# การวิเคราะห์แคตไอออน (Cation Analysis)

# 13

## จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์แคตไอออนจากสารตัวอย่าง
2. เพื่อศึกษาเทคนิคในคุณภาพวิเคราะห์

## ทฤษฎี

แคตไอออนมีหลายชนิด สามารถจำแนกได้ตามสมบัติการตกตะกอนของแคตไอออนนั้นๆ ด้วยสารที่ทำให้ตกตะกอน(precipitating agent) ที่เหมาะสม ดังตารางนี้

| กลุ่มที่ | ชื่อ ชนิดของแคตไอออน | สมบัติของแคตไอออนและตะกอน | ตะกอนและสี |
|---|---|---|---|
| I | **Silver group** $Ag^{+}$, $Pb^{2+}$, $Hg_2^{2+}$ | ตกตะกอนกับคลอไรด์ ตะกอนที่ได้*ไม่ละลาย*ในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง | AgCl(ขาว),$AbCl_2$(ขาว), $Hg_2Cl_2$(ขาว) |
| IIA | **Copper group** $Cd^{2+}$, $Cu^{2+}$, $Bi^{3+}$, $Pb^{2+}$, $Hg^{2+}$ | ตกตะกอนกับซัลไฟด์ ตะกอนที่ได้ละลายได้ในแอมโมเนียเข้มข้น | CdS(เหลือง), CuS(ดำ), $Bi_2S_3$(น้ำตาล), PbS(ดำ), HgS(ดำ) |
| IIB | **Arsenic group** $As^{3+}$, $As^{5+}$, $Sb^{3+}$, $Sn^{2+}$, $Sn^{4+}$ | ตกตะกอนกับซัลไฟด์ ตะกอนที่ได้*ไม่ละลาย*ในแอมโมเนียเข้มข้น | $As_2S_3$(เหลือง), $Sb_2S_3$ (ส้ม), SnS(น้ำตาล), $SnS_2$(เหลือง) |

| กลุ่มที่ | ชื่อ ชนิดของแคตไอออน | สมบัติของแคตไอออนและตะกอน | ตะกอนและสี |
|---|---|---|---|
| IIIA | **Iron group** $Fe^{3+}$, $Al^{3+}$, $Cr^{3+}$ | ตกตะกอนกับไฮดรอกไซด์หรือออกไซด์ ตะกอนที่ได้*ไม่ละลาย*ได้ในสารละลายที่มี pH = 9 | $Fe(OH)_3$(น้ำตาลแดง), $Al(OH)_3$(วุ้นสีขาว), $Cr(OH)_3$(วุ้นสีเขียว) |
| IIIB | **Zinc group** $Mn^{2+}$, $Co^{2+}$, $Ni^{2+}$, $Zn^{2+}$ | ตกตะกอนกับไฮดรอกไซด์หรือซัลไฟท์ ตะกอนที่ได้ละลายได้ในสารละลายที่มี pH = 8 | MnS(ชมพู), CoS(ดำ), NiS(ดำ), ZnS(ขาว) |
| IV | **Alkali earth** หรือ **Calcium group** $Ba^{2+}$, $Sr^{2+}$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ | ตกตะกอนกับฟอสเฟต หรือคาร์บอเนต ในรูปของ $(NH_4)_2CO_3$ | $BaCO_3$(ขาว), $SrCO_3$(ขาว), $CaCO_3$(ขาว), $MgCO_3$(ขาว) |
| V | **Alkali group** $Na^+$, $K^+$, $NH_4^+$ | *ไม่ตกตะกอน*กับรีเอเจนต์ใด มักจะทดสอบโดยทำให้เกิดสีในเปลวไฟ (flame test) | |

## ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับแคตไอออน

### แคตไอออนหมู่ I

ได้แก่ $Ag^+$, $Pb^{2+}$ และ $Hg_2^{2+}$ แคตไอออนหมู่ I สามารถตกตะกอนกับกรดไฮโดรคลอริกเจือจางได้เกลือคลอไรด์ AgCl, $PbCl_2$ และ $Hg_2Cl_2$ ตะกอนที่ได้มีสีขาวและไม่ละลายในน้ำเย็น

### ซิลเวอร์ไอออน (silver ion, $Ag^+$)

ซิลเวอร์ไอออนเป็นแคตไอออนของเงิน มีเลขออกซิเดชันเป็น 1 ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเจือจางได้ตะกอนสีขาวของซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ที่

ไม่ละลายในน้ำร้อนหรือในกรด แต่ละลายได้ในสารละลายแอมโมเนีย เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน $[Ag(NH_3)_2]^+$ ซึ่งเปลี่ยนกลับมาเป็นตะกอน AgCl ได้ โดยเติมกรดไนตริก

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

$$AgCl(s) + 2NH_3(aq) \rightleftharpoons [Ag(NH_3)_2]Cl(aq)$$

$$[Ag(NH_3)_2]Cl(aq) + 2HNO_3(aq) \rightleftharpoons AgCl(s) + 2NH_4NO_3(aq)$$

สำหรับ $[Ag(NH_3)_2]Cl$ สามารถทำปฏิกิริยากับ KI ได้ตะกอนสีเหลืองของซิลเวอร์ไอโอไดด์ ( silver iodide, AgI ) ดังสมการ

$$[Ag(NH_3)_2]Cl(aq) + KI(aq) \rightleftharpoons AgI(s) + KCl(aq) + 2NH_3(aq)$$

ตะกอนของซิลเวอร์คลอไรด์ได้ในโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) และในโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$)

$$AgCl(s) + 2KCN(aq) \rightleftharpoons K[Ag(CN)_2](aq) + KCl(aq)$$

$$2AgCl(s) + 3Na_2S_2O_3(aq) \rightleftharpoons Na_4[Ag(S_2O_3)_3](aq) + 2NaCl(aq)$$

**ข้อควรระวัง** การตกตะกอนซิลเวอร์ไอออนด้วยกรดไฮโดรคลอริก ถ้าเติมกรดไฮโดรคลอริกมากเกินไป จะมีผลทำให้คลอไรด์ที่มากเกินพอเกิดปฏิกิริยากับซิลเวอร์คลอไรด์เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ $[AgCl_2]^-$ อยู่ในสารละลายแทนตะกอนของ AgCl

$$AgCl(s) + HCl(aq) \rightleftharpoons H[AgCl_2](aq)$$

## เลดไอออน (lead ion, $Pb^{2+}$)

เลดไอออนในสารละลายเป็นแคตไอออนของตะกั่วที่มีเลขออกซิเดชันเป็น 2 หรือเรียกว่า lead (II) ion ทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเจือจางได้ตะกอนสีขาว

ของเลดคลอไรด์ ($PbCl_2$) ที่ละลายในน้ำร้อนได้เลดไอออนและคลอไรด์ไอออน และเมื่อทำให้เย็นลงจะได้ตะกอนของเลดคลอไรด์กลับมาอีกครั้ง

$$Pb^{2+}(aq) + 2Cl^{-}(aq) \rightleftharpoons PbCl_2(s)$$

ตะกอนของเลดคลอไรด์สามารถสลายตัวได้ในกรดไฮโดรคลอริก เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้ เช่นเดียวกับซิลเวอร์คลอไรด์

$$PbCl_2(s) + HCl \rightleftharpoons H[PbCl_3](aq) \; ; \; PbCl_2(s) + 2HCl \rightleftharpoons H_2[PbCl_4](aq)$$

สำหรับเลดไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแตสเซียมโครเมต ($K_2CrO_4$) ได้ตะกอนสีเหลืองของเลดโครเมต ($PbCrO_4$) ไม่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก แต่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้สารละลายสีเหลือง

$$Pb^{2+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons PbCrO_4(s)$$

(สีเหลือง)

$$PbCrO_4(s) + 4NaOH(aq) \rightleftharpoons Na_2[PbO_2](aq) + Na_2CrO_4(aq) + 2H_2O(l)$$

นอกจากนี้แล้วเลดไอออนยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแตสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกิดตะกอนสีเหลืองของเลดไอโอไดด์ ($PbI_2$)

$$Pb^{2+}(aq) + 2I^{-}(aq) \rightleftharpoons PbI_2(s)$$

(สีเหลือง)

## เมอร์คิวรัสไอออน (mercurous ion, $Hg_2^{2+}$)

โดยปกติเมอร์คิวรี (Hg) จะมี 3 ออกซิเดชันสเตท คือ

เลขออกซิเดชัน = 0 ในเมอร์คิวรีอิสระ (mercury, Hg)

เลขออกซิเดชัน = 1 ในเมอร์คิวรัสไอออน (mercurous ion, $Hg_2^{2+}$)

เลขออกซิเดชัน = 2 ในเมอร์คิวริคไอออน (mercuric ion, $Hg^{2+}$)

สำหรับเมอร์คิวรัสไอออนนั้นจะไม่คงตัว สามารถถูกออกซิไดส์เป็นเมอร์คิวรีและถูกรีดิวซ์เป็นเมอร์คิวริคไอออนได้

$$Hg_2^{2+} \rightleftharpoons Hg^0(l) + Hg^{2+}$$

เมอร์คิวรัสไอออน ($Hg_2^{2+}$) เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง จะเกิดตะกอนเมอร์คิวรัสคลอไรด์ (mercurous chloride, $Hg_2Cl_2$) ซึ่งไม่ละลายน้ำ เมื่อทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียจะถูกออกซิไดส์ได้ตะกอนสีขาวเมอร์คิวริคเอมิโดคลอไรด์ (amino-mercuric chloride, $Hg(NH_2)Cl$) และถูกรีดิวซ์ได้สีดำของเมอร์คูรีด้วย สังเกตพบตะกอนขาวผสมกับของเหลวสีดำของปรอท

$$Hg_2^{2+}(aq) + 2Cl^-(aq) \rightleftharpoons Hg_2Cl_2(s)$$

$$\underset{\text{mercurous(I)}}{Hg_2Cl_2(s)} + 2NH_3(aq) \rightleftharpoons \underset{\text{mercuric(II)}}{Hg(NH_2)Cl(s)} + \underset{\text{mercury(0)}}{Hg(l)} + NH_4Cl(aq)$$

ส่วนเมอร์คิวริกไอออน ($Hg^{2+}$) เมื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง จะเกิดตะกอนเมอร์คิวริกคลอไรด์ (mercuric chloride, $HgCl_2$) ซึ่งละลายได้ในน้ำ จึงพบเมอร์คิวริกไอออนในสารละลาย

## แคตไอออนหมู่ II

หมู่ IIA ได้แก่ $Cd^{2+}$, $Cu^{2+}$, $Bi^{3+}$, $Pb^{2+}$, $Hg^{2+}$ และ หมู่ IIB ได้แก่ $As^{3+}$, $As^{5+}$, $Sb^{3+}$, $Sn^{2+}$, $Sn^{4+}$ แคตไอออนหมู่นี้สามารถตกตะกอนกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) เป็นเกลือซัลไฟด์ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้น 0.6M และ 0.3M แล้วจึงนำตะกอนเกลือซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นมาละลายเพื่อทำให้แคตไอออนอยู่ในรูปของสารละลาย จากนั้นจึงอาศัยสมบัติของการตกตะกอนแยกแคตไอออนออกจากกัน

สำหรับไฮโดรเจนซัลไฟด์จะมีกลิ่นเหม็นมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวก จะใช้ไทโออะเซตามีด (thioacetamide, $CH_3CSNH_2$) ในกรด จะได้ไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นดังสมการ

$$CH_3\overset{\overset{S}{\|}}{C}NH_2 + 2H_2O \longrightarrow CH_3\overset{\overset{O}{\|}}{C}O^- + NH_4^+ + H_2S$$

ตะกอนซัลไฟด์ของแคตไอออนหมู่ II จะให้สีที่แตกต่างกันไป

| Cation II | $H_2S$ | ตะกอนและสมบัติของตะกอน |
|---|---|---|
| $Cu^{2+}$ | $H_2S$ ใน HCl | ตะกอน CuS (ดำ) ละลายในกรดไนตริกเจือจางที่ร้อน |
| $Cd^{2+}$ | $H_2S$ ในกรด | ตะกอน CdS (เหลือง) ละลายในกรดไนตริกเจือจางที่ร้อน |
| $Bi^{3+}$ | $H_2S$ ที่เป็นกลาง | ตะกอน $Bi_2S_3$ (น้ำตาล) ละลายในกรดไนตริกเจือจางที่ร้อน |
| $Hg^{2+}$ | $H_2S$ excess | ตะกอน HgS (ดำ) ไม่ละลายในน้ำและกรดไนตริกเจือจาง แต่ละลายในกรดกัดทอง ($HNO_3$ + HCl) |

# แคตไอออนหมู่ IIA

## แคดเมียมไอออน (Cadmium ion, $Cd^{2+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของแคดเมียมไอออน

1. **Hydrogen sulfide,** $H_2S$ แคดเมียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะที่เป็นกรด ได้ตะกอนเหลืองของแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) ละลายได้ดีในกรดไนตริกเจือจางที่ร้อน

$$Cd^{2+}(aq) + H_2S(aq) \rightleftharpoons CdS(s) + 2H^+$$

$$3CdS(s) + 8HNO_3(aq) \rightleftharpoons 3Cd(NO_3)_2(aq) + 3S(s) + 2NO(g) + 4H_2O(l)$$

2. **Sodium hydroxide solution,** NaOH แคดเมียมไอออนจะตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตะกอนขาวของแคดเมียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งละลายได้ยาก

$$Cd^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Cd(OH)_2(s)$$

3. **Ammonia solution,** $NH_3$ แคดเมียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย เกิดตะกอนขาวของแคดเมียมไฮดรอกไซด์ก่อน แล้วละลายเป็นสารละลายเกลือเชิงซ้อนของเตตระแอมมีนแคดเมียมไอออน $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$

$$Cd^{2+}(aq) + 2NH_3(aq) + 2H_2O(l) \rightleftharpoons Cd(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$Cd(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq) + 2NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cd(NH_3)_4]^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$$

## คิวปริคไอออน (Cupric ion, $Cu^{2+}$)

ปกติคอปเปอร์หรือโลหะทองแดงปฏิกิริยาที่สำคัญของบิสมัทไอออน

1. **Hydrogen sulfide**, $H_2S$ เมื่อเติมไฮโดรเจนซัลไฟด์ลงในคิวปริกไอออนที่มีกรดไฮโดรคลอริก จะได้ตะกอนดำของคิวปริกซัลไฟด์ (cupric sulfide, CuS)

$$Cu^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \rightleftharpoons CuS(s)$$

ตะกอนของคิวปริกซัลไฟด์ ละลายได้ดีในกรดเจือจางที่ร้อนและละลายในสารละลายโพแทสเซียมไซยาไนด์ แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟุริกเจือจางที่ร้อน

$$3CuS(s) + 8HNO_3(aq) \rightleftharpoons 3Cu(NO_3)_2(aq) + 4H_2O(l) + 3S(s) + 2NO(g)$$

2. **Sodium hydroxide solution**, NaOH คิวปริกไอออนตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตะกอนฟ้าของคิวปริกไฮดรอกไซด์ ($Cu(OH)_2$) เมื่อนำไปต้มจะได้ตะกอนดำของคิวปริกออกไซด์ (CuO)

$$Cu^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Cu(OH)_2(s)$$

$$Cu(OH)_2(s) \rightleftharpoons CuO(s) + 2H_2O(l)$$

3. **Ammonia solution**, $NH_3$ คิวปริกไอออนทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย จะเกิดตะกอนสีน้ำเงินเข้มของคิวปริกไฮดรอกไซด์ ซึ่งละลายในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอ ได้สารละลายเชิงซ้อนสีฟ้าของเตตระแอมมีนคิวปริกไอออน $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

$$2Cu^{2+}(aq) + 2NH_3(aq) + 2H_2O(l) \rightleftharpoons Cu(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$Cu(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq) + 2NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{2+}(aq) + 2H_2O(l)$$

