เคมี

(สมดุลเคมี)

อ.บัวแก้ว รัตนกมุท

รร.เตรียมอุดมศึกษา

สมดุลเคมี

การเปลี่ยนแปลงที่ทำให้เกิดภาวะสมดุล

1. ภาวะสมดุลระหว่างสถานะ

$$I_2(s) \rightleftharpoons I_2(g)$$

2. ภาวะสมดุลในสารละลายอิ่มตัว

$$I_2(s) \rightleftharpoons I_2(ethanol)$$

3. สมดุลในปฏิกิริยาเคมี

$$2Fe^{3+}(aq) + 2I^-(aq) \rightleftharpoons 2Fe^{2+}(aq) + I_2(aq)$$

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

สีฟ้า สีเหลือง

การทดสอบ Fe^{3+} ใช้สารละลาย NH_4SCN เกิดสารละลายสีแดง

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

สีเหลืองอ่อน ไม่มีสี สีแดง

การทดสอบ Fe^{3+} ใช้สารละลาย $K_3Fe(CN)_6$ เกิดสารละลายสีน้ำตาลแกมเขียว

$$Fe^{3+}(aq) + [Fe(CN)_6]^{3-}(aq) \longrightarrow Fe[Fe(CN)_6](aq)$$

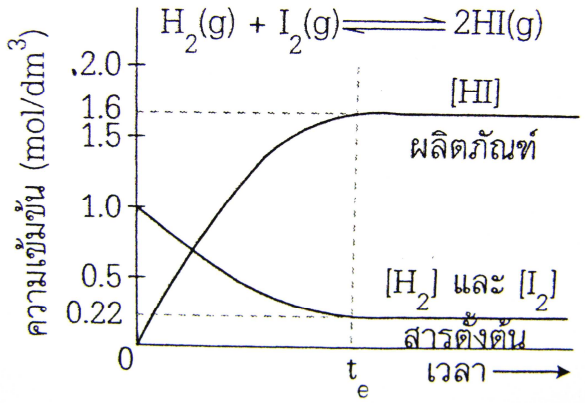
การทดสอบ Fe^{2+} ใช้สารละลาย $K_3Fe(CN)_6$ เกิดตะกอนสีน้ำเงิน

$$Fe^{2+}(aq) + [Fe(CN)_6]^{3-}(aq) + K^+(aq) \longrightarrow KFe[Fe(CN)_6](s)$$

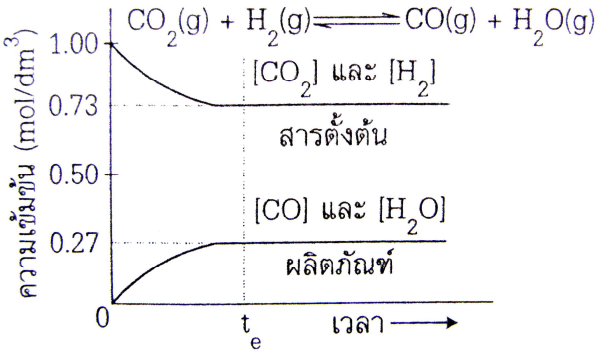
การทดสอบ I_2 ใช้น้ำแป้ง เกิดสารละลาย หรือตะกอนสีน้ำเงิน

สมดุลเอกพันธุ์ คือ ภาวะสมดุลที่เกิดในปฏิกิริยาที่มีสารอยู่ในวัฏภาคเดียวกันทั้งหมด

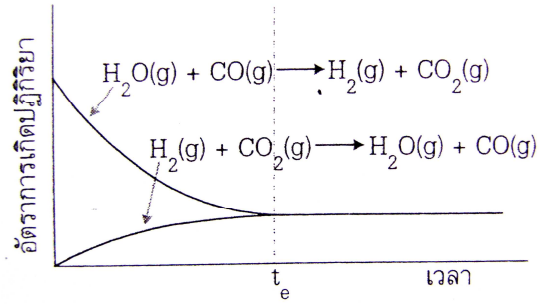
สมดุลวิวิธพันธุ์ คือ ภาวะสมดุลที่เกิดในปฏิกิริยาที่สารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์มีวัฏภาคแตกต่างกัน



กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาระหว่าง H_2 กับ I_2



กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาระหว่าง CO_2 กับ H_2



กราฟแสดงอัตราการเกิดปฏิกิริยาไปข้างหน้าและย้อนกลับต่อเวลาของปฏิกิริยา

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

ค่าคงที่สมดุลกับสมการเคมี

1. $3A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons C(g)$; $K = a$

   $C(g) \rightleftharpoons 3A(g) + 2B(g)$; $K = \boxed{\frac{1}{a}}$

2. $A(g) + 2B(g) \rightleftharpoons 2C(g)$; $K = b$

   $\frac{1}{2}A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$; $K = \boxed{(b)^{1/2}}$

