

แผนการสอนสัปดาห์ที่ 3

หน่วยที่ 2. ของเหลวและสารละลาย
บทเรียนที่ 2.1 ของเหลว

จำนวนชั่วโมง 3

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของเหลว

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกสมบัติของเหลว
2. อธิบายแผนผังวัฏภาค

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

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

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารคำสอน วิชาเคมี 2
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

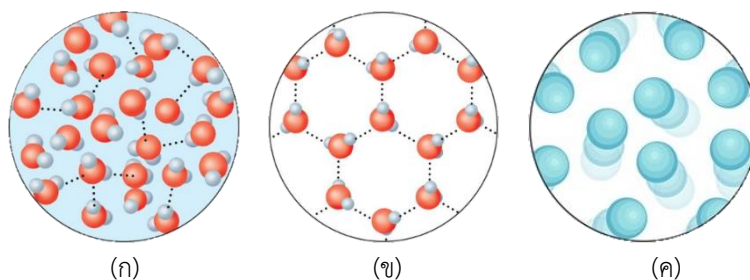
1. ประเมินจากกิจกรรมในชั้นเรียน
2. ประเมินจากกิจกรรมแบบฝึกหัด หรืองานที่มอบหมาย
3. ประเมินจากการสรุปประเด็นสำคัญ หรือการนำเสนอผลของการสืบค้นที่ได้รับมอบหมาย
4. ประเมินจากการสอบย่อยรายหน่วยเรียน

หน่วยที่ 2 ของเหลวและสารละลาย

บทเรียนที่ 2.1 ของเหลว

2.1.1 สมบัติของเหลว

ของเหลว (liquid) เป็นสถานะหนึ่งของสสารที่โมเลกุลอยู่ชิดกันมากกว่าแก๊ส ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคมากกว่าแก๊ส แต่โมเลกุลของเหลวมีการจัดเรียงตัวไม่ชิดเท่ากับโมเลกุลของแข็ง ภาพที่ 2.1 แสดงการจัดเรียงอนุภาคในโมเลกุลของเหลวเทียบกับของแข็งและแก๊ส



ภาพที่ 2.1 การเรียงตัวอนุภาคใน (ก) น้ำ (ข) น้ำแข็ง และ (ค) ไอน้ำ

ดังนั้น ของเหลวจึงมีสมบัติบางประการที่เหมือนสมบัติของแก๊สและบางประการเหมือนของแข็ง สมบัติโดยทั่วไปของของเหลว เช่น

- โมเลกุลเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบอยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการชนกันหลายสิบล้านครั้ง/วินาที
- ของเหลวมีความหนาแน่นมากกว่าแก๊สประมาณ 10^6 เท่า
- มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่าแก๊ส ความดันและอุณหภูมิมีผลน้อยมากต่อปริมาตรของของเหลว
- โมเลกุลเคลื่อนที่ไปมาได้ จึงมีสมบัติไหลได้
- ของเหลวสามารถเกิดการแพร่ได้เช่นเดียวกับโมเลกุลของแก๊ส เพียงแต่เกิดการแพร่ในอัตราการแพร่ที่น้อยกว่าเนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลข้างเคียง
- ของเหลวมีรูปร่างไม่แน่นอนเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะแต่ยังคงมีมวลและปริมาตรคงที่
- ของเหลวสามารถขยายและหดตัวได้เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง เช่น ปรอทในเทอร์โมมิเตอร์

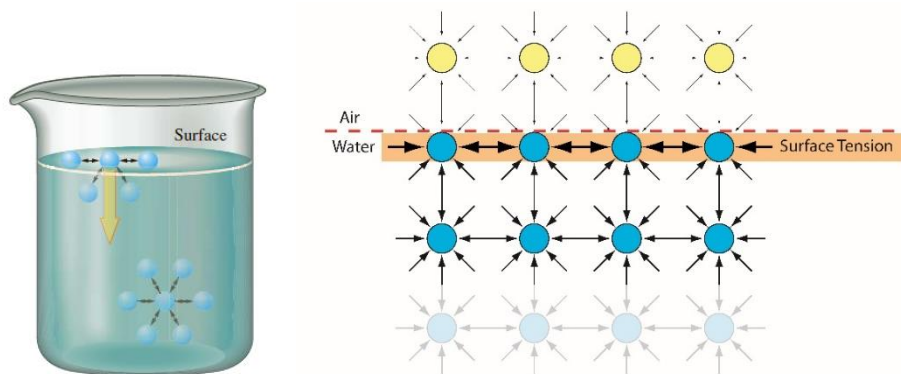
1) ความตึงผิว

เราสังเกตเห็นหยดน้ำที่เกาะบนพื้นผิวที่เรียบ จะมีลักษณะเป็นทรงกลม (ภาพที่ 2.1) ซึ่งมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าน้ำที่อยู่ในลักษณะแผ่ออกไป โดยของเหลวพยายามจัดตัวเองให้มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดเนื่องจากโมเลกุลที่ผิวไม่มีแรงดึงเข้าทางด้านบน จึงมีเสถียรภาพน้อยกว่าโมเลกุลที่อยู่ตรงกลาง การลดพื้นที่ผิวเท่ากับเป็นการลดจำนวนโมเลกุลที่ผิวหน้า จึงทำให้ของเหลวเสถียรมากขึ้น ในบางกรณีของเหลวมีความจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่ผิว โดยที่โมเลกุลที่อยู่ด้านในของของเหลวจะเคลื่อนมายังพื้นที่ผิวในการนี้โมเลกุลเหล่านั้นต้องเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่อยู่รอบ ๆ เรียกสมบัติดังกล่าวนี้ของ

ของเหลวว่า ความตึงผิว (surface tension) ซึ่งเป็นแรงดึงดูดของโมเลกุลของของเหลวแต่ละโมเลกุลที่มีกระทำต่อแต่ละโมเลกุลด้วยกัน การเคลื่อนที่ของแต่ละโมเลกุลอยู่ภายใต้อิทธิพลของโมเลกุลอื่นที่อยู่ล้อมรอบ ระหว่างพื้นที่ผิวของแต่ละโมเลกุลที่ติดกันของของเหลวเกิดเป็นแรงดึง ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แรงตึงผิวของของเหลว. ที่มาจาก <http://science-at-home.org/surface-tension>



ภาพที่ 2.3 แสดงแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ผิวหน้าและด้านล่าง. ดัดแปลงจาก *General Chemistry* (p. 365), by D.D. Ebbing & S.D. Gammon, 2017, Cengage Learning.

ของเหลวที่บรรจุในภาชนะจะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลเกิดขึ้น โมเลกุลที่อยู่ตรงกลางของของเหลวจะมีแรงดึงดูดจากโมเลกุลอื่น ๆ ที่อยู่ล้อมรอบเท่ากันทุกทิศทาง ส่วนโมเลกุลที่อยู่ผิวหน้าจะได้รับแรงดึงดูดจากโมเลกุลที่อยู่ด้านล่างและด้านข้างเท่านั้น ทำให้มีความตึงผิวสูงศูนย์กลาง พื้นที่ผิวของของเหลวลดลงเหลือน้อยที่สุด

ปัจจัยที่มีผลต่อความตึงผิว

(1) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ความตึงผิวจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล ถ้าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมาก โมเลกุลที่ผิวหน้าจะถูกดึงเข้าภายในอย่างแรง งานที่ใช้ในการขยายพื้นที่ผิวของของเหลวจะมากตามไปด้วย ความตึงผิวจะมาก หรือกล่าวอีกอย่างคือ ยิ่งของเหลวมีความหนืดมาก ความตึงผิวจะยิ่งมีค่าสูงมาก

(2) อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นพลังงานจลน์ของแต่ละโมเลกุลเพิ่มขึ้น แต่แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลลดลง ทำให้ความตึงผิวลดลง

ตารางที่ 2.1 ความตึงผิวของของเหลวที่อุณหภูมิ 20°C

ชนิดของเหลว	สูตรเคมี	ความตึงผิว (J/m^2)	แรงดึงดูด
เลือด (37°C)		5.8×10^{-2}	พันธะไฮโดรเจน
กลีเซอริน	$C_3H_8O_3$	6.3×10^{-2}	โคเวเลนต์
ไดเอทิลอีเทอร์	$C_2H_5OC_2H_5$	1.7×10^{-2}	ไดโพล-ไดโพล
เอทานอล	C_2H_5OH	2.3×10^{-2}	พันธะไฮโดรเจน
ปรอท	Hg	48×10^{-2}	พันธะโลหะ
น้ำ	$H_2O(l)$	7.3×10^{-2}	พันธะไฮโดรเจน
น้ำเดือด (100°C)	$H_2O(g)$	5.9×10^{-2}	พันธะไฮโดรเจน

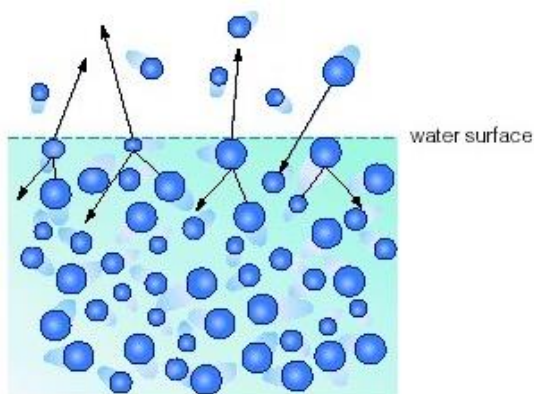
หมายเหตุ. ดัดแปลงจาก *Principle of General of Chemistry* (p. 369), by M.S. Silberberg, 2013, McGraw-Hill Publishing Company.

2) การระเหย

การระเหย (evaporation) คือปรากฏการณ์ที่โมเลกุลหลุดออกมาจากผิวของของเหลวกลายเป็นไอ เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งแต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่เท่ากัน โมเลกุลจึงชนกันอยู่ตลอดเวลาและมีการแลกเปลี่ยนพลังงานจากการชนกัน ทำให้โมเลกุลหนึ่งๆ อาจได้รับพลังงานเพิ่มขึ้นและบางโมเลกุลสูญเสียพลังงานลง

โมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูง ๆ เนื่องจากการชนกันที่อยู่บริเวณผิวหน้าของของเหลวจะสามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ง่ายและจะหลุดออกจากผิวหน้ากลายเป็นไอ หรือเมื่อของเหลวได้รับความร้อนจะทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงมากพอที่จะเอาชนะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลได้ โมเลกุลจะหลุดออกผิวจากของของเหลวกลายเป็นไอ (ภาพที่ 2.4)

ในทางตรงกันข้ามถ้าไอคายพลังงานความร้อนออกมา โมเลกุลจะมีพลังงานจลน์น้อยลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่ช้าลง ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากขึ้นและจะสามารถทำให้โมเลกุลรวมกันเป็นของเหลวได้ เรียกว่า การควบแน่น (condensation)



ภาพที่ 2.4 แสดงการระเหยของโมเลกุลของของเหลว

ปัจจัยที่มีผลต่อการระเหย

(1) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์สูงขึ้น โอกาสที่จะชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีมากขึ้น

(2) พื้นที่ผิวของของเหลว ทำให้โมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงอยู่ที่ผิวมากขึ้นมีโอกาสหลุดออกจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้มากขึ้น

(3) การที่ของเหลวอยู่ในระบบเปิด เป็นการป้องกันมิให้มีโอกาสกลับมาควบแน่นได้อีกและไม่ให้ความดันไอต่อต้านโมเลกุลที่จะระเหยออกไปอีก

(4) ความดันบรรยากาศเหนือของเหลว ถ้ามีความดันบรรยากาศต่ำของเหลวระเหยได้ดีขึ้น

(5) การถ่ายเทของอากาศเหนือของเหลวและการกวนของเหลวมีผลให้การระเหยดีขึ้น

3) การแพร่

การแพร่ (diffusion) คือการเคลื่อนที่ของอนุภาคจากบริเวณที่มีความหนาแน่นสูงไปยังบริเวณที่มีความหนาแน่นต่ำโดยอาศัยพลังงานจลน์ของสารเอง โมเลกุลของของเหลวสามารถแพร่ได้เช่นเดียวกับแก๊ส ถ้านำของเหลวสองชนิดที่สามารถละลายในกันและกันมาผสมกัน โมเลกุลของของเหลวชนิดหนึ่งจะแพร่กระจายไปทั่วโมเลกุลของเหลวอีกชนิดหนึ่ง แต่อัตราของการแพร่ของของเหลวช้ากว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการแพร่ของโมเลกุลของแก๊ส แต่จะเร็วกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับของแข็ง การแพร่ของโมเลกุลของของเหลวเห็นได้ชัดโดยหยดหมึกสี ลงไปในน้ำ จะพบว่าหมึกที่หยดลงไปใต้น้ำค่อยๆ แพร่กระจายออก จนในที่สุดน้ำในภาชนะเป็นสีและเข้มข้นเท่ากันทั้งภาชนะ ดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การแพร่ของของเหลว. ที่มาจาก <http://en.wikipedia.org/wiki/Diffusion>

