การทดลองที่ 10
เรื่อง ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายเกี่ยวกับสภาพของการหลอมเหลวของน้ำแข็งได้
2. หาความร้อนแฝงของการหลอมเหลว

เครื่องใช้ในการทดลอง

1. แคลอรีมิเตอร์และเครื่องคน
2. น้ำและน้ำแข็ง
3. เครื่องชั่ง
4. เตาไฟฟ้า
5. ภาชนะสำหรับต้มน้ำ
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. กระดาษซับ

ทฤษฎี

ในการเปลี่ยนแปลงสถานะของสารจากของแข็งไปเป็นของเหลวและจากของเหลวไปเป็ก๊าซ เรียกว่าการหลอมเหลวและการระเหยกลายเป็นไอน้ำ ตรงช่วงต่อระหว่างสถานะของสารสองสถานะ เช่น จากของแข็งและกำลังจะกลายเป็นของเหลว หรือจากของเหลวกำลังจะกลายเป็นก๊าซจะเป็นช่วงที่สารใช้พลังงานความร้อนจำนวณหนึ่งในการเปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหะภูมิไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกว่าสารนั้นจะเปลี่ยนสถานะหมดทั้งก้อน แล้วอุณหภูมิจึงเริ่มเพิ่มขึ้น พลังงานความร้อนที่ใช้ในการให้สารหนึ่งหน่วยมวลเปลี่ยนสถานะจนหมดโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง เรียกว่า ความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะ (heat of transformation) ถ้าเป็นการหลอมเหลวเรียกว่า ความร้อนแฝงของการหลอมเหลว (heat of fusion) ถ้าเป็นการระเหยเป็นไอ เรียกว่า ความร้อนแฝงของการเป็นไอ (heat of vaporization)

PH 113 (L) 147

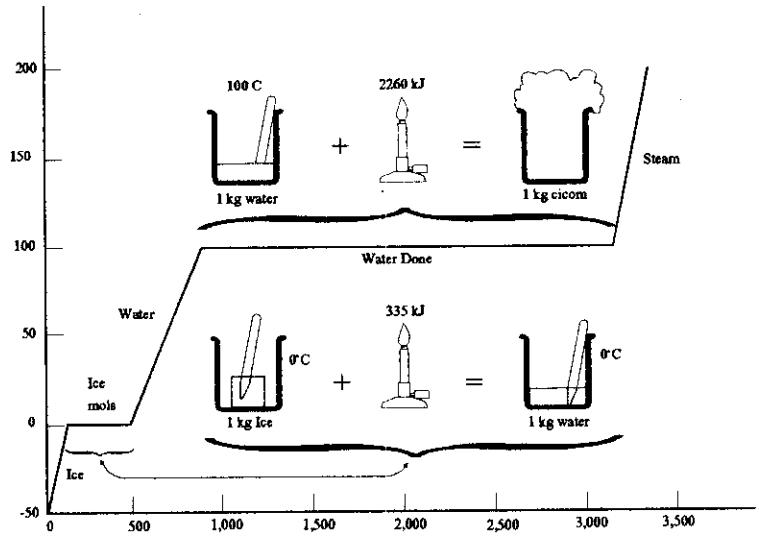
ไอ เรียกว่า ความร้อนแฝงของการเป็นไอ (heat of vaporization)

ในกรณีของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง คล้ายกับการหลอมเหลวของสารทั่วๆ ไปน้ำแข็งต้องใช้พลังงานความร้อนจำนวนหนึ่งในการทำให้โมเลกุลในผลึกในน้ำแข็งเปลี่ยนสภาพของการยึดเกาะ เพื่อให้กลายเป็นน้ำโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง

