

## บทที่ 3 น้ำ

**วัตถุประสงค์** เมื่ออ่านบทนี้ตลอดจนทำแบบฝึกหัดแล้ว นักศึกษาจะต้อง

1. สามารถใช้แนวความคิดในเรื่องพันธะไฮโดรเจนไปอธิบายถึงคุณสมบัติของน้ำ และน้ำแข็งที่แตกต่างไปจากของเหลวอื่น ๆ
2. อธิบายน้ำกระด้าง และวิธีแก้ น้ำกระด้างให้เป็นน้ำอ่อน
3. แยกแยะการละลายของสารประเภทต่าง ๆ ในน้ำได้
4. อธิบายปรากฏการณ์ในชีวิตประจำวันบางอย่างได้ เช่น อาการเสียวฟันเมื่ออมลูกกวาด อาการแสบแผลเมื่อถูกน้ำทะเล โดยใช้หลักการของออสโมซิส
5. เขียนการแบ่งหมู่อนุภาคนาโนขนาดเล็ก
6. บอกความแตกต่างระหว่างสารละลายที่แท้จริงกับสารละลายคอลลอยด์
7. จำแนกคอลลอยด์ชนิดต่าง ๆ
8. อธิบายวิธีการแยกอิมัลชันขนาดเล็ก ๆ ออกจากสารชีวโมเลกุลขนาดใหญ่โดยใช้หลักการของไดอะไลซิส
9. แสดงระบบการทำงานของไตเทียม

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นของชีวิต แม้แต่พวกสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในทะเลทรายก็จะมีน้ำเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ เซลล์ของสิ่งมีชีวิตจะสามารถทำงานได้ในสภาพปกติก็โดยต้องอาศัยน้ำเป็นสำคัญ ถ้าเซลล์สูญเสียน้ำไปมาก ๆ เมื่อไรก็ตาม เมื่อนั้นการทำงานของเซลล์จะหยุดลง และสภาพความมีชีวิตจะสิ้นสุดไปด้วย แต่อย่างไรก็ดี จะมีเซลล์บางชนิด โดยเฉพาะพวกที่เป็นสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ (microorganism) ที่จะขาดน้ำได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อได้น้ำกลับมาก็จะกลับมีความว่องไวขึ้นอีกครั้งหนึ่ง

### 3.1 โครงสร้างของน้ำ

โมเลกุลของน้ำประกอบด้วยไฮโดรเจน 2 อะตอมและออกซิเจน 1 อะตอม โดยที่ออกซิเจนอะตอมนี้เป็นอิเล็กโตรเนกาตีฟอะตอม (electronegative atom) ดังนั้นก็จะพยายามดึงเอา

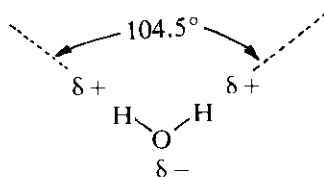
CM 351

33

CM 351

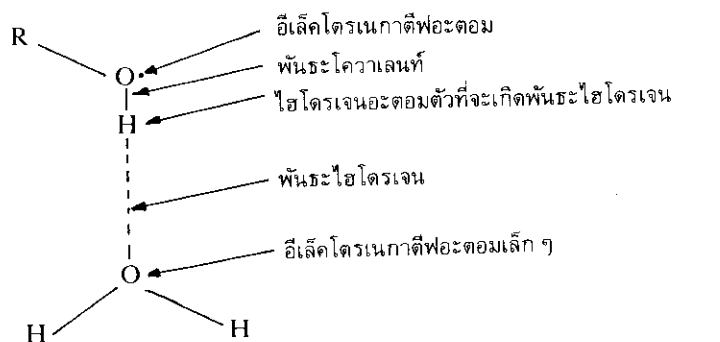
33

อิเล็กตรอนมาจากไฮโดรเจนอะตอมทั้งสอง ทำให้ไฮโดรเจนอะตอมมีประจุบวก ส่วนออกซิเจนอะตอมก็จะมีประจุลบ เมื่อไฮโดรเจนอะตอมทั้งสองมีประจุบวกเหมือนกัน นิวเคลียสของทั้งสองจึงพยายามที่จะผลักกัน ทำให้โมเลกุลของน้ำอยู่ในรูปที่ทำมุมเท่ากับ  $104.5^\circ$  ดังรูป



การที่ทางด้านไฮโดรเจนมีประจุบวก และด้านออกซิเจนมีประจุลบนี้ ทำให้น้ำเป็นโพลาร์โมเลกุล (polar molecule) เมื่อเป็นโพลาร์โมเลกุล น้ำจึงพยายามหาสารที่มีอิเล็กตรอนมาทำพันธะกับตัวเอง ซึ่งสารนั้นอาจจะเป็นน้ำโมเลกุลที่อยู่ใกล้เคียง หรือเป็นสารชนิดอื่นที่มีอิเล็กตรอนว่างอยู่พอที่จะเกิดพันธะได้ พันธะที่เกิดขึ้นนี้คือพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) ซึ่งเป็นพันธะที่สำคัญมากในปฏิกิริยาชีวเคมี

พันธะไฮโดรเจน เป็นพันธะที่เกิดขึ้นระหว่างไฮโดรเจนอะตอม กับอิเล็กโตรเนกาตีฟอะตอมเล็ก ๆ เช่น ออกซิเจน ในไตรเจน ฟลูออรีน โดยที่ไฮโดรเจนอะตอมตัวนั้นจะต้องทำพันธะโควาเลนต์อยู่กับอิเล็กโตรเนกาตีฟอะตอม ตัวอื่นอยู่ ดังรูป



ตารางที่ 3 - 1 จะแสดงค่าอิเล็กโตรเนกาตีฟิตี (electronegativity) ของธาตุบางชนิด ซึ่งค่านี้บอกถึงความสามารถในการดึงดูดอิเล็กตรอนเข้าสู่ นิวเคลียสของอะตอมของธาตุนั้น ๆ จากตารางจะเห็นว่าฟลูออรีนมีความเป็นอิเล็กโตรเนกาตีฟมากที่สุด คือมีค่าอิเล็กโตรเนกาตีฟิตีถึง 4.0

| ธาตุ         | ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี |
|--------------|------------------------|
| ฟลูออรีน (F) | 4.0                    |
| ออกซิเจน (O) | 3.5                    |
| ไนโตรเจน (N) | 3.0                    |
| คาร์บอน (C)  | 2.5                    |
| กำมะถัน (S)  | 2.5                    |
| ฟอสฟอรัส (P) | 2.1                    |
| ไฮโดรเจน (H) | 2.1                    |

ตารางที่ 3 - 1 ค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตีของธาตุหลักที่เป็นส่วนประกอบของชีวโมเลกุล

พันธะไฮโดรเจนนี้ถ้าเปรียบเทียบกับพันธะโควาเลนต์แล้ว พันธะไฮโดรเจนจะอ่อนแอกว่าคือมีพลังงานพันธะ (bond energy) เพียง 5 kcal/mol ในขณะที่พันธะโควาเลนต์ระหว่าง O - H จะมีพลังงานพันธะ 110 Kcal/mol (ตารางที่ 3 - 2) แต่อย่างไรก็ดี พันธะไฮโดรเจนนี้ก็แข็งแรงพอที่จะทำให้เกิดคุณสมบัติเฉพาะตัวของน้ำได้ ตัวอย่างก็คือ น้ำเป็นสารชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถอยู่ในสถานะทั้งสามคือ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซได้ ในช่วงอุณหภูมิที่ไม่สูงหรือต่ำจนเกินไปนัก ส่วนสารชนิดอื่น ๆ ถ้าจะทำให้อยู่ในทั้งสามสถานะจะต้องมีการใช้อุณหภูมิหรือแรงกดดันสูง ๆ ที่ทำได้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น

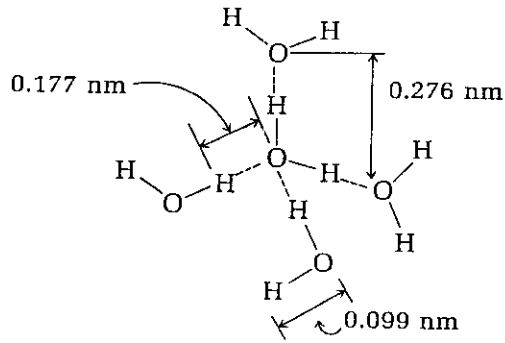
|                                     | ชนิดของพันธะ                       | พลังงานโดยประมาณ<br>(Kcal/mole) |
|-------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| พันธะโควาเลนต์ (ซึ่งแข็งแรง)        | H <sub>3</sub> C-CH <sub>3</sub>   | 88                              |
|                                     | H-H                                | 104                             |
|                                     | H <sub>3</sub> C-H                 | 104                             |
|                                     | O-H                                | 110                             |
|                                     | H <sub>2</sub> C = CH <sub>2</sub> | 163                             |
|                                     | N ≡ N                              | 226                             |
| พันธะน็อนโควาเลนต์ (ซึ่งอ่อนแอกว่า) | พันธะไฮโดรเจน                      | 5                               |
|                                     | พันธะอ็อนนิก                       | 5                               |
|                                     | พันธะ hydrophobic                  | 1-3                             |
|                                     | พันธะแวนเดอร์ว็อลส์                | 1                               |

ตารางที่ 3 - 2 พลังงานพันธะของพันธะบางชนิด

ถ้าเปรียบเทียบจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำกับสารประกอบไฮไดรด์ (hydride) อื่น ๆ เช่น H<sub>2</sub>S จะพบว่า น้ำมีจุดเยือกแข็งและจุดเดือดสูงกว่า H<sub>2</sub>S มาก (ตารางที่ 3 - 3) การที่จุดเดือดของน้ำสูงนี้ แสดงว่า น้ำมีการจัดเรียงตัวอย่างมีระเบียบ โดยน้ำโมเลกุลหนึ่ง ๆ จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้กับน้ำโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงถึง 4 โมเลกุลด้วยกัน ทำให้น้ำมีแรงดึงดูดระหว่างกันสูง ดังนั้นการที่จะทำให้แต่ละโมเลกุลของน้ำแยกออกจากกันได้ จึงต้องใช้พลังงานความร้อน (thermal energy) สูงกว่าที่สารอื่นใช้

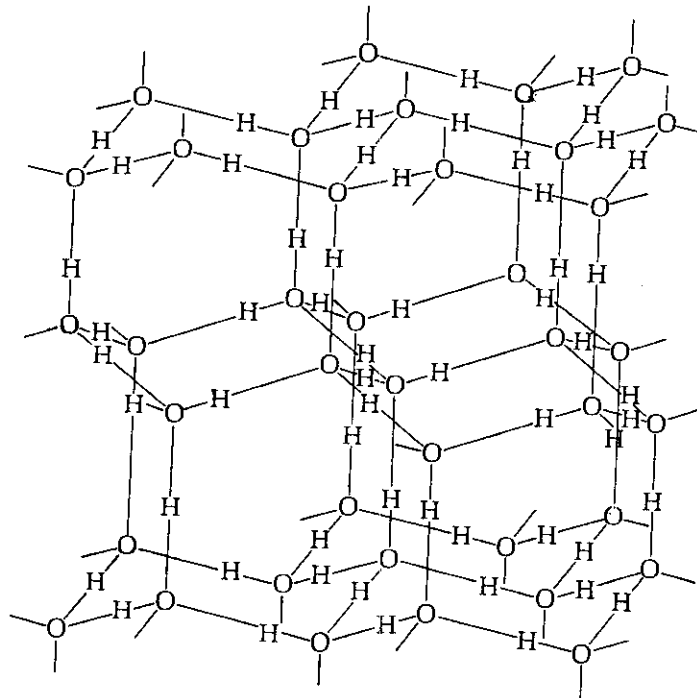
|                  | จุดเยือกแข็ง (°C) | จุดเดือด (°C) |
|------------------|-------------------|---------------|
| H <sub>2</sub> O | 0                 | 100           |
| H <sub>2</sub> S | -83               | -62           |

ตารางที่ 3 - 3 ตารางแสดงการเปรียบเทียบจุดเยือกแข็งและจุดเดือดของน้ำกับสารประกอบไฮไดรด์ตัวหนึ่งคือ H<sub>2</sub>S



โครงสร้าง tetrahedral ของน้ำ

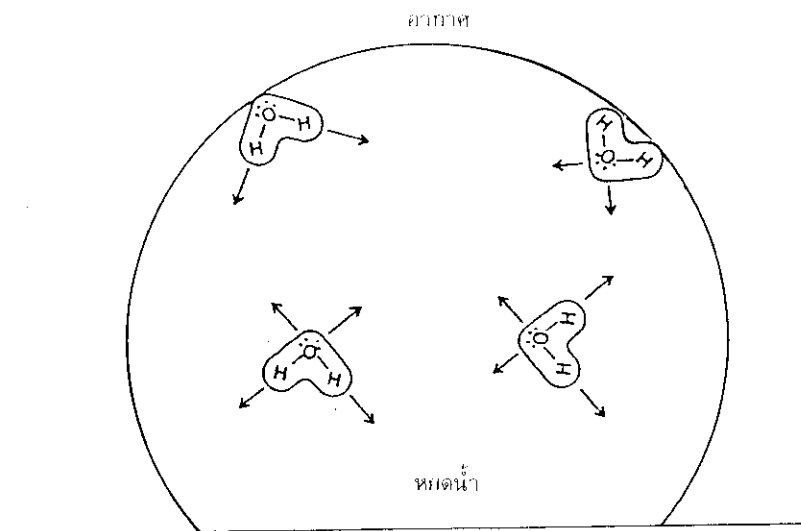
เวลาที่น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง การจัดเรียงตัวของน้ำจะเปลี่ยนไปเป็น open lattice ทำให้น้ำแข็งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำ ซึ่งเป็นผลคตินางที่ว่า ตามทะเลสาบหรือบ่อใหญ่ ๆ ในฤดูหนาวเมื่อน้ำกลายเป็นน้ำแข็งแล้ว น้ำแข็งจะลอยอยู่บนผิวน้ำ และทำน้ำที่เป็นฉนวนให้แก่ น้ำที่อยู่ข้างใต้ด้วย ทำให้น้ำไม่แข็งไปหมดทั้งทะเลสาบ สัตว์น้ำจึงยังสามารถมีชีวิตอยู่ได้



