สมดุลเคมี
CHEMICAL EQUILIBRIUM

อาจารย์ ดร.สุภาวรัตน์ ทัพสุริย์
สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

เนื้อหา

- ลักษณะทั่วไปของสภาวะสมดุล
- ค่าคงที่สมดุล
- ข้อสรุปในการใช้ค่าคงที่สมดุล
- ปัจจัยที่สงผลต่อค่าคงที่สมดุล
- หลักของเลอชาเตอร์เยร์

สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

สมดุลไดนามิก

หมายถึง สมดุลที่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคอยู่ตลอดเวลา ระบบไม่หยุดนิ่ง อัตราการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้าเท่ากับอัตราการเปลี่ยนแปลงผันกลับ **(สมดุลเคมีเป็นสมดุลไดนามิก)**

ปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible reaction)

ปฏิกิริยาไปข้างหน้า $H_2O\ (l) \longrightarrow H_2O\ (g)$

(Forward Reaction)

ปฏิกิริยาย้อนกลับ $H_2O\ (g) \longrightarrow H_2O\ (l)$

(Reverse Reaction)

สภาวะสมดุล

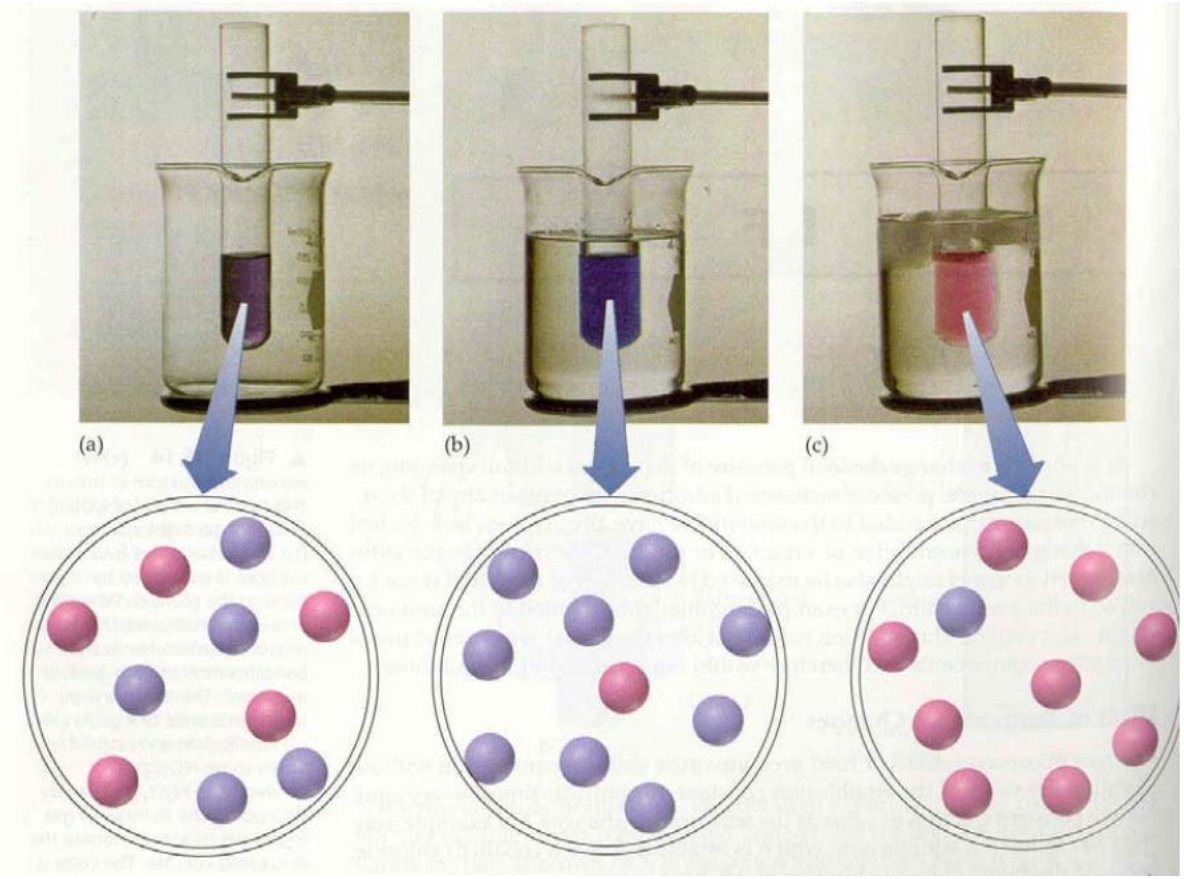
(Equilibrium state)

$H_2O\ (l) \rightleftharpoons H_2O\ (g)$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า = อัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ

สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

ปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible reaction)



$$[Co(H_2O)_6]^{2+} + 4Cl^- \rightleftharpoons [CoCl_4]^{2-} + 6H_2O$$

(สีชมพู) (สีน้ำเงิน)

สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

ปฏิกิริยาผันกลับได้ (Reversible reaction)

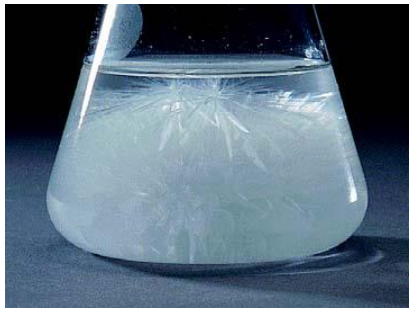
การเปลี่ยนแปลงของระบบที่ผันกลับได้ก่อให้เกิดสมดุลเคมีได้มี 3 ประเภท

1. การเปลี่ยนสถานะของสาร $I_2\ (s) \rightleftharpoons I_2\ (g)$

สมดุลของระบบ : อัตราการระเหิด = อัตราการตกผลึก

2. การเกิดสารละลาย $NaCl\ (s) + H_2O\ (l) \rightleftharpoons NaCl\ (aq)$

สมดุลของระบบ: อัตราการละลาย = อัตราการตกผลึก



สารละลายอิ่มตัว (Saturated Solution)

3. การเกิดปฏิกิริยาเคมี $CO\ (g) + 2\ H_2\ (g) \overset{700\ K}{\rightleftharpoons} CH_3OH\ (g)$

