

การทดลองที่ 4

ความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction)

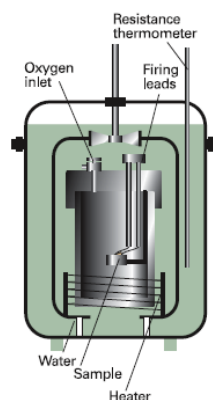
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยา โดยใช้แคลอริมิเตอร์แบบง่าย
2. เพื่อศึกษาการหาค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ และค่าความร้อนของการละลายของ CaCl_2

หลักการ

เทอร์โมไดนามิกส์ในเคมี หรืออุณหเคมี (Thermochemistry) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน (Thermal energy) หรือพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยาเคมี ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมีสามารถวัดได้จากเครื่องมือ บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับหาค่าปริมาณความร้อนของระบบที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง การวัดปริมาณความร้อนสามารถแทนด้วย ΔH หมายถึงการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (Enthalpy; ΔH) ของปฏิกิริยาหรือความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction) ค่า ΔH จะขึ้นอยู่กับสถานะเริ่มแรกและสถานะสุดท้ายของระบบ เมื่อระบบ (System) คือส่วนที่ทำการศึกษา อย่างเช่นภายในเครื่องมือแคลอริมิเตอร์ ส่วนอื่นๆ นอกเหนือจากนี้เรียกว่า สิ่งแวดล้อม (Surrounding) [1-2] ความร้อนทั้งหมดที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีสามารถแบ่งประเภทตามความร้อน ได้แก่ [3]

- 1) ปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction) หมายถึงปฏิกิริยาที่มีการดูดกลืนความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าไป ทำให้ระบบมีพลังงานสูงขึ้น จะส่งผลให้ค่า ΔH มีค่าเป็นบวก (+) ที่ 25°C เช่น เกลือ NaCl เมื่อละลายน้ำสารละลายจะมีความเย็นเกิดขึ้น แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน
- 2) ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) หมายถึงปฏิกิริยาที่มีการถ่ายเทความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อม ทำให้ระบบมีพลังงานลดลง ส่งผลให้ค่า ΔH มีค่าเป็นลบ (-) ที่ 25°C เช่น เกลือ CaCl_2 เมื่อละลายน้ำสารละลายจะมรรความร้อนเกิดขึ้น แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน



รูปที่ 4.1 บอมบ์แคลอริมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) [4]

การทดลองนี้จะศึกษาการวัดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยา โดยใช้แคลอริมิเตอร์แบบง่าย (Calorimetry) แล้ววัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เพื่อนำไปคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อน (ΔH) ได้ตามสมการที่ 4.1

$$\Delta H = ms\Delta T \quad (4.1)$$

- เมื่อ m คือ มวลของระบบ
 s คือ ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific heat) ของสาร
 ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของสารละลาย

แคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) เป็นเครื่องมือที่ไม่มีการถ่ายเทความร้อนกับสิ่งแวดล้อม แต่ในความเป็นจริงแคลอริมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง อาจมีการดูดกลืนความร้อนบางส่วนไว้ [5] ดังนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาค่าความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ดูดเก็บไว้ (Q_c) จากค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ (C_c) กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป (ΔT) ดังสมการที่ 4.2

$$Q_c = C_c \Delta T \quad (4.2)$$



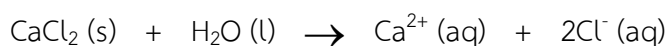
รูปที่ 4.2 แคลอริมิเตอร์แบบง่าย (Calorimeter) [6]

ค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ (C_c) คือปริมาณความร้อนที่ทำให้อุณหภูมิของแคลอริมิเตอร์สูงขึ้น 1°C ซึ่งสามารถทำได้โดยนำน้ำร้อนผสมกับน้ำเย็นในแคลอริมิเตอร์ น้ำร้อนจะถ่ายเทความร้อนให้น้ำเย็นและแคลอริมิเตอร์ ถ้าน้ำร้อนมีอุณหภูมิลดลงเท่ากับ ΔT_1 น้ำเย็นและแคลอริมิเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้นเท่ากับ ΔT_2 สามารถคำนวณความร้อนที่สูญหายไปได้ดังนี้ [7]