โครงสร้างของน้ำแข็ง

ลักษณะอีกประการหนึ่งของน้ำก็คือมีแรงตึงผิว (surface tension) สูง แรงตึงผิวเกิดจากการที่โมเลกุลที่ผิวหน้า (surface) ของของเหลว จะถูกดึงดูดได้จากโมเลกุลอื่นที่อยู่ภายในของเหลวเท่านั้น (รูปที่ 3 - 1) ผิดกับโมเลกุลที่อยู่ภายในของเหลวอันสามารถดึงดูดจากโมเลกุลที่อยู่ข้าง ๆ ได้ในทุกทิศทุกทางเท่า ๆ กัน ดังนั้นโมเลกุลที่ผิวหน้าจึงมีแนวโน้มที่จะถูกดึงลง และทิศทางการเคลื่อนที่ก็จะถูกจำกัด ซึ่งเป็นผลทำให้ผิวหน้าของของเหลวเกิดการรวมตัวกัน สร้างเป็นชั้นที่มีความหนาแน่นสูง แล้วสถานะของแรงตึงผิวก็จะเกิดขึ้น ผิวหน้าของของเหลวจะมีคุณสมบัติคล้ายผิวหนัง คือยืดหยุ่นได้ และจะไม่มีการแตกหรือแยกออกจากกัน เช่น ถ้าค่อย ๆ วางเข็มเย็บผ้าลงบนผิวหน้าของน้ำ จะเห็นว่าเข็มจะลอยอยู่ได้โดยไม่จมลงไปข้างล่าง หรือเวลาที่ของเหลวตกผ่านอากาศ เช่น ฝน จะตกลงมาในรูปของหยดน้ำ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากน้ำมีแรงตึงผิวสูงนั่นเอง

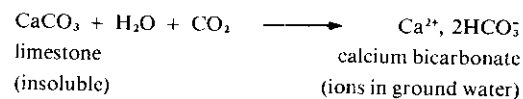
เมื่อต้องการการเปลี่ยนแปลงสถานะของของเหลวให้เป็นก๊าซ จะต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งเรียกว่า Latent heat of evaporation มาทำให้แรงตึงผิวหมดสภาพไป โดยการทำให้โมเลกุลที่ผิวหน้าของของเหลวนั้นเคลื่อนไหวได้เป็นอิสระ



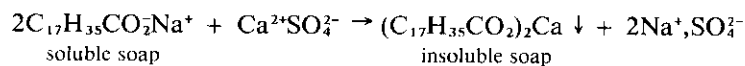
รูปที่ 3 - 1 โมเลกุลของน้ำที่ผิวหน้าของของเหลว จะได้รับแรงดึงดูดไม่เท่ากันในทุกทิศทาง เพราะจะไม่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับอากาศได้ โมเลกุลเหล่านี้จะถูกดึงเข้าหากภายในของเหลว ทำให้เกิดแรงตึงผิวขึ้น

### 3.2 น้ำกระด้าง (hard water)

คือน้ำที่มีไอออน (ion) ของโลหะบางชนิด เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม หรือเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) ละลายปนอยู่ โดยไอออนเหล่านี้มักจะรวมตัวอยู่กับไอออนประจุลบพวกไบคาร์บอเนต คลอไรด์ หรือซัลเฟต น้ำกระด้างจะพบในบริเวณบางแห่ง โดยเฉพาะที่ที่มีหินปูนอยู่เป็นจำนวนมาก ทั้งนี้เพราะเมื่อฝนตก น้ำฝนซึ่งมีคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ด้วย จะไหลผ่านไปตามหินปูนนั้น แล้วชะเอาบางส่วนออกมาเป็นแคลเซียมไบคาร์บอเนตไอออนละลายอยู่ในน้ำบาดาล ทำให้น้ำบาดาลในบริเวณดังกล่าว เกิดความกระด้างขึ้น ดังสมการ



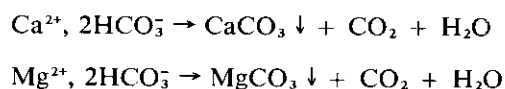
ลักษณะเด่นของน้ำกระด้างก็คือ ไม่เกิดฟองกับสบู่ เนื่องจากสบู่เป็นเกลือโซเดียม หรือโปตัสเซียมของกรดอินทรีย์ ตัวอย่างได้แก่ โซเดียมสเตียเรท (sodium stearate,  $C_{17}H_{35}CO_2Na^+$ ) โดยปกติเกลือโซเดียมและโปตัสเซียมทุกชนิดจะละลายน้ำได้ แต่เมื่อใช้สบู่กับน้ำกระด้าง ไอออนของโลหะในน้ำกระด้างจะเข้าไปแทนที่ไอออนประจุบวกของสบู่ ทำให้สบู่ไม่ละลายน้ำ และตกตะกอนลงมา ดังปฏิกิริยา



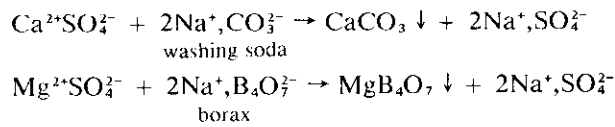
ถ้าจะให้สบู่เกิดฟองกับน้ำกระด้าง จะต้องใช้สบู่จำนวนมาก เพื่อให้ไอออนของสบู่ไปทำปฏิกิริยากับไอออนของน้ำกระด้างจนหมดเสียก่อน จากนั้นสบู่จึงจะเริ่มเกิดฟอง สบู่ที่ตกตะกอนลงมานี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดคราบสกปรกตามเสื้อผ้าหรือในอ่างอาบน้ำได้

น้ำกระด้างสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

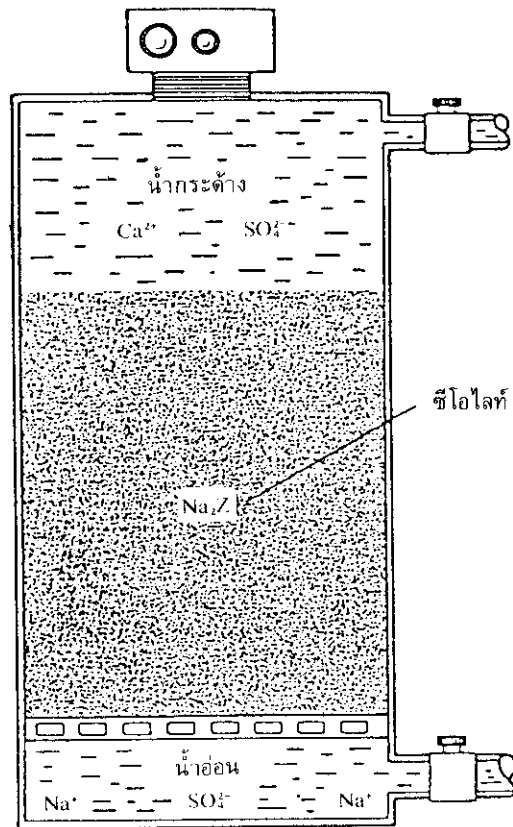
3.2.1 น้ำกระด้างชั่วคราว จะมีไอออนลบเป็นไบคาร์บอเนตไอออน น้ำกระด้างชนิดนี้แก้ได้โดยการต้ม เนื่องจากความร้อนจะไปสลายไบคาร์บอเนตที่ละลายอยู่ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอเนตตกตะกอนลงมา ดังปฏิกิริยา



3.2.2 น้ำกระด้างถาวร จะมีไอออนลบเป็นคลอไรด์หรือซัลเฟต พวกนี้แม้จะต้มก็ไม่หายกระด้าง แต่ต้องใช้สารบางชนิด เช่น บอแรกซ์ (borax) โซดาซักผ้า หรือแอมโมเนียมาทำปฏิกิริยา จึงจะกลายเป็นน้ำอ่อนได้



ตะกอนจากน้ำกระด้างจะติดอยู่ตามเสื้อผ้า หรือรูขุมขนบนผิวหนังมนุษย์ ดังนั้นจึงมีวิธีแก้ น้ำกระด้าง โดยกำจัดตะกอนที่เกิดขึ้นออกไปด้วย วิธีนี้ได้แก่การใช้เรซินแบบแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange resin) ตัวหนึ่ง คือ ซีโอไลท์ (Zeolite) อันเป็นซิลิเกตที่ซับซ้อน (complex silicate) โดยให้น้ำกระด้างผ่านลงไปจนถึงที่บรรจุซีโอไลท์ (รูปที่ 3 - 2) จะทำให้อิออนพวกแคลเซียม แมกนีเซียม หรือเหล็กที่มีอยู่ในน้ำ ไปจับตัวและแทนที่กับโซเดียมไอออนในเรซินนั้น น้ำที่ได้ออกมาจากเครื่องกรองก็จะกลายเป็นน้ำอ่อน ที่ไม่มีตะกอนปนอยู่ด้วยเลย สำหรับเรซินที่ใช้ไปนาน ๆ แล้วจะสามารถทำให้กลับสู่สภาพเดิมได้โดยผ่าน NaCl ลงไป



รูปที่ 3 - 2 เครื่องมือเปลี่ยนน้ำกระด้างให้เป็นน้ำอ่อน โดยใช้ซีโอไลท์เป็นเรซิน



อไออนตต่าง ๆ ที่มไออยู่ในน้ำกระด้าง จะละลายได้น้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น และเมื่อน้ำระเหยไปเป็นไอ ตะกอนเหล่านี้ก็จะตกทับถมกันได้เป็นจำนวนมาก ซึ่งมักจะทำให้เกิดปัญหาตามหม้อน้ำในโรงงานอุตสาหกรรมหรือตามท่อส่งน้ำ ในบางครั้งตะกอนเหล่านี้จะถึงกับทำให้ท่อระเบิดได้

### 3.3 คุณสมบัติที่สำคัญในทางชีววิทยาของน้ำ

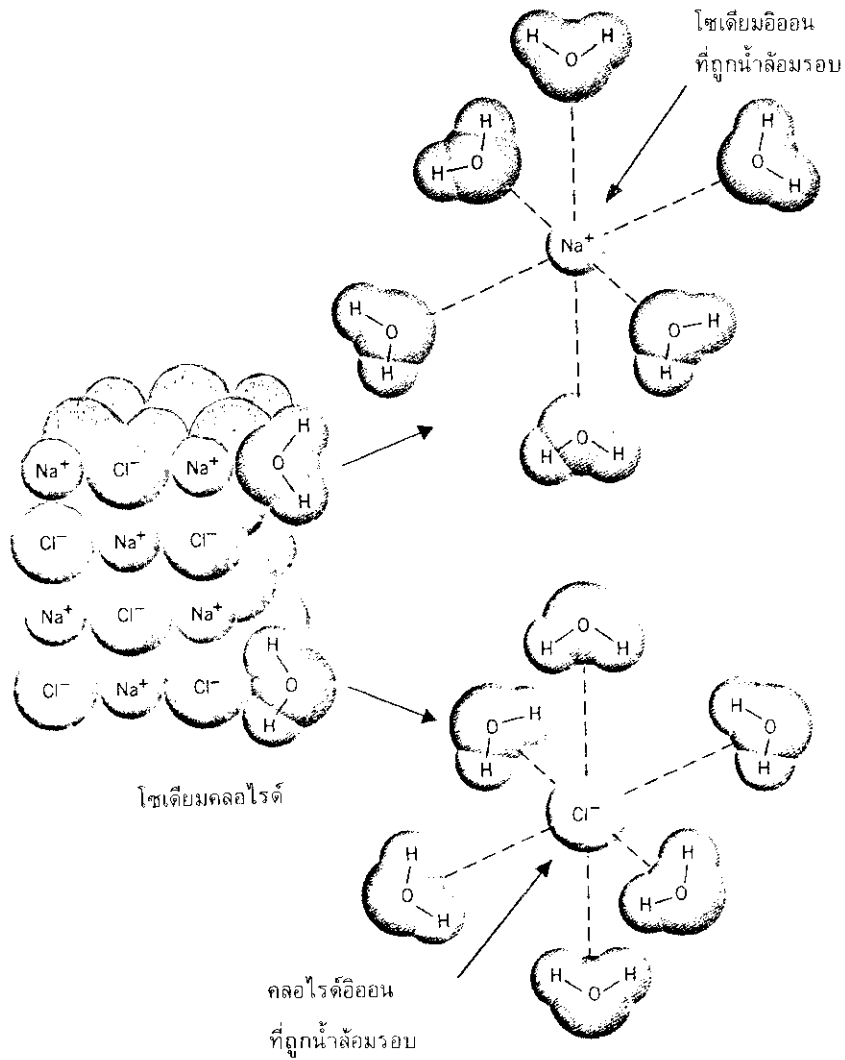
1. น้ำเป็นตัวควบคุมอุณหภูมิของร่างกายที่ดีที่สุด เพราะ
  - ก. น้ำเป็น "heat buffer" ที่ดี คือน้ำมีความร้อนจำเพาะ (specific heat) ที่สูงที่สุดเมื่อเทียบกับของเหลวอื่น ๆ ความร้อนจำเพาะคือความร้อนที่ใช้ในการที่จะทำให้น้ำ 1 กรัมมีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส นั่นก็คือความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาต่าง ๆ ภายในเซลล์จะทำให้อุณหภูมิของร่างกาย (คืออุณหภูมิของน้ำ) สูงขึ้นได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น
  - ข. อากาศสามารถที่จะอุ้มน้ำไ้ได้มากกว่าไอของเหลวชนิดอื่น จึงทำให้น้ำสามารถระเหยได้ดี ทำใหร่างกายถ่ายเทความร้อนออกได้มาก
2. น้ำเป็นสารที่หาได้ง่ายที่สุดในบรรดาของเหลวชนิดต่าง ๆ
3. น้ำเป็นตัวทำละลาย (solvent) ที่ดีกว่าของเหลวอื่น ๆ ก็ทำให้เกิดได้ทั้งสารละลายเนื้อเดียว (homogeneous solution) และสารละลายคอลลอยด์ (colloidal solution)
4. น้ำจะช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมี โดยปฏิกิริยาส่วนใหญ่ในร่างกายมนุษย์จะเกิดได้ต้องมีน้ำมาเกี่ยวข้องเสมอ
5. น้ำเป็นตัวช่วยหล่อลื่น ลดความฝืด (friction) ตามส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย เช่น ตามข้อต่อ เป็นต้น

### 3.4 การละลายของสารต่าง ๆ ในน้ำ

น้ำเป็นโพลาร์โมเลกุล ดังนั้นจะสามารถละลายผลึกของเกลือต่าง ๆ และสารประกอบไอออนิกได้ดี ตัวอย่างเช่น NaCl เมื่อใส่ลงในน้ำ จะเกิดแรงดึงดูด (electrostatic attraction) ระหว่างประจุของน้ำกับ  $\text{Na}^+$  หรือ  $\text{Cl}^-$  ไอออน (รูปที่ 3 - 3) ได้เป็น  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  ไอออนซึ่งมีน้ำล้อมรอบ ไอออนประเภทนี้มีความคงตัวมาก จนสามารถเอาชนะแรงดึงดูดเดิมระหว่าง  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  ที่จะรวมกันเป็นผลึก NaCl ได้ ถ้าจะกล่าวในอีกคำพูดหนึ่งก็คือ น้ำเป็นตัวต่อต้านแรงดึงดูดระหว่างไอออนที่มีประจุบวกและลบได้ดี ซึ่งอธิบายได้จากสูตร

$$F = \frac{e_1 e_2}{D r^2}$$

- เมื่อ  $F$  = แรงดึงดูดระหว่าง 2 อีออนที่มีประจุต่างกัน  
 $e_1, e_2$  = ประจุของอีออน  
 $r$  = ระยะห่างระหว่างอีออนทั้งสอง  
 $D$  = ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (dielectric constant) ซึ่งเป็นค่าเฉพาะตัว



