

# สเลอปี้



ระดับชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 5



เวลา 4 ชั่วโมง

## จุดประสงค์

1. อธิบายความรู้เรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟ สภาวะเย็นยวดยิ่งและปรากฏการณ์นิวคลีเอชันในกระบวนการทำสเลอปี้
2. ออกแบบและทำสเลอปี้ภายใต้วัสดุอุปกรณ์ เวลา และงบประมาณที่กำหนด
3. ใช้ความรู้ ทักษะและกระบวนการทางคณิตศาสตร์ในการกำหนดราคาขาย คำนวณต้นทุน กำไร ในการทำสเลอปี้



## วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

### วัสดุอุปกรณ์

ที่	รายการ	จำนวน ต่อกลุ่ม	ที่	รายการ	จำนวน ต่อกลุ่ม
1	ขวดพลาสติกใสแบบมีฝาปิดขนาดใหญ่	2 ใบ	6	เครื่องชั่ง	1 เครื่อง
2	ขวดพลาสติกใสแบบมีฝาปิดขนาดเล็ก	2 ใบ	7	ผ้าเช็ดโต๊ะ	1 ผืน
3	แก้วพลาสติกใส	2 ใบ	8	ถุงมือผ้า	2 คู่
4	ถาดพลาสติก (สำหรับรอง)	1 ใบ	9	เทอร์มอมิเตอร์ (ช่วงอุณหภูมิ $-10^{\circ}\text{C} - 100^{\circ}\text{C}$ )	2 อัน
5	ช้อนพลาสติก	1 อัน			

## สารเคมี

ที่	รายการ	จำนวนต่อกลุ่ม
1	เกลือ	500 กรัม
2	น้ำแข็งบดหรือน้ำแข็งแบบหลอดเล็ก	1 กิโลกรัม
3	เครื่องตีประเภทต่าง ๆ เช่น น้ำอัดลม น้ำหวาน	1 ขวด
4	น้ำเปล่า	1 ลิตร



### วิธีดำเนินการ

#### ตอนที่ 1 การศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำสเลอปปี้

1. นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า ถ้าต้องการจะเปิดร้านขายเครื่องดื่มในช่วงกิจกรรมกีฬา จะขายอะไรดีที่ น่าจะได้รับความนิยม
2. นักเรียนแบ่งกลุ่ม กลุ่มละ 4-5 คน แล้วสมมติสถานการณ์ปัญหาเพื่อให้นักเรียนแต่ละกลุ่มศึกษารายละเอียดและเงื่อนไขของสถานการณ์ปัญหา ดังนี้  
“ชุมชนธุรกิจของนักเรียนมีความเห็นว่าจะจัดตั้งร้านขายเครื่องดื่มให้กับนักกีฬาและกองเชียร์ในวันแข่งขันกีฬาของโรงเรียนซึ่งจะจัดขึ้นในช่วงฤดูร้อน จากการสำรวจพบว่า ‘สเลอปปี้ (Slurpee)’ เป็นเครื่องดื่มที่นักเรียนต้องการดื่มเพื่อดับกระหายมากที่สุด นักเรียนจึงได้รับมอบหมายจากสมาชิกในชุมชนธุรกิจให้ออกแบบและหาวิธีการทำเครื่องดื่มที่มีลักษณะเหมือนสเลอปปี้โดยใช้เครื่องมือที่หาได้ง่ายและกำหนดราคาขายเพื่อให้ได้กำไร”
3. นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า มีวิธีการใดบ้างที่จะสามารถทำเครื่องดื่มที่มีลักษณะเหมือนสเลอปปี้โดยใช้เครื่องมือที่หาได้ง่าย
4. นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า ถ้าต้องการให้การทำสเลอปปี้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จะต้องทำการศึกษาปัจจัยอะไรบ้างที่เกี่ยวข้องกับการทำสเลอปปี้

#### กิจกรรมที่ 1 เหตุใดจึงต้องเติมเกลือ

1. นักเรียนแต่ละกลุ่มอภิปรายร่วมกัน และคาดคะเนว่า อุณหภูมิของน้ำแข็ง และน้ำแข็งผสมเกลือ ที่ตั้งไว้ ณ อุณหภูมิห้องจะมีค่าเท่าใด โดยบันทึกตัวเลขจากการคาดคะเนลงในใบกิจกรรมที่ 1
2. นักเรียนเตรียมวัสดุและอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองซึ่งประกอบด้วย ขวดพลาสติกทรงกระบอก 2 อัน เทอร์มอมิเตอร์ 2 อัน ช้อน 1 อัน น้ำแข็ง และเกลือ
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มทำการทดลองวัดอุณหภูมิของน้ำแข็ง และน้ำแข็งผสมเกลือ (ใช้เกลือจำนวน 2 ช้อน) ที่ตั้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง จากนั้นบันทึกผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่ 1 แล้วเปรียบเทียบสิ่งที่นักเรียนทำนายกับผลที่ได้จากการทดลองว่าเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร

