

6

## สมการเคมีและพลังงานเคมี

เรื่องราวของบทนี้จะศึกษาในแง่ของคุณสมบัติทางเคมี และการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ของธาตุหรือสารประกอบต่าง ๆ อีกทั้งศึกษาว่าเมื่อสารต่าง ๆ ทำปฏิกิริยาแล้วจะได้สารใดเกิดขึ้น ความรู้เช่นนี้อธิบายได้ด้วยสมการซึ่งนับว่าเป็นการอธิบายที่สั้นที่สุดและชัดเจนมาก สมการเคมี (chemical equation) มีอยู่หลายประเภททั้งนี้ขึ้นกับประเภทของสารที่นำมาทำปฏิกิริยา ในการเขียน สมการนั้นได้นำเอาความรู้ทางสัญลักษณ์ ข้อนิยามและสูตรมาใช้ และคำนึงถึงการเกิดสมดุล ระหว่างสารก่อนเกิดปฏิกิริยาและหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว ทั้งนี้ถือตามหลักของกฎทรงมวลของ ลसार (Law of conservation of Mass) บทที่ 3 (ข้อ 3-4) ซึ่งกล่าวว่ามวลของสารไม่สามารถ สร้างหรือทำลายได้ด้วยวิธีทางเคมีทั่ว ๆ ไป กฎนี้เกี่ยวข้องกับถึงจำนวนอะตอมของธาตุก่อนทำ ปฏิกิริยาและหลังจากเกิดปฏิกิริยาแล้ว นอกจากนี้ยังนำไปสู่ความหมายที่ว่าทำไมจึงต้องทำสมการ ทางซ้ายมือและขวามือให้เกิดการสมดุลย์ (คือจำนวนอะตอมทั้งสองข้างของสมการเท่ากัน)

## 6-1 การเขียนสมการ (Writing Equations)

การเขียนสมการนั้นต้องคำนึง

1. สารที่ทำปฏิกิริยา (reactant) เขียนไว้ทางซ้ายมือผู้เขียน สารที่ได้รับเขียนไว้ทาง ขวามือ ระหว่างสารที่ทำปฏิกิริยาและสารที่ได้รับจะมีลูกศรแบบ  $\rightarrow$  หรือ  $=$  หรือ  $\rightleftharpoons$  ก็ได้แล้วแต่ สภาวะของปฏิกิริยาตอนนั้น แต่ละสารที่ทำปฏิกิริยาและสารที่ได้รับจะมีเครื่องหมาย + คั่นไว้

2. สถานะของสารที่ทำปฏิกิริยาและสารที่ได้รับจะอยู่ในลักษณะใดทราบได้โดย

2.1 ถ้าเป็นของแข็งจะมี (s) กำกับ ถ้าสารที่ได้รับเกิดนั้นเป็นตะกอนจะมีเครื่องหมาย  $\downarrow$  หรือ  $\text{—}$  กำกับไว้เช่น

แบเรียมซัลเฟต  $\text{BaSO}_{4(s)}$   $\text{BaSO}_4 \downarrow$  หรือ  $\text{BaSO}_4 \text{—}$

2.2 ถ้าเป็นของเหลวจะมี (l) กำกับไว้เช่น  $\text{H}_2\text{O}_{(l)}$

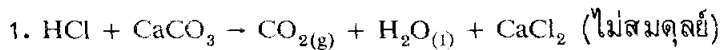
2.3 ถ้าเป็นก๊าซจะมี (g) สำหรับสารที่ได้รับ จะเขียนเป็น (g) หรือ l เช่น  $\text{H}_2$  (g) หรือ  $\text{H}_2$  l

2.4 ถ้าเขียน  $\triangle$  แสดงว่าปฏิกิริยานั้นต้องใช้ความร้อนเข้ามาช่วย หรือถ้าเขียน  $\text{Pt}$  แสดงว่าปฏิกิริยานั้นต้องใช้ Pt เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst)

