

เคมีพื้นฐาน (10303105)

Fundamental Chemistry (10303105)

ภาคเรียนที่ 2/2564

อ.ดร. ปิยธิดา กล้าภู

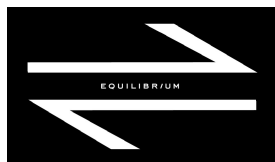
E-mail: kpiyatida@gmail.com

สาขาวิชาเคมี ห้อง 2301 อาคาร 60 ปี คณะวิทยาศาสตร์

Website: www.chemistry.mju.ac.th



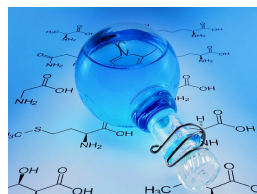
Course outline



สมดุลเคมี
(6%)

กรด-เบส
(6%)

เคมีอินทรีย์
(6%)



ตารางเรียน

Week	Date	Topic	Note
13	จ 21 ก.พ. 65	สมดุลเคมี	
	พท 24 ก.พ. 65	สมดุลเคมี	
14	จ 28 ก.พ. 65	กรด-เบส	
	พท 3 มี.ค. 65	กรด-เบส	
15	จ 7 มี.ค. 65	เคมีอินทรีย์	Quiz กรด-เบส
	พท มี.ค. 65	เคมีอินทรีย์	Quiz เคมีอินทรีย์
16	25 ต.ค.-7 พ.ย. 64	Final exam	ทุกหัวข้อ

คะแนน (20.5% of final grade)

Final exam	12%
Quiz	6%
Homework	2%
จิตพิสัย	0.5%

แหล่งอ้างอิง

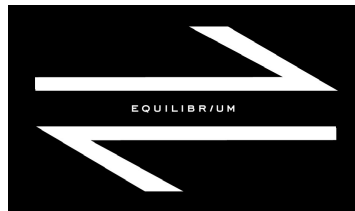
Chang, R. (2010) *Chemistry, Tenth edition*. New York, NY: McGraw-Hill.

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)



เคมีพื้นฐาน (10303105)

ภาคเรียนที่ 2/2564

สมดุลเคมี

Chemical equilibrium

อ.ดร. ปิยธิดา กล้าภู

E-mail: kpiyatida@gmail.com

สาขาวิชาเคมี ห้อง 2301 อาคาร 60 ปี คณะวิทยาศาสตร์

Website: www.chemistry.mju.ac.th



Acid-Base (กรดเบส)

แนวความคิดเรื่องสมดุลเคมี สภาวะสมดุล

ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constant, K)

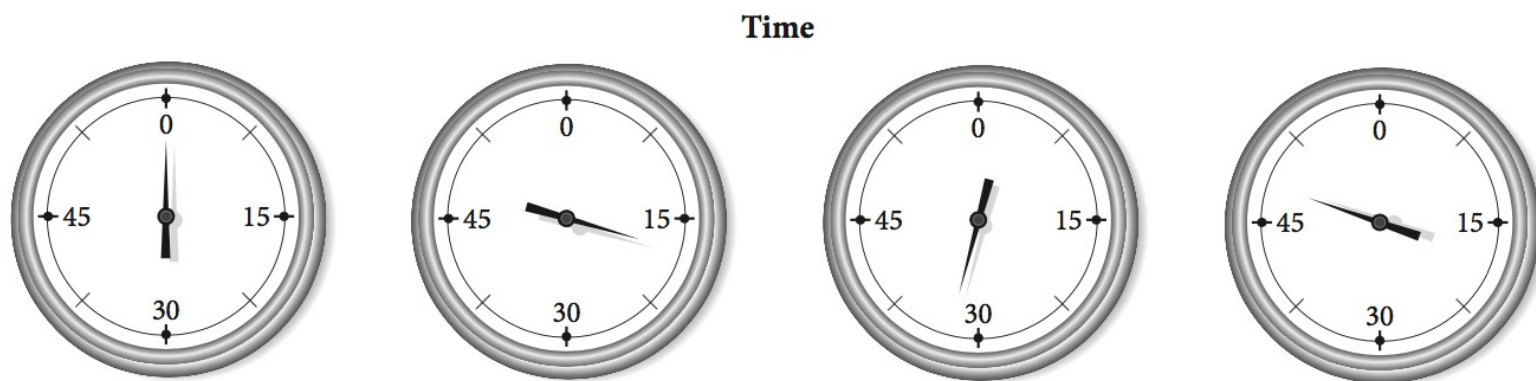
ค่าคงที่สมดุล K_c vs K_p

สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์
(Homogeneous-Heterogeneous equilibrium)

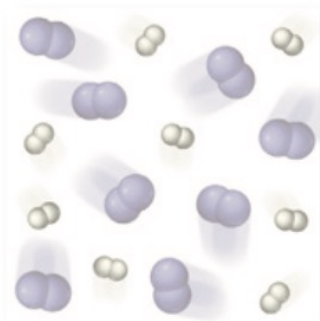
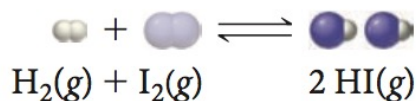
การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

1. แนวคิดเรื่องสมดุลเคมีและสภาวะสมดุล

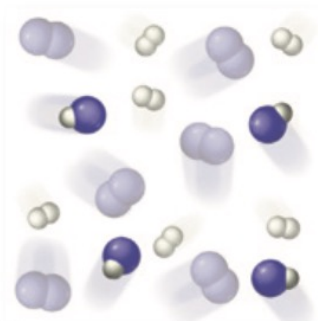


A reversible reaction



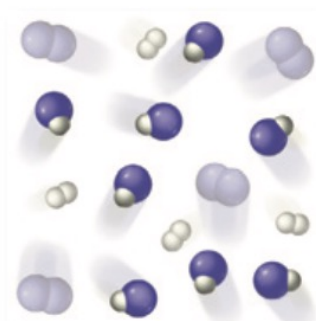
(a)

เริ่มต้น: มีแค่สารตั้งต้น



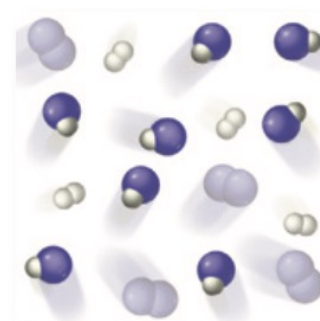
(b)

เริ่มมีสารผลิตภัณฑ์เกิดขึ้น



(c)

สารผลิตภัณฑ์มีมากขึ้น



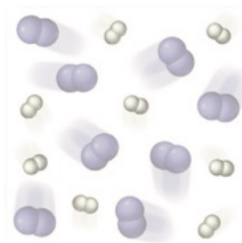
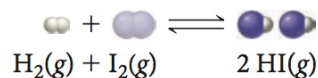
(d)