4. นักเรียนศึกษาใบความรู้ที่ 1 เรื่อง สมบัติคอลลิเกทีฟ จากนั้นร่วมกันอภิปรายและสรุปผลที่ได้จากการทดลอง โดยบันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 1
5. นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อเชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมที่ 1 กับการทำสไลด์

### กิจกรรมที่ 2 ปริมาณเกลือสำคัญอย่างไร

1. นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า ปริมาณของเกลือที่เติมลงไปจนถึงน้ำแข็งมีผลต่ออุณหภูมิของสารละลายเกลือในถังน้ำแข็งหรือไม่ อย่างไร จะทำการทดสอบสมมติฐานเหล่านี้ได้อย่างไร
2. นักเรียนเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณเกลือในสารละลายที่มีต่ออุณหภูมิของสารละลาย โดยวัสดุและอุปกรณ์ประกอบด้วย ขวดพลาสติกทรงกระบอก 1 อัน เทอร์มอมิเตอร์ 1 อัน ช้อน 1 อัน น้ำแข็ง น้ำ และเกลือ
3. นักเรียนทำการทดลองโดยเติมน้ำเปล่าปริมาตรประมาณ  $1/8$  ของขวดพลาสติกทรงกระบอก จากนั้นเติมน้ำแข็งลงไปให้ได้ประมาณ  $1/2$  ของขวดพลาสติกทรงกระบอกแล้ววัดอุณหภูมิของน้ำผสมน้ำแข็ง จากนั้นเติมเกลือลงไป 1 ช้อน และวัดอุณหภูมิที่ได้ แล้วจึงเติมเกลือเพิ่มลงไปอีก 1 ช้อน และวัดอุณหภูมิที่ได้ โดยให้บันทึกผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่ 2
4. นักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปผลที่ได้จากการทดลอง โดยบันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 2
5. นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อตอบคำถามในใบกิจกรรมที่ 2
6. นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อเชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมที่ 2 กับการทำสไลด์

### กิจกรรมที่ 3 ทำไมต้องเขย่า

1. นักเรียนร่วมกันอภิปรายว่า การเขย่าภาชนะที่แช่เครื่องดื่มที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง เครื่องดื่มนั้น จะเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ อย่างไร
2. นักเรียนเตรียมอุปกรณ์สำหรับการทดลองเพื่อศึกษาผลของการรบกวนการแข็งตัวของของเหลวด้วยการเขย่าภาชนะ โดยวัสดุและอุปกรณ์เพื่อทำการทดลองของแต่ละกลุ่มประกอบด้วย ขวดพลาสติกทรงกระบอก 2 อัน ช้อน 1 อัน น้ำแข็ง น้ำอัดลม และเกลือ
3. นักเรียนแต่ละกลุ่มเติมน้ำแข็งลงในภาชนะ 2 ใบ ให้มีปริมาณเท่ากัน จากนั้นเติมเกลือจำนวน 2 ช้อน ลงไปในน้ำแข็งในภาชนะทั้งสองใบ นำเครื่องดื่มลงไปแช่เป็นเวลาประมาณ 5 นาที จากนั้นเขย่าภาชนะใบที่ 1 สังเกตการเปลี่ยนแปลงของเครื่องดื่มเปรียบเทียบกับภาชนะใบที่ 2 และบันทึกผลการทดลองลงในใบกิจกรรมที่ 3
4. นักเรียนศึกษาใบความรู้ที่ 2 เรื่องสถานะเย็นยวดยิ่ง จากนั้นร่วมกันอภิปรายและสรุปผลที่ได้จากการทดลอง โดยบันทึกลงในใบกิจกรรมที่ 3
5. นักเรียนอภิปรายร่วมกันเพื่อเชื่อมโยงความรู้ที่ได้จากการทำกิจกรรมที่ 3 กับการทำสไลด์

