

ของเหลวและของแข็ง

- 8.1 ของเหลว
- 8.2 การระเหย
- 8.3 ความดันไอ
- 8.4 จุดเดือด ความร้อนของการกลายเป็นไอหรือการควบแน่น
- 8.5 การกลั่น
- 8.6 การผสมของของเหลว
- 8.7 ความตึงผิว
- 8.8 ของแข็ง
- 8.9 จุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็ง
- 8.10 การระเหิด

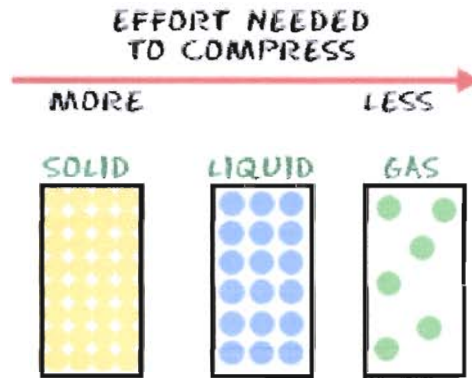
บทนำ

ของเหลว (liquid) เป็นสถานะของสสารที่เป็นของไหล ซึ่งปริมาตรจะถูกจำกัดภายใต้สภาวะคงที่ของ อุณหภูมิ และ ความดัน และรูปร่างของมันจะถูกกำหนดโดยภาชนะที่บรรจุมันอยู่ ยิ่งไปกว่านั้นของเหลวยังออกแรงกดดันต่อภาชนะด้านข้างและบางสิ่งบางอย่างในตัวของตัวเอง ความกดดันนี้จะถูกส่งผ่านไปทุกทิศทาง

8.1 ของเหลว (Liquid)

ของเหลว มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากกว่าก๊าซ แต่น้อยกว่าของแข็ง ถ้าลดอุณหภูมิและเพิ่มความดันให้กับก๊าซ ก๊าซจะกลายเป็นของเหลว เนื่องจากอนุภาคภายในของของเหลวมีช่องว่างอยู่ทั่วไป และมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว และแรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อของเหลว ดังรูปที่ 8.1 จะเห็นได้ว่าของเหลวมีสมบัติอยู่ระหว่างของแข็งกับ

ก๊าซ ของเหลวจึงไหลได้และรูปร่างไม่แน่นอน เปลี่ยนไปตามภาชนะที่บรรจุ ของเหลวถูกบีบอัดได้ การระเหยของของเหลวเป็นก๊าซจะเกิดขึ้นที่ผิวของเหลว ในระหว่างที่ของเหลวระเหย พลังงานจลน์เฉลี่ยของของเหลวที่เหลือจะลดลง ของเหลวจึงดูดพลังงานจากสิ่งแวดล้อมเข้ามา แทนพลังงานส่วนที่เสียไป



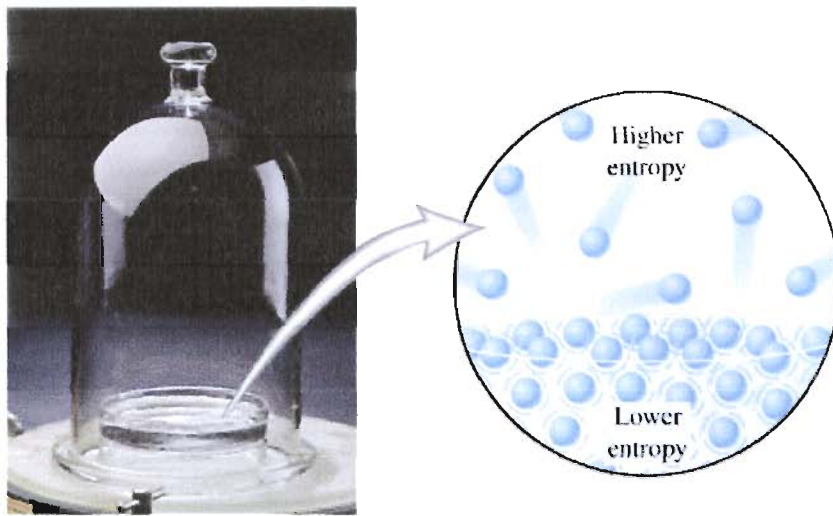
รูปที่ 8.1 เปรียบเทียบการถูกบีบอัดของสสารกับอนุภาคของสสาร

สมบัติที่สำคัญของของเหลว ได้แก่

1. การระเหย
2. ความตื้นไธ
3. ความตึงผิว
4. ความหนืด
5. จุดเดือด

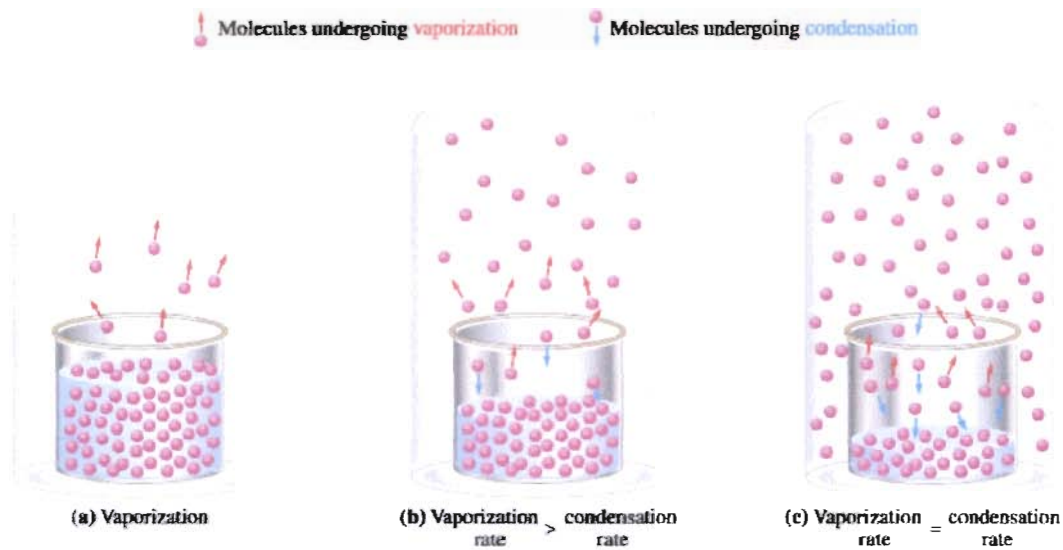
8.2 การระเหย (Evaporation)

การระเหย คือการที่ของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ ในระดับโมเลกุลแล้วพบว่าโมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้โมเลกุลมีพลังงานจลน์ เมื่อใดที่โมเลกุลของเหลวที่บริเวณผิวหน้าของของเหลวมีพลังงานจลน์สูงและสามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลได้ โมเลกุลนั้นก็หลุดออกมาจากผิวหน้าของของเหลว กลายเป็นโมเลกุลของก๊าซ ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า การระเหย (Evaporation) หรือ การกลายเป็นไอ (Vaporization) การระเหยสามารถเกิดขึ้นได้ทุกอุณหภูมิ



