

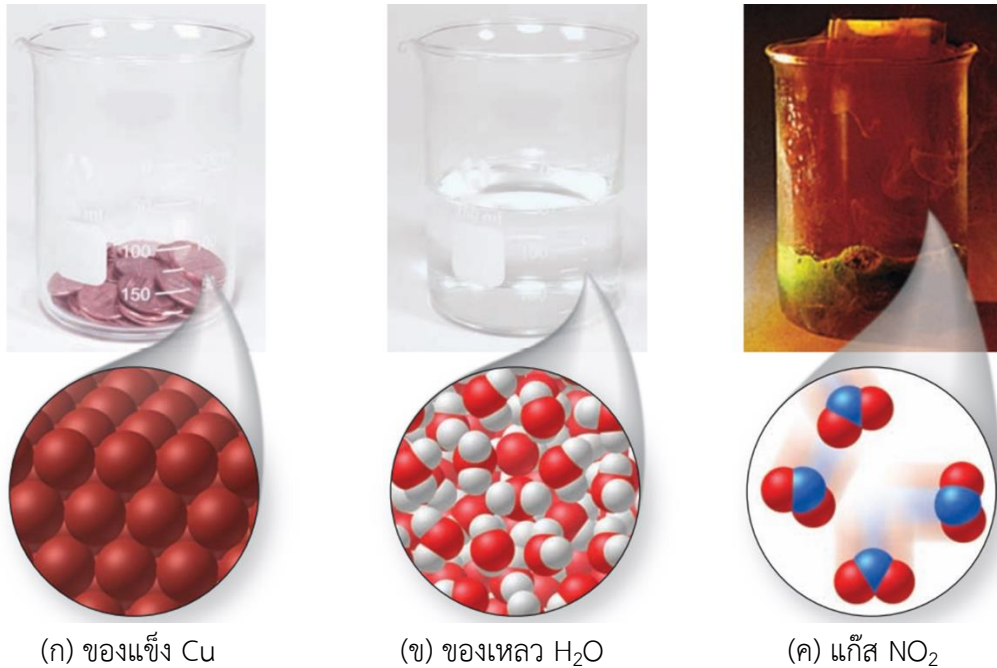
บทที่ 6

ของเหลว

จากเรื่องแก๊สทำให้ทราบว่า โมเลกุลของแก๊สอยู่ห่างกันมาก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อย ทำให้แก๊สเกิดการเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เกิดการฟุ้งกระจายของแก๊ส ซึ่งต่างจากของเหลว โมเลกุลของของเหลวอยู่ชิดกันมากกว่าแก๊ส จึงทำให้การเคลื่อนที่ไม่อิสระเท่ากับแก๊ส แต่อย่างไรก็ตาม โมเลกุลของของเหลวก็ยังคงพอเคลื่อนที่ได้ ซึ่งในแต่ละวันเราจะพบสารที่เป็นของเหลวได้บ่อย เช่น น้ำ มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือดจะทำให้น้ำเปลี่ยนเป็นไอน้ำที่มีสถานะแก๊ส แต่หากลดอุณหภูมิจนถึงจุดเยือกแข็ง น้ำจะเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งที่มีสถานะของแข็ง การที่สถานะเปลี่ยนแปลงไปจึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเปลี่ยนแปลงไปด้วย ส่งผลต่อสมบัติบางประการของของเหลว ซึ่งของเหลวมีสถานะอยู่ระหว่างของแข็งกับแก๊ส ในบทนี้จะอธิบายถึงสมบัติของของเหลว การระเหย ความดันไอ จุดเดือดและความร้อนของการกลายเป็นไอ แรงตึงผิว ความหนืด การเปลี่ยนวัฏภาคและแผนภาพวัฏภาค

สมบัติของของเหลว (Properties of liquids)

โมเลกุลของของเหลวอยู่ชิดกันมากกว่าแก๊ส ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคมากกว่าแก๊ส ดังภาพประกอบที่ 6.1 จะเห็นได้ว่าโมเลกุลของน้ำ (H_2O) มีการจัดเรียงตัวอยู่ชิดกันมากกว่าโมเลกุลของแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) แต่โมเลกุลของของเหลวยังมีการจัดเรียงตัวไม่ชิดเท่ากับโมเลกุลของของแข็งซึ่งเป็นทองแดง (Cu) (Bauer, R.C. et al., 2013 : 376) ดังนั้น โมเลกุลของของเหลวจึงเคลื่อนที่ไปมาได้ จึงเกิดสมบัติการไหลได้ เกิดการเปลี่ยนแปลงไปตามภาชนะที่บรรจุ แต่ยังคงมีมวลและปริมาตรคงที่ ต่างจากแก๊สที่เกิดการฟุ้งกระจายเต็มปริมาตรของภาชนะที่บรรจุและมีปริมาตรเท่ากับภาชนะที่บรรจุ แต่ของเหลวไม่จำเป็นต้องมีปริมาตรเท่ากับภาชนะที่บรรจุ โมเลกุลของของเหลวยังสามารถเกิดการแพร่เช่นเดียวกับโมเลกุลของแก๊ส เพียงแต่เกิดการแพร่ในอัตราการแพร่ที่น้อยกว่าเนื่องจากเกิดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลข้างเคียง เช่น การแพร่ของน้ำหมึก เป็นต้น นอกจากนี้ของเหลวยังสามารถขยายและหดตัวเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เช่น การนำปรอทมาใช้วัดอุณหภูมิในเทอร์โมมิเตอร์ เป็นต้น และของเหลวยังมีความหนาแน่นมากกว่าแก๊ส หากใช้ความดันสูงในการบีบอัดของเหลว ปริมาตรของเหลวจะไม่ลดลงเหมือนกับกรณีของแก๊สที่ถูกบีบอัดด้วยความดัน (กฤษฎา ชูติมา, 2556 : 304-305)



ภาพประกอบที่ 6.1 การจัดเรียงตัวของอนุภาคทองแดง (Cu) น้ำ (H₂O) และแก๊สไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO₂)

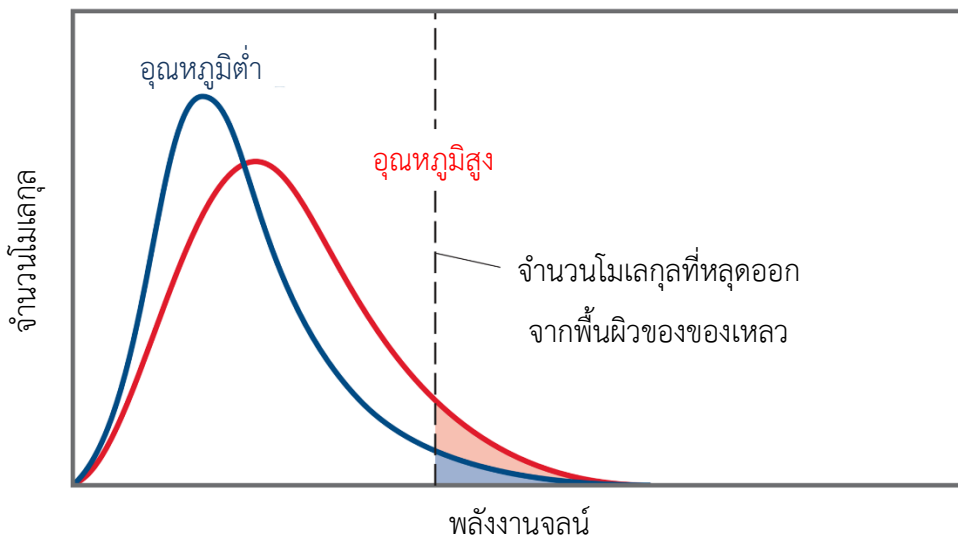
ที่มา : ดัดแปลงจาก Bauer, R.C. et al. (2013 : 376)

การระเหย (Evaporation)

โมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ไม่ได้มีการหยุดนิ่งกับที่เหมือนของแข็ง แต่ไม่ได้เคลื่อนที่อิสระได้มากเช่นเดียวโมเลกุลของแก๊ส จึงทำให้โมเลกุลของของเหลวเกิดการชนกันเมื่อมีการเคลื่อนที่ ทำให้โมเลกุลหนึ่งของของเหลวอาจมีพลังงานจลน์สูงขึ้นภายหลังที่เกิดการชนกันและมีพลังงานจลน์สูงกว่าโมเลกุลอื่น ๆ จนสามารถมีพลังงานเพียงพอที่มีค่ามากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจนหลุดออก จากผิวหน้าของของเหลวนี้ได้ เรียก กระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สว่า การระเหย (Evaporation) หรือ การกลายเป็นไอ (VapORIZATION) (กฤษณา ชูติมา, 2556 : 306 และพิทยา สีสด และคณะ, 2555 : 158)

การระเหยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ดังภาพประกอบที่ 6.2 แสดงการกระจายพลังงานจลน์ของโมเลกุลของเหลวที่มีอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูง จะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิต่ำ จำนวนโมเลกุลหลุดออกจากพื้นผิวของของเหลวมีจำนวนน้อยกว่า เมื่อเทียบกับที่อุณหภูมิสูง พลังงานจลน์จะมีค่าเพิ่มมากขึ้น ทำให้โมเลกุลที่หลุดออกจากพื้นผิวของของเหลวมีจำนวนมากขึ้นเช่นเดียวกัน แสดงว่า อุณหภูมิจะแปรผันตรงกับพลังงานจลน์ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 253 และ Brown, T. L. et al., 2015 : 462) นอกจากอุณหภูมิจึงมีผลต่อการระเหยแล้ว ยังมีปัจจัยด้านอื่น ๆ อีก เช่น พื้นผิวหน้า

