

การเตรียมขานอ้อยสำหรับการดูดซับฟอสเฟตในน้ำ

PREPARATION OF BAGASSE FOR PHOSPHATE
ADSORPTION IN WATER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2560
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF BAGASSE FOR PHOSPHATE
ADSORPTION IN WATER



THITIPORN HENG SAROCHAI
PRAMAIPORN TUMKEAW
PREEYAPHON KONGCHOK

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACADEMIC YEAR 2017

หัวข้อโครงการพิเศษ

การเตรียมขานอ้อยสำหรับการดูดซับฟอสเฟตในน้ำ
PREPARATION OF BAGASSE FOR PHOSPHATE
ADSORPTION IN WATER

ชื่อนักศึกษา

นางสาวฐิติพร เสงสาโรชัย รหัสนักศึกษา 57050590

นางสาวประมัยพร ตุ่มแก้ว รหัสนักศึกษา 57050617

นางสาวปริยาภรณ์ กองโชค รหัสนักศึกษา 57050618

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2560

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (สาขาเคมี
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. สุวรรณิ จรรยาพูน ประธานกรรมการ	
ดร. สามารถ คงทวีเลิศ กรรมการ	
ผศ.ดร. อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอก ครอบครอง และต่อทางไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมขานอ้อยสำหรับการดูดซับฟอสเฟตในน้ำ
ชื่อนักศึกษา	นางสาว ฐิติพร เสงสาโรชัย รหัสนักศึกษา 57050590 นางสาว ประมัยพร ตุ่มแก้ว รหัสนักศึกษา 57050617 นางสาว ปรียาภรณ์ กองโชค รหัสนักศึกษา 57050618
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวดูดซับจากขานอ้อยเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย โดยนำขานอ้อยที่บดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช นำมาปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ผลการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการปรับสภาพขานอ้อย คือ การแช่ใน NaOH เข้มข้น 2.0% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ที่สภาวะดังกล่าววัสดุมีค่าความจุในการดูดซับเมทธิลีนบลูสูงสุดเท่ากับ 38 mg/g ผลการแช่วัสดุที่ปรับสภาพด้วยต่างในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบผิวขานอ้อยด้วยเหล็กจำพวกเฟอร์ริก คือ การแช่ใน Fe^{3+} เข้มข้น 0.20 โมลาร์ นาน 2 ชั่วโมง ที่สภาวะดังกล่าว ขานอ้อยสามารถดูดซับเฟอร์ริกไอออนได้ 48.36 มิลลิกรัมต่อกรัม จากผลการศึกษาการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าขานอ้อยที่เคลือบติดผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสูงกว่า (99.13%) เมื่อเทียบกับขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยต่าง (38.37%) และขานอ้อยไม่ปรับสภาพ (29.19%) ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตสามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ ขานอ้อยที่เตรียมขึ้นมีค่าความจุในการดูดซับเท่ากับ 7.90 มิลลิกรัมต่อกรัม

คำสำคัญ : การกำจัดฟอสเฟต การปรับสภาพด้วยต่าง ขานอ้อย วัสดุกลีโนเซลลูโลส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	PREPARATION OF BAGASSE FOR PHOSPHATE ADSORPTION IN WATER
Students	Miss Thitiporn Hengsarochai Student ID 57050590 Miss Pramaiporn Tumkeaw Student ID 57050617 Miss Preeyaphon Kongchok Student ID 57050618
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. Usarat Thawornchaisit

Abstract

Preparation of bagasse for removal of phosphates from wastewater was investigated in this study. The bagasse that was ground and sieved was pretreated with NaOH. Results showed that optimum conditions for pretreatment with NaOH was soaking in 2.0% (w/v) NaOH for 24 hours at 30°C. At this condition, the NaOH-pretreated bagasse had highest sorption capacity of methylene blue at 38 mg/g. Results from soaking of the NaOH-pretreated bagasse in an aqueous solution of Ferric chloride showed that optimum condition for surface coating of bagasse with Ferric iron was at 0.20 M of Fe^{3+} for 2 hours. At this condition, sorption capacity of the prepared bagasse was 48.36 mg/g. Results from phosphate treatment in synthetic wastewater showed that the Fe^{3+} -bagasse had highest phosphate removal efficiency (99.13%) compared with the NaOH-pretreated bagasse (38.37%) and the untreated bagasse (29.19%). Phosphate sorption capacity was best described by Langmuir isotherm with maximum adsorption of 7.90 mg/g.

Keywords : Removal of phosphate, Alkaline pretreatment, Bagasse, Lignocellulose material.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นตามแผนการศึกษาของหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ทางผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และผู้ให้ความอนุเคราะห์กับงานวิจัยนี้ ดังนี้ ผศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการงานพิเศษ รวมถึงคณะกรรมการสอบโครงการงานพิเศษ ได้แก่ ผศ.ดร. สุวรรณี จรรยาพูน และดร.สามารถ คงทวีเลิศ ที่ให้คำแนะนำทำให้เล่มโครงการงานพิเศษมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณพี่ๆนักวิทยาศาสตร์ประจำภาคเคมีและภาคชีววิทยาที่ช่วยจัดหาสารเคมีและสอนการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ต่างๆ ขอขอบคุณคุณกันตพัฒน์และคุณณัฐษาที่ให้คำปรึกษางานวิจัย รวมถึงร้านขายน้ำอ้อยคั้นสดที่เอื้อเฟื้อชานอ้อยที่เป็นวัสดุหลักของงานวิจัยนี้ และสุดท้ายขอขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ผู้เป็นที่รัก ผู้ให้กำลังใจจนงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี รวมถึงเพื่อนร่วมสาขาที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดงานวิจัย โดยผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ทำการศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้อง ขอขอบพระคุณอย่างยิ่ง

ฐิติพร เสงสาโรชัย
ประมัยพร ตุ่มแก้ว
ปรียาภรณ์ กองโชค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส.....	4
2.2 การปรับปรุงคุณภาพวัสดุ.....	6
2.3 อุตสาหกรรมอ้อยคั้นน้ำ.....	9
2.3.1 องค์ประกอบของชานอ้อย.....	9
2.3.2 ประโยชน์ของชานอ้อย.....	10
2.4 การดูดซับ (Adsorption).....	10
2.4.1 ประเภทของตัวดูดซับ.....	11
2.4.2 ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ.....	11
2.4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption isotherm).....	13
2.5 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ.....	15
2.5.1 แหล่งที่มาของฟอสเฟต.....	15
2.5.2 ผลกระทบของฟอสเฟตในแหล่งน้ำ.....	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	20
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.1 อุปกรณ์.....	20
3.1.2 สารเคมี.....	20
3.2 การเตรียมขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี	21
3.3 การศึกษาผลของการปรับสภาพขานอ้อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH).....	21
3.3.1 ศึกษาผลของความเข้มข้น	21
3.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิ.....	22
3.4 การศึกษาผลของการเติมเฟอร์ริกไอออน.....	22
3.4.1 ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัสด.....	22
3.4.2 ศึกษาผลของความเข้มข้น	23
3.5 การทดสอบความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟต.....	24
3.5.1 เตรียมสารละลายออร์โธฟอสเฟต	24
3.5.2 ศึกษาผลของระยะเวลา	24
3.5.3 ศึกษาผลของปริมาณวัสดุ.....	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	26
4.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	26
4.2 การปรับสภาพขานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์.....	26
4.2.1 ผลความเข้มข้นของ NaOH.....	27
4.2.2 ผลของอุณหภูมิ.....	30
4.3 การเติมเฟอร์ริกไอออน	32
4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัสด.....	32
4.3.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้น.....	35
4.4 การกำจัดออร์โธฟอสเฟตด้วยขานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ	38
4.4.1 ผลของระยะเวลาสัมผัสด.....	38
4.4.2 ผลของความเข้มข้น.....	39
4.4.3 ผลของปริมาณวัสดุติดซับ.....	40
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	42
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	42
5.2 ข้อเสนอแนะ	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	44
ภาคผนวก.....	49
ภาคผนวก ก.....	50
ภาคผนวก ข.....	52



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน	8
2.2 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของชานอ้อย	9
3.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของวัสดุ	21
4.1 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของชานอ้อยไม่ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0, 4.0, และ 8.0 % (w/v)	27
4.2 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน	28
4.3 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพเทียบกับชานอ้อยปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% (w/v) ที่อุณหภูมิต่างกัน	30
4.4 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% (w/v) นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างกัน	31
4.5 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของชานอ้อยที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ด้วยเมื่อแช่ใน 0.1 M $FeCl_3$ (pH=2) ที่ระยะเวลาต่างกัน	33
4.6 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน	34
4.7 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของชานอ้อยที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ด้วยเมื่อแช่เป็นระยะเวลา 120 นาที ที่ความเข้มข้น $FeCl_3$ ต่างกัน	36
4.8 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ที่ความเข้มข้นต่างกัน นาน 120 นาที	37
4.9 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ที่อธิบายสมดุลการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยชานอ้อย	41
4.10 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิชที่อธิบายสมดุลการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยชานอ้อย	41
ก-1 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต	50
ข-1 การวิเคราะห์ค่า Methylene Blue Number ของเปลือกสับประรดที่ผ่านการปรับสภาพ	52
ข-2 การวิเคราะห์ปริมาณ Blank และ Control ของ เฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในการเคลือบผิวชานอ้อย	57
ข-3 การวิเคราะห์ปริมาณของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในการเคลือบผิวชานอ้อย	58
ข-4 การวิเคราะห์ค่า Methylene Blue Number ของชานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+})	60
ข-5 ผลการทดสอบการแปรผันระยะเวลาสัมผัสในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง	63
ข-6 ผลการทดสอบการแปรผันปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับในน้ำตัวอย่าง	64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-7 ผลการทดสอบการแปรผันปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับในน้ำตัวอย่าง 65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส	4
2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส.....	5
2.3 โครงสร้างของลิกนิน.....	5
2.4 การปรับปรุงเซลลูโลสด้วยต่าง	7
2.5 การเพิ่มประจุบวกบนพื้นผิวตัวดูดซับโดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน	7
2.6 Langmuir Adsorption Isoterm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง.....	14
2.7 Freundlich Adsorption Isoterm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง.....	15
4.1 ลักษณะของวัสดุ 3 ชนิด เมื่อ (A) คือ ขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ, (B) คือ ขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และ(C) คือ ขานอ้อยที่เคลือบเหล็กและเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe ³⁺ ด้วย NH ₄ OH.....	26
4.2 สเปกตรัม FT –IR ของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน.....	28
4.3 สเปกตรัม FT –IR ของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% (w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ อุณหภูมิที่ต่างกัน.....	31
4.4 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออนและความจุในการดูดซับ Fe ³⁺ ของขานอ้อยที่ระยะเวลาต่างกัน.....	33
4.5 สเปกตรัม FT-IR ของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และผ่านการเคลือบด้วย Fe ³⁺ ที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน.....	34
4.6 ความเข้มข้นและความจุในการดูดซับ Fe ³⁺ ของขานอ้อยเมื่อความเข้มข้นของสารละลายต่างกัน.....	35
4.7 สเปกตรัม FT-IR ของขานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe ³⁺ ที่ความเข้มข้นต่างกันในาน 120 นาที.....	37
4.8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดออร์โธฟอสเฟตที่เวลาต่างกันของขานอ้อย	39
4.9 เปอร์เซ็นต์การกำจัดออร์โธฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างกันของขานอ้อยที่เติม Fe ³⁺	39
4.10 เปอร์เซ็นต์การกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 mg/L ของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe ³⁺ ด้วย NH ₄ OH ซึ่งใช้ในปริมาณต่างกัน.....	40
ข-1 กราฟเส้นตรงของ M.B.N ขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส.....	56
ข-2 กราฟมาตรฐานของเฟอร์ริกไอออน (Fe ³⁺).....	59
ข-3 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต.....	66

สารบัญญรูป (ต่อ)

ข-4 ไอโซเทอร์มการดูดซับออร์โธฟอสเฟตแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช..... 66



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟอสฟอรัส เป็นแร่ธาตุที่มีความสำคัญต่อมนุษย์ และยังเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืช ดังนั้นฟอสฟอรัสจึงมีความสำคัญอย่างมากต่อเกษตรกรในการเพาะปลูกพืชตามฤดูกาลเช่นกัน จากการสำรวจพบว่าดินในธรรมชาติมีฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณที่ต่ำ ทำให้เกษตรกรจำเป็นต้องเติมปุ๋ยฟอสเฟตให้ดินเพื่อชดเชยและเพิ่มธาตุอาหารฟอสฟอรัสที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ (รวินศักดิ์และปฐมพงษ์, 2017) ประกอบในปัจจุบันภาคการเกษตรมีการขยายตัวอยู่ในเกณฑ์สูง (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2560) จึงทำให้การใช้ปุ๋ยฟอสเฟตมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ปริมาณการใช้ที่เพิ่มขึ้นนี้ ทำให้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดค่อยๆหมดไป เนื่องจากต้นกำเนิดของปุ๋ยฟอสเฟตที่ใช้ในปัจจุบันส่วนใหญ่ผลิตมาจากแหล่งทรัพยากรที่สะสมอยู่บนโลก คือ หินฟอสเฟต (International Plant Nutrition Institute, 2010) ผลสืบเนื่องมาจากการใช้ปุ๋ยฟอสเฟตเพื่อเพิ่มผลผลิตน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่ทางการเกษตร มักมีฟอสฟอรัสปริมาณสูงทำให้เกิดเป็นมลพิษทางน้ำได้ (Vaccari, 2009) เพราะฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารที่สำคัญของพืชน้ำโดยเฉพาะ สาหร่าย และแพลงก์ตอนพืช (วสันต์, 2556) ฟอสฟอรัสในน้ำจะไปกระตุ้นให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วหรือเกิดภาวะการบลูมของแพลงก์ตอนพืช ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ภาวะดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำ ปริมาณออกซิเจนลดน้อยลง และยังทำให้แหล่งน้ำเกิดการเน่าเสียไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ นอกจากนี้ฟอสฟอรัสที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจากภาคการเกษตรแล้ว น้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือนเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำมีปริมาณสูงขึ้น (พงษ์ศักดิ์และรัฐชา, 2557) การบำบัดน้ำเสียให้มีปริมาณฟอสฟอรัสเป็นไปตามค่ามาตรฐานด้วยวิธีการทางเคมีหรือชีวภาพจึงเป็นแนวทางที่นิยมปฏิบัติเพื่อควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำ ที่ยังก่อนระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ (มันสิน, 2542) ในปัจจุบันมีการให้ความสนใจในเรื่องการรีไซเคิลฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำเสียมากขึ้น (Acnewswire, 2013; Cornel and Schaum, 2009) เนื่องจากความวิตกกังวลเกี่ยวกับวิกฤติและโอกาสในการขาดแคลนฟอสฟอรัสได้มีการกล่าวถึงมากขึ้น ทำให้วิธีการบำบัดน้ำเสียเพื่อรีไซเคิลนำฟอสเฟตกลับมาใช้ใหม่เป็นหัวข้อวิจัยที่ได้รับความสนใจมากขึ้น (Cornel and Schaum, 2009)

การดูดซับจัดเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดและกักเก็บฟอสฟอรัสในน้ำเสีย (Huang et al, 2017, Sperlich, 2010) งานวิจัยของ Sperlich (2010) ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุดูดซับจำพวก Granular Ferric Hydroxide (GFH®) มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสฟอรัสในน้ำเสียได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามราคาของวัสดุดูดซับอาจเป็นปัจจัยสำคัญที่จำกัดความเหมาะสมของกระบวนการนำไปใช้

ดังกล่าว ทำให้วัสดุเหลือทิ้งจากธรรมชาติ จึงเป็นแหล่งวัตถุดิบที่น่าสนใจในการนำมาผลิตเป็นวัสดุดูดซับฟอสเฟตในน้ำ เนื่องจากหาได้ง่ายและราคาถูก ประกอบกับงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) ได้แสดงให้เห็นว่าการเคลือบเหล็กจำพวกเฟอร์ริกบนผิวของวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่ผ่านการปรับสภาพด้วยต่าง เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถพัฒนาวัสดุตัวกลางให้มีความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำได้ อีกทั้งขานอ้อยจัดเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสที่มีปริมาณเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก ส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากความนิยมในการบริโภคน้ำอ้อยคั้นสดและการขยายตัวอย่างรวดเร็วของอุตสาหกรรมน้ำอ้อยพร้อมดื่ม (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี, 2557) โครงการพิเศษนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการพัฒนาวัสดุดูดซับฟอสเฟตในน้ำจากขานอ้อย หากเป็นไปได้จะไม่เพียงเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้ง แต่อาจได้แนวทางในการควบคุมฟอสฟอรัสในน้ำเสียเพื่อให้เกิดการนำกลับมาใช้หรือรีไซเคิลได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการพัฒนาวัสดุดูดซับฟอสเฟตในน้ำจากขานอ้อยด้วยวิธีการปรับสภาพด้วยเบสและการดัดแปรพื้นผิวด้วยไอออนเหล็ก

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือ ขานอ้อยที่เหลือจากการหีบน้ำอ้อย ซึ่งจะเตรียมตัวอย่างอ้างอิงวิธีการตามงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558)
2. การศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุ ได้แก่ ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number, M.B.N) อ้างอิงวิธีตามงานวิจัยของปรินทร (2551) และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานซฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)
3. ศึกษาผลการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
 - ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของ NaOH (2%, 4%, 8% w/v) และอุณหภูมิ (30, 50 และ 100 องศาเซลเซียส)
 - ตัวแปรตาม ได้แก่ M.B.N และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR
4. ศึกษาผลของการเคลือบผิวด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์
 - ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส 30, 60 และ 120 นาที และความเข้มข้นของ Fe^{3+} 0.1, 0.15 และ 0.2 M
 - ตัวแปรตาม ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณ Fe^{3+} ที่เหลือในสารละลายด้วยเทคนิค AAS (Atomic Absorption Spectrometer, AAS) และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ-เคมี วัสดุ ได้แก่ M.B.N และวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการวิจัยและเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การทดสอบความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โทฟอสเฟต

- ปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัส และปริมาณตัวดูดซับ
- ตัวแปรตาม ได้แก่ วิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่เหลือในสารละลายด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA et al., 2012)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร
2. เป็นแนวทางในการควบคุมและกักเก็บฟอสฟอรัสจากน้ำเสีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส

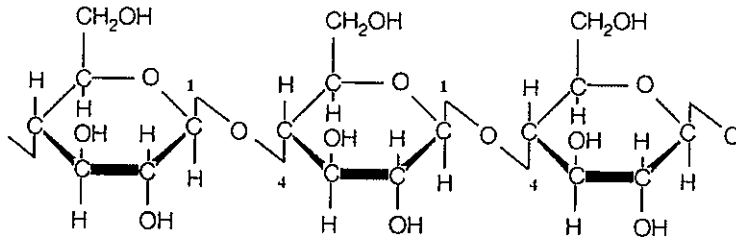
ปัจจุบันลิกโนเซลลูโลสเป็นสารประกอบชีวมวลที่มีปริมาณมากที่สุดในโลกพบได้ทั่วไปในวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร พืชไม้เนื้อแข็ง และพืชไม้เนื้ออ่อน องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสจะแตกต่างกันตามชนิดของพืชแต่โดยทั่วไปแล้วประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังรูปที่ 2.1 โดยวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย ชังข้าวโพด เปลือกส้ม จะประกอบด้วย เฮมิเซลลูโลสและเซลลูโลสมากกว่าร้อยละ 50 โดยน้ำหนักแห้ง โดยจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบมากที่สุด (พิชามญช์และคณะ, 2556)



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส

ที่มา: Niklas et al. (2013)

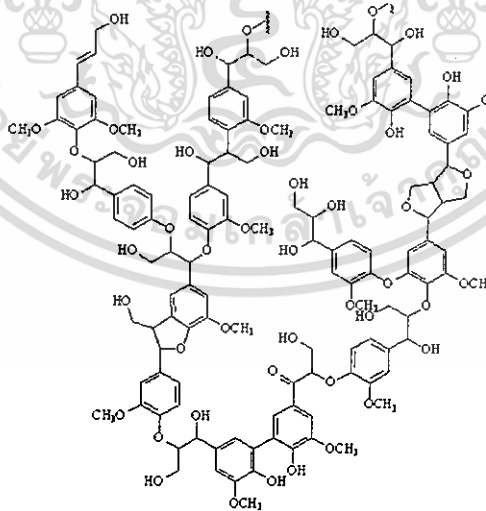
โครงสร้างของเซลลูโลสจะประกอบไปด้วยหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคส (Glucose) ต่อกันเป็นโพลิเมอร์ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ β -1,4 glucosidic ระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (Hydroxyl functional group) ในหน่วยของเซลลูโลส โมเลกุลจะจัดรูปแบบสลับหมู่ฟังก์ชันสลับด้านกันหรือที่เรียกว่า ซินดีโอแทคติก (Syndiotactic) ดังรูปที่ 2.2 ขนาดโมเลกุลของเซลลูโลสจะแสดงโดย Degree of Polymerization (DP) จะมีมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ โดย DP จะมีผลต่อสมบัติเชิงกล สมบัติการละลาย สมบัติทางชีวภาพ และสมบัติทางกายภาพ สำหรับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะมี DP ของเซลลูโลสประมาณ 1,000-20,000 (พอดตา, 2547) ทำให้เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรถูกนำมาวิจัยและพัฒนาเพื่อการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเซลลูโลส

ที่มา: ชัยนันท์ และเฉลิม (2555)

โดยงานวิจัยของ Ofomaja et al. (2009) ได้แสดงให้เห็นว่าวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถนำมาใช้เป็นตัวดูดซับสารมลพิษในน้ำเสียได้ อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการดูดซับจะมีค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ค่าความต้องการออกซิเจนทางเคมี (Chemical Oxygen Demand, COD) และปริมาณสารคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon, TOC) เพิ่มขึ้นจากการปนเปื้อนของสารอินทรีย์ที่ละลายได้ (Soluble organic compounds) จากองค์ประกอบของเศษวัสดุ นอกจากนี้ความจุในการดูดซับสารมลพิษของวัสดุยังมีค่าต่ำ เนื่องจากองค์ประกอบในผนังเซลล์ของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสถูกห่อหุ้มด้วยลิกนิน ซึ่งมีโครงสร้างแบบสามมิติของวงแหวนฟีนอล (Phenol) ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะอีเทอร์ (Ether) ดังรูปที่ 2.3 ทำให้ผนังเซลล์ที่มีความแข็งแรง และทนทานต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมี (สารชัย, 2548) ดังนั้นก่อนการนำเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้เป็นตัวดูดซับ จึงควรนำมาผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อลดข้อจำกัดดังกล่าวและเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับให้กับวัสดุ



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของลิกนิน

ที่มา: ชัยนันท์ และเฉลิม (2555)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การปรับปรุงคุณภาพวัสดุ

การปรับปรุงคุณภาพวัสดุเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับให้กับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการปรับปรุงออกได้เป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การปรับปรุงด้วยกระบวนการทางกายภาพ (Physical modification) เป็นการทำให้วัสดุมีขนาดเล็กลงเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับวัสดุ โดยวิธีที่นิยมใช้ ได้แก่ การบดและการตัด รวมถึงการให้ความร้อน (Barka et al., 2013)

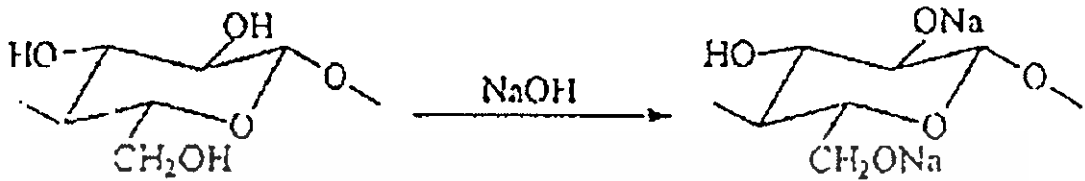
2. การปรับปรุงด้วยกระบวนการทางเคมี (Chemical modification) เป็นการใช้สารเคมีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับให้กับวัสดุ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้กระบวนการปรับปรุงคุณภาพแบบ 2 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับสภาพด้วยด่าง และการเคลือบผิวของวัสดุ ซึ่งมีรายละเอียดที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.1 การปรับสภาพด้วยด่าง (Alkaline pretreatment) เป็นการปรับปรุงพื้นที่ผิวของวัสดุด้วยสารที่เป็นด่าง ดังที่นิยมใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวของเศษวัสดุทางการเกษตรได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH), โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) และแอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (NH₄OH) โดยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะนิยมใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นด่างแก่สามารถกำจัดลิกนินได้ดีและมีราคาถูก (ซันนันท และเฉลิม, 2555) นอกจากนี้จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้แสดงให้เห็นว่าการปรับปรุงวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรด้วยด่างก่อนนำมาใช้เป็นตัวดูดซับ จะช่วยลดปัญหาการเพิ่มขึ้นของค่า BOD, COD และ TOC ในน้ำเสียที่เกิดจากสารอินทรีย์ละลายได้จากวัสดุ (Xuang et al., 2006) โดยทั่วไปกระบวนการดูดซับของวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสจะเป็นการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange) ในโครงสร้างส่วนที่เป็นเซลลูโลสระหว่างหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่ตำแหน่งคาร์บอน 2, 3 และ 6 กับไอออนของตัวถูกดูดซับ ถึงแม้ว่าหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา แต่การเกิดปฏิกิริยาไม่ได้เกิดขึ้นง่ายในทุกตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันเหล่านี้จะเกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นภายในโมเลกุล และระหว่างโมเลกุลที่อยู่ติดกันทำให้เกิดกลายเป็นสายโซ่โมเลกุลเรียงซ้อนกันและจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบจนกลายเป็นโครงสร้างแบบผลึก (Crystalline) การปรับปรุงคุณภาพด้วยด่างจะทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวและลดความเป็นผลึก ส่งผลให้หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากขึ้นซึ่งการเข้าทำปฏิกิริยาของสารเคมีกับเซลลูโลสจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลึก และส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Amorphous) โดยสามารถแบ่งลักษณะการทำปฏิกิริยาได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

1. Surface reaction เป็นการทำปฏิกิริยาที่พื้นผิวส่วนใดส่วนหนึ่ง
2. Macroheterogeneous reaction เป็นการทำปฏิกิริยาที่พื้นผิว และผ่านเข้าไปในเส้นใยจากชั้นหนึ่งสู่อีกชั้นหนึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเซลลูโลสเกิดการละลาย
3. Microheterogeneous reaction เป็นการทำปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการบวมตัวในขณะที่เซลลูโลสอยู่ในตัวกลาง

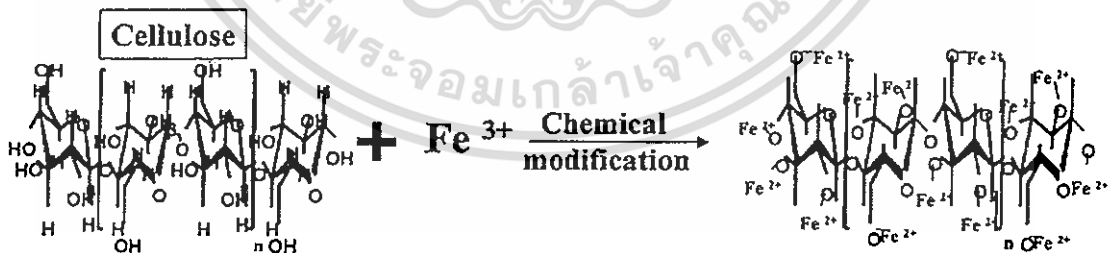
4. Permuted reaction เป็นการเกิดปฏิกิริยาภายในเส้นใย และบริเวณที่เป็นผลึก
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ก็จะไม่เกิดการละลาย เนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไปปฏิกิริยา Photochemical ของเซลลูโลสจะถูกพิจารณาเป็น Surface reaction ซึ่งการใช้ตัวทำละลายและไม่ทำให้เซลลูโลสเกิดการบวมตัวเช่น การย่อยด้วยกรด จะเป็นแบบ Macroheterogeneous ส่วนการทำให้เซลลูโลสบวมตัวด้วยต่าง เช่น NaOH, KOH และ LiOH จะเป็นปฏิกิริยาแบบ Microheterogeneous โดย Alkaline จะเข้าทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสเกิดเป็น Alkali cellulose ดังรูปที่ 2.4 (พอดา, 2547)



รูปที่ 2.4 การปรับปรุงเซลลูโลสด้วยด่าง
ที่มา: พอดา (2547)

2.2 การเคลือบผิววัสดุ (Surface coating) กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนของเซลลูโลสจะเป็นกระบวนการที่ใช้ในการเคลือบผิวเพื่อเพิ่มประจุบนพื้นผิวของวัสดุ เนื่องจากเซลลูโลสเป็นสารที่มีคุณสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) และสามารถตรึงไอออนของโลหะหนักให้เข้ากับโมเลกุลได้ด้วยพันธะเคมี จากงานวิจัยของ Kim (2008) พบว่าการพัฒนาตัวดูดซับทางการเกษตรโดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างเซลลูโลสกับไอออนของโลหะหนัก เช่น Fe^{3+} , Fe^{2+} และ Al^{3+} มีทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับไอออนลบของฟอสเฟต (PO_4^{3-}) และสารหนู (AsO_4^{3-}) ในน้ำเพิ่มขึ้น โดยไอออนของโลหะหนักจะเกิดปฏิกิริยาแบบแทนที่ ณ ตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลของเซลลูโลส ทำให้พื้นผิวของตัวดูดซับมีประจุบวกเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเพิ่มประจุบวกบนพื้นผิวดูดซับโดยอาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน
ที่มา: Kim (2008)

กระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน เป็นกระบวนการที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลาย กับไอออนในของแข็งซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ทำให้โครงสร้างของของแข็ง (เซลลูโลส) เกิดการร้าวไม่เปลี่ยนแปลง โดยประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนไอออนจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลักๆ 5 ปัจจัย ได้แก่ นำไปใช้

1. ประจุของไอออน โดยไอออนที่มีประจุสูงกว่าจะเกิดการแลกเปลี่ยนได้ดีกว่า ตัวอย่างความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเรียงลำดับจากมากไปน้อย ดังนี้ $Fe^{3+} > Fe^{2+} > Na^+$
2. สำหรับไอออนที่มีประจุเท่ากัน ไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่าจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนดีกว่า เช่น $Ba^{2+} > Sr^{2+} > Ca^{2+} > Mg^{2+}$
3. องศาการเชื่อมโยง (Degree of cross linking) ในวัสดุที่มีองศาการเชื่อมโยงสูงจะมีรูพรุนขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับการแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ส่วนวัสดุที่มีองศาการเชื่อมโยงน้อยจะมีรูพรุนขนาดใหญ่จึงเหมาะกับการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง
4. ความเข้มข้นของสารละลาย ในกรณีที่สารละลายมีความเข้มข้นสูงกว่าไอออนของสารละลายที่มีประจุต่ำอาจมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนได้มากกว่าไอออนที่มีประจุสูงกว่าแต่มีความเข้มข้นต่ำกว่า
5. สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่มีประจุ สามารถเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนได้ดีเนื่องจากเกิดแรง Electrostatic force และ Van der Waal's force (ธวัชชัย, 2551) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน

ไอออนบวก	ไอออนลบ	ลำดับความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน
Fe^{3+}	CO_3^{2-}	↑
Al^{3+}	SO_4^{2-}	
Pb^{2+}	SO_3^{2-}	
Ba^{2+}	HPO_4^{2-}	
Sr^{2+}	CNS^-	
Cd^{2+}	CNO^-	
Zn^{2+}	NO^-	
Cu^{2+}	Br^-	
Fe^{2+}	Cl^-	
Mn^{2+}	CN^-	
Ca^{2+}	HCO^-	
Mg^{2+}	$HSiO^-$	
K^+	OH^-	
NH^+	F^-	
Ba^+		
H^+		
Li^+		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ที่มา: พอต้า (2547) ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อุตสาหกรรมอ้อยคั้นน้ำ

อุตสาหกรรมน้ำอ้อยพร้อมดื่มเริ่มมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น ทำให้อ้อยเป็นพืชที่ได้รับความนิยมสำหรับเกษตรกรชาวไร่ และมีจำนวนเกษตรกรที่ปลูกอ้อยกว่า 2 แสนครัวเรือน (สถาบันอาหารกระทรวงอุตสาหกรรม, 2558) ทำให้มีหน่วยงานหลักรับผิดชอบในด้านการพัฒนาวิธีการผลิตที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับเกษตรกร โดยมีเป้าหมายให้เกษตรกรนำไปปฏิบัติ เพื่อให้ได้ผลผลิตอ้อยคั้นน้ำที่มีคุณภาพดีและคุ้มค่าต่อการลงทุน (กรมวิชาการเกษตร, 2558) ซึ่งอุตสาหกรรมอ้อยคั้นน้ำจะมีจุดแข็งจากการใช้วัตถุดิบภายในประเทศมาแปรรูปเป็นน้ำอ้อยสดบริโภคภายในประเทศ และผลิตเป็นน้ำอ้อยพาสเจอร์ไรส์ส่งออกต่างประเทศ ตลาดผู้บริโภคน้ำอ้อยสดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทำให้การแปรรูปเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคมีมากขึ้น จึงมีเศษเหลือจากการหีบน้ำอ้อยเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณวัสดุเหลือทิ้งที่ต้องการกำจัดมากขึ้น และยังส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายไปในส่วนของการจัดการขยะที่เพิ่มขึ้นนี้ด้วย

2.3.1 องค์ประกอบของขานอ้อย (จรรยาและทินกร, 2554)

ขานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาล ในปีหนึ่งๆมีขานอ้อยเป็นจำนวนมากที่ใช้เป็นวัสดุคืบเพื่อทดแทนในอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุได้หลายประเภท เช่น การผลิตเยื่อกระดาษเนื่องจากขานอ้อยมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นเส้นใย (Fiber) ประมาณ 42-43 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เป็นเส้นใยนี้จะไม่ละลายน้ำและจะประกอบด้วย เซลลูโลส (cellulose), เพนโตแซน (Pentosans), ลิกนิน (Lignin), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และยังมีส่วนอื่นๆ คือ ความชื้น (Moisture) เซลลูโลสในขานอ้อยเป็นโฮโมพอลิเมอร์ประเภท D-กลูโคสพอลิเมอร์ เฮมิเซลลูโลสเป็นประเภท D-ไซเลน และลิกนินเป็นประเภทฟีนอลิก ขานอ้อยจะประกอบไปด้วย 2 ส่วนที่แยกกันอย่างเห็นได้ชัด คือ ส่วนแรกที่เป็นชั้นผนังหนาและจะค่อนข้างยาวซึ่งเป็นส่วนของเส้นใยที่ได้จากเปลือกนอกและมัดของท่อลำเลียงที่กระจายอยู่ในลำต้น ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่ได้จากเซลล์ที่มีผนังบางของพาราเรเนไคมา (Parenchyma) ของลำต้นที่ทำหน้าที่สะสมน้ำตาลอ้อย ส่วนประกอบทั้งหมดของขานอ้อยในส่วนของเส้นใยและแกนกลางแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงส่วนประกอบทางเคมีของขานอ้อย (คิดเป็นร้อยละโดยปราศจากความชื้น)

องค์ประกอบ	สัดส่วน (คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนัก)
เซลลูโลส	47.0
ลิกนิน	19.5
เพนโตแซน	25.1
เถ้า	1.4

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 6.257
 ไม่มีการนำใบสั่ง (2542) ที่ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ประโยชน์ของขานอ้อย (วัชรีและคณะ, 2540)

ขานอ้อยมีประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตและยังประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย อีกทางหนึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบที่เหลือทิ้งจากขั้นตอนการผลิต ขานอ้อยสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงและผลิตกระแสไฟฟ้า ขานอ้อยสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเตาหม้อน้ำเพื่อผลิตเป็นไอน้ำใช้ในการต้มเคี่ยวน้ำตาล ขานอ้อย(ความชื้นประมาณ 49 เปอร์เซ็นต์) หนัก 1 ตัน จะให้พลังงานความร้อนเทียบเท่าน้ำมันเตา 0.18 ตัน ถ่านหิน 0.26 ตัน ก๊าซธรรมชาติ 0.209 ลูกบาศก์เมตร หรือไม้ 0.55 ตัน ไอน้ำที่ผลิตได้นำไปชักลากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขานอ้อยที่นำมาผลิตกระแสไฟฟ้าต้องมีปริมาณมากพอ สามารถใช้แทนถ่านหินหรือน้ำมันเตา ซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่นับวันมีแต่จะหมดสิ้นไป