ภาวะสมดุล

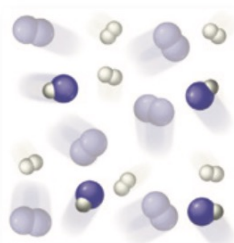
ปริมาณสารตั้งต้น-ผลิตภัณฑ์คงที่

Chemical equilibrium (สมดุลเคมี)

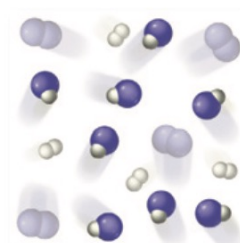
A reversible reaction



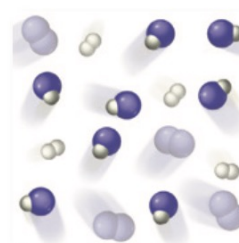
(a)



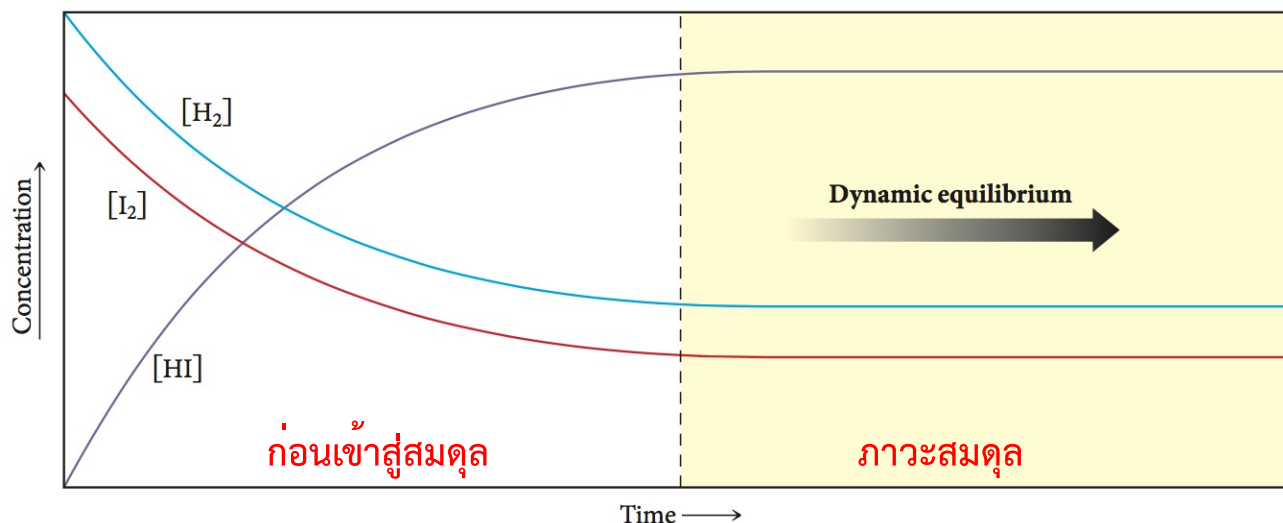
(b)



(c)



(d)



อัตราของปฏิกิริยาไปข้างหน้า > อัตราของปฏิกิริยาย้อนกลับ
สารผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น สารตั้งต้นลดลง

อัตราของปฏิกิริยาไปข้างหน้า = อัตราของปฏิกิริยาย้อนกลับ
ปริมาณสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์คงที่

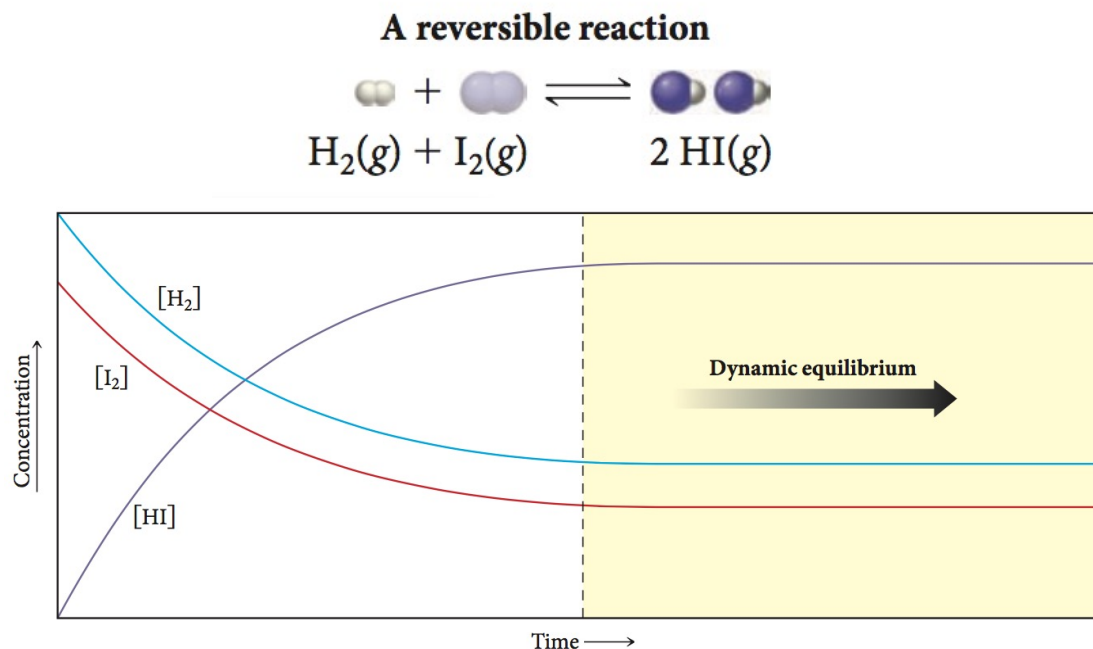
Chemical equilibrium (สมดุลเคมี)

สมดุลเคมี

เกิดเฉพาะกับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction) เท่านั้น

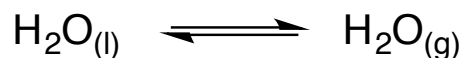
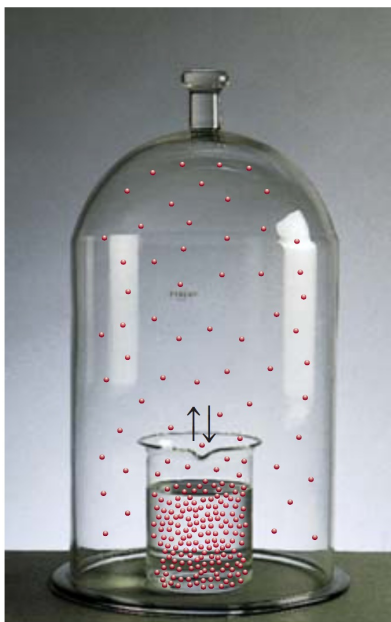
สถานะที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่

เนื่องจากอัตราของการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับการเกิดย้อนกลับ