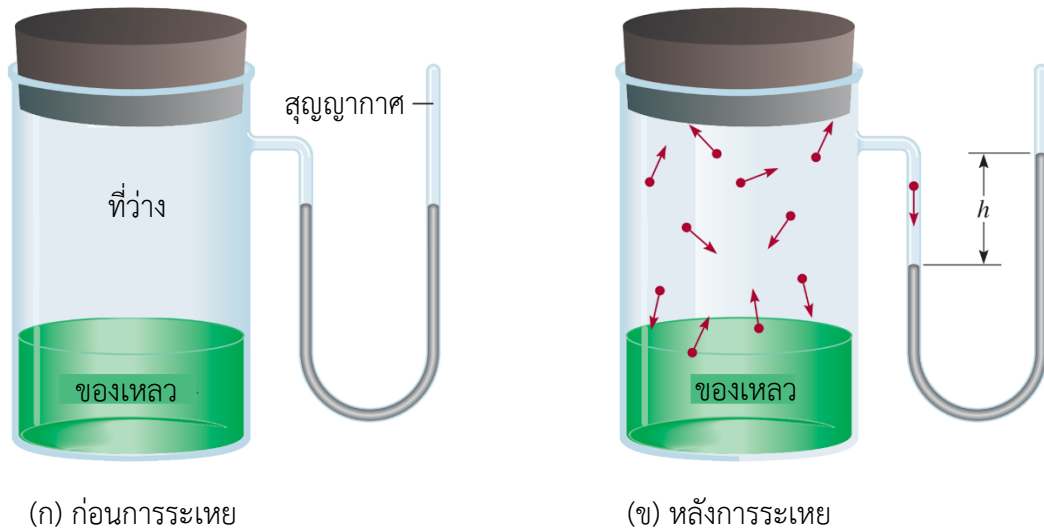
ของของเหลว แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลว ความดันบรรยากาศ หรือ บริเวณที่อากาศถ่ายเทที่มีลมพัด เป็นต้น โดยขณะที่ของเหลวเกิดการระเหยนั้น โมเลกุลที่มีพลังงานจลน์สูงหลุดออกจากผิวของของเหลวทำให้พลังงานจลน์เฉลี่ยต่ำลง ทำให้อุณหภูมิลดลง เช่น เมื่อมีเหงื่อออกจากร่างกาย แล้วเกิดการระเหยของเหงื่อออกไป จะทำให้เรารู้สึกเย็น เป็นการช่วยปรับอุณหภูมิของร่างกายให้ลดลง เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 6.2 ผลของอุณหภูมิต่อการกระจายตัวของพลังงานจลน์ของของเหลว
ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T. L. et al. (2015 : 462)

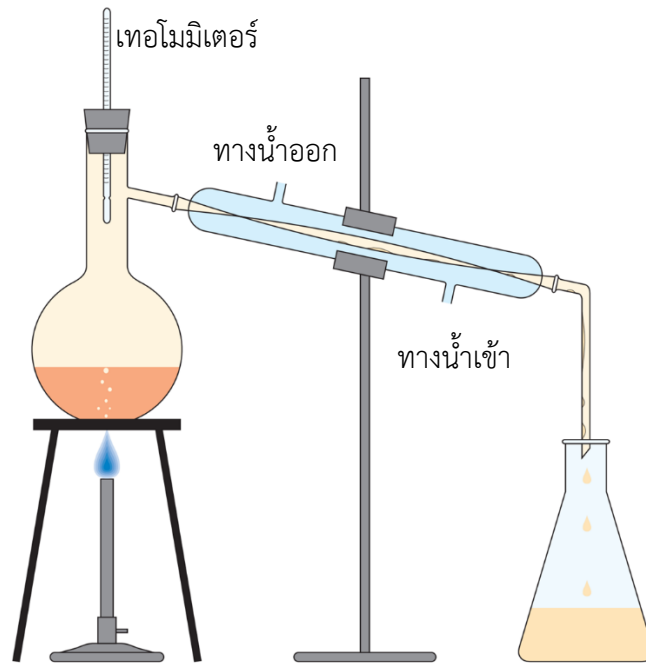
ความดันไอ (Vapor pressure)

เมื่อของเหลวระเหย โมเลกุลของของเหลวจะกลายเป็นไอเป็นอนุภาคในสถานะแก๊ส จะทำให้เกิดความดันไอ ดังภาพประกอบที่ 6.3 (ก) ก่อนการระเหยระดับปรอทในมาโนมิเตอร์รูปตัว U จะเท่ากันทั้งสองด้าน และ (ข) เมื่อโมเลกุลของของเหลวเริ่มเกิดการระเหยกลายเป็นไอจะเกิดอนุภาคของไอขึ้น แต่การระเหยไม่ได้เกิดขึ้นตลอดเวลา จะเห็นได้จากระดับปรอทเริ่มคงที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงต่อไปอีก (ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 254 และ Chang, R., 2010 : 490)



ภาพประกอบที่ 6.3 อุปกรณ์สำหรับวัดความดันของของเหลว
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 490)

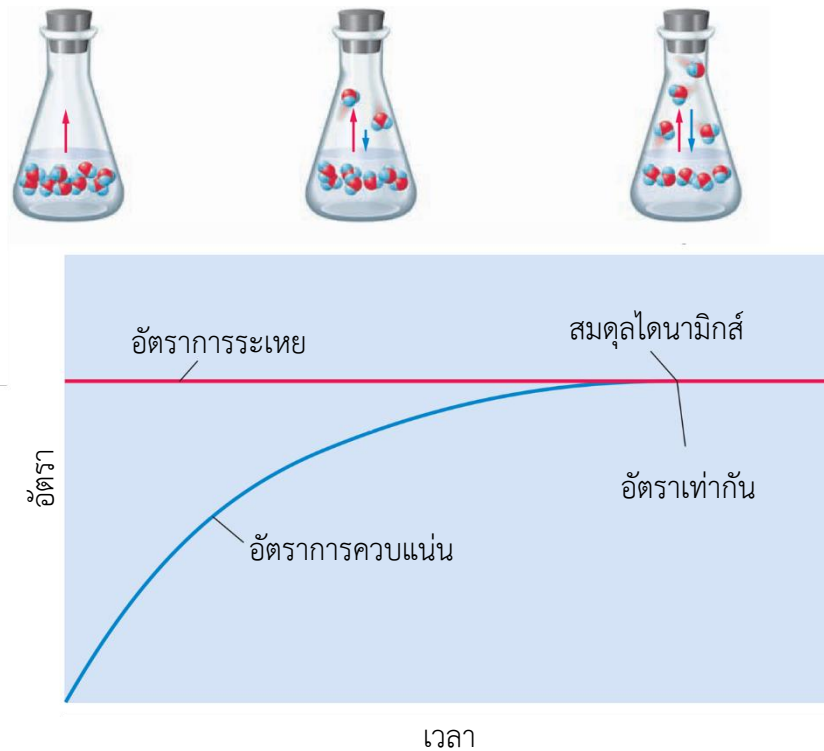
เมื่อโมเลกุลออกจากพื้นผิวของของเหลว เกิดเป็นอนุภาคของไอ เมื่อของเหลวระเหย กลายเป็นไอ อัตราการกลายเป็นไอจะคงที่ตลอดเวลาเมื่ออุณหภูมิคงที่ เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนอนุภาคของไอจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้โอกาสที่โมเลกุลของไอบางโมเลกุลรวมตัวกันเปลี่ยนเป็นของเหลวเพิ่มขึ้น จะมีการคายความร้อนออกมา กระบวนการที่อนุภาคของไอเปลี่ยนรูปเป็นอนุภาคของเหลว เรียกว่า การควบแน่น (Condensation) ซึ่งการควบแน่นเกิดขึ้นเฉพาะโมเลกุลที่ชนกับพื้นผิวของของเหลว และถูกจับไว้ไม่ให้หลุดออกมาด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของของเหลว (ธวัชชัย ศรีวิบูลย์, 2554 : 21 และประภาณี เกษมศรี ณ อยุธยา และคณะ, 2555 : 113) ดังภาพประกอบที่ 6.4 แสดงชุดกลั่นของของเหลว เมื่อมีการให้ความร้อนกับของเหลว จนอุณหภูมิถึงจุดเดือดของของเหลวของเหลวจะระเหยกลายเป็นไอ เมื่อผ่านไปยังคอลัมน์จะมีการควบแน่นกลับมาเป็นของเหลว ใส่ลงภาชนะที่รองรับไว้



ภาพประกอบที่ 6.4 อุปกรณ์ชุดการกลั่น

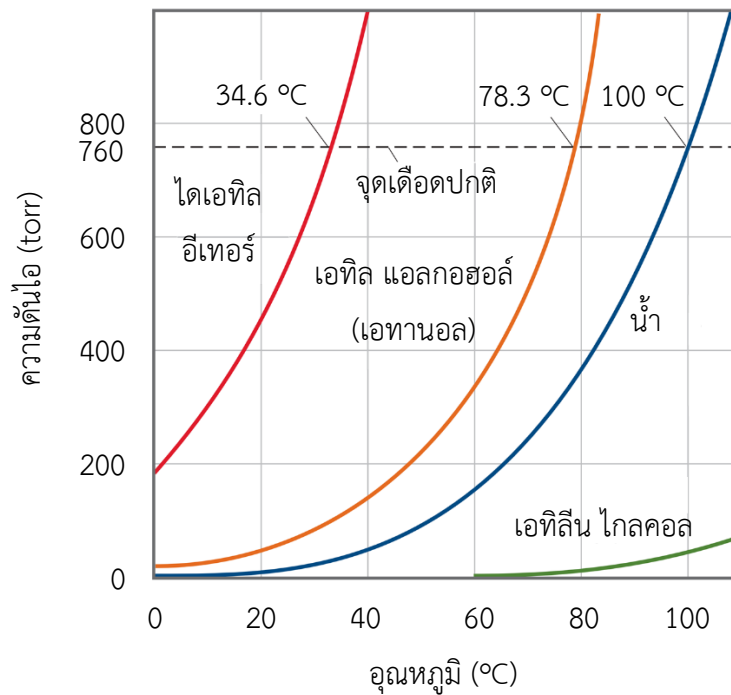
ที่มา : ดัดแปลงจาก Goldberg, D.R. (2007 : 383)

