

การดูดซับสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 ในน้ำเสียโดยถ่านชีวภาพ
แม่เหล็กที่สังเคราะห์จากซังข้าวโพดปรับปรุงคุณภาพด้วย
ซีทิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

ADSORPTION OF DIRECT RED 83 IN SYNTHETIC
WASTEWATER BY CETYLTRIMETHYL AMMONIUM
BROMIDE MODIFIED MAGNETIC BIOCHAR FROM CORN



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การดูดซับสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83 ในน้ำเสียโดยถ่านชีวภาพ
แม่เหล็กที่สังเคราะห์จากขังข้าวโพดปรับปรุงคุณภาพด้วย
ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

ADSORPTION OF DIRECT RED 83 IN SYNTHETIC
WASTEWATER BY CETYLTRIMETHYL AMMONIUM
BROMIDE MODIFIED MAGNETIC BIOCHAR FROM CORN



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ADSORPTION OF DIRECT RED 83 IN SYNTHETIC
WASTEWATER BY CETYLTRIMETHYL AMMONIUM
BROMIDE MODIFIED MAGNETIC BIOCHAR FROM CORN
COB



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE
(ENVIRONMENTAL CHEMISTRY)

DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การดูดซับสีย้อมไดเร็กต์ 83 ในน้ำเสียโดยถ่านชีวภาพแม่เหล็ก
ที่สังเคราะห์จากขี้ข้าวโพดปรับปรุงคุณภาพด้วยซิติลไตร
เมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

Adsorption of Direct Red 83 in Synthetic Wastewater
by Cetyltrimethyl Ammonium Bromide Modified
Magnetic Biochar from Corn Cob

ชื่อนักศึกษา

นายณัฐพงษ์ ผิวแดง รหัสนักศึกษา 57050595

นางสาวนลินี สีนฤกษ์ รหัสนักศึกษา 57050610

นางสาววิธิตา แซ่ตั้ง รหัสนักศึกษา 57050641

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

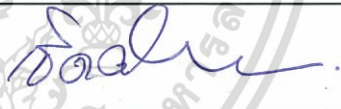
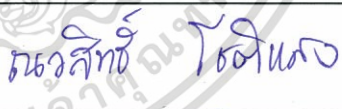

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต
(เคมีสิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ดร.เชิดศักดิ์ มณีรัตน์รุ่งโรจน์ ประธานกรรมการ	
ดร.ณวสิทธิ์ โชติแสง กรรมการ	
ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดูดซับสีย้อมไดเร็กซ์เรด 83 ในน้ำเสียโดยผ่านชีวภาพแม่เหล็กสังเคราะห์จากซังข้าวโพดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์		
ชื่อนักศึกษา	นาย อนุรักษ์ ผิวแดง	รหัสนักศึกษา	57050595
	นางสาว นลินี สีนฤกษ์	รหัสนักศึกษา	57050610
	นางสาว วิธิดา แซ่ตั้ง	รหัสนักศึกษา	57050641
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2560		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ชมพูนุท ไชยรักษ์		

บทคัดย่อ

งานวิจัยมีจุดประสงค์ในการจัดทำผ่านชีวภาพสภาวะเป็นแม่เหล็กปรับปรุงคุณภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) จากซังข้าวโพด เพื่อบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนสีไดเร็กซ์เรด 83 ทำการตรวจวัดลักษณะทางกายภาพของตัวดูดซับโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องฟูเรียร์ ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) และวิธีการไตเตรทค่าความเป็นกรดต่าง การศึกษาหลักคือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับสีย้อม ได้แก่ ปริมาณของตัวดูดซับ, ความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำเสียดูดซับสังเคราะห์และ อุณหภูมิ รวมทั้งศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับ วัดค่าความเข้มข้นของสีย้อมโดยใช้ค่าการดูดกลืนแสงยูวี-วิสิเบิลที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผ่านชีวภาพที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพมีพื้นผิวขรุขระมีรูพรุนมากกว่าผ่านชีวภาพสภาวะแม่เหล็กที่ปรับปรุงคุณภาพ ค่า pH_{pzc} ของตัวดูดซับคือ 7 เปอร์เซ็นต์การดูดซับสูงสุดคือ 92.72% เปอร์เซ็นต์การดูดซับแปรผันตรงกับอุณหภูมิและแปรผกผันกับความเข้มข้นของน้ำเสียดูดซับ การดูดซับเป็นไปตามไอโซเทอร์มของ Langmuir

คำสำคัญ : การดูดซับ, ไอโซเทอร์ม, สีย้อมไดเร็กซ์เรด 83, ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

Title	Adsorption of Direct Red 83 in Synthetic Wastewater by Cetyltrimethyl Ammonium Bromide Modified Magnetic Biochar from Corn Cob
Students	Mr. Nattapong Pewdaeng Student ID 57050595 Miss Nalinee Sinrerk Student ID 57050610 Miss Wittida Saetang Student ID 57050641
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)
Department	Chemistry
Faculty	Science
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2017
Advisor	Asst.Prof. Dr.Chompoonut Chaiyaraksa

Abstract

The research aimed to produce cetyltrimethyl ammonium bromide modified magnetic biochar by corn cob to treat synthetic wastewater contaminated with direct red 83. The physical characteristics of the adsorbent were investigated using a Scanning Electron Microscope (SEM), Fourier Transform Infrared Spectrometer (FTIR), X-ray Diffractometer (XRD), and pH titration method. The study was mainly on the factors influencing the adsorption of dyes which were the amount of adsorbent, the initial dye concentration, and temperature. The study was also on isotherm of the adsorption. The dye concentration was measured using UV-visible spectrometer (530 nm). The results showed that unmodified biochar had a more porous surface than modified magnetic biochar. The pH_{pzc} of the adsorbent was 7. The maximum percentage of the adsorbent was 92.72%. Percentage of the adsorbent was direct variation with temperature but the inverse variation with wastewater concentration. The adsorption followed Langmuir isotherm.

Keywords : Adsorption, Isotherm, Direct Red 83, Cetyltrimethyl ammonium bromide

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ชมพูนุท ไชยรักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ได้ให้คำแนะนำ แนวคิด ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด จนโครงการเล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่และผู้ปกครอง ที่ให้คำปรึกษาในเรื่องต่าง ๆ รวมทั้งเป็นผู้ให้กำลังใจและให้โอกาสการศึกษาอันมีค่ายิ่ง

ขอบคุณเจ้าหน้าที่นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาเคมีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือตลอดโครงการ

สุดท้ายขอบคุณเพื่อนในกลุ่มทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ตลอดจนคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการนี้



ณัฐพงษ์
นลินี
วิธิดา

ผิวแดง
สินฤกษ์
แช่ตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สีย้อม.....	3
2.1.1 โครงสร้างสีย้อมไตรเร็กต์เรด 83.....	3
2.1.2 โครงสร้างสีย้อมทางเคมี.....	3
2.2 น้ำเสีย.....	4
2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย.....	4
2.2.2 ปัญหามลพิษในอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	4
2.2.3 ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทั่วไป.....	5
2.2.4 ประเภทสิ่งสกปรกของกระบวนการฟอก.....	5
2.3 การดูดซับ.....	6
2.3.1 ประเภทของตัวดูดซับ.....	7
2.3.1.1 การดูดซับทางกายภาพ.....	7
2.3.1.2 การดูดซับทางเคมี.....	7
2.4 ถ่านกัมมันต์.....	8
2.5 แร่งที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ.....	8
2.5.1 แร่งแวนเดอวาลส์.....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.2 ไฟฟ้าสถิตย์.....	9
2.6 สารลดแรงตึงผิว.....	9
2.6.1 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว.....	9
2.6.2 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์.....	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	12
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	12
3.1.1 อุปกรณ์.....	12
3.1.2 สารเคมี.....	12
3.2 วิธีการทดลอง.....	13
3.2.1 การเตรียมการดูดซับ.....	13
3.2.2 การเตรียมน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์สีไดเร็กซ์เรด 83.....	14
3.2.3 การสแกนค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์.....	14
3.2.4 การหาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์.....	14
3.2.5 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ.....	15
3.2.6 การดูดซับน้ำเสีย.....	15
3.2.6.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับ.....	15
3.2.6.2 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมสังเคราะห์.....	16
3.2.6.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสีย.....	16
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	17
4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านซิงค์ข้าวโพด.....	17
4.1.1 การวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron Microscopy.....	17
4.1.2 การวิเคราะห์ด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy.....	17
4.1.3 การวิเคราะห์ X-ray Diffractometer.....	19
4.2 การศึกษาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำเสียสีย้อมไดเร็กซ์เรด 83.....	19
4.3 การศึกษาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ Point of zero charge.....	20
4.4 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับ.....	21
4.4.1 ผลการศึกษาปริมาณวัสดุดูดซับที่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำเสีย.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำเสีย	22
4.4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำเสีย.....	22
4.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อม.....	23
4.5.1 สมการการดูดซับของ Langmuir.....	23
4.5.2 สมการการดูดซับของ Freundlich	25
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	28
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	28
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	28
เอกสารอ้างอิง	29
ภาคผนวก.....	32
ภาคผนวก ก.....	33
ภาคผนวก ข.....	35
ภาคผนวก ค.....	38
ภาคผนวก ง.....	39
ภาคผนวก จ.....	40
ภาคผนวก ฉ.....	41
ภาคผนวก ช.....	42
ภาคผนวก ซ.....	43
ภาคผนวก ฌ.....	44
ภาคผนวก ญ.....	45
ภาคผนวก ฎ.....	46
ภาคผนวก ฏ.....	47
ภาคผนวก ฐ.....	48
ภาคผนวก ท.....	49
ภาคผนวก ฒ.....	50
ภาคผนวก ณ.....	51
ภาคผนวก ด.....	52
ภาคผนวก ต.....	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับทางเคมี.....	8
2.2 เปรียบเทียบความสามารถของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิด.....	10
3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ.....	15
4.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich.....	27



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้าง Direct Red 83	3
4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM	17
4.2 กราฟแสดงสเปกตรัมของ CMB400 และ B400 ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR	18
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2-Theha-Scale กับ Lin	19
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสง	20
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชเริ่มต้นกับค่าพีเอชสุดท้าย	20
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณวัสดุดูดซับกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับ	21
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นน้ำเสียกับประสิทธิภาพการดูดซับ	22
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์การดูดซับ	23
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e	24
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ $\ln C_e$	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
C_0	ความเข้มข้นเริ่มต้น
C_e	ความเข้มข้นที่จุดสมดุล
K	เคลวิน
K_L	ค่าคงที่สมดุลสมการไอโซเทอร์มของ Langmuir
K_F	ค่าคงที่สมดุลสมการของไอโซเทอร์มของ Freundlich
kg	กิโลกรัม
L	ลิตร
mg	มิลลิกรัม
mL	มิลลิลิตร
mol	โมล
pH	ค่าที่แสดงความเป็นกรด-ด่าง
q_b	ปริมาณตัวการจับต่อหน่วยน้ำหนักของการดูดซับ
q_e	ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล
q_{max}	ค่าประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด
R	ค่าคงที่ของก๊าซ (8.314 Jmol ⁻¹ /K ⁻¹)
T	อุณหภูมิ
V	ปริมาตรของสารละลาย
W	น้ำหนักของตัวดูดซับ
1/n	ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับ
μg	ไมโครกรัม
°C	องศาเซลเซียส
B400	ถ่านชีวภาพที่ยังไม่ได้ปรับสภาพ
MB400	ถ่านชีวภาพที่มีสภาวะแม่เหล็ก
CMB400	ถ่านชีวภาพที่มีสภาวะแม่เหล็กและปรับสภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากปัจจุบันเครื่องนึ่งห่ม หรือสิ่งทอมีความต้องการมากขึ้นในสังคม จึงทำให้เกิดอุตสาหกรรมการย้อมสีเป็นจำนวนมากเพื่อให้มีความสวยงามตามยุคสมัย รวมถึงเป็นการทำให้ผู้ผลิตสามารถออกแบบได้หลากหลายตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคผลิตภัณฑ์ สีย้อมสามารถจำแนกออกเป็น 9 ประเภท คือสีเอซิด สีไดเร็กต์ สีเบสิค สีดิสเพอร์ส สีรีแอกทีฟ สีอะโซอิก สีแวลู สีมอร์แดนต์ สีซัลเฟอร์ ในปี พ.ศ.2556 อุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอที่อยู่ในลุ่มแม่น้ำทั่วประเทศมีจำนวนทั้งสิ้น 98 โรงงาน เทคโนโลยีการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียมีหลายวิธี ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางกายภาพ กระบวนการบำบัดทางฟิสิกส์-เคมี กระบวนการทางชีวภาพ เทคนิคการเลือกกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานแต่ละประเภทต้องคำนึงถึงปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย ฯลฯ สำหรับกระบวนการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการที่มีความนิยมใช้ในการกำจัดสีเนื่องจากมีข้อดีที่สามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพและค่าใช้จ่ายน้อย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556) โดยในการทดลองทางคณะผู้จัดทำได้เลือกนำซังข้าวโพดมาเป็นวัตถุดิบในการทำถ่านกัมมันต์เนื่องจากประเทศไทยมีซังข้าวโพดเป็นพืชเศรษฐกิจและในช่วงปี พ.ศ.2556-2558 มีผลผลิตซังข้าวโพดมากถึง 434,453 ตัน (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2559) ทำให้มีซังข้าวโพดเป็นจำนวนมากที่ไม่ถูกนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และจากการศึกษาพบว่าสีไดเร็กต์เป็นสีที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขนาดเล็ก (ชนิษฐา, 2550) ทำให้น้ำเสียที่ยังมีสีไดเร็กต์ตกค้างถูกปล่อยออกมาเป็นจำนวนมากจากการบำบัดที่ไม่ได้คุณภาพ ในการศึกษาเพิ่มเติมพบว่าหากนำถ่านกัมมันต์มาทำให้อยู่ในสภาพแม่เหล็กจะทำให้สามารถดูดซับสีย้อมที่ตกค้างได้ดีขึ้น (Fei Wang และคณะ, 2017) ทางคณะผู้จัดทำยังเล็งเห็นว่าการนำมาเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้วิธีเคลือบด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่มีประจุเป็นบวก จึงเหมาะสมในการนำมาดูดซับสีไดเร็กต์เป็นสีแอนไอออนิกที่เป็นสารประจุเป็นลบ (วิสาขา, 2548) และยังไม่เคยมีใครเคยนำถ่านกัมมันต์ในสภาพแม่เหล็กมาเคลือบด้วยสารชนิดนี้มาก่อน

