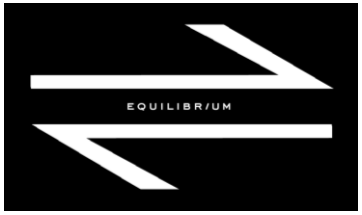


หลักเคมี 1 (คม 101)

ภาคเรียนที่ 1/2562

สมดุลเคมี Chemical Equilibrium

กรด-เบส Acid Base

ผศ.ดร. สุภาพร แสงศรีจันทร์

E-mail: supapornsangsrichan@gmail.com

สาขาวิชาเคมี ห้อง 2301 อาคาร 60 ปี คณะวิทยาศาสตร์

ตารางเรียน

สัปห์ดาที่	กลุ่ม 1, 2 (อ, ศ)	เรื่อง
1	1, 4 October 2019	สมดุลเคมี
2	8, 11 October 2019	สมดุลเคมี/กรดเบส
3	15, 18 October 2019	กรดเบส

คะแนน	20%
สอบปลายภาค	18%
เข้าห้องเรียน+สอบย่อย+พฤติกรรม	2%

แหล่งอ้างอิง-ค้นคว้าเพิ่มเติม

- Chang, R. (2010) *Chemistry, Tenth edition.* New York, NY: McGraw-Hill.
- Zumdahl, S. S., Zumdahl, S. A. (2014) *Chemistry, Ninth edition.* Belmont, CA: Brooks Cole.
- Tro, N. J. (2017) *Chemistry : a molecular approach Fourth edition.* Boston, MA: Pearson.
- Chang, R. (2012) *เคมี 1 Chemistry 10/e.* Bangkok: McGraw-Hill International Enterprise. (แปลและเรียบเรียงโดย รศ.ดร.ทวีชัย อมรศักดิ์ชัย และคณะ, 2012)
- **เว็บไซต์สาขาเคมี:** www.chemistry.mju.ac.th > กล่องเอกสาร > แขนงสาขาเคมีพื้นฐาน > คม 101 หลักเคมี 1
- **เคมี เล่ม 1 ทบวงมหาวิทยาลัย อักษรเจริญทัศน์ 2541. อ่านออนไลน์: Search "NEWS - เคมี เล่ม1 ของทบวงมหาวิทยาลัย"**
- **<u>แบบฝึกหัดและตัวอย่างข้อสอบ: 108 คำถาม-คำตอบ หลักเคมี, คณาจารย์, 2558.</u> <u>(ร้านถ่ายเอกสารทางออกตึกวิทย์ 60 ปี)</u>**

Chemical equilibrium (สมดุลเคมี)

- สมดุลเคมี สภาวะสมดุล
- ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constant, K)
- ค่าคงที่สมดุล K_c vs K_p
- สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibrium)
- การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล
- ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

1. สมดุลเคมีและสภาวะสมดุล

การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้

การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ คือการเปลี่ยนแปลงที่เมื่อเปลี่ยนไปแล้ว สามารถเปลี่ยนกลับคืนสู่สภาพเดิมได้

ปฏิกิริยาเคมีหลายปฏิกิริยาสามารถผันกลับได้ เช่นการเผา $CaCO_3(s)$ ในภาชนะปิด

$$CaCO_3(s) \underset{\text{ปฏิกิริยาย้อนกลับ}}{\overset{\text{ปฏิกิริยาไปข้างหน้า}}{\rightleftharpoons}} CaO(s) + CO_2(g)$$

(**หมายเหตุ** ปฏิกิริยาเผา $CaCO_3(s)$ นี้ ต้องทำในภาชนะปิดจึงจะผันกลับได้ หากทำในภาชนะเปิดจะไม่ผันกลับ เพราะแก๊ส CO_2 จะหนีหายหมด)

- การเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ จะเกิดสมดุลได้
- ถ้าปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ จะเกิดสมดุลได้ไหม?

ชนิดของการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้

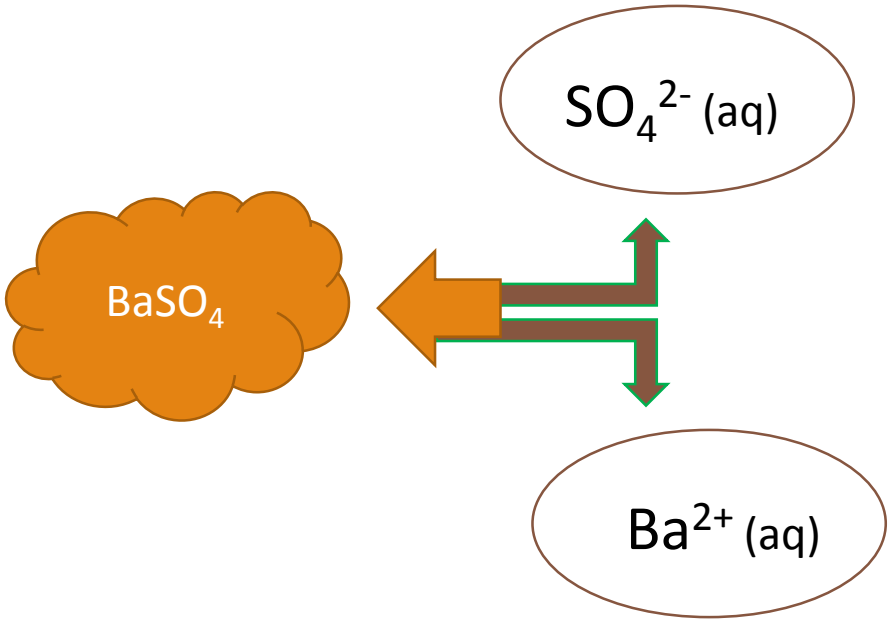
การเปลี่ยนแปลงของระบบที่ก่อให้เกิดสมดุลเคมี ต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ มี 3 ประเภท

1) การละลาย
2) การเปลี่ยนสถานะ
3) การเกิดปฏิกิริยาเคมีผันกลับ

1) สมดุลของการละลาย

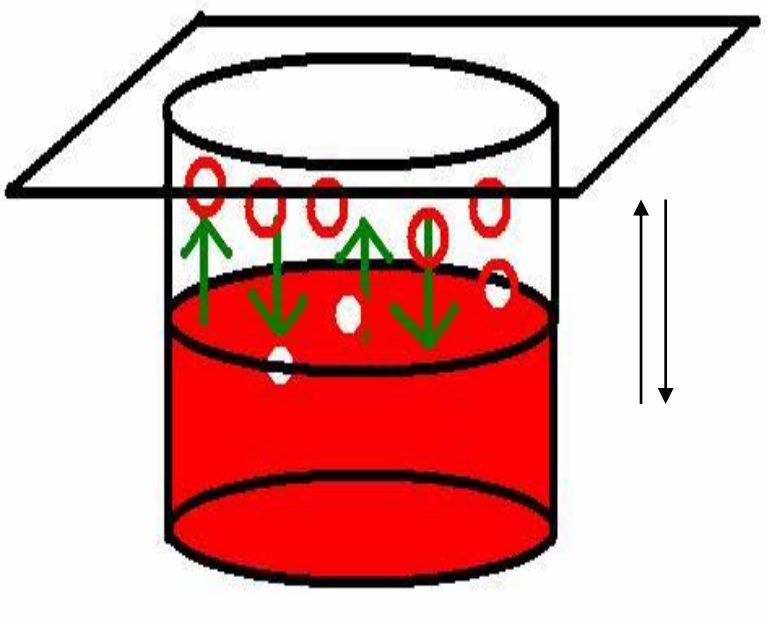
การละลายของตะกอน จากตะกอนละลายเป็นไอออน และจากไอออน รวมตัวกันเป็นตะกอน กลับไปกลับมา

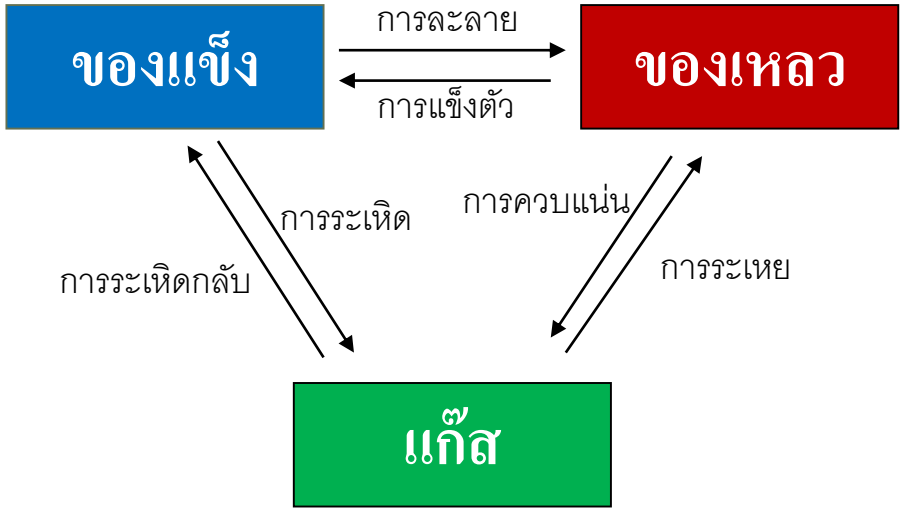
$$BaSO_4(s) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$



