวนลอยและสารละลาย ดังนั้นสมบัติคอลลอยด์บางประการจึงคล้ายกับสารละลาย ได้แก่

2.1) อนุภาคคอลลอยด์ที่ฟุ้งกระจายไปในตัวกลางที่มีทิศทางการเคลื่อนที่ไม่แน่นอน เมื่ออนุภาคของคอลลอยด์เคลื่อนที่มาชนกัน จะกระจัดกระจายไปทั่วตัวกลางจึงมีผลทำให้คอลลอยด์ไม่ตกตะกอน ลักษณะการเคลื่อนที่แบบนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบบราวน์เนียน (Brownian motion) โดยจุดเริ่มต้นเกิดจาก บราวน์ (Robert Brown, ค.ศ.1828) พืชศาสตร์ชาวสกอตได้สังเกตเห็นการเคลื่อนที่แบบสุ่มทิศทางของละอองเรณู (pollen grain) ในน้ำนิ่งจากกล้องจุลทรรศน์ และเห็นอนุภาคเหล่านั้น (ทั้งที่ไม่มีชีวิต) เคลื่อนที่ได้อย่างสะเปะสะปะไร้ระเบียบด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยไม่มีทิศทางแน่นอน จึงเป็นที่มาของการเรียกว่า การเคลื่อนที่แบบสุ่ม เพราะไม่สามารถรู้ล่วงหน้าได้ว่าอนุภาคจะอยู่ ณ ที่ใด และมีความเร็วเท่าใด

2.2) ถ้าส่องลำแสงเข้าไปยังคอลลอยด์จะสามารถมองเห็นลำแสงสว่างในคอลลอยด์ได้ เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่พอที่ลำแสงสามารถตกกระทบแล้วเกิดการกระเจิงของแสงได้ เราเรียกว่า ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall effect) ดังภาพที่ 2.9 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวไอร์แลนด์ ชื่อ ทินดอลล์ (John Tyndall, ค.ศ.1869) ได้ค้นพบการมองเห็นลำแสงที่ผ่านคอลลอยด์ ส่วนกรณีสารละลายจะไม่เกิดปรากฏการณ์ทินดอลล์ เนื่องจากขนาดของตัวละลายเล็กมากจนแสงสามารถลอดผ่านไปได้ ตัวอย่างปรากฏการณ์ทินดอลล์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น เมื่อฉายไฟเข้าไปในหมอกหรือกลุ่มควัน จะเห็นลำแสงในหมอกหรือกลุ่มควัน หรือปรากฏการณ์รุ้งกินน้ำที่เกิดจากโมเลกุลของละอองน้ำเกิดการกระเจิงกับแสงอาทิตย์ หลังจากที่ฝนตก หรือ การกระเจิงของฝุ่น (dust) ในอากาศกับแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.9 การกระเจิงของแสงในคอลลอยด์

2.3) อนุภาคคอลลอยด์บางชนิดมีประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค เมื่อนำไปละลายในตัวทำละลายในตัวกลางที่มีอนุภาคไฟฟ้าตรงกันข้ามจึงเกิดแรงดึงดูดต่อกัน มีผลทำให้อนุภาคฟุ้งกระจายอยู่ในตัวกลางได้

สรุปท้ายบทเรียน

สารละลายคือสารผสมของสารสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิด ปริมาณของส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงได้ แต่เปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขตจำกัด ส่วนประกอบของสารละลายมักเป็นสารบริสุทธิ์ อาจเป็นแก๊ส ของเหลวหรือของแข็ง ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากกว่าเรียกว่า ตัวทำละลาย ส่วนประกอบที่มีอยู่ในปริมาณน้อยกว่า เรียกว่า ตัวละลาย สารละลายมีสถานะเป็นได้ทั้งสารละลายแก๊ส สารละลายของเหลว และสารละลายของแข็ง ค่าการละลายเป็นการบอกปริมาณที่มากที่สุดของตัวละลายที่จะละลายได้ในตัวทำละลายปริมาณหนึ่ง และที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การละลายเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของตัวละลายกระจายเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวทำละลายได้อย่างทั่วถึง ปัจจัยสำคัญของการละลาย คือความแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลาย สมบัติคอลลิเกทีฟ คือสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปจากตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือด การลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง การลดลงของความดันไอ ความร้อนแฝงของการเป็นไอ และความดันออสโมติก สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายจะขึ้นกับปริมาณของตัวละลายที่มีอยู่ในสารละลายเท่านั้น จะไม่ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาดหรือธรรมชาติของตัวละลาย สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายมีพื้นฐานจากความดันไอที่แตกต่างกันระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ คอลลอยด์คือสถานะสารที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาค (โมเลกุล หรือไอออน) ซึ่งอาจอยู่ในสถานะแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส เป็นการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 5–1,000 nm แขนงลอยอยู่ในตัวกลางในทุกส่วนของสารละลาย อนุภาคแขวนลอยอาจเป็นกลุ่มของโมเลกุลหรือไอออน คอลลอยด์ไม่จัดเป็นสารเนื้อเดียวหรือสารเนื้อผสมอย่างแท้จริง เพราะลักษณะขององค์ประกอบของคอลลอยด์บางชนิดสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เช่น นม เบียร์ และเม็ดเลือด แต่บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

กิจกรรม

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 2.1
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (5 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

เอกสารอ้างอิง

- โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. (2557). *เคมี 3 (แก๊ส เทอร์โมไดนามิกส์ สมดุลเคมี ไฟฟ้าเคมี จลนศาสตร์เคมี)*. บริษัทด้านสุทธาการพิมพ์ จำกัด.
- รานี สุวรรณพฤษ. (2553). *เคมีทั่วไป สำหรับสาขาวิศวกรรมศาสตร์ เล่ม 1 (พิมพ์ครั้งที่ 3)*. บริษัท วิทยพัฒน์ จำกัด.
- อภิสิษฐ์ สงเสสน, สรณรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุดตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับ วิศวกรรม*. บริษัททริฟเฟิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทิตรา หาญพงษ์พันธ์ และปัญญา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์ (ฉบับ ปรับปรุง)* (พิมพ์ครั้งที่ 9). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online ed.).
<https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html>
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4th ed.). Thomson Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W. (2017). *Chemistry: The Central Science* (14th ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12th ed.). McGraw-Hill.
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11th ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter* (6th ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3rd ed.). McGraw-Hill Publishing Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (9th ed.). McGraw-Hill Publishing Company.

