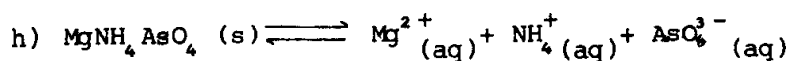
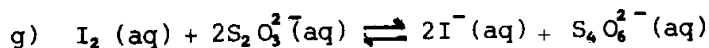
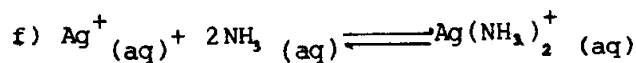
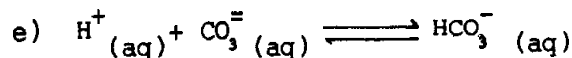
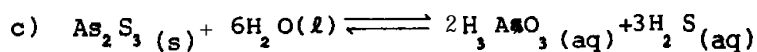
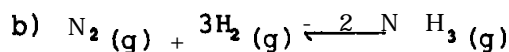
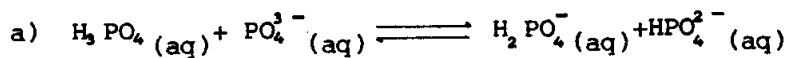


แบบฝึกหัดบทที่ 2

สมดุลทางเคมี

1) จงเขียนค่าคงที่ของสมดุล (equilibrium constant) ของปฏิกิริยาต่อไปนี้

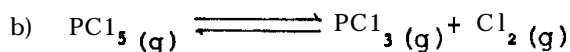
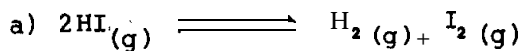


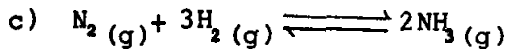
คำตอบ (เฉพาะข้อ a) และ b))

a)
$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}_2\text{PO}_4^-][\text{HPO}_4^{2-}]}{[\text{H}_3\text{PO}_4][\text{PO}_4^{3-}]}$$

b)
$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{NH}_3]^2}{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}$$

2) ปฏิกิริยาต่อไปนี้ เป็นปฏิกิริยาของแก๊ส





จงอธิบายว่าสมดุลของปฏิกิริยาจะเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใดเมื่อ

I) ปริมาตรของระบบลดลง และ II) ความดันทั้งหมดของระบบลดลง

คำตอบ

- ปริมาตรลดลงสมดุลของปฏิกิริยาจะย้อนกลับไปทางซ้ายมือ ความดันลดลงจะไม่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา
- ปริมาตรลดลงสมดุลของปฏิกิริยาจะย้อนกลับไปทางซ้ายมือ ความดันลดลงจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดได้ดีขึ้น
- ปริมาตรลดลงสมดุลของปฏิกิริยาจะย้อนกลับไปทางซ้ายมือ ความดันลดลงจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาย้อนกลับไปทางซ้ายมือ

3) ถ้าปฏิกิริยา $Ag^+ + 2CN^- \rightleftharpoons Ag(CN)_2^-$ ถึงสมดุล

จงทำนายว่าจะมีผลเกิดขึ้นอย่างไรต่อความเข้มข้นของ $[Ag(CN)_2^-]$ เมื่อ

- เติมของแข็ง $AgNO_3$ ลงไปในสารละลาย
- เติมแก๊ส NH_3 ซึ่งจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน $Ag(NH_3)_2^+$ กับเงินไอออน
- เติมของแข็ง NaI ลงไปในสารละลาย ซึ่งจะทำให้เกิดตะกอน AgI

คำตอบ

- ความเข้มข้นของ $[Ag(CN)_2^-]$ น้อยลง โดยจะเกิดตะกอน $AgAg(CN)_2$ ขึ้นแทน
- ความเข้มข้นของ $Ag(CN)_2^-$ น้อยลง
- ความเข้มข้นของ $Ag(CN)_2^-$ น้อยลง

4) ฝึกหัดทำด้วยตนเอง

5) ที่อุณหภูมิ $0^\circ C$ $ZnSO_4$ ละลายได้ 4.2 กรัม ในน้ำ 100 กรัม และที่อุณหภูมิ $100^\circ C$ $ZnSO_4$ ละลายได้ 81 กรัม ในน้ำ 100 กรัม แสดงว่าการละลายของ $ZnSO_4$ ในน้ำจะคายความร้อนหรือดูดความร้อน