รูปที่ 3-3 เมื่อใส่ NaCl ลงในน้ำ โซเดียมอีออนและคลอไรด์อีออนจะแยกออกจากกัน เนื่องจากต่างก็จะถูกล้อมรอบด้วยน้ำ

น้ำมีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ( $D = 80$ ) (ตารางที่ 3 - 4) เมื่อเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น เช่น เบนซีน (benzene) ซึ่งมี  $D = 2.3$  ดังนั้นถ้าเอา NaCl ละลายในน้ำ แรงดึงดูด ( $F$ ) ระหว่าง  $\text{Na}^+$  และ  $\text{Cl}^-$  จะเป็น  $\frac{1}{40}$  เท่าของ  $F$  ที่ได้เมื่อเอา NaCl ละลายในเบนซีน นั่นก็คือ NaCl จะละลายในน้ำได้ดีกว่าในเบนซีน

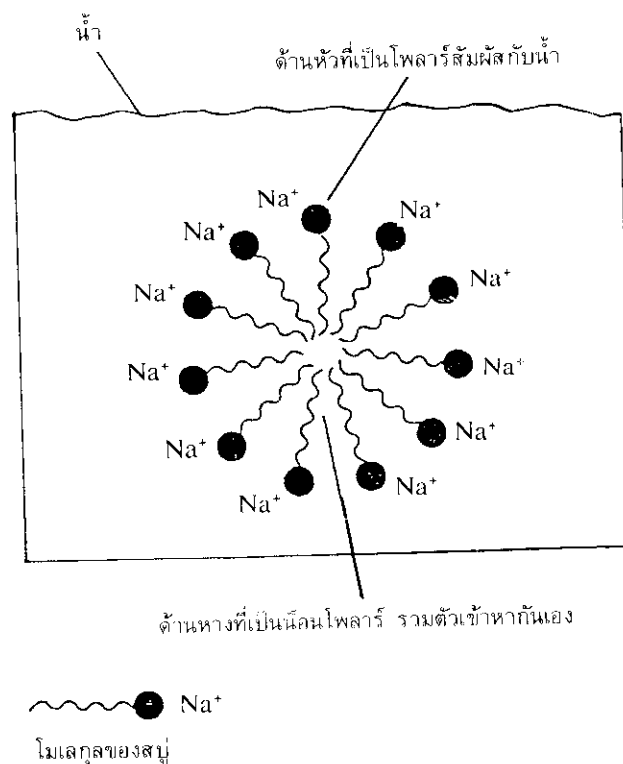
| สาร                 | ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก ( $D$ ) |
|---------------------|------------------------------|
| น้ำ                 | 80.4                         |
| เมทานอล             | 33.6                         |
| เอทานอล             | 24.3                         |
| แอมโมเนีย           | 17.3                         |
| กรดอะซิติก          | 6.15                         |
| คลอโรฟอร์ม          | 4.81                         |
| เอทิลเอเทอร์        | 4.34                         |
| เบนซีน              | 2.28                         |
| คาร์บอนเตตระคลอไรด์ | 2.24                         |

ตารางที่ 3 - 4 ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของน้ำเทียบกับตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ

สำหรับสารประกอบไอออนิกนั้น จะมีบางชนิดที่แรงดึงดูดระหว่างไอออนในผลึกมีความแข็งแรงมาก จนทำให้ไม่ละลายในน้ำ ตัวอย่างเช่น  $\text{BaSO}_4$  และ  $\text{CaCO}_3$  นอกจากจะไม่ละลายในน้ำแล้ว ยังมีความทึบแสงต่อรังสีเอ็กซ์ด้วย ดังนั้นจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ โดยถ้าต้องการติดตามระบบทางเดินกะเพาะอาหาร และลำไส้ของผู้ป่วย ก็จะทำให้ผู้ป่วยกิน  $\text{BaSO}_4$  เข้าไปก่อน แล้วจึงฉายรังสีเอ็กซ์ ก็จะสามารถเห็นรูปร่างของระบบทางเดินนั้นได้บนแผ่นฟิล์ม

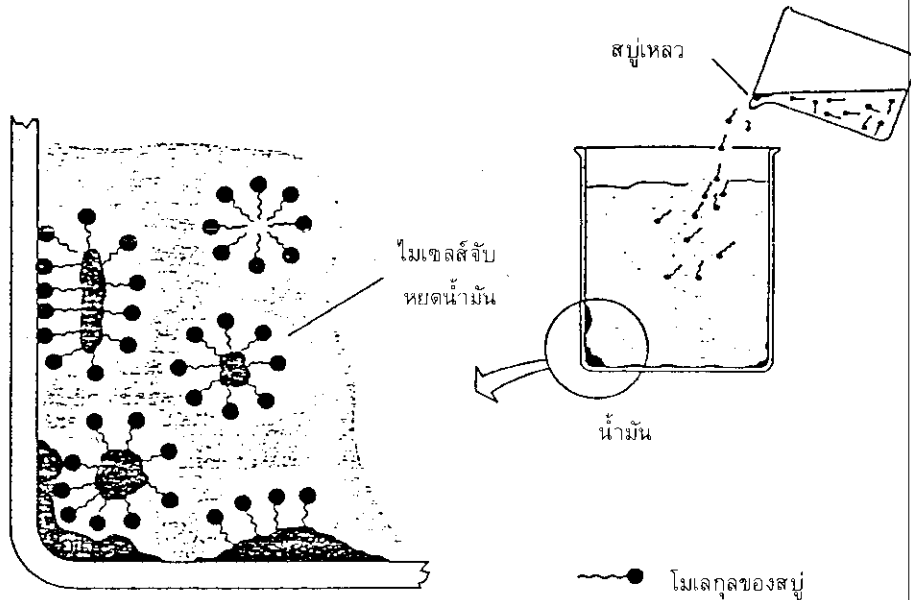
นอกจากเกลือต่าง ๆ และสารประกอบไอออนิกแล้ว น้ำยังสามารถละลายสารประกอบนอไอออนิกที่เป็นโพลาไรซ์ได้ด้วย ตัวอย่างเช่น น้ำตาล อัลกอฮอล์ อัลดีไฮด์ และคีโตน โดยการละลายจะขึ้นอยู่กับหมู่ที่เป็นโพลาไรซ์ของสารเหล่านี้ ซึ่งสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้กับโมเลกุลของน้ำ

สำหรับสารที่เป็นแอมฟิพาธิคโมเลกุล (amphipathic molecule) คือมีทั้งส่วนที่เป็นโพลาร์และเน็อนโพลาร์อยู่ในโมเลกุลนั้น เมื่อใส่ลงในน้ำ จะอยู่ในลักษณะที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micelles) ดังแสดงในรูปที่ 3 - 4 ตัวอย่างของแอมฟิพาธิคโมเลกุล ได้แก่ กลีเซอรอลไขมัน ซึ่งก็คือโมเลกุลของสบู่ นั่นเอง โดยเมื่อเอาสบู่ใส่ลงในน้ำ โมเลกุลของสบู่จะมารวมตัวกัน แล้วหันเอาด้านที่มีประจุซึ่งเรียกว่า polar head ออกสู่น้ำ เพื่อเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้น ส่วนด้านที่ไม่มีประจุซึ่งเรียกว่า nonpolar tail อันได้แก่สายไฮโดรคาร์บอนยาว ๆ นั้น จะหันเข้าไว้ข้างในไม่ให้ออกสู่น้ำ ไมเซลล์จะมีประจุสุทธิเป็นลบ และแขวนลอย (suspend) อยู่ในน้ำได้ก็ด้วยแรงผลักระหว่างกัน สำหรับส่วนไฮโดรคาร์บอนนั้น ก็จะดึงดูดกันโดยแรงแวนเดอร์วาลส์ และเนื่องจากส่วนนี้เป็นส่วนที่ไม่สัมผัสกับน้ำ จึงเรียกแรงนี้ว่า hydrophobic interaction แรงจำพวกนี้ไม่มีทิศทาง ซึ่งต่างจากพันธะไฮโดรเจน แต่อย่างไรก็ตามแรงนี้จะทำให้ไมเซลล์มีความคงตัวสูงมาก



รูปที่ 3 - 4 ลักษณะของไมเซลล์

การทำงานของสบู่ในการกำจัดคราบไขมัน ทำได้โดยที่เมื่อนำสบู่ลงไปใ้ในภาชนะที่เป็อนนั้น โมเลกุลของสบู่จะใช้ด้าน nonpolar tail ซึ่งไม่มีประจุ ไปจับเอาหยดน้ำมันที่ติดอยู่ตามข้าง ภาชนะออกมา แล้วเกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นรูปของไมเซลล์ โดยมีหยดน้ำมันเกาะกันอยู่ตรงกลางของไมเซลล์นั้น (รูปที่ 3 - 5) ด้วยวิธีนี้ก็จะทำให้ภาชนะกลับสะอาดขึ้นมาอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3 - 5 การทำงานของสบู่ในการกำจัดคราบไขมัน

### 3.5 คุณสมบัติทางชีวฟิสิกส์ของสารละลาย

สารละลาย (solution) คือสารที่ประกอบด้วยตัวถูกละลาย (solute) และตัวทำละลาย (solvent) ซึ่งทั้งตัวถูกละลายและตัวทำละลายนี้จะอยู่ในสถานะใดก็ได้ สารละลายจะมีคุณสมบัติต่างไปจากสารบริสุทธิ์หลายประการ ในที่นี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของสารละลายเพียงบางประการเท่านั้นคือ

3.5.1 การแพร่ (diffusion) เป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกละลาย จากที่ ๆ มีความเข้มข้นสูงไปยังที่ ๆ มีความเข้มข้นต่ำ การแพร่เกิดขึ้นได้ทั้งในสถานะที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ ในสถานะที่เป็นของเหลวการแพร่จะเกิดช้ากว่าในสถานะที่เป็นก๊าซ ตัวอย่างเช่น ถ้านำน้ำตาลก้อนใส่ลงไปลงในน้ำ น้ำตาลจะค่อย ๆ ละลายจนกว่าจะได้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน

ตลอด การแพร่ในกรณีนี้เกิดได้ช้า เพราะในของเหลวนั้นโมเลกุลจะอยู่กันอย่างแน่นหนา ทำให้เกิดการชน (collide) กันอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นอาจต้องใช้เวลามากกว่า 1 เดือน ในการที่จะเกิดสารละลายเนื้อเดียวกัน ส่วนการแพร่ที่เกิดในอากาศ เช่น ปล่อยก๊าซไข่เน่า (hydrogen sulfide, H<sub>2</sub>S) ให้แพร่ไป เพียงครู่เดียวก็จะได้กลิ่นของก๊าซนี้แล้ว อัตราเร็วของการแพร่ของ H<sub>2</sub>S ที่อุณหภูมิห้องจะประมาณเท่ากับ 1,000 ไมล์/ชั่วโมง แต่ถ้าอากาศไม่มีการหมุนเวียน (circulation) การแพร่ก็จะเกิดช้าลงกว่าปกติ

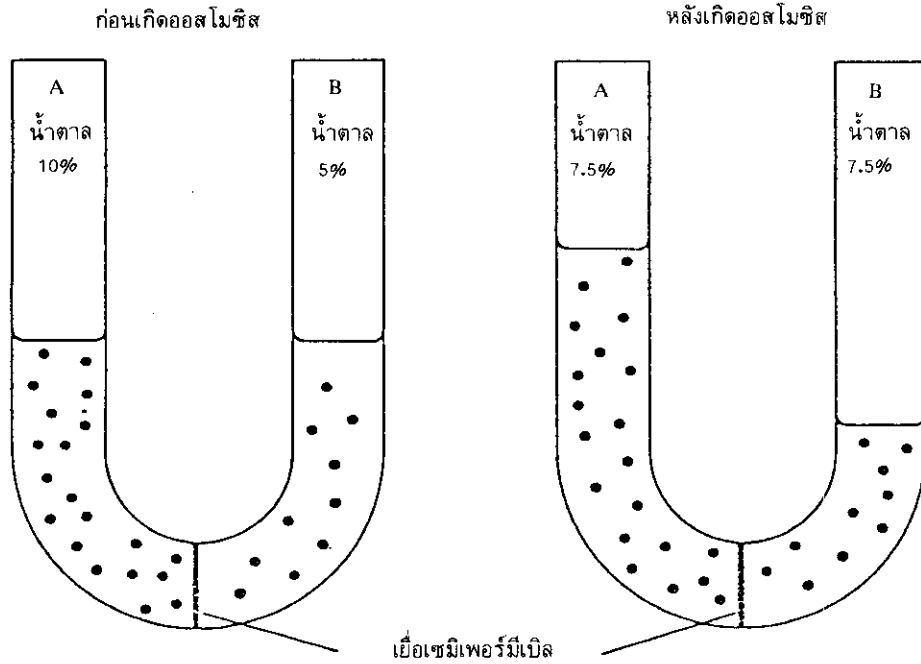
การแพร่สามารถเกิดในทิศทางที่ต้านกับแรงโน้มถ่วงของโลกได้ด้วย เช่น ถ้ามีสารละลายตะกั่วในครุฑเข้มข้น อยู่ที่ก้นของกระบอกสูงที่บรรจุน้ำอยู่เต็ม ตั้งกระบอกนี้ไว้โดยไม่มีการไปรบกวนเป็นเวลาสัก 2 – 3 เดือน จะพบว่าเกิดสารละลายเนื้อเดียวของตะกั่วในครุฑขึ้นได้ทั้งกระบอก

**3.5.2 ออสโมซิส (osmosis)** ในการที่จะเกิดสารละลายเนื้อเดียวกันได้นั้น นอกจากจะอาศัยการแพร่ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของตัวถูกละลายแล้ว ยังต้องอาศัยออสโมซิส ซึ่งก็คือการเคลื่อนที่ของตัวทำละลายด้วย

ออสโมซิสจะเกิดจากที่ ๆ มีตัวทำละลายความเข้มข้นสูง ไปยังที่ ๆ มีตัวทำละลาย ความเข้มข้นต่ำ (รูปที่ 3 – 6) นั่นคือออสโมซิสจะเกิดสวนทางกับการแพร่

