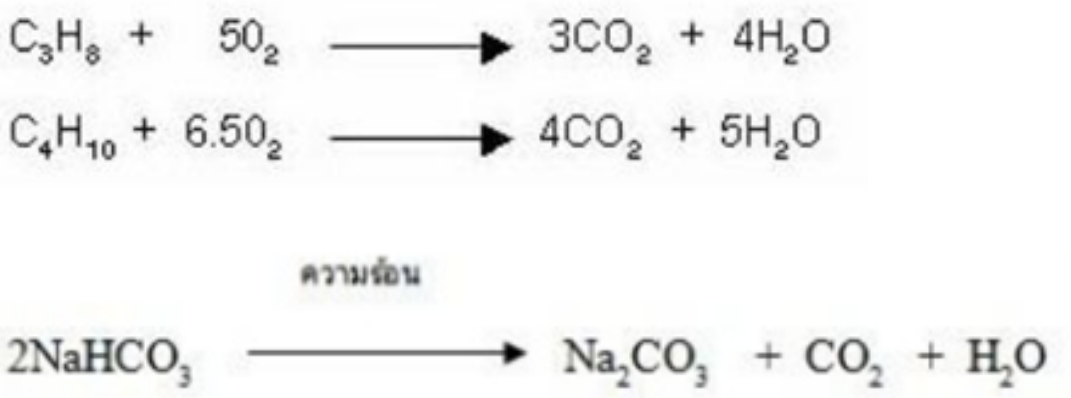
สมดุลเคมี

สมดุลเคมี (Chemical Equilibrium)

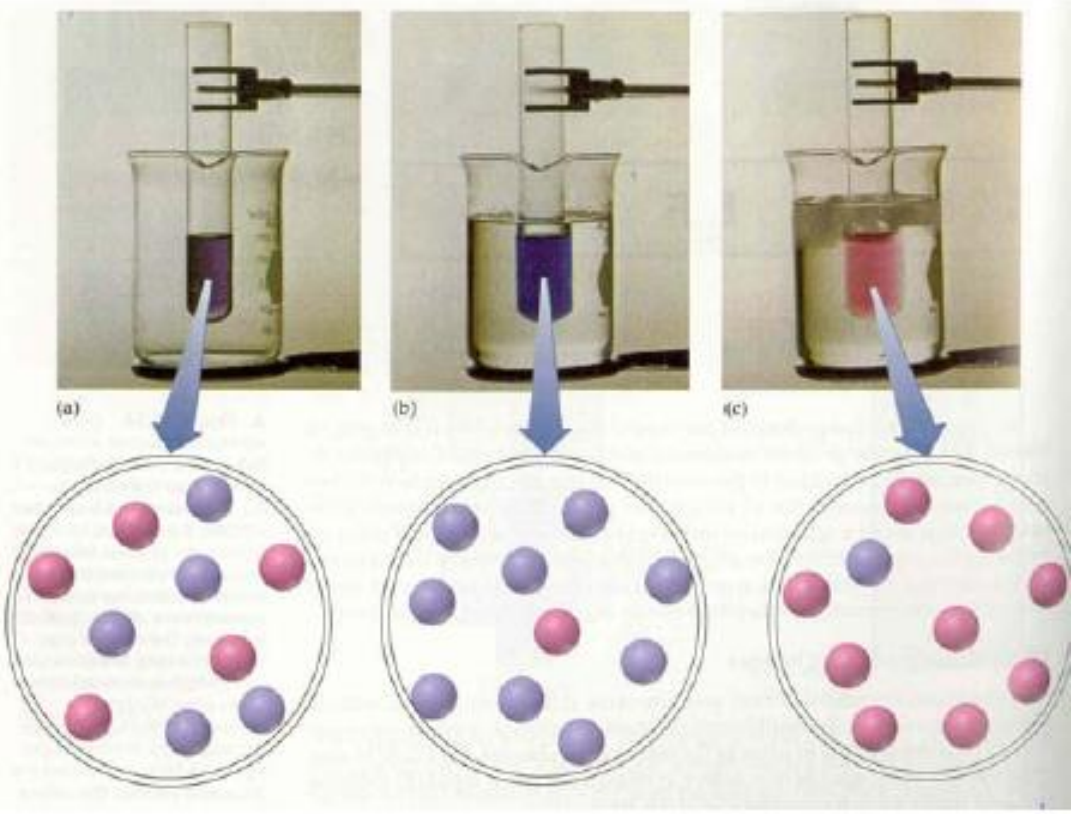
ปฏิกิริยาเคมีบางปฏิกิริยาที่ดำเนินไปทิศทางเดียวคือจากสารตั้งต้นเปลี่ยนแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์และเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์



ปฏิกิริยาที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversible reaction)

บางปฏิกิริยาไม่ดำเนินไปจนเสร็จสมบูรณ์ สารตั้งต้นไม่ได้เปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ทั้งหมด และผลิตภัณฑ์สามารถเปลี่ยนมาเป็นสารตั้งต้นได้ ปฏิกิริยาเช่นนี้เรียกว่าปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction)

ปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ (Reversible reaction)

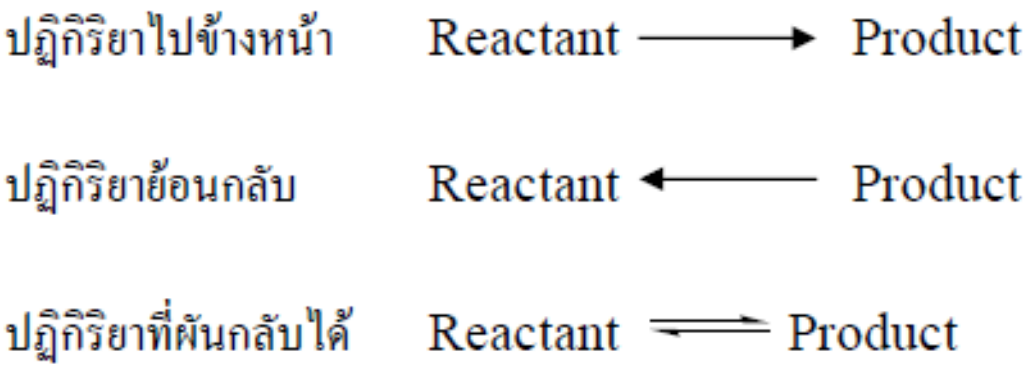


ปฏิกิริยาผันกลับได้ของสารละลาย

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

1. ภาวะสมดุล

ที่ภาวะสมดุลจะมีทั้งสารที่เข้าทำปฏิกิริยา (reactant) และ ผลผลิต (product) ภาวะสมดุล (equilibrium state) เกิดขึ้นเมื่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้า (forward reaction) เท่ากับอัตราการเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับ (reverse reaction)



ถ้าปฏิกิริยาเปลี่ยนไปข้างหน้าและย้อนกลับเกิดขึ้นตลอดเวลา เรียกว่า **สมดุลพลวัตหรือสมดุลไดนามิก** (dynamic equilibrium) เขียนแทนด้วยลูกศรไป-กลับ

1.1 ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ

ประเภทสมดุล	การเปลี่ยนแปลง	ภาวะของสมดุล	ตัวอย่าง
สมดุลของการหลอมเหลว	$\text{solid} \rightleftharpoons \text{liquid}$	อัตราการหลอมเหลวเท่ากับอัตราการแข็งตัว	$H_2O(s) \rightleftharpoons H_2O(l)$
สมดุลของการกลายเป็นไอ	$\text{liquid} \rightleftharpoons \text{gas}$	อัตราการระเหยเท่ากับอัตราการกลั่นตัว	$H_2O(l) \rightleftharpoons H_2O(g)$
สมดุลของการระเหิด	$\text{solid} \rightleftharpoons \text{gas}$	อัตราการระเหิดเท่ากับอัตราการเกิดผลึก	$I_2(s) \rightleftharpoons I_2(g)$

1.2 ภาวะสมดุลในสารละลาย

1) สมดุลของการแตกตัว เกิดขึ้นกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์อ่อนในน้ำ ส่วนหนึ่งแตกตัวเป็นไอออน ในขณะที่บางส่วนของไอออนจะรวมกันเป็นโมเลกุล เช่น

$$HCN(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons H_3O^+(aq) + CN^-(aq)$$

