

รู้จักกับผู้สอน

Part 2 (สอบ Mid 2 เทอม 1/65)

- สมดุลเคมี
- การวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

ผศ.ดร. ธาณินทร์ แดงกวารัมย์

สาขาวิชาเคมีประยุกต์/เคมี คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เว็บไซต์ www.appliedchem.mju.ac.th

http://www.appliedchem.mju.ac.th/wtms_webpageDetail.aspx?wID=1284



Scan here

4. สมดุลทางเคมี (Chemical equilibrium)

❖ แนวคิดเกี่ยวกับแอกติวิตี (The activity concept)

1. สารบริสุทธิ์จะมีสถานะเป็นกลาง (neutral molecules)
2. ไอออน (ions) คือสารประกอบที่เกิดการละลาย
3. อิเล็กโทรไลต์แก่ (strong electrolyte) คือสารประกอบที่เกิดการละลายได้ดี
4. อิเล็กโทรไลต์อ่อน (weak electrolyte) คือสารประกอบที่เกิดการละลายได้เพียงเล็กน้อย

การนำไฟฟ้า ; strong electrolyte > weak electrolyte

แนวคิดเกี่ยวกับแอกติวิตี (The activity concept) (ต่อ)

- ❖ สารละลายที่มีความเข้มข้นมาก จะมีบางส่วนของไอออนเท่านั้นที่ไวต่อปฏิกิริยา (active concentration หรือ activity) ดังนั้น activity ของสารละลายจะน้อยกว่าความเข้มข้นที่แท้จริง

$$a_i = [i]f_i$$

a_i = ความเข้มข้นของไอออนที่มีความไว (activity)

f_i = สัมประสิทธิ์แอกติวิตี (activity coefficient)

$[i]$ = ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ (molar concentration)

ในสารละลายที่เจือจางมากๆ ค่า f_i จะเข้าใกล้ 1

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีกับค่าความแรงไอออน

สัมประสิทธิ์แอกติวิตีกับความแรงไอออนมีความสัมพันธ์ตามสูตร

$$M = \frac{n}{V_{\text{solution}}(\text{dm}^3)}$$

a_i คือค่าความแรงของเส้นผ่านศูนย์กลางไอออน

A และ B คือค่าคงที่

μ คือค่าความแรงไอออน

ในสารละลายที่เจือจางมากๆ ค่า $Ba_i\sqrt{\mu}$ จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ 1

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\log f_i = -AZ_i^2\sqrt{\mu}$$

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีกับค่าความแรงไอออน

- ❖ ถ้าสารละลายมีค่าความแรงไอออนอยู่ในช่วง 0.1 – 0.25 ค่า A จะมีค่าเท่ากับ 0.512

$$\log f_i = \frac{-0.512Z_i^2 \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$$

โดยความแรงของไอออนมีความสัมพันธ์กับจำนวนประจุของไอออนทั้งหมดในสารละลายคือ

$$\mu = \frac{1}{2} \sum (C_i Z_i^2)$$

C_i คือความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของไอออนที่มีประจุเป็น Z_i
 $\sum$ คือผลรวมของโมลาร์กับไอออนประจุ Z ยกกำลังสอง

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีกับค่าความแรงไอออน

- ❖ ถ้าสารละลายมีไอเลกโทรไลต์แก้อยู่เพียงชนิดเดียวคือ $A_x^{m+}B_y^{n-}$ ค่าความแรงของไอออนจะเป็น

$$\mu = \frac{C(x_m^2 + Y_n^2)}{2}$$

ค่า μ จะขึ้นอยู่กับชนิดของสารประกอบ บางชนิดมีค่าเท่ากับความเข้มข้น (molar) บางชนิดมีค่าเป็น 2 หรือ 3 เท่าของความเข้มข้นของสารประกอบนั้น

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีกับค่าความแรงไอออน

- ❖ ตัวอย่าง จงคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของไอออนโซเดียม, โพแทสเซียม, คลอไรด์, และซัลเฟต ในสารละลายที่มีความเข้มข้นเพียงพอที่จะทำให้สารละลายมีค่าความแรงของไอออนเท่า 0.20

วิธีทำ

สำหรับ Na^+ , K^+ และ Cl^-

$$\begin{aligned} \log f_i &= \frac{-0.512 \times 1^2 \times \sqrt{0.20}}{1 + \sqrt{0.20}} \\ &= -0.16 \\ f_i &= 10^{-0.16} \\ &= 0.69 \end{aligned}$$

สำหรับ SO_4^{2-}

$$\begin{aligned} \log f_i &= \frac{-0.512 \times 2^2 \times \sqrt{0.20}}{1 + \sqrt{0.20}} \\ &= -0.62 \\ f_i &= 10^{-0.62} \\ &= 0.24 \end{aligned}$$

ตอบ สัมประสิทธิ์แอกติวิตี Na^+ , K^+ และ $Cl^- = 0.69$ ส่วนของ $SO_4^{2-} = 0.24$

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีกับค่าความแรงไอออน

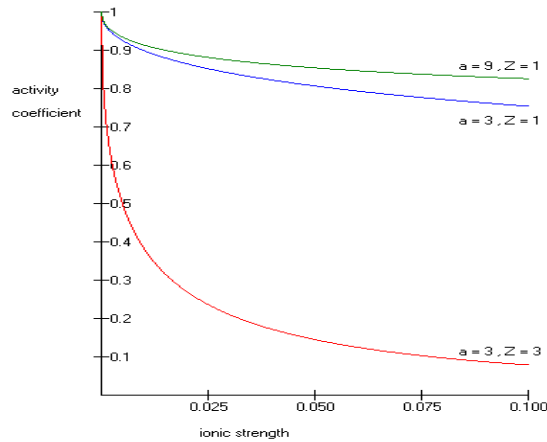
ในการทดลอง เป็นการยากที่จะควบคุมให้การทดลองมีเพียง 1 ไอออน ดังนั้นเมื่อต้องการหาค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีของไอออนในสารละลาย จะต้องมาจากไอออนทั้งสองตัว และเรียกว่า สัมประสิทธิ์แอกติวิตีเฉลี่ย (mean activity coefficient, $f_{\pm}$) ซึ่งถ้ามีสารประกอบ $A_x^{m+}B_y^{n-}$ หาสัมประสิทธิ์แอกติวิตีเฉลี่ย ได้จาก

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

หรือคำนวณจากสมการ $\log f_{\pm} = \frac{-0.512Z_m Z_n \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$

ถ้าสารละลายเจือจางมากๆ ให้ใช้สมการ $\log f_{\pm} = -0.512Z_m Z_n \sqrt{\mu}$

ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์แอกติวิตีกับค่าความแรงไอออน

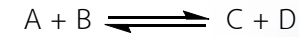


กราฟผลของความแรงไอออนที่มีต่อสัมประสิทธิ์แอกติวิตี

- ถ้าค่าความแรงไอออนมีค่าสูง ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีจะมีค่าลดลง
- ถ้าประจุไอออนมีค่าสูง ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีจะมีค่าลดลง
- สารละลายเข้มข้นต่ำ ค่าสัมประสิทธิ์แอกติวิตีจะเพิ่มขึ้นกับธรรมชาติของสารละลาย แต่จะขึ้นกับค่าความแรงไอออน

ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constants)

❖ ในปฏิกิริยาที่ผันกลับได้จะมีสมดุลของปฏิกิริยาเกิดขึ้น เขียนเป็น



หมายความว่าอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง A และ B แล้วให้ C กับ D จะเท่ากับอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง C กับ D แล้วให้ A กับ B

ค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constants)

❖ ค่าคงที่สมดุล K_{eq} ทางเทอร์โมไดนามิกส์สามารถแสดงได้ในอัตราส่วนระหว่างแอกติวิตีของสารผลิตภัณฑ์ต่อสารตั้งต้น คือ

$$\begin{aligned} K_{eq} &= \frac{a_C a_D}{a_A a_B} \\ &= \frac{f_C [C] \times f_D [D]}{f_A [A] \times f_B [B]} \\ &= \frac{f_C f_D \times [C][D]}{f_A f_B \times [A][B]} \\ \text{จาก } \frac{f_A f_B}{f_C f_D} \times K_{eq} &= \frac{[C][D]}{[A][B]} \\ \frac{f_A f_B}{f_C f_D} \times K_{eq} &= K \\ K &= \frac{[C][D]}{[A][B]} \end{aligned}$$

ค่าคงที่สมดุล (ต่อ)

❖ ในสารละลายที่เจือจางมากๆ ค่า $\frac{f_A f_B}{f_C f_D} = 1$ ดังนั้น

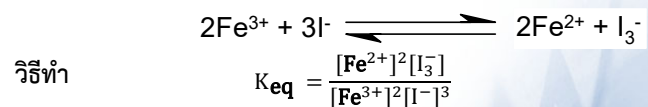
$$K_{eq} = \frac{[C][D]}{[A][B]}$$

ในกรณีที่ปฏิกิริยาได้เกิดในอัตราส่วน 1:1 เช่น



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

- ❖ ตัวอย่างที่ 2.5 จงคำนวณหาค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาระหว่าง Fe(III) กับไอโอไดต์เมื่อความเข้มข้นของ Fe(III) มีค่าเท่ากับ 0.200 และไอโอไดต์เท่ากับ 0.300 M เมื่อถึงสมดุลความเข้มข้นของไตรไอโอไดต์ (I_3^-) มีค่าเท่ากับ 0.0866 M (การคำนวณไม่ต้องคำนึงถึงสัมประสิทธิ์แอคติวิตี)



จากปฏิกิริยาแสดงว่าถ้าเกิด I_3^- จำนวน 1 โมลจะต้องเกิด Fe^{2+} จำนวน 2 โมล

$$[I_3^-] = 0.0866 \text{ M}$$

$$[Fe^{2+}] = 2 \times 0.0866 \text{ M} = 0.173 \text{ M}$$

ก่อนเกิดปฏิกิริยามีความเข้มข้นของ $[Fe^{3+}] = 0.200 \text{ M}$

เมื่อถึงสมดุล $[Fe^{3+}]$ จะลดลง เหลือ $[Fe^{3+}] = 0.200 - [Fe^{2+}]$

$$[Fe^{3+}] = 0.200 - 0.173 = 0.027 \text{ M}$$

ก่อนเกิดปฏิกิริยามีความเข้มข้นของ $[I^-] = 0.300 \text{ M}$

เมื่อถึงสมดุล $[I^-]$ จะลดลง เหลือ $[I^-] = 0.300 - 3[I_3^-]$

$$[I^-] = 0.300 - 3(0.0866)$$

$$= 0.040 \text{ M}$$

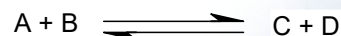
$$K_{eq} = \frac{(0.173)^2 (0.0866)}{(0.027)^2 (0.040)^3}$$

$$= 5.55 \times 10^4$$

ปัจจัยที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา

❖ 1. ผลของความเข้มข้น (Effect of concentration)

เมื่อเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารตั้งต้นหรือสารผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมดุลตามกฎของเลอชาเตอลิเยร์



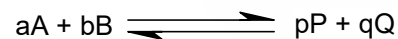
ถ้ามีการเติม A ลงไปในปฏิกิริยาอีก จะพบว่าได้ C กับ D มากขึ้น แต่ค่า K_{eq} ยังมีค่าเดิม อีกกรณีหนึ่งคือถ้ามีการเติม C ลงไป ปฏิกิริยาจะดำเนินย้อนกลับได้ A และ B มากขึ้น แต่เมื่อถึงสมดุลค่า K_{eq} ยังมีค่าเดิม อิทธิพลแบบนี้เรียกว่า ผลของคอมมอนไอออน (common ion effect)

สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)

❖ 2. ผลขององค์ประกอบต่างๆ ในสารละลาย (Effect of composition of solution)

ถ้าในสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นหรือมีความแรงของไอออนมากขึ้นเนื่องจากไอออนอื่นผสมอยู่ จะมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์แอคติวิตีลดน้อยลงซึ่งทำให้ค่าค่าคงที่สมดุลเปลี่ยนไปด้วย

สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)



$$K_{eq} = K \frac{f_P^p f_Q^q}{f_A^a f_B^b}$$

$$K = K_{eq} \frac{f_A^a f_B^b}{f_P^p f_Q^q}$$

ใส่ $-\log$ ลงทั้งสองข้างจะได้

$$-\log K = -\log K_{eq} - a \log f_A - b \log f_B + p \log f_P + q \log f_Q$$

$$pK = pK_{eq} - a \log f_A - b \log f_B + p \log f_P + q \log f_Q$$

สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)

❖ แทนค่า $\log f_i = \frac{-0.512Z_i^2 \sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$

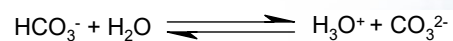
แล้วนำ $\frac{\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$ ออกนอกวงเล็บจะได้

$$pK = pK_{eq} + 0.512(a Z_A^2 + b Z_B^2 - p Z_P^2 - q Z_Q^2) \frac{\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$$

ซึ่งค่าคงที่สมดุล (K) จะขึ้นอยู่กับความแรงของไอออน (μ) หรือขึ้นกับไอออนที่เป็นองค์ประกอบของสารละลาย

สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)

❖ ตัวอย่าง จงคำนวณหาค่า pK_2 ของกรดคาร์บอนิกในสารละลายที่มีความแรงของไอออนเท่ากับ 0.0500 ที่ 25 °C ($pK_{eq2} = 10.33$)



วิธีทำ

$$pK = pK_{eq} + 0.512(a Z_{HCO_3^-}^2 - b Z_{H_3O^+}^2 - p Z_{CO_3^{2-}}^2) \frac{\sqrt{\mu}}{1 + \sqrt{\mu}}$$

$$= 10.33 + 0.512(1 \times -1^2 - 1 \times -1^2 - 1 \times -2^2) \frac{\sqrt{0.0500}}{1 + \sqrt{0.0500}}$$

$$= 10.33 - 2(0.183)$$

$$= 9.96$$

Quiz 6 (ส่งวันจันทร์หน้า ก่อนเที่ยง)

❖ ถ้าปฏิกิริยา $N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$ มีค่าคงที่ของสมดุลเป็น 0.0510 ที่ 320 K จงแสดงวิธีคำนวณหาว่าจะมี $NO_2(g)$ อยู่กี่กรัมในสมดุลที่มี 10.00 กรัมของ $N_2O_4(g)$ ในปริมาตร 5.00 ลบ.ม. (มวลอะตอม N = 14.006, O = 15.999)