รูปที่ 8.2 แสดงการกลายเป็นไอของน้ำ

จากรูปที่ 8.2 รูปทางขวามือ ถ้ามองด้วยตาเปล่าเหมือนว่าไม่มีอะไรเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามในมุมมองในระดับโมเลกุล ดังรูปทางขวา แสดงให้เห็นว่ามีโมเลกุลมีการเคลื่อนที่ และโมเลกุลที่อยู่ในรูปของก๊าซด้านบนมีพลังงานมากกว่าโมเลกุลของเหลวด้านล่าง สำหรับระบบปิดแล้ว ที่สมดุลจะพบว่าโมเลกุลของก๊าซที่เกิดการระเหยขึ้นไป มีความอึดตัวสามารถเปลี่ยนสถานะกลับมาเป็นของเหลวได้ กระบวนการที่สสารเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลวนี้เรียกว่า การควบแน่น (Condensation) การควบแน่นโดยปกติเกิดขึ้นเมื่อก๊าซถูกทำให้เย็นตัวลงเปลี่ยนเป็นของเหลว แต่สามารถเกิดขึ้นได้ ณ อุณหภูมิปกติได้ ถ้าก๊าซนั้นถูกทำให้เกิดความดันเพิ่มขึ้น ก็เปลี่ยนเป็นของเหลวได้ ดังรูปที่ 8.3 หรืออาจเกิดภายใต้สภาวะทั้งอุณหภูมิลดลงและความดันเพิ่มขึ้นก็ได้ การควบแน่นของก๊าซไปเป็นของเหลวเป็นทิศทางตรงข้ามกันกับการระเหยหรือการทำให้เดือด เป็นกระบวนการคายความร้อน ดังจะเห็นได้จากการที่เห็นน้ำเกาะอยู่ที่ข้างนอกแก้วน้ำเย็น

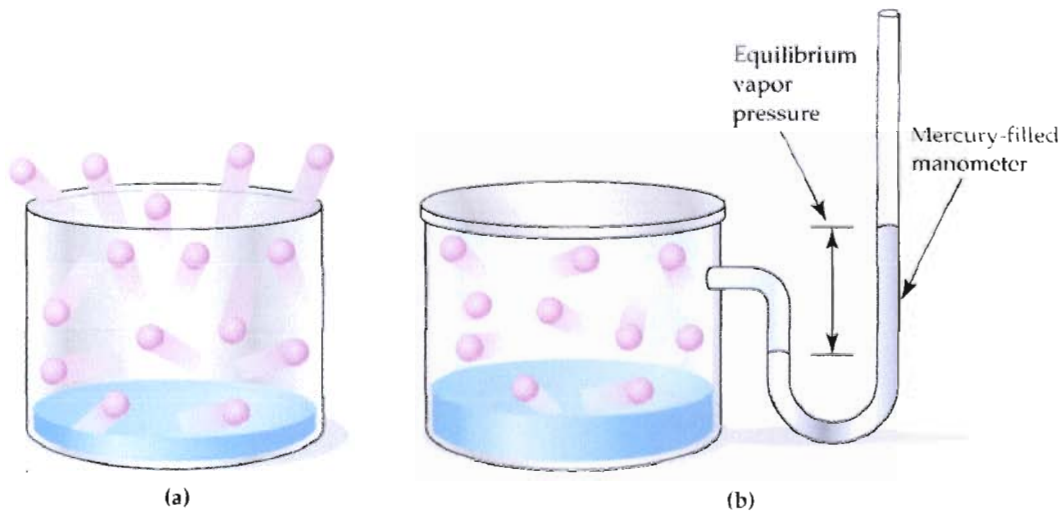


รูปที่ 8.3 แสดงการระเหยและควบแน่นของสารภายในภาชนะปิด

- (a) เริ่มการระเหยของของเหลว
- (b) เริ่มมีการควบแน่นกลับมาเป็นของเหลว แต่ในอัตราที่น้อยกว่าการระเหย
- (c) ที่สมดุล อัตราการระเหยเท่ากับอัตราการควบแน่น

8.3 ความดันไอ (Vapor Pressure)

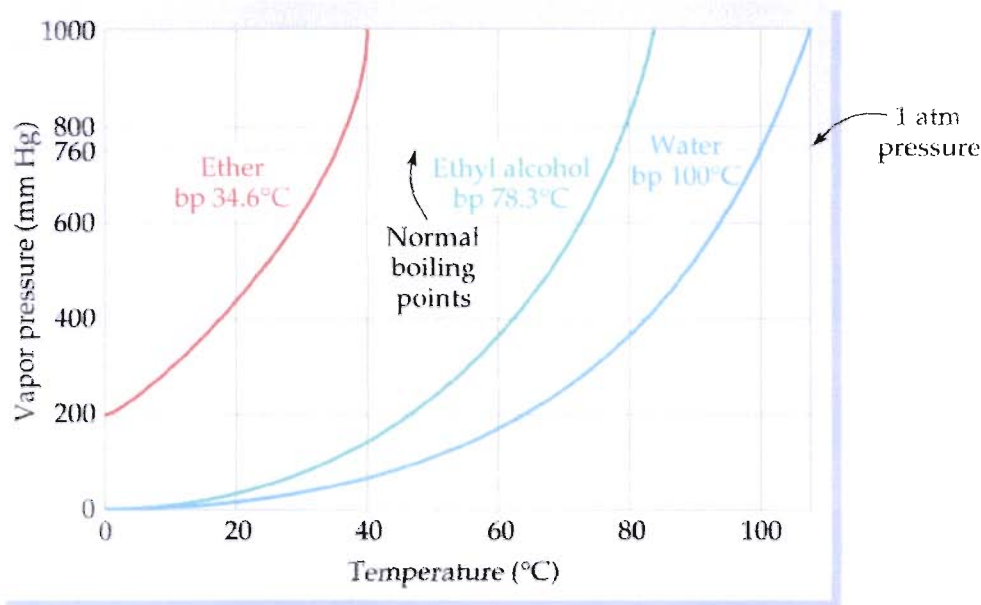
ความดันไอ (vapor pressure) คือ ความดันของไอเหนือของเหลว ณ ภาวะสมดุล (ไอนี้เกิดจากโมเลกุลหรืออะตอมหนีจากของเหลวหรือของแข็ง) ที่อุณหภูมิกำหนด สำหรับสารเฉพาะใดๆ จะมีความดันที่ไอของสารนั้นอยู่ในจุดสมดุลกับสถานะที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง คือ ความดันไอสมดุล (equilibrium vapor pressure) หรือ ความดันไออิ่มตัว (saturation vapor pressure) ของสาร ที่อุณหภูมินั้น



รูปที่ 8.4 แสดงการระเหยและความดันของสารภายในภาชนะเปิด

ถ้าของเหลวอยู่ในภาชนะเปิด รูปที่ 8.4 (a) ของเหลวจะค่อยๆ ระเหยไปจนในที่สุดไม่มีของเหลวเหลืออยู่เลย แต่ถ้าของเหลวถูกบรรจุในภาชนะปิด ดังรูปที่ 8.4 (b) ณ อุณหภูมิเดียวกันกับในรูปที่ 8.4 (a) จะเกิดความดันไอของสาร ซึ่งเกิดจากโมเลกุลที่ระเหยเป็นไอที่อยู่เหนือของเหลวในภาชนะนั้นที่ปริมาตรคงที่ จะมีความดันไอของของเหลวสูงหรือต่ำ

ขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว เช่น รูปที่ 8.5 แสดงความดันไอที่สมดุลย์ของของเหลวสามชนิด คือ เอทิลอีเทอร์ เอทิลแอลกอฮอล์ และน้ำ จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิสูงขึ้น ความดันไอของสารจะเพิ่มขึ้นด้วย สารที่มีจุดเดือดต่ำ เช่น เอทิลอีเทอร์ จะมีความดันไอสูงกว่าสารที่มีจุดเดือดสูงที่อุณหภูมิเดียวกัน และอุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวเท่ากับ 1 บรรยากาศ (760 mmHg) ก็คืออุณหภูมิที่เป็นจุดเดือดของของเหลวนั้น ดังเช่น น้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส มีความดันไอเท่ากับ 1 บรรยากาศ ถ้าสังเกตจากการที่เราทาแอลกอฮอล์บนผิวหนังเราจะรู้สึกเย็นวาบที่ผิวหนังเพราะว่าแอลกอฮอล์มีจุดเดือดต่ำ ระเหยได้ง่าย โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ระเหยออกไปได้ดึงดูความร้อนส่วนหนึ่งจากผิวหนัง ทำให้ผิวหนังส่วนนั้น เกิดปรากฏการณ์เย็นลง เราจึงรู้สึกเย็นที่ผิวหนังบริเวณนั้น



