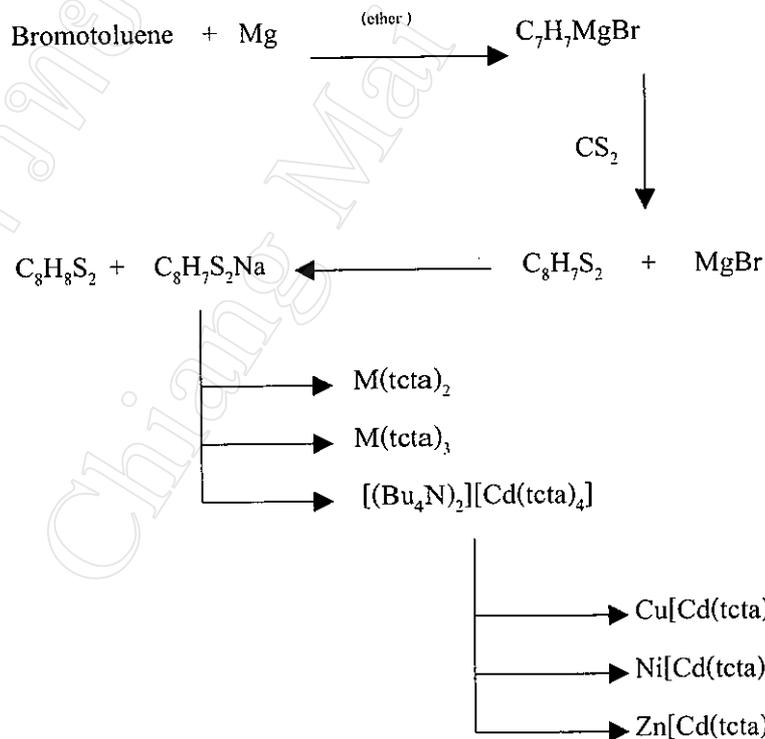


4. วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกของโลหะทรานซิชันแถวที่ 1 โดยลิแกนด์คือ ทอลิล - 4 - คาร์บิไซโออิก แอซิด โดยได้ทำการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg และ Pb กับลิแกนด์ ทอลิล - 4 - คาร์บิไซโออิกแอซิด และในส่วนของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก อะตอมกลางคือ Cd และโลหะทรานซิชันที่เพิ่มเข้าไปคือ Ni, Cu และ Zn ซึ่งแผนภาพที่แสดงถึงสารประกอบเชิงซ้อนที่สังเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ดังรูป 4.1 จากนั้นได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและศึกษาหาปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบในสารประกอบเชิงซ้อน และคุณสมบัติต่าง ๆ ของสารที่สังเคราะห์ได้ ดังข้อมูลที่น่าสนใจในส่วนของการทดลอง และนำข้อมูลทั้งหมดมาประกอบกัน เพื่อพิจารณาหาข้อสรุปเกี่ยวกับสูตรโมเลกุลที่น่าจะเป็นไปได้ของสารประกอบเชิงซ้อนแต่ละตัว



รูป 4.1 สารประกอบเชิงซ้อนที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยครั้งนี้

4.1 ลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธโออิก แอซิด

การเตรียมลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธโออิก แอซิด เตรียมโดยวิธี Grignard^{11,14} สารตั้งต้นที่ใช้เตรียมลิแกนด์คือ 4 - โบรโม ทอลูอินทำปฏิกิริยากับโลหะแมกนีเซียมในอีเธอร์ที่ปราศจากน้ำ (dry ether) มีเกลือไดโอไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในระบบที่ปราศจากน้ำ

ลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธโออิก แอซิด มีสมบัติทางกายดังตาราง 3.1 คือเมื่ออยู่ในสถานะของแข็งมีสีเหลืองแดงมีจุดหลอมเหลวประมาณ 35 °C และเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิห้องอย่างช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องเก็บไว้ในรูปสารละลายในอีเธอร์ จากผลการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัม (จากรูป 3.1, 3.2 และตาราง 3.2) พบว่าค่าของ (C-H) stretching ของ อะลิฟาติก และ อโรมาติก ในลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธโออิก แอซิด และ 4 - โบรโม ทอลูอิน มีค่าความถี่ที่เท่ากัน คือ 3035 cm^{-1} และ 2921 cm^{-1} ตามลำดับ ส่วน absorption แบนด์ของ (C=C) ring stretching ในลิแกนด์มีการ shift ไปความถี่สูงขึ้นของทุกแบนด์เมื่อเทียบกับสารตั้งต้นจากค่าความถี่ 1482 cm^{-1} ไปเป็น 1520 cm^{-1} ในส่วนของลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธโออิก แอซิด แบนด์ที่สำคัญคือ (C-S) stretching มีค่าเท่ากับ 1040 cm^{-1} จากรายงานของ Burke²², Nakamoto²³ และ Piovesana²⁴ พบว่า absorption แบนด์ของ (C-S) stretching มีค่า 1002 cm^{-1} , 1000 cm^{-1} และ 1020 cm^{-1} ตามลำดับซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันของลิแกนด์ที่เตรียมได้