สมดุลของระบบ : อัตราการรวมตัว = อัตราการสลายตัว

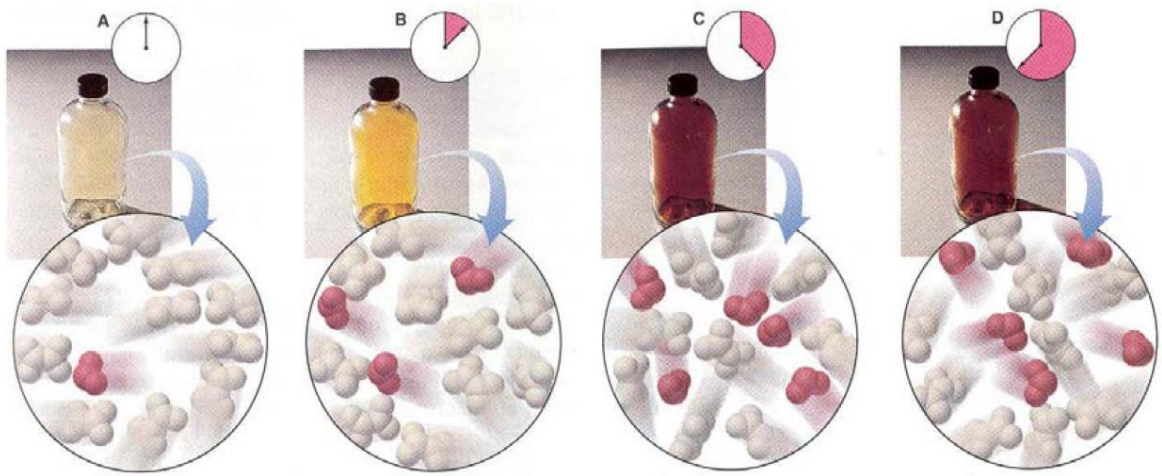
สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

สมดุลเคมี คือ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและอัตราย้อนกลับมีค่าเท่ากัน และความเข้มข้นของทั้งสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

Reactants ⇌ Products

Forward

Reverse



N_2O_4 ⇌ $2NO_2$

ไม่มีสี สีน้ำตาลแก่

Equilibrium : $rate_{fwd} = rate_{rev}$

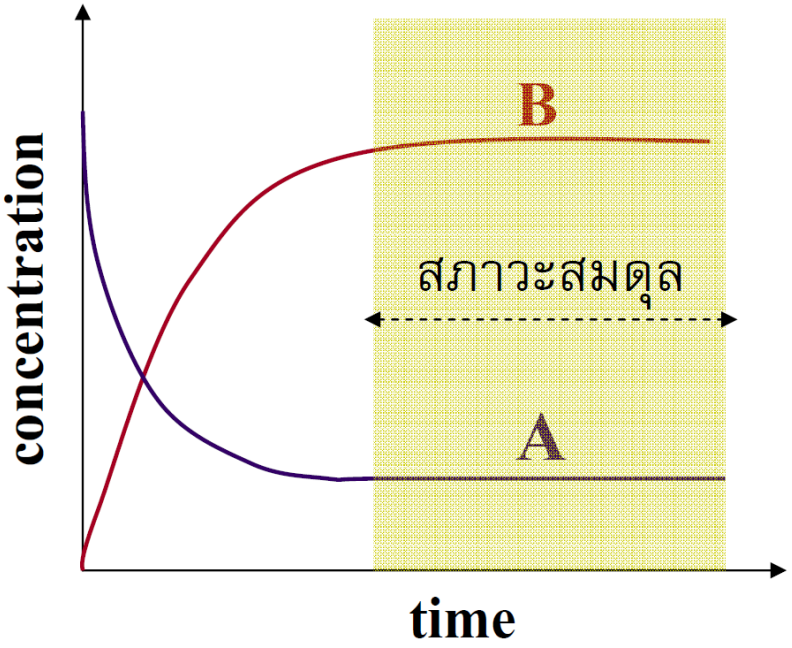
สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

ลักษณะทั่วไปของสภาวะสมดุล

1. เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล สมบัติทางกายภาพของระบบจะคงที่(ลักษณะทั่วไปของสภาวะสมดุล)

2. ณ สภาวะสมดุล ต้องมีทั้งสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์เหลืออยู่ (ไม่มีตัวใดหมด) และสารทุกตัวต้องที่มีความเข้มข้นคงที่

3. ณ สภาวะสมดุล ระบบจะไม่ได้หยุดนิ่ง



$$A \rightleftharpoons B$$

$$\text{Rate } A \longrightarrow B = \text{Rate } B \longrightarrow A$$

สมดุลพลวัต หรือ สมดุลไดนามิกส์

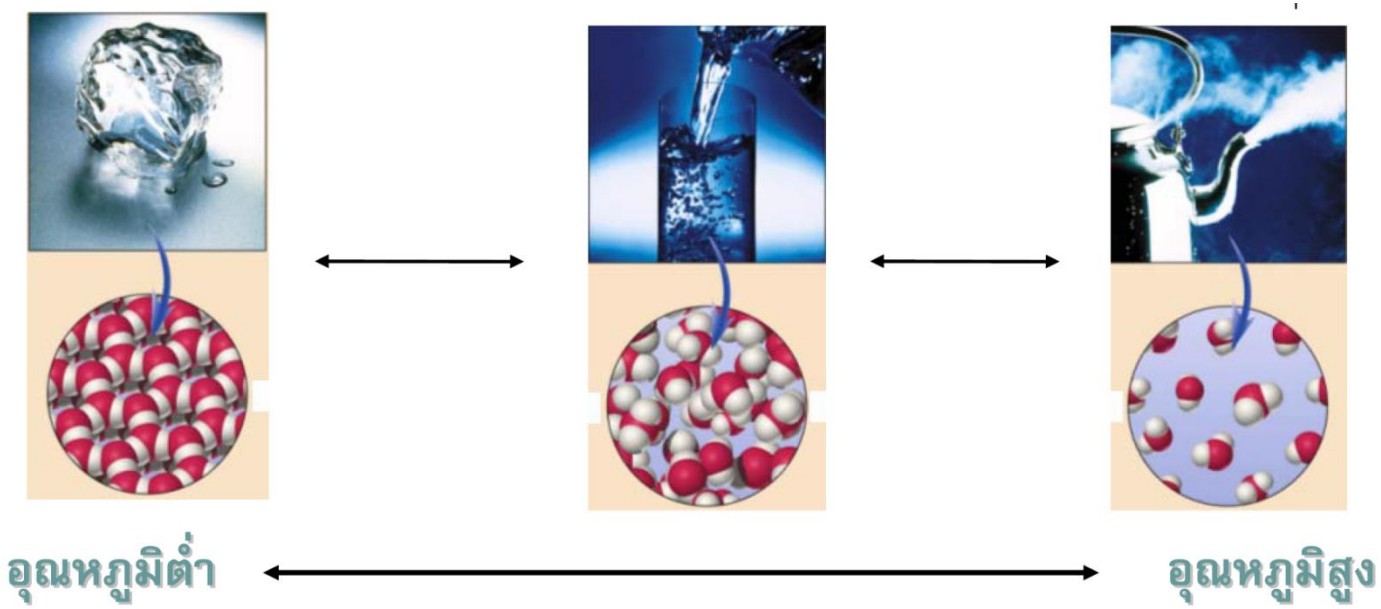
(Dynamics Equilibrium)

สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

ลักษณะทั่วไปของสภาวะสมดุล

4. ระบบจะเข้าสู่สมดุลได้เอง และ การเข้าสู่สมดุลของระบบจะเริ่มจากทิศทางใดก็ได้

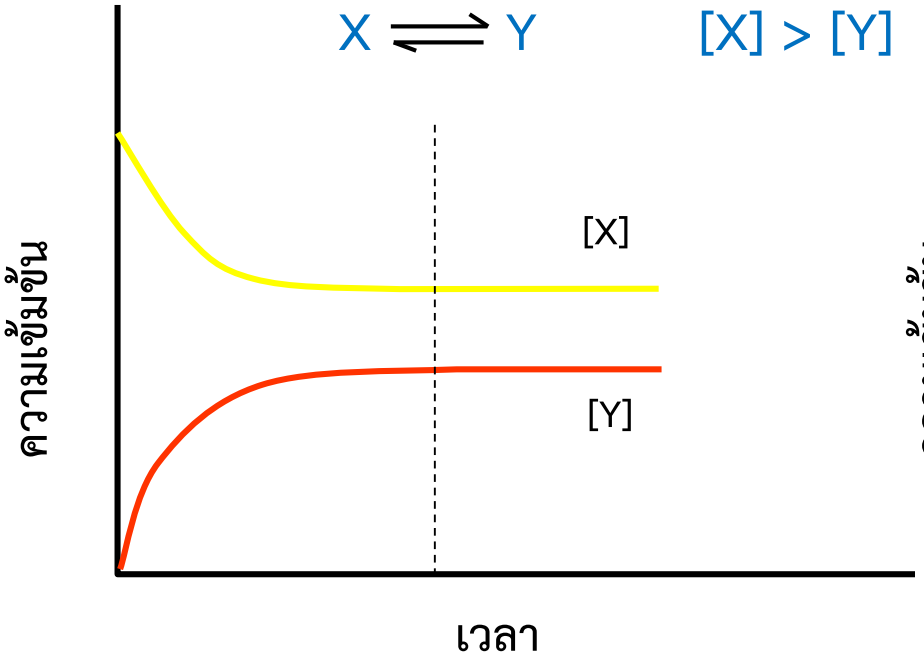
5. ถ้าสภาวะสมดุลถูกรบกวนจากอิทธิพลภายนอกจะทำให้สมดุลเสียไป แต่ถ้าหยุดรบกวน ระบบจะดำเนินเข้าสู่สมดุลได้เองใหม่อีกครั้ง



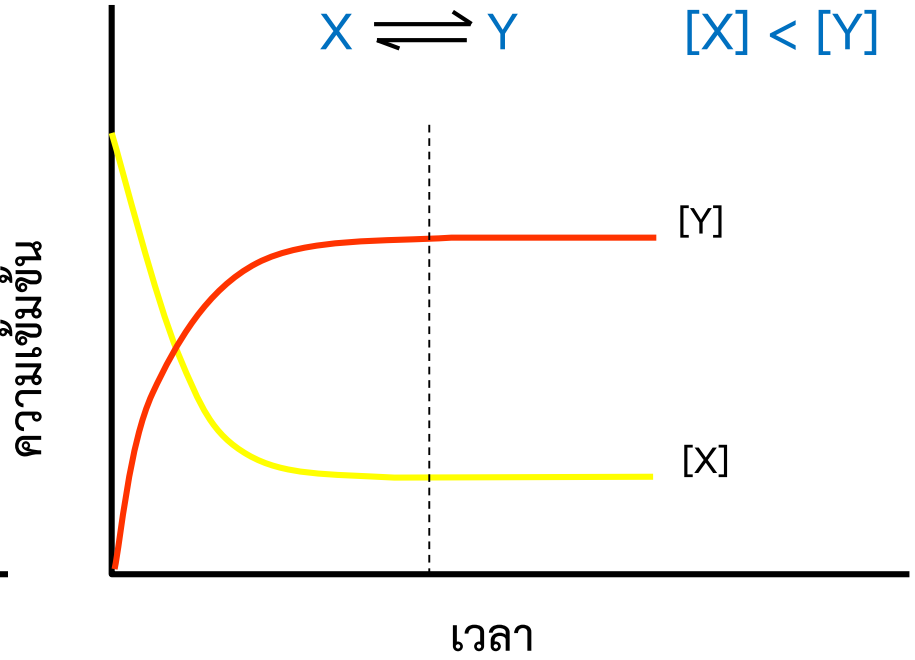
สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