แผนการสอนสัปดาห์ที่ 4

หน่วยที่ 2 สารละลายและความเข้มข้นของสารละลาย

บทเรียนที่ 2.2 ความเข้มข้นสารละลาย

จำนวนชั่วโมง 3

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจและคำนวณเกี่ยวกับความเข้มข้นของสารละลาย

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกความหมายความเข้มข้นสารละลาย
2. คำนวณหน่วยความเข้มข้น

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. การบรรยาย และอภิปราย
2. กิจกรรมกลุ่มในชั้นเรียน (Work@class)

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารคำสอน รายวิชาเคมีสำหรับสุขภาพ เครื่องสำอางและการชะลอวัย
2. เอกสาร power point
3. https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=11425
4. <https://www.facebook.com/chemographics>
5. <https://www.slideshare.net/woravith>

การวัดผล

1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

บทเรียนที่ 2.2 ความเข้มข้นสารละลาย

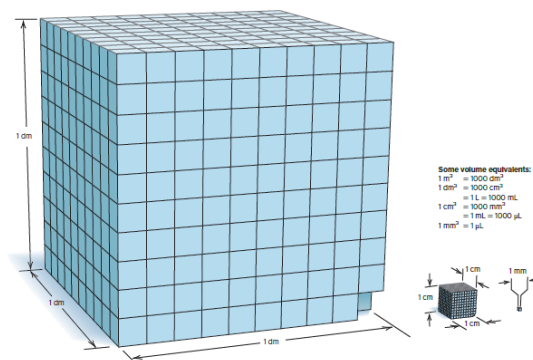
2.2.1 ความหมายของความเข้มข้นสารละลาย

ความเข้มข้นของสารละลาย คือการบอกปริมาณตัวละลาย (solute) ในตัวทำละลาย (solvent) ในปริมาตรสุทธิที่กำหนดอย่างแน่นอน หน่วยปริมาตรของสารละลายในหน่วยอนุพัทธ์เอสไอ (SI unit) คือ ลูกบาศก์เมตร (m^3) แต่ในทางเคมีมักนิยมใช้หน่วย ลิตร (liter, L) และมิลลิลิตร (milliliter, mL) และการวัดของเหลวในร่างกายมักใช้หน่วยลูกบาศก์เดซิเมตร (dm^3) ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงอาจถือได้ว่า

$$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$$

และ 1 mL จะใกล้เคียงหรือเท่ากับ 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร (cm^3) ดังนั้น

$$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3 = 10^{-3} \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ L} = 10^{-6} \text{ m}^3$$



ภาพที่ 2.10 ความสัมพันธ์ของปริมาตรในหน่วยเอสไอ. จาก *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and Change* (p. 14). M.S. Silberberg & P.G. Amateis, 2021, McGraw-Hill.

2.2.2 หน่วยความเข้มข้น

1) หน่วยร้อยละ (percentage, %)

1.1) ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (%weight per weight; %w/w) หมายถึง น้ำหนักของตัวละลายในน้ำหนักรวมของสารละลาย 100 ส่วน เช่น สารละลาย KCl 5%w/w มีความหมายว่า สารละลาย 100 g จะประกอบด้วย KCl 5 g และน้ำ 95 g

1.2) ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร (%weight per volume; %w/v) หมายถึง น้ำหนักของตัวละลายในปริมาตรสารละลาย 100 ส่วน เช่น สารละลาย KCl 5%w/v มีความหมายว่า สารละลาย 100 mL มี KCl ละลายอยู่ 5 g

1.3) ร้อยละโดยปริมาตรต่อปริมาตร (%volume per volume; %v/v) หมายถึง ปริมาตรของตัวละลายในสารละลาย 100 ส่วน มักใช้กับสารละลายที่เกิดจากการละลายของเหลวในของเหลว เช่น เอทานอล (C_2H_5OH) 10%v/v ในน้ำ มีความหมายว่า สารละลายเอทานอล 100 mL มีเอทานอลละลายอยู่ 10 mL

การแปลงจาก %w/v เป็นหน่วยโมลาร์ เมื่อทราบน้ำหนักโมเลกุลของตัวละลาย

$$M = \frac{10 \times \%w/v}{MM}$$

การแปลงจาก w/w เป็นหน่วยโมลาร์ เมื่อทราบความหนาแน่นของสารละลาย (d)

$$M = \frac{10 \times \%w/w \times d}{MM}$$

การแปลงจาก %v/v เป็นหน่วยโมลาร์ เมื่อทราบความหนาแน่นของตัวละลาย (D)

$$M = \frac{10 \times \%v/v \times D}{MM}$$

2) หน่วยโมลาริตี

โมลาริตี (molar หรือ molarity, M) เป็นหน่วยที่นิยมใช้มากในทางเคมี เป็นการบอกหน่วยของสารละลายที่บอกเป็นโมลของตัวละลายในสารละลาย 1 L เช่น KOH 0.25 mol/L มีความหมายว่าในสารละลาย 1 L มี KOH ละลายอยู่ 0.25 mol

$$M = \frac{n}{1 \text{ L}} \quad \text{.....(2.6)}$$

เมื่อ M = โมลาริตี (mol/L)

n = จำนวนโมลตัวละลาย (mol)

หน่วยโมลาริตีมักเรียกสั้นๆ ว่าโมลาร์ มีหน่วยเป็น โมลต่อลิตร (mol/L) และในการเตรียมสารละลายในหน่วยโมลาร์ ที่ปริมาตรสุทธิของสารละลายที่ต้องการ อาจใช้สูตร คือ

$$M = \left(\frac{g}{MM} \right) \left(\frac{1000}{V} \right) \quad \text{.....(2.7)}$$

เมื่อ M = โมลาริตี (mol/L)

g = น้ำหนักสาร (หน่วย g)

MM = มวลต่อโมล (molar mass) (หน่วย g/mol)

V = ปริมาตรสารละลาย (หน่วย mL)

ตัวอย่าง 2.2 เมื่อละลาย KMnO_4 1.000 g ในน้ำปริมาตร 250 mL จงคำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์

วิธีคิด น้ำหนักโมเลกุล KMnO_4 เท่ากับ 158.03 g/mol

$$M = \left(\frac{1.000 \text{ g}}{158.03 \text{ g/mol}} \right) \left(\frac{1000 \text{ mL}}{250 \text{ mL}} \right) = 0.02531 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นเท่ากับ 0.02531 mol/L

ตัวอย่าง 2.3 ต้องการเตรียม CaCO_3 0.25 mol/L ปริมาตร 500 mL จะต้องใช้ CaCO_3 จำนวนกี่กรัม

วิธีคิด น้ำหนักโมเลกุล $\text{CaCO}_3 = 100 \text{ g/mol}$

$$g = (0.25 \text{ mol/L} \times 100 \text{ g/mol}) \left(\frac{500 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right)$$

$$= 12.5 \text{ g}$$

ดังนั้น จะต้องชั่ง CaCO_3 จำนวน 12.5 g

3) หน่วยนอร์มัลลิตี

นอร์มัลลิตี (normality, N) หรือเรียกว่า นอร์แมล (normal) คือ จำนวนกรัมสมมูล ($g_{eq.wt.}$) ของตัวละลายในสารละลาย 1 L เช่น สารละลายกรดไนตริก (HNO_3) 1.0 N มีความหมายว่า ในสารละลายปริมาตร 1 L มีกรดไนตริกละลายอยู่ 1 กรัมสมมูล

$$N = \frac{g_{eq.wt.}}{1 L} \quad \dots(2.8)$$

เมื่อ $g_{eq.wt.}$ = จำนวนกรัมสมมูล (gram equivalent weight)

$$g_{eq.wt.} = \frac{wt.}{eq.wt.} \quad \dots(2.9)$$

$$eq.wt. = \frac{g_{FW}}{n} \quad \dots(2.10)$$

เมื่อ $wt.$ = น้ำหนักของตัวละลาย (g)

$eq.wt.$ = น้ำหนักกรัมสมมูล

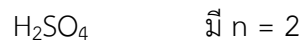
g_{FW} = กรัมน้ำหนักสูตรตัวละลาย

n = จำนวนเวเลนซี

น้ำหนักสมมูลของสาร คำนวณได้จากสมการ (2.9) ซึ่งจำนวนเวเลนซีจะต้องพิจารณาจากชนิดของสารนั้น ๆ ดังนี้

