# การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อน (Synthesis of Complex Compound)

# 9

## จุดประสงค์

1. เพื่อศึกษาปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อน
2. เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อน
3. ศึกษาการคำนวณหาปริมาณสารผลิตภัณฑ์

## ทฤษฎี

สารประกอบเชิงซ้อนมีความสำคัญมากในปัจจุบัน พบว่าเป็นสารประกอบหนึ่งในขบวนการทางชีวภาพและทางเคมีในกระบวนการอุตสาหกรรม สารประกอบเชิงซ้อนหรือสารประกอบโคออร์ดิเนชัน (coordination compound) จะประกอบ*ด้วยโลหะศูนย์กลาง (central metal atom)* ซึ่งมักจะเป็นโลหะทรานซิชัน มีอิเล็กตรอนใน d-orbitals เกิดพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนท์กับ*ลิแกนด์ (ligands)* ซึ่งอาจเป็นโมเลกุลหรือไอออนจำนวนหนึ่งตัวหรือมากกว่า จำนวนของลิแกนด์ที่เกิดพันธะกับไอออนโลหะทรานซิชัน เรียกว่า *เลขโคออร์ดิเนชัน (coordination number)* โดยมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 12 แต่ที่พบมากมักจะมีเลขโคออร์ดิเนชันเป็น 2, 4 และ 6 สารประกอบเชิงซ้อนเกิดขึ้นได้โดยไอออนของโลหะทำหน้าที่*เป็นกรดลิวอิส (lewis acid)* รับอิเล็กตรอนคู่จากลิแกนด์ ส่วนลิแกนด์ทำหน้าที่เป็น*เบสลิวอิส (lewis base)*

***สมบัติที่สำคัญ*** โครงสร้างเป็นไอโซเมอริซึม (isomerism) พาราแมกเนติก (paramagnetic) และมีสี สำหรับประจุของสารประกอบเชิงซ้อน จะเป็นผลรวมของประจุบนไอออนหรือโมเลกุลที่ประกอบเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ตัวอย่าง

$Cu^{2+} + 4NH_3 \rightleftharpoons Cu(NH_3)_4^{2+}$ ประจุของสารประกอบเชิงซ้อน = +2

$Pb^{2+} + 2OAc^- \rightleftharpoons Pb(OAc)_2$ ประจุของสารประกอบเชิงซ้อน = 0

$Fe^{2+} + 6CN^- \rightleftharpoons Fe(CN)_6^{4-}$ ประจุของสารประกอบเชิงซ้อน = -4

เนื่องจากโลหะทรานซิชันสามารถมีออกซิเดชันสเตท (oxidation state) ได้หลายค่า ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนที่เกิดจากไอออนของโลหะทรานซิชันมีได้หลายตัว มีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพที่แตกต่างกันด้วย ไอออนโลหะทรานซิชันที่มีประจุมากกว่า +3 จะไม่สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ เช่น โครเมียมไอออน ($Cr^{3+}$) สามารถทำปฏิกิริยากับน้ำได้ แต่จะถูกออกซิไดส์เป็นโครเมียม(VI) โดยทำปฏิกิริยากับน้ำได้ $CrO_4^{2-}$ และ $Cr_2O_7^{2-}$ และให้สีที่แตกต่างกันไป ดังตารางที่ 9.1

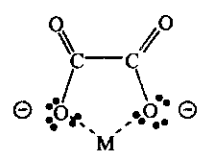
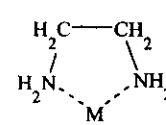
**ตารางที่ 9.1** ชนิดของสารประกอบโครเมียม

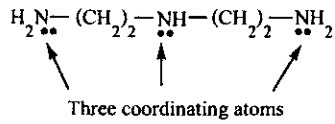
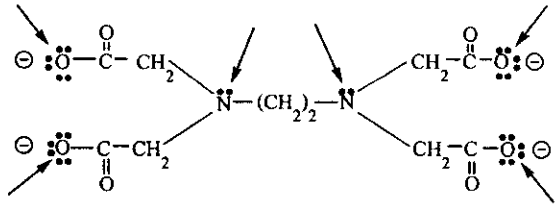
| Oxidation State of Chromium | Example of Compounds (X= halogen) |
|---|---|
| +2 | $CrX_2$ |
| +3 | $CrX_3$<br>$Cr_2O_3$ (สีเขียว)<br>$Cr(OH)_3$ (สีฟ้า-เขียว) |
| +6 | $K_2Cr_2O_7$ (สีส้ม)<br>$Na_2CrO_4$ (สีเหลือง)<br>$CrO_3$ (สีแดง) |