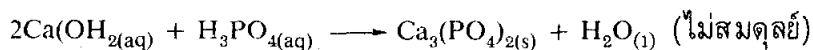
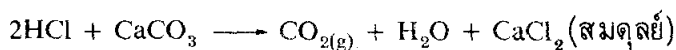
2.5 ถ้าเป็นสารที่ละลายในน้ำจะมี (aq) กำกับหมายถึง aqueous solution เช่น น้ำเกลือ  $\text{NaCl}_{(aq)}$

3. สมการทุกสมการที่ถูกต้อง จะต้องให้อะตอมของสารที่ทำปฏิกิริยาเท่ากับอะตอมของสารที่ได้รับเสมอไป

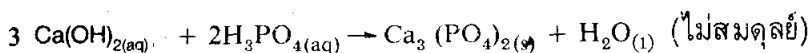
ตัวอย่างสมการที่ไม่สมดุลย์และสมดุลย์



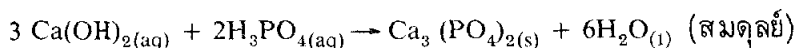
พิจารณา  $\text{CaCl}_2$  มีคลอรีน 2 อะตอม จึงต้องใส่ 2 ที่ HCl ดังนั้นทางขวามือมี H 2 อะตอม และซ้ายมือมี H 2 อะตอม ทางขวามือมีออกซิเจน 3 อะตอม ทางซ้ายมือมี 3 อะตอม สมการนี้จึงสมดุลย์



พิจารณา  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  ก่อน เนื่องจากเป็นสารประกอบที่มีสูตรซับซ้อนที่สุดในสมการ พิจารณาอ็อกซิเจนพบว่ามี 2 หมู่ จึงใส่ 2 ไว้หน้า  $\text{H}_3\text{PO}_4$  และใส่ 3 ไว้หน้า Ca เพราะมีแคลเซียมทางขวามือ 3 อะตอม ดังนั้นจึงเขียนสมการเป็น



ทั้งนี้เพราะยังมีได้ทำไฮโดรเจนและออกซิเจนให้ถูก เพื่อให้ถูกต้อง น้ำต้องเป็น  $6\text{H}_2\text{O}$  ฉะนั้นจึงเป็น



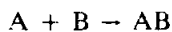
## 6-2 ชนิดสมการเคมี

ไม่แต่จะคิดถึงเรื่องทำให้สมการสมดุลย์แต่อย่างเดียว ต้องทราบว่าปฏิกิริยานั้นควรจะได้สารอะไรบ้าง สำหรับความรู้ในขั้นนี้แบ่งประเภทของปฏิกิริยาได้ 5 ประเภท

1. ปฏิกิริยาแบบรวมกัน (Combination reaction)
2. ปฏิกิริยาแบบสลาย (decomposition reaction)
3. ปฏิกิริยาแบบแทนที่ (replacement reaction)
4. ปฏิกิริยาแบบแทนที่สองชั้น (matathesis reaction)
5. ปฏิกิริยาแบบการเป็นกลาง (neutralization reaction)

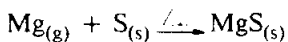
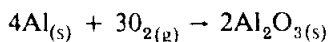
### 6-3 ปฏิกริยาแบบรวมกัน (Combination reaction)

ในปฏิกริยาแบบรวมกันนั้น ประกอบด้วยสารหรือธาตุหรือสารประกอบ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป ทำปฏิกริยากันให้สารหนึ่งชนิด เขียนเป็นแบบทั่วไปดังนี้

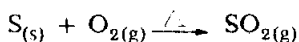
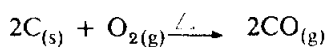


พิจารณาจากสมการข้างล่างนี้

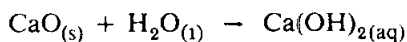
1. โลหะ + ออกซิเจน  $\rightarrow$  โลหะออกไซด์



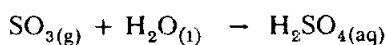
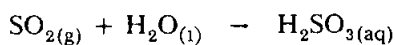
2. อโลหะ + ออกซิเจน  $\rightarrow$  อโลหะออกไซด์



