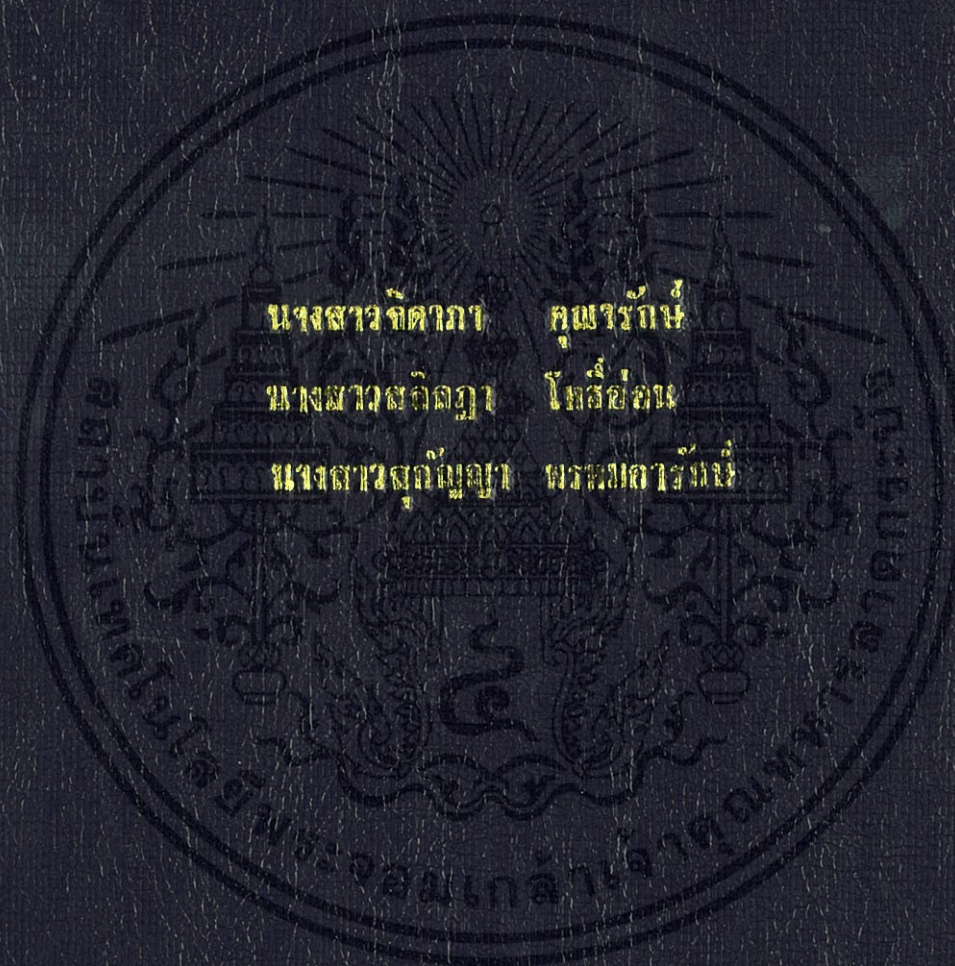


การสังเคราะห์อนุภาคนิวเคลียสประกอบด้วยโคโตน-ออกไซด์คอมโพสิท
ด้วยวิธีโคโคพรีซิเทชัน

SYNTHESIS OF CHITOSAN-COPPER OXIDE
COMPOSITE PARTICLES



นางสาวจิตภา คุ้มรัตน์
นางสาวสกลฎา ไกรชัยอน
นางสาวสุกัญญา พรหมสารรัตน์

โครงการพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาด้านเคมีวัสดุวิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์
ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

**SYNTHESIS OF CHITOSAN-COPPER OXIDE
COMPOSITE PARTICLES**



นางสาวจิตภา คุณารักษ์
นางสาวสลิฎา โพธิ์อ่อน
นางสาวสุกัญญา พรหมอารักษ์

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2556
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**SYNTHESIS OF CHITOSAN-COPPER OXIDE
COMPOSITE PARTICLES**

MISS JIDAPA KUNARAK

MISS SALINTA PHOAON

MISS SUKANYA PROMARAK

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
IN INDUSTIAL CHEMISTRY**

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในหอสมุดที่ออกให้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์
ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

Synthesis of chitosan-copper oxide composite particles

ชื่อนักศึกษา นางสาวจิตภา कुमारักษ์ รหัส 53050190

นางสาวสลิฎา โพธิ์อ่อน รหัส 53050367




นางสาวสุกัญญา พรหมอารักษ์ รหัส 53050374

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ปยุตมา ศิริพันธ์โนน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาเคมี
อุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุพห์	
ดร.ปานไพลิน สีหาราช	
ผศ.ดร.ปยุตมา ศิริพันธ์โนน	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้เผยแพร่เอกสารนี้ไปยังบุคคลอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล	
นักศึกษา	นางสาวจิตาภา คุณารักษ์	รหัส 53050190
	นางสาวสลิลญา โพธิ์อ่อน	รหัส 53050367
	นางสาวสุกัญญา พรหมอารักษ์	รหัส 53050374
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต	
สาขาวิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศศ.ดร.ปยุตธมา ศิริพันธ์โนน	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสังเคราะห์วัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ ด้วยวิธีการคูดซับและวิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว ในวิธีการคูดซับทำการเชื่อมโยงสารละลายไคโตซานด้วยโซเดียมไตรฟอสเฟต (STPP) เข้มข้น 0.5 % โดยน้ำหนัก แล้วนำไปคูดซับคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 0.01 และ 0.001 โมล/ลิตร พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟต ส่งผลให้ปริมาณคอปเปอร์ไอออนในวัสดุประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการคูดซับทั้งทางเคมีและทางกายภาพในโครงสร้างร่างแหไคโตซาน ในขณะที่วิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียวทำโดยการนำสารละลายไคโตซานผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 0.1 0.01 และ 0.001 โมล/ลิตร แล้วจึงนำมาทำการเชื่อมโยงด้วย STPP เข้มข้น 0.5 0.7 และ 0.9 % โดยน้ำหนัก พบว่าเมื่อความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนเพิ่มขึ้น ส่งผลทำให้การเชื่อมโยงสายโซ่ไคโตซานมีค่าลดลง และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ STPP ส่งผลให้เกิดการเชื่อมโยงของสายโซ่ไคโตซานเพิ่มมากขึ้น จากนั้นนำวัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เตรียมได้จากทั้ง 2 วิธี ไปปลูกผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) โดยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส 2 ชนิด ได้แก่ NaOH และ NH₄OH ความเข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าวัสดุประกอบที่เตรียมได้จากระบบที่ใช้ NaOH มีปริมาณผลึก CuO เกิดขึ้นในปริมาณมากกว่าในระบบที่ใช้ NH₄OH วัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ทั้ง 2 วิธี แสดงสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ตามมาตรฐาน JIS L 1902: 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ ไคโตซาน, คอปเปอร์ออกไซด์, ไฮโดรเทอร์มอล

Title	Synthesis of chitosan-copper oxide composite particles
Students	Miss Jidapa Kunarak Miss Salinta Phoaon Miss Sukanya Promarak
Degree	Bachelor of Science
Major Program	Industry chemical
Academic Year	2013
Advisor	Asst.Prof.Dr.Punnama Siriphannon

ABSTRACT

This research studied on synthesis of chitosan-copper oxide composite by absorption and one-step methods. In the absorption method, the chitosan solution was ionically crosslinked by 0.5 %w/w sodium tripolyphosphate (STPP) and then absorbed the copper sulfate (CuSO_4) with the initial concentration of 0.001, 0.01 and 0.1 mol/L. It was found that an increase of CuSO_4 concentration would increase the copper ions absorbed in the composites due to both chemical and physical absorptions. In the one-step method, the chitosan solution was mixed with CuSO_4 having initial concentration of 0.001, 0.01 and 0.1 mol/L, then ionically crosslinked by 0.5, 0.7 and 0.9 %w/w STPP solution. It was found that the increase of CuSO_4 concentration would reduce the degree of chitosan crosslinking, the increase of STPP concentration could increase the degree of chitosan crosslinking. The chitosan-copper ion composites were treated in hydrothermal synthesis in order to grow the copper oxide (CuO) crystals using 2 basic solutions, *i.e.* NaOH and NH_4OH . The concentrations of basic solutions was 0.5 mol/L, and the reaction temperature was maintained at 100°C for 24 hr. It was found that the composites in the NaOH system could induce higher amount of CuO crystals than those in the NH_4OH . The chitosan-copper oxide composites prepared from both methods showed the anti-bacterial activities for *S. aureus* and *E. coli* according to JIS L 1902: 1998.

Keywords : Chitosan, Copper oxide, Hydrothermal method

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ คำปรึกษาและความเอาใจใส่ของอาจารย์ที่ปรึกษา ศศ.ดร.ปยุตต์มา สิริพันธ์ โนน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ศศ.ดร. ชลลดา ฤตวิรุพห์ และ ดร.ปานไพลิน สี่หาราช ที่กรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และกรุณาช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และให้คำปรึกษา

ขอขอบพระคุณนักวิทยาศาสตร์ เจ้าหน้าที่ภาควิชาเคมีและศูนย์เครื่องมือคณะวิทยาศาสตร์ทุกท่านที่เอื้อเฟื้อความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์และสารเคมี ตลอดจนเครื่องมือต่าง ๆ

ขอขอบคุณพี่ ๆ และเพื่อน ๆ สำหรับกำลังใจ ความห่วงใย ความปรารถนาดีและทุก ๆ ความช่วยเหลือในขณะทำงานวิจัย ทำให้งานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

คณะผู้จัดทำ

นางสาวจิตภา คุณารักษ์

นางสาวสลิลญา โพธิ์อ่อน

นางสาวสุกัญญา พรหมอารักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 ไคโตซาน	4
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน	4
2.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน	5
2.1.3 การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์	7
2.2 คอปเปอร์ออกไซด์	9
2.2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์	9
2.2.2 โครงสร้างผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับศึกษาเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.2.3 อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	10
2.2.4 การสังเคราะห์อนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล	14
2.2.5 การประยุกต์ใช้คอปเปอร์ออกไซด์	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	21
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง	21
3.3 วิธีการทดลอง	22
3.3.1 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบ ไคโตซาน – คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการคูดซ์	22
3.3.2 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบ ไคโตซาน – คอปเปอร์ออกไซด์แบบชั้นตอนเดียว	25
3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์	28
3.4.1 เอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ (X-ray Diffractometer, XRD)	28
3.4.2 เอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์สเปกโตรเมตรี (X-ray fluorescence spectrometry, XRF)	28
3.4.3 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Clorimeters, DSC)	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)	28
3.5 การทดสอบการบวมตัวของอนุภาคโคโคซาน	28
3.6 การทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย	29
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปราย	30
4.1 การศึกษาผลการเชื่อมโยงโคโคซานด้วยสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต	30
4.2 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ ด้วยวิธีการดูดซับ	33
4.2.1 องค์ประกอบทางเคมี	33
4.2.2 ภูมิภาคผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ในโครงสร้างร่างแห CTS-STPP0.5	35
4.2.3 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	40
4.3 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน – คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการ สังเคราะห์แบบขั้นตอนเดียว	41
4.3.1 องค์ประกอบทางเคมี	41
4.3.2 ภูมิภาคผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ในโครงสร้างร่างแหโคโคซาน	44
4.3.3 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	54
เอกสารนี้เป็นบทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านก 55 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้	
5.1 สรุปผลการวิจัย	55

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	57
ภาคผนวก ก การคำนวณหา % การบวมตัว	60
ภาคผนวก ข ผล DSC ของโคโตะซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP	62
ภาคผนวก ค ผลดูดซับคอปเปอร์ซัลเฟตด้วยเทคนิค XRF	64
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย	67
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ XRD ของสารตั้งต้นเมื่อเทียบกับ PDF	70

โดยนำมาเทียบกับกราฟในฐานข้อมูล PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์	9
ตารางที่ 3.1 สภาวะในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลของสารประกอบโคโคซาน- คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการคูดซับ	23
ตารางที่ 3.2 สภาวะในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลของสารประกอบโคโคซาน- คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบขั้นตอนเดียว	26
ตารางที่ 4.1 ค่าพื้นที่ได้กราฟของโคโคซานและโคโคซาน-คอปเปอร์ที่เชื่อมโยงด้วย สารละลายSTTP จากเทอร์โมแกรม DSC และเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของ โคโคซานในน้ำกลั่น	30
ตารางที่ 4.2 ปริมาณการคูดซับคอปเปอร์ไอออนสารประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออน ด้วยวิธีการคูดซับ	33
ตารางที่ 4.3 ซึ่อสารตัวอย่างที่ได้จากการปลูกผลึกในระบบไฮโดรเทอร์มอล	42
ตารางที่ 4.4 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบ โคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการคูดซับ ตามมาตรฐาน L 1902: 1998	42
ตารางที่ 4.5 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ในวัสดุประกอบที่สังเคราะห์แบบขั้นตอนเดียว ที่ใช้ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้น 0.001 โมล/ลิตร	42
ตารางที่ 4.6 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ในวัสดุประกอบที่สังเคราะห์แบบขั้นตอนเดียว ที่ใช้ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้น 0.01 โมล/ลิตร	42
ตารางที่ 4.7 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ในวัสดุประกอบที่สังเคราะห์แบบขั้นตอนเดียว ที่ใช้ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้น 0.1 โมล/ลิตร	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8 ชื่อสารตัวอย่างที่ได้จากการปลูกผลึกในระบบไฮโดรเทอร์มอล	44
ตารางที่ 4.9 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของสารประกอบ ไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ชั้นตอนเดียว ตามมาตรฐาน L 1902: 1998	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) ไลโคตินและ (ข) ไลโคโทซาน	5
รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของ CuO แบบโมโนคลินิก	10
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสี่เหลี่ยมแบนราบของ CuO	10
รูปที่ 2.4 ภาพ SEM ของผงนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	11
รูปที่ 2.5 ภาพ SEM ของเส้นเข็มขนาดนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	12
รูปที่ 2.6 ภาพ SEM ของแท่งนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	12
รูปที่ 2.7 ภาพ SEM ของเส้นใยนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	13
รูปที่ 2.8 ภาพ SEM ของแผ่นนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	13
รูปที่ 2.9 ภาพ HRTEM ของกระสวยนาโนคอปเปอร์ออกไซด์	14
รูปที่ 2.10 ลักษณะของหมอนิ่งอัดไอ	15
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์	24
รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงสภาวะในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบ โคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์	27
รูปที่ 4.1 ปฏิกริยาการแตกตัวของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในน้ำ, ปฏิกริยา Deprotonation และปฏิกริยาการเชื่อมโยง	32
รูปที่ 4.2 ปฏิกริยาการรวมตัวกันระหว่างโคโคซานและคอปเปอร์ไอออน	32
รูปที่ 4.3 การดูดซับเชิงประจักษ์ระหว่างคอปเปอร์ไอออนกับ โครงสร้างร่างแหโคโคซาน	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ที่เชื่อมโยง ด้วย STPP
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.4	แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5 ที่ดูดซับ คอปเปอร์ซัลเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.001 โมล/ลิตร (b) 0.01 โมล/ลิตร และ (c) 0.1 โมล/ลิตร ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	36
รูปที่ 4.5	แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5 ที่ดูดซับ คอปเปอร์ซัลเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.001 โมล/ลิตร (b) 0.01 โมล/ลิตร และ (c) 0.1 โมล/ลิตร ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	38
รูปที่ 4.6	แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.001 เชื่อมโยงด้วย สารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	46
รูปที่ 4.7	แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.01 เชื่อมโยงด้วย สารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.1 เชื่อมโยงด้วย สารละลายโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	48
รูปที่ 4.9 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.001 เชื่อมโยงด้วย สารละลายโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	50
รูปที่ 4.10 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.01 เชื่อมโยงด้วย สารละลายโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	51
รูปที่ 4.11 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.001 เชื่อมโยงด้วย สารละลายโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

ในสภาพชีวิตความเป็นอยู่ที่เร่งรีบและแออัด อันเนื่องมาจากผลข้างเคียงของการเติบโตของสังคมและจำนวนประชากรที่เพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้สภาพอากาศมีมลภาวะสูงขึ้นในปัจจุบัน เช่น ควันเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ไอเสียจากยานยนต์ ฝุ่นละอองหรือมลพิษทางอากาศอื่นๆ อีกทั้งผู้คนส่วนใหญ่ใช้ชีวิตประจำวันทั้งในระหว่างทำงานและที่บ้าน ในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศ เพื่อให้ความเย็น ซึ่งทำให้โอกาสที่จะได้รับอากาศบริสุทธิ์จากธรรมชาติที่แท้จริงมีน้อยลง แม้การอยู่ในห้องปรับอากาศซึ่งมีการปรับอุณหภูมิที่พอเหมาะจะสามารถหลีกเลี่ยงการสัมผัสกับมลภาวะทางอากาศได้ระดับหนึ่ง แต่อากาศภายในห้องปรับอากาศซึ่งเป็นอากาศที่หมุนเวียนผ่านเครื่องปรับอากาศตลอดเวลา และถ่ายเทออกสู่บรรยากาศภายนอกเพียงเล็กน้อย รวมทั้งความชื้นจากในอากาศและในตัวเครื่องปรับอากาศเอง อีกทั้งฝุ่นละอองที่ฟุ้งกระจายอยู่ทั่วไปอาจกลายเป็นแหล่งแพร่เชื้อและไม่เป็นผลดีต่อผู้ที่เป็โรคนภูมิแพ้หรือโรคที่เกี่ยวกับระบบทางเดินหายใจ ซึ่งชนิดและปริมาณของเชื้อ โรคในอากาศจะแตกต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและการแพร่กระจายของฝุ่นละอองบริเวณนั้นๆ ในสภาวะแวดล้อมที่สงบเชื้อ โรคจะแขวนลอยอยู่ในตำแหน่งเดิมได้นาน จุลินทรีย์ที่อยู่รวมกับฝุ่นละอองจะลงสู่พื้นได้ง่าย รวมถึงจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับน้ำลายและเมื่อจะมีชีวิตอยู่ได้นาน เนื่องจากขนาดเล็กมากทำให้เมื่อกที่หุ้มไว้เบาและลอยอยู่ได้นาน จากเหตุผลดังกล่าวในปัจจุบันจึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อดักจับและคัดกรองเชื้อ โรคและแบคทีเรียต่างๆที่ฟุ้งลอยอยู่ในอากาศ เช่น การประยุกต์ใช้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ออกไซด์ นาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะศึกษาคอปเปอร์ออกไซด์ซึ่งเป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง (Photocatalyst) ซึ่งช่วยก่อให้เกิดการสลายตัวของเชื้อแบคทีเรียได้ โดยมุ่งเน้นพัฒนากระบวนการสังเคราะห์เป็นอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ (Nano-CuO) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและเพิ่มประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียแต่ลดปริมาณการใช้ CuO ลง โดยอาศัยเทคนิคการสังเคราะห์อนุภาคนาโนภายในโครงสร้างร่างแหของโคโตซานด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) เนื่องจากสารทั้งสองชนิดมีสมบัติการต้านทานแบคทีเรีย อีกทั้งโคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ ไม่เป็นพิษ ราคาไม่แพง และเป็นวัสดุทางชีวภาพ นอกจากนี้โครงสร้างร่างแหของโคโตซานจะช่วยให้ CuO ที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กในระดับนาโน และมีการกระจายตัวในอนุภาคโคโตซานได้ดีสม่ำเสมอซึ่งจะ

ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของ CuO ให้ดียิ่งขึ้น จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ รวมทั้งการประยุกต์ใช้ด้านชีวอนามัย

นอกจากนี้วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอลเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ใช้อุณหภูมิและความดันต่ำ ประหยัดค่าใช้จ่าย ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย จึงเป็นวิธีการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถปลูกอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาผลของสภาวะในการสังเคราะห์ต่อขนาดและโครงสร้างของอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่อยู่ภายในโครงร่างแหของไคโตซาน
2. ตรวจสอบคุณสมบัติและศึกษาสมบัติต่างๆของวัสดุประกอบไคโตซาน-นาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุประกอบไคโตซาน-นาโนคอปเปอร์ออกไซด์ โดยปรับเปลี่ยน สภาวะดังนี้
 - 1.1 วิธีการบรรจุคอปเปอร์ไอออนในโครงร่างแหไคโตซานได้แก่ การบรรจุคอปเปอร์ไอออนด้วยวิธีการดูดซับและการบรรจุคอปเปอร์ไอออนพร้อมการสร้างโครงร่างแหไคโตซาน
 - 1.2 ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอปเปอร์ไอออน ได้แก่ 0.001 0.01 และ 0.1 โมล/ลิตร
 - 1.3 ชนิดของสารละลายเบสในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และ สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
2. การตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุประกอบไคโตซาน-นาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่
 - 2.1 เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometry, XRD)
 - 2.2 เทคนิคการคายรังสีเอ็กซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF)
 - 2.3 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)
 - 2.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)
3. การทดสอบสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบนาโนไคโตซาน-นาโนคอปเปอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสังเคราะห์วัสดุประกอบโคโตซาน-นาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลได้ซึ่งเป็นวิธีการอย่างง่ายที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. สามารถผลิตวัสดุนาโนที่มีสมบัติต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ที่มีความเป็นไปได้ว่าจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ในด้านชีวอนามัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไคโตซาน (Chitosan) [1]

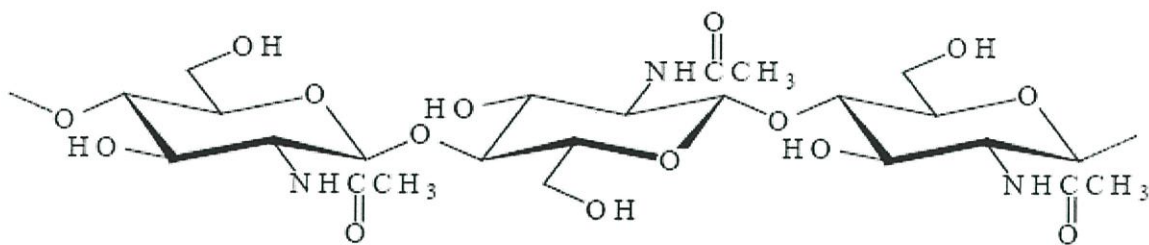
ไคโตซาน เป็นสารไบโอพอลิเมอร์ที่ไม่มีความเป็นพิษ มีประจุบวก สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ไคโตซานได้จากการทำปฏิกิริยาคีโอะเซทิกเลชัน (Deacetylation) ของไคติน ที่พบในเปลือกสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง ตระกูลครัสเตเชียน (Crustacean) เช่น เปลือกกุ้ง เปลือกปู เปลือกหอย แกนปลาหมึก เปลือกหุ้มแข็งของแมลง เป็นต้น ไคโตซานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ โดยใช้ผสมอาหารสัตว์เพื่อลดไขมันในสัตว์เศรษฐกิจ เช่น สุกร นำไปใช้ในอุตสาหกรรมยาและเภสัชกรรม โดยใช้เป็นสารดูดซับไขมันและเป็นสารนำส่งยาเพื่อกำจัดเซลล์มะเร็ง หรือนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นสารยับยั้งจุลินทรีย์ นอกจากนี้นำไปใช้จับสารชนิดต่างๆ เช่น ไขมัน โปรตีน และโลหะ เพื่อตกตะกอนน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมหลายประเภท

2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน [1]

ไคติน เป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นตรง มีโครงสร้างคล้ายกับเซลลูโลส แตกต่างกันตรงที่มีหมู่อะเซทิลเลตอะมิโน (Acetylated amino) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 โครงสร้างของไคตินประกอบด้วยหน่วยซ้ำกันของ 2-acetamido-2-deoxy-D-glucose หรือ N-acetyl-D-glucose ชื่อทางเคมีของไคตินคือ Poly β (1,4)-2-acetamide-2-deoxy-D-glucose ในธรรมชาติไคตินจะประกอบด้วยหน่วยที่มีหมู่อะเซทิลเลต (Acetylated amino) ประมาณ 84% ส่วนที่เหลืออีก 16% เป็นหน่วยที่กำจัดหมู่อะเซทิลออกไป

สำหรับไคโตซานเกิดจากการเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของไคตินโดยการกำจัดหมู่อะเซทิล (Acetal) ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เรียกว่า Deacetylation คือเปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็น glucosamine ออกตั้งแต่ 50% ขึ้นไปไคโตซานมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อน ซึ่งโครงสร้างของไคตินและไคโตซานมีลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.1(ก) และ (ข) ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ไคติน



(ข) ไคโตซาน

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของ (ก) ไคตินและ (ข) ไคโตซาน [1]

ปกติแล้วไคโตซานจะมีส่วนผสมของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine และ glucosamine อยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกัน ซึ่งเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะเซทิล (หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด Deacetylation) นี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน บอกถึงความยาวของสายไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีสายยาวสลายจะมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด Deacetylation และ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน เมื่อเทียบกับอนุพันธ์ของเซลลูโลสชนิดอื่นต่างกันที่หมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 และ 6 องค์ประกอบของไคโตซานประกอบด้วยหมู่เอมีโนและหมู่ไฮดรอกซิล

2.1.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสาร.) ความมีขี้ของไคโตซาน เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ไคโตซานเป็นพอลิเมอร์สายโซ่ตรงมีขี้ ในสถานะที่ค่า pH มีความเป็นกรด ไคโตซานจะมีความหนาแน่นของประจุสูง มีความสามารถในการจับเป็นกลุ่มก้อนได้ดีมาก รวมทั้งสามารถเกิด

คือเลดชันกับไอออนของโลหะได้ เช่น ไอออนเหล็กทองแดงแคดเมียมปรอท เป็นต้น รวมทั้งสารกัมมันตรังสี เช่น พลูโตเนียม เป็นต้น

2.) การละลาย

ไคโตซานไม่ละลายในน้ำค้างและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่า pH น้อยกว่า 6 เช่น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก สำหรับกรดอินทรีย์ เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดฟอสฟอริก สามารถละลายไคโตซานได้ แต่ต้องให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงปานกลางและมีการปั่นกววน ไคโตซานค่อนข้างมีความจำเพาะสมบัติในด้านการละลายเมื่ออยู่ในรูปเอมีนอิสระ ($-NH_2$) ไคโตซานไม่ละลายน้ำที่มี pH เป็นกลาง ส่วนที่ pH เป็นกรดหมู่เอมีนอิสระ ($-NH_2$) จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปเอมีนที่มีประจุบวก ($-NH_3^+$) ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้นกับไคโตซานจะเปลี่ยนแปลงเมื่อ pH เปลี่ยนแปลงตัวอย่างเช่นเมื่อไคโตซานที่อยู่ในสภาพเป็นกรดโลหะไอออนต้องแข่งขันกับไฮโดรเนียมไอออนในสภาวะกรดมากขึ้นดังสมการที่ (1)



เนื่องจากอะตอมไนโตรเจนบนไคโตซานมีสมบัติเหมือนเป็นพื้นที่สำหรับเกิดโคออดิเนชันกับโลหะโดยไคโตซานทำหน้าที่เป็นลิแกนด์อะตอมไนโตรเจนเป็นอะตอมจ่ายคู่อิเล็กตรอนและโลหะไอออนเป็นตัวรับคู่อิเล็กตรอน ดังสมการที่ (2)



ในสภาวะที่เป็นกรด ความหนาแน่นของคู่อิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวของอะตอมไนโตรเจน ซึ่งเป็นตัวสำคัญที่ทำให้เกิดพันธะโคออดิเนชันกับโลหะได้น้อยลงเพราะ H_3O^+ จะเกิดการแข่งชันกับการเกิดพันธะโคออดิเนชันของโลหะไอออน ดังนั้นในสภาวะนี้การกำจัดโลหะไอออนโดยไคโตซานจึงมีประสิทธิภาพลดลง

3.) สมบัติทางเคมีของไคโตซาน

ไคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก ประมาณ 1×10^5 - 1.2×10^6 กรัมต่อโมล ซึ่งขึ้นอยู่กับขั้นตอนการผลิตไคโตซาน

4.) ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นกับค่าระดับของการกำจัดหมู่อะเซทิล น้ำหนักโมเลกุลความเป็นกรด - ค่า ความแรงของพันธะไอออนิกและอุณหภูมิ โดยทั่วไปความหนืดจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ชนิดของกรดที่ใช้ และการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของสารละลาย

พอลิเมอร์จะมีผลความหนืดที่แตกต่างกันเช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดอะซิติกเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงแต่ค่าความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH เพิ่มขึ้น

5.) ความสามารถในการตกตะกอน (Coagulation ability)

ไคโตซานเป็นสารเคมีที่นิยมนำไปใช้ในการสร้างตะกอนและช่วยในการตกตะกอนที่ดีเนื่องจากมีหมู่อะมิโนจำนวนมากที่สามารถแตกตัวเป็นประจุบวกและจับกับสารที่มีประจุลบ เช่น โปรตีน ลีซอัม และพอลิเมอร์อื่นๆ หรือจับกับโลหะหนักโดยไนโตรเจนในหมู่อะมิโนเป็นตัวให้อิเล็กตรอนสร้างพันธะเชิงซ้อนขึ้น หมู่อะมิโนในไคโตซานจะมีประสิทธิภาพในการจับไอออนของโลหะหนักได้ดีกว่าหมู่อะเซททิลในไคติน ดังนั้นหมู่อะมิโนในไคโตซานที่มีค่าระดับของการกำจัดหมู่อะเซททิลสูง จะมีความสามารถในการจับโลหะหนักได้สูงด้วย

6.) การเสื่อมสลาย

ไคตินและไคโตซานเป็นเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นๆ ทั่วไปคือ เมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็น โอลิโกเมอร์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า มอนอเมอร์หรือมอนอแซคคาไรด์ของไคตินและไคโตซาน คือ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ตามลำดับ

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซาน เนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม (Random) ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โอลิโกเมอร์ (Oligomer) ขนาดต่างๆและมอนอเมอร์ขึ้นกับสภาวะที่ใช้ เช่น เวลา ชนิดกรด อุณหภูมิ ชนิดพันธะของสายโซ่โมเลกุล ชนิดของพอลิเมอร์โดยไคตินสามารถต้านทานต่อการเสื่อมสลายโดยกรดได้ดีกว่าไคโตซาน

2.1.3 การนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์ [1]

ไคโตซานสามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน ดังนี้

1.) ด้านการแพทย์

โดยนำไคตินและไคโตซานมาใช้รักษาบาดแผลผ่าตัดและแผลไฟไหม้ ซึ่งช่วยทำให้แผลหายเร็วขึ้น ทำผลิตภัณฑ์แผ่นปิดตกแต่งแผล ด้ายเย็บแผลซึ่งข้อดีคือ จะสลายตัวอย่างช้าๆและถูกดูดซับเข้าร่างกายอย่างไม่มีปฏิกิริยาต่อต้านจากร่างกาย ใช้เป็นเลนส์สายตาเนื่องจากมีสมบัติยอมให้ออกซิเจนผ่านเข้าออกได้ ใช้ทำเป็นแคปซูลบรรจุยา เนื่องจากไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ ใช้เป็นสารป้องกันการตกตะกอนของเลือด ใช้เป็นตัวจับและตกตะกอนเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว ใช้ผลิตผนังเทียม เช่น ผนังไต เยื่อของไตเทียม ใช้เป็นสารลดคลอเรสเตอรอลและใช้เป็นสารเชื่อมหรืออุดฟันในด้านทันตกรรม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.) ด้านการเกษตร

เนื่องจากไคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศ จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ ใช้ปรับสภาพดิน เพิ่มความพรุนในดิน การดูดซับน้ำ การอุ้มน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืช และกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ เป็นสารเร่งการเจริญเติบโตของพืชทุกชนิด เช่น กระตุ้นการแตกราก ใบ ออกดอก ติดผล เป็นต้น ใช้ป้องกันและยับยั้งโรคพืช เช่น โรคเชื้อรา ไวรัส แบคทีเรีย และโรคแมลง ใช้เคลือบรักษาเมล็ดพันธุ์ คือ สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้สารเคมีและยาฆ่าแมลงที่เป็นอันตรายต่อเกษตรกรและผู้บริโภค ในด้านการปศุสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้น

3.) ด้านอุตสาหกรรมอาหาร

สามารถใช้เป็นบรรจุภัณฑ์สำหรับอาหาร รวมทั้งใช้เป็น Food stabilizer และสารเติมแต่ง ยืดอายุการเก็บรักษาคุณภาพทางโภชนาการ โดยใช้ทดแทนสารกันบูดเนื่องจากมีสมบัติในการต้านทานจุลินทรีย์และลดสารที่ไม่ต้องการบางชนิดในอาหาร นอกจากนี้ยังมีการวิจัยในสัตว์หลายชนิดแล้ว พบว่าการบริโภคไคโตซานสามารถลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเลือดได้

4.) ด้านอุตสาหกรรมกระดาษ

ไคโตซานได้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นสารช่วยในการยึดติดของเยื่อกระดาษ เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของกระดาษโดยใช้เพียง 1 % โดยน้ำหนักกระดาษที่ได้จะมีความทนทานเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะขณะเปียก ซึ่งเหมาะสมสำหรับทำผ้าอ้อมแบบใช้แล้วทิ้ง หรือทำกระดาษเช็ดมือ กระดาษสำหรับอัดรูป ถ่าย เป็นต้น

5.) ด้านอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง

ไคโตซานสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในแชมพูสระผม ครีมนวดผม และครีมปรับสภาพผม เป็นต้น เนื่องจากสารละลายของไคโตซานมีความหนืด และยังมีสมบัติในการเคลือบเพื่อช่วยเก็บความชุ่มชื้น ทำให้เส้นผมนุ่ม ใช้เป็นส่วนผสมในโลชั่นเพื่อเพิ่มความชุ่มชื้นและความเนียนนุ่ม และยังเป็นสารเพิ่มความข้นเหนียวในครีมอีกด้วย

6.) ด้านบำบัดน้ำเสีย

ไคโตซานใช้ในกระบวนการสร้างตะกอนและตกตะกอน (Coagulation and flocculation) เพื่อการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้ไคโตซานที่มีประจุบวกกับสารพอลิเมอร์ที่มีประจุลบ แล้วเกิดเป็นสารประกอบพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte) ในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่า มีการนำเอาไคโตซานมาใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพ เพื่อแยกโปรตีน และไขมันออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรม การผลิตนม ปรากฏว่าให้ผลที่ดีคือนอกจากจะเป็นระบบการบำบัดด้วยสารธรรมชาติแล้ว ยังทำให้น้ำเสียสามารถนำไปบำบัดต่อได้ง่ายขึ้น ลดปริมาณการใช้สารเคมีเพื่อปรับ pH ส่วนสไลด์ที่ตกตะกอนแยกออกมา ก็ยังสามารถนำไปใช้เป็นส่วนเติมแต่งในอาหารได้ นอกจากนี้เมื่อนำ

โคโตะซานไปใช้เป็นสารตกตะกอนชีวภาพในบ่อเลี้ยงกุ้ง ยังพบว่าสามารถลดความขุ่น ปริมาณตกตะกอนแขวนลอย ตลอดจนค่า BOD และ COD ลงได้ ทำให้น้ำในบ่อมีคุณภาพดีขึ้น และส่งผลให้ได้ผลผลิตกุ้งปริมาณมากขึ้นและมีน้ำหนักเฉลี่ยสูงขึ้น

2.2 คอปเปอร์ออกไซด์ [3]

2.2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์

สมบัติทางเคมีและกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 1

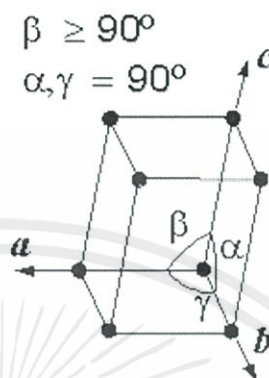
ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีและกายภาพของคอปเปอร์ออกไซด์

สูตรโมเลกุล	CuO
น้ำหนักโมเลกุล	79.545 กรัม/โมล
ลักษณะ	ผง เม็ด สีดำถึงน้ำตาลดำ
ความหนาแน่น	6.31 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
กลิ่น	ไม่มีกลิ่น
จุดหลอมเหลว	1201 องศาเซลเซียส (1,474 เคลวิน)
จุดเดือด	2000 องศาเซลเซียส (2,273 เคลวิน)
การละลายในน้ำ	ไม่ละลาย
การละลายในแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	ละลาย
การละลายในกรด	กรดไฮโดรคลอริก, กรดซัลฟูริก, กรดไนตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

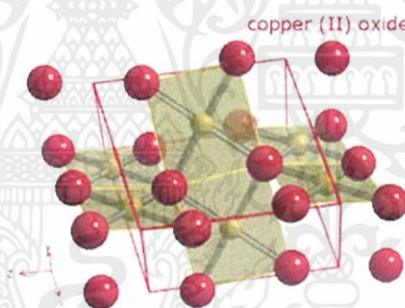
2.2.2 โครงสร้างผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ [4]

คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก (Monoclinic) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ค่าคงที่โครงสร้างผลึก $a = 4.6837$, $b = 3.4226$ อังสตรอม ที่ $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 99.54$ องศา และ $\gamma = 90$ องศา สูตรโมเลกุล CuO



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผลึกของ CuO แบบโมโนคลินิก [5]

คอปเปอร์ออกไซด์มีโครงสร้างเป็นทรงสี่เหลี่ยมแบนราบ (Square planar) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างสี่เหลี่ยมแบนราบของ CuO [5]

2.2.3 อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [3]

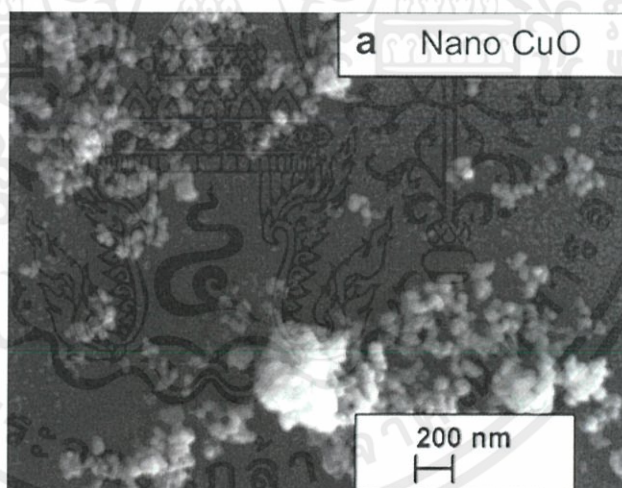
ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการเตรียมอนุภาคนาโนหลายชนิดด้วยวิธีต่างๆกับคอปเปอร์ออกไซด์เองก็ได้ถูกศึกษาพัฒนาเพื่อสังเคราะห์ให้มีขนาดในระดับนาโนด้วยเช่นกัน โดยมีวิธีหลาย ๆ วิธีด้วยกันที่ประสบความสำเร็จได้คอปเปอร์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีขนาดและรูปร่างที่แน่นอน Lisiecki และ Rilent [6] ได้สังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์อนุภาคนาโนโดยใช้วิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) ในปีต่อ ๆ มางานวิจัยจำนวนมากได้ถูกรายงานออกมา Vorobyova [7] ได้การสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ ขนาด 6 นาโนเมตร จากสารคอลลอยด์โดยที่ระหว่างวัฏภาคได้เกิดปฏิกิริยาของคอปเปอร์ (II) ไอโอไดด์กับไซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายในออกเทนและน้ำ แต่วิธีนี้เป็นวิธีที่ซับซ้อนและไม่เหมาะสมกับการผลิตคอปเปอร์ออกไซด์จำนวนมาก ๆ

ในปี 1998 งานวิจัยร่วมระหว่างมหาวิทยาลัยในสิงคโปร์และจีนได้นำเสนอวิธีการเตรียมคอปเปอร์ออกไซด์วัสดุภาคเดียวด้วยปฏิกิริยาของแข็ง โดยมีโครงสร้างเป็น โมโนคลินิก (Monoclinic) ขนาด 12 นาโนเมตร ในปีต่อมาพบว่าเทคนิคการสลายตัวโลหะ-สารอินทรีย์ (Metal-organic decomposition technique) สามารถสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ได้ [3]

ต่อมาในปี 2008 Vaseem และคณะ [8] ได้สนใจศึกษาคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างหลากหลาย เพื่อนำมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงด้วยการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตและ Heinlaan [9] พบว่านาโนคอปเปอร์ออกไซด์ยังมีสมบัติที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายด้าน เช่น การใช้งานในกลุ่มของอิเล็กทรอนิกส์หรืออุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ ความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ ยังคงมีการพัฒนาเพื่อให้ได้สมบัติที่ดีขึ้นต่อไป

ลักษณะสัณฐานวิทยา ของนาโนคอปเปอร์ออกไซด์มีหลายรูปแบบดังสามารถสรุปได้ดังนี้

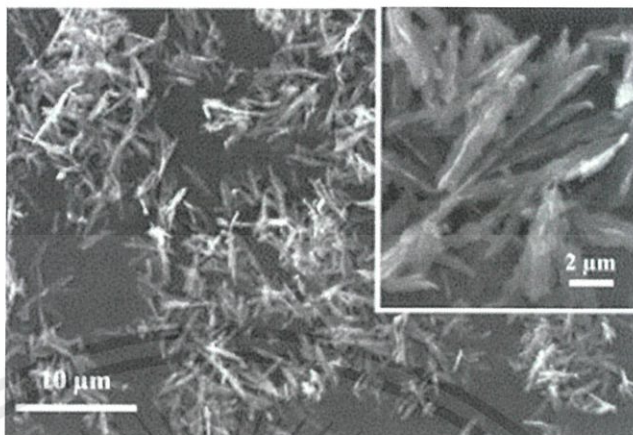
1. ผงนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ (Nanopowder) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ภาพ SEM ของผงนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [10]

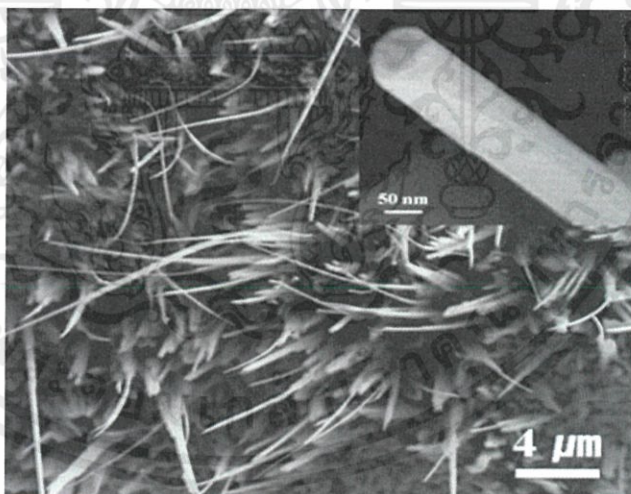
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เส้นเข็มขนาดนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ (Nanobelts) ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ภาพ SEM ของเส้นเข็มขนาดนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [11]

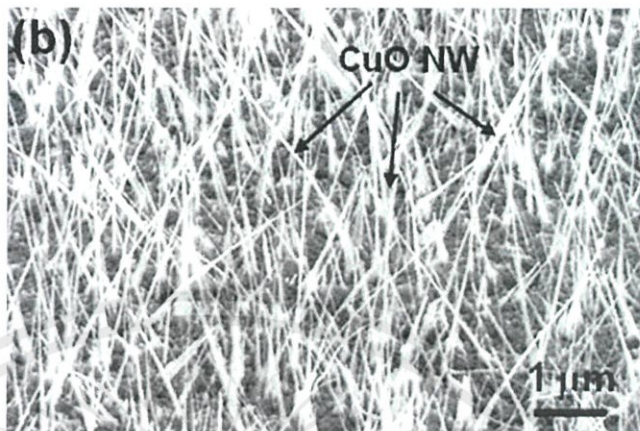
3. แท่งนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ (Nanorods) ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ภาพ SEM ของแท่งนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [12]

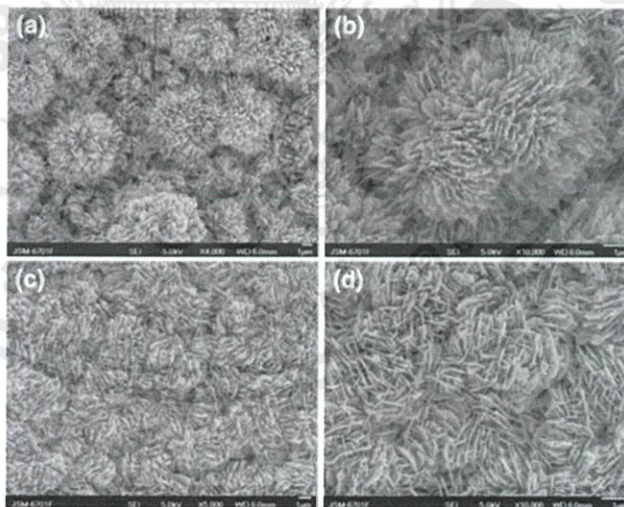
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เส้นใยนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ (Nanowire) ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ภาพ SEM ของเส้นใยนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [13]