กราฟของสมดุลเคมี

1. กราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลา



ก. สารตั้งต้นเหลือมากกว่าผลิตภัณฑ์

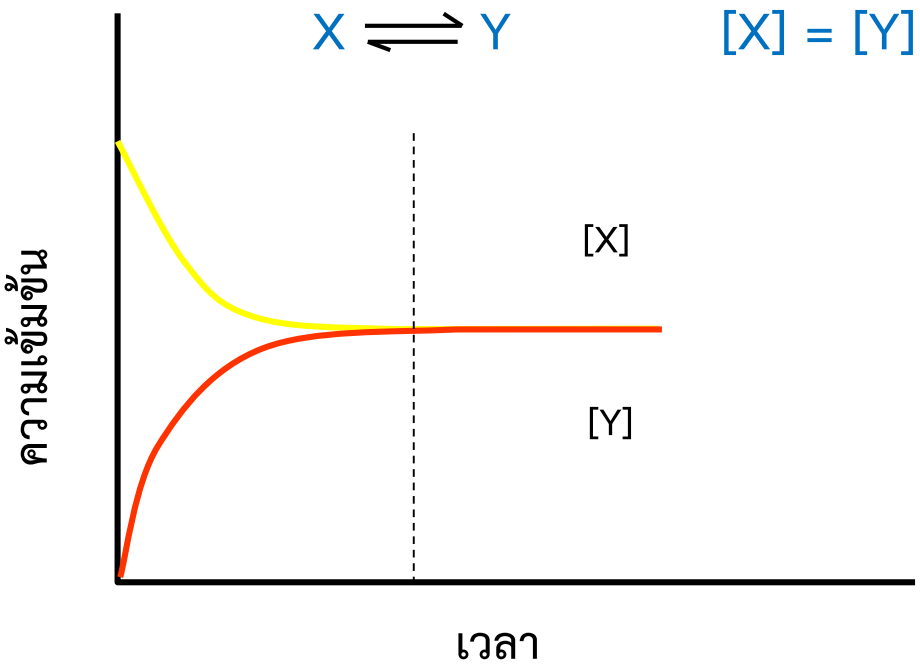


ข. สารตั้งต้นเหลือน้อยกว่าผลิตภัณฑ์

สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

กราฟของสมดุลเคมี

1. กราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลา

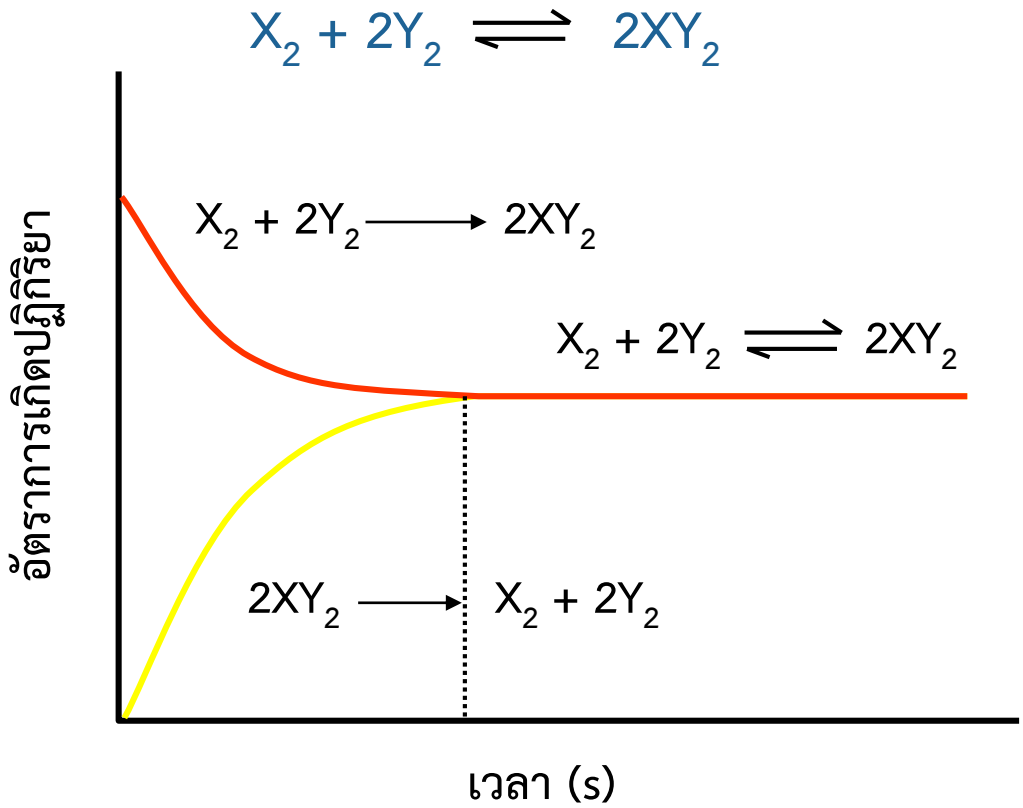


ค. สารตั้งต้นเหลือเท่ากับผลิตภัณฑ์

สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

กราฟของสมดุลเคมี

1. กราฟระหว่างอัตรากับเวลา



ค่าคงที่สมดุลเคมี

ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constant, K)

Law of Mass Action : ค.ศ. 1866

“ณ อุณหภูมิคงที่ อัตราการเกิดของปฏิกิริยาจะแปรผันตรงกับผลคูณของความเข้มข้นของสารตั้งต้นยกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์ที่บอกจำนวนโมลของสารนั้นๆในสมการเคมีที่ดุลแล้ว”

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า (R_f) = $k_f [A]^a[B]^b$

อัตราการเกิดปฏิกิริยาไปย้อนกลับ (R_r) = $k_r [C]^c[D]^d$

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ณ สภาวะสมดุล $R_f = R_r$

$$k_f[A]^a[B]^b = k_r[C]^c[D]^d$$

$$\frac{k_f}{k_r} = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

ปฏิกิริยาทั่วไป $aA + Bb \rightleftharpoons cC + dD$

ณ สภาวะสมดุล

$$K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

เมื่อ [A], [B] = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือ ณ.สมดุล (โมล/ลิตร)

[C], [D] = ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ณ.สมดุล (โมล/ลิตร)

a, b, c และ d = สัมประสิทธิ์หน้าสารแต่ละตัวในสมการเคมีที่ดุลแล้ว

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ความสำคัญของค่าคงที่สมดุล, K

- **บอกให้ทราบว่าที่สมดุลมีสารตั้งต้นหรือผลิตภัณฑ์มากกว่ากัน**
  - $K >> 1$ สมดุลไปทางขวามีผลิตภัณฑ์มากกว่า
  - $K << 1$ สมดุลไปทางซ้ายมีสารตั้งต้นมากกว่า

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ประเภทของสมดุลเคมี

1. สมดุลเอกพันธ์ : เป็นสมดุลที่สารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอยู่ในวัฏภาคเดียวกัน ซึ่งอาจอยู่ในรูปสารละลาย หรือแก๊ส

$$N_2O_4\,(g) \rightleftharpoons 2NO_2\,(g) \qquad K = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

2. สมดุลวิวิธพันธ์ : เป็นสมดุลที่สารที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาอยู่ต่างวัฏภาค

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g) \qquad K = [CO_2]$$

$$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq) \qquad K = [Ag^+][Cl^-]$$

$$P_4(s) + 6Cl_2(g) \rightleftharpoons 4\,PCl_3(l) \qquad K = \frac{1}{[Cl_2]^6}$$

สถานะ liquid และ solid
ไม่นำมาเขียนในสมการ

ค่าคงที่สมดุลเคมี

สถานะ liquid และ solid
ไม่นำมาเขียนในสมการ

ในการเขียนค่า K นั้นสารที่เป็นของแข็ง และของเหลวบริสุทธิ์ ปริมาณของการเปลี่ยนความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลง กำหนดให้มี activity = 1 เช่น (สารที่เป็นของแข็งและของเหลวบริสุทธิ์จะมีความเข้มข้นคงที่ ซึ่งความเข้มข้นคงที่ไม่ใช่ความเข้มข้น = 1)

ค่าคงที่สมดุลเคมี

1. ค่า K จะบอกถึงปฏิกิริยาไปข้างหน้ามากเท่าใด
2. ค่า K จะบอกปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นมากน้อยเพียงใด

   - ค่า K มาก -> มีค่าผลิตภัณฑ์มาก
   - ค่า K น้อย -> มีสารตั้งต้นมาก

3. ค่า K ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเท่านั้น ความเข้มข้นและความดันไม่มีผล แต่จะมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นกับชนิดของปฏิกิริยา
4. ค่า K อาจมีหน่วยหรือไม่มีหน่วยก็ได้ ขึ้นอยู่กับสมการเคมี
5. ค่า K มิได้เกี่ยวข้องกับอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยา กล่าวคือ ค่า K มาก Rate ของปฏิกิริยาอาจจะเร็วหรือช้าก็ได้
6. ค่า K อาจมีค่ามากกว่า น้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่งก็ได้ ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยานั้น