คำตอบ ดูดความร้อน

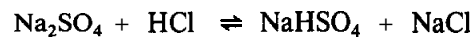
6) ฝึกหัดทำด้วยตนเอง

7) สารละลายชนิดหนึ่งเตรียมโดยใช้ 0.01 โมลของ $NaHSO_4$ ที่เป็นของแข็ง และ 0.01 โมลของ Na_2SO_4 ที่เป็นของแข็งทำเป็นสารละลายด้วย $1.0 \times 10^{-3} M$ HCl จำนวน 1 ลบ.คม.

ที่สมดุลความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะมากกว่าหรือน้อยกว่า 1.0×10^{-3} M

สำหรับปฏิกิริยา $\text{HSO}_4^- + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SO}_4^{2-}$ มีค่า $K_2 = 1.20 \times 10^{-2}$

คำตอบ เมื่อเตรียมเป็นสารละลาย Na_2SO_4 จะเกิดปฏิกิริยากับ HCl



$$\therefore c_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 0.01 - 1.0 \times 10^{-3} = 0.009 \text{ M}$$

$$c_{\text{NaHSO}_4} = 0.01 + 1.0 \times 10^{-3} = 0.011 \text{ M}$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}_3\text{O}^+][\text{SO}_4^{2-}]}{[\text{HSO}_4^-]}$$

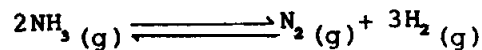
$$1.20 \times 10^{-2} = [\text{H}_3\text{O}^+] \times \frac{0.009}{0.011}$$

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = 1.20 \times 10^{-2} \times \frac{0.011}{0.009}$$

$$= 1.47 \times 10^{-2}$$

นั่นคือ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนจะมากกว่า 1.0×10^{-3} M

8) ที่สมดุลของสารผสมที่ 377°C สำหรับปฏิกิริยา

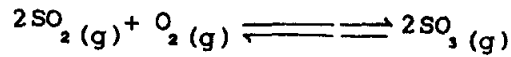


พบว่าในปริมาตร 1 ลบ.คม. ประกอบด้วย 0.0100 โมลของ NH_3 0.100 โมลของ N_2 และ 0.162 โมลของ H_2 จงคำนวณหาค่าคงที่ของสมดุลโดยใช้ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของปฏิกิริยานี้ (ตอบ 4.25)

คำตอบ

$$\begin{aligned} K_{\text{eq}} &= \frac{[\text{N}_2][\text{H}_2]^3}{[\text{NH}_3]^2} \\ &= \frac{(0.100)(0.162)^3}{(0.01)^2} \\ &= 4.25 \end{aligned}$$

9) ในปฏิกิริยาของแก๊สที่เกิดขึ้นดังนี้



ค่าคงที่ของสมดุลที่คำนวณจากความเข้มข้นเป็นโมลาร์มีค่าเท่ากับ 5,800 ที่ 600°C ถ้านำ 0.150 โมลของ SO_2 และ 6.00 โมลของ O_2 มาผสมกันในภาชนะที่มีปริมาตร 6 ลบ.คม. จงหาความเข้มข้นของ SO_3 ที่สมดุล (ตอบ 0.0247 M)

คำตอบ

$$K_{\text{eq}} = 5,800 = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}$$

สมมติให้มี SO_3 เกิดขึ้นเท่ากับ x โมล

$$[\text{SO}_3] = \frac{x}{6} \quad \text{โมลต่อ ลบ.คม.}$$

$$[\text{SO}_2] = \frac{0.150 - x}{6} \quad \text{โมลต่อ ลบ.คม.}$$

$$[\text{O}_2] = \frac{6 - 0.5x}{6} \quad \text{โมลต่อ ลบ.คม.}$$

แทนค่าลงในสมการค่าคงที่ของสมดุล

$$5800 = \frac{\left(\frac{x}{6}\right)^2}{\left(\frac{0.150 - x}{6}\right)^2 \left(\frac{6 - 0.5x}{6}\right)}$$