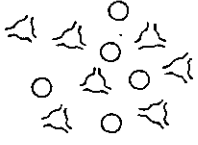
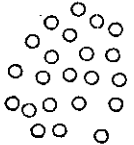

ทั้งปฏิกิริยาการแพร่และออสโมซิสอาจเกิดโดยมีเยื่อ (membrane) เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยก็ได้ โดยถ้าเยื่อนั้นเป็นเยื่อเซมิเพอร์มีเบิ้ล (semipermeable membrane) ก็จะมีรูพรุน ที่ยอมให้โมเลกุลและไอออนขนาดเล็กกว่ารูผ่านได้ แต่ถ้าเป็นเยื่อออสโมติก (osmotic membrane) เยื่อประเภทนี้จะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำเท่านั้นผ่าน ดังนั้นในกรณีหลังนี้ก็จะเกิดได้แต่ออสโมซิสอย่างเดียวเท่านั้น

ออสโมซิสเกิดขึ้นได้เสมอในชีวิตประจำวัน เช่น เวลาที่อมลูกกวาดหวาน ๆ แล้วรู้สึกเสียวฟัน ก็เพราะลูกกวาดนั้นไปสัมผัสกับประสาทฟัน ทำให้เกิดออสโมซิสของน้ำจากบริเวณประสาทนั้นออกสู่ลูกกวาด ซึ่งเป็นสารละลายน้ำตาลเข้มข้น หรือเวลาที่เป้นแผลที่ผิวหนังแล้วไปเล่นน้ำทะเล (ซึ่งก็คือสารละลายเกลือ) จะรู้สึกแสบที่บริเวณแผล ปรากฏการณ์นี้ก็คืออธิบายได้ด้วยออสโมซิสเช่นกัน



รูปที่ 3 - 6 การเกิดออสโมซิส โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้าน B ไปยังด้าน A ซึ่งมีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงกว่า ปรากฏการณ์นี้ทำให้ปริมาณของสารละลายในด้าน A เพิ่มขึ้น ส่วนปริมาณของสารละลายในด้าน B จะลดลง

ออสโมซิสใช้อธิบายถึงสถานะของเซลล์เม็ดเลือดแดงด้วย กล่าวคือเยื่อหุ้มเซลล์เม็ดเลือดแดงนี้ยอมให้น้ำผ่านได้ เนื่องจากก็เป็นเยื่อเซมิเพอร์มีเบิล ดังนั้นปริมาณของเซลล์ก็จะเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพของสิ่งแวดล้อม (รูปที่ 3 - 7) เช่น ถ้าเอาเซลล์ใส่ลงในน้ำบริสุทธิ์ ความเข้มข้นของตัวทำละลายในน้ำจะสูงกว่าในเซลล์ ดังนั้นน้ำจะผ่านจากภายนอกเข้าสู่เซลล์ ขบวนการนี้เรียกว่า endosmosis ซึ่งทำให้เซลล์พองตัว (swell) และเกิดการรั่ว (leaky) ทำให้สารต่าง ๆ ในเซลล์ไหลออกมาข้างนอก และเมื่อน้ำเข้าไปมากขึ้นอีก เซลล์ก็จะแตก (burst) ได้ การแตกของเซลล์เม็ดเลือดแดงนี้เรียกว่า ฮีโมไลซิส (hemolysis) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเอาเซลล์ใส่ลงในสารละลายเกลือเข้มข้น กรณีนี้ความเข้มข้นของตัวทำละลายในเซลล์จะสูงกว่าภายนอก ดังนั้นโมเลกุลของตัวทำละลายก็จะไหลออกจากเซลล์ ขบวนการนี้คือ exosmosis ทำให้เซลล์หดตัว (shrink) เนื่องจากปริมาณลดลง

| เม็ดเลือดแดงใน<br>สารละลายไฮโปโทนิก   | เม็ดเลือดแดงใน<br>สารละลายไอโซโทนิก   | เม็ดเลือดแดงใน<br>สารละลายไฮเปอร์โทนิก  |
|---|---|---|
|  |  |  |
| น้ำกลั่น  | น้ำเกลือ 0.9%   | น้ำเกลือ 5%   |

รูปที่ 3 - 7 ผลของออสโมซิสที่มีต่อเซลล์เม็ดเลือดแดง เซลล์จะพองตัวและแตกออกเมื่ออยู่ในน้ำบริสุทธิ์ และจะหดตัวเมื่ออยู่ในสารละลายเกลือเข้มข้น

สารละลายที่เข้มข้นพอดีที่จะไม่ทำให้เซลล์พองตัวขึ้นหรือหดตัวลง เรียกว่าสารละลายไอโซโทนิก (isotonic solution) ตัวอย่างเช่น น้ำเกลือ 0.9% ส่วนสารละลายที่ทำให้เซลล์พองตัวและแตก เรียกว่าสารละลายไฮโปโทนิก (hypotonic solution) เช่น น้ำ และสารละลายที่ทำให้เซลล์หดตัว เรียกว่าสารละลายไฮเปอร์โทนิก (hypertonic solution) เช่น น้ำเกลือเข้มข้น

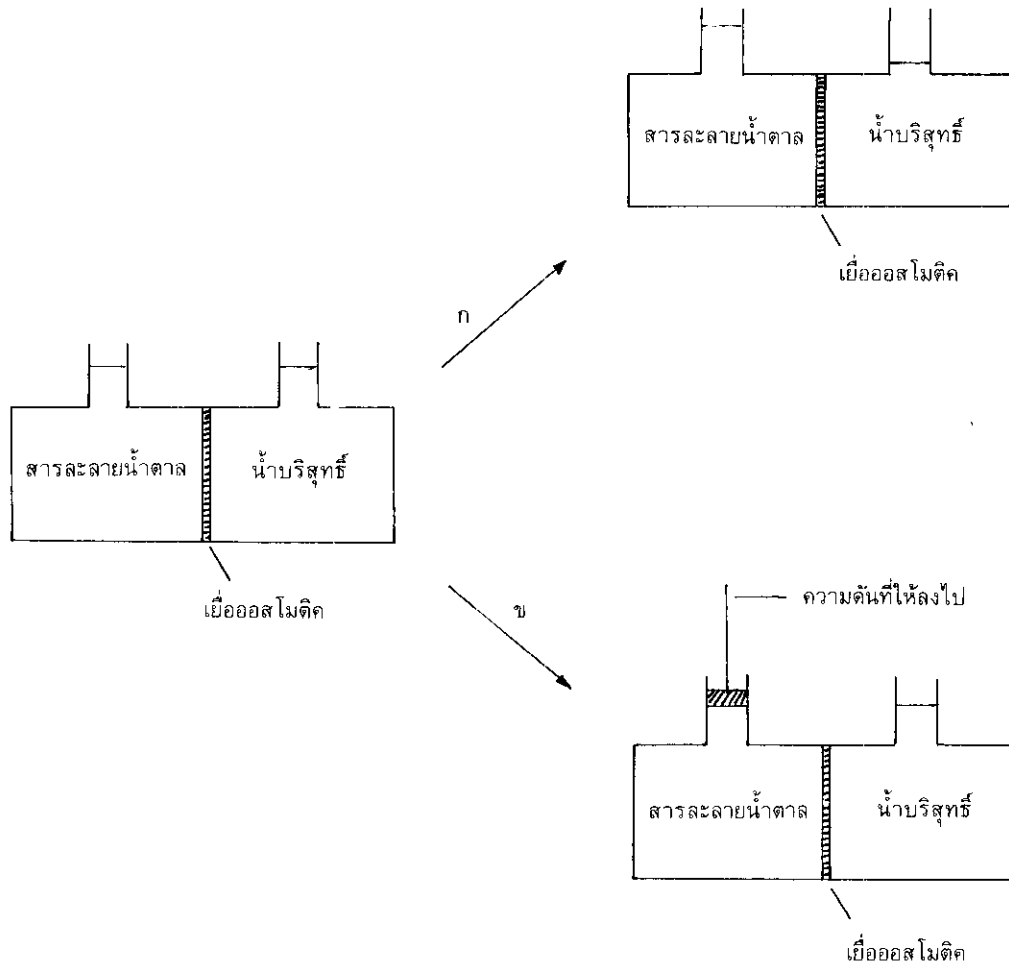
เซลล์ในร่างกายมนุษย์จะมีความสมดุลในด้านออสโมซิสกับพลาสมาและของไหลในเนื้อเยื่อ ดังนั้นการพองตัวหรือหดตัวของเซลล์ก็จะไม่เกิดขึ้น เพราะน้ำหรือเกลือ (ซึ่งส่วนใหญ่คือ NaCl) จะถูกขับออกจากร่างกายโดยไต เพื่อที่จะรักษาสภาพความเป็นไอโซโทนิกให้กับเซลล์ต่าง ๆ

ออสโมซิสยังมีความสำคัญในขบวนการขับถ่ายปัสสาวะด้วย นอกจากนั้นยังมีการประยุกต์เอาหลักของออสโมซิสไปใช้ในทางการแพทย์ด้วย เช่นการฉีดสารละลายไฮเปอร์โทนิกของเกลือ  $MgSO_4$  เข้าไปเพื่อลดปริมาณของสมอง หรือลดความดันของของไหลในสมองและกระดูกสันหลัง น้ำจะถูกขับออกจากสมองโดยวิธีการออสโมซิส และอาจจะใช้วิธีนี้ในการขับน้ำออกจากเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ได้ด้วย

**3.5.3 ความดันออสโมติก (osmotic pressure)** ถ้ามีระบบของน้ำบริสุทธิ์และสารละลายน้ำตาลแยกออกจากกันโดยมีเยื่อออสโมติกกั้นกลาง ดังแสดงในรูปที่ 3 - 8 แล้ว ในกรณีนี้โมเลกุลของน้ำ (ตัวทำละลาย) เท่านั้นที่จะซึมผ่านเยื่อออสโมติกได้ ส่วนโมเลกุลของน้ำตาล (ตัวถูกละลาย) ซึมผ่านไม่ได้ เนื่องจากความเข้มข้นของตัวทำละลายในด้านที่เป็นน้ำบริสุทธิ์สูงกว่าด้านที่เป็นสารละลายน้ำตาล ดังนั้นแนวโน้มที่โมเลกุลของน้ำจะผ่านไปทางด้านสารละลายก็จะสูง แม้ว่าในขณะที่เดียวกันน้ำทางด้านสารละลายก็ผ่านเข้ามาทางด้านน้ำบริสุทธิ์ด้วยก็ตาม ดังนั้นเมื่อดูการไหลโดยรวม ๆ



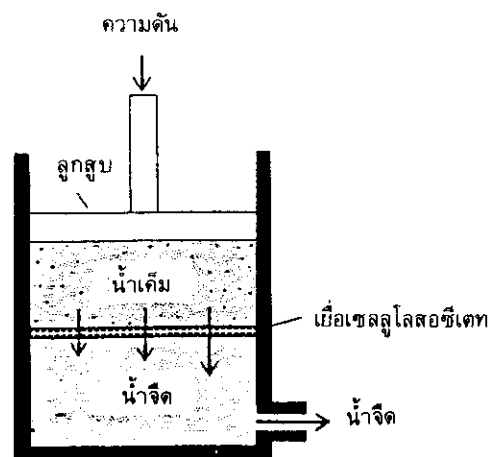
แล้ว ก็จะเป็นไปในทิศทางน้ำบริสุทธิ์ไปสู่สารละลาย ซึ่งถ้าปล่อยให้กระบวนการออสโมซิสนี้เกิดไปเรื่อย ๆ ในที่สุดจะได้ปริมาตรของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3 - 8 ระบบที่มีน้ำบริสุทธิ์ และสารละลายน้ำตาลแยกออกจากกันโดยเยื่อออสโมติก ซึ่งถ้าปล่อยให้เกิดออสโมซิสตามธรรมชาติแล้ว จะทำให้ปริมาตรทางด้านสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น (ก) แต่ถ้ามีการให้แรงดันออสโมติกลงไปที่ทางด้านสารละลายน้ำตาลแล้ว จะทำให้ปริมาตรทั้งสองด้านของระบบเท่ากัน (ข)

ถ้าแทนที่จะให้ปริมาตรของสารละลายน้ำตาลเพิ่มขึ้น กลับมีการให้ความดันไฮโดรสแตติก (hydrostatic pressure) ลงไปทางด้านสารละลายแล้ว ผลของความดันนี้จะไปเพิ่มการไหลของน้ำ จากด้านสารละลายไปยังด้านน้ำบริสุทธิ์ โดยความดันซึ่งทำให้อัตราเร็วของการไหลจากด้านสารละลาย เท่ากันพอดีกับอัตราเร็วของการไหลจากด้านน้ำบริสุทธิ์ก็คือความดันออสโมติก ซึ่งจะทำให้การไหลสุทธิของน้ำเป็นศูนย์ ดังนั้นความดันออสโมติกก็คือ แรงที่ต้องให้ลงไปเพื่อต้านกับแรงออสโมซิสนั่นเอง

ถ้าความดันที่ให้ลงไปในระบบมากกว่าความดันออสโมติก ในกรณีนี้จะทำให้เกิดขบวนการออสโมซิสย้อนกลับ (reverse osmosis) ขึ้น โดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านที่เป็นสารละลายไปยังด้านที่เป็นน้ำบริสุทธิ์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ เคลื่อนที่จากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงไปยังสารละลายที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า ขบวนการออสโมซิสย้อนกลับใช้เป็นประโยชน์ในการกำจัดเกลือออกจากน้ำทะเล (รูปที่ 3 - 9) โดยถ้านำเอาน้ำทะเลมาบรรจุไว้ในภาชนะข้างหนึ่ง กั้นกลางด้วยเยื่อ แล้วนำน้ำบริสุทธิ์ใส่ไว้ในอีกข้างหนึ่ง จากนั้นให้ความดันที่สูงกว่าความดันออสโมติกลงไปที่ด้านที่มีน้ำทะเลอยู่ ผลที่ได้ก็คือ น้ำจากซีกนี้จะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อไปทางด้านน้ำบริสุทธิ์ โดยที่เกลือและสิ่งเจือปนอื่น ๆ ที่มีอยู่ในน้ำทะเลนั้น จะไม่สามารถผ่านเยื่อมาด้วยได้เลย เยื่อที่ใช้ในขบวนการนี้ ต้องเป็นเยื่อออสโมติกแบบพิเศษ คือนอกจากที่จะยอมให้เฉพาะโมเลกุลของน้ำเพียงอย่างเดียวเท่านั้นที่ผ่านได้แล้ว ยังต้องมีความเหนียวพอที่จะทนต่อความดันสูง ๆ ได้อีกด้วย ตัวอย่างของเยื่อพิเศษนี้ได้แก่ เยื่อที่ทำจากเซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) ในปัจจุบันการประดิษฐ์เครื่องมือทำน้ำจืดจากน้ำทะเลด้วยวิธีนี้ได้ก้าวหน้ามากขึ้นจนสามารถได้ผลผลิตต่อวันเป็นจำนวนสูง