ในทางทฤษฎีค่าความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง (heat of fusion of ice ใช้อักษรย่อ L_f) ประมาณ 80 แคลอรีต่อกรัม หรือ 144 บีทียูต่อปอนด์ หรือ 80 kcal/kg หรือ 335 kJ/kg หมายความว่า น้ำแข็ง 1 กรัม ที่อุณหภูมิ 0 °C จะกลายเป็นน้ำหนึ่งกรัมที่ 0 °C ได้ต้องใช้ความร้อนประมาณ 80 แคลอรี หรือ น้ำแข็ง 1 ปอนด์ ที่อุณหภูมิ 32 °F จะกลายเป็นน้ำ 1 ปอนด์ที่ 32 °F ได้ต้องใช้ความร้อนประมาณ 144 บีทียู หรือน้ำแข็ง 1 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 0 °C จะกลายเป็นน้ำ 1 กิโลกรัมที่ 0 °C ต้องใช้ความร้อนประมาณ 355 กิโลจูล เป็นต้น

จากที่กล่าวมา ถ้าสมมติให้ L_f เป็นค่าความร้อนแฝงของมวล m ดังนั้น ความร้อนที่ใช้เปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง $= mL_f$ เมื่อ L_f คือ ค่าความร้อนแฝงของการเปลี่ยนสถานะแบบใดก็ได้ ซึ่งมีค่าแตกต่างออกไปแล้วแต่การเปลี่ยนสถานะนั้นๆ

ในกรณีของน้ำแข็งที่ 0 °C จะหลอมเหลวกลายเป็นน้ำที่ t °C ความร้อนทั้งหมดที่น้ำแข็งรับเข้าไปจะแยกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนน้ำแข็งที่ 0 °C ให้เป็นน้ำที่ 0 °C หมดโดยอุณหภูมิไม่เปลี่ยน ซึ่งคือความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนที่สองเป็นความร้อนที่ใช้ในการทำให้น้ำทั้งหมด 0 °C กลายเป็นน้ำที่ t °C ซึ่งจะคิดจากสมการ $Q = mC_{\text{น้ำ}}t$ ดังนั้นปริมาณความร้อนทั้งหมด m กรัมที่ 0 °C กลายเป็นน้ำ m กรัมที่ t °C คือ $mL_f + mC_{\text{น้ำ}}(t-0)$ หรือ $mL_f + mC_{\text{น้ำ}}t$ เมื่อ $C_{\text{น้ำ}} = 4.19\ \text{kJ/kg°C}$ หรือเท่ากับ $1\ \text{cal/g°C}$



รูปที่ 10.1

จากรูป 10.1 เป็นการแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มความร้อนให้แก่ก้อนน้ำแข็งที่มีมวล 1 กิโลกรัม ซึ่งเดิมมีอุณหภูมิ $-50\ ^{\circ}C$ และเนื่องจากความร้อนจำเพาะของน้ำแข็งมีค่าเท่ากับ $2.09\ kJ/kg^{\circ}C$ ดังนั้นจะต้องใช้ความร้อน $105\ kJ$ (คำนวณจากสูตร $Q = mC_{\text{น้ำ}}\Delta t$) เพื่อที่จะทำให้ก้อนน้ำแข็งไปอยู่ที่อุณหภูมิ $0\ ^{\circ}C$

ที่ $0\ ^{\circ}C$ ก้อนน้ำแข็งเริ่มต้นที่จะละลาย และก้อนน้ำแข็ง 1 กิโลกรัม ที่ $0\ ^{\circ}C$ นี้จะต้องใช้ความร้อน $335\ kJ$ (คำนวณจากสูตร $Q = mL_{fusion}$) จึงจะทำให้สามารถเปลี่ยนสถานะจากก้อนน้ำแข็งที่ $0\ ^{\circ}C$ กลายเป็นน้ำซึ่งเป็นของเหลวที่ $0\ ^{\circ}C$ ได้ จะเห็นได้ว่าช่วงนี้อุณหภูมิยังคงเหมือนเดิม