ไอออนเชิงซ้อนเตตระแอมมีนคิวปริกที่มีสีฟ้า เมื่อเติมสารละลายโซเดียมไซยาไนด์ จะได้ไอออนเชิงซ้อนคิวโปรไซยาไนด์ $[Cu(CN)_4]^{3+}$ ที่ไม่มีสี

$$2[Cu(NH_3)_4]^{2+}(aq) + 10CN^-(aq) \rightleftharpoons 2[Cu(CN)_4]^{3-}(aq) + 8NH_3(aq) + (CN)_2(aq)$$

**4. Potassium Ferrocyanide Solution**, $K_4[Fe(CN)_6]$ คิวปริกไอออนทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ ได้ตะกอนน้ำตาลแดงของคิวปริกเฟอร์โรไซยาไนด์ ; $Cu_2[Fe(CN)_6]$ ซึ่งไม่ละลายในสารละลายกรดเจือจาง *แต่* ละลายในสารละลายแอมโมเนียได้สารละลายไอออนเชิงซ้อนสีฟ้าของเตตระแอมมีนคิวปริกไอออน ; $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$

$$2Cu^{2+}(aq) + [Fe(CN)_6]^{4-}(aq) \rightleftharpoons Cu_2[Fe(CN)_6](s)$$

## บิสมัทไอออน (Bismuth ion, $Bi^{3+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของบิสมัทไอออน

**1. Hydrogen sulfide,** $H_2S$ บิสมิทไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน- ซัลไฟด์ ได้ตะกอนสีน้ำตาลของบิสมัทซัลไฟด์ ($Bi_2S_3$) ไม่ละลายในกรดเจือจางที่เย็นและไม่ละลายในสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์

$$2Bi^{3+}(aq) + 3S^{2-}(aq) \rightleftharpoons Bi_2S_3(s)$$

*แต่*ละลายในกรดไนตริกเจือจางที่ร้อนและละลายเมื่อต้มในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น

$$Bi_2S_3(s) + 2NO_3^-(aq) + 8H_3O^+(aq) \rightleftharpoons 2Bi^{3+}(aq) + 2S(s) + 2NO(g) + 12H_2O(l)$$

**2. Sodium hydroxide solution**, NaOH บิสมัทไอออนตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตะกอนขาวของบิสมัทไฮดรอกไซด์ ($Bi(OH)_3$)

$$Bi^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons Bi(OH)_3(s)$$

**3. Ammonia solution,** $NH_3$ บิสมัทไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย เกิดตะกอนขาวของบิสมัทไฮดรอกไซด์ ไม่ละลายในสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งแตกต่างไปจากตะกอนของ $Cu(OH)_2$ และ $Cd(OH)_2$ ที่ละลายในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอ

$$Bi^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) + 3H_2O(l) \rightleftharpoons Bi(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq)$$

ตะกอนแบเรียมไฮดรอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยาได้กับสารละลายโซเดียมสแตนนัส (Sodium stannite solution, $Na_2[Sn(OH)_4]$ )≫ ได้ตะกอนดำของบิสมัท (Bi)

$$2Bi(OH)_3(aq) + 3Na_2[Sn(OH)_4](aq) \rightleftharpoons 2Bi(s) + 3Na[Sn(OH)_6](aq)$$

บิสมัทไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย เกิดตะกอนขาวของบิสมัทไฮดรอกไซด์ ไม่ละลายในสารละลายแอมโมเนีย ซึ่งแตกต่างไปจาก $Cu(OH)_2$ และ $Cd(OH)_2$ ที่ละลายในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอ

$$Bi^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) + 2H_2O(l) \rightleftharpoons Bi(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq)$$

## เมอร์คิวริคไอออน (Mercuric ion, $Hg^{2+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของเมอร์คิวริคไอออน

**1. Hydrogen sulfide,** $H_2S$ การทำปฏิกิริยาระหว่างเมอร์คิวริคไอออนกับไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะมีตะกอนดำของเมอร์คิวริคซัลไฟด์ (HgS)

---

≫ Sodium stannite solution เตรียมได้จากเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทีละหยด ลงในสารละลาย สแตนนัสคลอไรด์ จนกระทั่งตะกอนขาวของสแตนนัสไฮดรอกไซด์ละลายหมด

$$SnCl_2(aq) + NaOH(aq) \rightleftharpoons Sn(OH)_2(s) + 2NaCl(aq)$$

ตะกอนของสแตนนัสไฮดรอกไซด์สามารถละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ ได้ไอออนเชิงซ้อนของดีบุก ; $Na_2[Sn(OH)_4]$

$$Sn(OH)_2(s) + 2NaOH(aq) \rightleftharpoons Na_2[Sn(OH)_4](aq)$$

$$Hg^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \rightleftharpoons HgS(s)$$

เมอร์คิวริคซัลไฟด์ไม่ละลายในน้ำและไม่ละลายในกรดไนตริกเจือจางที่ร้อน แต่ละลายในกรดกัดทอง*

$$3HgS(s) + 2HNO_3(aq) + 6HCl(aq) \rightleftharpoons 3HgCl_2(aq) + 2NO(g) + 2S(s) + 4H_2O(l)$$

2. **Stannous chloride solution**⁂, $SnCl_2$ เมอร์คิวริคคลอไรด์ ($HgCl_2$) สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายสแตนนัสคลอไรด์ เกิดตะกอนขาวของเมอร์คิวริคคลอไรด์ ($Hg_2Cl_2$) ก่อน แล้วจึงถูกรีดิวซ์เป็นโลหะสีดำของเมอร์คิวรี (ปรอท ; Hg)

$$2HgCl_2(aq) + SnCl_2(aq) \rightleftharpoons SnCl_4(aq) + Hg_2Cl_2(s)$$

$$Hg_2Cl_2(s) + SnCl_2(aq) \rightleftharpoons SnCl_4(aq) + 2Hg(l)$$

3. **Ammonia solution**, $NH_3$ เมอร์คิวริคคลอไรด์สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย เกิดตะกอนขาวของอะมิโนเมอร์คิวริคคลอไรด์ ; $(NH_2)HgCl$ ที่ละลายในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอ

$$HgCl_2(aq) + 2NH_3(aq) \rightleftharpoons Hg(NH_2)Cl(s) + NH_4Cl(aq)$$

4. **Sodium hydroxide solution**, NaOH เมอร์คิวริคไอออนตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตะกอนเหลืองของเมอร์คิวริคออกไซด์ (HgO)

$$Hg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons HgO(s) + H_2O(l)$$

---

* กรดกัดทอง (aqua regia) เป็นสารละลายผสมของกรดไฮโดรคลอริกกับกรดไนตริก

⁂ สารละลายสแตนนัสคลอไรด์ เตรียมได้จาก 5% $SnCl_2$ ใน 10N HCl

# แคตไอออนหมู่ IIB

## อาร์เซนิคไอออน (Arsenic ion, $As^{3+}$)

อาร์เซนิค (As) เป็นโลหะสีเทา ไม่ละลายในกรดไฮโดรคลอริกและไม่ละลายในกรดซัลฟุริกเจือจาง ที่มีเลขออกซิเดชันหลายค่าทั้ง +3 และ +5 สารประกอบของอาร์เซนิคทุกตัวเป็นสารพิษ ที่พบทั่วไปมีสองรูป คือ

1. สารประกอบของอาร์เซเนียส มักพบในรูปของอาร์เซเนียสอาร์เซเนียสออกไซด์ ($As_4O_6$) ได้แก่ เกลือของกรดแก่ ; อาร์เซเนียสคลอไรด์ ($AsCl_3$) และเบสแก่ ; โซเดียมอาร์เซไนท์ ($NaAsO_2$)

2. สารประกอบของอาร์เซนิค มักพบในรูปของอาร์เซนิคเพนตอกไซด์ ($As_2O_5$) ได้แก่ เกลือของ tribasic ortho arsenic acid เช่น $NaH_2AsO_4$ , $Na_2HAsO_4$ และ $Na_3AsO_4$

ปฏิกิริยาที่สำคัญของสารประกอบอาร์เซเนียส ($As^{3+}$)

**1. Hydrogen sulfide,** $H_2S$ การทำปฏิกิริยาระหว่าง $As^{3+}$ กับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก จะได้ตะกอนเหลืองของอาร์เซเนียสซัลไฟด์ ($As_2S_3$)

$$2As^{3+}(aq) + 3S^{2-}(aq) \rightleftharpoons As_2S_3(s)$$

อาร์เซเนียสซัลไฟด์ไม่ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น แต่ละลายในกรดไนตริกเข้มข้นที่ร้อน

$$3As_2S_3(s) + 20HNO_3(aq) + 4H_2O \rightleftharpoons 6H_3AsO_4(aq) + 9H_2SO_4(aq) + 20NO(g)$$

นอกจากนี้ อาร์เซเนียสซัลไฟด์ยังละลายในสารละลายอัลคาไลไฮดรอกไซด์เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ และละลายในสารละลายแอมโมเนีย

$$As_2S_3(s) + 6NaOH(aq) \rightleftharpoons 6Na_3AsO_3(aq) + Na_3AsS_3(aq) + 3H_2O(l)$$

$$As_2S_3(s) + 6NH_3(aq) + 3H_2O(l) \rightleftharpoons (NH_4)_3AsO_3(aq) + (NH_4)_3AsS_3(aq)$$

2. **Siver nitrate solution**, $AgNO_3$ อาร์เซเนตสามารถตกตะกอนกับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ได้ตะกอนเหลืองของซิลเวอร์อาร์เซไนท์ ($Ag_3AsO_3$) ซึ่งละลายในสารละลายแอมโมเนียและกรดไนตริก

$$Na_3AsO_3(aq) + 3AgNO_3(aq) \rightleftharpoons Ag_3AsO_3(s) + 3NO_3^-(aq)$$

3. **Ammonium molybdate solution**, $(NH_4)_2MoO_4$ เมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดตในกรดไนตริกลงในสารละลายของอาร์เซเนต แล้วนำไปต้มจะเกิดผลึกสีเหลืองของแอมโมเนียมอาร์เซโนโมลิบเดต ; $(NH_4)_2[AsMo_{12}O_{40}]$ ไม่ละลายในกรดไนตริก แต่ละลายในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอ

$$Na_3AsO_3 + 12(NH_4)_3MoO_4 + 23HNO_3$$

$$\rightleftharpoons (NH_4)_2[AsMo_{12}O_{40}](s) + 21NH_4NO_3 + 2NaNO_3 + 12H_2O$$

## แอนทิโมเนียสไอออน (Antimonious ion, $Sb^{3+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของแอนทิโมเนียสไอออน

1. **Hydrogen sulfide**, $H_2S$ แอนทิโมเนียสไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสารละลายที่ไม่เป็นกรดมาก ได้ตะกอนส้มแดงของแอนทิโมนีไตรซัลไฟด์ ($Sb_2S_3$) ตะกอนที่ได้ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น

$$2Sb^{3+}(aq) + 3S^{2-}(aq) \rightleftharpoons Sb_2S_3(s)$$

$$Sb_2S_3(s) + 6HCl(aq) \rightleftharpoons 2SbCl_3(aq) + 3H_2S(g)$$

และตะกอนแอนทิโมนีไตรซัลไฟด์ ยังละลายในสารละลายแอมโมเนียมพอลีซัลไฟด์ ($(NH_4)_2S_2$) ได้สารละลายไทโอแอนทิโมเนต เมื่อเติมกรดไฮโดรคลอริกลงไปจะได้ตะกอนของแอนติโมนีเพนทะซัลไฟด์และสลายเป็นแอนทิโมนีไตรซัลไฟด์และซัลเฟอร์ในที่สุด

$$Sb_2S_3(s) + 3(NH_4)_2S_2(aq) \rightleftharpoons 2(NH_4)_3SbS_4(aq) + S$$

$$2(NH_4)_3SbS_4 + 6HCl(aq) \rightleftharpoons Sb_2S_5(aq) + 6NH_4Cl + 3H_2S$$

$$Sb_2S_5 \rightleftharpoons Sb_2S_3(s) + 3S$$

2. **Sodium hydroxide solution**, NaOH สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถตกตะกอนแอนทิโมเนียสไอออนได้ตะกอนขาวของไฮเดรตแอนทิโมเนียสออกไซด์ ($Sb_4O_6$, $xH_2O$) ที่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น

$$4Sb^{2+}(aq) + 12OH^-(aq) \rightleftharpoons Sb_4O_6(s) + 6H_2O(l)$$

$$Sb_4O_6(s) + 4NaOH(aq) \rightleftharpoons 4Na[SbO_2](aq) + 2H_2O(l)$$

## สแทนนัสไอออน (Stannous ion, $Sn^{2+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของสแทนนัสไอออน

1. **Hydrogen sulfide,** $H_2S$ สแทนนัสไอออนสามารถตกตะกอนได้ด้วยไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสารละลายที่เป็นกรดเจือจาง ได้ตะกอนน้ำตาลของสแทนนัสซัลไฟด์ (SnS) ตะกอนที่ได้ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น

$$Sn^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \rightleftharpoons SnS(s)$$

$$SnS(s) + 2HCl(aq) \rightleftharpoons SnCl_2(aq) + H_2S(g)$$

2. **Sodium hydroxide solution**, NaOH สแทนนัสไอออนจะตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ได้ตะกอนขาวของสแทนนัสไฮดรอกไซด์ ซึ่งละลายได้ในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ

$$Sn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Sn(OH)_2(s)$$

$$Sn(OH)_2(s) + 2NaOH(aq) \rightleftharpoons Na_2[SnO_2](aq) + 2H_2O(l)$$

3. **Mercuric chloride solution**, $HgCl_2$ สารละลายเมอร์คิวริคคลอไรด์จะตกตะกอนสแทนนัสคลอไรด์ ได้ตะกอนขาวของเมอร์คิวรัสคลอไรด์ ($Hg_2Cl_2$) ถ้ามี

สารละลายสแทนนัสคลอไรด์มากเกินพอหรือนำไปต้ม จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันต่อไปได้ตะกอนสีเทา ที่มีปรอทปนอยู่

$$SnCl_2(aq) + 2HgCl_2(aq) \rightleftharpoons SnCl_4(aq) + Hg_2Cl_2(s)$$

$$SnCl_2(aq) + 2Hg_2Cl_2(aq) \rightleftharpoons SnCl_4(aq) + 2Hg(l)$$

## การวิเคราะห์หาแคตไอออนหมู่ I-II

ให้นักศึกษานำ**หลอดทดลองขนาดใหญ่**ไปเบิกสารตัวอย่าง

เพื่อนำมาวิเคราะห์ตามการทดลองต่อไปนี้

- สารตัวอย่างที่รับมาแต่ละอาทิตย์ ไม่ต้องเก็บไว้ใช้อาทิตย์ถัดไป
- ในการนำสารละลายเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงแต่ละครั้ง จะได้ตะกอนกับเซนติฟิวเกจ ที่ต้องนำมาทำการทดลองต่อไป

# วิธีการวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ I

1. ตกตะกอนแคตไอออนหมู่ I

เทสารตัวอย่าง 1 มล. ใส่หลอดทดลอง **ตกตะกอนให้สมบูรณ์**ด้วย 6M HCl ทีละหยด จะได้ตะกอนสีขาวของแคตไอออนหมู่ I ($AgCl$, $Hg_2Cl_2$, $PbCl_2$) นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง *ตะกอน*ที่ได้วิเคราะห์หาแคตไอออนหมู่ I *ส่วนเซนติฟิวเกจ*ให้นำไปวิเคราะห์หาแคตไอออนหมู่ II ต่อไป