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ตัวอย่างที่ 1 จงเขียนค่า K ของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่สภาวะสมดุล

$$4HCl\ (g) + O_2\ (g) \rightleftharpoons 2Cl_2\ (g) + 2H_2O\ (l)$$

$$N_2\ (g) + 3H_2\ (g) \rightleftharpoons 2NH_3\ (g)$$

$$2NOCl\ (g) \rightleftharpoons 2NO\ (g) + Cl_2\ (g)$$

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ตัวอย่างที่ 1 จงเขียนค่า K ของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่สภาวะสมดุล

$4NH_3\,(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO\,(g) + 6H_2O\,(g)$

$2SO_3\,(g) + 2Cl_2\,(g) \rightleftharpoons 2SO_2Cl_2\,(g) + O_2\,(g)$

$SO_3\,(g) + H_2\,(g) \rightleftharpoons SO_2\,(g) + H_2O\,(g)$

ค่าคงที่สมดุลเคมี

สมบัติของค่าคงตัว

1. สมการที่เขียนกลับทิศ

สมการเดิม $2SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2SO_3\,(g)$

สมการใหม่ $2SO_3\,(g) \rightleftharpoons 2SO_2\,(g) + O_2\,(g)$

$$K = \frac{[SO_3]^2}{[SO_2]^2[O_2]}$$

$$K' = \frac{[SO_2]^2[O_2]}{[SO_3]^2}$$

$$K_2 = \frac{1}{K_1}$$

$K_1 = K_{\text{เดิม}}$

$K_2 = K_{\text{ใหม่}}$

ค่าคงที่สมดุลเคมี

สมบัติของค่าคงตัว

2. เมื่อคูณสมการด้วยสัมประสิทธิ์ใดๆ

สมการเดิม $PCl_3\ (g) + Cl_2\ (g) \rightleftharpoons PCl_5\ (g)$

สมการใหม่ $2PCl_3\ (g) + 2Cl_2\ (g) \rightleftharpoons 2PCl_5\ (g)$

$$K = \frac{[PCl_5]}{[PCl_3][Cl_2]}$$

$$K' = \frac{[PCl_5]^2}{[PCl_3]^2[Cl_2]^2}$$

$$K_2 = K_1^n$$

ค่าคงที่สมดุลเคมี

สมบัติของค่าคงตัว

3.ปฏิกิริยาที่ประกอบด้วยปฏิกิริยาย่อยหลายขั้นตอน

ขั้นที่ 1 $2NO\ (g) + O_2\ (g) \rightleftharpoons 2NO_2\ (g)$ $K_1 = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]}$

ขั้นที่ 2 $2NO_2\ (g) \rightleftharpoons N_2O_4\ (g)$ $K_2 = \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2}$

ปฏิกิริยารวม $2NO\ (g) + O_2\ (g) \rightleftharpoons N_2O_4\ (g)$ $K_3 = \frac{[N_2O_4]}{[NO]^2[O_2]^2}$

เมื่อนำ K_1 และ K_2 มาคูณกัน จะได้ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยารวม K_3

$$K_1K_2 = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]} x \frac{[N_2O_4]}{[NO_2]^2} = \frac{[N_2O_4]}{[NO]^2[O_2]} = K_3$$

$K_{\text{ปฏิกิริยารวม}} = K_{\text{ขั้นที่ 1}}\ K_{\text{ขั้นที่ 2}}$ ...

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ตัวอย่างที่ 2 ที่สภาวะอุณหภูมิสูงการเผาไหม้ของแก๊สโซลีนในกระบอกสูบเครื่องยนต์ N_2 และ O_2 จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ

(1) $N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$ $\quad K_1 = 4.3 \times 10^{-25}$

(2) $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ $\quad K_2 = 6.4 \times 10^{9}$

จงคำนวณหาค่า K ของปฏิกิริยารวม

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ตัวอย่างที่ 3 กำหนดปฏิกิริยาและค่าคงตัวสมดุลต่อไปนี้

$2SO_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2SO_3\,(g) \quad K_1 = 4$

$2SO_3\,(g) + 2H_2O\,(g) \rightleftharpoons 2H_2SO_4\,(g) \quad K_2 = 9$

จงคำนวณหาค่า K ของปฏิกิริยาต่อไปนี้

1) $2SO_3\,(g) \rightleftharpoons 2SO_2\,(g) + O_2\,(g)$

2) $SO_3\,(g) + H_2O\,(g) \rightleftharpoons H_2SO_4\,(g)$

3) $2SO_2\,(g) + O_2\,(g) + 2H_2O\,(g) \rightleftharpoons 2H_2SO_4\,(g)$

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ตัวอย่างที่ 4 กำหนดปฏิกิริยาและค่าคงตัวสมดุลต่อไปนี้

$2NO\ (g) + O_2\ (g) \rightleftharpoons 2NO_2\ (g)$ $\quad K_1 = 4 \times 10^{12}$

ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา $NO\ (g) + 1/2O_2\ (g) \rightleftharpoons NO_2\ (g)$ $\quad K_2 = ?$
เท่ากับเท่าใด

ค่าคงที่สมดุลเคมี

ตัวอย่างที่ 5 กำหนดปฏิกิริยาที่สภาวะสมดุล

$$A + 2B \rightleftharpoons C + D \qquad K_1 = 3$$

$$C \rightleftharpoons B + E \qquad K_2 = 5$$

$$A + B \rightleftharpoons D + E \qquad K_3 = ?$$

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี (Factors that affect chemical equilibrium)

1. ความเข้มข้น
2. ความดัน
3. ปริมาตร
4. อุณหภูมิ
5. ตัวเร่งปฏิกิริยา
6. แก๊สเฉื่อย

เมื่อระบบสมดุลถูกรบกวนด้วยปัจจัยเหล่านี้ ระบบจะปรับตัวเองให้เข้าสู่สมดุลใหม่อีกครั้ง ตามหลักของเลอชาเตอรลิเยร์ (Le Chatelier's Principle)

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

Le Chatelier's Principle

"เมื่อระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุลถูกรบกวนให้สภาวะสมดุลเปลี่ยนไป ระบบจะปรับตัวในทางที่จะทำให้สภาวะสมดุลกลับคืน"

ปัจจัยที่รบกวนสภาวะสมดุลมีดังนี้

1. การเปลี่ยนความเข้มข้น
2. การเปลี่ยนความดัน
3. การเปลี่ยนอุณหภูมิ
4. ปริมาตร
5. การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