**ลิแกนด์** เป็นโมเลกุลที่เป็นกลางหรือเป็นไอออนที่มีอิเล็กตรอนคู่ (lone pair electron) ที่สามารถใช้สร้างพันธะกับไอออนโลหะได้ ดังนั้นลิแกนด์จึงเป็นเบสลิวอิสที่ให้อิเล็กตรอนคู่ (electron pair donor) แก่ไอออนโลหะ ลิแกนด์ที่สามารถเกิดพันธะกับโลหะได้หนึ่งพันธะเรียกว่า*โมโนเดนเททลิแกนด์ (monodentate ligand) หรือ ยูนิเดนเททลิแกนด์ (unidentate ligand มาจากคำว่า 'one tooth' หนึ่งฟัน)*

ลิแกนด์บางตัวมีตำแหน่งของอิเล็กตรอนคู่มากกว่าหนึ่งตำแหน่งที่สามารถเกิดพันธะกับไอออนโลหะได้ เรียกว่า*คีเลติงลิแกนด์ (chelating ligands)* หรือ *คีเลต (chelates มาจากภาษากรีกว่า chela แปลว่าก้ามปู)* ลิแกนด์ที่สามารถเกิดพันธะได้ 2 พันธะกับไอออนโลหะเรียกว่า *ไบเดนเททลิแกนด์ (bidentate ligand)* ที่รู้จักกันดี คือ เอทาลีน- ไดอะมีน (ethylenediamine, en) และออกซาเลต (oxalate) ส่วนลิแกนด์ที่มีอะตอมมากกว่าหนึ่งอะตอมที่เกิดพันธะกับไอออนโลหะได้ จะเรียกว่า*โพลิเดนเททลิแกนด์ (poly-dentate ligand)* โพลิเดนเททลิแกนด์ที่สำคัญคือ เอทิลีนไดอะมีนเตตระอะซิเตต (ethylenediaminetetra-acetate, EDTA) ซึ่งจะมี 6 อะตอมที่เกิดพันธะได้ จัดเป็นเฮกซะเดนเททลิแกนด์ (hexadentate ligand) สำหรับ EDTA นั้นทางการแพทย์มักใช้เป็นตัวที่จับกับโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ออกจากเลือด

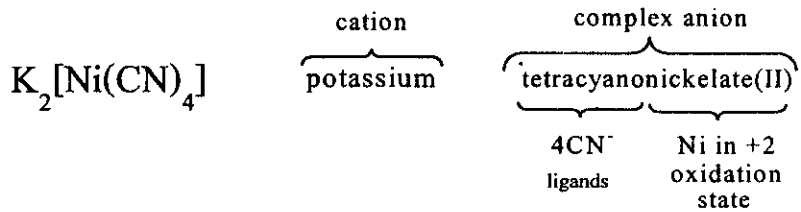
**ตารางที่ 9.2** ตัวอย่างของลิแกนด์ชนิดต่างๆ

| Type | Examples | |
|---|---|---|
| Unidentate or monodentate | $H_2O$ | $SCN^-$ (thiocyanate) |
| | $NH_3$ | $OH^-$ |
| | $CN^-$ | $X^-$ (halides) |
| | $NO_2^-$ (nitrite) | |
| Bidentate | Oxalate  | Ethylenediamine (en)  |

| Type | Examples |
|---|---|
| Polydentate | Diethylenetriamine (dien)<br>  <br><br>Ethylenediaminetetraacetate (EDTA)<br>  <br> |

## การเรียกชื่อสารประกอบเชิงซ้อน

1. ให้อ่านชื่อของไอออนบวก (cation) ก่อนชื่อของไอออนลบ (anion) เช่น




2. อ่านชื่อลิแกนด์ก่อนไอออนโลหะ เช่น $[Ni(NH_3)_6]^{2+}$, hexaamminenickel(II) แต่ถ้ามีลิแกนด์หลายตัวให้อ่านชื่อลิแกนด์เรียงตามตัวอักษรก่อน เช่น $[Pt(NH_3)_2Cl_2]$ , diamimminedichloroplatinum(II)
3. ลิแกนด์ที่เป็นประจุลบจะลงท้ายด้วยตัวอักษร O แต่สำหรับโมเลกุลที่เป็นกลางหรือเป็นโมเลกุล จะมีชื่ออ่านปกติ ดังตารางที่ 9.3
4. สำหรับจำนวนของลิแกนด์ แต่ละตัวในสารประกอบเชิงซ้อน จะใช้ตัวเลขกรีกนำหน้า เช่น di-, tri-, tetra-, penta- หรือ hexa-