2. แยกเลดไอออน ($Pb^{2+}$)

*ตะกอน*ที่ได้ ($AgCl$, $Hg_2Cl_2$, $PbCl_2$) เติมน้ำกลั่น 2 มล. ต้มในอ่างน้ำเดือดพร้อมคน (ตะกอน $PbCl_2$ ละลายในน้ำร้อน) นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงขณะที่ยังร้อน

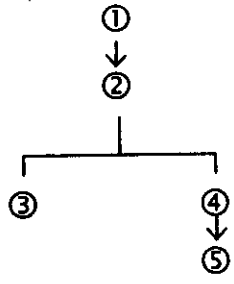
3. เซนติฟิวเกจ ($Pb^{2+}$) ทำได้ 2 วิธี

**วิธีที่ 1** นำ*เซนติฟิวเกจ*หยด 1M $K_2CrO_4$ ลงไป 5-7 หยด ถ้าได้*ตะกอน*สีเหลืองของ $PbCrO_4$ นำไปเติม NaOH 1 มล. ตะกอนจะละลายได้สารละลายสีเหลือง แสดงว่ามี $\mathbf{Pb^{2+}}$

**วิธีที่ 2** นำ*เซนติฟิวเกจ*ไปแช่น้ำเย็น จะได้*ตะกอน*สีขาวของ $PbCl_2$ แสดงว่ามี $\mathbf{Pb^{2+}}$

4. ตะกอน ($AgCl$, $Hg_2Cl_2$)

*ตะกอน*ที่ได้เติม 6M $NH_4OH$ 2 มล. คนสารละลาย นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ถ้าได้*ตะกอน*สีเทา-ดำ จะเป็นสารผสมของ $Hg(NH_4)Cl(s)$ และ $Hg(l)$ แสดงว่าสารตัวอย่างมี mercurous ion, $\mathbf{Hg_2^{2+}}$ *ส่วนเซนติฟิวเกจ* $(Ag(NH_3)_2)^+$ นำมาวิเคราะห์หา $Ag^+$

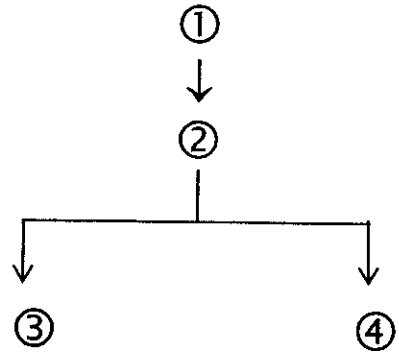



5. เซนติฟิวเกจ (ทดสอบ $Ag^+$)

เติม 6M $HNO_3$ ลงไปใน*เซนติฟิวเกจ*จนเป็นกรด ถ้าได้*ตะกอน*สีขาวของ AgCl แสดงว่ามี $\mathbf{Ag^+}$

# วิธีการวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ II

ทำการทดลองตามแผนผังของข้อต่อไปนี้




1. **ตกตะกอนแคตไอออนหมู่ II**

นำ*เซนติฟิวเกต*ที่แยกแคตไอออนหมู่ I ออกแล้ว เติม 3%$H_2O_2$ 5-6 หยด อุ่นไล่ $O_2$ ออกให้หมด ทิ้งไว้ให้เย็น *ทำให้เป็นเบส*ด้วย 6M $NH_4OH$ แล้ว*ทำให้เป็นกรด*ด้วย 6M HCl แล้วเติมต่อไปอีก 5 หยด เติมน้ำกลั่น 2 มล. (ได้สารละลาย HCl เข้มข้น 0.6M) นำไปอุ่น 5 นาที แล้ว**ตกตะกอนให้สมบูรณ์**ด้วย thioacetamide ($CH_3CSNH_2$) นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง *ตะกอน*นำมาวิเคราะห์หาแคตไอออนหมู่ II ส่วน*เซนติฟิวเกต*เก็บไว้วิเคราะห์หมู่ III-V

2. **แยกตะกอนแคตไอออนหมู่ IIA** : HgS (ดำ) PbS (ดำ) $Bi_2S_3$ (น้ำตาลดำ) CuS (ดำ) CdS (เหลือง) $As_2S_3$ (เหลือง) $Sb_2S_3$ (ส้ม) SnS (น้ำตาล)

เติม 1M $NH_4NO_3$ 2 มล. ลงใน*ตะกอน* คน นำไปอุ่น 2 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง จะได้*ตะกอน*ของ HgS, PbS, $Bi_2S_3$, CuS, CdS ส่วน*สารละลาย*คือหมู่ IIB $As^{3+}$, $Sb^{3+}$, $Sn^{2+}$

**3. วิเคราะห์แคตไอออนหมู่ IIA**

เติม 6M $HNO_3$ 2 มล. ในตะกอน คน นำไปอุ่น 5 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

**ตะกอน : HgS**
ละลายตะกอนด้วยกรดกัดทอง (aqua regia : HCl conc. 1 มล. และ $HNO_3$ conc. 0.5 มล.) อุ่นจนตะกอนละลายหมด เติม 1M $SnCl_2$ 2 มล. (เพื่อกำจัด $Cl_2$ และ NO) ถ้าได้ตะกอนสีขาวซึ่งจะค่อยๆเปลี่ยนเป็นสีดำหรือเทา แสดงว่ามี $Hg^{2+}$

**เซนติฟิวเกจ : $Pb^{2+}$, $Bi^{3+}$, $Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$**
เขี่ยซัลเฟอร์ที่ลอยอยู่ทิ้งไป เติม 5M $(NH_4)_2SO_4$ 1 มล. คนให้ทั่ว ตั้งทิ้งไว้ให้ตะกอนตกสมบูรณ์ แล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

**ตะกอน : $PbSO_4$**
ล้างตะกอนก่อน แล้วเติม 6M ของ $CH_3COOH$ 3 หยด และ 6M ของ $CH_3COONH_4$ 1 มล. คน อุ่น 3 นาที $K_2CrO_4$ 1 มล. ถ้าได้ตะกอนเหลืองของ $PbCrO_4$ แสดงว่ามี $Pb^{2+}$

**เซนติฟิวเกจ : $Bi^{3+}$, $Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$**
ทำให้เป็นเบสด้วย $NH_3$ conc.(ทำในตู้ดูดควัน) เติมให้มากเกินพออีก 1 มล. เพื่อให้ตกตะกอนสมบูรณ์ นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

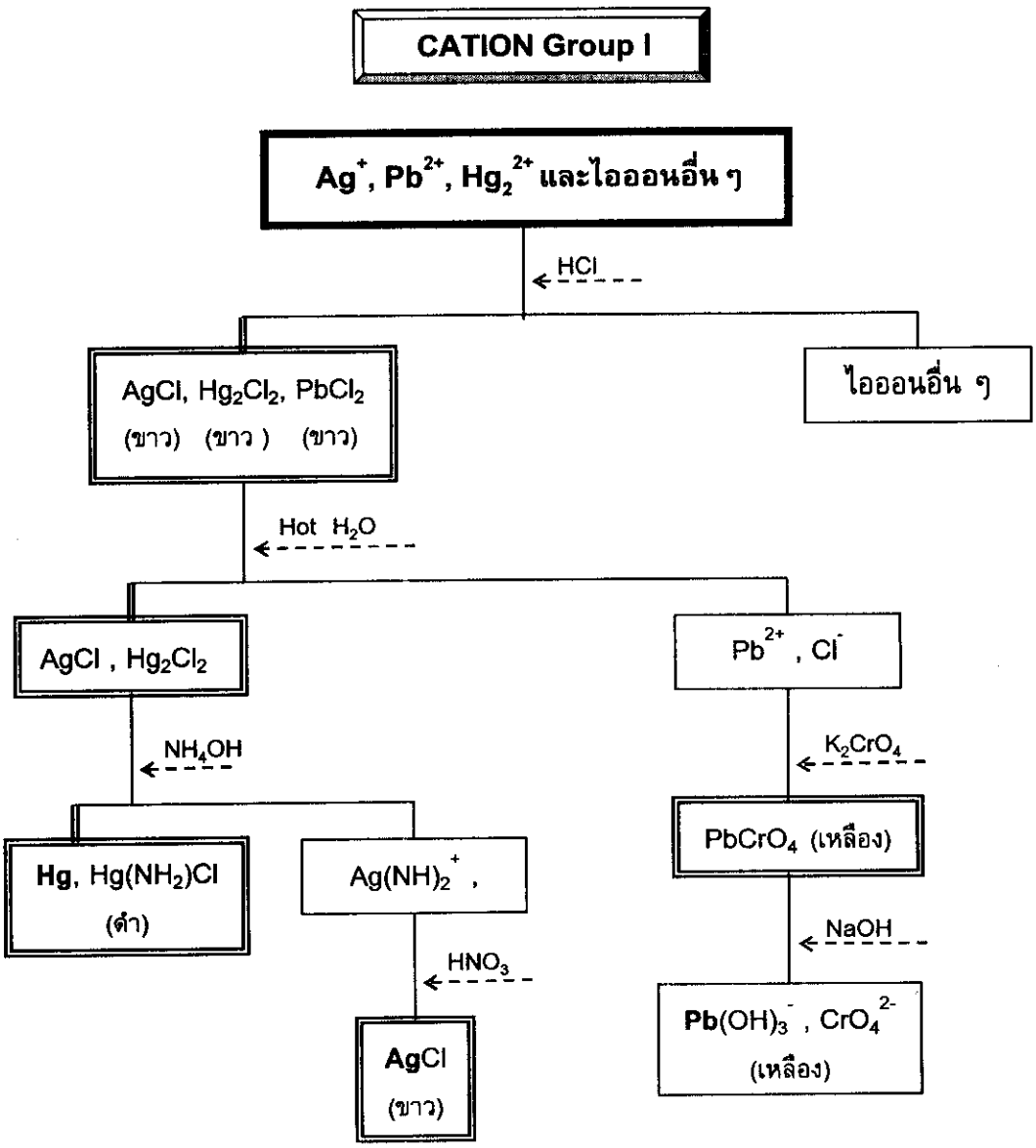
**ตะกอน : $Bi(OH)_3$**
ล้างตะกอนก่อน แล้วเติม $NaHSnO_4$ (1M $SnCl_2$ 1 มล. และ 6M NaOH 2 มล.) คนให้ทั่ว ถ้าได้ตะกอนสีดำ แสดงว่ามี $Bi^{3+}$

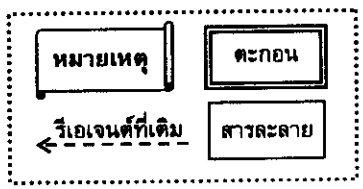
**เซนติฟิวเกจ : $Cu^{2+}Cd^{2+}$**
$[Cu(NH_3)_4]^{2+}$(สีน้ำเงิน)และ $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$(ไม่มีสี) แบ่งสารละลายออกเป็นสองส่วน

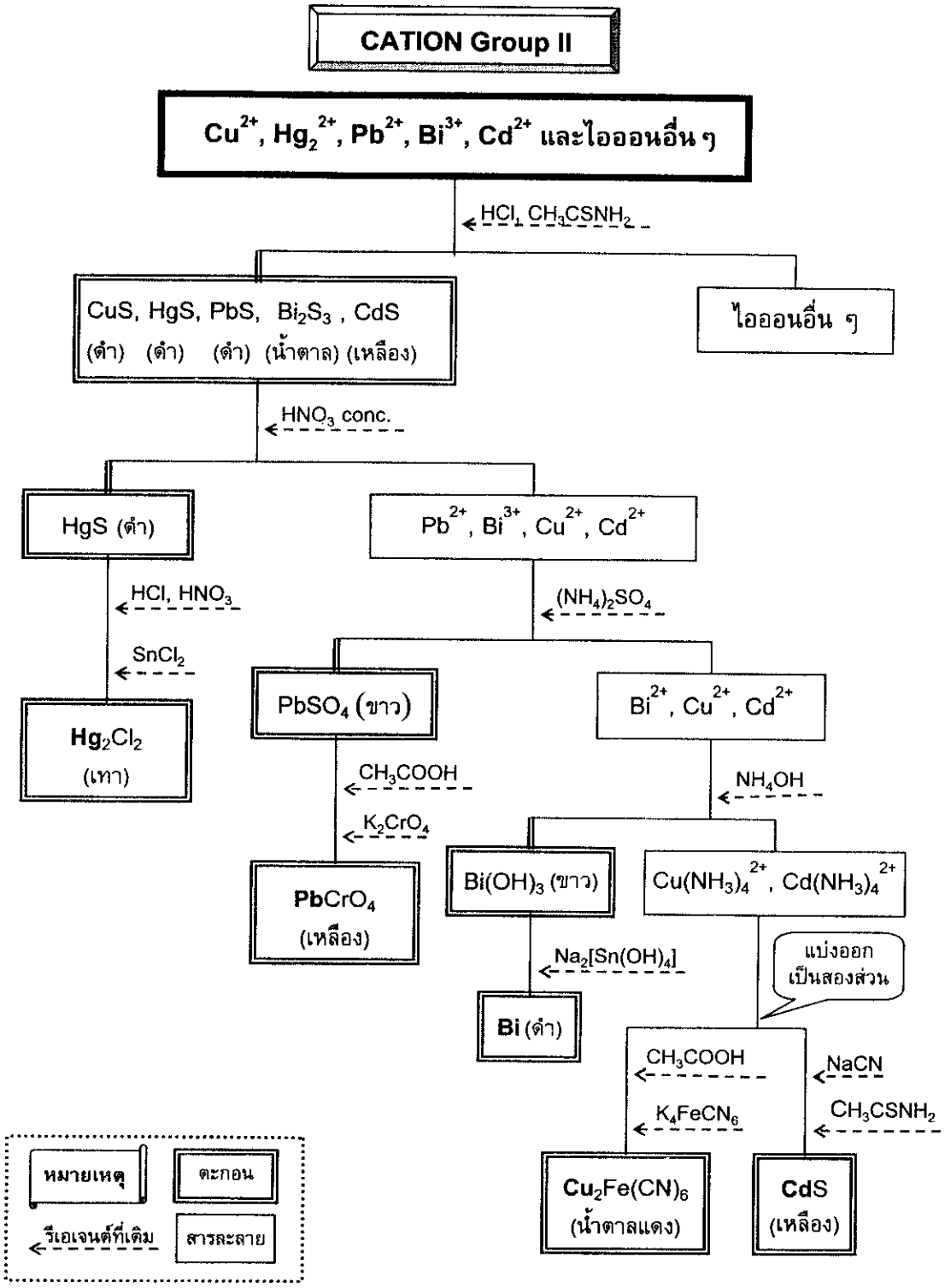
**ส่วนที่ 1**
ถ้าสารละลายมีสีน้ำเงิน แสดงว่ามี $Cu^{2+}$ หรือ อีกวิธีคือทำสารละลายให้เป็นกรดด้วย 6M $CH_3COOH$ เติม $K_4Fe(CN)_6$ 1 มล. ถ้าได้ตะกอนสีน้ำตาลแดงของ $Cu_2Fe(CN)_6$ แสดงว่ามี $Cu^{2+}$

**ส่วนที่ 2**
ถ้าสารละลายมีสีน้ำเงิน กำจัดสีน้ำเงินของสารประกอบเชิงซ้อน $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ โดยเติม 1M NaCN จนใส เติม thioacetamide 10 หยด อุ่น ถ้าได้ตะกอนเหลืองของ CdS แสดงว่ามี $Cd^{2+}$