รูปที่ 3 - 9 การกำจัดเกลือออกจากน้ำทะเลโดยขบวนการออสโมซิสย้อนกลับ

จากการทดลองพบว่า ความดันออสโมติกของสารละลายที่เจือจางมาก ๆ นั้นจะเท่ากับ ความดันออสโมติกที่โมเลกุลของตัวถูกละลายจะมีเมื่ออยู่ในสภาพก๊าซในปริมาณที่เท่ากับที่อยู่ในสารละลาย และจากการที่ทราบว่า 1 กรัมโมลของก๊าซสมบูรณ์แบบ (ideal gas) จะมีปริมาตร 22.4 ลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส และ 1 บรรยากาศ เพราะฉะนั้น 1 กรัมโมลของตัวถูกละลายนี้ ถ้าเอามาละลายในสารละลาย 22.4 ลิตร จะทำให้เกิดความดันออสโมติกเท่ากับ 1 บรรยากาศ

เมื่อให้ความดันออสโมติก ปริมาตรของตัวทำละลายที่ตัวถูกละลายละลายอยู่นั้นจะลดลง นั่นคือทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้ามีของเหลว 2 ชนิดที่มีความดันออสโมติกต่างกัน หรือก็คือความเข้มข้นต่างกัน และแยกของเหลว 2 ชนิดนี้ออกจากกันด้วยเยื่อเซมิเพอร์มีเบิล น้ำจะผ่านจากสารละลายที่มีความดันออสโมติกต่ำ ไปยังสารละลายที่มีความดันออสโมติกสูงกว่า จนกว่าความดันออสโมติกของทั้งสองด้านของเยื่อนั้นจะเท่ากัน ซึ่งขบวนการนี้ไม่ขึ้นกับสภาพทางเคมีของตัวถูกละลายเลย

ข้อสังเกตประการหนึ่งของความดันออสโมติกก็คือเป็นความดันศักยะ (potential pressure) คือจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสารละลายนั้นสัมผัสกับสารละลายอีกชนิดหนึ่งโดยมีเยื่อคั่นอยู่ตรงกลาง หน้าที่ให้สารละลายน้ำตาลสัมผัสกับน้ำ แต่ถ้าเอาสารละลายน้ำตาลใส่ไว้ในขวด จะไม่มีความดันออสโมติกเกิดขึ้นที่ผนังขวด

ความดันออสโมติกนี้ไม่ขึ้นกับขนาดของโมเลกุล แต่จะขึ้นกับจำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลาย ตัวอย่างเช่น สารละลายของยูเรีย (น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 60 ดาลตัน) ที่มียูเรียหนัก 60 กรัมอยู่ในสารละลาย 1 ลิตร จะมีความดันออสโมติกเท่ากับสารละลายของน้ำตาลอ้อย (น้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 342 ดาลตัน) ที่มีน้ำตาลหนัก 342 กรัม อยู่ในสารละลาย 1 ลิตร ทั้งนี้เพราะสารละลายทั้งสองนี้มีจำนวนโมเลกุลในปริมาตร 1 ลิตรเป็นจำนวน 1 กรัมโมลเท่ากัน

ในสารละลายของสารประกอบไอออนิกที่แตกตัวได้ เช่น  $\text{NaCl}$  ซึ่งแตกตัวเป็น  $\text{Na}^+$  อีออน และ  $\text{Cl}^-$  อีออน ในกรณีนี้ค่าความดันออสโมติกจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะจำนวนอนุภาคมีมากขึ้น ดังนั้นแม้จะมีสารละลาย 2 ชนิดที่ค่าความเข้มข้นเท่ากัน เช่น 0.1 M  $\text{NaCl}$  กับ 0.1 M กลูโคส แต่ความดันออสโมติกของสารละลาย 0.1 M  $\text{NaCl}$  จะมีค่าเป็น 2 เท่าของที่พบใน 0.1 M กลูโคส เพราะฉะนั้นถ้าจะกล่าวให้ถูกต้องยิ่งขึ้นก็จะได้ว่า ความดันออสโมติกขึ้นกับจำนวนอนุภาคของตัวถูกละลาย มิใช่จำนวนโมเลกุลของตัวถูกละลาย

ในกรณีของสบู เมื่ออยู่ในน้ำจะรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ โดยที่แต่ละไมเซลล์ประกอบขึ้นจากโมเลกุลของสบู่หลาย ๆ โมเลกุล ดังนั้นสารละลายของสบู่จะมีความดันออสโมติกต่ำกว่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากจำนวนอนุภาคของตัวถูกละลายลดน้อยลง

ค่าความดันออสโมติกจะแสดงในหน่วยความเข้มข้นของอนุภาคตัวถูกละลายที่มีอยู่ในสารละลาย และเรียกค่านี้ว่าออสโมลาริตี (osmolarity หรือ OSm) ซึ่งค่านี้ไม่จำเป็นจะต้องเท่ากับค่าความเข้มข้นปกติของสารละลายที่แสดงในหน่วยโมลาร์ ตัวอย่างเช่น สารละลาย NaCl ที่มีความเข้มข้น 0.1 M จะมีค่าออสโมลาริตีเท่ากับ 0.2 โมลของไอออนทั้งหมด/ลิตร

### 3.6 คอลลอยด์ (Colloids)

ประมาณ 90% ของสารอินทรีย์ในเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิตจะอยู่ในสภาพของคอลลอยด์ สารละลายคอลลอยด์ (colloidal solution) หรือระบบคอลลอยด์ (colloidal system) ประกอบขึ้นจากโมเลกุลของตัวถูกละลายซึ่งมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับโมเลกุลของตัวทำละลาย สารละลายคอลลอยด์นี้เป็นสารละลายเนื้อผสม (heterogeneous solution) และเมื่อตั้งทิ้งไว้ อนุภาคจะไม่แยกออกจากกัน

ส่วนสารละลายที่แท้จริง (true solution) หรือสารละลายผลึก (crystalloidal solution) นั้นขนาดของโมเลกุลของตัวทำละลายและตัวถูกละลายจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ทำให้เกิดเป็นสารละลายชนิดเนื้อเดียวกัน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ความแตกต่างระหว่างสารละลายคอลลอยด์และสารละลายที่แท้จริง ก็คือ ขนาดโมเลกุลของตัวถูกละลาย โดยที่ไม่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางเคมีของอนุภาคนั้นเลย

### 3.7 การแบ่งหมู่ของอนุภาคขนาดเล็ก

ถ้ามีสารอยู่ชนิดหนึ่งคือทองคำ (gold) แล้วพิจารณาขนาดของทองคำนั้นจะได้ดังนี้ คือ

1. **ชิ้นทอง** (Lump of gold) จะมีขนาดใหญ่ ถ้าเอาใส่ลงในน้ำ จะได้ระบบเนื้อผสม (heterogeneous system) ที่มี 2 วัฏภาค (phase) เกิดขึ้น

2. **ผงทอง** (gold dust) ถ้าทำให้ทองเป็นผงแล้วละลายลงในน้ำ ก็จะได้ 2 วัฏภาคอยู่เช่นเดิม เพราะอนุภาคของผงทองก็ยังคงใหญ่กว่าโมเลกุลของน้ำมาก และเมื่อตั้งทิ้งไว้ ผงทองก็จะตกลงสู่ก้นภาชนะ ทำให้ส่วนที่เป็นน้ำใส (supernatant) ไม่มีทองเจือปนอยู่

3. คอลลอยด์ของทอง (colloidal gold) ถ้าเอาทอง 2 ชิ้นวางไว้ในน้ำ แล้วต่อกระแสไฟฟ้า โลหะทองจะถูกแยกสลาย (disintegrate) ได้เป็นอนุภาคที่ละเอียดมาก จนมองด้วยตาเปล่าหรือกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาไม่เห็น อนุภาคประเภทนี้ของทอง ถ้าใส่ลงในน้ำจะแขวนลอยอยู่และไม่ตกตะกอนลงมาเลย คือเกิดเป็นสารละลายคอลลอยด์ของทองขึ้น แต่อย่างไรก็ดี สารละลายนี้ก็ยังเป็นสารละลายเนื้อผสมเพราะอนุภาคคอลลอยด์ของทอง เมื่อเปรียบเทียบกับโมเลกุลของน้ำแล้ว ก็ยังคงมีขนาดใหญ่กว่าอยู่มาก

4. อีออนของทอง (ionic gold) ถ้าใช้กรรมวิธีพิเศษแยกสลายทองนี้จนได้อนุภาคที่เล็กลงไปอีก คืออยู่ในรูปที่เป็นอีออน ซึ่งมีขนาดเล็กมากจนไม่สามารถมองเห็นได้แม้จะใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดอูลตรา (ultramicroscope) ขนาดของอีออนนี้จะเท่า ๆ กับโมเลกุลของน้ำ ดังนั้นเมื่อเอาอีออนของทองใส่ลงในน้ำ จะได้สารละลายที่แท้จริง ซึ่งเป็นระบบเนื้อเดียว

ถ้าจะแบ่งหมู่ของอนุภาคขนาดเล็ก จะแบ่งออกได้เป็น 3 หมู่ด้วยกัน คือ

หมู่ที่ 1 คืออนุภาคไมครอน (microns) ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่า 100 nm อนุภาคชนิดนี้มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์จึงจะเห็นได้ และเมื่อเกิดสารละลาย จะสามารถแยกตัวออกจากสารละลายได้ ตัวอย่างเช่น หยอดไขมันในนม สารละลายประเภทที่มีอนุภาคขนาดไมครอนนี้ได้แก่ อิมัลชัน (emulsion)

หมู่ที่ 2 คืออนุภาคสับไมครอน (submicrons) ซึ่งมีขนาด 1-100 nm อนุภาคชนิดนี้มองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดอูลตราเท่านั้น และเมื่อเกิดเป็นสารละลาย จะได้สารละลายที่ถาวร (permanent solution) คือสารละลายคอลลอยด์ ตัวอย่างของอนุภาคสับไมครอน ได้แก่ แป้ง (starch) และ globular protein

หมู่ที่ 3 คืออนุภาคอไมครอน (amicrons) ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 1 nm อนุภาคชนิดนี้แม้ใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิดอูลตราก็มองไม่เห็น และเมื่อเกิดเป็นสารละลายจะได้สารละลายที่ถาวรเช่นกัน แต่เป็นประเภทสารละลายที่แท้จริง ตัวอย่างของอนุภาคอไมครอน ได้แก่ โมเลกุลของ NaCl โมเลกุลของไฮโดรเจน และซูโครสโมเลกุล (sucrose molecule) เป็นต้น

สารบางชนิดที่มีขนาดเล็ก อาจจะได้ทั้งสารละลายที่แท้จริงและสารละลายคอลลอยด์ ขึ้นกับสถานะที่เป็นอยู่ ตัวอย่างเช่น NaCl ถ้าละลายน้ำ จะได้สารละลายที่แท้จริง แต่ถ้าละลายในเบ็นซีนจะได้สารละลายคอลลอยด์ สำหรับสารที่มีขนาดใหญ่ขึ้นมาคือขนาดสับไมครอน จะไม่สามารถเกิดสารละลายที่แท้จริงได้เลย

### 3.8 การจำแนกระบบคอลลอยด์

ระบบคอลลอยด์ คือระบบที่ประกอบขึ้นด้วย 2 ภูมิภาคได้แก่ ภูมิภาคที่เป็นอนุภาคขนาดเล็ก ประมาณ 3 – 1,000 nm กระจายอยู่ในภูมิภาคที่เป็นตัวกลาง (medium) มักเรียกอนุภาคขนาดเล็กนี้ว่าอนุภาคคอลลอยด์ ทั้งอนุภาคคอลลอยด์และตัวกลางอาจจะอยู่ในสถานะที่เป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซก็ได้ทั้งสิ้น แต่อย่างไรก็ตามจะไม่มีระบบคอลลอยด์ชนิดอนุภาคก๊าซกระจายในตัวกลางที่เป็นก๊าซ ทั้งนี้เพราะก๊าซทุกชนิดสามารถผสมกันได้ในทุกอัตราส่วน จึงเกิดเป็นสารละลายที่แท้จริงเสมอ ตัวอย่างของชนิดของระบบคอลลอยด์ ซึ่งแยกออกตามสถานะของอนุภาคคอลลอยด์และตัวกลาง มีดังนี้คือ

3.8.1 ซอลส์ (Sols) เป็นระบบคอลลอยด์ซึ่งมีตัวกลางเป็นของเหลวหรือก๊าซ

ก. ถ้าตัวกลางเป็นก๊าซ ซอลส์นั้นจะเรียกว่าแอโรซอล (aerosol) ตัวอย่างของแอโรซอลคือ หมอกและควันบุหรี่ โดยที่หมอกเป็นแอโรซอลที่มีอนุภาคเป็นของเหลว ส่วนควันบุหรี่เป็นแอโรซอลที่มีอนุภาคเป็นของเหลวหรือของแข็ง

ข. ถ้าตัวกลางเป็นของเหลว จะแยกได้เป็น 2 แบบ คือ

– ซอลส์ประเภทที่มีอนุภาคเป็นของแข็งแขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว พวกนี้เรียกว่าสารแขวนลอยคอลลอยด์ (colloidal suspension) ตัวอย่างได้แก่ ระบบซึ่งเอา AgCl ใสลงในน้ำ

– ซอลส์ประเภทที่มีอนุภาคเป็นของเหลวอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวเช่นกัน ซอลส์พวกนี้เรียกว่า อิมัลชัน ของเหลวที่พบในอิมัลชันส่วนใหญ่จะได้แก่น้ำและน้ำมัน (oil) โดยอาจจะเป็นอิมัลชันชนิดน้ำในน้ำมัน หรือน้ำมันในน้ำก็ได้ ถ้าเป็นชนิดน้ำในน้ำมันก็จะมีน้ำมันเป็นภูมิภาคที่เป็นตัวกลาง ถ้าเป็นน้ำมันในน้ำก็จะมีน้ำเป็นภูมิภาคตัวกลางและน้ำมันจะเป็นอนุภาคเล็ก ๆ กระจายอยู่ทั่วไป ตัวอย่างของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ได้แก่ นม ซึ่งมีอนุภาคเป็นไขมันเนย (butterfat) ละลายอยู่ในตัวกลางที่เป็นน้ำ

