

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้การสนับสนุนการวิจัย และท่านผู้ทรงคุณวุฒิอ่านประเมินผลการวิจัย ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะ ตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ พร้อมกันนี้ คณะผู้วิจัยต้องขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสวนดุสิต ที่ให้การสนับสนุน วัสดุอุปกรณ์ สถานที่ในการทำการวิจัย คณะวิจัยทุกท่าน วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี รวมทั้ง สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน (องค์การมหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการวิจัย

คณะผู้วิจัย

2558

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	3
ขอบเขตการวิจัย	3
คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
อี. โคลไธ	7
สแตฟีโลค็อกคัส ออเรียส	7
Antimicrobial polymer	12
การสังเคราะห์โดยเทคนิค spray pyrolysis	15
เทคนิคการตกตะกอนร่วม	15
เทคนิคโซลิตสเตริแอคชัน	16
สมบัติทั่วไปของซิงค์ออกไซด์ ZnO	16
คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)	18
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	29

สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	29
สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคสเปรย์ไฟโรไลซิส	30
สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วม	31
สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิคโซลิดสเตทรีแอคชัน	33
บทที่ 4 ผลการวิจัย	37
การเตรียมวัสดุของผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	37
ลักษณะของตะกอนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วม	37
ลักษณะของตะกอนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการเกิดปฏิกิริยาที่สถานะของแข็ง	39
การวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคของวัสดุของผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	40
ผลการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วม	41
เปรียบเทียบผลของตัวทำละลายในการสังเคราะห์ของผสมซิงค์ออกไซด์และคอปเปอร์ออกไซด์	51
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี	65
ผลการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลิดสเตทรีแอคชัน	66
ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสารตัวอย่างด้วยเทคนิคการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์	67
ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการกระเจิงแบบรามาน	68
ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการแปลงฟูเรียร์ของการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด	70
การพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุของผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	74
ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนกลืนรังสีเอ็กซ์	75
ผลการพิสูจน์เอกลักษณ์ของวัสดุของผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์	79
สมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดของวัสดุของผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	94

ช

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	101
สรุปผลการวิจัย	101
อภิปรายผล	101
ข้อเสนอแนะ	102
บรรณานุกรม	105
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	105
ภาคผนวก	123
ภาคผนวก ก	125
ภาคผนวก ข	149
ภาคผนวก ค	157
ภาคผนวก ง	171
ภาคผนวก จ	179
ภาคผนวก ฉ	185
ภาคผนวก ช	191
ประวัติผู้วิจัย	205

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ภาพถ่ายแสดงเทียบสเกล 50 นาโนเมตร และ 0.5 ไมโครเมตร	41
4.2 ภาพถ่ายที่กำลังขยายสูงสุด แสดงผลของชนิดไอออนของเกลือ	43
4.3 ผลของชนิดไอออนของเกลือที่สัดส่วนซิงค์และคอปเปอร์ตั้งต้น	44
4.4 ภาพถ่าย แสดงผลของชนิดไอออนของเกลือ	47
4.5 ภาพถ่ายแสดงผลของความเข้มข้นของเอทานอลในตัวทำละลาย	52
4.6 ผลของความเข้มข้นของเอทานอลในตัวทำละลาย	53
4.7 ภาพถ่ายที่กำลังขยายสูงสุด แสดงเปรียบเทียบผลของสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของซิงค์และคอปเปอร์ตั้งต้น	56
4.8 แสดงภาพรวมของอนุภาคเปรียบเทียบผลของสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของซิงค์และคอปเปอร์ตั้งต้น	57
4.9 แสดงภาพถ่ายผลการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลิตเสตทรีแอคชันที่เงื่อนไขต่างๆ	66
4.10 ภาพถ่ายแสดงเปรียบเทียบผลร้สมการยับยั้งเชื้อตามรูปร่างอนุภาค	96
4.11 ผลร้สมการยับยั้งเชื้อของอนุภาคที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเทคนิคโซลิตเสตท	98
4.12 เรียงลำดับของ clear zone ของเชื้อ <i>E. coli</i> จากมากไปน้อย	99
4.13 เรียงลำดับของ clear zone ของเชื้อ <i>S. aureus</i> จากมากไปน้อย	99