<table>
<tr><td colspan="3">4. วิเคราะห์แคตไอออนหมู่ IIB (เซนติฟิวเกจ $As^{3+}$, $Sb^{3+}$, $Sn^{2+}$)<br>ทำให้เป็นกรดด้วย 6M $CH_3COOH$ เติมให้มากเกินพออีก 1 มล. คนให้ทั่ว นำไปอุ่น แล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น ตะกอนที่ได้เติม น้ำกลั่นอีก 2 มล. และ HCl conc 4 มล. คน นำไปอุ่น และนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง</td></tr>
<tr><td rowspan="2">ตะกอน : $AsS_4$ , $As_2S_5$<br>ละลายตะกอนด้วย $HNO_3$ conc 3 มล. อุ่น แล้วเติม $(NH_4)_2MoO_4$ 0.5 มล. นำไปอุ่นนาน 5 นาที ถ้าได้ตะกอนสีเหลืองแสดงว่ามี $As^{2+}$</td><td colspan="2">เซนติฟิวเกจ : $Sb^{3+}$, $Sn^{4+}$<br>แบ่งสารละลายออกเป็น 2 ส่วน</td></tr>
<tr><td>ส่วนที่ 1 $Sn^{4+}$<br>ใส่โลหะเหล็ก 1 ชิ้น ลงในสารละลาย อุ่น นำแต่สารละลายมาเติม $HgCl_2$ excess 1-2 หยด ถ้าเกิดตะกอนสีขาวซึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีเทาหรือดำแสดงว่ามี $Sn^{4+}$</td><td>ส่วนที่ 2 $Sb^{3+}$<br>เติม 1M oxalic acid 5 มล. คนให้ทั่ว นำไปอุ่น แล้วเติม thioacetamide 2-3 หยด ถ้าเกิดตะกอนสีส้มแสดงว่ามี $Sb^{3+}$</td></tr>
</table>


CATION Group I
$Ag^+$, $Pb^{2+}$, $Hg_2^{2+}$ และไอออนอื่น ๆ
HCl
AgCl, $Hg_2Cl_2$, $PbCl_2$
(ขาว) (ขาว ) (ขาว)
ไอออนอื่น ๆ
Hot $H_2O$
AgCl , $Hg_2Cl_2$
$Pb^{2+}$ , $Cl^-$
$NH_4OH$
$K_2CrO_4$
Hg, $Hg(NH_2)Cl$
(ดำ)
$Ag(NH_3)_2^+$ ,
$PbCrO_4$ (เหลือง)
$HNO_3$
NaOH
AgCl
(ขาว)
$Pb(OH)_3^-$ , $CrO_4^{2-}$
(เหลือง)


หมายเหตุ
ตะกอน
รีเอเจนต์ที่เติม
สารละลาย


CATION Group II
$Cu^{2+}$, $Hg_2^{2+}$, $Pb^{2+}$, $Bi^{3+}$, $Cd^{2+}$ และไอออนอื่น ๆ
HCl, $CH_3CSNH_2$
CuS, HgS, PbS, $Bi_2S_3$, CdS
(ดำ) (ดำ) (ดำ) (น้ำตาล) (เหลือง)
ไอออนอื่น ๆ
$HNO_3$ conc.
HgS (ดำ)
$Pb^{2+}$, $Bi^{3+}$, $Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$
HCl, $HNO_3$
$SnCl_2$
$(NH_4)_2SO_4$
$Hg_2Cl_2$
(เทา)
$PbSO_4$ (ขาว)
$Bi^{2+}$, $Cu^{2+}$, $Cd^{2+}$
$CH_3COOH$
$K_2CrO_4$
$NH_4OH$
$PbCrO_4$
(เหลือง)
$Bi(OH)_3$ (ขาว)
$Cu(NH_3)_4^{2+}$, $Cd(NH_3)_4^{2+}$
$Na_2[Sn(OH)_4]$
แบ่งออก
เป็นสองส่วน
Bi (ดำ)
$CH_3COOH$
NaCN
$K_4FeCN_6$
$CH_3CSNH_2$
$Cu_2Fe(CN)_6$
(น้ำตาลแดง)
CdS
(เหลือง)
หมายเหตุ
ตะกอน
รีเอเจนต์ที่เติม
สารละลาย

# แคตไอออนหมู่ III

แคตไอออนหมู่ IIIA ได้แก่ $Al^{3+}$, $Cr^{3+}$, $Fe^{3+}$

แคตไอออนหมู่ IIIB ได้แก่ $Mn^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Ni^{2+}$, $Co^{2+}$

แคตไอออนหมู่ III จะตกตะกอนกับซัลไฟด์และไฮดรอกไซด์ ในสารละลายด่าง โดยให้สีของตะกอนแตกต่างกันไป เช่น MnS (สีเนื้อ), $Fe_2S_3$ (ดำ), CoS (ดำ), NiS (ดำ), ZnS (ขาว), $Al(OH)_3$ (วุ้นสีขาว), $Cr(OH)_3$ (ฟ้าอมม่วง)

ดังตารางการเกิดปฏิกิริยาของแคตไอออนหมู่ III และสมบัติของตะกอนที่ได้

| แคตไอออน | ทำปฏิกิริยากับ | สารผลิตภัณฑ์ | สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ |
|---|---|---|---|
| $Al^{3+}$ | $NH_4OH$ | $Al(OH)_3(s)$ | ตะกอนวุ้นสีขาว ละลายในสารละลายที่เป็นกรด ย้อมสีได้ด้วย aluminon ได้ตะกอนวุ้นสีแดง |
| $Cr^{3+}$ | $NH_4OH$ | $Cr(OH)_3(s)$ | ตะกอนวุ้นสีเขียวอมเทา ละลายใน NaOH ที่มี $H_2O_2$ ได้ $[CrO_4]^{2-}$ (ทำปฏิกิริยากับ $Pb(CH_3COO)_2$ ได้ตะกอนสีเหลืองของ $PbCrO_4$) |
| $Fe^{3+}$ | $NH_4OH$ | $Fe(OH)_3(s)$ | ตะกอนวุ้นสีน้ำตาลแดง ละลายในกรด แต่ไม่ละลายใน โซเดียมไฮดรอกไซด์ |
| | KSCN | $[Fe(SCN)]^{2+}$ | สารละลายสีแดงเข้ม |
| | $K_4Fe(CN)_6$ | $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ | สารละลายสีน้ำเงินเข้ม |
| $Mn^{2+}$ | $NH_4OH$ | $Mn(OH)_2(s)$ | ตะกอนขาว ละลายในเกลือแอมโมเนีย |
| | $H_2S$ | $MnS(s)$ | ตะกอนสีเนื้อ ละลายได้ในกรดเจือจาง |
| | $NaBiO_3$ | $MnO_4^-$ | สารละลายสีม่วงแดง |

| แคตไอออน | ทำปฏิกิริยากับ | สารผลิตภัณฑ์ | สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ |
|---|---|---|---|
| $Zn^{2+}$ | $NH_4OH$ | $Zn(OH)_2(s)$ | ตะกอนสีขาว ละลายได้ดีในเบส $NH_3$ ได้ $Zn(NH_3)_4^{2+}$ ซึ่งทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ($H_2S$) ในเบสได้ตะกอนสีขาวของ ZnS |
| | $H_2S$ | $ZnS(s)$ | ตะกอนสีขาว ละลายได้ดีในกรด |
| $Co^{2+}$ | $NH_4OH$ | $Co(OH)_2(s)$ | ตะกอนสีน้ำเงิน ละลายได้ดีใน $NH_4OH$ excess ได้สารละลาย $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ สีฟ้าเข้ม ซึ่งจะทำปฏิกิริยาได้กับ $H_2S$ ในเบส ได้ตะกอนสีดำของ CoS (ละลายในกรดกัดทอง) |
| | KSCN | $[Co(SCN)_4]^{2-}$ | สารละลายสีน้ำเงิน |
| $Ni^{2+}$ | $NH_4OH$ | $Ni(OH)_2(s)$ | ตะกอนสีเขียว ละลายได้ใน $NH_4OH$ excess ได้สารประกอบเชิงซ้อน $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$ ซึ่งทำปฏิกิริยากับ $H_2S$ ในเบส ได้ตะกอนสีดำของ NiS (ละลายได้ในกรดกัดทอง) |
| | $C_4H_8N_2O_8$ (ไดเมทิลไกล-ออกซีมใน $NH_3$) | $Ni(C_4H_7N_2O_2)_2$ | ตะกอนสีแดง |
| | $H_2S$ | NiS | ตะกอนสีดำ |

# แคตไอออนหมู่ IIIA

## อลูมิเนียมไอออน (Aluminium ion, $Al^{3+}$)

เกลือของอลูมิเนียมส่วนใหญ่จะไม่มีสี และละลายได้ดีทั้งในน้ำ ในกรดแก่ และในเบสแก่ แต่ไม่ละลายในสารละลายแอมโมเนีย ปฏิกิริยาที่สำคัญของอลูมิเนียมไอออน ได้แก่

1. **Ammonia solution,** $NH_3$ อลูมิเนียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ได้ตะกอนวุ้นสีขาวของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ ($Al(OH)_3$) ละลายได้ดีในกรดแก่และเบสแก่ ได้สารละลายอลูมิเนียมคลอไรด์ ($AlCl_3$) และสารละลายโซเดียมอลูมิเนต ($Na[AlO_2]$)* ตามลำดับ

$$Al^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) + 3H_2O(l) \rightleftharpoons Al(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq)$$

$$Al(OH)_3(s) + 3HCl \rightleftharpoons AlCl_3(aq) + 3H_2O(l)$$

$$Al(OH)_3(s) + NaOH(aq) \rightleftharpoons Na[AlO_2](aq) + 2H_2O(l)$$

2. **Sodium hydroxide solution**, NaOH อลูมิเนียมไอออนตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตะกอนวุ้นขาวของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เช่นเดียวกันและละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ ดังสมการข้างต้น ขณะที่เติมเบสแก่

$$Al^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons Al(OH)_3(s)$$

สารละลายโซเดียมอลูมิเนตสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ตะกอนของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์กลับมาอีกครั้ง เมื่อเติมรีเอเจนต์บางตัวลงไป เช่น เบสอ่อนของแอมโมเนีย ($CH_3COONH_4$ , $NH_4Cl$ โดยต้มไล่ก๊าซแอมโมเนียออกไป) หรือกรดแก่

---

* $[AlO_2]^-$ เป็นรูปที่ถูกไฮเดรตมาจาก $[Al(OH)_4]^-$ แล้วได้ $[AlO_2.H_2O]^-$

$$Na[AlO_2](aq) + CH_3COONH_4 + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3(s) + NH_3(g) + CH_3COONa$$

$$Na[AlO_2](aq) + HCl + H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3(s) + NaCl$$

3. **Ammonium sulfide solution**, $NH_4HS$ อลูมิเนียมไอออนทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ จะเกิดตะกอนวุ้นขาวของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจาก $Al_2S_3$ ถูกไฮโดรไลส์ได้สมบูรณ์

$$2Al^{3+}(aq) + 3NH_4HS + 3NH_3 \rightleftharpoons Al_2S_3(s) + 6NH_4^+$$

$$Al_2S_3 + 6H_2O \rightleftharpoons 2Al(OH)_3(s) + 3H_2S(g)$$

4. **Aluminon reagent**[†] เป็นสารละลายที่เป็นสีย้อม ซึ่งสามารถย้อมสีตะกอนอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เป็นตะกอนเชิงซ้อนที่มีสีแดง

## โครมิกไอออน (Chromic ion, $Cr^{3+}$)

สารละลายเชิงซ้อนของเกลือโครมิกมีหลายสี เช่น สีม่วงของสารละลายกรดโครมิก $[Cr(H_2O)_6]^{3+}$ สารละลายสีเขียวของโครมิกคลอไรด์ (ทั้ง $[Cr(H_2O)_5Cl]^{2+}$ และ $[Cr(H_2O)_4Cl_2]^+$) ปฏิกิริยาที่สำคัญของโครมิกไอออน ได้แก่

1. **Ammonia solution**, $NH_3$ โครมิกไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ได้ตะกอนวุ้นสีเขียวของโครมิกไฮดรอกไซด์ และในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอ จะได้ตะกอนสีม่วงหรือสีชมพูของสารประกอบเชิงซ้อนโครมิกแอมมีน

$$Cr^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) + 3H_2O(l) \rightleftharpoons Cr(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq)$$

$$Cr(OH)_3(s) + 6NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cr(NH_3)_6](OH)_3(s)$$

---

[†] อลูมินอน เป็นสารละลายของเกลืออลูมิเนียมของกรดยูรีนไตรคาร์บอกซิลิค , $C_{22}H_{14}O_9$) เตรียมโดยละลาย 0.25 กรัมของอลูมินอนในน้ำ 250 มล.

**2. Sodium hydroxide solution**, NaOH โครมิกไอออนตกตะกอนกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตะกอนวุ้นสีเขียวของโครมิกไฮดรอกไซด์ และละลายได้อย่างรวดเร็วในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ ได้สารละลายเชิงซ้อนสีเขียวของโซเดียมโครไมต์ ($Na[CrO_2]$) ซึ่งสามารถเกิดตะกอนกลับมาได้อีก เช่นเดียวกับโซเดียมอลูมิเนต และเมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะได้สารละลายสีเหลืองของโซเดียมโครเมต ($Na_2[CrO_4]$) หรือกรดเปอร์โครมิก

$$Cr^{3+}(aq) + 3OH^{-}(aq) \rightleftharpoons Cr(OH)_3(s)$$

$$Cr(OH)_3(s) + NaOH(aq) \rightleftharpoons Na[CrO_2](aq) + 2H_2O(l)$$

$$2Na[CrO_2](aq) + 2NaOH + 3H_2O_2 \rightleftharpoons 2Na_2[CrO_4](aq) + 4H_2O(l)$$

สำหรับสารละลายโซเดียมโครเมต สามารถเกิดปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ได้หลายชนิด เกิดตะกอนที่แตกต่างกันไป เช่น สารละลายแบเรียมคลอไรด์ให้ตะกอนสีเหลืองของแบเรียมโครเมต

$$2Na_2[CrO_4](aq) + BaCl(aq) \rightleftharpoons BaCrO_4(s) + 2NaCl(aq)$$

สารละลายเลดแอซิเตตให้ตะกอนสีเหลืองของเลดโครเมต

$$2Na_2[CrO_4] + Pb(CH_3COO)_2 \rightleftharpoons PbCrO_4(s) + 2CH_3COONa(aq)$$

**3. Ammonium sulfide solution**, $NH_4HS$ โครมิคไอออนเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ ตะกอนที่ได้จะไม่อยู่ในรูปของเกลือซัลไฟด์ แต่จะเกิดตะกอนวุ้นขาวของโครมิคไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้เพราะ $Cr_2S_3$ ถูกไฮโดรไลส์ได้สมบูรณ์ในน้ำ

$$2Cr^{3+}(aq) + 3NH_4HS + 3NH_3 \rightleftharpoons Cr_2S_3(s) + 6NH_4^{+}(aq)$$

$$Cr_2S_3 + 6H_2O \rightleftharpoons 2Cr(OH)_3(s) + 3H_2S(g)$$

## เฟอร์ริกไอออน (Ferric ion, $Fe^{3+}$)

สารละลายเชิงซ้อนของเฟอร์ริกส่วนใหญ่มีสีเหลือง-แดง หรือ เหลือง-น้ำตาล ปฏิกิริยาที่สำคัญของเฟอร์ริกไอออน ได้แก่