2) สมดุลของการละลาย เกิดขึ้นกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์แก่หรือนอนอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ในภาวะอิ่มตัว(ถ้าไม่อิ่มตัวจะไม่เกิดสมดุลเกิดขึ้น) ซึ่งกล่าวได้ว่าอัตราการละลายเท่ากับอัตราการตกผลึก

$$CuSO_4(s) + H_2O(l) \rightleftharpoons Cu^{2+}(aq) + SO_4^{2-}(aq)$$

1.3 ภาวะสมดุลในปฏิกิริยาเคมี

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

$$NH_4^+(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons NH_3(aq) + H_3O^+(aq)$$

ที่ภาวะสมดุล ความเข้มข้นของสารต่างๆ มีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าปฏิกิริยายังคงดำเนินไป

ในปฏิกิริยาใดจะเกิดสมดุลได้จะต้อง

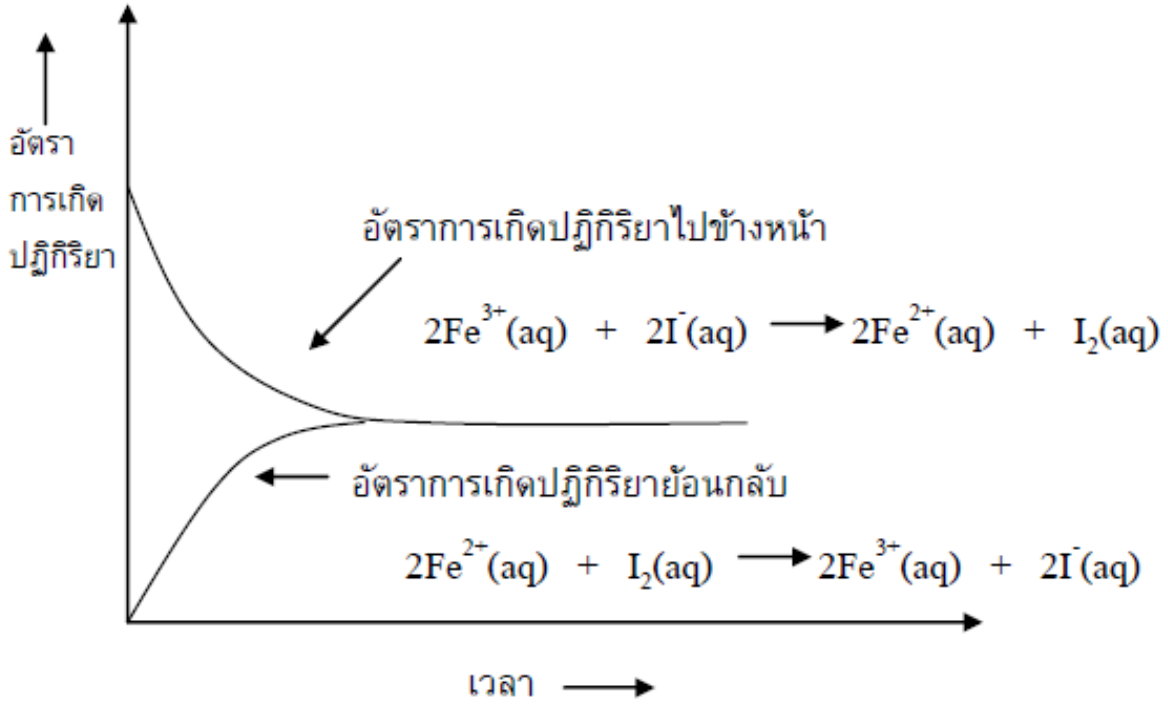
1. เกิดในระบบปิด
2. มีสมดุลไดนามิก
3. ยังมีสารตั้งต้นเหลืออยู่
4. ระบบสามารถเข้าสู่สมดุลได้ไม่ว่าจะเริ่มต้นจากไปข้างหน้าหรือย้อนกลับ
5. เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ผันกลับได้
6. ความเข้มข้น, ความดัน และ อุณหภูมิมีผลต่อภาวะสมดุล

2. การดำเนินเข้าสู่ภาวะสมดุลของระบบ

การดำเนินเข้าสู่สภาวะสมดุลของระบบไม่ขึ้นอยู่กับทิศทาง ไม่ว่าจะเริ่มจากการเปลี่ยน แปลงไปข้างหน้า หรือเริ่มจากการเปลี่ยนแปลงย้อนกลับ เมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ภาวะสมดุลที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ

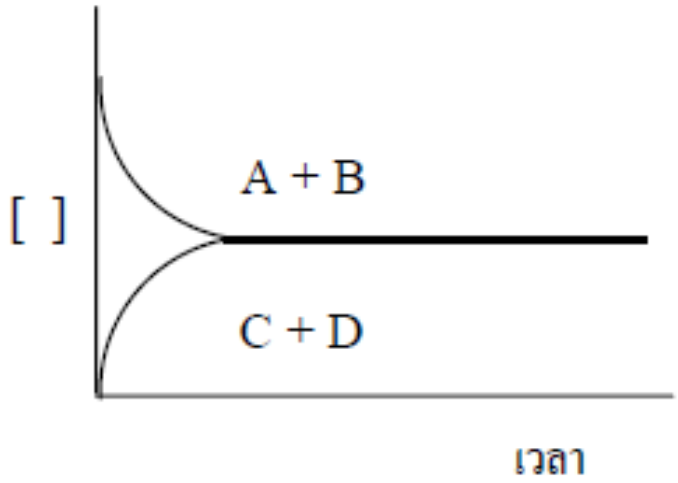
การเขียนกราฟแสดงการเกิดภาวะสมดุล

1. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดปฏิกิริยากับเวลา

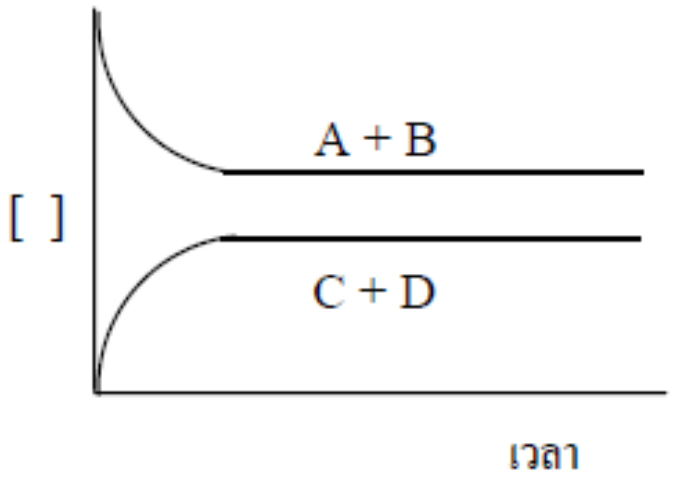


2. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารกับเวลา

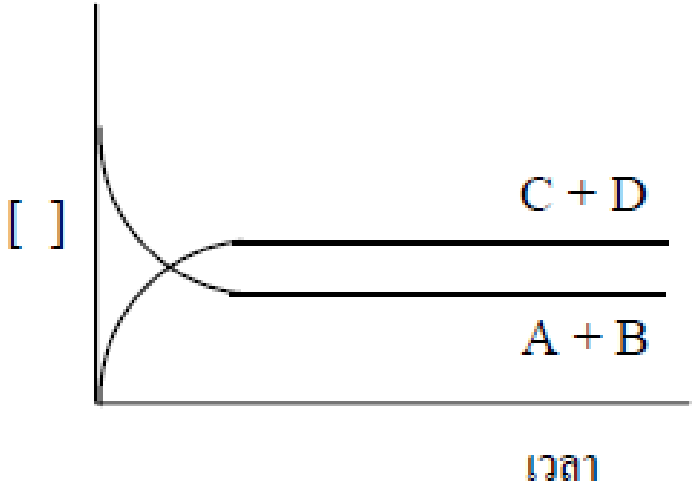
$$A + B \rightleftharpoons C + D$$



กราฟแสดง



กราฟแสดง



กราฟแสดง

3. ค่าคงที่สมดุล

“ สำหรับ ปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ที่ภาวะสมดุลผลคูณของความเข้มข้นของสารผลิตภัณฑ์ เมื่อหารด้วยผลคูณของความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือ โดยที่ความเข้มข้นของสารแต่ละชนิด ยกกำลังด้วยเลขสัมประสิทธิ์บอกจำนวนโมลของสารในสมการที่ดุลแล้วจะมีค่าคงที่เสมอเมื่ออุณหภูมิคงที่”