$$= \frac{6x^2}{(0.150 - x)^2(6 - 0.5x)}$$

ประมาณการให้ $0.5x \ll 6$ ดังนั้นให้ตัดค่า $0.5x$ ทิ้งได้

$$\therefore 5800 = \frac{x^2}{(0.150 - x)^2}$$

$$\sqrt{5800} = \frac{x}{0.150 - x} = 76.16$$

$$x = 11.42 - 76.16x$$

$$x = \frac{11.42}{71.16} = 0.148$$

$$\therefore [\text{SO}_3]_{\text{ที่สมดุล}} = \frac{0.148}{6} = 0.0247 \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

- 10) ถ้าความเข้มข้นที่สมดุลของ SO_3 และ SO_2 มีค่าเท่ากันในปฏิกิริยาของข้อ 9 ดังนั้นที่สมดุล จะมีความเข้มข้นของ O_2 เท่าไร (ตอบ $1.72 \times 10^{-4} \text{ M}$)

คำตอบ

$$K_{\text{eq}} = 5800 = \frac{[\text{SO}_3]^2}{[\text{SO}_2]^2 [\text{O}_2]}$$

$$\text{เมื่อ } [\text{SO}_3] = [\text{SO}_2]$$

$$\therefore [\text{O}_2] = \frac{1}{5800} = 1.72 \times 10^{-4} \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

- I 1) ถ้าปฏิกิริยา $\text{N}_2\text{O}_4 (\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2 (\text{g})$ มีค่าคงที่ของสมดุลเป็น 0.0510 ที่ 320°K จงคำนวณหาว่าจะมี NO_2 กี่กรัมในสมดุลที่มี 10.0 กรัมของ N_2O_4 ใน ปริมาตร 5.00 ลบ.คม. (ตอบ 7.65 กรัม)

คำตอบ M.W. $\text{NO}_2 = 46$, M.W. $\text{N}_2\text{O}_4 = 92$

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

$$[\text{N}_2\text{O}_4] = \frac{10.0}{92} \times \frac{1}{5} = 0.0217 \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

$$0.0510 = \frac{[\text{NO}_2]^2}{0.0217}$$

$$[\text{NO}_2] = \sqrt{1.109 \times 10^{-3}} = 0.0333 \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

$$\text{ปริมาณ } \text{NO}_2 \text{ ที่สมดุล} = 0.0333 \times 5 \times 46 = 7.65 \text{ กรัม}$$

- 12) สมดุลของปฏิกิริยา $2\text{HF}_{(\text{g})} \rightleftharpoons \text{H}_{2(\text{g})} + \text{F}_{2(\text{g})}$ มีค่าเท่ากับ 1.00×10^{-13} ที่ 1000°C จงหาว่าในภาชนะที่มีปริมาตร 2 ลบ.คม. และมี H_2 1.00 โมล, F_2 1.00 โมล ที่สมดุล จะมี HF อยู่ที่โมล (ตอบ 3.16×10^{-7})

คำตอบ

$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}_2][\text{F}_2]}{[\text{HF}]^2}$$

$$1.00 \times 10^{-13} = \frac{\left(\frac{1}{2}\right)\left(\frac{1}{2}\right)}{[\text{HF}]^2}$$

$$[\text{HF}]^2 = \frac{1}{4 \times 10^{-13}} = 2.5 \times 10^{-14}$$

$$[\text{HF}] = 1.58 \times 10^{-7} \text{ โมลต่อ ลบ.คม.}$$

$$\text{ปริมาณ HF ที่สมดุล} = 1.58 \times 10^{-7} \times 2 = 3.16 \times 10^{-7} \text{ โมล}$$

13) จงคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีเฉลี่ย (mean activity coefficient) ของสารละลายของเกลือต่อไปนี้

a) 0.0500 F LiCl μ 0.025

b) 0.001667 F $\text{Al}(\text{ClO}_4)_3$ μ 0.747

c) 0.005000 F $\text{Na}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ μ 0.462

d) 0.03333 F K_2HPO_4 μ 0.507

e) 6.667×10^{-3} F $\text{La}_2(\text{SO}_4)_3$ μ 0.813

คำตอบ (เฉพาะข้อ a))

a) ค่าความแรงของไอออนของสารละลาย 0.0500 F LiCl หาได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.0500 \times 1^2 + 0.0500 \times 1^2) \\ &= 0.0500 \end{aligned}$$