1. **Ammonia solution,** $NH_3$ สารละลายแอมโมเนียกับสามารถทำปฏิกิริยากับเฟอร์ริกไอออน ได้ตะกอนสีน้ำตาลแดงของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ที่ไม่ละลายในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอและไม่ละลายในเบสแก่ ซึ่งทำให้แตกต่างไปจากตะกอนของโครมิกไฮดรอกไซด์และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์ แต่จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของเฟอร์ริกออกไซด์ ($Fe_2O_3$) ได้เมื่อนำไปต้มในกรดแก่

$$Fe^{3+}(aq) + 3NH_3(aq) + 3H_2O(l) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s) + 3NH_4^+(aq)$$

$$2Fe(OH)_3(s) \rightleftharpoons Fe_2O_3(aq) + 3H_2O(l)$$

2. **Sodium hydroxide solution**, NaOH เฟอร์ริกไอออนสามารถเกิดตะกอนสีน้ำตาลแดงของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

$$Fe^{3+}(aq) + 3OH^-(aq) \rightleftharpoons Fe(OH)_3(s)$$

3. **Ammonium sulfide solution**, $NH_4HS$ เฟอร์ริกไอออนตกตะกอนกับสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ ได้ตะกอนดำของเฟอร์ริกซัลไฟด์ ($Fe_2S_3$) แต่ละลายได้ดีกับกรดไฮโดรคลอริกเจือจางได้เฟอร์รัสคลอไรด์และซัลเฟอร์

$$2Fe^{3+}(aq) + 3NH_4HS + 3NH_3 \rightleftharpoons Fe_2S_3(s) + 6NH_4^+(aq)$$

$$Fe_2S_3 + 4HCl \rightleftharpoons 2FeCl_2 + S(s) + 2H_2S(g)$$

4. **Potassium thiocyanate solution**, KSCN เมื่อเติมไทโอไซยาเนตในเฟอร์ริกไอออนจะเกิดไอออนเชิงซ้อนสีแดงเข้มของเฟอร์ริกไทโอไซยาเนตไอออน $[Fe(SCN)]^{2+}$

$$Fe^{3+}(aq) + SCN^-(aq) \rightleftharpoons [Fe(SCN)]^{2+}(aq)$$

เมอร์คิวริคคลอไรด์และฟลูออไรด์สามารถที่จะฟอกสีของไอออนเชิงซ้อนเฟอร์ริกไทโอไซยาเนตได้ ในรูปของเมอร์คิวริคไทโอไซยาเนต ($Hg(SCN)_2$) และเฟอร์ริ-ฟลูออไรด์ ($FeF_6$) ตามลำดับ

$$2[Fe(SCN)]^{2+}(aq) + HgCl_2(aq) \rightleftharpoons 2Fe^{3+}(aq) + Hg(SCN)]_2(aq) + 2Cl^-$$

$$[Fe(SCN)]^{2+}(aq) + 6F^-(aq) \rightleftharpoons [FeF_6]^{3-}(aq) + (SCN)^-(aq)$$

## แคตไอออนหมู่ IIIB

### แมงกานัสไอออน (Manganous ion, $Mn^{2+}$)

สารประกอบแมงกานัสในน้ำมักเป็นสีชมพู ปฏิกิริยาที่สำคัญของแมงกานัสไอออน ได้แก่

1. **Sodium hydroxide solution**, NaOH แมงกานัสไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดตะกอนขาวของแมงกานัสไฮดรอกไซด์ ($Mn(OH)_2$) ซึ่งไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ แต่สามารถถูกออกซิไดส์ได้ในอากาศ หรือเมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงเล็กน้อย จะได้ตะกอนสีน้ำตาลของสารประกอบแมงกานัสออกไซด์อย่างรวดเร็ว

$$Mn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Mn(OH)_2(s)$$

$$Mn(OH)_2(s) + H_2O_2(aq) \rightleftharpoons MnO_2(s) + 2H_2O(l)$$

2. **Ammonia solution**, $NH_3$ แมงกานัสไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ได้ตะกอนสีขาวของแมงกานัสไฮดรอกไซด์ ($Mn(OH)_2$) ละลายได้ดีในสารละลายเกลือแอมโมเนียม

$$Mn^{2+}(aq) + 2NH_3(aq) + 2H_2O(l) \rightleftharpoons Mn(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$$

3. **Ammonium sulfide solution**, $NH_4HS$ แมงกานัสไอออนเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ ตะกอนที่ได้จะเป็นสีชมพูของแมงกานัสซัลไฟด์

ละลายได้ดีในกรดไฮโดรคลอริกเจือจางและกรดแอซิติก (แตกต่างจากซัลไฟด์ของนิเกิลและโคบอลต์)

$$Mn^{2+}(aq) + NH_4HS + NH_3 \rightleftharpoons MnS(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$MnS(s) + 2H^+ \rightleftharpoons Mn^{2+}(aq) + H_2S(g)$$

4. **Sodium bismuthate**, $NaBiO_3$ แมงกานีสไอออนทำปฏิกิริยากับโซเดียมไบมูเทตในกรดไนตริกเจือจางหรือกรดซัลฟุริกเจือจาง จะได้กรดเปอร์แมงกานิคสีม่วง[-]

$$2Mn^{2+}+5NaBiO_3+16HNO_3 \rightleftharpoons 2HMnO_4+5Bi(NO_3)_3+7H_2O(l)+NaNO_3+4Na^+$$

## ซิงค์ไอออน (Zinc, $Zn^{2+}$)

สารละลายซิงค์ไอออนส่วนใหญ่ไม่มีสี มีปฏิกิริยาที่สำคัญดังนี้

1. **Sodium hydroxide solution**, NaOH ซิงค์ไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์เกิดตะกอนวุ้นสีขาวของซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) ซึ่งละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอได้สารละลายโซเดียมซิงเคต และยังละลายในสารละลายกรดเจือจาง

$$Zn^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Zn(OH)_2(s)$$

$$Zn(OH)_2(s) + 2NaOH(aq) \rightleftharpoons Na_2[ZnO_2](aq) + 2H_2O(l)$$

$$Zn(OH)_2(s) + H^+(aq) \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + H_2O(l)$$

2. **Ammonia solution**, $NH_3$ ซิงค์ไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย ได้ตะกอนวุ้นสีขาวของซิงค์ไฮดรอกไซด์ ($Zn(OH)_2$) ละลายได้ดีในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอและในสารละลายเกลือแอมโมเนียม

$$Zn^{2+}(aq) + 2NH_3(aq) + 2H_2O(l) \rightleftharpoons Zn(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$$

---

[-] ถ้าสารละลายมีสีเข้มมากอาจมองไม่เห็นสีม่วงของกรดเปอร์แมงกานิค ให้เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งสีม่วงปรากฏขึ้น

$$Zn(OH)_2(s) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons [Zn(NH_3)_4](OH)_2(aq)$$

**3. Ammonium sulfide solution**, $NH_4HS$ ซิงค์ไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ เกิดตะกอนขาวของซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ไม่ละลายในสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ที่มากเกินพอและไม่ละลายในกรดแอซิติก แต่ละลายได้ดีในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง

$$Zn^{2+}(aq) + NH_4HS + NH_3 \rightleftharpoons ZnS(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$ZnS(s) + 2H^+ \rightleftharpoons Zn^{2+}(aq) + H_2S(g)$$

การเติมสารละลายอัลคาไลแอซิเตต เช่น โซเดียมซิเตต* ลงไปในสารละลายที่มีซิงค์ไอออน จะทำให้เกิดอัลคาไลซิงเคต ที่สามารถเกิดตะกอนขาวของซิงค์ซัลไฟด์กับซัลไฟด์ไอออนได้

$$Na_2[ZnO_2](aq) + H_2S \rightleftharpoons ZnS(s) + 2NaOH(aq)$$

## นิกเกิลไอออน (Nickel ion, $Ni^{2+}$)

เกลือของอลูมิเนียมส่วนใหญ่มีสีเขียว ปฏิกิริยาที่สำคัญของนิกเกิลไอออนได้แก่

**1. Sodium hydroxide solution**, NaOH นิกเกิลสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ตะกอนสีเขียวของนิกเกลัสไฮดรอกไซด์ ($Ni(OH)_2$) ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ แต่ละลายในสารละลายแอมโมเนียและสารละลายเกลือของแอมโมเนียม เกิดเป็นสารละลายเชิงซ้อนสีเขียวอมฟ้าของนิกเกลัสแอมมีนไอออน $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$

$$Ni^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Ni(OH)_2(s)$$

$$Ni(OH)_2(s) + 6NH_3(aq) \rightleftharpoons Ni[(NH_3)_6]^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$$

---

* Sodium citrate ($C_6H_5Na_3O_7$) หรือ $HOC(COONa)(CH_2COONa).2H_2O$

สำหรับตะกอนนิกเกลัสไฮดรอกไซด์ เมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงเล็กน้อย จะถูกออกซิไดส์ได้ตะกอนสีดำของนิกเกลิคไฮดรอกไซด์ ($Ni(OH)_3$)

$$4Ni(OH)_2(s) + 2H_2O_2(aq) \rightleftharpoons 4Ni(OH)_3(s)$$

**2. Ammonia solution,** $NH_3$ นิกเกิลไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย เกิดตะกอนเกลือสีเขียวก่อน แล้วละลายในสารละลายแอมโมเนีย ได้สารละลายสีเขียวของไอออนเชิงซ้อนนิกเกลัสแอมมีนตามลำดับ

$$Ni^{2+}(aq) + 2NH_3(aq) + 2H_2O(l) \rightleftharpoons Ni(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$Ni(OH)_2(s) + 6NH_3(aq) \rightleftharpoons [Ni(NH_3)_6]^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$$

**3. Hydrogen sulfide,** $H_2S$ นิกเกิลไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์ไอออน ในสารละลายแอมโมเนีย เกิดตะกอนดำของนิกเกิลซัลไฟด์ (NiS) ไม่ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเจือจางที่เย็นและไม่ละลายในกรดแอซิติก แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริกที่ร้อนและในกรดกัดทอง

$$Ni^{2+}(aq) + S^{2-}(aq) \rightleftharpoons NiS(s)$$

$$3NiS(s) + 8HNO_3 \rightleftharpoons 3Ni(NO_3)_2 + 2NO + 3S + 4H_2O$$

$$3NiS(s) + 2HNO_3 + 2HCl \rightleftharpoons 3NiCl_3 + 2NO + 3S + 4H_2O$$

**4. Dimethylglyoxime reagent**[ʌ], $C_4H_8O_2N_2$ นิกเกิลไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายไดเมทิลไกลออกซีม ในสารละลายเบสของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เกิดตะกอนแดงของนิกเกิลไดเมทิลไกลออกซีม

$$Ni^{2+} + 2C_4H_8O_2N_2 + 2NH_4OH \rightleftharpoons Ni(C_4H_7O_2N_2)_2(s) + NH_4^+ + 2H_2O$$

## โคบอลตัสไอออน (Cobaltous ion, $Co^{2+}$)

เกลือของโคบอลตัสส่วนใหญ่จะมีสีชมพู ปฏิกิริยาที่สำคัญของโคบอลตัสไอออน ได้แก่

---

[ʌ] เตรียมได้จากละลาย 1 กรัมของไดเมทิลไกลออกซีมใน 100 มล. ของ 95%เอทานอล

1. **Sodium hydroxide solution,** NaOH สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำปฏิกิริยากับโคบอลทัสไอออน ได้ตะกอนสีน้ำเงินแล้วเปลี่ยนเป็นสีชมพูของโคบอลตัสไฮดรอกไซด์ ($Co(OH)_2$) ไม่ละลายในโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มากเกินพอ

$$Co^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Co(OH)_2(s)$$

แต่ละลายในสารละลายแอมโมเนียและสารละลายเกลือของแอมโมเนียม เกิดเป็นสารละลายเชิงซ้อนสีชมพูของโคบอลแอมมีนไอออน $[Co(NH_3)_6]^{2+}$

$$Co(OH)_2(s) + 6NH_3(aq) \rightleftharpoons Co[(NH_3)_6]^{2+}(aq) + 2OH^-(aq)$$

สำหรับตะกอนโคบอลตัสไฮดรอกไซด์ เมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะถูกออกซิไดส์ต่อได้ตะกอนสีน้ำตาลเข้มของโคบอลติกไฮดรอกไซด์ ($Co(OH)_3$) ที่ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น แต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นสามารถละลายตะกอนโคบอลตัสไฮดรอกไซด์ได้

$$2Co(OH)_2(s) + 2H_2O_2(aq) \rightleftharpoons 2Co(OH)_3(s) + H_2O$$

2. **Ammonia solution,** $NH_3$ โคบอลตัสไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนีย เกิดตะกอนเกลือสีน้ำเงินก่อน แล้วละลายอย่างรวดเร็วในสารละลายแอมโมเนียที่มากเกินพอและมีก๊าซออกซิเจน ได้สารละลายเชิงซ้อนสีน้ำตาลแกมเหลืองของเกลือโคบอลแอมมีน $[Co(NH_3)_6]^{3+}$

$$4Co^{2+} + 28NH_3 + 6H_2O + O_2 \rightleftharpoons 2[Co(NH_3)_6](OH)_3 + 4NH_4^+(aq)$$

3. **Ammonium sulfide solution,** $NH_4HS$ โคบอลตัสไอออนทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ ได้ตะกอนดำของซิงค์ซัลไฟด์ (CoS) ไม่ละลายทั้งในสารละลายแอมโมเนียมซัลไฟด์ที่มากเกินพอและในกรดแอซิติกและไม่ละลายในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง แต่ละลายได้ดีในกรดไนตริกที่ร้อนและละลายในกรดกัดทอง

$$Co^{2+}(aq) + NH_4HS + NH_3 \rightleftharpoons CoS(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$3CoS(s) + 8HNO_3(aq) \rightleftharpoons 3Co(NO_3)_2(aq) + 2NO + 3S(s) + 4H_2O$$

$$3CoS(s) + 2HNO_3 + 2HCl \rightleftharpoons 3CoCl_3(aq) + 2NO + 3S(s) + 4H_2O$$

**4. Potassium thiocyanate solution**, KSCN โคบอลต์สไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายโพแทสเซียมไทโอไซยาเนต ได้สารละลายเชิงซ้อนสีฟ้าของไอออนโคบอลต์-ไทโอไซยาเนต $[Co(SCN)_4]^{2-}$

$$Co^{2+}(aq) + 4SCN^-(aq) \rightleftharpoons [Co(SCN)_4]^{2-}(aq)$$

**5. Potassium nitrite solution**, $KNO_2$ เมื่อเติมโพแทสเซียมไนไตรท์ลงในสารละลายโคบอลต์สไอออนที่มีกรดแอซิติกอยู่ จะได้ตะกอนสีเหลืองของโพแทสเซียมโคบอลต์ไนไตรท์ $K_3[Co(NO_2)_6]$

$$Co^{2+}(aq) + 7KNO_2 + 2CH_3COOH(aq) \rightleftharpoons [Co(SCN)_4]^{2-}(aq)$$

## การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ III

| |
|---|
| 1. **ตกตะกอนแคตไอออนหมู่ III**<br>ใส่สารตัวอย่างปริมาตร 1 มล. ลงในหลอดทดลอง เติม $NH_4OH$ conc. จนเป็นเบส เติม 2M thioacetamide 1 มล. อุ่น แล้วนำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง จะได้*ตะกอน*ของแคตไอออนหมู่ III (ส่วน*เซนติฟิวเก*จนำไปวิเคราะห์หมู่อื่น) ละลายตะกอนด้วยกรดกัดทอง (2 มล. ของ 6M HCl ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 2 นาที เติม 6M $HNO_3$ 1 มล.) ต้มจนตะกอนละลายหมด (ถ้ามีซัลเฟอร์ลอยอยู่ให้เขี่ยทิ้ง) |
| 2. **แยกแคตไอออนหมู่ IIIA และ IIIB**<br>เติม 3M hydrazine hydrochloride (hydrazine HCl) 5 หยด ลงในสารละลาย *ทำให้เป็นเบส* ด้วย $NH_4OH$ conc แล้วเติมให้มากเกินพออีก 1 มล. ต้มนาน 3 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงขณะร้อน *แยกเซนติฟิวเก*จไว้ตกตะกอนหมู่ IIIB ในข้อ 3 ส่วน*ตะกอน*เติม 1M $KNO_3$ 1 มล.และ 3M hydrazine HCl 1 หยด เติม 6M NaOH 2 หยด คนให้ทั่ว อุ่น นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ***ตะกอนนำไปวิเคราะห์หมู่ IIIA ในข้อ 4*** (*เซนติฟิวเก*จนำไปรวมกับหมู่ IIIB) |
| 3. **ตกตะกอนหมู่ IIIB**<br>เติม 2M thioacetamide 1 มล. อุ่น 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นนาน 15 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ล้างตะกอนด้วย 6M $CH_3COONH_4$ 3 หยด ทิ้งน้ำล้างตะกอน แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง ***เก็บตะกอนหมู่ IIIBไว้ทำในข้อ 5*** |