จากสเปกตรัม ¹H NMR ของสารตั้งต้น 4 - โบรโมทอลูอินและ ลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธโออิก แอซิด (ตาราง 3.3 และ รูป 3.3 และ 3.4) แสดงค่า chemical shifts ของโปรตอนที่เป็น phenyl เท่ากับ 7.02 – 7.38 ppm และ 7.10 – 7.50 ppm ตามลำดับ ส่วนค่า chemical shifts ของโปรตอนที่เป็น CH₃ เท่ากับ 2.29 ppm และ 2.36 ppm ตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลอ้างอิงที่ได้นำเสนอ

สำหรับข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์สเปกตรัมพบว่าการยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) ของสารตั้งต้น 4 - โบรโม ทอลูอิน และ ลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธโออิก แอซิด (จากรูป 3.3 , 3.4 และตาราง 3.3) ปรากฏที่ 242 และ 245 nm ตามลำดับ

การหาเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่เป็นองค์ประกอบในลิแกนด์ที่เตรียมใช้เครื่อง CHNS/O Analyzer วิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของธาตุที่สำคัญ คือ คาร์บอน, ไฮโดรเจน และซัลเฟอร์ จากผลที่ได้ให้นำมาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์จากสูตรโครงสร้างที่ควรได้ โดยจากรูป 3.5 พบว่าผลที่ได้ไม่ตรงตามที่คำนวณมากนักอาจมาจากหลายสาเหตุเช่น ในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึกใหม่ได้ จึงทำให้มีสิ่งเจือปนอยู่ ซึ่งอาจจะไปรบกวนการวิเคราะห์หาปริมาณธาตุที่เป็นประกอบต่าง ๆ ได้ ในส่วนของสารตั้งต้นไม่ได้ทำการวิเคราะห์หาธาตุองค์ประกอบเนื่องจากอยู่ในสถานะของเหลว

4.2 การวิเคราะห์ผลทางอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy) ของสารประกอบเชิงซ้อน $M(tcta)_2$, $M(tcta)_3$ และ $M[Cd(tcta)_4]$

อินฟราเรดสเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่เตรียมคือ $M(tcta)_2$ และ $M(tcta)_3$ โดย M คือ Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg และ Pb (รูป 3.7 – 3.14 และ ตาราง 3.7) มีแบนด์ของ (C-H) stretching ของอะซิฟาทิก และ (C=C) ring stretching ที่ความถี่ที่เท่ากันคือ 2921 cm^{-1} และ 1596 cm^{-1} ตามลำดับ ส่วนแบนด์ของ (C-H) stretching ของอโรมาติกสารประกอบเชิงซ้อนแสดงค่าความถี่ช่วง $3005 - 3030\text{ cm}^{-1}$ ส่วนแบนด์ของ (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching แสดงค่าความถี่ช่วงตั้งแต่ $998 - 1019\text{ cm}^{-1}$ และ $895 - 969\text{ cm}^{-1}$ ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Burke²² ในส่วนของแบนด์ (phe -C) stretching แสดงค่าความถี่ช่วงตั้งแต่ $1240 - 1285\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งค่าความถี่ของแบนด์ดังกล่าวจะลดลงตามค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronegativity) ของโลหะแทรนซิชัน¹³

ส่วนอินฟราเรดสเปกตรัม (รูป 3.23 – 3.27 และตาราง 3.12) พบว่า แบนด์การดูดกลืนแสงของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกที่เตรียมคือ $Ni[Cd(tcta)_4]$, $Cu[Cd(tcta)_4]$ และ $Zn[Cd(tcta)_4]$ มีแบนด์ (C-H) stretching และ (C=C) ring stretching ที่ความถี่ที่เท่ากันคือ 2921 cm^{-1} และ 1596 cm^{-1} ตามลำดับ ส่วนแบนด์ของ (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching แสดงค่าความถี่ช่วงตั้งแต่ $1012 - 1019\text{ cm}^{-1}$ และ $898 - 970\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Burke²² ในส่วนของแบนด์ (phe -C) stretching แสดงค่าความถี่ช่วงตั้งแต่ $1210 - 1280\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งค่าความถี่ของแบนด์ดังกล่าวจะลดลงตามค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี (electronagativity) ของโลหะแทรนซิชัน¹³