2. ใช้ผลิตเยื่อกระดาษ ประเทศที่ริเริ่มนำขานอ้อยมาทำเยื่อกระดาษ ได้แก่ ฝรั่งเศส เมื่อปี ค.ศ. 1833 ต่อมาแพร่หลายไปทั่วโลกและสามารถทำกระดาษอัดหรือไม้อัด โดยต้องพิจารณาเส้นใยที่นำมาผลิตด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรง จำนวนเส้นใย ความต้านทานต่อความชื้นและการผูกพันได้ดี นอกจากนี้สามารถใช้ขานอ้อยผลิตพาร์ติเคิลบอร์ด (partical board) นำมาอัดเป็นแผ่นเล็กๆเป็นชั้นๆ โดยใช้ความร้อนและสารเคมี ใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ตู้ทีวี กระเป๋าเดินทาง โต๊ะ ภาชนะ ฯลฯ

3. ใช้เป็นอาหารสัตว์ ขานอ้อยเมื่อทำให้แห้ง (ความชื้นประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์) สามารถใช้ผสมกับกากน้ำตาลในอัตราส่วนกากน้ำตาล 70 ส่วนต่อขานอ้อย 30 ส่วน ใช้เป็นอาหารสัตว์ได้

4. ใช้ผลิตคอนกรีต ด้วยการผสมขานอ้อย 6 ส่วนต่อปูนซีเมนต์ 1 ส่วน เพื่อให้มีราคาถูกลง มีน้ำหนักเบา และเพื่อต่อต้านการทำปฏิกิริยากับสีโป๊ว

5. ใช้ผลิตพลาสติก เนื่องจากส่วนประกอบของขานอ้อยมีลิกนินผสมอยู่ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการผลิตพลาสติกนอกจากนั้นยังมีส่วนผสมอื่นๆ ที่ใช้เป็นวัสดุ เช่น เนื้อไม้ที่ไม่ใช้แล้วนำมาย่อยสลายด้วยกรด ความร้อนและความดัน แล้วอัดเป็นเม็ดพลาสติก

6. ใช้เป็นสารเสริมแรง ขานอ้อยสามารถใช้เป็นสารเสริมแรงในพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกล โดยไม่นำเส้นใยมาผสมกับพอลิเมอร์เมทริกซ์ เพื่อผลิตเป็นพอลิเมอร์คอมพอสิต

2.4 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นปรากฏการณ์ที่สำคัญของกระบวนการทางกายภาพ ชีวภาพ และเคมี การดูดซับได้ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการบำบัดทั้งน้ำดีและน้ำเสีย การดูดซับเป็นความสามารถของสารในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่อยู่ในของเหลวหรือแก๊สให้มาจับและติดที่ผิวของมัน ซึ่งปรากฏการณ์เคลื่อนย้ายสารจากของเหลวหรือแก๊สมายังผิวของแข็งเป็นส่วนที่สำคัญของกระบวนการนี้ โดยโมเลกุลหรือคอลลอยด์ที่เคลื่อนย้ายมาเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเอกลาเป็นที่เกาะจับของตัวถูกดูดซับเรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) (พิมล และชัยวัฒน์, 2528) ยชนด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของการดูดซับที่เกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับสามารถจำแนกได้ 4 ประเภท คือ (มันสิน, 2542)

1. การดูดซับแบบกายภาพ (Physical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับบนผิวของตัวดูดซับโดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลอ่อนๆ และไม่กำหนดทิศทาง เช่น แรงแวลเดอร์วาลส์ พันธะไฮโดรเจน เป็นต้น ไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับทำได้ง่าย และรูปแบบการดูดซับอาจเกิดได้หลายชั้น (Multilayer)

2. การดูดซับแบบเคมี (Chemical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีต่อกัน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวดูดซับเดิม คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงตัวใหม่เป็นสารประกอบใหม่ขึ้น ซึ่งพันธะระหว่างอะตอมมักเป็นพันธะที่แข็งแรงมีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ความร้อนของการดูดซับมีค่ามาก การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากตัวดูดซับทำได้ยาก และรูปแบบการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer)

3. การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน (Exchange adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุ และเกิดแรงดึงดูดที่ผิวหน้าระหว่างประจุหรือไอออนของตัวดูดซับกับประจุตรงข้ามของตัวถูกดูดซับ หรือเกิดเนื่องจากการแทนที่ประจุที่ผิวหน้าของตัวดูดซับด้วยไอออนของตัวถูกดูดซับ

4. การดูดซับแบบเจาะจง (Specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมู่ฟังก์ชันอยู่บนผิว แต่ไม่ได้มีผลทำให้โครงสร้างของตัวดูดซับเปลี่ยนไป

2.4.1 ประเภทของตัวดูดซับ (วีรียา, 2550)

1. ตัวดูดซับเชิงพาณิชย์ เป็นตัวดูดซับที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น ซิลิกาเจล เป็นสารสังเคราะห์ที่ผลิตจากโซเดียมซิลิเกต แอคติเวตเตดอะลูมินา จะมีพื้นที่ผิวค่อนข้างน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับตัวดูดซับเชิงพาณิชย์ชนิดอื่น และถ่านกัมมันต์ สามารถดูดซับสารละลายอินทรีย์กลิ่นหรือก๊าซพิษต่างๆได้ดี

2. ตัวดูดซับธรรมชาติ เป็นตัวดูดซับที่ได้จากวัสดุทางธรรมชาติ เช่น ดินเหนียว ไคโตซานเป็นองค์ประกอบอยู่ในเปลือกนอกของสัตว์พวก กุ้ง ปู แมลง และเชื้อรา

3. ตัวดูดซับจากวัสดุทางการแพทย์ เป็นตัวดูดซับที่นิยมใช้เพื่อการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากหาได้ง่ายและใช้ต้นทุนการผลิตต่ำ ซึ่งส่วนมากจะถูกนำมาปรับปรุงคุณภาพก่อนนำมาใช้ เช่น กากชา เม็ดมะม่วงหิมพานต์ ซังข้าวโพด ผักตบชวา และชานอ้อย ฯลฯ

2.4.2 ปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ (มันสิน, 2542)

การดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับส่วนใหญ่จะจับภายในรูพรุนของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจากเฟสของไหลไปเอกส ยังตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงจุดสมดุลแล้วจะหยุดการดูดซับที่จุดสมดุล ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับจะ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่าเหลือน้อยมากในเฟสของของไหลเพราะส่วนมากจะเคลื่อนที่ไปจับอยู่กับตัวดูดซับหมดแล้ว ณ จุดสมดุล

สมดุลของการดูดติดผิวของตัวดูดซับจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ซึ่งใช้ในการกำหนดขีดความสามารถของระบบดูดซับเช่นทำให้รู้ว่าระบบดูดซับจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใด เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องกล่าวถึงคือ จลนพลศาสตร์ของระบบซึ่งอธิบายถึงอัตราเร็วของการดูดซับนั่นคือ เมื่อรู้ว่าการดูดซับจะสามารถเกิดขึ้นได้เท่าใด ยังต้องรู้ว่าอัตราเร็วของการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ภายในเวลาเท่าใดเพื่อนำไปกำหนดเวลาสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับเฟสของของไหลที่มีตัวถูกดูดซับอยู่ อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

1. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ Film Diffusion หรือขึ้นอยู่กับ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าเฟสของไหลมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของของไหลซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามาก และเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับที่จะเข้าไปหาตัวดูดซับทำให้ Film Diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าของไหลมีความปั่นป่วนสูงทำให้ของไหลไม่สามารถสะสมเกิดเป็นฟิล์มได้เป็นผลให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับไปอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ด้วยเหตุนี้อัตราเร็วในการดูดซับจึงขึ้นอยู่กับ Pore diffusion เนื่องจากมีความปั่นป่วนสูง
2. ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาดของตัวดูดซับมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือ ตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดซับตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย
3. ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับภายในเฟสของของไหล เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้นตัวถูกดูดซับจะถูกแยกออกจากเฟสของของไหล และไปเกาะติดอยู่ที่ผิวของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่สามารถละลายได้ในเฟสของของไหลได้ดีย่อมจะมีแรงยึดเหนี่ยวที่มาก จึงเป็นการยากที่ตัวถูกดูดซับจะมาเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับ แต่เกณฑ์นี้ไม่แน่นอนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับด้วย
4. ขนาดของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีอิทธิพล คือ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อตัวถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนได้หรือมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โดยตัวถูกดูดซับขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในรูพรุนก่อนแล้วตัวถูกดูดซับขนาดใหญ่กว่าจึงจะถูกดูดเข้าไปบ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พีเอช เนื่องจากพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายในน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับในระบบที่มีการละลายในน้ำด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ด้วย

6. อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคืออัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามอุณหภูมิที่ลดลง แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง

2.4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับ (Adsorption isotherm)

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption Isotherm) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับและความเข้มข้นของสารที่ยังเหลืออยู่ในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ แล้วนำไปเขียนกราฟลอการิทึม (Logarithm) โดยให้ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ในน้ำเป็นแกนนอนและปริมาณของสารที่ถูกดูดซับไปต่อหน้าหน้าสารดูดซับเป็นแกนตั้ง เส้นโค้งที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมด เรียกว่า Adsorption Isotherm ซึ่งมีประโยชน์มากในการหาความสามารถดูดซับของสิ่งสกปรกในน้ำเพื่อเปรียบเทียบชนิดสารดูดซับที่ดีที่สุด

ไอโซเทอร์มการดูดซับมีหลายชนิด เนื่องจากมีหลายทฤษฎีอธิบายสมดุลของการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ทฤษฎีที่นิยมใช้มากที่สุด คือ ทฤษฎีของแลงก์เมียร์ (Langmuir) และฟรุนดลิช (Freundlich)

1. Langmuir Adsorption Isotherm

สมการของ Langmuir ขึ้นกับความสมดุลระหว่างการกลั่นตัว และการระเหยของโมเลกุลที่ถูกดูดซับ เป็นไอโซเทอร์มที่ง่ายที่สุดซึ่งใช้กันมากสำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว และเป็นการดูดซับทางกายภาพ ซึ่งการเกิดการดูดซับมาจากสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

- โมเลกุลจะถูกจับบนพื้นที่ที่จำกัดของผิวตัวดูดซับ
- แต่ละพื้นที่ของตัวดูดซับเหมาะกับโมเลกุลที่เป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer)
- พื้นที่ผิวของตัวดูดซับจะจำกัดปริมาณของโมเลกุลที่จะดูดซับ
- พลังงานของการดูดซับจะเหมือนกันทุกๆ พื้นที่ของตัวดูดซับ
- โมเลกุลที่จะถูกดูดซับไม่สามารถที่จะย้ายข้ามผิวหรือเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลข้างเคียงได้

จากสมมติฐานต่างๆ สามารถเขียนเป็นสมการ Langmuir ได้ดังนี้

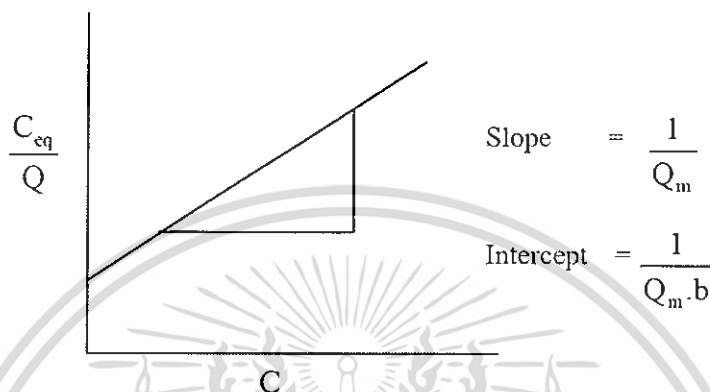
$$Q = \frac{Q_m b C_{eq}}{1 + b C_{eq}} \quad (2.1)$$

$$\frac{C_{eq}}{Q} = \frac{1}{Q_m \cdot b} + \frac{C_{eq}}{Q_m} \quad (2.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ	C_{eq}	=	ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุล (mg/L)
	Q	=	ความสามารถในการดูดซับ (mg/g)
	Q_m	=	ความสามารถสูงสุดในการดูดซับ (mg/g)
	b	=	ค่าคงที่การดูดซับแบบชั้นเดียว

นำสมการที่ (2.2) ไปเขียนกราฟ ซึ่ง b และ Q_m สามารถหาได้จาก slope และ intercept ดังรูป 2.6



รูปที่ 2.6 Langmuir Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง

ที่มา : เกรียงศักดิ์ (2546)

2. Freundlich Adsorption Isotherm

สมการของ Freundlich ใช้ทั้งกับการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ มักอธิบายการดูดซับของสารประเภทอินทรีย์และสารอนินทรีย์บนตัวดูดซับหลายประเภท เช่น ถ่านกัมมันต์ และเรซินสังเคราะห์ ฟรอนด์ชไอโซเทอร์ม เป็นไอโซเทอร์มที่พัฒนาจากแลงก์เมียร์ไอโซเทอร์มที่เกิดบนผิวหน้าวิวิธพันธุ์ (Heterogeneous) ซึ่งไม่เป็นเนื้อเดียว โดยที่การดูดซับบนพื้นผิวของตัวถูกดูดซับจะเป็นแบบหลายชั้น (Multilayer)

สมการที่ได้จากการสังเกตและทดลองการดูดซับโดยอาศัยสมมติฐานของทฤษฎีนี้เป็นแนวความคิดของแบบจำลองแบบ Multilayer แสดงดังสมการ (2.3), (2.4)

$$Q = K_F C_{eq}^{\frac{1}{n}} \quad (2.3)$$

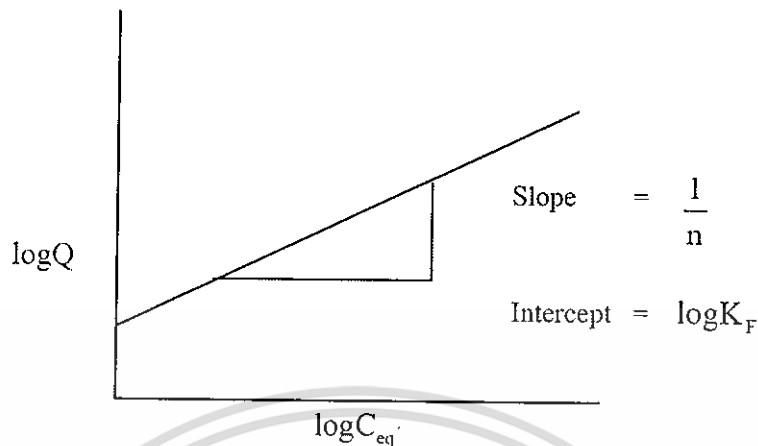
$$\log Q = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_{eq} \quad (2.4)$$

เมื่อ K = ค่าคงที่แสดงความสามารถในการดูดซับแบบหลายชั้น (mg/g)

N = ค่าคงที่แสดงการขึ้นตรงกับความเข้มข้นของสารละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการ (2.4) นำไปเขียนกราฟเส้นตรงได้ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 Freundlich Adsorption Isotherm ในรูปแบบของกราฟเส้นตรง
ที่มา : เกรียงศักดิ์ (2546)

2.5 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัส (Phosphorus; P) พบทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในรูปของฟอสเฟต และโมเลกุลฟอสเฟต อาจพบฟอสฟอรัสได้ทั้งในรูปสารละลาย สารแขวนลอยในน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อ ตลอดจนในตัวของสิ่งมีชีวิตต่างๆ ออร์โธฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตมักพบในรูปเป็นสารละลายในน้ำ และรวมเรียกว่า Soluble reaction phosphorus สารอินทรีย์ฟอสเฟตในน้ำอาจอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อน หรือในรูปตะกอนแขวนลอย (มันสิน และมันรัชย์, 2545)

2.5.1 แหล่งที่มาของฟอสเฟต

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติ และน้ำเสียจะอยู่ในรูปของฟอสเฟต โดยโมเลกุลของฟอสเฟต ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) หรือเรียกว่าฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) สารเหล่านี้ละลายน้ำได้ดี และแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโต ได้แก่ Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 , NaH_2PO_4 และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

2. โพลีฟอสเฟต (Polyphosphate) เป็นสารที่พบมากในน้ำเสียจากบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากเป็นส่วนผสมของน้ำยาทำความสะอาด เมื่อแตกตัวจะให้ออร์โธฟอสเฟต ได้แก่ $\text{Na}_3(\text{PO}_4)_6$, $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ และ $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ สารเหล่านี้เป็น Dehydrated Phosphate ซึ่งจะถูไฮโดรไลซ์ในน้ำกลับไปเป็นสารออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate)

3. อินทรีย์ฟอสเฟต (Organic Phosphate) สารประกอบฟอสเฟตชนิดนี้เกิดจากกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ พบได้ในรูปสารละลาย สารแขวนลอย สารอินทรีย์วัตถุที่กำลังเน่าสลายหรือเป็นองค์ประกอบในสิ่งมีชีวิต ได้แก่ Nucleic Acid, Phospholipids, และ Sugar Phosphate

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ผลกระทบของฟอสเฟตในแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัสจัดเป็น Growth Limiting Nutrient ของพืชน้ำและเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งที่ส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียว เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว ดังนั้นการระบายน้ำทิ้งที่ยังมีสารประกอบของฟอสฟอรัสลงไปในน้ำเป็นจำนวนมาก อาจกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็วทำให้แหล่งน้ำมีสีเขียวขุ่น ส่งผลให้แหล่งน้ำตื้นเขินขาดออกซิเจนในเวลาที่ไม่มีการแสดงแดดออกซิเจนในน้ำจะมีปริมาณลดลงและไม่ถึงผิวหน้าทำให้สัตว์น้ำขาดอากาศหายใจซึ่งเป็นการเพิ่มความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำและ ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในแหล่งน้ำโดยเฉพาะในแหล่งน้ำนิ่ง คือ ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ (พรทวี, 2557) ปัจจุบันพบว่า การเกิดยูโทรฟิเคชันไม่ใช่จะเกิดเฉพาะในทะเลสาบหรือหนองน้ำ แต่สามารถเกิดในแม่น้ำ ชายฝั่งทะเล และทะเลได้ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ ,2556)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณัฐชา และคณะ (2559) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกสับปะรดดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบ ได้แก่ ฟอสเฟต และคลอไรด์ในน้ำ เปลือกสับปะรดที่ใช้เตรียมขึ้นโดยการปรับสภาพด้วย 2.0% NaOH และเคลือบผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนตามสภาวะที่ระบุในงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) ผลการศึกษาการกำจัดฟอสเฟตในน้ำพบว่า วัสดุดังกล่าวสามารถกำจัดฟอสเฟตเข้มข้น 1 mg/L ได้สูงถึง 93.67% เมื่อใช้ปริมาณวัสดุเท่ากับ 20 g/L ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 8 ชั่วโมง เมื่อทดสอบความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำพบว่า วัสดุดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์น้อยมาก (0.78%) เมื่อใช้ปริมาณเปลือกสับปะรดดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนเท่ากับ 200 g/L ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 4 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม พบว่าการแช่เปลือกสับปะรดดัดแปรพื้นผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในน้ำสามารถเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำ

กันตพัฒน์ (2558) ทำการศึกษาดูดซับจากเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย โดยนำเปลือกสับปะรด มาปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยเปลือกสับปะรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% (w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50°C จะมีความสามารถในการดูดซับไอโอดีน และความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นผิวของวัสดุ การดัดแปรพื้นผิวของเปลือกสับปะรดซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วยต่างโดยการแช่ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ทำให้ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูลดลง การแช่เปลือกสับปะรดที่เคลือบผิวด้วยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลาร์ นาน 10 นาที เพิ่มการดูดซับของ Fe^{3+} ดังจะเห็นได้จากการลดลงของเปอร์เซ็นต์การคายซับจาก 61.71% ในตัวอย่างที่ไม่เพิ่มการดูดซับผิวเหลือ 0.81% ในตัวอย่างที่เพิ่มการดูดซับผิวด้วย NH_4OH ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตด้วยเปลือกสับปะรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และ Fe^{3+} สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์มแบบแลนเมียร์ โดยมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความจุในการดูดซับที่คำนวณได้เท่ากับ 35.33 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลจากการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรมการซักผ้าพบว่าเปลือกสับประรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ Fe^{3+} ความสามารถกำจัดฟอสเฟตทั้งหมดและโพสฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 88.80% และ 91.98% เมื่อบำบัดน้ำเสียดังกล่าวด้วยเปลือกสับประรดที่ปรับปรุงคุณภาพในปริมาณ 16 กรัมต่อลิตร

ศรีอุบล (2552) การกำจัดสีในน้ำเชื่อมในแพคเกจคอลลัมน์นี้ จะใช้เถ้าลอยขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากเตาเผาของ โรงงานผลิตน้ำตาล เมื่อวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ พบว่าเถ้าลอยขานอ้อยมีพื้นที่ผิวทั้งหมด (BET) เท่ากับ 256 ตารางเมตรต่อกรัม และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูพรุนเท่ากับ 32.42 อังสตรอม จากการศึกษาวิธีการปรับสภาพเถ้าลอยขานอ้อยด้วยสารละลายกรดซัลฟูริก และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นมาตรฐาน 0.1 นอร์มัล พบว่าเถ้าลอยขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย สารละลายกรดซัลฟูริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำเชื่อมไม่ แตกต่างจากเถ้าลอยขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ จึงใช้เถ้าลอยขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เป็นตัวดูดซับสีน้ำเชื่อมของการทดลองทั้งหมด การศึกษาเวลาและปริมาณที่เหมาะสมในการกำจัดสี โดยใช้เถ้าลอยขานอ้อย พบว่าการกำจัดสีในน้ำเชื่อมเสถียรที่เวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง และปริมาณเถ้าลอย ขานอ้อยต่อปริมาตรน้ำเชื่อมเท่ากับร้อยละ 10 เมื่อศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับสีสังเคราะห์เมลานอยดิน (ซึ่งใช้เป็นตัวแทนสีของน้ำเชื่อม) พบว่ากลไกไอโซเทอร์มการดูดซับสีสังเคราะห์เมลานอยดินเป็นกลไก ร่วมทั้งกายภาพและเคมี การศึกษาหมู่ฟังก์ชันของสีที่ถูกดูดซับด้วยเถ้าลอยขานอ้อยโดยใช้เครื่อง FT-IR พบว่ามีลักษณะคล้ายคลึงกัน และหมู่ฟังก์ชันของเถ้าลอยขานอ้อยก่อนและหลังดูดซับสีน้ำเชื่อม พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ปรากฏพีคของสีน้ำเชื่อมหลังการดูดซับ ประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยใช้เถ้าลอยขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพเท่ากับร้อยละ 73 (ค่าสีที่เหลือในหน่วย ICUMSA เท่ากับ 272)

Ronda et al. (2013) ทำการศึกษาการปรับสภาพกิ้งมะกอกด้วยสารละลายที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ H_2SO_4 , HNO_3 และ NaOH เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตะกั่วในสารละลาย โดยนำกิ้งมะกอกที่บดจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร มาปรับสภาพด้วย H_2SO_4 , HNO_3 และ NaOH เข้มข้นอย่างละ 0.1 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างกิ้งมะกอกต่อสารปรับสภาพเป็น 1:10 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 K พบว่า กิ้งมะกอกที่ปรับสภาพด้วย H_2SO_4 และ HNO_3 มีพื้นที่ผิวจำเพาะลดลงจาก $0.63 \text{ m}^2/\text{g}$ เป็น $0.61 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $0.43 \text{ m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ ในการปรับสภาพด้วย H_2SO_4 ส่งผลให้กิ้งมะกอกมีปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก $0.00154 \text{ cm}^3/\text{g}$ เป็น $0.00165 \text{ cm}^3/\text{g}$ ขณะที่การปรับสภาพด้วย HNO_3 ทำให้ปริมาตรรูพรุนรวมลดลงเหลือ $0.00098 \text{ cm}^3/\text{g}$ ส่วนการปรับสภาพด้วย NaOH ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมของกิ้งมะกอกเพิ่มขึ้นเป็น $3.53 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $0.00583 \text{ cm}^3/\text{g}$ ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบการดูดซับตะกั่วในสารละลาย พบว่ากิ้งมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับตะกั่วได้มากกว่ากิ้งมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วย H_2SO_4 และ HNO_3 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mandina et al. (2013) ทำการดัดแปรพื้นผิวของเปลือกส้มด้วยกระบวนการทางเคมี เพื่อใช้กำจัด Cr^{6+} ในน้ำเสีย โดยการปรับสภาพเปลือกส้มด้วย NaOH เข้มข้น 0.10 โมลาร์ เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นทำการล้างและอบเปลือกส้มให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผล FT-IR พบว่าเปลือกส้มที่ปรับสภาพด้วย NaOH จะมีลักษณะสเปกตรัมคล้ายกับเปลือกส้มที่ไม่ปรับสภาพ แต่จะมีการลดลงของความเข้มพีคที่ประมาณ 1740 cm^{-1} ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชันของ Ester ที่คาดว่าถูกไฮโดรไลซ์ด้วย NaOH โดยเปลือกส้มที่ผ่านการปรับสภาพจะมีความจุในการดูดซับ Cr^{6+} เพิ่มขึ้นจาก 9.70 mg/g เป็น 13.9 mg/g

Liu et al. (2012) ศึกษาการเตรียมถ่านกัมมันต์จากต้นไผ่ที่ผ่านการดัดแปรด้วย Fe^{3+} เพื่อใช้กำจัดสารหนู (AsO_4^{3-}) ในสารละลาย โดยนำถ่านกัมมันต์ที่ได้จากต้นไผ่มาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.01 โมลาร์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและแช่ลงในสารละลาย $FeCl_3$ เข้มข้น 0.10 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ทำการล้างและอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย Fe^{3+} จะมีพื้นที่ผิวลดลงจาก $58.67\text{ m}^2/\text{g}$ เหลือ $13.07\text{ m}^2/\text{g}$ แสดงให้เห็นถึงการยึดเกาะของ Fe^{3+} บนถ่านกัมมันต์ ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่ผ่านการดัดแปรด้วย Fe^{3+} จะมีความจุสูงสุดในการดูดซับสารหนูเท่ากับ 19.67 mg/g

Ning-chuan and Xue-yi (2012) ทำการเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกส้มเพื่อใช้กำจัดโลหะหนัก 3 ชนิด ได้แก่ Cu^{2+} , Pb^{2+} และ Zn^{2+} ซึ่งทำการปรับสภาพเปลือกส้มด้วย NaOH โดยนำเปลือกส้มที่มีขนาด 0.45 มิลลิเมตร มาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.8 โมลาร์ เป็นระยะเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นทำการกรองและนำเปลือกส้มไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยพบว่าเปลือกส้มที่ปรับสภาพด้วย NaOH มีความจุสูงสุดในการดูดซับ Cu^{2+} , Pb^{2+} และ Zn^{2+} เท่ากับ 70.73, 209.8 และ 56.18 mg/g ตามลำดับ

Chowdhury et al. (2011) ทำการศึกษการปรับสภาพแกลบข้าวด้วย NaOH เพื่อใช้ดูดซับสีมาลาไคท์กรีน โดยนำแกลบมาบด ล้างให้สะอาด และอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นนำมาแช่ในสารละลาย NaOH เข้มข้น 5.0% โดยน้ำหนักต่อปริมาตรเป็นเวลา 15 นาที ที่ความดัน 10 psi จากนั้นนำแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมากรองและอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง และทำการวิเคราะห์พื้นผิวของแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพเทียบกับแกลบข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยเครื่อง SEM พบว่าพื้นผิวของแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีรูพรุนมากขึ้น อีกทั้งยังมีความขรุขระและหยาบมากกว่าแกลบข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดมาลาไคท์กรีน พบว่าแกลบข้าวที่ผ่านการปรับสภาพสามารถกำจัดมาลาไคท์กรีนได้ 97% โดยพื้นผิวของแกลบข้าวหลังจากใช้ดูดซับมาลาไคท์กรีน จะมีลักษณะเรียบขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากมาลาไคท์กรีนที่ถูกดูดซับจะไปเคลือบพื้นผิวของแกลบข้าว

Nasuha and Hameed (2011) ทำการศึกษการปรับสภาพกากชาด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อใช้สำหรับดูดซับเมทธิลินบลู โดยนำกากชามาล้างให้สะอาด และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดจนมีขนาด 250-355 ไมโครเมตร แช่ใน

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยพบว่ากากขาที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นผิวคล้ายรังผึ้ง มีรอยแตกและมีรูพรุนมากกว่ากากขาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 K พบว่ากากขาที่ปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 4.2 m²/g เป็น 6.5 m²/g และปริมาตรรูรวมเพิ่มขึ้นจาก 230.0045 cm³/g เป็น 0.0064 cm³/g ซึ่งเมื่อนำทดสอบความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลู พบว่ากากขาที่ผ่านการปรับสภาพสามารถดูดซับเมทธิลีนบลูเพิ่มขึ้นจาก 147 mg/g เป็น 242 mg/g

Zhao et al. (2009) ทำการสังเคราะห์ตัวดูดซับสารหนูจากใยฝ้ายที่ผ่านการตัดแปรด้วย Fe³⁺ โดยนำใยฝ้ายมาแช่ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 0.60 โมลาร์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของใยฝ้ายที่ผ่านการตัดแปร พบว่าเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการตัดแปรมีรูพรุนขนาดใหญ่ (5-30 ไมโครเมตร) มีพื้นที่ผิวที่ขรุขระและมีพื้นที่ผิวจำเพาะเท่ากับ 2.23 m²/g โดยเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการตัดแปรสามารถกำจัดสารหนูได้มากกว่า 98%

Kim (2008) ทำการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ได้แก่ ใยกระดาษ, เมล็ดข้าวโพด และเส้นใยฝ้าย เพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับฟอสเฟตและสารหนูในน้ำ โดยการตัดแปรวัสดุด้วยสารละลาย FeCl₃ เข้มข้น 0.01 ถึง 0.3 โมลาร์ เป็นเวลา 0.1 ถึง 2.0 ชั่วโมง นำไปอบให้แห้งและนำมาแช่ในสารละลาย NH₄OH เข้มข้น 0.1 ถึง 1.0 โมลาร์ เป็นเวลา 0.1 ถึง 10 นาที จากนั้นนำมาล้าง และอบให้แห้ง เมื่อทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตและสารหนู พบว่าวัสดุที่ผ่านการตัดแปรสามารถลดความเข้มข้นของฟอสเฟตและสารหนูในน้ำได้มากกว่า 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, AAS) รุ่น AAnalyst 200 บริษัท PerkinElmer
2. เครื่องฟูเรียร์ทรานซฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) รุ่น IRTracer-100 บริษัท SHIMADZU
3. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น 5300 ยี่ห้อ Hitachi
4. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance) รุ่น MS204TS ยี่ห้อ Metter toledo
5. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal Shaker) รุ่น SHO-1D ยี่ห้อ Wisd Laboratory instruments
6. เครื่องปั่นเหวี่ยงพร้อมหลอด (Centrifuge) รุ่น B 1601085 QB บริษัท โปริวิชชั่น ไชแอนติฟิค จำกัด
7. เครื่องบดหยาบ (Coarse grinding) รุ่น B65 ยี่ห้อ Bosco
8. เครื่องบดละเอียด (Grinding mill) รุ่น SK 100 ยี่ห้อ Retsch
9. ตู้อบ (Oven) รุ่น UN 55 ยี่ห้อ memmert
10. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
11. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filtration Apparafurus) รุ่น A-1000S ยี่ห้อ EYELA
12. ตะแกรงร่อน (sieve) ขนาด 70 และ 100 เมช
13. กระดาษวัดพีเอช (pH paper)
14. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41
15. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว

3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR Grade, Carlo Erba
2. เพอร์ริคคลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) AR Grade, Loba Chemie
3. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) AR Grade, Carlo Erba
4. เมทิลีนบลู (Methylene blue) AR Grade, Fisher Scientific, UK

เอกสารนี้เป็น 5.0 ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) AR Grade, Carlo Erba นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) AR Grade, Fisher Scientific, UK
7. แอสคอร์บิก (Ascorbic acid) AR Grade, Carlo Erba
8. โพแทสเซียมแอนติโมนีตาเตรตเฮมิไฮเดรต ($(\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_8 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O})$) AR Grade, Carlo Erba
9. ฟีนอล์ฟทาลีน (phenolphthalein) AR Grade, Fisher Scientific, UK
10. แอมโมเนียมโมลิบเดตเตตระไฮเดรต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) AR Grade, Carlo Erba
11. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) AR Grade, Carlo Erba

3.2 การเตรียมขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพทางเคมี

นำขานอ้อยที่เหลือจากการหีบน้ำอ้อยมาล้างน้ำประปา 2 ครั้ง และล้างด้วยน้ำกลั่น อีก 2 ครั้ง จากนั้นนำขานอ้อยไปตากแดดประมาณ 5 วัน แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ นำไปบดด้วยเครื่องบดหยาบ และเครื่องบดละเอียด ตามลำดับ แล้วนำมาร้อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของวัสดุ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
หมู่ฟังก์ชันทางเคมี	FT-IR
ค่าการดูดซับเมทิลีน (Methylene number, M.B.N.)	การหาค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู อ้างอิงตามงานวิจัยของปริญทร (2551)

3.3 การศึกษาผลของการปรับสภาพขานอ้อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)

3.3.1 ศึกษาผลของความเข้มข้น

1. นำขานอ้อยที่เตรียมได้จากข้อ 3.2 มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 2% (w/v) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขานอ้อยกับปริมาตรของ NaOH เท่ากับ 1:30

2. ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายที่ผ่านการกรองมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

3. ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีตามที่ระบุในตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของ NaOH จาก 2% w/v เป็น 4% w/v และ 8% w/v ตามลำดับ

3.3.2 ศึกษาผลของอุณหภูมิ

1. นำขานอ้อยที่เตรียมได้จากข้อ 3.2 มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยใช้ความเข้มข้นที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.1 กำหนดให้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขานอ้อยกับปริมาตรของ NaOH เท่ากับ 1:30 และอุณหภูมิที่ใช้ คือ อุณหภูมิห้อง (30 องศาเซลเซียส)

2. ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายที่ผ่านการกรองมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์

3. ทำการศึกษสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีดังตารางที่ 3.1

4. ทำการทดลองซ้ำข้อ 1-3 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิ จาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 50 และ 100 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

3.4 การศึกษาผลของการเติมเฟอร์ริกไอออน

3.4.1 ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส

1. นำขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 มาแช่ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) นาน 30 นาที กำหนดให้ความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เท่ากับ 0.10 โมลาร์ โดยพีเอชของสารละลายมีค่าเท่ากับ 2 และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขานอ้อยกับปริมาตรสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เท่ากับ 1:15

2. ทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนและสารละลายออกจากกัน นำสารละลายส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ริกไอออนที่เหลือในสารละลายด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry และคำนวณค่าความจุในการดูดซับเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ดังสมการที่ 3.1

$$q = \frac{(C_0 - C_e)}{M} \times V \quad (3.1)$$

เมื่อ	q	=	ค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของขานอ้อย (mg/g)
	C_0	=	ความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} (mg/L)
	C_e	=	ความเข้มข้นที่เหลือของ Fe^{3+} (mg/L)
	V	=	ปริมาตรของสารละลาย $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สมมติขึ้นไว้สำหรับการนำเสนอของขานอ้อย (g) นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ลงในส่วนที่เป็นตะกอนแช่ทิ้งไว้ 10 นาที อ้างอิงจากงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) กำหนดอัตราส่วนระหว่างขานอ้อยกับสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เป็น 1:15 จากนั้นนำไปกรองลดความดันเพื่อแยกตะกอนและสารละลายออกจากกัน

4. นำขานอ้อยไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ดังตารางที่ 3.1

5. ทำการทดลองซ้ำ 1-5 แต่เปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสจาก 30 นาที เป็น 60 และ 120 นาที ตามลำดับ

6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-5 แต่ไม่แช่ขานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

7. ทำแบบจำลอง โดยการแช่ขานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาที และวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในน้ำกลั่นที่ผ่านการแช่ขานอ้อยด้วย Atomic Absorption Spectrometer

3.4.2 ศึกษาผลของความเข้มข้น

1. นำขานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วย NaOH ในสถานะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 มาแช่ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ตามเวลาเหมาะสมที่ได้จากข้อ 3.4.1 กำหนดความเข้มข้นของ Fe^{3+} เท่ากับ 0.10 โมลาร์ และพีเอชของสารละลายให้เท่ากับ 2 และอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักขานอ้อยกับปริมาตรสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เท่ากับ 1:15

2. ทำการปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกตะกอนและสารละลายออกจากกัน นำสารละลายส่วนที่ใสไปวิเคราะห์หาปริมาณเฟอร์ริกไอออนที่เหลือในสารละลายด้วยเทคนิค Atomic Absorption Spectrometry และคำนวณค่าความจุในการดูดซับเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ของขานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ดังสมการที่ 3.1

3. เติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น 1.0 โมลาร์ ลงในส่วนที่เป็นตะกอนแช่ทิ้งไว้ 10 นาที อ้างอิงจากงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) กำหนดอัตราส่วนระหว่างขานอ้อยกับสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เป็น 1:15 จากนั้นนำไปกรองลดความดันเพื่อแยกตะกอนและสารละลายออกจากกัน