**4. วิเคราะห์แคตไอออนหมู่ IIIA (ตะกอน : $Fe(OH)_3$ , $Al(OH)_3$ , $Cr(OH)_3$**

เติม 6M NaOH 2 มล. เติม 3%$H_2O_2$ 1 มล. นำไปอุ่น (เพื่อไล่ $O_2$) ทิ้งไว้ให้เย็นก่อน นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

**เซนติฟิวเกจ : $AlO_2^{2-}$, $CrO_4^{2-}$**

เติม 6M $CH_3COONH_4$ 2 มล. คน อุ่น 5 นาที เข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

**ตะกอน : $(Al(OH)_3$**

ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นแล้วละลายด้วย 6M HCl 1 มล. อุ่นจนตะกอนละลายหมด เติม aluminon 5 หยด คน เติม 6M $NH_4OH$ ทีละหยดจนเป็นเบส นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ถ้าพบตะกอนวุ้นสีแดงของ $Al(OH)_3$ aluminon แสดงว่ามี **$Al^{3+}$**

**เซนติฟิวเกจ : $CrO_4^{2-}$**

ทำให้เป็นกรดด้วย 6M $CH_3COOH$ แล้วเติม 1M $Pb(CH_3COO)_2$ 1 มล. ถ้าได้ตะกอนสีเหลืองของ $PbCrO_4$ แสดงว่ามี **$Cr^{3+}$**

**ตะกอน : $Fe(OH)_3$**

ละลายตะกอนด้วย 3M $H_2SO_4$ 2 มล. คน อุ่นจนตะกอนละลายหมด เติม 1M KSCN 2 หยด ถ้าได้สารละลายสีแดงเข้มของ $Fe(SCN)^{2+}$ แสดงว่ามี **$Fe^{3+}$**

**5. วิเคราะห์แคตไอออนหมู่ IIIB (ตะกอน : MnS, ZnS, CoS, NiS)**

เติมน้ำกลั่น 1 มล. ลงในตะกอน แล้วเติม 6M $CH_3COOH$ 4 หยด คนนาน 2 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

**ตะกอน : ZnS, CoS, NiS**

เติมน้ำกลั่น 1 มล. แช่หลอดทดลองในน้ำเย็น เติม 6M HCl 5 หยด คน นาน 1 นาที (ละลายตะกอน ZnS ออกมา) นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงทันที

**ตะกอน : CoS, NiS**

เติม 6M HCl 1 มล. และเติม 6M $HNO_3$ 0.5 มล. อุ่น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

**ส่วนที่ 1** หา $Co^{2+}$ : เติม 1M KSCN 3 มล. คนให้ทั่ว ถ้าได้สารละลายสีฟ้าของ $[Co(SCN)_4]^{2-}$ แสดงว่า มี **$Co^{2+}$**

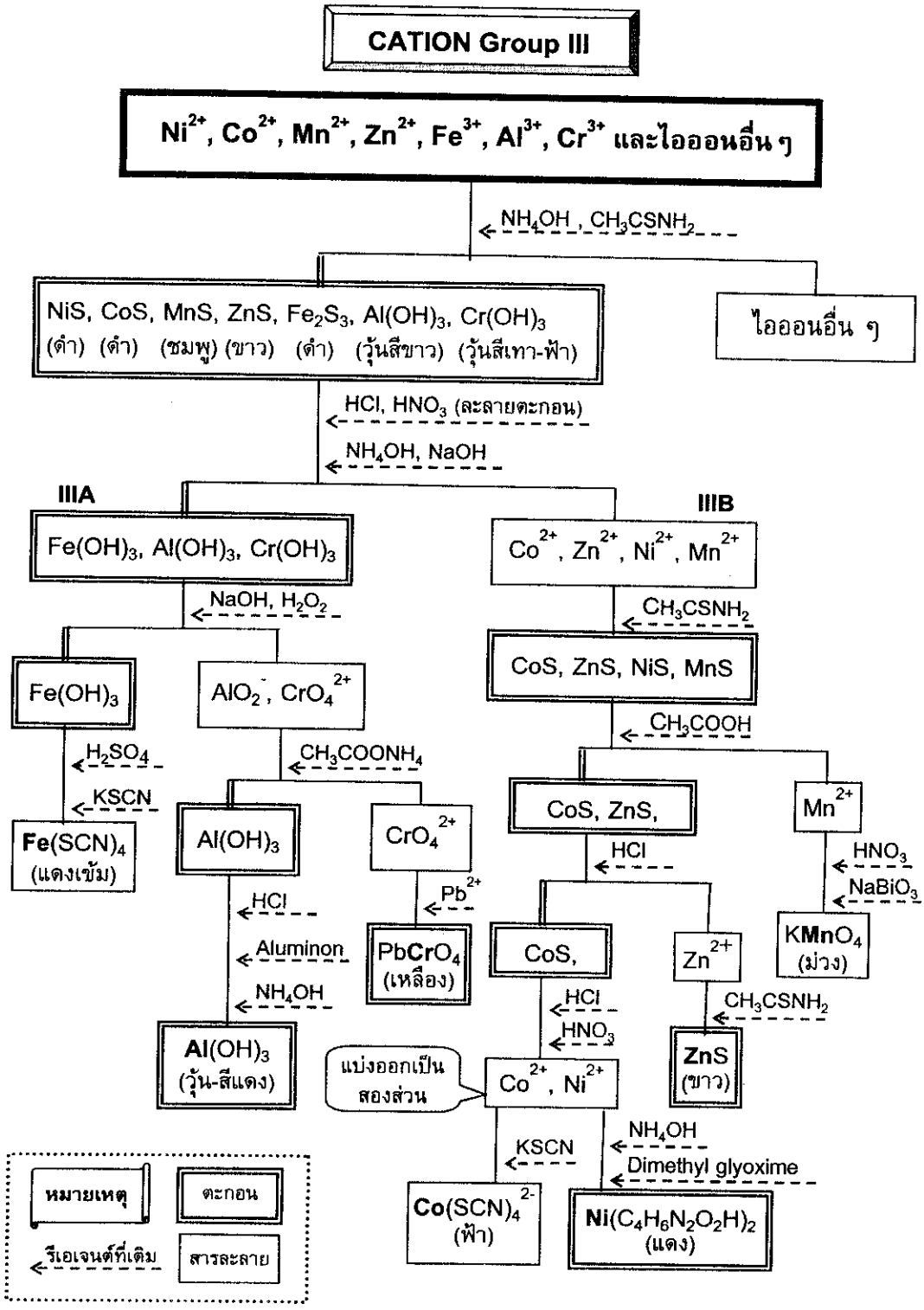
**ส่วนที่ 2** หา $Ni^{2+}$ : เติม 6M $NH_4OH$ จนเป็นเบส เติม dimethyl glyoxime 10 หยด ลงไปในสารละลาย ถ้าได้ตะกอนสีแดงของ $Ni(C_4H_6N_2O_2H_2)_2$ แสดงว่ามี **$Ni^{2+}$**

**เซนติฟิวเกจ : $Zn^{2+}$**

เติม 2M sodium citrate ($C_6H_5Na_3O_7$) 1 มล. และ 3M hydrazine HCl ($N_2H_4$*HCl) 5 หยด แล้วเติม 5 หยดของ 2M thioacetamide คนแล้วอุ่น ถ้าได้ตะกอนสีขาวของ ZnS แสดงว่ามี **$Zn^{2+}$**

**เซนติฟิวเกจ : $Mn^{2+}$**

นำไปต้ม 2 นาที เพื่อไล่ $H_2S$ เติม 6M $HNO_3$ 1 มล. อุ่น เติมน้ำกลั่น 2 มล. เพื่อให้สารละลายเจือจาง เติม $NaBiO_3$ เล็กน้อย คน สารละลายแล้วนำไปอุ่น นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ถ้าสารละลายมีสีม่วงแดง แสดงว่ามี **$Mn^{3+}$**


CATION Group III
$Ni^{2+}$, $Co^{2+}$, $Mn^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Fe^{3+}$, $Al^{3+}$, $Cr^{3+}$ และไอออนอื่น ๆ
$NH_4OH$ , $CH_3CSNH_2$
NiS, CoS, MnS, ZnS, $Fe_2S_3$, $Al(OH)_3$, $Cr(OH)_3$
(ดำ) (ดำ) (ชมพู) (ขาว) (ดำ) (วุ้นสีขาว) (วุ้นสีเทา-ฟ้า)
ไอออนอื่น ๆ
HCl, $HNO_3$ (ละลายตะกอน)
$NH_4OH$, NaOH
IIIA
IIIB
$Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, $Cr(OH)_3$
$Co^{2+}$, $Zn^{2+}$, $Ni^{2+}$, $Mn^{2+}$
NaOH, $H_2O_2$
$CH_3CSNH_2$
$Fe(OH)_3$
$AlO_2^-$, $CrO_4^{2+}$
CoS, ZnS, NiS, MnS
$CH_3COOH$
$H_2SO_4$
$CH_3COONH_4$
KSCN
CoS, ZnS,
$Mn^{2+}$
$Fe(SCN)_4$
(แดงเข้ม)
$Al(OH)_3$
$CrO_4^{2+}$
HCl
$HNO_3$
$NaBiO_3$
$Pb^{2+}$
HCl
Aluminon
$PbCrO_4$
(เหลือง)
CoS,
$Zn^{2+}$
$KMnO_4$
(ม่วง)
$NH_4OH$
HCl
$CH_3CSNH_2$
$HNO_3$
$Al(OH)_3$
(วุ้น-สีแดง)
แบ่งออกเป็น
สองส่วน
$Co^{2+}$, $Ni^{2+}$
ZnS
(ขาว)
KSCN
$NH_4OH$
Dimethyl glyoxime
$Co(SCN)_4^{2-}$
(ฟ้า)
$Ni(C_4H_6N_2O_2H)_2$
(แดง)
หมายเหตุ
ตะกอน
รีเอเจนต์ที่เติม
สารละลาย

# แคตไอออนหมู่ IV

แคตไอออนหมู่ IV มีชื่อว่า alkali earth หรือ barium group ได้แก่ $Ba^{2+}$, $Sr^{2+}$, $Ca^{2+}$ และ $Mg^{2+}$ ซึ่งสามารถตกตะกอนกับฟอสเฟต ($PO_4^{3-}$) และคาร์บอเนต ($CO_3^{2-}$) ได้

**ตารางปฏิกิริยา**ของแคตไอออนหมู่ IV และสมบัติของตะกอนที่ได้

| แคตไอออน | ทำปฏิกิริยากับ | สารผลิตภัณฑ์ | สมบติทางเคมีและทางกายภาพ |
|---|---|---|---|
| $Ba^{2+}$ | $(NH_4)_2HPO_4^{3-}$ | $Ba_3(PO_4)_2$ *(s)* | ตะกอนสีขาว ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้นได้ตะกอนสีขาวของ $Ba(NO_3)_2$ ซึ่งละลายได้ในแอมโมเนียมอะซิเตด ($NH_4CH_3COO$) |
| | $K_2CrO_4$ | $BaCrO_4$ (ทั้ง $Ba^{2+}$ และ $CrO_4^{2-}$ เป็นพิษห้ามสัมผัส) | ตะกอนสีเหลือง ละลายน้ำได้น้อยมาก ในสารละลายกรดจะอยู่ในรูปของไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$) |
| $Sr^{2+}$ | $(NH_4)_2HPO_4^{3-}$ | $Sr_3(PO_4)_2$ *(s)* | ตะกอนสีขาว ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกได้ตะกอนสีขาวของ $Sr(NO_3)_2$ ซึ่งละลายได้ในแอมโมเนียมอะซิเตด |
| | $H_2SO_4$ (dil) | $SrSO_4$ | ตะกอนสีขาว ละลายน้ำได้น้อยมาก และละลายได้เล็กน้อยใน HCl ที่ร้อน |

| แคตไอออน | ทำปฏิกิริยากับ | สารผลิตภัณฑ์ | สมบติทางเคมีและทางกายภาพ |
|---|---|---|---|
| $Ca^{2+}$ | $(NH_4)_2HPO_4^{3-}$ | $Ca_3(PO_4)_2$ *(s)* | ตะกอนสีขาว ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้นได้ตะกอนสีขาวของ $CaNO_3$ |
| | $(NH_4)_2C_2O_4$ ammonium oxalate ในเบส | $CaC_2O_4$ *(s)* | ตะกอนสีขาว ละลายน้ำได้น้อยและไม่ละลายในกรดอะซิติก |
| $Mg^{2+}$ | $(NH_4)_2HPO_4^{3-}$ | $MgNH_4PO_4$ *(s)* | ตะกอนสีขาว ละลายในสารละลายกรด |
| | $NH_4OH$ | $Mg(OH)_2$ *(s)* | ตะกอนวุ้นขาว ย้อมสีด้วย magneson ได้ตะกอนวุ้นสีฟ้าของ $Mg(OH)_2$magenson |

## แบเรียมไอออน (Barium ion, $Ba^{2+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของแบเรียมไอออน ได้แก่

**1. Ammonium phosphate solution,** $(NH_4)_2HPO_4$ แบเรียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมฟอสเฟต ได้ตะกอนขาวของแบเรียมฟอสเฟต (barium phosphate, $Ba_3(PO_4)_2$) ที่ทำปฏิกิริยาได้กับกรดไนตริกเข้มข้นที่มากเกินพอได้ตะกอนขาวของแบเรียมไนเตรต $Ba(NO_3)_2$

$$3Ba^{2+}(aq) + 2(PO_4)^{3-}(aq) \rightleftharpoons Ba_3(PO_4)_2(s)$$

$$Ba_3(PO_4)_2(s) + 6HNO_3(aq) \rightleftharpoons 3Ba(NO_3)_2(s) + 2H_3PO_4(aq)$$

ตะกอนแบเรียมไนเตรต สามารถละลายได้ในสารละลายแอมโมเนียมแอซิเตต

$$Ba(NO_3)_2(s) + 2CH_3COONH_4 \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + 2CH_3COO^- + 2NH_4NO_3$$