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีของ ถ่านชีวภาพ (B400) และ ถ่านชีวภาพในสภาวะแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CMB400)
2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับสี้อมด้วยถ่านชีวภาพในสภาวะแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CMB400)
3. ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. นำซังข้าวโพดไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ถ่านชีวภาพ (B400) จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ 2 กระบวนการคือ ทำให้เป็นถ่านชีวภาพในสภาวะแม่เหล็ก (MB400) และทำให้เป็นถ่านชีวภาพในสภาวะแม่เหล็กที่ปรับสภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CMB400)
2. นำ B400 และ CMB400 มาศึกษาลักษณะทางกายภาพและเคมีโดยใช้เครื่อง SEM, FTIR, XRD และหาค่า Point of zero charge
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับ ปริมาณตัวดูดซับ ความเข้มข้นของน้ำเสีย และอุณหภูมิของระบบ
4. ศึกษา 2 ไอโซเทอร์มการดูดซับน้ำเสียสี้อมสังเคราะห์ที่ใดเร็กซ์เรต 83 ได้แก่ Langmuir และ Freundlich

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อนำซังข้าวโพดมาเพิ่มคุณค่า โดยนำมาแก้ปัญหา น้ำเสีย
2. เพิ่มความสามารถในการดูดซับของซังข้าวโพดที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพ
3. เป็นแนวทางนำไปประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาสารปนเปื้อนชนิดไอออนลบในน้ำเสีย เช่น ฟอสเฟต หรือไนเตรท

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีย้อม (Dye)

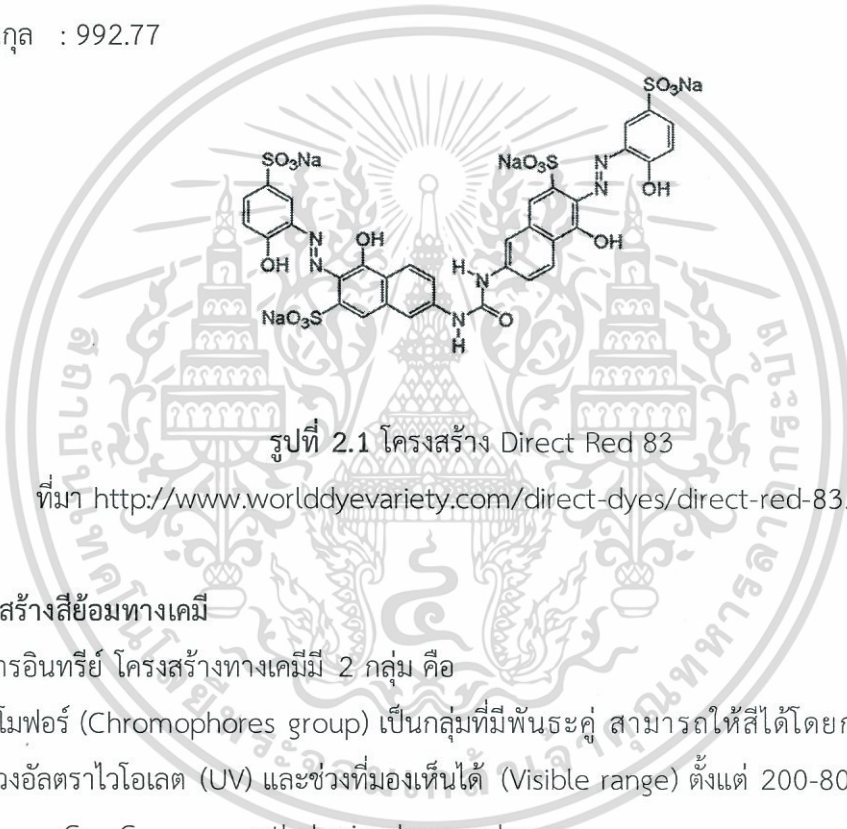
2.1.1 โครงสร้างสีย้อมไตรง์เรด 83

ชื่อทางเคมี : Direct Red 83

สูตรโมเลกุล : $C_{33}H_{20}N_6Na_4O_{17}S_4$

หมายเลข CAS : 15418-16-3

น้ำหนักโมเลกุล : 992.77



ที่มา <http://www.worlddyevariety.com/direct-dyes/direct-red-83.html>

2.1.2 โครงสร้างสีย้อมทางเคมี

สีย้อมเป็นสารอินทรีย์ โครงสร้างทางเคมีมี 2 กลุ่ม คือ

1 กลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophores group) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่ สามารถให้สีได้โดยการดูดกลืนรังสีในช่วงอัลตราไวโอเล็ต (UV) และช่วงที่มองเห็นได้ (Visible range) ตั้งแต่ 200-800 nm

ตัวอย่าง	C = C	ethylenic chromophores
	C = O	carbonyl chromophores
	O - N = O	nitroso chromophores
	-N = O	nitro chromophores
	-N = N-	azo chromophores

2 กลุ่มออกโซโครม (Auxochrome group) เป็นกลุ่มที่ทำให้สีเกาะติดกับเส้นใยปกติแล้ว หมายถึง ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และไม่สามารถดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่นเกิน แต่เมื่อไปเกาะ ในตำแหน่งที่ติดกับโครโมฟอร์จะทำให้โครโมฟอร์ดูดกลืนรังสีที่มีความยาวคลื่นมากขึ้น

ตัวอย่าง	-OH	hydroxyl
----------	-----	----------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-NH ₂	amino
-COOH	carboxylid

โดยสีย้อม Direct Red 83 ที่เราสนใจ เป็นสีกลุ่มโครโมฟอร์ที่มีหมู่ azo เป็นองค์ประกอบ 2 หมู่

2.2 น้ำเสีย (Waste Water) (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2559)

น้ำเสียที่ปล่อยจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่เราสนใจ ประกอบไปด้วย สารแขวนลอย (Suspended solids) และสารอินทรีย์จากกระบวนการย้อมในปริมาณมาก ได้แก่ แป้ง สีย้อม กรดอะซิติก และ เส้นใยเส้นด้ายที่ปนเปื้อนออกมาจากการผลิต อีกทั้งยังมีสารประเภทโลหะหนักจาก สีย้อมปนเปื้อนในน้ำทิ้ง โดยลักษณะสำคัญของน้ำเสียที่เกิดอุตสาหกรรมฟอกย้อม คือการมีสีของน้ำทิ้ง และมีค่าความเป็นกรดค่อนข้างสูง หากปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ อนุภาคของสีอาจขัดขวางการส่องผ่านของแสงทำให้สาหร่ายด้านล่างไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง รวมถึงสีของน้ำทิ้งที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเป็นที่น่ารังเกียจของผู้พบเห็น

2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2556)

จากฐานข้อมูลของกระทรวงอุตสาหกรรมพบว่าโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมก่อให้เกิดน้ำเสียมากที่สุดอุตสาหกรรมหนึ่ง โดยทั่วไปสีที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการ ฟอกสี กระบวนการพิมพ์ผ้า และกระบวนการฟอกขาว ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตทั้งหมด

2.2.2 ปัญหามลพิษในอุตสาหกรรมฟอกย้อม (สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2552)

ปัญหามลพิษที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ประกอบด้วยปัญหาอากาศเสีย น้ำเสีย กลิ่นเหม็น เสียด่าง สารเคมี รวมถึงของเสียที่เป็นของแข็ง เช่น เศษด้าย เศษผ้า เป็นต้น

กระบวนการฟอกย้อมเป็นกระบวนการสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อให้ผ้ามีสีสันทสวยงาม ซึ่งกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีและสีย้อมเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของเส้นใย กระบวนการเหล่านี้มักอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง จึงต้องใช้น้ำในปริมาณมาก นอกจากนี้ในน้ำทิ้งหลังผ่านกระบวนการฟอกย้อมมีสารเคมีปนเปื้อนอยู่เนื่องจากการใช้สารเคมีในการผลิต

2.2.3 ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทั่วไป

มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ซึ่งมีสาเหตุจากการใช้แป้ง สีย้อม กรดอะซิติก เส้นใยและเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง นอกจากนี้แล้วยังอาจเกิดจากสบู่ ไขมัน น้ำมัน ซึ่งจะเป็นฝาคลุมผิวน้ำและสารทำความสะอาดซึ่งมีลักษณะเป็นฟองโดยทั่วไปแล้วน้ำเสียนี้นักมีค่า BOD (Biological Oxygen Demand) ประมาณ 100-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่า COD (Chemical Oxygen Demand) ประมาณ 500-1,200 มิลลิกรัม/ลิตร

มีค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) และค่าสภาพด่าง (Alkalinity) สูง โดยมีค่า pH ประมาณ 9-12 และมีค่าสภาพความเป็นด่างประมาณ 300-900 มิลลิกรัมหินปูน/ลิตร สารที่ทำให้ น้ำเสียฟอกย้อมมีค่า pH และค่าสภาพด่างสูง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งมีการใช้ในขั้นตอน การขจัดสิ่งสกปรกเจือปน (Scouring)

มีอุณหภูมิสูง โดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในขั้นตอนที่มีการใช้ความร้อนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น ขั้นตอนการขจัดสิ่งสกปรกเจือปน ขั้นตอนการย้อม และขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ

มีปริมาณ TS (หรือของแข็งละลายน้ำ) สูง ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือโซเดียมและกรดต่าง ๆ

มีความเข้มข้นสูง เนื่องจากในการย้อมสีของเส้นใย เส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นจึงมีสีย้อมหลงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณของสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

มีโลหะหนักเจือปน เนื่องจากการเจือปนอยู่ในสีย้อมผ้า ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี

มีปริมาณ TSS (หรือของแข็งแขวนลอยทั้งหมด) สูง โดยเฉพาะเศษเส้นใยที่หลุดออกมา ซึ่งเศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมาก อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้

มีการปนเปื้อนของสารเคมี ซึ่งมีอยู่หลายประเภทตามชนิดที่เลือกใช้ ส่วนใหญ่จะ คงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำเสีย

2.2.4 ประเภทสิ่งสกปรกของกระบวนการฟอกย้อม (ชนิษฐา, 2558)

สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้

1. สารเคมีที่ใช้ในการขจัดสิ่งสกปรก อาทิเช่น

- โซดาไฟ (Sodium hydroxide : NaOH) ทำปฏิกิริยากับไขมันโดยเปลี่ยนไขมันเป็นสบู่ที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยขยายตัว สิ่งสกปรกต่าง ๆ ถูกขจัดออกง่ายขึ้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ได้แก่ ความร้อน นอกจากนี้ต่างยังช่วยกำจัดสารอื่น ๆ อีก เช่น โปรตีน เพกทิน สารลงแป้งที่ตกค้าง เกลือแร่ต่าง ๆ ให้ละลายหลุดออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- น้ำสบู่ (Detergent) ทำหน้าที่กำจัดไขมันในลักษณะที่ทำให้เกิดอิมัลชัน (Emulsion) การกำจัดสิ่งสกปรกอื่น ๆ ออกจากวัสดุรวมทั้งป้องกันมิให้ย้อนกลับไปติดบนวัสดุอีก น้ำสบู่แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ พวกไม่มีประจุไฟฟ้า พวกมีประจุลบ พวกมีประจุบวก และพวกมี ทั้งประจุบวกและประจุลบ แต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ได้แก่ ความสามารถในการแทรกซึมความสามารถในการซักล้าง ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน

- สารจับโลหะ (Complexing agent) เป็นพวกลิแกนด์ หรือคีเลต สารนี้สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} เป็นสารที่ละลายน้ำได้ในสภาวะต่าง ไอออนเหล่านี้จะเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำในสภาวะต่างปกติ ตะกอนไฮดรอกไซด์เหล่านี้มีผลเสียต่อการฟอกผ้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ไอออนเหล่านี้ นอกจากจะพบในน้ำแล้วยังพบว่ามาจากวัสดุด้วย เช่น ฝ้าย เป็นต้น

2. สารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาว อาทิเช่น

- สารออกซิไดซ์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2), โซเดียมเปอร์ออกไซด์ (Na_2O_2) เป็นต้น สารประกอบไฮโปคลอไรท์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (CaOCl_2) เป็นต้น สารประกอบคลอไรท์ เช่น โซเดียมคลอไรท์ (NaOCl_2) เป็นต้น

- สารรีดิวซ์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ โซเดียมไฮโดร ซัลไฟท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$), โซเดียมเมทาไบซัลไฟท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_6$), โซเดียมฟอร์แมลดีไฮด์ซัลฟอกซิเลต ($\text{HCHOHSO}_2\text{Na}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$) การฟอกขาวด้วยสารกลุ่มนี้จะได้ความขาวที่ไม่ถาวรเรียกว่า temporary white

2.3 การดูดซับ (Absorption) (ปรารภนา, 2555)

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็ก ซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอย ขนาดเล็กนี้ เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า Adsorbent การดูดซับนี้จะเป็นการดูดซับระหว่างสถานะ (Phase) ต่าง ๆ ทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liquid –Solid Interface) ในการดูดซับโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัว

ดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และการดูดซับทางเคมี

2.3.1 ประเภทของตัวดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

2.3.1.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิด การผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วยสารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.3.1.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกลูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกลูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกลูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

ตารางที่ 2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับทางเคมี

ตัวแปร	การดูดซับทางกายภาพ	การดูดซับทางเคมี
1.ค่าความร้อนของการดูดซับ	น้อยกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล	50-400 กิโลจูลต่อโมล
2.อุณหภูมิที่เกิดการดูดซับ	ต่ำ	สูง
3.แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุล	แรงแวนเดอร์วาลส์	พันธะเคมี
4.การผันกลับของปฏิกิริยา	ผันกลับได้	ส่วนใหญ่ไม่ผันกลับ
5.การดูดซับบนแก๊ส-ของแข็ง	เกิดได้เกือบทุกชนิด	เกิดเฉพาะบางระบบ
6.พลังงานก่อกัมมันต์ในกระบวนการเกิด	ไม่เกี่ยวข้อง	เกี่ยวข้อง
7.รูปแบบชั้นของการดูดซับ	Monolayer และ multilayer	Monolayer