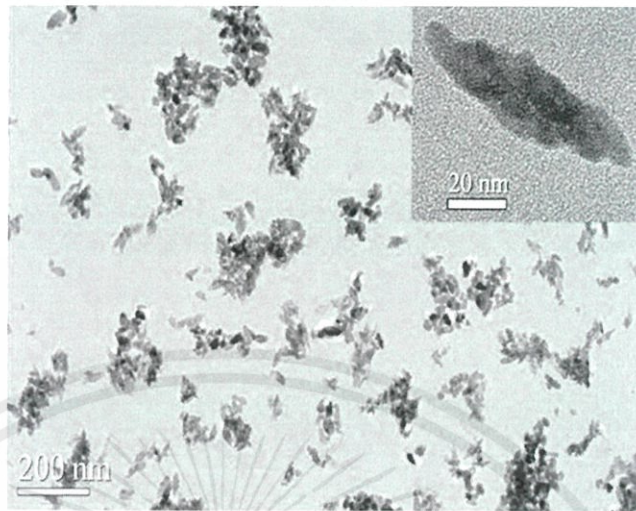
5. แผ่นนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ (Nanoplate) ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ภาพ SEM ของแผ่นนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. กระจายนานโนคอปเปอร์ออกไซด์ (Nanospindle) ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพ HRTEM ของกระจายนานโนคอปเปอร์ออกไซด์ [15]

2.2.4 การสังเคราะห์อนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล [16]

วิธีการไฮโดรเทอร์มอลนี้ มักจะเป็นวิธีที่นำมาใช้กันมากในห้องปฏิบัติการสำหรับการเตรียมสารประกอบออกไซด์อย่างง่าย ซึ่งวิธีการนี้จะเกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นจำพวกเกลือของโลหะออกไซด์ ไฮดรอกไซด์หรือผงโลหะต่าง ๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอยโดยปกติใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ด้วยอุณหภูมิ และความดันที่สูง ซึ่งการตกตะกอนภายใต้สภาวะดังกล่าวนี้จะทำให้เกิดผงที่มีขนาดอนุภาคเล็กมาก มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคน้อย มีความบริสุทธิ์สูงและมีความเป็นเนื้อเดียวกันทางเคมีดี แต่เทคนิคนี้ต้องใช้สูงและความดันที่ใช้ก็จะอยู่ช่วง 20 MPa ดังนั้นจึงต้องทำการเตรียมในหม้อนึ่งอัดไอ (Autoclave)

การเตรียมผงด้วยวิธีนี้จะอาศัยการเกิดผลึกของสารเคมีในน้ำที่ร้อนภายใต้ความดันสูง ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้กันทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 100 ถึง 350 องศาเซลเซียส ผงที่เตรียมได้อาจจะเป็นแบบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชัน โดยขั้นตอนของการเกิดปฏิกิริยานั้นเริ่มต้นจาก สารละลายตั้งต้นผสมจะเกิดการสูญเสียส่วนที่เป็นของเหลวโดยการระเหยออกไป และจะเกิดการอิ่มตัวยิ่งยวด (Supersaturation) จากนั้นก็จะมีการเกิดนิวเคลียสขึ้นและการเติบโตตามมา กรณีที่อัตราการเกิดนิวเคลียส (Nucleation rate) เป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่มีอัตราการเติบโต (Growth rate) ช้า ผงที่ตั้งเคราะห์ได้จะมีขนาดเล็กและละเอียดมากข้อดีของวิธีไฮโดรเทอร์มอล คือ ใช้อุณหภูมิต่ำเมื่อ

เทียบกับวิธีการสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์วิธีอื่นสารตั้งต้นที่นำมาใช้ไม่เป็นพิษ ทำได้ง่ายและประหยัดค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2.10 ลักษณะของหม้อนึ่งอัดไอ [17]

2.2.5 การประยุกต์ใช้คอปเปอร์ออกไซด์ [1]

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้คอปเปอร์ออกไซด์มีดังนี้

- คอปเปอร์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย
- ช่วยให้พืชแข็งแรงขึ้น เนื่องจากคอปเปอร์ออกไซด์สามารถป้องกันการเกิดโรคพืชบางชนิดได้ เช่น โรคแคงเกอร์
- ใช้เป็นสารกึ่งตัวนำในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หรือเป็นเซรามิกส์ที่มีสมบัตินำไฟฟ้าเนื่องจากคอปเปอร์ออกไซด์มีช่องว่างแถบพลังงานที่แคบ (ประมาณ 1.2 อิเล็กตรอน โวลต์) จึงนำไปประยุกต์ใช้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด p-type

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ Feng-Ming Hsieh และคณะ [18] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการสลายฟีนอลของเชื้อแบคทีเรียชนิด *Pseudomonas putida* (*P.putida*) ที่นำมาเลี้ยงไว้ในเม็ดไคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติ ไม่มีความเป็นพิษ ราคาถูก หาได้ง่าย สามารถละลายได้ในกรดอ่อน มีความสามารถในการย่อยสลายและต้านทานจุลชีพ ในขณะที่ *P.putida* ถูกใช้ในการย่อยสลายฟีนอลอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูง งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาประสิทธิภาพในการสลายตัวของฟีนอล โดยการเลี้ยง *P.putida* ในเม็ดไคโตซานพบว่าสามารถสลายฟีนอลได้ดีกว่าเซลล์แบคทีเรียที่แขวนลอยอย่างอิสระภายใต้สภาวะที่มี pH สูง นอกจากนี้ไคโตซานยังช่วยป้องกันเซลล์ของแบคทีเรียจากสิ่งแวดล้อม ทำให้ *P.putida* อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรียและการเผาผลาญในรูปแบบของไบโอฟิล์มอีกด้วยซึ่งเซลล์แบคทีเรียที่ถูกตรึงด้วยเม็ดไคโตซานจะทำให้มีประสิทธิภาพสูง มีเสถียรภาพ ทนทาน สามารถนำมาใช้ซ้ำ และจัดเก็บได้ง่าย รวมถึงส่งเสริมความสามารถในการสลายตัวของฟีนอล

งานวิจัยของ Guogang Ren และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ด้วยเทคโนโลยีพลาสมาทางความร้อน (Thermal plasma technology) แล้วนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) เทคนิคการดูดซับก๊าซ (Brunau-Emmet-Teller, BET) พบว่าอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอยู่ในช่วง 20-95 นาโนเมตรและมีปริมาณของธาตุทองแดงและออกซิเจนเท่ากับ 54.18 เปอร์เซ็นต์ และ 45.18 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ พื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 15.62 ตารางเมตร/กรัม และพบว่าอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้มีความสามารถในการยับยั้งการติดเชื้อฟิโกลอกคัสต่อเรียสที่ดื้อยาเมธิซิลิน (Meticillin-resistant *Staphylococcus aureus*, MRSA) และเชื้อเอสเชอริเชีย โคลิ (*Escherichia coli*) ที่ความเข้มข้นของแบคทีเรียต่ำ (Minimum bactericidal concentrations, MBCs) ในช่วง 100-5000 ไมโครกรัม/มิลลิลิตร

งานวิจัยของ Rogerio Laus และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาไคโตซาน (Chitosan, CTS) ที่เชื่อมโยงด้วยอิพิคลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin, ECH) และไตรพอลิฟอสเฟต (Triphosphate, TPP) ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงด้วยพันธะโคเวเลนต์และไอออนิก ตามลำดับ จากนั้นนำไปวิเคราะห์การดูดซับและการคายซับไอออนของ Cu(II) Cd(II) และ Pb(II) ในสารละลายพบว่าค่า pKa เท่ากับ 5.14, 6.76 และ 9.08 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าค่าของ pH ที่

เหมาะสมในจุดจับของ Cu(II) เท่ากับ 6.0 Cd(II) เท่ากับ 7.0 และ Pb เท่ากับ 5.0 จากนั้นศึกษา จลนศาสตร์กระบวนการดูดซับ พบว่าการดูดซับสูงสุดของไอออน Cu(II) Cd(II) และ Pb(II) เท่ากับ 130.72 83.75 และ 166.94 มิลลิกรัม/กรัมตามลำดับ และจากการศึกษาพบว่า HNO_3 และ HCl เป็น ตัวชะให้ไอออนของ Cu(II) Cd(II) และ Pb(II) หลุดออกมาจากโคโคซานได้ดีที่สุด

งานวิจัยของ Wei-Zhuo Zhong และคณะ [21] ได้ทำการศึกษากลไกการเติบโตและลักษณะ การเติบโตของผลึกซิงค์ออกไซด์ภายในระบบไฮโดรเทอร์มอล เนื่องจากวิธีไฮโดรเทอร์มอลทำให้ ได้ผลึกที่มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคดีและมีแนวโน้มให้ผิวผลึกพอลิฮีดรอล (Polyhedral) ที่มีลักษณะปกติ จากการศึกษากลไกการเติบโตของซิงค์ออกไซด์นั้นพบว่าเกิดจากการเติบโตของ หน่วยเซลล์ (Growth unit) และเกิดการรวมตัวของหน่วยเซลล์ภายในโครงสร้างผลึกแลตทิซจาก ปฏิกิริยาการกำจัดน้ำ (Dehydration reaction) นอกจากนี้ยังพบว่าการเติบโตที่อินเทอร์เฟซ (Interface) ของซิงค์ออกไซด์ งานวิจัยนี้ได้ใช้สารละลาย $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ เป็นสารตั้งต้น พบว่าใน การเติบโตจากสารดังกล่าวจะมีสารเชิงซ้อนเกิดขึ้นจากการเชื่อมโยงระหว่างแคปไอออนกับลิแกนด์ ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH) นอกจากนี้กลไกการเติบโตของซิงค์ออกไซด์นั้นจะพิจารณาจาก โครงสร้างของอินเทอร์เฟซของผลึกซึ่งพบว่าลักษณะการเติบโตจะมีความสัมพันธ์กับอัตราการ เติบโตและการจัดเรียงตัวของโคออดิเนชันพอลิฮีดรอลที่อินเทอร์เฟซ โดยอัตราการเติบโตเร็วสุด เกิดที่ผิวผลึกกับมุมของโคออดิเนชันพอลิฮีดรอลอัตราการเติบโตรองลงมาเกิดที่ผิวผลึกกับขอบของ โคออดิเนชันพอลิฮีดรอลที่อินเทอร์เฟซ และผิวผลึกกับผิวของโคออดิเนชันพอลิฮีดรอลที่ อินเทอร์เฟซมีอัตราการเติบโตช้าสุด

งานวิจัยของ Alireza Aslani [22] ได้ทำการศึกษารูปร่างโครงสร้างระดับนาโนของ CuO โดยใช้เทคนิคโซลโวเทอร์มอล (Solvothermal) ที่อุณหภูมิต่ำ และควบคุม pH ของส่วนผสมที่อุณหภูมิ 100-150 องศาเซลเซียส พบว่าได้ผลึกที่มีลักษณะการโตแบบพิเศษคือ มีทิศทางการโตเป็นแนว เส้นตรง [002] จากนั้นนำไปทดสอบด้วยเทคนิคโฟโตลูมิเนสเซนส์สเปกโทรสโกปี (Photoluminescence spectroscopy) และตรวจสอบโครงสร้างและขนาดของอนุภาคด้วยเทคนิคการ เลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometry, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) วัดของค่าพลังงานของการกระเจิงของรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-ray Analysis, EDAX) พบว่าเกิดข้อบกพร่องเนื่องจากช่องว่างของออกซิเจน และมี ค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคนาโนของ CuO อยู่ระหว่าง 40-100 นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ Susana Rodrigues และคณะ [23] ได้ทำการศึกษาการเกิดอนุภาคนาโนร่วมระหว่างไคโตซานและคาราจีแนน (Carragenan) โดยการเชื่อมโยงของไทรพอลิฟอสเฟตด้วยวิธีสารประกอบเชิงซ้อนพอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolyte complexation) และการก่อเจลโดยอาศัยประจุไอออนิก (Ionic gelation) จากนั้นศึกษาผลกระทบของพอลิแอนไอออน (Polyanion) ต่อขนาดพื้นผิว และความเสถียรของอนุภาคนาโน ซึ่งสนใจพิจารณาความแตกต่างของปริมาณการเชื่อมโยงกับอัตราส่วนมวลของพอลิเมอร์ แล้วนำอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (TEM) วิเคราะห์อนุภาคนาโนเชิงคุณภาพด้วยเทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) วิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิคเอ็กซ์เรย์โฟโตอิเล็กตรอนสเปกโทรสโกปี (XPS) และ Time-of-flight secondary ion mass spectrometry (TOF-SIMS) ซึ่งไทรพอลิฟอสเฟตแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการเกิดอนุภาคนาโนที่มีขนาดเล็กลงถึง 30 นาโนเมตรและค่าศักย์ไฟฟ้าเซตาคาลลงถึง 60 มิลลิโวลต์ ความเสถียรของอนุภาคนาโนและเปอร์เซ็นต์การเกิดอนุภาคนาโนสูงขึ้นถึง 35 เปอร์เซ็นต์อัตราส่วนมวลของไคโตซาน:คาราจีแนน:ไทรพอลิฟอสเฟตที่สามารถเกิดเป็นอนุภาคนาโนได้คือ 4:1:1 หากมีอัตราส่วนที่มากกว่านี้อาจจะไม่เกิดเป็นอนุภาคในระดับนาโน

งานวิจัยของ Siew Siang Lee และคณะ [24] ได้ทำการศึกษากระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalytic Process) ในการบำบัดน้ำเสียจากสีย้อม โดยใช้เส้นใยนาโนที่ประกอบด้วย TiO_2/CuO โดยเตรียมจากเทคนิคอิเล็กโตรสปินนิง (Electrospinning) ซึ่งมีความสามารถย่อยสลายสีย้อมอินทรีย์ในน้ำเสีย เนื่องจากเส้นใยนาโน TiO_2/CuO มีสมบัติทางเคมีกายภาพ คือ มีรูพรุนและมีพื้นที่ผิวจำเพาะเจาะจงสูงในการดูดซับ และมีประสิทธิภาพ ในการดูดกลืนแสงช่วงแสงสีแดง มีลักษณะโครงสร้างที่ยาวของเส้นใยนาโนทำให้การถ่ายโอนประจุ มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการคืนสภาพ และเนื่องจาก TiO_2/CuO มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำแบบเฮเทอโรจังก์ชัน (Heterojunction) ส่งผลให้ช่วยเสริมการแยกของอิเล็กตรอนและโฮล (Hole) นอกจากนี้ยังพบว่า CuO ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาร่วม สำหรับการผลิต H_2 และเส้นใยนาโน TiO_2/CuO ยังช่วยทำให้เกิดการตกตะกอนอย่างรวดเร็วเนื่องจากแรงโน้มถ่วงดังนั้นเส้นใยนาโน TiO_2/CuO จึงมีแนวโน้มสูง สำหรับการนำมาใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้เส้นใยนาโน TiO_2/CuO ยังทำให้เกิดปฏิกิริยาในการผลิตพลังงานสะอาดจากน้ำเสียจากสีย้อมได้

งานวิจัยของ S.P.Meshram และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างคอปเปอร์(II) ออกไซด์ลักษณะต่าง ๆ ที่สังเคราะห์จากคอปเปอร์ซัลเฟต (CuSO_4) บนพอลิไวนิลไพร์โรลิโดน (Polyvinyl pyrrolidone, PVP) และออกซาลิกแอซิด (Oxalic acid) ด้วยวิธีตกตะกอน และไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) แล้วนำอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometry, XRD) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยายสูง (Field emission scanning electron microscope, FE-SEM) นำไปเผาผนึก โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาผนึกพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิค Thermo-gravimetric-differential thermal analysis (TG/TGA) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV-VIS Spectrophotometry) ค่าพลังงานการคายรังสีเอ็กซ์ (Energy Dispersive X-ray Analysis, EDAX) เทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) วัดพื้นที่ผิวจำเพาะด้วยเทคนิคการดูดซับก๊าซ (Brunauer Emmett Teller, BET) พบว่าโครงสร้างขนาดระดับนาโนของ CuO ที่ได้มี 4 ลักษณะได้แก่โครงสร้าง ทรงกลม โครงสร้างรูพรุน โครงสร้างแบบแผ่นบาง และโครงสร้างลักษณะคล้ายเกล็ดเลือด จากนั้นนำมาทดสอบความสามารถในการเป็นสารเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงด้วยเมทิลีนบลู (Methylene blue) จะได้อัตราการลดลงของเมทิลีนบลูเท่ากับ 72.57% 93.48% 49.71% และ 95.71% ตามลำดับ

งานวิจัยของ Nuengruethai Ekthammathat และคณะ [26] ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์แผ่นฟิล์ม CuO ที่มีโครงสร้างแบบ โมโนคลินิก (Monoclinic) บนแผ่นคอปเปอร์ฟอยด์โดยการสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาเคมีแบบเปียก (Wetchemicalreaction) ในสารละลายอัลคาไลน์ (10 M NaOH) ที่ค่า pH = 13 ที่อุณหภูมิห้อง ในเวลาที่ต่างกัน จากนั้นนำไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometry, XRD) เทคนิคฟูเรียรทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer, FTIR) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) และ โฟโตลูมิเนสเซนส์สเปกโตรเมทรี (Photoluminescence Spectrometry) พบว่าแผ่นฟิล์มจะคายแสงสีม่วงออกมาที่ 400 และ 413 นาโนเมตร ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มมีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *S.aureus* ได้ดีกว่าเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli*

งานวิจัยของ วิฑูรย์ ทองไท และคณะ [27] ได้ทำการศึกษาการเตรียมนาโนคอมโพสิตของคอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์ (CuO – Zn Onanocomposits) โดยใช้สารละลายโคโคซานช่วยในการสังเคราะห์ด้วยวิธีการเผาผลึก โดยสนใจผลของค่า pH และความเข้มข้นของสารละลายโคโคซาน เริ่มจากการละลายโคโคซานในกรดแอสซิติคและทำการผสมคอปเปอร์ไนเตรตไตรไฮเดรต ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$) ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) แล้วคนสารละลายให้เข้ากันจะเกิดตะกอนจากนั้นนำไปอบให้แห้งแล้วนำไปเผาภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนที่อุณหภูมิ 723 เคลวิน เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปตรวจพิสูจน์โครงสร้างผลึกและขนาดนาโนคอมโพสิตของคอปเปอร์ออกไซด์-ซิงค์ออกไซด์ด้วย

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffractometry, XRD) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) พบว่าโคโตซานจะช่วยในการจำกัดขนาดของผลึก CuO-ZnO ให้ได้ขนาดระดับนาโนและช่วยให้เกิดการกระจายตัวของ CuO และ ZnO แต่เมื่อปราศจากการใช้สารละลายโคโตซานจะทำให้อนุภาคนาโนคอมโพสิตของคอปเปอร์ออกไซด์-สังกะสีออกไซด์ จะไม่รวมเป็นเนื้อเดียวกันแต่จะจับตัวเป็นก้อนแยกออกจากกันเป็นลักษณะก้อนกลมและพีระมิด

งานวิจัยของ จูติมา โชติกสถิต และคณะ [28] ได้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์วัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์(II) ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยเริ่มจากการละลายโคโตซานด้วยสารละลายกรดอะซิติก แล้วนำสารละลายโคโตซานมาทำการเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STTP) เข้มข้น 0.1, 0.25 และ 0.5 %w/w พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ STTP ก่อให้เกิดปฏิกิริยาดีโปรโตเนชันแข่งขันกับปฏิกิริยาเชื่อมโยงจึงส่งผลให้องศาการเชื่อมโยงของโคโตซานลดลง จากนั้นศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์คอปเปอร์(II) ออกไซด์ (CuO) ด้วยปฏิกิริยาในสารละลายเบส 2 ชนิด ได้แก่ NaOH และ NH_4OH โดยปรับความเข้มข้นของสารละลายเบสได้แก่ 0.1, 0.3 และ 0.5 โมล/ลิตร และอุณหภูมิที่ใช้ได้แก่ 60, 80 และ 100°C พบว่าในระบบสารละลาย NH_4OH สามารถสังเคราะห์ CuO ได้เมื่อใช้ความเข้มข้น NH_4OH 0.3 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80°C ขึ้นไป และความเข้มข้น NH_4OH 0.5 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 60°C ขึ้นไป ในขณะที่ในระบบสารละลาย NaOH ถึงแม้ใช้ NaOH เข้มข้น 0.3 โมล/ลิตร ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 60°C ขึ้นไป ก็สามารถสังเคราะห์ CuO ได้ หลังจากนั้นนำโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STTP เข้มข้น 0.5 %w/w มาแช่ในสารละลายคอปเปอร์(II)ซัลเฟตเข้มข้น 0.3 โมล/ลิตร เป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส NH_4OH หรือ NaOH เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร ที่อุณหภูมิ 60 และ 80°C พบว่าในระบบสารละลายเบส NaOH สามารถปลูกผลึก CuO ที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโนภายในโคโตซานได้ ทั้งที่อุณหภูมิ 60 และ 80°C ในขณะที่ระบบ NH_4OH ไม่สามารถเตรียมวัสดุประกอบดังกล่าวได้ วัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์(II) ออกไซด์มีสมบัติด้านทานแบคทีเรียได้ตามมาตรฐาน JIS L 1902: 1998

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. ไคโตซาน (Chitosan) เกรดการค้า
2. โซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate , STTP) เกรดการค้า
3. คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต (Coppersulfate , $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) บริษัท Fisher Chemicals จำกัด เกรดวิเคราะห์
4. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide, NH_4OH) บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, NaOH) บริษัท CARLO ERBA เกรดวิเคราะห์
6. กรดแอซิติก (Acetic acid, CH_3COOH) บริษัท LAB-SCAN เกรดวิเคราะห์
7. น้ำปราศจากไอออน (DI water)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท LEO รุ่น LEO 1455 VP
2. เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeters, DSC) บริษัท PERKIN ELMER รุ่น PYRIS DIAMOND DSC
3. เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) บริษัท BRUKER AG รุ่น D8 ADVANCE
4. เครื่องมือวิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF) บริษัท BRUKER AG รุ่น SRS 3400
5. ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้วยี่ห้อ DURAN ประเทศเยอรมัน
6. แท่งคนแม่เหล็กยี่ห้อ DURAN ประเทศเยอรมัน
7. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ DENVER รุ่น TC-254 ประเทศเยอรมัน
8. เครื่องปั่นกวน ยี่ห้อ FISHER SCIENTIFIC ประเทศสหรัฐอเมริกา ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
9. เครื่องกรองสูญญากาศบริษัท BUCHI รุ่น B-169 เจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
10. ตู้อบ บริษัท FISHER SCIENCE รุ่น ISOTEMP

เอกสารนี้เป็นเอกสารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งนี้

11. ขวดแก้วระบบปิด
12. ซ้อนตักสาร
13. โกร่งบดสาร

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการดูดซับ

3.3.1.1 การเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน

1. เตรียมสารละลายไคโตซาน 2 % w/v โดยชั่งไคโตซาน 2 กรัม เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร และเตรียมสารละลายโพแทสเซียมเพอร์มางเนต 2 % v/v 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์และปั่นกวนให้สารละลายผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
2. นำสารละลายไคโตซาน 50 มิลลิลิตร หยดลงในสารละลายโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.5%w/w 100 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที จะได้ตะกอนสีขาวขุ่น
3. กรองตะกอนออกจากสารละลายด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
4. นำตะกอนที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ เช่น การวิเคราะห์เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC) และการทดสอบการบวมตัว