ปัจจัยที่มีผลต่อการแพร่

(1) สถานะของตัวกลางที่สารจะแพร่ผ่าน โดยตัวกลางที่เป็นแก๊สจะมีแรงต้านน้อยที่สุดจึงทำให้มีอัตราการแพร่ที่สูงที่สุด

(2) ขนาดอนุภาคของสาร โดยอนุภาคยิ่งเล็กยิ่งมีอัตราการแพร่สูง

(3) ระยะทางที่สารจะแพร่ในหนึ่งหน่วยเวลา

(4) อุณหภูมิ โดยจะมีผลต่อการเพิ่มพลังงานจลน์ให้กับสารทำให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

(5) ความดัน เมื่อความดันเพิ่มสูงขึ้นจะเพิ่มความหนาแน่นให้กับสาร ส่งผลให้มีอัตราการแพร่เพิ่มสูงขึ้น

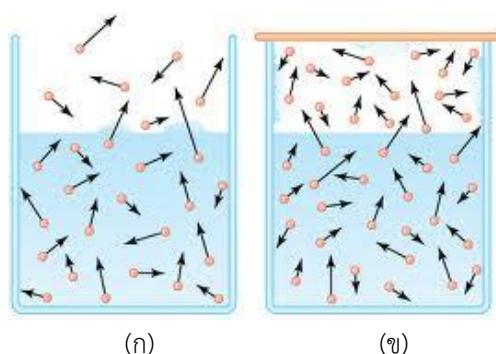
(6) ความแตกต่างของความเข้มข้นสารระหว่างสองบริเวณ

4) จุดเดือด

การเดือด (boiling) คือกระบวนการที่โมเลกุลของของเหลวได้รับพลังงานความร้อนสูงมากพอจนกลายเป็นไอได้อย่างรวดเร็ว และโมเลกุลของของเหลวทั่วทุกบริเวณในภาชนะนั้นสามารถที่

จะหลุดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้อย่างรวดเร็ว (ภาพที่ 2.6) การเดือดของของเหลวจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิหนึ่ง ซึ่งจะคงที่สำหรับของเหลวแต่ละชนิด เรียกว่า จุดเดือด (boiling point) ความดันไอของของเหลวขณะเดือดจะมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า ความดันภายนอก (ความดันบรรยากาศ)

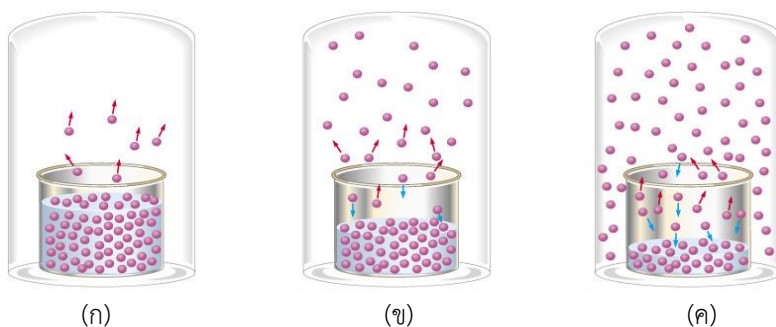
ความดันบรรยากาศมีผลต่อจุดเดือดของของเหลว คือถ้าเปลี่ยนความดันจะทำให้จุดเดือดของของเหลวเปลี่ยนไปด้วย ดังนั้นการบอกจุดเดือดของของเหลวชนิดหนึ่งๆ จะต้องบอกความดันของบรรยากาศด้วย เช่น จุดเดือดของน้ำเท่ากับ 100°C ที่ความดัน 1 บรรยากาศ แต่โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงจุดเดือดโดยไม่ระบุความดัน ให้หมายถึงจุดเดือดที่ความดัน 1 บรรยากาศ และเรียกว่าจุดเดือดนั้นว่า จุดเดือดปกติ (normal boiling point)



ภาพที่ 2.6 แสดงการเดือดของของเหลว (ก) ในระบบเปิด และ (ข) ในระบบปิด

5) ความดันไอ

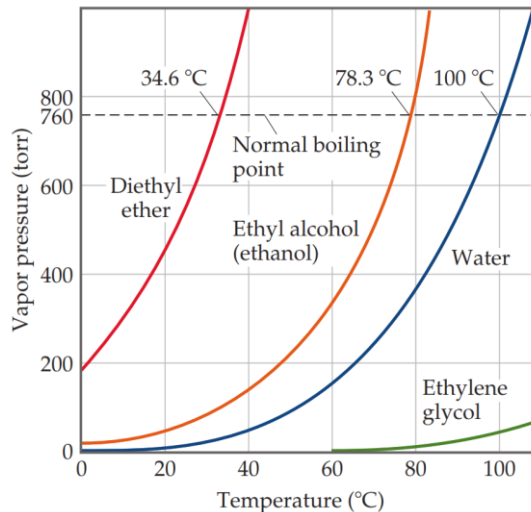
ความดันไอ (vapor pressure) คือความดันที่อยู่เหนือของเหลว ณ ภาวะสมดุลในระบบปิด จากภาพที่ 2.7(ก) เมื่อโมเลกุลของของเหลวที่มีพลังงานจลน์มากพอที่สามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวด้วยกันจะระเหยกลายเป็นไออยู่เหนือผิวหน้าของของเหลว โมเลกุลของไอนั้นจะชนกันเองหรือชนกับผิวของภาชนะแล้วควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวอีกครั้ง เมื่อโมเลกุลของของเหลวระเหยกลายเป็นไอเพิ่มมากขึ้นจนถึงจำนวนหนึ่งจะทำให้ไอนั้นมีความดันค่าหนึ่งจนกระทั่งความดันคงที่ (ภาพที่ 2.7(ข)) ที่ความดันไอคงที่จำนวนโมเลกุลของไอที่อยู่เหนือของเหลวจะเข้าสู่ภาวะสมดุล กล่าวคือจำนวนโมเลกุลของของเหลวที่ระเหยไปกลายเป็นไอและจำนวนโมเลกุลของไอที่ควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวเท่ากันตลอดเวลา ดังภาพที่ 2.7(ค)



ภาพที่ 2.7 แสดงความดันไอของของเหลว (ก) โมเลกุลของเหลวเริ่มระเหย (ข) โมเลกุลของเหลวระเหยมากขึ้นและควบแน่นบางส่วน และ (ค) การระเหยและควบแน่นด้วยอัตราเท่ากัน ที่มาจาก

<http://www.kentchemistry.com/links/Matter/VaporPressure.htm>

ความดันไอจะเกิดขึ้นที่ภาวะสมดุลเท่านั้น ดังนั้นต้องพิจารณาในระบบปิดเสมอ ของเหลวแต่ ละชนิดจะมีความดันไอไม่เท่ากัน โดยทั่วไปพบว่าถ้าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อย ความดันไอของ ของเหลวจะมีค่าสูง เพราะโมเลกุลของของเหลวสามารถระเหยได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามถ้าของเหลวมี แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมาก ความดันไอของของเหลวจะมีค่าน้อย ภาพที่ 2.8 แสดงความดันไอของ น้ำ (water) เอทานอล (ethanol) และไดเอทิลอีเทอร์ (diethyl ether)



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับความดันไอของของเหลว. ที่มาจาก *Chemistry: The Central Science* (p. 454), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

พิจารณาลำดับความหนืดของของเหลวจะเป็น เอทิลีนไกลคอล > น้ำ > เอทานอล > ไดเอทิล อีเทอร์ ตามลำดับ ถ้าความหนืดของของเหลวมาก ความดันไอจะต่ำ และในทางกลับกัน ถ้าความหนืด ของของเหลวน้อย ความดันไอจะสูง ดังนั้น ลำดับความดันของสารคือ ไดเอทิลอีเทอร์ > เอทานอล > น้ำ > เอทิลีนไกลคอล

ปัจจัยที่มีผลต่อความดันไอ

(1) แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ถ้าสารที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากความดัน ไอจะต่ำ เพราะโอกาสที่โมเลกุลจะชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลแล้วกลายเป็นไอยาก

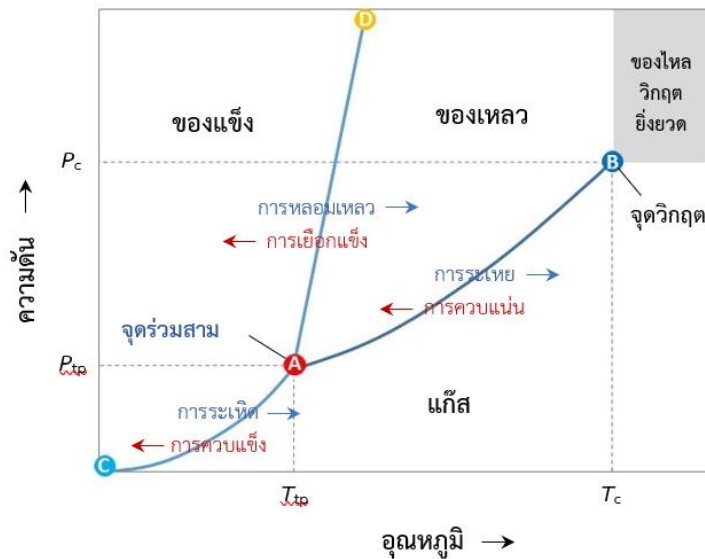
(2) อุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิของระบบสูง ย่อมทำให้โมเลกุลของสารมีพลังงานจลน์สูงขึ้นโอกาสที่ จะระเหยกลายเป็นไอน้ำมากขึ้น ความดันไอจะเพิ่มขึ้น สารชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิเท่ากันย่อมมีความดัน ไอเท่ากันเสมอ

(3) สารที่มีจุดเดือดต่ำจะมีความดันไอสูง เพราะสารนั้นระเหยง่าย ส่วนสารที่มีจุดเดือดสูง ความดันไอจะต่ำ เพราะสารนั้นระเหยยาก

2.1.2 แผนผังวัฏภาค

แผนผังวัฏภาค (phase diagram) คือแผนผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสถานะของ สารทั้ง 3 สถานะที่อุณหภูมิและความดันต่างๆ ดังภาพที่ 2.9 แผนผังวัฏภาคเป็นกราฟสองมิติ ประกอบด้วยแกนอุณหภูมิและความดัน ซึ่งมีเส้นกราฟที่สำคัญ 3 เส้นโดยแต่ละเส้นแสดงวัฏภาคของ

สสารตามเงื่อนไขอุณหภูมิและความดัน ที่อยู่ ณ ภาวะสมดุล แผนผังวัฏภาคมีประโยชน์ใช้ในการทำนาย การเปลี่ยนสถานะของสารที่อุณหภูมิและความดันค่าหนึ่ง ๆ



ภาพที่ 2.9 เส้นกราฟแผนผังวัฏภาค

จากแผนผังวัฏภาคในภาพที่ 2.9 แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน ลักษณะเส้นกราฟของแผนผังวัฏภาค อธิบายได้ดังนี้ โดยแต่ละส่วนจะมีอยู่เพียงวัฏภาคเดียวคือของแข็ง ของเหลว และแก๊ส

เส้น CA เป็นเส้นสมดุลวัฏภาคระหว่างของแข็งกับแก๊ส เป็นเส้นแบ่งส่วนที่เป็นสถานะของแข็งกับแก๊ส

เส้น AD เป็นเส้นสมดุลวัฏภาคระหว่างของแข็งกับของเหลว เป็นเส้นแบ่งส่วนที่เป็นสถานะของแข็งกับของเหลว โดยทั่วไปแล้ว แนวโน้มของเส้น AD ส่วนใหญ่จะเบนไปทางขวามือ ยกเว้น น้ำ เพราะว่า น้ำที่เป็นของแข็งจะมีปริมาตรมากกว่าน้ำที่เป็นของเหลว จึงทำให้ความหนาแน่นของน้ำที่เป็นของแข็งจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำที่เป็นของเหลว