เนื่องจากอิมัลชันเป็นระบบของน้ำและน้ำมัน (oil) อยู่ร่วมกัน ดังนั้นจึงเป็นสารละลายคอลลอยด์ที่ไม่มีเสถียรภาพ (stability) มากนัก ซึ่งจะสามารถแก้ไขได้โดยใช้ตัวอิมัลซิไฟ (emulsifying agent) ลงไปด้วย ตัวอิมัลซิไฟนี้ส่วนใหญ่จะเป็นพวกแอมฟิพาติกโมเลกุล ซึ่งจะไปช่วยลดแรงดึงผิวที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำและน้ำมัน ทำให้อิมัลชันไม่ตกตะกอนลงมา คือมีเสถียรภาพมากขึ้นนั่นเอง

3.8.2 โฟม (foam) เป็นระบบคอลลอยด์ที่มีฟองก๊าซกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง เส้นผ่าศูนย์กลางของฟองก๊าซโดยมากจะใหญ่กว่า 1,000 nm แต่ระยะห่างระหว่างฟอง

ก๊าซเหล่านั้นมักจะน้อยกว่า 1,000 nm ดังนั้นจึงจัดโฟมไว้เป็นระบบคอลลอยด์ด้วย ตัวอย่างของโฟมได้แก่

- ก. ฟองสบู่ ฟองเบียร์ ซึ่งเป็นฟองก๊าซกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว
- ข. หินภูเขาไฟ ซึ่งเป็นฟองก๊าซกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นของแข็ง

**3.8.3 เจล (gel)** เป็นสารแขวนลอยคอลลอยด์ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีลักษณะกึ่งแข็ง (semirigid) และส่วนประกอบของเจลนี้จะแผ่กระจายอยู่ตลอดระบบ เจลต่างไปจากสารแขวนลอยคอลลอยด์อื่น ๆ ตรงที่ ในสารแขวนลอยคอลลอยด์อื่น ๆ นั้น อนุภาคที่เป็นของแข็งแต่ละอนุภาคจะแยกออกจากกันอย่างเด็ดขาด และสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระในตัวกลางที่เป็นของเหลว ตัวอย่างของเจลได้แก่

ก. เจลที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น  $Al(OH)_3$  ซึ่งมีโครงสร้างเป็นผลึกของแข็งอนินทรีย์ที่จับ (trap) น้ำไว้ข้างใน และดูดซับ (adsorb) ไว้บนผลึกด้วย ผลึก  $Al(OH)_3$  นี้จะยึดเหนี่ยวกันโดยใช้แรงแวนเดอร์วาลส์

ข. เจลที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น สารละลายของโปรตีนพวกวุ้น (gelatin) ในน้ำ ถ้าทำให้เย็น จะเกิดเป็นเจลขึ้น โดยที่น้ำจะถูกจับอยู่ในโครงสร้างของวุ้นซึ่งเกิดขึ้นจากการรวมตัวของโมเลกุลของวุ้นเป็นสายโพลีเมอร์ยาว ๆ สายโพลีเมอร์แต่ละสายนี้จะพันกันไปมา และยึดเหนี่ยวกันไว้ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ พันระไฮโดรเจน และบางครั้งจะมีพันธะโควาเลนต์ด้วย ตัวอย่างอื่น ๆ ของเจลพวกสารอินทรีย์นี้ได้แก่ วุ้นที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงแบคทีเรีย หรือการแข็งตัวของเลือด ซึ่งก็คือการเกิดเจลขึ้นโดยมีโปรตีนไฟบริโนเจน (fibrinogen) เป็นโครงสร้าง หรือเยื่อเซลลูโลสเฟน (cellulose membrane) ซึ่งใช้ในการศึกษาแรงดันออสโมติก ก็คือเจลที่เกิดจากการเอาโมเลกุลของเซลลูโลสใส่ลงในน้ำ

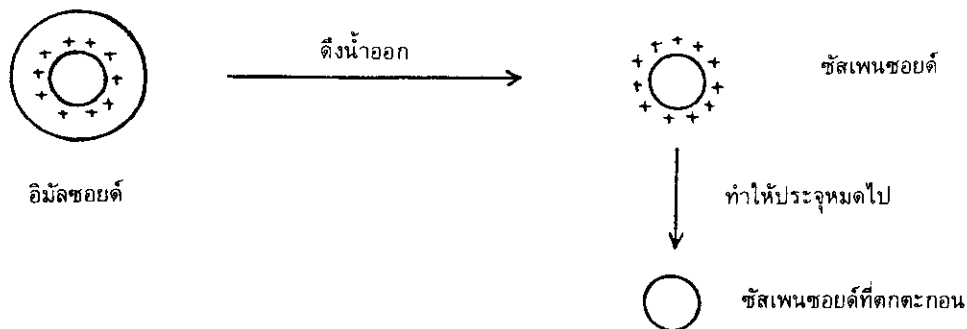
ระบบคอลลอยด์ยังสามารถแยกออกเป็น 2 ชนิด ตามคุณสมบัติทางกายภาพด้วย คือ

**3.8.4 ซัสเพนซอยด์ (suspensoid)** จะมีแรงตึงผิวและความหนืด (viscosity) เกือบเท่ากับของตัวทำละลาย อนุภาคซัสเพนซอยด์จะมีประจุ ซึ่งประจุนี้จะเป็นตัวบอกถึงความเสถียร คือถ้ามีประจุชนิดเดียวกัน อนุภาคก็จะผลักรันและไม่ยอมรวมตัว (aggregate) กัน อนุภาคซัสเพนซอยด์จะตกตะกอนได้ง่ายถ้าประจุถูกสะเทิน (neutralize) ซึ่งทำได้โดยเติมเกลือที่มีประจุตรงข้ามกับอนุภาคลงไป เมื่อตกตะกอนแล้ว ซัสเพนซอยด์จะไม่กลับมาอยู่ในสภาพของสารละลายคอลลอยด์อีกต่อไป ซัสเพนซอยด์นี้จะไม่ถูกห้อมล้อมด้วยน้ำหรือตัวทำละลาย ดังนั้นจึงเรียกซัสเพนซอยด์นี้ว่าเป็น hydrophobic หรือ lyophobic colloid (คือคอลลอยด์ที่ไม่ชอบน้ำหรือตัวทำละลาย)

3.8.5 **อิมัลซอยด์** (emulsoid) สารละลายคอลลอยด์ชนิดนี้ค่อนข้างจะเสถียรและจะไม่สามารถตกตะกอนได้ด้วยเกลือ (salt) แต่ถ้าถูกทำให้ตกตะกอนแล้วจะสามารถทำให้กลับละลายไปอยู่ในรูปของสารละลายคอลลอยด์ได้ดังเดิม อิมัลซอยด์มีแรงดึงดูดต่ำกว่าของตัวทำละลาย แต่มีความหนืดสูงกว่า อนุภาคของอิมัลซอยด์ก็มีประจุ แต่ประจุนี้แทบจะไม่มีมีความสำคัญกับความเสถียรของตัวเองเลย บางชนิดจะมีทั้งประจุบวกและลบอยู่ในตัวเองในเวลาเดียวกัน ตัวอย่างได้แก่ โปรตีน ประจุสุทธิ (net charge) ของโปรตีนจะเปลี่ยนแปลงไปตาม pH ของสารละลาย เช่น ที่ isoelectric point ประจุสุทธิของโปรตีนจะเท่ากับศูนย์ แต่ถ้าเป็นที่ pH อื่น ๆ ที่ไม่ใช่ isoelectric point ประจุสุทธิจะเป็นบวกหรือลบ

โดยทั่วไปแล้วสารคอลลอยด์ในเซลล์สิ่งมีชีวิตจะอยู่ในรูปของอิมัลซอยด์ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษคือ มีสัมพรรคภาพ (affinity) กับน้ำสูงมาก ดังนั้นเมื่ออยู่ในน้ำอนุภาคอิมัลซอยด์จะดูดซับน้ำเข้ามาล้อมรอบตัวเองไว้เป็นวง จึงเรียกอิมัลซอยด์นี้ว่าเป็น hydrophilic colloid (คือคอลลอยด์ที่ชอบน้ำ) การที่มีน้ำมาล้อมรอบจะทำให้อิมัลซอยด์มีเสถียรภาพมาก

อิมัลซอยด์สามารถที่จะถูกเปลี่ยนเป็นซัสเพนซอยด์ได้โดยการดึงน้ำออก (dehydration) การดึงน้ำออกนี้เกิดจากขบวนการออสโมซิส โดยใส่สารละลายเกลือเข้มข้นซึ่งเป็นสารละลายไฮเพอร์โทนิคลงไปในอิมัลซอยด์ น้ำที่อยู่เป็นวงรอบ ๆ อิมัลซอยด์ จะมีแรงดึงดูดกับสารละลายเกลือมากกว่าที่มีกับอนุภาคอิมัลซอยด์ทำให้น้ำถูกดึงออกไป และอิมัลซอยด์ก็กลายเป็นซัสเพนซอยด์ซึ่งมีความเสถียรน้อยลง จากนั้นซัสเพนซอยด์จะตกตะกอนได้ โดยใช้เกลือที่มีประจุตรงข้ามไปทำให้ซัสเพนซอยด์หมดประจุ ขบวนการที่กล่าวมานี้มีชื่อเรียกว่า ขบวนการ "salting out" ของอิมัลซอยด์ (รูปที่ 3 - 10)



รูปที่ 3 - 10 ขบวนการ "salting out" ของอิมัลซอยด์



อิมัลซอยด์มีคุณสมบัติในการป้องกันสารอื่นได้ด้วย กล่าวคือ อิมัลซอยด์ สามารถให้ความเสถียรแก่ซัสเพนซอยด์ได้ เช่น ถ้าเติมวุ้นจำนวนเพียงเล็กน้อยลงในซัสเพนซอยด์ของทอง ซัสเพนซอยด์นี้จะตกตะกอนด้วยเกลือได้ยากขึ้น เนื่องจากซัสเพนซอยด์จะดูดซับอิมัลซอยด์ไว้ที่ผิวหน้าของตัวเอง ทำให้กลายเป็นอิมัลซอยด์ซึ่งมีเสถียรภาพสูง ประโยชน์ของระบบป้องกันนี้ ก็เช่นในกรณีของคอลลอยด์ของเงิน (colloidal silver) ซึ่งเป็นยาฆ่าเชื้อ (antiseptic) ที่ดี แต่ถ้าคอลลอยด์ของเงินนี้ไม่มีระบบป้องกัน ก็จะถูกตกตะกอนโดยอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ในของไหลในเนื้อเยื่อ (tissue fluid) ทันที ซึ่งเงินที่แตกตัวนี้ แม้ว่าจะยังคงเป็นยาฆ่าเชื้อที่ดี แต่ก็จะทำให้เกิดอันตรายกับร่างกายขึ้นได้

### 3.9 สมดุลที่มีคอลลอยด์เข้ามาเกี่ยวข้อง

สารส่วนใหญ่ในร่างกายของสิ่งมีชีวิตจะอยู่ในสภาพที่เป็นคอลลอยด์ ซึ่งสารพวกนี้มีขนาดใหญ่เกินกว่าที่จะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ ดังนั้นสมดุล (equilibrium) ในสิ่งมีชีวิตจะมีประเภทหนึ่งที่เรียกว่า สมดุลดอนนาน (Donnan equilibrium) ซึ่งเป็นสมดุลที่มีคอลลอยด์เข้ามาเกี่ยวข้อง

ถ้ามีสารชนิดหนึ่งคือ NaR ความเข้มข้นเท่ากับ  $C_1$  และ R เป็นคอลลอยด์ อีออน นำมาใส่ไว้ในภาชนะคนละด้านกับ NaCl ความเข้มข้น  $C_2$  โดยให้มีเยื่อเซมิเพอร์มีเบิลกั้นกลาง ถ้า  $C_2$  สูงกว่า  $C_1$  Cl<sup>-</sup> อีออนจากด้าน B จะเคลื่อนที่ไปยังด้าน A แต่เนื่องจากการเคลื่อนที่ผ่านเยื่อนั้นจะต้องมีการรักษาสภาพความเป็นกลางของประจุด้วย และ R<sup>-</sup> อีออนซึ่งมีขนาดใหญ่ก็ไม่สามารถผ่านจาก A ไป B ได้ ดังนั้น Na<sup>+</sup> อีออนจาก B จำนวนเท่ากับ Cl<sup>-</sup> อีออน จะต้องเคลื่อนที่ไปยังด้าน A ด้วยเพื่อทำให้ประจุอยู่ในสมดุล

| เริ่มต้น                  |                           | สมดุล                         |                               |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Na <sup>+</sup> ( $C_1$ ) | Na <sup>+</sup> ( $C_2$ ) | Na <sup>+</sup> ( $C_1 + x$ ) | Na <sup>+</sup> ( $C_2 - x$ ) |
| R <sup>-</sup> ( $C_1$ )  | Cl <sup>-</sup> ( $C_2$ ) | R <sup>-</sup> ( $C_1$ )      | Cl <sup>-</sup> ( $C_2 - x$ ) |
| A                         | B                         | A                             | B                             |

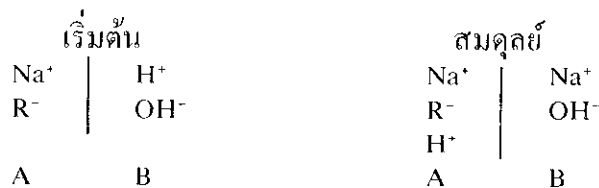
(ในตัวอย่างข้างบนนี้ให้ Cl<sup>-</sup> ที่เคลื่อนจาก B ไปยัง A เท่ากับ x)

โดยหลักของเทอร์โมไดนามิกส์ (thermodynamics) จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \text{ที่สมดุล} \quad & [Na^+]_A [Cl^-]_A = [Na^+]_B [Cl^-]_B \\
 \text{นั่นคือ} \quad & (C_1 + x)(x) = (C_2 - x)^2 \\
 \therefore x & = \frac{C_2^2}{C_1 + 2C_2}
 \end{aligned}$$

ตัวอย่างของสมดุลย์ค่อนนานที่พบในสิ่งมีชีวิตก็คือ การซึมเข้าออกของไอออนต่าง ๆ ผ่าน เซลล์เส้นประสาท

ผลของสมดุลย์ค่อนนานนี้ บางครั้งจะเกี่ยวข้องไปทำให้เกิดผลอื่นขึ้นด้วย เช่น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง pH ตัวอย่างเช่น ถ้ามีอีเล็กโทรไลต์ NaR ซึ่ง R<sup>-</sup> เป็นไอออนที่มีขนาดใหญ่ อยู่ทางด้าน A ของเยื่อเซมิเพอร์มีเบิล และมี H<sub>2</sub>O อยู่ทางด้าน B



ในกรณีนี้ Na<sup>+</sup> ไอออนจะเคลื่อนที่ไปทางด้าน B ในขณะเดียวกัน H<sup>+</sup> ไอออนจาก B ก็จะเคลื่อนที่มาทาง A เพื่อให้ประจุอยู่ในสมดุล โดยที่ OH<sup>-</sup> ไว้ที่ด้าน B นั้น ทำให้ผลที่เกิดขึ้นก็คือทางด้าน A จะมี H<sup>+</sup> ไอออนเพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือ pH ลดลง ส่วนทางด้าน B จะมี pH เพิ่มขึ้น