เมื่ออัตราการระเหยมีค่าคงที่ค่าหนึ่งต่ออุณหภูมิหนึ่ง ในขณะที่อัตราการควบแน่นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของไอเพิ่มมากขึ้น เมื่ออัตราการระเหยและอัตราการควบแน่นเท่ากัน ดังภาพประกอบที่ 6.5 จะเกิดสมดุลพลวัต (Dynamic equilibrium) หรือสมดุลไดนามิกส์ จำนวนอนุภาคที่ออกมาจากของเหลวกลายเป็นไอจะเท่ากับจำนวนอนุภาคที่ไอกลายเป็นของเหลวเมื่ออุณหภูมิคงที่ เรียกว่า ความดันไอสมดุล (Equilibrium vapor pressure) หรือ เรียกสั้น ๆ ว่า ความดันไอ (ทวิซัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 254 และพิทยา สีสด และคณะ, 2555 : 160-161)



ภาพประกอบที่ 6.5 อัตราการระเหยและอัตราการควบแน่นของของเหลวที่อุณหภูมิคงที่
ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 424)

จากภาพประกอบที่ 6.6 แสดงกราฟความดันไอของของเหลว ได้แก่ ไดเอทิล อีเทอร์ เอทานอล น้ำและเอทิลีน ไกลคอล ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่า ความดันไอของของเหลวทั้ง 4 ชนิด จะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของของเหลวเพิ่มขึ้นด้วย เช่น ที่อุณหภูมิ 34.5 องศาเซลเซียส ไดเอทิล อีเทอร์ มีความดันไอ 760 มิลลิเมตรปรอท ในขณะที่เอทานอลและน้ำ มีความดันไอไม่ถึง 200 มิลลิเมตรปรอท ซึ่งขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล เนื่องจากเอทานอลและน้ำ สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้ ซึ่งมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่แข็งแกร่งกว่าไดเอทิล อีเทอร์ ดังนั้น โอกาสที่โมเลกุลของไดเอทิล อีเทอร์จะหลุดออกจากพื้นผิวของของเหลวจะง่ายมากกว่า ส่งผลให้ความดันไอของของเหลวของไดเอทิล อีเทอร์มีค่ามากกว่าเอทานอลและน้ำ นอกจากนี้ความดันไอไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณของไอหรือปริมาณของเหลว แต่จะเกี่ยวข้องกับอุณหภูมิ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มจำนวนโมเลกุลของของเหลวที่มีพลังงานจลน์เพิ่มมากขึ้น จนสามารถหลุดออกจากพื้นผิวหน้าของของเหลว (Brown, T. L. et al., 2015 : 463) ตารางที่ 6.1 แสดงสมบัติของของเหลวบางชนิดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบที่ 6.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการกระจายตัวของพลังงานจลนศาสตร์ของของเหลว
ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T. L. et al. (2015 : 463)

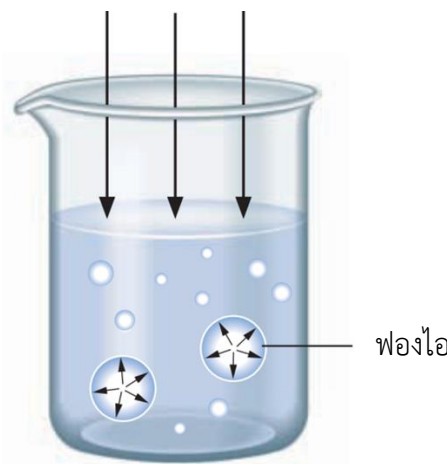
ตารางที่ 6.1 สมบัติของของเหลวบางชนิดที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

สาร	มวลโมเลกุล	ความดันไอ (mmHg)	ความตึงผิว (J/m^2)
น้ำ (H_2O)	18	1.8×10^1	7.3×10^{-2}
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	44	4.3×10^4	1.2×10^{-3}
เพนเทน (C_5H_{12})	72	4.4×10^2	1.6×10^{-2}
กลีเซอรอล ($C_3H_8O_3$)	92	1.6×10^{-4}	6.3×10^{-2}
คลอโรฟอร์ม ($CHCl_3$)	119	1.7×10^2	2.7×10^{-2}
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl_4)	154	8.7×10^1	2.7×10^{-2}
โบรมีน ($CHBr_3$)	253	3.9×10^0	4.2×10^{-2}

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 433)

จุดเดือดและความร้อนของการกลายเป็นไอ (Boiling point and heat of vaporization)

เมื่อให้ความร้อนแก่ของเหลว อุณหภูมิของของเหลวจะเพิ่มขึ้นทำให้โมเลกุลของของเหลวมีพลังงานจลน์สูงขึ้น เมื่อถึงอุณหภูมิหนึ่งโมเลกุลของของเหลวจะเกิดฟองไอขึ้นภายในของเหลว ดังภาพประกอบที่ 6.7 ฟองไแต่ละฟองจะผุดขึ้นและอยู่ที่ผิวหน้าของของเหลวระหว่างที่ฟองไผุดขึ้นจะมีขนาดฟองใหญ่ขึ้น ในที่สุดฟองจะแตกออก โดยของเหลวนั้นจะเต็มไปด้วยฟอง ถ้าความดันไอฟองแก๊สต่ำกว่าความดันภายนอก ฟองแก๊สจะแฟบลงและไม่สามารถลอยขึ้นได้ แต่ถ้าความดันไอเท่ากับความดันภายนอก ฟองแก๊สจะลอยขึ้นสู่ผิวหน้าของของเหลวและแตกออก การเดือดต่างจากการระเหย การเดือดของของเหลวจะมีฟองไภายในของเหลว แต่การระเหยจะเกิดขึ้นเฉพาะผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น โดยฟองไจะช่วยเพิ่มผิวหน้าของของเหลว (กฤษณา ชูติมา, 2556 : 309)



ภาพประกอบที่ 6.7 การเดือดของของเหลว

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 424)

จุดเดือด (Boiling point) คือ อุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวมีค่าความดันเท่ากับความดันภายนอก โดยจุดเดือดปกติเท่ากับความดันของของเหลวเดือดเมื่อความดันภายนอกเท่ากับความดัน 1 บรรยากาศ ดังนั้น จุดเดือดของของเหลวขึ้นอยู่กับความดันภายนอก เช่น ที่ความดัน 1 บรรยากาศ น้ำจะเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส แต่ถ้าความดันลดลงเหลือ 0.5 บรรยากาศ น้ำจะมีจุดเดือดลดลงด้วยเหลือเพียง 82 องศาเซลเซียสเท่านั้น (กฤษชัย พูลเจริญ, 2547 : 16 และทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 258)

ความร้อนของการกลายเป็นไอ (heat of vaporization, ΔH_{vap}) คือ ปริมาณที่บ่งบอกถึงความแข็งแรงของแรงระหว่างโมเลกุลในของเหลว ซึ่งนิยามเท่ากับ พลังงาน (kJ) ที่ต้องใช้ในการทำให้ของเหลว 1 โมล กลายเป็นไอ ซึ่งความร้อนของการกลายเป็นไอจะแปรผันตรงกับความแข็งแรงของแรงระหว่างโมเลกุล โดยถ้าความแข็งแรงของแรงระหว่างโมเลกุลมาก จะต้องใช้พลังงานจำนวนมากในการเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล เพื่อให้โมเลกุลหลุดออกจากของเหลว ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ตามสมการคลอเซียส คลาเปรอง ได้เป็น (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 256 และสุนันท์ สายกระสุน, 2560 : 21-23)

$$\ln P = \frac{-\Delta H_{\text{vap}}}{RT} + C$$

- เมื่อ \ln = ลอการิทึมธรรมชาติ
 R = ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314 J/K.mol)
 C = ค่าคงที่สมการคลอเซียส คลาเปรอง