เส้น AB เป็นเส้นสมดุลวัฏภาคระหว่างของเหลวกับแก๊ส และเป็นเส้นแบ่งส่วนที่เป็นสถานะของเหลวกับแก๊ส

จุดที่เส้นสมดุลทั้ง 3 เส้นมาตัดกันที่จุด A ซึ่งเป็นจุดที่แสดงถึง อุณหภูมิและความดันที่ทำให้ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส อยู่ร่วมกันในภาวะสมดุลกันที่จุดเดียวกัน เรียกว่า จุดร่วมสาม (triple point) จุด B เรียกว่า จุดวิกฤต (critical point) เป็นจุดสุดท้ายที่สามารถแบ่งและเห็นขอบเขตสมดุลระหว่างของเหลวกับแก๊สได้ เมื่อพิจารณาจุดที่อยู่เหนือขอบเขตจุดวิกฤตขึ้นไป สสารจะมีพฤติกรรมแตกต่างไปจากของเหลวและแก๊ส กล่าวคือไม่สามารถพิจารณาและแบ่งแยกระหว่างของเหลวและแก๊สได้ เรียกว่า ของไหลวิกฤตยิ่งยวด (supercritical fluid)

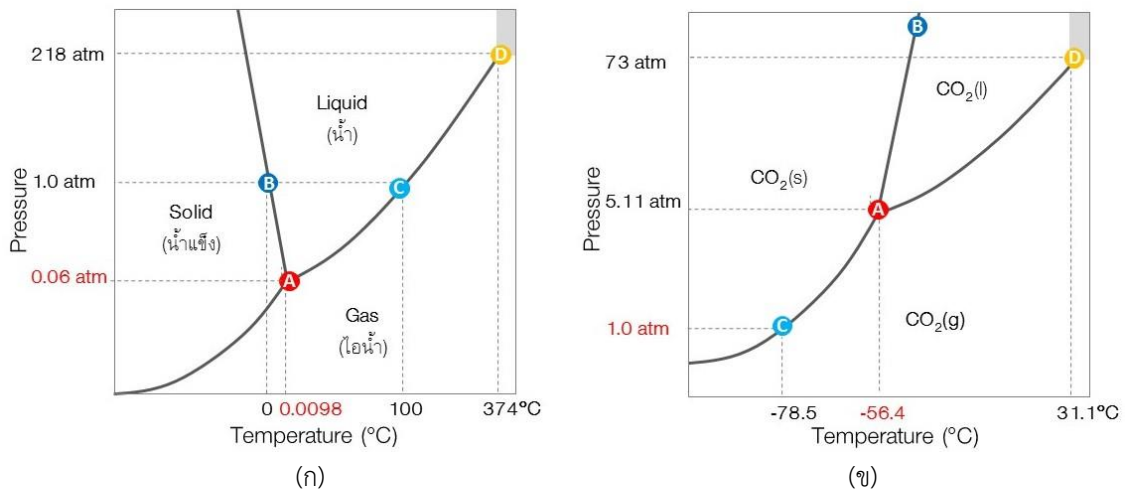
1) แผนผังวัฏภาคของน้ำ

แผนผังวัฏภาคของน้ำที่ความดัน 1 บรรยากาศ แสดงได้ดังภาพที่ 2.10(ก) ซึ่งอธิบาย แผนผังวัฏภาคได้ดังนี้

จุดหลอมเหลว (melting point) คือจุดที่ทำให้น้ำเปลี่ยนจากสถานะของแข็งกลายเป็นของเหลว ซึ่งจะปรากฏที่อุณหภูมิ 0°C น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นแก๊ส โดยไม่ผ่านสถานะของเหลว โดยการลดความดันลงเรื่อย ๆ จนความดันต่ำกว่า 0.00603 atm (4.58 ทอร์) ซึ่งในที่สุดจะได้ไอน้ำ (แก๊ส) โดยไม่ผ่านสถานะที่เป็นของเหลว

จุดเดือด (boiling point) คือจุดที่ทำให้น้ำเปลี่ยนจากสถานะของเหลวกลายเป็นแก๊ส จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 100°C

จุดรวมสาม (triple point) ของน้ำ จะอยู่ที่ความดัน 4.58 ทอร์ (0.00603 atm) อุณหภูมิ 0.0098°C และจุดวิกฤต (critical point) ของน้ำจะอยู่ที่ความดัน 218 atm อุณหภูมิ 374°C



ภาพที่ 2.10 แผนผังวัฏภาคของ (ก) น้ำ และ (ข) คาร์บอนไดออกไซด์

แผนผังวัฏภาคช่วยให้คาดคะเนการเปลี่ยนแปลงของจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารอันเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของความดันภายนอก เมื่อความดันสูงกว่า 1 atm จุดเดือดของน้ำสูงขึ้นและทำให้จุดหลอมเหลวของน้ำแข็งลดลง แต่ถาลดความดันต่ำกว่า 1 atm จะทำให้จุดเดือดของน้ำลดลงและทำให้จุดหลอมเหลวของน้ำแข็งเพิ่มขึ้น

2) แผนผังวัฏภาคของคาร์บอนไดออกไซด์

แผนผังวัฏภาคของ CO₂ ดังภาพที่ 2.10(ข) โดยทั่วไปจะคล้ายกับแผนผังวัฏภาคของน้ำ ยกเว้นความชันของเส้นโค้งระหว่างสถานะของแข็งกับของเหลวมีค่าเป็นบวก ลักษณะเช่นนี้เป็นจริงสำหรับสารทุกชนิด ยกเว้นน้ำ เพราะน้ำแข็งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำในสถานะของเหลว จุดรวมสามของ CO₂ อยู่ที่อุณหภูมิ -56.4°C และความดัน 5.11 atm ลักษณะเฉพาะอย่างหนึ่งของแผนผังวัฏภาคของ CO₂ คือ สถานะของเหลวจะอยู่เหนือความดันบรรยากาศ ดังนั้นจึงไม่สามารถทำให้ของแข็งของ CO₂ หลอมเหลวที่ 1 atm แต่ถ้าให้ความร้อนแก่ของแข็ง CO₂ หรือน้ำแข็งแห้งที่อุณหภูมิ -78°C และความดัน 1 atm น้ำแข็งแห้งจะระเหิด

3) อุณหภูมิวิกฤตและความดันวิกฤต

ในทางทฤษฎีแก๊สสามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้ 2 วิธี คือทำให้อุณหภูมิก๊าซลดลงเพื่อลดพลังงานจลน์ของโมเลกุล จนในที่สุดเกิดโมเลกุลของของเหลวขึ้น หรือให้ความดันแก่แก๊ส

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmutp.ac.th

เพื่อให้ระยะห่างระหว่างโมเลกุลลดลงจนกระทั่งเกิดแรงดึงดูดและเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว กระบวนการควบแน่นแก๊สเป็นของเหลวทางอุณหพลศาสตร์จะรวมทั้งสองวิธีเข้าด้วยกัน

อุณหภูมิวิกฤต (critical temperature, T_c) คืออุณหภูมิสูงสุดที่สารสามารถอยู่ได้ในสถานะของเหลว ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ แก๊สจะไม่สามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้ ไม่ว่าจะใช้ความดันสูงเท่าใด กระทำต่อแก๊ส อุณหภูมิวิกฤตแสดงถึงความแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เช่น เบนซีน เอทานอล โปรท และน้ำ เป็นสารที่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสูงจึงมีอุณหภูมิวิกฤตสูงกว่าสารอื่นๆ

ความดันวิกฤต (critical pressure, P_c) คือความดันต่ำสุดที่ต้องใช้ในการควบแน่นของแก๊สเป็นของเหลวที่อุณหภูมิวิกฤต (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 ค่าอุณหภูมิวิกฤตและความดันวิกฤตของสารบางชนิด

สาร	T_c (°C)	P_c (atm)
แอมโมเนีย (NH ₃)	132.4	111.5
อาร์กอน (Ar)	-186	6.3
เบนซีน (C ₆ H ₆)	288.9	47.9
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	31.1	73.0
ไดเอทิลอีเทอร์ (CH ₃ CH ₂ OCH ₂ CH ₃)	192.6	35.6
เอทานอล (CH ₃ CH ₂ OH)	243	63.0
ปรอท (Hg)	1,462	1,036
มีเทน (CH ₄)	-83.0	45.6
ไฮโดรเจน (H ₂)	-239.9	12.8
ไนโตรเจน (N ₂)	-147.1	33.5
ออกซิเจน (O ₂)	-118.8	49.7
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)	45.5	37.6
น้ำ (H ₂ O)	374	219

หมายเหตุ. จาก *Chemistry: The Central Science* (p. 453), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education.

4) พลังงานของการเปลี่ยนวัฏภาค

การเปลี่ยนวัฏภาค (phase change) คือการเปลี่ยนสถานะของสาร กล่าวคือของแข็ง เปลี่ยนเป็นของเหลว หรือของเหลวเปลี่ยนเป็นไอ หรือการที่ไอเปลี่ยนเป็นของเหลว หรือของเหลว เปลี่ยนเป็นของแข็ง การเปลี่ยนวัฏภาคของแต่ละสถานะ ดังแสดงในภาพที่ 2.11

การหลอมเหลว (melting) คือของแข็ง (solid) เปลี่ยนเป็นของเหลว (liquid)

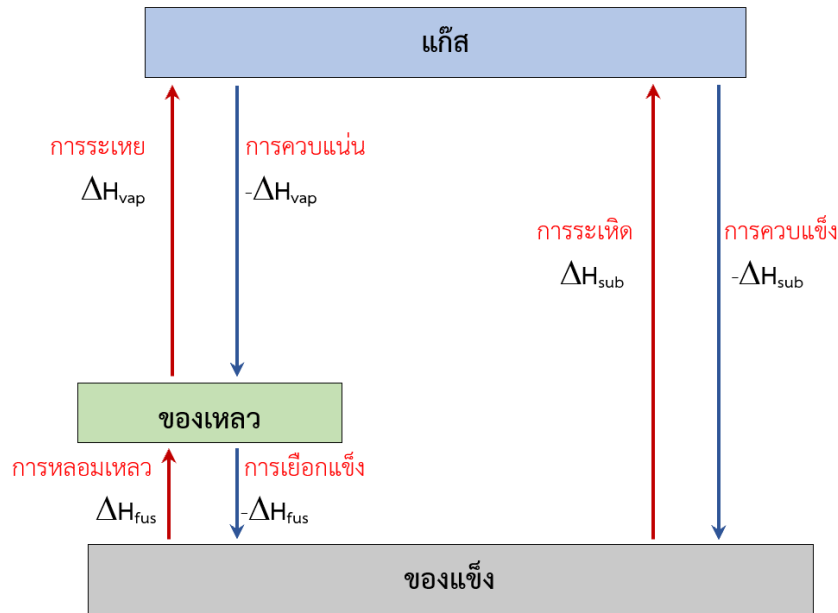
การระเหย (vaporization) คือ การเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (liquid) เปลี่ยนเป็นไอ (gas)

การระเหิด (sublimation) คือ การเปลี่ยนสถานะจากของแข็ง (solid) เปลี่ยนเป็นไอ (gas)

การเยือกแข็ง (freezing) คือ การเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (liquid) เปลี่ยนเป็นของแข็ง (solid)

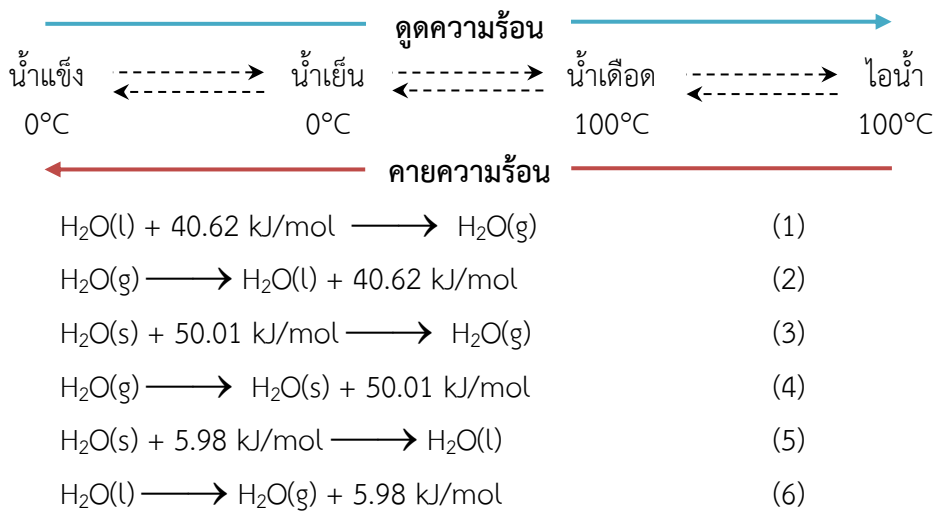
การควบแน่น (condensation) คือ การเปลี่ยนสถานะจากไอ (gas) เปลี่ยนเป็นของเหลว (liquid)