3.3.1.2 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์

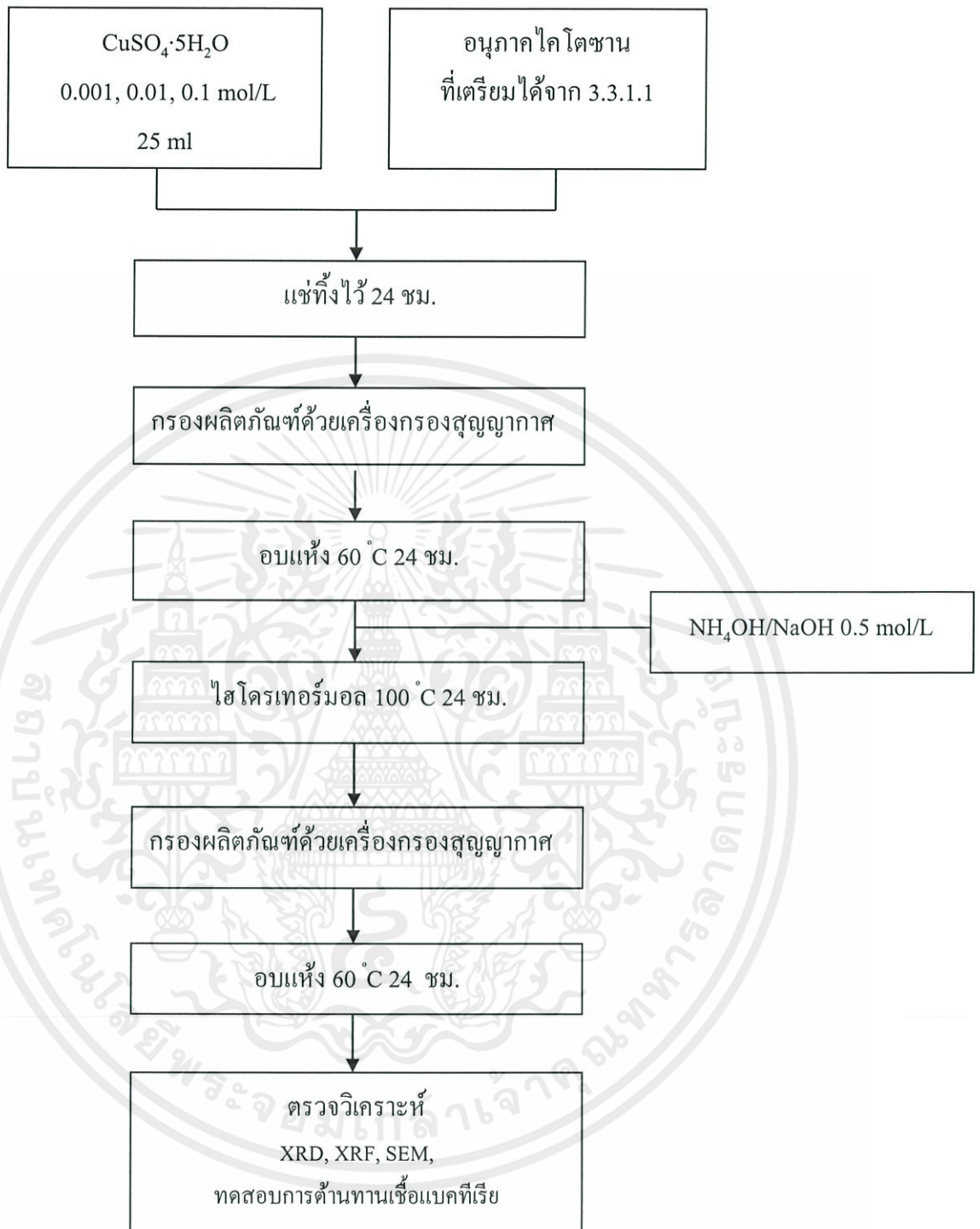
1. นำอนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน มาแช่ในสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 25 มิลลิลิตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมากรองแยกผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศโดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ได้แก่ 0.001 0.01 และ 0.1 โมล/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3.1
2. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. นำอนุภาควัสดุประกอบไคโตซานที่ดูดซับคอปเปอร์ไอออนแล้วไปแช่ในสารละลายเบส 25 มิลลิลิตร เพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลโดยใส่ลงในขวดแก้วทนความดันปิดผนึกแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะทำการปรับเปลี่ยนชนิดสารละลายเบสในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์
4. กรองผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
5. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) เทคนิคการคาย-

รังสีเอ็กซ์ (XRF) การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

ตารางที่ 3.1 สภาวะในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลของสารประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ ออกไซด์ด้วยวิธีการคูดซ์

ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้		
	ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	สารละลายเบส	
		NH_4OH (mol/L)	NaOH (mol/L)
CST-STPP0.5Cu0.001NH	0.001	0.5	-
CST-STPP0.5Cu0.001Na		-	0.5
CST-STPP0.5Cu0.01NH	0.01	0.5	-
CST-STPP0.5Cu0.01Na		-	0.5
CST-STPP0.5Cu0.1NH	0.1	0.5	-
CST-STPP0.5Cu0.1Na		-	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคลโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์แบบชั้นตอนเดียว

3.3.2.1 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

1. เตรียมสารละลายโคโตซาน 2 % w/v โดยชั่งโคโตซาน 2 กรัม เติมน้ำกลั่นจนครบ 100 มิลลิลิตร และเติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 2 % v/v 100 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์และปั่นกวนให้สารละลายผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน
2. นำสารละลายโคโตซาน 50 ml มาผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต 25 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์และปั่นกวนให้สารละลายผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต ได้แก่ 0.001 0.01 และ 0.1 โมล/ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 3.2

3.3.2.2 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์

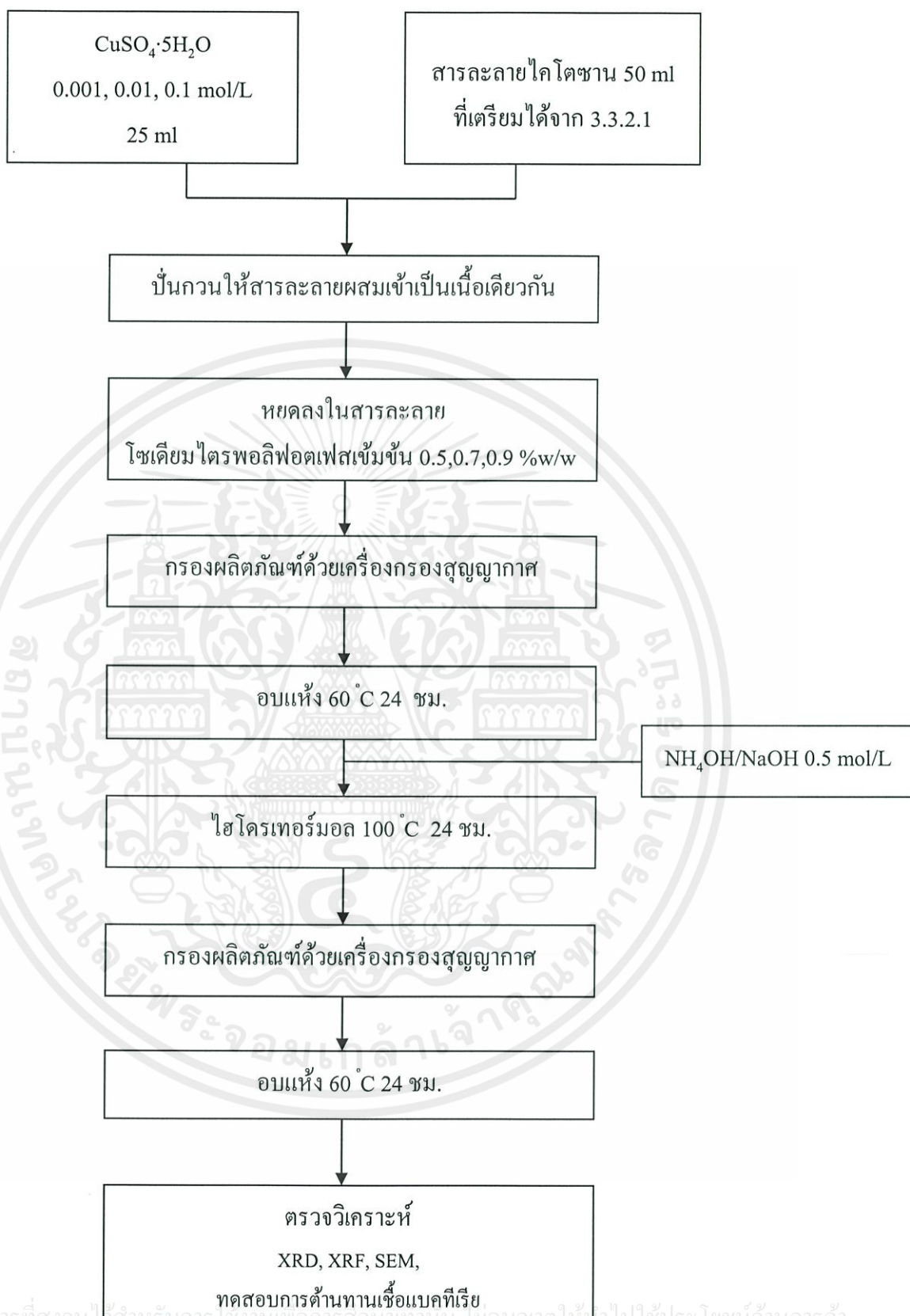
1. นำสารละลายโคโตซาน-คอปเปอร์ไอออน หยดลงในสารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟต ปริมาตร 100 มิลลิลิตร พร้อมปั่นกวนเป็นเวลา 10 นาที จะได้ตะกอนสีฟ้าขุ่น แล้วนำมากรองผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ โดยทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟตเป็น 0.5 0.7 และ 0.9 %w/w ดังแสดงในตารางที่ 3.2
2. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. นำอนุภาคโคโตซานที่คอปเปอร์ไอออนแล้วไปแช่ในสารละลายเบส ปริมาตร 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดแก้วทนความดันปิดผนึก เพื่อทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะทำการปรับเปลี่ยนชนิดสารละลายเบสในการทำปฏิกิริยา ได้แก่ แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมไฮดรอกไซด์
4. กรองผลิตภัณฑ์ที่ได้ด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ
5. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ เทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (XRD) เทคนิคการคายรังสีเอ็กซ์ (XRF) การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของตัวอย่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 สภาวะในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลของสารประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบขั้นตอนเดียว

ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้			
	ความเข้มข้น ของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	ความ เข้มข้น ของ STPP (%w/w)	สารละลายเบส	
			NH_4OH (mol/L)	NaOH (mol/L)
CST-Cu0.001STPP0.5NH	0.001	0.5	0.5	-
CST-Cu0.001STPP0.5Na			-	0.5
CST-Cu0.001STPP0.7NH		0.7	0.5	-
CTS-Cu0.001STPP0.7Na			-	0.5
CTS-Cu0.001STPP0.9NH		0.9	0.5	-
CTS-Cu0.001STPP0.9Na			-	0.5
CTS-Cu0.01STPP0.5NH	0.01	0.5	0.5	-
CTS-Cu0.01STPP0.5Na			-	0.5
CTS-Cu0.01STPP0.7NH		0.7	0.5	-
CTS-Cu0.01STPP0.7Na			-	0.5
CTS-Cu0.01STPP0.9NH		0.9	0.5	-
CTS-Cu0.01STPP0.9Na			-	0.5
CTS-Cu0.1STPP0.5NH	0.1	0.5	0.5	-
CTS-Cu0.1STPP0.5Na			-	0.5
CTS-Cu0.1STPP0.7NH		0.7	0.5	-
CTS-Cu0.1STPP0.7Na			-	0.5
CTS-Cu0.1STPP0.9NH		0.9	0.5	-
CTS-Cu0.1STPP0.9Na			-	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงสถานะในการเตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์

3.4.1 การวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD)

นำอนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.1.2 และอนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.2.2 ไปวัดการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ด้วยเครื่องเริ่มต้นตั้งแต่ $2\theta = 20^\circ - 80^\circ$ Step Size $0.05^\circ/\text{Step}$ Step time 1 Sec

3.4.2 การวิเคราะห์การคายรังสีเอ็กซ์ (X-ray fluorescence spectrometry, XRF)

วิเคราะห์ธาตุเชิงปริมาณด้วยเทคนิคการฉายรังสีเอ็กซ์ เพื่อหาปริมาณคอปเปอร์ที่เปลี่ยนไปในวัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยเทคนิค XRF อย่างไรก็ตามเครื่อง XRF ที่ใช้ไม่สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนของโคโคซานได้ ดังนั้นจึงต้องเติมสารมาตรฐานภายนอก (Standard addition) ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ที่ทราบปริมาณที่แน่นอน เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณคอปเปอร์ที่มีอยู่ในวัสดุประกอบ ดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

นำวัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.1.2 และอนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.2.2 ปริมาณ 0.45 กรัม ผสมกับซิงค์ออกไซด์ 0.05 กรัม และสารเจือจางบอริกแอซิด 4.5 กรัม บดผสมกันแล้วนำไปอัดขึ้นรูปเป็นก้อนตัวอย่าง

3.4.3 ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeters, DSC)

นำอนุภาคโคโคซานที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 3.3.1.1 อนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.1.2 และอนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.2.2 มาตรวจวิเคราะห์การเชื่อมโยง โดยมีสภาวะดังนี้ อุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์คือ $50 - 400$ องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน $10^\circ\text{C}/\text{min}$ และอัตราการไหลก๊าซไนโตรเจน $20 \text{ ml}/\text{min}$

3.4.4 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

นำอนุภาคโคโคซานที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 3.3.1.1 อนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.1.2 และอนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.2.2 มาตรวจวิเคราะห์พื้นฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยนำชิ้นงานไปเคลือบทองคำก่อนนำไปตรวจวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทดสอบการบวมตัวของอนุภาคโคโตซาน และอนุภาควัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ไอออน

1. นำอนุภาคโคโตซานที่เตรียมได้ขั้นตอนที่ 3.3.1.1 อนุภาควัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.1.2 และอนุภาควัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.2.2 มา 0.5 กรัมใส่ลงในตะแกรงโลหะความละเอียด 400 เมช มีดปากให้แน่นในลักษณะถุง ชั่งน้ำหนักถุงที่ได้ (W_1)

2. นำถุงไปแช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 24 ชม. แล้วนำขึ้นจากน้ำซับน้ำที่อยู่ด้านนอก แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_2)

3. นำถุงตะแกรงโลหะบรรจุอนุภาคโคโตซานและอนุภาควัสดุประกอบคอปเปอร์ไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนัก (W_3) นำค่าน้ำหนักที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของอนุภาคโคโตซานตามสมการที่ 3.1

$$\%S = \frac{|W_1 - W_2|}{W_1} \times 100$$

โดย %S คือ เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของอนุภาคโคโตซาน (%)

W_1 คือ น้ำหนักอนุภาคโคโตซานก่อนแช่น้ำกลั่น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักอนุภาคโคโตซานหลังแช่น้ำกลั่น (กรัม)

3.6 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

นำอนุภาควัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมได้ในขั้นตอน 3.3.2 มาทดสอบเปรียบเทียบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย โดยมาตรฐาน ASTM E2149-01 โดยใช้แบคทีเรีย *Escherichia coli* ในการทดสอบทำโดย

1. เตรียมสารแขวนลอยเชื้อตั้งต้น ความเข้มข้น 10^6 cfu/ml ลงในขวดรูปชมพู่
2. นำตัวอย่างที่ต้องการทดสอบแช่ลงในสารแขวนลอยเชื้อที่เตรียมไว้ แล้วนำไปเขย่าที่ความเร็ว 120 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. คูดสารแขวนลอยเชื้อภายหลังจากการแช่ตัวอย่างถ่ายลงสู่จานเพาะเชื้อที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วเกลี่ยให้ทั่ว นำเข้าตู้อบอินคิวเบเตอร์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำออกมานับจำนวนแบคทีเรียที่รอดชีวิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

4.1 การศึกษาผลการเชื่อมโยงไคโตซานด้วยสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต

จากการศึกษาผลการเชื่อมโยงไคโตซานด้วยสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STPP) เข้มข้น 0.5 %w/w และสารตัวอย่างไคโตซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP โดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเป็น 0.001 0.01 และ 0.1 โมล/ลิตร และความเข้มข้นของสารละลาย STPP เป็น 0.5 0.7 และ 0.9 %w/w แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC และการทดสอบการบวมตัวของไคโตซานในน้ำกลั่น ได้ผลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าพื้นที่ใต้กราฟของไคโตซานและไคโตซาน-คอปเปอร์ที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP จากเทอร์โมแกรม DSC และเปอร์เซ็นต์การบวมตัวของไคโตซานในน้ำกลั่น

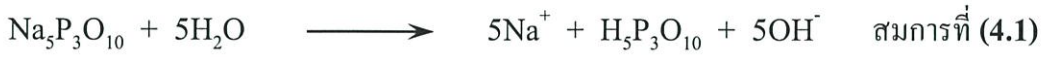
ชื่อสารตัวอย่าง	T _m (Onset) (°C)	พื้นที่ใต้กราฟ (J/g)	%Swell
Chitosan	176.6	197.3	-
CTS-STPP0.5	177.1	433.8	131.26
CTS-Cu0.1	171.2	506.7	56.72
CTS-Cu0.001STPP0.5	176.3	351.6	139.87
CTS-Cu0.001STPP0.7	177.5	351.5	132.48
CTS-Cu0.001STPP0.9	179.3	369.8	125.57
CTS-Cu0.01STPP0.5	176.0	296.3	150.84
CTS-Cu0.01STPP0.7	179.3	346.4	148.27
CTS-Cu0.01STPP0.9	182.7	360	124.53
CTS-Cu0.1STPP0.5	175.0	264.9	129.11
CTS-Cu0.1STPP0.7	172.4	355.4	109.98
CTS-Cu0.1STPP0.9	172.9	364.9	92.09

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต

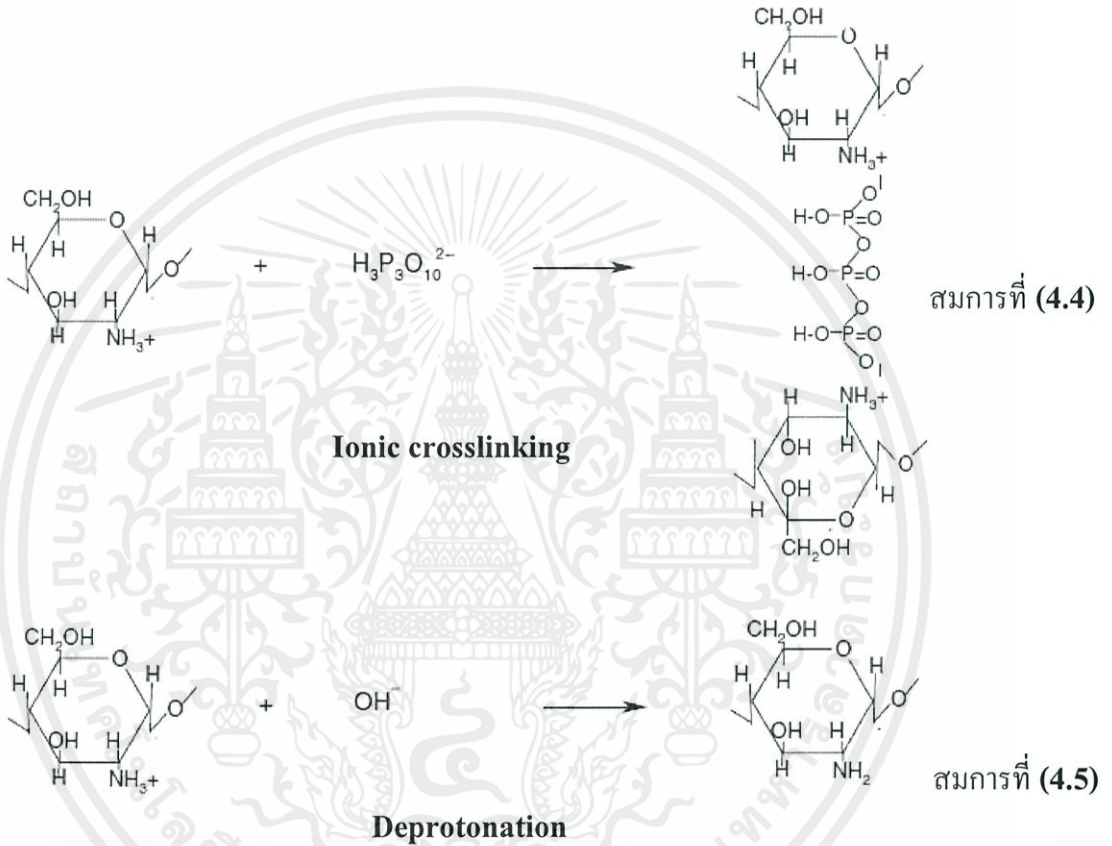
จากการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิหลอมเหลว (T_m) และพื้นที่ใต้กราฟของพีค T_m ของไคโตซานที่ถูกเชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP (CTS-STPP0.5) มีค่ามากกว่า T_m และพื้นที่ใต้กราฟของไคโตซานเริ่มต้นผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสายโซ่ไคโตซานถูกเชื่อมโยงด้วย STPP จริง เนื่องจากต้องใช้พลังงานในการสลายโครงสร้างที่สูงขึ้นซึ่งผลที่เกิดขึ้นสนับสนุนฐานว่าเมื่อ STPP ละลายน้ำจะเกิดการแตกตัวดังสมการที่ (4.1) - (4.3) ในรูปที่ 4.1 ซึ่ง $H_3P_3O_{10}^-$ ในสมการที่ (4.3) เป็นผลิตภัณฑ์หลักที่ก่อให้เกิดการเชื่อมโยงกับหมู่ NH_3^+ ของไคโตซาน ดังแสดงปฏิกิริยาในสมการที่ (4.4) อย่างไรก็ตามจะเห็นว่า OH^- เกิดเป็นผลผลิตร่วมในระบบดังแสดงในสมการที่ (4.1) ซึ่งหมู่ OH^- นี้ก่อให้เกิดปฏิกิริยาดิโปรโตเนชัน (Deprotonation) ของไคโตซานในสมการที่ (4.5) แข่งขันกับปฏิกิริยาเชื่อมโยงซึ่งอาจส่งผลทำให้การเชื่อมโยงของไคโตซานลดลง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5 และ CTS-Cu0.001STPP0.5 พบว่าพื้นที่ใต้กราฟของ CTS-Cu0.001STPP0.5 มีค่าน้อยกว่า CTS-STPP0.5 จึงสนับสนุนว่า CTS-Cu0.001STPP0.5 มีการเชื่อมโยงน้อยกว่า CTS-STPP0.5 จากนั้นได้ทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตเป็น 0.01 และ 0.1 โมล/ลิตร (CTS-Cu0.01STPP0.5 และ CTS-Cu0.1 STPP0.5 ตามลำดับ) พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณคอปเปอร์ในระบบค่าพื้นที่ใต้กราฟของสารตัวอย่าง CTS-Cu มีค่าลดลงตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าคอปเปอร์ไอออนส่งผลขัดขวางการเชื่อมโยงของไคโตซาน โดยคอปเปอร์ไอออนจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ NH_2 ในไคโตซานดังสมการที่ (4.6) ซึ่งเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ จะส่งผลให้เกิดการขัดขวางการเชื่อมโยงมากขึ้น ต่อมาจึงได้เพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย STPP เป็น 0.7 และ 0.9 %w/w เพื่อเพิ่มอัตราการเชื่อมโยงของไคโตซาน พบว่าสารตัวอย่างที่ใช้ STPP เข้มข้น 0.9 %w/w จะมีพื้นที่ใต้กราฟของ DSC มากกว่าสารตัวอย่างที่ใช้ STPP เข้มข้น 0.7 %w/w แสดงว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย STPP สามารถเพิ่มอัตราการเชื่อมโยงได้จริง ซึ่งผลการวิเคราะห์จากเทคนิค DSC ได้สอดคล้องกับผลการทดสอบการบวมตัวของไคโตซานในน้ำกลั่น โดยเมื่อใช้ความเข้มข้นสารละลาย STPP มากขึ้น การบวมตัวของสารตัวอย่าง CTS-Cu จะลดลง เนื่องจากอัตราการเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นทำให้ไคโตซานไม่สามารถบวมตัวได้