- น้ำร้อนมีปริมาณความร้อนลดลง $= m_1 s_1 \Delta T_1 = a$
- น้ำเย็นมีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น $= m_2 s_2 \Delta T_2 = b$
- ปริมาณความร้อนที่สูญหายไป $= a - b$

ดังนั้น ค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ (C_c) $= \frac{(a-b)}{\Delta T_2} \text{ J} / ^\circ\text{C}$

ดังนั้น การทดลองนี้ต้องการหาคงที่แคลอริมิเตอร์ และความร้อนของสารละลาย CaCl_2 โดยนำเกลือ CaCl_2 มาละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวเป็นไฮเดรตไอออน (Hydrate ion) ดังปฏิกิริยา



เรียกความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาว่า ความร้อนของสารละลาย (Heat of solution) ความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา (Q_r) เมื่ออุณหภูมิของสารละลายเปลี่ยนแปลงไปสามารถหาได้จากสูตร $\Delta H = ms\Delta T$

ฉะนั้น ความร้อนของปฏิกิริยาทั้งหมด จึงเท่ากับ ผลรวมของความร้อนจากปฏิกิริยา และความร้อนที่ แคลอรีมิเตอร์ดูดไว้ ดังสมการที่ 4.3

$$Q = Q_r + Q_c \quad (4.3)$$

อุปกรณ์

1. แคลอรีมิเตอร์
2. ปีกเกอร์ ขนาด 50 mL
3. เทอร์โมมิเตอร์
4. นาฬิกาจับเวลา
5. ปิเปต ขนาด 25 mL พร้อม Pipette controller
6. เครื่องกวนสารละลายพร้อมให้ความร้อน (Hotplate stirrer)

สารเคมี

1. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride; CaCl_2)



วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์

1. ปิเปิดน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง 25 mL ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ ปิดฝาซึ่งมีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ อ่านอุณหภูมิของน้ำเย็นทุกๆ 30 วินาที จนกระทั่ง อุณหภูมิคงที่
2. ปิเปิดน้ำกลั่น อีก 25 mL ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ให้ความร้อนบน Hotplate จนมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45-50 °C ยกบีกเกอร์ลงวางบนโต๊ะ แล้วอ่านอุณหภูมิของน้ำร้อนทุกๆ 30 วินาที บันทึกผลจนครบ 3 นาที
3. เมื่อครบ 3 นาที ให้นำน้ำร้อนผสมกับน้ำเย็นที่อยู่ในแคลอรีมิเตอร์ทันที ปิดฝารวดเร็ว แล้วเขย่าให้น้ำในแคลอรีมิเตอร์ผสมเข้ากัน อ่านอุณหภูมิของน้ำผสมทุกๆ 30 วินาที บันทึกผลจนครบ 3 นาที
4. คำนวณหาค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์ (C_c) โดยกำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 g/mL และความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.184 J/g °C

ตอนที่ 2 การหาค่าความร้อนของการละลายของ CaCl_2

1. เทน้ำในแคลอรีมิเตอร์จากตอนที่ 1 ที่ใช้ น้ำประปาล้างแคลอรีมิเตอร์หลายๆ รอบ เพื่อให้แคลอรีมิเตอร์มีอุณหภูมิปกติแล้วเช็คให้แห้ง
2. ปิเปิดน้ำกลั่น 50 mL ใส่ลงในแคลอรีมิเตอร์ ปิดฝาแล้วอ่านอุณหภูมิของน้ำกลั่น จนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่คงที่ในตอนต้นที่ 1
3. ชั่งน้ำหนัก CaCl_2 3.0XXX กรัม บันทึกน้ำหนัก แล้วเทลงในน้ำกลั่น ที่อยู่ในแคลอรีมิเตอร์ทันที
4. เขย่าแคลอรีมิเตอร์ตลอดเวลาพร้อมกับอ่านอุณหภูมิของสารละลายทุกๆ 30 วินาที บันทึกผลจนครบ 3 นาที จึงหยุดทำการทดลอง
5. ทำการทดลองข้อ 1-4 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แต่เพิ่มน้ำหนัก CaCl_2 เป็น 4.0XXX กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
6. คำนวณหาค่าความร้อนของการละลายของ CaCl_2 ในหน่วย kJ/mol