รูปที่ 8.5 แสดงความสัมพันธ์ของความดันไอกับอุณหภูมิของ เอทิลอีเทอร์ เอทิลแอลกอฮอล์ และน้ำ

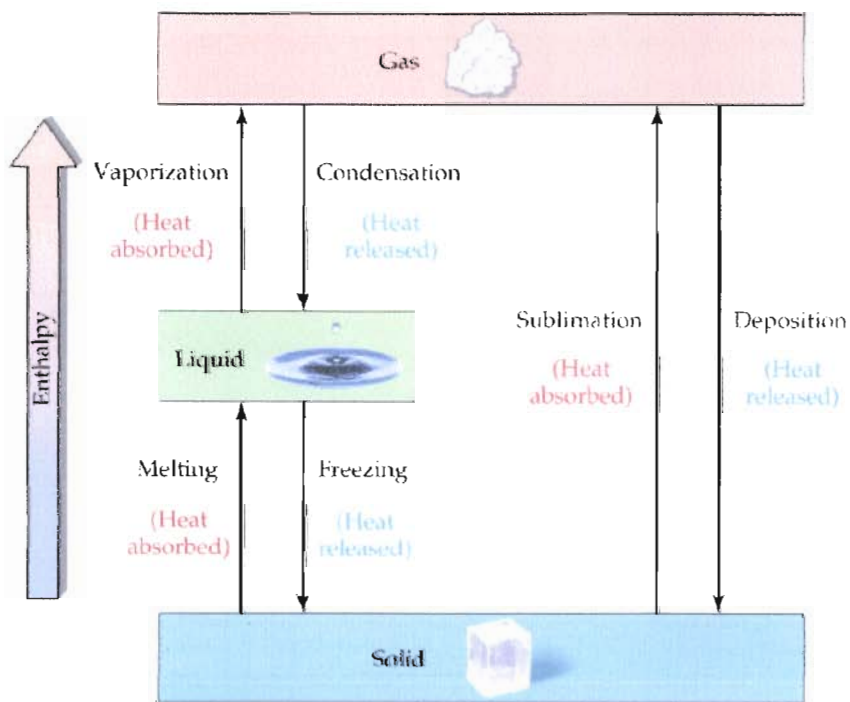
8.4 จุดเดือดและความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Boiling point and Heat of Vaporization)

จุดเดือด (Boiling Point) คือ อุณหภูมิขณะที่ของเหลวเดือด โดยความดันไอของของเหลวที่จุดเดือดจะเท่ากับความดันบรรยากาศขณะนั้น จุดเดือดเป็นจุดที่สารเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซ ซึ่งเป็นจุดจุดเดียวกับจุดควบแน่น (condensation point) ดังนั้นจุดเดือดของสารใดๆ คืออุณหภูมิที่ก่อให้เกิดความดันไอของของเหลวเท่ากับความดันบรรยากาศ เมื่อความดันบรรยากาศลดลง จุดเดือดก็จะลดต่ำลง ดังรูปที่ 8.6 น้ำในขวดรูปกรวยสามารถเดือดได้ที่อุณหภูมิต่ำ โดยการลดความดันภายในขวดดังกล่าว แต่ถ้าความดันบรรยากาศสูงขึ้น จุดเดือดของสารก็จะสูงขึ้นด้วย สำหรับความดันบรรยากาศจะแปรเปลี่ยนตามความสูงของสถานที่ ยิ่งอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมากเท่าใด ความดันของบรรยากาศก็ยิ่งลดลง



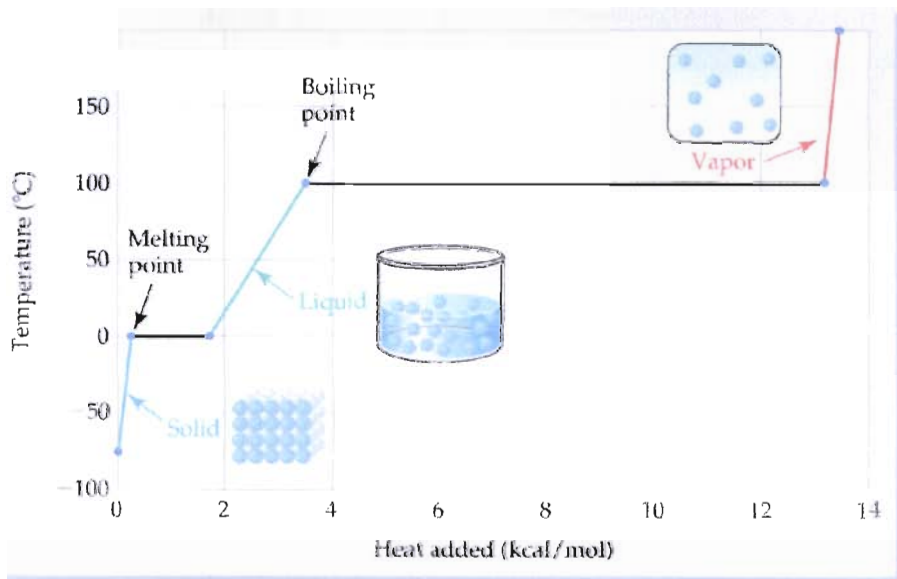
รูปที่ 8.6 การลดความดันของน้ำในขวดรูปกรวย สามารถทำให้น้ำเดือดได้

การเปลี่ยนสถานะของสสาร เช่น จากของเหลวเป็นก๊าซ จะต้องใช้พลังงาน ความร้อนในการเปลี่ยนสถานะดังกล่าว ดังรูปที่ 8.7 จะคายความร้อน เมื่อเปลี่ยนสถานะจาก ก๊าซ → ของเหลว → ของแข็ง และเกิดการดูดความร้อน เมื่อสถานะเปลี่ยนจาก ของแข็ง → ของเหลว → ก๊าซ



รูปที่ 8.7 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนสถานะกับพลังงานความร้อน

สำหรับการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ที่จุดเดือดนั้น ขณะที่อุณหภูมิของระบบถึงจุดเดือด อุณหภูมิจะคงที่ แต่ระบบยังต้องการความร้อนอีกจำนวนหนึ่งเข้าไปเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ความร้อนจำนวนนี้คือ **ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (heat of vaporization)** ดังรูปที่ 8.8 ที่เป็นการแสดงปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ ที่จุดเดือดไปจนถึงจุดที่เริ่มมีการกลายเป็นไอ ที่ 100 องศาเซลเซียส ต้องใช้ความร้อนจำนวนหนึ่งเพื่อให้เปลี่ยนสถานะ



รูปที่ 8.8 ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนสถานะของน้ำกับพลังงานความร้อน

ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ เป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารที่บอกปริมาณพลังงานที่ต้องใช้หรือคายออกมาในการเปลี่ยนสถานะระหว่างของเหลวกับก๊าซ เมื่อมีอุณหภูมิเท่ากับจุดเดือดของสารนั้น ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ มีหน่วยดังนี้