เมื่อก้อนน้ำแข็งทั้งหมดได้เปลี่ยนสถานะกลายเป็นน้ำแล้ว ถ้ายังคงเพิ่มความร้อนเข้าไปอีก อุณหภูมิก็จะเริ่มเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง และเนื่องจากความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ $4.19\ kJ/kg^{\circ}C$ ดังนั้นอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิต่อความร้อนจะเท่ากับ $0.24\ ^{\circ}C$ ต่อกิโลจูล ซึ่งอัตราการเปลี่ยนแปลงนี้จะน้อยกว่าช่วงที่เป็นก้อนน้ำแข็ง และเพราะว่าความร้อนจำเพาะของน้ำมีค่ามากกว่าความร้อนจำเพาะของน้ำแข็ง ความชันของเส้นกราฟในช่วงนี้จะน้อยกว่าความชันของเส้นกราฟตอนช่วงที่เป็นก้อนน้ำแอขึง

ที่อุณหภูมิ 100 °C น้ำจะเริ่มเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ ค่าของอุณหภูมิยังคงเหมือนเดิม จนกว่าจะเพิ่มความร้อนจำนวน 2260 kJ เข้าไปในน้ำจึงจะทำให้น้ำกลายเป็นไอไปทั้งหมด

สำหรับการทดลองในเรื่องนี้จะหาความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง (L_f) โดยวิธีผสมกับน้ำอุ่นในแคลอรีมิเตอร์ ซึ่งมีหลักว่า

ความร้อนลด = ความร้อนเพิ่ม (10.1)

ความร้อนลดได้จากความร้อนที่น้ำอุ่นกับกระป๋องในแคลอรีมิเตอร์และเครื่องคนสูญเสียไปให้น้ำแข็งในการหลอมเหลว ส่วนความร้อนเพิ่มได้จากความร้อนที่น้ำแข็งได้รับจากน้ำอุ่นกับแคลอรีมิเตอร์และเครื่องคนเพื่อใช้ในการหลอมละลาย

ให้ m = มวลของน้ำแข็งที่ 0 °C

m_1 = มวลของ (กระป๋อง+เครื่องคน)

m_2 = มวลของน้ำอุ่น

L_f = ความร้อนแฝงของน้ำแข็ง

$C_{น้ำ}$ = ความร้อนจำเพาะของน้ำ

= 1 แคลอรีต่อกรัม-องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิปกติ

C_1 = ความร้อนจำเพาะของสารที่ใช้ทำแคลอรีมิเตอร์และเครื่องคน

t = อุณหภูมิผสมสุดท้าย

t_1 = อุณหภูมิของ (น้ำอุ่น+แคลอรีมิเตอร์+เครื่องคน)

∴ จากสมการ (15.1) แทนค่าจะได้

$$m_2C_{น้ำ}(t_1 - t) + m_1C_1(t_1 - t) = mL_f + mC(t - 0) \quad (10.2)$$

$$m_2C_{น้ำ}(t_1 - t) + m_1C_1(t_1 - t) = mL_f + mC_{น้ำ}t \quad (10.3)$$

$$L_f = \frac{m_2C_{น้ำ}(t_1 - t) + m_1C_1(t_1 - t) - mC_{น้ำ}t}{m} \quad (10.4)$$

วิธีทดลอง

1. ต้มน้ำให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 20 °C
2. ชั่งมวลของกระป๋องในแคลอรีมิเตอร์และเครื่องคนเป็น m_1

3. ใส่น้ำอุ่นจากข้อ 1 ลงไปในกระป๋องในแคลอรีมิเตอร์ประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของกระป๋อง แล้วนำไปชั่งจะเป็นมวลของ $m_1 + m_2$