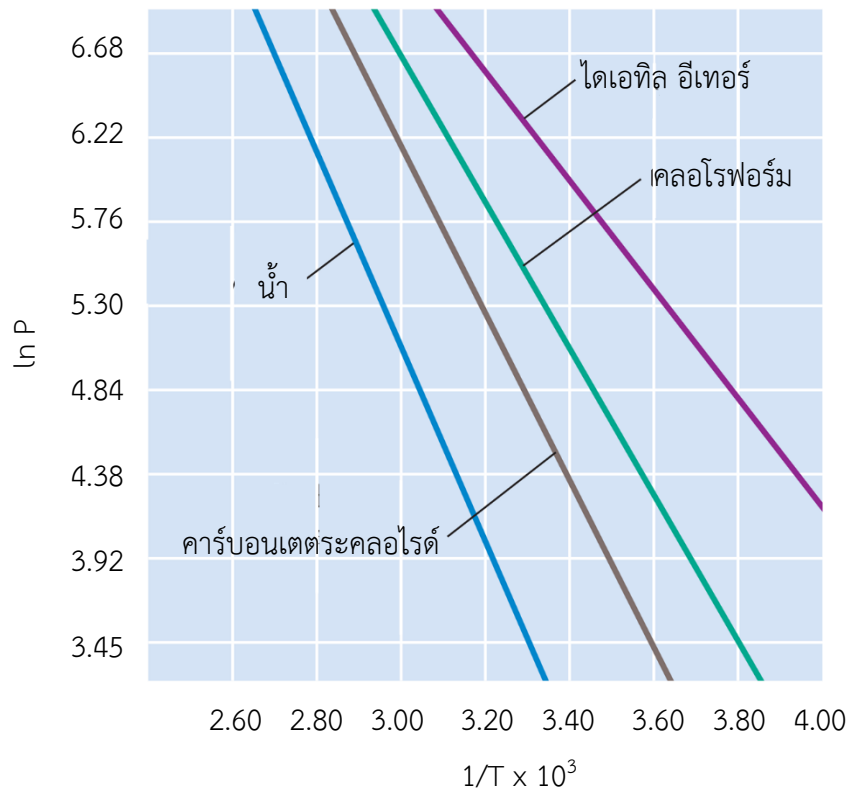
เมื่อเราวัดความดันไอของของเหลว และเขียนกราฟระหว่าง $\ln P$ กับ $1/T$ ดังภาพประกอบที่ 6.8 หาความชันได้เท่ากับ $-\Delta H_{\text{vap}}/R$ (ΔH_{vap} แสดงดังตารางที่ 6.2) ΔH_{vap} ของน้ำสูงกว่าของ ไตเอทิล อีเทอร์ จึงทำให้ความชันของน้ำมากกว่าของไตเอทิล อีเทอร์ โดยถ้าเราทราบ ΔH_{vap} และ P ที่อุณหภูมิหนึ่ง (Ebbing, D.D. and Gammon, S.D., 2007 : 428) จะสามารถหาค่าความดันไอของเหลวที่อุณหภูมิอื่นได้ ซึ่งเขียนความสัมพันธ์ได้เป็น

$$\begin{aligned} \ln P_1 &= \frac{-\Delta H_{\text{vap}}}{RT_1} + C \\ \ln P_2 &= \frac{-\Delta H_{\text{vap}}}{RT_2} + C \\ \ln P_1 - \ln P_2 &= -\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT_1} - \left(-\frac{\Delta H_{\text{vap}}}{RT_2}\right) \end{aligned}$$

$$\ln P_1 - \ln P_2 = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left(\frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right)$$



ภาพประกอบที่ 6.8 กราฟระหว่าง $\ln P$ กับ $1/T$

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 428)

ตารางที่ 6.2 ความร้อนโมลาร์ของการกลายเป็นไอของของเหลวบางชนิด

สาร	จุดเดือด* (°C)	ΔH_{vap} (kJ/mol)
อาร์กอน (Ar)	-186	6.3
เบนซีน (C ₆ H ₆)	80.1	31.0
ไดเอทิล อีเทอร์ (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	34.6	26.0
เอทานอล (C ₂ H ₅ OH)	78.3	39.3
ปรอท (Hg)	357	59.0
มีเทน (CH ₄)	-164	9.2
น้ำ (H ₂ O)	100	40.79

*วัดที่ 1 บรรยากาศ

ที่มา : ดัดแปลงจาก ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ (2560 : 256)

ตัวอย่างที่ 6.1 จงหาความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส เมื่อน้ำมีจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ความร้อนของการกลายเป็นไอเท่ากับ 40.7 กิโลจูลต่อโมล

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความดันไอของน้ำ

- เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน
อุณหภูมิ 85 °C

$$T (\text{K}) = 273.15 + t (\text{°C})$$

$$= 273.15 + 85$$

$$= 358.15 \text{ K}$$

อุณหภูมิ 100 °C

$$T (\text{K}) = 273.15 + t (\text{°C})$$

$$= 273.15 + 100$$

$$= 373.15 \text{ K}$$

2. แทนค่าลงในสูตร

$$\ln \frac{P_1}{P_2} = \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$\ln \frac{P_1}{760 \text{ mmHg}} = \frac{40.7 \times 10^3 \text{ J/mol}}{8.31 \text{ J/(K.mol)}} \left(\frac{1}{373.15 \text{ K}} - \frac{1}{358.15 \text{ K}} \right)$$

$$\ln \frac{P_1}{760 \text{ mmHg}} = (4,898 \text{ K}) \times \left(-1.123 \times 10^{-4} \frac{1}{\text{K}} \right)$$

$$\ln \frac{P_1}{760 \text{ mmHg}} = -0.550$$

$$\frac{P_1}{760 \text{ mmHg}} = e^{-0.550}$$

$$\frac{P_1}{760 \text{ mmHg}} = 0.557$$

$$P_2 = 0.557 \times 760 \text{ mmHg}$$

$$P_2 = 439 \text{ mmHg}$$

ดังนั้น ความดันไอของน้ำที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีค่าเท่ากับ 439 มิลลิเมตรปรอท

ตัวอย่างที่ 6.2 จงหาความร้อนของการกลายเป็นไอของไดเอทิล อีเทอร์ ถ้าความดันไอของไดเอทิล อีเทอร์มีค่าเท่ากับ 400 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส

วิธีทำ แนวคิด โจทย์ให้หาความร้อนของการกลายเป็นไอ

- เปลี่ยนหน่วยอุณหภูมิจาก องศาเซลเซียส เป็น เคลวิน
อุณหภูมิ 100 °C

$$\begin{aligned} T (\text{K}) &= 273.15 + t (^\circ\text{C}) \\ &= 273.15 + 100 \\ &= 373.15 \text{ K} \end{aligned}$$

อุณหภูมิ 35 °C

$$\begin{aligned} T (\text{K}) &= 273.15 + t (^\circ\text{C}) \\ &= 273.15 + 35 \\ &= 308.15 \text{ K} \end{aligned}$$

- แทนค่าลงในสูตร

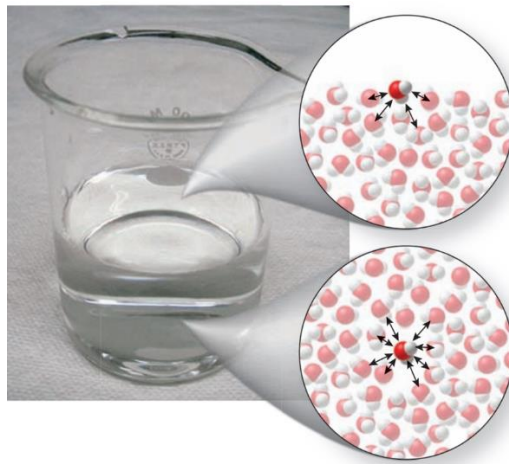
$$\begin{aligned} \ln \frac{P_1}{P_2} &= \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\ \ln \frac{760 \text{ mmHg}}{400 \text{ mmHg}} &= \frac{\Delta H_{\text{vap}}}{8.31 \text{ J}/(\text{K}\cdot\text{mol})} \left(\frac{1}{373.15 \text{ K}} - \frac{1}{308.15 \text{ K}} \right) \\ 0.642 &= (2.28 \times 10^{-5}) \times \Delta H_{\text{vap}} \text{ 1}/(\text{J}/\text{mol}) \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{vap}} = 2.82 \times 10^4 \text{ J/mol}$$

ดังนั้น ความร้อนของการกลายเป็นไอของไดเอทิลอีเทอร์ มีค่าเท่ากับ 2.82×10^4 จูลต่อโมล

แรงตึงผิว (Surface tension)

แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำให้ของเหลวมีสมบัติต่าง ๆ เกิดขึ้น ในที่นี้ คือ แรงตึงผิว (Surface tension) โมเลกุลที่อยู่ผิวของของเหลวจะถูกดึงโมเลกุลอยู่ด้านล่างและด้านข้างเท่านั้น ทิศทางด้านบนของพื้นผิวจะไม่มีการถูกดึง ส่วนโมเลกุลที่อยู่ภายในของเหลวจะถูกดึงจากโมเลกุลข้างเคียงรอบด้านเท่า ๆ กันทุกทิศทาง ดังภาพประกอบที่ 6.9 แรงนี้จะพยายามดึงโมเลกุลที่ผิวจำนวนมากที่สุดเท่าที่ได้ ทำให้ผิวของของเหลวลดลง โดยลดพื้นที่ผิวให้เหลือน้อยที่สุด (กฤษณา ชูติมา, 2556 : 314)



ภาพประกอบที่ 6.9 แรงตึงผิว

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bauer, R.C. et al. (2013 : 399)

แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมีแนวโน้มจะดึงโมเลกุลเข้าไปภายในของของเหลวและทำให้พื้นผิวมีความตึงคล้ายฟิล์มบาง ดังภาพประกอบที่ 6.10 จะเห็นได้ว่า จิ้งจอกน้ำสามารถเดินบนผิวน้ำได้จากสมบัตินี้ ของเหลวจำนวนน้อยจึงพยายามรักษารูปร่างทรงเป็นทรงกลมเอาไว้ เพราะทรงกลมเป็นรูปที่มีพื้นที่ผิวน้อยที่สุดภายใต้ปริมาตรที่กำหนดไว้ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 236-237) เช่น หยดน้ำบนผิวแอปเปิ้ล หยดน้ำบนใบบัว ดังภาพประกอบที่ 6.11



(ก)



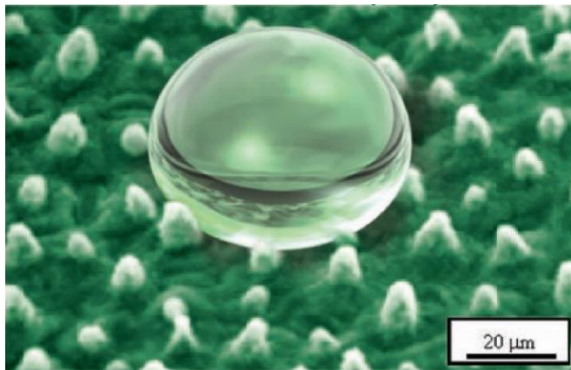
(ข)