1) น้ำหนักสมมูลของกรด-เบส

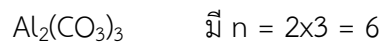
กรด จำนวนเวเลนซี คือ จำนวน H^+ ที่สามารถถูกแทนที่ได้ด้วยโลหะ เช่น



เบส จำนวนเวเลนซี คือ จำนวน H^+ ที่เข้าไปแทนที่ OH^- ในเบส



2) น้ำหนักสมมูลของเกลือ พิจารณาจากจำนวนเวเลนซ์ทั้งหมดของแคตไอออน หรือแอนไอออน จำนวนเวเลนซี คือ ผลคูณระหว่างเลขจำนวนแคตไอออนและแอนไอออน (ตัวห้อย) เช่น



3) น้ำหนักสมมูลของสารออกซิไดส์ (oxidizing agent) หรือสารรีดิวซ์ (reducing agent) ในปฏิกิริยารีดอกซ์ พิจารณาจากเลขออกซิเดชัน (oxidation number) ที่เปลี่ยนแปลงไปต่อ 1 โมเลกุล

สารออกซิไดส์หรือสารรีดิวซ์ที่นิยมใช้ในการทดลองทางเคมี แสดงดังตารางที่ 2.5 ซึ่งจะเห็นว่าเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นกับสภาวะกรด-เบสของสารละลายด้วย

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักสมมูลของสารออกซิไดส์หรือสารรีดิวซ์

สาร	ชนิด	สถานะ สารละลาย	ผลิตภัณฑ์	เลขออกซิเดชัน ที่เปลี่ยนแปลง	น้ำหนัก สมมูล
KMnO ₄	สารออกซิไดส์	กรด	Mn ²⁺	5	g _{FW} /5
KMnO ₄	สารออกซิไดส์	เบส	MnO ₂	3	g _{FW} /3
K ₂ Cr ₂ O ₇	สารออกซิไดส์	กรด	Cr ³⁺	3x2	g _{FW} /6
I ₂	สารออกซิไดส์	กรด	I ⁻	1	g _{FW} /1
KH(IO ₃) ₂	สารออกซิไดส์	กรด	I ₂	6x2	g _{FW} /12
K(IO ₃)	สารออกซิไดส์	กรด	I ₂	6	g _{FW} /6
Na ₂ C ₂ O ₄	สารรีดิวซ์	กรด	CO ₂	1x2	g _{FW} /2
KI	สารรีดิวซ์	กรด	I ₂	1	g _{FW} /1
Na ₂ S ₂ O ₃	สารรีดิวซ์	กรด	S ₄ O ₆ ²⁻	1	g _{FW} /1

หมายเหตุ. จาก เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ (หน้า 37), โดย วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2565, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ตัวอย่าง 2.4 อธิบายการเตรียมสารละลายกรดซัลฟิวริก 0.500 N ปริมาตร 500.0 mL จากสารละลายกรด H₂SO₄ เข้มข้น 98%w/w (น้ำหนักสูตร H₂SO₄ เท่ากับ 98.08 g/mol, ความถ่วงจำเพาะ 1.84)

วิธีคิด เนื่องจาก H₂SO₄ มีจำนวน H⁺ ที่สามารถถูกแทนที่ด้วยโลหะ จำนวน 2 ตัว ดังนั้น จำนวนเวเลนซ์ (n) = 2 น้ำหนักสมมูล (eq.wt.) และกรัมสมมูล (g_{eq.wt.}) คำนวณได้ดังนี้

$$\text{จาก } N = \text{wt.} \times \left(\frac{n}{g_{\text{eq.wt.}}} \right)$$

$$\text{wt.} = \frac{0.500 \text{ N} \times 98.08 \text{ g/mol}}{2} = 24.52 \text{ g}$$

ปริมาตรที่ต้องการเตรียม 500.0 mL คำนวณน้ำหนัก

$$\text{wt.} = 24.52 \text{ g} \times \left(\frac{250 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right) = 12.26 \text{ g}$$

คำนวณปริมาตร

$$V = 12.26 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mL}}{1.84 \text{ g}} = 6.66 \text{ mL}$$

ดังนั้น ต้องปิเปตสารละลายกรด H₂SO₄ เข้มข้น 98%w/w ปริมาตร 6.66 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 500 mL

ตัวอย่าง 2.5 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H₂SO₄) จำนวน 24.5 กรัม ละลายในน้ำ 1 L จงหาความเข้มข้นของ H₂SO₄ ในหน่วย ก) โมลาร์ และ ข) นอร์มัล (น้ำหนักโมเลกุลของ H₂SO₄ เท่ากับ 98.0 g/mol)

วิธีคิด ก) คำนวณหน่วย โมลาร์

$$\text{จำนวนโมลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = 24.5 \text{ g } \text{H}_2\text{SO}_4 \times \left(\frac{1 \text{ mol } \text{H}_2\text{SO}_4}{98.0 \text{ g/mol } \text{H}_2\text{SO}_4} \right) = 0.25 \text{ mol}$$

$$\text{จากสมการ (2.7)} \quad M = \frac{0.25 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.25 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายซัลฟิวริก เท่ากับ 0.25 mol/L

ข) คำนวณหน่วย นอร์มัล

$$\text{น้ำหนักสมมูลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = (98.0/2) = 49.0$$

$$\text{จำนวนกรัมสมมูลของ } \text{H}_2\text{SO}_4 = \frac{24.5}{49.0} = 0.5$$

$$\text{จากสมการ (2.8)} \quad N = \frac{0.50}{1 \text{ L}} = 0.50$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 0.50 N

4) หน่วยโมแลลิตี

หน่วยโมแลลิตี (molality, molal, m) หรือเรียกว่า โมแลล (molal) คือ หน่วยความเข้มข้นที่เป็นอัตราส่วนของจำนวนโมลของตัวละลายต่อมวลของสารละลาย 1 กิโลกรัม

$$m = \frac{n}{1 \text{ kg}} \quad \dots(2.11)$$

เมื่อ $n =$ จำนวนโมลตัวละลาย

ตัวอย่าง 2.6 คำนวณความเข้มข้นหน่วยโมแลลของสารละลายกลูโคส ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) 100.0 g ในน้ำ 500 g (น้ำหนักโมเลกุลของ $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ เท่ากับ 180.06 g/mol)

$$\text{วิธีคิด} \quad n_{\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6} = 100.0 \text{ g} \times \frac{1 \text{ mol}}{180.06 \text{ g}} = 0.5554 \text{ mol}$$

น้ำ 500 g มี $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ละลายอยู่ 0.5554 mol

$$\text{ถ้า น้ำ 1000 g จะมี } \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \text{ ละลายอยู่} = \frac{(0.5554 \text{ mol} \times 1000 \text{ g})}{500 \text{ g}} = 1.11 \text{ mol}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายกลูโคสเท่ากับ 1.11 โมแลล

5) หน่วยส่วนในล้านส่วน

ส่วนในล้านส่วน (part per million, ppm) หรือเรียกว่า พีพีเอ็ม เป็นหน่วยน้ำหนักของตัวละลายในหนึ่งล้านส่วนน้ำหนักของสารละลาย หน่วยนี้นิยมใช้กับการรายงานปริมาณสารที่มีจำนวนน้อย ๆ หน่วยพีพีเอ็ม อาจเขียนได้หลายหน่วยด้วยกันแต่มีความหมายเดียวกัน เช่น มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/L) หรือมิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (mg/kg) หรือไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ($\mu\text{g/mL}$) หรือไมโครกรัมต่อกรัม