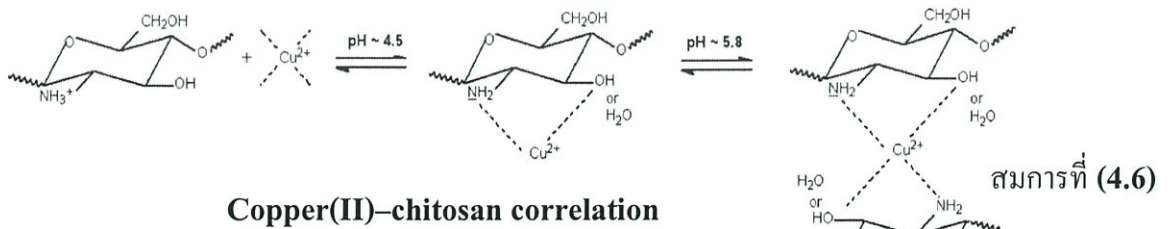
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Dissociation of sodium tripolyphosphate



รูปที่ 4.1 ปฏิกิริยาการแตกตัวของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตในน้ำ, ปฏิกิริยา Deprotonation และปฏิกิริยาการเชื่อมโยง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.2 ปฏิกิริยาการรวมตัวกันระหว่างไคโตซานและคอปเปอร์ไอออน

4.2 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการดูดซับ

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

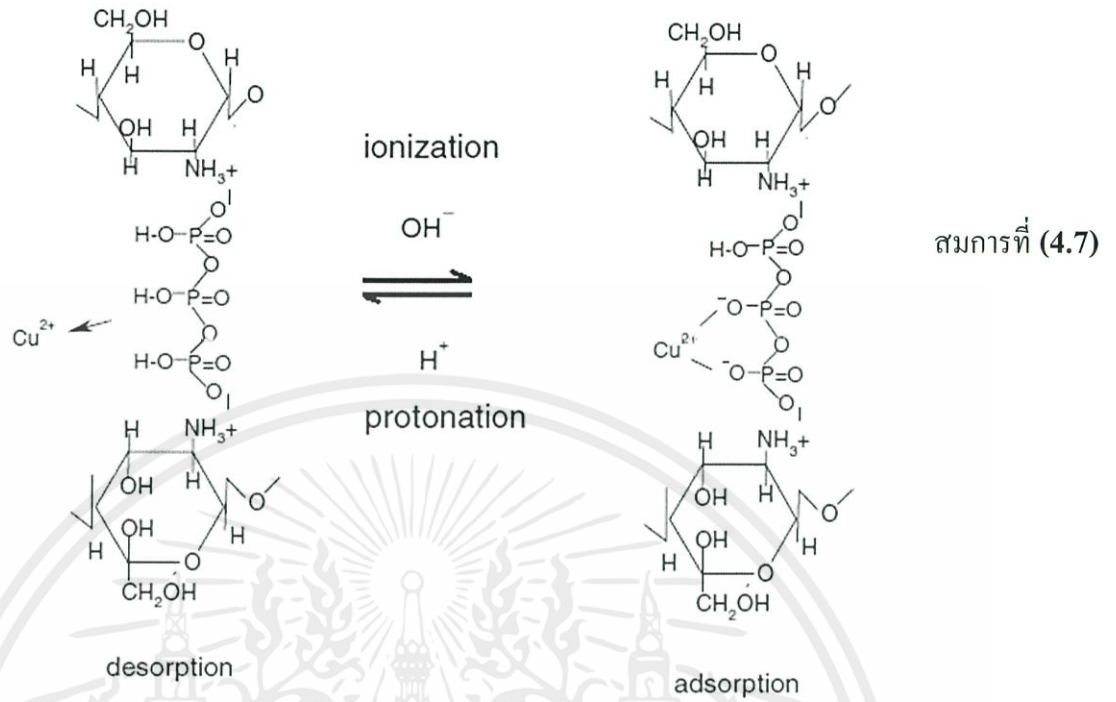
การตรวจวิเคราะห์ความสามารถในการดูดซับคอปเปอร์ไอออนของสารตัวอย่าง CTS-STPPCu0.001, CTS-STPPCu0.01 และ CTS-STPPCu0.1 โดยใช้เทคนิค XRF ด้วยวิธีการเติมเชิงค์-ออกไซด์เป็นสารมาตรฐาน (Standard addition method) เพื่อใช้เทียบเคียงในการศึกษาหาปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการดูดซับคอปเปอร์ไอออนสารประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออนด้วยวิธีการดูดซับ

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-STPP0.5Cu0.001	2.23	49.3	48.47	0.12
CTS-STPP0.5Cu0.01	12.1	44.5	43.4	0.20
CTS-STPP0.5Cu0.1	2.99	87.8	9.21	0.64

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณคอปเปอร์ไอออนที่สารตัวอย่าง CTS-STPP0.5 ดูดซับได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้สารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่เข้มข้นขึ้น ซึ่งคอปเปอร์ไอออนนั้นสันนิษฐานว่าจะถูกดูดซับด้วย ในร่างแหโคโคซาน 2 กลไก คือการดูดซับด้วยกลไกเชิงประจวบระหว่างคอปเปอร์ไอออนกับหมู่ฟอสเฟตของสารเชื่อมโยง STPP ดังสมการที่ (4.7) และการดูดซับทางกายภาพระหว่างโครงสร้างร่างแหโคโคซาน โดยการดูดซับคอปเปอร์ไอออนความเข้มข้นน้อยจะเกิดการดูดซับด้วยกลไกเชิงประจวบเป็นหลัก แต่กรณีที่มีความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนมากน่าจะเกิดการดูดซับด้วยกลไกทางกายภาพมากกว่ากลไกเชิงประจวบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 การดูดซับเชิงประจวบระหว่างคอปเปอร์ไอออนกับโครงสร้างร่างแหไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ภูมิภาคผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ในโครงสร้างร่างแห CTS-STPP0.5

ในการศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยวิธีการบรรจุคอปเปอร์ไอออนด้วยวิธีการดูดซับ โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของคอปเปอร์ไอออนได้แก่ 0.001 0.01 และ 0.1 โมล/ลิตร และชนิดของสารละลายเบส ได้แก่ สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการปรับเปลี่ยนสภาวะต่าง ๆ ได้ชื่อสารตัวอย่างดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ชื่อสารตัวอย่างที่ได้จากการปลูกผลึกในระบบไฮโดรเทอร์มอล

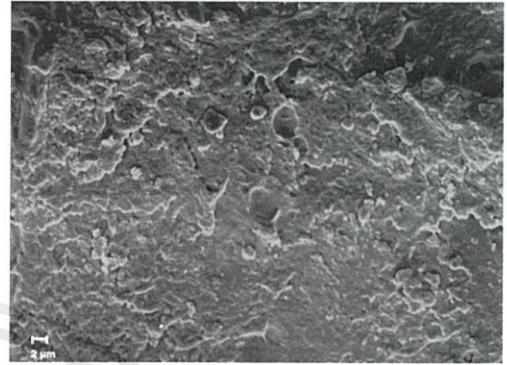
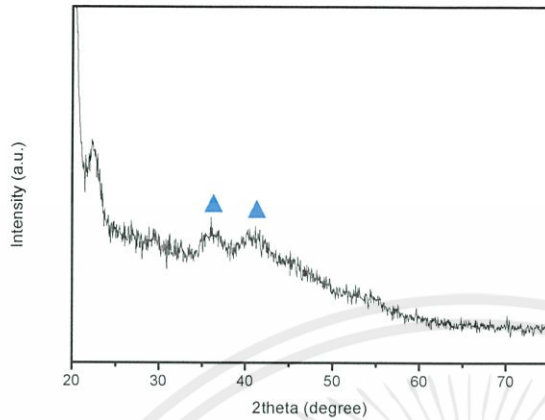
ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้		
	ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	สารละลายเบส	
		NH_4OH (mol/L)	NaOH (mol/L)
CTS-STPP0.5Cu0.001NH	0.001	0.5	-
CTS- STPP0.5Cu 0.001Na		-	0.5
CTS- STPP0.5Cu 0.01NH	0.01	0.5	-
CTS- STPP0.5Cu 0.01Na		-	0.5
CTS- STPP0.5Cu 0.1NH	0.1	0.5	-
CTS- STPP0.5Cu 0.1Na		-	0.5

จากนั้นนำวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค XRD และ SEM ตามลำดับ ดังแสดงผลในหัวข้อถัดไป

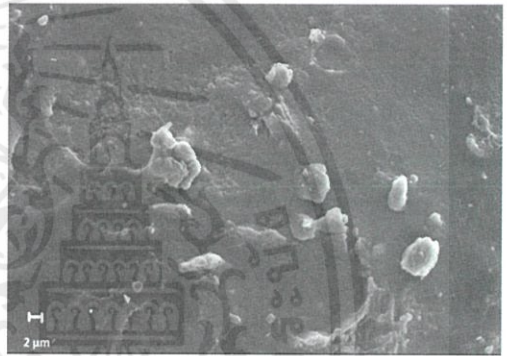
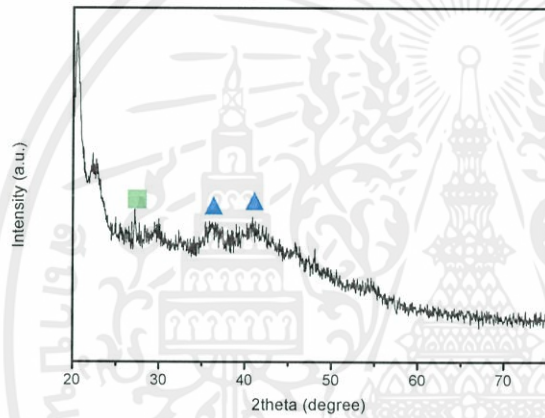
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.ระบบการปลูกผลึกในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

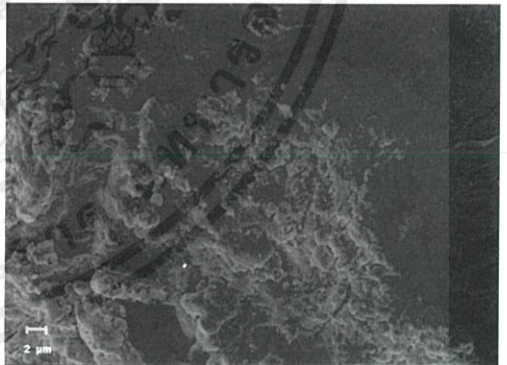
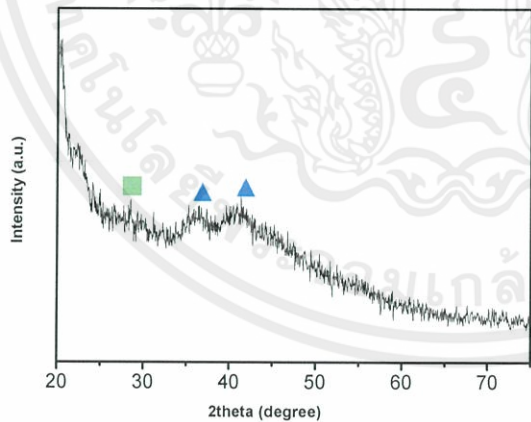
(a) CTS-STPP0.5Cu0.001NH



(b) CTS-STPP0.5Cu0.01NH



(c) CTS-STPP0.5Cu0.1NH



รูปที่ 4.4 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5 ที่ดูดซับคอปเปอร์ซัลเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.001 โมล/ลิตร (b) 0.01 โมล/ลิตร และ (c) 0.1 โมล/ลิตร ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO, ■: Cu₄SO₄(OH)₆)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คำปรึกษาแนะนำและตอบข้อสงสัยฟรีแก่อาจารย์ทุกท่านที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.4 พบว่าจากแผนภาพ XRD ของสารตัวอย่างที่เตรียมได้จากทั้ง 3 สภาวะแสดงพีกที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 36.63° และ 42.55° เมื่อพิจารณาจากเทคนิค SEM ของทั้ง 3 สภาวะพบว่าไม่สามารถสังเกตเห็นรูปร่างผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ได้ชัดเจน เนื่องจาก NH_4OH เป็นเบสอ่อนทำให้เกิดการแตกตัวเป็นหมู่ OH^- น้อย ทำให้ปริมาณ คอปเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นมีปริมาณน้อยหรือผลึกมีขนาดเล็กจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยเทคนิค SEM แสดงปฏิกิริยาก่อนผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ภายในสารละลาย NH_4OH ดังสมการที่ (4.8) - (4.10)



อย่างไรก็ตามสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5Cu0.01NH (รูปที่ 4.4(b)) และ CTS-STPP0.5Cu0.1NH (รูปที่ 4.4(c)) ยังพบพีกเอกลักษณ์ของ Brochantite ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$) ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 27.96° ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากการที่ใช้ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่มากเกินไป จึงมีสารตั้งต้น CuSO_4 เกิดปฏิกิริยากับ OH^- กลายเป็น Brochantite ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$) ดังแสดงปฏิกิริยาในสมการที่ (4.11) - (4.12)

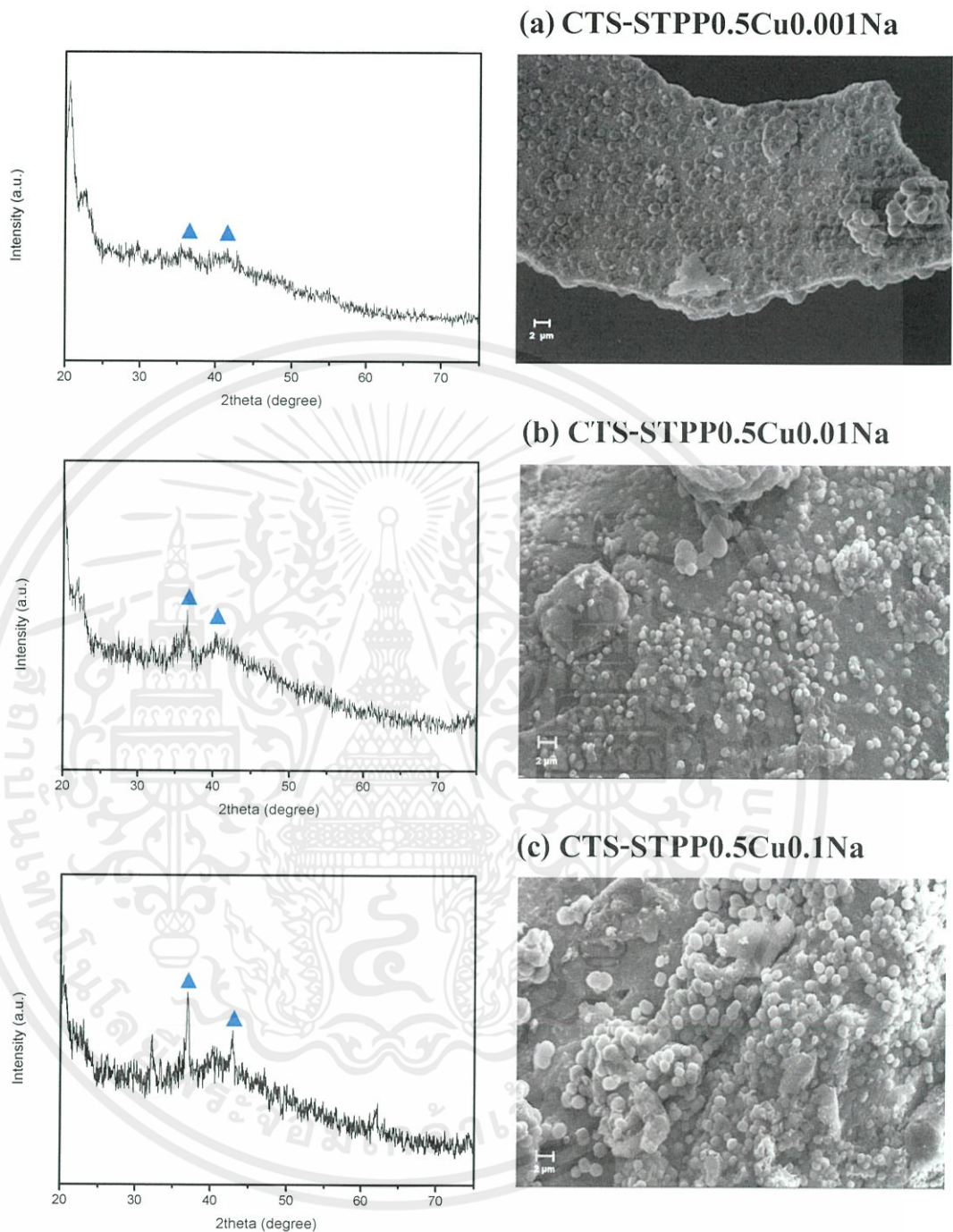


นอกจากนี้สันนิษฐานว่าคอปเปอร์ไอออนบางส่วนมีการหลุดออกมาจากวัสดุประกอบในขณะที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลและเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair electron) ของแอมโมเนีย (NH_3) ดังแสดงปฏิกิริยาในสมการที่ (4.13) - (4.14)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.ระบบการปลูกผลึกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์



รูปที่ 4.5 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5 ที่ถูกซบคอปเปอร์ซัลเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.001 โมล/ลิตร (b) 0.01 โมล/ลิตร และ (c) 0.1 โมล/ลิตร ที่ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO) ไม่ว่าจะฉีดใดๆทั้งสิ้น

จากรูปที่ 4.5 พบว่าแผนภาพ XRD ของวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ได้จากทั้ง 3 สถานะนั้น แสดงพีคที่เป็นเอกลักษณ์ของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 36.63° และ 42.55° โดยพบว่ามีสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5Cu0.1Na (รูปที่ 4.5(c)) มีพีคผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ที่เด่นชัดมากกว่าสารตัวอย่าง CTS-STPP0.5Cu0.01Na (รูปที่ 4.5(b)) และ CTS-STPP0.5Cu0.001Na (รูปที่ 4.5(a)) ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากปริมาณคอปเปอร์ไอออนเริ่มต้นที่แตกต่างกัน

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาจากเทคนิค SEM พบว่ามีลักษณะกลุ่มของผลึกขนาดระดับนาโนที่รวมตัวกันแน่นจนเป็นอนุภาคทรงกลม ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้สารละลายเบสแก่ NaOH ซึ่งสามารถแตกตัวให้หมู่ OH^- ซึ่งหมู่ OH^- สามารถก่อกัมกับ Cu^{2+} ทำให้เกิดเป็นจุดก่อกผลึกคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์และสามารถสังเคราะห์ผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ได้ ดังแสดงในสมการที่ (4.16) - (4.18)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

ในการศึกษาความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบโพลีโพรพิลีน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการดูดซับ โดยใช้เชื้อ 2 ชนิด ได้แก่เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ในการทดสอบ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบโพลีโพรพิลีน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการดูดซับ ตามมาตรฐาน L 1902: 1998

ตัวอย่าง	ขนาดของพื้นที่ยับยั้งเชื้อ (mm.)		หมายเหตุ
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	
CTS-STPP0.5Cu0.001NH	0	0	Active
CTS-STPP0.5Cu 0.001Na	0	0	Active
CTS-STPP0.5Cu 0.01NH	9.5	8	Active
CTS-STPP0.5Cu0.01Na	9	8	Active
CTS-STPP0.5Cu0.1NH	10	9	Active
CTS-STPP0.5Cu0.1Na	10	9	Active

จากการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบโพลีโพรพิลีน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับในดังตารางที่ 4.4 พบว่าวัสดุประกอบโพลีโพรพิลีน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.001 โมล/ลิตร (CTS-Cu0.001NH และ CTS-Cu0.001Na) ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ได้ ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเนื่องจากมีปริมาณของคอปเปอร์ออกไซด์น้อยเกินไป และอาจถูกกักเก็บไว้ด้านใน โครงสร้างร่างแหโพลีโพรพิลีน จึงไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ ขณะที่วัสดุประกอบโพลีโพรพิลีน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 โมล/ลิตร (CTS-STPP0.5Cu0.01NH, CTS-STPP0.5Cu0.01Na, CTS-STPP0.5Cu0.1NH และ CTS-STPP0.5Cu0.1Na) สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ซึ่งเป็นผลมาจากมีคอปเปอร์ออกไซด์มากพอที่จะก่อให้เกิดการยับยั้งการเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ ซึ่งคอปเปอร์ออกไซด์น่าจะเกิดอันตรกิริยากับความชื้นในอากาศเกิดเป็น H_2O_2 โดย H_2O_2 เป็นสารออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นอันตรายต่อเซลล์แบคทีเรีย [3]

4.3 การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์แบบชั้นตอนเดียว

4.3.1 องค์ประกอบทางเคมี

ตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์แบบที่สังเคราะห์แบบชั้นตอนเดียว โดยใช้เทคนิค XRF ด้วยวิธีการเติมเชิงค็อกออกไซด์เป็นสารมาตรฐาน (Standard addition method) เพื่อใช้เทียบเคียงในการศึกษาหาปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ที่เปลี่ยนไป ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.5 - 4.7