ภาพประกอบที่ 6.10 วัสดุลอยบนผิวน้ำและจิ้งจิกน้ำเดินบนผิวน้ำได้

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 435)



(ก) หยดน้ำบนผิวแอปเปิ้ล



(ข) หยดน้ำบนผิวใบบัว

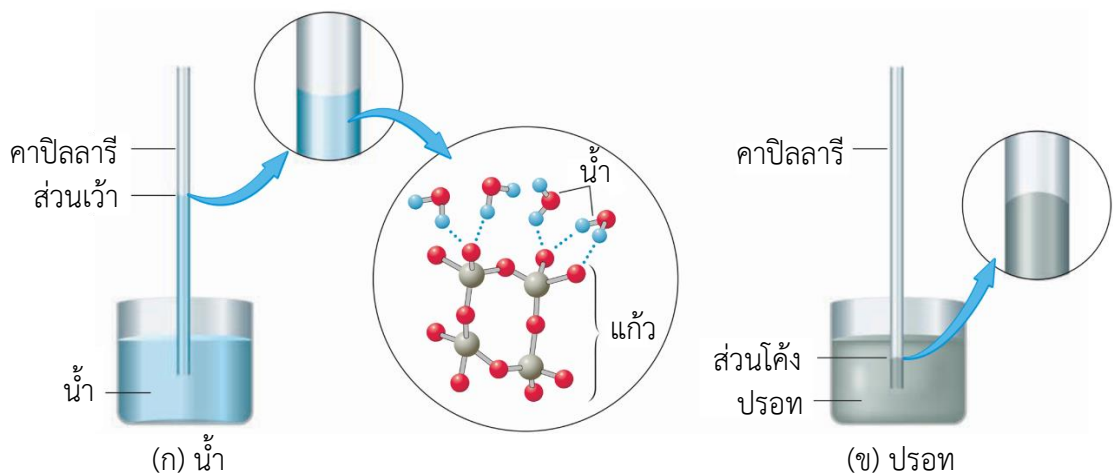
ภาพประกอบที่ 6.11 หยดน้ำบนผิวแอปเปิ้ลที่มีผิวมันและภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์ของหยดน้ำบนพื้นผิวของใบบัว

ที่มา : Brown, T. L. et al. (2015 : 444), Chang, R. (2010 : 469)

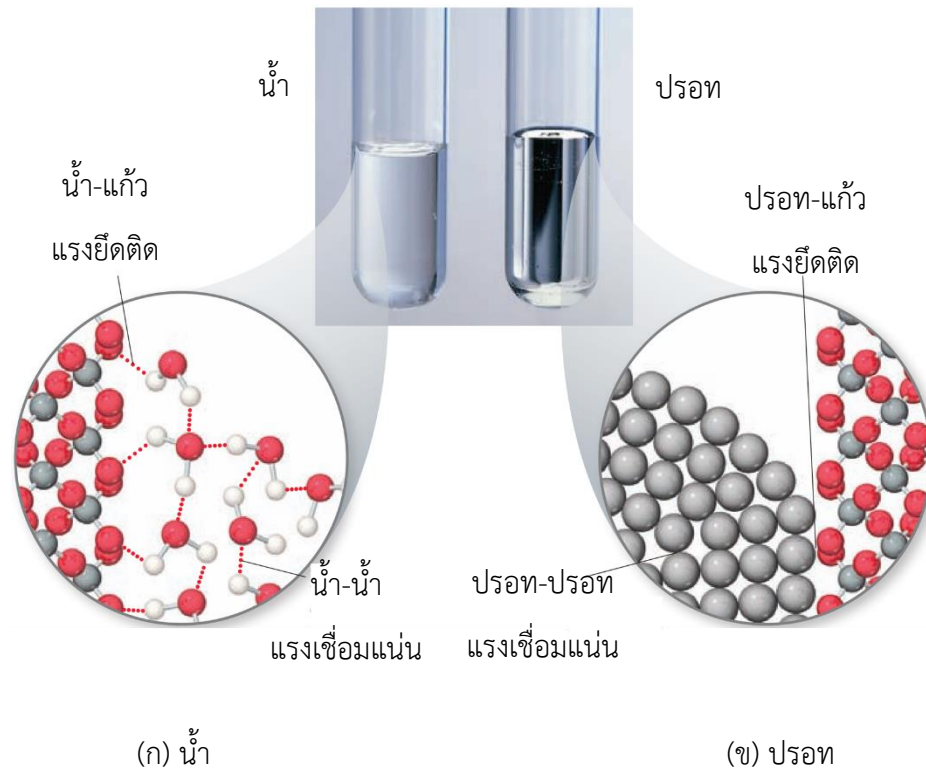
แรงตึงผิว (surface tension) เป็นค่าที่บอกแรงยึดเหนี่ยวบนผิวของของเหลว ซึ่งนิยามว่า พลังงานที่ต้องใช้ในการเพิ่มพื้นที่ผิวของเหลว 1 หน่วย ซึ่งมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล โดยถ้าของเหลวมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมาก จะมีแรงตึงผิวสูงมากด้วย เนื่องจากโมเลกุลที่ผิวหน้าจะดึงดูดเข้าภายในอย่างแรง (ทวิซีย์ อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 228) นอกจากนี้ยังมีผลกระทบจากอุณหภูมิอีกด้วย โดยถ้าอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้โมเลกุลของของเหลวนี้มีพลังงาน

จลน์สูงขึ้นด้วย แต่แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลลดลง ทำให้ความตึงผิวลดลงด้วย (ทบทวนมหาวิทยาลัย, 2541 : 228)

ตัวอย่างหนึ่งของแรงตึงผิว ดังภาพประกอบที่ 6.12 (ก) แสดงระดับน้ำในหลอดคาปิลลารีฟิล์มบาง ๆ ของน้ำจะยึดติดผนังหลอดแก้วได้ดี แรงตึงผิวของน้ำทำให้ฟิล์มหดตัว น้ำถูกดึงให้สูงขึ้นตามท่อทำให้เกิดส่วนเว้า ส่วนภาพประกอบที่ 6.12 (ข) แสดงระดับปรอทในหลอดแก้วคาปิลลารีระดับปรอทต่ำกว่าพื้นผิวของปรอทภายนอก ทำให้เกิดส่วนโค้ง (Ebbing, D.D. and Gammon, S.D., 2007 : 435) ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรง 2 ชนิด คือ แรงยึดติด (Adhesion) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิดและแรงเชื่อมแน่น (Cohesion) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน จากภาพประกอบ 6.13 (ก) ระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลผิวด้านในของแก้ว จะมีแรงยึดติดสูงกว่าแรงเชื่อมแน่น ส่วนภาพประกอบ 6.13 (ข) ระหว่างโมเลกุลของปรอทกับโมเลกุลผิวด้านในของแก้ว จะมีแรงเชื่อมแน่นสูงกว่าแรงยึดติด (Brown, T. L. et al., 2015 : 457)



ภาพประกอบที่ 6.12 ระดับของเหลวในหลอดคาปิลลารีของน้ำและปรอท
ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 435)



ภาพประกอบที่ 6.13 รูปร่างส่วนเว้าของน้ำและส่วนโค้งของแอลกอฮอล์ในหลอดแก้ว

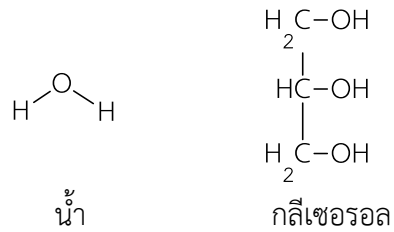
ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T. L. et al. (2015 : 457)

ความหนืด (Viscosity)

ความหนืด (Viscosity) เป็นค่าที่บ่งบอกความต้านทานต่อการไหลของของเหลว โดยถ้าความหนืดสูง ของเหลวจะไหลได้ช้า ถ้าโมเลกุลของของเหลวมีแรงดึงดูดมาก จะส่งผลให้ความหนืดมาก เนื่องจากโมเลกุลที่มีแรงดึงดูดมากทำให้การไหลเลื่อนไปโมเลกุลอื่นได้ยาก นอกจากนี้การเพิ่มอุณหภูมิจะส่งผลต่อพลังงานจลน์ของโมเลกุลของของเหลวมาก ทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลน้อยลง ส่งผลให้ความหนืดน้อยลงด้วย เช่น น้ำมันเครื่องในฤดูร้อนจะมีความหนืดสูงกว่าในฤดูหนาว เป็นต้น (กฤษฎณา ชุติมา, 2556 : 318)

จากภาพประกอบที่ 6.14 แสดงการเคลื่อนที่ของวัตถุผ่านของเหลว 2 ชนิด ที่มีความหนืดแตกต่างกัน พบว่า วัตถุเคลื่อนที่ลงสู่ด้านล่างในของเหลวที่เป็นกลีเซอรอลดังภาพประกอบ 6.14 (ก) ได้ช้ากว่าของเหลวที่เป็นน้ำ (ข) เนื่องจากน้ำมีความหนืดน้อยกว่ากลีเซอรอลจึงทำให้วัตถุเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าในน้ำ (Ebbing, D.D. and Gammon, S.D., 2007 : 420) ดังตารางที่ 6.3 แสดงค่าความหนืดของกลีเซอรอลและน้ำ การที่กลีเซอรอลมีความหนืดมากกว่าน้ำเนื่องจากน้ำสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนได้ ในขณะที่กลีเซอรอลก็สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนเช่นเดียวกัน ซึ่งกลีเซอรอลเกิดพันธะ