4.3 การวิเคราะห์ผลทางยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตสโกปี (UV - Vis Spectroscopy) ของสารประกอบเชิงซ้อน $M(tcta)_2$, $M(tcta)_3$ และ $M[Cd(tcta)_4]$

อิเล็กโตรนิคสเปกตรัมของของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันที่เตรียมคือ $M(tcta)_2$ และ $M(tcta)_3$ โดย M คือ Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg และ Pb (รูป 3.15 – 3.22 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) โดยค่า λ_{max1} เป็นการ transition ของความยาวคลื่นของลิแกนด์ที่เกิด complex กับโลหะแทรนซิชัน มีค่าความยาวคลื่นในช่วง $210 - 226\text{ nm}$ ²⁵ ส่วนค่า λ_{max2} เป็นการ transition ของอิเล็กตรอนในโลหะแทรนซิชันมีค่าความยาวคลื่นในช่วง $319 - 325\text{ nm}$ ^{17, 26} ในส่วนของไหล่ปรากฏเฉพาะสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะแทรนซิชันเป็น Fe, Co และ Ni ที่ประมาณ $500 - 600\text{ nm}$ ค่า λ_{max} ของสารประกอบแทรนซิชันที่เตรียมได้มีค่าที่สอดคล้องรายงานของ Singh¹³ การ transition อิเล็กตรอนของสารประกอบเชิงซ้อนอธิบายในส่วนต่อไป ยกเว้นสารประกอบที่มีโลหะแทรนซิชันเป็น Zn, Cd และ Hg ไม่สามารถอธิบายการ

transition อิเล็กตรอน ได้เนื่องจากอิเล็กตรอนมีการจัดเรียงแบบ d^{10} ซึ่ง d-d band จะอยู่ใกล้กับ charge transfer มากกว่าโลหะแทรนซิชันแถวที่หนึ่ง ทำให้เกิดการบดบังมากกว่า ดังนั้นทำให้อธิบายสเปกตรัมของสารประกอบเหล่านี้ถูกต้องได้ยาก¹⁷ สำหรับข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์สเปกตรา (รูป 3.30 – 3.32 และตาราง 3.12) พบว่าค่า λ_{max} ของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกคือ $Ni[Cd(tcta)_4]$, $Cu[Cd(tcta)_4]$ และ $Zn[Cd(tcta)_4]$ ปรากฏที่สามช่วงความถี่โดยช่วงแรกที่ 214, 207 และ 219 nm ตามลำดับ ซึ่งเป็นช่วงของการ transition ของความยาวคลื่นของลิแกนด์ที่เกิด complex กับโลหะแทรนซิชัน เกิดการ transition ระหว่าง $\pi \rightarrow \pi^*$ ส่วนค่า λ_{max} ปรากฏที่ 319, 321 และ 317 เป็นของการ transition ของโลหะแทรนซิชัน¹³

4.4 สารประกอบเชิงซ้อนมีสูตรโมเลกุลเป็น $M(tcta)_2$, $M(tcta)_3$

สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะแทรนซิชันแถวที่ 1 บางตัว กับลิแกนด์ทอลิต - 4 - คาร์บิไซโอะอิก แอซิด ที่สังเคราะห์ได้

4.4.1 สารประกอบเชิงซ้อนของ $Fe(tcta)_3$

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน $Fe(tcta)_3$ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 98 - 100 °C สารประกอบมีสีน้ำเงินเข้ม เปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 78.65 จากการศึกษานิพราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.7 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe - C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1261 cm^{-1} , 1019 cm^{-1} และ 956 cm^{-1} ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน $Fe(tcta)_3$ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 3 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d^5 อิเล็กตรอนมีการจัดเรียงแบบ low spin วัดความเป็นแม่เหล็กได้ 1.98 B.M. แสดงสมบัติเป็น paramagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์สเปกตรา (รูป 3.15 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่น สามช่วงคือ $\lambda_{max1} = 212$ nm, $\lambda_{max2} = 322$ nm และ $\lambda_{max3} = 588$ nm ซึ่งเป็นการ transition ของ $\pi \rightarrow \pi^*$, ${}^2T_{2g} \rightarrow {}^4A_{2g}$ ¹³ และ ${}^2T_{2g} \rightarrow {}^4T_{2g}$ ¹³ และจากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า % Fe = 9.52, %C = 52.98, %H = 4.42 และ %S = 35.10 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณซึ่งได้ % Fe = 10.01, %C = 51.69, %H = 3.80 และ %S = 34.50 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ $Fe(C_8H_6S_2)_3$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้เป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า (octahedral) ดังรูป 4.2