## ตอนที่ 2 ออกแบบและทำสเลอปี

1. นักเรียนศึกษาเงื่อนไขเกี่ยวกับต้นทุนของวัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทำสเลอปี โดยมีราคา ดังนี้
  - เครื่องตีม ราคาตามจริง/1 ชุด
  - เกลือ ราคา 2 บาท/100 กรัม (1 ซีด)
  - น้ำแข็ง ราคา 3 บาท/100 กรัม (1 ซีด)
2. นักเรียนศึกษาเงื่อนไขในการทำสเลอปี ดังนี้
  - หลังจากทุกกลุ่มได้รับวัสดุอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว จะเริ่มทำการผลิตพร้อมกัน โดยมีระยะเวลาทั้งสิ้น 15 นาที
  - วัดปริมาณสเลอปีที่ผลิตได้
  - กำหนดราคาขายสเลอปี
3. นักเรียนเขียนภาพร่างวิธีการทำสเลอปี และร่วมกันวางแผนการทำสเลอปี
4. นักเรียนลงมือทำสเลอปีตามวิธีการของแต่ละกลุ่มออกแบบไว้
5. นักเรียนทำการวัดปริมาณสเลอปีที่ผลิตขึ้นและบันทึกลงในตารางบันทึกผล
6. นักเรียนแต่ละกลุ่มนำเสนอแนวคิดในการออกแบบและวิธีการทำสเลอปี โดยต้องอธิบายองค์ความรู้ที่นำมาใช้ในการออกแบบและทำสเลอปี พร้อมทั้งวิธีการปรับปรุงการทำสเลอปี ทั้งนี้สำหรับกลุ่มที่ไม่ประสบผลสำเร็จในการทำสเลอปีให้นำเสนอสาเหตุ รวมทั้งแนวทางในการปรับปรุงแก้ไขวิธีการด้วย
7. นักเรียนร่วมกันอภิปรายและสรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทำสเลอปี ที่นักเรียนได้เรียนรู้จากกิจกรรมนี้



### สื่อและแหล่งเรียนรู้

1. ใบความรู้ที่ 1 สมบัติคอลลิเกทีฟ
2. ใบความรู้ที่ 2 สภาวะเย็นยวดยิ่ง
3. วิดีโอหรือภาพแสดงขั้นตอนการทำสเลอปีอย่างง่าย (ตัวอย่าง: <http://youtu.be/5T68TvdoSbl>)



## ใบกิจกรรมที่ 1

### เหตุใดจึงต้องเติมเกลือ

#### 1. ตารางบันทึกผล

วัตถุ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	
	การคาดคะเน	ผลจากการวัด
- น้ำแข็งบด		
- น้ำแข็งบด และเกลือ		

#### 2. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

#### 3. จุดเยือกแข็งของสารละลายที่ได้จากการเติมเกลือลงในน้ำแข็ง เป็นอย่างไรเมื่อเปรียบเทียบกับจุดเยือกแข็งของน้ำ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

## ใบกิจกรรมที่ 2

### ปริมาณเกลือสำคัญอย่างไร

#### 1. ตารางบันทึกผล

วัตถุ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
- น้ำ กับ น้ำแข็งบด	
- น้ำ, น้ำแข็งบด และ เกลือ 1 ช้อน	
- น้ำ, น้ำแข็งบด และ เกลือ 2 ช้อน	

#### 2. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

#### 3. ถ้าเติมเกลือเพิ่มอีก 1 ช้อน จากการทดลองนี้ จะทำให้อุณหภูมิของสารละลายเป็นอย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

### กิจกรรมที่ 3

#### ทำไมต้องเขย่า

1. ตารางบันทึกผล

วิธีการ	ลักษณะของผลิตภัณฑ์
- น้ำอัดลมแช่ไว้ถึงน้ำแข็งกับเกลือ	
- น้ำอัดลมแช่ไว้ถึงน้ำแข็งกับเกลือที่มีการเขย่า	

2. สรุปผลการทดลอง

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. เพราะเหตุใด การเขย่าจึงทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแช่น้ำอัดลมในถังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง มีลักษณะแตกต่างจากการไม่เขย่า

.....

.....

.....

.....

.....