2) สมดุลของการเปลี่ยนสถานะ

เช่น น้ำ ลดอุณหภูมิ กลายเป็นน้ำแข็ง จากน้ำแข็ง เพิ่มอุณหภูมิเป็นน้ำ





ของเหลวอยู่ในสมดุลกับไอ

อัตราการระเหย เท่ากับ อัตราการควบแน่น

3) สมดุลของการเกิดปฏิกิริยาเคมีผันกลับ

ปฏิกิริยาไปข้างหน้า: $[Cu(H_2O)_4]^{2+}(aq) + 4Cl^-(aq) \longrightarrow [CuCl_4]^{2-}(aq) + 4H_2O(l)$

(Forward reaction) สีฟ้า ไม่มีสี สีเหลือง ไม่มีสี

ปฏิกิริยาย้อนกลับ: $[CuCl_4]^{2-}(aq) + 4H_2O(l) \longrightarrow [Cu(H_2O)_4]^{2+}(aq) + 4Cl^-(aq)$

(Backward reaction) สีเหลือง ไม่มีสี สีฟ้า ไม่มีสี

ปฏิกิริยาผันกลับได้: $[Cu(H_2O)_4]^{2+}(aq) + 4Cl^-(aq) \rightleftharpoons [CuCl_4]^{2-}(aq) + 4H_2O(l)$

(Reversible reaction) สีฟ้า สีเหลือง

ชนิดของการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้

การเปลี่ยนแปลงของระบบที่ก่อให้เกิดสมดุลเคมี ต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้ มี 3 ประเภท

1) การละลาย

2) การเปลี่ยนสถานะ

ข้อ 1 และ 2 เป็นกระบวนการทางกายภาพที่ผันกลับได้ เกี่ยวข้องกับสมดุลไดนามิก แต่ไม่จัดว่าเป็นปฏิกิริยาเคมี

3) การเกิดปฏิกิริยาเคมีผันกลับ

สมดุลเคมี (Chemical Equilibrium)

คือ สภาวะที่เกิดขึ้นในระบบที่สามารถเกิด

การเปลี่ยนแปลงแบบผันกลับ (reversible) ได้

ณ จุดที่อัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงไปข้างหน้า เท่ากับ

อัตราเร็วของการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ

และความเข้มข้นของทั้งสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

ปฏิกิริยาเคมี

- ปฏิกิริยาเคมีที่เกิด**ได้สมบูรณ์ ผันกลับไม่ได้**

- ปฏิกิริยาเคมีที่เกิด**ไม่สมบูรณ์ ผันกลับได้**

ปฏิกิริยาผันกลับได้

- ปฏิกิริยาเคมีที่**สารตั้งต้น**ทำปฏิกิริยาเปลี่ยนไปเป็น**ผลิตภัณฑ์ (ปฏิกิริยาไปข้างหน้า)**

- แล้วสาร**ผลิตภัณฑ์**นั้นทำปฏิกิริยากันเปลี่ยนกลับมาเป็น**สารตั้งต้น (ปฏิกิริยาย้อนกลับ)**

- เขียนปฏิกิริยารวมจะได้เป็น **ปฏิกิริยาผันกลับได้**

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิด**ไม่สมบูรณ์ ผันกลับได้**

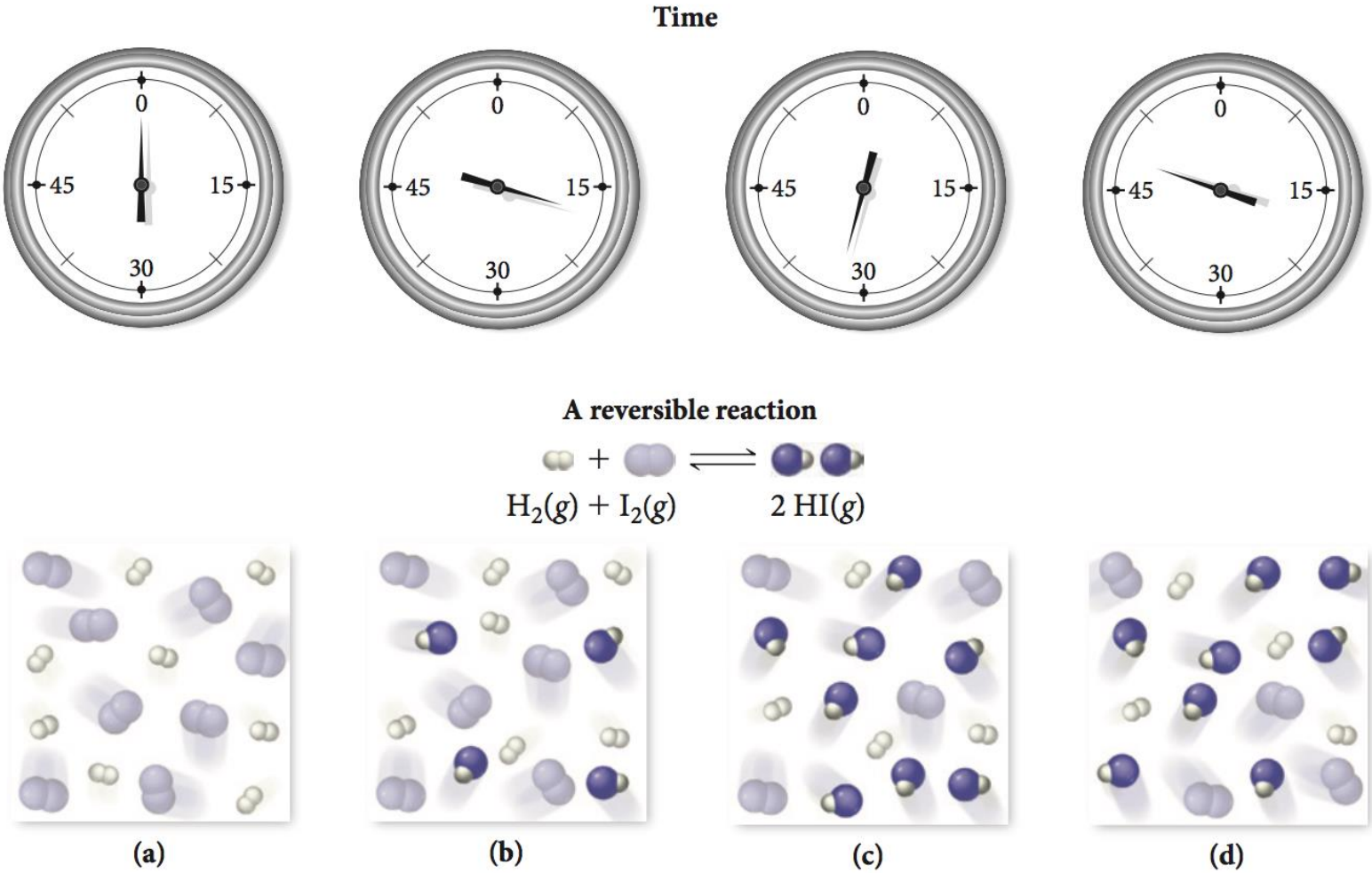
ข้อสังเกตเกี่ยวกับปฏิกิริยาผันกลับได้

- ปฏิกิริยาไปข้างหน้า และ ปฏิกิริยาผันกลับ**เกิดขึ้นพร้อมกัน**
- เขียน**ลูกศรคู่** ($\rightleftharpoons$) ในสมการ เพื่อแสดงว่าปฏิกิริยาผันกลับได้
- ณ ภาวะสมดุลมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นตลอดเวลา เรียก **สมดุลไดนามิก**
- ปฏิกิริยา**ผันกลับเกิดขึ้นได้หรือไม่**นั้น ขึ้นอยู่กับภาวะของปฏิกิริยา เช่น **อุณหภูมิ ความดัน สภาพละลายได้ และค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา**
- ปฏิกิริยาจะ**ผันกลับได้มากน้อย**เพียงใด **ขึ้นอยู่กับค่าคงที่สมดุล**ของปฏิกิริยานั้น