5. ถ้าสารประกอบเชิงซ้อนเป็นประจุบวกหรืออะตอมที่เป็นกลางชื่อของไอออนโลหะจะใช้ปกติ แต่ถ้าไอออนเชิงซ้อนเป็นประจุลบ ชื่อของโลหะจะลงท้ายด้วย -ate ดังตารางที่ 9.4
6. ออกซิเดชันสเตทของโลหะเขียนแทนด้วยเลขโรมัน ตามท้ายชื่อของโลหะ

**ตารางที่ 9.3** ชื่อของลิแกนด์

| ลิแกนด์ | ชื่อของลิแกนด์ |
|---|---|
| $F^-$ | Fluoro |
| $Cl^-$ | Chloro |
| $Br^-$ | bromo |
| $I^-$ | iodo |
| $O^{2-}$ | oxo |
| $S^{2-}$ | thio |
| $\underline{C}N^-$ | cyano |
| $\underline{O}H^-$ | hydroxo |
| $\underline{N}O_2^-$ | nitro |
| $\underline{O}NO$ | nitrito |
| $\underline{C}O$ | carbonyl |
| $H_2\underline{O}$ | aqua |
| $\underline{N}H_3$ | ammine |

ลิแกนด์ที่มีมากกว่า 2 อะตอม ตัวที่ขีดเส้นใต้เป็นอะตอมที่จะเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโควาเลนต์กับไอออนโลหะ

**ตารางที่ 9.4** ตัวอย่างชื่อของสารประกอบเชิงซ้อนตามกฎการเรียกชื่อ ข้อ 5

| Metal | Name in metal | Complexs anion | Name of complex anion |
|---|---|---|---|
| silver | argentate | $[AgCl_2]^-$ | dichloroargentate(I) |
| gold | aurate | $[Au(CN)_4]^-$ | tetracyanoaurate(III) |
| copper | cuprate | $[CuCl_4]^{2-}$ | tetrachlorocuprate(II) |
| iron | ferrate | $[Fe(CN)_6]^{3-}$ | hexacyanoferrate(III) |

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชันสามารถแบ่งตามลักษณะความเฉื่อย (either inert) หรือ ไม่คงตัว (labile) ได้ โดยพิจารณาจากอัตราสัมพัทธ์ (relative rate) ซึ่งเป็นอัตราการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ของสารประกอบเชิงซ้อน ได้แก่

*สารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย (inert complex)* เป็นสารประกอบเชิงซ้อนชนิดหนึ่งที่มีการเปลี่ยนลิแกนด์ (แทนที่ลิแกนด์) กับลิแกนด์อื่นได้ช้า

*สารประกอบเชิงซ้อนไม่คงตัว (labile complex)* สารประกอบเชิงซ้อนชนิดนี้สามารถแลกเปลี่ยนลิแกนด์ได้อย่างรวดเร็วกับลิแกนด์อื่น

อัตราการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ของสารประกอบเชิงซ้อนจะพิจารณาจากค่าคงที่สมดุล (K) ของสารประกอบเชิงซ้อน เช่น ปฏิกิริยาของสารต่อไปนี้ ที่ 25°C

a) $[Co(NH_3)_6]^{2+}(aq) + 6H_3O^+(aq) \rightleftharpoons [Co(H_2O)_6]^{2+}(aq) + 6NH_4^+(aq)$ $\quad K = 10^{25}$

b) $[Co(NH_3)_6]^{3+}(aq) + 6H_3O^+(aq) \rightleftharpoons [Co(H_2O)_6]^{3+}(aq) + 6NH_4^+(aq)$ $\quad K = 10^{51}$