4. ใช้เครื่องคนน้ำในแคลอรีมิเตอร์ (ข้อ 3) นั้นให้เย็นจนอุณหภูมิอ่านได้มากกว่าอุณหภูมิห้อง 10 °C บันทึกอุณหภูมินี้เป็นอุณหภูมิ t_1 °C แล้วจึงค่อยๆ ใส่น้ำแข็งทีละน้อยลงไปในแคลอรีมิเตอร์เพื่อทำให้อุณหภูมิผสมสุดท้ายไม่ต่ำจนเกินไป อุณหภูมิสุดท้ายที่เหมาะสมควรจะต่ำกว่าอุณหภูมิห้องประมาณ 10 °C ขณะที่ใส่ก้อนน้ำแข็งลงไปในแคลอรีมิเตอร์ให้ใช้เครื่องคนกวนน้ำไปด้วยความระมัดระวัง และต้องไม่ลืมปิดฝาแคลอรีมิเตอร์ด้วย

สำหรับอุณหภูมิสุดท้าย คือ อุณหภูมิต่ำสุดเมื่อน้ำแข็งละลายหมดแล้ว บันทึกอุณหภูมิเป็น t °C ระวังอย่าให้เทอร์มอมิเตอร์ชนก้อนน้ำแข็ง

5. ชั่งมวลของกระป๋องในแคลอรีมิเตอร์และเครื่องคนพร้อมทั้งน้ำในกระป๋องทั้งหมดเป็น $m_1 + m_2 + m$

6. คำนวณหาค่าความร้อนแฝงของหารหลอมเหลวของน้ำแข็ง (L_f) จากสมการ (10.4)

7. ค่า L_f ที่ได้จากการทดลองแตกต่างจากค่า L_f จากทฤษฎีอย่างไร

สรุปประเด็นสำคัญ

ในขณะที่น้ำแข็งกำลังเปลี่ยนจากสถานะของแข็งเป็นของเหลวโดยที่อุณหภูมิคงที่จำเป็นต้องอาศัยพลังงานความร้อนปริมาณหนึ่ง เรียกว่า ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง

กิจกรรมการเรียน

1. จัดเตรียมอุปกรณ์ทดลองตามวิธีทำทุกขั้นตอนอย่างรอบคอบ
2. บันทึกผลการทดลองลงในตารางให้ถูกต้องและชัดเจนพร้อมทั้งสรุปผลการทดลอง

แบบทดสอบการทดลองที่ 10

1. เหตุใดขณะที่น้ำแข็งกำลังหลอมเหลวกลายเป็นน้ำ จึงต้องใช้ความร้อนในการเปลี่ยนสถานะ (L_f)

   1. เพื่อลดแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล
   2. เพื่อเพิ่มการยึดเกาะระหว่างโมเลกุล
   3. เพื่อทำให้น้ำแข็งขยายตัว
   4. ไม่มีทุกข้อ

2. ระหว่างที่น้ำแข็งกำลังหลอมเหลวนั้น ปริมาณใดทางฟิสิกส์ที่ไม่เปลี่ยนแปลง

   1. ปริมาตร 2. อุณหภูมิ 3. ข้อ 1 และ 2 ถูก 4. ไม่มีข้อถูกต้อง

3. ในกรณีที่น้ำแข็ง 0 °C มวล m หลอมละลายกลายเป็นน้ำที่อุณหภูมิ t °C (สูงกว่า 0 °C) จะต้องใช้ความร้อนในการเปลี่ยนสถานะอย่างไร เมื่อ C_1 และ C_2 คือความร้อนจำเพาะของน้ำแข็งและน้ำตามลำดับ

   1. $m(C_1L + C_2t)$ 2. $m(L + C_2t)$ 3. $m(L + t)$ 4. $m(L + C_2)t$

4. โดยวิธีผสมน้ำแข็งกับน้ำอุ่นในแคลอรีมิเตอร์ จะต้องให้อุณหภูมิสุดท้าย t °C คืออุณหภูมิ

   1. น้ำแข็งละลายหมด 2. อุณหภูมิต่ำสุด 3. อุณหภูมิห้อง 4. ข้อ 1 และ 2 ถูก

5. การหาความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง อาศัยหลักการใดเมื่อใช้กรรมวิธีดังกล่าวในข้อ 4