10.14457/SDU.res.2014.65
เมื่อ 20/08/2565 10:01:55

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 ส่วนแบ่งมูลค่าในตลาดโลกของพอลิเมอร์ในอุตสาหกรรมต่างๆ	2
2.1 ภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน และแสดงผังโครงสร้างของเชื้อ <i>E. coli</i>	8
2.2 ภาพถ่ายเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส	8
2.3 ฟิล์มยืดห่อหุ้มอาหาร	11
2.4 Polyethene หรือ Poly(methylene)	12
2.5 โครงสร้างผลึกทั้งสามแบบของซิงค์ออกไซด์	17
2.6 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกซิงค์ออกไซด์แบบ wurtzite hexagonal	17
2.7 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ face-centered cubic (fcc) และรูปของทองแดง	19
2.8 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของ monoclinic CuO unit cell	19
2.9 แสดงกลไกการทำลายเชื้อโดยกลไกการสัมผัสที่ผิวและทำลายผนังเซลล์	21
3.1 แผนผังแสดงระบบรีแอกเตอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์	31
3.2 ลักษณะของสารละลายเกลือซิงค์และสังกะสีตั้งต้น	32
3.3 แสดงตัวอย่างลักษณะสีของสารละลายขณะผสม	32
3.4 แสดงตัวอย่างลักษณะสีของสารละลาย	32
3.5 แสดงตัวอย่างลักษณะสีของสารของผสมที่สังเคราะห์ได้ที่ทำการล้างด้วยน้ำกลั่น	33
3.6 แสดงตัวอย่างลักษณะของสารของผสมที่สังเคราะห์ได้หลังจากอบ	33
3.7 แสดงตัวอย่างลักษณะสีของสารของผสมที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขต่างๆ	34
3.8 แสดงตัวอย่างลักษณะของตะกอนของผสมที่สังเคราะห์ได้	34
4.1 แสดงตัวอย่างตะกอนของสารของผสมตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขต่างๆ	38
4.2 ตัวอย่างตะกอนของสารของผสมตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขต่างๆ	38
4.3 ตัวอย่างตะกอนของสารของผสมตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขต่างๆ	39
4.4 ตัวอย่างตะกอนของสารของผสมตัวอย่างที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขต่างๆ	40
4.5 ลักษณะผลึกของซิงค์ออกไซด์แบบมีรูกลวง ไกล์เคียง ZnO nanotubes	42
4.6 เติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบ	45
4.7 แสดงลักษณะของ Hexagonal Bipods เปรียบเทียบกับที่ Marko Bitenc สังเคราะห์ได้	45
4.8 เติมเกลือโซเดียมอะซิเตท และลักษณะ hexagonal disks	45
4.9 ลักษณะรูปร่างแบบ hexagonal disk ที่มีลักษณะพื้นที่ผิวอนุภาคไม่เรียบ	46