จะพบว่า สมการ a) สามารถถูกแทนที่ด้วย $H_2O$ ภายใน 10 วินาที แต่สมการ b) ต้องใช้เวลามากกว่า 1 เดือน ลิแกนด์จึงจะถูกแทนที่ด้วย $H_2O$ ทั้งนี้เพราะสารประกอบเชิงซ้อน $[Co(NH_3)_6]^{2+}$ เป็นออกทะฮีดรัล ที่เป็น hign-spin $d^7$ ion จึงเป็น *สารประกอบเชิงซ้อนไม่คงตัว* ส่วนสารประกอบเชิงซ้อน $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ เป็น ออกทะฮีดรัล ที่เป็น hign-spin $d^6$ ion จึงเป็น*สารประกอบเชิงซ้อนเฉื่อย*

## คำถามก่อนการทดลอง

1. สารประกอบเชิงซ้อนประกอบด้วย 2 ส่วน อะไรบ้าง
2. จงยกตัวอย่างลิแกนด์ประเภท bidentate ligand
3. สารประกอบเชิงซ้อนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างไรบ้าง
4. จงเขียนสูตรและชื่อสารประกอบเชิงซ้อนของ Cu และ Co ที่เตรียมในวันนี้
5. จงเขียนชื่อสารประกอบเชิงซ้อนต่อไปนี้

5.1 $[Cd(NH_3)_2]^{2+}$ 5.2 $[Cr(H_2O)_4]^{2+}$

5.3 $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ 5.4 $[Fe(CN)_6]^{4+}$

5.5 $[Cd(NH_3)_4]^{2+}$

6. จงสูตรชื่อสารประกอบเชิงซ้อนต่อไปนี้

6.1 tetraammineplatinum(II) ion 6.2 hexaaquairidium(III) ion

6.3 amminetrichloroplatinate(II) ion 6.4 pentacarbonylnitrosyliron(II) ion

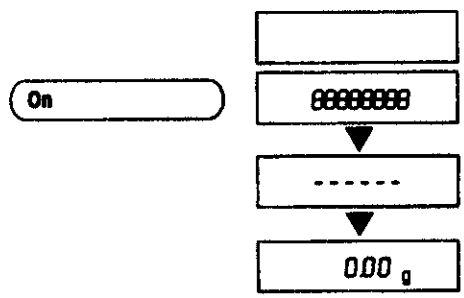
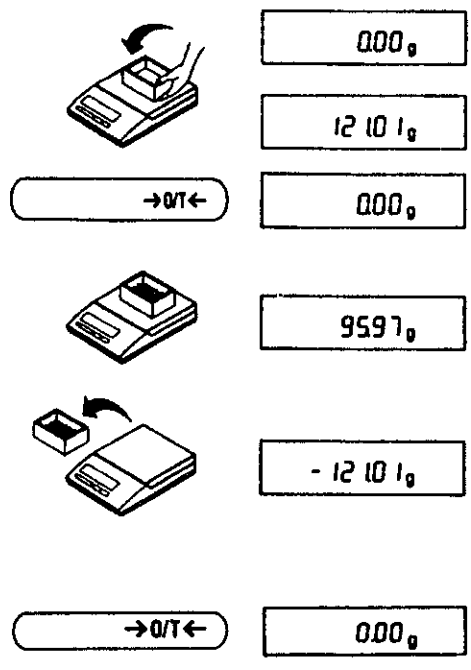
6.5 tetracarbonylcobalt(I) ion

## อุปกรณ์และสารเคมี

1. ผลึกคอปเปอร์ซัลเฟต ($CuSO_4.5H_2O$)
2. สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 15 M (15M $NH_4OH$)
3. 95% เอทานอล (95% $C_2H_5OH$)
4. ผงโคบอลท์คลอไรด์ ($CoCl_2$)
5. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ ($NH_4Cl$)
6. ผงถ่านกัมมัน (activated charcoal)
7. สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เข้มข้น 5 M (5M $H_2O_2$)
8. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 12 M (12M HCl)
9. น้ำกลั่น
10. น้ำแข็ง
11. บีกเกอร์ ขนาด 50 100 400 มล.
12. ขวดรูปกรวย
13. เครื่องชั่งหยาบ
14. เครื่องกรองดูด
15. กระดาษกรอง 16. กระจกนาฬิกา
17. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 18. แท่งแก้วคน
19. หลอดหยด 20. ช้อนตักสาร
21. ขวดน้ำกลั่น