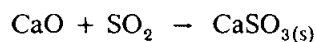
3. โลหะออกไซด์ + น้ำ  $\rightarrow$  โลหะไฮดรอกไซด์ (base)



4. อโลหะออกไซด์ + น้ำ  $\rightarrow$  กรดออกซี

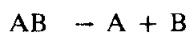


5. โลหะออกไซด์ + อโลหะออกไซด์  $\rightarrow$  เกลือ



### 6-4 ปฏิกริยาแบบสลาย (Decomposition reaction)

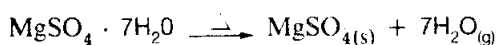
สมการแบบนี้เกิดจากสารประกอบหนึ่งสาร สลายให้สารใหม่สองสารหรือมากกว่านั้น ซึ่งอาจจะเป็นธาตุหรือสารประกอบก็ได้ ในการสลายนี้มักจะใช้ความร้อนช่วยด้วย และสารประกอบที่เกิดปฏิกริยาแบบนี้ ก็มีหลายแบบและเขียนเป็นแบบทั่วไป ดังนี้



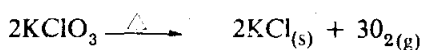
1. ประเภทไฮเดรท (Hydrates) คือพวกเกลือที่มีโมเลกุลของน้ำอยู่ด้วยตั้งแต่หนึ่งโมเลกุล หรือมากกว่านั้น แล้วนำไปเผา น้ำจะหลุดหนีออกไป เช่น



Barium chloride di hydrate



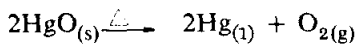
2. สารคลอเรต (Chlorates) เมื่อนำมาเผาจะได้สารพวกคลอไรด์ เช่น



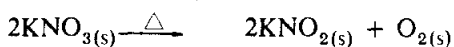
Potassium chlorate Potassium chloride

สมการนี้เป็นการเตรียมออกซิเจนในห้องปฏิบัติการ

3. สารประกอบของโลหะออกไซด์บางตัวเมื่อนำมาให้ความร้อนจะสลายให้โลหะอิสระและออกซิเจน เช่น



Mercury oxide Mercury



Potassium nitrate Potassium nitrite + Oxygen

สมการนี้เป็นการเตรียมออกซิเจน



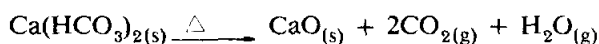
Potassium chlorate Potassium chloride + Oxygen

สมการนี้เตรียมออกซิเจนในห้องปฏิบัติการ

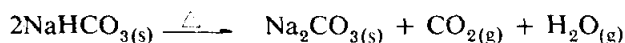
4. สารพวกคาร์บอเนตส่วนใหญ่ เมื่อเผาจะสลายให้ออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต (lime-stone) เผาจะได้แคลเซียมออกไซด์ (lime) และ  $\text{CO}_2$  ดังนี้



5. สารพวกไบคาร์บอเนตหรือไฮโดรเจนคาร์บอเนต เมื่อนำมาเผาจะสลายให้โลหะออกไซด์ น้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น แคลเซียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตเผาให้แคลเซียมออกไซด์และคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ดังนี้



สำหรับสารประกอบไฮโดรเจนคาร์บอเนตซึ่งมีโลหะหมู่ 1 A อยู่ด้วย เมื่อเผาจะให้สารพวกคาร์บอเนตกับน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์



6. สารประกอบอินทรีย์บางชนิดจะสลายเมื่อเผาให้น้ำและมีลักษณะแบบน้ำตาลไหม้



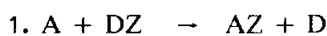
น้ำตาล  $C_{11}H_{22}O_{11}$  เมื่อเผาให้คาราเมล (caramel) เป็นของแข็งสีน้ำตาลหรือสีดำ และน้ำ

