

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ญ
คำย่อและสัญลักษณ์	ฐ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 สเทอริโอเคมีของไอออนคอปเปอร์(I) และคอปเปอร์(II)	1
1.1.1 สเทอริโอเคมีของไอออนคอปเปอร์(I)	1
1.1.2 สเทอริโอเคมีของไอออนคอปเปอร์(II)	3
1.2 สมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์ของคอปเปอร์(II)	9
1.3 อิเล็กทรอนิกส์ฟิวส์รีเฟลคแตนซ์สเปกตรา (Electronic diffuse reflectance spectra)	12
1.4 ลิแกนด์ 2,2'-ไบพิริดีลามีน	14
1.5 ลิแกนด์โพรพionate (Propionate ligand)	18
1.6 รีออกซิเจนชัน (Reoxygenation)	19
1.7 การสังเคราะห์และโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(II)ในระบบของลิแกนด์ bipyam ที่มีการศึกษามาก่อน	22
1.8 เป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย (Aims and objective)	34
1.9 ขอบเขตของการวิจัย	35
บทที่ 2 การทดลองและผลการทดลอง	36
2.1 อุปกรณ์เครื่องมือและโปรแกรมคอมพิวเตอร์	36
2.2 สารเคมี	37
2.3 การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(I) และสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(II) ที่เป็นผลิตภัณฑ์รีออกซิเจนชัน	38
2.3.1 สังเคราะห์โดยตรงตามสัดส่วนโมล (direct method) ของคอปเปอร์(I)	38

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2 สังเคราะห์โดยวิธีรีดิวซ์ด้วย hydroxylamine hydropropionate	39
2.3.3 สังเคราะห์โดยวิธีรีดิวซ์ด้วยโลหะคอปเปอร์ (Copper metal reduction)	40
2.3.4 การเตรียมสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})(\text{bipyam}^{-1})(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]$	45
2.4 การสังเคราะห์สารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(II) $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{X}$ เมื่อ $\text{X} = \text{Cl}^-$, Br^- , I^- , $[\text{NO}_3]^-$, $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}_2]^-$, $[\text{ClO}_4]^-$, $[\text{BF}_4]$ และ $[\text{PF}_6]^-$ โดยวิธีเตรียมโดยตรงจากสัดส่วนโมล	45
2.4.1 การสังเคราะห์ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{X}$ เมื่อ $\text{X} = \text{Cl}^-$ และ $[\text{NO}_3]^-$	46
2.4.2 การสังเคราะห์ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{X}$ เมื่อ $\text{X} = \text{I}^-$, Br^- , $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}_2]^-$, $[\text{ClO}_4]^-$, $[\text{BF}_4]$ และ $[\text{PF}_6]^-$	47
2.5 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยเทคนิค elemental microanalysis	48
2.6 การหาค่า effective magnetic moment (μ_{eff})	48
2.7 พูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรัม (FTIR Spectra)	50
2.8 อิเล็กทรอนิกส์ฟิวส์รีเฟลกแตนซ์สเปกตรัม (Electronic Diffuse Reflectance Spectra)	61
บทที่ 3 โครงสร้างผลึกและสมบัติทางสเปกโทรสโกปีของสารประกอบ เชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{X}$ เมื่อ $\text{X} = \text{I}^-$ และ $[\text{NO}_3]^-$	66
3.1 การหาโครงสร้างผลึก (Structure determination)	67
3.1.1 สารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{I}(\text{I})$	67
3.1.2 สารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)][\text{NO}_3](\text{II})$	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ผลการทดลองและวิจารณ์	84
3.2.1 โครงสร้างผลึก	84
3.2.2 การเปรียบเทียบโครงสร้างของแคตไอออน[Cu(II) (bipyam) ₂ O ₂ CCH ₂ CH ₃)] ⁺ กับแคตไอออน ที่คล้ายกันของ[Cu(chelate)(OXO)] ⁺	90
3.2.3 พูเรียทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกตรัมของ(I)และ(II)	98
3.2.4 อิเล็กทรอนิกส์ฟิวส์เฟลด์แตนซ์สเปกตรัมของ (I) และ (II)	100
3.2.5 การทำนายสเปกโตรโอเคมีของ[Cu(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)]Y เมื่อ Y = Cl ⁻ , Br ⁻ , [CH ₃ CH ₂ CO ₂] ⁻ , [ClO ₄] ⁻ , [BF ₄] ⁻ และ [PF ₆] ⁻	106
บทที่ 4 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	108
4.1 การสังเคราะห์และวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์	108
4.1.1 สารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(I)และผลิตภัณฑ์ รีดอกซ์อินทรีย์	108
4.1.2 สารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(II) [Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)]X เมื่อ X = Cl ⁻ , Br ⁻ , I ⁻ , [NO ₃] ⁻ , [CH ₃ CH ₂ CO ₂] ⁻ , [ClO ₄] ⁻ , [BF ₄] ⁻ และ [PF ₆] ⁻ โดยวิธี เตรียมโดยตรงจากสัดส่วนโมล	110
4.1.3 การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์	112
4.2 โครงสร้างผลึกของ [Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)]X เมื่อ X = I ⁻ (I) และ NO ₃ ⁻ (II) โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของ รังสีเอกซ์บนผลึกเดี่ยว	113
เอกสารอ้างอิง	116
ภาคผนวก	124
ภาคผนวก ก. พิกัดของอะตอม ความยาวและมุมพันธะและเทอร์มอล พารามิเตอร์ของอะตอมในโมเลกุลของ [Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)]X เมื่อ X = I ⁻ (I) และ [NO ₃] ⁻ (II)	125
ภาคผนวก ข. การหาความหนาแน่นของผลึก	136
ภาคผนวก ค. การคำนวณหาปริมาตรของผลึก (U)	138