❖ (ตอบ 7.66 กรัม)

สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)

❖ 3. ผลของอุณหภูมิ (Effect of temperature)

การเปลี่ยนแปลงความร้อนหรือเอนทัลปี (enthalpy change) ของปฏิกิริยาบ่งบอกถึงการได้รับหรือสูญเสียพลังงานความร้อน ถ้าเป็นการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่สภาวะมาตรฐาน (standard stat) จะมีสัญลักษณ์ ΔH°

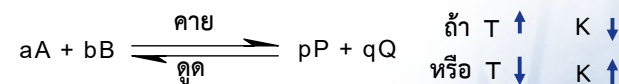
ถ้า ค่า K_1 และ K_2 คือค่าคงที่ของสมดุลที่อุณหภูมิสัมบูรณ์ T_1 และ T_2 การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีต่อค่าคงที่สมดุลคือ

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

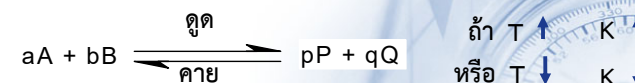
สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)

ตามกฎของเลอชาเตอลิเยร์

- 1 ปฏิกิริยาคายความร้อนเมื่อปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามือ
ปฏิกิริยาดูดความร้อนเมื่อปฏิกิริยาย้อนไปทางซ้ายมือ

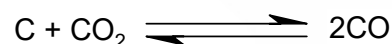


- 2 ปฏิกิริยาดูดความร้อนเมื่อปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามือ
ปฏิกิริยาคายความร้อนเมื่อปฏิกิริยาย้อนไปทางซ้ายมือ



สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)

❖ ตัวอย่าง จากปฏิกิริยา



ที่สภาวะสมดุล ณ อุณหภูมิ 1073 K มีค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีมาตรฐาน (ΔH°) เท่ากับ 40.9 kcal/mole และค่าคงที่ของสมดุลเท่า

กับ 5.61 จงคำนวณหาค่าคงที่ของสมดุลที่อุณหภูมิ 1173 K (ให้ค่าคงที่ของแก๊ส (R) = 1.987 cal K⁻¹ mole⁻¹)

สิ่งที่มีผลต่อสมดุลของปฏิกิริยา (ต่อ)

$$\begin{aligned} \text{วิธีทำ } \ln \frac{K_2}{K_1} &= -\frac{\Delta H^\circ}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \\ \log \frac{K_2}{K_1} &= -\frac{\Delta H^\circ}{2.303R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right); R=1.987 \text{ cal K}^{-1} \text{ mole}^{-1} \\ \log \frac{K_2}{5.61} &= -\frac{40.9 \times 10^3 \text{ cal mole}^{-1}}{2.303 \times 1.987 \text{ cal K}^{-1} \text{ mole}^{-1}} \left(\frac{1}{1173 \text{ K}} - \frac{1}{1073 \text{ K}} \right) \\ \log K_2 - 0.749 &= -8.94 \times 10^3 \times (8.52 \times 10^{-4} - 9.32 \times 10^{-4}) \\ &= 0.7152 \\ \log K_2 &= 0.7152 + 0.749 \\ &= 1.464 \\ K_2 &= 29.1 \end{aligned}$$

❖ 4. ผลของตัวทำละลาย (Effect of solvent)

ตัวทำละลายที่มีค่าไดโพลอิเล็กทริกสูงจะทำให้สารประกอบแตกตัวเป็นไอออนได้ดี แต่สารประกอบจะมารวมกันเกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้นเมื่อตัวทำละลายมีค่าไดโพลอิเล็กทริกลดลง เมื่อถึงสมดุล ค่า K ไม่เปลี่ยนแปลง

❖ 5. ผลของความดัน

ความดันทำให้ทิศทางของปฏิกิริยาในสภาวะแก๊สเปลี่ยนแปลง ถ้าจำนวนโมลของแก๊สตั้งต้นเท่ากับแก๊สผลิตภัณฑ์ ความดันจะไม่มีผลต่อปฏิกิริยา

แต่ถ้าจำนวนโมลของแก๊สไม่เท่ากัน ให้คิดดังนี้
ถ้าเพิ่มความดัน ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางโมลที่น้อยกว่า
ถ้าลดความดัน ปฏิกิริยาจะดำเนินไปทางโมลที่มากกว่า

เมื่อถึงสมดุลใหม่ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ต่อสารตั้งต้นไม่เปลี่ยนแปลง (K ไม่เปลี่ยนแปลง)

ความดันไม่มีผลต่อปฏิกิริยาในสภาวะของเหลว เนื่องจากปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง

❖ 6. ผลของตัวเร่ง (Effect of catalyst)

การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาจะมีผลทำให้ปฏิกิริยาเกิดสมดุลได้เร็วขึ้น แต่เมื่อถึงสมดุล ความเข้มข้นของสารในปฏิกิริยาไม่เปลี่ยนแปลง นั่นคือค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยาจะเท่าเดิม

เป็นเทคนิควิเคราะห์ที่ถูกต้องเมื่อสารที่ต้องการวิเคราะห์ที่มีน้ำหนัก 100 มิลลิกรัมขึ้นไป การวิเคราะห์โดยน้ำหนักมี 2 วิธีคือ

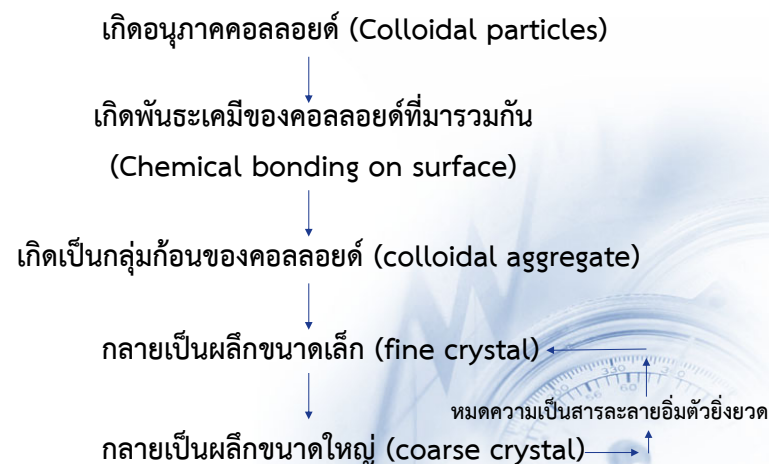
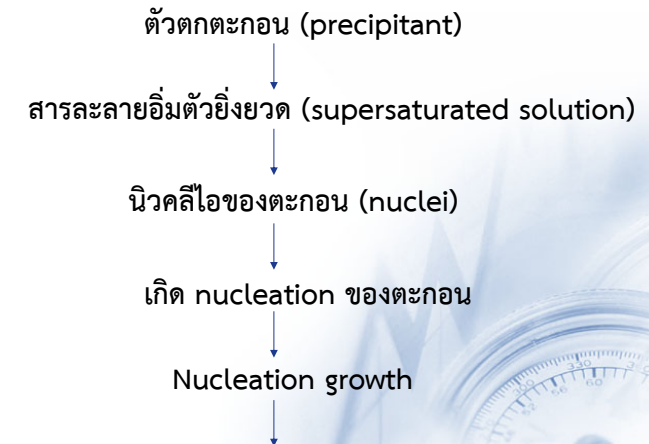
1. วิธีการตกตะกอน (Precipitation method) วิธีนี้ใช้สารอีกตัวหนึ่งที่เรียกว่าตัวตกตะกอน (precipitant) ตกตะกอนธาตุที่ต้องการ แล้วหาน้ำหนักของตะกอนที่บริสุทธิ์
2. วิธีการทำให้ระเหย (Volatilization method) ใช้การระเหยแล้ววัดน้ำหนักที่สูญเสียไป หรือหาน้ำหนักของสารระเหยที่กลายเป็นไอออกมา วิธีนี้ใช้สำหรับสารที่สามารถเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้ไม่ว่าจะกรณีใดก็ตาม