วิธีที่ 1

จากสมการที่ 2.8 หน้า 13 ในหนังสือเคมีวิเคราะห์ (CH233) หมายเลขการพิมพ์ 3264

$$\begin{aligned} \log f_{\pm} &= \frac{-0.512 Z_m Z_n \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} \\ &= \frac{-0.512 \times 1 \times 1 \sqrt{0.0500}}{1 + \sqrt{0.0500}} \\ &= \frac{-0.512 \times 0.2236}{1.2236} \\ &= -0.0936 = \bar{1}.9064 \\ f_{\pm} &= 0.806 \end{aligned}$$

ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีเฉลี่ยของสารละลาย 0.0500 F LiCl มีค่าเท่ากับ 0.806

วิธีที่ 2

จากสมการที่ 2.7 หน้า 13 ในหนังสือ เคมีวิเคราะห์ 1 (CH 233) หมายเลขการพิมพ์ 3264

$$(f_{\pm})^{m+n} = (f_A)^m (f_B)^n$$

จากตารางที่ 2.1 ในหนังสือเคมีวิเคราะห์ 1 (CH 233) หมายเลขการพิมพ์ 3264

$$f_{\text{Li}}(\text{ที่ } \mu = 0.05) = 0.845$$

$$f_{\text{Cl}}(\text{ที่ } \mu = 0.05) = 0.805$$

$$\therefore (f_{\pm})^2 = (0.845) (0.805)$$

$$f_{\pm} = \sqrt{0.6802}$$

$$= 0.825$$

14) จงคำนวณหาค่าความแรงของไอออนของสารละลายต่อไปนี้

a) 0.05 M KNO_3

b) สารละลายผสมของ 0.05 M KMnO_4 และ 0.01 M NaNO_3

c) สารละลายผสมของ 0.02 M MgCl_2 , 0.01 M NaCl และ 0.03 M ZnSO_4

d) 0.1 M H_2SO_4

d) 0.01 M $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

f) 0.01 M CH_3COOH

คำตอบ (เฉพาะข้อ a) และ b))

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad \mu &= \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.05 \times 1^2 + 0.05 \times 1^2) \\ &= 0.05 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad \mu &= \frac{1}{2} \sum C_i Z_i^2 \\ &= \frac{1}{2} (0.05 \times 1^2 + 0.05 \times 1^2 + 0.01 \times 1^2 + 0.01 \times 1^2) \\ &= 0.06 \end{aligned}$$

15) จงคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของโซเดียมไอออนในสารละลายต่อไปนี้

a) 0.01 M NaCl

b) สารผสมของ 0.02 M NaCl และ 0.03 M NaNO₃

c) สารละลายผสมของ 0.05 M NaClO₄ และ 0.03 M HCl

คำตอบ (เฉพาะข้อ b))

$$\begin{aligned} \text{b) สารละลายผสมมีค่า } \mu &= \frac{1}{2}(0.02 \times 1^2 + 0.02 \times 1^2 + 0.03 \times 1^2 + 0.03 \times 1^2) \\ &= 0.05 \end{aligned}$$

จากสมการ

$$\begin{aligned} \log f_i &= \frac{-0.512Z_i^2\sqrt{\mu}}{1+\sqrt{\mu}} \\ &= \frac{-0.512 \times 1^2 \times \sqrt{0.05}}{1+\sqrt{0.05}} \\ &= -0.0936 \\ f_i &= 0.806 \end{aligned}$$