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ง. การสังเคราะห์สารตั้งต้น[Cu(II)(bipyam) (O ₂ CCH ₂ CH ₃) ₂].2H ₂ O	139
ภาคผนวก จ. การศึกษาโครงสร้างของผลึกโดยวิธีทางรังสีเอกซ์	140
ประวัติผู้เขียน	144

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1.1	สรุปสเทอริโอเคมีของไอออนคอปเปอร์(II)พร้อมด้วยสมมาตรโมเลกุลและความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างทางเรขาคณิตแบบปกติและแบบบิดเบี้ยว	5
ตารางที่ 1.2	แสดงสภาวะพื้นของสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(II) ที่มีสเทอริโอเคมีแบบต่าง ๆ	11
ตารางที่ 2.1	แสดงปริมาณมวลสารสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์คอปเปอร์(I) และคอปเปอร์(II)โดยเทคนิค elemental microanalysis	49
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลผลึกและการขัดเกลสำหรับสารประกอบเชิงซ้อน[Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](I)	69
ตารางที่ 3.2	สมการของระนาบ least square ของสารประกอบเชิงซ้อน [Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](I)	70
ตารางที่ 3.3	ความยาวพันธะ (Å) และมุมพันธะ (°) ที่สำคัญของสารประกอบเชิงซ้อน[Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](I)	72
ตารางที่ 3.4	ข้อมูลผลึกและการขัดเกลสำหรับสารประกอบเชิงซ้อน[Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](NO ₃)(II)	78
ตารางที่ 3.5	สมการของระนาบ least square ของสารประกอบเชิงซ้อน[Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](NO ₃)(II)	79
ตารางที่ 3.6	ความยาวพันธะ (Å) และมุมพันธะ (°) ที่สำคัญของสารประกอบเชิงซ้อน[Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](NO ₃)(II)	81
ตารางที่ 3.7	ระยะห่างภายในและระหว่างโมเลกุลของลิแกนด์ไพรฟิออนด์กับอะตอมอื่น ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน[Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](I)	88
ตารางที่ 3.8	ระยะห่างภายในโมเลกุล(Å)ระหว่างพันธะที่ยึดออก(N ₅)กับอะตอมอื่น ๆ ของ [Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](I)	88
ตารางที่ 3.9	ระยะห่างภายในและระหว่างโมเลกุลของลิแกนด์ไพรฟิออนด์กับอะตอมอื่น ๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน[Cu(II)(bipyam) ₂ (O ₂ CCH ₂ CH ₃)](NO ₃)(II)	89