2.4 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) (วนิดา, 2557)

ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูงและมีคุณสมบัติ ในการดูดซับ สารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ในของเหลว หรือก๊าซเอาไว้ได้ในปริมาณสูง เนื่องจากมีรู ขนาดเล็ก (Microporosity) ทำให้สามารถกำจัดสีแถมและ สีปรากฏได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยนำ วัสดุดิบพวกสารอินทรีย์ ที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ เช่น ไม้ ถ่านหิน ปีโตรเลียม กะลามะพร้าว เปลือกถั่วเมล็ดแข็ง กากขานอ้อย ชี้อ้อย กระดุกสัตว์ เป็นต้น ในที่นี้เราใช้ซังข้าวโพดในการทำ ถ่านกัมมันต์ นำมาเผาด้วยความร้อนในเตาอบอากาศ และเผาแรงที่ อุณหภูมิสูงเพื่อให้เกิดความพรุน (Porosity) แล้วอัดด้วยไอน้ำร้อน ยิ่งยวดที่อุณหภูมิประมาณ 200-1,600 องศาเซลเซียส เพื่อเพิ่ม พื้นที่ผิวในการดูดซับให้มากที่สุด ความพรุนมีค่าพื้นที่ผิวสัมผัสต่อมวล (Surface area per mass ratio) ระหว่าง 500-1,600 ตารางเมตรต่อกรัม

2.5 แรงที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ

2.5.1 แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander waals forces)

เป็นแรงระหว่างโมเลกุลมีความแข็งแรงน้อยจึงต้องการพลังงานในการสลายพันธะหรือ แรงระหว่างโมเลกุลน้อยมาก โมเลกุลที่ยึดจับกันด้วยแรงชนิดนี้มีจุดเดือด และจุดหลอมเหลวต่ำมาก โดยปกติโมเลกุลที่ไม่มีขั้วจะประพฤติตัวเป็นกลาง ในบางครั้งอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปรวมอยู่ด้านใด ด้านหนึ่งของอะตอมหรือโมเลกุล ทำให้เกิดสภาพขั้วชั่วคราวขึ้น โดยตำแหน่งที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ ไปรวมกันจะเกิดสภาพที่เป็นประจุลบ (d-) และตำแหน่งที่ไม่มีอิเล็กตรอนจะเกิดสภาพประจุที่เป็น บวก (d+) โมเลกุลที่มีสภาพขั้วแบบชั่วคราวสามารถเหนี่ยวนำทำให้โมเลกุลในสภาวะปกติมีสภาพขั้ว โดยที่ตำแหน่งที่มีอิเล็กตรอนหนาแน่นมีประจุเป็นลบจะไปผลักอิเล็กตรอนของอีกโมเลกุลให้ไปอยู่

ด้านตรงข้าม ทำให้เกิดอีกโมเมนต์มีสถานะชั่วชั่วคราวอีกโมเมนต์ ทำให้โมเมนต์ทั้งสองมีประจุบวกและลบเรียกว่า Polarizability และเกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุบวกและลบ

2.5.2 ไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force)

เกิดจากความไม่สมดุลของประจุไฟฟ้าภายในหรือบนพื้นผิวของวัสดุหนึ่ง ประจุยังคงอยู่กับที่จนกระทั่งมันสามารถจะเคลื่อนที่โดยอาศัยการไหลของอิเล็กตรอน (กระแสไฟฟ้า) หรือมีการปลดปล่อยประจุ ไฟฟ้าสถิตย์มีชื่อที่ขัดกับไฟฟ้ากระแสที่ไหลผ่านเส้นลวดหรือตัวนำอื่นและนำส่งพลังงาน ประจุไฟฟ้าสถิตย์สามารถสร้างขึ้น เมื่อไรก็ตามที่สองพื้นผิวสัมผัสกันและแยกจากกัน และอย่างน้อยหนึ่งในพื้นผิวนั้นมีความต้านทานสูงต่อกระแสไฟฟ้า (และดังนั้นมันจึงเป็นฉนวนไฟฟ้า)

แรงนั้นเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์ (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุล สารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2.6 สารลดแรงตึงผิว

2.6.1 คุณสมบัติของสารลดแรงตึงผิว (วิชาฯ, 2548)

สารลดแรงตึงผิว หรือ Surface Active Agent มีชื่อเรียกโดยทั่วไปทางวิทยาศาสตร์ว่า “Surfactant” สารลดแรงตึงผิวเดิมมาจากภาษาเยอรมันว่า Tensid ซึ่งตั้งโดยนักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1960 สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นสารประกอบอินทรีย์ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) และ ส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic group) ส่วนที่ไม่ชอบน้ำมักจะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือมีธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็น องค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่จะมาจากไขมันและน้ำมันตามธรรมชาติ รวมทั้งผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม และโพลีเมอร์สังเคราะห์ ลักษณะที่สำคัญของสารลดแรงตึงผิวคือเมื่อใส่สารลดแรงตึงผิวเพียงเล็กน้อยลงในน้ำ สารลดแรงตึงผิวจะไปลดแรงตึงผิวของน้ำ เพื่อให้เกิดกระบวนการต่าง ๆ ง่ายขึ้น เช่น การเกิดฟอง การทำให้เปียก และกระบวนการทำความสะอาด เป็นต้น ส่วนที่ไม่ชอบน้ำจะพยายามหนีน้ำโดยไปเกาะกับพื้นผิวที่ว่าง เช่น อากาศ ส่วนที่ชอบน้ำจะยังคงอยู่ในน้ำ สารลดแรงตึงผิวสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภทโดยแบ่งตามลักษณะหรือประจุของส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic group) ได้แก่

- 1) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวก (Cationic surfactant) ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cetyl trimethylammonium bromide (CTAB) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $C_{16}H_{33}N(CH_3)_3^+Br^-$ สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุบวกมักจะพบในผลิตภัณฑ์ ยาสีฟัน ครีมนวดผม และน้ำยาปรับผ้านุ่ม เป็นต้น

2) สารลดแรงตึงผิวที่มีประจุลบ (Anionic surfactant) ได้แก่ Sodium dodecyl sulphate (SDS) ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $CH_3(CH_2)_{11}SO_4^-Na^+$ ซึ่งมักจะเป็นส่วนประกอบในผงซักฟอกและสบู่ เป็นต้น

3) สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic surfactant) ได้แก่ Polyoxyethylene alcohol ซึ่งมีสูตรโมเลกุล คือ $(C_nH_{2n+1}(OCH_2CH_2)_mOH)$ สารลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุนี้นักจะนำไปผสมในสบู่เหลวล้างหน้า

4) สารลดแรงตึงผิวที่มีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Zwitterionic surfactant) ได้แก่ β -N- Alkylaminopropionic Acids มีสูตรโมเลกุล คือ $RN^+H_2CH_2CH_2COO^-$ ซึ่งเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอาง สารป้องกันการกัดกร่อน และสารยับยั้งแบคทีเรีย เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบความสามารถของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 4 ชนิด ในการทำให้เกิดฟอง การซักล้าง และการทำให้พื้นผิวเกิดความอ่อนนุ่ม

ประเภท / คุณสมบัติ สารลดแรงตึงผิว	การเกิดฟอง	ความสามารถ ในการซักล้าง	ความสามารถ ในการทำให้ อ่อนนุ่ม
ประจุลบ	ดีที่สุด	ค่อนข้างดี	ไม่แน่นอน
ไม่มีประจุ	ค่อนข้างดี	ดี	ดี
ประจุบวก	ดี	ปานกลาง	ไม่ดี
ประจุบวกและประจุลบ	ไม่ดี	ดี	ดีที่สุด

2.6.2 การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์

1) สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด เช่น ผงซักฟอก สบู่ ยาสีฟัน ยาสระผม ครีมนวดผม และผลิตภัณฑ์ที่มีฟอง เป็นต้น

2) สารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบในเครื่องสำอางและครีมกันแดด

3) สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในทางการแพทย์ ผลิตภัณฑ์

4) สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เช่น กระบวนการย้อมผ้า การเคลือบสีไม้หรือโลหะ การผลิตพลาสติก การทำหนังสือ การผลิตเนยเทียม เค้กและไอศกรีม เป็นต้น

5) สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น บำบัดน้ำเสีย กำจัดมลพิษทางดิน ดูดซับของเสีย เป็นต้น

6) สารลดแรงตึงผิวถูกนำมาใช้ในกระบวนการสกัดแยก เช่น การสกัดแยกแร่ การแยกน้ำมันออกจากน้ำ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากสารลดแรงตึงผิวจะมีบทบาทในชีวิตประจำวันแล้ว เช่น ในกระบวนการทำความสะอาด สารลดแรงตึงผิวยังมีบทบาทที่สำคัญและนำไปใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย รวมทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย อย่างไรก็ตามแล้วแต่การนำสารลดแรงตึงผิวไปใช้ประโยชน์นั้นจะต้อง พิจารณาอย่างรอบคอบ ทั้งนี้เพราะสารลดแรงตึงผิวก็สามารถทำลายสิ่งแวดล้อมได้เช่นกันถ้ามีการใช้ในปริมาณที่ไม่ถูกต้องและมีการนำสารลดแรงตึงผิวผิดประเภทมาใช้ ตัวอย่างเช่น ในการปล่อยน้ำซักผ้าหรือน้ำยาล้างจานที่เข้มข้นซึ่งมีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบลงในแม่น้ำลำคลองจะทำให้เกิดฟองอย่างมาก นอกจากจะทำลายสุนทรียภาพของแม่น้ำลำคลองแล้วยังสร้างผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และอาจต้องใช้เวลานานที่กระบวนการธรรมชาติจะย่อยสลายสารลดแรงตึงผิวได้หมดโดยแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ US.EPA. ได้กำหนดความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในน้ำดื่มให้ไม่เกิน 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope) รุ่น 1455 VP ยี่ห้อ Leo บริษัท ซายน์ เอ็นจิเนียร์ อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด ประเทศสหรัฐอเมริกา
2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer) รุ่น Spectrum GX ยี่ห้อ Perkin Elmer บริษัท Perkin Elmer Inc. ประเทศสหรัฐอเมริกา
3. เครื่องบดสับ รุ่น CP-390 ยี่ห้อ OTTO ประเทศไทย
4. เครื่องกรองลดความดัน (Filter pressure) รุ่น Aspirator A-35 ยี่ห้อ EYEL ประเทศญี่ปุ่น 103
5. เครื่องวัดความเป็นกรดด่าง (pH meter) รุ่น C860 ยี่ห้อ Consort ประเทศเบลเยียม
6. เครื่องกวนมอเตอร์พร้อมเทอร์โมสตัต รุ่น MR Hei-Tec ยี่ห้อ Heiotech ประเทศญี่ปุ่น
7. ตู้อบสาร (Oven) รุ่น UM400 ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมนี
8. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด รุ่น ML204 ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
9. เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น Orbital shaker ยี่ห้อ Gallenkamp บริษัท Jebesen & Jessen Technology ประเทศเยอรมนี
10. กระดาษกรอง (Filter papers) ยี่ห้อ Whatman เบอร์ 1
11. กรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)
12. ขวดน้ำกลั่น (Wash bottle)
13. ชั่งข้าวโพด

3.1.2 สารเคมี

1. สีไดเรกต์เรด 83 (Direct Red 83) เกรด Commercial บริษัท เอกสรรค์ เน็ตเวิร์ค จำกัด, ประเทศไทย
2. ซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) เกรด AR บริษัท UNILAB, ประเทศนิวซีแลนด์
3. กรดไฮโดรคลอริก (conc. HCl) ยี่ห้อ Fisher Chemical บริษัท European Distribution Center, ประเทศเบลเยียม
4. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) ยี่ห้อ Fisher Chemical บริษัท European Distribution Center, ประเทศเบลเยียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ยี่ห้อ Loba Chemie บริษัท Loba Chemie Pvt. Ltd., ประเทศอินเดีย
6. เฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เกรด วิเคราะห์ ยี่ห้อ Fisher Chemical บริษัท European Distribution Center, ประเทศเบลเยียม
7. เฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เกรด วิเคราะห์ ยี่ห้อ Fisher Chemical บริษัท European Distribution Center, ประเทศเบลเยียม
8. เอทิลแอลกอฮอล์ 95% เกรด วิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba Reagents, ประเทศเยอรมัน

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมตัวดูดซับ (วิธีปรับปรุงมาจากการทดลองของ Han และคณะ (2016), Song และคณะ (2016) และ Zhang และคณะ (2015))

1. แบ่งซังข้าวโพดเป็นสองท่อนนำไปตากจนแห้งจากนั้นนำไปผ่านกระบวนการไพโรไลซิส ที่ 400°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ผลผลิตที่ได้คือถ่านชีวภาพ (B400)
2. ซัง $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 30 กรัมและซัง $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 16.7 กรัม ผสมกันในน้ำ 900 มิลลิลิตร
3. นำถ่านชีวภาพ (B400) 30 กรัม ใส่ในน้ำ 300 มิลลิลิตร
4. นำถ่านชีวภาพ (B400) ที่เตรียมในข้อ 3 ผสมรวมกับสารละลายในข้อ 2
5. ปรับ pH เป็น 10.5 ด้วย NaOH 10M
6. เขย่าด้วยความเร็ว 120 rpm เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในสภาวะที่มีไมโครเจน
7. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง
8. ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง
9. กรองลดความดัน
10. ล้างด้วยน้ำและเอทานอล อย่างละ 3 ครั้ง
11. อบที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส 24 ชั่วโมง
12. เตรียมสารละลายซีติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) ความเข้มข้น 0.005 โมลต่อลิตร
13. นำ MB400 0.75 กรัม แชลงใน CTAB ความเข้มข้น 0.005 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
14. เขย่าด้วยความเร็ว 120 rpm เป็นเวลา 6 ชั่วโมง (Sumanjit และคณะ, 2015)
15. นำไปกรองลดความดัน และล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง
16. นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
17. ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ CMB400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 การเตรียมน้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์สีไดเร็กต์เรด 83 (Direct Red 83)

ซังสีไดเร็กต์เรด 83 (Direct Red 83) มา 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1,000 มิลลิลิตร จะได้น้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์สีไดเร็กต์เรด 83 (Direct Red 83) ที่มีความเข้มข้น 1,000 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.2.3 การสแกนหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์สีไดเร็กต์เรด 83 (Direct Red 83)