ตารางที่ 4.5 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ในวัสดุประกอบที่สังเคราะห์แบบชั้นตอนเดียวที่ใช้ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้น 0.001 โมล/ลิตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-Cu0.001STPP0.5NH	1.59	87.3	11.11	0.01
CTS-Cu0.001STPP0.7NH	1.68	94.62	3.7	0.02
CTS-Cu0.001STPP0.9NH	1.44	91.1	7.46	0.01
CTS-Cu0.001STPP0.5Na	2.99	87.8	9.21	0.02
CTS-Cu0.001STPP0.7Na	3.84	87.0	9.16	0.04
CTS-Cu0.001STPP0.9Na	2.61	94.21	3.81	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ในวัสดุประกอบที่สังเคราะห์แบบชั้นตอนเดียวที่ใช้ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้น 0.01 โมล/ลิตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-Cu0.01STPP0.5NH	4.43	88.0	7.57	0.04
CTS-Cu0.01STPP0.7NH	5.45	85.0	9.55	0.06
CTS-Cu0.01STPP0.9NH	8.1	80.3	11.6	0.10
CTS-Cu0.01STPP0.5Na	16	75.3	8.7	0.21
CTS-Cu0.01STPP0.7Na	30.3	29.0	40.7	1.07
CTS-Cu0.01STPP0.9Na	15.7	76.7	7.6	0.21

ตารางที่ 4.7 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ในวัสดุประกอบที่สังเคราะห์แบบชั้นตอนเดียวที่ใช้ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเริ่มต้น 0.1 โมล/ลิตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-Cu0.1STPP0.5 NH	26.0	67.1	6.9	0.39
CTS-Cu0.1STPP0.7NH	45.4	42.4	12.2	1.09
CTS-Cu0.1STPP0.9NH	34.1	59.2	6.7	0.59
CTS-Cu0.1STPP0.5Na	46.4	43.6	10	1.09
CTS-Cu0.1STPP0.7Na	54.3	40.5	5.2	1.37
CTS-Cu0.1STPP0.9Na	53.5	40.9	5.6	1.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลอง พบว่าสารตัวอย่างที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลจะเกิดคอปเปอร์ออกไซด์ในปริมาณที่มากกว่าสารตัวอย่างที่ใช้สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อทำการแช่สารตัวอย่างไคโตซาน-คอปเปอร์ไอออนในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ก่อนทำการไฮโดรเทอร์มอลนั้น พบว่าสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เปลี่ยนเป็นสารละลายสีฟ้าซึ่งสันนิษฐานว่า OH^- เกิดการรวมตัวกับ Cu^{2+} นอกจากนี้คอปเปอร์ไอออนในสารตัวอย่างอาจจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว (Lone pair electron) ของแอมโมเนีย (NH_3) ดังสมการที่ (4.13) - (4.15) จึงส่งผลให้ปริมาณคอปเปอร์ไอออนในวัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ไอออนลดลง อีกทั้งสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์มีความเป็นเบสค่อนข้างต่ำทำให้เกิดการแตกตัวเป็นหมู่ OH^- น้อยกว่า นอกจากนี้สารตัวอย่างที่ใช้คอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร จะเกิดคอปเปอร์ออกไซด์มากกว่าสารตัวอย่างที่ใช้คอปเปอร์ซัลเฟตความเข้มข้น 0.01 และ 0.001 โมล/ลิตร ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5 - 4.7

สันนิษฐานว่าความเข้มข้น STPP ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ pH เพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานและคอปเปอร์ไอออน ดังสมการที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบวัสดุประกอบที่ใช้ความเข้มข้นของ STPP ต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้น STPP จาก 0.5 %w/w เป็น 0.7 %w/w จะส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างไคโตซานและคอปเปอร์ไอออนมากขึ้น ในขณะที่วัสดุประกอบที่ใช้ความเข้มข้น STPP 0.9 %w/w สันนิษฐานว่าจะก่อให้เกิด pH ที่สูงขึ้น ส่งผลให้ STPP ที่มีสัดส่วนมากกว่าคอปเปอร์ไอออนเข้าทำปฏิกิริยากับไคโตซานเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโยง ตามสมการที่ 4.4 เป็นหลัก ส่งผลให้ปริมาณคอปเปอร์ในโครงสร้างร่างแหไคโตซานลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 วัฏภาคผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ในโครงสร้างร่างแหโคโตซาน

ในการศึกษาผลของสภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์วัสดุประกอบคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยวิธีการแบบขั้นตอนเดียวโดยใช้ชนิดของสารละลายเบสในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ วัสดุประกอบที่เตรียมได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ชื่อสารตัวอย่างที่ได้จากการปลูกผลึกในระบบไฮโดรเทอร์มอล

ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้			
	ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	ความเข้มข้น ของ STPP (%w/w)	สารละลายเบส	
			NH_4OH (mol/L)	NaOH (mol/L)
CTS-Cu0.001STPP0.5NH	0.001	0.5	0.5	-
CTS-Cu0.001STPP0.5Na			-	0.5
CTS-Cu0.001STPP0.7NH		0.7	0.5	-
CTS-Cu0.001STPP0.7Na			-	0.5
CTS-Cu0.001STPP0.9NH		0.9	0.5	-
CTS-Cu0.001STPP0.9Na			-	0.5
CTS-Cu0.01STPP0.5NH	0.01	0.5	0.5	-
CTS-Cu0.01STPP0.5Na			-	0.5
CTS-Cu0.01STPP0.7NH		0.7	0.5	-
CTS-Cu0.01STPP0.7Na			-	0.5
CTS-Cu0.01STPP0.9NH		0.9	0.5	-
CTS-Cu0.01STPP0.9Na			-	0.5
CTS-Cu0.1STPP0.5NH	0.1	0.5	0.5	-
CTS-Cu0.1STPP0.5Na			-	0.5
CTS-Cu0.1STPP0.7NH		0.7	0.5	-
CTS-Cu0.1STPP0.7Na			-	0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้			
	ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	ความเข้มข้น ของ STPP (%w/w)	สารละลายเบส	
			NH_4OH (mol/L)	NaOH (mol/L)
CTS-Cu0.1STPP0.9NH	0.1	0.9	0.5	-
CTS-Cu0.1STPP0.9Na			-	0.5

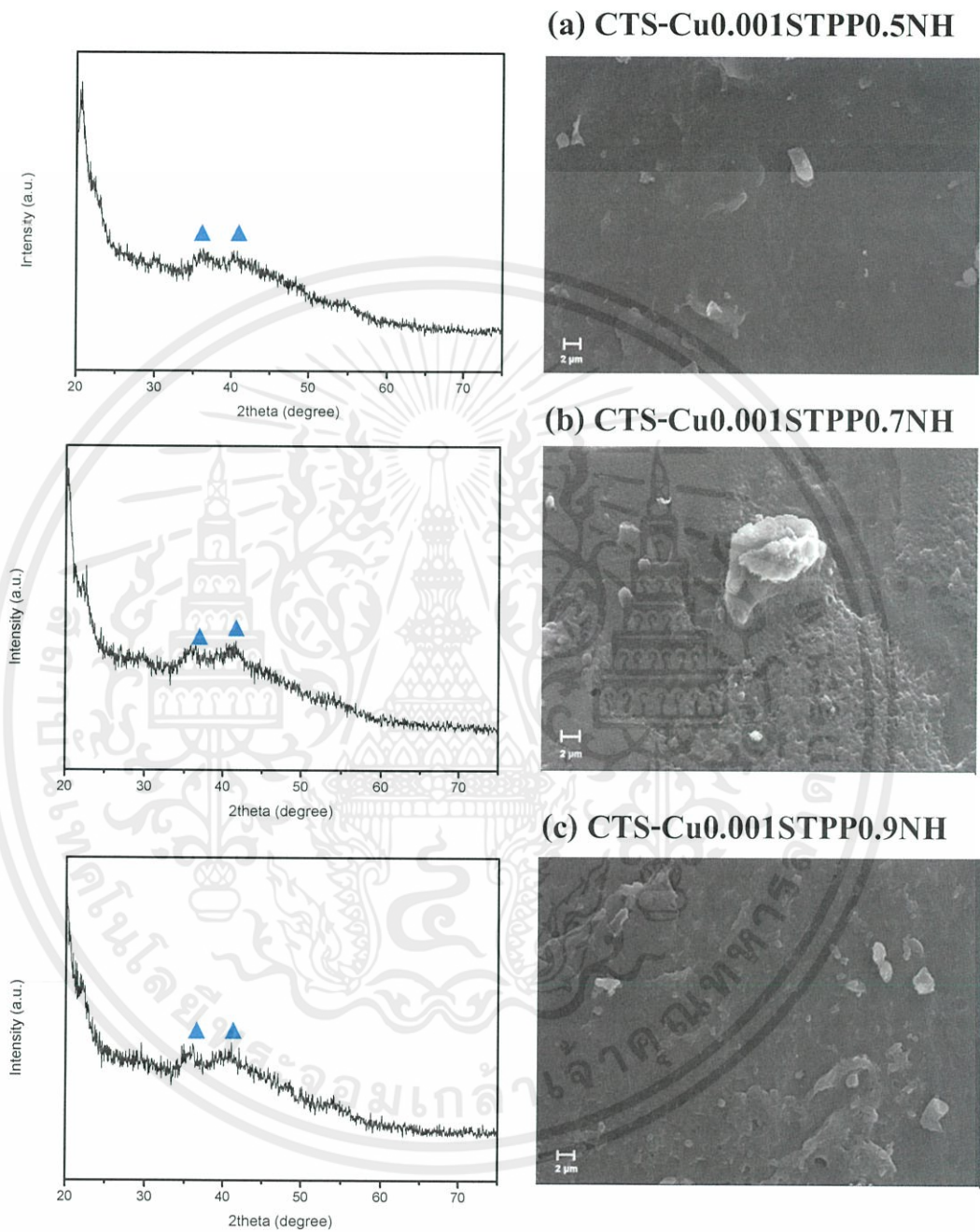
จากนั้นนำวัสดุประกอบที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์โครงสร้างผลึกและสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค XRD และ SEM ตามลำดับ ดังแสดงผลในหัวข้อถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.ระบบการปลูกผลึกในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

- ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต 0.001 โมล/ลิตร



รูปที่ 4.6 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.001 ที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย

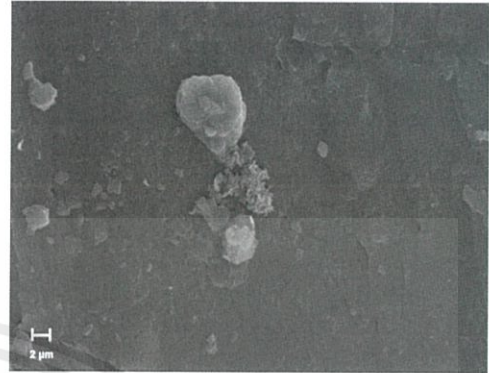
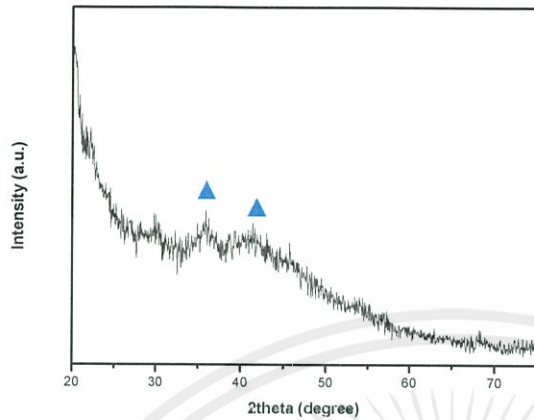
โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายแอมโมเนียม

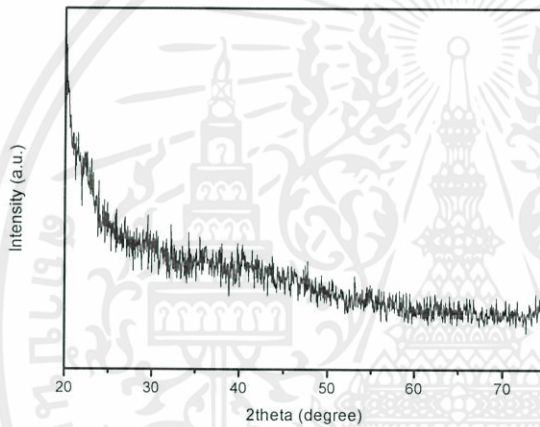
ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO)

• ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต 0.01 โมล/ลิตร

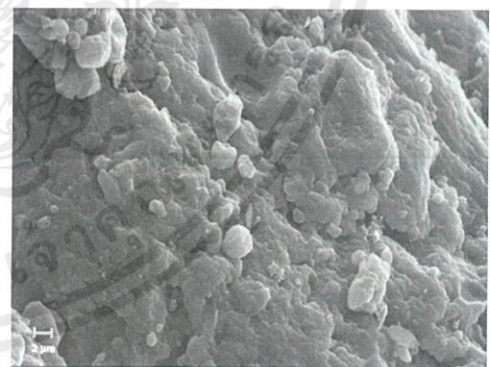
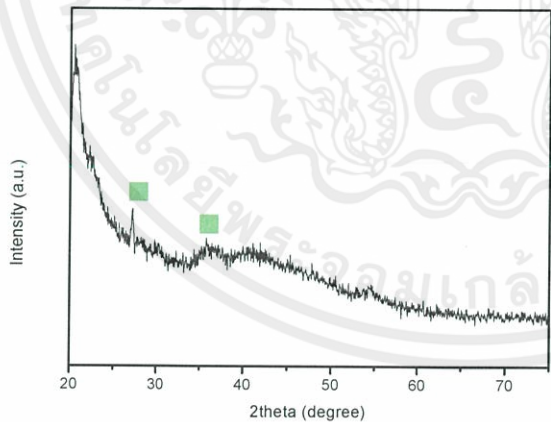
(a) CTS-Cu0.01STPP0.5NH



(b) CTS-Cu0.01STPP0.7NH



(c) CTS-Cu0.01STPP0.9NH

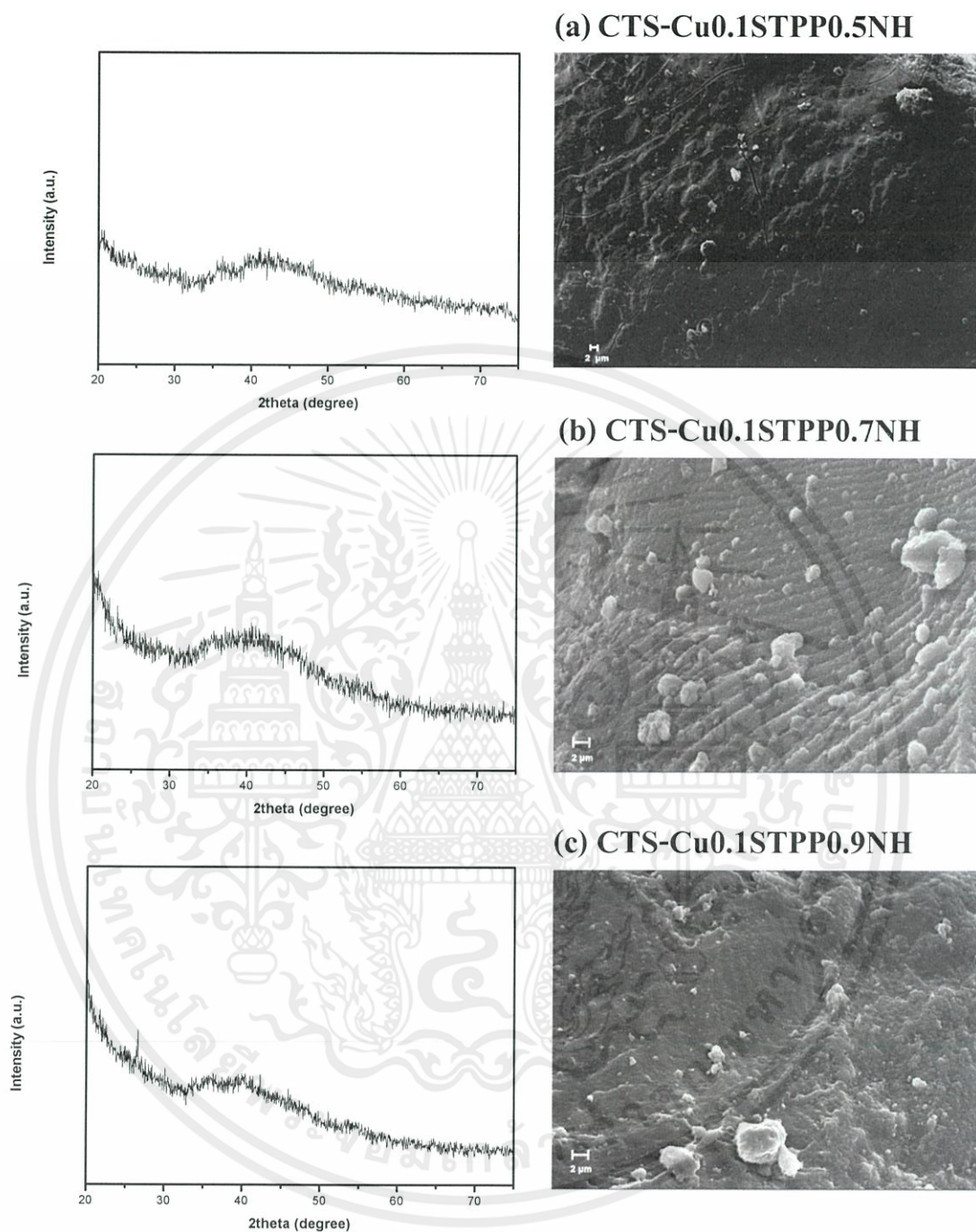


รูปที่ 4.7 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.01 ที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO, ■: Cu₄SO₄(OH)₆)

•ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต 0.1 โมล/ลิตร



รูปที่ 4.8 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.1 ที่เชื่อมโยงด้วยสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO, ■: Cu₄SO₄(OH)₆)

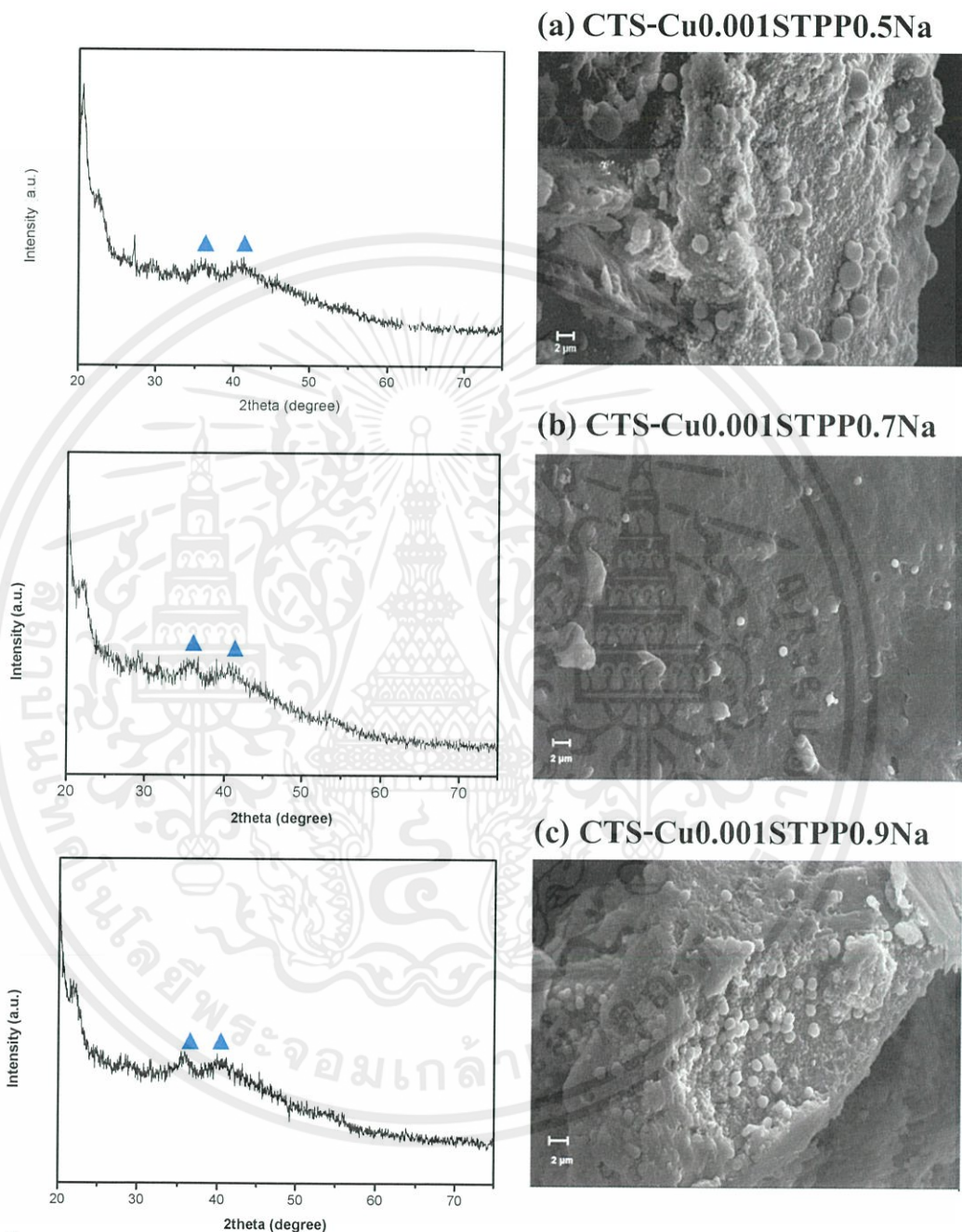
ในรูปที่ 4.6 (a), (b) และ(c) และรูปที่ 4.7(a) แสดงผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง CTS-Cu0.001STPP0.5NH, CTS-Cu0.001STPP0.7NH, CTS-Cu0.001STPP0.9NH และ CTS-Cu0.01STPP0.5NH ตามลำดับ พบว่าแผนภาพ XRD นั้นแสดงพีกที่เป็นเอกลักษณ์ของคอปเปอร์ออกไซด์ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 36.63° และ 42.55° เนื่องจากหมู่ OH^- ของ NH_4OH เข้าทำปฏิกิริยากับ Cu^{2+} ดังสมการที่ (4.8) - (4.10) และสารตัวอย่าง CTS-Cu0.01STPP0.9NH (รูปที่ 4.6 (c)) ยังพบพีกเอกลักษณ์ของ Brochantite ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$) ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 27.96° และ 34.12° ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากการที่ให้ความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตที่มากเกินไป CuSO_4 จึงเกิดปฏิกิริยากับ OH^- กลายเป็น Brochantite ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$) ดังสมการที่ (4.11) - (4.12) ในขณะที่ (รูปที่ 4.6 (a) - (c) และรูปที่ 4.7 (a)) พบพีกที่แสดงลักษณะของโครงสร้างอสังฐานทั้งที่น่าจะเนื่องมาจากความเข้มข้นของสารละลายเบสไม่เพียงพอต่อการสังเคราะห์คอปเปอร์ออกไซด์ในตัวอย่างดังกล่าว