สารบัญตาราง(ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 3.10 ระยะห่างภายในโมเลกุลระหว่างพันธะที่ยึดออกN(5)กับอะตอม อื่นๆ ของสารประกอบเชิงซ้อน $[Cu(II)(bipyam)_2(O_2CCH_2CH_3)]$ $[NO_3] (II)$	89
ตารางที่ 3.11 ข้อมูลทางคริสตัลโลกราฟีของฟักัดของแอนไอออน $[O_2CCH_2CH_3]^-$ และ $[O_2CCH_3]^-$	94
ตารางที่ 3.12 โครงสร้างพื้นฐานของโมเลกุลของสารประกอบเชิงซ้อน อนุกรม $[Cu(chelate)_2(OXO)]Y$	95
ตารางที่ 3.13 แสดงอิเล็กตรอนิคเฟลคแดนซ์สเปกตราสำหรับอนุกรม $[Cu(bipyam)_2(OXO)]Y$ เมื่อ $OXO = (ONO)^-$, $(O_2CCH_2CH_3)^-(O_2CCH_3)^-$ และ $(O_2CH)^-$	105
ตารางที่ ผ1 ฟักัดของอะตอมไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2(O_2CCH_2CH_3)]I (I)$	125
ตารางที่ ผ2 ความยาวพันธะไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2(O_2CCH_2CH_3)]I (I)$	126
ตารางที่ ผ3 มุมพันธะไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2(O_2CCH_2CH_3)]I (I)$	127
ตารางที่ ผ4 เทอร์มอลพารามิเตอร์ของอะตอมไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2$ $(O_2CCH_2CH_3)]I (I)$	128
ตารางที่ ผ5 ฟักัดของอะตอมไฮโดรเจนไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2$ $(O_2CCH_2CH_3)]I (I)$	129
ตารางที่ ผ6 ฟักัดของอะตอมไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2(O_2CCH_2CH_3)]$ $[NO_3](II)$	130
ตารางที่ ผ7 ความยาวพันธะไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2(O_2CCH_2CH_3)][NO_3] (II)$	131
ตารางที่ ผ8 มุมพันธะไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2(O_2CCH_2CH_3)][NO_3] (II)$	132
ตารางที่ ผ9 เทอร์มอลพารามิเตอร์ของอะตอมไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2$ $(O_2CCH_2CH_3)][NO_3] (II)$	134
ตารางที่ ผ10 ฟักัดของอะตอมไฮโดรเจนไนโมเลกุล $[Cu(bipyam)_2$ $(O_2CCH_2CH_3)][NO_3] (II)$	135