ข้อสังเกตเกี่ยวกับปฏิกิริยาผันกลับได้

หมายเหตุ 1) ที่ภาวะสมดุลปริมาณสารทุกตัวจะมีปริมาณคงที่ แต่ไม่จำเป็นว่าปริมาณสารทุกตัวต้องเท่ากันทุกสาร สารบางตัวอาจมีมาก บางตัวอาจมีน้อยก็ได้ แต่ปริมาณที่มีนั้นต้องคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง

2) สารทุกตัวในระบบจะไม่หมดไปจากระบบแม้ว่าจะทิ้งไว้นานเท่าใดก็ตาม เพราะเมื่อสลายไปก็จะผันกลับมาเกิดใหม่ได้



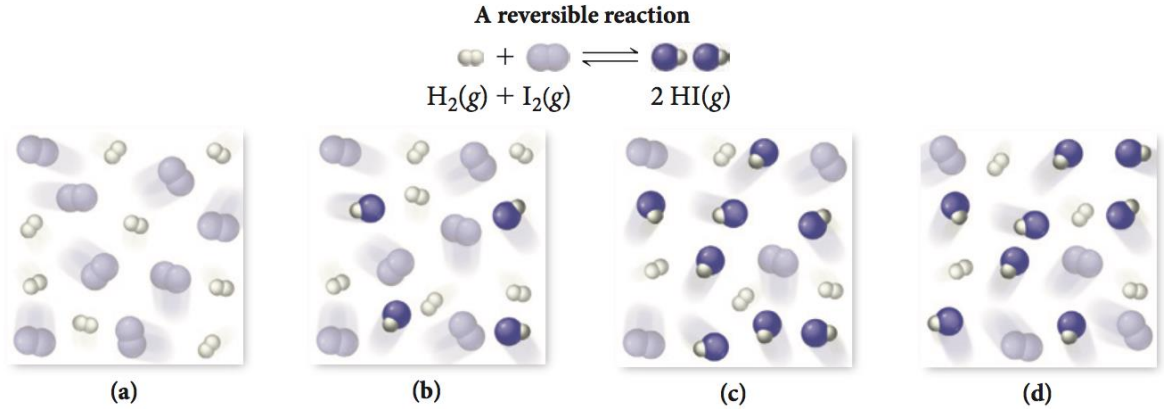
เริ่มต้น: มีแค่สารตั้งต้น

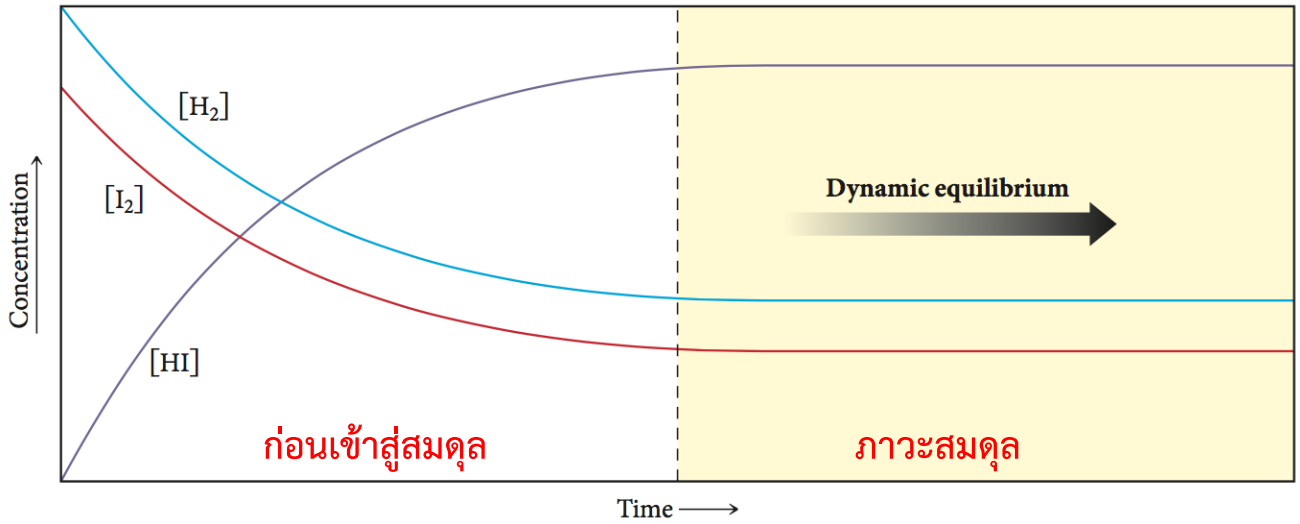
เริ่มมีสารผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น

สารผลิตภัณฑ์มีมากขึ้น

ภาวะสมดุล
ปริมาณสารตั้งต้น-ผลิตภัณฑ์**คงที่**

Chemical equilibrium (สมดุลเคมี)





อัตราของปฏิกิริยาไปข้างหน้า > อัตราของปฏิกิริยาย้อนกลับ
สารผลิตภัณฑ์**เพิ่มขึ้น** สารตั้งต้น**ลดลง**

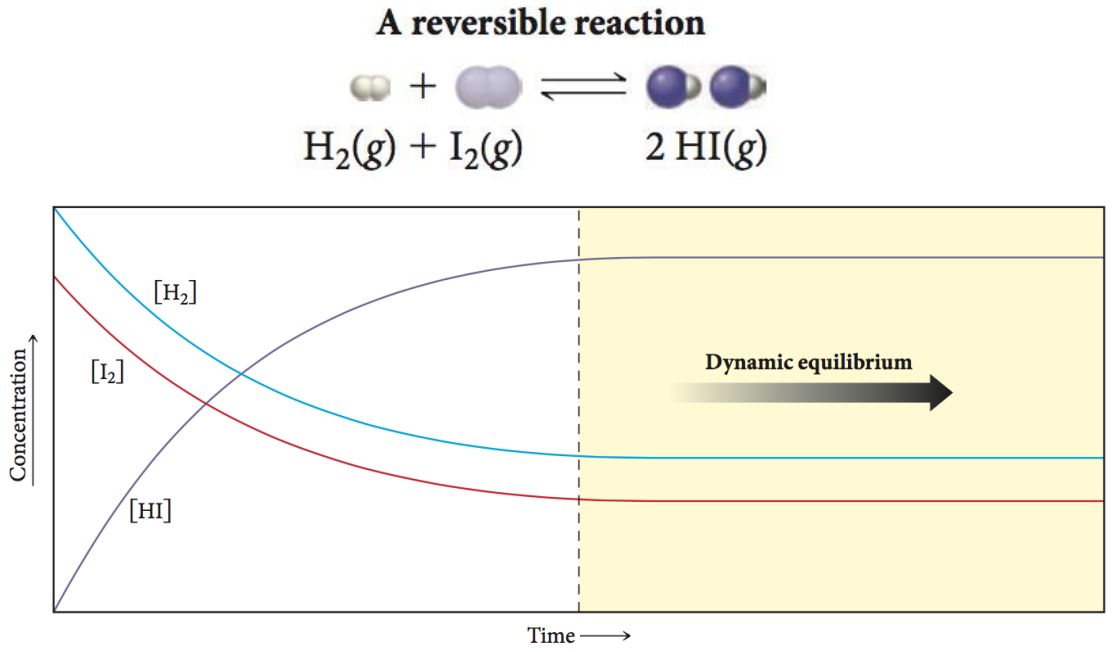
อัตราของปฏิกิริยาไปข้างหน้า = อัตราของปฏิกิริยาย้อนกลับ
ปริมาณสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์**คงที่**

Chemical equilibrium (สมดุลเคมี)

สมดุลเคมี เกิดเฉพาะกับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction) เท่านั้น

สภาวะที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่

เนื่องจากอัตราของการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับการเกิดย้อนกลับ



สมดุลเคมี *vs.* สมดุลกายภาพ

การระเหยของน้ำ

$$H_2O_{(l)} \rightleftharpoons H_2O_{(g)}$$

Physical equilibrium (สมดุลกายภาพ)

สมดุลระหว่างสารชนิดเดิมใน 2 สถานะ

ปฏิกิริยาเคมีของแก๊ส

$$N_2O_{4\,(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2\,(g)}$$

ไม่มีสี สีน้ำตาล

Chemical equilibrium (สมดุลเคมี)

สมดุลระหว่างสารต่างชนิดกันที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี

2. ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

$$N_2O_{4\,(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2\,(g)}$$

Dinitrogen tetroxide Nitrogen dioxide

TABLE 14.1 The NO_2–N_2O_4 System at 25°C

ความเข้มข้นเริ่มต้น (M)		ความเข้มข้นที่สมดุล (M)		อัตราส่วนความเข้มข้นที่สมดุล	
$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$[NO_2]$	$[N_2O_4]$	$\frac{[NO_2]}{[N_2O_4]}$	$\frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$
0.000	0.670	0.0547	0.643	0.0851	4.65×10^{-3}
0.0500	0.446	0.0457	0.448	0.102	4.66×10^{-3}
0.0300	0.500	0.0475	0.491	0.0967	4.60×10^{-3}
0.0400	0.600	0.0523	0.594	0.0880	4.60×10^{-3}
0.200	0.000	0.0204	0.0898	0.227	4.63×10^{-3}

ค่าแตกต่างกันมาก ค่าคงที่ เฉลี่ยได้ 4.63×10^{-3}

N_2O_4 NO_2

ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

$$N_2O_{4\,(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2\,(g)}$$

ที่อุณหภูมิ 25°C

$$K = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} = 4.63 \times 10^{-3}$$

https://en.wikipedia.org/wiki/Nitrogen_dioxide#/media/File:Nitrogen_dioxide_at_different_temperatures.jpg

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ต่อความเข้มข้นของสารตั้งต้น**ที่สภาวะสมดุล**

ปฏิกิริยาทั่วไป

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

ค่าคงที่สมดุล

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

→ สารผลิตภัณฑ์ (product)

→ สารตั้งต้น (reactant)

The law of mass action

a,b,c,d = เลขสัมประสิทธิ์ของสาร A B C D จากปฏิกิริยาเคมีที่ดุลแล้ว

เขียนค่าคงที่สมดุล

$$2N_2O_5\,(g) \rightleftharpoons 4NO_2\,(g) + O_2\,(g)$$

$$K = \frac{[NO_2]^4[O_2]^1}{[N_2O_5]^2}$$

เขียนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการเผาไหม้โพรเพน

$$C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons 3CO_2(g) + 4H_2O(g)$$

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

ในการศึกษาปฏิกิริยานี้ที่อุณหภูมิ 230°C พบว่าความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุลดังนี้ [NO] 0.0542 M, [O_2] 0.127 M และ [NO_2] 15.5 M จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 230°C

1. สมการดุลหรือยัง? $2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

2. เขียนสมการค่าคงที่สมดุล $$K = \frac{[NO_2]^2}{[NO]^2[O_2]^1}$$

3. แทนค่าลงในสมการค่าคงที่สมดุล $$K = \frac{(15.5)^2}{(0.0542)^2(0.127)^1} = 6.44x10^5$$

4. คำตอบคำนึงถึงเลขนัยสำคัญด้วย

ค่าคงที่สมดุลไม่มีหน่วย

คำตอบ ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้ที่อุณหภูมิ 230°C คือ $6.44x10^5$

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

ฟอสจีน ($COCl_2$) เป็นแก๊สพิษที่นำมาใช้ในสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง ความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุลที่ 74°C มีค่าดังนี้ [CO] 1.2×10^{-2} M [Cl_2] 0.054 M และ [$COCl_2$] 0.14 M จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุล

1. สมการดุลหรือยัง?

$$CO(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons COCl_2(g)$$

2. เขียนสมการค่าคงที่สมดุล

3. แทนค่าลงในสมการค่าคงที่สมดุล

4. คำตอบคำนึงถึงเลขนัยสำคัญด้วย

ค่าคงที่สมดุลไม่มีหน่วย

คำตอบ

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

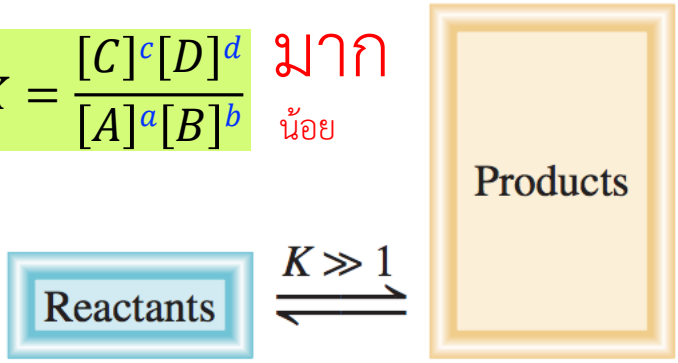
ปฏิกิริยาทั่วไป $aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$

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

ค่าคงที่สมดุลบอกอะไร?

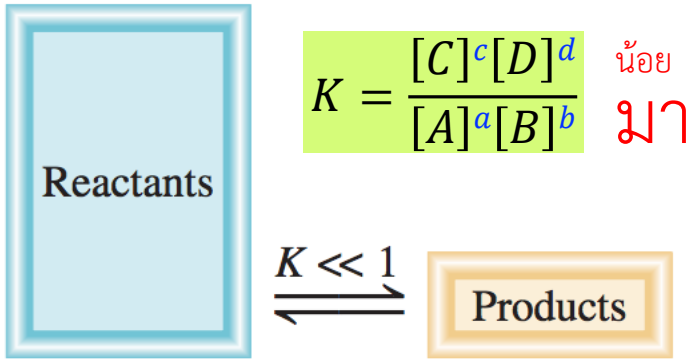
$K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$ มาก

น้อย



เกิดสารผลิตภัณฑ์ > สารตั้งต้น

ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้า > เกิดย้อนกลับ



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

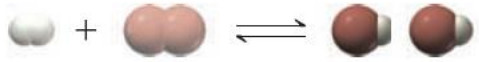
มาก

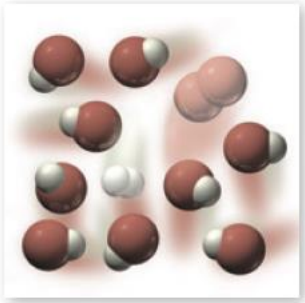
เกิดสารตั้งต้น > สารผลิตภัณฑ์

ปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับ > เกิดไปข้างหน้า

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

$$H_2(g) + Br_2(g) \rightleftharpoons 2\,HBr(g)$$



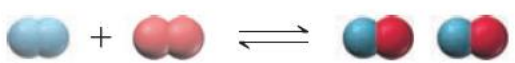


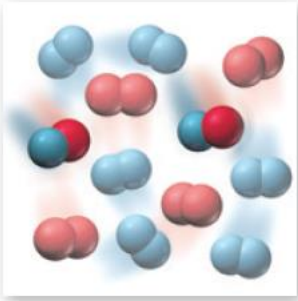
$$K = \frac{[HBr]^2}{[H_2][Br_2]} = \text{large number}$$

$K = 1.9 \times 10^{19}$ (at 25°C)

ที่สภาวะสมดุล **สารผลิตภัณฑ์**มีมากกว่า**สารตั้งต้น**

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





$$K = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]} = \text{small number}$$

$K = 4.1 \times 10^{-31}$ (at 25°C)

ที่สภาวะสมดุล **สารตั้งต้น**มีมากกว่า**สารผลิตภัณฑ์**

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

1. ถ้ากลับสมการ → กลับค่าคงที่สมดุล (1/K)

$$A + 2B \rightleftharpoons 3C \qquad K = \frac{[C]^3}{[A][B]^2}$$

$$3C \rightleftharpoons A + 2B \qquad K' = \frac{[A][B]^2}{[C]^3} = \frac{1}{K}$$

2. ถ้าคูณสมการด้วยค่า n → ยกกำลังค่าคงที่สมดุลด้วยค่า n

$$A + 2B \rightleftharpoons 3C \qquad K = \frac{[C]^3}{[A][B]^2}$$

$$nA + 2nB \rightleftharpoons 3nC \qquad K = \frac{[C]^{3n}}{[A]^n[B]^{2n}} = \left(\frac{[C]^3}{[A][B]^2}\right)^n = K^n$$

3. ถ้ารวมสมการ 2 สมการขึ้นไป → ค่าคงที่สมดุลของสมการรวม =ผลคูณของค่าคงที่สมดุลของสมการย่อย

$$A \rightleftharpoons 2B \qquad K_1 = \frac{[B]^2}{[A]}$$

$$2B \rightleftharpoons 3C \qquad K_2 = \frac{[C]^3}{[B]^2}$$

สมการรวม $A \rightleftharpoons 3C$

$$K_{รวม} = K_1 \times K_2 = \frac{[B]^2}{[A]} \times \frac{[C]^3}{[B]^2} = \frac{[C]^3}{[A]}$$

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

สมการการสังเคราะห์แอมโมเนียที่อุณหภูมิ 25°C เป็นดังนี้ $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$ $K = 5.6 \times 10^5$

จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่อุณหภูมิ 25°C

$2NH_3(g) \rightleftharpoons N_2(g) + 3H_2(g)$ $K_1 = ?$

$1/_2N_2(g) + 3/_2H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$ $K_2 = ?$