## ข้อควรระวัง

1. *การใช้เครื่องชั่งหยาบ* (ทศนิยม 2 ตำแหน่ง) ต้องใช้อย่างระมัดระวัง เนื่องจากเครื่องชั่งที่ใช้เป็นระบบดิจิตอลแบบชั่งจากด้านบน มีวิธีการใช้ดังนี้

| | |
|---|---|
| 1.1 เปิดเครื่อง โดยกดปุ่ม ON/OFF รอจนกระทั่งหน้าปัดเครื่องขึ้น 0.00<br>1.2 สังเกตตำแหน่งของลูกน้ำที่อยู่ที่เครื่องให้อยู่ในตำแหน่งตรงกลางพอดี ถ้าไม่อยู่ในตำแหน่งดังกล่าวให้แจ้งเจ้าหน้าที่หรืออาจารย์ผู้ควบคุม |  |
| 1.3 วางภาชนะที่จะชั่งบนจานของเครื่องชั่ง ตัวเลขที่หน้าปัดที่ปรากฏคือน้ำหนักของภาชนะ ถ้าใช้ภาชนะนี้ใส่สารที่ต้องการชั่งด้วย ไม่ต้องนำภาชะออกจากจานเครื่องชั่ง ให้กดปุ่ม Tare หรือ T ตัวเลขที่หน้าปัดจะปรากฏตัวเลข 0.00 แล้วใส่สารที่ต้องการชั่งในภาชนะ ตัวเลขจะเปลี่ยนไป ค่าที่ได้เป็นตัวเลขน้ำหนักของสารที่ต้องการ<br>1.4 นำภาชนะออก กดปุ่ม T อีกครั้ง เพื่อให้หน้าปัดขึ้น 0.00 แล้วจึงชั่งภาชนะอื่นหรือให้กลุ่มอื่นใช้เครื่องต่อไป<br>**1.5 ถ้าสารหกต้องทำความสะอาดทุกครั้ง** |  |

2. สำหรับเครื่องกรองดูด ก่อนใช้เครื่องกรองดูดต้องนำอุปกรณ์ที่จำเป็นในการ กรองมาด้วย ได้แก่ กระจกนาฬิกา ช้อนตักสาร ขวดน้ำกลั่น สารที่ใช้ล้างตะกอน

3. ก่อนที่ทำการกรองสารต้องอ่านขั้นตอนการทดลองให้เข้าใจก่อนว่าหลังจากกรองแล้ว นักศึกษาต้องการตะกอนหรือสารละลาย

## วิธีทำการทดลอง

### ตอนที่ 1 การสังเคราะห์ $[Cu(NH_3)_4]SO_4.5H_2O$

การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของคอปเปอร์ จาก $CuSO_4.5H_2O$ (มวลโมเลกุล 249.7 กรัม) กับสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ($NH_4OH$) พบว่าคอปเปอร์ซัลเฟตและแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ สามารถที่จะแตกตัวในน้ำได้ ดังสมการ

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

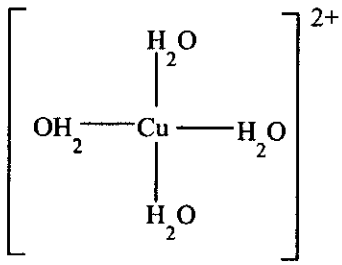
$$NH_3(aq) \xrightleftharpoons{H_2O} NH_4^{+}(aq) + OH^{-}(aq)$$

และเนื่องจากคอปเปอร์ไอออน ($Cu^{2+}$) เป็นโลหะทรานซิชันที่มีอิเล็กตรอนในชั้น 3d-orbital และมีออร์บิตัลว่างในออร์บิตัลนอก คือ 4p-orbital

$$Cu^{2+} = [Ar]\ 4s^0\ 3d^9\ 4p^0$$

ดังนั้นคอปเปอร์ไอออนจึงเกิดพันธะโคออร์ดิเนชันโควาเลนซ์ได้ 4 พันธะ กับอิเล็กตรอนคู่ของลิแกนด์ เมื่อเติมน้ำ ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่อิสระอยู่ที่ออกซิเจนลงไปในสารละลายคอปเปอร์ไอออน จะเกิดพันธะขึ้นระหว่าง Cu-O ดังโครงสร้างข้างล่าง

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



สำหรับคอปเปอร์(II)ซัลเฟตเพนทะไฮเดรท (copper(II)sulfate pentahydrate, $CuSO_4.5H_2O$) ที่ใช้เตรียม $[Cu(H_2O)_4]^{2+}$ เกิดจาก 4 โมเลกุลของน้ำจาก $CuSO_4.5H_2O$ สามารถรวมกับ $Cu^{2+}$ และอีกหนึ่งโมเลกุลของน้ำจะจับกับซัลเฟตไอออน ($SO_4^{2-}$)