($\mu\text{g/g}$) เป็นต้น เช่น สารละลาย Cu^{2+} 100 ppm หมายความว่า ในสารละลาย 1 L มี Cu^{2+} ละลายอยู่ 100 mg

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg}_{(\text{solute})}}{1 \text{ L}} \quad \dots(2.12)$$

เมื่อ $\text{ppm} = \text{ส่วนในล้านส่วน (mg/L, mg/kg)}$
 $\text{mg}_{(\text{solute})} = \text{น้ำหนักตัวละลาย}$

ตัวอย่าง 2.7 จงคำนวณน้ำหนัก $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ (189.40 g/mol) เพื่อใช้เตรียมสารละลายมาตรฐาน Zn^{2+} ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 1 L

วิธีคิด Zn^{2+} 1000 ppm คือ สารละลาย 1 L มี Zn^{2+} ละลายอยู่ 1000 mg (หรือ 1.000 g) เนื่องจากไอออน Zn^{2+} มีอัตราส่วนในสูตรเคมี $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ เป็น 1:1 $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ หนัก 189.40 g มีไอออน Zn^{2+} เป็นองค์ประกอบอยู่เท่ากับ 65.39 g หรือกล่าวได้ว่า

ไอออน Zn^{2+} หนัก 65.39 g เป็นองค์ประกอบของ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ที่หนัก 189.40 g
 ถ้าเราต้องการ Zn^{2+} หนัก 1.000 g จะต้องชั่ง $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ ดังนี้

$$\frac{1.000 \text{ g} \times 189.40 \text{ g}}{65.39 \text{ g}} = 2.896 \text{ g}$$

ดังนั้น เมื่อนำ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ หนัก 2.896 g ละลายน้ำปริมาตร 1 L จะได้ความเข้มข้นของสารละลาย Zn^{2+} เท่ากับ 1000 ppm

หรือคำนวณวิธีการเปลี่ยนแฟกเตอร์ ได้ดังนี้

$$\text{wt.}_{\text{Zn}(\text{NO}_3)_2} = 1.000 \text{ g Zn}^{2+} \times \left(\frac{1 \text{ mol Zn}^{2+}}{65.39 \text{ g Zn}^{2+}} \right) \left(\frac{189.40 \text{ g Zn}(\text{NO}_3)_2}{1 \text{ mol Zn}(\text{NO}_3)_2} \right) = 2.896 \text{ g}$$

6) หน่วยเศษส่วนโมล

เศษส่วนโมล (mol fraction, X) คืออัตราส่วนของจำนวนโมลของตัวละลายหรือตัวทำละลาย ต่อจำนวนโมลทั้งหมดในสารละลาย

$$X = \frac{n_{(1)}}{n_{(\text{total})}} \quad \dots(2.13)$$

เมื่อ X = เศษส่วนโมล

$n_{(1)}$ = จำนวนโมลของตัวละลาย ชนิดที่ 1

$n_{(\text{total})}$ = จำนวนโมลทั้งหมดของสารละลาย

สารละลายผสมประกอบด้วยสารละลาย a และสารละลาย b ดังนั้น

n_a เป็น จำนวนโมลของตัวละลาย

n_b เป็น จำนวนโมลของตัวทำละลาย

$$X_a = \frac{n_a}{n_a + n_b} \text{ และ } X_b = \frac{n_b}{n_a + n_b}$$

ผลรวมของเศษส่วนโมลของตัวละลายกับตัวทำละลายมีค่าเท่ากับ $X_a + X_b = 1$

ตัวอย่าง 2.8 เมื่อเติมเอทานอลบริสุทธิ์ (C_2H_5OH) หนัก 20 g ลงในน้ำหนัก 100 g จงคำนวณเศษส่วนโมลขององค์ประกอบทั้งสองเป็นเท่าใด

วิธีคิด เอทานอล (C_2H_5OH) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 46.07 g/mol

น้ำ (H_2O) มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 18.02 g/mol

$$n_{C_2H_5OH} = 20 \text{ g } C_2H_5OH \times \left(\frac{1 \text{ mol } C_2H_5OH}{46.07 \text{ g } C_2H_5OH} \right) = 0.434 \text{ mol}$$

$$n_{H_2O} = 100 \text{ g } H_2O \times \left(\frac{1 \text{ mol } H_2O}{18.02 \text{ g } H_2O} \right) = 5.55 \text{ mol}$$

ดังนั้น เศษส่วนโมลของน้ำ

$$X_{H_2O} = \frac{n_{H_2O}}{(n_{H_2O} + n_{C_2H_5OH})} = \frac{5.55}{(5.55+0.434)} = 0.927$$

เศษส่วนโมลของเอทานอล

$$X_{C_2H_5OH} = \frac{n_{C_2H_5OH}}{(n_{H_2O} + n_{C_2H_5OH})} = \frac{0.434}{(5.55+0.434)} = 0.0730$$

ผลรวมของเศษส่วนโมลของน้ำและเอทานอล $0.927 + 0.073 = 1$

7) หน่วยอัตราส่วนเจือจาง

อัตราส่วนเจือจาง (dilution ratio) คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างสารสองชนิด หรือมากกว่าสองชนิด โดยระบุอัตราส่วนเป็นตัวเลขอยู่ในวงเล็บและคั่นด้วยเครื่องหมายทวิภาค (:). อัตราส่วนเจือจางนิยมใช้ในสารละลายกรดและเบสในน้ำ เลขตัวแรกแสดงถึงปริมาตรของกรดหรือเบส ส่วนตัวเลขหลังแสดงถึงปริมาตรของน้ำที่ใช้เจือจาง เช่น กรด HCl (1:3) หมายถึง ในสารละลายกรด HCl 4 ส่วน ประกอบด้วยกรด HCl เข้มข้น 1 ส่วน และมีน้ำ 3 ส่วน หรืออาจกล่าวได้ว่า กรด HCl เข้มข้น 1 หน่วยปริมาตร ต่อน้ำ 3 หน่วยปริมาตร

ตัวอย่าง 2.9 จงอธิบายการเตรียมสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) ในน้ำให้มีความเข้มข้น (1:4) ปริมาตร 100 mL

วิธีคิด สารละลายกรด HNO_3 เข้มข้น (1:4) ปริมาตร 100 mL หมายความว่า ในสารละลายกรด HNO_3 100 mL มีกรด HNO_3 1 หน่วยปริมาตร ต่อน้ำ 4 หน่วยปริมาตร

สารละลายกรด HNO_3 5 ส่วน เท่ากับ 100 mL ดังนั้น 1 ส่วน เท่ากับ 20 mL

ดังนั้น ต้องใช้ HNO_3 20 mL ผสมกับน้ำ 80 mL

2.2.3 การเตรียมสารละลาย

การเตรียมสารละลาย เป็นขั้นตอนการเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการทดลองให้มีความเข้มข้นตามที่ เราต้องการ การเตรียมสารละลายจากสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งหรือของเหลว จำเป็นจะต้องทราบข้อมูล ของสารเคมีนั้นเสียก่อน โดยดูได้จากฉลากที่ขวดสารเคมี ข้อมูลที่จำเป็น เช่น ชื่อสารเคมี สูตรโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล ข้อมูลแสดงความบริสุทธิ์ของสารเคมี ระดับความเข้มข้น และองค์ประกอบของสารเคมี เป็นต้น โดยส่วนใหญ่สารเคมีที่นำมาเตรียมเป็นสารละลายจะเป็นของแข็งและของเหลว ขั้นตอนการ เตรียมอาจสรุปได้ดังนี้