## ใบความรู้ที่ 1

### สมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative properties)

สารละลายเป็นสารเนื้อเดียว เตรียมได้จากการผสมสารบริสุทธิ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปเข้าด้วยกัน สมบัติคอลลิเกทีฟ (colligative properties) เป็นสมบัติของสารละลายที่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งมีอยู่ 4 ประการ ดังนี้

1. การเพิ่มขึ้นของจุดเดือด (boiling point elevation)
2. การลดลงของจุดเยือกแข็ง (freezing point depression)
3. การลดลงของความดันไอ (vapor pressure lowering)
4. การเกิดความดันออสโมติก (osmotic pressure)

ในที่นี้จะกล่าวถึงรายละเอียดสมบัติคอลลิเกทีฟเฉพาะการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด และการลดลงของจุดเยือกแข็ง โดยจุดเดือดของสารละลายจะสูงกว่าจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ส่วนจุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของสารละลายจะต่ำกว่าจุดหลอมเหลวหรือจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์ ในกรณีที่สารละลายมีตัวทำละลายไม่แตกตัวเป็นไอออน และเป็นสารที่ระเหยยาก การเพิ่มขึ้นของจุดเดือดและการลดลงของจุดเยือกแข็งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลาย กล่าวคือ สารละลายที่มีตัวทำละลายชนิดเดียวกัน และมีความเข้มข้นในหน่วยโมลต่อกิโลกรัม (โมลแลล) เท่ากัน จะมีจุดเดือดหรือจุดเยือกแข็งเท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและมีความเข้มข้น 1 โมลแลล จะมีจุดเยือกแข็ง  $-1.86^{\circ}\text{C}$  และมีจุดเดือด  $100.51^{\circ}\text{C}$  ส่วนสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายและมีความเข้มข้น 2 โมลแลล จะมีจุดเยือกแข็ง  $-3.72^{\circ}\text{C}$  และมีจุดเดือด  $101.02^{\circ}\text{C}$  ทั้งนี้ตัวละลายจะเป็นสารใดก็ได้

ผลต่างระหว่างจุดเดือดของสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 โมลแลล หรือ 1 โมลต่อกิโลกรัม กับจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์จะมีค่าคงที่ เรียกว่า ค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด ( $K_b$ ) ของตัวทำละลาย ในทำนองเดียวกันผลต่างระหว่างจุดหลอมเหลวของสารละลายที่มีความเข้มข้น 1 โมลแลล หรือ 1 โมลต่อกิโลกรัม กับจุดหลอมเหลวของตัวทำละลายบริสุทธิ์ก็มีค่าคงที่ เรียกว่า ค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็ง ( $K_f$ ) ของตัวทำละลาย

เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของจุดเดือดเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มข้นเป็นโมลแลลของสารละลาย เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta T_b \propto m$$

$$\Delta T_b = K_b m$$

เมื่อ  $\Delta T_b$  = ผลต่างระหว่างจุดเดือดของสารละลายกับจุดเดือดของตัวทำละลายบริสุทธิ์

$m$  = ความเข้มข้นของสารละลายเป็นโมลแลลหรือโมลต่อกิโลกรัม

$K_b$  = ค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือดของตัวทำละลาย

ในทำนองเดียวกัน การลดลงของจุดเยือกแข็งก็เป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มข้นเป็นโมลแลลของสารละลาย เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\Delta T_f \propto m$$

$$\Delta T_f = K_f m$$



เมื่อ  $\Delta T_f$  = ผลต่างระหว่างจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบริสุทธิ์กับจุดเยือกแข็งของสารละลาย

$m$  = ความเข้มข้นของสารละลายเป็นโมลแลตหรือโมลต่อกิโลกรัม

$K_f$  = ค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็งของตัวทำละลาย

ตัวอย่างจุดเดือด จุดเยือกแข็ง ค่า  $K_b$  และ  $K_f$  ของสารบางชนิดแสดงในตาราง

ตาราง จุดเดือด จุดเยือกแข็ง ค่าคงที่ของการเพิ่มขึ้นของจุดเดือด และค่าคงที่ของการลดลงของจุดเยือกแข็งของตัวทำละลายบางชนิด

ตัวทำละลาย	จุดเดือด (°C)	$K_b$ (°C/m)	จุดเยือกแข็ง (°C)	$K_f$ (°C/m)
โพรพานอน ( $C_3H_6$ )	56.20	1.71	-	-
ไตรคลอโรมีเทนหรือคลอโรฟอร์ม ( $CHCl_3$ )	61.70	3.63	-	-
เมทานอล ( $CH_4O$ )	64.96	0.83	-	-
เอทานอล ( $C_2H_6O$ )	78.50	1.22	-	-
เบนซีน ( $C_6H_6$ )	80.10	2.53	5.50	4.90
แนฟทาลีน ( $C_{10}H_8$ )	-	-	80.55	6.98
น้ำ ( $H_2O$ )	100.00	0.51	0.00	1.86
กรดแอสติก ( $C_2H_4O_2$ )	117.90	3.07	16.60	3.90
คาร์บอนเตตระคลอไรด์ ( $CCl_4$ )	76.54	5.03	-22.99	2.98