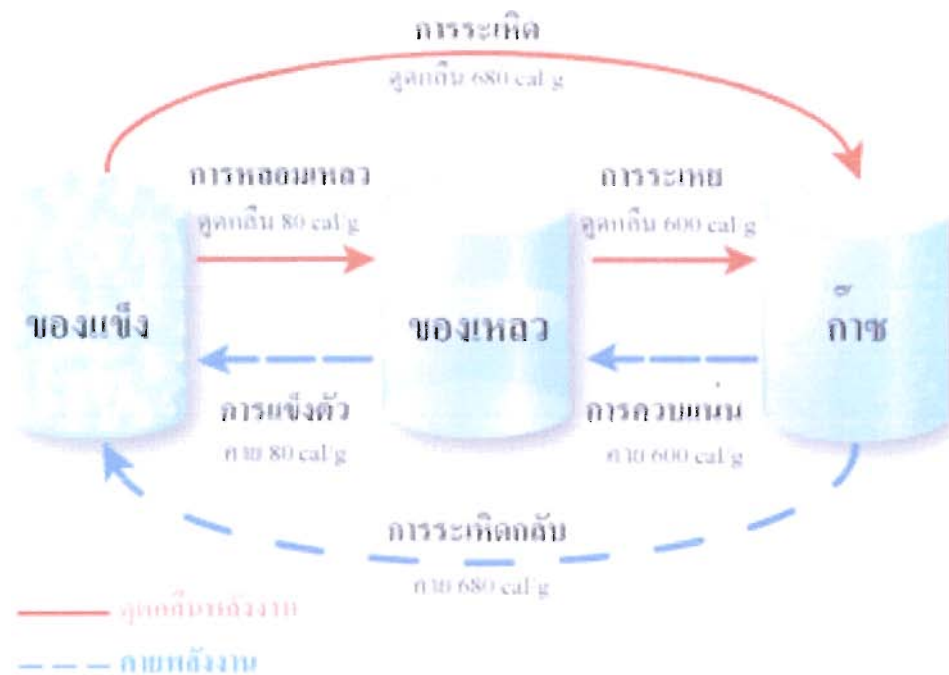
- จูลต่อโมล ในระบบเอสไอ หรือ กิโลจูลต่อโมล
- แคลอรีต่อกรัม
- บีทียูต่อปอนด์

ตารางที่ 8.1 ค่าความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ที่ ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิ 25°C

Liquid	ΔH_{vap} , kJ/mol
Diethyl ether. $(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{O}$	29.1
Methyl alcohol. CH_3OH	38.0
Ethyl alcohol. $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$	42.6
Water. H_2O	44.0

^a ΔH_{vap} values are somewhat temperature-dependent

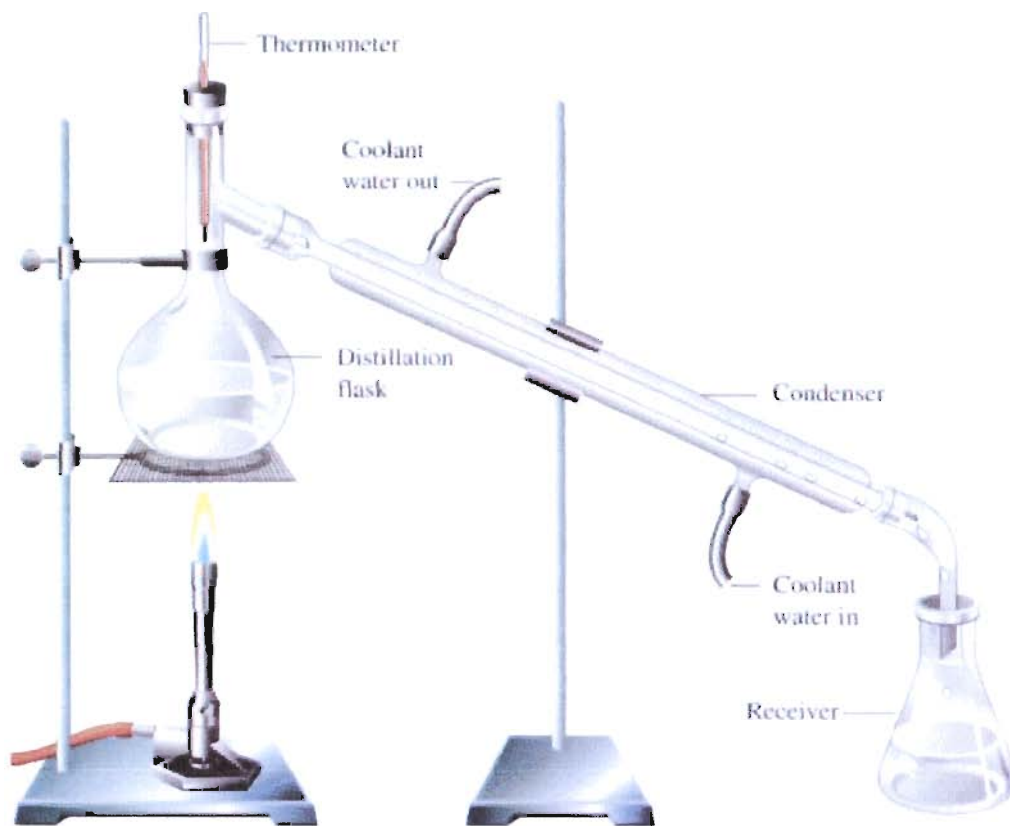
ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำมีค่า 600 แคลอรีต่อกรัม ซึ่งมีค่ามากถึง 6 เท่าของการทำให้ น้ำปริมาณเท่ากันมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 0 องศาเซลเซียสเป็น 100 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จะเท่ากับปริมาณความร้อนแฝงของการควบแน่น เพียงแต่เป็นการคายความร้อนหรือดูดความร้อน ดังรูปที่ 8.9



รูปที่ 8.9 ค่าความร้อนแฝงของน้ำในการเปลี่ยนสถานะ

8.5 การกลั่น (Distillation)

การกลั่น (Distillation) เป็นกระบวนการที่ทำให้ของผสมเป็นของเหลวบริสุทธิ์ได้ โดยอาศัยจุดเดือดที่แตกต่างกันของของเหลว เมื่อของผสมถูกให้ความร้อนจนถึงจุดเดือดของของเหลวแต่ละชนิด ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำจะระเหยกลายเป็นก๊าซ และเกิดการควบแน่นอีกครั้ง เมื่อถูกทำให้ตัวเย็นลงในคอนเดนเซอร์ (condenser) ที่มีน้ำไหลผ่าน ก็จะได้ของเหลวที่บริสุทธิ์ออกมา ดังรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.10 การกลั่นของผสม

8.6 การผสมของของเหลว (Mixability of Liquids)

ของผสม เป็นสารที่ไม่ใช่สารบริสุทธิ์ ประกอบด้วยสารประกอบตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป มารวมกันโดยมีสัดส่วนไม่คงที่แน่นอน ซึ่งการรวมตัวกันของสารนั้น อาจรวมกันแล้วเป็นสารเนื้อเดียวกันหรือสารเนื้อผสมก็ได้ ถ้าสารที่มารวมกันสามารถรวมกันได้สารที่มีลักษณะเนื้อสารกลมกลืนเป็นเนื้อเดียวกัน เรียกว่า **สารเนื้อเดียว** ถ้าสารที่มารวมกันไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวกันและมองเห็นความแตกต่างได้ง่าย รวมทั้งสามารถแยกออกจากกันได้ง่าย เรียกว่า **สารเนื้อผสม**

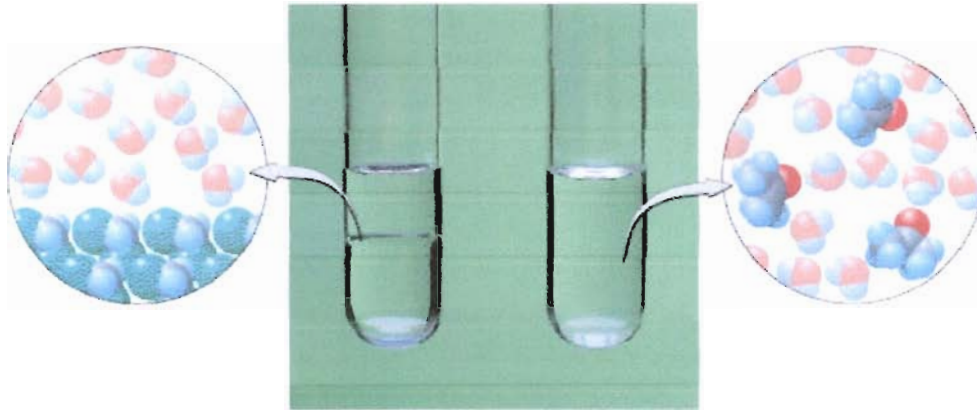
สมบัติต่างๆ ไปของของผสม สรุปได้ดังนี้

1. เป็นสารเนื้อเดียวหรือสารเนื้อผสม
2. เกิดจากการรวมตัวของสารโดยไม่ต้องอาศัยปฏิกิริยาเคมี
3. มีสมบัติของสารเดิมที่เป็นองค์ประกอบเหลืออยู่
4. มีอัตราส่วนขององค์ประกอบไม่คงที่
5. แยกองค์ประกอบออกจากกันได้โดยวิธีทางกายภาพง่ายๆ เช่น การกรอง