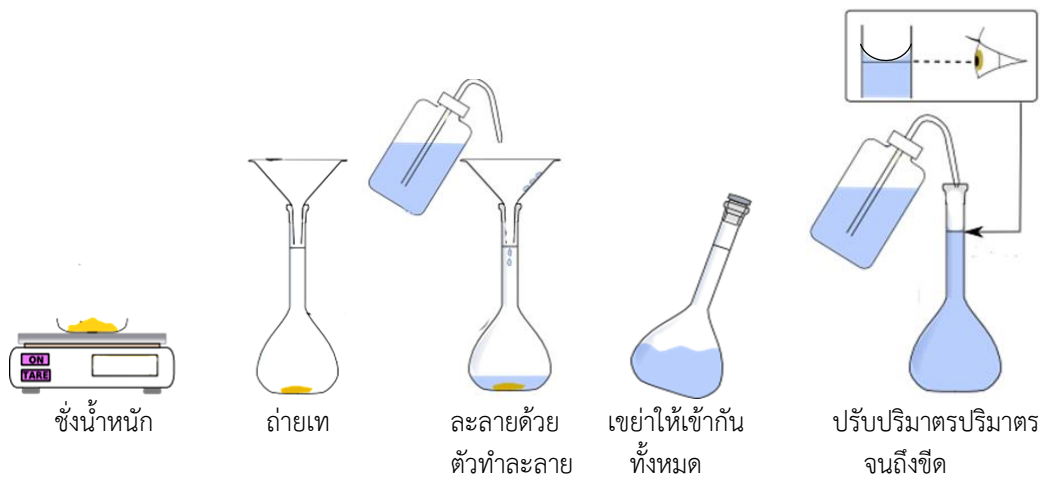
ขั้นที่ 1 การคำนวณน้ำหนักหรือปริมาตรที่ต้องการ เพื่อใช้สำหรับการเตรียม สารละลายในหน่วยความเข้มข้นที่ต้องการ ขั้นตอนนี้ผู้เตรียมต้องทราบว่า จะเตรียมสารละลายนั้นใน หน่วยความเข้มข้นใด ปริมาตรสุดท้ายที่ต้องการเตรียม เป็นต้น สารเคมีบางประเภทจำเป็นต้องผ่านการ อบเพื่อกำจัดความชื้นเป็นระยะเวลาอย่างน้อย 2 ชั่วโมงเสียก่อน เช่น สารมาตรฐานปฐมภูมิ (primary standard reagents) สำหรับการหาความเข้มข้นแน่นอน (standardization)

ขั้นที่ 2 การชั่งหรือตวง ขั้นตอนนี้ผู้เตรียมต้องทำการชั่งหรือตวงสารตามที่คำนวณ ข้างต้น การเตรียมสารละลายที่ต้องการความเข้มข้นแน่นอนหรือถูกต้องนิยมใช้เครื่องชั่งไฟฟ้าละเอียด 4 หรือ 5 ตำแหน่ง แต่ถ้าต้องการเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นโดยประมาณจะใช้เครื่องชั่งไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง เช่น การเตรียมสารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ (secondary standard solution) ส่วนการตวง ปริมาตรที่แน่นอนนิยมใช้ปิเปต

ขั้นที่ 3 การถ่ายสารที่ชั่งลงในขวดกำหนดปริมาตร (volumetric flask) หรือภาชนะที่ เหมาะสม ทำได้โดยการใช้ตัวทำละลายปริมาณเล็กน้อยละลายสารให้หมดเสียก่อน แล้วจึงเทใส่ขวด กำหนดปริมาตร หรืออาจเทของแข็งที่ชั่งลงในขวดกำหนดปริมาตรก่อนแล้วค่อยเติมตัวทำละลาย ควร ใช้ตัวทำละลายล้างภาชนะที่ใช้ชั่งสารแล้วเทใส่ขวดกำหนดปริมาตร เนื่องจากอาจมีสารบางส่วนติดที่ ผนังภาชนะ

ขั้นที่ 4 การปรับปริมาตรด้วยตัวทำละลายให้ได้ปริมาตรตามที่ต้องการ ขวดกำหนด ปริมาตรจะมีขีดบอกปริมาตร อย่าเติมให้สารละลายเกินขีดบอกปริมาตรเป็นอันขาด เนื่องจากจะไม่สามารถคำนวณความเข้มข้นแน่นอนได้ โดยให้ส่วนโค้งกลางของระดับปริมาตรตัวทำละลายอยู่ระดับขีด บอกริมาตรของขวดกำหนดปริมาตร โดยต้องดูที่ระดับสายตา

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายโดยทั่วไปที่ต้องการความเที่ยงของความเข้มข้นจะต้องเตรียมโดย ใช้อุปกรณ์ที่มีความเที่ยงที่ผ่านการทวนสอบ เช่น เครื่องชั่ง ปิเปต กระจกตวง และขวดกำหนด ปริมาตร เป็นต้น ขั้นตอนการเตรียมสารละลายแสดงดังภาพที่ 2.11 แต่ในกรณีที่ไม่ต้องการความเที่ยง ของปริมาตรสารละลายมากนัก อาจใช้ปิเกตอร์ในการเตรียมแบบประมาณ เนื่องจากสารละลาย ประเภทนั้นไม่อาจทราบความเข้มข้นแน่นอนได้อย่างแท้จริง แม้ใช้เครื่องแก้วที่มีปริมาตรแน่นอน เช่น สารละลายมาตรฐานทุติยภูมิ



ภาพที่ 2.11 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายจากสารสถานะของแข็ง. ที่มาจาก *เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ* (หน้า 43) โดย วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ, 2563, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

1) การเตรียมสารละลายหน่วยโมลาร์

หน่วยโมลาร์เป็นหน่วยความเข้มข้นของสารละลายที่นิยมใช้กันมากในการทดลองและห้องปฏิบัติการเคมี การคำนวณการเตรียมสารละลายหน่วยโมลาร์และขั้นตอนการเตรียมแบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้

1.1) กรณีสารตั้งต้นที่ใช้เตรียมเป็นของแข็ง คำนวณได้จากสมการ (2.7) หรือสามารถใช้วิธีการเปลี่ยนแพกเตอร์ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 2.10 อธิบายการเตรียมสารละลาย KMnO_4 (158.03 g/mol) 0.0100 mol/L ปริมาตร 250.00 mL

วิธีคิด คำนวณน้ำหนัก KMnO_4

$$\begin{aligned} \text{wt.} &= \left(\frac{0.0100 \text{ mol}}{1 \text{ L}} \right) \left(\frac{158.03 \text{ g}}{1 \text{ mol}} \right) \left(250.00 \text{ mL} \times \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) \\ &= 0.395 \text{ g} \end{aligned}$$

การเตรียม KMnO_4 เข้มข้น 0.0100 mol/L ปริมาตร 250.00 mL ต้องชั่ง KMnO_4 0.395 กรัม ละลายในน้ำกลั่นเล็กน้อย เทใส่ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 250.00 mL แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดบอกปริมาตร

1.2) กรณีสารตั้งต้นที่เป็นสารละลาย

2.1) การคำนวณการเตรียมจากสารละลายเดียวกันที่มีความเข้มข้นสูงกว่า

$$M_1V_1 = M_2V_2 \quad \dots(2.14)$$

เมื่อ M_1 = ความเข้มข้นของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า

M_2 = ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการเตรียม

V_1 = ปริมาตรของสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า (mL)

V_2 = ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการเตรียม (mL)

การคำนวณกรณีนี้ ความเข้มข้นของสารละลายที่ต้องการเตรียมต้องเป็นหน่วยเดียวกับสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า โดยปิเปตสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่าตามปริมาตรที่คำนวณได้แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรตามที่ต้องการเตรียม

ตัวอย่าง 2.11 อธิบายการเตรียมสารละลายกรด HCl เข้มข้น 0.100 mol/L ปริมาตร 500.00 mL จากสารละลาย HCl เข้มข้น 1.00 mol/L

วิธีคิด

$$M_1V_1 = M_2V_2$$

$$1.00 \text{ mol/L} \times V_1 = 0.100 \text{ mol/L} \times 500.00 \text{ mL}$$

$$V_1 = \frac{0.100 \text{ mol/L} \times 500.00 \text{ mL}}{1.00 \text{ mol/L}}$$

$$= 50.0 \text{ mL}$$

ปิเปตสารละลายกรด HCl 1.00 mol/L มาปริมาตร 50.0 mL แล้วเจือจางให้ปริมาตรรวมเป็น 500.00 mL

การคำนวณความเข้มข้นของสารละลายจากผลากที่ปิดข้างขวด โดยทั่วไปผลากที่ปิดข้างขวดสารละลายจะระบุความเข้มข้นในหน่วยร้อยละโดยน้ำหนัก (%w/w) และระบุความหนาแน่น (g/mL) หรือความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของสารนั้น ๆ เช่น กรดไฮโดรคลอริก (HCl) ตามผลากระบุความบริสุทธิ์ หรือความเข้มข้น 36.5-38.0 %w/w ความถ่วงจำเพาะ 1.185-1.192 และในผลากจะระบุรหัสสารเคมี (Chemical Abstracts Service; CAS number) ซึ่งเป็นรหัสบอกเลขอ้างอิงเฉพาะของสารเคมี ตารางที่ 2.6 แสดงความเข้มข้น %w/w ความถ่วงจำเพาะ และความเข้มข้นโดยประมาณของสารละลายกรดและเบสบางประเภท

ตารางที่ 2.6 ความเข้มข้นร้อยละโดยน้ำหนักและความเข้มข้นหน่วยโมลาร์ (โดยประมาณ) ของสารละลายบางประเภท

ชื่อสารเคมี	สูตรเคมี	น้ำหนัก โมเลกุล (g/mol)	ร้อยละโดย น้ำหนัก(% w/w)	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความเข้มข้น (โดยประมาณ) (mol/L)
กรดซัลฟิวริก	H ₂ SO ₄	98.08	98.0	1.84	18.4
กรดไนตริก	HNO ₃	63.01	70.5	1.42	15.9
กรดแอสซิติค	CH ₃ COOH	60.05	99.6	1.05	17.4
กรดไฮโดรคลอริก	HCl	36.46	37.0	1.19	12.1
กรดฟอร์มิก	HCOOH	46.03	90	1.205	23.6
กรดฟอสฟอริก	H ₃ PO ₄	98.00	85	1.71	14.8
แอมโมเนีย	NH ₃	17.03	30	0.90	15.9
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	H ₂ O ₂	34.01	30	-	-

ในการทดลองนิยมใช้ความเข้มข้นในหน่วยโมลาร์หรือนอร์แมล ดังนั้น จึงจำเป็นต้องคำนวณความเข้มข้นของสารละลายที่บรรจุในขวดโดยอาศัยข้อมูลที่ระบุในผลากที่ปิดข้างขวดก่อน เมื่อทราบ

ความเข้มข้นของสารละลายที่บรรจุในขวดในหน่วยโมลาร์หรือนอร์แมล แล้วอาจเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยกว่าโดยการเจือจางโดยอาศัยสมการ (2.14)

ตัวอย่าง 2.12 อธิบายการเตรียมสารละลาย HNO_3 เข้มข้น 0.50 mol/L ปริมาตร 100 mL จาก HNO_3 เข้มข้น (conc.) โดยที่ฉลากข้างขวดระบุข้อมูลดังนี้ ร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ $70.5\%w/w$ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 63.01 g/mol และความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.42

วิธีคิด ขั้นแรก คำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของ HNO_3 ในขวด จาก $70.5\%w/w$ หมายความว่า สารละลายหนัก 100 g มี HNO_3 อยู่ 70.5 g

HNO_3 หนัก 70.5 g คิดเป็น mol ได้เท่ากับ

$$n_{\text{HNO}_3} = \frac{70.5 \text{ g}}{63.01 \text{ g}} = 1.12 \text{ mol}$$

ในสารละลาย 100 g มี HNO_3 อยู่ 1.12 mol

จากสูตร $d = \frac{m}{v}$ หรือ $v = \frac{m}{d}$

ความถ่วงจำเพาะของ HNO_3 เท่ากับ 1.42 มีความหมายคือ สารละลาย 1 mL จะมีน้ำหนักเท่ากับ 1.42 g ถ้าสารละลายหนัก 100 g คำนวณปริมาตรสารละลาย ได้ดังนี้

$$1 \text{ mL} \times \frac{100 \text{ g}}{1.42 \text{ g}} = 70.4 \text{ mL}$$

ดังนั้น ในสารละลาย 70.4 mL มีปริมาณ HNO_3 อยู่เท่ากับ 1.12 mol ถ้าในสารละลาย 1000 mL ความเข้มข้นของ HNO_3 คำนวณได้ดังนี้

$$M_{\text{HNO}_3} = 1.12 \text{ mol} \times \left(\frac{1000 \text{ mL}}{70.4 \text{ mL}} \right) = 15.9 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของ HNO_3 $70.5\%w/w$ ที่บรรจุในขวดเท่ากับ 15.9 mol/L

ขั้นที่สอง คำนวณการเตรียมสารละลาย HNO_3 0.50 mol/L ปริมาตร 100.0 mL จาก HNO_3 15.9 mol/L

จาก $M_1V_1 = M_2V_2$

$$V_1 = \frac{0.50 \text{ mol/L} \times 100.0 \text{ mL}}{15.9 \text{ mol/L}} = 3.2 \text{ mL}$$

ดังนั้น ต้องปิเปตสารละลาย HNO_3 เข้มข้น ปริมาตร 3.2 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนครบ ปริมาตร 100.0 mL ในขวดกำหนดปริมาตร

2) การเตรียมสารละลายหน่วยส่วนในล้านส่วน

การเตรียมสารละลายที่มีความเข้มข้นน้อยมากอาจแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ สารละลายที่ระบุความเข้มข้นของไอออน สารละลายที่ระบุความเข้มข้นเฉพาะธาตุ และสารละลายที่ระบุความเข้มข้นของสารตามสูตรเคมี