### 6-5 ปฏิกริยาแบบแทนที่ (Replacement reaction)

สมการแบบนี้ส่วนใหญ่เป็นธาตุในลักษณะอิสระจะเข้าไปแทนที่ไอออนของโลหะในน้ำยา แต่ทว่าโลหะอิสระนี้ต้องมีคุณสมบัติว่องไวกว่าไอออนของโลหะที่จะถูกแทนที่ ปฏิกริยานี้บางทีเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า single replacement, substitution หรือ displacement reaction แต่มีข้อค้ำนึ่งด้วยว่าโลหะอิสระที่จะไปแทนที่นั้นต้องเป็นไปตามลำดับของอนุกรมอิเล็กโตรโมติฟ (ดูขวามือ) กล่าวคือ โลหะตัวใดที่อยู่สูงกว่าจะแทนที่โลหะที่อยู่ต่ำกว่าได้ เช่น Li แทนที่ Mg ได้ หรือ Fe แทนที่ Cu ได้ แต่ Cu มิสามารถแทนที่ Fe ได้ เนื่องจาก Cu อยู่ในอนุกรมอิเล็กโตรโมติฟต่ำกว่า Fe เป็นต้นจึงทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาทำนองนี้ใช้สำหรับโลหะเข้าแทนที่ไอออนโลหะในเกลือหรือกรดได้เหมือนกัน แต่ทว่าต้องค้ำนึ่งถึงค่าของอิเล็กโตรเนกาติฟ ในบทที่ 5 ตาราง 5-1 เนื่องจากต้องเป็นไปตาม  $F > O > Cl > N > Br > I > C > S > Pb > B > Si$

ปฏิกิริยาใน 6-5 นี้จึงเขียนทั่ว ๆ ไปได้

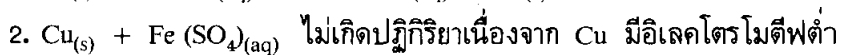
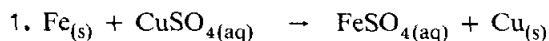


เมื่อ A คือโลหะ D คือโลหะที่มีค่าอิเล็กโตรโมติฟต่ำกว่า A



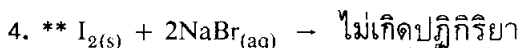
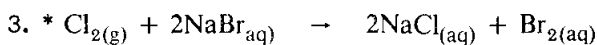
เมื่อ P คือโลหะที่มีค่าอนุกรมอิเล็กโตรโมติฟสูงกว่า Z

พิจารณาจากตัวอย่างปฏิกิริยา



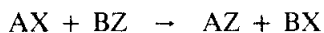
กว่า Fe

สูง  
Li  
K  
Ba  
Ca  
Na  
Mg  
Al  
Zn  
Fe  
Cd  
Ni  
Sn  
Pb  
(H)  
Cu  
Hg  
Ag  
Au  
ต่ำ



## 6-6 ปฏิกิริยาแบบแทนที่สองชั้น (Metathesis reaction)

ปฏิกิริยาแบบนี้เกิดจากสารประกอบสองชนิดทำปฏิกิริยากันได้สารประกอบใหม่หรือพุด่าง ๆ คือไอออนบวกของสารหนึ่งเปลี่ยนที่กับไอออนบวกของอีกสารหนึ่ง ซึ่งเขียนแบบทั่วไปดังนี้



ในการเกิดปฏิกิริยานั้นบางครั้งจะเกิดการตกตะกอน เพื่อที่จะทำนายว่าตะกอนที่เกิดคือสารอะไรนั้น ควรจะต้องทราบคุณสมบัติของแต่ละสารประกอบเพื่อประโยชน์ในการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยา ดังนี้