การกลั่น เป็นต้น

ของผสมที่เป็นสารเนื้อเดียว เรียกว่าสารละลาย (Solution) มีทั้งที่เป็นของแข็ง เช่น ทองเหลือง นาก เป็นของเหลว เช่น น้ำเกลือ น้ำเชื่อม น้ำส้มสายชู น้ำอัดลม เป็นต้น และก๊าซ เช่น อากาศ ก๊าซหุงต้ม เป็นต้น

สำหรับของเหลวสองชนิดที่รวมอยู่ด้วยกัน จะใช้คำว่า **“ผสมกันได้ (miscible)”** แทนคำว่า ละลาย (dissolves) เป็นสมบัติทางกายภาพของสารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของของเหลว นั้น เช่น น้ำกับแอลกอฮอล์ จะผสมกันได้ดีเพราะต่างก็เป็นของเหลวที่โมเลกุลมีขั้ว แต่น้ำกับน้ำมันจะไม่ผสมกัน (immiscible) ทั้งนี้เพราะน้ำมันเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วและน้ำมันจะลอยอยู่ด้านบนของน้ำ เพราะความมีขั้วของน้ำทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างกันได้ดีกว่าโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว เช่นน้ำมัน หลักของการพิจารณาการผสมกันได้ของของผสม คือ **“like dissolves like”** นั่นคือของเหลวมีขั้วจะผสมกันได้ดีกับของเหลวอื่นที่มีขั้ว ขณะที่ของเหลวไม่มีขั้วจะผสมกันได้ดีกับของเหลวอื่นที่ไม่มีขั้ว ดังในรูปที่ 8.11 รูปทางซ้ายมือแสดงถึงการไม่ผสมกันของน้ำกับน้ำมัน ส่วนรูปทางขวามือเป็นการผสมกันของน้ำกับแอลกอฮอล์

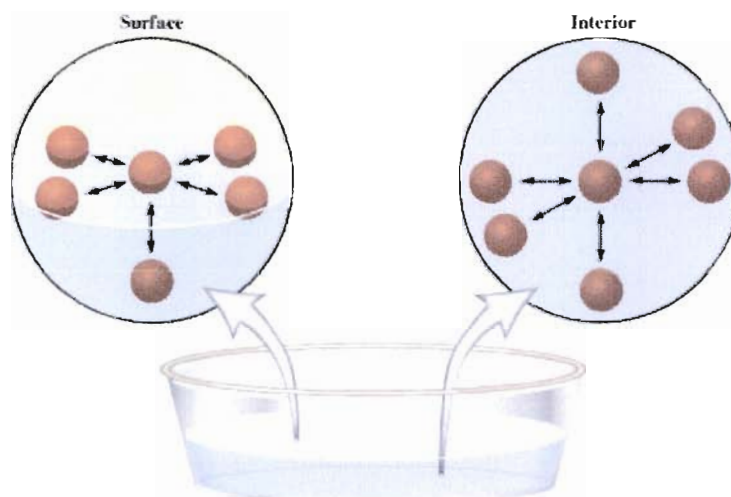


©Houghton Mifflin Company. All rights reserved.

รูปที่ 8.11 การผสมกันของของเหลว แบบ immiscible และ miscible

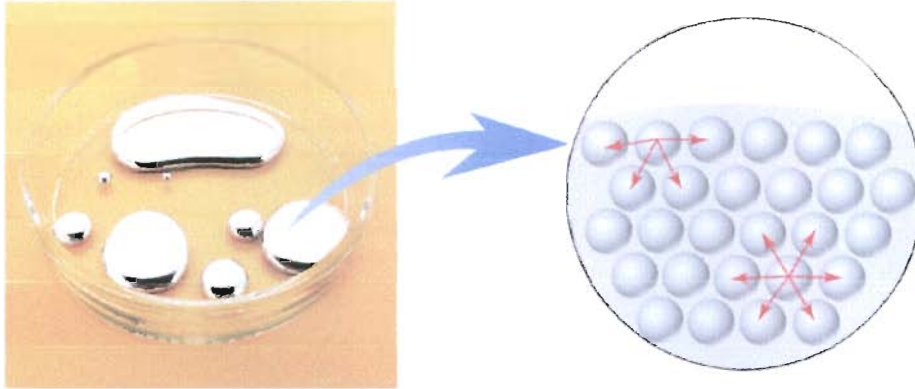
8.7 ความตึงผิว (Surface Tension)

จากการที่ของเหลวมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลซึ่งกันและกัน ดังนั้นแรงดึงดูดของแต่ละโมเลกุลจะมีอิทธิพลต่อโมเลกุลใกล้เคียงด้วย ดังรูปที่ 8.12 เมื่อพิจารณาโมเลกุลที่อยู่ภายในของเหลวจะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลรอบทิศทาง ในขณะที่โมเลกุลที่บริเวณผิวหน้าของเหลว จะมีเพียงแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่อยู่ด้านข้างกับด้านล่างเท่านั้น ส่วนของด้านบนที่สัมผัสกับอากาศ จะเป็นอิสระต่อแรงดึงดูดของของเหลว

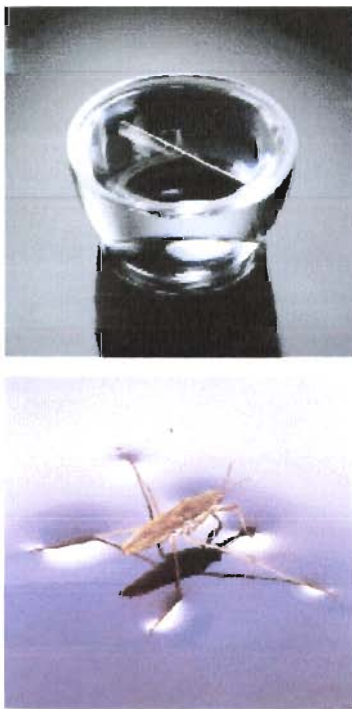


รูปที่ 8.11 แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลบริเวณผิวหน้าและโมเลกุลภายในของเหลว

จากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลที่ไม่เท่ากันของบริเวณต่างๆ นี้เองที่ทำให้เกิดความตึงผิวขึ้น ของเหลวที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลภายในมากจะมีความตึงผิวมาก เช่น หยดของปรอท จะมีลักษณะเกือบเป็นวงกลม



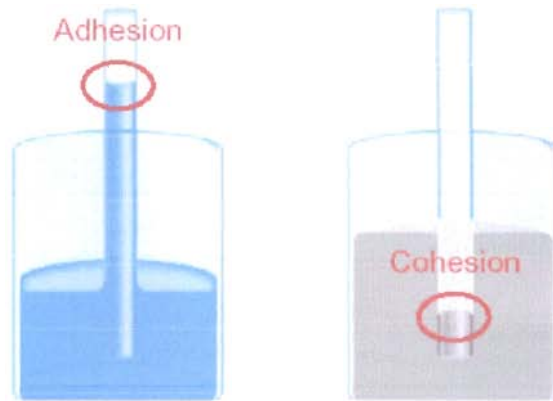
รูปที่ 8.12 แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลบริเวณผิวหน้าและโมเลกุลภายในของเหลว