3. $A(g) + B(g) \rightleftharpoons C(g)$; $K = y$

   $A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons 4C(g)$; $K = \boxed{xy}$

การระบุค่าคงที่สมดุล จำเป็นต้องแสดงสมการของปฏิกิริยาที่ภาวะสมดุลด้วย

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่างๆที่ 25 $^{\circ}$C ดังนี้

$2P(g) + 2Q(g) \rightleftharpoons 3R(g) + S(g)$: 1.0×10^{-4}

$A(g) + 3P(g) \rightleftharpoons 2S(g) + R(g)$: $K = 1.0 \times 10^{-2}$

ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้เป็นเท่าใด

$A(g) + 5R(g) \rightleftharpoons P(g) + 4Q(g)$

1) 1.0×10^{-2} 2) 1.0

3) 50 4) 1.0×10^{6}

ตัวอย่างที่ 2 จากค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาต่อไปนี้

$A(g) + 3B(g) \rightleftharpoons C(g)$ $K_1 = 30$

$3D(g) + 2E(g) \rightleftharpoons 2C(g)$ $K_2 = 20$

$2A(g) + 6B(g) \rightleftharpoons 3D(g) + 2E(g)$ $K3 = x$

X มีค่าเท่าใด

1) 10 2) 40

3) 45 4) 50

ตัวอย่างที่ 3 จากปฏิกิริยาที่สมดุลต่อไปนี้

ก. $S(s) + O_2(g) \rightleftharpoons SO_2(g)$ $K = a$

ข. $2S(s) + 3O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g)$ $K = b$

ค. $2SO_2(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2SO_3(g) + 2E(g)$

ค่คงที่สมดุลของปฏิกิริยา ค. มีค่าเท่าใด

1) $\frac{2b}{a}$ 2) $\frac{2}{a} + b$

3) $\frac{b}{a^2}$ 4) $\frac{b}{2a}$

ตัวอย่างที่ 4 ปฏิกิริยาในข้อใดมีค่า K_e เท่ากับ K_p

1. $N_2(g) + H_2(g) \rightleftharpoons NH_3(g)$
2. $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$
3. $H_2(g) + F_2(g) \rightleftharpoons HF(g)$
4. $O_3(g) \rightleftharpoons O_2(g)$

การคำนวณเกี่ยวกับค่าคงที่สมดุล

ตัวอย่างที่ 5 แก๊ส CO 0.05 โมล ทำปฏิกิริยากับแก๊ส Cl_2 0.06 โมล ในภาชนะขนาด 500 cm^3 หลังจากเกิดปฏิกิริยาดังสมการ พบว่าที่ภาวะสมดุลมี $COCl_2$ เกิดขึ้น 3.96 กรัม

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

ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาเป็นเท่าใด (มวลโมเลกุลของ $COCl_2$ = 99)

1) 6.7 2) 13.3

3) 100 4) 200

วิธีคิด

	$CO(g)$	+ $Cl_2(g)$	$\rightleftharpoons$ $COCl_2(g)$	
เริ่มต้น	0.1	0.12	-	(mol/dm^3)
เปลี่ยนไป	-0.08	-0.08	+0.08	
สมดุล	0.02	0.04	0.08	*K

$$K = \frac{[COCl_2]}{[CO][Cl_2]}$$

ตัวอย่างที่ 6 แก๊ส SO_3 สลายตัวได้ดังสมการ

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

การศึกษาการสลายตัวของ SO_3 ในระบบปิดโดยเริ่มต้นด้วย SO_3 จำนวน 2 โมล ในภาชนะ 2 ลิตร เมื่อถึงภาวะสมดุลพบว่า SO_3 สลายตัวไปร้อยละ 20 ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้เป็นเท่าใด

1) 0.006 2) 0.025

3) 0.125 4) 0.200

วิธีคิด

	$2SO_3(g)$	$\rightleftharpoons$ $2SO_2(g)$	+ $O_2(g)$	
เริ่มต้น	1	-	-	(mol/dm^3)
เปลี่ยนไป	-0.2	+0.2	+0.1	
สมดุล	0.8	0.2	0.1	*K

