การทดลองที่ 4

ความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction)

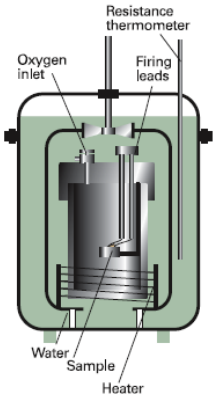
วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการหาปริมาณความร้อนของปฏิกิริยา โดยใช้แคลอริมิเตอร์แบบง่าย
2. เพื่อศึกษาการหาค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ และค่าความร้อนของการละลายของ $CaCl_2$

หลักการ

เทอร์โมไดนามิกส์ในเคมี หรืออุณหเคมี (Thermochemistry) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อน (Thermal energy) หรือพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไปในปฏิกิริยาเคมี ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาเคมีสามารถวัดได้จากเครื่องมือ บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำหรับหาค่าปริมาณความร้อนของระบบที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง การวัดปริมาณความร้อนสามารถแทนด้วย ΔH หมายถึงการเปลี่ยนแปลงเอนทาลปี (Enthalpy; ΔH) ของปฏิกิริยาหรือความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction) ค่า ΔH จะขึ้นอยู่กับสถานะเริ่มแรกและสถานะสุดท้ายของระบบ เมื่อระบบ (System) คือส่วนที่ทำการศึกษาอย่างเช่นภายในเครื่องมือแคลอริมิเตอร์ 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 $CaCl_2$ เมื่อละลายน้ำสารละลายจะมรความร้อนเกิดขึ้น แสดงว่าเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน



รูปที่ 4.1 บอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) [4]

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

$$\Delta H = ms\Delta T \tag{4.1}$$

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) กับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป (ΔT) ดังสมการที่ 4.2

$$Q_c = C_c\Delta T \tag{4.2}$$

รูปที่ 4.2 แคลอริมิเตอร์แบบง่าย (Calorimeter) [6]

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

- น้ำร้อนมีปริมาณความร้อนลดลง = $m_1s_1\Delta T_1 = a$
- น้ำเย็นมีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น = $m_2s_2\Delta T_2 = b$
- ปริมาณความร้อนที่สูญหายไป = $a - b$

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

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

$$CaCl_2\,(s) \quad + \quad H_2O\,(l) \quad \longrightarrow \quad Ca^{2+}\,(aq) \quad + \quad 2Cl^-\,(aq)$$

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

ฉะนั้น ความร้อนของปฏิกิริยาทั้งหมด จึงเท่ากับ ผลรวมของความร้อนจากปฏิกิริยา และความร้อนที่แคลอริมิเตอร์ดูดไว้ ดังสมการที่ 4.3

$$Q = Q_r + Q_c \tag{4.3}$$

อุปกรณ์

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

สารเคมี

1. แคลเซียมคลอไรด์ (Calcium chloride; $CaCl_2$)

CATRE LAB

วิธีการทดลอง

ตอนที่ 1 การหาค่าคงที่แคลอริมิเตอร์

1. ปิเปตน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง 25 mL ใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ ปิดฝาซึ่งมีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ อ่านอุณหภูมิของน้ำเย็นทุกๆ 30 วินาที จนกระทั่ง อุณหภูมิคงที่
2. ปิเปตน้ำกลั่น อีก 25 mL ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 mL ให้ความร้อนบน Hotplate จนมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 45-50 °C ยกบีกเกอร์ลงวางบนโต๊ะ แล้วอ่านอุณหภูมิของน้ำร้อนทุกๆ 30 วินาที บันทึกผลจนครบ 3 นาที
3. เมื่อครบ 3 นาที ให้เทน้ำร้อนผสมกับน้ำเย็นที่อยู่ในแคลอริมิเตอร์ทันที ปิดฝาอย่างรวดเร็ว แล้วเขย่าให้น้ำในแคลอริมิเตอร์ผสมเข้ากัน อ่านอุณหภูมิของน้ำผสมทุกๆ 30 วินาที บันทึกผลจนครบ 3 นาที
4. คำนวณหาค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ (C_c) โดยกำหนดให้ ความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 g/mL และความร้อนจำเพาะของน้ำเท่ากับ 4.184 J/g °C