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

จงหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดคาร์บอนิกที่อุณหภูมิ 25°C โดยที่

$H_2CO_3\,(aq) \rightleftharpoons H^+\,(aq) + HCO_3^-\,(aq) \quad K_C' = 4.2\times10^{-7}$

$HCO_3^-\,(aq) \rightleftharpoons H^+\,(aq) + CO_3^{-2}\,(aq) \quad K_C'' = 4.8\times10^{-11}$

สมการของปฏิกิริยารวม คือ $H_2CO_3\,(aq) \rightleftharpoons 2H^+\,(aq) + CO_3^{-2}\,(aq)$

ค่าคงที่สมดุล $K_c = \dfrac{[H^+]^2[CO_3^{2-}]}{[HCO_3^-]}$

$K_c = K_c' K_c''$

$= (4.2\times10^{-7})\,(4.8\times10^{-11})$

$= 2.0\times10^{-17}$

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาแรก เมื่อกำหนดค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาที่สองและสาม ดังนี้

$$CO_2(g) + 3\,H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g) + H_2O(g) \qquad K_1 = ?$$

$$CO(g) + H_2O(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + H_2(g) \qquad K_2 = 1.0 \times 10^5$$

$$CO(g) + 2\,H_2(g) \rightleftharpoons CH_3OH(g) \qquad K_3 = 1.4 \times 10^7$$

แบบฝึกหัด Take home problems

1. พิจารณากระบวนการสมดุลต่อไปนี้ที่ 700°C $2H_2(g) + S_2(g) \rightleftharpoons 2H_2S(g)$
จากการวิเคราะห์พบว่ามี H_2 2.50 mol, S_2 1.35×10^{-5} mol และ H_2S 8.70 mol ในขวดขนาด 12.0 L จะคำนวณหาค่าคงที่สมดุล

2. ภาชนะใบหนึ่งบรรจุแก๊ส NH_3, N_2, H_2 ณ อุณหภูมิหนึ่ง ความเข้มข้นที่สมดุล คือ $[NH_3]=0.25$ M, $[N_2]=0.11$ M และ $[H_2]=1.91$ M จงคำนวณค่าคงที่สมดุลของการสังเคราะห์แอมโมเนีย (NH_3) ตามสมการนี้

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

(b) $1/2N_2(g) + 3/2H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$

3. กำหนดค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่อุณหภูมิหนึ่ง

$S(s) + O_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g)$ $K_C' = 4.2 \times 10^{52}$

$2S(s) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ $K_C'' = 9.8 \times 10^{128}$

จงคำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่อุณหภูมิเดียวกัน

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

สรุป...สมดุลเคมี

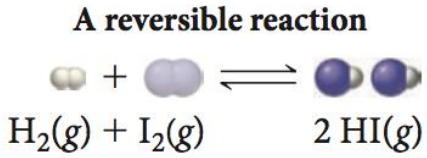
สมดุลเคมี

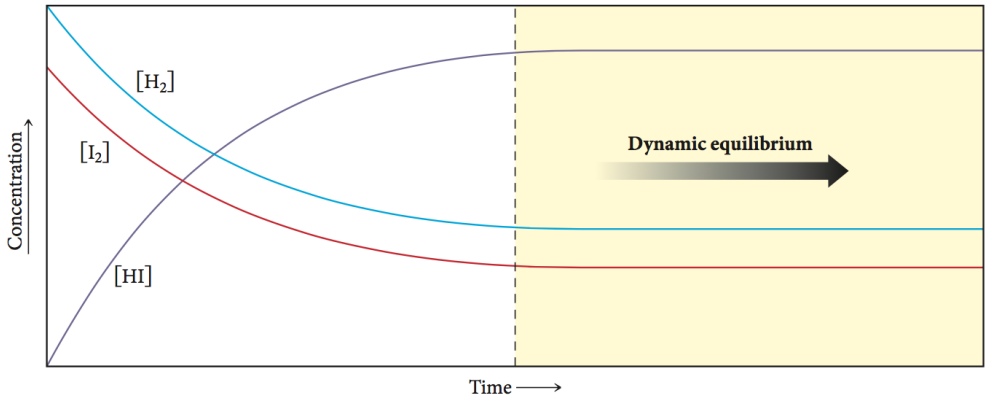
เกิดในระบบปิดเท่านั้น

เกิดเฉพาะกับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction) เท่านั้น

สภาวะที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่

เนื่องจากอัตราของการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับการเกิดย้อนกลับ





ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับจลนศาสตร์เคมี

สมดุลเคมี คือ สภาวะที่อัตราการเกิดไปข้างหน้า = อัตราการเกิดย้อนกลับ

$$A + 2B \underset{k_r}{\overset{k_f}{\rightleftharpoons}} AB_2$$

k_f = ค่าคงที่อัตราการเกิดไปข้างหน้า

k_r = ค่าคงที่อัตราการเกิดย้อนกลับ

อัตราการเกิดไปข้างหน้า; $rate_f = k_f[A][B]^2$

อัตราการเกิดไปข้างหน้า; $rate_r = k_r[AB_2]$

ที่ภาวะสมดุล อัตราการเกิดไปข้างหน้า = อัตราการเกิดย้อนกลับ

$$rate_f = rate_r$$

$$k_f[A][B]^2 = k_r[AB_2]$$

$$\frac{k_f}{k_r} = \frac{[AB_2]}{[A][B]^2} = K_c$$ = ค่าคงที่สมดุล

เมื่อ k_f และ k_r คือค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ อัตราส่วนของค่าคงที่ก็จะเป็นค่าคงที่ ดังนั้น K_C **จึงมีค่าคงที่เสมอ** และ**ขึ้นกับอุณหภูมิ**

3. ค่าคงที่สมดุล K_C vs. K_P

จากปฏิกิริยา $N_2O_4\,(g) \rightleftharpoons 2NO_2\,(g)$

$$K_c = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

$K_C = K$ ในหน่วยความเข้มข้น (concentration rate constant)

ในกรณีที่สารอยู่ในสถานะแก๊ส สามารถแสดงค่า K ในหน่วยความดันได้ (K_P) โดยที่ $K_C \neq K_P$

$$K_P = \frac{P_{NO_2}^2}{P_{N_2O_4}}$$

$K_P = K$ ในหน่วยความดัน (pressure rate constant)

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุล K_C และ K_P

สมการทั่วไป $aA_{(g)} \rightleftharpoons bB_{(g)}$

$$K_C = \frac{[B]^b}{[A]^a} \qquad K_P = \frac{P_B^b}{P_A^a}$$

จากกฎของแก๊สในอุดมคติ (Ideal gas law) $P_A V = n_A RT$

$$P_A = \frac{n_A}{V} RT$$

ความเข้มข้น ของ A; $[A] = \frac{n_A}{V}$ ดังนั้น $P_A = [A]\,RT$ และ $P_B = [B]\,RT$

จาก $K_P = \frac{P_B^b}{P_A^a}$ ดังนั้น $K_P = \frac{([B]RT)^b}{([A]RT)^a}$

$$K_P = \frac{[B]^b}{[A]^a}(RT)^{b-a}$$

$$K_P = K_C(RT)^{b-a}$$

$$K_P = K_C(RT)^{\Delta n}$$

P (atm); $K_P = K_C(0.0821T)^{\Delta n}$

R = ค่าคงที่ของแก๊ส
(เลือกใช้ตามหน่วยความดันของแก๊ส)
=0.0821 L atm $K^{-1}mol^{-1}$
=8.314 L kPa $K^{-1}mol^{-1}$

T = อุณหภูมิ (หน่วย K)

$\Delta n = b - a$;
=มวลรวมของสารผลิตภัณฑ์- มวลรวมของสารตั้งต้น
(เฉพาะที่เป็นแก๊ส)

ค่าคงที่สมดุล K_C vs. K_P

$$K_P = K_C(0.0821T)^{\Delta n}$$

การสลายตัวของฟอสฟอรัสเพนตะคลอไรด์ (PCl_5) ได้ฟอสฟอรัสไตรคลอไรด์ (PCl_3) และคลอรีน (Cl_2) มีค่าคงที่ K_P เท่ากับ 1.05 ที่ 250°C ถ้าความดันย่อยของ PCl_5 และ PCl_3 เท่ากับ 1.0 และ 0.5 atm ตามลำดับ จงหาความดันย่อยของ Cl_2 ที่สภาวะสมดุล

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

จงหาค่าคงที่สมดุล K_C

ไนโตรเจนมอนอกไซด์ เป็นสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ถูกออกซิไดซ์ในอากาศดังสมการเคมี

$$2NO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

$K_P = 2.2 \times 10^{12}$ ที่ 25°C จงหาค่าคงที่สมดุล K_C

4. สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)