ภาพที่	หน้า
4.10 แสดงผลของการเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์ในระบบ	46
4.11 แสดงลักษณะ hexagonal prism ที่ได้ ซึ่งมีลักษณะของหน้าตัด (111)	48
4.12 แสดงกลไกการโตของผลึกในระนาบต่างๆที่ไม่เท่ากัน	49
4.13 ตัวอย่างภาพถ่าย SEM ของอนุภาค ZnO, Zn(Cu)O, T-Zn(Cu)O และ T-Zn(Cu)O/Ag	49
4.14 แสดงกลไกการควบคุมการโตของผลึกในระนาบต่างๆ ด้วยแอนไอออน	50
4.15 กลไกการโตของลักษณะผลึกของ twinned Zn(Cu)O crystals และ tubular structure	51
4.16 แสดงลักษณะของซิงค์ออกไซด์ hexagonal disk และกลไกการเกิดอนุภาค	54
4.17 ไดอะแกรมแสดงลักษณะของอนุภาคผลึกซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะต่างๆ	54
4.18 เสนอกลไกการเกิดคอปเปอร์ออกไซด์ hierarchical dandelion-like ในงานวิจัยนี้	59
4.19 แสดงลักษณะของกลุ่มอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ที่เงื่อนไขแตกต่างกัน	60
4.20 แสดงภาพถ่าย SEM ของ CuO ที่ได้จากการบ่ม	61
4.21 แสดงแผนภาพกลไกการเกิดอนุภาคที่มีลักษณะโครงสร้างแบบ Hierarchical และโครงสร้างแบบ Pores	61
4.22 แสดงลักษณะอนุภาค CuO ที่มีโครงสร้างลักษณะ straw sheaves	62
4.23 ไดอะแกรมแสดงกลไกการเกิดอนุภาคของ Zailei Zhang และคณะ	62
4.24 กลไกที่เป็นไปได้ในการเกิดอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ของ Zhiqiang Zhang และคณะ	63
4.25 แสดงแผนผังกลไกในการเกิดอนุภาค CuO แบบ hollow sphere	63
4.26 เปรียบเทียบภาพถ่ายความละเอียดต่ำและความละเอียดสูงของอนุภาค CuO dandelion	64
4.27 กราฟรูปแบบการกระเจิงแบบรามานของสารประกอบอะซีเตตที่เตรียมได้	68
4.28 กราฟขยายรูปแบบการกระเจิงแบบรามานโหมดสัญญาณของอะซีเตต	69
4.29 กราฟแสดงสัญญาณการแปลงฟูเรียร์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของสารตั้งต้น	70
4.30 กราฟแสดงสัญญาณการแปลงฟูเรียร์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของสารตั้งต้น	71
4.31 กราฟแสดงสัญญาณการแปลงฟูเรียร์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของสารตั้งต้น	72
4.32 แสดงโครงสร้างมาตรฐานของซิงค์อะซีเตตโคออดิเนชันชนิด unidentate	73
4.33 แสดงโครงสร้างมาตรฐานของซิงค์อะซีเตตโคออดิเนชันแบบ bridging	73
4.34 แสดงโครงสร้างมาตรฐานของ copper(II) acetate (a) และ Hoganite (b)	73
4.35 กราฟแสดงสัญญาณการแปลงฟูเรียร์การดูดกลืนรังสีเอกซ์ของสารตั้งต้น	74
4.36 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุของผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วม	75

ภาพที่	หน้า
4.37 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุของผสมนาโนซิงค์ออกไซด์และนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการเกิดปฏิกิริยาที่สถานะของแข็ง	76
4.38 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกซิงค์ออกไซด์แบบ zincite และคอปเปอร์ออกไซด์	77
4.39 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้	77
4.40 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้	78
4.41 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้	78
4.42 กราฟแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้	79
4.43 สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอกซ์ช่วงใกล้ขอบการดูดกลืนพลังงานขอบ (XANES) K ของซิงค์ (Zn K-edge)	80
4.44 ขยายสเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอกซ์ช่วงใกล้ขอบการดูดกลืนพลังงานขอบ (XANES) K จาก 9656 ถึง 9675 eV ของซิงค์	80
4.45 กราฟสเปกตรัมของ Zn K edge XAS ที่ผ่านการทำ Normalization แล้ว	81
4.46 กราฟการแปลง first order derivative สเปกตรัมการดูดกลืนของ Zn K edge	82
4.47 กราฟแสดงสเปกตรัมของสัญญาณ EXAFS ของอะตอมซิงค์ในสารตัวอย่าง	82
4.48 แสดงกราฟของสัญญาณ EXAFS ของอะตอมซิงค์ในซิงค์ออกไซด์มาตรฐาน	83
4.49 แสดงกราฟของสัญญาณ EXAFS Zn K-edge เปรียบเทียบผลของคอปเปอร์	83
4.50 EXAFS Zn K-edge เปรียบเทียบผลของการแคลไซน์	84
4.51 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์สัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์ EXAFS ของอะตอมซิงค์	84
4.52 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์สัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์ EXAFS ของอะตอมซิงค์ในซิงค์ออกไซด์มาตรฐาน	85
4.53 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์สัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์ EXAFS ของอะตอมซิงค์	85
4.54 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์สัญญาณ EXAFS ของอะตอมซิงค์ในสารตัวอย่าง	86
4.55 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์สัญญาณ EXAFS ของอะตอมซิงค์ในสารตัวอย่าง	87
4.56 แสดงลักษณะโครงสร้างมาตรฐานของผลึกซิงค์ออกไซด์แบบ zincite และระยะระหว่างอะตอมกลางซิงค์กับอะตอมใกล้เคียง	88
4.57 กราฟสเปกตรัมของ Cu K-edge XAS ที่ผ่านการทำ Normalization	89
4.58 แสดงผลภาพแสดงการจัดเรียงระดับพลังงานของคอปเปอร์ออกไซด์โคเวเลนต์	89
4.59 กราฟสเปกตรัมของ Cu K edge XAS ที่ผ่านการทำ Normalization	90
4.60 กราฟการแปลง first order derivative สเปกตรัมการดูดกลืนของ Cu K-edge	91