$$aA\,(aq) + bB\,(aq) \rightleftharpoons cC\,(aq) + dD\,(aq)$$

ที่ภาวะสมดุล

$$K_c = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b} \quad ; \quad K = \text{ค่าคงที่ของสมดุล}$$

equilibrium constant K_c

หากภาวะสมดุลที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยาที่มีสารอยู่ในวัฏภาคเดียวกันทั้งหมดจะเรียกว่า **สมดุลเอกพันธ์ (Homogeneous reaction)** สำหรับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นที่สารตั้งต้นและสารผลิตภัณฑ์มีวัฏภาคแตกต่างกันเรียกว่า **สมดุลวิวิธภัณฑ์ (Heterogeneous reaction)**

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

$$K_c = \frac{[[Cu(H_2O)_4]^{2+}][Cl^-]^4}{[[CuCl_4]^{2-}]}$$

ไม่ต้องนำความเข้มข้นของสารที่ เป็นของแข็งหรือของเหลวบริสุทธิ์มาเขียนไว้ในอัตราส่วนที่แสดงค่าคงที่เพราะว่า.....

ข้อสังเกตเกี่ยวกับค่าคงที่ของสมดุล (K)

ค่า K ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ คือ เมื่ออุณหภูมิคงที่ค่า K ก็จะคงที่แต่ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนค่า K ก็จะเปลี่ยนด้วย ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงค่า K ต้องอ้างอุณหภูมิเสมอ

$$\tfrac{1}{2}\, N_2O_4(g) \rightleftharpoons NO_2(g)$$

$$K_1 = \frac{[NO_2]}{[N_2O_4]^{1/2}} \qquad (\text{ที่ } 100\ ^{\circ}C)$$

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

$$K_2 = \frac{[NO_2]^2}{[N_2O_4]} \qquad (\text{ที่ } 100\ ^{\circ}C)$$

$$\boxed{K_2 = (K_1)^2}$$

<u>กรณีที่ 1.</u> ถ้ากลับสมการจากสารตั้งต้นเป็นสารผลิตภัณฑ์ค่าคงที่สมดุลใหม่จะเป็นส่วนกลับ

$$A + B \rightleftharpoons C + D \qquad \dots K_1$$

$$K_1 = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

ถ้ากลับสมการ

$$C + D \rightleftharpoons A + B \qquad \dots K_2$$

$$K_2 = \frac{[A][B]}{[C][D]}$$

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_1 และ K_2 คือ

กรณีที่ 2 เกิดขึ้นหลายขั้นตอน ถ้าปฏิกิริยาย่อยๆบวกกันแล้วเป็นปฏิกิริยารวม

$$A + B \rightleftharpoons C + D \qquad \dots K_1$$

เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_1 = \frac{[C][D]}{[A][B]}$

$$E + F \rightleftharpoons G + B \qquad \dots K_2$$

เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_2 = \frac{[G][B]}{[E][F]}$

เมื่อรวมสมการเคมีจะได้

$$A + E + F \rightleftharpoons C + D + G$$

เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_3 = \frac{[C][D][G]}{[A][E][F]}$

จะเห็นได้ว่า $K_1 \times K_2 = \frac{[C][D][G]}{[A][E][F]} = K_3$

ตัวอย่าง 1 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส จากปฏิกิริยาย่อยต่อไปนี้จงหาปฏิกิริยารวม และเขียนสมการแสดงค่า K_c

$$SO_2(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightleftharpoons SO_3(g)$$

$$NO_2(g) \rightleftharpoons NO(g) + \frac{1}{2}O_2(g)$$

<u>กรณีที่ 3</u> ถ้านำค่าคงที่มาคูณทั้งสมการ ค่า K ใหม่ที่ได้จะนำมายกกำลัง K เดิม

$$A + B \rightleftharpoons C + D \qquad \dots K_1$$

เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_1 = \frac{[C][D]}{[A][B]}$

เอาสองคูณทั้งสมการจะได้

$$2A + 2B \rightleftharpoons 2C + 2D \qquad \dots K_2$$

เขียนค่าคงที่สมดุลได้ $K_2 = \frac{[C]^2[D]^2}{[A]^2[B]^2}$

จะเห็นได้ว่า $K_2 = K_1^2$

ตัวอย่าง 2 จงเขียนสมการแสดงค่า K_C เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นในปฏิกิริยาต่อไปนี้เป็นส่องเท่า

$$NO\ (g) + \tfrac{1}{2}\ O_2(g) \rightleftharpoons NO_2(g)$$

ตัวอย่าง 2 จงเขียนสมการแสดงค่า K_c เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารตั้งต้นในปฏิกิริยาต่อไปนี้เป็นส่องเท่า

$$NO\ (g) + \tfrac{1}{2}\ O_2(g) \rightleftharpoons NO_2(g)$$

ความสัมพันธ์ในรูปแบบต่าง ๆ ของสมการเคมี ที่มีต่อค่าคงที่สมดุล K

รูปแบบของสมการเคมี	ค่าคงที่สมดุล K
สมการอ้างอิง: $A \rightleftharpoons B$	$K_{ref} = [B]/[A]$
สมการกลับทิศทาง: $B \rightleftharpoons A$	$K = 1/K_{ref}$
สมการที่ได้จากการรวมสมการย่อย 2 ขั้น: (1) $A \rightleftharpoons C$, $K_1 = [C]/[A]$ (2) $C \rightleftharpoons B$, $K_2 = [B]/[C]$	$K = K_1 \times K_2 = K_{ref}$
คูณด้วยค่าคงที่ n: $nA \rightleftharpoons nB$	$K = K^n_{ref}$

ตัวอย่าง 3 ปฏิกิริยา $H_2\ (g) + Br_2\ (g) \rightleftharpoons 2HBr\ (g)$, $K=8.1\times10^{11}$

ก. $\frac{1}{2}H_2\ (g) + \frac{1}{2}Br_2\ (g) \rightleftharpoons HBr\ (g)$, $K_1=?$

ข. $2HBr\ (g) \rightleftharpoons H_2\ (g) + Br_2\ (g)$, $K_2=?$

ข. $4HBr\ (g) \rightleftharpoons 2H_2\ (g) + 2Br_2\ (g)$, $K_3=?$

ตัวอย่าง 4 จงหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

$$\frac{1}{2}N_2\,(g) + \frac{1}{2}O_2\,(g) + \frac{1}{2}Br_2\,(g) \rightleftharpoons NoBr\,(g), \qquad K=?$$

จากข้อมูลของปฏิกิริยาของสมดุลที่ 298 K

$$2NO\,(g) \rightleftharpoons N_2\,(g) + O_2\,(g), \qquad K_1=2.4\times10^{30}$$

$$NO\,(g) + \frac{1}{2}Br_2\,(g) \rightleftharpoons NOBr\,(g), \quad K_2=1.4$$

ตัวอย่างเพิ่ม สมดุลเคมีดังต่อไปนี้เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 823 K

$$CoO(s) + H_2(g) \rightleftharpoons Co(s) + H_2O(g) \qquad K = 67$$

$$CoO(s) + CO(g) \rightleftharpoons Co(s) + CO_2(g) \qquad K = 490$$

จงคำนวณค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา $H_2(g) + CO_2(g) \rightleftharpoons CO(g) + H_2O(g)$ ที่อุณหภูมิ 823 K

ตัวอย่างเพิ่ม ขั้นตอนดังต่อไปนี้ถูกเสนอขึ้นมาเพื่อใช้อธิบายปฏิกิริยารวมระหว่าง H_2 และ Br_2 เกิดเป็น HBr:

$$Br_2(g) \rightleftharpoons 2Br(g) \qquad K_1$$

$$Br(g) + H_2(g) \rightleftharpoons HBr(g) + H(g) \qquad K_2$$

$$H(g) + Br(g) \rightleftharpoons HBr(g) \qquad K_3$$

ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยารวมซึ่งเกิด HBr ปริมาณ 1 โมลมีค่าเท่าไร?