ค่า  $K_b$  และ  $K_f$  มีหน่วยเป็น °C/m เมื่อ  $m$  = molal หรือ °C/mol/kg หรือเขียนเป็น °Ckg/mol

จากข้อมูลในตาราง ค่า  $K_f$  ของเบนซีนเท่ากับ 4.90 องศาเซลเซียสต่อโมลแลต หมายความว่า สารละลายที่มีเบนซีนเป็นตัวทำละลายเข้มข้น 1 โมลแลต จะเยือกแข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของเบนซีน 4.90 องศาเซลเซียส นั่นคือ จุดเยือกแข็งของสารละลายนี้มีค่าเท่ากับ  $5.50 - 4.90 = 0.60$  °C

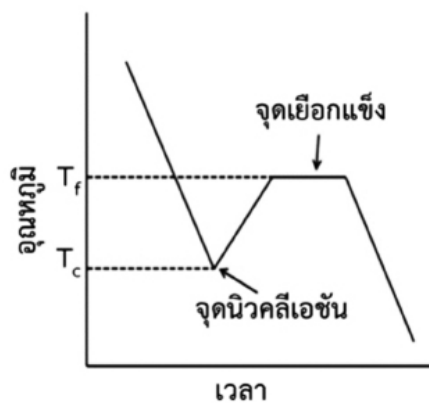
สำหรับในกรณีที่สารละลายมีตัวละลายแตกตัวเป็นไอออน การเพิ่มขึ้นของจุดเดือดและการลดลงของจุดเยือกแข็งจะแตกต่างจากสารละลายที่มีตัวละลายไม่แตกตัวและระเหยยากดังที่ได้กล่าวแล้วข้างต้น ตัวอย่างเช่น สารละลายเกลือแกง ( $NaCl$ ) (แตกตัวให้โซเดียมไอออน ( $Na^+$ ) และ คลอไรด์ไอออน ( $Cl^-$ )) ความเข้มข้น 1 โมลแลต จะมีจุดเดือดสูงกว่าและมีจุดเยือกแข็งต่ำกว่าสารละลายน้ำตาลทราย ( $C_{12}H_{22}O_{11}$ ) ที่มีความเข้มข้นเท่ากัน

ในทางการค้าได้นำความรู้เกี่ยวกับสมบัติคอลลิเกทีฟไปใช้ประโยชน์ เช่น การรักษาอุณหภูมิของถังไอศกรีมให้มีอุณหภูมิต่ำโดยทั่วไปหากใส่เฉพาะน้ำแข็งอย่างเดียวลงในถังไอศกรีม อุณหภูมิภายในถังจะอยู่ที่ประมาณ 4 – 5 °C แต่เมื่อเติมเกลือลงไป จะทำให้อุณหภูมิภายในถังไอศกรีมต่ำกว่า 0 °C ส่งผลให้ไอศกรีมคงตัวอยู่ได้นานและไม่หลอมเหลว ตัวอย่างการประยุกต์ใช้สมบัติคอลลิเกทีฟอื่น ๆ ที่พบ เช่น ในบางประเทศมีการใช้เกลือโรยหิมะเพื่อทำให้หิมะจึงเกิดการหลอมเหลว หรือการเติมสารบางประเภทลงในเครื่องยนต์เพื่อป้องกันการแข็งตัวของน้ำในเครื่องยนต์