- ❖ เป็นเทคนิคที่ใช้ได้อย่างกว้างขวางกว่าเทคนิคการทำให้เป็นไอ
- ❖ การตกตะกอนสามารถเลือกใช้ตัวตกตะกอนที่เป็นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ (organic and inorganic reagent)

คุณสมบัติของตะกอน

- ต้องมีการละลายต่ำ (low solubility) เพื่อให้ตะกอนเกิดได้สมบูรณ์
- ต้องมีความบริสุทธิ์สูง (high purity)
- ต้องมีขนาดใหญ่มากพอที่จะกรองได้
- ต้องไม่เกิดปฏิกิริยาและไม่เปลี่ยนแปลงสถานะในขณะเผา

- ❖ ชั่งสารตัวอย่าง
- ❖ ละลายสารตัวอย่าง
- ❖ ตกตะกอน
- ❖ กรองตะกอน
- ❖ ล้างตะกอน
- ❖ ทำให้แห้ง
- ❖ ชั่งน้ำหนัก
- ❖ คำนวณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของสารที่สนใจในตัวอย่าง



- ❖ วอน ไวมาร์น (Von weiman) เป็นผู้ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของตะกอนกับอัตราเร็วในการเกิดตะกอน โดยพบความสัมพันธ์ว่าขนาดของตะกอนจะแปรผันเป็นส่วนกลับกับการอิ่มตัวยิ่งยวดสัมพัทธ์ (relative supersaturation)

$$\text{Relative supersaturation} = \frac{Q-S}{S}$$

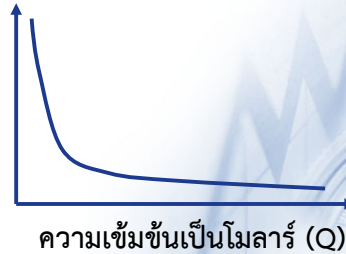
Q = ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ของสารที่ต้องการตกตะกอน

S = ค่าการละลายเป็นโมลาร์ของตะกอนเมื่อตะกอนละลายถึงสมดุล

ถ้าต้องการตะกอนขนาดใหญ่ควรทำให้ $\frac{Q-S}{S}$ มีค่าน้อย

ถ้าความเข้มข้นของสารละลายมีค่ามาก ขนาดของตะกอนจะเล็ก ถ้าความเข้มข้นน้อยขนาดของตะกอนจะใหญ่ ดังกราฟข้างล่าง แต่ความเข้มข้นของสารละลาย Q ต้องไม่น้อยกว่าค่าการละลาย (S)

ขนาดตะกอน

ความเข้มข้นเป็นโมลาร์ (Q)

อัตราเร็วของการตกตะกอนจะเร็วขึ้นถ้าสารละลายมีค่าการอิ่มตัวยิ่งยวดสัมพัทธ์สูงขึ้น

$$\text{Initial rate of precipitation} = k \frac{Q-S}{S}$$

อัตราเร็วของการเกิดตะกอน (growth rate) จะขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการเกิดนิวคลีโอซัน (nucleation rate) กับอัตราเร็วของการขยายตัวของอนุภาค (particle growth) ซึ่งอัตราเร็วทั้งสองนี้ขึ้นกับองค์ประกอบของการอิ่มตัวยิ่งยวดดังสมการ

$$\text{nucleation rate} = k \left[\frac{Q-S}{S} \right]^n$$

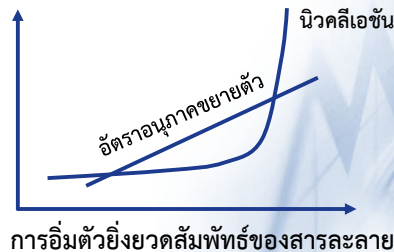
โดยปกติ $n = 4$

$$\text{growth rate} = k' \left[\frac{Q-S}{S} \right]^n$$

ถ้า $Q-S$ มีค่าต่ำทำให้เกิดนิวคลีโอซันจำนวนน้อย นิวคลีโอซันสามารถขยายตัวใหญ่ขึ้นเป็นผลึก

ถ้า $Q-S$ มีค่าสูงการเกิดนิวคลีโอซันจะเกิดอย่างรวดเร็วได้นิวคลีโอซันจำนวนมาก โอกาสขยายตัวน้อย ทำให้ได้ตะกอนเป็นคอลลอยด์ ดังรูปข้างล่าง

อัตราเร็วการตกตะกอน



การอิ่มตัวยิ่งยวดสัมพัทธ์ของสารละลาย

ตะกอนที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้นั้น ตะกอนต้องละลายได้น้อยกว่า 1 ส่วนใน 1000 ส่วนของตะกอนที่ไม่ละลาย (0.1%) ซึ่งต้องทำในสภาวะดังต่อไปนี้

1. ควรตกตะกอนในสภาวะที่พอเหมาะ (Q น้อย) มีองค์ประกอบอิ่มตัวยิ่งยวดต่ำ
2. ควรเติมตัวตกตะกอนช้าๆ และคนไปด้วย เพื่อไม่ให้บริเวณใดบริเวณหนึ่งมีความเข้มข้นของตัวตกตะกอนมากเกินไป
3. ควรตกตะกอนในสารละลายขณะร้อน เพราะจะทำให้ค่าการละลายของตะกอน (S) เพิ่มขึ้น และค่า $Q-S$ มีค่าน้อย
4. ควรตกตะกอนในสารละลายที่เป็นกรดเล็กน้อย จะทำให้ตะกอนเกิดขึ้นอย่างช้าๆ
5. ควรทำการย่อยตะกอน (digestion) โดยการอุ่นสารละลายเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมงจะทำให้ตะกอนมีขนาดใหญ่และบริสุทธิ์ขึ้น

การเกิดการปนเปื้อนของตะกอน (The contamination of precipitation)

โดยทั่วไป ตะกอนที่เกิดขึ้นมักถูกสารปนเปื้อน (contaminant) ติดมาด้วยเสมอ ซึ่งเกิดได้ 2 แบบ คือ

1. เกิดการปนเปื้อนโดยตะกอนจริง (Contamination by true precipitation)

เกิดการตกตะกอนของสารที่เป็นมลทินกับสารที่ใช้ตกตะกอนเนื่องจากผลคูณของความเข้มข้นของสารตกตะกอนกับสารมลทินมีค่ามากกว่าค่า K_{sp} ของตะกอน เกิดขึ้นได้ 2 ชนิด