สมดุลเอกพันธ์ สารทุกชนิดอยู่ใน**สถานะเดียวกัน**

$N_2O_{4\,(g)} \rightleftharpoons 2NO_{2\,(g)}$ สารทุกชนิดอยู่ในสถานะ**แก๊ส** (g)

คำนวณ K_C และ K_P (ในกรณีที่เป็นแก๊ส) โดยใช้ข้อมูลจากสารทุกตัว

$$K_C = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} \qquad K_P = \frac{P_{NO_2}^2}{P_{N_2O_4}}$$

$FeSCN^{2+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + SCN^{-}(aq)$ สารทุกชนิดอยู่ในสถานะ**สารละลายในน้ำ** (aq)

คำนวณ K_C เท่านั้น (ไม่ใช่แก๊ส ไม่มีความดัน)

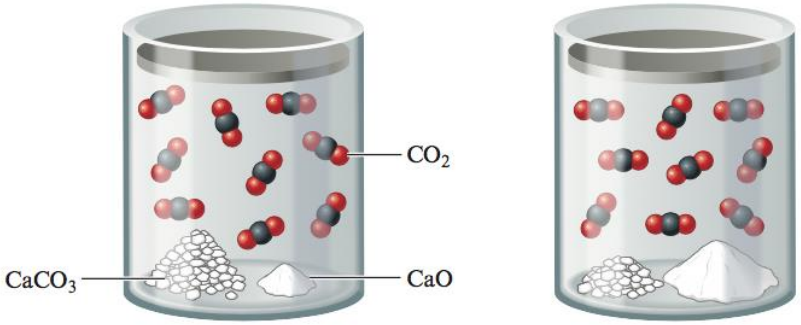
$$K_C = \frac{[Fe^{3+}][SCN^-]}{[FeSCN^{2+}]}$$

แล้วสารสถานะอื่นๆ ล่ะ เช่น ของแข็ง (s) ของเหลว (l) ??

สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)

สมดุลวิวิธพันธ์ สารอยู่ใน**สถานะต่างกัน**

$$CaCO_{3(s)} \rightleftharpoons CaO_{(s)} + CO_{2(g)}$$ สารอยู่ในสถานะ**ของแข็ง**และ**แก๊ส**



$$K_C' = \frac{[CaO][CO_2]}{[CaCO_3]}$$

ของแข็ง (solid) และของเหลว (liquid) ความเข้มข้นสูงมากเมื่อเทียบกับสารตัวอื่น จึงถือว่าความเข้มข้นไม่เปลี่ยนแปลง (คงที่) ตลอดปฏิกิริยา และ**ไม่นำคิดในค่าคงที่สมดุล**

เพราะฉะนั้น [CaO] และ [$CaCO_3$] จึงเป็นค่าคงที่ และคิดแค่ [CO_2] ที่เป็นแก๊ส

ค่าคงที่สมดุลใหม่ $$K_C = [CO_2] = K_C' \frac{[CaCO_3]}{[CaO]}$$

$$K_P = P_{CO_2}$$

สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)

จงเขียนค่าคงที่สมดุล K_C และ K_p ของปฏิกิริยาผันกลับได้ต่อไปนี้

(a) $(NH_4)_2Se(s) \rightleftharpoons 2NH_3(g) + H_2Se(g)$

(b) $AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+(aq) + Cl^-(aq)$

(c) $P_4(s) + 6Cl_2(g) \rightleftharpoons 4PCl_3(l)$

สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)

สมดุลเคมีของปฏิกิริยา $NH_4HS(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + H_2S(g)$

เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 395 K ความดันย่อยของแก๊สแต่ละตัวมีค่า 0.265 atm จงหา K_c และ K_p ของปฏิกิริยานี้

R = ค่าคงที่ของแก๊ส

(เลือกใช้ตามหน่วยความดันของแก๊ส)

$=0.0821\ L\ atm\ K^{-1}mol^{-1}$

$=8.314\ L\ kPa\ K^{-1}mol^{-1}$

T = อุณหภูมิ (หน่วย K)

$$K_P = K_C(RT)^{\Delta n}$$

สรุป...ค่าคงที่สมดุลเคมี

$$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD \qquad K = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$$

- ค่า K ไม่มีหน่วย
- ค่า K>>1 มากๆ เกิดสารผลิตภัณฑ์มาก ค่า K<<1 มากๆ เกิดสารตั้งต้นมาก
- การกลับสมการ กลับค่า K → 1/K
- การคูณสมการด้วย n ยกกำลังค่า K → K^n
- การรวมสมการ → K รวม =ผลคูณของ K ย่อย
- ค่า K เป็นค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ อุณหภูมิเปลี่ยน ค่า K เปลี่ยน
- K_C หาจากค่าความเข้มข้น [A] K_P หาจากค่าความดันย่อย P (เฉพาะแก๊สเท่านั้น)
- $K_C \neq K_P$ แต่ $K_P = K_C(RT)^{\Delta n}$
- คิดค่า K เฉพาะสถานะแก๊สและสารละลายเท่านั้น (ไม่คิดของแข็งและของเหลว)

4. การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

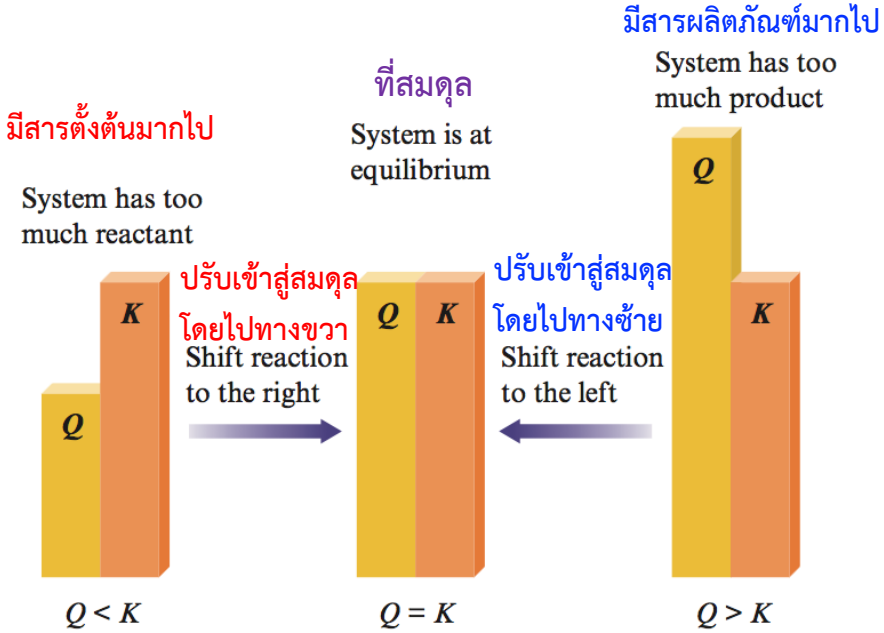
$[A]_0$ = ความเข้มข้นเริ่มต้น

1. ทำนายทิศทางของปฏิกิริยา โดยหาค่าผลหารของปฏิกิริยา Reaction quotient (Q_C) เทียบกับ K_c

$$H_2(g) + I_2(g) \rightleftharpoons 2HI(g) \quad K_C = 54.3 \text{ at } 430^\circ C$$

เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น $[H_2]_0$ 0.243 M, $[I_2]_0$ 0.146 M, $[HI]_0$ 1.98 M $Q_C = \dfrac{[HI]_0^2}{[H_2]_0[I_2]_0} = \dfrac{(1.98)^2}{(0.243)(0.146)}$

$Q_C = 111 > 54.3\ (Kc)$ ปฏิกิริยามีสารผลิตภัณฑ์มากเกินไป จึงมีทิศทางจากขวาไปซ้าย (ย้อนกลับ) เพื่อปรับเข้าสู่สมดุล



การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

1. ทำนายทิศทางของปฏิกิริยา โดยหาค่า **Reaction quotient (Q_C)**

$$I_2(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons 2ICl(g) \quad K_P = 81.9 \text{ at } 25.0°C$$

เมื่อปฏิกิริยาประกอบด้วยความดันย่อย P_{I2} 0.114 atm, P_{Cl2} 0.102 atm และ P_{ICl} 0.355 atm ปฏิกิริยานี้อยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่ ถ้าไม่ ปฏิกิริยามีทิศทางไปทางไหน

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

1. ทำนายทิศทางของปฏิกิริยา โดยหาค่า Reaction quotient (Q_C)

พิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้ $NH_4HS(s) \rightleftharpoons NH_3(g) + H_2S(g)$

ที่อุณหภูมิหนึ่ง $K_C=8.5\times10^{-3}$ ส่วนผสมของปฏิกิริยาประกอบด้วยของแข็ง NH_4HS มี $[NH_3]$ และ $[H_2S]$ =0.166 M จงทำนายว่าจะมีการเกิดของแข็ง NH_4HS มากขึ้น หรือ มีการสลายตัวของ NH_4HS มากขึ้น เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุล

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(A) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารทุกตัว ยกเว้นสารหนึ่งตัวที่ต้องการหา

$$2COF_2(g) \rightleftharpoons CO_2(g) + CF_4(g) \qquad K_C = 2.00 \text{ at } 1000^\circ C$$

ที่สภาวะสมดุล $[COF_2]=0.255$ M $[CF_4]=0.118$ M $[CO_2]$ คือเท่าไร

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(A) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารทุกตัว ยกเว้นสารหนึ่งตัวที่ต้องการหา

37. Consider the reaction:

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

Complete the table. Assume that all concentrations are equilibrium concentrations in M.