แบบฝึกหัด สมดุลเคมี-1

1. ปฏิกิริยา $X + \frac{1}{2}Y \rightleftharpoons Z$ มีค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 0.25 ที่ 25 องศาเซลเซียส ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา $2Z \rightleftharpoons 2X + Y$ มีค่าเท่าไรที่ 25 องศาเซลเซียส

2. กำหนดให้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยา 1), 2) และ 3) มีค่าคงที่สมดุลดังต่อไปนี้

1) $A_2(g) + \frac{1}{2}B_2(g) \rightleftharpoons A_2B(g)$ $K_1 = a$

2) $2BC(g) + B_2(g) \rightleftharpoons 2B_2C(g)$ $K_2 = b$

3) $A_2B(g) + BC(g) \rightleftharpoons A_2(g) + B_2C(g)$ $K_3 = ?$

3. การศึกษาการเผาไหม้ของ H_2 พบว่ามีการเกิดไฮดรอกซิลในเปลวไฟดังสมการ

$H(g) + \frac{1}{2}O_2(g) \rightleftharpoons OH(g)$ จงใช้ข้อมูลต่อไปนี้ในการคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา

$\frac{1}{2}H_2(g) \rightleftharpoons H(g)$ $K_1 = 1.6 \times 10^{-3}$

$\frac{1}{2}O_2(g) + \frac{1}{2}H_2(g) \rightleftharpoons OH(g)$ $K_2 = 0.58$

4. จงหาค่าคงที่สมดุลจากปฏิกิริยาต่อไปนี้

$2N_2O(g) \rightleftharpoons 2N_2(g) + O_2(g)$ $K_1 = a$

$2N_2O_4(g) \rightleftharpoons 4NO_2(g)$ $K_2 = b$

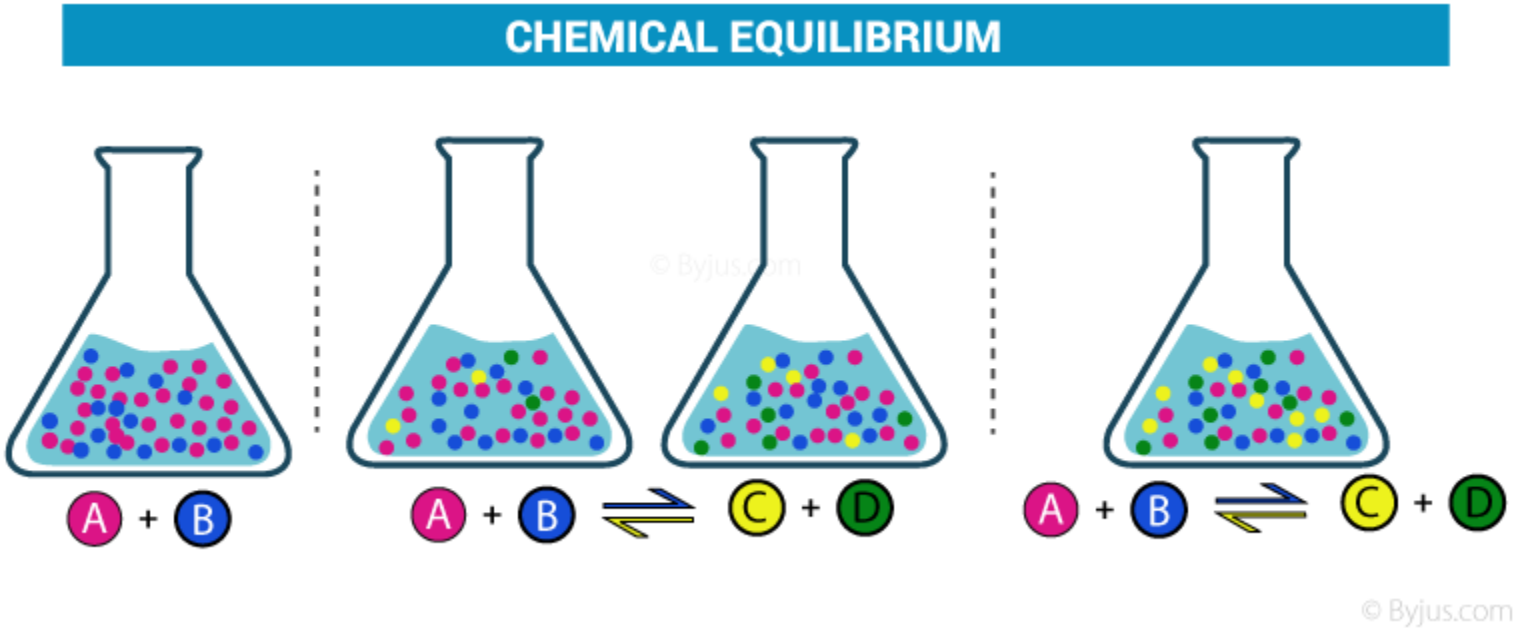
$N_2(g) + 2O_2(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ $K_3 = c$

$2N_2O(g) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2N_2O_4(g)$ $K_4 = ?$

ลักษณะโจทย์ในการคำนวณค่าคงที่สมดุล

มีทั้งหมด 4 แนวทาง

1. ให้หาค่าคงที่สมดุลโดยกำหนดความเข้มข้นให้ทุกค่า
2. ให้หาค่าคงที่สมดุลโดยกำหนดความเข้มข้นให้บางค่า ส่วนค่าที่เหลือหาจากสมการเคมี
3. กำหนดค่าคงที่สมดุลให้ และหาความเข้มข้นของสารแต่ละตัว
4. การหาค่า K เมื่อมีการรบกวนสมดุล



ตัวอย่าง 5 ปฏิกิริยา $2A\ (aq) + B\ (s) + C\ (g) \rightleftharpoons 2D\ (g)$ ที่ภาวะสมดุลในภาชนะขนาด $2.0\ dm^3$ มี A 4.0 mol, B 4.0 mol, C 2.0 mol, and D 6.0 mol จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้

ตัวอย่าง 6 ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เมื่อนำ N_2 จำนวน 2.00 mol มาทำปฏิกิริยากับ H_2 จำนวน 2.00 mol ในภาชนะปิด 2.00 ลิตร ภาวะสมดุลมีก๊าซแอมโมเนีย เกิดขึ้นจำนวน 1.00 mol จงหาค่า K_c

ตัวอย่าง 7 ที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส

$$N_2\,(g) + O_2\,(g) \rightleftharpoons 2NO\,(g), \qquad K=4.1\times10^{-4}$$

จงหาความเข้มข้นของ NO โดยที่สมดุลมี $[N_2]=0.036$ M และ $[O_2]=0.0089$ M

ตัวอย่างที่ 8 แก๊สไฮโดรเจน 2 mol ทำปฏิกิริยากับแก๊สไอโอดีน 2 mol ให้แก๊สไฮโดรเจนไอโอไดด์โดยทดลองในภาชนะ 1 L ที่อุณหภูมิ 450 °C เมื่อ ถึงสมดุลจะมีแก๊สแต่ละชนิดเท่าใด เมื่อค่า K = 50