4.4.2 สารประกอบเชิงซ้อนของ Co(tcta),

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน Co(tcta)₃ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 135-135 °C สารประกอบมีสีน้ำตาล เปรอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 80.31 จากการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.8 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1263 cm⁻¹, 998 cm⁻¹ และ 935 cm⁻¹ ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน Co(tcta)₃ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 3 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d⁶ อิเล็กตรอนมีการจัดเรียง แบบ low spin แสดงสมบัติแม่เหล็กเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์สเปกตรา (รูป 3.16 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสามช่วงคือ $\lambda_{max1} = 210$ nm, $\lambda_{max2} = 321$ nm และ $\lambda_{max3} = 488$ nm ซึ่งเป็นการ transition ของ $\pi \rightarrow \pi^{*25}$, ${}^1A_{1g} \rightarrow {}^1T_{2g}{}^{17}$ และ ${}^1A_{1g} \rightarrow {}^1T_{1g}{}^{17}$ และจากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า % Co = 11.07, %C = 52.76, %H = 4.34 และ %S = 35.05 เมื่อเปรียบเทียบกับการคำนวณซึ่งได้ % Co = 10.51, %C = 51.41, %H = 3.77 และ %S = 34.31 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ Co(C₈H₇S₂)₃ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้เป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า (octahedral) ดังรูป 4.2

4.4.3 สารประกอบเชิงซ้อนของ Ni(tcta)₂

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน Ni(tcta)₂ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 208 - 210 °C สารประกอบมีสีน้ำตาลเข้ม เปรอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 83.82 จากการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.9 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1268 cm⁻¹, 1005 cm⁻¹ และ 969 cm⁻¹ ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน Ni(tcta)₂ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d⁸ อิเล็กตรอนมีการจัดเรียง แบบ low spin แสดงสมบัติแม่เหล็กเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กทรอนิกส์สเปกตรา (รูป 3.17 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสามช่วงคือ $\lambda_{max1} = 215$ nm, $\lambda_{max2} = 322$ nm และ $\lambda_{max3} = 525$ nm จากการศึกษาวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า % Ni = 14.43, %C = 49.63, %H = 4.20 และ %S = 33.25 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าการคำนวณซึ่งได้ % Ni = 14.93, %C = 48.87, %H = 3.59 และ %S = 32.62 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ Ni(C₈H₇S₂)₂ จากข้อมูล

ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้สี่เหลี่ยมแบนราบ (square planar) ดังรูป 4.3

4.4.4 สารประกอบเชิงซ้อนของ $\text{Cu}(\text{tcta})_2$

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน $\text{Cu}(\text{tcta})_2$ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ $230 - 235 \text{ }^\circ\text{C}$ สารประกอบมีสีน้ำตาลแดง เปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 84.35 จากการศึกษอินฟราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.10 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1253 cm^{-1} , 1019 cm^{-1} และ 895 cm^{-1} ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน $\text{Cu}(\text{tcta})_2$ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d^9 อิเล็กตรอนมีการจัดเรียง แบบ high spin วัดความเป็นแม่เหล็กได้ 2.05 B.M. แสดงสมบัติเป็น paramagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กโตรนิคสเปกตรา (รูป 3.18 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{\text{max}1} = 211 \text{ nm}$ ซึ่งเป็นการ transition ของ $\pi \rightarrow \pi^*$ และ $\lambda_{\text{max}2} = 325 \text{ nm}$ ซึ่งเป็นการ transition ตามลำดับจากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า % Cu = 15.12, % C = 49.45, % H = 3.98 และ % S = 33.48 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณซึ่งได้ % Cu = 15.96, % C = 48.27, % H = 3.54 และ % S = 32.22 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ $\text{Cu}(\text{C}_8\text{H}_7\text{S}_2)_2$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้สี่เหลี่ยมแบนราบ (square planar) ดังรูป 4.3

4.4.5 สารประกอบเชิงซ้อนของ $\text{Zn}(\text{tcta})_2$

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน $\text{Zn}(\text{tcta})_2$ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ $179 - 183 \text{ }^\circ\text{C}$ สารประกอบมีสีเหลืองเข้ม เปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 84.20 จากการศึกษอินฟราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.11 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1237 cm^{-1} , 1019 cm^{-1} และ 920 cm^{-1} ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน $\text{Zn}(\text{tcta})_2$ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d^{10} อิเล็กตรอน แสดงสมบัติแม่เหล็กเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กโตรนิคสเปกตรา (รูป 3.19 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{\text{max}1} = 214 \text{ nm}$ ซึ่งเป็นการ transition ของ $\pi \rightarrow \pi^*$ และ $\lambda_{\text{max}2} = 319 \text{ nm}$ จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์

ประกอบผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า % Zn = 16.71, %C = 48.93, %H = 3.86 และ %S = 31.77 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณซึ่งได้ % Zn = 16.00, %C = 48.29, %H = 3.54 และ %S = 32.23 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ $Zn(C_8H_7S_2)_2$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral) ดังรูป 4.3