ไฮโดรเจนได้ O-H 3 หมู่ จึงมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลมากกว่าน้ำ และมีโอกาสเกิดการพันธันมากกว่าการเลื่อนผ่านกัน จึงส่งผลให้กลีเซอรอลมีความหนืดมากกว่า (ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 230)



(ก) กลีเซอรอล

(ข) น้ำ

ภาพประกอบที่ 6.14 การเปรียบเทียบความหนืดของของเหลว 2 ชนิด (ก) กลีเซอรอล และ (ข) น้ำ
ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 420)

ตารางที่ 6.3 ค่าความหนืดของของเหลวบางชนิด

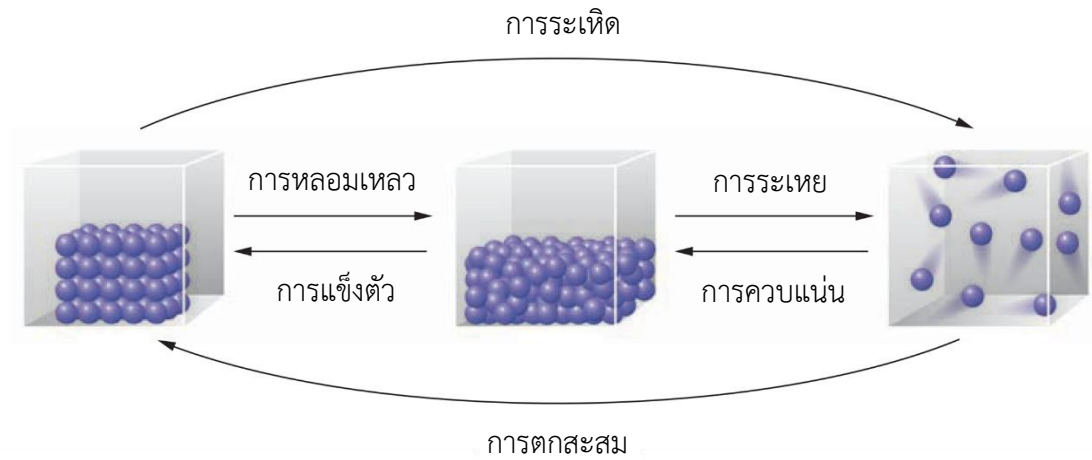
ของเหลว	ความหนืด (N.s/m ²)*
อะซิโตน (CH ₃ COCH ₃)	3.16 × 10 ⁻⁴
เบนซีน (C ₆ H ₆)	6.25 × 10 ⁻⁴
เลือด	4.00 × 10 ⁻³
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (CCl ₄)	9.69 × 10 ⁻⁴
ไดเอทิล อีเทอร์ (C ₂ H ₅ OC ₂ H ₅)	2.33 × 10 ⁻⁴
เอทานอล (C ₂ H ₅ OH)	1.20 × 10 ⁻³
กลีเซอรอล (C ₃ H ₈ O ₃)	1.49
ปรอท (Hg)	1.55 × 10 ⁻³
น้ำ (H ₂ O)	1.01 × 10 ⁻³

* หน่วย SI ของความหนืดเป็น นิวตัน.วินาทีต่อตารางเมตร (N.s/m²)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 470)

การเปลี่ยนวัฏภาค (Phase changes)

สารมี 3 สถานะ ได้แก่ ของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ซึ่งสารจะมีการเปลี่ยนวัฏภาค คือ การเปลี่ยนวัฏภาคหนึ่งไปยังอีกวัฏภาคหนึ่ง ซึ่งจะมีการดูดพลังงานเข้าไป หรือ การคายพลังงานออกมา ในการเปลี่ยนวัฏภาคเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ จะส่งผลต่อการจัดระเบียบของโมเลกุล อาจจะทำให้เกิดความเป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น หรือ ไม่เป็นระเบียบเพิ่มมากขึ้น ดังภาพประกอบที่ 6.15 แสดงการเปลี่ยนวัฏภาคต่าง ๆ (ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 253 และอินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโกคา, 2554 : 83-84)



ภาพประกอบที่ 6.15 การเปลี่ยนวิภูภาคต่าง ๆ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 422)

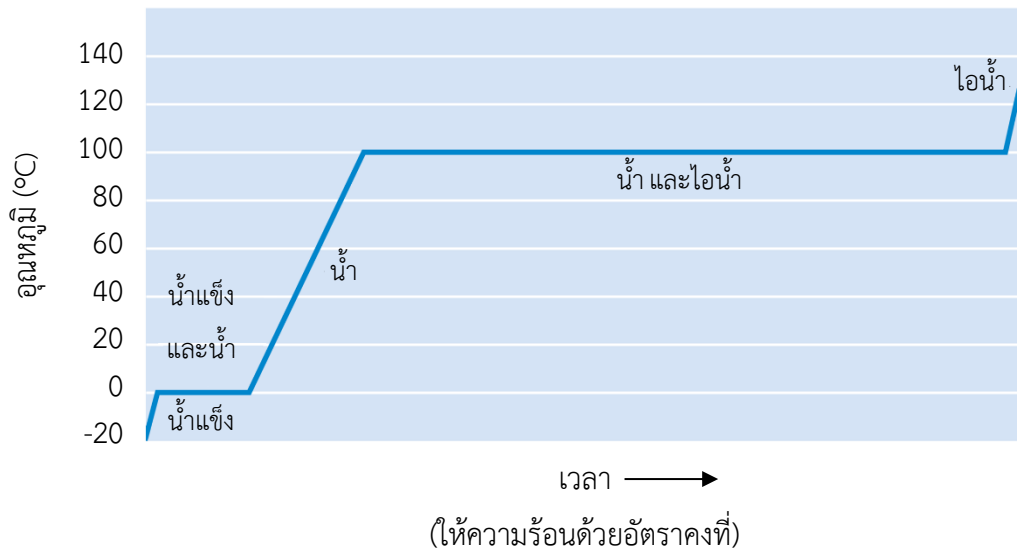
กรณีสมดุลของเหลว-ไอ

กระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนไปเป็นแก๊ส เรียกว่า การระเหย (Evaporation) และกระบวนการตรงกันข้ามกับการระเหย คือ การควบแน่น (Condensation) เป็นกระบวนการที่ทำให้แก๊สกลายเป็นของเหลว โดยการทำให้แก๊สเย็นตัวลง รวมเป็นของเหลวหยดเล็ก ๆ หรือ การเพิ่มความดันให้ก่อดัดแก๊ส

กรณีสมดุลของเหลว-ของแข็ง

กระบวนการที่ของเหลวเปลี่ยนไปเป็นของแข็ง เรียกว่า การแข็งตัว (Freezing) และกระบวนการตรงกันข้ามกับการแข็งตัว คือ การหลอมเหลว (Melting) เป็นกระบวนการที่ทำให้ของเหลวกลายเป็นของแข็ง ในที่นี้จะอธิบายตัวอย่างน้ำ จากภาพประกอบที่ 6.16 แสดงการเปลี่ยนสถานะของน้ำ เมื่อให้ความร้อนในอัตราคงที่ เมื่อน้ำแข็งได้รับความร้อน อุณหภูมิของน้ำแข็งจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จาก -20 องศาเซลเซียส เพิ่มขึ้นจนถึง 0 องศาเซลเซียส จะทำให้น้ำแข็งเริ่มหลอมเหลวกลายเป็นน้ำ แต่ช่วงอุณหภูมินี้จะมีทั้งวิภูภาคของแข็งและวิภูภาคของเหลวรวมกันอยู่ ระบบจะมีการดูดพลังงานความร้อนจนสามารถเอาชนะแรงดึงดูดในอนุภาคของแข็ง จนกระทั่งน้ำแข็งเริ่มหลอมเหลวกลายเป็นน้ำทั้งหมด จากนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส น้ำจะเปลี่ยนเป็นไอน้ำ เมื่อโมเลกุลของน้ำมีพลังงานจลน์สูงขึ้นจนสามารถเอาชนะแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของของเหลวได้ แต่ในช่วงอุณหภูมินี้จะมีทั้งวิภูภาคของเหลวและวิภูภาคของแก๊ส

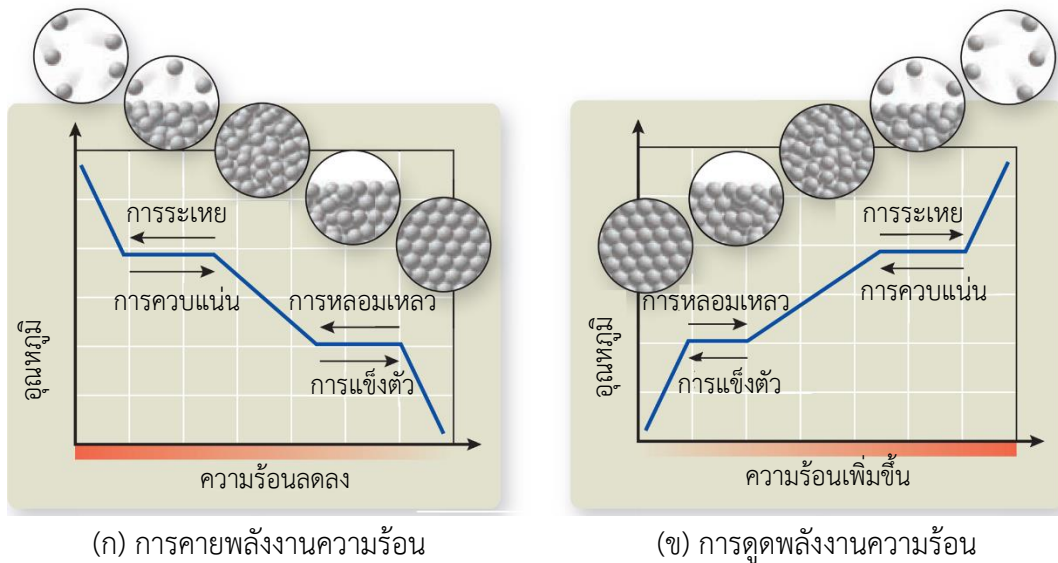
รวมกันอยู่ จนกระทั่งอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส จะอยู่ในวิถุภาคของแก๊ส (Ebbing, D.D. and Gammon, S.D., 2007 : 426)