ตอนที่ 2 การหาค่าความร้อนของการละลายของ $CaCl_2$

1. เทน้ำในแคลอริมิเตอร์จากตอนที่ 1 ทิ้ง ใช้น้ำประปาล้างแคลอริมิเตอร์หลายๆ รอบ เพื่อทำให้แคลอริมิเตอร์มีอุณหภูมิปกติแล้วเช็ดให้แห้ง
2. ปิเปตน้ำกลั่น 50 mL ใส่ลงในแคลอริมิเตอร์ ปิดฝาแล้วอ่านอุณหภูมิของน้ำกลั่น จนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของน้ำเย็นที่คงที่ในตอนที่ 1
3. ชั่งน้ำหนัก $CaCl_2$ 3.0XXX กรัม บันทึกน้ำหนัก แล้วเทลงในน้ำกลั่น ที่อยู่ในแคลอริมิเตอร์ทันที
4. เขย่าแคลอริมิเตอร์ตลอดเวลาพร้อมกับอ่านอุณหภูมิของสารละลายทุกๆ 30 วินาที บันทึกผลจนครบ 3 นาที จึงหยุดทำการทดลอง
5. ทำการทดลองข้อ 1-4 ซ้ำอีกครั้งหนึ่ง แต่เพิ่มน้ำหนัก $CaCl_2$ เป็น 4.0XXX กรัม บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
6. คำนวณค่าความร้อนของการละลายของ $CaCl_2$ ในหน่วย kJ/mol

รายงานผลการทดลองที่ 4 ความร้อนของปฏิกิริยา (Heat of reaction)

กำหนดให้

- ความร้อนจำเพาะของน้ำ = 4.184 J/g • ℃
- ความหนาแน่นของน้ำ = 1 g/mL

ตอนที่ 1 การหาค่าคงที่แคลอริมิเตอร์

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°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 ℃

อุณหภูมิของน้ำร้อน = 38 ℃

อุณหภูมิของผสม = 31 ℃

แสดงวิธีการคำนวณการหาค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ (C_c)

น้ำร้อนมีปริมาณความร้อนลดลง (a) = $m_1 s_1 \Delta T_1$ (เมื่อ $\Delta T_1 = T_{น้ำร้อน} - T_{น้ำผสม}$)

= (25 g) (4.184 J/g • ℃) (38-31 ℃)

a = 732.2 J

น้ำเย็นมีปริมาณความร้อนเพิ่มขึ้น (b) = $m_2 s_2 \Delta T_2$ (เมื่อ $\Delta T_2 = T_{น้ำผสม} - T_{น้ำเย็น}$)

= (25 g) (4.184 J/g • ℃) (31-27 ℃)

b = 418.4 J

ปริมาณความร้อนที่สูญหายไป = a – b = 732.2 – 418.4 = 313.8 J

∴ ค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ (C_c) = $\frac{(a-b)}{\Delta T_2}$ = 78.45 J/℃

CATRE LAB

ตอนที่ 2 การหาค่าความร้อนของการละลายของ $CaCl_2$

เวลา (นาที)	อุณหภูมิ (°C) ของสารละลาย $CaCl_2$	
	$CaCl_2$ = 3.0329 g	$CaCl_2$ = 4.0664 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 g) (4.184 J/g • °C) (33-27 °C) = 1255.2 J

$Q_c = Cc\Delta T$ = 78.45 J/°C (33-27 °C) = 470.7 J

$Q = Q_r + Q_c$ = 1255.2 + 470.7= 1725.9 J

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

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

ถ้า $CaCl_2$ 1 mol จะให้ความร้อน $\frac{Q \times 111}{g}$ 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 g) (4.184 J/g • °C) (37-27 °C) = 2092 J

$Q_c = C_c\Delta T$ = 78.45 J/°C (33-27 °C) = 470.7 J

$Q = Q_r + Q_c$ = 2092 + 470.7 = 2562.7 J

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

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

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

∴ ความร้อนของการละลาย $CaCl_2$ เท่ากับ 69.95 kJ/mol

สรุปและวิจารณ์ผลการรทดลอง

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

จะได้ค่าคงที่ของแคลอริมิเตอร์ (C_c) เป็น 78.3 J/°C และคำนวณหาค่าความร้อนของการละลาย $CaCl_2$ โดยที่ใช้น้ำหนักต่างกัน 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] ณัฐชนน จริยานุรัตน์, “บทที่ 6 เทอร์โมไดนามิกส์ในเคมี,” ใน *สรุปเคมี A-LEVEL*, 2 บ.ก., จริยานุรัตน์ ณัฐชนน, 2566, p. 53.

[3] ดร. เก่งกมล วิรัตน์เกษม, “การทดสอบคาความรอนของเชอเพลง (Heating Value of Fuel Test),” [ออนไลน์]. Available: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dome.eng.cmu.ac.th/254271/lab_sheet/Lab6_heating-value.pdf. [เข้าถึง9 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. [เข้าถึง14 7 2023].

[7] คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพ, “การหาความรอนของการละลายของ CaCl2”.