T (K)	$[N_2]$	$[H_2]$	$[NH_3]$	K_c
500	0.115	0.105	0.439	_____
575	0.110	_____	0.128	9.6
775	0.120	0.140	_____	0.0584

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(B) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นเริ่มต้น/ความดันเริ่มต้นของสาร

$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) \quad K_C = 0.100 \text{ at } 2000°C$

เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาประกอบด้วย $[N_2]$ 1.00 M และ $[O_2]$ 1.00 M หาความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่สภาวะสมดุล

$N_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g)$

	$[N_2]$	$[O_2]$	[NO]
เริ่มต้น	1.00	1.00	0
เปลี่ยนแปลง	-x	-x	+2x
สมดุล	1.00-x	1.00-x	2x

$$Q_C = \frac{[NO]_0^{\,2}}{[N_2]_0[O_2]_0} = \frac{0}{(1.00)^2} = 0 < K_C$$

ดังนั้นปฏิกิริยาจะเกิดไปข้างหน้าเพื่อเข้าสู่สมดุล

$$K_C = \frac{[NO]^2}{[N_2][O_2]}$$

$$ax^2 + bx + c = 0.$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(B) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นเริ่มต้น/ความดันเริ่มต้นของสาร

$$H_2(g) + F_2(g) \rightleftharpoons 2HF(g) \quad K_C = 1.15 \times 10^2 \text{ at } 200^\circ C$$

เริ่มต้นปฏิกิริยาประกอบด้วย $[H_2]$ 1.000 M และ $[F_2]$ 2.000 M หาความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่สภาวะสมดุล

	$[H_2]$	$[F_2]$	[HF]
เริ่มต้น	1.000	2.000	0
เปลี่ยนแปลง			
สมดุล			

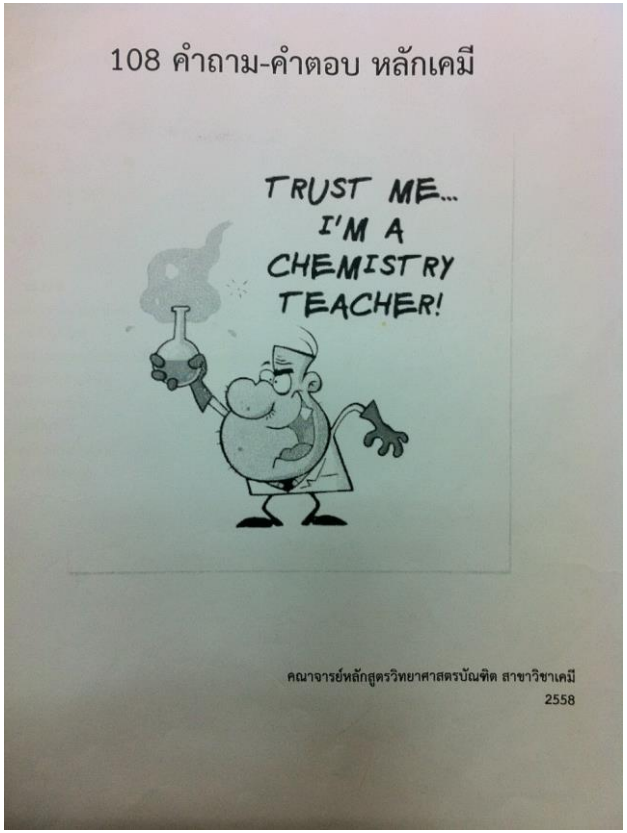
$$ax^2 + bx + c = 0.$$

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

แบบฝึกหัด Take home problems

ทำแบบฝึกหัดในเล่ม 108 คำถาม-คำตอบ หลักเคมี

ข้อ 38, 40, 41, 42, 43



5. ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

หลักการของเลอชาเตอริเยร์ (Le Châtelier's principle)

ถ้าสมดุลของระบบถูกรบกวนให้มีความเค้น (stress) ระบบจะปรับตัวในทิศทางที่ทำให้ความเค้นลดลง

1. ความเข้มข้น

$$FeSCN^{2+}(aq) \rightleftharpoons Fe^{3+}(aq) + SCN^{-}(aq)$$

แดง เหลืองอ่อน

สีของปฏิกิริยา	หลังจากเติม NaSCN (SCN^-)	หลังจากเติม $Fe(NO_3)_3$ (Fe^{3+})	หลังจากเติม $H_2C_2O_4$ (Fe^{3+})
(a)	(b)	(c)	(d)
$FeSCN^{2+}$(แดง) ผสมกับ Fe^{3+} (เหลือง)	สมดุลปรับไปทาง**ซ้าย** เกิด $FeSCN^{2+}$(**แดง**)มากขึ้น	สมดุลปรับไปทาง**ซ้าย** เกิด $FeSCN^{2+}$(**แดง**)มากขึ้น	สมดุลปรับไปทาง**ขวา** เกิด Fe^{3+}(เหลือง)มากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

1. ความเข้มข้น

พิจารณาสมดุลของระบบต่อไปนี้

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

ปฏิกิริยานี้จะปรับไปทางทิศทางไหน (ซ้าย/ขวา/ไม่เปลี่ยนแปลง) เมื่อมีการรบกวนสมดุลของปฏิกิริยาด้วยวิธีดังนี้

a) เติม $H_2(g)$ ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

b) เอา $I_2(g)$ ออก ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

c) เอา $HI(g)$ ออก ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

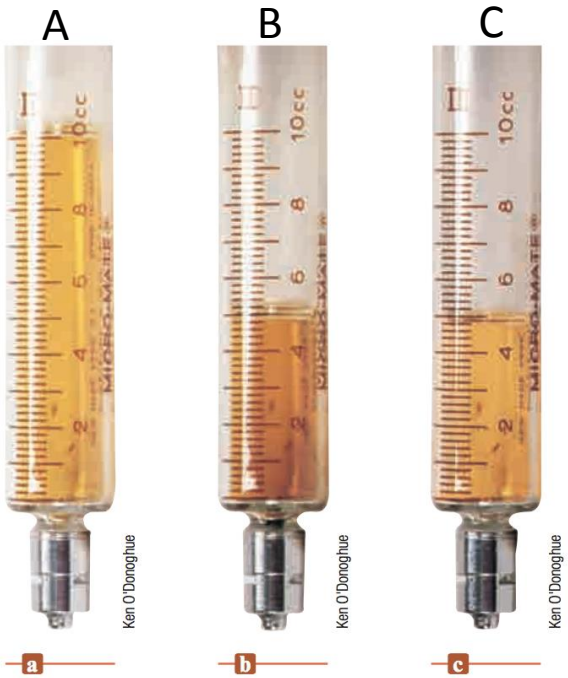
ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

2. ความดัน/ปริมาตร เกี่ยวข้องกับระบบที่เป็น**<u>แก๊สเท่านั้น</u>** ไม่ส่งผลต่อของแข็งและของเหลว

$$2NO_2(g) \rightleftharpoons N_2O_4(g)$$

น้ำตาล ไม่มีสี

A → B ลดปริมาตร=เพิ่มความดัน → ระบบปรับตัวเพื่อ**ลดความดัน** → ปฏิกิริยาปรับไปทางด้านที่**จำนวนโมลน้อยกว่า** → เลื่อนไปทางขวา ได้ N_2O_4 (ไม่มีสี) → สีจางลง **(C)**



เพิ่มความดัน (ลดปริมาตร)	ลดความดัน (เพิ่มปริมาตร)
ปฏิกิริยาเลื่อนไปทางโมลน้อย เพื่อลดความดัน	ปฏิกิริยาเลื่อนไปทางโมลมาก เพื่อเพิ่มความดัน