1.1 ตกตะกอนแบบซิมัลเทนเนียส (Simultaneous precipitation) สารมลทินตกตะกอนไปพร้อมๆ กับตะกอนที่ต้องการ โดยที่ตะกอนทั้งสองไม่มีความสัมพันธ์กัน

1.2 ตกตะกอนแบบโพสท์ (Post precipitation) ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วในการเกิดตะกอน มลทินจะตกตะกอนหลังจากตกตะกอนตัวที่สนใจได้ตกตะกอนไปเรียบร้อยแล้ว เช่นการใช้วิธีตกตะกอนแยกแคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) ออกจากกันโดยใช้ออกซาเลต (oxalate) เมื่อกรองตะกอนแคลเซียมออกซาเลตออกจากสารละลายไว้ก่อน ในสารละลายที่เหลือจะเกิดตะกอนของแมกนีเซียมออกซาเลตขึ้น

การเกิดการปนเปื้อนของตะกอน (The contamination of precipitation)

2. เกิดการปนเปื้อนโดยการตกตะกอนร่วม (contaminant by coprecipitation)

เกิดจากการที่สารมลทินที่ละลายอยู่เข้ามาพร้อมกับตะกอนที่ต้องการในขณะทำการตกตะกอนโดยที่สารมลทินดังกล่าวไม่จำเป็นต้องมีปริมาณมาก ตะกอนของแบเรียมซัลเฟตและตะกอนที่เป็นคอลลอยด์จะเป็นปัญหาต่อการวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการตกตะกอนร่วมเสมอๆ การล้างตะกอนจะช่วยลดการปนเปื้อนชนิดนี้ได้ การเกิดตะกอนโดยการตกตะกอนร่วมแบ่งได้ 3 แบบคือ

2.1 การดูดซับที่ผิว (surface adsorption) คือการดูดซับไอออนที่ผิวของตะกอนโดยประจุที่ตรงกันข้ามกับตะกอน การดูดซับจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

การเกิดการปนเปื้อนของตะกอน (The contamination of precipitation)

ก. พื้นที่ผิวของตะกอน (surface area) ถ้าพื้นที่ผิวมาก มลทินที่ถูกดูดซับก็มีได้มาก และถ้ามีพื้นที่ผิวน้อยมลทินที่ถูกดูดซับก็มีค่าน้อย

ข. ประจุของตะกอน ถ้าตะกอนแสดงประจุบวก มลทินที่จะถูกดูดซับคือแอนไอออน ถ้าตะกอนแสดงประจุลบมลทินที่ถูกดูดซับคือแคตไอออน โดยตะกอนจะเลือกดูดซับไอออนที่ถูกดูดซับแล้วให้สารประกอบที่มีการละลายต่ำ

ค. องศาการแตกตัว (Degree of dissociation) ของแลตทิซไอออนกับไอออนของมลทิน ถ้ามีค่ามากจะทำให้ปนเปื้อนน้อย ถ้ามีค่าน้อยจะทำให้ปนเปื้อนมาก

การเกิดการปนเปื้อนของตะกอน (The contamination of precipitation)

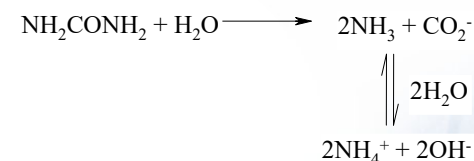
❖ ง. จำนวนของสารที่ถูกดูดซับที่ผิวของตะกอนขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับนั้น ถ้าความเข้มข้นของสารมีค่าน้อย ปริมาณสารที่ถูกดึงดูดไว้ด้วยตะกอนก็จะมีค่าน้อย แต่ถ้าความเข้มข้นของสารที่ถูกดึงดูดไว้ถึงจุดอิ่มตัว จะไม่สามารถดูดซับได้อีกเนื่องจากไม่มีพื้นที่ในการดูดซับเหลือ

2.2 การสอดแทรก (Occlusion) คือการเกิดการปนเปื้อนที่เกิดเนื่องจากมลทินเข้าไปสอดแทรกอยู่ข้างในผลึกขณะที่มีการเจริญเติบโต การแก้ปัญหาการสอดแทรกของสารมลทินทำได้โดยการล้างตะกอน การตกตะกอนซ้ำใหม่

2.3 ไอโซมอร์ฟัส อินคลูชัน (Isomorphous inclusion) สารประกอบที่มีสูตรโครงสร้างของผลึกเหมือนกันเรียกว่า ไอโซมอร์ฟัส จะทำให้การเกิดมลทินเกิดขึ้นเพราะสารมลทินดังกล่าวจะเข้าไปแทนสารที่ต้องการตกตะกอน

เป็นเทคนิคการตกตะกอนที่แก้ปัญหาที่เกิดจากการเป็นสารละลายอิ่มตัวยิ่งยวดเฉพาะจุด (การอิ่มตัวยิ่งยวดเฉพาะจุดก่อให้เกิดปัญหาการได้ตะกอนขนาดเล็กและไม่บริสุทธิ์) การตกตะกอนในสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกันนั้น สารประกอบในสารละลายที่ใช้ในการตกตะกอนจะค่อยๆ เกิดปฏิกิริยาทางเคมีแล้วเกิดเป็นไอออนที่จะใช้เป็นตัวตกตะกอนอย่างช้าๆ ทำให้สารละลายคงสภาพที่มีองค์ประกอบของการอิ่มตัวยิ่งยวด (Q-S) ต่ำอยู่ตลอดเวลา ทำให้ได้ตะกอนขนาดใหญ่และบริสุทธิ์สูง

การตกตะกอนชนิดนี้ที่นิยมใช้กันมากคือปฏิกิริยาการแยกสลายด้วยน้ำของยูเรีย (NH_2CONH_2) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสารละลายของน้ำคือ



แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะค่อยๆ ทำให้ pH ของสารละลายสูงขึ้น (มี OH^- เพิ่มขึ้น) ทำให้สามารถตกตะกอนไอออนของโลหะบางตัวที่สามารถเกิดเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายเช่น การตกตะกอนของอลูมิเนียมจากสารละลายที่เป็นเนื้อเดียวกัน ทำได้โดยเติม ยูเรีย (Urea) ลงในสารละลายที่เป็นกรดอะลูมิเนียม จะไม่มีตะกอนเกิดขึ้นจะกว่าจะดิ่มให้เดือด pH ของสารละลายจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึง pH ที่ต้องการ แล้วตะกอนจะเกิดขึ้น

สารที่ใช้เป็นตัวตกตะกอน (precipitating agent or precipitant)

ดร. ธาณินทร์ แดงวารัมย์

[43]

1. สารอนินทรีย์ (Inorganic precipitating agent)

เช่น NH_3 , H_2S , HCl สามารถเป็นสารที่ใช้เป็นตัวตกตะกอนของธาตุหรือโลหะต่างๆ แล้วให้สารประกอบที่มีการละลายต่ำ

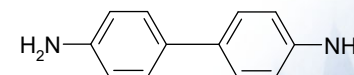
2. สารอินทรีย์ที่ใช้ในการตกตะกอน (Organic precipitating agent)

2.1 สารตกตะกอนที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีการละลายต่ำ