ประโยชน์ของค่าคงที่ของสมดุล (K)

$$2\,H_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2\,H_2O(g)$$

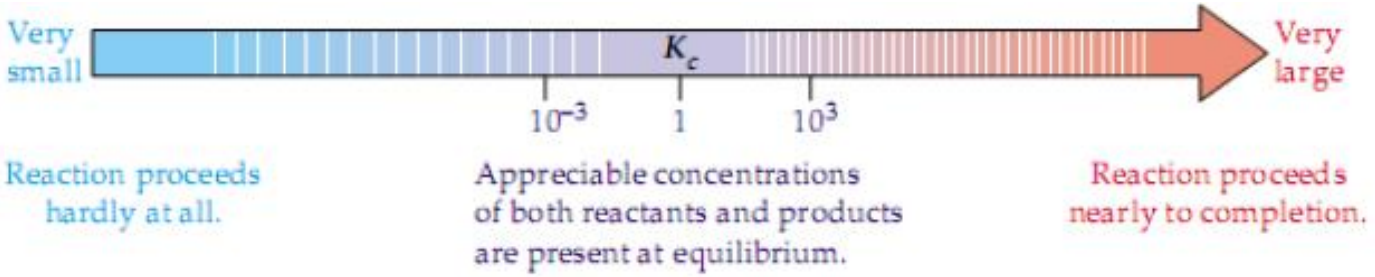
มีค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 500°C เป็น

$$K_c = \frac{[H_2O]^2}{[H_2]^2[O_2]} = 2.4 \times 10^{47}$$

$$2\,H_2O(g) \rightleftharpoons 2\,H_2(g) + O_2(g)$$

มีค่าคงที่สมดุลที่อุณหภูมิ 500°C เป็น

$$K_c' = \frac{[H_2]^2[O_2]}{[H_2O]^2} = 4.1 \times 10^{-48}$$



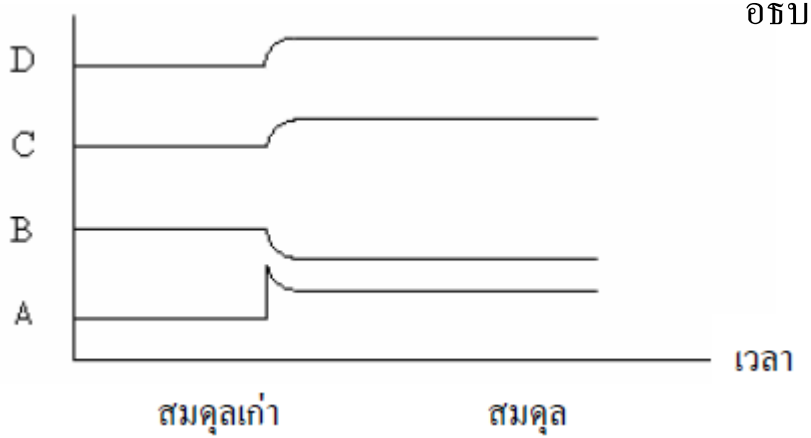
(McMURRY, Chemistry 4th edition)

เลอชาเตอริเอ (Lechatelier) กล่าวไว้ว่า ระบบใดก็ตามที่เข้าสู่ภาวะสมดุล หากระบบถูกรบกวนด้วยภาวะต่างๆ (ความเข้มข้น อุณหภูมิ หรือ ความดัน) จะทำให้ระบบที่เข้าสู้สมดุลนั้นเสียไป แต่ระบบจะพยายามปรับสภาวะให้เข้าสู่สมดุลอีกครั้ง แต่จะไม่เหมือนสมดุลครั้งแรก