ตัวอย่างที่ 7 การสลายตัวของ ammonium hydrogen sulfide (NH_4HS) เกิดขึ้นดังสมการ

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

ถ้านำ NH_4HS หนัก 10.200 กรัม บรรจุในภาชนะขนาด 4.00 dm^3 ปล่อยให้สลายตัวจนถึงสมดุลที่ 27 °C พบว่าเกิดความดันรวมเท่ากับ 0.960 atm ค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยานี้ที่ 27 °C มีค่าเท่าใด (N = 14 , S = 32)

1) 4.0×10^{-3} 2) 8.0×10^{-3}

3) 4.0×10^{-4} 4) 8.0×10^{-4}

วิธีคิด

	$NH_4HS(s)$	$\rightleftharpoons$	$NH_3(g)$	+	$H_2S(g)$	
เริ่มต้น	0.2		-		-	(mol)
เปลี่ยนไป	-x		+ x		+ x	
สมดุล	0.2 – x		x		x	(mol)

$$PV = nRT$$

$$0.96 \times 4 = (2x)0.08 \times 273 + 27)$$

$$X = 0.08 \text{ (mol)}$$

ภาวะสมดุล $$[NH_3] = [H_2S] = \frac{0.08}{4} = 0.02 \text{ (mol/dm}^3\text{)}$$

$$K = [NH_3][H_2S]$$

ตัวอย่างที่ 8 ภาชนะปิดใบหนึ่งบรรจุของแข็ง N_2O_5 ไว้ 108 กรัม เมื่อเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิคงที่จะได้แก๊ส NO_2 และ O_2 ขึ้น ถ้าภาชนะนี้มีขนาด 1 ลิตร จะพบว่าที่สมดุล N_2O_5 จะสลายตัวไปร้อยละ 50 ดังนั้นค่าคงที่ปฏิกิริยาการสลายตัวนี้เท่ากับเท่าใด (มวลโมเลกุล N_2O_5 = 108)

1) 0.25 2) 1.00

3) 4.00 4) 8.00

ตัวอย่างที่ 9 HgS มีค่า K_{sp} เท่ากับ 2×10^{-49} ถ้าตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมีความเข้มข้นของ Hg^{2+} เท่ากับ 2×10^{-20} โมลาร์ และความเข้มข้นของ S^{2-} เท่ากับ 1×10^{-29} โมลาร์ ตัวอย่างน้ำเสียนี้มีสภาวะเป็นอย่างไร

1) เป็นสารละลายเจือจางของเกลือ HgS 2) เป็นสารละลายอิ่มตัวของเกลือ HgS

3) เกิดตะกอนของเกลือ HgS 4) สรุปไม่ได้

ตัวอย่างที่ 10 ค่าคงที่ของปฏิกิริยา $2HI(g) \rightleftharpoons H_2(g) + I_2(g)$ ที่ 30 °C เท่ากับ 1.6×10^{-3} และที่อุณหภูมิเดียวกันนี้พบว่า ในภาชนะขนาด 5 dm^3 แก๊สผสมที่ภาวะสมดุลประกอบด้วย H_2 0.4 mol, I_2 1.6 mol และมี HI จำนวนหนึ่ง จงหาจำนวนโมลของ HI (ตอบ 20mol)

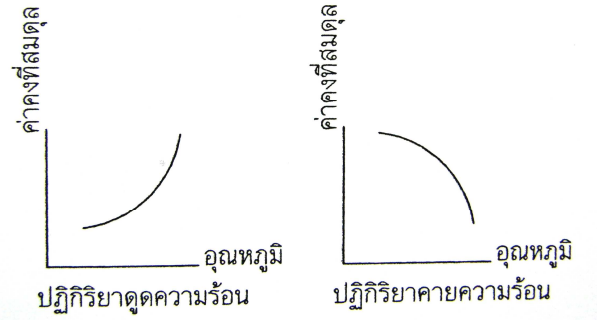
ตัวอย่างที่ 11 ภาชนะปิดใบหนึ่งบรรจุSO_2 ไว้ 0.5 บรรยากาศ และ O_2 ไว้ 1.0 บรรยากาศ เมื่อเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิคงที่จนได้ SO_3 ขึ้น พบว่าความดันรวมเป็น 1.3 บรรยากาศ โดยที่ปฏิกิริยาที่ผันกลับได้ ข้อใด**ไม่ถูก**