ภาพที่	หน้า
4.61 กราฟ Cu K-edge EXAFS ของสัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์ในปริภูมิ k space	91
4.62 กราฟ Cu K-edge EXAFS ของสัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์ในปริภูมิ k space	92
4.63 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์สัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์ Cu K-edge EXAFS	92
4.64 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์สัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์ EXAFS ของอะตอมคอปเปอร์	93
4.65 แสดงขนาดของ clear zone ตามลักษณะรูปร่างของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์	94
4.66 แสดงเปรียบเทียบผลของสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของซิงค์และคอปเปอร์ตั้งต้นและขนาดของ clear zone	95
4.67 แสดงเปรียบเทียบผลของสัดส่วนเปอร์เซ็นต์ของซิงค์และคอปเปอร์ตั้งต้นและขนาดของ clear zone	95
4.68 แสดงขนาดของ clear zone ตามลักษณะอนุภาคของซิงค์ออกไซด์	95
5.1 แสดงตัวอย่างกลไกการออกฤทธิ์ยับยั้งเชื้อโดยการเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง	104
ก.1 แสดงลักษณะโดยรวมทั้งหมดที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นเท่า	126
ก.2 แสดงลักษณะของอนุภาคอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นเท่า	126
ก.3 แสดงลักษณะของอนุภาคอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นเท่า	127
ก.4 ขยายพื้นผิวของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่กำลังขยายห้าหมื่นเท่า	127
ก.5 ขยายพื้นผิวของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่กำลังขยายห้าหมื่นเท่า	128
ก.6 ขยายพื้นผิวของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่กำลังขยายหนึ่งแสนเท่า	129
ก.7 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	130
ก.8 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	130
ก.9 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	131
ก.10 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	131
ก.11 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	132
ก.12 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	132
ก.13 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	133
ก.14 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	133
ก.15 แสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์ และสเปกตรัมที่ทำการตรวจวัดได้	134
ก.16 แสดงรายละเอียดลักษณะของอนุภาคที่สังเคราะห์ได้ที่กำลังขยายหนึ่งแสนเท่า	135
ก.17 ที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	136
ก.18 ที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	137

ภาพที่	หน้า
ก.19 ที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	138
ก.20 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	139
ก.21 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	140
ก.22 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	141
ก.23 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	142
ก.24 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	143
ก.25 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	144
ก.26 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งหมื่นและหนึ่งแสนเท่า	145
ก.27 ภาพถ่ายที่กำลังขยายหนึ่งแสนเท่า	146
ก.28 ภาพถ่ายแสดงบริเวณที่ทำการตรวจวัดการเรืองแสงรังสีเอ็กซ์	146
ก.29 ซิงค์ออกไซด์เกรดการค้า(ก) เกรดความบริสุทธิ์สูงไมโครโนซ์(ข) และเกรดนาโนไซส์(ค)	147
ข.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของของผสมที่สังเคราะห์ด้วยเทคนิคการตกตะกอนร่วม	150
ข.2 แสดงค่า d-spacing	151
ข.3 แสดงค่า d-spacing ของสารตัวอย่าง	152
ข.4 แสดงค่า d-spacing ของสารตัวอย่าง	153
ข.5 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เทียบกับรูปแบบมาตรฐาน	153
ข.6 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เทียบกับรูปแบบมาตรฐาน	154
ข.7 แสดงค่า d-spacing ของสารตัวอย่างที่มุม 2θ ระหว่าง 30° ถึง 35°	154
ข.8 แสดงระนาบผลึกของสารตัวอย่างที่มุม 2θ ระหว่าง 30° ถึง 35°	155
ข.9 แสดงค่า d-spacing และระนาบของสารตัวอย่าง	155
ค.1 แสดงกราฟ XAS Zn K-edge spectra ที่ทำการนอมนัลไลซ์แล้ว	158
ค.2 กราฟเปรียบเทียบ จากการแปลงฟูเรียร์ Zn K-edge EXAFS	158
ค.3 กราฟเปรียบเทียบ จากการแปลงฟูเรียร์ Zn K-edge EXAFS ของสารตัวอย่าง	159
ค.4 กราฟเปรียบเทียบ จากการแปลงฟูเรียร์ Zn K-edge EXAFS ของสารตัวอย่าง	159
ค.5 กราฟแสดงการแปลงฟูเรียร์ของสัญญาณการดูดกลืนรังสีเอกซ์	160
ค.6 แสดงกราฟ Cu K-edge XAS ของตัวอย่างและสารมาตรฐาน	161
ค.7 กราฟ Cu K-edge XAS ของตัวอย่างและสารมาตรฐานที่ทำการนอมนัลไลซ์แล้ว	161
ค.8 แสดงกราฟ normalized XAS และนำมาสร้างกราฟ EXAFS และกราฟ EXAFS	162