สมดุลเคมี **VS.** สมดุลกายภาพ

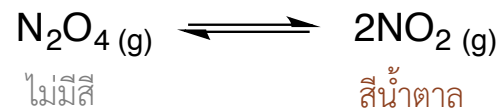
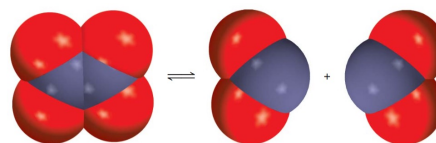
การระเหยของน้ำ



Physical equilibrium (สมดุลกายภาพ)

สมดุระหว่างสารชนิดเดิมใน 2 สถานะ

ปฏิกิริยาเคมีของแก๊ส



Chemical equilibrium (สมดุลเคมี)

สมดุลระหว่างสารต่างชนิดกันที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมี



2. ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

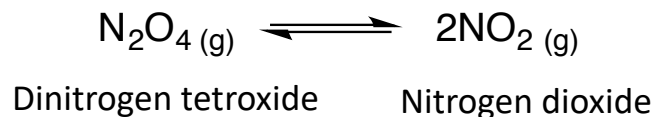


TABLE 14.1 The NO_2 - N_2O_4 System at 25°C

ความเข้มข้นเริ่มต้น (M)		ความเข้มข้นที่สมดุล (M)		อัตราส่วนความเข้มข้นที่ สมดุล	
$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$[\text{NO}_2]$	$[\text{N}_2\text{O}_4]$	$\frac{[\text{NO}_2]}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$	$\frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$
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



$$K = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} = 4.63 \times 10^{-3}$$

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

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ต่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ สภาวะสมดุล

ปฏิกิริยาทั่วไป



ค่าคงที่สมดุล

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

→ สารผลิตภัณฑ์ (product)

→ สารตั้งต้น (reactant)

The law of mass action

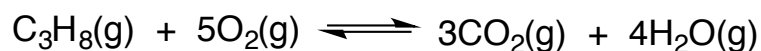
a,b,c,d = เลขสัมประสิทธิ์ของสาร A B C D จากปฏิกิริยาเคมีที่ดุลแล้ว

เขียนค่าคงที่สมดุล



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

เขียนค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการเผาไหม้โพรเพน

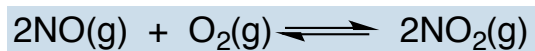


ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)



ในการศึกษาปฏิกิริยานี้ที่อุณหภูมิ 230°C พบว่าความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุลดังนี้
 $[\text{NO}]$ 0.0542 M, $[\text{O}_2]$ 0.127 M และ $[\text{NO}_2]$ 15.5 M จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 230°C

1. สมการดุลหรือยัง?



2. เขียนสมการค่าคงที่สมดุล

3. แทนค่าลงในสมการค่าคงที่สมดุล

4. คำตอบคำนึงถึงเลขนัยสำคัญด้วย

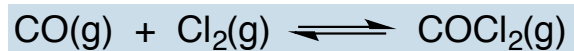
ค่าคงที่สมดุลไม่มีหน่วย

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)



ฟอสจีน (COCl_2) เป็นแก๊สพิษที่นำมาใช้ในสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง ความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุลที่ 74°C มีค่าดังนี้ $[\text{CO}]$ 1.2×10^{-2} M $[\text{Cl}_2]$ 0.054 M และ $[\text{COCl}_2]$ 0.14 M จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุล

1. สมการดุลหรือยัง?



2. เขียนสมการค่าคงที่สมดุล

3. แทนค่าลงในสมการค่าคงที่สมดุล

4. คำตอบคำนึงถึงเลขนัยสำคัญด้วย

ค่าคงที่สมดุลไม่มีหน่วย

คำตอบ

ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)

ปฏิกิริยาทั่วไป



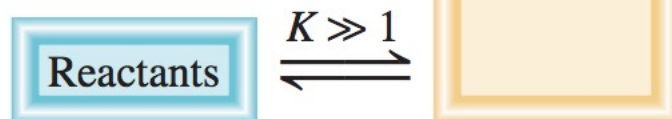
ค่าคงที่สมดุล

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

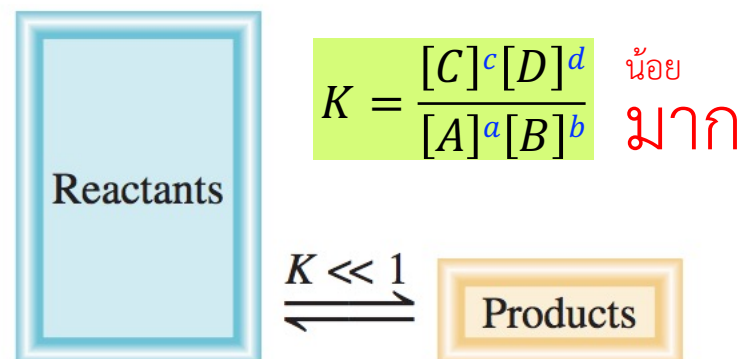
ค่าคงที่สมดุลบอกอะไร?

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

มาก
น้อย

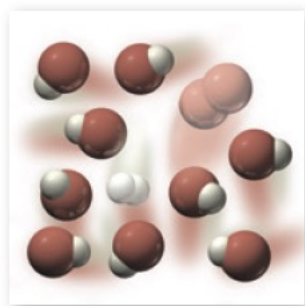
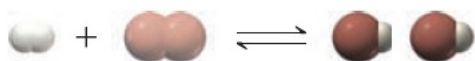
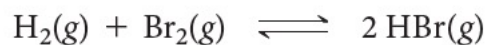


เกิดสารผลิตภัณฑ์ > สารตั้งต้น
ปฏิกิริยาเกิดไปข้างหน้า > เกิดย้อนกลับ



เกิดสารตั้งต้น > สารผลิตภัณฑ์
ปฏิกิริยาเกิดย้อนกลับ > เกิดไปข้างหน้า

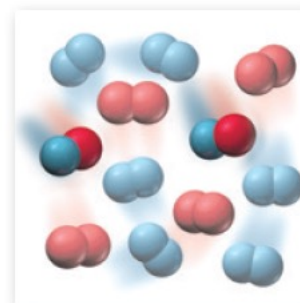
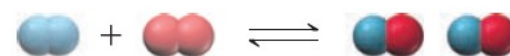
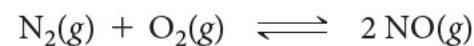
ค่าคงที่สมดุล (The equilibrium constant: K)



$$K = \frac{[\text{HBr}]^2}{[\text{H}_2][\text{Br}_2]} = \text{large number}$$

$$K = 1.9 \times 10^{19} \text{ (at } 25^\circ\text{C)}$$

ที่สภาวะสมดุล สารผลิตภัณฑ์มีมากกว่าสารตั้งต้น



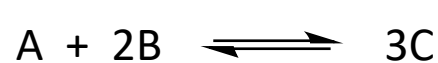
$$K = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]} = \text{small number}$$

$$K = 4.1 \times 10^{-31} \text{ (at } 25^\circ\text{C)}$$

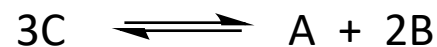
ที่สภาวะสมดุล สารตั้งต้นมีมากกว่าสารผลิตภัณฑ์