**2. Ammonium carbonate solution**[◈], $(NH_4)_2CO_3$ สารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนตสามารถทำปฏิกิริยากับแบเรียมไอออน ได้ตะกอนขาวของแบเรียมคาร์บอเนต (barium carbonate, $BaCO_3$) ที่ละลายในกรดแอซิติคและในกรดไฮโดรคลอริกเจือจาง

$$Ba^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons BaCO_3(s)$$

ในสารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนตที่มากเกินพอ จะทำให้ตะกอนของแบเรียมคาร์บอเนตละลายได้

$$BaCO_3(s) + NH_4^+(aq) \rightleftharpoons Ba^{2+}(aq) + NH_3 + HCO_3^-$$

**3. Potassium chromate solution,** $K_2CrO_4$ สารละลายโพแทสเซียมโครเมตสามารถทำปฏิกิริยากับแบเรียมไอออน ได้ตะกอนเหลืองของแบเรียมโครเมต ($BaCrO_4$) ที่ไม่ละลายในน้ำและไม่ละลายในกรดแอซิติคเจือจาง (แตกต่างจากสตรอนเทียมและแคลเซียม) แต่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก

$$Ba^{2+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons BaCrO_4(s)$$

การเติมกรดลงไปในสารละลายโพแทสเซียมโครเมต จะเป็นสาเหตุที่ทำให้สารละลายเปลี่ยนสีจากเหลืองเป็นสีแดง-ส้มของไดโครเมต

$$2CrO_4^{2-}(aq) + 2H^+ \rightleftharpoons 2HCrO_4^-(aq) \rightleftharpoons Cr_2O_7^{2-}(aq) + H_2O(l)$$

ถ้าต้องการให้สารละลายเป็นโครเมต ต้องเติมเบสในสารละลายสีส้มของไดโครเมต การเติมแอมโมเนียมแอซิเตต (ทำหน้าที่เป็นสารละลายบัฟเฟอร์) จะทำให้สารละลายมีความเป็นกรดลดลง ทำให้ได้ตะกอนแบเรียมโครเมตที่สมบูรณ์

**4. Dilute sulphuric acid,** $H_2SO_4$ จะได้ตะกอนขาวของแบเรียมซัลเฟต ($BaSO_4$) ที่ไม่ละลายในน้ำและไม่ละลายในกรดแอซิติคเจือจาง แต่เมื่อนำไปต้มกับกรดซัลฟุริกเข้มข้น ตะกอนแบะรียมซัลเฟตจะละลาย

---

◈ หรืออาจใช้ สารละลายคาร์บอเนตอื่นก็ได้

$$Ba^{2+}(aq) + H_2SO_4(aq) \rightleftharpoons BaSO_4(s) + 2H^+(aq)$$

$$BaSO_4(s) + H_2SO_4(conc.) \rightleftharpoons Ba(HSO_4)_2(aq)$$

## สตรอนเทียมไอออน (Strontium ion, $Sr^{2+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของสตรอนเทียมไอออน ได้แก่

**1. Ammonium phosphate solution,** $(NH_4)_2HPO_4$ สตรอนเทียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมฟอสเฟต ได้ตะกอนขาวของสตรอนเทียมฟอสเฟต (strontium phosphate, $Sr_3(PO_4)_2$) ที่ทำปฏิกิริยาได้กับกรดไนตริกเข้มข้นที่มากเกินพอได้ตะกอนขาวของสตรอนเทียมไนเตรต $Sr(NO_3)_2$

$$3Sr^{2+}(aq) + 2(PO_4)^{3-}(aq) \rightleftharpoons Sr_3(PO_4)_2(s)$$

$$Sr_3(PO_4)_2(s) + 6HNO_3(aq) \rightleftharpoons 3Sr(NO_3)_2(s) + 2H_3PO_4(aq)$$

ตะกอนสตรอนเทียมไนเตรต ละลายได้ในสารละลายแอมโมเนียมแอซิเตต

$$Sr(NO_3)_2(s) + 2CH_3COONH_4 \rightleftharpoons Sr^{2+}(aq) + 2CH_3COO^- + 2NH_4NO_3$$

**2. Ammonium carbonate solution,** $(NH_4)_2CO_3$ สารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนตสามารถทำปฏิกิริยากับสตรอนเทียมไอออน ได้ตะกอนขาวของสตรอนเทียมคาร์บอเนต (strontium carbonate, $BaCO_3$) ที่ละลายในน้ำได้น้อยกว่าแบเรียมคาร์บอเนต แต่ละลายในเกลือแอมโมเนียมและกรดไฮโดรคลอริกเจือจางได้ดี

$$Sr^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons SrCO_3(s)$$

**3. Potassium chromate solution,** $K_2CrO_4$ สารละลายโพแทสเซียมโครเมตสามารถทำปฏิกิริยากับสตรอนเทียมไอออน ได้ตะกอนเหลืองของสตรอนเทียมโครเมต ($SrCrO_4$) ที่ละลายได้ดีในน้ำและในกรดแอซิติคเจือจาง (แตกต่างจากแบเรียม) ดังนั้นตะกอนจะไม่เกิดขึ้นถ้าสารละลายมีกรดแอซิติคอยู่

$$Sr^{2+}(aq) + CrO_4^{2-}(aq) \rightleftharpoons SrCrO_4(s)$$

**4. Dilute sulphuric acid,** $H_2SO_4$ จะได้ตะกอนขาวของสตรอนเทียมซัลเฟต ($SrSO_4$) ที่ไม่ละลายในน้ำ ไม่ละลายในสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตและกรดไฮโดรคลอริกแม้ว่าจะนำไปต้มก็ตาม และไม่ละลายกรดแอซิติค (แตกต่างจากแบเรียมซัลเฟต) ตะกอนสตรอนเทียมซัลเฟตเมื่อนำไปต้มกับสารละลายอิ่มตัวของโซเดียมคาร์บอเนต จะเกิดตะกอนขาวของสตรอนเซียมคาร์บอเนต

$$Sr^{2+}(aq) + H_2SO_4(aq) \rightleftharpoons SrSO_4(s) + 2H^+(aq)$$

$$SrSO_4(s) + Na_2CO_3(excess) \rightleftharpoons SrCO_3(s) + Na_2SO_4(aq)$$

## แคลเซียมไอออน (Calcium ion, $Ca^{2+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของแคลเซียมไอออน ได้แก่

**1. Ammonium phosphate solution,** $(NH_4)_2HPO_4$ แคลเซียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมฟอสเฟต ได้ตะกอนขาวของแคลเซียมฟอสเฟต (calcium phosphate, $Ca_3(PO_4)_2$) ที่ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกเข้มข้นที่ร้อนได้ตะกอนขาวของแคลเซียมไนเตรต ($Ca(NO_3)_2$) ซึ่งละลายได้ดีในกรดไนตริกที่มากเกินพอ

$$3Ca^{2+}(aq) + 2(PO_4)^{3-}(aq) \rightleftharpoons Ca_3(PO_4)_2(s)$$

$$Ca_3(PO_4)_2(s) + 6HNO_3 \rightleftharpoons 3Ca(NO_3)_2(s) + 2H_3PO_4$$

นอกจากนี้ตะกอนแคลเซียมฟอสเฟตยังละลายได้ดีในกรดแอซิติค

$$Ca_3(PO_4)_2(s) + 6H^+ \rightleftharpoons 3Ca^{2+}(aq) + 2H_3PO_4$$

**2. Ammonium carbonate solution,** $(NH_4)_2CO_3$ แคลเซียมไอออนทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมคาร์บอเนต ได้ตะกอนขาวของแคลเซียมคาร์บอเนต (calcium carbonate, $CaCO_3$) ที่ละลายในน้ำได้ดี ได้สารผลิตภัณฑ์เป็นสารละลายไบคาร์บอเนต แต่ละลายได้น้อยลงในเกลือแอมโมเนียม

$$Ca^{2+}(aq) + CO_3^{2-}(aq) \rightleftharpoons CaCO_3(s)$$

$$CaCO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g) \rightleftharpoons Ca(HCO_3)_2(aq)$$

**3. Dilute sulphuric acid,** $H_2SO_4$ จะได้ตะกอนขาวของแคลเซียมซัลเฟต ($CaSO_4$) ที่ละลายในน้ำ และละลายได้ดีมากในสารละลายแอมโมเนียมซัลเฟตเข้มข้นที่ร้อน ได้สารประกอบเกลือเชิงซ้อน

$$Ca^{2+}(aq) + H_2SO_4(aq) \rightleftharpoons CaSO_4(s) + 2H^+(aq)$$

$$3CaSO_4(s) + (NH_4)_2SO_4(aq) \rightleftharpoons (NH_4)_2[Ca(SO_4)_2]$$

**4. Ammonium oxalate solution,** $(NH_4)_2C_2O_4$ แคลเซียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมออกซาเลต ได้ตะกอนขาวของแคลเซียมออกซาเลต ($CaC_2O_4$) ที่ไม่ละลายในน้ำและในกรดแอซิติคเจือจาง แต่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก

$$Ca^{2+}(aq) + (NH_4)_2C_2O_4(aq) \rightleftharpoons CaC_2O_4(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$CaC_2O_4(s) + H^+(aq) \rightleftharpoons Ca^{2+}(aq) + HC_2O_4^-$$

## แมกนีเซียมไอออน (Magnesium ion, $Mg^{2+}$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของแมกนีเซียมไอออน ได้แก่

**1. Ammonium phosphate solution,** $(NH_4)_2HPO_4$ แมกนีเซียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียมฟอสเฟตในสารละลายแอมโมเนีย ได้ตะกอนขาวของแมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต (magnesium ammonium phosphate, $Mg(NH_4)PO_4$)) ที่ละลายได้ดีทั้งในน้ำ ในกรดแอซิติคและในกรดไฮโดรคลอริก

$$Mg^{2+} + HPO_4^{2-} + NH_3 \rightleftharpoons Mg(NH_4)PO_4(s)$$

$$Mg(NH_4)PO_4(s) + H_2O \rightleftharpoons Mg^{+2} + HPO_4^{2-} + NH_3 + 2H_2O$$

$$Mg(NH_4)PO_4(s) + 2H^+ \rightleftharpoons Mg^{+2} + H_2PO_4^- + NH_4^+$$

**2 Ammonia solution,** $NH_3$ แมกนีเซียมไอออนเป็นแคตไอออนในหมู่ IV เพียงชนิดเดียวที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายแอมโมเนียได้ เกิดตะกอนวุ้นสีขาวของแมกนีเซียมออกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ที่ละลายในน้ำได้น้อยมาก แต่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือแอมโมเนียม

$$Mg^{2+}(aq) + 2NH_3 + 2H_2O \rightleftharpoons Mg(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq)$$

$$Mg(OH)_2(s) + 2NH_4^+(aq) \rightleftharpoons Mg^{2+}(aq) + 2NH_4OH$$

**3 Sodium hydroxide,** NaOH แมกนีเซียมไอออนสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ตะกอนวุ้นสีขาวของแมกนีเซียมออกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ที่ละลายในน้ำได้น้อยมาก แต่ละลายได้ดีในสารละลายเกลือแอมโมเนียม และละลายในกรดไฮโดรคลอริก

$$Mg^{2+}(aq) + 2OH^-(aq) \rightleftharpoons Mg(OH)_2(s)$$

**4 para-Nitrobenzene-azo-resorcinol (Magneson)** สารละลายแมกนีซอนเป็นสีย้อม ที่สามารถย้อมตะกอนวุ้นสีขาวของแมกนีเซียมออกไซด์ ($Mg(OH)_2$) ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จะเปลี่ยนเป็นสีฟ้าเข้ม สารละลายแมกนีเซียมไอออนที่ทำให้เป็นกรดด้วยกรดไฮโดรคลอริก เมื่อเติมสารละลายแมกนีซอนและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จะปรากฏตะกอนวุ้นสีฟ้าขึ้นทันที

## แคตไอออนหมู่ V

แคตไอออนหมู่ V มีชื่อว่า alkali metal ions ได้แก่ $Na^+$, $K^+$ และ $NH_4^+$ จะไม่ตกตะกอนกับรีเอเจนต์ใด มักทดสอบโดยทำให้เกิดสีในเปลวไฟ (flame test)

แคตไอออนหมู่ V นั้น ะต้องแยกแคตไอออนหมู่ I-IV ออกก่อน **ยกเว้น** $NH_4^+$ ที่สามารถวิเคราะห์ได้โดยตรง ส่วนการวิเคราะห์หา $Na^+$ และ $K^+$ ต้องกำจัด $NH_4^+$ ก่อน

## โพแทสเซียมไอออน (Potassium ion, $K^+$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของโพแทสเซียมไอออนได้แก่

**1. Sodium cobaltinitrite solution**≫, $Na_3[Co(NO_2)_6]$ โพแทสเซียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมโคบอลติไนไตรท์ที่มากเกินพอ ได้ตะกอนสีเหลืองของโพแทสเซียม-โซเดียมโคบอลติไนไตรท์ ($K_2Na[Co(NO_2)_6]$) ซึ่งไม่ละลายในกรดแอซิติคเจือจาง ตะกอนจะเกิดได้เร็วขึ้นถ้านำสารละลายไปอุ่นในอ่างน้ำร้อน

$$2K^+ + Na_3[Co(NO_2)_6](excss) \rightleftharpoons K_2Na[Co(NO_2)_6](s) + 2Na^+$$

**2. Tartaric acid solution**, $H_2.C_4H_4O_6$ กรดทาร์ทาริคทำปฏิกิริยากับโพแทสเซียมไอออน จะได้ผลึกขาวของโพแทสเซียมแอซิดทาร์ทาริค ($KH.C_4H_4O_6$) ซึ่งไม่ละลายแอลกอฮอล์ 95% แต่ละลายในกรดไฮโดรคลอริก

$$K^+(aq) + H_2.C_4H_4O_6(aq) \rightleftharpoons KH\ C_4H_4O_6(s) + H^+(aq)$$

## โซเดียมไอออน (Sodium ion, $Na^+$)

ปฏิกิริยาที่สำคัญของโซเดียมไอออนได้แก่

**1. Uranyl magnesium acetate solution**▷, $UO_2Mg(C_2H_3O_2)_4.6H_2O$ โซเดียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายยูเรนิลแมกนีเซียมแอซิเตต ได้ผลึกสี

---

≫เตรียมได้จาก ละลาย 17 กรัมของเกลือ $Na_3[Co(NO_2)_6]$ ในน้ำ 250 มล. *หรือ* เตรียมจากผสมสารละลายของ 7.5 กรัมของโคบอลไนเตรต ($Co(NO_3)_2.6H_2O$) ใน 30 มล.ของน้ำ กับสารละลายของ 60 กรัมของโซเดียมไนไตรท์ ในน้ำ 30 มล. เมื่อสารละลายผสมกันดี ให้เติมกรดแอซิติก แล้วทำปริมาตรให้ได้ 250 มล. ด้วยน้ำกลั่น กรอง ไม่ควรเก็บไว้ใช้นานเกิน 1 เดือน

▷ เตรียมจากผสมสารละลาย a) ของ 10 กรัมของยูเรนิลแอซิเตต ; $UO_2(C_2H_3O_2)_2$ ใน 6 กรัมของกรดแอซิติก และน้ำ 100 มล. กับสารละลาย b) ของ 33 กรัมของแมกนีเซียมแอซิเตต ; $Mg(C_2H_3O_2)_2.4H_2O$ ใน 100 กรัมของกรดแอซิติค และน้ำ 100 มล. เมื่อสารละลายผสมกันดี ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน กรองก่อนนำไปใช้

เหลืองของโซเดียมแมกนีเซียมยูเรนิลแอซิเตต ; $NaMg(UO_2)_3(CH_3COO)_9.9H_2O$ ผลึกจะเกิดได้เร็วขึ้นเมื่อเติมแอลกอฮอล์ลงไป

$$Na^+ + 3UO_2(C_2H_3O_2)_2 + Mg(C_2H_3O_2)_2 + H.C_2H_3O_2 \rightleftharpoons NaMg(UO_2)_3(C_2H_3O_2)_9 + H^+$$