เมื่อเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ลงในสารประกอบไอออนเชิงซ้อนคอปเปอร์ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์สามารถเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับเป็นแอมโมเนีย เกิดปฏิกิริยาแทนที่น้ำด้วยแอมโมเนีย

$$[Cu(H_2O)_4]^{+2}(aq) + 4NH_3(aq) \rightleftharpoons [Cu(NH_3)_4]^{+2}(aq) + 4H_2O$$

## วิธีทำการทดลอง

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

$$\mathbf{Cu(SO)_4.5H_2O + 5NH_4OH}(aq) \rightleftharpoons \mathbf{[Cu(NH_3)_4]SO_4.H_2O}(s) \mathbf{+ 8H_2O}$$

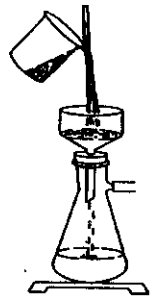
1. ชั่ง $CuSO_4.5H_2O$ 3 กรัม ใส่ขวดรูปกรวย ละลายด้วยน้ำกลั่น 10 มล. อุ่นในอ่างน้ำเดือดจนหมด จะได้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

2. หยดสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ($NH_4OH$ เข้มข้น) ลงในขวดรูปกรวยทีละหยดพร้อมคนสารละลาย (ทำในตู้ดูดควัน) จะพบว่าสีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนไปจากสีฟ้าเป็นสีฟ้าขุ่นของ $Cu(OH)_2$ จนกระทั่งได้สารละลายสีน้ำเงินเข้มใสของ $Cu(NH_3)_4^{2+}$ สังเกตดูจะไม่พบส่วนของตะกอนอยู่

3. เติม 95%เอทานอล 10 มล. ลงไป จะได้ผลึกสีน้ำเงินของ $[Cu(NH_3)_4]SO_4.H_2O$ ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 20 นาที เพื่อให้ตะกอนตกสมบูรณ์

4. กรองตะกอนที่ได้ด้วยเครื่องกรองดูด ดังรูปที่ 9.1 แล้วล้างตะกอนด้วย 95%เอทานอล

5. ตั้งตะกอนทิ้งไว้ในตู้ดูดควัน นำไปชั่งหาน้ำหนักของผลึกที่ได้



**รูปที่ 9.1** การกรองตะกอน

## ผลการทดลอง

1) น้ำหนักสาร $CuSO_4.5H_2O$ ที่ชั่ง ..... กรัม

2) จำนวนโมล $CuSO_4.5H_2O$ ..... โมล

3) น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ ..... กรัม

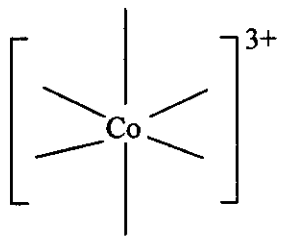
4) จำนวนโมลของสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ ..... โมล

5) น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณ ..... กรัม

6) %yield $\left(\frac{3)}{5)}\times 100\right)$ ..... %

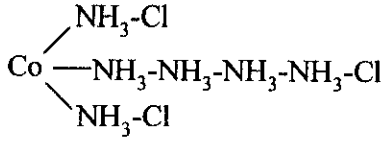
## ตอนที่ 2 การสังเคราะห์ $[Co(NH_3)_6]Cl_3$

ไอออนโลหะโคบอลต์ ($Co^{3+}$) จะมีทั้ง primary valence และ secondary valence สำหรับ primary valence จะเป็นส่วนของประจุที่สอดคล้องกับประจุบนไอออนโลหะ ในการทดลองนี้คือ $Cl^-$ ส่วน secondary valence จะเป็นส่วนของไอออนหรือโมเลกุลที่เกิดพันธะกับไอออนโลหะ

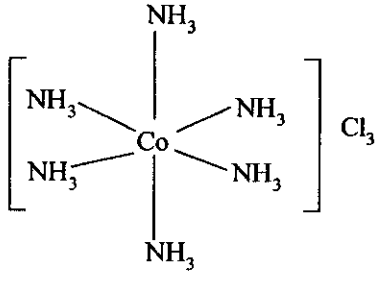



$Co^{3+}$ เป็นไอออนโลหะที่มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 สามารถเกิดพันธะกับลิแกนด์ได้ 6 พันธะ ดังรูปทางซ้ายมือ ในการทดลอง ลิแกนด์ที่ใช้คือ $NH_3$ (amine)