เป็นสารอินทรีย์ที่ใช้ตกตะกอนกับไอออนของโลหะแล้วให้สารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่มีประจุและมีโครงสร้างเป็นวงชนิด 5 หรือ 6 เหลี่ยม ตะกอนที่เกิดขึ้นมีความหนาแน่นต่ำ มีคุณสมบัติสีเข้มและไม่เปียกน้ำ ตัวอย่างของสารอินทรีย์ชนิดนี้คือ 8-hydroxyquinoline, dimethylglyoxime

2.2 สารตกตะกอนที่ทำให้เกิดสารประกอบคล้ายเกลือ

สารตกตะกอนดังกล่าวได้แก่ โซเดียมเทระฟีนิลโบรอน ($(\text{C}_6\text{H}_5)_4\text{B}^- \text{Na}^+$), เบนซิดิน (Benzidine) สามารถตกตะกอนไอออนที่ต้องการแล้วได้สารประกอบคล้ายเกลือ ซึ่งสามารถทำให้แห้งแล้วชั่งน้ำหนักได้



Benzidine

วิธีการทำให้ระเหย (Volatilization Methods)

วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะสารที่สามารถระเหยกลายเป็นไอได้

1. วิธีตรง ในกรณีที่ไม่สามารถเก็บส่วนที่สนใจที่ระเหยกลายเป็นไอเช่นการอบสารให้แห้งหรือการเผาเกลือแอมโมเนียมเพื่อหาแอมโมเนียม เมื่อต้องการทราบปริมาณของน้ำที่หายไปสามารถทำได้โดยการชั่งสารเริ่มต้นก่อนอบหรือก่อนเผา หลังจากนั้นจึงนำเข้าหรือของแข็งที่เหลือมาชั่งหาน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง เมื่อห้กลับกันแล้วจะได้น้ำหนักของสารที่ระเหยไป
2. วิธีอ้อม ใช้ในกรณีที่สารสามารถเก็บส่วนที่ระเหยกลายเป็นไอได้โดยใช้ตัวดูดซับที่เหมาะสม (absorbent) ก็สามารถหาน้ำหนักของสารที่สนใจได้เช่นการหาไนโตรเจนโดยวิธีของ Kjeldahl

การคำนวณทางวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric calculation)

การคำนวณของการวิเคราะห์โดยน้ำหนักจะคำนวณผลที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก 2 ค่า คือค่าน้ำหนักของสารตัวอย่างและน้ำหนักของตะกอนที่ได้จากการทดลองแล้วมาคำนวณหาปริมาณของธาตุหรือสารประกอบในรูปของเปอร์เซ็นต์ของสารในตัวอย่าง

$$\text{Percent A} = \frac{\text{Weight of A}}{\text{Weight of samples}} \times 100$$

ปกติแล้ว A ไม่ใช่ตะกอน และจะไม่ถูกวัดโดยตรง แต่มีความสัมพันธ์โดยเป็นองค์ประกอบของตะกอนซึ่งสามารถคำนวณหาน้ำหนักของ A จากน้ำหนักของตะกอนได้โดยใช้ กราวิเมตริกแฟกเตอร์ (Gravimetric factor) ซึ่งหมายถึงจำนวนกรัมของสาร A ที่สามารถทำปฏิกิริยาพอดีสมมูลกับ 1 กรัมของตะกอนที่สามารถนำไปชั่งหาน้ำหนัก

❖ เมื่อต้องการทราบน้ำหนักของสาร A ที่มีอยู่ในตะกอนที่ชั่งได้สามารถคำนวณได้โดยใช้ กราวิเมตริกแฟกเตอร์คือ

$$\begin{aligned} \text{wt. A} &= \text{wt. Precipitants} \times \text{Gravimetric factor} \\ &= \text{wt. ppt} \times \left(\frac{\text{gFW A}}{\text{gFW ppt}} \times \frac{a}{b} \right) \end{aligned}$$

เมื่อ $\frac{a}{b}$ คือเลขลงตัวน้อยๆ ที่ทำให้จำนวนโมลของสปีชีส์ที่ต้องการคำนวณเท่ากันทั้งเศษและส่วน
ppt คือ ตะกอน (Precipitants)

การคำนวณทางวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก (Gravimetric calculation)

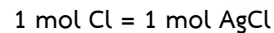
$$\text{จาก Percent A} = \frac{\text{Weight of A}}{\text{Weight of samples}} \times 100$$

$$\begin{aligned} \% A &= \frac{\text{wt. Precipitants} \times \text{Gravimetric factor}}{\text{wt. samples}} \times 100 \\ &= \frac{\text{wt. Precipitants} \times \left(\frac{\text{gFW A}}{\text{gFW Precipitants}} \times \frac{a}{b} \right)}{\text{wt. samples}} \times 100 \end{aligned}$$

Gravimetric factor

ตัวอย่าง จะมีคลอไรด์อยู่ในตะกอนของ AgCl ก็กรัม ถ้าตะกอน AgClหนัก 0.204 กรัม (gfw AgCl = 143.3, Cl = 35.5)

วิธีทำ



$$1 \times \frac{\text{wt. Cl}}{\text{gFW Cl}} = 1 \times \frac{\text{wt. AgCl}}{\text{gFW AgCl}}$$

$$\text{wt. Cl} = \frac{\text{wt. AgCl}}{\text{gFW AgCl}} \times \text{gFW Cl} \quad \text{Gravimetric factor}$$

$$= \text{wt. AgCl} \times \frac{\text{gFW Cl}}{\text{gFW AgCl}}$$

$$= 0.204 \times \frac{35.5}{143.3}$$

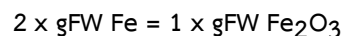
$$= 0.0505 \text{ g}$$

นั่นคือจะมี $\text{Cl}^- = 0.0505$ กรัมในตะกอนของ AgClหนัก 0.204 กรัม

ตัวอย่าง สารตัวอย่างแร่เหล็กหนัก 0.5483 กรัม เมื่อนำมาละลายในกรดแล้วออกซิไดส์ให้เป็น Fe^{3+} แล้วทำการตกตะกอนเป็น $\text{Fe}(\text{OH})_3$ โดยใช้แอมโมเนียที่มากเกินไป เมื่อกรองตะกอนและเผาให้แห้งเป็น Fe_2O_3 ซึ่งได้หนัก 0.2456 กรัม จงคำนวณหา a) เปอร์เซนต์ของ Fe ในแร่เหล็ก b) เปอร์เซนต์ของ Fe_3O_4 ในแร่เหล็ก (gFW $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 159.69$, gFW $\text{Fe}_3\text{O}_4 = 231.54$)

a) หาเปอร์เซนต์ของ Fe ในแร่เหล็ก

ใช้หลัก gravimetric factor ของ Fe ใน Fe_2O_3 คือ



$$\text{Gravimetric factor} = \frac{2 \times \text{gFW Fe}}{1 \times \text{gFW Fe}_2\text{O}_3} = \frac{2 \times 55.847}{1 \times 159.69} = 0.6994$$