16) ผีกัดทำด้วยตนเอง

17) โดยการใช้สมการที่ 2.4, 2.5, 2.7 และตารางที่ 2.1 จงคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีเฉลี่ย (f_{\pm}) ของเกลือที่ละลายในสารละลายต่อไปนี้

a) 0.0250 F CaI₂ ในน้ำ ตอบ 0.630

b) 0.00100 F BaCl₂ ในสารละลาย 0.0300 F KNO₃ ตอบ 0.708

c) 0.0050 F AlCl₃ ในสารละลาย 0.0100 F NaNO₃ ตอบ 0.603

d) 0.0150 F NaHCO₃ ในน้ำ ตอบ 0.884

e) 0.0300 F K₂CrO₄ ในสารละลายผสมของ 0.100 F NaOH และ 0.200 F LiClO₃

F LiClO₃

ตอบ 0.242

คำตอบ (เฉพาะข้อ b))

$$\begin{aligned} \text{ค่าความแรงของไอออนในสารละลาย } (\mu) &= \frac{1}{2}(0.00100 \times 2^2 + 0.00200 \times 1^2 + \\ &\quad 0.0300 \times 1^2 + 0.0300 \times 1^2) \\ &= 0.066 \\ &= 0.033 \end{aligned}$$

จากสมการ

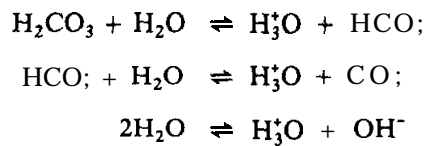
$$\begin{aligned} \log f_{\pm} &= \frac{-0.512Z_m Z_n \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}} \\ &= \frac{-0.512 \times 2 \times 1 \sqrt{0.033}}{1 + \sqrt{0.033}} \\ &= -\frac{0.186}{1.182} = -0.1574 \\ &= -1.8426 \\ &= 0.696 \end{aligned}$$

18) จงสร้างสมการประจุสมดุลและมวลสมดุลของสารละลายต่อไปนี้

- | | | |
|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| a) H_2CO_3 | d) Ag_2S | g) $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ |
| b) Na_2HPO_4 | e) $\text{Mg}(\text{OH})_2$ | h) NaHCO_3 |
| c) H_2S | f) NH_4Cl | i) K_2CrO_4 |

คำตอบ (เฉพาะข้อ a) และ b))

a) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในสารละลาย คือ



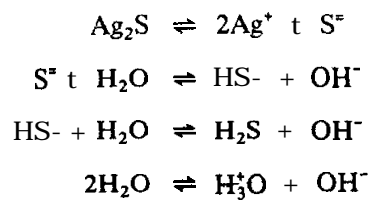
สมการประจุสมดุล (CBE) คือ

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}]$$

สมการมวลสมดุล (MBE) คือ

$$C_{\text{H}_2\text{CO}_3} = [\text{H}_2\text{CO}_3] + [\text{HCO}_3^-] + [\text{CO}_3^{2-}]$$

b) ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในสารละลายคือ



สมการประจุสมดุล (CBE) คือ

$$[\text{Ag}^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HS}^-] + 2[\text{S}^{2-}]$$

สมการมวลสมดุล (MBE) คือ

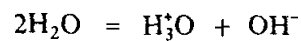
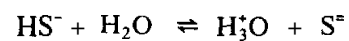
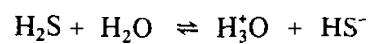
$$\frac{1}{2}[\text{Ag}^+] = [\text{S}^-] + [\text{HS}^-] + [\text{H}_2\text{S}]$$

19) จงสร้างสมการโปรตอนสมดุลของสารละลายต่อไปนี้

- | | | |
|------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| a) H_2S | d) NH_3 | g) H_2CO_3 |
| b) H_2SO_4 | e) NH_4Cl | h) HCOOH |
| c) Na_2HPO_4 | f) $\text{CH}_3\text{COONH}_3$ | i) KCN |

คำตอบ (เฉพาะข้อ a) และ b))

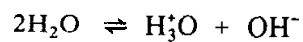
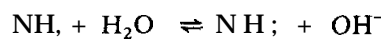
a) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสารละลาย คือ



สมการโปรตอนสมดุล (PBE) คือ

$$[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-] + [\text{HS}^-] + 2[\text{S}^{2-}]$$

b) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสารละลาย คือ



สมการโปรตอนสมดุล (PBE) คือ

$$[\text{NH}_4^+] + [\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$$