ภาพประกอบที่ 6.16 การเปลี่ยนสถานะของน้ำ

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007 : 426)

ในขณะเดียวกันเมื่อสารคายพลังงานออกมาดังภาพประกอบที่ 6.17 (ก) เมื่อเอาความร้อนออกจากแก๊ส ไอน้ำจะมีอุณหภูมิลดลง ควบแน่นเปลี่ยนเป็นของเหลว จากนั้นระบบจะคายพลังงานออกมาอีก จนอุณหภูมิลดลงเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง และในทางตรงกันข้ามเมื่อสารดูดพลังงานจะเปลี่ยนสถานะดังภาพประกอบที่ 6.17 (ข) (Bauer, R.C. et al. 2013 : 383)



ภาพประกอบที่ 6.17 การเปลี่ยนวิภูภาคแบบการคายพลังงานความร้อนและการดูดพลังงานความร้อน

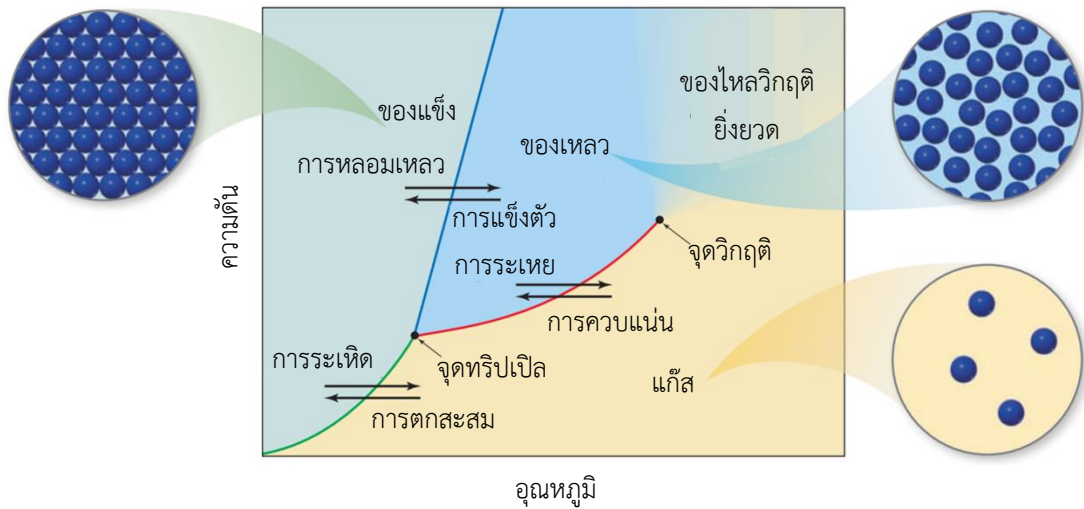
ที่มา : ดัดแปลงจาก Bauer, R.C. et al. (2013 : 383)

กรณีสมดุลงของของแข็ง-ไอ

กระบวนการที่ของแข็งเปลี่ยนไปเป็นแก๊ส เรียกว่า การระเหิด (Sublimation) เช่น การระเหิดของลูกเหม็น พิมเสน การบูร เป็นต้น และกระบวนการตรงกันข้ามกับการระเหิด คือ การตกสะสม (Deposition) เป็นกระบวนการที่ทำให้แก๊สกลายเป็นของแข็ง

แผนภาพวิภูภาค (Phase diagram)

แผนภาพวิภูภาค (Phase diagram) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในแผนภาพเดียวกัน ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันที่ทำให้สารเปลี่ยนสถานะ ดังภาพประกอบที่ 6.18 โดยเส้นสีเขียวแสดงการเปลี่ยนวิภูภาคระหว่างสมดุลงของแข็งและแก๊ส เส้นสีฟ้าแสดงการเปลี่ยนวิภูภาคระหว่างสมดุลงของแข็งและของเหลว และเส้นสีแดงแสดงการเปลี่ยนวิภูภาคระหว่างสมดุลงของเหลวและแก๊ส (Brown, T.L. et al., 2015 : 465) โดยสารแต่ละชนิดจะมีแผนภาพวิภูภาคเป็นของตัวเอง จากภาพประกอบจะเห็นได้ว่าจะมีจุดที่อุณหภูมิและความดันที่เป็นสถานะที่ทำให้ทั้งสามวิภูภาคอยู่ในภาวะสมดุลงซึ่งกันและกัน เรียกว่า จุดทริปเปิล (Triple point) ส่วนจุดสิ้นสุดของเส้นสมดุลงระหว่างของเหลวและแก๊ส เรียกว่า จุดวิกฤติ (Critical point) (ทบวงมหาวิทยาลัย, 2541 : 238 และอินทิรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโกคา, 2554 : 83-84)



ภาพประกอบที่ 6.18 แผนภาพวัฏภาคของสารบริสุทธิ์
ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T.L. et al. (2015 : 465)

สารทุกชนิดจะมีอุณหภูมิวิกฤติ (Critical temperature, T_c) เป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิวิกฤติ ไม่สามารถทำให้วัฏภาคแก๊สกลายเป็นของเหลวและแก๊ส เป็นเพียงของไหล ความดันวิกฤติ (Critical pressure, P_c) เป็นความดันต่ำสุดที่ทำให้แก๊สเป็นของเหลวที่อุณหภูมิวิกฤติ ดังตารางที่ 6.4 แสดงค่าอุณหภูมิวิกฤติและความดันวิกฤติของสารชนิดต่าง ๆ โดยสารใดก็ตามที่มีความแข็งแรงมาก จะทำให้อุณหภูมิวิกฤติสูงมากเช่นเดียวกัน เช่น โปรท น้ำ เอทานอล เบนซีน แรงระหว่างโมเลกุลมีความแข็งแรงมาก จึงทำให้อุณหภูมิวิกฤติแข็งแรงมากกว่าสารชนิดอื่น ๆ (ทวิชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2560 : 259 และปริญญา อรุณวิสุทธิ์, 2553 : 214)

ตารางที่ 6.4 ค่าอุณหภูมิวิกฤติและความดันวิกฤติของสารบางชนิด

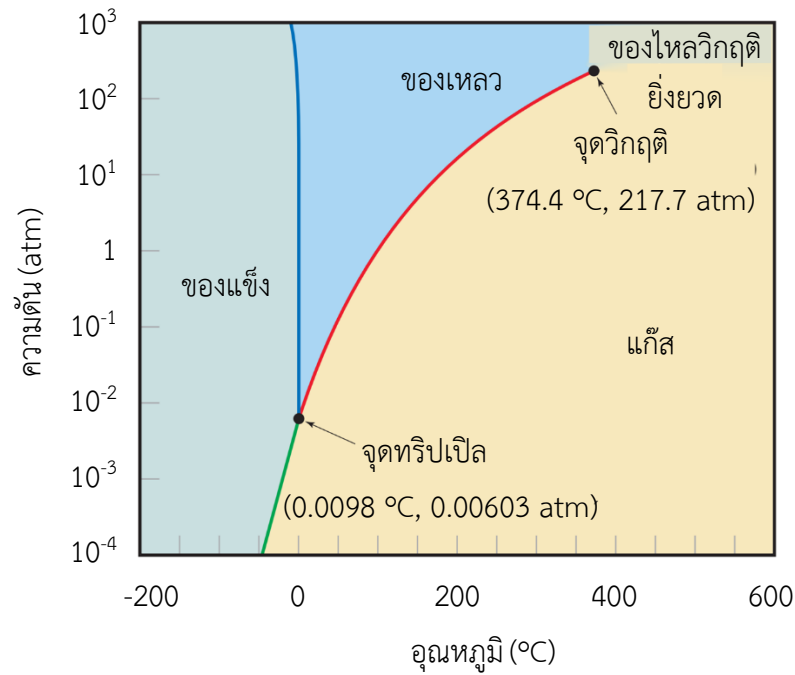
สาร	อุณหภูมิวิกฤติ ($^{\circ}\text{C}$)	ความดันวิกฤติ (atm)
แอมโมเนีย (NH_3)	132.4	111.5
อาร์กอน (Ar)	-186	6.3
เบนซีน (C_6H_6)	288.9	47.9
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	31.0	73.0
ไดเอทิล อีเทอร์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$)	192.6	35.6
เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)	243	63.0
ปรอท (Hg)	1462	1036

ตารางที่ 6.4 (ต่อ)

สาร	อุณหภูมิวิกฤติ (°C)	ความดันวิกฤติ (atm)
มีเทน (CH ₄)	-83.0	45.6
แก๊สไฮโดรเจน (H ₂)	-239.9	12.8
แก๊สไนโตรเจน (N ₂)	-147.1	33.5
แก๊สออกซิเจน (O ₂)	-118.8	49.7
ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (SF ₆)	45.5	37.6
น้ำ (H ₂ O)	374.4	219.5