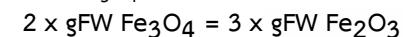
$$\% \text{ Fe} = \frac{\text{wt. Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Gravimetric factor}}{\text{wt. samples}} \times 100$$

$$= \frac{\text{wt. Fe}_2\text{O}_3 \times \frac{2 \times \text{gFW Fe}}{1 \times \text{gFW Fe}_2\text{O}_3}}{\text{wt. samples}} \times 100$$

$$= \frac{0.2456 \times 0.6994}{0.5483} \times 100$$

$$= 31.33 \%$$

b) เปอร์เซนต์ของ Fe_3O_4 ในแร่เหล็ก



$$\begin{aligned} \text{Gravimetric factor} &= \frac{2 \times \text{gFW Fe}_3\text{O}_4}{3 \times \text{gFW Fe}_2\text{O}_3} \\ &= \frac{2 \times 231.51}{3 \times 159.69} \\ &= 0.9666 \end{aligned}$$

$$\% \text{ Fe}_3\text{O}_4 = \frac{\text{wt. Fe}_2\text{O}_3 \times \text{Gravimetric factor}}{\text{wt. samples}} \times 100$$

$$= \frac{\text{wt. Fe}_2\text{O}_3 \times \frac{2 \times \text{gFW Fe}_3\text{O}_4}{3 \times \text{gFW Fe}_2\text{O}_3}}{\text{wt. samples}} \times 100$$

$$= \frac{0.2456 \times 0.9666}{0.5483} \times 100$$

$$= 43.30 \%$$

การคำนวณทางวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง orthophosphate ถูกทำให้ตกตะกอนในรูปของ Ammonium phosphomolybdate $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3$ จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ a) P และ b) P_2O_5 ในสารตัวอย่างหนัก 0.2701 g ได้ตะกอนหนัก 1.1600 g (gFW P = 30.19, P_2O_5 = 141.95, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3$ = 1876.5)

วิธีทำ 1 gFW P_2O_5 = 2 gFW P = 2 gFW PO_4^{3-} = 2 gFW $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3$
1 mole 2 mole 2 mole 2 mole

$$\begin{aligned} \text{a) \% P} &= \frac{\text{wt. } (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3}{\text{wt. samples}} \times \frac{2 \times \text{gFW P}}{2 \times \text{gFW } (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3} \times 100 \\ &= \frac{1.1600}{0.2701} \times \frac{2 \times 30.19}{2 \times 1876.5} \times 100 \\ &= 7.09 \% \end{aligned}$$

การคำนวณทางวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

$$\begin{aligned} \text{b) \% P}_2\text{O}_5 &= \frac{\text{wt. } (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3}{\text{wt. samples}} \times \frac{1 \times \text{gFW P}_2\text{O}_5}{2 \times \text{gFW } (\text{NH}_4)_3\text{PO}_4 \cdot 12 \text{ MoO}_3} \times 100 \\ &= \frac{1.1600}{0.2701} \times \frac{1 \times 141.95}{2 \times 1876.5} \times 100 \\ &= 16.24\% \end{aligned}$$

การคำนวณทางวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

ตัวอย่าง สารตัวอย่างยาฆ่าแมลงหนัก 0.2795 กรัม ประกอบด้วยลินเดน ($\text{C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$ gFW = 290.8) และ ดี.ดี.ที. ($\text{C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$ gFW = 354.5) ถูกเผาในบรรยากาศของออกซิเจนในหลอดแก้วควอทซ์ ผลที่ได้ (CO_2 , $2\text{H}_2\text{O}$ และ HCl) ถูกนำไปผ่านในสารละลาย NaHCO_3 หลังจากทำให้สารละลายเป็นกรดแล้วตกตะกอนคลอไรด์ได้ AgCl (gFW = 143.32) หนัก 0.7161 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของลินเดนและดี.ดี.ที ในสารตัวอย่าง

การคำนวณทางวิธีวิเคราะห์โดยน้ำหนัก

วิธีทำ

สร้างสมการขึ้นมาใหม่ จากยาฆ่าแมลง 2 ชนิดหนัก 0.2795 กรัม

$$\text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 + \text{wt. C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 = 0.2795 \text{ g} \dots \dots \dots (1)$$

AgCl ของตะกอนจากยาฆ่าแมลงหนัก 0.7161 กรัม

$$\text{wt. AgCl (จาก C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6) + \text{wt. AgCl (จาก C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5) = 0.7161 \text{ g} \dots \dots \dots (2)$$

$$6 \text{ gFW AgCl} = 1 \text{ gFW C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$$

$$\text{และ } 5 \text{ gFW AgCl} = 1 \text{ gFW C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5$$

ดังนั้น

$$\text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 \times \frac{\text{wt. AgCl}}{\text{gFW C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6} + \text{wt. C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 \times \frac{5 \times \text{gFW AgCl}}{\text{gFW C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5} = 0.7161$$

$$\text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 \times 2.957 + \text{wt. C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 \times 2.021 = 0.7161 \quad \dots\dots\dots(3)$$

จากสมการ (1) จะได้ว่า

$$\text{wt. C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 = 0.2795 - \text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 \quad \dots\dots\dots(4)$$

แทน (4) ลงใน (3) จะได้

$$2.957 \times \text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 + 2.021 \times (0.2795 - \text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6) = 0.7161$$

แก้สมการ จะได้ $\text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 = 0.1616$

$$\% \text{ C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6 = \frac{\text{wt. C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6}{\text{wt. samples}} \times 100$$

$$= \frac{0.1616}{0.2795} \times 100$$

$$= 57.82$$

$$\% \text{ C}_{14}\text{H}_9\text{Cl}_5 = 100 - \% \text{ C}_6\text{H}_6\text{Cl}_6$$

$$= 100 - 57.82$$

$$= 42.18$$

ตอบ ในยาฆ่าแมลงตัวอย่างมีลินเดน 57.82 % และมี ดี.ดี.ที 42.18%

ตัวอย่าง สารตัวอย่างแร่เหล็กหนัก 1.700 กรัม เมื่อนำมาเผาจะได้สารประกอบออกไซด์ (oxide compounds) ที่เป็นสารผสมหนัก 0.8432 กรัม เมื่อนำสารผสมนี้มาวิเคราะห์ปรากฏว่ามี Al 3.25 % และ Ti 1.83 % สมมุติว่าสารประกอบออกไซด์นั้นมีเฉพาะ Al_2O_3 , TiO_2 และ Fe_2O_3 เท่านั้น ให้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Al, Ti และ Fe ในแร่เหล็กนี้