รูปที่ 8.13

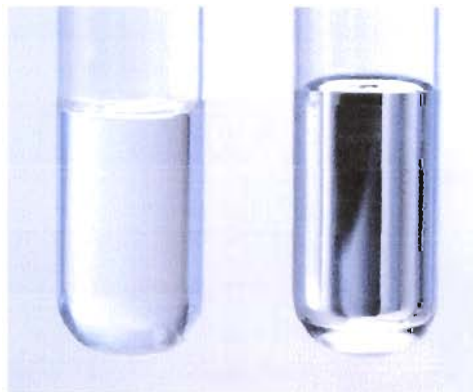
แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวทำให้เกิดปรากฏการณ์หลายอย่าง เช่น ทำให้เข็ม ซึ่งความหนาแน่นมากกว่าน้ำ สามารถลอยน้ำได้ หรือทำให้แมลงไม่จมน้ำ ดังรูปที่ 8.13 โมเลกุลที่ผิวหน้าของเหลวจะมีแรงดึงดูดกับโมเลกุลอื่นที่ล้อมรอบคือ ด้านข้างและด้านล่างทำให้เกิดเป็นชั้นของโมเลกุลที่ผิวหน้าของเหลวซึ่งมีความแข็งแรง เกิดเป็นชั้นบางๆ ของของเหลวที่ผิวหน้าของเหลว (liquid film) จนสามารถรองรับวัตถุที่มีความหนาแน่นสูงกว่าได้

นอกจากนี้แล้ว แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ยังทำให้เกิดปรากฏการณ์ชนิดหนึ่ง คือ ปรากฏการณ์ของเหลวในหลอดรูเล็ก (capillary action) ถ้าเรานำหลอดเล็กๆ จุ่มลงในของเหลว เช่น น้ำ จะมีน้ำจำนวนหนึ่งถูกดูดเข้าไปในหลอดจนมีระดับสูงสังเกตได้ หรือ ปรอท ที่ถูกกดลงไป ดังรูปที่ 8.14



รูปที่ 8.14 การซึมของของเหลวในหลอดรูเล็ก (Capillary action)

สาเหตุที่ทำให้เกิดจุดขึ้นและกดลงของของเหลวภายในหลอดรูเล็ก ในรูปที่ 8.14 คือ แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารชนิดเดียวกัน (cohesion force) กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของสารต่างเดียวกัน (adhesion force) น้ำจะมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับน้ำน้อยกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำกับแก้ว น้ำจึงถูกดูดเข้าหลอดรูเล็กได้ แต่สำหรับปรอท ซึ่งมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของปรอทสูงกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของปรอทกับแก้ว จะพบว่าปรอทถูกกดลงไป เช่นเดียวกับ รูปที่ 8.15



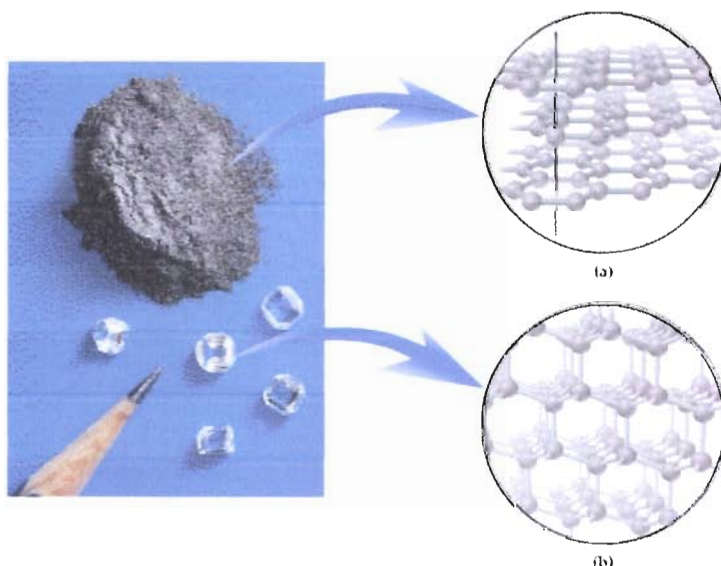
รูปที่ 8.15 การเว้าของน้ำและปรอทในหลอดทดลอง

เกิดการเว้าลงน้ำและการโค้งขึ้นของผิวหน้าของปรอทในหลอดทดลอง เพราะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเหลวกับของเหลว แตกต่างกับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของเหลวกับของแข็ง นั่นเอง

8.8 ของแข็ง (Solid)

ของแข็งเป็นสถานะหนึ่งของสสาร ที่มีอนุภาคของสสารมีการเกาะกันอย่างหนาแน่น และแข็งแรงกว่าสถานะของเหลวและก๊าซ จนทำให้ระบบที่เป็นของแข็งมีสมบัติที่สำคัญ คือ มีรูปร่างและปริมาตรคงที่ มีแรงยึดเหนี่ยวสูงระหว่างอนุภาคของของแข็งเอง ของแข็งจึงไม่สามารถไหลได้เหมือนของเหลวและถูกอัดไม่ได้เหมือนแก๊ส มีความหนาแน่นสูง ของแข็งสามารถแบ่งออกตามลักษณะได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. **ของแข็งที่เป็นผลึก (crystalline)** เป็นของแข็งที่มีจัดเรียงกันเป็นรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอน พื้นผิวที่ทำมุมกันด้วยค่าที่แน่นอน มีจุดหลอมเหลวที่คงตัว มีการจัดเรียงเป็นระเบียบของอนุภาคของของแข็ง ผลึกใหญ่เมื่อทำให้เล็กลงก็ยังคงรักษาลักษณะรูปผลึกเดิมอยู่ เช่น น้ำแข็ง กำมะถัน เหล็ก ฯลฯ สารบางอย่างอาจมีรูปผลึกได้หลายแบบจะเรียกว่า **ภาวะรูปร่างหลายแบบ (polymorphism)** เช่น คาร์บอน มีรูปร่างทั้งที่เป็นเพชร ควอตซ์ และกราไฟต์ ที่มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพแตกต่างกัน ซึ่งเรียกว่า **การมีอัญรูป (allotropy)** สารบางชนิดอาจจะมีรูปร่างผลึกที่เหมือนกันได้ ซึ่งจะเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **ภาวะรูปร่างเหมือนกัน (isomorphism)** นอกจากนี้ผลึกยังมีสมบัติที่เรียกว่า **anisotropy** ซึ่งได้แก่ความแข็งแรงทนทานทางกล ดรรชนีหักเห และการนำไฟฟ้า ถ้าวัดในทิศทางที่ต่างกันค่าที่ได้จะไม่เท่ากัน



รูปที่ 8.16 สองอัญรูปของโครงผลึกคาร์บอน (a) กราไฟต์ (b) เพชร

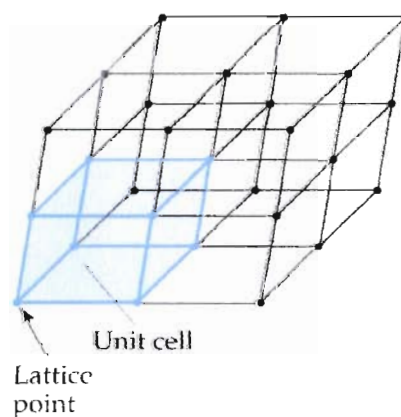
2. ของแข็งอสัณฐาน (**amorphous solid**) มีสมบัติต่างๆ ไปคล้ายผลึกแต่ไม่มีรูปทรงเรขาคณิตที่แน่นอนในของแข็ง ดังนั้นจึงมีสมบัติที่เรียกว่า *isotropy* คือ ค่าธรรมชาติ หักเห การนำไฟฟ้า และอื่นๆ จะเหมือนกันหมดทุกทิศทาง จุดหลอมเหลวไม่เด่นชัด เมื่อได้รับความร้อนจะค่อยๆ อ่อนตัวที่ละน้อยๆ เป็นอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งไหลได้ จนบางครั้งไม่จัดสถานะชนิดนี้เป็นของแข็ง แต่จัดเป็นของเหลวเย็นยิ่งยวดยิ่ง (*supercooled liquid*) สารพวกนี้ได้แก่ แก้ว พลาสติก แอสฟัลต์ ฯลฯ ของแข็งอสัณฐานจึงมีอุณหภูมิที่ของแข็งชนิดนี้หลอมตัวอยู่ในช่วงที่ยาว ผิดกับของแข็งที่เป็นผลึก (ซึ่งจะมีจุดหลอมเหลวที่เด่นชัดและอุณหภูมิหลอมตัวอยู่ในช่วงที่แคบ)