รายงานผลการทดลองที่ 4 ความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction)

กำหนดให้

- ความร้อนจำเพาะของน้ำ = $4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- ความหนาแน่นของน้ำ = 1 g/mL

ตอนที่ 1 การหาค่าคงที่แคลอรีมิเตอร์

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ($^\circ\text{C}$)		
	น้ำเย็น	น้ำร้อน	น้ำผสม
0.5	26	45	30
1.0	26	41	31
1.5	27	40	31
2.0	27	39	31
2.5	27	38.5	31
3.0	27	38	31

ปริมาตรของน้ำเย็น = 25 mL

ปริมาตรของน้ำร้อน = 25 mL

อุณหภูมิของน้ำเย็น = $27 \text{ }^\circ\text{C}$

อุณหภูมิของน้ำร้อน = $38 \text{ }^\circ\text{C}$

อุณหภูมิของผสม = $31 \text{ }^\circ\text{C}$

แสดงวิธีการคำนวณการหาค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์ (C_c)

$$\begin{aligned} \text{น้ำร้อนมีปริมาณความร้อนลดลง (a)} &= m_1 s_1 \Delta T_1 \text{ (เมื่อ } \Delta T_1 = T_{\text{น้ำร้อน}} - T_{\text{น้ำผสม}}) \\ &= (25 \text{ g}) (4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) (38 - 31 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &= 732.2 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{น้ำเย็นมีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น (b)} &= m_2 s_2 \Delta T_2 \text{ (เมื่อ } \Delta T_2 = T_{\text{น้ำผสม}} - T_{\text{น้ำเย็น}}) \\ &= (25 \text{ g}) (4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) (31 - 27 \text{ }^\circ\text{C}) \\ &= 418.4 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{ปริมาณความร้อนที่สูญหายไป} = a - b = 732.2 - 418.4 = 313.8 \text{ J}$$

$$\therefore \text{ค่าคงที่ของแคลอรีมิเตอร์ (C}_c\text{)} = \frac{(a - b)}{\Delta T_2} = 78.45 \text{ J/}^\circ\text{C}$$

ตอนที่ 2 การหาค่าความร้อนของการละลายของ CaCl_2

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ ($^{\circ}\text{C}$) ของสารละลาย CaCl_2	
	$\text{CaCl}_2 = 3.0329 \text{ g}$	$\text{CaCl}_2 = 4.0664 \text{ g}$
0	27	27
0.5	33	37
1.0	33	37
1.5	33	37
2.0	33	37
2.5	33	37
3.0	33	37

แสดงวิธีการคำนวณการหาค่าความร้อนของการละลาย CaCl_2 (Q)

ความร้อนของการละลายของ CaCl_2 3.0329 g (เมื่อน้ำหนักของน้ำเท่ากับ 50 กรัม)

$$Q_r = ms\Delta T = (50 \text{ g}) (4.184 \text{ J/g} \cdot ^{\circ}\text{C}) (33-27 ^{\circ}\text{C}) = 1255.2 \text{ J}$$

$$Q_c = C_c\Delta T = 78.45 \text{ J/}^{\circ}\text{C} (33-27 ^{\circ}\text{C}) = 470.7 \text{ J}$$

$$Q = Q_r + Q_c = 1255.2 + 470.7 = 1725.9 \text{ J}$$

∴ ค่าความร้อน Q เทียบเป็นหน่วย kJ/mol (เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ CaCl_2 เท่ากับ 111)

เมื่อใส่ CaCl_2 $\frac{\text{g}}{111} \text{ mol}$ จะให้ความร้อน Q J

ถ้า CaCl_2 1 mol จะให้ความร้อน $\frac{Q \times 111}{\text{g}}$ J แล้วหารด้วย 1000 เป็นหน่วย J