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

1. ถ้ากลับสมการ → กลับค่าคงที่สมดุล ($1/K$)

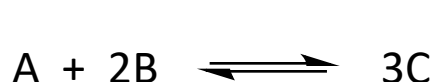


$$K = \frac{[C]^3}{[A][B]^2}$$



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

2. ถ้าคูณสมการด้วยค่า n → ยกกำลังค่าคงที่สมดุลด้วยค่า n



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

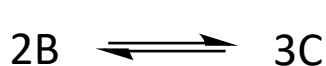


$$K = \frac{[C]^{3n}}{[A]^n[B]^{2n}} = \left(\frac{[C]^3}{[A][B]^2} \right)^n = K^n$$

3. ถ้ารวมสมการ 2 สมการขึ้นไป → ค่าคงที่สมดุลของสมการรวม = ผลคูณของค่าคงที่สมดุลของสมการย่อย



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



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

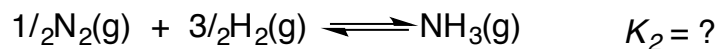
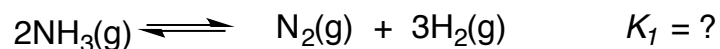


$$K_{\text{รวม}} = K_1 \times K_2 = \frac{[B]^2}{[A]} \times \frac{[C]^3}{[B]^2} = \frac{[C]^3}{[A]}$$

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี



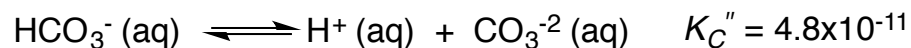
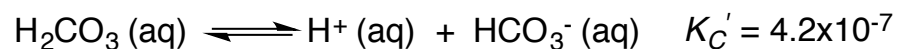
สมการการสังเคราะห์แอมโมเนียที่อุณหภูมิ 25°C เป็นดังนี้ $\text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NH}_3(\text{g})$ $K = 5.6 \times 10^5$
จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่อุณหภูมิ 25°C



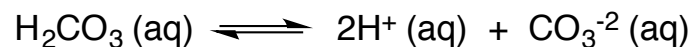
ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี



จงหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาการแตกตัวของกรดคาร์บอนิกที่อุณหภูมิ 25°C โดยที่



สมการของปฏิกิริยารวม คือ

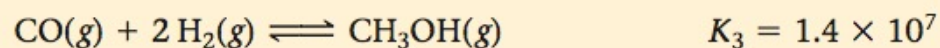
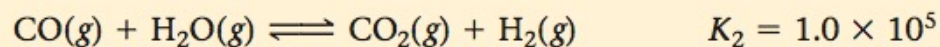
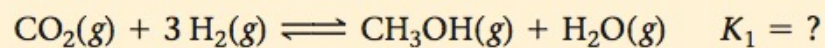


ค่าคงที่สมดุล

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี



จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาแรก เมื่อกำหนดค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาที่สองและสาม ดังนี้



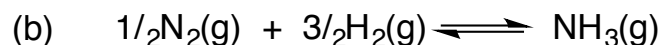
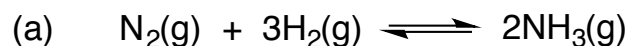
แบบฝึกหัด Take home problems



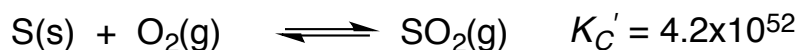
1. พิจารณากระบวนการสมดุลต่อไปนี้ที่ 700°C $2\text{H}_2(\text{g}) + \text{S}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{H}_2\text{S}(\text{g})$

จากการวิเคราะห์พบว่า มี H_2 2.50 mol, S_2 1.35×10^{-5} mol และ H_2S 8.70 mol ในขวดขนาด 12.0 L จะคำนวณหาค่าคงที่สมดุล

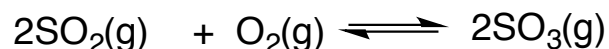
2. ภาชนะใบหนึ่งบรรจุแก๊ส NH_3 , N_2 , H_2 ณ อุณหภูมิหนึ่ง ความเข้มข้นที่สมดุล คือ $[\text{NH}_3]=0.25 \text{ M}$, $[\text{N}_2]=0.11 \text{ M}$ และ $[\text{H}_2]=1.91 \text{ M}$ จงคำนวณค่าคงที่สมดุลของการสังเคราะห์แอมโมเนีย (NH_3) ตามสมการนี้



3. กำหนดค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่อุณหภูมิหนึ่ง



จงคำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้ที่อุณหภูมิเดียวกัน



สรุป...สมดุลเคมี

สมดุลเคมี

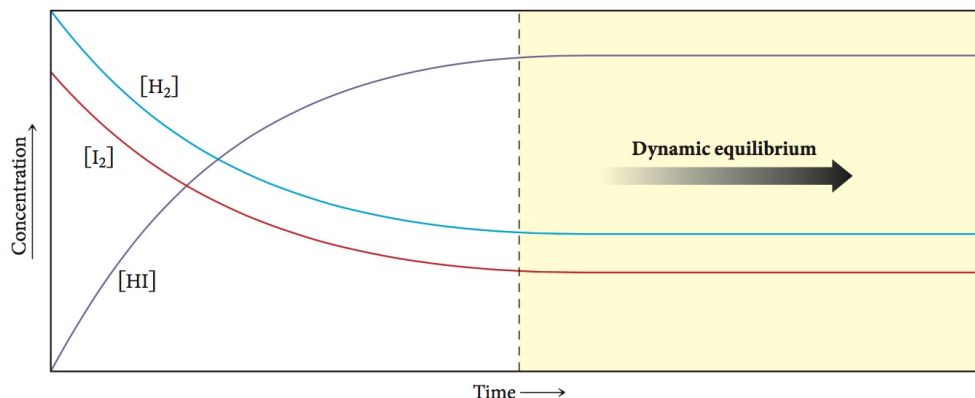
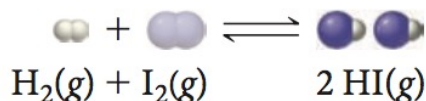
เกิดในระบบปิดเท่านั้น

เกิดเฉพาะกับปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction) เท่านั้น

สภาวะที่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีค่าคงที่

เนื่องจากอัตราของการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าเท่ากับการเกิดย้อนกลับ