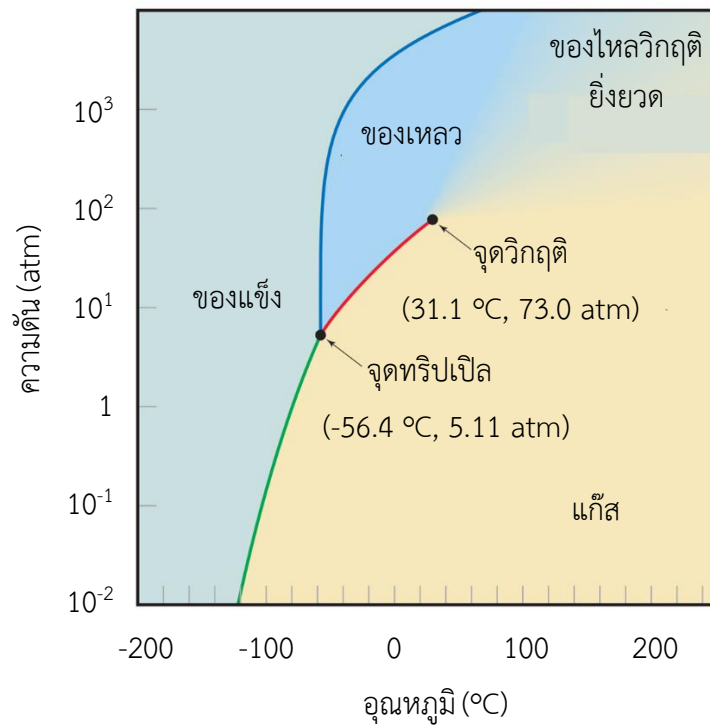
ที่มา : ดัดแปลงจาก Chang, R. (2010 : 495)

ภาพประกอบที่ 6.19 แสดงแผนภาพวัฏภาคของน้ำ พื้นที่แบ่งออกเป็น 3 ส่วน แต่ละส่วนแทนสารบริสุทธิ์ในสถานะต่าง ๆ มีเส้นสีเขียว สีฟ้า และสีแดง แบ่งวัฏภาคทั้งสองที่อยู่ร่วมกันในสมดุลพบว่า มีจุดทรีโพลอยู่ที่อุณหภูมิ 0.0098 องศาเซลเซียส และความดัน 0.00603 บรรยากาศ และมีจุดวิกฤติที่อุณหภูมิ 374.4 องศาเซลเซียส และความดัน 217.7 บรรยากาศ แผนภาพนี้จะช่วยทำนายการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคที่จะเกิดขึ้น เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดัน (Brown, T.L. et al., 2015 : 465) ส่วนภาพประกอบที่ 6.20 แสดงแผนภาพวัฏภาคของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) มีลักษณะคล้ายกับวัฏภาคของน้ำ แต่แตกต่างกันตรงการแบ่งพื้นที่เป็น 3 ส่วน พบว่ามีจุดทรีโพลอยู่ที่อุณหภูมิ -56.4 องศาเซลเซียส และความดัน 5.11 บรรยากาศ และมีจุดวิกฤติที่อุณหภูมิ 31.1 องศาเซลเซียส และความดัน 73.0 บรรยากาศ (Brown, T.L. et al., 2015 : 466)



ภาพประกอบที่ 6.19 แผนภาพวัฏภาคของน้ำ (H_2O)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T.L. et al. (2015 : 465)



ภาพประกอบที่ 6.20 แผนภาพวัฏภาคของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, T.L. et al. (2015 : 466)

สรุปท้ายบท

โมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่ไปมาจึงเกิดสมบัติการไหลได้ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปตามภาชนะที่บรรจุ แต่ยังคงมีมวลและปริมาตรคงที่ เนื่องจากโมเลกุลของของเหลวมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลาทำให้โมเลกุลเกิดการชนกันมีพลังงานจลน์สูงกว่าโมเลกุลอื่น ๆ ซึ่งมีความมากกว่าแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลจนทำให้โมเลกุลหลุดออกจากผิวหน้าของของเหลวนั้นได้ เรียกว่า การระเหย หรือการกลายเป็นไอ เมื่อโมเลกุลของของเหลวกลายเป็นไอ จะทำให้เกิดความดันไอส่งผลให้อุณหภูมิของของเหลวจะเพิ่มขึ้น การเดือดของของเหลวจะมีฟองไอบนของเหลว แต่การระเหยจะเกิดขึ้นเฉพาะผิวหน้าของของเหลวเท่านั้น โดยจุดเดือดเป็นอุณหภูมิที่ความดันไอของของเหลวมีค่าเท่ากับ ความดันภายนอก เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนอนุภาคของไอจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้โอกาสที่โมเลกุลของไอบางโมเลกุลรวมตัวกันเปลี่ยนเป็นของเหลวเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยจะมีการคายความร้อนออกมา เรียกว่า การควบแน่น

ของเหลวมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลทำให้ของเหลวมีสมบัติต่าง ๆ ได้แก่

1. แรงตึงผิว เกี่ยวข้องกับแรง 2 ชนิด ได้แก่ แรงยึดติดเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลต่างชนิด และแรงเชื่อมแน่นเป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลชนิดเดียวกัน

2. ความหนืดเป็นค่าที่บ่งบอกความต้านทานต่อการไหลของของเหลว

สารจะมีการเปลี่ยนวัฏภาค จากวัฏภาคหนึ่งไปยังอีกวัฏภาคหนึ่ง มีการดูดพลังงานเข้าไป หรือ การคายพลังงานออกมา แผนภาพวัฏภาคใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างของแข็ง ของเหลว และแก๊ส ในแผนภาพเดียวกัน โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความดันทำให้สารเปลี่ยนสถานะ สารแต่ละชนิดจะมีแผนภาพวัฏภาคเป็นของตัวเอง แผนภาพจะช่วยทำนายการเปลี่ยนแปลงวัฏภาคที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความดัน

คำถามท้ายบทที่ 6

1. ของเหลวถูกบีบอัดได้ง่ายหรือยากกว่าแก๊ส เพราะเหตุใด
2. จงอธิบายว่า เพราะเหตุใดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับของเหลวจึงเกิดการระเหยได้ดีกว่าที่อุณหภูมิต่ำ
3. เมื่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลต่อความดันและจุดเดือดต่อของเหลวอย่างไร
4. เพราะเหตุใด H_2O จึงมีจุดเดือดสูงกว่า CO_2
5. จงหาความดันไอของเอทานอล (C_2H_5OH) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อเอทานอลมีจุดเดือด 78.3 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ความร้อนของการกลายเป็นไอเท่ากับ 39.3 กิโลจูลต่อโมล
6. จงหาความร้อนของการกลายเป็นไอของเบนซีน (C_6H_6) ถ้าความดันไอของเบนซีนเท่ากับ 500 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความดัน 760 มิลลิเมตรปรอท ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส
7. เพราะเหตุใดรูปร่างส่วนหัวและส่วนโค้งของน้ำและปรอทในหลอดแก้วจึงมีความแตกต่างกัน
8. จงบอกชื่อกระบวนการเปลี่ยนวัฏภาคที่เกิดกระบวนการดูดพลังงานมาทั้งหมด
9. จงเรียงค่าอุณหภูมิจากมากไปน้อยของปรอท เอทานอล และอะซิโตน
10. จงบอกประโยชน์ที่ได้จากแผนภาพวัฏภาค

เอกสารอ้างอิง

- กฤษชัย พูลเจริญ. (2547). **ชุดตำราจลโลกวิทยาศาสตร์องค์ประกอบพื้นฐานทางเคมี**. กรุงเทพมหานคร : เพียร์สัน เอ็ดดูเคชั่น อินโดไชน่า.
- กฤษณา ชุตินา. (2556). **หลักเคมีทั่วไป 1**. (พิมพ์ครั้งที่ 19). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ทบวงมหาวิทยาลัย. (2541). **เคมี 1**. (พิมพ์ครั้งที่ 11). กรุงเทพมหานคร : อักษรเจริญทัศน์.
- ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ. (2560). **เคมี 1 12/e**. กรุงเทพมหานคร : แมคกรอ-ฮิล.
- ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. (2554). **เทคนิคการแยก**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ประภาณี เกษมศรี ณ อยุธยา และคณะ. (2555). **เคมีทั่วไปเล่ม 1**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปริญญา อรุณวิสุทธิ. (2553). **เทอร์โมไดนามิกส์เคมีเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พิทยา สีสด และคณะ. (2555). **เคมีเบื้องต้น**. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- สุนันท์ สายกระสุน. (2560). **เคมีเชิงฟิสิกส์ 1**. มหาสารคาม : ตักสิลาการพิมพ์.
- อินทรา หาญพงษ์พันธ์ และบัญชา พูลโกคา. (2554). **เคมีทั่วไปสำหรับนิสิตวิศวกรรมศาสตร์**. (พิมพ์ครั้งที่ 9). กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- Bauer, R.C., et al. (2013). **Introduction to Chemistry: A Conceptual approach**. (3th Edition). United State of America : McGraw-Hill Higher Education.
- Brown, T.L., et al. (2015). **Chemistry The Central Science**. (13th Edition). United State of America : Pearson Education.
- Chang, R. (2010). **Chemistry**. (10th Edition). United State of America : McGraw-Hill Higher Education.
- Ebbing, D.D. and Gammon, S.D. (2007). **General Chemistry**. (9th Edition). United State of America : Houghton Mifflin Company.
- Goldberg, D.R. (2007). **Fundamentals of Chemistry**. (5th Edition). United State of America : The McGraw-Hill Higher Companies.