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 สเทอริโอเคมีของสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(I)	2
รูปที่ 1.2 สเทอริโอเคมีของสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(II)	6
รูปที่ 1.3 แสดงการแยกระดับพลังงานของ d-ออร์บิทัลและสภาวะเปกโทรสโกปี สำหรับไอออนคอปเปอร์ในสนามผลึกแบบ elongated octahedral	9
รูปที่ 1.4 แสดงการแยกระดับพลังงานของ d-ออร์บิทัลของไอออนคอปเปอร์(II) ในสนามผลึกแบบ compressed และ elongated tetragonal octahedral	10
รูปที่ 1.5 แสดงการแยกของระดับพลังงานของ d-ออร์บิทัลของไอออน คอปเปอร์(II)ในสนามผลึกแบบ tetrahedral, cis-distorted octahedral, trigonal octahedral และ trigonal bipyramidal	10
รูปที่ 1.6 แสดงช่วงพลังงานของ d-d แทรนซิชันสำหรับโครโมฟอร์ CuN_x	12
รูปที่ 1.7 แสดงอิเล็กทรอนิครีเฟลคแตนซ์สเปกตร้าของสารประกอบ เชิงซ้อนคอปเปอร์(II)ที่มีสเทอริโอเคมีแบบต่าง ๆ	13
รูปที่ 1.8 แสดงรูปการโคออร์ดิเนตของลิแกนด์ bipyam, bipyam^{-1} และโครงสร้าง ของ bipyam อิสระ	15
รูปที่ 1.9 แสดงความแตกต่างของอินฟราเรดสเปกตร้าในระบบของลิแกนด์ bipyam , bipyam^{-1} และ mixed(bipyam)(bipyam^{-1})	16
รูปที่ 1.10 แสดงรูปการโคออร์ดิเนตของลิแกนด์ไพริไดน	18
รูปที่ 1.11 แสดงสเทอริโอเคมีของผลิตภัณฑ์รีออกซิเจนชันของคอปเปอร์(II)	21
รูปที่ 1.12 โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})_2][\text{ClO}_4]$	22
รูปที่ 1.13 โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})(\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_2)][\text{ClO}_4]$	23
รูปที่ 1.14 โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})(\text{NO}_3)(\text{O}_2\text{CCH}_3)]$	24
รูปที่ 1.15 (ก)โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})_2(\text{C}_2\text{H}_5\text{O}_2)][\text{NO}_3](\text{I})$ (ข) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})_2(\text{O}_2\text{CH})][\text{BF}_4](\text{II})$	25
รูปที่ 1.16 (ก)โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})_2(\text{ONO})]\text{Br}(\text{I})$ (ข) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})_2(\text{ONO})]\text{I}(\text{II})$	26
รูปที่ 1.17 (ก)โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})_2(\text{CO}_3)(\text{OH}_2)] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ข) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu(II)}(\text{dpyam})_2(\text{CO}_3)] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	27
รูปที่ 1.18 โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}(\text{dpyam})(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)(\text{ClO}_4)] \cdot \text{H}_2\text{O}$	28
รูปที่ 1.19 (ก)โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}(\text{dpyam})_2(\text{NO}_3)_2](\text{I})$ (ข) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}(\text{dpyam})_2(\text{CH}_3\text{COO})_2] \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{II})$	29

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 1.20 โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{NCO})(\text{dpyam})_2][\text{SO}_4] \cdot \text{dpyam} \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$	30
รูปที่ 1.21 (ก) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}_2(\text{HBF}_4)(\text{OH})_2(\text{dpyam})_2]$	
(ข) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})(\text{dpyam})_2]\text{Cl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	32
รูปที่ 1.22 (ก) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}_3(\text{bipyam}^{-1})_4\text{X}_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$	
(ข) โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}_3(\text{bipyam}^{-1})_4\text{X}_2] \cdot \text{H}_2\text{O}$ ที่มองผ่านตาม ทิศทางของ Cu_3	33
รูปที่ 2.1 ชุดรีฟลักซ์ในการเตรียมสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์(I)	42
รูปที่ 2.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{I})(\text{bipyam})(\text{bipyam}^{-1})]$	50
รูปที่ 2.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{I})(\text{bipyam}^{-1})]_n$	51
รูปที่ 2.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของผลึกสีน้ำตาล	52
รูปที่ 2.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	53
รูปที่ 2.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})\text{CO}_3] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	54
รูปที่ 2.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]$ $[\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CO}_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	55
รูปที่ 2.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O}$	56
รูปที่ 2.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)\text{Br}$	57
รูปที่ 2.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)[\text{ClO}_4]$	58
รูปที่ 2.11 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)[\text{BF}_4]$	59
รูปที่ 2.12 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)[\text{PF}_6]$	60
รูปที่ 2.13 แสดงอิเล็กตรอนิครีเฟลคแดนซ์สเปกตรัมของ	
(ก) $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
(ข) $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})(\text{CO}_3)] \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	62
รูปที่ 2.14 โครงสร้างที่เป็นไปได้ของสารประกอบเชิงซ้อน	
$[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	
(ก) monomeric off-the-z-axis elongated tetragonal octahedral	
(ข) polymeric elongated rhombic octahedral	63
รูปที่ 2.15 แสดงอิเล็กตรอนิครีเฟลคแดนซ์สเปกตรัมของสารผลึกสีน้ำตาล	
(ก) บันทึกในเวลาประมาณ 1 สัปดาห์หลังจากที่เตรียม	
(ข) บันทึกหลังจาก 1 สัปดาห์ซึ่งสารเปลี่ยนเป็นสีเขียวเกือบสมบูรณ์	64