ประโยชน์ของหลักของเลอชาเตอลิเยร์

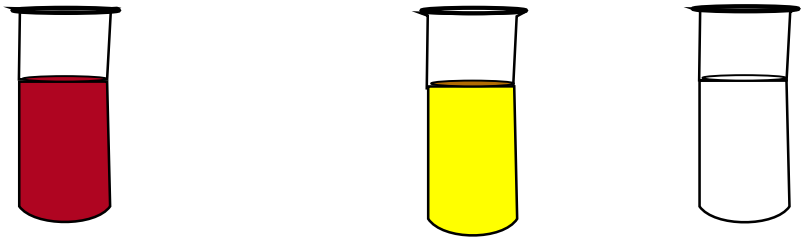
1. ทำนายทิศทางของปฏิกิริยาเคมีเมื่อถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อม
2. เป็นแนวทางในการเลือกสภาวะของปฏิกิริยาเพื่อจะได้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการมากที่สุดในอุตสาหกรรม

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

1. การเปลี่ยนความเข้มข้น

$Fe[SCN]_3\ (aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + SCN^-\ (aq)$

แดงเลือดนก เหลืองอ่อน ไม่มีสี



- ถ้าเติม $Fe(NO_3)_3$ → เพิ่ม Fe^{3+}
  : ระบบปรับตัวทำให้ปฏิกิริยาไปทางซ้ายเพื่อลด $[Fe^{3+}]$ ได้สีแดง
- ถ้าเติม NaSCN → เพิ่ม SCN^-
  : ระบบปรับตัวทำให้ปฏิกิริยาไปทางซ้ายเพื่อลด $[CNS^-]$ ได้สีแดง
- ถ้าเติม $H_2C_2O_4$ (ได้ $C_2O_4^{2-}$ จับกับ Fe^{3+}) → ลด Fe^{3+}
  : ระบบปรับตัวทำให้ปฏิกิริยาไปทางขวาเพื่อเพิ่ม $[Fe^{3+}]$ ได้สีเหลือง

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

ตัวอย่างที่ 12 จงบอกทิศทางของปฏิกิริยา $N_2\,(g) + 3\,H_2\,(g) \rightleftharpoons 2NH_3\,(g)$

สาร	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น	ทิศทางของปฏิกิริยา
$N_2\,(g)$	เพิ่มขึ้น ลดลง	
$H_2\,(g)$	เพิ่มขึ้น ลดลง	
$NH_3\,(g)$	เพิ่มขึ้น ลดลง	

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

ตัวอย่างที่ 13 จงบอกทิศทางของปฏิกิริยา $H_2\,(g) + I_2\,(g) \rightleftharpoons 2HI\,(g)$

การรบกวน	ทิศทางการปรับสมดุล	การเปลี่ยนแปลง		
		$[H_2]$	$[I_2]$	$[HI]$
เพิ่ม $[H_2]$				
เพิ่ม $[I_2]$				
เพิ่ม $[HI]$				
ลด $[H_2]$				
ลด $[I_2]$				
ลด $[HI]$				

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

ตัวอย่าง 14 ที่ 720 องศาเซลเซียส ค่าคงที่สมดุลสำหรับปฏิกิริยา

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

เท่ากับ 2.37×10^{-3} ในการทดลองหนึ่งที่สภาวะ สมดุล พบว่า $[N_2] = 0.683$ M $[H_2] = 8.80$ M และ $[NH_3] = 1.05$ M เมื่อเติม NH_3 ลงไปในของ ผสมที่สภาวะสมดุลจนได้ความเข้มข้นเป็น 3.65 M

จงใช้หลักของเลอชาติลิเยร์ ทำนายทิศทาง และการเลื่อนของสมดุลไปสู่สมดุลใหม่

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและความดัน

- มีผลน้อยมากต่อความเข้มข้นของของแข็งและของเหลว
  - เพราะไม่สามารถบีบอัดได้ ทำให้ปริมาตรเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

- มีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซ
  - มีผลอย่างมากต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซ

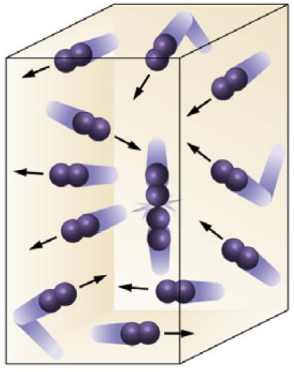
โดยเฉพาะระบบที่มีที่มีจำนวนโมลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ต่างกัน