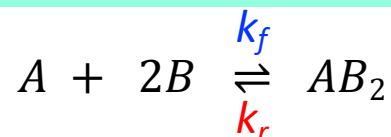
A reversible reaction



ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุลกับจลนศาสตร์เคมี

สมดุลเคมี คือ

สถานะที่อัตราการเกิดไปข้างหน้า = อัตราการเกิดย้อนกลับ



k_f = ค่าคงที่อัตราการเกิดไปข้างหน้า

k_r = ค่าคงที่อัตราการเกิดย้อนกลับ

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

อัตราการเกิดย้อนกลับ; $rate_r = k_r[AB_2]$

ที่ภาวะสมดุล

อัตราการเกิดไปข้างหน้า = อัตราการเกิดย้อนกลับ

$$rate_f = rate_r$$

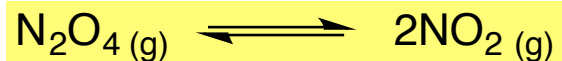
$$k_f[A][B]^2 = k_r[AB_2]$$

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

เมื่อ k_f และ k_r คือค่าคงที่ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ อัตราส่วนของค่าคงที่ก็จะเป็นค่าคงที่ ดังนั้น K_c จึงมีค่าคงที่เสมอ และขึ้นกับอุณหภูมิ

3. ค่าคงที่สมดุล K_C vs. K_P

จากปฏิกิริยา



$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

$K_C = K$ ในหน่วยความเข้มข้น (concentration rate constant)

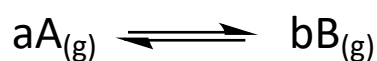
ในกรณีที่สารอยู่ในสถานะแก๊ส สามารถแสดงค่า K ในหน่วยความดันได้ (K_P) โดยที่ $K_C \neq K_P$

$$K_P = \frac{P_{\text{NO}_2}^2}{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$

$K_P = K$ ในหน่วยความดัน (pressure rate constant)

ความสัมพันธ์ของค่าคงที่สมดุล K_C และ K_P

สมการทั่วไป



$$K_C = \frac{[B]^b}{[A]^a}$$

$$K_P = \frac{P_B^b}{P_A^a}$$

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)

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

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

 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



จงหาค่าคงที่สมดุล K_C



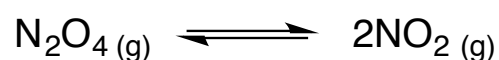
ไนโตรเจนมอนอกไซด์ เป็นสารพิษที่เกิดจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ถูกออกซิไดซ์ในอากาศดังสมการเคมี



4. สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)

สมดุลเอกพันธ์

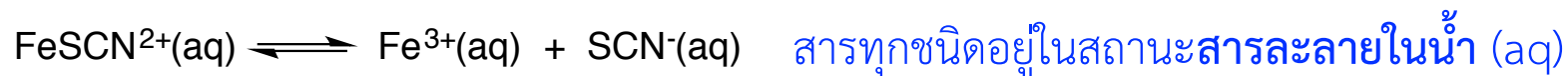
สารทุกชนิดอยู่ในสถานะเดียวกัน



สารทุกชนิดอยู่ในสถานะแก๊ส (g)

คำนวณ K_C และ K_P (ในกรณีที่เป็นแก๊ส) โดยใช้ข้อมูลจากสารทุกตัว

$$K_C = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]} \quad K_P = \frac{P_{\text{NO}_2}^2}{P_{\text{N}_2\text{O}_4}}$$



สารทุกชนิดอยู่ในสถานะสารละลายในน้ำ (aq)

คำนวณ K_C เท่านั้น (ไม่ใช่แก๊ส ไม่มีความดัน)

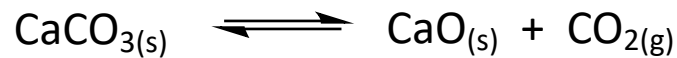
$$K_C = \frac{[\text{Fe}^{3+}][\text{SCN}^{-}]}{[\text{FeSCN}^{2+}]}$$

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

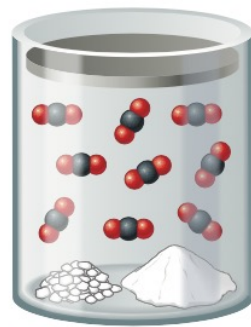
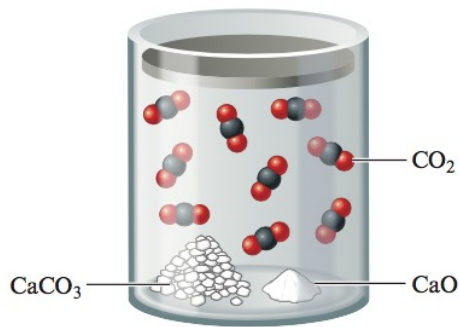
สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)

สมดุลวิวิธพันธ์

สารอยู่ในสถานะต่างกัน



สารอยู่ในสถานะของแข็งและแก๊ส



$$K'_c = \frac{[\text{CaO}][\text{CO}_2]}{[\text{CaCO}_3]}$$

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

เพราะฉะนั้น $[\text{CaO}]$ และ $[\text{CaCO}_3]$ จึงเป็นค่าคงที่ และคิดแค่ $[\text{CO}_2]$ ที่เป็นแก๊ส

ค่าคงที่สมดุลใหม่

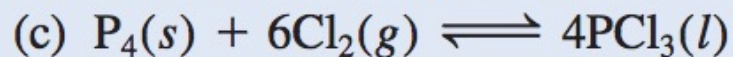
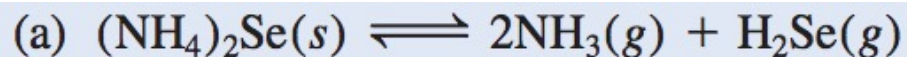
$$K_c = [\text{CO}_2] = K'_c \frac{[\text{CaCO}_3]}{[\text{CaO}]}$$

$$K_P = P_{\text{CO}_2}$$

สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)



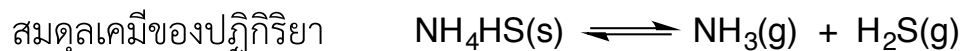
จงเขียนค่าคงที่สมดุล K_c และ K_p ของปฏิกิริยาผันกลับได้ต่อไปนี้



สมดุลเอกพันธ์ สมดุลวิวิธพันธ์ (Homogeneous-Heterogeneous equilibria)



สมดุลเคมีของปฏิกิริยา



เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 395 K ความดันย่อยของแก๊สแต่ละตัวมีค่า 0.265 atm จงหา K_c แลพ K_p ของปฏิกิริยานี้

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

R = ค่าคงที่ของแก๊ส

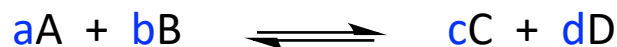
(เลือกใช้ตามหน่วยความดันของแก๊ส)

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

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

T = อุณหภูมิ (หน่วย K)