การควบแข็ง (deposition) คือ การเปลี่ยนสถานะจากไอ (gas) เปลี่ยนเป็นของแข็ง (solid)



ภาพที่ 2.11 การเปลี่ยนวัฏภาคของสาร

การเปลี่ยนแปลงวัฏภาคของสารเกี่ยวข้องกับพลังงาน ดังนั้น การเปลี่ยนสถานะต้องมีการถ่ายเทพลังงาน อาจเป็นแบบดูดความร้อน (endothermic) หรือคายความร้อน (exothermic) ตัวอย่างที่สามารถพิจารณาได้ง่ายคือ การเปลี่ยนแปลงสถานะของน้ำ

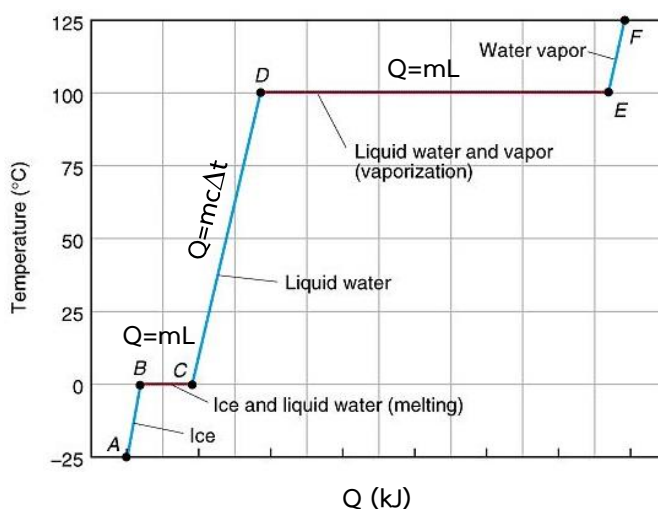


เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนวัฏภาคของน้ำ เมื่อเกิดการระเหยจากของเหลวกลายเป็นแก๊ส ระบบต้องดูดพลังงานความร้อนเท่ากับ 40.62 kJ/mol สมการ (1) ค่าพลังงานนี้เป็นปริมาณความร้อนที่ดูดเข้าไปใช้ในการเปลี่ยนน้ำ 1 โมลให้เป็นไอน้ำ 1 โมล (ปริมาณความร้อนมีค่าเป็นบวก) หรือเมื่อไอน้ำควบแน่นเป็นของเหลว ระบบจะคายพลังงานความร้อน ปริมาณความร้อนมีค่าเป็นลบ สมการ (2) เรียกค่าพลังงานความร้อนของการเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวกับแก๊สว่า เอนทัลปีของการระเหย (ΔH_{vap})

กรณีน้ำแข็งระเหิดเป็นไอน้ำ ระบบต้องดูดพลังงานความร้อนเข้าไป ค่าความร้อน 50.01 kJ/mol สมการ (3) ซึ่งเป็นปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำแข็ง 1 โมล ให้เป็นไอน้ำ (ระเหิด) ที่อุณหภูมิเดียวกัน เรียกค่าพลังงานความร้อนของการเปลี่ยนสถานะระหว่างของแข็งกับแก๊สว่า เอนทัลปีของการระเหิด (ΔH_{sub})

ค่าปริมาณความร้อนในการเปลี่ยนสถานะของของแข็ง (1 โมล) เป็นของเหลวเรียกว่า เอนทัลปีของการหลอมเหลว (ΔH_{fus})

เมื่อพิจารณาพลังงานของการเปลี่ยนสถานะจะพบว่าเมื่อค่าเอนทัลปีเป็นบวก ($\Delta H > 0$) จะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ส่วนถ้าค่าเอนทัลปีเป็นลบ ($\Delta H < 0$) จะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน



ภาพที่ 2.12 กราฟปริมาณความร้อนของการเปลี่ยนสถานะของน้ำ. ที่มาจาก *Chemistry: The Central Science* (p. 451), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

การเปลี่ยนแปลงสถานะจากน้ำแข็ง (สถานะของแข็ง) เป็นไอน้ำ และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปในการเปลี่ยนวิภาค อธิบายได้จากภาพที่ 2.12 เมื่อน้ำแข็ง (สถานะของแข็ง) ได้รับพลังงานความร้อนจนถึง 0°C (จุด B) น้ำแข็งจะหลอมเหลวเป็นน้ำที่ 0°C อุณหภูมิ ณ จุดนี้เรียกว่า จุดหลอมเหลว ในขณะที่พลังงานภายนอกจะถูกดูดเข้าสู่ระบบเพื่อใช้ในการหลอมเหลวเป็นของเหลวทั้งหมด (ช่วง B ถึง C)

เมื่อให้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิจะสูงขึ้นอีกจนถึงอุณหภูมิหนึ่งที่ของเหลวเริ่มเปลี่ยนสถานะเป็นไอ (แก๊ส) อุณหภูมิ ณ จุด D เรียกว่า จุดเดือด กระบวนการที่เกิดขึ้น เรียกว่า การกลายเป็นไอ (ช่วง C ถึง D) ระบบจะต้องดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้าสู่ระบบเพื่อใช้ในการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ โดยช่วงอุณหภูมิคงที่ (ช่วง D ถึง E)

ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของสาร เรียกว่า ความร้อนแฝงจำเพาะ (latent heat) ความร้อนแฝงจำเพาะของสารแต่ละชนิดมีค่าเฉพาะตัว แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว และความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ

ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (latent heat of fusion) คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของแข็งจำนวน 1 โมลให้กลายเป็นของเหลว ณ จุดหลอมเหลวของสาร (ภาพที่ 2.12 ช่วง B ถึง C)

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (latent heat of vaporization) คือปริมาณความร้อนที่ต้องใช้ในการเปลี่ยนสถานะของเหลวจำนวน 1 โมลให้กลายเป็นไอ ณ จุดเดือดของของเหลวนั้น (ภาพที่ 2.12 ช่วง D ถึง E)

2.12 ช่วง D ถึง E) ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอขึ้นกับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลว ถ้าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมีค่าสูง โมเลกุลของเหลวจะระเหยได้ยาก ความดันไอของของเหลวจะมีค่าต่ำ แต่ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอจะมีค่าสูง

ค่าความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอของสารทุกชนิด จะมีค่ามากกว่าความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวเสมอ เช่น

น้ำมีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลว 79.7 แคลอรีต่อกรัม หมายความว่า ในการทำน้ำแข็ง 1 กรัม ให้หลอมเหลวเป็นน้ำ ต้องใช้พลังงานความร้อน 79.7 แคลอรี

น้ำมีค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ 540 แคลอรีต่อกรัม หมายความว่า ในการทำน้ำ 1 กรัม อุณหภูมิ 100°C ให้เปลี่ยนเป็นไอน้ำ 1 กรัม อุณหภูมิ 100°C ต้องใช้พลังงานความร้อน 540 แคลอรี

ตารางที่ 2.3 ค่าความร้อนแฝงจำเพาะของสารบางชนิด

สาร	จุด หลอมเหลว (°C)	ความร้อนแฝง ของการหลอมเหลว		จุดเดือด (°C)	ความร้อนแฝง ของการกลายเป็นไอ	
		cal/g	J/g		(cal/g)	J/g
แอมโมเนีย	-77.8	79.3	332	-33.4	327	1,370
เบนซีน	5.5	30.1	126	80.1	94.1	394
เอทานอล	-114.4	24.9	104.2	78.3	204	855
ฮีเลียม	-269.65	1.25	5.23	-268.93	4.99	20.9
ไนโตรเจน	-209.97	6.09	25.5	-195.81	48.0	200
ออกซิเจน	-218.79	3.30	13.9	-182.97	50.9	213
น้ำ	0.00	79.70	333	100	540	2.26×10 ³
ตะกั่ว	327.3	5.85	24.5	1,750	207.8	870
เงิน	660	21.50	88.2	2,450	556	2.33×10 ³
ทอง	1,063	15.40	64.4	2,660	377	1.58×10 ³
ทองแดง	1,083	32	134	1,187	1,208	5.06×10 ³
ปรอท	-38.8	2.72	11.4	356.6	70.7	296

การหาปริมาณความร้อน

กรณีที่ 1 การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ทำให้สารเปลี่ยนสถานะ คำนวณได้จาก

$$Q = mL \quad \text{.....(2.1)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อน หรือค่าความร้อนแฝงที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะ (cal หรือ J)

m = น้ำหนักของสาร (g หรือ kg)

L = ความร้อนแฝงจำเพาะของสาร (cal/g หรือ J/kg)

กรณีที่ 2 การคำนวณหาปริมาณความร้อนโดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง คำนวณได้จาก

$$Q = ms\Delta t \quad \text{.....(2.2)}$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่สารได้รับ (cal หรือ J)

m = น้ำหนักของสาร (g)

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmutp.ac.th

s = ความร้อนจำเพาะของสาร (กรณีน้ำใช้ c แทนค่าความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 0.5)

Δt = อุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนไป ($^{\circ}\text{C}$)

ตัวอย่าง 2.1 น้ำแข็งหนัก 20 กรัม อุณหภูมิ 0°C ละลายกลายเป็นน้ำหมดพอดีที่ 0°C จะต้องใช้ความร้อนเท่าใด (ความร้อนแฝงจำเพาะของการหลอมเหลวของน้ำแข็งเท่ากับ $333 \times 10^3 \text{ J/kg}$)

วิธีคิด โจทย์กำหนด $m=20 \times 10^{-3} \text{ kg}$ และ $L=333 \times 10^3 \text{ J/kg}$

$$\text{จาก } Q = mL$$

$$Q = (20 \times 10^{-3} \text{ kg})(333 \times 10^3 \text{ J/kg})$$

$$Q = 6,660 \text{ J}$$

ดังนั้น ต้องใช้ความร้อน 6,660 จูล หรือ 6.66 กิโลจูล

ตัวอย่าง 2.2 คำนวณปริมาณความร้อนรวมเมื่อต้องการหลอมละลายน้ำแข็งหนัก 100 กรัมที่อุณหภูมิ 30°C (ค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวเท่ากับ $333 \times 10^3 \text{ J/kg}$ และความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.2 kJ/kg)

วิธีคิด ปริมาณความร้อนการทำน้ำแข็งให้กลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิ 30°C เกิดขึ้น 2 ขั้นตอนคือ

ขั้นที่ 1 ปริมาณความร้อนที่จุดหลอมเหลวที่อุณหภูมิตั้งที่ คำนวณโดยใช้

$$Q = mL$$

$$Q = (100 \times 10^{-3} \text{ kg})(333 \times 10^3 \text{ J/kg})$$

$$Q = 33,300 \text{ J} = 33.3 \text{ kJ}$$

ขั้นที่ 2 ปริมาณความร้อนโดยที่อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง จาก 0°C ถึง 30°C

$$Q = mc\Delta t$$

$$= (100 \times 10^{-3} \text{ kg})(4.2 \text{ kJ/kg})(30^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C})$$

$$= (100 \times 10^{-3} \text{ kg})(4.2 \text{ kJ/kg})(30^{\circ}\text{C}) = 12.6 \text{ kJ}$$