ภาพที่	หน้า
ค.9 แสดงกราฟ normalized XAS ที่ทำการปรับค่าเบลคกราวแล้ว	163
ค.10 แสดงกราฟ normalized XAS ที่ทำการปรับค่าเบลคกราวแล้ว	164
ค.11 แสดงกราฟ normalized XAS ที่ทำการปรับค่าเบลคกราวแล้ว	165
ค.12 แสดงกราฟ normalized XAS ที่ทำการปรับค่าเบลคกราวแล้ว	166
ค.13 แสดงกราฟ normalized XAS ที่ทำการปรับค่าเบลคกราวแล้ว	167
ค.14 แสดงกราฟ normalized XAS ที่ทำการปรับค่าเบลคกราวแล้ว	168
ค.15 แสดงลักษณะโครงสร้างมาตรฐานของผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ และระยะระหว่างอะตอม	170
ง.1 ผลการศึกษา clear zone ของคอปเปอร์ออกไซด์เกรดการค้า	172
ง.2 ผลการศึกษา clear zone ของซิงออกไซด์เกรดการค้า	172
ง.3 ผลการศึกษา clear zone ของซิงออกไซด์เกรดไมโครโนซ์ความบริสุทธิ์สูง	173
ง.4 ผลการศึกษา clear zone ของซิงออกไซด์เกรดนาโนเมตร nanoZnO	173
ง.5 ผลการศึกษา clear zone ของซิงออกไซด์ที่สังเคราะห์โดยไม่ได้เจือคอปเปอร์	174
ง.6 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	174
ง.7 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	174
ง.8 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	175
ง.9 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	175
ง.10 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	175
ง.11 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	176
ง.12 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	177
ง.13 ผลการศึกษา clear zone ของวัสดุของผสมซิงออกไซด์คอปเปอร์ออกไซด์	178
จ.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน	181
จ.2 แสดงลักษณะภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิสชัน	182
จ.3 ส่วนประกอบและการทำงานโดยทั่วไปของเครื่อง SEM	183
ฉ.1 ตัวอย่างการจัดโครงสร้างของผลึกแบบต่างๆ	186
ฉ.2 Bragg 's Law	187
ฉ.3 ส่วนประกอบโดยทั่วไปของหลอดรังสีเอ็กซ์	188
ฉ.4 แสดงไออะแกรมของเครื่อง XRD	189
ฉ.5 แสดงส่วนประกอบภายในของเครื่อง XRD ที่ใช้	189

ภาพที่	หน้า
ฉ.6 แสดงเครื่อง XRD ที่ใช้	190
ช.1 แสดงภาพเครื่องเร่งอนุภาคทางตรง (LINAC) และบυσเตอร์ซินโครตรอน (SYN)	193
ช.2 ในวงกักเก็บอิเล็กตรอนของเครื่องกำเนิดแสงสยาม มีแม่เหล็กบังคับลำเลี้ยว	194
ช.3 เปรียบเทียบความยาวคลื่นชนิดต่างๆ เครื่องกำเนิดแสงซินโครตรอน	194
ช.4 ตัวอย่างระบบการคัดเลือกแสง	196
ช.5 ผลึก (crystal) ใช้สำหรับการคัดเลือกพลังงานแสงในย่านรังสีเอกซ์	196
ช.6 Double crystal monochromator	197
ช.7 ตารางธาตุแสดง absorption edge ที่สามารถวัดได้ที่ BL8	198
ช.8 แสดงโครงสร้าง XANES และ EXAFS	200
ช.9 รูปแบบการทดลองสามชนิดของเทคนิคการทดลองการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์	200
ช.10 สเปกตรัมการดูดกลืนรังสีเอ็กซ์ของสารเคลือบเงาบนภาชนะลงเงา	201
ช.11 สเปกตรัม XANES ของลูกปิดเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน	202