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

2. ความดัน/ปริมาตร

พิจารณาสมดุลของระบบต่อไปนี้

จงทำนายทิศทางของการเกิดปฏิกิริยาแต่ละข้อ เมื่อมีการเพิ่มความดัน/ลดความดัน ของระบบที่อุณหภูมิคงที่

	เพิ่มความดัน (ลดปริมาตร)	ลดความดัน (เพิ่มปริมาตร)
(a) $2PbS(s) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2PbO(s) + 2SO_2(g)$		
(b) $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$		
(c) $H_2(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons H_2O(g) + CO(g)$		

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

2. ความดัน/ปริมาตร

ความรู้เพิ่มเติม

1. เมื่อจำนวนโมลรวมของสารตั้งต้นที่เป็นแก๊ส = จำนวนโมลรวมของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส
การเปลี่ยนแปลงความดัน/ปริมาตร ไม่มีผลต่อสมดุลเคมี

(c) $H_2(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons H_2O(g) + CO(g)$

2. การเพิ่มความดันโดยการเติมแก๊สเฉื่อย (Inert gas) ในปฏิกิริยาที่สภาวะสมดุล ไม่ส่งผลรบกวนต่อสมดุล

แก๊สเฉื่อย (Inert gas) เช่น ฮีเลียม (Helium, He) อาร์กอน (Argon, Ar)

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ความดัน ปริมาตร รบกวนสมดุล (ค่า Q ถูกรบกวน) ระบบจึงต้องปรับทิศทางของปฏิกิริยาเพื่อกลับเข้าสู่สมดุล (ปรับค่า Q ให้เท่ากับ K) แต่ ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สมดุล(K)

3. อุณหภูมิ

เปลี่ยนแปลงค่าคงที่สมดุล K

$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$

ปฏิกิริยาไปข้างหน้า เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน $\Delta H>0$ $\quad Heat + N_2O_4(g) \longrightarrow 2NO_2(g) \quad \Delta H = 58.0$ kJ/mol

ดังนั้นปฏิกิริยาย้อนกลับ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน $\Delta H<0$ $\quad 2NO_2(g) \longrightarrow N_2O_4(g) + Heat \quad \Delta H = -58.0$ kJ/mol

$$K_C = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]}$$

การเพิ่มอุณหภูมิ → ช่วยปฏิกิริยาดูดความร้อน → ปฏิกิริยาปรับไปทางขวา → $[NO_2]\uparrow$, $[N_2O_4]\downarrow$ → $K_c \uparrow$

เพิ่ม Heat

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

การลดอุณหภูมิ → ช่วยปฏิกิริยาคายความร้อน → ปฏิกิริยาปรับไปทางซ้าย → $[NO_2]\downarrow$, $[N_2O_4]\uparrow$ → $K_c \downarrow$

เอา Heat ออก

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

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

3. อุณหภูมิ

$$CoCl_4^{2-} + 6H_2O \rightleftharpoons Co(H_2O)_6^{2+} + 4Cl^- \quad \Delta H<0$$ ปฏิกิริยาคายความร้อน

น้ำเงิน ชมพู

ให้ความร้อน → ช่วยปฏิกิริยาดูดความร้อน → สมดุลปรับไปทางซ้าย เพิ่ม $CoCl_4^{2-}$ (น้ำเงิน)

ลดอุณหภูมิ → ช่วยปฏิกิริยาคายความร้อน → สมดุลปรับไปทางขวา เพิ่ม $Co(H_2O)_6^{2+}$ (ชมพู)

	เพิ่มอุณหภูมิ	ลดอุณหภูมิ
ปฏิกิริยาคายความร้อน ($\Delta H<0$)	ปฏิกิริยาเลื่อนขวาไปซ้าย (ย้อนกลับ) K_C ลด	ปฏิกิริยาเลื่อนซ้ายไปขวา (ไปข้างหน้า) K_C เพิ่ม
ปฏิกิริยาดูดความร้อน ($\Delta H>0$)	ปฏิกิริยาเลื่อนซ้ายไปขวา (ไปข้างหน้า) K_C เพิ่ม	ปฏิกิริยาเลื่อนขวาไปซ้าย (ย้อนกลับ) K_C ลด

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

3. อุณหภูมิ

ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของน้ำตาลกลูโคสเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

$$C(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons 2CO(g)$$

ปฏิกิริยานี้จะปรับไปทางทิศทางไหน (ซ้าย/ขวา/ไม่เปลี่ยนแปลง) เมื่อมีการรบกวนสมดุลด้วยการเพิ่มและลดอุณหภูมิ และส่งผลต่อค่า K อย่างไร

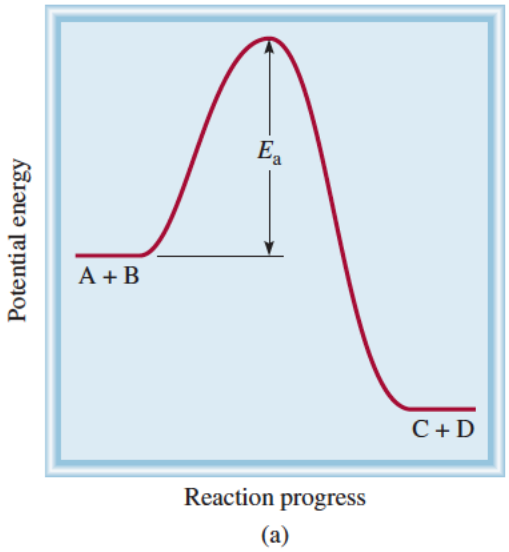
	เพิ่มอุณหภูมิ	ลดอุณหภูมิ
ทิศทางของปฏิกิริยา		
ค่า K_c		

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

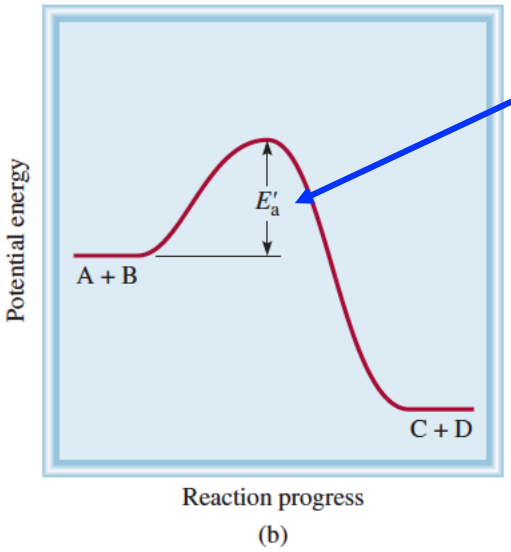
4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ลดค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy, E_a) ทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นเท่านั้น

$$A + B \rightleftharpoons C + D$$

ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา



มีตัวเร่งปฏิกิริยา



E_a ลด

ทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้า
และย้อนกลับเท่ากัน
(ภูเขาเตี้ยลงทั้งขาไปขากลับ)

การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา
ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล (K)
และ
ไม่มีผลต่อการสมดุล

สรุปปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

พิจารณาสมดุลของระบบต่อไปนี้

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

ปฏิกิริยานี้จะปรับไปทางทิศทางไหน (ซ้าย/ขวา/ไม่เปลี่ยนแปลง) เมื่อมีการรบกวนสมดุลด้วยวิธีดังนี้

a) เติมแก๊สออกซิเจน ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

b) เพิ่มความดัน โดยการลดปริมาตร ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

c) เพิ่มความดัน โดยการเติมแก๊ส Argon ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

d) ลดอุณหภูมิ (ปฏิกิริยาดูดความร้อน) ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

e) เอาแก๊ส SO_2 ออก ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

f) เติมตัวเร่งปฏิกิริยา ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

สรุปปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

1. ความเข้มข้น

การเติมสารเข้าไป → ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่ลดสารนั้น
การเอาสารออก → ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่เพิ่มสารนั้น

2. ความดัน/ปริมาตร

(เฉพาะแก๊สเท่านั้น)

การเพิ่มความดัน → ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่ลดความดัน → ลดโมลแก๊ส
การลดความดัน → ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่เพิ่มความดัน → เพิ่มโมลแก๊ส
การเติมแก๊สเฉื่อยไม่มีผลต่อสมดุล

3. อุณหภูมิ

มีผลต่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สมดุล (K)

การเพิ่มอุณหภูมิ → ไปในทิศทางของปฏิกิริยาดูดความร้อน
การลดอุณหภูมิ → ไปในทิศทางของปฏิกิริยาคายความร้อน

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ลดพลังงานกระตุ้น (E_a) ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น
ไม่มีผลต่อสมดุล