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

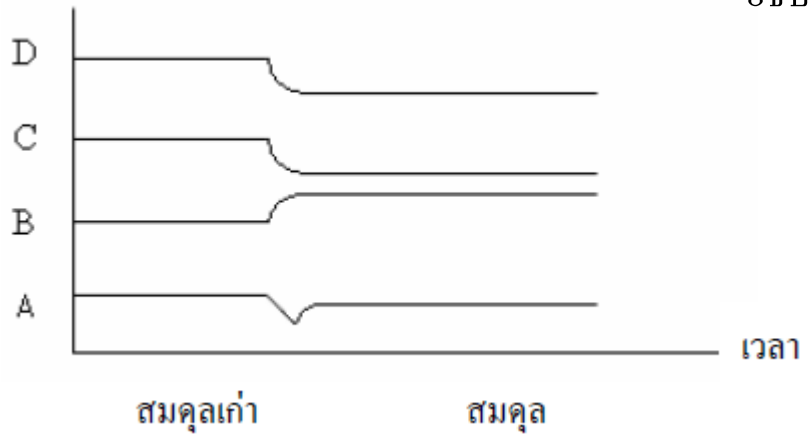
ความเข้มข้น

อธิบายกราฟ



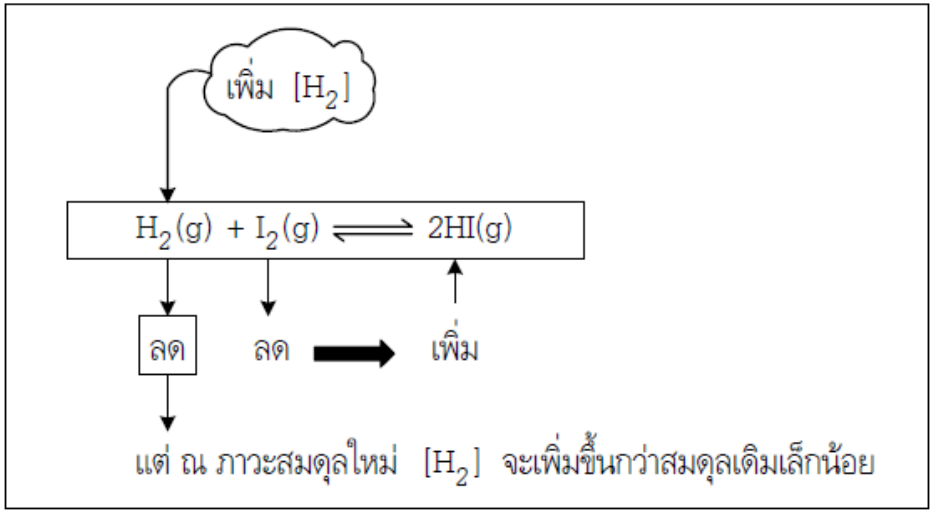
ความเข้มข้น

อธิบายกราฟ



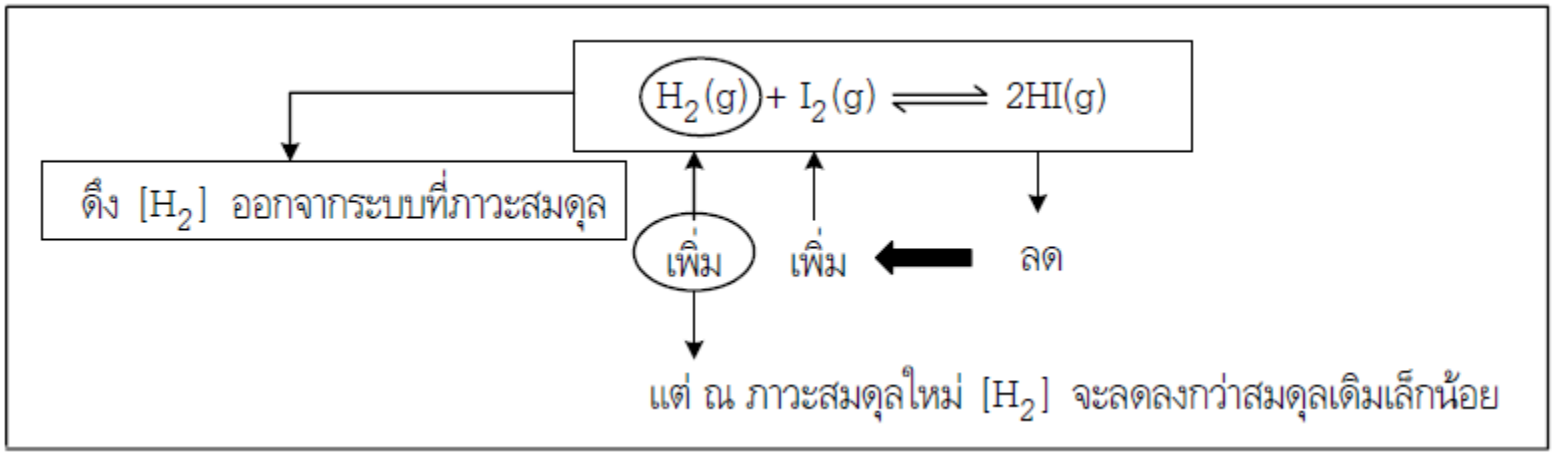
สรุปตามหลักของเลอชาเตอลิเอ

ถ้าเพิ่มความเข้มข้นของสารเข้าไปในระบบที่ภาวะสมดุล



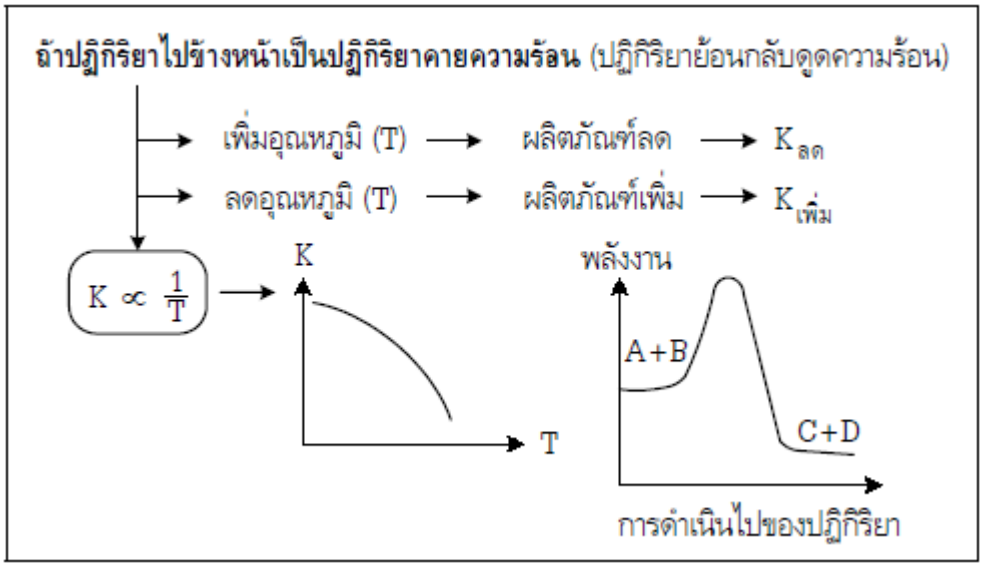
จงเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลาเมื่อระบบปรับเข้าสู่สมดุลใหม่

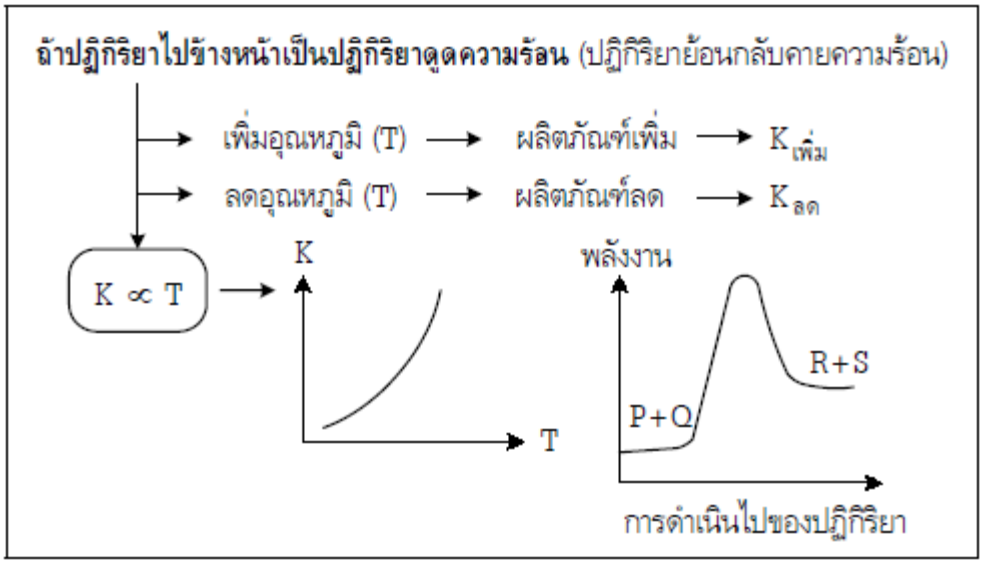
ถ้าลดความเข้มข้นของสารในระบบที่ภาวะสมดุล



จงเขียนกราฟระหว่างความเข้มข้นกับเวลาเมื่อระบบปรับเข้าสู่สมดุลใหม่

ผลของอุณหภูมิต่อสมดุลเคมี

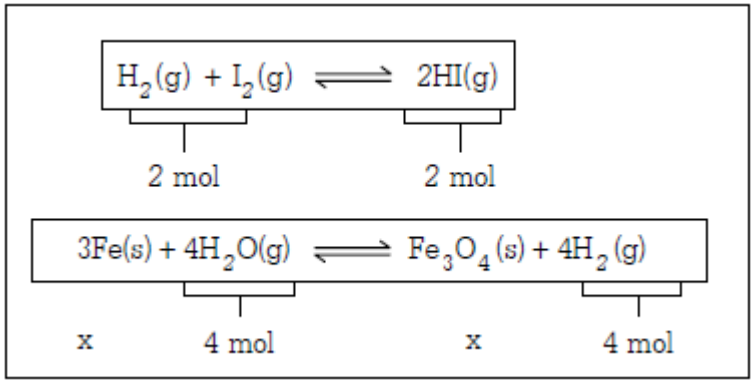




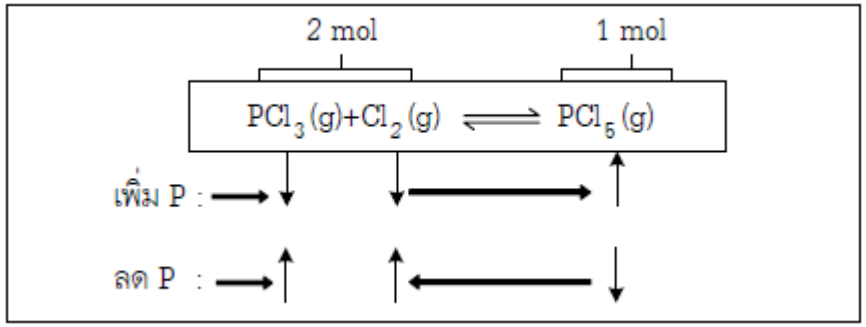
ถ้าปฏิกิริยาใด $\Delta H = 0$ อุณหภูมิไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ

ผลของความดันต่อสมดุลเคมี

ถ้าจำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดทางซ้ายของสมการเท่ากับจำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดทางขวาของสมการความดัน (P) ไม่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ แต่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา



ถ้าจำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดทางซ้ายของสมการ*ไม่เท่ากับ*จำนวนโมลของก๊าซทั้งหมดทางขวาของสมการความดันจะมีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ



ผลของความดันต่อสมดุลเคมี

จาก $PV = nRT \longrightarrow P = \frac{n}{V}RT$

$\therefore$ $P \propto 1/V$ ดังนั้น ถ้าเพิ่ม P = ลด V ทำให้ความเข้มข้นเพิ่ม (n/V)

ตัวอย่าง

$2N_2O(g) \rightleftharpoons 2N_2(g) + O_2(g)$

- $K_p = 2.25$
- ที่สมดุล $P_{N_2} = 1.5$ $P_{O_2} = 1.0$ $P_{N_2O} = 1.0$

$$\frac{P_{N_2}^2 P_{O_2}}{P_{N_2O}^2} = \frac{1.5^2 \cdot 1}{1^2} = 2.25 = K_p$$

- ลดปริมาตรลง 1 เท่า ($V' = 1/2\ V \longrightarrow P' = 2P$)

$P'_{N_2} = 3.0$ $P'_{O_2} = 2.0$ $P'_{N_2O} = 2.0$

$$\frac{P'^2_{N_2} P'_{O_2}}{P'^2_{N_2O}} = \frac{3^2 \cdot 2}{2^2} = 4.50 > K_p$$