ดังนั้น ปริมาณความร้อนรวม = $33.3 + 12.6 = 45.9 \text{ kJ}$

สรุปท้ายบทเรียน

โมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่ไปมาจึงเกิดสมบัตการไหลได้ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามภาชนะที่บรรจุ แต่ยังคงมีมวลและปริมาตรคงที่ เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาทำให้โมเลกุลเกิดการชนกันมีพลังงานจลน์สูงกว่าโมเลกุลอื่น ๆ ซึ่งมีความมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจนทำให้โมเลกุลหลุดออกจากผิวหน้าของของเหลวได้ เรียกว่า การระเหย หรือการกลายเป็นไอ เมื่อโมเลกุลของของเหลวกลายเป็นไอ จะทำให้เกิดความดันไอส่งผลให้อุณหภูมิของของเหลวจะเพิ่มขึ้น การเดือดของของเหลวจะมีฟองไอบนผิวของเหลว แต่การระเหยจะเกิดขึ้นเฉพาะผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น โดยจุดเดือดเป็นอุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวมีค่าเท่ากับความดันภายนอก เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนอนุภาคของไอจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้โอกาสที่โมเลกุลของไอบางโมเลกุลรวมตัวกันเปลี่ยนเป็นของเหลวเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยจะมีการคายความร้อนออกมาเรียกว่า การควบแน่นของเหลวมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำให้ของเหลวมีสมบัติต่าง ๆ ได้แก่ แรงตึงผิวเกี่ยวข้องกับแรง 2 ชนิด ได้แก่ แรงยึดติดเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิด และแรงเชื่อมแน่นเป็น

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmutp.ac.th

แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน และความหนืดเป็นค่าที่บ่งบอกความต้านทานต่อการไหลของของเหลว สารจะมีการเปลี่ยนวัฏภาค จากวัฏภาคหนึ่งไปยังอีกวัฏภาคหนึ่ง มีการดูดพลังงานเข้าไปหรือ การคายพลังงานออกมา แผนภาพวัฏภาคใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในแผนภาพเดียวกัน โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันทำให้สารเปลี่ยนสถานะ สารแต่ละชนิดจะมีแผนภาพวัฏภาคเป็นของตัวเอง แผนภาพจะช่วยทำนายการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดัน

กิจกรรม

ขั้นตอน	วิธีการ
แนะนำโจทย์ปัญหา (P)	แจกใบกิจกรรม 2.1
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 ความถูกต้องและความผิดพลาด โดยเพิ่มเติมประเด็นที่เกี่ยวข้องให้สมบูรณ์

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

1. ของเหลวถูกบีบอัดได้ง่ายหรือยากกว่าแก๊ส เพราะเหตุใด
2. จงอธิบายว่า เพราะเหตุใดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับของเหลวจึงเกิดการระเหยได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ
3. เมื่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อความดันและจุดเดือดต่อของเหลวอย่างไร
4. เพราะเหตุใด H_2O จึงมีจุดเดือดสูงกว่า CO_2
5. จงหาความดันไอของเอทานอล (C_2H_5OH) ที่อุณหภูมิ $60^\circ C$ เมื่อเอทานอลมีจุดเดือด $78.3^\circ C$ ที่ความดัน 760 mmHg ความร้อนของการกลายเป็นไอเท่ากับ 39.3 kJ/mol
6. จงหาความร้อนของการกลายเป็นไอของเบนซีน (C_6H_6) ถ้าความดันไอของเบนซีนเท่ากับ 500 mmHg ที่อุณหภูมิ $60^\circ C$ และความดัน $760 \text{ มิลลิเมตรปรอท}$ ที่อุณหภูมิ $80^\circ C$
7. เพราะเหตุใดรูปร่างส่วนเว้าและส่วนโค้งของน้ำและปรอทในหลอดแก้วจึงมีความแตกต่างกัน
8. จงบอกชื่อกระบวนการเปลี่ยนวัฏภาคที่เกิดกระบวนการดูดพลังงานมาทั้งหมด
9. จงเรียงค่าอุณหภูมิจากมากไปน้อยของปรอท เอทานอล และแอสีโตน
10. จงบอกประโยชน์ที่ได้จากแผนภาพวัฏภาค

เอกสารอ้างอิง

- อภิสิษฐ์ สงเสสน, สรณรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุดตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับวิศวกร*. บริษัททริฟเฟิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และปัญญา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์* (ฉบับปรับปรุง). (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.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Petrucci, R. H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Phase Diagrams*. (n.d.). Bodner Research Web.
<https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch14/phase.php>
- 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.
- What is a Phase Diagram?* (n.d.). <https://byjus.com/chemistry/phase-diagram-of-water>

แผนการสอนสัปดาห์ที่ 4

หน่วยที่ 2 ของเหลวและสารละลาย
บทเรียนที่ 2.2 สารละลาย

จำนวนชั่วโมง 3

จุดประสงค์การสอน (จุดประสงค์ทั่วไป)

1. เพื่อให้เข้าใจและคำนวณเกี่ยวกับสารละลาย

ผลการเรียนรู้ (จุดประสงค์เฉพาะ)

1. บอกชนิดสารละลาย
2. คำนวณความเข้มข้นสารละลาย
3. อธิบายสมบัติคอลลอยด์
4. อธิบายคอลลอยด์

วิธีสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

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

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. เอกสารคำสอน วิชาเคมี 2
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 สารละลาย

1.2.1 ชนิดสารละลาย

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 เรียกว่า สารละลายอิ่มตัว (saturated solution) แต่ก่อนที่จะถึงจุดที่เป็นสารละลายอิ่มตัว สารละลายนั้นจะเรียกว่า สารละลายไม่อิ่มตัว (unsaturated solution)

สารละลายอาจมีสถานะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งอย่างหนึ่งอย่างใด จึงแบ่งสารละลายออกได้เป็น 3 ประเภท คือสารละลายแก๊ส สารละลายของเหลว และสารละลายของแข็ง แต่เนื่องจากส่วนประกอบของสารละลายจะเป็นแก๊ส ของเหลว หรือของแข็ง สารละลายจึงแบ่งได้ถึง 9 ชนิดตามประเภทของตัวละลายและตัวทำละลาย ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 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

สถานะที่แก๊สเป็นตัวทำละลายโดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊ส ของเหลวและของแข็ง กรณีตัวละลายเป็นแก๊ส หมายถึงแก๊สสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิดผสมกัน (ไม่ทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน) ซึ่งจะผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ทุกส่วนตามสมบัติของแก๊ส เช่น แก๊ส O_2 และ N_2 ในอากาศ ส่วนกรณีที่ตัวละลายเป็นของเหลว เช่น ไอน้ำในอากาศ (ความชื้น)

2) สารละลายของเหลว

สถานะที่ของเหลวเป็นตัวทำละลาย โดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊ส ของเหลวและของแข็ง ตัวอย่างแก๊สในของเหลว เช่น ออกซิเจนที่ละลายในน้ำ หรือน้ำอัดลม (มีแก๊ส CO_2 ละลาย) การละลายของแก๊สแต่ละชนิดในน้ำมีปริมาณน้อยมาก เช่นที่สภาวะ STP แก๊ส N_2 ละลายได้เพียง 0.001 โมลในน้ำ 1 ลิตร หรือแก๊ส O_2 ละลายได้เพียง 0.0022 โมลในน้ำ 1 ลิตร

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

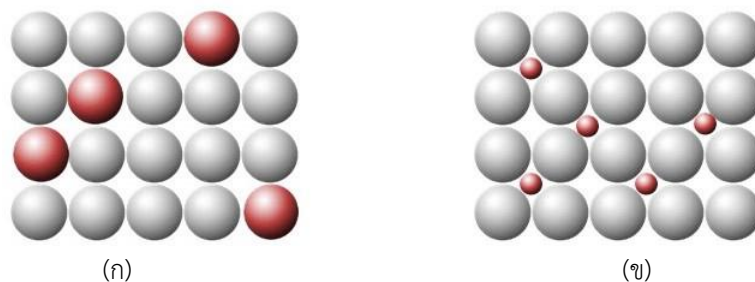
กรณีที่ตัวละลายเป็นของแข็งพบเห็นมากที่สุด โดยสารละลายส่วนมากจะมีน้ำเป็นตัวทำละลาย เรียกว่า สารละลายเอควิวส (aqueous) น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดีเพราะเป็นสารมีขั้ว สามารถละลายสารประกอบไอออนและสารโคเวเลนต์ที่มีขั้ว

3) สารละลายของแข็ง

สถานะที่ของแข็งเป็นตัวทำละลายโดยตัวละลายอาจเป็นได้ทั้งแก๊ส ของเหลวและของแข็ง กรณีที่ตัวละลายเป็นแก๊ส 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 แต่อาจจะเกิดการเสียรูปไปบ้างโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อขนาดของอะตอมต่างกัน ดังภาพที่ 2.13(ก)

(2) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว (interstitial solid solution) เป็นสารละลายของแข็งที่เกิดขึ้นเนื่องจากอะตอมของตัวละลายเข้าไปแทรกตัวอยู่ในช่องว่างของอะตอมตัวทำละลาย ระยะช่องว่างระหว่างอะตอมของตัวทำละลายเรียกว่าซอก (interstices) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัวจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อขนาดของอะตอมของตัวทำละลายมีขนาดใหญ่กว่าอะตอมของตัวละลาย ดังภาพที่ 2.13(ข)



ภาพที่ 2.13 การแทนที่ในสารละลายของแข็ง (ก) สารละลายของแข็งแบบแทนที่ และ (ข) สารละลายของแข็งแบบแทรกตัว

4) การละลาย

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

$$s = \frac{g_{(\text{solute})}}{V_{(\text{solvent})}} \quad \dots\dots(2.3)$$

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 2.5 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
ที่ตัวละลายเป็นเกลือไอออน สามารถแบ่งชนิดของเกลือจากค่าการละลายได้ดังนี้

1) เกลือที่ละลายได้ดี (soluble) หมายถึง เกลือที่จะละลายได้มากกว่า 1 กรัม ต่อตัว
ทำละลาย 100 กรัม

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

3) เกลือที่ไม่ละลาย (insoluble) หมายถึง เกลือที่ละลายได้น้อยกว่า 0.1 กรัม ต่อตัว
ทำละลาย 100 กรัม

4) กระบวนการเกิดสารละลาย

สารละลายเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของตัวละลายกระจายเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคของตัว
ทำละลายได้อย่างทั่วถึง อย่างไรก็ตามอนุภาคของตัวละลายจะสามารถเข้าไปแทนที่อนุภาคของตัวทำ
ละลายได้หรือไม่ หรือมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำ
ละลาย เช่นแรงไดโพล-ไดโพล จะเกี่ยวข้องกับการละลายสารไอออนในน้ำ หรือแรงกระจายตัว

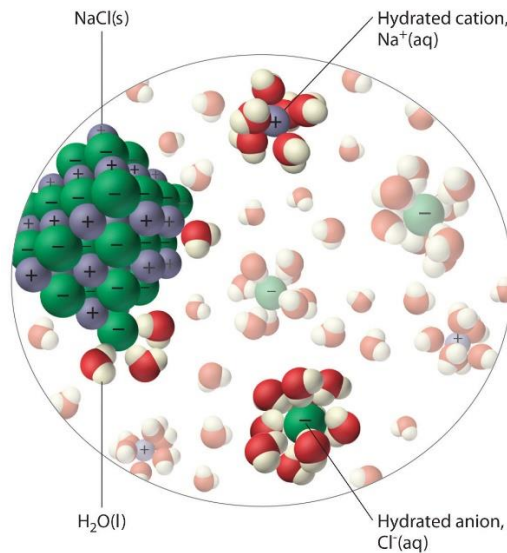
เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmutp.ac.th

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

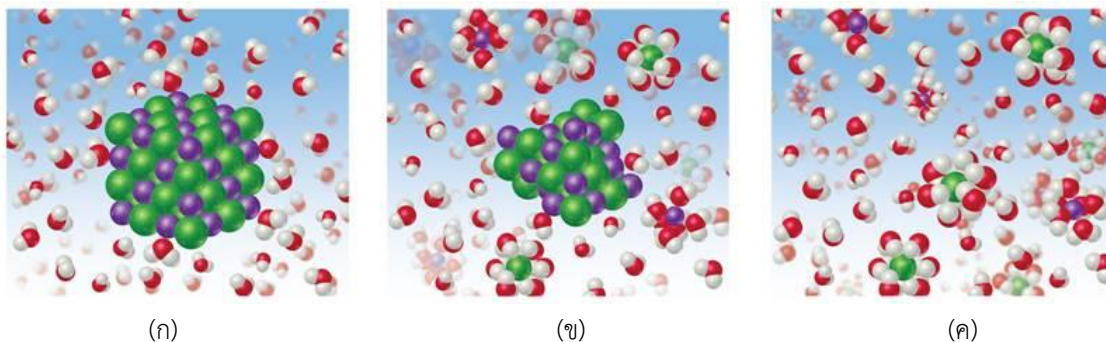
สารละลายจะสามารถเกิดขึ้นได้ดีเมื่อแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคของตัวละลายกับตัวทำละลายมีขนาดใกล้เคียงกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของอนุภาคตัวละลาย หรืออนุภาคตัวทำละลาย จึงทำให้โมเลกุลของตัวละลายเข้าไปแทนที่โมเลกุลของตัวทำละลายได้ดี เช่นเกลือ NaCl ละลายได้ดีในน้ำ เนื่องจากแรงดึงดูดระหว่างไอออน (Na^+ และ Cl^-) กับโมเลกุลมีขั้วของน้ำมีมากพอๆ กัน จึงทำให้สามารถเอาชนะพลังงานแลตทิซของโครงผลึก NaCl ได้ แรงกระทำที่เกิดระหว่างโมเลกุลตัวละลายและโมเลกุลตัวทำละลาย โดยที่เกิดขึ้นเนื่องจากโมเลกุลตัวทำละลายล้อมรอบโมเลกุลตัวละลาย เรียกว่าไฮเดรชัน (solvation) ถ้าโมเลกุลตัวทำละลายเป็นน้ำจะเรียกว่า ไฮเดรชัน (hydration) ดังภาพที่ 2.14 แสดงการล้อมรอบสารไอออนโดยโมเลกุลของน้ำ