นำน้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร มาเจือจางจนได้น้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร มาสแกนหาความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (สแกนจาก 200-800 นาโนเมตร)

3.2.4 การหาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ (Point of zero charge, pH_{PZC})

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ปรับ pH ของสารละลายเป็น 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 และ 12 ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกหรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 โมลต่อลิตร
3. เมื่อปรับ pH ได้ตามต้องการแล้วจึงใส่ CMB400 ปริมาณ 0.15 กรัม ลงไปในขวดรูปชมพู่แล้วปิดฝาขวดให้สนิท
4. นำไปเขย่าด้วยความเร็ว 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นวัด pH ภายหลังจากการเขย่าอีกครั้ง
5. นำไปเขียนความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น (pH_i) และความเป็นกรด-เบสสุดท้าย (pH_f) โดยประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของตัวดูดซับหาได้จากเส้นความเป็นกรด-เบสเริ่มต้นและความเป็นกรด-เบสสุดท้ายตัดกับเส้นทแยงมุม

3.2.5 ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ

ตารางที่ 3.1 วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุดูดซับ

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์/เครื่องมือวิเคราะห์
1. วิเคราะห์ลักษณะรูพรุนและพื้นที่ผิว	Scanning Electron Microscopy (SEM)
2. ศึกษาหมู่ฟังก์ชันต่างๆในวัสดุดูดซับ	Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
3. วิเคราะห์โครงสร้างผลึก	X-ray Diffraction (XRD) analysis

3.2.6 การดูดซับน้ำเสีย

3.2.6.1 ศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์

1. นำน้ำเสียดีย้อมสังเคราะห์สีแดงเร็กซ์เรด (Direct Red 83) ที่มีความเข้มข้น 100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ปรับค่า pH เป็น 6
3. ชั่งถ่านชีวภาพในสถานะแม่เหล็กที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CMB400) มา 0.25 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่
4. นำมาใส่เครื่องกวนมอเตอร์ควบคุมที่อุณหภูมิห้อง ปั่นกวนด้วยความเร็วรอบ 120 รอบต่อ นาที
5. หลังจากผ่านไป 30 นาทีนำมากรองลดความดัน
6. จากนั้นนำส่วนใสไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เหมาะสม ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer
7. ทำการทดลองเช่นเดิม เปลี่ยนปริมาณของตัวดูดซับจาก 0.25 กรัม, 0.5 กรัม, 0.75 กรัม และ 1 กรัม ตามลำดับ
8. ทำการทดลองเหมือนข้อ 1-6 ซ้ำอีก 2 ซ้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6.2 ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมสังเคราะห์ที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.2.6.1 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม และแปรผันความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมสังเคราะห์ที่เปลี่ยนไปจาก 100, 150 และ 200 g/m^3 ตามลำดับ

3.2.6.3 ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับน้ำเสียสีย้อมสังเคราะห์

ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองในข้อ 3.2.6.1 โดยใช้ปริมาณตัวดูดซับ 1 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมสังเคราะห์ 100 g/m^3 และแปรผันอุณหภูมิการดูดซับที่เปลี่ยนไปจาก 33°C, 45°C และ 55°C ตามลำดับ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของถ่านซังข้าวโพด

4.1.1 การวิเคราะห์ด้วย Scanning Electron Microscopy (SEM)

นำถ่านชีวภาพ (B400) และถ่านชีวภาพในสถานะแม่เหล็กที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CMB400) ไปศึกษาลักษณะพื้นที่ผิวโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM) ถ่ายภาพพื้นที่ผิว ผลการทดลองแสดง ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะพื้นผิวของตัวดูดซับวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM กำลังขยาย 7000 เท่า

(a) B400

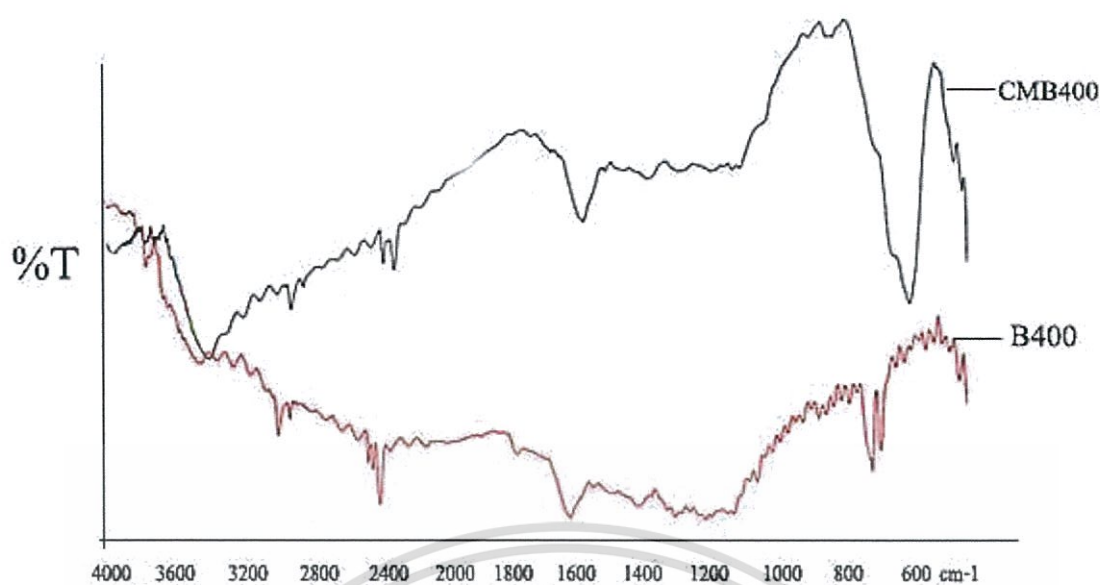
(b) CMB400

จากรูปที่ 4.1 (a) พบว่า B400 มีลักษณะรูพรุนมากกว่า (b) การที่ CMB400 มีลักษณะรูพรุนน้อยลงเนื่องจากการทำให้อยู่ในสถานะแม่เหล็กทำให้เหล็กไปอุดตันรูพรุนและมีการเคลือบซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ทำให้อุณหภูมิรูพรุนยิ่งน้อยลงกว่าเดิม ซึ่งใกล้เคียงกับการวิจัยของ Syahin Saleh และคณะ (2016) โดยทำการวิเคราะห์ด้วยวิธี SEM ผลที่ได้คือถ่านชีวภาพก่อนปรับสภาพให้อยู่ในสถานะแม่เหล็กมีรูพรุนที่มาก แต่ถ่านชีวภาพหลังปรับสภาพให้อยู่ในสถานะแม่เหล็กมีจำนวนรูพรุนที่น้อย

4.1.2 การวิเคราะห์ด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

นำ B400 และ CMB400 ไปศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสารโดยใช้เครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) ผลการทดลองดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงสเปกตรัมของ CMB400 และ B400 ที่วิเคราะห์ด้วย Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)

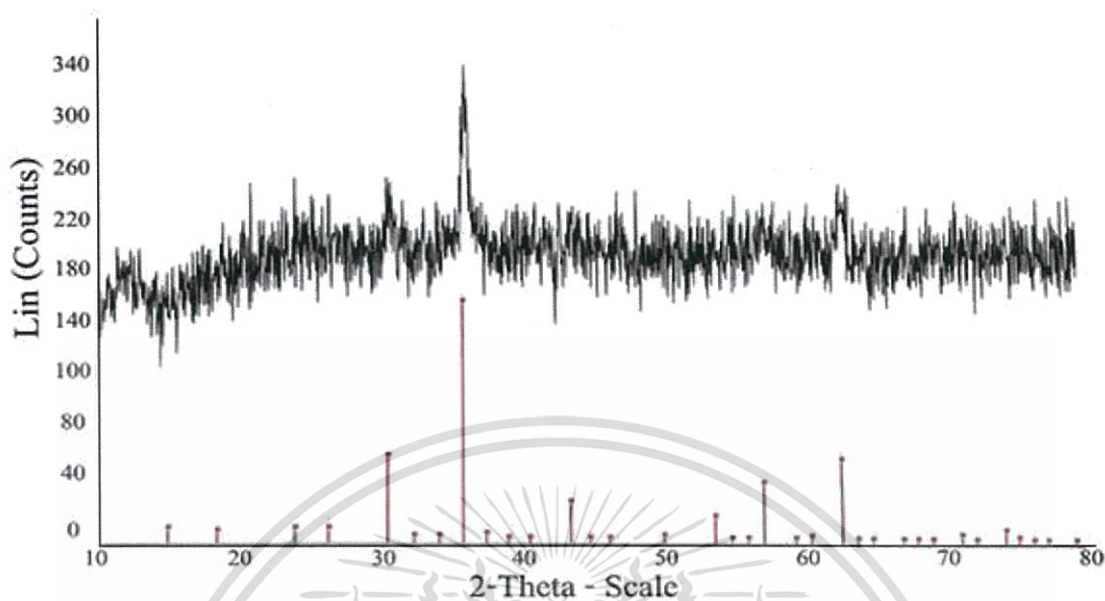
จากภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าพีคที่ชัดเจนของ B400 จะมีที่ความยาวคลื่น 2923.17-2922.21 และ 1581.66 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นของ CH stretching for alkyl group และ Anti-symmetric-COO-stretching of salt of Carboxylic Acid ตามลำดับ

ส่วนพีคของ CMB400 ที่เด่นชัดจะมีที่ความยาวคลื่น 3417.92, 2923.17-2922.21, 1586.48 และ 940-640 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นของ OH stretching, CH stretching for alkyl group, Anti-symmetric-COO-stretching of salt of Carboxylic Acid และ CH out of plane deformation ซึ่งที่เลขคลื่น 3417.92 cm^{-1} ของ CMB400 จะเกิด OH stretching ที่ได้จากหมู่ -OH หรือ -COOH ที่จะจับตัวกับ iron oxide บนผิวของถ่าน (Mohan และคณะ, 2014) แสดงเป็น char-O-Fe_xO_y ซึ่ง O เกิด hydroxyl group ที่อยู่บนพื้นผิวของถ่านจับตัวกับหมู่ iron oxide ปฏิกริยานี้จะช่วยให้ iron oxide ยึดติดกับถ่านได้อย่างแน่นหนา (Shan และคณะ, 2016)

และมีพีคของ CH stretching ที่เลขคลื่นประมาณ 600-800 cm^{-1} ซึ่งมีพีคที่กว้างขึ้น เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพด้วย CTAB ทำให้มีพีคของ CH stretching มากขึ้น

4.1.3 การวิเคราะห์ X-ray Diffraction (XRD)

นำ CMB400 ไปวิเคราะห์ด้วยวิธี X-Ray Diffraction Analysis ได้ผลดังรูปที่ 4.3

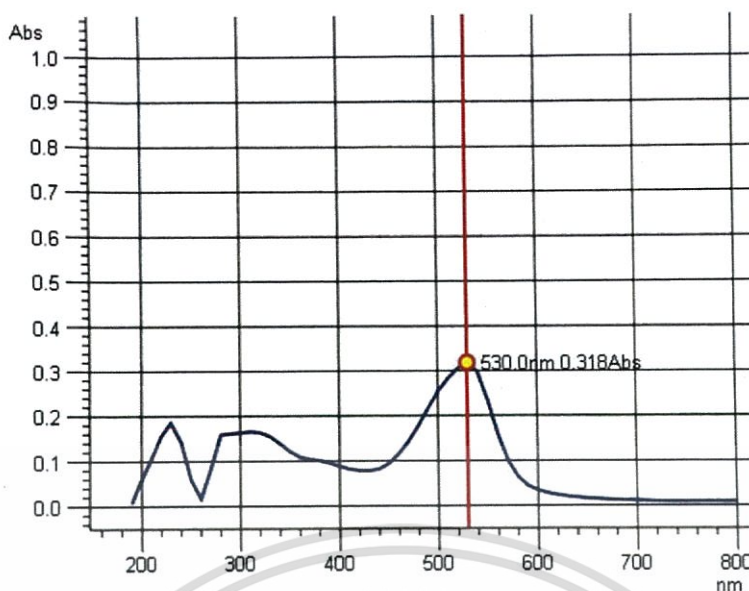


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 2-Theta-Scale กับ Lin ของ CMB400

จากรูปที่ 4.3 จากรูปแสดงให้เห็นถึงพีคที่ตำแหน่งของ 2-Theta-Scale เท่ากับ 30, 36, 43, 53, 57 และ 63 ซึ่งพีคทั้งหมดบ่งบอกถึงการมีอยู่ของ Iron Oxide โดยผลที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Souad A. Elfeky และคณะ (2017) ซึ่งมีพีคในตำแหน่ง 30, 35.4, 43, 53.4, 56.9 และ 62.5

4.2 การศึกษาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของน้ำเสีสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 (Direct Red 83)

เมื่อนำน้ำเสีสีย้อมไดเร็กต์เรด 83 ที่มีความเข้มข้น 10 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร มาสแกนหาความยาวคลื่นที่เหมาะสมด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 200-800 นาโนเมตร

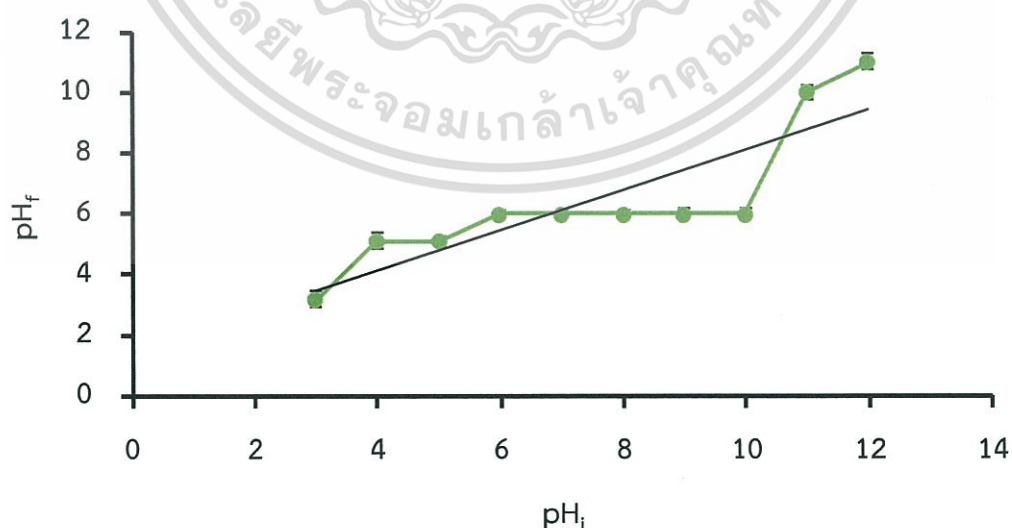


รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความยาวคลื่นกับค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม

Direct Red 83

จากรูปที่ 4.4 แสดงให้เห็นว่าความยาวคลื่นที่มีค่าดูดกลืนแสงมากที่สุดคือ 530 นาโนเมตร จึงสรุปได้ว่าความยาวคลื่นที่ 530 นาโนเมตรเป็นความยาวคลื่นที่เหมาะสมในการตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงของ สีย้อม direct red 83 อยู่ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร โดยผลการทดลองนี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ José Antonio Pellicer (2018) โดยได้ค่าความยาวคลื่นที่เหมาะสมที่ 526 นาโนเมตร

4.3 การศึกษาค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ Point of zero charge (pH_{pzc})



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชเริ่มต้นกับค่าพีเอชสุดท้ายของ CMB400

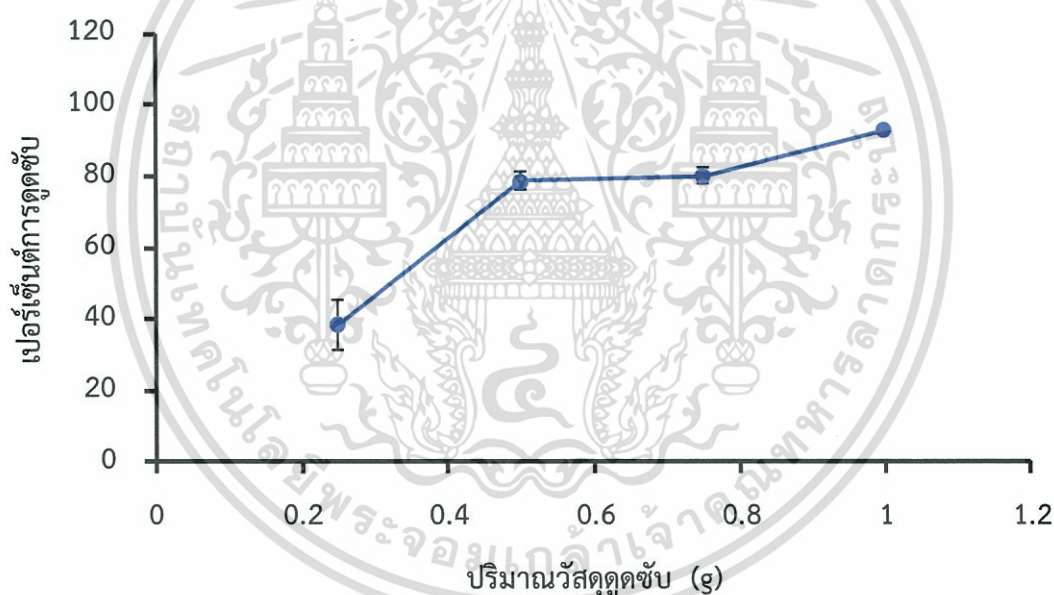
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นกรด-เบสเริ่มต้น (pH_i) และความเป็นกรด-เบสสุดท้าย (pH_f) พบว่าค่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ของ CMB400 มีค่าเท่ากับ pH 7 ซึ่งประจุที่ผิวเป็นศูนย์หมายถึงค่าความเป็นกรด-เบสที่ทำให้ประจุที่ผิวของตัวดูดซับมีค่าประจุรวมที่ผิวเป็นศูนย์ ดังนั้นเมื่อความเป็นกรด-เบสของสารละลายมีค่าน้อยกว่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุเป็นบวก และเมื่อความเป็นกรด-เบสของสารละลายมีค่ามากกว่าประจุที่ผิวเป็นศูนย์ ผิวของตัวดูดซับจะแสดงประจุเป็นลบ

4.4 การวิเคราะห์ค่าการดูดซับ

4.4.1 ผลการศึกษาปริมาณวัสดุดูดซับที่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์

ความสามารถในการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ในปริมาณของ CMB400 ที่แตกต่างกัน 0.25 g, 0.50 g, 0.75 g และ 1.00 g ที่มีความเข้มข้นของน้ำเสียคิงที่ (100 g/m³) เวลาในการดูดซับ 30 นาที ค่า pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิห้อง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณวัสดุดูดซับต่อค่าการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ ดังผลการทดลองรูปที่ 4.6



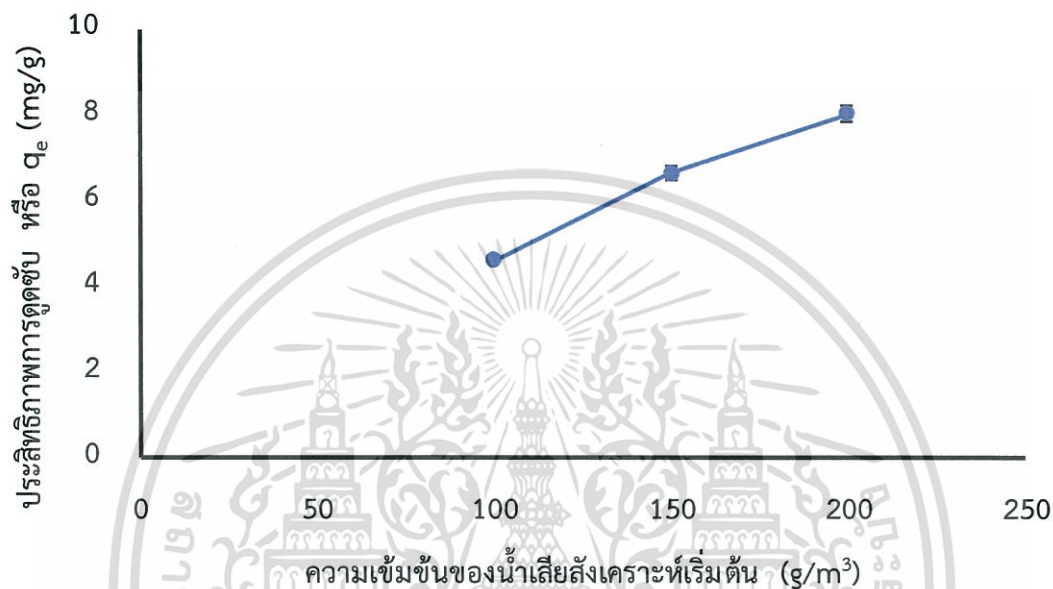
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณวัสดุดูดซับกับค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับของ CMB400

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณของ CMB400 จาก 0.25 g จนถึง 1.00 g จะมีร้อยละการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์เพิ่มขึ้นจาก 38.55 ได้ถึง 92.34 ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มว่าหากมีปริมาณ CMB400 มากขึ้นจะสามารถดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ได้มากขึ้น ความสามารถในการดูดซับสีย่อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มปริมาณตัวดูดซับทำให้พื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับสารละลายมีค่าเพิ่มมากขึ้น (วิรัชรอง, 2016) ดังนั้นตลอดการทดลองจะใช้ปริมาณของ CMB400 ที่ 1g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 ผลการศึกษาความเข้มข้นที่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์

ความสามารถในการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 100 g/m^3 , 150 g/m^3 และ 200 g/m^3 โดยใช้ CMB400 1g เวลาในการดูดซับ 30 นาที ค่า pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิห้อง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ต่อหน่วยน้ำหนักของ CMB400 ดังผลการทดลองรูปที่ 4.7



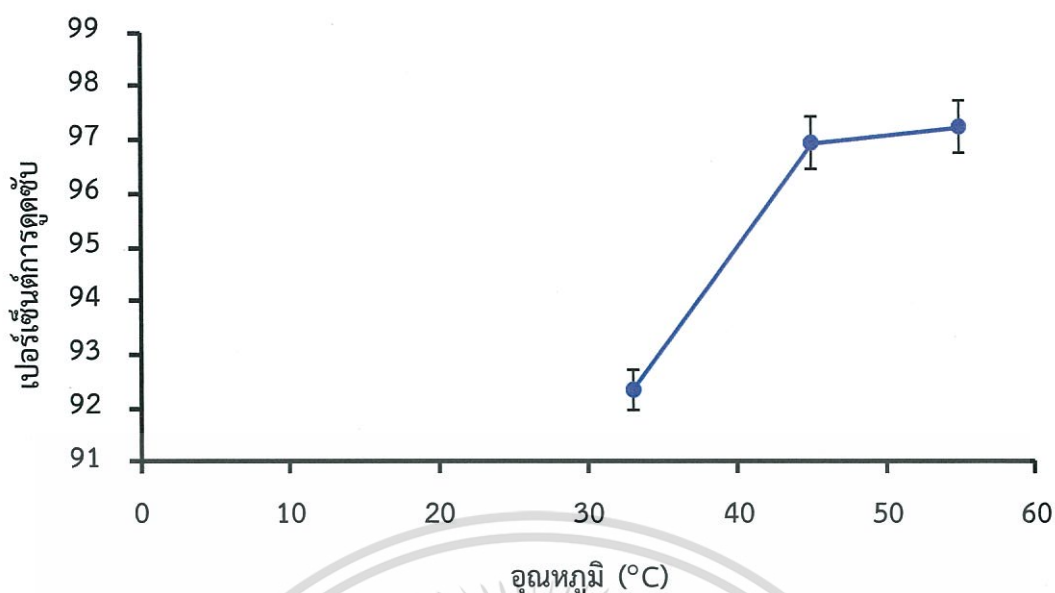
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้นกับประสิทธิภาพการดูดซับของ CMB400

จากรูปที่ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ต่อหน่วยน้ำหนักของ CMB400 มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 4.62 เป็น 8.04 mg/g แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของน้ำเสียสีสังเคราะห์จะทำให้ประสิทธิภาพของ CMB400 มากขึ้น เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเป็นการเพิ่มแรงดันให้การถ่ายเทมวลซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่าง ระหว่างปริมาณของสีย้อมบนตัวดูดซับกับปริมาณสีย้อมในสารละลาย ทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสีย้อมที่สภาวะสมดุลมีค่าเพิ่มมากขึ้น (วิรัชรอง, 2016)

4.4.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์

ความสามารถในการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 33, 45 และ 55°C ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียสีสังเคราะห์เริ่มต้นที่ (100 g/m^3) ปริมาณของ CMB400 1g เวลาในการดูดซับ 30 นาที ค่า pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิห้อง สามารถนำมาแสดงเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่าการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ ดังผลการทดลองรูปที่ 4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเปอร์เซ็นต์การดูดซับของ CMB400

จากรูปที่ 4.8 พบว่าที่อุณหภูมิ 45°C และ 55°C มีร้อยละของการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์ได้ 96.08 g/m³ และ 97.24 g/m³ ตามลำดับแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำเสียสีสังเคราะห์มีมากขึ้น การเพิ่มอุณหภูมิทำให้สารละลายสัมผัสกับพื้นผิวตัวดูดซับได้มากขึ้นทำให้ค่าการดูดซับเพิ่มมากขึ้น (MoMoier, 2554)

4.5 ไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อม

ทำการทดลองดูดซับสีย้อมที่มีความเข้มข้นดังนี้ คือ 100, 150 และ 200 g/m³ ใช้ปริมาณ CMB400 1 กรัม pH ของสารละลายเท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิห้อง นำผลการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich ผลการคำนวณแสดงได้ดังนี้

4.5.1 สมการการดูดซับของ Langmuir

สมการการดูดซับของ Langmuir เป็นแบบจำลองที่เป็นพื้นฐานทางฟิสิกส์และสามารถนำมาใช้งานได้ในช่วงที่กว้าง แต่มีข้อจำกัดของการใช้งาน ได้แก่ พลังงานของการดูดซับเป็นอิสระจากระดับการควบคุม แรงที่ใช้ในการดึงดูดเป็นแรงอ่อนๆ ที่สามารถผันกลับได้และจะใช้ได้ในกรณีที่ผิวของตัวดูดซับเกิดขึ้นแบบชั้นเดียวเท่านั้น (Monolayer) สมการการดูดซับของ Langmuir คือ

$$\frac{C_e}{q_e} = \left(\frac{1}{K_L q_m} \right) + \frac{C_e}{q_m} \quad (4.1)$$

โดย C_e = ความเข้มข้นของสารถูกดูดซับที่เหลือในสารละลายที่สภาวะสมดุล (mg/L)

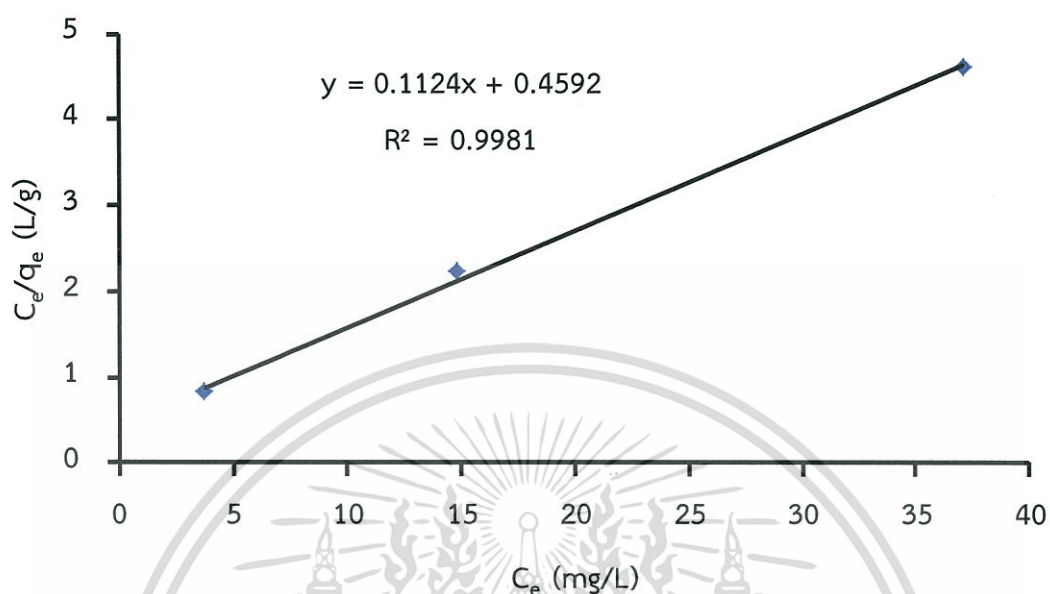
q_e = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับที่สภาวะสมดุล (mg/g)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

q_m = ปริมาณสูงสุดของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับแบบชั้นเดียว (mg/g)