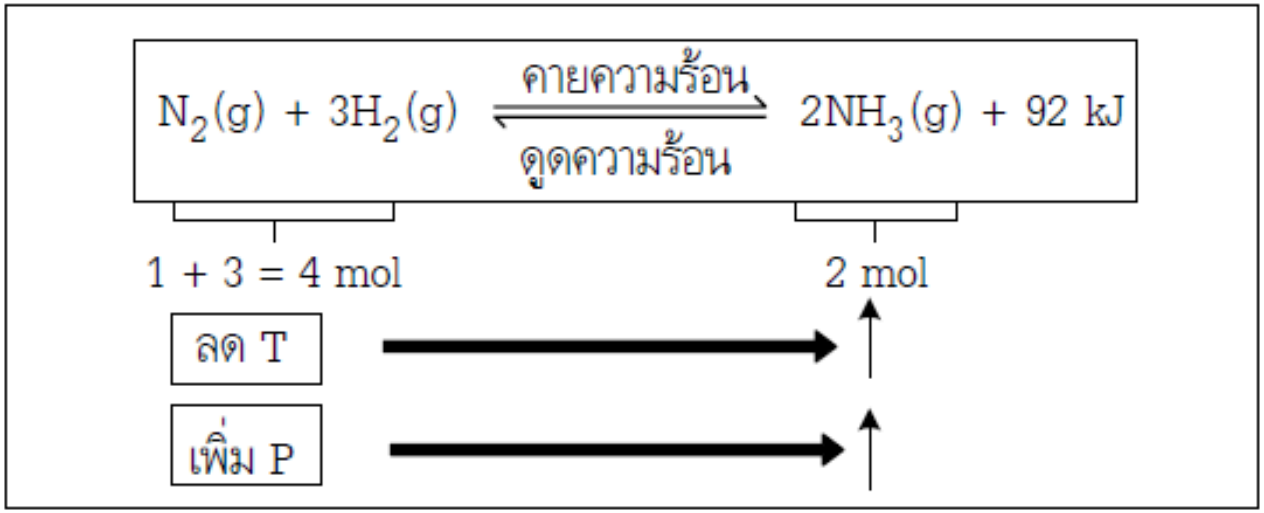
สมดุลย้อนกลับ (ไปทางแก๊สน้อย)

ตัวอย่าง จากสมดุล $4\,NH_3\,(g) + 5\,O_2\,(g) \rightleftharpoons 4\,NO\,(g) + 6\,H_2O\,(l)$ $\Delta H^0 = -248$ kJ

จงทำนายทิศทางการดำเนินไปของปฏิกิริยาเมื่อรบกวนสมดุลดังต่อไปนี้

ปัจจัยการรบกวน	ทิศทางที่ปฏิกิริยาดำเนินไป
a. เพิ่ม $NH_3\,(g)$	_____
b. ลด $O_2\,(g)$	_____
c. ลด $NO\,(g)$	_____
d. เพิ่มปริมาตรของภาชนะบรรจุ 2 เท่า	_____
e. เพิ่มอุณหภูมิ	_____
f. เพิ่มความดัน	_____

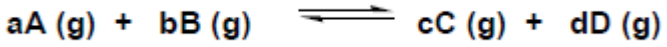
ประโยชน์ของหลักเลอชาเตอลิเอ



Haber's process การผลิตก๊าซแอมโมเนียในอุตสาหกรรม ใช้อุณหภูมิ 500 $^{\circ}C$ ความดัน 350 บรรยากาศ โดยมี Fe เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สมดุลของปฏิกิริยาเกี่ยวข้องกับแก๊ส

ถ้าสารอยู่ในสถานะก๊าซการหาความเข้มข้นจะยุ่งยากกว่า ดังนั้นเพื่อความสะดวกจะทำ การวัดความดันมากกว่าความเข้มข้น ดังนั้นค่าคงที่สมดุลที่วัดจากความดัน คือ Kp



$$K_p = \frac{(P_C)^c (P_D)^d}{(P_A)^a (P_B)^b}$$

จงเขียนสมการความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_c และ K_p

จาก PV = nRT

ตัวอย่าง 9 จากสมดุลของ $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$

ถ้า $K_P = 1.05$ ที่ $250\ ^0C$ ความดันย่อย $PCl_5 = 0.8$ atm , $PCl_3 = 0.4$ atm จงหาความดันย่อย Cl_2 ที่สมดุล (250^0C)

ตัวอย่าง 10 จากสมดุลของ $N_2(g) + 3H_2(g) \rightleftharpoons 2NH_3(g)$

ถ้า $K_P = 4.3 \times 10^{-4}$ ที่ $200\ ^0C$ จงหาค่า K_C

ตัวอย่าง 11 จงคำนวณหาค่า K_C สำหรับปฏิกิริยาดังต่อไปนี้

$$CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g) \qquad K_P = 2.1 \times 10^{-4} \text{ (ที่ 1000 K)}$$

(กำหนดให้ CO_2 มีความดันเป็นหน่วยบรรยากาศ)

ตัวอย่าง 12 การคำนวณค่า Δn ของปฏิกิริยาใดต่อไปนี้ผิด

ปฏิกิริยา A: $Na_2O_2(s) + CO_2(g) \rightleftharpoons Na_2CO_3(s) + O_2(g)$ $\Delta n = 0$

ปฏิกิริยา B: $P_4(g) + 5O_2(g) \rightleftharpoons P_4O_{10}(s)$ $\Delta n = 6$

ปฏิกิริยา C: $Al(s) + NaOH(aq) + H_2O(l) \rightleftharpoons Na[Al(OH)_4](aq) + H_2(g)$ $\Delta n = 1$

การทำนายทิศทางของปฏิกิริยา

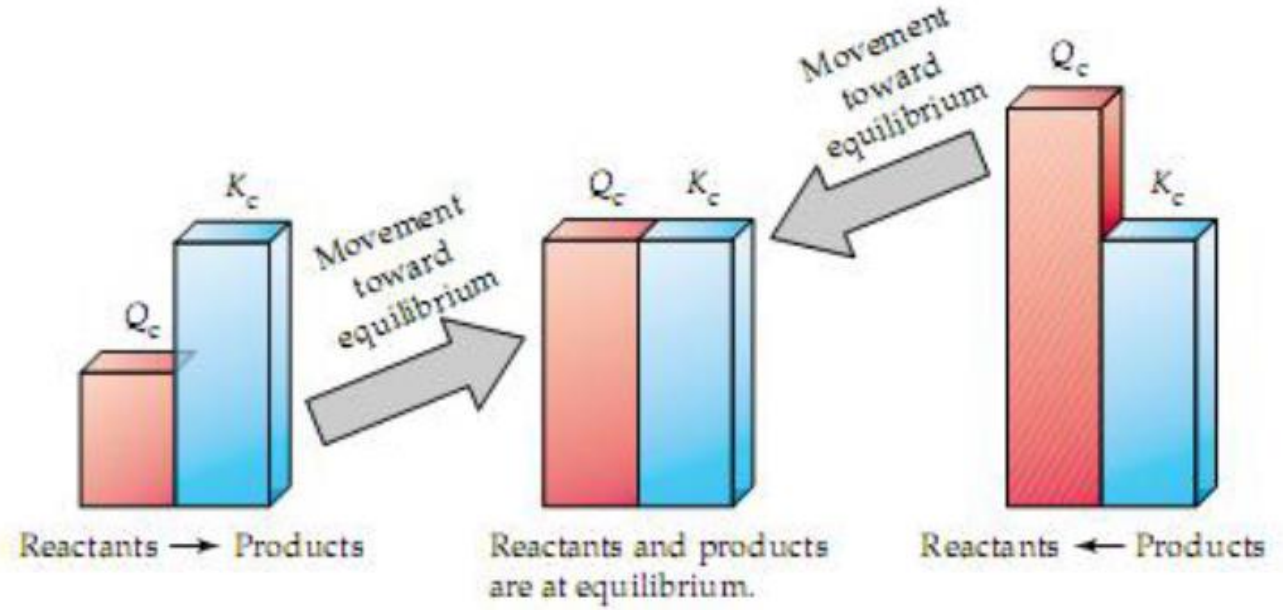
ถ้าในปฏิกิริยาที่เราพิจารณาไม่ได้อยู่ในภาวะสมดุลแต่ต้องการทำนายว่าปฏิกิริยา เกิดขึ้นในทิศทางใด มีแนวโน้มเป็นเช่นไร จะพิจารณาจากค่า Reaction quotient (Q_c)