**2. Uranyl zinc acetate reagent**[▷▷], $UO_2Zn(C_2H_3O_2)_4.6H_2O$ โซเดียมไอออนจะทำปฏิกิริยากับสารละลายยูเรนิลซิงค์แอซิเตตในแอลกอฮอล์ ได้ผลึกรูปเข็มสีเหลืองของโซเดียมซิงค์ยูเรนิลแอซิเตต ; $NaZn(UO_2)_3(CH_3COO)_9.9H_2O$

$$Na^+ + Zn^{2+} + 3UO_2^{2+} + 9CH_3COO^- + 6H_2O \rightleftharpoons \underset{\text{ผลึกสีเหลือง}}{NaZn(UO_2)_3(CH_3COO)_9.6H_2O}$$

## แอมโมเนียมไอออน (Ammonium ion, $NH_4^+$)

สำหรับแอมโมเนียมไอออนเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วนำไปอุ่นจะเกิดก๊าซแอมโมเนีย ($NH_3$)

$$NH_4^+(aq) + NaOH(aq) \rightleftharpoons NH_3(g) + H_2O + Na^+$$

การทดสอบก๊าซแอมโมเนียที่เกิดขึ้น สังเกตได้โดย

1. สามารถเปลี่ยนสีกระดาษลิตมัสสีแดงที่ชื้น เป็นสีน้ำเงิน

2. เปลี่ยนสีกระดาษกรองที่ชุบสาระละลายเมอร์คิวรัสไนเตรต เป็นสีดำ ทั้งนี้เพราะมีปรอทและเมอร์คิวรัสแอมโมเนียมไนเตรต (Hg และ $Hg(NH_2)NO_3$) เกิดขึ้น

---

[▷▷] เตรียมจากสารละลายผสมของ

สารละลาย a) 20 กรัมของยูเรนิลแอซิเตต ใน 6 กรัมของ 30%กรดแอซิติค เจือจางด้วยน้ำกลั่น 50 มล.
สารละลาย b) 30 กรัมของซิงค์แอซิเตต ใน 3 กรัมของ 30%กรดแอซิติค เจือจางได้ 50 มล. ด้วยน้ำกลั่น
นำสารละลาย a) และ b) ผสมกัน แล้วเติมโซเดียมคลอไรด์เล็กน้อย ตั้งทิ้งไว้ 1 วัน แล้วนำไปกรอง

$$Hg_2(NO_3)_2 + 2NH_3 \rightleftharpoons Hg(NH_2)NO_3 + Hg + NH_4NO_3$$

นอกจากนี้แอมโมเนียมไอออนยังสามารถทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมโคบอลติไนไตรท์ เช่นเดียวกับโพแทสเซียมไอออน ได้ตะกอนสีเหลืองของแอมโมเนียมโคบอลติไนไตรท์ $(NH_4)_3[Co(NO_2)_6]$

$$3NH_4^+(aq) + Na_3[Co(NO_2)_6](aq) \rightleftharpoons (NH_4)_3[Co(NO_2)_6](s) + 3Na^+$$

# การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ IV

**1. ตกตะกอนแคตไอออนหมู่ IV**

นำสารตัวอย่าง 1 มล. เติม 1M $(NH_4)_2HPO_4$ 2 มล. (ถ้าไม่มีตะกอนแสดงว่าไม่มีแคตไอออนหมู่ IV) คนและต้มนาน 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็นในน้ำแข็ง 5 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงและล้าง*ตะกอน*ด้วยน้ำกลั่น (ทิ้งน้ำล้างตะกอน)

**ตะกอนหมู่ IV : $Ba_3(PO_4)_2$, $Sr_3(PO_4)_2$, $Ca_3(PO_4)_2$, $MgNH_4PO_4$**

ล้างตะกอนซ้ำด้วย acetone 2 มล. นำเฉพาะ*ตะกอน*ไประเหย acetone ให้หมด (ในอ่างน้ำร้อน) **นำหลอดแช่น้ำแข็ง** เติม $HNO_3$ conc. ที่แช่เย็นจัด 2 มล. ลงไปในหลอดที่แช่น้ำแข็งอยู่ คนสารละลายนาน 10 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง (*เก็บเซนติฟิวเกจ*แช่น้ำแข็งไว้เพื่อวิเคราะห์ $Ca^{2+}$ และ $Mg^{2+}$)

**ตะกอน : $Ba(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$**

เติมน้ำกลั่น 5 หยด และ 6M $CH_3COONH_4$ 2 มล. คนแล้วอุ่นจน*ตะกอน*ละลายหมด เติม 1M $K_2CrO_4$ 1 มล. อุ่นนาน 2 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง

**ตะกอน : $BaCrO_4$**

ล้าง*ตะกอน*ด้วยน้ำกลั่น 1 มล. เติม 6M HCl 1 มล. จน*ตะกอน*ละลาย เติม 6M $CH_3COONH_4$ 1 มล.และ 1M $K_2CrO_4$ 2 หยด แล้วคนให้ทั่ว ถ้าได้*ตะกอน*สีเหลืองของ $BaCrO_4$ แสดงว่ามี $Ba^{2+}$

**เซนติฟิวเกจ : $Sr^{2+}$**

ใส่ 1M $(NH_4)_2SO_4$ 1 มล. คนและอุ่นนาน 5 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง นำ*ตะกอน*เติมน้ำกลั่นลงไป 2 มล. และ 6M HCl 2 หยด ถ้าได้*ตะกอน*สีขาวของ $SrSO_4$ แสดงว่ามี $Sr^{2+}$

**เซนติฟิวเกจ : $Ca^{2+}$ และ $Mg^{2+}$** (แช่น้ำแข็งอยู่)

เติม 1M $(NH_4)_2HPO_4$ 1 มล. ในหลอดที่แช่น้ำแข็ง *ทำให้เป็นเบส*ด้วย $NH_4OH$ conc. แล้วเติมอีก 5 หยด แช่น้ำแข็งไว้ประมาณ 10 นาที นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่น *ตะกอน*ที่ได้เติม 6M $CH_3COOH$ 1 มล. คนและอุ่น เติมน้ำกลั่น 1 มล. นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง **ทิ้งตะกอน** นำ*เซนติฟิวเกจ*เติม 0.25M $(NH_4)_2C_2O_4$ 1 มล. อุ่น 2 นาที ทำให้เย็น นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ถ้ามี*ตะกอน*สีขาวของ $CaC_2O_4$ แสดงว่ามี $Ca^{2+}$ *ส่วนเซนติฟิวเกจ* เติม 1M $(NH_4)_2HPO_4$ 1 มล. แล้ว*ทำให้เป็นเบส*ด้วย $NH_4OH$ conc. ทิ้งไว้ให้เย็น นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง *ตะกอน*ที่ได้ละ ลายด้วย 6M HCl 5 หยด คนและอุ่นนาน 2 นาที เติม mageson 2 หยด และ 6M NaOH 2 มล. คนและอุ่นนาน 1 นาที ถ้าได้*ตะกอน*วุ้นสีฟ้า แสดงว่ามี $Mg^{2+}$

# การวิเคราะห์แคตไอออนหมู่ V

## การทดสอบแอมโมเนียมไอออน (ammonium ion, $NH_4^+$)

เทสารตัวอย่าง 2 มล. ใส่หลอดทดลอง*ทำให้เป็นเบส*ด้วย 6M NaOH นำไปอุ่น แล้วทดสอบ $NH_3$ ที่เกิดขึ้น โดยใช้กระดาษลิตมัสสีแดงชุบน้ำกลั่น ถ้ากระดาษลิตมัสเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าสารตัวอย่างมี $NH_4^+$

## การทดสอบโซเดียมไอออนและโพแทสเซียมไอออน ($Na^+$ และ $K^+$)

เทสารตัวอย่าง 2 มล. ใส่บีกเกอร์ขนาดเล็ก เติม $Ca(OH)_2$ หรือ CaO (ของแข็ง) จนกระทั่ง*สารละลายเป็นเบส* แล้วเติม $Ca(OH)_2$ อีกจนกระทั่ง excess ต้มบน hot plate จนสารละลายแห้ง เติมน้ำกลั่น 3 มล. นำไปต้มจนเดือด นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยง ทิ้งตะกอน *เซนติฟิวเก*จเติม 6M $CH_3COOH$ จนเป็นกรด นำเฉพาะ*สารละลาย*แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

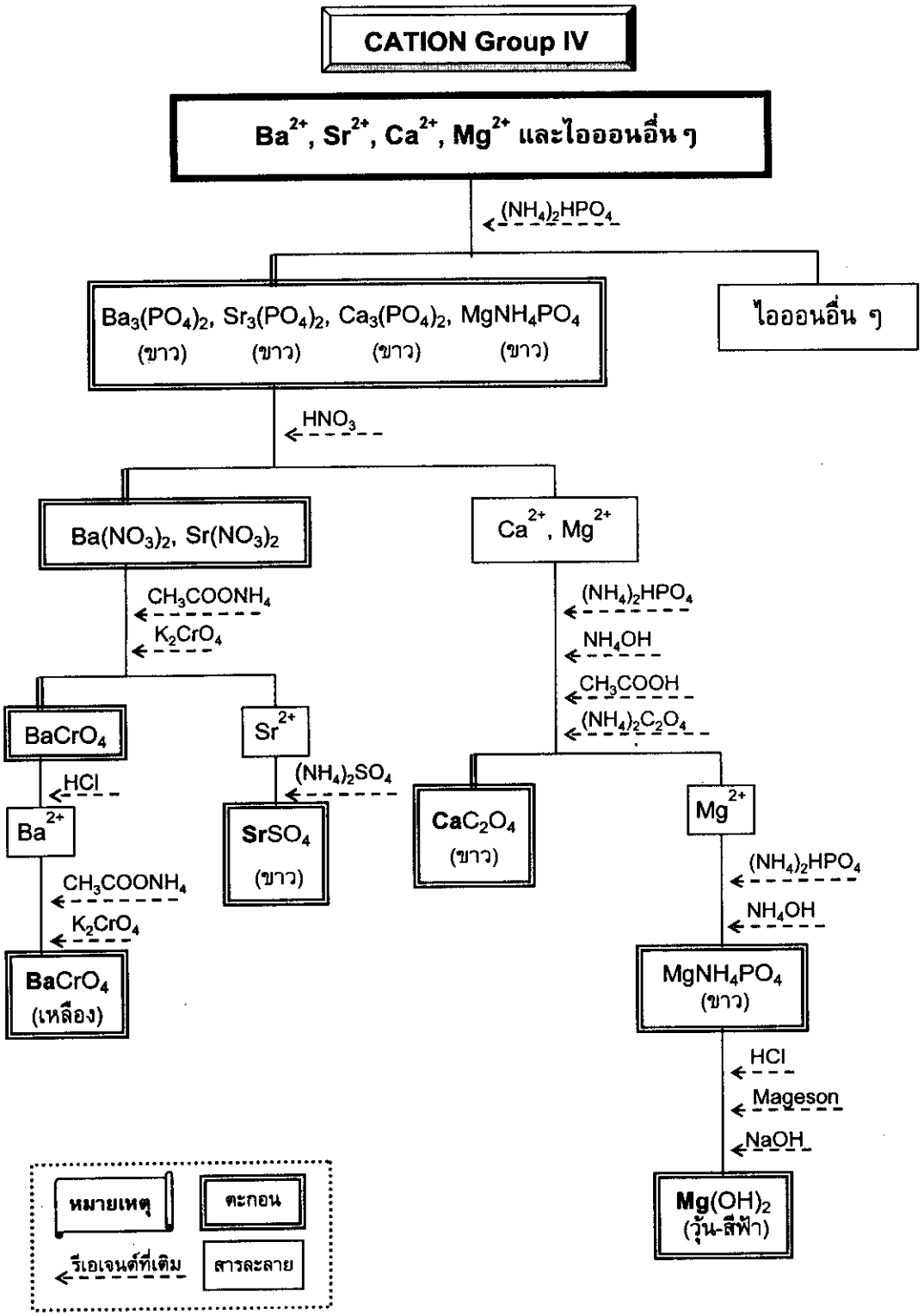
**ส่วนที่ 1 วิเคราะห์ $Na^+$** : เติม zinc uranyl acetate 2 มล. เติม alcohol 2-3 หยด *แช่ในน้ำแข็ง* ถ้าได้*ผลึก*รูปเข็มสีเหลืองของ sodium zinc uranyl acetate* แสดงว่ามี $Na^+$ .ในสารตัวอย่าง

**ส่วนที่ 2 วิเคราะห์ $K^+$** : เติม sodium cobaltnitrite 2 มล. ถ้าได้*ตะกอน*สีเหลืองของ $K_2NaCo(NO_2)_6$ ● แสดงว่ามี $K^+$ ในสารตัวอย่าง

---

* ถ้านำไปทดสอบ flame test จะได้เปลวไฟสีเหลือง

● ถ้านำไปทดสอบ flame test จะเห็นเปลวไฟสีม่วงผ่านกระจกโคบอลต์


CATION Group IV
$Ba^{2+}$, $Sr^{2+}$, $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ และไอออนอื่น ๆ
$(NH_4)_2HPO_4$
$Ba_3(PO_4)_2$, $Sr_3(PO_4)_2$, $Ca_3(PO_4)_2$, $MgNH_4PO_4$
(ขาว) (ขาว) (ขาว) (ขาว)
ไอออนอื่น ๆ
$HNO_3$
$Ba(NO_3)_2$, $Sr(NO_3)_2$
$Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$
$CH_3COONH_4$
$K_2CrO_4$
$(NH_4)_2HPO_4$
$NH_4OH$
$CH_3COOH$
$(NH_4)_2C_2O_4$
$BaCrO_4$
$Sr^{2+}$
HCl
$(NH_4)_2SO_4$
$Ba^{2+}$
$SrSO_4$
(ขาว)
$CaC_2O_4$
(ขาว)
$Mg^{2+}$
$CH_3COONH_4$
$K_2CrO_4$
$(NH_4)_2HPO_4$
$NH_4OH$
$BaCrO_4$
(เหลือง)
$MgNH_4PO_4$
(ขาว)
HCl
Mageson
NaOH
$Mg(OH)_2$
(วุ้น-สีฟ้า)
หมายเหตุ
ตะกอน
รีเอเจนต์ที่เติม
สารละลาย

## ผลการทดลอง

### ครั้งที่ ..... แคตไอออนหมู่ที่ .....

| หมู่ที่ | แคตไอออนที่พบ | ผลการทดลอง |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

### สรุปผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง ครั้งที่ .....

สารตัวอย่างเบอร์ ..... มีแคตไอออนดังต่อนี้

1. .....
2. .....
3. .....
4. .....

## ผลการทดลอง

### ครั้งที่ ..... แคตไอออนหมู่ที่ .....

| หมู่ที่ | แคตไอออนที่พบ | ผลการทดลอง |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

### สรุปผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง ครั้งที่ .....

สารตัวอย่างเบอร์ ..... มีแคตไอออนดังต่อนี้

1. .....
2. .....
3. .....
4. .....

## ผลการทดลอง

### ครั้งที่ ..... แคตไอออนหมู่ที่ .....

| หมู่ที่ | แคตไอออนที่พบ | ผลการทดลอง |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

### สรุปผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง ครั้งที่ .....

สารตัวอย่างเบอร์ ..... มีแคตไอออนดังต่อนี้

1. .....

2. .....

3. .....

4. .....