4.4.6 สารประกอบเชิงซ้อนของ $Cd(tcta)_2$

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน $Cd(tcta)_2$ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 210 - 215 °C สารประกอบมีสีเหลือง เปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 89.60 จากการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.12 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1240 cm^{-1} , 1005 cm^{-1} และ 905 cm^{-1} ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน $Cd(tcta)_2$ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d^{10} อิเล็กตรอน แสดงสมบัติแม่เหล็กเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กโตรนิกส์สเปกตรา (รูป 3.20 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{max1} = 224\text{ nm}$ เป็นการ transition ของ $\pi \rightarrow \pi^*$ และ $\lambda_{max2} = 315\text{ nm}$ จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า % Cd = 26.13, %C = 44.06, %H = 3.39 และ %S = 29.94 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณซึ่งได้ % Cd = 25.15, %C = 43.00, %H = 3.16 และ %S = 28.70 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ $Cd(C_8H_7S_2)_2$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral) ดังรูป 4.3

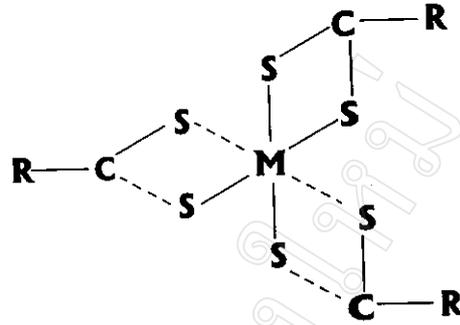
4.4.7 สารประกอบเชิงซ้อนของ $Hg(tcta)_2$

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน $Hg(tcta)_2$ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 155 - 158 °C สารประกอบมีสีเขียว เปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 90.24 จากการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.13 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe-C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1245 cm^{-1} , 1019 cm^{-1} และ 900 cm^{-1} ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน $Hg(tcta)_2$ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d^{10} อิเล็กตรอน แสดงสมบัติแม่เหล็กเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กโตรนิกส์สเปกตรา (รูป 3.21 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{max1} = 215\text{ nm}$ เป็นการ transition ของ $\pi \rightarrow \pi^*$ และ λ_{max2}

= 321 nm จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า %Hg = 38.66, %C = 36.77, %H = 2.98 และ %S = 24.62 เมื่อเปรียบเทียบกับ การคำนวณซึ่งได้ % Hg = 37.48, %C = 35.91, %H = 2.64 และ %S = 23.97 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ $\text{Hg}(\text{C}_8\text{H}_7\text{S}_2)_2$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral) ดังรูป 4.3

4.4.8 สารประกอบเชิงซ้อนของ $\text{Pb}(\text{tcta})_2$

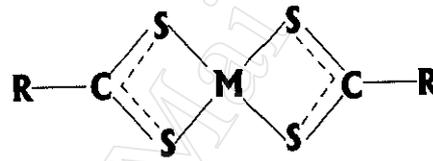
สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อน $\text{Pb}(\text{tcta})_2$ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 155 - 158 °C สารประกอบมีสีน้ำตาลเข้ม เปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 87.46 จากการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.14 และตาราง 3.7) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1285 cm^{-1} , 998 cm^{-1} และ 914 cm^{-1} ตามลำดับสารประกอบเชิงซ้อน $\text{Pb}(\text{tcta})_2$ มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 แสดงสมบัติแม่เหล็กเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กโตรนิคสเปกตร (รูป 3.21 และตาราง 3.8) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{\text{max}1} = 226 \text{ nm}$ เป็นการ transition ของ $\pi \rightarrow \pi^*$ และ $\lambda_{\text{max}2} = 323 \text{ nm}$ จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.9 พบว่ามีค่า % Pb = 34.87, %C = 36.02, %H = 2.87 และ %S = 24.04 เมื่อเปรียบเทียบกับ การคำนวณซึ่งได้ % Pb = 38.25, %C = 35.47, %H = 2.60 และ %S = 23.67 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ $\text{Pb}(\text{C}_8\text{H}_7\text{S}_2)_2$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetrahedral) ดังรูป 4.3



M = Fe และ Co

tcta = Toly - 4 - carbithioic acid

รูป 4.2 โครงสร้างของสารเชิงซ้อนที่สูตรโมเลกุลแบบ $M(tcta)_3$,



M = Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, และ Pb

tcta = Toly - 4 - carbithioic acid

รูป 4.3 โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนที่สูตรโมเลกุลแบบ $M(tcta)_2$,

4.5 สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกมีสูตรโมเลกุลเป็น $M[Cd(tcta)_4]$

การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกโดยการเตรียม $[(Bu_4N)_2][Cd(tcta)_4]$ แล้วเพิ่มโลหะทรานซิชันบางตัวลงไปซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกของ $Ni[Cd(tcta)_4]$, $Cu[Cd(tcta)_4]$ และ $Zn[Cd(tcta)_4]$ ซึ่งสมบัติทางกายภาพและความสามารถในการละลายของสารที่เตรียมได้แสดงตาราง 3.10 โดยสารประกอบเฮเทอโรไบเมทัลลิกที่เตรียมมีลิแกนด์คือ ลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโรอิก แอซิด ซึ่งเป็นโมเลกุลไม่มีขั้วและไม่ละลายน้ำ สามารถละลายได้เล็กน้อยใน เอทานอล และ เมทานอล และสามารถได้ดีใน คลอโรฟอร์ม และ คาร์บอนเตตระคลอไรด์

4.5.1 สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก Ni[Cd(tcta)₄]

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก Ni[Cd(tcta)₄] ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 250 - 255 °C สารประกอบมีสีน้ำเงิน เปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 32.15 จากการศึกษานิพราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.25 และตาราง 3.11) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (pne -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1280 cm⁻¹, 1019 cm⁻¹ และ 970 cm⁻¹ ตามลำดับ สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก Ni[Cd(tcta)₄] มีเลขออกซิเดชันของ Ni เท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d⁸ อิเล็กตรอนมีการจัดเรียง แบบ low spin ส่วน Cd มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d¹⁰ อิเล็กตรอน ดังนั้นแสดงสมบัติแม่เหล็กเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กโทรนิคสเปกตร (รูป 3.30 และตาราง 3.12) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{max1} = 214$ nm และ $\lambda_{max2} = 319$ nm ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.13 พบว่ามีค่า %Cd = 14.16, %Ni = 7.84, %C = 47.07, %H = 4.19 และ %S = 32.38 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณซึ่งได้ ค่า %Cd = 13.39, %Ni = 6.98, %C = 45.74, %H = 3.36 และ %S = 30.53 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนคือ Ni[Cd(C₈H₇S₂)₄] จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า (octahedral) ดังรูป 4.4

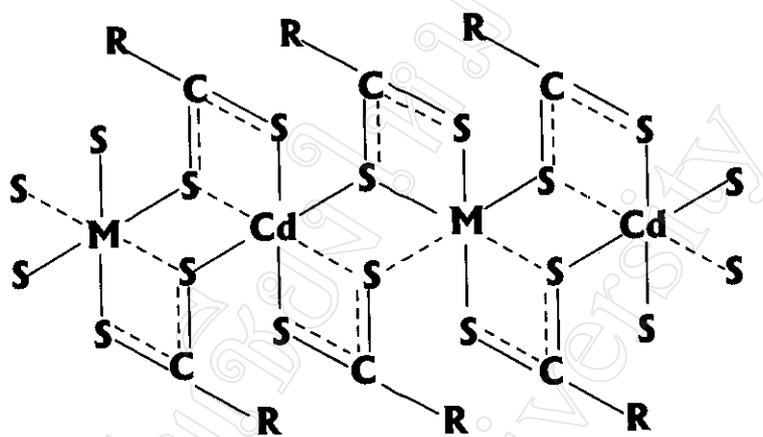
4.5.2 สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก Cu[Cd(tcta)₄]

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก Cu[Cd(tcta)₄] ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 240 - 245 °C สารประกอบมีสีน้ำตาล เปอร์เซ็นต์ yield เท่ากับ 35.46 จากการศึกษานิพราเรดสเปกตรากการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.26 และตาราง 3.11) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (pne -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1220 cm⁻¹, 1012 cm⁻¹ และ 945 cm⁻¹ ตามลำดับ สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก Cu[Cd(tcta)₄] มีเลขออกซิเดชันของ Cu เท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d⁹ อิเล็กตรอนมีการจัดเรียง แบบ high spin ส่วน Cd มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d¹⁰ ซึ่งวัดความเป็นแม่เหล็กได้ 2.15 B.M แสดงสมบัติเป็น paramagnetic สำหรับข้อมูลทางอิเล็กโทรนิคสเปกตร (รูป 3.31 และตาราง 3.12) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{max1} = 207$ nm และ $\lambda_{max2} = 321$ nm ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.13 พบว่ามีค่า %Cd =

14.19, % Ni = 6.78, %C = 44.15, %H = 4.25 และ %S = 31.97 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณซึ่งได้ ค่า %Cd = 13.20, % Ni = 7.52, %C = 45.48, %H = 3.34 และ %S = 30.35 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกคือ $\text{Cu}[\text{Cd}(\text{C}_8\text{H}_7\text{S}_2)_4]$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้า (octahedral) ดังรูป 4.4