∴ ความร้อนของการละลาย CaCl_2 เท่ากับ 63.16 kJ/mol

ความร้อนของการละลายของ CaCl_2 4.0664 g (เมื่อน้ำหนักของน้ำเท่ากับ 50 กรัม)

$$Q_r = ms\Delta T = (50 \text{ g}) (4.184 \text{ J/g} \cdot ^\circ\text{C}) (37-27 ^\circ\text{C}) = 2092 \text{ J}$$

$$Q_c = C_c\Delta T = 78.45 \text{ J/}^\circ\text{C} (33-27 ^\circ\text{C}) = 470.7 \text{ J}$$

$$Q = Q_r + Q_c = 2092 + 470.7 = 2562.7 \text{ J}$$

∴ ค่าความร้อน Q เทียบเป็นหน่วย kJ/mol (เมื่อน้ำหนักโมเลกุลของ CaCl_2 เท่ากับ 111)

เมื่อใส่ $\text{CaCl}_2 \frac{\text{g}}{111} \text{ mol}$ จะให้ความร้อน Q J

ถ้า CaCl_2 1 mol จะให้ความร้อน $\frac{Q \times 111}{\text{g}}$ J แล้วหารด้วย 1000 เป็นหน่วย J

∴ ความร้อนของการละลาย CaCl_2 เท่ากับ 69.95 kJ/mol

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction) เพื่อศึกษาการวัดการถ่ายเทความร้อนที่เกิดปฏิกิริยาของสารละลาย CaCl_2 โดยใช้แคลอริมิเตอร์อย่างง่าย (Calorimetry) ซึ่งต้องคำนวณหาค่าความร้อนของปฏิกิริยา ผ่านค่าคงที่แคลอริมิเตอร์ (C_c) เนื่องจากแคลอริมิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง อาจมีการดูดกลืนความร้อนบางส่วนไว้

จะได้ค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ (C_c) เป็น 78.3 J/°C และคำนวณหาค่าความร้อนของการละลาย CaCl_2 โดยใช้น้ำหนักต่างกัน 2 ครั้ง ดังนี้

น้ำหนัก CaCl_2 (กรัม)	3.0329	4.0664
ค่าความร้อนของการละลาย CaCl_2 ที่ได้จากการทดลอง (kJ/mol)	63.16	69.95

ดังนั้น หากเราเพิ่มปริมาณ CaCl_2 ค่าความร้อนจะเพิ่มมากขึ้น และความร้อนของปฏิกิริยาทั้งหมด จะเท่ากับ ผลรวมของความร้อนจากปฏิกิริยา และความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ดูดไว้ ดังสมการ $Q = Q_r + Q_c$ ตามทฤษฎี

อ้างอิง

- [1] วีทิต วรรณเลิศลักษณ์, “ทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์,” คลังความรู้ SciMath, 11 6 2017. [ออนไลน์]. Available: <https://www.scimath.org/lesson-physics/item/7240-2017-06-11-14-22-46>. [เข้าถึง 9 8 2023].
- [2] ญัฐชนน จรรย์นุรัตน์, “บทที่ 6 เทอร์โมไดนามิกส์ในเคมี,” ใน *สรุปเคมี A-LEVEL*, 2 บ.ก., จรรย์นุรัตน์ ญัฐชนน, 2566, p. 53.
- [3] ดร. เก่งกมล วิรัตน์เกษม, “การทดสอบค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (Heating Value of Fuel Test),” [ออนไลน์]. Available: chrome-extension://efaidnbmninnbpcajpcjglclefindmkaj/https://dome.eng.cmu.ac.th/254271/lab_sheet/Lab6_heating-value.pdf. [เข้าถึง 9 8 2023].
- [4] P. Atkins และ J. d. Paula, ATKINS'PHYSICAL CHEMISTRY, New York: Great Britain by Oxford University Press, 2006.
- [5] Engineering Learn, “Bomb Calorimeter: Definition, Construction, Diagram, Working & Uses,” 2023. [ออนไลน์]. Available: <https://engineeringlearn.com/bomb-calorimeter-definition-construction-diagram-working-uses/>.
- [6] โรงเรียนนวมินทราชินูทิศ สตรีวิทยา พุทธมณฑล, “พันธะเคมี ตอนที่ 2 โครงสร้างของสารไอออนิกและพลังงานกับการเกิดสารไอออนิก,” 16 3 2014. [ออนไลน์]. Available: http://www.satriwit3.ac.th/external_newsblog.php?links=1779. [เข้าถึง 14 7 2023].
- [7] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, “การหาความร้อนของการละลายของ CaCl_2 ”.