ของแข็งอาจมีอนุภาคเป็นอะตอม โมเลกุล หรือไอออน เช่น

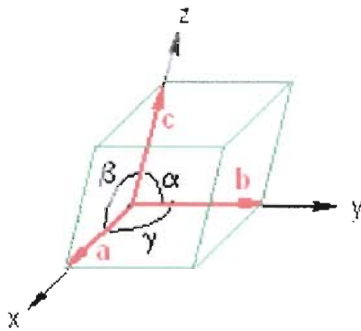
- คาร์บอน ซิลิกอน ทองแดง ทอง มีอนุภาคเป็นอะตอม
- คาร์บอนไดออกไซด์แข็ง (น้ำแข็งแห้ง) น้ำแข็ง และไอโอดีน มีอนุภาคเป็นโมเลกุล
- โซเดียมคลอไรด์ แคลเซียมคลอไรด์ และโซเดียมโบรไมด์ มีอนุภาคเป็นไอออน

ผลึกแลตทิซ (Crystalline lattice)

ผลึกมีการจัดเรียงตัวของอนุภาคอย่างเป็นระเบียบทางเรขาคณิตแบบสามมิติ ผลึกเกิดจากหน่วยที่เล็กที่สุด เรียกว่า เซลล์หน่วย (*unit cell*) ที่เหมือนกัน เรียงต่อกัน โดยพิจารณาผลึกเป็นแบบแลตทิซ (*Crystalline lattice*) ดังรูปที่ 8.17 มีจุดแลตทิซ (*lattice point*) เป็นจุดเชื่อมระหว่างเซลล์หน่วย จุดแลตทิซอาจเป็นตำแหน่งของอนุภาค



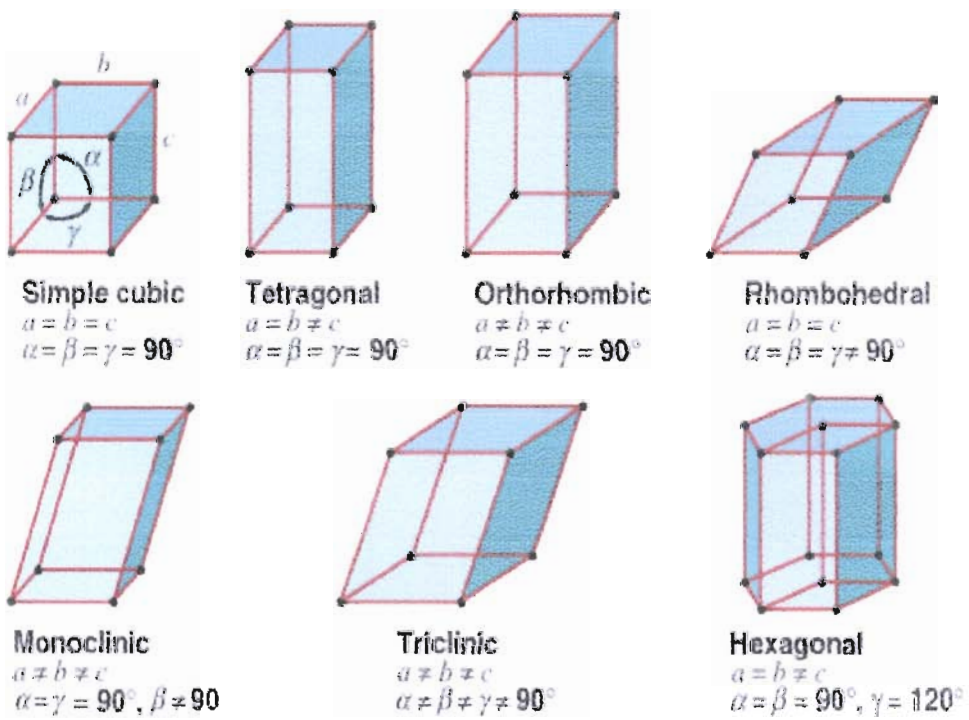
รูปที่ 8.17 โครงสร้างของผลึกแลตทิซ ประกอบด้วยเซลล์หน่วยและจุดแลตทิซ



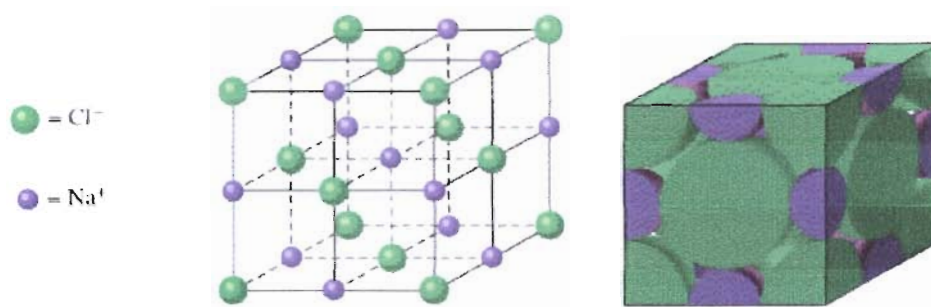
รูปที่ 8.18 แสดงหน่วยเซลล์ ประกอบด้วยมุมและด้านต่างๆ

เซลล์หน่วยจะประกอบด้วยมุมของเซลล์ ที่มีมุมประกอบแต่ละมุมเป็น α , β และ γ ส่วนด้านแต่ละด้านจะกำหนดความยาวตามแกน x, y และ z เป็น a, b และ c ตามลำดับ ดังรูปที่ 8.18

ในปี ค.ศ. 1848 บราวาลส์ (Bravais) ได้แบ่งลักษณะของมุมและด้านของหน่วยเซลล์ผลึกเป็น 7 ระบบ ดังรูปที่ 8.19



รูปที่ 8.19 ระบบผลึก ทั้ง 7 ระบบ



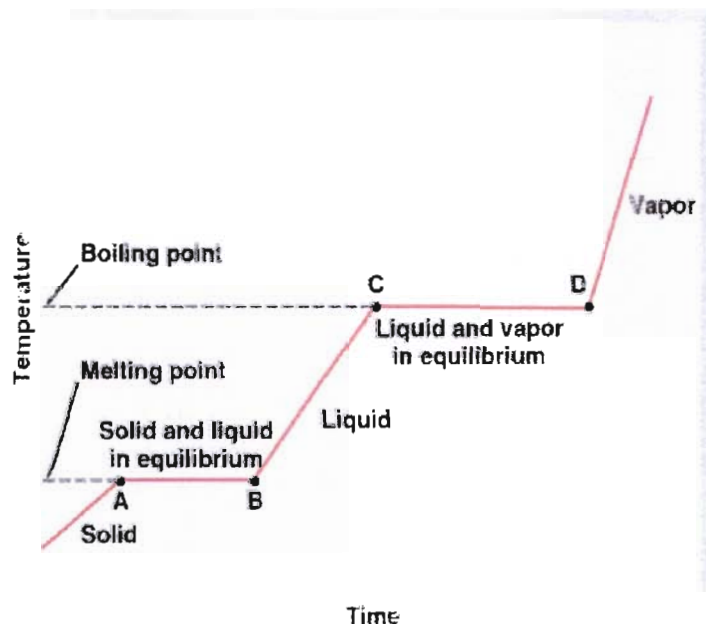
รูปที่ 8.20 ตัวอย่างผลึกของโซเดียมคลอไรด์

8.9 จุดหลอมเหลวและจุดเยือกแข็ง

(Melting and Freezing point)