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.1 รูปแบบการเรียงอะตอมที่ใช้สำหรับโครโมฟอร์ CuN_4OO^* ของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{I}(\text{I})$ และ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{NO}_3\text{I}(\text{II})$	73
รูปที่ 3.2 โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{I}(\text{I})$	74
รูปที่ 3.3 เซลล์หน่วยของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{I}(\text{I})$	75
รูปที่ 3.4 โครงสร้างโมเลกุลของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{NO}_3\text{I}(\text{II})$	82
รูปที่ 3.5 เซลล์หน่วยของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{NO}_3\text{I}(\text{II})$	83
รูปที่ 3.6 Berry Twist Process	86
รูปที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ΔN และ ΔO ของสารประกอบเชิงซ้อนอนุกรม $[\text{Cu chelate}]_2(\text{OXO})\text{IY}$	91
รูปที่ 3.8 Pseudo-Jahn-Teller potential-energy surface ของโครโมฟอร์ CuN_4O_2 : ก (-) equivalent wells (ข) (.....) non equivalent wells	93
รูปที่ 3.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{I}$	98
รูปที่ 3.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของ $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{NO}_3\text{I}$	99
รูปที่ 3.11 แสดงอิเล็กทรอนิกส์เฟลคแดนซ์สเปกตรา ในระบบโพรพอเนตของสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{Y}$	102
รูปที่ 3.12 แสดงอิเล็กทรอนิกส์เฟลคแดนซ์สเปกตราในระบบไนไตรท์ของสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{bipyam})_2(\text{ONO})\text{Y}$	103
รูปที่ 3.13 แสดงอิเล็กทรอนิกส์เฟลคแดนซ์สเปกตราในระบบอะซิเตตของสารประกอบเชิงซ้อน $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_3)]\text{Y}$	103
รูปที่ 3.14 แสดงอิเล็กทรอนิกส์เฟลคแดนซ์สเปกตราในระบบฟอร์มเมตของอนุกรม $[\text{Cu}(\text{II})(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CH})]\text{Y}$	104
รูปที่ 4.1 แสดงเทอร์มอลพารามิเตอร์ของสารประกอบเชิงซ้อน (ก) $[\text{Cu}(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{I}(\text{I})$ (ข) $[\text{Cu}(\text{bipyam})_2(\text{O}_2\text{CCH}_2\text{CH}_3)]\text{NO}_3\text{I}(\text{II})$	115
รูปที่ ผ 1.1 การเกิดรังสีเอ็กซ์ของคอปเปอร์ (Cu)	141
รูปที่ ผ 1.2 การเกิดรังสีเอ็กซ์	141
รูปที่ ผ 1.3 แสดงภาพตัดขวางหลอดรังสีเอ็กซ์	142
รูปที่ ผ 1.4 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ในผลึก	143

คำย่อและสัญลักษณ์

dien	=	diethylenetriamine
en	=	ethylenediamine
bipy	=	2,2'-bipyridyl หรือ di-2-pyridyl
py	=	pyridine
acac	=	acetylacetonate
Me-acac	=	Methylacetylacetonate
diditme	=	N-N-dimethylimidazolidine-2-thione
dpyam	=	di-2-pyridylamine
bipyam	=	2,2'-bipyridylamine
bipyam ⁻¹	=	bipyridylamine-H
dmp	=	2,9-dimethyl-1,10-phenanthroline
nmp	=	n-methyl-2-pyrroli-dinone
OAc	=	acetate