ภาพที่ 2.14 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 2.15 เมื่อใส่ NaCl ลงไปในน้ำ โมเลกุลน้ำเป็นโมเลกุลมีขั้ว (สภาพขั้วมีทั้งบวกและลบ) จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้ำกับไอออนของสารประกอบ NaCl โดยโมเลกุลน้ำจะหันด้านที่เป็นสภาพขั้วบวก (ด้านไฮโดรเจน) เข้าหาแอนไอออน (Cl^-) ที่อยู่ตามผิวของแข็ง และบางโมเลกุลน้ำจะหันด้านสภาพขั้วลบ (ด้านออกซิเจน) เข้าหาแคตไอออน (Na^+) เมื่อแรงดึงดูดระหว่างขั้วของไอออนและโมเลกุลของน้ำแข็งแรงพอที่จะดึงเอาไอออนนั้น ๆ หลุดออกจากตำแหน่งผิวของโครงผลึกได้แล้ว แคตไอออนและแอนไอออนจะถูกโมเลกุลน้ำเข้ามาห้อมล้อม เรียกว่าไอออนที่ถูกไฮเดรต (hydrated ion) ไอออนที่ถูกไฮเดรตจะแพร่ออกไปในตัวทำละลาย แคตไอออนและแอนไอออนที่อยู่ผิวของแข็งถูกไฮเดรตหลุดออกไปเรื่อย ๆ จนของแข็งละลายหมดทั้งก้อน จำนวน

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



ภาพที่ 2.15 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.

2.2.2 ความเข้มข้นสารละลาย

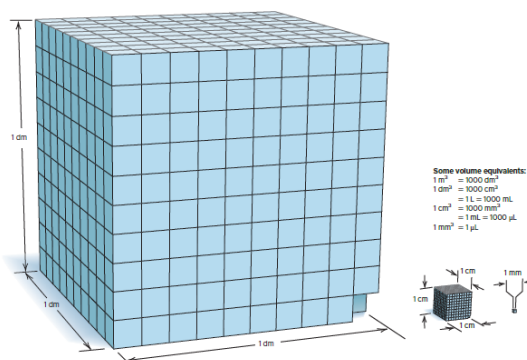
1) ความหมายความเข้มข้นของสารละลาย

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

2) หน่วยความเข้มข้นของสารละลาย

2.1) หน่วยร้อยละ (percentage, %)

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

(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

(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)

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

2.2) หน่วยโมลาริตี (molar หรือ molarity, M) เป็นหน่วยที่นิยมใช้มากในทางเคมี เป็นการบอกหน่วยของสารละลายที่บอกเป็นโมลของตัวละลายในสารละลาย 1 L เช่น KOH 0.25 mol/L มีความหมายว่า ในสารละลาย 1 L มี KOH ละลายอยู่ 0.25 mol

$$M = \frac{n}{1 \text{ L}} \quad \dots\dots(2.4)$$

เมื่อ M = โมลาริตี (mol/L)

n = จำนวนโมลตัวละลาย (mol)

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

$$M = \left(\frac{g}{MM} \right) \left(\frac{1000}{V} \right) \quad \dots\dots(2.5)$$

เมื่อ M = โมลาริตี (mol/L)

g = น้ำหนักสาร (หน่วย g)

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

V = ปริมาตรสารละลาย (หน่วย mL)

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmu.ac.th

ตัวอย่าง 2.3 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 2.4 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

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

$$N = \frac{g_{\text{eq.wt.}}}{1 \text{ L}} \quad \text{.....(2.6)}$$

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

$$g_{\text{eq.wt.}} = \frac{\text{wt.}}{\text{eq.wt.}} \quad \text{.....(2.7)}$$

$$\text{eq.wt.} = \frac{g_{\text{FW}}}{n} \quad \text{.....(2.8)}$$

เมื่อ wt. = น้ำหนักของตัวละลาย (g)

eq.wt. = น้ำหนักกรัมสมมูล

g_{FW} = กรัมน้ำหนักสูตรตัวละลาย

n = จำนวนเวเลนซี

น้ำหนักสมมูลของสาร คำนวณได้จากสมการ (2.8) ซึ่งจำนวนเวเลนซีจะต้องพิจารณาจากชนิดของสารนั้น ๆ ดังนี้

1) น้ำหนักสมมูลของกรด-เบส

กรด จำนวนเวเลนซี คือ จำนวน H^+ ที่สามารถถูกแทนที่ได้ด้วยโลหะ เช่น

HNO_3 มี n = 1

H_2SO_4 มี n = 2

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

KOH มี n = 1

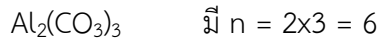
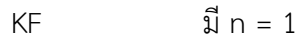
Mg(OH)_2 มี n = 2

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmutp.ac.th

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



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

สารออกซิไดส์หรือสารรีดิวซ์ที่นิยมใช้ในการทดลองทางเคมี แสดงดังตารางที่ 2.6 ซึ่งจะเห็นว่าเลขออกซิเดชันที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยารีดอกซ์ขึ้นกับสภาวะกรด-เบสของสารละลายด้วย

ตารางที่ 2.6 น้ำหนักสมมูลของสารออกซิไดส์หรือสารรีดิวซ์

สาร	ชนิด	สภาวะ 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 จันทรสุวรรณ, 2565, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ตัวอย่าง 2.5 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

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

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

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 H_2SO_4 เข้มข้น 98%w/w ปริมาตร 6.66 mL แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น จนปริมาตรครบ 500 mL

ตัวอย่าง 2.6 กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) จำนวน 24.5 กรัม ละลายในน้ำ 1 L จงหาความเข้มข้นของ H_2SO_4 ในหน่วย ก) โมลาร์ และ ข) นอร์มัล (น้ำหนักโมเลกุลของ H_2SO_4 เท่ากับ 98.0 g/mol)

วิธีคิด ก) คำนวณหน่วย โมลาร์

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

$$\text{จากสมการ (2.5)} \quad M = \frac{0.25 \text{ mol}}{1 \text{ L}} = 0.25 \text{ mol/L}$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายซัลฟิวริก เท่ากับ 0.25 mol/L

ข) คำนวณหน่วย นอร์มัล

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

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

$$\text{จากสมการ (2.6)} \quad N = \frac{0.50}{1 \text{ L}} = 0.50$$

ดังนั้น ความเข้มข้นของสารละลายกรดซัลฟิวริก เท่ากับ 0.50 N

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

$$m = \frac{n}{1 \text{ kg}} \quad \dots\dots(2.9)$$

เมื่อ n = จำนวนโมลตัวละลาย

ตัวอย่าง 2.7 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 (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

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg}_{(\text{solute})}}{1 \text{ L}} \quad \text{.....(2.10)}$$

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

$\text{mg}_{(\text{solute})} = \text{น้ำหนักตัวละลาย}$

ตัวอย่าง 2.8 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 (mol fraction, X) คืออัตราส่วนของจำนวนโมลของตัวละลายหรือตัวทำละลายต่อจำนวนโมลทั้งหมดในสารละลาย

$$X = \frac{n_{(1)}}{n_{(\text{total})}} \quad \text{.....(2.11)}$$

เมื่อ $X = \text{เศษส่วนโมล}$

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

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

สารละลายผสมประกอบด้วยสารละลาย a และสารละลาย b ดังนั้น

n_a เป็น จำนวนโมลของตัวละลาย

n_b เป็น จำนวนโมลของตัวทำละลาย

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmu.ac.th

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

ผลรวมของเศษส่วนโมลของตัวละลายกับตัวทำละลายมีค่าเท่ากับ $X_a + X_b = 1$

ตัวอย่าง 2.9 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) อัตราส่วนเจือจาง (dilution ratio) คือ อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างสารสองชนิด หรือมากกว่าสองชนิด โดยระบุอัตราส่วนเป็นตัวเลขอยู่ในวงเล็บและค้นด้วยเครื่องหมายทวิภาค ($:$) 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 2.10 จงอธิบายการเตรียมสารละลายกรดไนตริก (HNO_3) ในน้ำให้มีความเข้มข้น (1:4) ปริมาตร 100 mL

วิธีคิด สารละลายกรด HNO_3 เข้มข้น (1:5) 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 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

สารละลายมีความดันไót่ำกว่าตัวทำละลายบริสุทธิ์ เนื่องจากเมื่อมีตัวละลายที่ไม่สามารถระเหยผสมอยู่ในสารละลาย จะทำให้ความดันไอของสารละลายลดต่ำกว่าความดันไอของตัวทำละลาย เนื่องจากจำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายที่บริเวณผิวหน้าของสารละลายลดน้อยกว่าเดิมจากที่เคยเป็นตัวทำละลาย เพราะมีโมเลกุลของตัวละลายปนอยู่ เมื่อจำนวนโมเลกุลของตัวทำละลายที่บริเวณผิวหน้าลดลง การที่โมเลกุลหนึ่งๆ ของตัวทำละลายจะสามารถเกิดกระบวนการเปลี่ยนแปลงจากของเหลวกลายเป็นไอได้จะต้องเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างตัวทำละลายอื่นๆ และแรงดึงดูดระหว่างตัวละลายที่ล้อมรอบอยู่ สิ่งที่เกิดขึ้นคือ โมเลกุลของตัวทำละลายระเหยได้น้อยลง ส่งผลให้ความดันไอของสารละลาย มีค่าน้อยกว่าความดันไอของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2.17

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

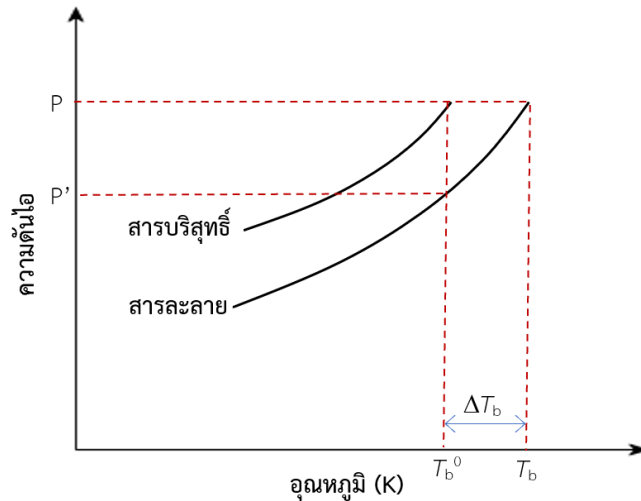
โดยความสัมพันธ์จะขึ้นกับเศษส่วนโมล (mol fraction) ของตัวทำละลาย (X_A) ความสัมพันธ์จะเป็นไปตามกฎของราอูลต์ต่อเมื่อสารละลายในอุดมคติ (ideal solution) เท่านั้น คือกระบวนการละลายไม่มีการดูดหรือคายความร้อน สมการของกฎของราอูลต์ เขียนได้เป็น

$$P_A = X_A P_A^0 \quad \dots(2.12)$$

เมื่อ P_A = ความดันไอย่อยของตัวทำละลายเมื่อเป็นสารละลาย

P_A^0 = ความดันไอย่อยของตัวทำละลายบริสุทธิ์

X_A = เศษส่วนโมลของตัวทำละลาย



ภาพที่ 2.17 ความดันไอของสารบริสุทธิ์และสารละลาย

ตัวอย่างเช่น ความดันไอของน้ำที่ 20°C เท่ากับ 17.5 ทอร์รี่ ณ อุณหภูมิคงที่ เมื่อเติมกลูโคสลงไปทำให้เศษส่วนโมลของน้ำ (X_{water}) เท่ากับ 0.800 และกลูโคส (X_{glucose}) เท่ากับ 0.200 จากสมการ (2.12) ความดันไอย่อยของน้ำ คือ