จุดหลอมเหลว (Melting point, m.p.) คืออุณหภูมิที่ของแข็งเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นของเหลว โดยที่สารบริสุทธิ์จะมีช่วงจุดหลอมเหลวแคบกว่าสารผสม

จุดเยือกแข็ง (Freezing point, f.p.) คืออุณหภูมิที่ของเหลวเปลี่ยนแปลงสภาพเป็นของแข็ง ส่วนมากเท่ากับจุดหลอมเหลว



รูปที่ 8.21 Heating curve แสดงจุดหลอมเหลว ซึ่งเป็นจุดเดียวกับจุดเยือกแข็ง

จากรูปที่ 8.21 เมื่อของเหลวถูกลดอุณหภูมิลง จาก $C \rightarrow B$ จะทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยของโมเลกุลลดลง การเคลื่อนที่ของโมเลกุลก็ช้าลง แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจะเริ่มมีอิทธิพลมากขึ้นจนในที่สุดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากพอจนสามารถตรึงให้โมเลกุลอยู่กับที่หยุดการเคลื่อนที่ กลายเป็นของแข็งเกิดขึ้นกระบวนการนี้เรียกว่า **การเยือกแข็งของของเหลว (freezing of liquids)** และเมื่อลดอุณหภูมิต่อไป ปริมาณของแข็งจะเพิ่มมากขึ้น ในที่สุดปริมาณของแข็งและของเหลวอยู่ในสมดุลกัน อุณหภูมิที่จุดนี้คือจุดเยือกแข็ง ถ้าขณะนั้นความดันภายนอกเป็น 1 บรรยากาศ อุณหภูมินี้คือ จุดเยือกแข็งปกติ (normal freezing point) ขณะที่ระบบของของเหลวกับของแข็งอยู่ที่สถานะสมดุล อุณหภูมิจะคงที่ที่จุดเยือกแข็งตลอดไป จนกระทั่งของเหลวกลายเป็นของแข็งทั้งหมด เมื่อถึงตอนนี้พลังงานจลน์การเคลื่อนที่ของโมเลกุล (molecular translational kinetic energy) จะหมดไป แต่ยังมีพลังงานจลน์อื่นๆ เช่น พลังงานจลน์การสั่น (vibrational kinetic energy) ในทางกลับกัน ถ้านำของแข็งมาเพิ่มอุณหภูมิมอเลกุลจะมีพลังงานจลน์เฉลี่ยเพิ่มขึ้น จนกระทั่งของแข็งเริ่มหลอมกลายเป็นของเหลว อุณหภูมิจะคงตัว เมื่อของเหลวกับของแข็งอยู่ในภาวะสมดุลกันอุณหภูมินี้คือจุดหลอมเหลว ซึ่งเป็นอุณหภูมิเดียวกับจุดเยือกแข็ง ช่วงที่อุณหภูมิของระบบคงตัวนั้น ระบบจะดูดความร้อนเข้าไปอีกจำนวนหนึ่งเพื่อให้ของแข็งในระบบหลอมตัวเป็นของเหลวจนหมดค่าความร้อนที่ถูกดูดเข้าไปนี้ คือ **ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (heat of fusion)** ซึ่งมีค่าเท่ากับ**ความร้อนของแฝงของการเกิดผลึก (heat of crystallization)** แต่มีเครื่องหมายตรงข้ามกันเพราะเป็นกระบวนการที่กลับกัน

สำหรับน้ำ ถ้าเราต้องการให้น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว จะเพิ่มความร้อนให้น้ำแข็ง น้ำแข็งดูดกลืนความร้อนนี้ไว้ โดยยังคงรักษาอุณหภูมิ 0°C คงที่ไม่เปลี่ยนแปลงจนกว่าน้ำแข็งจะละลายหมด ความร้อนที่ถูกดูดกลืนเข้าไปจะทำลายโครงสร้างผลึกน้ำแข็ง ทำให้น้ำแข็งเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว ซึ่งต้องการการดูดกลืนความร้อนแฝง 80 แคลอรี/กรัม ในทางกลับกัน เมื่อน้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นน้ำแข็ง น้ำจะคายความร้อนแฝงออกมา 80 แคลอรี/กรัม

8.10 การระเหิด (Sublimation)

การระเหิด (Sublimation) คือการที่ของแข็งกลายเป็นแก๊ส โดยไม่ผ่านการเป็นของเหลว การระเหิดเกิดขึ้นได้เพราะอนุภาคในของแข็งมีการสั่นและชนกับอนุภาคข้างเคียงตลอดเวลา ทำให้มีการถ่ายเทพลังงานจลน์ระหว่างอนุภาค เช่นเดียวกับในของเหลวและก๊าซ เมื่ออนุภาคที่ผิวหน้าบางส่วนมีพลังงานจลน์มากพอที่จะเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค ก็จะหลุดจากผิวหน้าของแข็งกลายเป็นแก๊ส

เมื่อการระเหิดเกิดขึ้นในภาชนะปิด ดังรูปที่ 8.22 อนุภาคที่กลายเป็นแก๊สมีมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้ความดันไอเพิ่มขึ้น เมื่อแก๊สบางส่วนที่เคลื่อนที่เข้าไปกระทบกับผิวหน้าของของแข็งก็จะกลับเป็นของแข็งได้อีก จนถึงขณะหนึ่งที่อัตราการกลายเป็นแก๊สเท่ากับอัตราการเปลี่ยนจากแก๊สเป็นของแข็งตามเดิม (เกิดความดันไอ) ความดันไอนั้น คือความดันไอสมดุลของของแข็ง (equilibrium vapor of solid)



รูปที่ 8.22 การระเหิดของเกล็ดไอโอดีน \rightarrow ไอ และ ไอ \rightarrow เกล็ดไอโอดีน

ของแข็งที่มีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาคมาก (เช่น ของแข็งไอออน) จะมีความดันไอดำกว่าของแข็งที่มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลน้อย (เช่น ของแข็งโมเลกุล) ของแข็งที่มีความดันไอสูงมากจนระเหิดได้ที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์-แข็ง (น้ำแข็งแห้ง) และเกล็ดไอโอดีน

สำหรับน้ำแข็งแล้ว ในบางครั้งน้ำแข็งสามารถเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำได้โดยตรง โดยที่ไม่จำเป็นต้องละลายเป็นของเหลวก่อนแล้วระเหยเป็นก๊าซ การเปลี่ยนสถานะจากของแข็งเป็นก๊าซโดยตรงนี้ต้องการดูดกลืนความร้อนแฝงของการระเหิด 680 แคลอรี เพื่อที่จะเปลี่ยน น้ำแข็ง 1 กรัมให้กลายเป็นไอน้ำ ในทางกลับกัน เมื่อไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งโดยตรง เราเรียกว่า “การระเหิดกลับ” (Deposition) ไอน้ำจะคายความร้อนแฝงออกมา 680 แคลอรี/กรัม เช่นเดียวกัน

การระเหิดมีประโยชน์ในกระบวนการผลิตอาหาร ที่ต้องการเก็บไว้ให้นานๆ โดยที่ยังคงมีกลิ่น รส และคุณภาพดีเหมือนเดิม ดังรูปที่ 8.23 เช่น การผลิตกาแฟสำเร็จรูป ใช้วิธีทำให้แห้งโดยผ่านการแช่แข็ง (freeze drying) นำกาแฟมาละลายน้ำทำให้เป็นของเหลว แล้วทำให้เย็นจนเป็นของแข็ง (freezing) จากนั้นเอาน้ำออกโดยทำให้แข็งกลายเป็นไอ โดยการระเหิด จะได้กาแฟผงสำเร็จรูปที่แห้ง และสามารถเก็บไว้ได้นาน

ที่มา : <http://www.commercialfreezedry.co.uk/images/frzdry.gif>

Here's how freeze drying works.



รูปที่ 8.23 ประโยชน์ของการระเหิด การทำ freeze drying อาหาร