1) SO_2 สลายตัวไปร้อยละ 80 2) O_2 สลายตัวไปร้อยละ 20

3) ค่าคงที่สมดุลเท่ากับ 20 4) ร้อยละของผลได้จากปฏิกิริยาเท่ากับ 86.67

ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุล

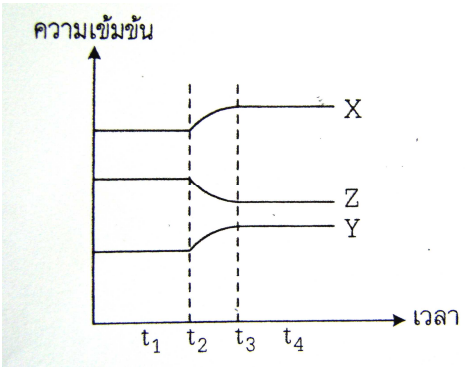
1. การเปลี่ยนความเข้มข้น
2. การเปลี่ยนความดันจะมีผลเฉพาะสถานะแก๊ส
3. การเปลี่ยนอุณหภูมิ



หลักของเลอชาเตอลิเอ

เมื่อระบบอยู่ในภาวะสมดุลถูกรบกวนโดยการเปลี่ยนแปลง ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลของระบบ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปทิศทางที่จะลดผลของการรบกวนนั้น เพื่อให้เข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้ง

ตัวอย่างที่ 12 จากปฏิกิริยา $X(g) + Y(g) \rightleftharpoons Z(g)$; H 0 kJ เมื่อนำความเข้มข้นของสารแต่ละชนิดในช่วงเวลาต่างๆ มาเขียนกราฟได้ผลดังนี้



จากกราฟ ที่เวลา t_2 ระบบจะถูกรบกวนด้วยปัจจัยข้อใด

1) การเพิ่มอุณหภูมิ
2) การเพิ่มความดัน
3) การเพิ่มความเข้มข้นของ X(g)
4) การลดความเข้มข้นของ Z(g)

ตัวอย่างที่ 13 ปฏิกิริยาในข้อใดที่เมื่อเพิ่มความดันหรืออุณหภูมิให้แก่ระบบ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงไปสู่สมดุลใหม่ในทิศทางเดียวกัน

1) $2CO(g) + O_2(g) \rightleftharpoons 2CO_2(g)$ $\Delta H < 0$ kJ
2) $2HCl(g) \rightleftharpoons H_2(g) + Cl_2(g)$ $\Delta H > 0$ kJ
3) $2NO_2(g) \rightleftharpoons 2NO(g) + O_2(g) + 182$ kJ
4) $2SO_3(g) + 197.6$ kJ $\rightleftharpoons 2SO_2(g) + O_2(g)$

ตัวอย่างที่ 14 แก๊ส PCl_5 สลายตัวได้ดังสมการ $PCl_5(g) \rightleftharpoons PCl_3(g) + Cl_2(g)$ เมื่อทำให้ PCl_5จำนวนหนึ่งสลายตัวในภาชนะขนาด 500 มิลลิลิตร ที่ 250 $^\circ$C เมื่อถึงภาวะสมดุล พบว่ามี PCl_5จำนวน0.0625 โมล และ Cl_2 จำนวน 0.0375 โมล

ถ้าเพิ่มอุณหภูมิให้เป็น 300 $^\circ$C พบว่าที่สมดุลใหม่มี PCl_3 จำนวน 0.0400 โมล

ข้อสรุปใดถูกต้อง

1) เป็นการเปลี่ยนแปลงประเภทดูดความร้อน
2) ค่าคงที่สมดุลที่ 300 $^\circ$C เท่ากับ 0.053
3) ที่ 300 $^\circ$C ณ ภาวะสมดุล มี PCl_5 จำนวน 0.12 โมลต่อลิตร
4) ข้อ 1), 2) และ 3) ถูก

ตัวอย่างที่ 15 ปฏิกิริยาการสลายตัวของ $COCl_2(g)$ เป็นดังนี้

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

จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 230 $^\circ$C มี $K = 1.3 \times 10^{-5}$