การเตรียมสารละลายที่ระบุความเข้มข้นเฉพาะไอออนหรือเฉพาะธาตุจะแตกต่างจากการเตรียมสารละลายตามสูตรเคมี โดยที่การคำนวณจะต้องพิจารณาจากน้ำหนักไอออนหรือธาตุในสูตรเคมีที่ต้องการเตรียมมีความเข้มข้นหนึ่ง ๆ เช่น ถ้าต้องการวิเคราะห์ไอออนฟลูออไรด์ในสารตัวอย่าง การเตรียมสารละลายจะต้องคำนวณน้ำหนักฟลูออไรด์ในสูตรของสารประกอบฟลูออไรด์ที่นำมาเตรียม เช่น NaF และ CaF₂ โดยการเตรียมเป็นสารละลายจะต้องคำนึงถึงสูตรเคมีของสารนั้นว่าหนึ่งหน่วยสูตรสามารถแตกตัวให้ไอออนจำนวนกี่ไอออน เช่น NaF แตกตัวในน้ำให้ Na⁺ และ F⁻ อย่างละ 1 ไอออน ส่วน CaF₂ แตกตัวให้ Ca²⁺ 1 ไอออน และ F⁻ 2 ไอออน

ตัวอย่าง 2.13 อธิบายการเตรียมสารละลายมาตรฐานฟลูออไรด์ (F⁻) ความเข้มข้น 1000 ppm ปริมาตร 200.0 mL จาก NaF (41.99 g/mol) กำหนดน้ำหนักอะตอม F เท่ากับ 19.00 g/mol

วิธีคิด ต้องการ F⁻ 1000 mg ในสารละลาย 100.0 mL ดังนั้น ต้องคำนวณหาน้ำหนักของ NaF ที่ทำให้มีปริมาณ F⁻ เท่ากับ 1000 mg (1.000 g)

NaF 58.44 g มีน้ำหนักของ F⁻ เท่ากับ 19.00 g ดังนั้น ถ้าต้องการ F⁻ 1000 mg จะต้องชั่ง NaCl

$$g = \left(\frac{1.000 \text{ g}}{1 \text{ L}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol F}^-}{19.00 \text{ g}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol NaF}}{1 \text{ mol F}^-} \right) \left(\frac{41.99 \text{ g}}{1 \text{ mol NaF}} \right) \left(\frac{200.0 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right)$$

$$= 0.442 \text{ g}$$

ดังนั้น ชั่ง NaF 0.442 g ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรครบ 200.0 mL จะได้ F⁻ เท่ากับ 1000 ppm

หรืออาจคำนวณเป็นขั้น ๆ ได้ดังนี้ ไอออน F⁻ มีอัตราส่วนในสูตรเคมี NaF เป็น 1:1

NaF หนัก 41.99 g มีไอออน F⁻ เท่ากับ 19.00 g หมายความว่า ถ้าเรานำ NaF หนัก 41.99 g จะมีไอออน F⁻ เป็นองค์ประกอบหนักเท่ากับ 19.00 g หรือกล่าวได้ว่า

ไอออน F⁻ หนัก 19.00 g เป็นองค์ประกอบของ NaF ที่หนัก 41.99 g ถ้าเราต้องการ F⁻ หนัก 1 g จะต้องชั่ง NaF ดังนี้

$$\frac{1.000 \text{ g} \times 41.99 \text{ g}}{19.00 \text{ g}} = 2.210 \text{ g}$$

ดังนั้นถ้าเราชั่ง NaF หนัก 2.210g ละลายน้ำให้ได้ปริมาตร 1 L จะได้ความเข้มข้นของ F⁻ เท่ากับ 1000 ppm แต่เมื่อเราต้องการปริมาตรสารละลายเพียง 200.0 mL เราอาจคำนวณอย่างง่ายได้จากอัตราส่วนปริมาตรสารละลาย 1000/200 = 5 เท่า ดังนั้น น้ำหนักสาร NaF จึงต้องลดลง 5 เท่า ด้วยเป็น 0.442 g หรือคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{2.210 \text{ g}}{1 \text{ L}} \times \frac{0.20 \text{ L}}{1 \text{ L}} = 0.442 \text{ g}$$

3) การเตรียมสารละลายหน่วยนอร์แมล

การคำนวณการเตรียมสารละลายหน่วยนอร์แมล คำนวณดังนี้

$$\text{wt. (g)} = N \times \left(\frac{g_{FW}}{n} \right) \left(\frac{V}{1000} \right) \quad \dots(2.15)$$

เมื่อ wt. = น้ำหนักสารที่ต้องการชั่ง (g)

N = จำนวนนอร์แมล

g_{FW} = กรัมน้ำหนักสูตร (g/mol)

V = ปริมาตรที่ต้องการเตรียม (mL)

n = จำนวนเวเลนซี

ตัวอย่าง 2.14 จงคำนวณและอธิบายการเตรียมสารละลาย KMnO_4 0.0100 N ปริมาตร 500.00 mL สำหรับใช้เป็นสารออกซิไดส์ในสภาวะที่เป็นกรดของปฏิกิริยารีดอกซ์

วิธีคิด KMnO_4 0.0100 N คือ สารละลาย 1 L มี KMnO_4 ละลายอยู่ 0.0100 กรัมสมมูล

น้ำหนักสูตร $\text{KMnO}_4 = 158.03 \text{ g/mol}$

จำนวนเวเลนซี = 5 เนื่องจาก เป็นสารออกซิไดส์ในปฏิกิริยารีดอกซ์ เมื่อเกิดปฏิกิริยาเป็น Mn^{2+} เลขออกซิเดชันเปลี่ยนแปลงไป 5 หน่วยต่อโมเลกุล

$$\begin{aligned} \text{wt. (g)} &= 0.0100 \text{ N} \times \left(\frac{158.03 \text{ g/mol}}{5} \right) \left(\frac{500 \text{ mL}}{1000 \text{ mL}} \right) \\ &= 0.158 \text{ g} \end{aligned}$$

ดังนั้น ชั่ง KMnO_4 0.158 g ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรครบ 500.00 mL ในขวดกำหนดปริมาตร

ตัวอย่าง 2.15 ต้องการเตรียมสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.100 N ปริมาตร 250.00 mL ต้องใช้กรด H_2SO_4 ที่มีความหนาแน่น 1.84 g/mL ปริมาตรเท่าใด

วิธีคิด H_2SO_4 0.100 N คือ ในสารละลาย 1.0 L มี H_2SO_4 ละลายอยู่ 0.100 กรัมสมมูล

น้ำหนักสูตร $\text{H}_2\text{SO}_4 = 98.08 \text{ g/mol}$

จำนวนเวเลนซี = 2 เนื่องจาก H_2SO_4 มีจำนวน H^+ ที่สามารถถูกแทนที่ด้วยโลหะ จำนวน 2 ตัว

$$\begin{aligned} \text{wt. (g)} &= N \times \left(\frac{g_{FW}}{n} \right) \left(\frac{V}{1000} \right) \\ \text{wt. (g)} &= 0.100 \text{ N} \times \left(\frac{98.08 \text{ g/mol}}{2} \right) \left(250.00 \text{ mL} \times \frac{1.0 \text{ L}}{1000 \text{ mL}} \right) \\ &= 1.226 \text{ g} \end{aligned}$$