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

1. การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและความดัน

พิจารณาเฉพาะระบบที่มีแก๊สเข้ามาเกี่ยวข้อง

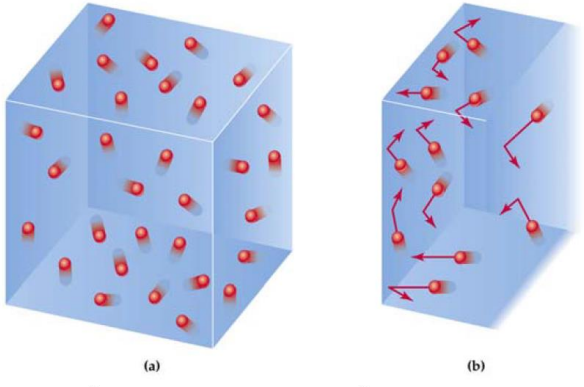
V & T คงที่ : P α n หรือ N



P ↑ ระบบลด P โดยการลด n ของแก๊ส

P ↓ ระบบเพิ่ม P โดยการเพิ่ม n ของแก๊ส

T คงที่ : P α 1/V



V ↑ ระบบลด V โดยการเพิ่ม P เพิ่ม n ของแก๊ส

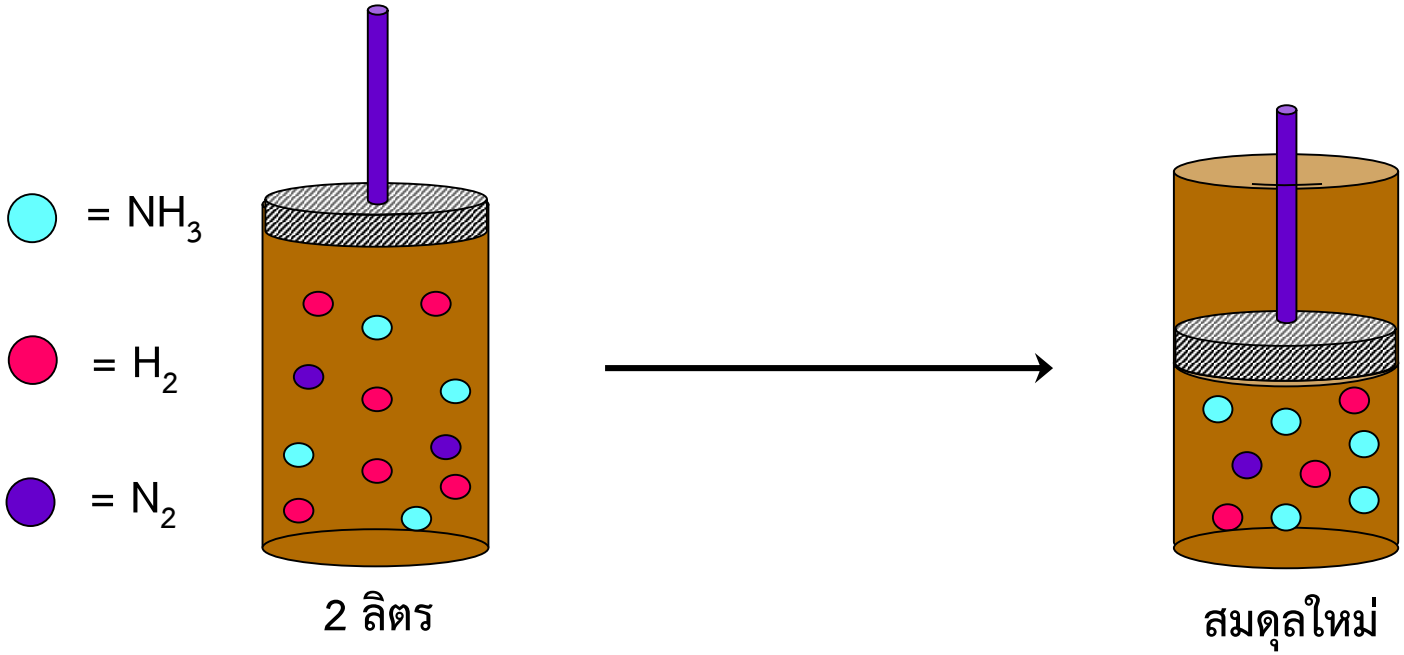
V ↓ ระบบเพิ่ม V โดยการลด P ลด N or n ของแก๊ส

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

$$N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$$

	1 โมล	3 โมล	2 โมล
ปริมาตรที่ STP (l)	22.4	3x22.4	2x22.4

ถ้าเพิ่มความดันหรือลดปริมาตร : ระบบจะพยายามลดความดันโดยเลื่อนตำแหน่ง ของสมดุลไปทางขวาโดยที่ค่า K ยังคงที่



หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

สรุปการเพิ่มความดันและลดปริมาตร

1. ถ้าเพิ่มความดันให้แก่ระบบที่อยู่ในสภาวะสมดุลตำแหน่งของสมดุลจะเลื่อนไปในทิศทางที่มีจำนวนโมลของก๊าซน้อยกว่า

2. ถ้าจำนวนโมลของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์ เท่ากันการเปลี่ยนแปลงความดันไม่มีผลต่อสมดุล

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

$N_2\ (g) + 3H_2\ (g) \rightleftharpoons 2NH_3\ (g)$

การรบกวน	สมดุล	การเปลี่ยนแปลง		
		$[N_2]$	$[H_2]$	$[NH_3]$
เพิ่มความดัน				
ลดความดัน				

$H_2\ (g) + I_2\ (g) \rightleftharpoons 2HI\ (g)$

การรบกวน	สมดุล	การเปลี่ยนแปลง		
		$[H_2]$	$[I_2]$	$[HI]$
เพิ่มความดัน				
ลดความดัน				

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

2. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

ทำให้ระบบปรับตัวเข้าสู่สมดุลใหม่ และค่าคงที่สมดุลเปลี่ยนไป โดยขึ้นอยู่กับชนิดของปฏิกิริยา

ปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction)

$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) \quad \Delta H^\circ = -58.0\ kJ$ คายความร้อน

$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g) + Heat$ คายความร้อน

- **การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สมดุลเปลี่ยนไปในทิศทางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ**
  - ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น
  - ความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ลดลง

- **การลดอุณหภูมิจะทำให้สมดุลเปลี่ยนไป ในทิศทางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า**
  - ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง
  - ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

ปฏิกิริยาดูดความร้อน (Endothermic reaction)

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g) \quad \Delta H^\circ = 58.0\ kJ$ ดูดความร้อน

$N_2O_4(g) + Heat \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ ดูดความร้อน

- **การเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สมดุลเปลี่ยนไปในทิศทางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า**
  - ความเข้มข้นของสารตั้งต้นลดลง
  - ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

- **การลดอุณหภูมิจะทำให้สมดุลเปลี่ยนไปในทิศทางที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ**
  - ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเพิ่มขึ้น
  - ความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ลดลง

ปฏิกิริยาดูดความร้อน (ΔH° บวก)	ปฏิกิริยาคายความร้อน (ΔH° ลบ)
1. เพิ่มอุณหภูมิ ไปข้างหน้า	1. เพิ่มอุณหภูมิ ย้อนกลับ
2. ลดอุณหภูมิ ย้อนกลับ	2. ลดอุณหภูมิ ไปข้างหน้า

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

ปฏิกิริยาคายความร้อน $N_2\,(g) + 3H_2\,(g) \rightleftharpoons 2NH_3\,(g) + heat$

การรบกวน	สมดุล	การเปลี่ยนแปลง		
		$[N_2]$	$[H_2]$	$[NH_3]$
เพิ่มความร้อน				
ลดอุณหภูมิ				