4.5.3 สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก $\text{Zn}[\text{Cd}(\text{tcta})_4]$

สมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก $\text{Zn}[\text{Cd}(\text{tcta})_4]$ ที่เตรียมมีค่าของจุดหลอมเหลวเท่ากับ 220 - 224 °C สารประกอบมีสีเหลืองเปอร์เซ็นต์ผลได้เท่ากับ 35.15 จากการศึกษาอินฟราเรดสเปกตรัมการดูดกลืนแสงอินฟราเรดของสารประกอบ (จากรูป 3.27 และตาราง 3.11) พบว่าตำแหน่งแบนด์ของ (phe -C) stretching, (C-S) asymmetric และ (C-S) symmetric stretching มีค่าเท่ากับ 1210 cm^{-1} , 1019 cm^{-1} และ 898 cm^{-1} ตามลำดับ สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก $\text{Zn}[\text{Cd}(\text{tcta})_4]$ มีเลขออกซิเดชันของ Zn เท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d^{10} อิเล็กตรอนมีการจัดเรียง แบบ high spin ส่วน Cd มีเลขออกซิเดชันเท่ากับ 2 มี d อิเล็กตรอนเป็นแบบ d^{10} แสดงสมบัติเป็น diamagnetic สำหรับข้อมูลทางอิลคโตรนิกสเปกตรัม (รูป 3.32 และตาราง 3.12) พบว่าความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{max}) มีความยาวคลื่นสองช่วงคือ $\lambda_{\text{max}1} = 219 \text{ nm}$ และ $\lambda_{\text{max}2} = 317 \text{ nm}$ ตามลำดับ จากการวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ผลที่ได้ดังแสดงไว้ในตาราง 3.13 พบว่ามีค่า %Cd = 13.98, % Ni = 6.56, %C = 46.68, %H = 4.02 และ %S = 32.05 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าคำนวณซึ่งได้ ค่า %Cd = 13.27, % Ni = 7.72, %C = 45.38, %H = 3.33 และ %S = 30.29 ผลที่ได้นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นสูตรของสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก คือ $\text{Zn}[\text{Cd}(\text{C}_8\text{H}_7\text{S}_2)_4]$ จากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกที่เตรียมได้มีโครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ ทรงเหลี่ยมแปดหน้า (octahedral) ดังรูป 4.4



M คือ Ni, Cu และ Zn

tcta = Tolyi - 4 - carbithioic acid

รูป 4.4 โครงสร้างของสารเชิงซ้อนประเภทเฮเทอโรไบเมทัลลิก

4.6 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกที่มีชนิดลิแกนด์เป็น dithioligands ลิแกนด์ dithioligands มีซัลเฟอร์ 2 อะตอม ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมระหว่างโลหะ 2 อะตอม การเตรียมสารเชิงซ้อนแทรนซิชันแถวที่ 1 บางตัวและธาตุหมู่ที่ 12 โดยมี ligands ที่มีชื่อว่า ทอลิล - 4 - คาร์บิไรโออิก แอซิด โดยเตรียมลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิไรโออิก แอซิด ด้วยวิธี Grignard สารตั้งต้นคือ โบรโมโทลูอิน ทำปฏิกิริยากับ โลหะแมกนีเซียม ในอีเทอร์ที่ปราศจากน้ำ มีเกลือไดไอโอดีนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ในระบบที่ปราศจากน้ำ ได้สารประกอบของ Organometallic ของ Organomagnesium (RMgBr) เติมคาร์บอนไดซัลไฟด์ (CS_2) ได้ลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิไรโออิกแอซิด

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เตรียมสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะแทรนซิชันแถวที่ 1 บางตัว และธาตุหมู่ที่ 12 กับลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิไรโออิก แอซิด โดยอะตอมโลหะคือ Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg และ Pb และได้เตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิก ระหว่างโลหะแทรนซิชันของ Cd กับ Ni, Cu และ Zn ตามลำดับ จากผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้ จุดหลอมเหลวที่วัดได้อยู่ในช่วง $100 - 235\text{ C}^{\circ}$ สารประกอบเชิงซ้อนทุกตัวมีค่าของจุดหลอมเหลวต่ำกว่าของสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมโดย Singh¹³ เนื่องมาจากความแตกต่างของลิแกนด์โดยในงานวิจัยนี้เตรียมสารประกอบเชิงซ้อนโดยใช้ลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิไรโออิก แอซิด ส่วนในงานวิจัยของ Singh¹³ เตรียมสารประกอบโดยใช้ลิแกนด์พาราไซดรอกซี ไดไรโอเบนโซ แอซิด (ได้นำเสนอโครงสร้างของลิแกนด์ทั้งสองในบทหน้า) โดยความแข็งแรงของพันธะระหว่างคาร์บอนกับออกซิเจนจะมีความแข็งแรงกว่าของพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน ส่งผลให้สารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้ซึ่งมีพันธะระหว่างคาร์บอนกับคาร์บอน จุดหลอมเหลวต่ำกว่าสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมโดย Singh¹³