## ใบความรู้ที่ 2

### สถานะเย็นยวดยิ่ง (supercooled state)

เป็นที่ทราบกันดีว่าเมื่อลดอุณหภูมิของของเหลวจนถึงจุดเยือกแข็ง (freezing point) ของเหลวจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง การเปลี่ยนสถานะของของเหลวดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ถ้าของเหลวนั้นมีอนุภาคของของแข็ง เช่น ฝุ่นละออง ปนอยู่ การเปลี่ยนสถานะของของเหลวเป็นของแข็งรวมทั้งการเกิดผลึก โมเลกุลของของเหลวจะยึดเกาะกับอนุภาคของของแข็งซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนกลางหรือนิวเคลียส (nucleus) แม้จะมีอนุภาคของแข็งปนอยู่ในของเหลวในปริมาณที่น้อยมากการเปลี่ยนสถานะของของเหลวเป็นของแข็งที่จุดเยือกแข็งสามารถเกิดขึ้นได้ ในกรณีที่ของเหลวมีความบริสุทธิ์มาก ๆ หรือสารละลายที่ไม่มีอนุภาคของของแข็งปนอยู่ แม้จะลดอุณหภูมิจนต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ของเหลวยังมีสถานะเป็นของเหลว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **สถานะเย็นยวดยิ่ง (supercooled state)** เช่น น้ำ มีจุดเยือกแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นน้ำกลายเป็นน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $0^{\circ}\text{C}$  แต่หลายครั้งที่เมื่อนำน้ำดื่มที่บรรจุในขวดพลาสติกที่ยังไม่เปิดฝา ไปแช่ในช่องแช่แข็งที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $0^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลาหลายชั่วโมงน้ำยังคงสถานะของเหลวเช่นเดิม ที่เป็นเช่นนี้เพราะในน้ำบริสุทธิ์ไม่มีอนุภาคของของแข็งให้โมเลกุลของน้ำยึดเกาะจากการศึกษาพบว่าน้ำที่บริสุทธิ์มาก ๆ สามารถคงสถานะของเหลวได้จนถึงอุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  จึงเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง อุณหภูมิที่ของเหลวเย็นยวดยิ่งเปลี่ยนเป็นของแข็งได้เองโดยไม่มีกระบวนการเรียกว่า **จุดนิวเคลียส (nucleation point)**



ภาพที่ 1 อุณหภูมิสารยวดยิ่ง ณ จุดเยือกแข็ง ( $T_f$ ) และอุณหภูมิ ณ จุดนิวเคลียส ( $T_c$ )

การรบกวนระบบของสารที่เย็นยวดยิ่ง (supercooled substances) จะทำให้สารที่มีสถานะเป็นของเหลวเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งอย่างรวดเร็ว เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า **นิวเคลียส (nucleation)** การรบกวนระบบที่ทำให้เกิดนิวเคลียสสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การหย่อนอนุภาคของแข็งลงในสารที่เย็นยวดยิ่ง อนุภาคที่เป็นของแข็งจะทำหน้าที่เป็นแกนกลางให้โมเลกุลของของเหลวยึดเกาะและกลายเป็นของแข็งหรือตกผลึก ทันทีที่ของเหลวเย็นยวดยิ่งมีเกล็ดของแข็งหรือผลึกแรกเกิดขึ้น กระบวนการนิวเคลียสจะเกิดขึ้นต่อเนื่องและรวดเร็วทำให้ของเหลวเย็นยวดยิ่งกลายเป็นของแข็งทั้งหมด

เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของของเหลวเย็นยวดยิ่งเป็นของแข็งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นของแข็งหรือผลึกที่เกิดขึ้นจะจัดเรียงตัวได้เป็นระเบียบน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การแข็งตัวของของเหลวปกติที่เกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ดังนั้นของแข็งที่เกิดจากของเหลวเย็นยวดยิ่งจะมีความแข็งแรงน้อยกว่าของแข็งที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะที่จุดเยือกแข็งปกติ

ในกรณีของสารละลายที่มีการอัดแก๊สลงในของเหลว เช่น เครื่องดื่มประเภทกรดคาร์บอนิก เมื่อเขย่าสารละลาย เย็นยวดยิ่งของสารประเภทนี้ จะมีฟองแก๊สเกิดขึ้นจำนวนมากซึ่งฟองแก๊สที่เกิดขึ้นจะผสมและแทรกตัวอยู่ในโมเลกุลของของเหลวทำให้เมื่อเกิดการเขย่าตัว สารที่ได้จะมีลักษณะเป็นเกล็ดเล็ก ๆ และเกิดการจับตัวเป็นก้อนน้อยกว่าเครื่องดื่มที่ไม่ได้อัดแก๊สลงไป

## อ้างอิง

1. Lee, D., Park, C., Jeong, S. & Kang, C. (2014). Pressure effect on the release of supercooled water with dissolved air. *International Journal of Refrigeration*. 40, 51-60.
2. <http://www.scienceinschool.org/2010/issue17/supercooling> (เข้าถึงเมื่อ 24 พฤษภาคม 2558).