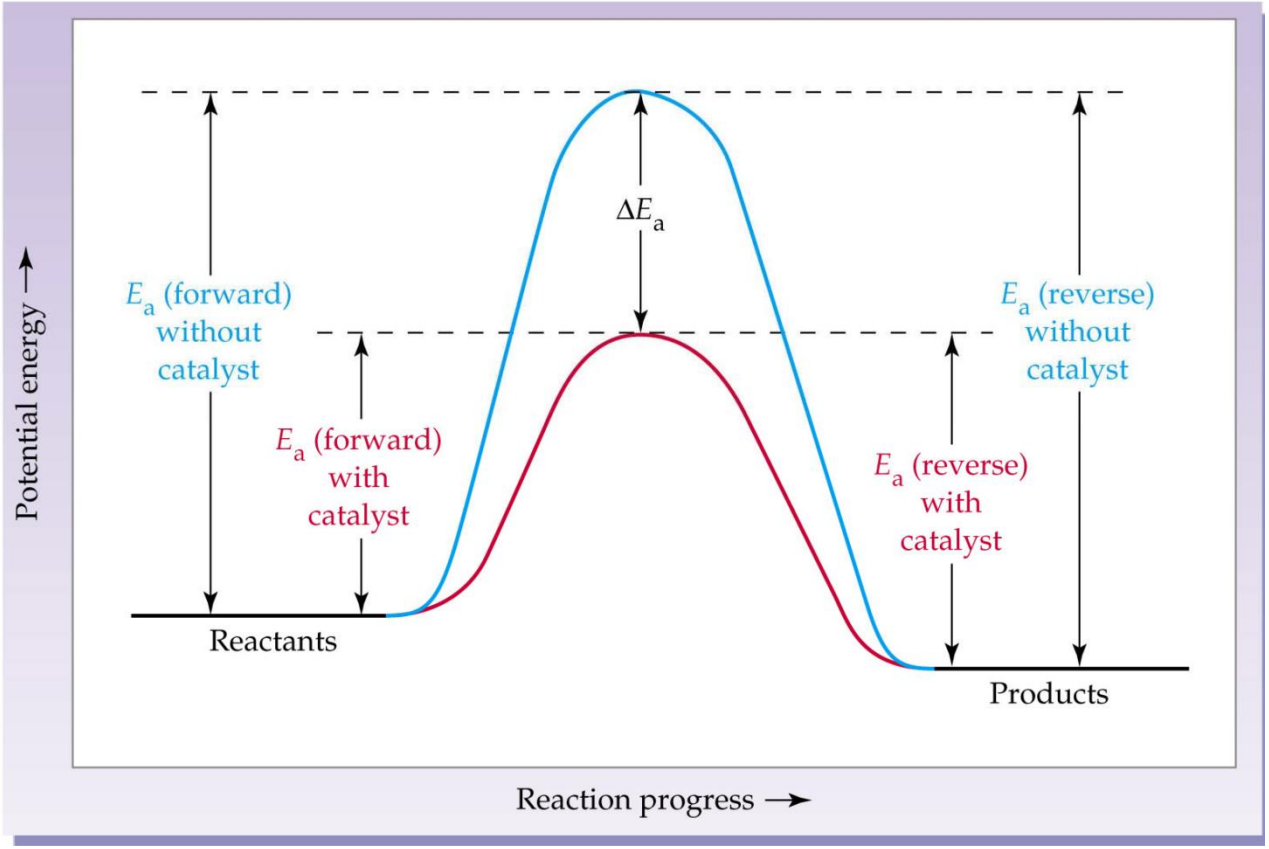
ปฏิกิริยาดูดความร้อน $N_2\,(g) + O_2\,(g) + heat \rightleftharpoons 2NO\,(g)$

การรบกวน	สมดุล	การเปลี่ยนแปลง		
		$[N_2]$	$[O_2]$	$[NO]$
เพิ่มความร้อน				
ลดอุณหภูมิ				

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

3. การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา

การใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) จะไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงสภาวะสมดุล แต่จะช่วยทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สภาวะสมดุลได้เร็วขึ้น



หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

ตัวอย่างที่ 14 จากสมดุล $4NH_3(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 4NO(g) + 6H_2O(l)$ $\Delta H^\circ = -248$ kJ จงทำนายทิศทางการดำเนินไปของปฏิกิริยาเมื่อรบกวนสมดุลดังต่อไปนี้

ปัจจัยต่อไปนี้มีผลอย่างไรต่อสภาวะสมดุล

1. เพิ่ม NH_3 (g)
2. ลด O_2 (g)
3. ลด NO (g)
4. เพิ่มปริมาตรของภาชนะบรรจุ 2 เท่า
5. เพิ่มอุณหภูมิ
6. เพิ่มความดัน

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

ตัวอย่างที่ 15 พิจารณาปฏิกิริยาที่สภาวะสมดุลต่อไปนี้

$$NO\ (g) + O_3\ (g) \rightleftharpoons NO_2\ (g) + O_2\ (g) \quad \Delta H = -18.7\ kJ$$

(คายความร้อน)

ปัจจัยต่อไปนี้มีผลอย่างไรต่อสภาวะสมดุล

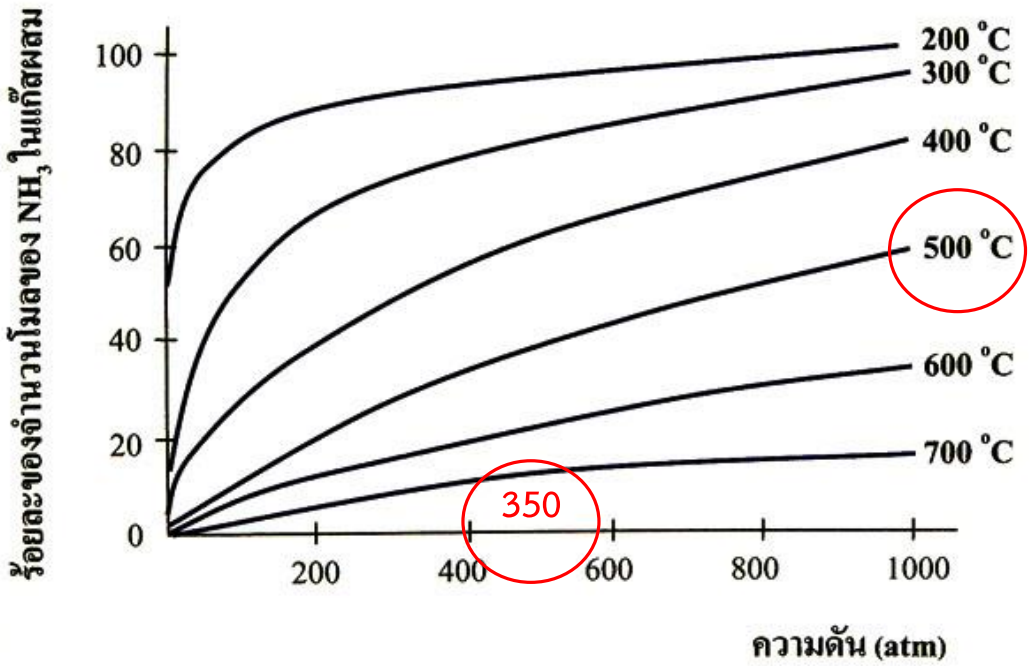
1. เติม NO
2. ลด O_3
3. เพิ่มอุณหภูมิ
4. ลดปริมาตรภาชนะ

หลักของเลอชาเตอรลิเยร์

การผลิตแก๊สแอมโมเนีย ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการผลิตปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $(NH_4)_2SO_4$ ปุ๋ยยูเรีย การเตรียมแก๊สแอมโมเนียจากปฏิกิริยาระหว่างแก๊สไนโตรเจน และแก๊สไฮโดรเจน ดังนี้

$$N_2\,(g) + 3H_2\,(g) \rightleftharpoons 2NH_3\,(g) + 92\ kJ$$

ในการผลิต NH_3 ให้ได้ปริมาณมากๆ ต้องเตรียมที่อุณหภูมิต่ำและความดันสูง แต่ความเป็นจริงแล้วยังมีปัจจัยอื่นจะต้องนำมาพิจารณาด้วย เช่น เวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากอุณหภูมิต่ำปฏิกิริยาจะเกิดช้า



ฟริสต์ ฮาร์เบอร์
(Friz Haber)