4. นำขานอ้อยไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ดังตารางที่ 3.1

5. ทำการทดลองซ้ำ 1-5 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของ Fe^{3+} จาก 0.10 โมลาร์ เป็น 0.15 และ 0.20 โมลาร์ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-5 แต่ไม่แช่ขานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ลงในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

3.5 การทดสอบความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โทฟอสเฟต

3.5.1 เตรียมสารละลายออร์โทฟอสเฟต

1. ละลาย KH_2PO_4 219.5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีปริมาตรฟอสเฟต 50.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. ปิเปตสารละลายที่เตรียมจากข้อ 1 มาปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดวัดปริมาตร จะได้สารละลายที่มีออร์โทฟอสเฟตเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.5.2 ศึกษาผลของระยะเวลา

1. ชั่งขานอ้อยที่เติมเฟอร์ริกไอออนตามสภาวะที่ได้ในข้อ 3.4.2 ขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ในสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.3.2 และขานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพจากข้อ 3.2 มาอย่างละ 0.4 กรัม

2. เติมสารละลายออร์โทฟอสเฟตเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA et al., 2012)

4. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-3 แต่เปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสจาก 2 ชั่วโมง เป็น 4, 8, 12, และ 24 ชั่วโมง ตามลำดับ

5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 แต่ไม่ใส่ขานอ้อยในลงสารละลายออร์โทฟอสเฟต

3.5.3 การศึกษาผลของความเข้มข้น

1. ชั่งขานอ้อยที่เติมเฟอร์ริกไอออนและเพิ่มการติดผิวด้วย NH_4OH ตามสภาวะที่ได้ในข้อ 3.4.2 มา 0.4 กรัม

2. เติมสารละลายออร์โทฟอสเฟตเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.2

3. ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA et al., 2012) มิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-3 แต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายออร์โทฟอสเฟตจาก 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 5 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 แต่ไม่ใส่ขานอ้อยในลงสารละลายออร์โทฟอสเฟต

3.5.4 ศึกษาผลของปริมาณวัสดุ

1. ชั่งขานอ้อยที่เติมเฟอร์ริกไอออนและเพิ่มการติดผิวด้วย NH_4OH ตามสภาวะที่ได้ในข้อ 3.4.2 มา 0.4 กรัม

2. เติมสารละลายออร์โทฟอสเฟตโดยใช้ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไป 50 มิลลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาสัมผัสที่เหมาะสมจากข้อ 3.5.2

3. ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41 แล้วนำไปทำการวิเคราะห์ปริมาณออร์โทฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA et al., 2012)

4. ทำการทดลองซ้ำข้อที่ 1-3 แต่เปลี่ยนปริมาณวัสดุจาก 0.4 กรัม เป็น 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 กรัม ตามลำดับ

5. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1-4 แต่ไม่ใส่ขานอ้อยในลงสารละลายออร์โทฟอสเฟต

6. ทำการศึกษารูปแบบการดูดซับออร์โทฟอสเฟตในน้ำเสียสังเคราะห์ของขานอ้อยที่ปรับปรุงสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเคลือบผิวด้วยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และไอโซเทอร์มแบบฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาการเตรียมขานอ้อย สำหรับใช้เป็นวัสดุดูดซับฟอสเฟตในน้ำ โดยขั้นตอนการเตรียมแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และเคลือบเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) พร้อมเพิ่มประสิทธิภาพการดูดติดของ Fe^{3+} บนพื้นผิวขานอ้อยด้วย NH_4OH ซึ่งมีปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของ NaOH อุณหภูมิที่ใช้ในการแช่ขานอ้อยกับ NaOH เวลาที่ใช้ในการเคลือบเฟอร์ริกไอออน และความเข้มข้นของ Fe^{3+} นอกจากนี้ทำการศึกษารูปแบบจำลองไอโซเทอร์มแบบแลงก์เมียร์ และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดฟอสเฟตจากน้ำเสียสังเคราะห์ ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

วัสดุที่เตรียมขึ้นตามวิธีการในข้อ 3.2, 3.3.2 และ 3.4.2 มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ลักษณะของวัสดุ 3 ชนิด เมื่อ (A) คือ ขานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ (B) คือ ขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และ (C) คือ ขานอ้อยที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+}

จากรูปที่ 4.1 พบว่า ขานอ้อยที่ผ่านการเตรียมตัวอย่างดังอธิบายในหัวข้อ 3.2 มีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเหลืองอ่อน (รูป 4.1A) เมื่อนำมาปรับด้วย NaOH เข้มข้น 2% w/v นาน 24 ชั่วโมง พบว่าสีของวัสดุจางลง (รูป 4.1B) เมื่อเทียบกับขานอ้อยไม่ปรับสภาพ และเมื่อนำไปเติมเหล็กจำพวกเฟอร์ริกเข้มข้น 2 M นาน 120 นาที พบว่าวัสดุมีสีแดงอิฐ (รูป 4.1C)

4.2 การปรับสภาพขานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลการศึกษาการปรับสภาพขานอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยมีปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ ความเข้มข้นของ NaOH และอุณหภูมิที่ใช้ สามารถอธิบายผลได้ดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 ผลความเข้มข้นของ NaOH

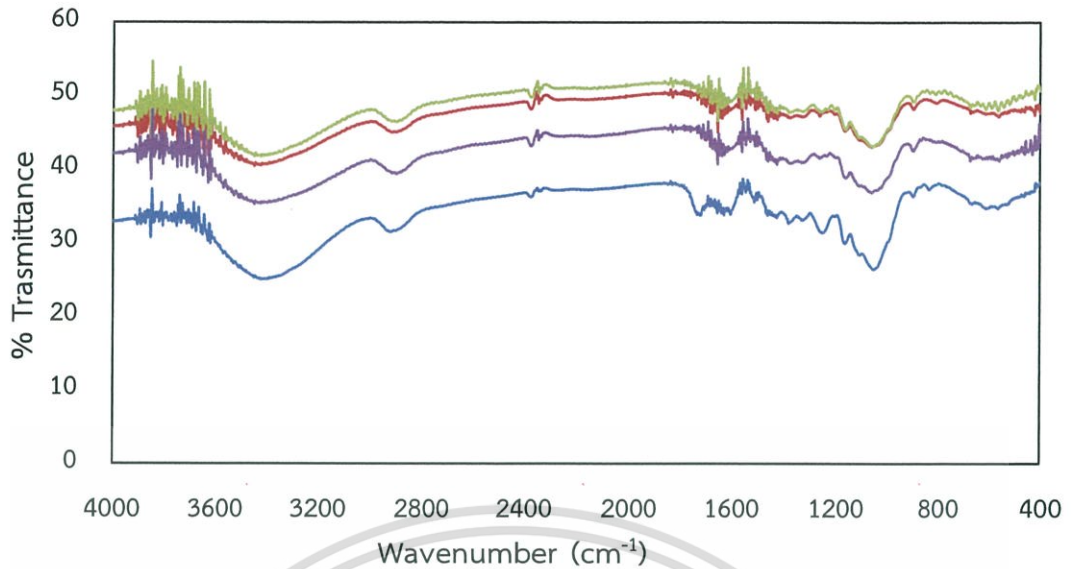
เมื่อนำชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH มาวิเคราะห์ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N.) ซึ่งเป็นค่าที่สามารถบอกถึงปริมาณพื้นที่ผิวสัมผัสของวัสดุดูดซับได้ (Hegyesei, 2017) พบว่าชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH มีค่า M.B.N. สูงกว่าชานอ้อยก่อนปรับสภาพ (ตารางที่ 4.1) นั้นแสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุได้ ส่งผลให้ชานอ้อยสามารถดูดซับเมทธิลีนบลูได้มากขึ้น ทั้งนี้การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวอาจเกิดขึ้นจาก NaOH ซึ่งเป็นเบสแก่ มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน สามารถทำลายลิกนินที่ผิวของวัสดุลิกโนเซลลูโลสได้และลดความเป็นผลึกลง ผลที่ได้มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) ที่พบว่าการแช่เปลือกสับประรดใน NaOH จะทำให้พื้นที่ผิวของเปลือกสับประรดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 26.90 m²/g เทียบกับเปลือกสับประรดก่อนปรับสภาพมีพื้นที่ผิวเท่ากับ 8.38 m²/g นอกจากนี้พบว่าระดับความเข้มข้นของ NaOH ส่งผลต่อพื้นที่ผิวของชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพ โดยค่า M.B.N. มีแนวโน้มลดลงจาก 38.0 mg/g เมื่อแช่ใน NaOH 2% w/v เหลือ 30.8 mg/g และ 32.6 mg/g เมื่อแช่ใน NaOH 4% และ 8% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Lin (2015) ที่ทำการศึกษาคโครงสร้างทางกายภาพเมื่อปรับปรุงวัสดุด้วย NaOH แสดงให้เห็นว่า Clinoptilolite ซึ่งเป็นวัสดุจำพวกซิลิกาชนิดหนึ่ง ที่จะมีพื้นที่ผิวลดลงเมื่อความเข้มข้น NaOH เพิ่มขึ้นมากกว่า 1.5 โมลาร์

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของชานอ้อยไม่ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0, 4.0, และ 8.0 % (w/v)

ชนิดของตัวอย่าง	ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
ชานอ้อยก่อนปรับสภาพ	25.52 ± 1.68
ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH	
2% (w/v)	38.00 ± 21.20
4% (w/v)	30.76 ± 1.66
8% (w/v)	32.55 ± 2.38

ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เทียบกับชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพด้วยเทคนิค FT-IR ที่เลขคลื่นในช่วง 400 ถึง 4000 cm⁻¹ ได้ผลดังรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 สเปกตรัม FT-IR ของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ระดับความเข้มข้นที่ต่างกัน เมื่อเส้น (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ, (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH 2% w/v, (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH 4% w/v, (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH 8% w/v

ตารางที่ 4.2 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่ความเข้มข้นที่ต่างกัน

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ชานอ้อย			
	ไม่ปรับปรุง	ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0%	ปรับสภาพด้วย NaOH 4.0%	ปรับสภาพด้วย NaOH 8.0%
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, m	b, s	b, s	b, s
2800-3000 (C-H aliphatic)	m	m	m	m
1730-1750 (C=O ของ Ester)	w	vw	w	w
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	w	sh, m	sh, m	sh, m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ชานอ้อย			
	ไม่ปรับปรุง	ปรับสภาพด้วย NaOH 2.0%	ปรับสภาพด้วย NaOH 4.0%	ปรับสภาพด้วย NaOH 8.0%
1400-1450 (C-H Aromatic)	w	w	w	w
1200-1250 (C-O ของ Carbonyl)	w	w	w	w
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	b, s	b, s	b, s	b, s

หมายเหตุ b = board, m = medium, sh = sharp, w = weak, vw = very weak

จากรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2 พบว่า FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ ปรากฏพีคที่มีลักษณะกว้างที่เลขคลื่น 3200-3500 cm⁻¹ ซึ่งระบุได้ว่าเป็นหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (Hydroxy) จาก O-H stretching และในช่วงคลื่นประมาณ 2920.23 cm⁻¹ ปรากฏพีคที่มีความเข้มต่ำซึ่งเป็นแถบการยืดของพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนจาก C-H stretching ที่พีคในช่วงคลื่น 1400-1450 cm⁻¹ ปรากฏการยืดของกลุ่ม C-H aromatic และที่เลขคลื่นประมาณ 1000-1150 cm⁻¹ ปรากฏการสั่นจาก C-O stretching ของกลุ่ม Alcohol ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่เป็นองค์ประกอบของ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนินและเพคตินที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของชานอ้อย (Uddin et.al., 2010) นอกจากนี้ยังปรากฏพีคที่เลขคลื่น 1629.85 cm⁻¹ และ 1724.36 cm⁻¹ คาดว่าเป็นพีคของ C=O stretching จากพันธะ Carboxylate (COO⁻) และหมู่ Ester carbonyl ที่เป็นองค์ประกอบของ เฮมิเซลลูโลสและลิกนิน (Ning-chuang et.al., 2010)

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH พบว่ามีการปรากฏแถบการดูดกลืน (absorption band) ที่ตำแหน่งเลขคลื่นใกล้เคียงกับที่ปรากฏในชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ แต่มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน โดยเฉพาะหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ที่เลขคลื่นระหว่าง 3200-3500 cm⁻¹ และหมู่ฟังก์ชัน Carbonyl (C=O) จากกลุ่ม Carboxylate ที่เลขคลื่นระหว่าง 1600-1650 cm⁻¹ และมีการลดลงของ C=O stretching ของหมู่ Ester carbonyl ซึ่งสังเกตได้จากการลดลงของความเข้มพีคที่เลขคลื่น 1724.36 cm⁻¹ เนื่องจากหมู่ Ester จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วย NaOH เกิดเป็นกลุ่ม Carboxylate และ Alcohol (Nghah and Hanafiah, 2008) ดังสมการที่ 4.1 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Souza et.al., (2012) ที่พบว่า FT-IR สเปกตรัมของเปลือกส้มที่ปรับสภาพด้วย NaOH จะปรากฏพีคที่หมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลที่เลขคลื่น 3429 cm⁻¹ และหมู่ฟังก์ชันคาร์บอนิลที่เลขคลื่น 1629 cm⁻¹ ที่มีลักษณะความเข้มเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งหมู่ฟังก์ชันดังกล่าวเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญในกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนัก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.2.2 ผลของอุณหภูมิ

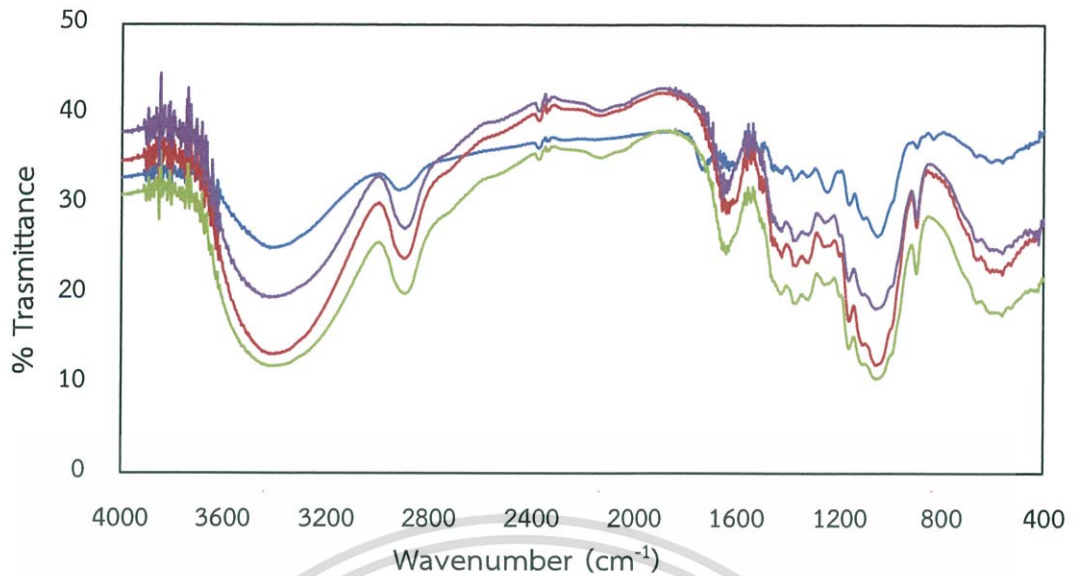
การศึกษาผลอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพทำได้โดยนำชานอ้อยไปแช่ NaOH เข้มข้น 2% w/v ที่อุณหภูมิต่างกัน ได้แก่ 30°C, 50°C และ 100°C ซึ่งผลการหาค่า M.B.N. เป็นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพเทียบกับชานอ้อยปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% (w/v) ที่อุณหภูมิต่างกัน

ชนิดของตัวอย่าง	ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
ชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ	25.52 ± 1.68
ชานอ้อยที่ปรับสภาพที่อุณหภูมิ	
30°C	38.00 ± 21.20
50°C	23.71 ± 6.93
100°C	17.38 ± 7.66

จากตารางที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ปรับสภาพมีผลต่อพื้นที่ผิวของวัสดุ โดยการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ 30°C ทำให้ชานอ้อยมีค่า M.B.N. เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ (25.52 mg/g) อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 50°C และ 100°C ค่า M.B.N. มีแนวโน้มลดลงเหลือ 23.71 mg/g และ 17.38 mg/g ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากองค์ประกอบบางส่วนของลิกโนเซลลูโลสในชานอ้อยถูกทำลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (Xu et al., 2010)

ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0% w/v เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างกัน เทียบกับชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพด้วยเทคนิค FT-IR ที่เลขคลื่นในช่วง 400 ถึง 4000 cm^{-1} ได้ผลดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.3



รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของขาน้ำอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิที่ต่างกัน เมื่อเส้น (—) คือสเปกตรัมของขาน้ำอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ, (—) คือ สเปกตรัมของขาน้ำอ้อยที่ปรับสภาพที่ 30 °C, (—) คือสเปกตรัมของขาน้ำอ้อยที่ปรับสภาพที่ 50 °C, (—) คือสเปกตรัมของขาน้ำอ้อยที่ปรับสภาพที่ 100 °C

ตารางที่ 4.4 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของขาน้ำอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% (w/v) นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิต่างกัน

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ขาน้ำอ้อย			
	ไม่ปรับปรุง	ปรับสภาพด้วย NaOH 2% (w/v) นาน 24 ชั่วโมง		
		30 °C	50 °C	100 °C
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, s	b, s	b, s	b, s
2800-3000 (C-H aliphatic)	m	m	m	m
1730-1750 (C=O ของ Ester)	vw	w	w	w
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	w	sh, m	sh, m	sh, m
1400-1450 (C-H Aromatic)	w	w	w	w

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ขานอ้อย			
	ไม่ปรับปรุง	ปรับสภาพด้วย NaOH 2% (w/v) นาน 24 ชั่วโมง		
		30 °C	50 °C	100 °C
1200-1250 (C-O ของ Carbonyl)	w	w	w	w
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	b, s	b, s	b, s	b, s