   1. ความร้อนลดเท่ากับความร้อนเพิ่ม
   2. หลักการคงตัวของพลังงาน
   3. มวลสารเริ่มต้นเท่ากับมวลสารสุดท้าย
   4. ข้อ 1 และ 2 ถูก

6. ภายในแคลอรีมิเตอร์ประกอบด้วยอุปกรณ์อะไรในการทดลองนี้

   1. เทอร์มอมิเตอร์ 2. เครื่องคน 3. เครื่องทำน้ำร้อน 4. ข้อ 1 และ 2 ถูก

7. การกวนน้ำในแคลอรีมิเตอร์ขณะที่มีแต่น้ำอุ่น เพื่อให้ได้ผลอย่างไร

   1. ทำให้น้ำเย็นลง
   2. ทำให้น้ำร้อนขึ้น
   3. ทำให้อุณหภูมิสม่ำเสมอทั่วกัน
   4. ทำให้ความดันลดลง

8. อุณหภูมิของน้ำอุ่นและอุฯหภูมิผสมสุดท้ายควรสูงและต่ำกว่าอุณหภูมิห้องเท่าใด

   1. ±5 °C 2. ±10 °C 3. ±15 °C 4. ±20 °C

9. การผสมน้ำแข็งและน้ำอุ่นในแคลอรีมิเตอร์จะต้องใส่น้ำแข็งทีละน้อย เพราะเหตุใดเป็นสำคัญ

   1. ป้องกันน้ำกระฉอก
   2. ไม่ให้ชนเครื่องคน
   3. ควบคุมอุณหภูมิผสม
   4. ถูกทุกข้อ

10. นอกจากจะต้องใช้เครื่องคนอย่างระมัดระวัง ขณะที่ผสมน้ำแข็งกับน้ำอุ่นแล้ว จะต้องปิดฝาแคลอรีมิเตอร์ด้วยเพราะเหตุใดเป็นสำคัญ

1. ป้องกันน้ำกระฉอก
2. เพิ่มความดันภายใน
3. ป้องกันความร้อนเข้า-ออก
4. ถูกทุกข้อ

แนวตอบ

1. 1	2. 2	3. 2	4. 4	5. 4
6. 4	7. 1	8. 2	9. 3	10. 3

บันทึกผลการทดลอง

เรื่อง ความร้อนแฝงของการหลอมเหลวของน้ำแข็ง

ผู้รายงาน ชื่อ..... เลขรหัส.....

ผู้ร่วมรายงาน 1. ชื่อ..... เลขรหัส.....

2 ชื่อ..... เลขรหัส.....

3 ชื่อ..... เลขรหัส.....

4 ชื่อ..... เลขรหัส.....

ทำการทดลองวันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ..... Section ..... กลุ่ม.....

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ_____

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	หน่วย SI ($kJ, kg, ^\circ C$)	หน่วย ($cal, g, ^\circ C$)
อุณหภูมิห้อง				
มวลของ (แคลอรีมิเตอร์+เครื่องคน) : m_1				
มวลของ (แคลอรีมิเตอร์+เครื่องคน+น้ำอุ่น) : $m_1 + m_2$				
มวลของ (แคลอรีมิเตอร์+เครื่องคน+น้ำอุ่น+น้ำแข็งหลอม) : $m_1 + m_2 + m$				
มวลของน้ำแข็งหลอมละลาย : m				
มวลของน้ำอุ่น : m_2				
อุณหภูมิของน้ำอุ่น : t_1				
อุณหภูมิผสม : t				
แคลอรีมิเตอร์ทำด้วยโลหะ				
ความร้อนจำเพาะของแคลอรีมิเตอร์				
$\therefore L_f$ =				
L_f จากทฤษฎี =				
ความคลาดเคลื่อนคิดเป็นร้อยละ =				

PH 113 (L) 155

การคำนวณ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

อาจารย์ผู้ควบคุมปฏิบัติการ

สรุปและวิจารณ์

.....

.....

.....

.....

.....

.....