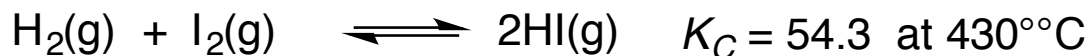
สรุป...ค่าคงที่สมดุลเคมี



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

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

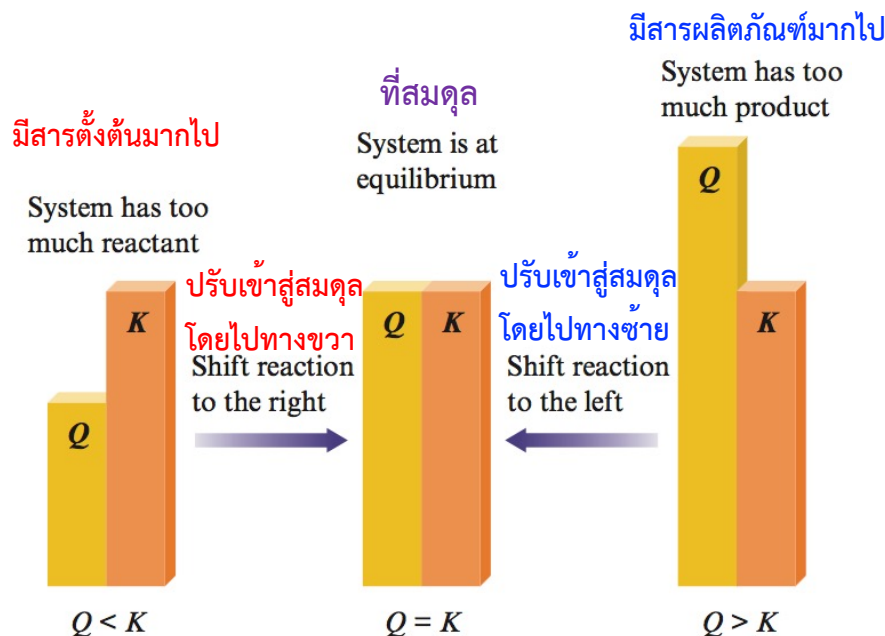
4. การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

 $[A]_0$ = ความเข้มข้นเริ่มต้น1. ทำนายทิศทางของปฏิกิริยา โดยหาค่าผลหารของปฏิกิริยา Reaction quotient (Q_c) เทียบกับ K_c 

เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้น $[\text{H}_2]_0$ 0.243 M, $[\text{I}_2]_0$ 0.146 M, $[\text{HI}]_0$ 1.98 M

$$Q_c = \frac{[\text{HI}]_0^2}{[\text{H}_2]_0[\text{I}_2]_0} = \frac{(1.98)^2}{(0.243)(0.146)}$$

$Q_c = 111 > 54.3 (K_c)$ ปฏิกิริยามีสารผลิตภัณฑ์มากเกินไป จึงมีทิศทางจากขวาไปซ้าย (ย้อนกลับ) เพื่อปรับเข้าสู่สมดุล



การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

1. ทำนายทิศทางของปฏิกิริยา

โดยหาค่า Reaction quotient (Q_c)



เมื่อปฏิกิริยาประกอบด้วยความดันย่อย P_{I_2} 0.114 atm, P_{Cl_2} 0.102 atm และ P_{ICl} 0.355 atm
ปฏิกิริยานี้อยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่ ถ้าไม่ ปฏิกิริยามีทิศทางไปทางไหน

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

1. ทำนายทิศทางของปฏิกิริยา

โดยหาค่า Reaction quotient (Q_c)



พิจารณาปฏิกิริยาต่อไปนี้



ที่อุณหภูมิหนึ่ง $K_c = 8.5 \times 10^{-3}$ ส่วนผสมของปฏิกิริยาประกอบด้วยของแข็ง NH_4HS มี $[\text{NH}_3]$ และ $[\text{H}_2\text{S}] = 0.166 \text{ M}$ จงทำนายว่าจะมีการเกิดของแข็ง NH_4HS มากขึ้น หรือ มีการสลายตัวของ NH_4HS มากขึ้น เมื่อเข้าสู่ภาวะสมดุล

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(A) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารทุกตัว ยกเว้นสารหนึ่งตัวที่ต้องการหา



ที่สภาวะสมดุล $[\text{COF}_2]=0.255 \text{ M}$ $[\text{CF}_4]=0.118 \text{ M}$ $[\text{CO}_2]$ คือเท่าไร

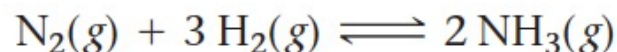
การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(A) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารทุกตัว ยกเว้นสารหนึ่งตัวที่ต้องการหา



37. Consider the reaction:



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

T (K)	$[\text{N}_2]$	$[\text{H}_2]$	$[\text{NH}_3]$	K_c
500	0.115	0.105	0.439	_____
575	0.110	_____	0.128	9.6
775	0.120	0.140	_____	0.0584

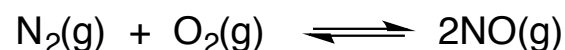
การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(B) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นเริ่มต้น/ความดันเริ่มต้นของสาร



เมื่อเริ่มต้นปฏิกิริยาประกอบด้วย $[\text{N}_2]$ 1.00 M และ $[\text{O}_2]$ 1.00 M หาความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่สภาวะสมดุล



	$[\text{N}_2]$	$[\text{O}_2]$	$[\text{NO}]$
เริ่มต้น	1.00	1.00	0
เปลี่ยนแปลง	-x	-x	+2x
สมดุล	1.00-x	1.00-x	2x

$$Q_C = \frac{[\text{NO}]_0^2}{[\text{N}_2]_0[\text{O}_2]_0} = \frac{0}{(1.00)^2} = 0 < K_C$$

ดังนั้นปฏิกิริยาจะเกิดไปข้างหน้าเพื่อเข้าสู่สมดุล

$$K_C = \frac{[\text{NO}]^2}{[\text{N}_2][\text{O}_2]}$$

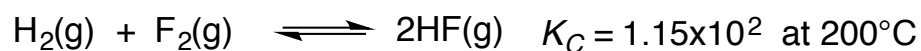
$$ax^2 + bx + c = 0.$$

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

การประยุกต์ใช้ค่าคงที่สมดุล

2. หาความเข้มข้นของสารที่สภาวะสมดุล

(B) กรณีที่รู้ค่าคงที่สมดุล K และความเข้มข้นเริ่มต้น/ความดันเริ่มต้นของสาร



เริ่มต้นปฏิกิริยาประกอบด้วย $[\text{H}_2]$ 1.000 M และ $[\text{F}_2]$ 2.000 M หาความเข้มข้นของสารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์ที่สภาวะสมดุล

	$[\text{H}_2]$	$[\text{F}_2]$	$[\text{HF}]$
เริ่มต้น	1.000	2.000	0
เปลี่ยนแปลง			
สมดุล			