วิธีทำ

$$\text{gFW Al} = 26.982, \text{gFW O} = 15.999, \text{gFW Ti} = 47.9, \text{gFW Fe} = 55.85$$

$$\text{gFW Al}_2\text{O}_3 = (2 \times 26.982) + (3 \times 15.999) = 101.96$$

$$\text{gFW TiO}_2 = 47.9 + (2 \times 15.999) = 79.9$$

$$\text{gFW Fe}_2\text{O}_3 = (2 \times 55.85) + (3 \times 15.999) = 159.6$$

จากโจทย์ ในออกไซด์มี Al = 3.25 %

$$2 \text{ gFW Al} = 1 \text{ gFW Al}_2\text{O}_3$$

$$\% \text{ Al} = \frac{\text{wt. Al}_2\text{O}_3 \times \frac{2 \times \text{gFW Al}}{\text{gFW Al}_2\text{O}_3}}{\text{wt. oxide compounds}} \times 100$$

$$3.25 = \frac{\text{wt. Al}_2\text{O}_3 \times \frac{2 \times 26.98}{101.96}}{0.8432} \times 100$$

$$\text{wt. Al}_2\text{O}_3 = 0.0518 \text{ g}$$

ในทำนองเดียวกัน

จากโจทย์ ในออกไซด์มี Ti = 1.83 %

1 gFW Ti = 1 gFW TiO₂

$$\begin{aligned}\% \text{ Ti} &= \frac{\text{wt. TiO}_2 \times \frac{\text{gFW Ti}}{\text{gFW TiO}_2}}{\text{wt. oxide compounds}} \times 100 \\ &= \frac{\text{wt. TiO}_2 \times \frac{47.9}{79.9}}{1.83} \times 100 \\ 1.83 &= \frac{0.8432}{1.83 \times 0.8432 \times 79.9} \\ \text{wt. TiO}_2 &= \frac{0.8432}{47.9 \times 100} \\ \text{wt. TiO}_2 &= 0.0257 \text{ g}\end{aligned}$$

$$\text{wt. Fe}_2\text{O}_3 = \text{wt. oxide compounds} - \text{wt. Al}_2\text{O}_3 - \text{wt. TiO}_2$$

$$= 0.8432 - 0.0518 - 0.0257$$

$$= 0.7657 \text{ กรัม}$$

เมื่อต้องการคำนวณหา % ของ Al, Ti, Fe ในสารตัวอย่าง สามารถคำนวณโดยสูตร

$$\begin{aligned}\% \text{ Al} &= \frac{\text{wt. Al}_2\text{O}_3 \times \frac{2 \times \text{gFW Al}}{\text{gFW Al}_2\text{O}_3}}{\text{wt. samples}} \times 100 \\ &= \frac{0.0518 \times \frac{2 \times 26.98}{101.96}}{1.700} \times 100 \\ &= 1.61 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Ti} &= \frac{\text{wt. TiO}_2 \times \frac{1 \times \text{gFW Ti}}{\text{gFW TiO}_2}}{\text{wt. samples}} \times 100 \\ &= \frac{0.0257 \times \frac{47.9}{79.9}}{1.700} \times 100 \\ &= 0.91 \%\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\% \text{ Fe} &= \frac{\text{wt. Fe}_2\text{O}_3 \times \frac{2 \times \text{gFW Fe}}{\text{gFW Fe}_2\text{O}_3}}{\text{wt. samples}} \times 100 \\ &= \frac{0.7657 \times \frac{2 \times 55.85}{159.6}}{1.700} \times 100 \\ &= 31.49 \%\end{aligned}$$

ตอบ ในแร่เหล็กมี Al, Ti และ Fe เท่ากับ 1.61, 0.91 และ 31.49 % ตามลำดับ

ตัวอย่าง สารตัวอย่างดินเหนียวหนัก 0.7500 กรัม ให้สารผสมของ NaCl และ KCl รวมกันหนัก 0.3025 กรัม KCl ถูกทำให้เป็น K₂PtCl₆ ได้หนัก 0.3874 กรัม จงคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของ Na₂O และ K₂O ในสารตัวอย่าง

วิธีทำ

$$\text{gFW KCl} = 39.098 + 35.45 = 74.55$$

$$\text{gFW K}_2\text{PtCl}_6 = (2 \times 39.098) + 195.078 + (6 \times 35.453) = 485.992$$

$$\text{gFW NaCl} = 22.9898 + 35.45 = 58.44$$

$$\text{gFW K}_2\text{O} = (2 \times 39.098) + 15.998 = 94.194$$

$$\text{gFW Na}_2\text{O} = (2 \times 22.9898) + 15.998 = 61.978$$

$$\begin{aligned}
 2 \text{ gFW KCl} &= 1 \text{ gFW K}_2\text{PtCl}_6 \\
 \text{wt. KCl} &= \text{wt. K}_2\text{PtCl}_6 \times \frac{2 \times \text{gFW KCl}}{\text{gFW K}_2\text{PtCl}_6} \\
 &= 0.3874 \times \frac{2 \times 74.55}{485.99} \\
 &= 0.1188 \text{ g} \\
 \text{wt. NaCl} &= \text{wt. salt} - \text{wt. KCl} \\
 &= 0.3025 - 0.1188 \\
 &= 0.1837 \text{ g}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2 \text{ gFW KCl} &= 1 \text{ gFW K}_2\text{O} \\
 \text{wt. KCl} &\times \frac{1 \times \text{gFW K}_2\text{O}}{2 \times \text{gFW KCl}} \\
 \text{wt. KCl} &= \frac{\text{wt. samples}}{0.7500} \times 100 \\
 &= \frac{0.1837 \times \frac{94.914}{2 \times 74.55}}{0.7500} \times 100 \\
 &= 10.0069 \\
 &= 10.01
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 1 \text{ gFW Na}_2\text{O} &= 2 \text{ gFW NaCl} \\
 \text{wt. NaCl} &\times \frac{1 \times \text{gFW Na}_2\text{O}}{2 \times \text{gFW NaCl}} \\
 \% \text{ Na}_2\text{O} &= \frac{\text{wt. samples}}{0.7500} \times 100 \\
 &= \frac{0.1837 \times \frac{61.978}{2 \times 58.44}}{0.7500} \times 100 \\
 &= 12.988 \\
 &= 12.99 \%
 \end{aligned}$$

ตอบ ในสารตัวอย่างมี Na₂O และ K₂O เท่ากับ 10.01 % และ 12.99 % ตามลำดับ

ตัวอย่าง สารผสมของ AgCl (gfw 143.37) และ AgI (gfw 234.87) ถูกเผาในบรรยากาศของ Cl₂ เพื่อเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบของ AgCl ทั้งหมด พบว่าสูญเสียน้ำหนักไป 6.00 % ให้คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ Cl (gFW = 35.45) ในสารตั้งต้น

วิธีทำ

สมมติให้สารตัวอย่างหนัก 100 กรัม มี AgI = y กรัม
ดังนั้น จะมี AgCl = 100 - y กรัม

เมื่อ AgI หนัก y g เปลี่ยนเป็น AgCl จะหนักเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{wt. AgCl} &= y \times \frac{\text{gFW AgCl}}{1 \times \text{gFW AgI}} \\ &= y \times \frac{143.37}{1 \times 234.87}\end{aligned}$$

น้ำหนักที่หายไปเมื่อเปลี่ยน AgI เป็น AgCl = 6 กรัม

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น} \quad y - \left(y \times \frac{143.37}{234.87} \right) &= 6 \\ y - 0.61042y &= 6 \\ 0.38958y &= 6 \\ y &= 15.4012 \\ &= 15.401 \text{ g}\end{aligned}$$

นั่นคือ AgI หนัก 15.401 กรัม

AgCl จะหนัก = $100 - 15.401$ กรัม

= 84.599 กรัม

$$\begin{aligned}\text{ดังนั้น} \quad \% \text{ Cl} &= \frac{\text{wt. AgCl} \times \text{gFW Cl}}{\text{wt. samples}} \times 100 \\ &= \frac{84.599 \times \frac{35.45}{143.37}}{100} \times 100 \\ &= 20.918 \\ &= 20.92 \%\end{aligned}$$

ตอบ สารเริ่มต้นมี Cl^- เท่ากับ 20.92 %