เมื่อศึกษาสัณฐานวิทยาจากเทคนิค SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.6 - 4.8 พบว่าไม่สามารถสังเกตเห็น รูปผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ เนื่องจาก NH_4OH เป็นเบสอ่อนทำให้เกิดการแตกตัวเป็นหมู่ OH^- น้อย ส่งผลให้เกิดปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์น้อยหรือเกิดผลึกที่มีขนาดเล็กจนไม่สามารถสังเกตเห็นได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.ระบบการปลูกผลึกในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

- ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต 0.001 โมล/ลิตร



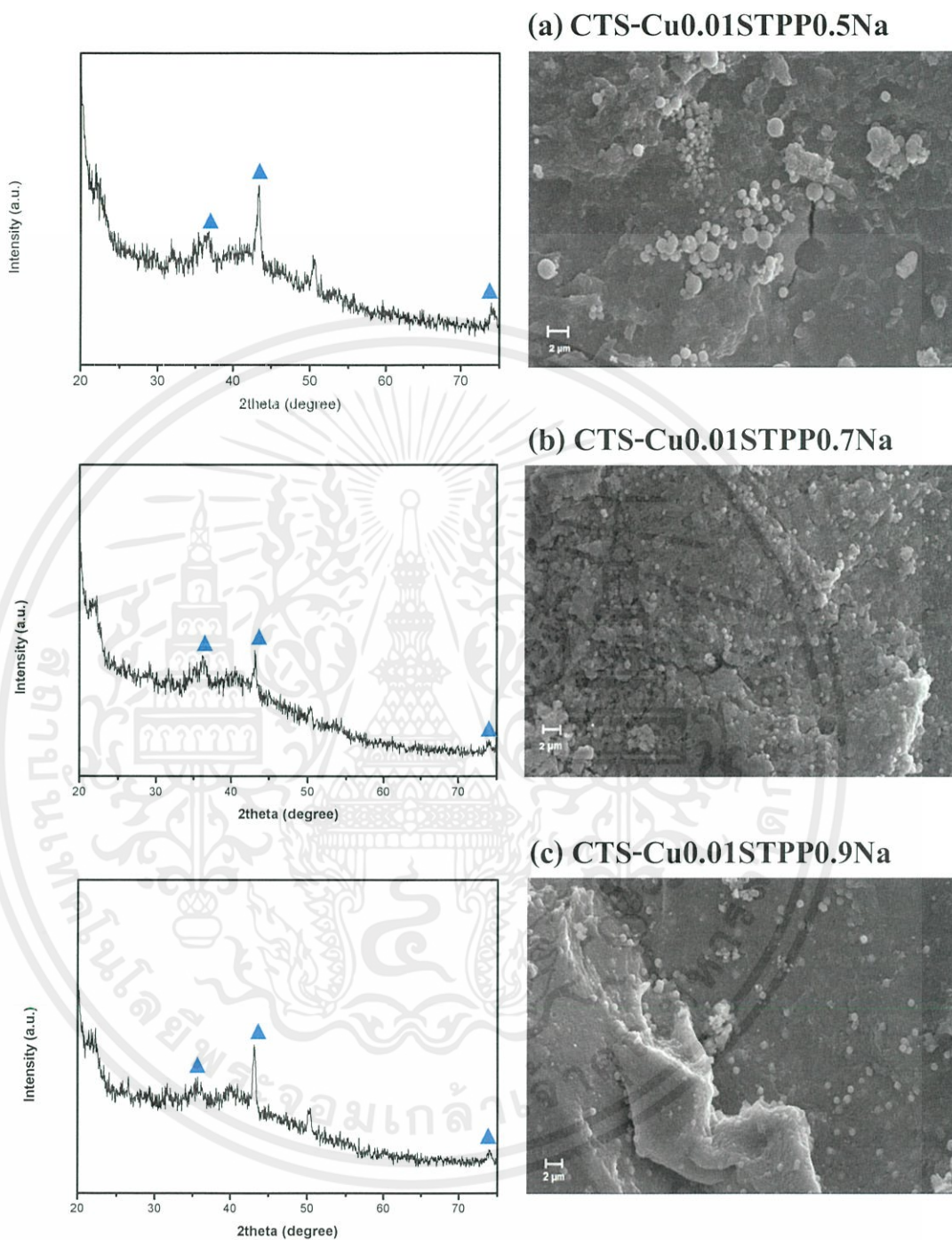
รูปที่ 4.9 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.001 ที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายโซเดียม

ไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO)

• ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต 0.01 โมล/ลิตร



รูปที่ 4.10 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.01 ที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย

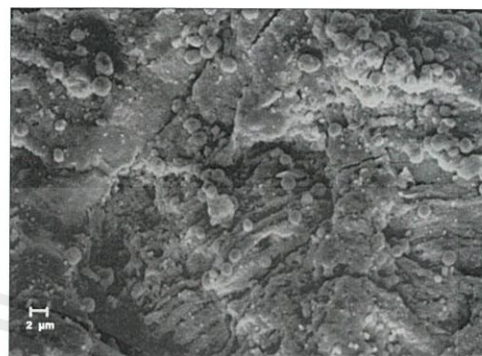
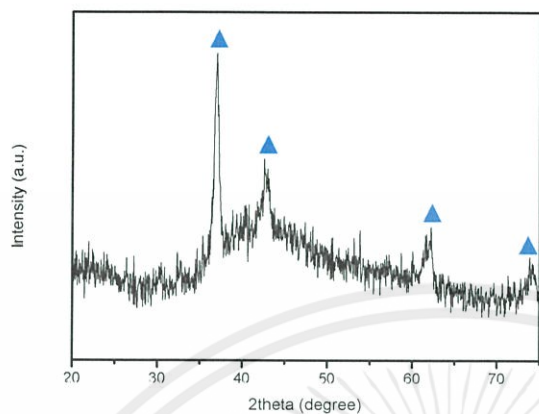
โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ

(c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO)

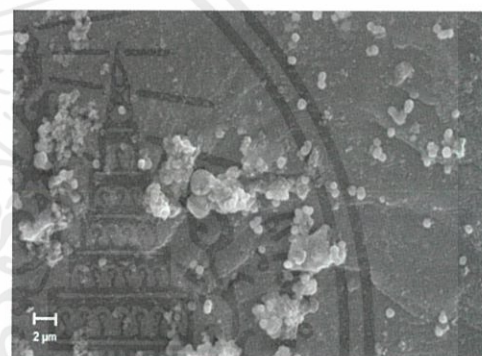
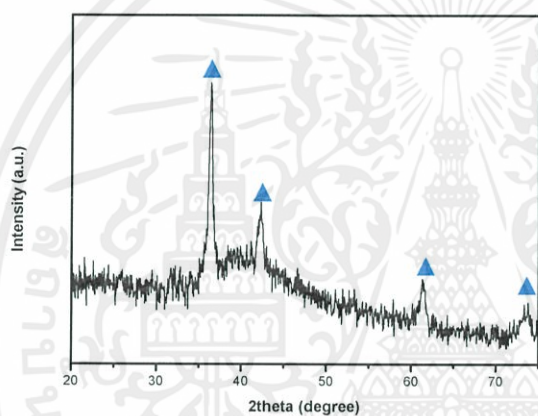
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุผลบางเนื้อหาและต้องขออนุญาตเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

• ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟต 0.1 โมล/ลิตร

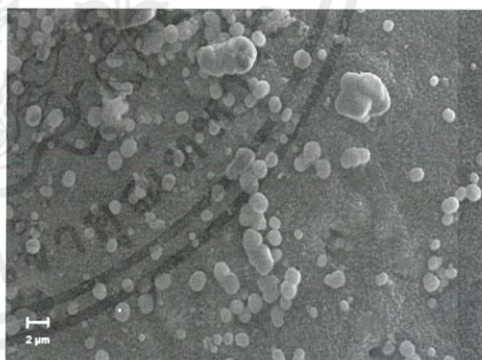
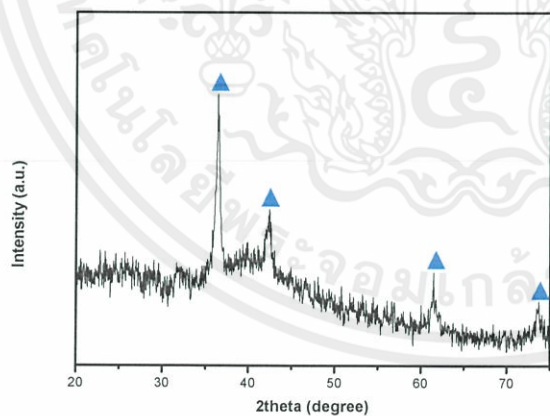
(a) CTS-Cu0.1STPP0.5Na



(b) CTS-Cu0.1STPP0.7Na



(c) CTS-Cu0.1STPP0.9Na



รูปที่ 4.11 แผนภาพ XRD และรูป SEM ของสารตัวอย่าง CTS-Cu0.1 ที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย

โซเดียมไตรฟอสเฟตที่เข้มข้นแตกต่างกันได้แก่ (a) 0.5%w/w (b) 0.7%w/w และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ (c) 0.9%w/w ที่ผ่านการปลูกผลึกด้วยไฮโดรเทอร์มอลโดยสารละลายโซเดียมไตรฟอสเฟตเข้มข้น 0.5 โมล/ลิตร อุณหภูมิ 100 °C (▲: CuO)

ในรูปที่ 4.9 (a), (b) และ (c) แสดงผลการวิเคราะห์สารตัวอย่าง CTS-Cu0.001STPP0.5Na, CTS-Cu 0.001STPP0.7Na และ CTS-Cu0.001STPP0.9Na ตามลำดับ พบพีกที่เป็นเอกลักษณ์ของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 36.63° และ 42.55° แต่ไม่ชัดเจนเนื่องจากถูกบดบังด้วยวัฏภาคอสังฐานในช่วง $2\theta = 25^\circ - 55^\circ$ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตที่ 0.01 โมล/ลิตร พบพีกเอกลักษณ์ของอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ร่วมกับวัฏภาคอสังฐานแต่สัดส่วนวัฏภาคอสังฐานลดลง ที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 36.63° , 42.55° และ 61.76° ดังแสดงในรูปที่ 4.10 (a), (b) และ (c) ในขณะที่ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตที่ 0.1 โมล/ลิตร จะพบว่าสัญญาณของคอปเปอร์ออกไซด์ชัดเจนมากขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 36.63° , 42.55° , 61.76° และ 74.00° ดังแสดงในรูปที่ 4.11(a), (b) และ (c) จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของคอปเปอร์ซัลเฟตจะส่งผลให้พบความเข้มพีกของคอปเปอร์ออกไซด์เด่นชัดขึ้น

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาจากเทคนิค SEM ของรูปที่ 4.9 - 4.11 พบว่ามีลักษณะกลุ่มของผลึกขนาดระดับนาโนที่รวมตัวกันแน่นจนเป็นอนุภาคทรงกลมผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่อใช้สารละลายเบสแก่ NaOH จะสามารถแตกตัวให้หมู่ OH⁻ ซึ่งหมู่ OH⁻ สามารถก่อพันธะกับ Cu²⁺ ทำให้เกิดเป็นจุดผลึกคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์และสามารถสังเคราะห์ผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ได้ ดังสมการที่ (4.16) - (4.18)

นอกจากนี้ยังพบว่าสารตัวอย่างที่ใช้คอปเปอร์ไอออนเข้มข้น 0.001 และ 0.01 โมล/ลิตรและเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเข้มข้น 0.7 และ 0.9 %w/w (รูปที่ 4.9(b) และ (c)) และ (รูปที่ 4.10(b) และ (c)) มีการก่อผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มผลึกขนาดเล็กระดับนาโนที่เกาะตัวรวมกันเป็นอนุภาคทรงกลม ซึ่งอนุภาคของกลุ่มผลึกที่ได้มีขนาดเล็กกว่าวัสดุประกอบที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเข้มข้น 0.5 %w/w (รูปที่ 4.9(a)) และ (รูปที่ 4.10 (a))

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

ในการศึกษาความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการแบบขั้นตอนเดียว โดยใช้เชื้อ 2 ชนิด ได้แก่ เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ในการทดสอบ ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของสารประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ขั้นตอนเดียว ตามมาตรฐาน L 1902: 1998

ตัวอย่าง	ขนาดของพื้นที่ยับยั้งเชื้อ (mm.)		หมายเหตุ
	<i>S. aureus</i>	<i>E. coli</i>	
CTS-Cu0.001STPP 0.5NH	7	0	Active
CTS-Cu0.001STPP 0.5Na	7.5	0	Active
CTS-Cu0.01STPP 0.5NH	10	9.5	Active
CTS-Cu0.01STPP 0.5Na	10	10.5	Active
CTS-Cu0.1STPP 0.5NH	11	11	Active
CTS-Cu0.1STPP 0.5Na	11	11	Active

จากการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของสารประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ขั้นตอนเดียว ดังตารางที่ 4.9 พบว่าสารประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.001 โมล/ลิตร (CTS-Cu0.001STPP0.5NH และ CTS-Cu0.001STPP0.5Na) ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* แต่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้ ขณะที่สารประกอบโคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 และ 0.01 โมล/ลิตร สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งสองชนิดเนื่องจากเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวกที่มีผนังเซลล์เพียงชั้นเดียวที่ประกอบไปด้วยเพปติโดไกลเคน (peptidoglycan) เป็นหลัก และมีรูพรุนจำนวนมาก ทำให้คอปเปอร์เข้าไปทำลาย DNA ในเซลล์ได้ง่าย ซึ่งต่างจากแบคทีเรีย *E. coli* ที่เป็นแบคทีเรียแกรมลบมีผนังเซลล์สองชั้นและยังมีสารพิษ (lipopolysaccharide) ที่ผนังเซลล์ชั้นนอก จึงสามารถป้องกันเซลล์จากการถูกทำลายได้ดีกว่า *S. aureus* [26]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลของวิธีการเตรียมวัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออน

• วิธีการดูดซับ

เมื่อนำโคโคซานที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟต ไปดูดซับสารละลายคอปเปอร์ไอออนแล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนจะเป็นผลให้ปริมาณคอปเปอร์ในวัสดุประกอบมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากคอปเปอร์ไอออนเกิดการดูดซับทั้งทางเคมีและทางกายภาพในโครงสร้างร่างแหโคโคซาน

• วิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว

ในวิธีนี้เตรียมวัสดุประกอบโดยทำการเชื่อมโยงสารละลายผสมโคโคซานและคอปเปอร์ไอออนด้วยโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟต พบว่าเมื่อความเข้มข้นของคอปเปอร์ไอออนเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้การเชื่อมโยงสายโซ่โคโคซานมีค่าลดลง ในทางตรงข้ามพบว่าปริมาณการเชื่อมโยงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารเชื่อมโยงโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟต

5.1.2 ผลของระบบสารละลายเบสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล

เมื่อนำวัสดุประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออนที่เตรียมด้วยวิธีการดูดซับและวิธีการเตรียมแบบขั้นตอนเดียว มาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบสที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ NaOH และ NH_4OH เพื่อสร้างอนุภาคผลึกคอปเปอร์ออกไซด์ในวัสดุประกอบพบว่าสารตัวอย่างที่เตรียมได้จากระบบที่ใช้ NaOH มีปริมาณผลึกคอปเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ในปริมาณมากกว่าในระบบที่ใช้ NH_4OH

ทั้งนี้ในระบบที่ใช้ NaOH พบว่าในวัสดุประกอบที่เตรียมแบบขั้นตอนเดียวโดยใช้คอปเปอร์ไอออนเข้มข้น 0.001 และ 0.01 โมล/ลิตรและเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตเข้มข้น 0.7 และ 0.9 %w/w มีการก่อผลึกของคอปเปอร์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นกลุ่มผลึกขนาดเล็กระดับนาโนที่เกาะตัวรวมกันเป็นอนุภาคทรงกลม ซึ่งอนุภาคของกลุ่มผลึกที่ได้มีขนาดเล็กกว่าวัสดุประกอบที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไทรพอลิฟอสเฟตเข้มข้น 0.5 %w/w

5.1.3 การต้านทานเชื้อแบคทีเรียของวัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์

• วิธีการดูดซับ

วัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ไอออน 0.001 โมล/ลิตร ไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *E. coli* ได้ ในขณะที่วัสดุประกอบที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ไอออน 0.1 และ 0.01 โมล/ลิตร สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ โดยมีขนาดพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดที่ใกล้เคียงกัน

• วิธีการเตรียมแบบชั้นตอนเดียว

วัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีแบบชั้นตอนเดียวที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ไอออน 0.001 โมล/ลิตร สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* ได้เพียงชนิดเดียว ในขณะที่วัสดุประกอบที่เตรียมจากสารละลายคอปเปอร์ไอออน 0.1 และ 0.01 โมล/ลิตร ที่เตรียมด้วยสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.5 w/w% เหมือนกัน พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ และมีขนาดพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อเปรียบเทียบวัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธีการแบบดูดซับและแบบชั้นตอนเดียว พบว่าวัสดุประกอบทั้งสองกลุ่มมีขนาดพื้นที่การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เตรียมอนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์โดยสภาวะอื่น ๆ เช่น เพิ่มความเข้มข้นของสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล
2. พัฒนาระบบการสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซาน-คอปเปอร์ออกไซด์ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลด้วยอโตเคลฟขนาดใหญ่ เพื่อพัฒนาไปสู่การประยุกต์ใช้ในการผลิตที่กรองอากาศในเครื่องปรับอากาศระดับอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกวลี ขันรัชชัยภูมิ, จุฬารัตน์ ขนไทย, จุฬารัตน์ เลิศคุณาธรรมรงค์. “การศึกษาเปรียบเทียบการดูดซับโครเมียม(III)โดยใช้ไคโตซานและไคโตซานที่ปรับปรุงโครงสร้างด้วยกลูตาอัลดีไฮด์” ปรินญา นิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- [2] ศิลมนชัยภักดิ์,ศุภกิจ โหศิริ และ สุชาดา บุญญาเดช.“การศึกษาฟิล์มพอลิเมอร์ผสมไคโตซานและพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เพื่อเคลือบผิวอายุการเก็บรักษามะนาว”. ปรินญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร, 2543.
- [3] จูติมา โชติกสถิต, ณัฐนีน ปรีวัตรอัคริมา และ ณัฐฐิกา อภิรักษ์เสนา.“การสังเคราะห์อนุภาควัสดุประกอบไคโตซานคอปเปอร์(II)ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล”. ปรินญานิพนธ์วิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร,2555.
- [4] วรณนภา จำเนียรพีช.“การศึกษาสมบัติของรอยต่อวิวิธพันธ์ของไดโอ Cds/CuO **Heterojunction properties of Cds/Cuo**”.วิทยานิพนธ์ สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร.
- [5] Reaed“**Copper Oxide Powder**”.[Online].(Access on 18 October 2013) Available: http://www.reade.com/th/products/35_oxides-metallic-powders/143.
- [6] I. Lisiecki1, et al. “Syntheses of copper nanoparticles in gelified microemulsion and in reverse micelles”. Journal of Molecular Liquids 72 (1997) 251-261.
- [7] S.A. Vorobyova, et al. “Interphase synthesis and some characteristics of stable colloidal solution of CuO in octane”. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 150 (1999) 297–300.
- [8] M.Vaseem, et al. “Flower-shaped CuO nanostructures: structural, photocatalytic and XANES studies Catal. Commun”. 10 (2008), pp. 11–16.
- [9] Heinlaan M,et al.“Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO₂ to bacteria *Vibrio fischeri* and crustaceans *Daphnia* and *Thamnocephalus platyurus*”.Chemosphere 71, 1308-1316 (2008).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Margit Heinlaan, Anne Kahru, KajaKasemets, et al. “Changes in the *Daphnia magna*
- [11] RedaM.Mohamed, et al. “CuOnanobelts synthesized by a template-free hydrothermal approach with optical and magnetic characteristics”. *Ceramics International* (2013).
- [12] Sunghoon Park, et al. “Synthesis and ethanol sensing properties of CuOnanorods coated with In_2O_3 ”. *Ceramics International* 39 (2013) 5255–526
- [13] Chung-Min Tsai, et al. “CuO nanowire synthesis catalyzed by aCoWPnanofilter”. *Acta Materialia* 57 (2009) 1570–1576.
- [14] Xia Zhang, YonggangGuo, et al. “Superhydrophobic CuO@Cu₂S nanoplate vertical arrays on copper surfaces”. *Materials Letters* 64 (2010) 1200–1203.
- [15] Rujun Wu, et al. “Preparation and characterization of CuO nanoparticles with different morphology through a simple quick-precipitation method in DMAC– water mixture solvent”. *Journal of Alloys and Compounds* 504 (2010) 45–49.
- [16] ปิยพรรณ ปาณศรี. “การปลูกผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอลบนวัสดุประกอบระหว่าง พอลิเมอร์ร่วม พอลิเมทิลเมทาคริเลตที่มีการฝังซิงค์ออกไซด์”. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโน , เทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร, 2554.
- [17] อุปกรณัวิทยาศาสตร์ เครื่องมือวัด “เครื่องมือวิทยาศาสตร์”. [Online] (เข้าถึงเมื่อวันที่ 18 ตุลาคม 2556) www.qc-line.com.
- [18] Feng-Ming Hsieh, et al. “Study of sodium tripolyphosphate-crosslinked chitosan beads entrapped with *Pseudomonas putida* for phenol degradation”. *Process Biochemistry* 43 (2008) 83–92.
- [19] Guogang Rena, et al. “Characterisation of copper oxide nanoparticles for antimicrobial applications”. *International Journal of Antimicrobial Agents* 33 (2009) 587–590.
- [20] RogrioLaus et al. “Adsorption and desorption of Cu(II), Cd(II) and Pb(II) ions using chitosan crosslinked with epichlorohydrin-triphosphate as the adsorbent”. *Journal of Hazardous Materials* 183 (2010) 233–241.
- [21] Wen-Jun Li, et al. “Growth mechanism and growth habit of oxide crystals” Volume 203, Issues 1–2, May 1999, Pages 186–196.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [22] AlirezaAslani. “**Controlling the morphology and size of CuO nanostructures with synthesis by solvo/hydrothermal method without any additives**”. *Physica B*406 (2011) 150-154.
- [23] Susana Rodrigues, et al. “**Chitosan/carrageenan nanoparticles: Effect of cross-linking with tripolyphosphate and charge ratios**”. Volume 89, Issue 1, 5 June 2012, Pages 282–289.
- [24] Siew Siang Lee, et al. “**Novel-structured electrospun TiO₂/CuO composite nanofibers for high efficient photocatalytic cogeneration of clean water and energy from dye waste water**”. *water rese arch* 47 (2013) 4059-4073.
- [25] S.P. Meshram, et al. “**Facile synthesis of CuO nanomorphs and their morphology dependent sunlight driven photocatalytic properties**”. *Chemical Engineering Journal* 204–206 (2012) 158–168.
- [26] Nuengruethai Ekthammathat, et al. “**Antimicrobial activities of CuO films deposited on Cu foils by solution Chemistry**”. *Applied Surface Science* 277 (2013) 211–217.
- [27] Thongthai Witoon, et al. “**Chitosan-assisted combustion synthesis of CuO-ZnO nano composites : Effect of pH and chitosan concentration**”. *Ceramics International* 39 (2013) 3371–3375.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก การคำนวณหา % การบวมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณค่า % การบวมตัว

$$\%S = \frac{|W_1 - W_2|}{W_1} \times 100 \quad \text{สมการที่ (3.1)}$$

โดย %S คือ เปอร์เซ็นต์การบวมตัวของอนุภาคไคโตซาน (%)