1. สารพวกไนเตรตและอะซิเตตเกือบทั้งหมดละลายในน้ำ
2. สารประกอบคลอไรด์ทั้งหลายละลายน้ำ ยกเว้น  $\text{AgCl}$   $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  และ  $\text{PbCl}_2$   $\cdot$   $\text{PbCl}_2$  ละลายได้ในน้ำร้อน
3. พวกซัลเฟตทั้งหลายละลายได้ในน้ำ เว้นแต่  $\text{BaSO}_4$   $\text{SrSO}_4$  และ  $\text{PbSO}_4$   $\cdot$   $\text{CaSO}_4$  และ  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  ละลายได้บ้าง
4. เกลือของธาตุลิเทียม โซเดียม โพแทสเซียม และเกลือแอมโมเนียม ละลายน้ำ
5. ออกไซด์และไฮดรอกไซด์ทั้งหลายไม่ละลายน้ำ เว้นแต่โลหะอัลคาไลและโลหะอัลคาไลเอิร์ท (Ca, Sr, Ba, Ra) ละลายได้บ้าง
6. สารประกอบซัลไฟด์ทั้งหมดไม่ละลาย ยกเว้นโลหะอัลคาไล โลหะอัลคาไลเอิร์ท และแอมโมเนียมซัลไฟด์
7. สารประกอบฟอสเฟตและคาร์บอเนตไม่ละลายในน้ำ ยกเว้นพวกโลหะอัลคาไล และเกลือแอมโมเนียม

จากความรู้ทั้ง 7 ข้อนี้ให้ประโยชน์ในเรื่องชีวิตประจำวัน ตัวอย่างง่าย ๆ น้ำส้มสายชู (มีกรดอะเซติกอยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์) สามารถจัดคราบน้ำออกจากแก้วได้ ทั้งนี้เพราะคราบน้ำ (ซึ่งเป็นน้ำกระด้าง) มีเกลือของธาตุแคลเซียม เกลือของแมกนีเซียม และเกลือของ

\* เนื่องจากพวกฮาโลเจนมีอันดับค่าอิเล็กโตรโมติฟ  $\text{F}_2 > \text{Cl}_2 > \text{Br}_2$  ดังนั้นคลอรีนแทนโบรมีนได้

\*\* ไอโอดีนต่ำกว่าโบรมีนจึงไม่เกิดปฏิกิริยา

ธาตุเหล็ก เมื่อใช้น้ำส้มล้าง กรดอะเซติกจะทำปฏิกิริยากับเกลือของธาตุดังกล่าวเกิดเป็นแคลเซียมอะซิเตด แมกนีเซียมอะซิเตด ซึ่งสามารถละลายได้ในน้ำ (เป็นไปตามข้อหนึ่งที่ว่าสารพวกอะซิเตดทั้งหลายละลายได้ในน้ำ)

## 6-7 ปฏิกิริยาแบบการเป็นกลาง (Neutralization reaction)

เป็นปฏิกิริยาแบบกรดหรือโลหะออกไซด์ทำปฏิกิริยากับเบสหรือโลหะออกไซด์ จะได้เกลือกับน้ำ พิจารณาจากการเขียนโดยทั่ว ๆ ไป



การเกิดปฏิกิริยาแบบนี้เกิดจากหลายลักษณะ เช่น

1. กรดทำปฏิกิริยากับเบสได้เกลือกับน้ำ

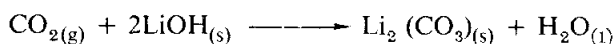


จากสมการนี้จะเห็นได้ว่า กรดและเบสทำปฏิกิริยากันได้เกลือและน้ำ ปฏิกิริยานี้จะเกิดขึ้นในกระเพาะอาหาร เมื่อรับประทานมิลค์ออฟแมกเนเซีย  $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$  ซึ่งเป็นยาลดกรดในกระเพาะจะให้ความเป็นกรดในกระเพาะอาหารลดลง เนื่องจากเกิดเกลือและน้ำขึ้น

2. โลหะออกไซด์ (เบสคอกไซด์) ทำปฏิกิริยากับกรดให้เกลือกับน้ำ

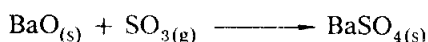


3. อโลหะออกไซด์ (แอซิคออกไซด์) ทำปฏิกิริยากับเบส

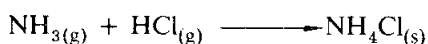


ปฏิกิริยานี้ได้นำเอาไปใช้ประโยชน์ในยานอวกาศอะพอลโล คือให้ LiOH เป็นตัวดูด  $\text{CO}_2$  ในห้องพักของยานอวกาศดังกล่าวด้วย

4. โลหะออกไซด์ (เบสคอกไซด์) ทำปฏิกิริยากับอโลหะออกไซด์ (แอซิคออกไซด์)