หมายเหตุ b = board, m = medium, sh = sharp, w = weak, vw = very weak

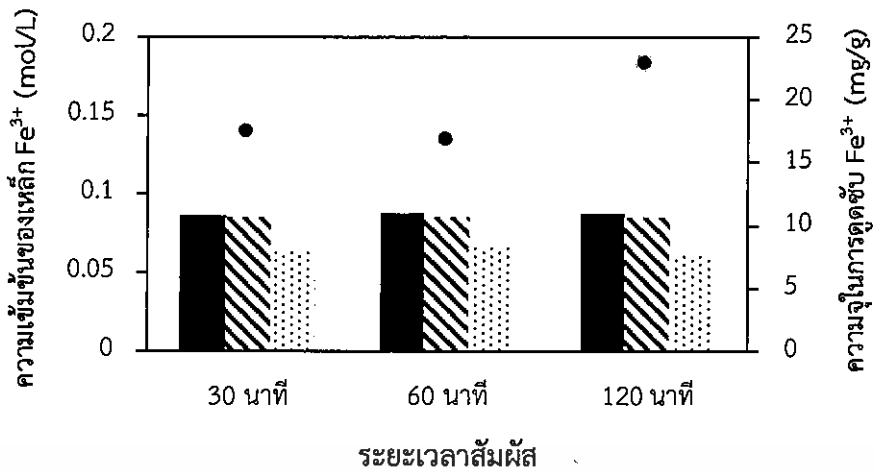
จากรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2% (w/v) โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการปรับสภาพด้วย NaOH ที่ 30 °C เป็น 50 °C และ 100 °C ไม่ส่งผลให้ลักษณะและความเข้มของสเปกตรัมแตกต่างกัน และไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันสำคัญที่ใช้สำหรับการแลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะหนัก จึงเลือกอุณหภูมิที่ 30 °C นำมาศึกษาขั้นตอนต่อไป

4.3 การเติมเฟอร์ริกไอออน

เป็นการเติมเฟอร์ริกไอออนบนพื้นผิวขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ที่สภาวะเหมาะสม และนำไปเคลือบผิวขานอ้อยด้วยเหล็กจำพวกเฟอร์ริกเพื่อปรับปรุงวัสดุดูดซับให้มีความสามารถในการดูดซับไอออนลบของฟอสเฟต โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ ระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นของสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃) ผลการศึกษาเป็นดังนี้

4.3.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส

ผลจากการแช่ขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃) เข้มข้น 0.10 โมลาร์ (pH=2) เป็นเวลา 30, 60, และ 120 นาที ได้ผลดังในรูปที่ 4.4 จากการวิเคราะห์ปริมาณ Fe³⁺ ที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเทคนิค AAS พบว่าชุดทดลองซึ่งเป็นชุดที่มีการเติมขานอ้อยที่ปรับสภาพในสารละลายเหล็กจำพวกเฟอร์ริกจะมีความเข้มข้นของ Fe³⁺ ลดลงจากความเข้มข้นเริ่มต้น (รูปที่ 4.4) เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ Fe³⁺ ในชุดควบคุม พบว่าปริมาณ Fe³⁺ มีค่าความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้น Fe³⁺ ก่อนนำไปแช่ขานอ้อย แสดงให้เห็นว่าความเข้มข้น Fe³⁺ ที่ลดลงในชุดทดลอง เกิดจากการดูดซับของเฟอร์ริกบนพื้นผิวขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เมื่อนำข้อมูลความเข้มข้นของเหล็กเฟอร์ริกไปคำนวณค่าความจุในการดูดซับ Fe³⁺ ของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH พบว่าค่าความจุในการดูดซับเหล็กเฟอร์ริกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาสัมผัส โดยที่ระยะเวลาสัมผัส 120 นาทีได้ค่าความจุในการดูดซับเหล็กเฟอร์ริกสูงถึง 22.88 mg/g



รูปที่ 4.4 ความเข้มข้นของเฟอร์ริกไอออนและความจุในการดูดซับ Fe^{3+} ของชานอ้อยที่ระยะเวลาต่างกันโดย(■) คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe^{3+} , (▨) คือ ความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในชุดควบคุม, (∴) คือ ความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในชุดทดลอง และ(●) คือ ความจุในการดูดซับ Fe^{3+}

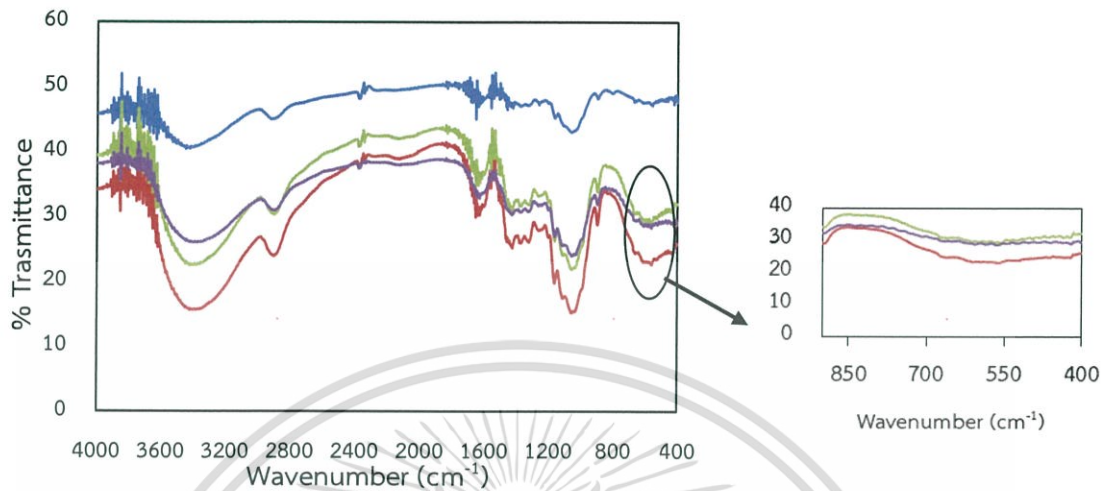
เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับเมทธิสินบลู (M.B.N.) ของชานอ้อยที่เติม Fe^{3+} พบว่าค่า M.B.N. มีค่าลดลงตามระยะเวลาสัมผัสดที่นานขึ้นระหว่างชานอ้อยปรับสภาพด้วย NaOH กับ Fe^{3+} (ตารางที่ 4.5) โดยชานอ้อยที่แช่ในสารละลาย $FeCl_3$ นาน 30, 60 และ 120 นาที มีค่า M.B.N. เท่ากับ 48.37, 30.47 และ 33.88 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ การลดลงของค่า M.B.N. ของชานอ้อยที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} สอดคล้องกับงานวิจัยของ กันตพัฒน์ (2558) ที่พบว่าเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับปรุงพื้นที่ผิวด้วย Fe^{3+} มีพื้นที่ผิวลดลงจาก 26.90 ตารางเมตรต่อกรัม เหลือ 6.33 ตารางเมตรต่อกรัม เนื่องจากการทดลองในระยะเวลาสัมผัสดต่างๆ สดุดที่เตรียมขึ้นมีอยู่อย่างจำกัด ส่งผลให้ทำการทดลองได้แค่เพียง 1 ชั่วโมง ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณผลทางสถิติได้

ตารางที่ 4.5 ค่าการดูดซับเมทธิสินบลูของชานอ้อยที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ด้วยเมื่อแช่ใน 0.10 M $FeCl_3$ (pH=2) ที่ระยะเวลาต่างกัน

ระยะเวลาสัมผัสด	ค่าการดูดซับเมทธิสินบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
30 นาที	48.37
60 นาที	30.47
120 นาที	33.88

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบของชานอ้อยที่ผ่านการเคลือบเหล็กด้วยเพอร์ริกไอออนที่ระยะเวลาต่างกันเทียบกับชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH ด้วยเทคนิค FT-IR ที่เลขคลื่นช่วง 400 ถึง 4000 cm^{-1} ได้ผลดังรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.6



รูปที่ 4.5 สเปกตรัม FT-IR ของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และผ่านการเคลือบด้วย Fe^{3+} ที่เวลาต่างกัน เมื่อเส้น (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH, (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่เคลือบด้วย Fe^{3+} นาน 30 นาที, (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่เคลือบด้วย Fe^{3+} นาน 60 นาที, (—) คือ สเปกตรัมของชานอ้อยที่เคลือบด้วย Fe^{3+} นาน 120 นาที

ตารางที่ 4.6 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ที่ระยะเวลาต่างกัน

เลขคลื่น (cm^{-1})	ชานอ้อย			
	ปรับสภาพ	เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น 0.10 M		
		30 นาที	60 นาที	120 นาที
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, w	b, m	b, m	b, m
2800-3000 (C-H aliphatic)	w	w	w	w
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	sh, s	sh, m	sh, m	sh, m
550 (Fe-O)		w	w	w

เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

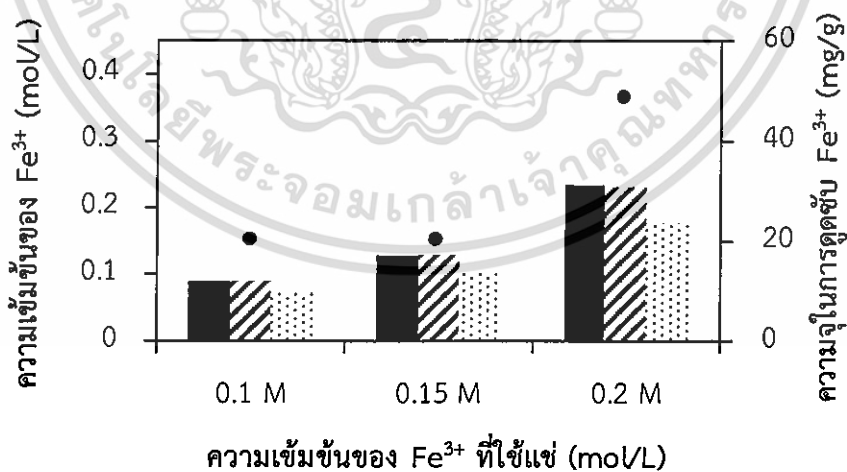
เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ชานอ้อย			
	ปรับสภาพ	เคลือบผิวด้วย Fe ³⁺ เข้มข้น 0.10 M		
		30 นาที	60 นาที	120 นาที
440-450 (Fe-O)	-	w	w	w

หมายเหตุ b = board, m = medium, sh = sharp, w = weak, ww = very weak

จากรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 พบว่า FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH ในสารละลาย FeCl₃ เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เพียงอย่างเดียว (รูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.3) โดยมีการปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 422.41 cm⁻¹ และ 559.68 cm⁻¹ ซึ่งเป็นแถบการยืดของพันธะ Fe-O สอดคล้องกับงานวิจัยของ Garcia et.al. (2013) ที่พบแถบ FT-IR สเปกตรัมของ Fe-O ในช่วงเลขคลื่นประมาณ 445 และ 540 cm⁻¹

4.3.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้น

ผลการแช่ชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH ในสารละลาย FeCl₃ (pH=2) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe³⁺ เท่ากับ 0.10, 0.15 และ 0.20 โมลาร์ นาน 120 นาที พบว่าความเข้มข้นที่เหลือของ Fe³⁺ ในสารละลายที่ใช้แช่ชานอ้อย มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้น ประกอบกับความเข้มข้นของ Fe³⁺ ในชุดควบคุมมีค่าใกล้เคียงกับความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe³⁺ ดังนั้นการลดลงของ Fe³⁺ ในชุดทดลองเกิดจากการดูดซับเฟอร์ริกที่พื้นผิวชานอ้อย และเมื่อทำการคำนวณค่าความจุในการดูดซับ พบว่าที่ 0.20 โมลาร์มีค่าความจุในการดูดซับสูงที่สุด (ดังรูปที่ 4.6)



รูปที่ 4.6 ความเข้มข้นและความจุในการดูดซับ Fe³⁺ ของชานอ้อยเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย

ต่างกัน โดย (■) คือความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe³⁺, (▨) คือความเข้มข้นของ Fe³⁺ ใน

ชุดควบคุม, (⋯) คือความเข้มข้นของ Fe³⁺ หลังแช่ชานอ้อย และ (●) คือความจุในการ

ดูดซับ Fe³⁺

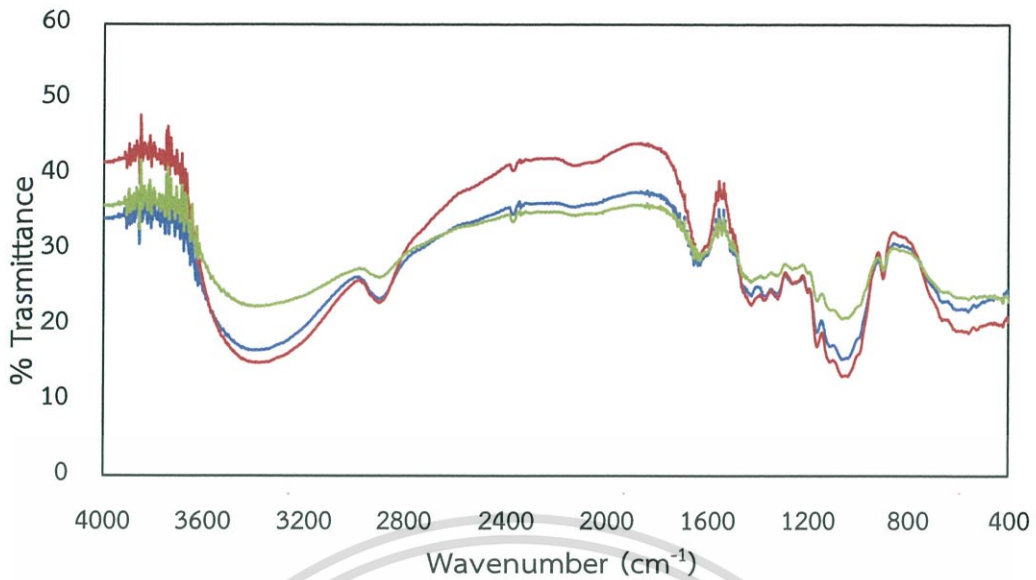
เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลู (M.B.N.) ของขานอ้อยที่เติม Fe^{3+} เป็นเวลา 120 นาที พบว่าความเข้มข้นของ Fe^{3+} เพิ่มขึ้นเป็น 0.10, 0.15 และ 0.20 โมลาร์ ส่งผลให้ค่า M.B.N. มีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.7) เป็น 37.65 ± 5.44 , 34.91 ± 13.65 และ 32.96 ± 5.31 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ กันตพัฒน์ (2558) ที่แสดงให้เห็นว่าขานอ้อยมีพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับน้อยลง เนื่องจากมีการยึดเกาะของ Fe^{3+} บนผิวมากขึ้น จากการศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของ Fe^{3+} ในสารละลาย $FeCl_3$ พบว่าที่ความเข้มข้น Fe^{3+} 0.20 M มีค่า M.B.N. ลดลงมากที่สุดเมื่อเทียบกับขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH เพียงอย่างเดียว นั้นแสดงให้เห็นว่าที่ Fe^{3+} 0.20 โมลาร์ เกาะติดบนผิววัสดุดูดซับได้ดีที่สุด

ตารางที่ 4.7 ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลูของขานอ้อยที่เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ด้วยเมื่อแช่เป็นระยะเวลา 120 นาที ที่ความเข้มข้น $FeCl_3$ ต่างกัน

ความเข้มข้น Fe^{3+} (โมลาร์)	ค่าการดูดซับเมทธิลีนบลู (มิลลิกรัมต่อกรัม)
0.10	37.65 ± 5.44
0.15	34.91 ± 13.65
0.20	32.96 ± 5.31

ผลจากการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบของขานอ้อยที่ผ่านการเคลือบพื้นผิวด้วย Fe^{3+} เมื่อความเข้มข้นของสารละลายต่างกันด้วยเทคนิค FT-IR เลขคลื่นช่วง 400 ถึง 4000 cm^{-1} ได้ผลดังรูปที่ 4.6 และ ตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สเปกตรัม FT-IR ของชานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ที่ความเข้มข้นต่างกัน นาน 120 นาที โดยเส้น (—) คือสเปกตรัมของชานอ้อยที่เคลือบผิวในสารละลายที่ความเข้มข้น 0.10 M, (—) คือสเปกตรัมของชานอ้อยที่เคลือบผิวในสารละลายที่ความเข้มข้น 0.15 M, (—) คือสเปกตรัมของชานอ้อยที่เคลือบผิวในสารละลายที่ความเข้มข้น 0.20 M

ตารางที่ 4.8 ลักษณะ FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย Fe^{3+} ที่ความเข้มข้นต่างกัน นาน 120 นาที

เลขคลื่น (cm^{-1})	ชานอ้อย		
	เคลือบผิวด้วย Fe^{3+} เข้มข้น		
	0.10 M	0.15 M	0.20 M
3200-3500 (O-H ของ Alcohol)	b, m	b, m	b, m
2800-3000 (C-H aliphatic)	w	w	w
1600-1650 (C=O ของ Carboxylate)	sh, w	sh, w	sh, w
1000-1150 (C-O ของ Alcohol)	sh, s	sh, s	sh, s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 (ต่อ)

เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ชานอ้อย		
	เคลือบผิวด้วย Fe ³⁺ เข้มข้น		
	0.10 M	0.15 M	0.20 M
550 (Fe-O)	w	w	w
440-450 (Fe-O)	w	w	w

หมายเหตุ b = board, m = medium, sh = sharp, w = weak, vw = very weak

ผลจากการเคลือบผิวด้วย Fe³⁺ ที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของ Fe³⁺ ไม่ส่งผลต่อลักษณะสเปกตรัม FT-IR ของชานอ้อย โดยสเปกตรัมที่ได้มีลักษณะพีคปรากฏที่เลขคลื่นใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงเลือกความเข้มข้นของ Fe³⁺ ที่ 0.20 โมลาร์ ซึ่งมีค่าความจุในการดูดซับเหล็กเฟอร์ริกมากที่สุด นำมาศึกษาในขั้นตอนต่อไป

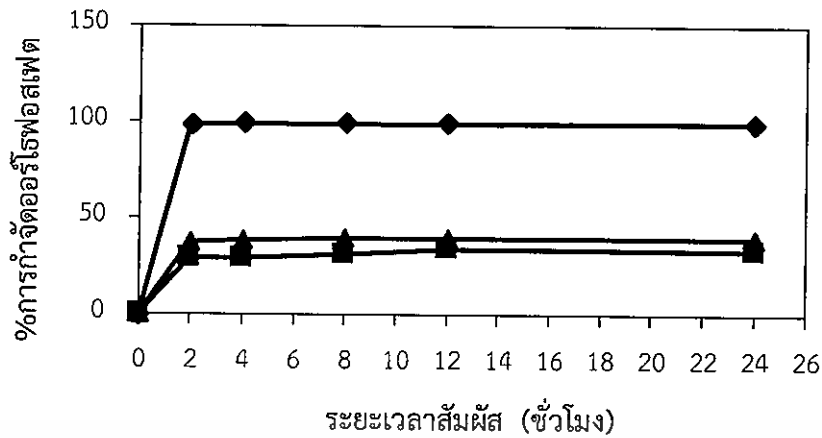
4.4 การกำจัดออร์โธฟอสเฟตด้วยชานอ้อยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ

จากการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตของชานอ้อยด้วยวัสดุดูดซับ 3 ชนิด ได้แก่ ชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และชานอ้อยที่เติม Fe³⁺ ได้ผลการทดลองดังนี้

4.4.1 ผลของระยะเวลาสัมผัส

จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตของชานอ้อยทั้ง 3 ชนิด โดยใช้ปริมาณชานอ้อยคงที่ที่ 0.4 กรัม ในสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาการสัมผัสต่างกัน พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดออร์โธฟอสเฟตของชานอ้อยที่เติม Fe³⁺ และชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 ชั่วโมงแรก จากนั้นเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีแนวโน้มคงที่ที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง (รูปที่ 4.8) ซึ่งเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตของชานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพพบว่าปฏิกิริยาการกำจัดเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วใน 2 ชั่วโมงแรกและเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนมีแนวโน้มคงที่ที่ระยะเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตพบว่า ชานอ้อยที่เติม Fe³⁺ มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุด รองลงมาคือชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ ตามลำดับ (รูปที่ 4.8) แสดงให้เห็นว่าการเติมไอออนบวกของโลหะจำพวกเฟอร์ริก ที่วัสดุซึ่งปรับสภาพด้วยต่างจะช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้

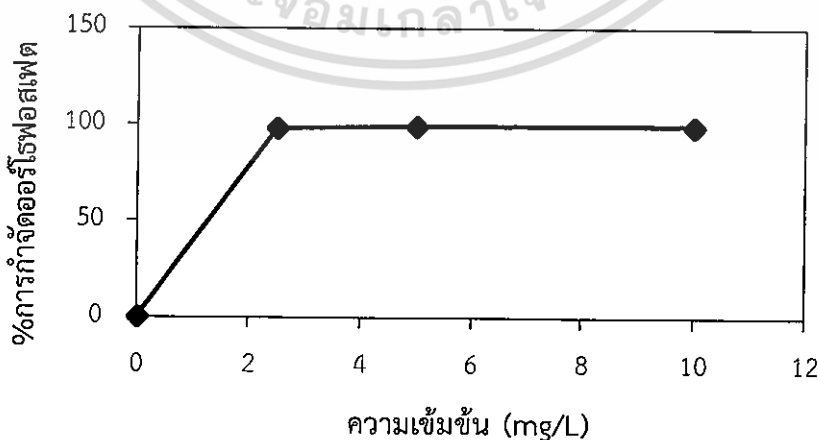
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เปรอเซ็นต์การกำจัดออร์โทฟอสเฟตที่เวลาต่างกันของชานอ้อย โดย(◆)คือชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH , (▲) คือชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และ(■) คือชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ

4.4.2 ผลของความเข้มข้น

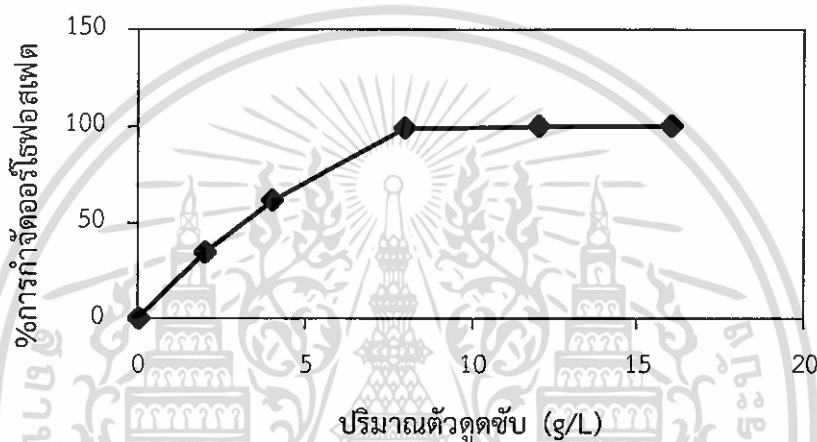
จากการศึกษาความสามารถในการกำจัดออร์โทฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 2.5, 5, และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณชานอ้อยที่เติม Fe^{3+} 8 กรัมต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของออร์โทฟอสเฟต แสดงให้เห็นว่าชานอ้อยที่เติม Fe^{3+} สามารถกำจัดออร์โทฟอสเฟตได้สูงมาก ดังนั้น ในขั้นตอนการศึกษาผลของปริมาณตัวดูดซับจึงเลือกใช้ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากชานอ้อยที่เติม Fe^{3+} ในสภาวะที่เหมาะสมมีค่าความจุในการดูดซับ Fe^{3+} เท่ากับ 48.36 มิลลิกรัมต่อกรัม ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นออร์โทฟอสเฟตต่อค่าความจุในการดูดซับเฟอร์ริกไอออนคือ 1:1



เอกสารนี้รูปที่ 4.9 เปรอเซ็นต์การกำจัดออร์โทฟอสเฟตที่ความเข้มข้นต่างกันของชานอ้อยที่เติม Fe^{3+} จำนวนการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3 ผลของปริมาณวัสดุดูดซับ

จากการศึกษาผลของปริมาณขานอ้อยที่เติม Fe^{3+} ต่อความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณขานอ้อย ตั้งแต่ 2–16 กรัมต่อลิตร พบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดออร์โธฟอสเฟตของวัสดุดูดซับดังกล่าว มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณขานอ้อยที่ใช้ (รูปที่ 4.9) สอดคล้องกับงานวิจัยของ กันตพัฒน์ (2558) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณวัสดุที่ใช้จะเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการดูดซับ โดยขานอ้อยที่เติม Fe^{3+} มีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้สูงกว่าร้อยละ 98 เมื่อใช้ปริมาณวัสดุดูดซับตั้งแต่ 8 กรัมต่อลิตรเป็นต้นไป



รูปที่ 4.10 เปอร์เซนต์การกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 50 mg/L ของขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH ซึ่งใช้ในปริมาณต่างกัน

ผลการศึกษาแบบจำลองที่เหมาะสมต่อการอธิบายสมดุลการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยขานอ้อยที่เติม Fe^{3+} เปรียบเทียบระหว่างไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) และไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิช (Freundlich isotherm) โดยใช้ข้อมูลจากการคำนวณค่าความจุในการดูดซับฟอสเฟตของขานอ้อย (q_e) และความเข้มข้นของออร์โธฟอสเฟตที่จุดสมดุล (C_e) ได้ผลดังตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ที่อธิบายสมดุลการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยขานอ้อย

ชนิดตัวดูดซับ	แลงเมียร์ไอโซเทอร์ม			
	สมการเส้นตรง	K_L	q_m	R^2
-ขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH	$y=0.0111x + 0.1266$	11.41	7.90	0.9818

ตารางที่ 4.10 ค่าคงที่ไอโซเทอร์มแบบฟรุนดลิชที่อธิบายสมดุลการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยขานอ้อย

ชนิดตัวดูดซับ	ฟรุนดลิชไอโซเทอร์ม			
	สมการเส้นตรง	K_f	n	R^2
-ขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH	$y=0.1325x + 0.7445$	5.55	7.55	0.9052

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมในการอธิบายรูปแบบการดูดซับออร์โธฟอสเฟตด้วยขานอ้อยที่เติมเฟอร์ริก คือ แบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์ เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient, R^2) เข้าใกล้ 1 มากกว่าแบบจำลองแบบฟรุนดลิช แสดงให้เห็นว่าการดูดซับที่เกิดบนพื้นผิวของขานอ้อยมีลักษณะแบบชั้นเดียว และมีตำแหน่งการดูดซับที่แน่นอน (โกวิทย์ และคณะ, 2551) วัสดุดังกล่าว มีค่าความจุสูงสุดในการดูดซับฟอสเฟต (q_m) เท่ากับ 7.90 มิลลิกรัมต่อกรัม และมีค่าคงที่ของแลงเมียร์ (K_L) เท่ากับ 11.41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการเตรียมตัวดูดซับจากวัสดุเหลือทิ้งจากการทึบน้ำอ้อย เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตในน้ำ โดยผ่านกระบวนการบดละเอียดให้มีขนาด 70 ไมครอน เพื่อนำไปศึกษาการปรับสภาพด้วย NaOH การเคลือบผิวด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ และทดสอบความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตในน้ำ สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) คือที่ความเข้มข้นของ NaOH ที่ 2% w/v นาน 24 ชั่วโมง มีค่าการดูดซับ เมทิลีนบลู (M.B.N) สูงที่สุดเท่ากับ 38.0 มิลลิกรัมต่อกรัม รองลงมา 30.8 มิลลิกรัมต่อกรัม และ 32.6 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อแช่ใน NaOH 4% และ 8% w/v ตามลำดับ และการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของชานอ้อยที่ปรับสภาพในความเข้มข้น NaOH ต่างๆ ด้วยเทคนิค FT-IR มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเทียบกับชานอ้อยที่ไม่ปรับสภาพ และอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการปรับสภาพชานอ้อยคือ 30 องศาเซลเซียส มีค่า M.B.N เท่ากับ 38.0 mg/g ผลการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิความเข้มข้นไม่เกิดความแตกต่าง

2. สภาวะที่เหมาะสมในการเคลือบผิวด้วยสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ คือระยะเวลาสัมผัสนาน 120 นาที ที่ความเข้มข้น Fe^{3+} 0.2 โมลาร์ มีค่าความจุในการดูดซับเฟอร์ริกไอออนเท่ากับ 48.36 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่า M.B.N เท่ากับ 32.96 มิลลิกรัมต่อกรัม สำหรับการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของชานอ้อยด้วยเทคนิค FT-IR สเปกตรัมของชานอ้อยปรากฏพีคที่เป็นแถบการยึดของพันธะ Fe-O

3. การทดสอบความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตของชานอ้อยที่เคลือบเฟอร์ริกไอออน สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร คือระยะเวลาสัมผัสนาน 4 ชั่วโมง มีความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตสูงถึง 99.13 % และมีแนวโน้มคงที่

4. การทดสอบความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟตที่ความเข้มข้น 2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ของชานอ้อยที่เคลือบเฟอร์ริกไอออน ระยะเวลาสัมผัสนาน 4 ชั่วโมง มีความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตสูงถึง 99.13 % และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายออร์โธฟอสเฟตเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้ปริมาณชานอ้อยเท่ากับ 8 กรัมต่อลิตร พบว่ามีค่าความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟตสูงที่สุด และแบบจำลองที่เหมาะสมต่อการอธิบายสมดุลการดูดซับสารละลาย

ออร์โธฟอสเฟตคือ ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm) ซึ่งมีค่าความจุสูงสุดในการดูดซับ (q_{max}) เท่ากับ 7.90 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าคงที่แลงเมียร์ (K_L) เท่ากับ 11.41 ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาความสามารถในการบำบัดไอออนลบของมลสารชนิดอื่นในน้ำเสีย เช่น NO_3^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ และ AsO_4^{3-} ของขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH และเคลือบติดผิวด้วย Fe^{3+}
2. ควรศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ประโยชน์ของขานอ้อยที่ผ่านการดูดซับฟอสเฟต เพื่อเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. มาตรฐานคุณภาพน้ำ. [Online]. Available : water.rid.go.th/wrd/contst14/images/KL/KL3.pdf.

กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 2556. ผลกระทบของฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม. [Online]. Available : <http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-12-2556-impact-envi.pdf>.

กันตพัฒน์ กลีบบุตร. 2558. “การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกสับประรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย.”

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. พิมพ์ครั้งที่ 1. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรังสิต.

โกวิท พิยะมังกลา, จารุวรรณ ตาพวัฒน์, ปิยวัฒน์ โพธิมงคลกุล และ ฉัตรส คงสมภักดิ์. 2551.

“จลนศาสตร์การดูดซับโครเมียม(VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยใช้โคโตซานเรซิน.” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. 18(1): 68-79.

จรา ทัพพลี และทินกร เจนศิริรุ่งเรือง. 2554. “คอมพอสิตพอลิสไตรีนที่ใช้แล้วและเส้นใยชานอ้อย.”

โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ชัชชนันท์ นิवासวงษ์ และเฉลิม เรื่องวิริยะชัย. 2555. “การผลิตเซลล์โซลิกเอทานอลในประเทศไทย”.

วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 40(4): 1073-1088.

ณัฐชา ชินวงษ์, กรรณิการ์ แสงฉาย และปาริฉัตร นาครักษา. 2559. “การใช้ประโยชน์ของเปลือก

สับประรดตัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ.” โครงการพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ธวัชชัย ศรีวิบูลย์. 2551. เทคนิคการแยก. [Online]. Available : <http://e-book.ram.edu/ebook/inside/html/dlbook.asp?code=CM334>.

ปรินทร์ เต็มญารศิลป์. 2551. “การเตรียมและวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จากไผ่ตง

และไผ่หมาจู้”.วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรทิว กองร้อย. 2557. “การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างโดยแห่นแดง”. รายงานวิจัย

ฉบับสมบูรณ์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- พอดา ประสานนาม. 2547. “การกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลายโดยใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนที่ผลิตจาก HYDROXYETHYL CELLULOSE”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการและวิศวกรรมพอลิเมอร์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.
- พิชามญช์ แดงพราม, สุดาทิพย์ จันทระและสุนีย์ นิธิสินประเสริฐ. 2556. “อิทธิพลของชนิดและปริมาณของวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรต่อการผลิตโอเลิโกแซ็กคาไรด์ด้วยสารละลายเอนไซม์สกัดหยาบจาก *Penicillium oxalicum* KUB-SN2-1”. *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร.* 36(1): 73-84.
- พิมล เรียนวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนศิริรุ่งเรือง. 2528. *เคมีสภาวะแวดล้อม*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- พูนสุข ประเสริฐสุรพร. 2542. *การใช้ประโยชน์จากวัสดุเศษเหลือ (Waste Utilization)*. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพอุตสาหกรรม คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์ และรัฐชา ชัยชนะ. 2557. “ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อการเกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำและการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส”. *วิศวกรรมสาร มก.* 27(88): 57-67.
- มันสิน ตันจุลเวศม์. 2542. *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มันสิน ตันจุลเวศม์ และมันรัช ตันจุลเวศม์. 2545. *เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย*. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- รวินศักดิ์ ภูมิธนนินเวศน์ และปฐมพงษ์ แสงวิไล. 2558. *วิกฤตฟอสฟอรัส วิกฤตโลก*. [Online]. Available : <http://www.sc.mahidol.ac.th/usr/?p=461>.
- วสันต์ ชีระพิทยานนท์. 2556. *ผลกระทบของฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม*. [Online]. Available : <http://www.dss.go.th/images/st-article/pep-12-2556-impact-envi.pdf>.
- วีชี อธิปัญญาสฤกษ์ดี, วัฒนเกียรติ เลื่องลือเจริญกิจ และวิศณีย์ ตั้งยีนยง. 2540. “การศึกษาการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยธรรมชาติ (ชานอ้อย) เพื่อใช้ประโยชน์ในพอลิเมอร์คอมพอสิต.” *โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.
- วีรียา วิริยะเชชม. 2550. “การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปโดยใช้สารดูดซับจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร”. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- แว็คคาราย, เดวิด. 2009. *ปัญหาฟอสฟอรัส วิกฤติที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคตอันใกล้*. แปลจาก Phosphorus : A looming crisis. โดย จิตสุภา ตรีทิพย์สถิตย์. นิวยอร์ก : สปริงเกอร์.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ศูนย์วิจัยและพัฒนาการเกษตรสุพรรณบุรี. 2557. อ้อยคั้นน้ำพันธุ์สุพรรณบุรี50. [Online]. Available : http://www.doa.go.th/ardc/suphan/sp50_GAP.htm.
- สารชัย เวชรัตน์พิมล. 2548. “การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษห่ออาหารเพื่อใช้สำหรับเตาอบแบบไมโครเวฟ”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2560. GDP ไตรมาสสามปี 2560 และแนวโน้มปี 2560-2561. [Online]. Available : http://www.nesdb.go.th/ewt_dl_link.php?nid=5165.
- ศรีอุบล ทองประดิษฐ์. 2552. “การกำจัดสีเชื่อมโดยใช้เถ้าลอยขานอ้อย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- Acnnewswire. 2013. โครงการใหม่เกี่ยวกับการสกัดฟอสฟอรัสออกจากน้ำเสีย. [Online]. Available : <https://www.acnnewswire.com/press-release/thai/15059/grundfos>.
- APHA, AWWA and WEF. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22nd Edition. Washington : American Public Health Association.
- Ates, A. and Akgül, G. 2016. “Modification of Natural Zeolite with NaOH for removal of manganese in drinking water.” *Powder Technology*. 287: 285–291.
- Barka, N., Abdennouri, M., Makhfouk, M. and Qourzal, S. 2013. “Biosorption Characteristics of Cadmium and Lead on to Eco-friendly Dried Cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes”. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 1 : 144-149.
- Carvalho, W.S., Martins, D.F., Gomes, F.R., Leite, I.R., Silva, L.G., Ruggiero, R. and Richter, E.M. 2011. “Phosphate Adsorption on Chemically Modified Sugarcane Bagasse Fibres.” *Biomass and Bioenergy*. 35 : 3913-3919.
- Chowdhury, S., Mishra, R., Saha, P. and Kushwaha, P. 2011. “Adsorption Thermodynamics, Kinetics and Isothermic Heat of Adsorption of Malachite Green on to Chemically Modified Rice Husk.” *Desalination*. 265 : 159–168.
- Cornel, P., Schaum, C. 2009. “Phosphorus Recovery from Wastewater : Needs, Technologies and Costs.” *Water Science & Technology*. 59(6): 1069-1076.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Garcia, P.V., Toledo, N., Denardin, J., Yazigil, D.V., Cruz, C., Spodinie, E. and Luo, Z. 2013. "One Potsolvothermal Synthesis of Organic Acid Coated Magnetic Iron Oxide Nanopartical." *Journal of the Chilean Chemical Society*. 58(4) : 707-717.
- Hegyesei, N., Richárd, T. and Pukánszky, B. 2017. "Determination of the Specific Surface Area of layered Silicates by Methylene Blue Adsorption : The role of structure, pH and layer charge." *Applied Clay Science*. 146 : 50–55.
- Huang, W., Zhang, Y., Li, D. 2017. "Adsorptive Removal of Phosphate from Water Using Mesoporous Materials : A Review." *Journal of Environmental Management*. 193 : 470-482.
- International Plant Nutrition Institute. 2010. Phosphorus Fertilizer Production and Technology. [Online]. Available: <http://www.ipni.net/ipniweb/portal.nsf/>.
- Kim, J. 2008. "Lignocellulose based anion adsorption medium and process for marking and using same for the selective removal of phosphate and arsenic anionic contaminations from aqueous solution". *Patent application publication*. 11 : 906-954.
- Lin, H., Liu, Quan-li., Dong, Ying-bo., He, Yin-hai., Wang, Liang. 2015. "Physicochemical Properties and Mechanism Study of Clinoptilolite Modified by NaOH." *Microporous and Mesoporous Materials*. 218 : 174-179.
- Liu, X., Ao, H., Xiong, X., Xiao, J. and Liu, J. 2012. "Arsenic Removal from Water by Iron-Modified Bamboo Charcoal." *Water Air Soil Pollut*. 223 : 1033–1044.
- Mandina, S., Chigondo, F., Shumba, M., Nyamunda, B.C. and Sebata, E. 2013. "Removal of Chromium (VI) from Aqueous Solution Using Chemically Modified Orange (*citrus cinensis*) Peel." *Journal of Applied Chemistry*. 6(2) : 66-75.
- Nasuha, N. and Hameed, B.H. 2011. "Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution on to NaOH-modified Rejected Tea." *Chemical Engineering Journal*. 166 : 783-786.
- Ngah, W.S.W and Hanafiah, M. 2008. "Removal of Heavy Metal Ions from Wastewater by Chemically Modified plant Wastes as Adsorbents: A Review." *Bioresource Technology*. 99 : 3935-3948.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Niklas, M., Jakob, H., Mats, K., Roberto, R. and Ferdi, S. 2013. **Catalytic milling: A new entry point for lignocellulose biorefineries.** [Online]. Available : http://www.mpg.de/6698004/ JB_20132.
- Ning-chuan, F. and Xue-yi, G. 2012. "Characterization of Adsorptive Capacity and Mechanisms on Adsorption of Copper, Lead and Zinc by Modified Orange Peel." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 22 : 1224-1231.
- Ning-Chuan, F., Xue-yi, G. and Sha, L. 2010. "Enhanced Cu(II) Adsorption by Orange Peel Modified with Sodium Hydroxide." *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 20 : 146-152.
- Ofomaja, A.E., Naidoo, E.B. and Modise, S.J. 2009 . "Removal of Copper(II) from Aqueous Solution by Pine and Base Modified Pine Cone Powder as Biosorbent". *Journal of Hazardous Materials*. 168 : 909–917.
- Ronda, A., Martin-Lara, M.A., Calero, M. and Blazquez, G. 2013. "Analysis of the Kinetics of Lead Biosorption Using Native and Chemically Treated Olive Tree Pruning." *Ecological Engineering*. 58 : 278– 285.
- Sperlich, A. 2010. "Phosphate Adsorption onto Granular Ferric Hydroxide (GFH) for Wastewater Reuse." Doktor der Ingenieurwissenschaften von der Fakultät III Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin.
- Souza, D.V.T.M., Diniz, M.K., Massocatto, L.C., Tarry, T.R., Caetono, J. and Dragunski, C.D. 2012. "Removal of Pb(II) from Aqueous Solution with Orange Sub products Chemically Modified as Biosobent." *Bio Resources*. 7(2) : 2300-2318.
- Uddin, A. J., A. Yamamoto, Y. Gotoh and M. Nagura. 2010. "Preparation and Physical Properties of Regenerated Cellulose Fibers from Sugarcane Bagasse." *Textile Research Journal*. 80(17) : 1846-1858.
- Xuan, Z., Tang, Y., Li, X., Liu, Y. and Luo, F. 2006. "Study on the Equilibrium, Kinetics, and Isotherm of Biosorption of Lead Ions onto Pretreated Chemically Modified Orange Peel, Biochem". *Biochemical Engineering Journal*. 31 : 160–164.
- Xu, J., Cheng, J.J., Sharma-Shivappa, R.R. and Burns, C.J. 2010. "Sodium Hydroxide Pretreatment of Switchgrass for Ethanol Production." *Energy Fuels*. 24 : 2113-2119.
- Zhao, Y., Huang, M., Wu, W. and Jin, W. 2009. "Synthesis of The Cotton Cellulose Based Fe(III)-Loaded Adsorbent for Arsenic(V) Removal from Drinking Water". *Desalination*. 249 : 1006–1011.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำ (Orthophosphate)