K_L = ค่าคงที่ทางพลังงานของการดูดซับหรือค่าคงที่ของ Langmuir (L/mg)

นำผลการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Langmuir และเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_e/q_e กับ C_e

จากกราฟจะได้ความชัน (Slope) = 0.1124 และจุดตัดแกน $y = 0.4592$ สามารถหาค่าความสามารถในการดูดซับสูงสุดต่อปริมาณของตัวดูดซับ (q_m) ค่าคงที่สมการ Langmuir (K_L) และค่า R_L ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{ความชัน} &= 1/q_m \\
 0.1124 &= 1/q_m \\
 q_m &= 8.897 \text{ mg/g} \\
 \text{จุดตัดแกน } y &= 1/K_L(q_m) \\
 0.4592 &= 1/K_L(8.897 \text{ mg/g}) \\
 K_L &= 0.245 \text{ L/mg} \\
 R_L &= 1/(1+K_L C_0) \\
 R_L &= 1/(1+(0.245 \text{ L/mg})(100 \text{ mg/L})) \\
 R_L &= 0.0392
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า R_L จะเป็นตัวบอกรูปร่างของไอโซเทอร์มว่าสอดคล้องกับการดูดซับแบบ Langmuir หรือไม่ ถ้า $R_L > 1$ การดูดซับไม่เป็นแบบ Langmuir (Unfavorable), $R_L = 1$ การดูดซับเป็นเส้นตรง (Linear), $0 > R_L < 1$ การดูดซับเป็นแบบ Langmuir (Favorable) และ $R_L = 0$ การดูดซับเกิดผันกลับได้ (Irreversible) ซึ่งจากผลการทดลองครั้งนี้ มีค่า R_L เป็น 0.0392 สรุปได้ว่าการดูดซับที่เป็นไปตามแบบจำลองการดูดซับของ Langmuir

4.5.2 สมการการดูดซับของ Freundlich

สมการของ Freundlich มีสมมติฐานของการดูดซับที่ว่าพื้นผิวของตัวดูดซับไม่เป็นเนื้อเดียวกันตลอดพื้นที่ผิว (พื้นผิวของตัวดูดซับมีลักษณะขรุขระ) และพลังงานมีการกระจายตัวเป็นแบบเลขชี้กำลัง ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ไอโซเทอร์มแบบ Freundlich เป็นไอโซเทอร์มที่พัฒนาจากไอโซเทอร์มแบบ Langmuir ที่เกิดบนผิวหน้าไม่เป็นเนื้อเดียว (heterogeneous) โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (multilayer) สมการของ Freundlich คือ

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e \quad (4.2)$$

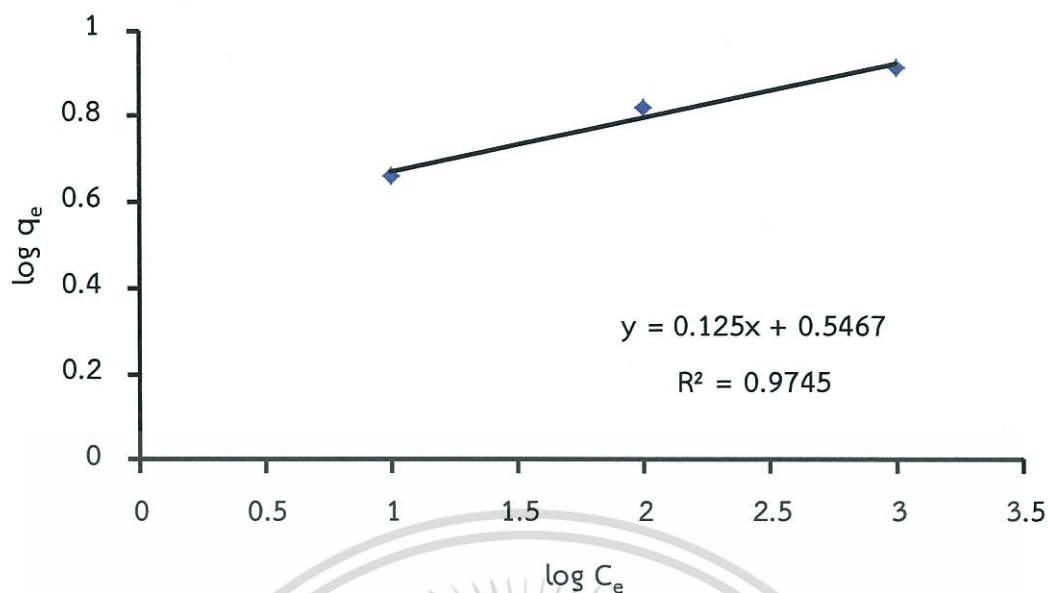
โดย C_e = ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับที่สมดุล (mg/L)

q_e = ปริมาณสารที่ถูกดูดซับ (mg) ต่อปริมาณของตัวดูดซับ (g) ที่ภาวะสมดุล

K_f = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g)

$1/n$ = ค่าคงที่สัมพันธ์กับพลังงานของการดูดซับซึ่งสัมพันธ์กับความเข้มข้นของสารละลาย

นำผลการทดลองมาคำนวณโดยใช้สมการการดูดซับของ Freundlich และเขียนกราฟได้ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q_e กับ $\ln C_e$

จากกราฟจะได้ความชัน (Slope) = 0.125 และจุดตัดแกน $y = 0.5467$ สามารถหาค่า n และ K_f ได้ดังนี้

$$\text{ความชัน} = \left(\frac{1}{n}\right)$$

$$0.125 = \left(\frac{1}{n}\right)$$

$$n = 8$$

$$\text{จุดตัดแกน } y = \log K_f$$

$$0.5467 = \log K_f$$

$$K_f = 3.52$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ไอโซเทอร์มการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich ของ CMB400

	ค่าที่ได้		ค่าที่ได้
Langmuir isotherm		Freundlich isotherm	
q_{\max} (mg/g)	8.897	K_F (mg/g)	3.52
K_L (L/mg)	0.245	n	8
R_L	0.0392	R^2	0.9745
R^2	0.9981		

พิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (R^2) ที่มีค่าใกล้เคียง 1.0 มากที่สุดคือสมการ Langmuir (0.9981) ดังนั้นการดูดซับจึงสอดคล้องกับ สมการ Langmuir ที่เกิดขึ้นจากแรงดึงดูดทางกายภาพที่สามารถผันกลับได้โดยการดูดซับสูงสุดมีค่า 8.897 mg/g เกิดขึ้นแบบชั้นเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ถ่านชีวภาพซังข้าวโพด (B400) มีรูพรุนมาก ถ่านชีวภาพที่ปรับสภาพด้วยซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CMB400) มีรูพรุนน้อยลงและมีของแข็งเกาะที่พื้นผิวซึ่งก็คือ ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (CTAB) และ เฟอร์ริกออกไซด์
2. สีย้อมไดเร็กซ์เรด 83 มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร
3. CMB400 มีค่า pH_{pzc} เท่ากับ 7
4. เมื่อเพิ่มปริมาณตัวดูดซับ ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีย้อมมีค่าเพิ่มขึ้น
5. เมื่อเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายสีย้อม ค่าความสามารถในการดูดซับเมื่อคิดเป็นกรัมของสีย้อมต่อมิลลิกรัมของตัวดูดซับมีค่าเพิ่มขึ้น
6. เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการบำบัดสีย้อม ทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้น
7. ในการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับสีย้อม โดยพิจารณาสมการการดูดซับของ Langmuir และ Freundlich พบว่าการดูดซับในครั้งนี้ เป็นไปตามสมการการดูดซับแบบ Langmuir มีความสามารถในการดูดซับสูงสุดที่ 8.897 mg/g ค่า K_L เท่ากับ 0.245 mg/g ค่า R_L เท่ากับ 0.0392

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรทดสอบถ่านทั้ง B400, MB400 และ CMB400 เปรียบเทียบกัน
2. ควรทำการแปรผันเวลาเพื่อทดสอบทางจลนศาสตร์
3. ควรทำการแปรผันค่า pH เพื่อทดสอบหา pH ที่มีค่าการดูดซับมากที่สุด
4. ควรศึกษาการดูดซับสีย้อมชนิดอื่นที่เป็นแอนไอออนิกเช่นกัน เพื่อเปรียบเทียบค่าการดูดซับ

เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2556. **คู่มือแนวทางการจัดการสีน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ.** [Online]. Available: http://www.diw.go.th/hawk/job/1_8.pdf เข้าถึงเมื่อ 30 สิงหาคม 2560.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2559. **ปัญหามลพิษจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ.** [Online]. Available: http://www.thaiwasteexchange.net/detail_knowledge.php?kid=37 เข้าถึงเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม 2660.
- ชนิษฐา. 2558. **ประเภทของสีย้อม.** [Online]. Available: http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?pageid=6&bookID=370&read=true&count=true เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม 2560.
- วิชาชา ภู่อจินดา. 2548. “การใช้ประโยชน์สารลดแรงตึงผิวในการบำบัดน้ำเสีย” วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม. 1(1):1-15. เข้าถึงเมื่อวันที่ 29 สิงหาคม 2560
- กรมพัฒนาที่ดิน. 2553. **คู่มือการปฏิบัติงาน กระบวนการวิเคราะห์ตรวจสอบดินทางเคมี.** [Online]. Available: <http://www.ldd.go.th/PMOA/2553/Manual/OSD-03.pdf> เข้าถึงเมื่อวันที่ 25 มกราคม 2561
- กรมควบคุมมลพิษ. 2524. **มาตรฐานคุณภาพน้ำ.** [Online]. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water01.html เข้าถึงเมื่อวันที่ 26 มกราคม 2561
- สำนักวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 2552. **อุตสาหกรรมฟอกย้อม.** [Online]. Available : https://www.google.co.th/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiL3s_xxa3RAhVKMY8KHTnXCDUQFggYMAA&url=http%3A%2F%2Fscience.buu.ac.th%2Ffojs246%2Findex.php%2Fsci%2Farticle%2FviewFile%2F773%2F715&usq=AFQjCNHhmYorRDaoWn0zdzjZNI54jl4XvQ&sig2=qGfrmudJ43iJLbTI6eoL7Q เข้าถึงเมื่อ 29 สิงหาคม 2560
- ปรารธนา. 2555. **กระบวนการดูดซับ.** [Online]. Available: <https://pradthana.wordpress.com/2008/04/13/adsorption-process/> เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 สิงหาคม 2560.
- วนิดา ชูอักษร. 2555. “เทคโนโลยีการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา 17(1):181-191
- วิรัชรอง แสงอรุณเลิศ. 2559. “การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากเปลือกไข่และเปลือกหอยแครง โดยวิธีกระตุ้นทางเคมี” วารสารวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ปีที่ 7 7:97-110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- MO Memoir. 2554. “อุณหภูมิจึงและการดูดซับ MO Memoir” [Online]. Available: <http://tamagozilla.blogspot.com/2011/12/mo-memoir-wednesday-14-december-2554.html> เข้าถึงเมื่อวันที่ 28 มกราคม 2561
- Kyung-Min Poo, Eun-Bi Son, Jae-soo Chang, Xianghao Ren, Yun-Jung Choi, Kyu-Jung Chae. 2018. “Biochars derived from wasted marine macro-algae (*Saccharina japonica* and *Sargassum fusiforme*) and their potential for heavy metal removal in aqueous solution” *Journal of Environmental Management*. 206:364-372.
- José Antonio Pellicera, María Isabel Rodríguez-López, María Isabel Fortea, José Antonio Gabaldón Hernández, Carmen Lucas-Abellána, María Teresa Mercader-Rosa, Ana Serrano-Martínez, Estrella Núñez-Delgado, Pinalysa Cosmab, Paola Finic, Esther Francod, Rocío Garcíad, Marcela Ferrándizd, Enrique Péreze, Miguel Ferrándize. 2018 “Removing of Direct Red 83:1 using alpha- and HP-alpha-CDs polymerized with epichlorohydrin: Kinetic and equilibrium studies” *Dyes and Pigments*. 149:736-746
- Souad A. Elfeky, Shymaa Ebrahim Mahmoud, Ahmed Fahmy Youssef. 2017 “Application of CTAB modified magnetic nanoparticles for removal of chromium (VI) from contaminated water” *Journal of Advanced Research*. 8:435-443
- Yi-di Chena, Shih-Hsin Hoa, Dawei Wangb, Zong-su Weic, Jo-Shu Changa, Nan-qj Rena. 2018 “Lead removal by a magnetic biochar derived from persulfate-ZVI treated sludge together with one-pot pyrolysis” *Bioresource Technology*. 247:463-470
- FeiWang, Lan-YaoLiu, FangLiu, Lian-GuiWang, TongOuyang, Chang-TangChang. 2017 “Facile one-step synthesis of magnetically modified biochar with enhanced removal capacity for hexavalent chromium from aqueous solution” *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 81:414-418
- Sumanjit, Seema, R.K.Mahajan, Vinod KumarGupta. 2015 “Modification of surface behaviour of *Eichhornia crassipes* using surface active agent: An adsorption study” *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 21:189-197
- Hwe IkZhang, M.Y.Choi. 2018 “Generalized formulation of free energy and application to photosynthesis” *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*. 493:125-134

YitongHan, XiCao, XinOuyang, Saran P.Sohi, JiaweiChen. 2016 “Adsorption kinetics of magnetic biochar derived from peanut hull on removal of Cr (VI) from aqueous solution: Effects of production conditions and particle size” *Chemosphere*. 145:336-341