5. แอมโมเนีย + กรด  $\longrightarrow$  เกลือแอมโมเนียม





## 6-8 พลังงานเกี่ยวข้องกับระบบเคมี (Energy Relationships in Chemical System)

การเกิดปฏิกิริยาเคมีมีส่วนเกี่ยวข้องกับพลังงานอยู่ด้วย เรื่องของพลังงานนับว่าเป็นเรื่องสำคัญอันหนึ่ง จากการศึกษาประวัติศาสตร์อันยาวนานของมนุษย์ พบว่าในตอนแรก ๆ มนุษย์ได้ทำงานโดยใช้กำลังของตนเอง ต่อมาได้นำสัตว์เข้ามาช่วยทำงานด้วย หลังจากนั้นได้พยายามศึกษาธรรมชาติโดยใช้ลม น้ำ และไฟ ให้เป็นประโยชน์ โดยศึกษาส่วนประกอบของลม น้ำ และไฟ จนกระทั่งถึงยุคปฏิวัติอุตสาหกรรม จึงได้มีการประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำ เครื่องยนต์ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติให้เป็นประโยชน์ต่อชีวิต ดังนั้นความเจริญในด้านการขนส่ง การติดต่อสื่อสารก็เจริญเป็นอย่างยิ่ง มนุษย์เดินทางจากที่หนึ่งสู่ที่หนึ่งโดยใช้รถยนต์ จรวด ซึ่งล้วนแต่เป็นผลอันเนื่องมาจากพลังงานทั้งสิ้น

พลังงาน (energy) คืออะไร มนุษย์ไม่สามารถมองเห็น สัมผัสหรือดมกลิ่นได้ เป็นแต่เพียงอธิบายว่าพลังงานคือความสามารถที่ทำงานได้ ผลที่ได้อาจแปรสภาพเป็นเรื่องของความร้อน แสงสว่าง ไฟฟ้า และอื่น ๆ อีก คำว่างาน (work) นั้นมีนิยามดังนี้

$$\text{งาน (w)} = \text{แรงที่กระทำต่อวัตถุ (f)} \times \text{ระยะทางในแนวแรงที่วัตถุเคลื่อนที่ไป (l)} \quad (1)$$

$$W = f \times l$$

ดังนั้นงานเกิดขึ้นเมื่อมีแรงกระทำกับวัตถุจนเกิดการเคลื่อนที่ ถ้าวัตถุอยู่นิ่ง ๆ ไม่มีการกระทำใด ๆ ก็จะไม่มีการเกิดขึ้น และพลังงานเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดงาน เช่น เมื่อต้องการยกหนังสือขึ้นต้องใช้พลังงานสู้กับแรงโน้มถ่วง (force of gravity) เพื่อที่จะให้ยกหนังสือขึ้นให้ได้

พลังงานที่พบมีหลายรูปแบบ เช่น พลังงานความร้อน แสงสว่าง พลังงานเคมี พลังงานเครื่องกล พลังงานไฟฟ้า และอื่น ๆ อีก พลังงานหลายแบบนี้อาจรวมอยู่ในพลังงานจลน์ และ พลังงานศักย์ ตามที่ได้เคยกล่าวมาแล้ว ในบทที่ 3 (3-4) และเป็นที่ยอมรับว่าพลังงานจะไม่สูญหายไป เพราะพลังงานสามารถสร้างหรือทำลายได้ แต่อาจจะเปลี่ยนรูปได้ ซึ่งเป็นไปตามกฎทรงมวลของพลังงาน (law of conservation of energy) หรือคือกฎข้อหนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ (First Law of thermodynamics)

สำหรับสาระสำคัญของความรู้ในหนังสือเล่มนี้ เพียงจะศึกษาเกี่ยวกับพลังงานในแง่ของความร้อน ดังนั้นต้องมีความเข้าใจในเรื่องของสมการเทอร์โมเคมีบ้าง ซึ่งก็คือสมการเคมีที่คิดถึงปริมาณของพลังงานในรูปของความร้อนที่ถ่ายลงสู่ปฏิกิริยา หน่วยของความร้อนนี้คิดเป็นกิโลแคลอรี [ kilocalories, (Kcal) ] หรือกิโลจูล [ Kilojoules, (kJ) ]