จากข้อมูลอินฟราเรดสเปกตรัมและอิเล็กโตรนิคสเปกตรัมของสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมได้สรุปได้ว่าลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิไรโออิก แอซิด มีการโคออร์ดิเนตกับโลหะแทรนซิชัน โดยเกิดพันธะระหว่างซัลเฟอร์กับโลหะแทรนซิชัน มีการโคออร์ดิเนตเป็นแบบ bidentate chelating สูตรโครงสร้างดังรูป 4.2 และ 4.3 ส่วนสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกมีการโคออร์ดิเนตของลิแกนด์กับโลหะแทรนซิชัน โดยซัลเฟอร์อะตอมจะเป็นสะพาน (bridging) เชื่อมระหว่างโลหะแทรนซิชัน จึงเป็นการโคออร์ดิเนตแบบ bidentate bridging สูตรโครงสร้างดังรูป 4.4

เมื่อพิจารณาการวัดความเป็นแม่เหล็กของสารประกอบเชิงซ้อนแสดงสมบัติเป็น paramagnetic คือ $Fe(tcta)_2$, $Cu(tcta)_2$ และ $Cu[Cd(tcta)_4]$ โดยโมเมนต์แมกเนติกมีค่า 1.98, 2.05 และ 2.15 B.M. ตามลำดับ ส่วนสารเชิงซ้อนประกอบอื่นที่เตรียมได้แสดงสมบัติเป็น diamagnetic

จากการศึกษาปริมาณ โลหะและธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับสูตร โมเลกุลของสารที่เตรียมขึ้นได้แต่อย่างไรก็ตามก็ได้ผลที่ได้ไม่ตรงตาม ที่คำนวณมากนักอาจมาจากหลายสาเหตุเช่น ในการทดลองครั้งนี้ไม่สามารถหาตัวทำละลายที่เหมาะสมในการตกผลึกใหม่ได้ จึงทำให้มีสิ่งเจือปนอยู่ ซึ่งอาจจะไปรบกวนการวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะและธาตุที่เป็นประกอบต่าง ๆ ได้

4.7 ข้อเสนอแนะ

1. ในงานวิจัยนี้สามารถเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนโลหะแทรนซิชันแถวที่ 1 บางตัวและแถวที่ 12 กับลิแกนด์ทอลิล - 4 - คาร์บิโธ ไออิก แอซิด ซึ่งยังมีโลหะที่ยังไม่สามารถเตรียมในสภาวะที่ใช้ในการเตรียมดังกล่าวได้คือ V และ Mn แต่ในรายงานของ Singh และคณะ¹³ สามารถเตรียมได้โดยมีลิแกนด์เป็นพาราไฮดรอกซี ไคโร โอบน โชนแอซิด ดังนั้นควรมีการศึกษาและพัฒนาสภาวะในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนที่มี V และ Mn เป็นโลหะแทรนซิชันต่อไป

2. ในส่วนการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกสามารถเตรียมคือ $Ni[Cd(tcta)_4]$, $Cu[Cd(tcta)_4]$ และ $Zn[Cd(tcta)_4]$ โดยสภาวะที่ใช้เตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกสามารถเตรียมได้เฉพาะ Ni, Cu และ Zn เท่านั้น ในส่วนของรายงานของรายละเอียดในข้อเสนอแนะ 1 จากรายงานดังกล่าวสามารถเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกของ $M[Cd(p-Ohtb)_4]$ โดยที่ M คือ V, Fe, Co, Ni และ Zn ดังนั้นควรทำการศึกษาและพัฒนาวิธีการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกของโลหะแทรนซิชันตัวอื่นต่อไป

3. จากในส่วนที่นำเสนอในบทนำ รายงานของ Singh และคณะ¹³ ได้นำสารประกอบเชิงซ้อนเฮเทอโรไบเมทัลลิกที่มีลิแกนด์เป็นลิแกนด์พาราไฮดรอกซี ไคโร โอบน โชนแอซิด นำสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมขึ้นไปใช้เป็นสารต้านเนื้อร้าย (antitumor) ในระดับห้องทดลองในการยับยั้งเชื้อ *murine myelocytoma* ดังนั้นหากนำสารประกอบเชิงซ้อนที่เตรียมในงานวิจัยนี้มาทดลองยับยั้งเนื้อร้ายบางชนิดว่าได้ผลอย่างไร