สำหรับสารประกอบเชิงซ้อนชนิดนี้ ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นโดย Sophus Mads Jorgensen (1837-1914) โดยศึกษา metal-amine (amine เป็นชื่อของ $NH_3$ ในกรณีที่เป็นลิแกนด์) พบว่าโครงสร้างเป็น



แต่ต่อมาในปี 1890 Werner ได้พบว่าโครงสร้างของลิแกนด์ดังกล่าวมีโครงสร้างแบบออกทะฮีดรัล (octahedral) รอบไอออนโคบอลต์ ($Co^{3+}$) เกิดเป็นไอออนเชิงซ้อนของ $Co(NH_3)_6^{3+}$ และมีคลอไรด์ 3 ไอออน เป็น *counter ion*



ต่อมา Werner ได้รับรางวัลโนเบล (Nobel prize) ในสาขาเคมี สำหรับกระบวนการที่ Werner ใช้ คือ ละลาย $CoCl_2$ ใน $NH_3$ และออกซิไดส์ในอากาศเป็น $Co^{3+}$ จะได้สารประกอบเชิงซ้อนที่แตกต่างกันไป

$CoCl_3.6NH_3$ - เหลืองส้ม $CoCl_3.5NH_3.H_2O$ - แดง

$CoCl_3.5NH_3$ - ม่วง $CoCl_3.4NH_3$ - เขียว

โดยปกติสารละลายแอมโมเนียสามารถเกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก แต่สารประกอบเชิงซ้อนของ $CoCl_3.6NH_3$ จะไม่เกิดปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริก

ในการทดลองเมื่อละลาย $CoCl_2$ ในน้ำ จะได้สารประกอบเชิงซ้อนของ Co(II) คือ $Co(H_2O)_6^{2+}$ ดังสมการ

$$CoCl_2(s) + 6H_2O(l) \rightarrow \underset{\text{ชมพู}}{Co(H_2O)_6^{2+}(aq)} + 2Cl^-(aq)$$

$$Co(H_2O)_6^{2+}(aq) + 6NH_3(aq) \rightarrow \underset{\text{ส้ม-เหลือง}}{Co(NH_3)_6^{2+}(aq)} + 6H_2O(l)$$

และเพื่อให้ได้สารประกอบเชิงซ้อน Co(III) จึงต้องออกซิไดส์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogenperoxide, $H_2O_2$) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี

$$\mathbf{Co(NH_3)_6^{2+}(aq) + H_2O_2(aq) + 2H^+(aq) \rightarrow Co(NH_3)_6^{3+}(aq) + 2H_2O(l)}$$

## วิธีทำการทดลอง

1. ชั่ง $CoCl_2$ หนัก 1.0 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 150-200 มล. ละลายด้วยน้ำกลั่น 10 มล.

2. ชั่ง $NH_4Cl$ หนัก 1.2 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาดเล็ก แล้วเติมผงถ่านกัมมันเล็กน้อย (ประมาณปลายช้อนตักสารด้านเล็ก) และน้ำกลั่น 2 มล. ลงไป คนให้เข้ากัน

3. ผสมสารในข้อ 1 และ 2 แล้วต้มให้เดือดบนแผ่นให้ความร้อน (hot plate) คนอย่างสม่ำเสมอ ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง

4. นำสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น ($NH_4OH$ conc.) 5 มล. ซึ่งแช่เย็นในน้ำแข็ง หยดทีละหยดลงในบีกเกอร์จนหมดลงในข้อ 3 (*ไม่ต้องนำบีกเกอร์ออกจากน้ำแข็ง*) คนสารละลายตลอดเวลา

5. ค่อยๆ เติม 5M $H_2O_2$ 5 มล. และ12M HCl 1 มล. ลงในบีกเกอร์ที่แช่น้ำแข็งอยู่ คนสารละลายจนกระทั่งฟองอากาศหมด จึงนำบีกเกอร์ไปตั้งในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 60°ซ นานประมาณ 5 นาที แล้วแช่ในน้ำแข็งอีก 10 นาที จนตกตะกอน