ปฏิกิริยาที่แพร่ความร้อนออกเรียกว่า ปฏิกิริยาเอ็กโซเทอร์มิก (Exothermic reaction) ส่วนปฏิกิริยาที่ดูดความร้อนเรียก ปฏิกิริยาเอนโดเทอร์มิก (Endothermic reaction) จำนวนความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งการแพร่ออกมาหรือการดูดนั้นเรียก ความร้อนไหล (heat flow) ซึ่งแทนได้ด้วย (Q)

ในระบบของเทอร์โมไดนามิกส์ใด ๆ ก็ตาม ถ้าระบบนั้นมีการแพร่ความร้อนออกมา ความร้อนไหลนั้นถือว่ามีค่าเป็นบวกคือ Q มีค่าบวกแต่ถ้าระบบนั้นความร้อนถูกดูด ความร้อนไหลนั้นมีค่าเป็นลบคือ Q มีค่าลบ

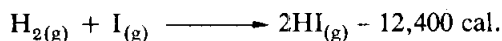
ปริมาณความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีใช้วัดเป็นคาลอรี บางทีเรียกความร้อนจากปฏิกิริยา (heat of reaction) ซึ่งก็หมายถึงจำนวนคาลอรีของพลังงานความร้อนที่แผ่ออกมาหรือถูกดูดในปฏิกิริยาเคมีต่อจำนวนของสารที่ทำปฏิกิริยา (reactans) หรือสารที่ได้รับ (products) เช่น

ปฏิกิริยาเอ็กโซเทอร์มิก



ปฏิกิริยานี้บอกให้ทราบว่า 2 โมล\* ของก๊าซไฮโดรเจนกับ 1 โมลของออกซิเจนรวมกันได้ไอน้ำ 2 โมล พร้อมทั้งส่งความร้อนออกมา 115,600 คาลอรี หรือกล่าวได้ว่าถ้าเกิดไอน้ำ 1 โมล จะมีความร้อนส่งออกมา 57,800 คาลอรี

ตัวอย่างปฏิกิริยาเอนโดเทอร์มิก



ปฏิกิริยานี้เป็นการเกิดก๊าซไฮโดรเจนไอโอไดด์จำนวน 2 โมล และมีการดูดความร้อนถึง 12,400 คาลอรี หรือ 6,200 คาลอรีต่อ 1 โมล

ขณะนี้ได้มีเครื่องมือประเภทที่ใช้วัดความร้อนและได้มีวิวัฒนาการไปอย่างมากให้ผลแม่นยำโดยใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์เข้าช่วย นอกจากนี้ยังมีคาลอรีมิเตอร์เฉพาะปฏิกิริยา เช่น ใช้วัดความร้อนเนื่องจากการเผาไหม้เท่านั้นก็มี หรือวัดความร้อนเฉพาะการผสมสารก็มี

การที่จะศึกษาในแง่ของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นแล้วให้พลังงานออกมา ซึ่งเกี่ยวข้องไปถึงเรื่องกฎเทอร์โมไดนามิกส์นั้น จำเป็นต้องศึกษาให้ละเอียดและสูงกว่านี้อีกมาก

---

\* โมลเป็นค่าที่บอกปริมาณโดยคิดว่าหนึ่งโมลมีค่าเท่ากับ  $6.20 \times 10^{23}$  หน่วย ซึ่งเท่ากับจำนวนอะตอมของคาร์บอน - 12 หนัก 12 กรัม หนึ่งโมลอะตอมของธาตุจะมีน้ำหนักเท่ากับน้ำหนักอะตอมของธาตุนั้น ๆ ในหน่วยเป็นกรัม หรือหนึ่งโมลโมเลกุลประกอบด้วยจำนวนโมเลกุลเท่ากับ  $6.20 \times 10^{23}$  และมีมวลเป็นกรัม