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมไตรเร็กท์เรด 83

ก.1 วิธีสร้างกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

- นำสารละลายสีย้อมที่ความเข้มข้นเจือจางมาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ จากนั้นนำสเปกตรัมที่ได้มาหาค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด
- เตรียมสารละลายที่ความเข้มข้นต่าง คือ 2, 4, 6, 8 และ 10 กรัม/ลูกบาศก์ เมตร
- นำสารละลายสีย้อมที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ λ_{\max}
- นำข้อมูลที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความเข้มข้นของสารละลายสีย้อมจะได้กราฟมาตรฐาน

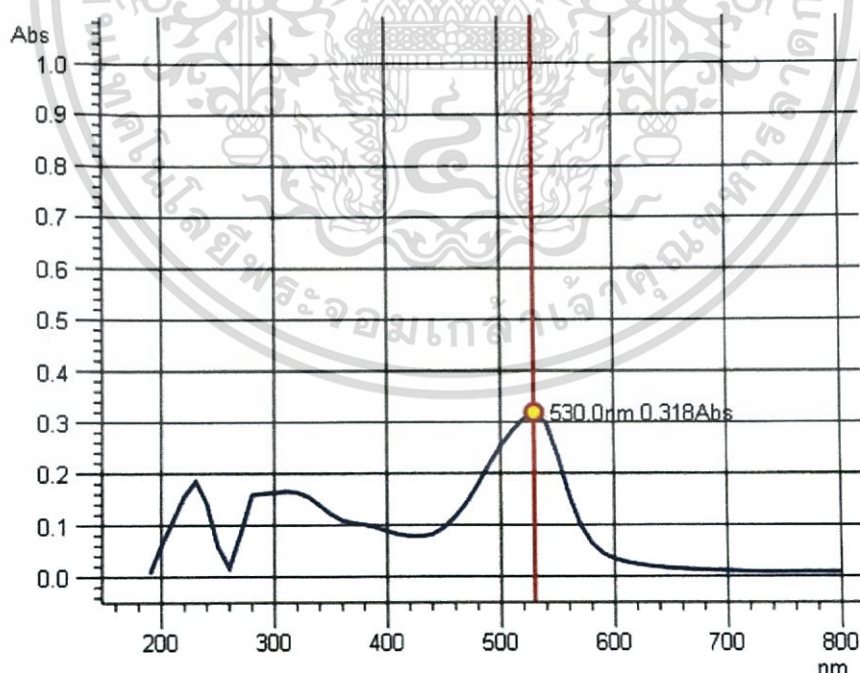
ก.2 วิธีการหาความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม

- นำสารละลายสีย้อมที่ต้องการหาความเข้มข้น มาวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ที่ λ_{\max} ของแต่ละความเข้มข้นโดยวิธีการเทียบมาตรฐาน

ก.3 กราฟมาตรฐาน

ความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{\max}) คือ 530 นาโนเมตร

รูปที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีย้อมไตรเร็กท์เรด 83

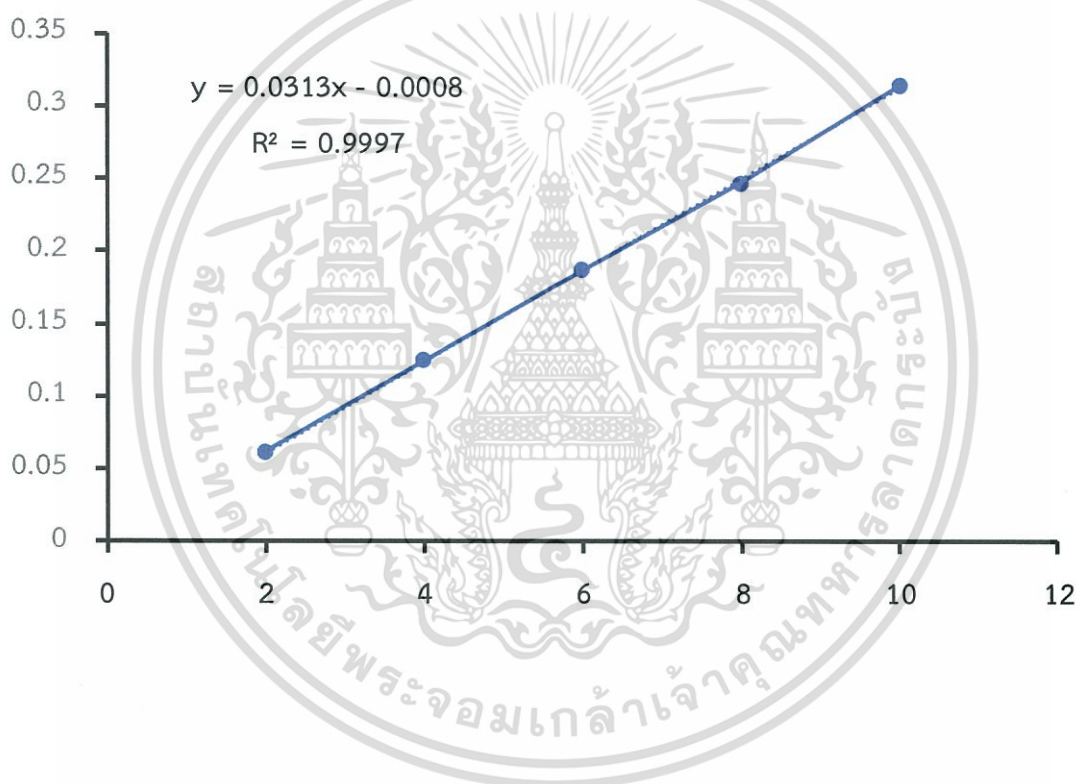


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ ของสารละลายสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83

ค่าความเข้มข้นของสีย้อม (กรัม/ลูกบาศก์เมตร)	Absorbance
2.0	0.062
4.0	0.125
6.0	0.187
8.0	0.247
10.0	0.314

รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อมไคเร็กซ์เรด 83



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ศึกษาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ผลต่อสารละลาย

ข.1 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ในการดูดซับน้ำเสีย สีย้อมสังเคราะห์

ตารางที่ ข.1 ผลของถ่านที่ใช้ในการดูดซับที่ปริมาณ 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับ สารละลายสีย้อมไดเร็กซ์เรด 83 ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วย CMB400 pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ณ เวลา 30 นาที

ปริมาณตัวดูดซับ	Absorbance	Concentration in solution (g/m ³)	q _e (mg/g)
0	3.06	97.91	
0.25	1.92	61.45	7.29
0.50	1.24	21.24	7.67
0.75	0.615	19.79	5.21
1.00	0.22	7.05	4.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายน้ำเสียสี่ย้อมสังเคราะห์

ตาราง ข.2 ผลของถ่านที่ใช้ในการดูดซับที่ปริมาณ 1.00 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับ สารละลายสี่ย้อม ไทเร็กซ์เรด 83 ความเข้มข้น 100 , 150, และ 200 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วย CMB400 pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ณ เวลา 30 นาที

ความเข้มข้น	Absorbance (0 min)	C_0 (g/m^3)	Absorbance (30 min)	Concentration in solution (g/m^3)	q_e (mg/g)
100	3.00	96.10	0.11	3.77	4.62
150	4.63	148.12	0.46	14.82	6.66
200	6.21	198.59	1.16	37.19	8.07



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการดูดซับสารละลายน้ำเสียสีเขียวสังเคราะห์

ตาราง ข.3 ผลของถ่านที่ใช้ในการดูดซับที่ปริมาณ 1.00 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับ สารละลายสีเขียว ไตรเร็กซ์เรต 83 ที่อุณหภูมิ 33 , 45, และ 55 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วย CMB400 pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ณ เวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (C°)	Absorbance (0 min)	C ₀ (g/m ³)	Absorbance (30 min)	Concentration in solution (g/m ³)	q _e (mg/g)
33	3.06	98.02	0.11	3.52	4.73
45	3.06	98.02	0.09	2.99	4.75
55	3.06	98.02	0.09	2.76	4.76



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาความสัมพันธ์ที่สภาวะสมดุลโดยใช้ไอโซเทอร์มของ
การดูดซับที่สภาวะเหมาะสม

ตาราง ค.1 ผลของถ่านที่ใช้ในการดูดซับที่ปริมาณ 1.00 กรัม ที่มีผลต่อการดูดซับ สารละลายสี
ย้อมไดเร็กซ์เรด 83 ที่อุณหภูมิ 33 , 45, และ 55 องศาเซลเซียส ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ด้วย
CMB400 pH เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ณ เวลา 30 นาที

อุณหภูมิ (C°)	C_0 (g/m ³)	Concentration in solution (g/m ³)	q_e (mg/g)
33	98.02	3.52	4.73
45	98.02	2.99	4.75
55	98.02	2.76	4.76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของค่าประจุพื้นผิวที่เป็นศูนย์
(pH_{pzc})

ตาราง จ.1 ค่า pH ของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลิตร ที่ไม่ได้ใส่ตัวดูดซับ, ค่า pH เริ่มต้น และ pHสุดท้ายของการทดลองหาค่าประจุพื้นผิวที่เป็นศูนย์

Initial pH	Final pH
3	3
4	5
5	5
6	6
7	6
8	6
9	6
10	6
11	10
12	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาสภาวะความเป็นกรดเบสของตัวดูดซับ

ตาราง ฉ.1 ตารางการวิเคราะห์ความเป็นกรด-เบสของตัวดูดซับ

ชนิดถ่านชีวภาพ	น้ำหนักถ่าน (g)	PH	ค่าเฉลี่ย
B400	2.0000	6.19	
	2.0001	6.18	
	2.0001	6.17	6.18
CMB400	2.0004	9.01	
	2.0003	9.00	
	2.0003	8.97	8.99

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาค่ากรด-เบสพบว่า B400 มีค่า pH เท่ากับ 6.18 และ CMB400 มีค่า pH เท่ากับ 8.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาค่าการนำไฟฟ้าของตัวดูดซับ

ตาราง ข.1 ตารางการวิเคราะห์ค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุดูดซับ

ชนิดถ่านชีวภาพ	น้ำหนักถ่าน (g)	conduct ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	เฉลี่ย
B400	2.0000	86.4	87.73
	2.0001	88.1	
	2.0001	88.7	
CMB400	2.0004	89.4	90.53
	2.0003	92.1	
	2.0003	90.1	

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาค่าการนำไฟฟ้าพบว่า B400 มีค่าเท่ากับ $87.73 \mu\text{s}/\text{cm}$ และ CMB400 มีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับ $90.53 \mu\text{s}/\text{cm}$ เมื่อเปรียบเทียบถ่านทั้งสองชนิดพบว่าถ่านทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของตัว
ดูดซับ

ตาราง ข.1 ตารางการวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของตัวดูดซับ

ชนิดถ่านชีวภาพ	น้ำหนัก (g)	ค่า HCl ที่ใช้ (mL)	RR cec (meq/g)
blank		0.2	
B400	5.0741	1.3	2.1679
CMB400	5.0332	1.7	2.9802

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกพบว่า B400 มีค่าเท่ากับ 2.1679 meq/g และ CMB400 มีค่าเท่ากับ 2.9802 meq/g แสดงให้เห็นว่า B400 มีสมบัติการแลกเปลี่ยนดีกว่า CMB400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพผนวก ซ

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาน้ำหนักที่สูญเสียจากการเผาไหม้ของตัวดูดซับ

ตาราง ฅ.1 ตารางการวิเคราะห์น้ำหนักที่สูญเสียจากการเผาไหม้

ชนิดถ่าน ชีวภาพ	น.น.ถั่ว ย	น.น.ถ่าน (ก่อน)	ถั่ว+ถ่าน (ก่อน)	ถั่ว+ถ่าน (หลัง)	น.น.ถ่าน (หลัง)	%LOI	%LOI เฉลี่ย
B400	24.0884	0.2009	24.2893	24.142	0.1473	26.67994	34.97743
	30.5576	0.2022	30.7598	30.644	0.1158	42.72997	
	30.3595	0.201	30.5605	30.4309	0.1296	35.52239	
CMB400	33.7371	0.2106	33.9477	33.8433	0.1044	50.42735	46.93427
	28.8895	0.2028	29.0923	28.9864	0.1059	47.78107	
	30.1439	0.2066	30.3505	30.2319	0.1186	42.59439	

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาค่าการสูญเสียน้ำหนักหลังการเผา พบว่า B400 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 34.98 และ CMB400 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 46.93 เมื่อเปรียบเทียบถ่านทั้งสองชนิดพบว่า CMB400 มีความสามารถในการระเหยได้มากเนื่องจากระหว่างกระบวนการปรับปรุงคุณภาพมีการนำ CMB400 ไปแช่สารละลายทำให้มีความชื้นติดอยู่ภายในตัวดูดซับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฅ

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณสารอินทรีย์ในตัวดูดซับ

ตาราง ฅ.1 การวิเคราะห์สารอินทรีย์ในตัวดูดซับ

ชนิดถ่าน ชีวภาพ	น.น.	ปริมาตร	%Organic Carbon	%OM	ค่าเฉลี่ย
Blank		18.00			
		18.10			
		18.05			
B400	0.1006	17.20	1.72	2.97	3.52
	0.1005	17.10	2.14	3.69	
	0.1002	17.00	2.26	3.90	
CMB400	0.1013	15.50	5.34	9.21	9.93
	0.1015	15.00	6.57	11.33	
	0.1026	15.50	5.36	9.25	

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ พบว่า B400 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 3.5198 อยู่ในเกณฑ์สูง และ CMB400 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.9307 อยู่ในเกณฑ์สูงมาก จากค่าที่ได้เมื่อนำ CTAB ไปเคลือบถ่านแล้วทำให้ถ่านมีค่าอินทรีย์วัตถุที่สูงขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณไนโตรเจนในตัวดูดซับ

ตาราง ก.1 ตารางการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในตัวดูดซับ

ชนิดถ่านชีวภาพ	%nitrogen
B400	6.69
CMB400	5.50

นำตัวดูดซับมาทดสอบปริมาณไนโตรเจนพบว่า B400 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 6.69 และ CMB400 มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 5.50 แสดงให้เห็นว่าหลังจากนำถ่านชีวภาพไปเคลือบซิติลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ แล้วทำให้ร้อยละของไนโตรเจนลดน้อยลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณไนเตรตไอออนในตัวดูดซับ

ตาราง ก.1 ตารางการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรตไอออนในตัวดูดซับ

ชนิดถ่าน ชื่อภาพ	น้ำหนัก ถ่าน	ปริมาณสารละลายที่ทำ ปฏิกิริยาพอดีกับ HCl	ปริมาณNitrate (mg/Kg)	ถ่าน 1 กรัมจะมี Nitrate เท่ากับ	เฉลี่ย
B400	1.0002	0.2	524.90	0.5249	
	1.0002	0.2	524.90	0.5249	
	1.0020	0.2	523.95	0.5240	0.524581
CMB400	1.0002	0.2	524.90	0.5249	
	1.0003	0.2	524.84	0.5248	
	1.0002	0.2	524.90	0.5249	0.524878

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาค่าไนเตรตเพื่อดูว่าในถ่าน 1 กรัมจะมีค่าไนเตรตเท่าใด จากการทดลองพบว่า B400 1 กรัม มีค่าไนเตรตเท่ากับ 0.5246 กรัม CMB400 1 กรัมมีค่าไนเตรตเท่ากับ 0.5249 กรัม จากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่าถ่านทั้งสองชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณคลอไรด์ไอออนในตัวดูดซับ

ตาราง รฐ.1 ตารางการวิเคราะห์ปริมาณคลอไรด์ไอออนในตัวดูดซับ

ชนิดถ่าน	ปริมาณถ่าน(g)	ปริมาตร AgNO ₃ ที่ใช้ (in)(mL)	ปริมาตร AgNO ₃ ที่ใช้ (fi)(mL)	AgNO ₃ ที่ใช้ (mL)	ค่าเฉลี่ย	ปริมาณคลอไรด์ (mgCl/L)
Blank		0	1.7	1.7		
B400	0.101	10.4	14.9	4.5	4.60	21.69
	0.1009	14.9	19.5	4.6		
	0.1004	19.5	24.2	4.7		
CMB400	0.1050	24.2	29.3	5.1	5.97	28.13
	0.1003	29.3	33.1	3.8		
	0.1261	33.1	42.1	9		

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาค่าคลอไรด์เพื่อตรวจดูว่ามีค่าคลอไรด์เกินค่ามาตรฐานหรือไม่ จากการทดลองพบ B400 มีค่าเท่ากับ 7.93 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร CMB400 มีค่าเท่ากับ 1.23 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จากค่าที่ได้แสดงให้เห็นว่า CMB400 มีค่าคลอไรด์ลดน้อยลงซึ่งเป็นผลดี เพราะเมื่อนำไปดูดซับในน้ำเสียค่าคลอไรด์จะแพร่กระจายสู่น้ำได้น้อยกว่าถ่านที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฐ

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณฟอสเฟสในตัวดูดซับ

ตาราง ฅ.1 ตารางการวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟสในตัวดูดซับ

ชนิดถ่านชีวภาพ	Total phosphate ($\mu\text{g}/100\text{mL}$)
B400	7.93
CMB400	1.23

นำตัวดูดซับมาทดสอบหาค่าฟอสเฟตพบว่า B400 มีค่าเท่ากับ 7.93 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร CMB400 มีค่าเท่ากับ 4.33 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร เมื่อนำมาเปรียบเทียบ B400 มีค่าฟอสเฟตมากกว่า CMB400



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ๗

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณซัลเฟตไอออนในตัวดูดซับ

ตาราง ณ.1 ตารางการวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตไอออนในตัวดูดซับ

ชนิดถ่านชีวภาพ	น้ำหนักถ่าน	Abs.	conc.	ปริมาณ S (mg.S/Kg)	ถ่าน 1 กรัม จะมี s เท่ากับ
Blank		0	1.7	1.7	
B400	0.101	10.4	14.9	4.5	4.6
	0.1009	14.9	19.5	4.6	
	0.1004	19.5	24.2	4.7	
CMB400	0.105	24.2	29.3	5.1	5.97
	0.1003	29.3	33.1	3.8	
	0.1261	33.1	42.1	9	

นำถ่านชีวภาพมาทดสอบหาค่าซัลเฟตพบว่า B400 มีค่าเท่ากับ 4.2877 และ MBC400 มีค่าเท่ากับ 4.4944

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก คม

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ศึกษาปริมาณอะลูมิเนียมไอออนในตัวดูดซับ

ตาราง ค.1 ตารางการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมไอออนในตัวดูดซับ

ชนิดถ่าน	ปริมาณอะลูมิเนียม
B400	ไม่เกิดปฏิกิริยา Colorimetric
CMB400	ไม่เกิดปฏิกิริยา Colorimetric

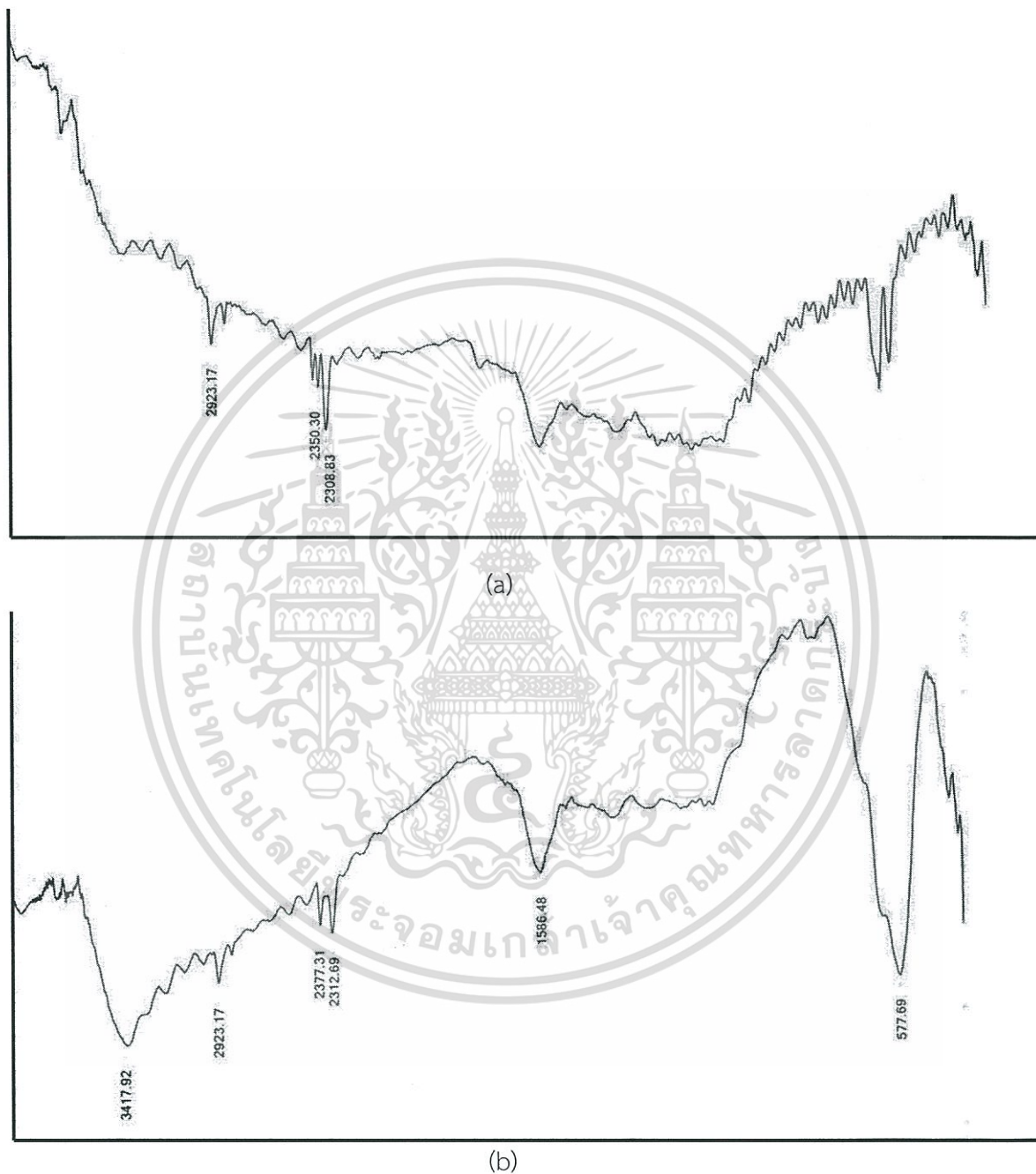
นำถ่านชีวภาพมาทดสอบหาค่าอะลูมิเนียมพบว่า B400 และ MBC400 ที่ทำการทดสอบไม่เกิดปฏิกิริยา Colorimetric



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ณ

ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาหาหมู่ฟังก์ชันของวัสดุดูดซับโดยใช้ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR)



รูปที่ ต.1 สเปกตรัมของถ่านชีวภาพเมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)

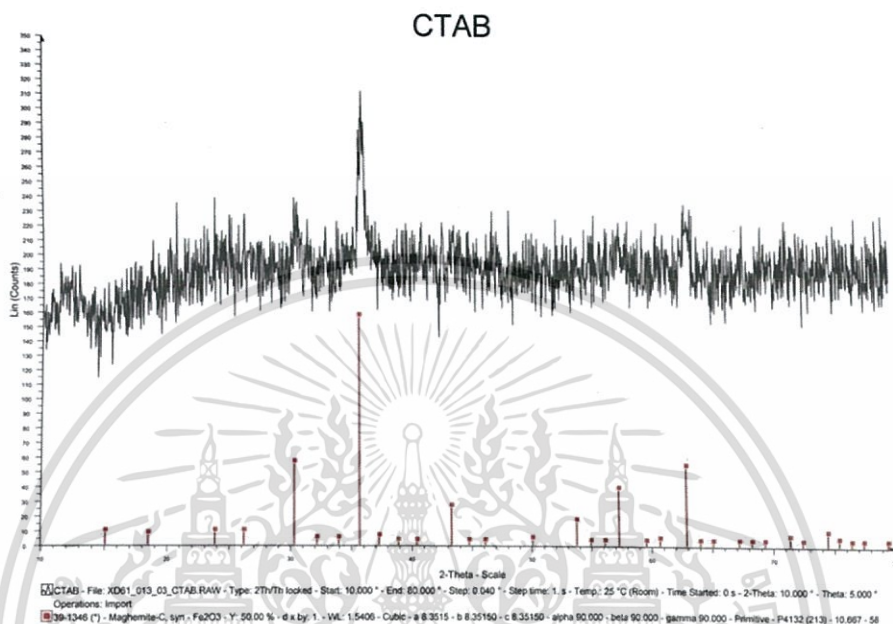
(a) B400

(b) CMB400

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ด

ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาการเป็ยงเบนรังสี X-Ray โดยใช้
เครื่อง X-ray diffraction analysis

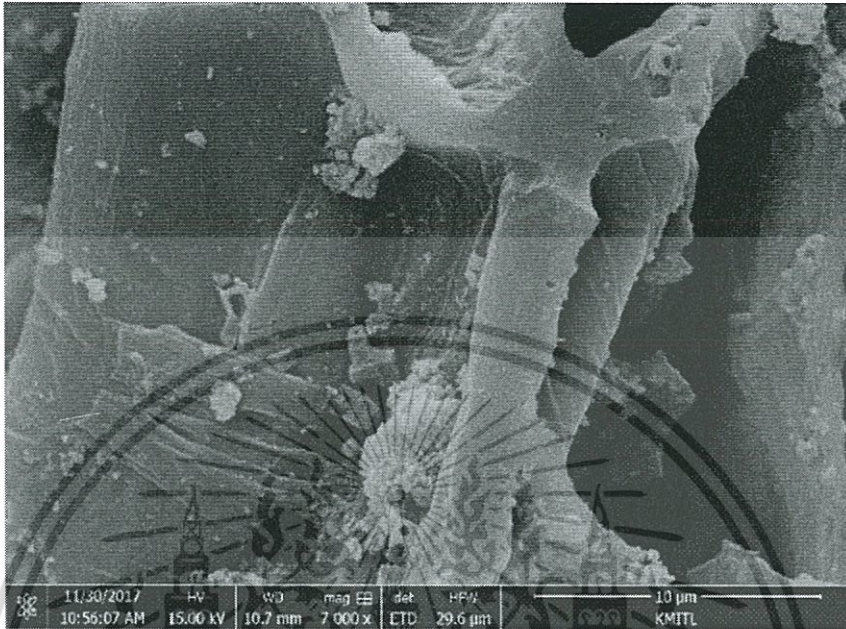


รูป ถ.1 แสดงลักษณะการเป็ยงเบนรังสี X-Ray ของ CMB400

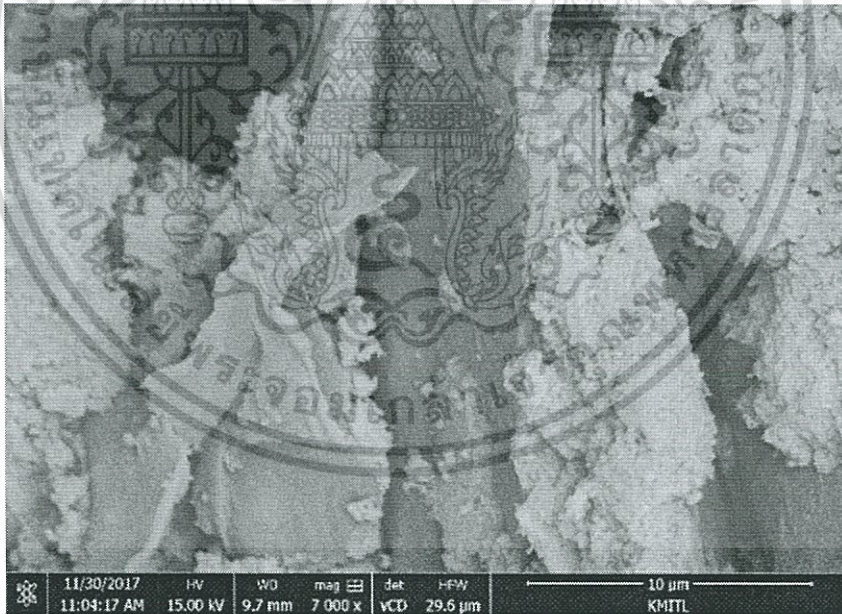
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ต

ข้อมูลพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาหาขนาดอนุภาคของวัสดุดูดซับโดยใช้
เครื่อง Scanning Electron Microscope



(a)



(b)

รูปที่ ท.1 ลักษณะพื้นผิวของถ่านชีวภาพ

(a) B400 กำลังขยาย 7000 เท่า

(b) CMB400 กำลังขยาย 7000 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้