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

หมายความว่าความดันไอย่อยของน้ำเมื่อเป็นสารละลายจะลดลงจาก 17.5 ทอร์รี่ เหลือ 14.0 ทอร์รี่

ตัวอย่าง 2.11 กลีเซอริน ($\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$) เป็นสารละลายที่ไม่ระเหยมีความหนาแน่น 1.26 g/cm^3 ที่ 25°C คำนวณความดันไอของสารละลายเมื่อเติมกลีเซอรินปริมาตร 50.0 mL ลงในน้ำ 500 mL (กำหนดความดันไอของน้ำที่ 25°C เท่ากับ 23.8 ทอร์รี่ และความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1.0 g/cm^3)

วิธีคิด คำนวณโมลของ $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$

$$\text{mol } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3 = (50.0 \text{ mL } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3) \left(\frac{1.26 \text{ g } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3}{1 \text{ mL } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3} \right) \left(\frac{1 \text{ mol } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3}{92.0 \text{ g } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3} \right) = 0.684 \text{ mol}$$

คำนวณโมลของ H_2O

$$\text{mol } \text{H}_2\text{O} = (500 \text{ mL } \text{H}_2\text{O}) \left(\frac{1.0 \text{ g } \text{H}_2\text{O}}{1 \text{ mL } \text{H}_2\text{O}} \right) \left(\frac{1 \text{ mol } \text{H}_2\text{O}}{18.0 \text{ g } \text{H}_2\text{O}} \right) = 27.8 \text{ mol}$$

ดังนั้น เศษส่วนโมลของน้ำคือ

$$X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\text{mol } \text{H}_2\text{O}}{\text{mol } \text{H}_2\text{O} + \text{mol } \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3} = \frac{27.8}{27.8 + 0.684} = 0.976$$

จากสมการของกฎของราอูลต์ สมการ (2.12)

$$P_{\text{H}_2\text{O}} = X_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{H}_2\text{O}}^0 \\ = (0.976)(23.8 \text{ torr}) = 23.2 \text{ torr}$$

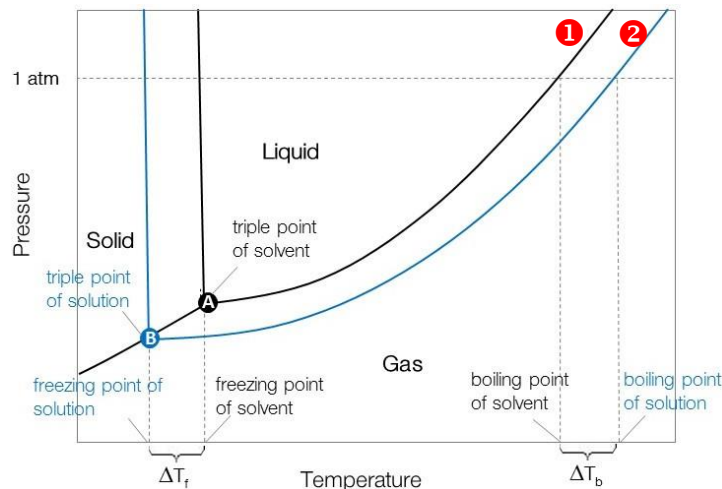
ดังนั้น ความดันไอของน้ำของสารละลายจะลดลงจาก 23.8 ทอร์รี่ เป็น 23.2 ทอร์รี่ แสดงว่าเมื่อเกิดเป็นสารละลายความดันไอลดลงไป 0.6 ทอร์รี่

2) การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือดและการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง

สมบัติของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ณ ที่สภาวะหนึ่งๆ จะมีสมบัติจุดเดือดและจุดเยือกแข็งที่แน่นอน แต่เมื่อมีตัวละลายที่ไม่ระเหยผสมอยู่ในสารละลาย โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นต่ำๆ จะทำให้เกิดการลดต่ำลงของจุดเยือกแข็ง และการเพิ่มสูงขึ้นของจุดเดือดของสารละลาย การเปลี่ยนแปลงจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารละลายเทียบกับตัวทำละลายบริสุทธิ์ ดังภาพที่ 2.18 โดยใช้แผนผังวัฏภาค เส้นสีดำ (1) แสดงวัฏภาคของสารบริสุทธิ์ และเส้นสีฟ้า (2) แสดงวัฏภาคของสารละลาย สรุปอุณหภูมิจุดเดือดและการลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็งได้ คือ

จุดเดือดของสารละลายจะสูงกว่าจุดเดือดปกติของตัวทำละลายบริสุทธิ์

จุดเยือกแข็งของสารละลายจะต่ำกว่าจุดเยือกแข็งปกติของตัวทำละลายบริสุทธิ์



ภาพที่ 2.18 วัฏภาคแสดงการเปลี่ยนแปลงของจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของสารบริสุทธิ์และสารละลาย. ดัดแปลงจาก Chemistry: The Central Science (p.545-546), by T.L. Brown et al., 2017, Pearson Education, Inc.

การศึกษาสมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายนิยมใช้ความเข้มข้นในหน่วย โมลล (m) ซึ่งเป็นการบอกจำนวนโมลของตัวละลายในตัวทำละลาย 1 กิโลกรัม จากกราฟภาพที่ 2.18 ถ้าให้ ΔT_b คืออุณหภูมิจุดเดือดที่เพิ่มสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งพบว่า ΔT_b เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

$$\Delta T_b = K_b m \quad \dots(2.13)$$

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

m = ความเข้มข้นของสารละลาย (โมลล)

K_b = ค่าคงที่โมลลของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด

ถ้าให้ ΔT_f คืออุณหภูมิที่จุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งพบว่า ΔT_f เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

$$\Delta T_f = K_f m \quad \dots(2.14)$$

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

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmutp.ac.th

K_f = ค่าคงที่โมแลลของการลดลงของจุดเยือกแข็ง

ΔT_b และ ΔT_f ขึ้นอยู่กับจำนวนอนุภาคของตัวละลายที่อยู่ในสารละลายและชนิดของตัวทำละลายเท่านั้น โดยไม่ขึ้นกับชนิดของตัวละลาย นั่นคือ ปริมาณของตัวละลายจะมีผลทำให้จุดเดือดของสารละลายสูงขึ้น และจุดเยือกแข็งจะลดลง ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะมีปริมาณของตัวละลายมากหรือน้อย หรือกล่าวง่ายๆ คือ จุดเดือดและจุดเยือกแข็งจะแปรผันตรงกับโมแลลของสารละลาย ถ้ามีปริมาณตัวละลายอยู่น้อย จุดเดือดของสารละลายจะเพิ่มสูงขึ้นเล็กน้อยและจุดเยือกแข็งลดต่ำลงเล็กน้อย ในทางกลับกัน ถ้ามีปริมาณตัวละลายอยู่มาก จุดเดือดของสารละลายจะสูงขึ้นและจุดเยือกแข็งจะต่ำลงมาก

ค่า K_b และ K_f เป็นค่าคงที่เฉพาะสำหรับตัวทำละลายแต่ละชนิด ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของตัวทำละลาย ที่ความดัน 1 atm

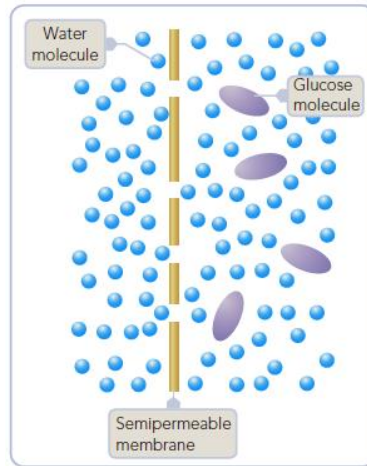
ตารางที่ 2.7 ค่าคงที่โมแลลของจุดเดือดที่เพิ่มสูงขึ้นและจุดเยือกแข็งที่ลดต่ำลงของตัวทำละลายสามัญ

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 (เส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนประมาณ 0.0001 ถึง 0.1 ไมครอน) ของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าไปสู่สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า เยื่อเลือกผ่านบางที่มีรูพรุนจะยอมให้เฉพาะอนุภาคของตัวทำละลายผ่านไปได้เท่านั้น แต่ไม่ยอมให้โมเลกุลหรือไอออนที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของรูพรุนผ่านไปได้ โมเลกุลของตัวทำละลาย (solvent molecule) ของสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าซึมผ่านเมมเบรนไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงกว่า จนกระทั่งเกิดภาวะสมดุลระหว่างความเข้มข้นของสารละลายทั้งสอง ดังภาพที่ 2.19 แสดงสมดุลของสารละลายกลูโคส ความสามารถในการออสโมซิสของสารละลายขึ้นอยู่กับสมบัติของสารละลายคือ ความดันออสโมติก (osmotic pressure)



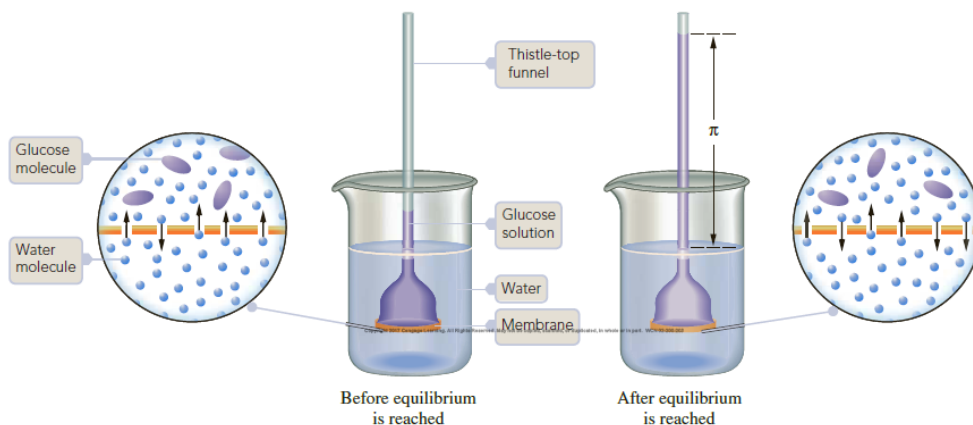
ภาพที่ 2.19 ความดันออสโมติก. จาก *General Chemistry* (p. 428), by D.D. Ebbing & S.D. Gammon, 2017, Cengage Learning.

ความดันออสโมติกจะมีค่าสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย สารละลายที่มีความเข้มข้นสูงจะมีความดันออสโมติกสูงกว่าสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำ ความดันออสโมติกสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสาร ดังนี้

$$\pi = MRT \quad \dots(2.15)$$

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

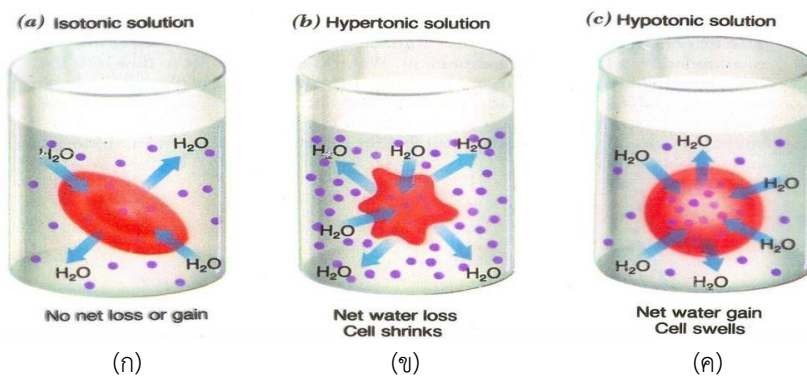
การทดลองความดันออสโมติกของสารละลายกลูโคส ดังภาพที่ 2.20 (ซ้าย) ก่อนภาวะสมดุล โมเลกุลน้ำซึมผ่านเมมเบรนเข้าไปในสารละลายกลูโคสที่บรรจุในกรวยคว่ำ จึงทำให้ระดับของสารละลายกลูโคสสูงกว่าระดับน้ำ และเมื่อภาวะสมดุลระดับของสารละลายกลูโคสขึ้นสูงสุด (ขวา) เนื่องจากอัตราการซึมผ่านของโมเลกุลน้ำที่เข้าและออกในสารละลายกลูโคสเท่ากัน ความดันออสโมติกจึงหยุด



ภาพที่ 2.20 การทดลองความดันออสโมติกของสารละลายกลูโคส. จาก *General Chemistry* (p. 428), by D.D. Ebbing & S.D. Gammon, 2017, Cengage Learning.