W_1 คือ น้ำหนักอนุภาคไคโตซานก่อนแช่น้ำกลั่น (กรัม)

W_2 คือ น้ำหนักอนุภาคไคโตซานหลังแช่น้ำกลั่น (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{CTS-STPP0.5} \quad ; \quad \%S &= \frac{|((0.6516 - 0.3781) - (0.7668 - 0.3781))|}{(0.6516 - 0.3781)} \\ &= 131.36 \% \end{aligned}$$

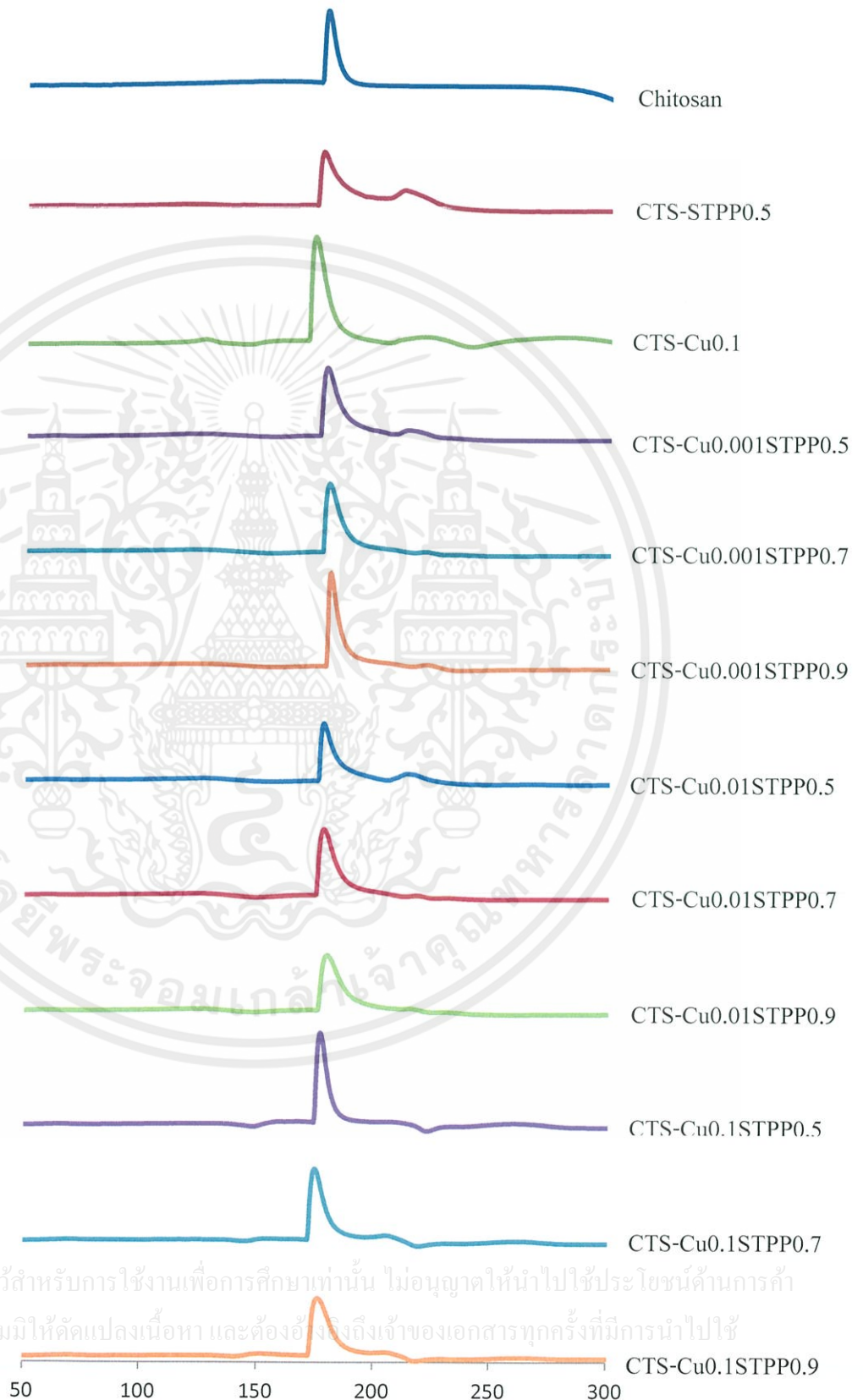
ตารางที่ ก.1 ปริมาณการบวมตัวของไคโตซานในน้ำกลั่น

ชื่อสารตัวอย่าง	น้ำหนัก ตะแกรง	น้ำหนักไคโตซาน (ก่อน swell) (กรัม)	น้ำหนักไคโตซาน (หลัง swell) (กรัม)	% การบวม ตัว
CTS-STPP0.5	0.3781	0.6516	1.0496	131.26
CTS-Cu0.1	0.3877	0.6689	0.8284	56.72
CTS-Cu0.001STPP0.5	0.3581	0.6515	1.0174	139.87
CTS-Cu0.001STPP0.7	0.3899	0.5342	0.7675	132.48
CTS-Cu0.001STPP0.9	0.3928	0.6509	0.9750	125.57
CTS-Cu0.01STPP0.5	0.4527	0.6720	1.0028	150.84
CTS-Cu0.01STPP0.7	0.4007	0.6551	0.8414	148.07
CTS-Cu0.01STPP0.9	0.3857	0.6547	0.9897	124.53
CTS-Cu0.1STPP0.5	0.3850	0.6512	0.9838	129.11
CTS-Cu0.1STPP0.7	0.3769	0.5342	0.9278	109.98
CTS-Cu0.1STPP0.9	0.3924	0.7472	1.0803	92.09



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผล DSC ของไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลดูดซับคอปเปอร์ซัลเฟตด้วยเทคนิค XRF

ตารางที่ ค.1 ผลการตรวจปริมาณการดูดซับสารประกอบโคโคซาน-คอปเปอร์ไอออนด้วยวิธีการดูดซับ

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี (wt%)			อัตราส่วนโดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-STPP0.5Cu0.001	2.23	49.3	48.47	0.12
CTS-STPP0.5Cu 0.01	12.1	44.5	43.4	0.20
CTS-STPP0.5Cu 0.1	2.99	87.8	9.21	0.64

ตารางที่ ค.2 ผลการตรวจสอบปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ขั้นต้นตอนที่ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.001 โมล/ลิตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี(wt%)			อัตราส่วนโดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-Cu0.001STPP0.5NH	1.59	87.3	11.11	0.01
CTS-Cu0.001STPP0.7NH	1.68	94.62	3.7	0.02
CTS-Cu0.001STPP0.9NH	1.44	91.1	7.46	0.01
CTS-Cu0.001STPP0.5Na	2.99	87.8	9.21	0.02
CTS-Cu0.001STPP0.7Na	3.84	87.0	9.16	0.04
CTS-Cu0.001STPP0.9Na	2.61	94.21	3.81	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3 ผลการตรวจสอบปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ชั้นตอนเดียวที่
ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.01 โมล/ลิตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี(wt%)			อัตราส่วน โดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-Cu0.01STPP0.5NH	4.43	88.0	7.57	0.04
CTS-Cu0.01STPP0.7NH	5.45	85.0	9.55	0.06
CTS-Cu0.01STPP0.9NH	8.1	80.3	11.6	0.10
CTS-Cu0.01STPP0.5Na	16	75.3	8.7	0.21
CTS-Cu0.01STPP0.7Na	30.3	29.0	40.7	1.07
CTS-Cu 0.01STPP0.9Na	15.7	76.7	7.6	0.21

ตารางที่ ค.4 ผลการตรวจสอบปริมาณ คอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการสังเคราะห์ชั้นตอนเดียวที่
ความเข้มข้นคอปเปอร์ซัลเฟตเข้มข้น 0.1 โมล/ลิตร

ตัวอย่าง	องค์ประกอบทางเคมี(wt%)			อัตราส่วน โดยโมลของ CuO/ZnO
	CuO	ZnO	อื่นๆ	
CTS-Cu0.1STPP0.5 NH	26.0	67.1	6.9	0.39
CTS-Cu0.1STPP0.7NH	45.4	42.4	12.2	1.09
CTS-Cu0.1STPP0.9NH	34.1	59.2	6.7	0.59
CTS-Cu0.1STPP0.5Na	46.4	43.6	10	1.09
CTS-Cu0.1STPP0.7Na	54.3	40.5	5.2	1.37
CTS-Cu0.1STPP0.9Na	53.5	40.9	5.6	1.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

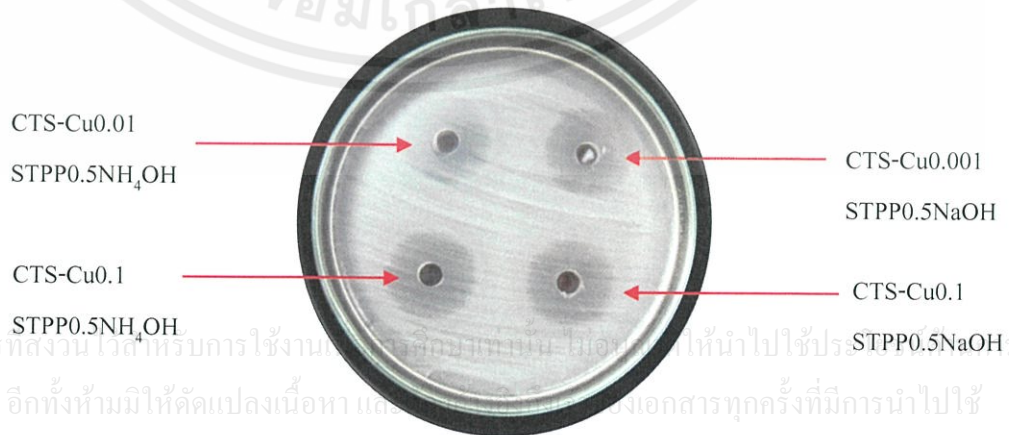
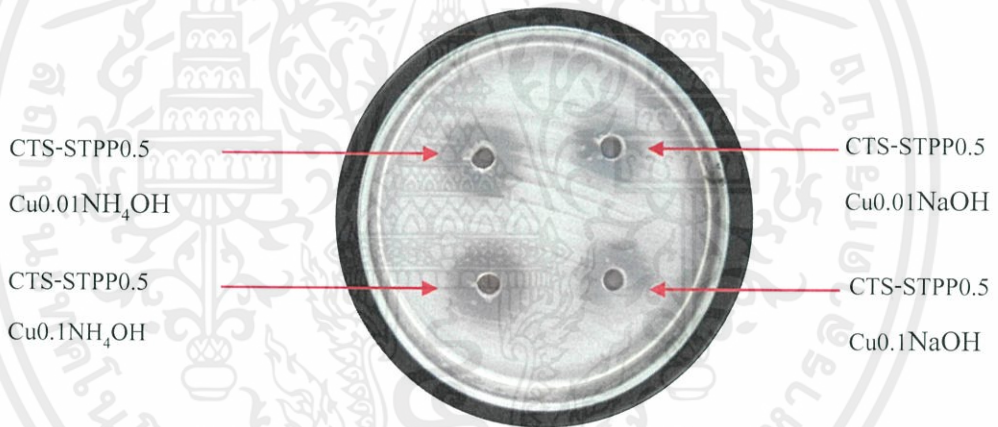
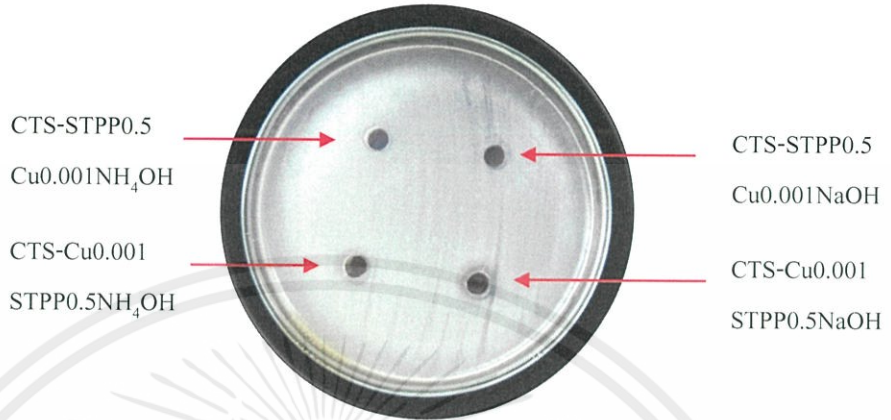


ภาคผนวก ง ผลการทดสอบความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

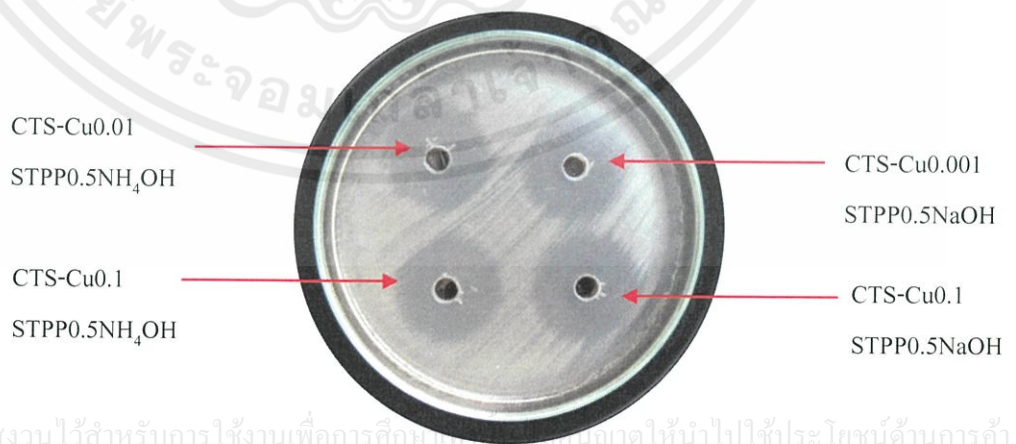
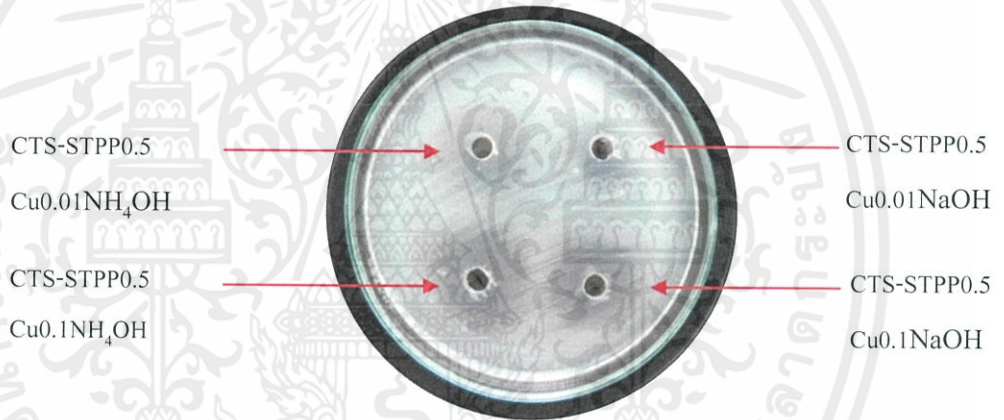
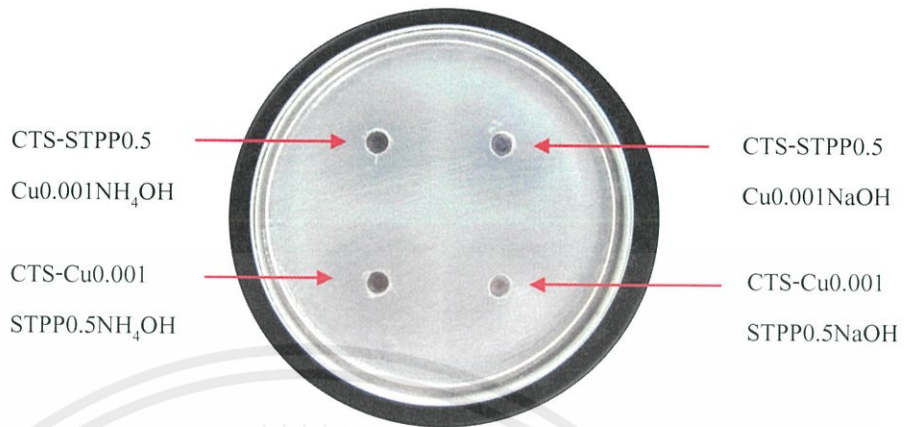
ภาพการทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

1. *Staphylococcus aureus* ATCC 25923



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน... ไม่นำไปใช้ประโยชน์อื่น...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา... เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. *Escherichia coli* ATCC 25922



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

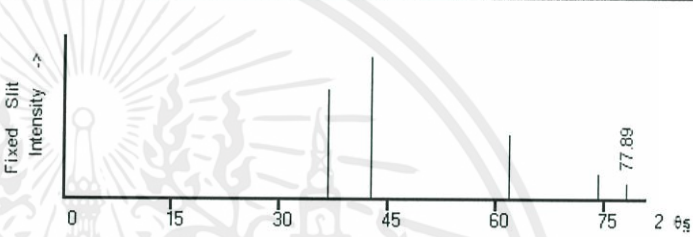


ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ XRD ของสารตั้งต้นเมื่อเทียบกับ PDF โดยนำมาเทียบกับกราฟใน

ฐานข้อมูล PDF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ในฐานข้อมูล PDF หมายเลข 78-0428

78-0428	Quality: C	CuO																																													
CAS Number		Copper Oxide Ref: Calculated from ICSD using POWD.12++, (1997) Ref: Schmahl,N.G., Eikerling,G.F.,Z. Phys.Chem.NeuFolge. (Wiesbaden), 62.268 (1968)																																													
Molecular Weight: 79.55		 <table border="1" data-bbox="669 987 1382 1088"> <thead> <tr> <th>2θ</th> <th>Int-f</th> <th>h</th> <th>k</th> <th>l</th> <th>2θ</th> <th>Int-f</th> <th>h</th> <th>k</th> <th>l</th> <th>2θ</th> <th>Int-f</th> <th>h</th> <th>k</th> <th>l</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>36.637</td> <td>769</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>61.761</td> <td>450</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>77.893</td> <td>109</td> <td>2</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>42.559</td> <td>999 *</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>74.003</td> <td>171</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	36.637	769	1	1	1	61.761	450	2	2	0	77.893	109	2	2	2	42.559	999 *	2	0	0	74.003	171	3	1	1					
2θ	Int-f		h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l	2θ	Int-f	h	k	l																																
36.637	769		1	1	1	61.761	450	2	2	0	77.893	109	2	2	2																																
42.559	999 *		2	0	0	74.003	171	3	1	1																																					
Volume[CD]: 76.43																																															
Dx: 6.907 Dm:																																															
Sys. Cubic																																															
Lattice: Face-centered																																															
S.G.: F _m 3 _m (225)																																															
Cell Parameters: Parametes																																															
a 13.10 b c																																															
α β																																															
I/lcor : 5.43																																															
Red: CuKα1																																															
Lambda: 1.54060																																															
Filter:																																															
d-sp: calculated																																															
ICSDH : 061323																																															

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.2 คอปเปอร์ซัลเฟตไฮดรอกไซด์ ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$) ในฐานข้อมูล PDF หมายเลข 43-1458

43-1458	Quality: 1	$\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$														
CAS Number		Copper Sulfate Hydroxide														
Molecular Weight: 452.29		Ref: Post, J., National Museum of Natural History,														
Volume[CD]: 756.52		Smithsonian Institution, Washington, DC, USA, ICDD Grant-														
Dx: 3.971	Dm: 3.970	in-Aid														
Sys. Monoclinic																
Lattice: Primitive																
S.G.: P21/a (14)																
Cell Parameters:																
a 13.10 b 9.854 c 6.021																
α β 103.37																
SS/FOM: F30=15																
(.0166,118)																
Red: CuK α 1																
Lambda: 1.54059																
Filter:																
d-sp: diffractometer																
Mineral Name :																
Brochantite-M																
2 θ	Int-f		h	k	l	2 θ	Int-f	h	k	l	2 θ	Int-f	h	k	l	
11.339	11		1	1	0	37.137	2	1	4	0	48.297	4	2	5	0	
13.880	77		2	0	0	37.702	12	3	2	2	48.710	2	0	0	5	1
16.547	66		2	1	0	37.702	12	1	2	2	50.008	8	8	5	3	2
17.600	4		1	1	1	39.170	6	2	4	0	50.008	8	8	3	3	2
17.600	4		0	0	1	39.764	9	5	2	0	50.345	3	0	6	2	2
17.989	6		0	2	0	41.246	12	2	3	2	50.345	3	4	2	2	
18.026	7		2	0	1	41.246	12	0	3	2	50.941	3	7	1	0	
22.795	100		3	1	0	42.236	8	5	1	2	50.941	3	3	5	0	
22.795	100		2	2	0	42.236	8	3	1	2	52.546	18	4	4	2	
27.965	48		4	0	0	42.507	3	6	0	0	52.546	18	2	4	2	
27.965	48		1	3	0	43.102	2	3	3	2	53.513	6	6	7	1	2
30.591	19	2	3	0	43.102	2	1	3	2	53.513	6	2	3	3		
31.832	3	2	1	2	43.538	6	6	1	0	54.755	5	4	5	0		
31.832	3	0	1	2	44.974	6	5	3	0	54.755	5	0	3	2		
33.459	49	4	2	0	45.258	3	5	2	2	56.163	5	5	2	2		
34.129	4	3	1	2	45.258	3	3	2	2	56.163	5	5	5	2		
34.129	4	1	1	2	46.080	6	4	3	2	57.688	6	3	5	2		
34.481	15	3	3	0	46.080	6	2	3	2	57.688	6	1	5	2		
35.612	81	2	2	2	46.499	4	6	2	0	59.195	10	0	0	2		
35.612	81	0	2	2	46.499	4	4	4	0	59.195	10	5	5	0		
36.358	17	5	1	0	47.632	2	6	1	2	60.124	6	4	5	2		
36.358	17	0	4	0	47.632	2	4	1	2	60.124	6	2	5	2		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้