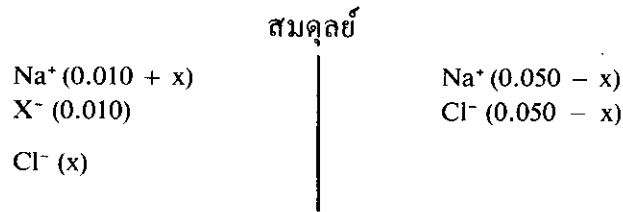
ตัวอย่างของการคำนวณเกี่ยวกับสมดุลย์ค่อนนาน ก็คือ

ตัวอย่าง กำหนดให้มีอีเล็กโทรไลต์ที่เป็นสารละลายคอลลอยด์ชนิดหนึ่งคือ NaX ความเข้มข้น 0.010 M นำไปใส่ในภาชนะซึ่งกั้นกลางด้วยเยื่อเซมิเพอร์มีเบิล ส่วนอีกข้างหนึ่งของภาชนะมีสารละลาย NaCl ความเข้มข้น 0.050 M บรรจุอยู่ จงหาว่าที่สมดุล การกระจายของไอออนต่าง ๆ ในภาชนะทั้งสองข้างนี้จะเป็นอย่างไร

วิธีทำ เมื่อเริ่มต้น ความเข้มข้นของไอออนต่าง ๆ ในทั้งสองข้างของภาชนะ จะเป็นดังนี้



เนื่องจากความเข้มข้นทางขวาสูงกว่าทางซ้าย ดังนั้น Cl<sup>-</sup> ไอออนจะเคลื่อนที่ผ่านเยื่อ เข้ามาสู่ด้านที่มีสารละลาย NaX อยู่ ให้ Cl<sup>-</sup> ไอออนทั้งหมดที่เคลื่อนที่จากเริ่มต้นจนถึงสมดุลมีจำนวน x โมล/ลิตร แต่การเคลื่อนที่ของไอออนจะต้องมีการทำให้ประจุสมดุลด้วย และเพราะว่า X<sup>-</sup> ไอออนเป็นอนุภาคคอลลอยด์ จึงมีขนาดใหญ่ไม่สามารถซึมผ่านเยื่อได้ ดังนั้นผลก็คือ Na<sup>+</sup> ไอออนจากด้านขวามือ จะต้องเคลื่อนที่มาทางซ้ายเป็นจำนวน x โมล/ลิตรด้วย ทำให้ที่สมดุลมีความเข้มข้นของไอออนต่าง ๆ ดังนี้



จากหลักของเทอร์โมไดนามิกส์ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 \text{ที่สมดุล} \quad [Na^+]_{\text{ซ้าย}} [Cl^-]_{\text{ซ้าย}} &= [Na^+]_{\text{ขวา}} [Cl^-]_{\text{ขวา}} \\
 \text{ดังนั้น} \quad (0.010 + x)(x) &= (0.050 - x)^2 \\
 0.010x + x^2 &= 0.0025 - 0.10x + x^2 \\
 0.110x &= 0.0025 \\
 x &= \frac{0.0025}{0.110} \\
 &= 0.023 \text{ M}
 \end{aligned}$$

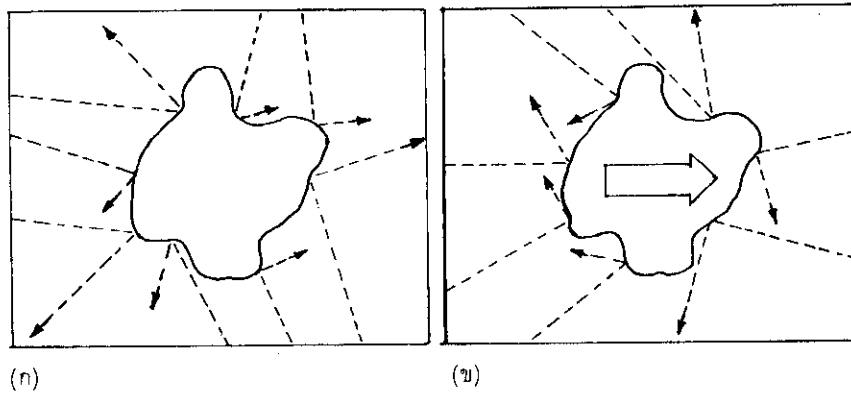
∴ ที่สมดุลจะมีการกระจายของไอออนต่าง ๆ ดังนี้

|                                    |                   |           |       |
|------------------------------------|-------------------|-----------|-------|
| [Na <sup>+</sup> ] <sub>ซ้าย</sub> | = 0.010 + 0.023 M | = 0.033 M | } ตอบ |
| [X <sup>-</sup> ] <sub>ซ้าย</sub>  | = 0.010 M         |           |       |
| [Cl <sup>-</sup> ] <sub>ซ้าย</sub> | = 0.023 M         |           |       |
| [Na <sup>+</sup> ] <sub>ขวา</sub>  | = 0.050 - 0.023 M | = 0.027 M |       |
| [Cl <sup>-</sup> ] <sub>ขวา</sub>  | = 0.050 - 0.023 M | = 0.027 M |       |

### 3.10 คุณสมบัติของระบบคอลลอยด์

สารละลายคอลลอยด์จะมีคุณสมบัติทั่ว ๆ ไปดังนี้ คือ

- อนุภาคในสารละลายคอลลอยด์จะมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน (Brownian movement) คือจะเคลื่อนไหวและชนกันอยู่ตลอดเวลา (รูปที่ 3 - 11)



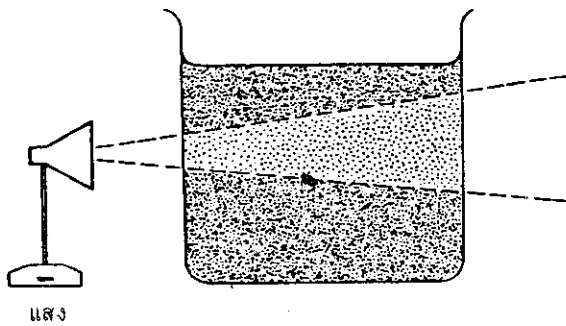
รูปที่ 3 - 11 การเคลื่อนที่แบบบราวเนียน

- (ก) ถ้าอนุภาคถูกชนจากโมเลกุลรอบข้างด้วยแรงที่เท่ากันทุกด้าน อนุภาคนั้นจะอยู่นิ่งกับที่
- (ข) แต่ถ้าอนุภาคถูกชนด้วยแรงที่ไม่เท่ากันในด้านที่อยู่ตรงกันข้าม ในกรณีนี้อนุภาคจะเคลื่อนที่ไป

2. เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์มีขนาดใหญ่ จนสามารถที่จะหักเหและกระจายแสงได้ จึงทำให้สารละลายคอลลอยด์มีลักษณะขุ่น แม้ว่าถ้าสารละลายนั้นเจือจางมาก ๆ จนมองด้วยตาเปล่าเห็นว่าใสก็ตาม แต่ถ้าให้ลำแสงที่มีความเข้มสูงส่องผ่านไปแล้ว ก็จะมองเห็นความขุ่นได้เสมอ ผลอันนี้เรียกว่า Tyndall effect ซึ่งจะพบเฉพาะในสารละลายคอลลอยด์เท่านั้น (รูปในหน้าถัดไป)

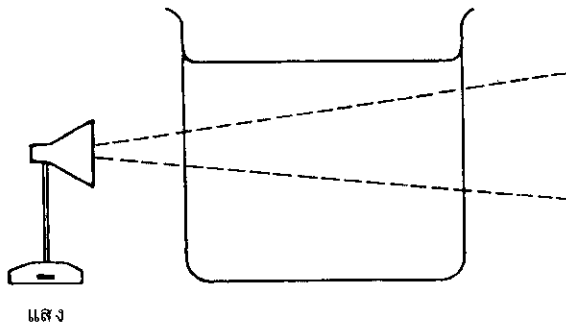
3. สารละลายคอลลอยด์จะมีพื้นที่ว่างระหว่างผิว (interfacial area) ของอนุภาคและตัวกลาง เป็นบริเวณกว้าง ดังนั้นถ้าอนุภาคคอลลอยด์เป็นชนิดที่มีประจุ ก็จะทำให้เกิดการดูดซับ (adsorption) ประจุต่างชนิดกันได้ ซึ่งคุณสมบัติข้อนี้แต่ก่อนได้ถูกนำไปใช้เป็นหลักในการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับสารพิษพวกสารหนูเข้าไป โดยสารหนูที่ได้รับนั้นจะอยู่ในรูปของ arsenious acid ซึ่งมีประจุลบ ฉะนั้นจึงสามารถถูกดูดซับได้ด้วยคอลลอยด์ของเหล็ก (colloidal iron) ซึ่งมีประจุบวก

4. สารละลายคอลลอยด์จะมีความดันออสโมติกต่ำ ทั้งนี้เพราะขนาดของอนุภาคคอลลอยด์เมื่อเทียบกับโมเลกุลของตัวทำละลายแล้วจะมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจำนวนโมเลกุลตัวถูกละลายต่อหน่วยปริมาตรจะน้อยกว่าปกติ ทำให้ความดันออสโมติกของระบบคอลลอยด์ต่ำไปด้วย



เมื่อให้แสงส่องผ่านสารละลายคอลลอยด์  
จะเห็นความขุ่นเกิดขึ้น คือเกิด Tyndall effect

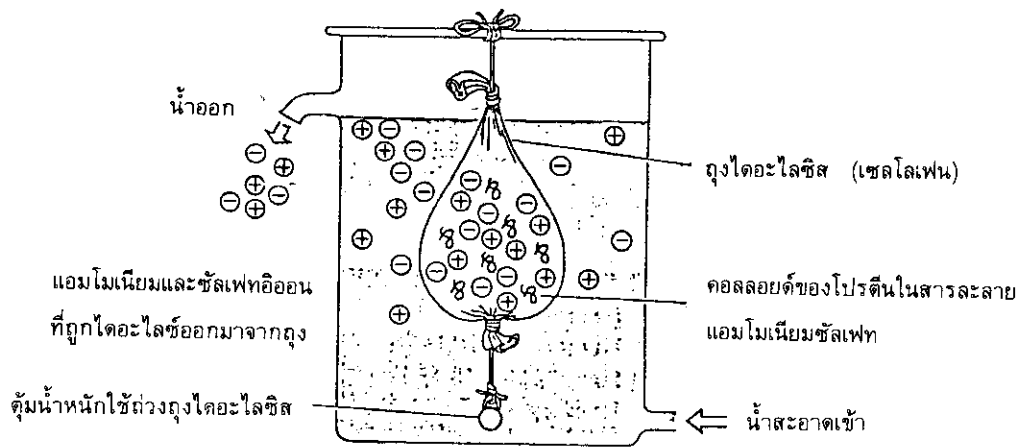
รูปแสดง Tyndall effect



แต่ถ้าให้แสงส่องผ่านสารละลายที่แท้จริง  
แสงจะส่องผ่านไปได้อย่างตลอด

5. คุณสมบัติเกี่ยวกับไดอะไลซิส (dialysis) ไดอะไลซิสคือขบวนการแยกสารที่ตกผลึกได้ (crystalloidal particle) ออกจากอนุภาคคอลลอยด์ โดยการแพร่ผ่านเยื่อเซมิเพอร์มีเบิล เนื่องจากอนุภาคคอลลอยด์นี้มีขนาดใหญ่ ดังนั้นการแยกอนุภาคคอลลอยด์ออกจากโมเลกุลขนาดเล็กจึงทำได้ง่าย เนื่องจากเยื่อเซมิเพอร์มีเบิลจะยอมให้โมเลกุลเล็ก ๆ เท่านั้นผ่านไปมาได้

ประโยชน์ของไดอะไลซิสอันหนึ่งก็คือ ใช้ในการทำให้โปรตีนมีความบริสุทธิ์ เนื่องจากวิธีการแยกโปรตีนออกจากชีวโมเลกุลตัวอื่น ๆ ทำได้โดยตกตะกอนโปรตีนด้วยเกลือ ซึ่งตัวที่นิยมใช้มากที่สุดได้แก่  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  จากนั้นก็จะต้องมีการแยกเกลือออกอีกครั้งหนึ่ง (รูปที่ 3 - 12) โดยใส่สารละลายโปรตีนที่มีเกลือปนอยู่ด้วยลงไปในถุงไดอะไลซิส (dialyzing bag) ซึ่งทำจากเยื่อเซลโลเฟน