ถ้าแยกความเข้มข้นของสารละลายออกตามการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำผ่านเมมเบรนจะแยกเป็น 3 ประเภท ดังภาพที่ 2.21

1. สารละลายไอโซโทนิก (isotonic solution) หมายถึง สารละลายที่มีความเข้มข้นเท่ากันจะมีความดันออสโมติกเท่ากัน
2. สารละลายไฮโปโทนิก (hypotonic solution) หมายถึง สารละลายภายนอกมีความเข้มข้นต่ำกว่า
3. สารละลายไฮเปอร์โทนิก (hypertonic solution) หมายถึง สารละลายภายนอกมีความเข้มข้นสูงกว่า



ภาพที่ 2.21 ประเภทสารละลายจำแนกตามแรงดันออสโมติก

2.2.4 คอลลอยด์

คอลลอยด์ (colloids) คือสถานะสารที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาค (โมเลกุลหรือไอออน) ซึ่งอาจอยู่ในสถานะแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส ในทำนองเดียวกับสารละลาย สถานะคอลลอยด์ (colloidal state) หรือการกระจายอนุภาคแบบคอลลอยด์ (colloidal dispersion) เป็นการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 5–1,000 nm แขนงลอยอยู่ในตัวกลางในทุกส่วนของสารละลาย 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 และครีม นวดนม อิมัลชันส่วนหนึ่งจะไม่ค่อยเสถียรจะต้องมีใส่สารที่เรียกว่า emulsifying agent เพื่อให้ทำให้อิมัลชันเสถียร

1.3) เจล (gel) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของแข็งฟุ้งกระจายในตัวกลางที่เป็นของเหลว โดยอนุภาคของแข็งจะสานกันเป็นตาข่ายอย่างต่อเนื่องกับตัวกลาง เช่น ไข่เจียว และเจลลาติน

1.4) ละอองลอย (aerosol) เป็นคอลลอยด์ที่เกิดจากอนุภาคที่เป็นของแข็งหรือของเหลวฟุ้งกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นแก๊ส เช่น หมอก และควัน

ตารางที่ 2.8 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)

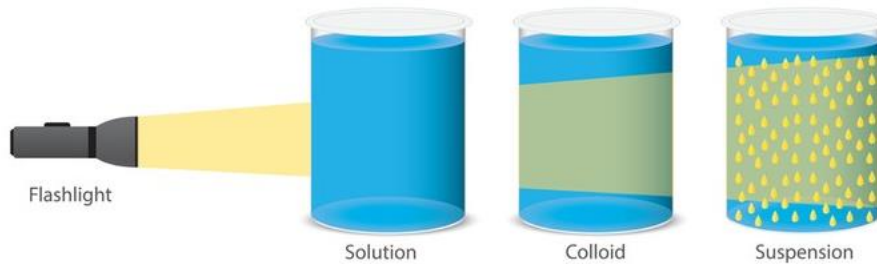
2) สมบัติของคอลลอยด์

คอลลอยด์มีขนาดของอนุภาคที่อยู่ระหว่างสารแขวนลอยและสารละลาย ดังนั้นสมบัติคอลลอยด์บางประการจึงคล้ายกับสารละลาย ได้แก่

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

2.2) ถ้าส่องลำแสงเข้าไปยังคอลลอยด์จะสามารถมองเห็นลำแสงสว่างในคอลลอยด์ได้ เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่พอที่ลำแสงสามารถตกกระทบแล้วเกิดการกระเจิงของแสงได้ เราเรียกว่า ปรากฏการณ์ทินดอลล์ (Tyndall effect) ดังภาพที่ 2.21 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวไอร์แลนด์

ชื่อ ทินดอลล์ (John Tyndall, ค.ศ.1869) ได้ค้นพบการมองเห็นลำแสงที่ผ่านคอลลอยด์ ส่วนกรณีสารละลายจะไม่เกิดปรากฏการณ์ทินดอลล์ เนื่องจากขนาดของตัวละลายเล็กมากจนแสงสามารถลอดผ่านไปได้ ตัวอย่างปรากฏการณ์ทินดอลล์ที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น เมื่อฉายไฟเข้าไปในหมอกหรือกลุ่มควัน จะเห็นลำแสงในหมอกหรือกลุ่มควัน หรือปรากฏการณ์รุ้งกินน้ำที่เกิดจากโมเลกุลของละอองน้ำเกิดการกระเจิงกับแสงอาทิตย์ หลังจากที่ฝนตก หรือ การกระเจิงของฝุ่น (dust) ในอากาศกับแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.22 การกระเจิงของแสงในคอลลอยด์

2.3) อนุภาคคอลลอยด์บางชนิดมีประจุไฟฟ้าที่ผิวของอนุภาค เมื่อนำไปละลายในตัวทำละลายในตัวกลางที่มีอนุภาคไฟฟ้าตรงกันข้ามจึงเกิดแรงดึงดูดต่อกัน มีผลทำให้อนุภาคฟุ้งกระจายอยู่ในตัวกลางได้

สรุปท้ายบทเรียน

สารละลายสารละลายคือสารผสมของสารสองชนิดหรือมากกว่าสองชนิด ปริมาณของส่วนประกอบเปลี่ยนแปลงได้ แต่เปลี่ยนแปลงอยู่ในขอบเขตจำกัด ส่วนประกอบของสารละลายมักเป็นสารบริสุทธิ์ อาจเป็นแก๊ส ของเหลวหรือของแข็ง ส่วนประกอบที่มีปริมาณมากกว่าเรียกว่า ตัวทำละลาย ส่วนประกอบที่มีอยู่ในปริมาณน้อยกว่า เรียกว่า ตัวละลาย สารละลายมีสถานะเป็นได้ทั้งสารละลายแก๊ส สารละลายของเหลว และสารละลายของแข็ง ค่าการละลายเป็นการบอกปริมาณที่มากที่สุดของตัวละลายที่จะละลายได้ในตัวทำละลายปริมาณหนึ่ง และที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ การละลายเกิดขึ้นเมื่ออนุภาคของตัวละลายกระจายเข้าไปอยู่ระหว่างอนุภาคของตัวทำละลายได้อย่างทั่วถึง ปัจจัยสำคัญของการละลาย คือความแรงของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวละลายและตัวทำละลาย ความเข้มข้นของสารละลาย คือการบอกปริมาณตัวละลายในตัวทำละลายในปริมาตรสุทธิตามที่กำหนดอย่างแน่นอน หน่วยที่นิยมใช้มีหลายหน่วยด้วยกัน เช่น โมลาร์ นอร์มัล ร้อยละ อัตราส่วนเจือจาง เป็นต้น สมบัติคอลลิเกทีฟ คือสมบัติทางกายภาพของสารละลายที่เปลี่ยนแปลงไปจากตัวทำละลายบริสุทธิ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย ได้แก่ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจุดเดือด การลดลงของอุณหภูมิจุดเยือกแข็ง การลดลงของความดันไอ ความร้อนแฝงของการเป็นไอ และความดันออสโมติก สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายจะขึ้นกับปริมาณของตัวละลายที่มีอยู่ในสารละลายเท่านั้น จะไม่ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด หรือธรรมชาติของตัวละลาย สมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายมีพื้นฐานจากความดันไอที่แตกต่างกันระหว่างสารละลายและตัวทำละลายบริสุทธิ์ คอลลอยด์คือสถานะสารที่เกิดจากการฟุ้งกระจายของอนุภาค (โมเลกุล หรือไอออน) ซึ่งอาจอยู่ในสถานะแก๊ส ของเหลว หรือของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือแก๊ส เป็นการกระจายของอนุภาคขนาดเล็กประมาณ 5–1,000 nm แขนวลอยอยู่ใน

เรียบเรียงโดย ผศ.ดร.วรวิทย์ จันทรสุวรรณ

ลิขสิทธิ์ ©2022 โดยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

woravith.c@rmutp.ac.th

ตัวกลางในทุกส่วนของสารละลาย อนุภาคแขวนลอยอาจเป็นกลุ่มของโมเลกุลหรือไอออน คอลลอยด์ไม่จัดเป็นสารเนื้อเดียวหรือสารเนื้อผสมอย่างแท้จริง เพราะลักษณะขององค์ประกอบของคอลลอยด์บางชนิดสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าอย่างชัดเจน เช่น นม เบียร์ และเม็ดเลือด แต่บางชนิดไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดา

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

1. เมื่อสารละลายแนฟทาลีน ($C_{10}H_8$) 10.6 กรัมในเบนซีน (C_6H_6) 80.0 กรัม จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้นร้อยละเท่าใดโดยน้ำหนัก
2. สารละลายผสมระหว่างเมทานอล (CH_3OH) 36.3 กรัม กับโพรพานอล (C_3H_7OH) 54.8 กรัม จงคำนวณเศษส่วนโมลขององค์ประกอบทั้งสองในสารละลาย
3. ถ้าต้องการเตรียมสารละลายต่างทันทิม ($KMnO_4$) เข้มข้น 2.5 mol/L จำนวน 100 mL จะต้องใช้ $KMnO_4$ จำนวนกี่กรัม (กำหนดน้ำหนักโมเลกุลของ $KMnO_4=158$ g/mol)
4. จงคำนวณความเข้มข้นของกรดไนตริก (HNO_3) ในขวด ที่ฉลากระบุข้างขวดดังนี้ น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 63.01 g/mol ความถ่วงจำเพาะ (d) เท่ากับ 1.420 และร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 70% (w/w)
5. คำนวณความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของกรด H_2SO_4 โดยฉลากข้างขวดระบุร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 96%(w/w) ความหนาแน่น 1.787 g/mL และน้ำหนักโมเลกุล = 98 g/mol
6. ยกตัวอย่างของสมบัติที่จัดว่าเป็นสมบัติคอลลิเกทีฟของสารละลายมา 4 สมบัติ
7. อธิบายความดันออสโมติก
8. เปรียบเทียบสถานะ สมบัติ และคุณลักษณะระหว่าง สารละลาย กับคอลลอยด์

เอกสารอ้างอิง

- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. (2563, 4 มิถุนายน). *ความเข้มข้นสารละลาย*. Active Learning: Learning for All. https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=4053
- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. (2564, 1 มีนาคม). *การคำนวณและวิธีการเตรียมสารละลาย*. Active Learning: Learning for All. https://web.rmutp.ac.th/woravith/?page_id=8623
- วรวิทย์ จันท์สุวรรณ. (2565). *เคมีวิเคราะห์: หลักการและเทคนิคการคำนวณเชิงปริมาณ* (พิมพ์ครั้งที่ 2). สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศุภาวิตา จรรยา. (2563, 14 เมษายน). *สารละลาย สารแขวนลอย คอลลอยด์*. <https://www.scimath.org/lesson-chemistry/item/9425-2018-11-14-08-40-23>
- อภิสิทธิ์ ศงสะเสน, สรณนรินทร์ บังเกิดผล และอาทิตย์ สกุดตันติเมธา. (2554). *เคมีทั่วไปสำหรับวิศวกร*. บริษัททริฟเฟิ้ลกรุ๊ป จำกัด.
- อินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และปัญญา พูลโกคา. (2554). *เคมีทั่วไป สำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์* (ฉบับปรับปรุง). (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. (2011). *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.
- Colligative Properties*. (n.d.). Bodner Research Web. <https://chemed.chem.purdue.edu/genchem/topicreview/bp/ch15/colligative.php>
- Ebbing, D.D., & Gammon, S.D. (2017). *General Chemistry* (11th ed.). Cengage Learning.
- Overby, J. & Chang, R., (2022). *Chemistry* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Pabasara. (2017, February 8). *Difference Between Colloid and Suspension*. <https://pediaa.com/difference-between-colloid-and-suspension>
- Petrucci, R.H., Herring, F.G., Madura, D.J., & Bissonnette, C. (2017). *General Chemistry: Principles and Modern Applications* (11th ed.). Pearson Prentice Hall.
- Physical Properties of Solutions*. (n.d.). <http://www.chem.uiuc.edu/rogers/Text11/Tx117/tx117.html>
- 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.