430 $^\circ$C มี $K = 3.2 \times 10^{-2}$

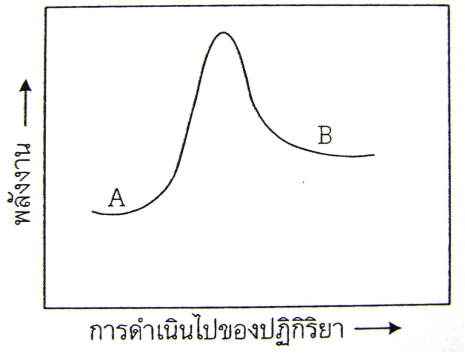
ข้อสรุปต่อไปนี้ ข้อใดผิด

1) เป็นปฏิกิริยาประเภทดูดความร้อน
2) เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากัน ภาวะสมดุลที่ 430 $^\circ$C จะมี Cl_2 มากกว่าที่ 230 $^\circ$C
3) ภาวะสมดุลที่ 230 $^\circ$C เมื่อเติม CO ลงไปอีกจำนวนหนึ่ง หลังจะระบบปรับเข้าสู่สมดุลใหม่ ความเข้มข้นของ Cl_2จะน้อยกว่าเดิม
4) ภาวะสมดุลที่ 230 $^\circ$C เมื่อลดปริมาตรภาชนะลงครึ่งหนึ่ง หลังจากระบบปรับเข้าสู่สมดุลใหม่ ความเข้มข้นของ CO จะน้อยกว่าเดิม

วิธีคิด เมื่อลดปริมาตรภาชนะ ความเข้มข้นของแก๊สทุกชนิดในภาชนะ จะมีความเข้มข้นมากกว่าเดิม

ตัวอย่างที่ 16 จากปฏิกิริยาที่สมดุล $A(g) \rightleftharpoons B(g)$

พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับการดำเนินไปของปฏิกิริยาเป็นไปตามรูป



ข้อความใดถูกต้อง

1) การเติมตัวเร่งลงในปฏิกิริยาจะทำให้ค่าคงที่สมดุลมีค่ามากขึ้น
2) การเพิ่มอุณหภูมิทำให้เกิด B มากขึ้น ค่าคงที่สมดุลมีค่ามากขึ้น
3) การเพิ่มความดันมีผลทำให้ปริมาณ B ลดลง สมดุลเคลื่อนไปทางสารตั้งต้น
4) การเติมตัวเร่งลงไปในปฏิกิริยาจะทำให้เกิด B มากขึ้น สมดุลจะเคลื่อนไปทางผลิตภัณฑ์

ตัวอย่างที่ 17 ปฏิกิริยาระหว่าง A และ B สามารถให้ผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด คือ C และ D โดยแต่ละปฏิกิริยามีค่า Ea และพลังงานในการเกิดปฏิกิริยาดังนี้

ปฏิกิริยาที่ 1 : $A+B \rightleftharpoons C$ $\quad Ea = 200\ kJ$; $\quad \Delta H = +100\ kJ$

ปฏิกิริยาที่ 2 : $A+B \rightleftharpoons D$ $\quad Ea = 400\ kJ$; $\quad \Delta H = -100\ kJ$

ข้อสรุปที่ถูกต้องที่สุดเกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่าง A และ B คือข้อใด

1) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ปฏิกิริยาที่ 1 จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง
2) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ปฏิกิริยาที่ 2 จะมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาลดลง
3) ปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่ 1 มีพลังงานกระตุ้นสูงกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่ 2
4) ปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่ 2 มีพลังงานกระตุ้นสูงกว่าปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาที่ 1

ตัวอย่างที่18 ที่ 250 $^{\circ}$C แก๊ส ACl_5 สลายตัวดังสมการ (A เป็นธาตุสมมติ)

$$ACl_5(g) \rightleftharpoons ACl_3(g) + Cl_2(g)$$

เมื่อนำ $ACl_5(g)$ 0.201 mol มาทำให้สลายตัวในภาชนะขนาด 1 dm^3 ที่ภาวะสมดุล พบว่ามี $Cl_2(g)$ เกิดขึ้น 0.001 mol ถ้าเริ่มต้นปฏิกิริยาใหม่โดยใช้ $ACl_5(g)$ 0.200 mol ใส่ภาชนะขนาดเท่าเดิม หลังจากสลายตัวจนถึงภาวะสมดุลจะมี $ACl_3(g)$ กี่โมล

1) 0.001 2) 0.002
3) 0.023 4) 0.003

วิธีคิด การทดลองครั้งที่ 1 $ACl_5(g) \rightleftharpoons ACl_3(g) + Cl_2(g)$

สมดุล $\quad 0.201 - 0.001 \quad 0.001 \quad 0.001 \quad (mol/dm^3)$

$$K = \frac{(0.001)^2}{0.2} = 5 \times 10^{-6}$$

การทดลองครั้งที่ 2 $ACl_5(g) \rightleftharpoons ACl_3(g) + Cl_2(g)$

สมดุล $\quad 0.2 - x \quad x \quad x \quad (mol/dm^3)$

อุณหภูมิคงที่ ค่าคงที่สมดุลของ 2 การทดลองจะเท่ากัน

$$5 \times 10^{-6} = \frac{x^2}{0.2 - x}$$