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

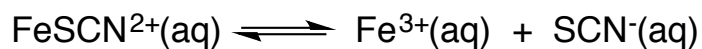
$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

5. ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

หลักการของเลอชาเตอริเยร์ (Le Chatelier's principle)

ถ้าสมดุลของระบบถูกรบกวนให้มีความเค้น (stress) ระบบจะปรับตัวในทิศทางที่ทำให้ความเค้นลดลง

1. ความเข้มข้น



แดง

เหลืองอ่อน

หลังจากเติม NaSCN (เพิ่ม SCN^{-}) หลังจากเติม $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ (เพิ่ม Fe^{3+}) หลังจากเติม $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ (ลด Fe^{3+})
สีของปฏิกิริยา



(a)

(b)

(c)

(d)

FeSCN^{2+} (แดง)

สมดุลปรับไปทางซ้าย

สมดุลปรับไปทางซ้าย

สมดุลปรับไปทางขวา

ผสมกับ Fe^{3+} (เหลือง)

เกิด FeSCN^{2+} (แดง)มากขึ้น

เกิด FeSCN^{2+} (แดง)มากขึ้น

เกิด Fe^{3+} (เหลือง)มากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

1. ความเข้มข้น



พิจารณาสมดุลของระบบต่อไปนี้



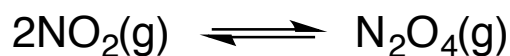
ปฏิกิริยานี้จะปรับไปทางทิศทางไหน (ซ้าย/ขวา/ไม่เปลี่ยนแปลง) เมื่อมีการรบกวนสมดุลของปฏิกิริยาด้วยวิธีดังนี้

- a) เติม $\text{H}_2\text{(g)}$ ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____
- b) เอา $\text{I}_2\text{(g)}$ ออก ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____
- c) เอา HI(g) ออก ปฏิกิริยาปรับไปทาง _____

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

2. ความดัน/ปริมาตร

เกี่ยวข้องกับระบบที่เป็นแก๊สเท่านั้น ไม่ส่งผลต่อของแข็งและของเหลว



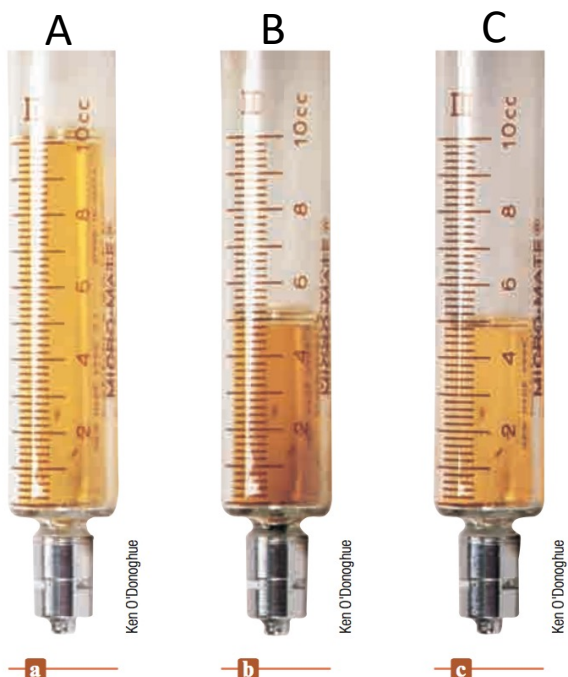
น้ำตาล

ไม่มีสี

A → B

ลดปริมาตร=เพิ่มความดัน

➡ ระบบปรับตัวเพื่อลดความดัน ➡ ปฏิกริยาปรับไปทางด้านที่จำนวนโมลน้อยกว่า
➡ เลื่อนไปทางขวา ได้ N_2O_4 (ไม่มีสี) ➡ สีจางลง (C)



เพิ่มความดัน (ลดปริมาตร)	ลดความดัน (เพิ่มปริมาตร)
ปฏิกริยาเลื่อนไปทาง โมลน้อย เพื่อลดความดัน	ปฏิกริยาเลื่อนไปทาง โมลมาก เพื่อเพิ่มความดัน

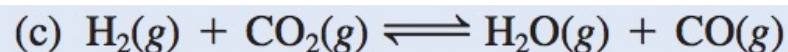
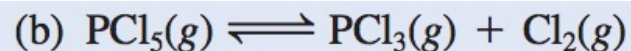
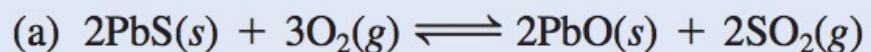
ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

2. ความดัน/ปริมาตร



พิจารณาสมดุลของระบบต่อไปนี้

จงทำนายทิศทางของการเกิดปฏิกิริยาแต่ละข้อ เมื่อมีการเพิ่มความดัน/ลดความดัน ของระบบที่อุณหภูมิคงที่



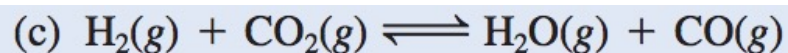
เพิ่มความดัน (ลดปริมาตร)	ลดความดัน (เพิ่มปริมาตร)

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

2. ความดัน/ปริมาตร

ความรู้เพิ่มเติม

1. เมื่อจำนวนโมลรวมของสารตั้งต้นที่เป็นแก๊ส = จำนวนโมลรวมของสารผลิตภัณฑ์ที่เป็นแก๊ส
การเปลี่ยนแปลงความดัน/ปริมาตร ไม่มีผลต่อสมดุลเคมี



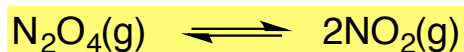
2. การเพิ่มความดันโดยการเติมแก๊สเฉื่อย (Inert gas) ในปฏิกิริยาที่สภาวะสมดุล ไม่ส่งผลกระทบต่อสมดุล

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 

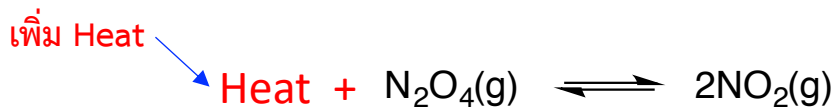
ปฏิกิริยาไปข้างหน้า เป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน $\Delta H > 0$ **Heat** + $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \longrightarrow 2\text{NO}_2(\text{g})$ $\Delta H = 58.0 \text{ kJ/mol}$

ดังนั้นปฏิกิริยาย้อนกลับ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อน $\Delta H < 0$ $2\text{NO}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ + **Heat** $\Delta H = -58.0 \text{ kJ/mol}$

$$K_c = \frac{[\text{NO}_2]^2}{[\text{N}_2\text{O}_4]}$$

การเพิ่มอุณหภูมิ $\rightarrow$ ช่วยปฏิกิริยาดูดความร้อน $\rightarrow$ ปฏิกิริยาปรับไปทางขวา $\rightarrow [\text{NO}_2] \uparrow, [\text{N}_2\text{O}_4] \downarrow \rightarrow K_c \uparrow$