๘ โปรตีนโมเลกุล ⊕ แอมโมเนียมไอออน ⊖ ซัลเฟตไอออน

รูปที่ 3 - 12 การแยกเกลือออกจากสารละลายโปรตีนโดยวิธี ไดอะไลซิส

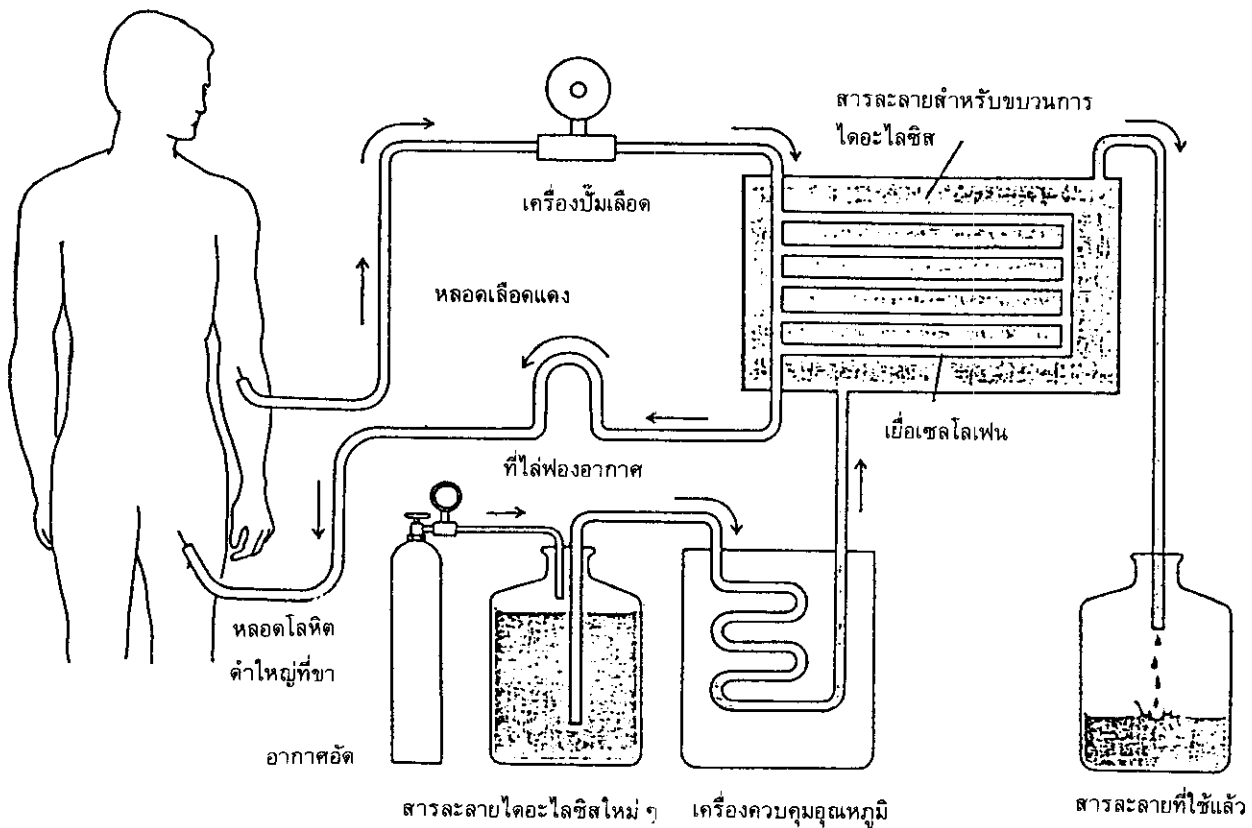
แล้วจุ่มลงในภาชนะที่ใส่น้ำ โมเลกุลของเกลือก็จะผ่านออกจากถุงไดอะไลซิสออกสู่น้ำ โดยที่จะสามารถเร่งอัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของเกลือนี้ได้โดยการเปลี่ยนน้ำบ่อย ๆ หรือให้น้ำมีระบบหมุนเวียน เพื่อให้ความเข้มข้นของเกลือในภาชนะน้อยกว่าในถุงไดอะไลซิสอยู่เสมอ ในขณะที่เดียวกันนี้ น้ำก็จะมี การออสโมซิสเข้าไปในถุงไดอะไลซิสด้วย เนื่องจากในถุงนั้นมีสารละลายซึ่งเป็นไฮเพอร์โทนิก ดังนั้น ในตอนที่จะมัดปากถุงไดอะไลซิส จะต้องเหลือที่ว่างในถุงเพื่อเอาไว้ให้เกิดการขยายตัวด้วย ไม่เช่นนั้น ถุงอาจจะแตกได้

ประโยชน์ของไดอะไลซิสยังถูกนำไปใช้กับผู้ป่วยที่เป็นโรคไตล้มเหลวด้วย คือ ปกติไตจะทำหน้าที่กำจัดของเสียออกจากเลือดแล้วขับออกกับปัสสาวะ แต่ถ้าไตเกิดความผิดปกติไม่สามารถทำหน้าที่ได้แล้ว ของเสียทั้งหลายก็จะสะสมอยู่ในเลือดจนถึงระดับที่เป็นพิษต่อร่างกาย วิธีแก้ไขทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไตเทียมมาช่วยในการกรองเลือด ด้วยขบวนการที่เรียกว่า ฮีโมไดอะไลซิส (hemodialysis)

ฮีโมไดอะไลซิส (รูปที่ 3 - 13) ทำได้โดยให้เลือดของผู้ป่วยไหลเวียนไปตามท่อยาวที่ขดไว้ ท่อนี้ทำด้วยเซลโลเฟนซึ่งมีขนาดของรู (pore size) ที่เหมาะสมขนาดหนึ่ง ระบบของท่อแช่อยู่ในภาชนะซึ่งบรรจุสารละลายที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายชนิดที่จะต้องคงอยู่ในกระแสเลือด เท่ากับความเข้มข้นของตัวถูกละลายชนิดนั้น ๆ ที่มีในเลือดจริง ส่วนตัวถูกละลายชนิดที่เป็นของเสีย

ที่จะต้องถูกขับออกจากเลือดนั้น จะไม่พบในสารละลายนี้เลย ทั้งนี้เพื่อที่จะทำให้ของเสียทั้งหลายสามารถถูกกรองออกมาจากเลือดได้ สารละลายไอโซโทนิกที่ใช้ในฮีโมไดอะไลซิส ประกอบด้วย 0.6% NaCl (W/V), 0.04% KCl (W/V), 0.2% NaHCO<sub>3</sub> (W/V) และ 1.5% กลูโคส (W/V) การกรองเลือดแต่ละครั้งอาจต้องใช้เวลาถึง 6 ชั่วโมง โดยที่ต้องคอยเปลี่ยนสารละลายในภาชนะทุก ๆ 2 ชั่วโมงด้วย เพื่อให้แน่ใจว่าของเสียที่ถูกสกัดออกมาจากเลือดแล้ว จะไม่กลับเข้าไปสู่กระแสเลือดได้อีก

ไตเทียมจะช่วยให้ผู้ป่วยมีชีวิตเหมือนคนปกติ คราบเท่าที่ผู้ป่วยนั้นยังคงได้รับการกรองเลือดอย่างสม่ำเสมอ และในบางครั้งไตเทียมจะถูกใช้เพียงชั่วคราวสำหรับผู้ป่วยที่กำลังรอรับการผ่าตัดเพื่อเปลี่ยนไตใหม่



รูปที่ 3 - 13 ระบบการทำงานของไตเทียม

## สรุปเนื้อหาสาระสำคัญ

น้ำเป็นสารประกอบที่มีจำนวนมากที่สุดในสิ่งมีชีวิต การที่น้ำมีจุดเยือกแข็ง จุดเดือด heat of vaporization สูง ตลอดจนมีแรงตึงผิวนั้น เป็นผลเนื่องมาจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของน้ำ มีความแข็งแรง โดยน้ำโมเลกุลหนึ่ง ๆ จะสามารถทำพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงได้ถึง 4 โมเลกุลด้วยกัน ในธรรมชาติบางครั้งจะมีไอออนของโลหะบางชนิดละลายปนอยู่ในน้ำด้วย อันเป็นสาเหตุทำให้น้ำเกิดกระด้างคือไม่เกิดฟองกับสบู่ น้ำกระด้างมี 2 ประเภท คือน้ำกระด้างชั่วคราวกับน้ำกระด้างถาวร ประเภทแรกจะมีไอออนลบเป็นไบคาร์บอเนตไอออน และเมื่อนำไปต้ม ความกระด้างก็จะหมดไป ส่วนประเภทหลังมีไอออนลบเป็นคลอไรด์หรือซัลเฟตไอออน และถ้าจะทำให้เป็นน้ำอ่อน ต้องให้ทำปฏิกิริยากับสารบางอย่าง เช่น บอแรกซ์ โซดาซักผ้า หรือแอมโมเนีย วิธีกำจัดตะกอนออกจากน้ำกระด้างทำได้โดยใช้เรซินแบบแลกเปลี่ยนไอออนตัวหนึ่งคือ ซีโอไลท์ จากคุณสมบัติของน้ำที่สามารถทำพันธะไฮโดรเจนได้และมีความเป็นโพลาร์ ทำให้น้ำสามารถละลายสารประกอบไอออนิก และสารที่เป็นกลางได้หลายชนิด สำหรับแอมฟิพาธิคโมเลกุล เช่น สบู่ เมื่ออยู่ในน้ำจะรวมตัวกันเป็นไมเซลล์โดยหันเอาด้านเนียนโพลาร์เข้าข้างในมิให้สัมผัสกับน้ำ ส่วนด้านโพลาร์จะหันออกข้างนอก และทำพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ซึ่งแรงจากการทำพันธะนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ไมเซลล์คงรูปอยู่ได้

สิ่งมีชีวิตเลือกใช้น้ำเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ในร่างกาย เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติทางชีววิทยาที่เหมาะสมหลายประการ และยังมีคุณสมบัติทางชีวฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งมีชีวิตอีกด้วย เช่น ทำให้เกิดการแพร่กระจายของสารต่าง ๆ ออกไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารนั้นอยู่น้อยกว่า นอกจากนี้ยังทำให้เกิดออสโมซิส ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่น้ำไหลผ่านเยื่อเซมิเพอร์มีเบิลจากด้านที่มีความเข้มข้นต่ำไปยังด้านที่มีความเข้มข้นสูง ทั้งออสโมซิสและความดันออสโมติกอันเป็นขบวนการที่เกิดตรงกันข้าม จะมีความสำคัญอย่างยิ่งในการรักษาสมดุลระหว่างน้ำ และอิเล็กโตรไลต์ในเซลล์สิ่งมีชีวิต

เมื่อมีสารชนิดอื่นผสมลงในน้ำบริสุทธิ์ ถ้าสารนั้นละลายน้ำได้จะเกิดเป็นสารละลายขึ้น โดยอาจจะเป็นสารละลายที่แท้จริงถ้าตัวถูกละลายมีขนาดเล็ก หรือสารละลายคอลลอยด์ถ้าตัวถูกละลายมีขนาดใหญ่ ระบบคอลลอยด์สามารถแยกออกตามสถานะของอนุภาคคอลลอยด์และตัวกลางได้เป็น 3 ประเภท คือ ซอลล์ โฟม และเจล แต่ถ้าแยกตามคุณสมบัติทางกายภาพแล้วจะได้เป็น ซัสเพนซอยด์และอิมัลซอยด์ สารละลายคอลลอยด์พบมากในสิ่งมีชีวิตและจากการที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ เมื่อต้องมีการซึมผ่านเข้าสู่หรือออกจากเยื่อภายในร่างกายจึงมีสมดุลที่แตกต่างไปจากธรรมดา



ซึ่งอธิบายได้โดยสมดุลย์ตอมนาน อนุภาคของสารละลายคอลลอยด์จะมีการเคลื่อนที่แบบบราวเนียน และสามารถหักเหและกระจายแสงได้เรียกว่า Tyndall effect ในกรณีที่มีอนุภาคคอลลอยด์รวมอยู่กับอิมัลชันขนาดเล็กและต้องการแยกจากกัน จะทำได้โดยใช้ขบวนการไดอะไลซิส ซึ่งอาศัยหลักของการแพร่ผ่านเยื่อเซมิเพอร์มีเบิลอันมีรูพรุน อนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีขนาดใหญ่จะไม่สามารถผ่านรูของเยื่อนี้ได้ หลักการไดอะไลซิสยังถูกนำไปใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ด้วย คือใช้ในไตเทียม

## คำถามท้ายบท

1. ทำไมโมเลกุลของน้ำจึงมีความเป็นโพลาร์
2. พันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นได้อย่างไร
3. พันธะไฮโดรเจนเกี่ยวข้องอย่างไรกับการที่น้ำมีแรงตึงผิวสูง
4. น้ำกระด้างคืออะไร มีวิธีแก้อย่างไร
5. อธิบายการละลายของสารต่อไปนี้ในน้ำ

สารประกอบไอออนิก

แอมฟิพาธิกโมเลกุล

6. สารต่อไปนี้ชนิดใดที่ละลายในน้ำ

$\text{CH}_4$

$\text{KCl}$

$\text{He}$

$\text{MgSO}_4$

น้ำตาลอ้อย

$\text{NaHCO}_3$

7. จงเปรียบเทียบสารละลายที่เกิดขึ้นจากการนำเอาเกลือแกงไปใส่น้ำและใส่ลงในเบ็นซีน
8. มีสารละลายซูโครส 2% และ 4% แยกจากกันโดยเยื่อออสโมติก ในตอนเริ่มต้น สารละลายทั้งสองมีระดับเท่ากัน แต่เมื่อปล่อยให้ผ่านไปชั่วระยะเวลาหนึ่ง ระดับทั้งสองด้านจะต่างกัน
  - 8.1 จงพิจารณาว่าเกิดขบวนการอะไรขึ้น
  - 8.2 การไหลสุทธิของน้ำเป็นไปในทิศทางใด
  - 8.3 สารละลายชนิดใดที่จะมีความเข้มข้นมากขึ้น
  - 8.4 ระดับของสารละลายใดที่สูงขึ้นและต่ำลง
9. ทำไมค่าออสโมลาริตีของ 1 M  $\text{NaCl}$  จึงไม่เท่ากับค่าโมลาริตี
10. สารละลายสองชนิดต่อไปนี้ ชนิดใดมีค่าออสโมลาริตีสูงกว่ากัน จงอธิบาย

0.10 M  $\text{NaCl}$  และ

0.08 M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$

11. อธิบายความแตกต่างระหว่างออสโมซิสและไดอะไลซิส
12. อิมัลชันคืออะไร ยกตัวอย่างประกอบด้วย
13. ซอลส์คืออะไร ยกตัวอย่างประกอบด้วย
14. ซัสเพนซอยด์และอิมัลซอยด์แตกต่างกันอย่างไร
15. ถ้านำสารละลายคอลลอยด์ 0.01 M NaX ไปส่งทางซีกซ้ายของภาชนะที่คั่นกลางด้วยเยื่อเซมิเพอร์มีเบิลที่ไม่ยอมให้  $X^-$  ผ่าน จงคำนวณหาความเข้มข้นของไอออนแต่ละชนิดที่สภาวะสมดุล ถ้าในซีกขวาของภาชนะมีสารละลาย 0.025 M  $Na_2SO_4$  บรรจุอยู่ (ให้ถือว่า ปริมาตรของสารละลายในสองด้านของภาชนะนี้เท่ากัน)
16. สารละลาย 0.1 M Sodium palmitate ( $C_{15}H_{31}COONa$ ) ถูกบรรจุอยู่ทางซีกซ้าย ส่วนสารละลาย 0.2 M NaCl ถูกบรรจุอยู่ทางซีกขวาของภาชนะที่คั่นกลางด้วยเยื่อเซมิเพอร์มีเบิลที่ยอมให้  $Na^+$  ไอออน และ  $Cl^-$  ไอออนผ่าน แต่ไม่ยอมให้  $C_{15}H_{31}COO^-$  ไอออนซึมผ่าน จงคำนวณหาความเข้มข้นของ  $Na^+$  และ  $Cl^-$  ไอออนในทั้งสองข้างของภาชนะที่สภาวะสมดุล
17. อธิบายเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นในกรณีต่อไปนี้
  - 17.1 นำถุงไดอะไลซิสที่บรรจุสารละลาย NaCl ไปแช่ในน้ำบริสุทธิ์
  - 17.2 นำถุงไดอะไลซิสที่บรรจุสารละลายโปรตีน (ในน้ำ) และ NaCl ไปแช่ในน้ำบริสุทธิ์
  - 17.3 นำถุงไดอะไลซิสที่บรรจุสารละลายโปรตีน (ในน้ำ) ไปแช่ในสารละลาย NaCl เข้มข้น
18. อธิบายหลักการและการทำงานของไตเทียม