จากความหนาแน่นของ $\text{H}_2\text{SO}_4 = 1.84 \text{ g/mL}$ หมายความว่า H_2SO_4 หนัก 1.84 g จะมีปริมาตรเท่ากับ 1 mL ดังนั้น ถ้าต้องการ H_2SO_4 หนัก 1.226 g จะต้องใช้ H_2SO_4 ปริมาตร

$$V_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 1.226 \text{ g} \times \left(\frac{1 \text{ mL}}{1.84 \text{ g}} \right) = 0.666 \text{ mL}$$

ดังนั้น ต้องปิเปต H_2SO_4 เข้มข้น ปริมาตร 0.666 mL ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรครบ 250.00 mL ในขวดกำหนดปริมาตร

4) การเตรียมสารละลายหน่วยร้อยละ

การคำนวณการเตรียมสารละลายหน่วยร้อยละต้องพิจารณาจากชนิดของหน่วยร้อยละ เช่น %w/w %w/v และ %v/v ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่าง 2.16 จงอธิบายการเตรียมสารละลาย HCl เข้มข้น 10%w/v จากสารละลายกรด HCl เข้มข้น (37%w/w, $d=1.19 \text{ g/mL}$)

วิธีคิด สารละลายกรด HCl เข้มข้น (37%w/w, $d=1.19 \text{ g/mL}$) หมายความว่า สารละลาย HCl 100 g มีกรด HCl อยู่ 37 g

คำนวณน้ำหนักกรด HCl ในปริมาตร 1 mL ดังนี้

$$\text{g HCl} = \frac{37 \text{ g}}{100 \text{ g}} \times \frac{1.19 \text{ g}}{1 \text{ mL}} = 0.440 \text{ g}$$

ดังนั้น สารละลายกรด HCl 1 mL มีน้ำหนักกรด HCl เท่ากับ 0.440 g

10%w/v HCl หมายความว่า 10 g HCl ในสารละลาย 100 mL

คำนวณปริมาตรกรด HCl ที่มีน้ำหนักเท่ากับ 10 g

$$\frac{10 \text{ g} \times 1 \text{ mL}}{0.440 \text{ g}} = 22.7 \text{ mL}$$

ดังนั้น ปิเปตสารละลายกรด HCl เข้มข้น 22.7 mL เติมน้ำกลั่นจนปริมาตรครบ 100 mL จะได้สารละลายความเข้มข้น 10%w/v HCl

สรุปท้ายบทเรียน

ความเข้มข้นของสารละลาย คือการบอกปริมาณตัวละลายในตัวทำละลายในปริมาตรสุทธิที่กำหนดอย่างแน่นอน หน่วยที่นิยมใช้มีหลายหน่วยด้วยกัน เช่น โมลาร์ นอร์มัล ร้อยละ อัตราส่วนเจือจาง เป็นต้น ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับโมลและปริมาณสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นตามสมการเคมีจึงมีความสำคัญต่อการคำนวณปริมาณสาร ซึ่งเกี่ยวข้องกับหน่วยทางเคมีไม่ว่าจะเป็นหน่วยน้ำหนัก และหน่วยความเข้มข้น ถ้าสารเคมีที่ใช้ไม่ทราบความเข้มข้นแน่นอน หรือเตรียมความเข้มข้นไม่ถูกต้อง จะส่งผลให้ผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นคลาดเคลื่อนไปด้วยและข้อมูลการวิเคราะห์นั้นอาจไม่เป็นที่เชื่อถือหรือไม่เป็นที่ยอมรับได้ ความเข้มข้นของสารละลายใด ๆ จะเป็นการบอกปริมาณของสารนั้นที่ละลายในตัวทำละลายปริมาณหนึ่ง ๆ ที่แน่นอน หน่วยความเข้มข้นที่นิยมใช้หลายหน่วย เช่น หน่วยโมลาร์ นอร์มัล พอร์แมล ร้อยละ และส่วนในล้านส่วน เป็นต้น การเตรียมสารละลายในหน่วยต่าง ๆ จะ ต้องปฏิบัติ

อย่างระมัดระวังตั้งแต่ขั้นตอนการซั่ง การตวง การถ่ายเท การละลาย การผสม และการปรับปริมาตรตัว
ทำละลายในภาชนะที่เหมาะสม

กิจกรรม

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 2.2
ไตร่ตรองทางแก้ไขเฉพาะตน (E)	แต่ละคนบอกวิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา (10 นาที)
ระดมสมองโดยกลุ่ม (T)	ให้รวมกลุ่ม มอบหมายโจทย์ให้แต่ละกลุ่มระดมสมองแก้ไขโดยวิธีการร่วมแสดงความคิดเห็น (10 นาที)
สื่อสารทางออก (C)	ให้แต่ละกลุ่มนำเสนอ วิธีการแก้ไขโจทย์ปัญหา 1) หลักการสำคัญหรือหลักพื้นฐานที่ถูกต้อง 2) วิธีการคำนวณค่าที่ถูกต้อง 3) วิธีอธิบายเชิงพฤติกรรม (วิธีปฏิบัติ) ที่ถูกต้อง โดยให้กลุ่มอื่น ๆ รับฟัง และซักถามในข้อที่สงสัย (10 นาที)
ถอดรหัสปรับใช้ (D)	ผู้สอนสรุป อภิปรายสรุป ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

เอกสารอ้างอิง

- โครงการตำราวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์มูลนิธิ สอวน. (2551) *เคมี 2*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). บริษัทด้าน
สุทธนาการพิมพ์ จำกัด.
- วิทยา เรื่องพรวิสุทธิ. (2558). *เคมีวัสดุ เคมีพื้นผิวและปฏิกิริยาเร่ง*. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย.
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. (2565). *เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ* (พิมพ์ครั้งที่
2). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อภิสิษฐ์ สงเสสน, สรณรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุดตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับ
วิศวกรรม*. บริษัททริฟเพิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทรา หาญพงษ์พันธ์ และปัญญา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์* (ฉบับ
ปรับปรุง) (พิมพ์ครั้งที่ 9). สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Averil, B.A. (2012). *Principles of General Chemistry* (Online).
[https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-
v1.0m/index.html](https://2012books.lardbucket.org/books/principles-of-general-chemistry-v1.0m/index.html)
- Brown, L.S., & Holme, T.A. (2018). *Chemistry for Engineering Students* (4th ed.). Thomson
Brook Cole.
- Brown, T.L., LeMay, H.E., Bursten, B.E., Murphy, C.J., Woodward, P.M. & Stoltzfus, M.W.
(2017). *Chemistry: The Central Science* (14th ed.). Pearson Education, Inc.
- Chang, R., & Goldsby, K.A. (2016). *Chemistry* (12th ed.). McGraw-Hill.
- Crystallographic Defects*. (n.d.). [https://www.tec-science.com/material-
science/structure-of-metals/crystallographic-defects/](https://www.tec-science.com/material-science/structure-of-metals/crystallographic-defects/)
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11th ed.). Cengage Learning.
- Jespersen, N.D., Brady, J.E., & Hyslop, A. (2012). *Chemistry: The Molecular Nature of
Matter* (6th ed.). John Wiley & Sons, Inc
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry:
Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Silberberg, M.S. (2013). *Principle of General Chemistry* (3rd ed.). McGraw-Hill Publishing
Company.
- Silberberg, M.S. & Amateis, P.G. (2021). *Chemistry: The Molecular Nature of Matter and
Change* (9th ed.). McGraw-Hill Publishing Company.