เพิ่ม Heat



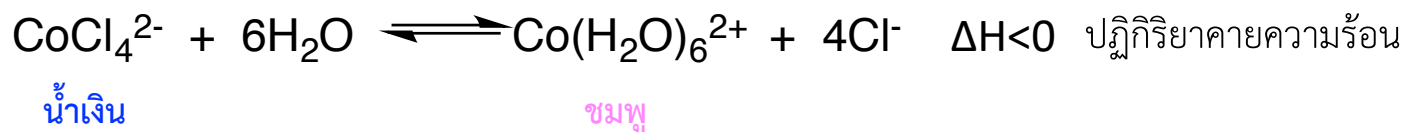
การลดอุณหภูมิ $\rightarrow$ ช่วยปฏิกิริยาคายความร้อน $\rightarrow$ ปฏิกิริยาปรับไปทางซ้าย $\rightarrow [\text{NO}_2] \downarrow, [\text{N}_2\text{O}_4] \uparrow \rightarrow K_c \downarrow$

เอา Heat ออก



ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

3. อุณหภูมิ



ให้ความร้อน

ช่วยปฏิกิริยาดูดความร้อน

สมดุลปรับไปทางซ้าย
เพิ่ม CoCl_4^{2-} (น้ำเงิน)

ลดอุณหภูมิ

ช่วยปฏิกิริยาคายความร้อน

สมดุลปรับไปทางขวา
เพิ่ม $\text{Co(H}_2\text{O)}_6^{2+}$ (ชมพู)

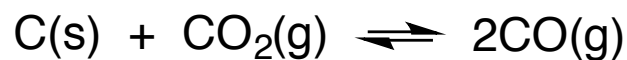
	เพิ่มอุณหภูมิ	ลดอุณหภูมิ
ปฏิกิริยาคายความร้อน ($\Delta H < 0$)	ปฏิกิริยาเลื่อนขวาไปซ้าย (ย้อนกลับ) K_c ลด	ปฏิกิริยาเลื่อนซ้ายไปขวา (ไปข้างหน้า) K_c เพิ่ม
ปฏิกิริยาดูดความร้อน ($\Delta H > 0$)	ปฏิกิริยาเลื่อนซ้ายไปขวา (ไปข้างหน้า) K_c เพิ่ม	ปฏิกิริยาเลื่อนขวาไปซ้าย (ย้อนกลับ) K_c ลด

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

3. อุณหภูมิ



ปฏิกิริยาการเผาไหม้ของน้ำตาลกลูโคสเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน

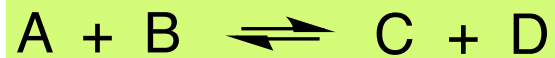


ปฏิกิริยานี้จะปรับไปทางทิศทางไหน (ซ้าย/ขวา/ไม่เปลี่ยนแปลง) เมื่อมีการรบกวนสมดุลด้วยการเพิ่มและลดอุณหภูมิ และส่งผลต่อค่า K อย่างไร

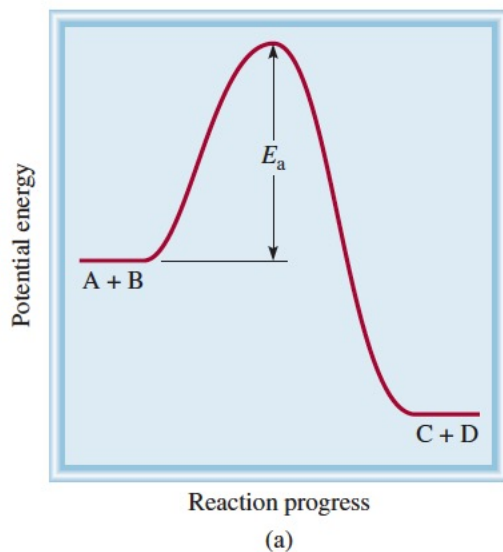
	เพิ่ม อุณหภูมิ	ลดอุณหภูมิ
ทิศทางของปฏิกิริยา		
ค่า K_c		

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี

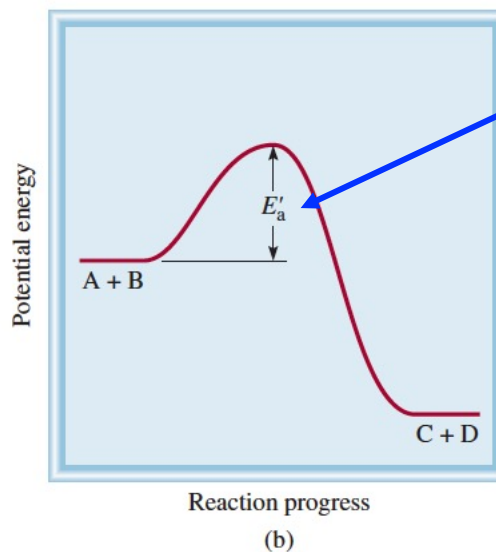
4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ลดค่าพลังงานกระตุ้น (Activation energy, E_a) ทำให้ปฏิกิริยาเข้าสู่สมดุลเร็วขึ้นเท่านั้น

ไม่มีตัวเร่งปฏิกิริยา



มีตัวเร่งปฏิกิริยา

 E_a ลด

ทั้งปฏิกิริยาไปข้างหน้า
และย้อนกลับเท่ากัน
(ภูเขาเตี้ยลงทั้งขาไปขากลับ)



การเติมตัวเร่งปฏิกิริยา
ไม่มีผลต่อค่าคงที่สมดุล (K)
และ
ไม่มีผลต่อการสมดุล

สรุปปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลเคมี



พิจารณาสมดุลของระบบต่อไปนี้



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 $\rightarrow$ ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่ลดสารนั้น
 การเอาสารออก $\rightarrow$ ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่เพิ่มสารนั้น

2. ความดัน/ปริมาตร

(เฉพาะแก๊สเท่านั้น)

การเพิ่มความดัน $\rightarrow$ ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่ลดความดัน $\rightarrow$ ลดโมลแก๊ส
 การลดความดัน $\rightarrow$ ปรับเข้าสู่สมดุลในทิศทางที่เพิ่มความดัน $\rightarrow$ เพิ่มโมลแก๊ส
 การเติมแก๊สเฉื่อยไม่มีผลต่อสมดุล

3. อุณหภูมิ

มีผลต่อเปลี่ยนแปลงค่าคงที่สมดุล (K)
 การเพิ่มอุณหภูมิ $\rightarrow$ ไปในทิศทางของปฏิกิริยาดูดความร้อน
 การลดอุณหภูมิ $\rightarrow$ ไปในทิศทางของปฏิกิริยาคายความร้อน

4. ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst)

ลดพลังงานกระตุ้น (E_a) ทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้เร็วขึ้น
ไม่มีผลต่อสมดุล