"Q_c คือค่าที่ได้จากผลคูณความเข้มข้นของผลิตภัณฑ์ยกกำลังด้วย สัมประสิทธิ์ แสดงจำนวนโมลของสารในสมการที่ดุลแล้วหารด้วยผลคูณความเข้มข้นของตัวทำปฏิกิริยายกกำลังด้วยสัมประสิทธิ์แสดงจำนวนโมลของสารในสมการที่ดุลแล้ว"

ถ้า $Q_c = K_c$; สมดุล

$Q_c > K_c$; มี product มากเกินสมดุล ∴ ปฏิกิริยาต้องย้อนกลับ

$Q_c < K_c$; มี product น้อยกว่าสมดุล ∴ ปฏิกิริยาต้องไปข้างหน้า



$$aA(aq) + bB(aq) \rightleftharpoons cC(aq) + dD(aq)$$

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

ความเหมือน และความแตกต่างระหว่างผลหารปฏิกิริยา (Q) และค่าคงที่สมดุล (K)

	Q	**K**
นิยาม	$Q = \frac{[C]^c[D]^d}{[A]^a[B]^b}$ ใช้ความเข้มข้น ณ ขณะใดขณะหนึ่ง	$K = \frac{[C]_{eq}^c[D]_{eq}^d}{[A]_{eq}^a[B]_{eq}^b}$ ใช้ความเข้มข้นที่ภาวะสมดุล
ค่า	ไม่คงที่ (ขึ้นกับช่วงเวลาที่นำมาคำนวณ)	คงที่ (ณ อุณหภูมิคงที่)
หน่วย	ไม่มีหน่วย	ไม่มีหน่วย

ตัวอย่าง 13 จากสมดุลของ $N_2(g) + 3\,H_2(g) \rightleftharpoons 2\,NH_3(g)$

จำนวนโมลเริ่มต้น 0.8 mol 0.4 mol 0.1 mol

ในภาชนะ 2 L จงแสดงการเปรียบเทียบค่า K_C , Q_C (เมื่อ $K_C = 0.65$)

1. สมดุลหรือไม่ 2. ถ้าไม่ทิศทางปฏิกิริยาไปทางไหน

ตัวอย่าง 14 คลอโรมีเทน (CH_3Cl) เกิดขึ้นจากปฏิกิริยา

$CH_4(g) + Cl_2(g) \rightleftharpoons CH_3Cl(g) + HCl(g)$ โดยมีค่าคงที่สมดุล

$K_P = 1.6 \times 10^4$ ที่อุณหภูมิ 1500 K อยากทราบว่าในขณะที่ภาชนะซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นมีความดันย่อยของ CH_4, Cl_2, CH_3Cl และ HCl เป็น 0.13 atm, 0.035 atm, 0.24 atm และ 0.47 atm ตามลำดับ อยู่ในภาวะสมดุลหรือไม่? และถ้าไม่อยู่ในภาวะสมดุลอยากทราบว่าสารตัวใดกำลังเกิดเพิ่มขึ้น

ตัวอย่าง 15 ในการศึกษาการสลายตัวของไฮโดรเจน ฮาไลด์ นักวิจัยคนหนึ่งได้เติมแก๊ส HI ปริมาณ 0.200 โมลลงไปในขวดขนาด 2.00 dm^3 ซึ่งเป็นสุญญากาศในตอนต้น และปล่อยให้ปฏิกิริยาดำเนินไปที่อุณหภูมิ 453 °C ดังสมการ

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

พบว่าที่สภาวะสมดุล [HI] = 0.078 โมลาร์ จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาที่อุณหภูมิดังกล่าว

ตัวอย่าง 16 แก๊สอาร์ซีน (Arsine gas) หรือ AsH_3 เกิดการสลายตัวดังสมการต่อไปนี้:

$$2AsH_3(g) \rightleftharpoons As(s) + 3H_2(g)$$

ถ้าทำการเติมแก๊สอาร์ซีนเข้าไปในขวดแก้วปิดที่ว่างเปล่า (สุญญากาศ) จนมีความดัน 392 Torr และพบว่าที่สภาวะสมดุลมีความดันรวมอยู่ที่ 488 Torr จงคำนวณหาค่า K_p ของปฏิกิริยานี้ (กำหนดให้ ความดัน 1 บรรยากาศ = 760 Torr)

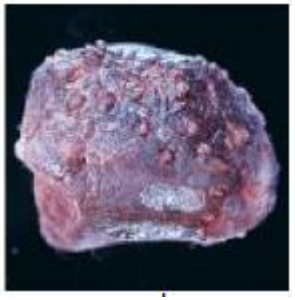
สมดุลของการละลาย (Solubility equilibrium)

สภาพการละลาย (Solubility) ของสาร หมายถึงความสามารถของสารที่จะละลายในสารอื่นจนเป็นสารละลายอิ่มตัว

รูป แสดงการละลายน้ำของซิลเวอร์คลอไรด์

รูป แสดงสารละลายอิ่มตัวของ CaF2

(McMURRY, Chemistry 4th edition)



รูป แสดงนิ่วในไต

เมื่อถึงภาวะสมดุลหรือในภาวะที่สารละลายอิ่มตัวแล้วอัตราการละลายจะเท่ากับอัตราการตกผลึกที่ภาวะนี้ระบบไม่ได้หยุดอยู่นิ่ง ยังคงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ที่เรียกว่าเป็น*ภาวะไดนามิก*

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

$$K_{sp} = [Ag^{+}][Cl^{-}]$$

K_{sp} (Solubility product constant)

Ag_2CO_3

$$Ag_2CO_3(s) \rightleftharpoons 2Ag^{+}\ (aq) + CO_3^{2-} \qquad K_{sp} = [Ag^{+}]^2[CO_3^{2-}]$$

CaF_2

$$CaF_2\ (s) \rightleftharpoons Ca^{2+}\ (aq) + 2F^{-}(aq) \qquad K_{sp} = [Ca^{2+}]\ [F^{-}]^2$$

เกลือออกเป็น 3 ประเภท

1) เกลือที่ละลายน้ำได้ (soluble salt) เป็นเกลือที่ละลายในน้ำ แล้วความเข้มข้นมากกว่า 0.1 M

2) เกลือที่ละลายไม่ละลายน้ำ (insoluble salt) เป็นเกลือที่ละลายในน้ำ แล้วความเข้มข้น น้อยกว่า 0.001 M

3) เกลือที่ละลายน้าได้น้อย (slightly soluble salt) เป็นเกลือที่ละลายในน้า แล้วความ เข้มข้น 0.001-0.1 M

ตาราง แสดงค่า Ksp ของสารประกอบต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25°C

Name	Formula	K_{sp}
Aluminum hydroxide	$Al(OH)_3$	1.9×10^{-33}
Barium carbonate	$BaCO_3$	2.6×10^{-9}
Calcium carbonate	$CaCO_3$	5.0×10^{-9}
Calcium fluoride	CaF_2	1.5×10^{-10}
Lead(II) chloride	$PbCl_2$	1.2×10^{-5}
Lead(II) chromate	$PbCrO_4$	2.8×10^{-13}
Silver chloride	$AgCl$	1.8×10^{-10}
Silver sulfate	Ag_2SO_4	1.2×10^{-5}

(McMURRY, Chemistry 4th edition)

ตัวอย่าง 17 การละลายของซิลเวอร์ซัลเฟต Ag_2SO_4 ละลายได้ 1.5×10^{-2} โมลต่อลิตร ที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$ จงคำนวณหาค่า K_{sp} ของซิลเวอร์ซัลเฟต

ตัวอย่าง 18 $Cu(OH)_2$ มีค่า K_{sp} เท่ากับ 2.2×10^{-20} เมื่อให้ $Cu(OH)_2$ ละลายในน้ำ จะละลายได้กี่กรัมที่อุณหภูมิ 25 $^{\circ}C$