8. กรองตะกอนที่ได้ด้วยเครื่องกรองดูด

9. นำตะกอนที่ได้ใส่บีกเกอร์ใบเดิม ใช้น้ำกลั่นฉีดไล่ตะกอนจากกระดาษกรองให้หมด จนปริมาตรของน้ำกลั่นได้ประมาณ 25 มล. เติม 12M HCl 2 มล. ลงในตะกอน แล้วนำไปให้ความร้อน เพื่อละลายตะกอนบนแผ่นให้ความร้อน

10. กรองสารละลายที่ได้***ขณะร้อน***ด้วยเครื่องกรองดูด นำสารละลายที่ได้ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มล. เติม 12M HCl จำนวน 8 มล. แล้วแช่บีกเกอร์ในน้ำแข็งนาน 5 นาที จะได้ผลึกสีทองของ $[Co(NH_3)_6]Cl_3$

11. กรองผลึกที่ได้ด้วยเครื่องกรองดูด แล้วล้างตะกอนด้วย 95%เอทานอล ทำให้แห้งในตู้ดูดควัน ชั่งน้ำหนักของผลึกที่ได้

## ผลการทดลอง

1) น้ำหนักสาร $CoCl_2$ ที่ชั่ง ..... กรัม

2) จำนวนโมล $CoCl_2$ ..... โมล

3) น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ ..... กรัม

4) จำนวนโมลสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ ..... โมล

5) น้ำหนักสารผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคำนวณ..... กรัม

6) %yield $\left(\frac{3)}{5)}\times 100\right)$ ..... %

# ตอนที่ 3 เปรียบเทียบความสามารถในการแลกเปลี่ยนลิแกนด์ของสารประกอบเชิงซ้อน

สารประกอบเชิงซ้อนบางตัว สามารถจะแลกเปลี่ยนลิแกนด์กับอิเล็กตรอนคู่อิสระอื่น เช่น $H_2O$ $NH_3$ CO NO $Cl^-$ $Br^-$ ได้ดี จัดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนชนิดไม่คงตัว (labile) แต่สารประกอบเชิงซ้อนบางตัวมีความคงตัวสูง (nonlabile) มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนลิแกนด์กับอิเล็กตรอนคู่อื่นได้ช้าเรียกว่า*สารเฉื่อย (inert)*

## วิธีทำการทดลอง

1. ทดสอบการแลกเปลี่ยนลิแกนด์กับน้ำ ($H_2O$) โดยนำผลึกที่เตรียมได้ 1 กรัม ประมาณปลายช้อนตักสารด้านเล็ก ใส่หลอดทดลองขนาดเล็ก แล้วเติมน้ำลงไป 1 มล. เขย่าหลอดทดลอง สังเกตผลและบันทึกผลการทดลอง

2. ทดสอบการแลกเปลี่ยนลิแกนด์กับคลอไรด์ ($Cl^-$) ใน 12M HCl ทำการทดลองเหมือนข้อ 1 แต่เปลี่ยนจากน้ำเป็น 12 M HCl

## ผลการทดลอง

| | สีของสารประกอบเชิงซ้อน | สีของสารละลายในน้ำ | สีของสารละลายใน HCl |
|---|---|---|---|
| $[Cu(NH_3)_4]^{2+}$ | ..... | ..... | ..... |
| $[Co(NH_3)_6]^{3+}$ | ..... | ..... | ..... |

## ตอบคำถามหลังการทดลอง

1. ถ้าไอออนของสารมีประจุเป็นบวก เราจะพบไอออนของสารนี้ทำหน้าที่เป็นส่วนไหนของสารประกอบเชิงซ้อน
2. ในการทดลองเราจะใช้ผงถ่านกัมมันเติมลงไปในปฏิกิริยา ผงถ่านกัมมันที่เติมลงไปทำหน้าที่อะไร
3. สารที่ใช้ในการล้างผลึกคือสารใด และประโยชน์ของการล้างผลึกคืออะไร
4. จงแสดงวิธีการคำนวณหา %yield ของสารประกอบเชิงซ้อนทั้งสองชนิด
5. สารชนิดใดที่ใช้เป็น limiting agent ของปฏิกิริยาทั้งสองการทดลอง
6. จงหาเลขออกซิเดชันของโลหะศูนย์กลางของสารประกอบเชิงซ้อน
   - 6.1 $[Ru(NH_3)_5(H_2O)]Cl$
   - 6.2 $[Cr(NH_3)_6](NO_3)_3$
   - 6.3 $[Fe(CO)_5]$
   - 6.4 $K_4[Fe(CN)_6]$