การวิเคราะห์น้ำเสียสิ่งเคราะห์ที่มีปริมาณฟอสเฟตละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) โดยทำการวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีโดยวิธี Ascorbic acid และนำมาคำนวณปริมาณของออร์โธฟอสเฟต ซึ่งเป็นตามวิธีของ APHA et al., 2012 ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสรุป ดังนี้

ก.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณฟอสเฟตด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีโดยวิธี Ascorbic acid

1. การเตรียมสารละลายสต็อกฟอสเฟต

- ละลาย KH_2PO_4 219.5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีปริมาณฟอสเฟต 50.0 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

2. การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

- นำสารละลายจากข้อ 1 มา 50 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนปริมาตรเท่ากับ 1000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นฟอสเฟต 2.5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

ตารางที่ ก.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิลิตร)	น้ำยารวม (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของฟอสเฟต (มิลลิกรัมต่อลิตร)
0	8	42	50	0
2	8	40	50	0.1
6	8	36	50	0.3
10	8	32	50	0.5
16	8	26	50	0.8
24	8	18	50	1.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การเตรียมน้ำยารวม (Combined reagent) ผสมน้ำยาเคมีในสัดส่วนสำหรับ 100 mL โดยผสมสารละลาย ดังนี้

- กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (H_2SO_4) 5.0 N	ปริมาตร	50	มิลลิลิตร
- สารละลายแอนติโมนีโพแทสเซียมทาทเรต	ปริมาตร	5	มิลลิลิตร
- สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต	ปริมาตร	15	มิลลิลิตร
- กรดแอสคอบิก	ปริมาตร	30	มิลลิลิตร

4. บีบน้ำตัวอย่างมา 30 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำฟอสฟอรัส 1 หยด ถ้าได้สีแดงให้เติมกรดซัลฟิวริก 5 N ที่ละหยดจนสีแดงหายไป แล้วเติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

5. การคำนวณ

$$\text{ฟอสเฟต (mg-P/L)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟ (\mu\text{L})}}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (mL)}}$$

ก.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number, M.B.N.)

เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสามารถสูงสุดในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูอ้างอิงตามงานวิจัยของปรินทร (2551) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสรุป ดังนี้

1. ชั่งชานอ้อยมา 0.01 กรัม ใส่ลงในสารละลายเมทิลีนบลูที่เข้มข้น 10, 25, 50, 100, 250, และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2. จากนั้นกรองตัวดูดซับออกจากสารละลายเมทิลีนบลูโดยกรองแบบลดความดัน ใช้กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41

3. ทำการวิเคราะห์ปริมาณเมทิลีนบลูที่เหลือด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 665 นาโนเมตร

4. การคำนวณค่าความจุการดูดซับเมทิลีนบลู

$$q = \frac{(C_0 - C_e)}{M} \times V$$

เมื่อ q = ค่าความจุในการดูดซับเมทิลีนบลูของชานอ้อย (mg/g)

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทิลีนบลู (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นที่เหลือของเมทิลีนบลู (mg/L)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปริมาตรของสารละลายเมทิลีนบลู (L) ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น M = น้ำหนักของชานอ้อย (g) ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ค่า Methylene Blue Number ของเปลือกสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพ

ความเข้มข้น NaOH ที่ใช้ปรับสภาพ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นเมทิลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นเมทิลีนบลูที่เหลือ (mg/L)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ไม่ปรับสภาพ	24	30	0.0104	0.0107	0.0105	8.797	8.782	9.114	-0.666	0.202	0.519
			0.0101	0.0102	0.0103	23.016	25.250	25.189	7.621	8.346	8.715
			0.0101	0.0104	0.0106	48.785	49.200	49.389	22.276	25.899	23.872
			0.0129	0.0105	0.0127	99.230	99.909	100.060	47.457	64.513	61.872
			0.0100	0.0102	0.0102	241.328	260.800	254.611	199.460	206.913	228.408
			0.0119	0.0101	0.0100	527.100	516.400	511.245	493.509	486.717	487.472
2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	24	30	0.0101	0.0100	0.0108	8.797	8.782	9.114	3.772	3.415	3.282
			0.0103	0.0104	0.0106	23.016	25.250	25.189	10.021	11.576	10.987
			0.0105	0.0102	0.0106	48.785	49.200	49.389	23.238	30.068	27.653

ตาราง ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้น NaOH ที่ใช้ ปรับสภาพ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นเมทธิ- ลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นเมทธิ- ลีนบลูที่เหลือ (mg/L)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	30	0.0106	0.0100	0.0111	99.230	99.909	100.060	68.362	71.381	75.608
			0.0104	0.0108	0.0102	241.328	260.800	254.611	203.743	212.649	216.875
			0.0105	0.0123	0.0103	527.100	516.400	511.245	418.038	489.736	500.302
4% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	30	0.0115	0.0100	0.0102	9.084	9.129	9.144	1.206	1.998	2.602
			0.0100	0.0105	0.0102	24.299	24.933	25.933	10.097	11.614	12.202
			0.0107	0.0107	0.0103	50.068	50.332	50.634	22.332	25.842	26.294
			0.0102	0.0103	0.0117	101.192	101.343	101.570	62.702	70.626	67.230
			0.0102	0.0101	0.0104	252.347	252.649	252.498	216.272	204.498	220.649
			0.0101	0.0114	0.0101	512.377	512.377	512.755	450.113	470.868	479.925
8% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	30	0.0105	0.0104	0.0100	9.084	9.129	9.144	1.206	1.998	2.602
			0.0105	0.0101	0.0107	24.299	24.933	25.933	10.097	11.614	12.202
			0.0104	0.0102	0.0105	50.068	50.332	50.634	22.332	25.842	26.294
			0.0109	0.0104	0.0104	101.192	101.343	101.570	62.702	70.626	67.230
			0.0101	0.0121	0.0108	252.347	252.649	252.498	216.272	204.498	220.649

ตาราง ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้น NaOH ที่ใช้ ปรับสภาพ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นเมทธิ- ลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นเมทธิ- ลีนบลูที่เหลือ (mg/L)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
8% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	30	0.0103	0.0103	0.0102	512.377	512.377	512.755	450.113	470.868	479.925
2% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	30	0.0102	0.0102	0.0105	9.023	9.129	9.008	1.674	2.097	2.527
			0.0100	0.0102	0.0104	24.284	24.072	24.072	10.059	11.417	12.353
			0.0106	0.0100	0.0105	48.974	48.747	48.898	24.294	28.521	30.483
			0.0100	0.0104	0.0110	102.551	99.230	99.306	44.740	67.155	69.494
			0.0104	0.0108	0.0100	253.555	253.857	252.498	181.555	200.876	202.989
			0.0104	0.0118	0.0126	519.925	525.925	516.906	419.547	453.509	464.076
2% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	50	0.0109	0.0101	0.0103	11.212	11.242	11.212	2.300	3.365	3.372
			0.0110	0.0106	0.0106	27.257	27.227	27.137	13.078	14.723	15.561
			0.0113	0.0102	0.0102	49.540	49.653	49.313	25.389	39.313	30.634
			0.0110	0.0106	0.0112	103.381	104.136	104.060	68.740	78.174	80.136
			0.0105	0.0123	0.0108	255.970	256.302	255.215	208.121	220.951	223.819

ตาราง ข.1 (ต่อ)

ความเข้มข้น NaOH ที่ใช้ ปรับสภาพ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นเมทธิ- ลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นเมทธิ- ลีนบลูที่เหลือ (mg/L)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
2% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	50	0.0103	0.0107	0.0101	519.547	520.302	521.057	453.509	494.264	502.189
2% โดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร	24	100	0.0114	0.0106	0.0112	11.212	11.242	11.212	6.980	7.229	6.051
			0.0105	0.0102	0.0102	27.257	27.227	27.137	16.761	18.195	19.108
			0.0111	0.0100	0.0104	49.540	49.653	49.313	34.143	39.125	40.860
			0.0112	0.0103	0.0104	103.381	104.136	104.060	89.494	88.589	94.023
			0.0102	0.0108	0.0104	255.970	256.302	255.215	225.932	241.177	248.875
			0.0113	0.0106	0.0101	519.547	520.302	521.057	500.679	505.963	502.189

การคำนวณ

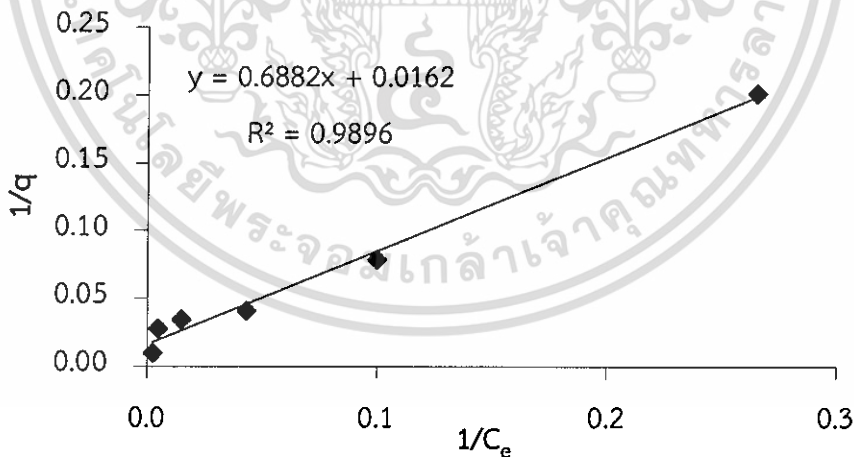
ตัวอย่างการคำนวณค่า Methylene Blue Number ของขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0 % w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยชั่ง 0.0101 กรัม (M) ในสารละลายเมทิลีนบลูที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 8.797 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (V) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองขานอ้อยแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทิลีนบลูที่เหลือ (C_e) ได้เท่ากับ 3.772 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาคำนวณความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Q_e) ของขานอ้อย ด้วยสมการ

$$q = \frac{(C_0 - C_e)}{M} \times V$$

$$q = \frac{(8.797 \text{ mg/L} - 3.772 \text{ mg/L}) \times 0.010 \text{ L}}{0.0101 \text{ g}}$$

$$q = 4.975 \text{ mg/g}$$

ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายเมทิลีนบลูจาก 10 mg/L เป็น 25, 50, 100, 250 และ 500 mg/L จากนั้นพลอตกราฟเส้นตรงระหว่างค่า $1/C_e$ กับค่า $1/q$ จะได้กราฟดังรูปที่ ข.1 โดยส่วนกลับของจุดตัดแกน y ของกราฟจะเป็นค่าความจุสูงสุดในการดูดซับเมทิลีนบลู (q) หรือค่า Methylene Blue Number ซึ่งมีค่าเท่ากับ 34.447 mg/g



รูปที่ ข.1 กราฟเส้นตรงของ Methylene Blue Number ขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 2.0 % w/v เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

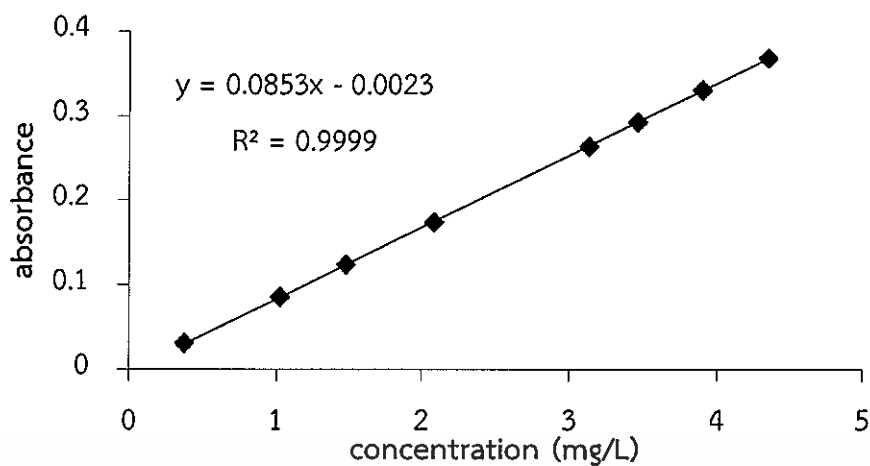
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณ Blank และControl ของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในการเคลือบผิวขานอ้อย

ชนิดตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ Fe^{3+} (mo/L)	พีเอช	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของ Fe^{3+} (mg/L)			ความเข้มข้นของ Fe^{3+} (mo/L)		
				ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
Blank	-	2	30	nd	nd	nd	-	-	-
			60	nd	nd	nd	-	-	-
			120	nd	nd	nd	-	-	-
Control	0.10	2	30	4665.740	4766.450	4821.090	0.084	0.085	0.086
			60	4676.900	4757.880	4878.290	0.084	0.085	0.087
			120	4598.040	4844.830	4739.490	0.082	0.087	0.085
	0.10	2	30	4954.279	4977.725	4954.225	0.089	0.089	0.089
	0.15	2	30	7111.372	7087.925	7087.925	0.127	0.127	0.127
	0.20	2	30	12854.630	13030.481	12913.250	0.230	0.233	0.231

ตารางที่ ข.3 การวิเคราะห์ปริมาณของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) ในการเคลือบผิวขาน้อย

ความเข้มข้นของ Fe^{3+} (mol/L)	พีเอช	เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของ Fe^{3+} (mg/L)						ความเข้มข้นของ Fe^{3+} (mol/L)					
			ก่อน			หลัง			ก่อน			หลัง		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.10	2	30	4810.809	4810.809	4811.501	3735.053	3688.159	3533.400	0.086	0.086	0.086	0.067	0.066	0.063
		60	4921.012	4781.102	4910.809	3767.800	3533.400	3955.400	0.088	0.086	0.088	0.067	0.063	0.071
		120	4901.450	4893.010	4872.450	3359.906	3383.353	3946.073	0.088	0.088	0.087	0.060	0.061	0.071
0.10	2	120	5024.619	5048.066	5024.619	3688.159	3711.606	4438.452	0.090	0.090	0.090	0.066	0.066	0.079
0.15	2	120	7158.265	7064.478	7064.478	5329.426	6384.525	5001.172	0.128	0.127	0.127	0.095	0.114	0.090
0.20	2	120	12971.86	13206.330	13089.100	6934.349	12796.010	9865.182	0.232	0.236	0.234	0.124	0.229	0.177



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานของเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+})



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข.4 การวิเคราะห์ค่า Methylene Blue Number ของขานอ้อยที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+})

ความเข้มข้น เฟอร์ริกไอออน (โมลาร์)	พีเอช	ระยะเวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นเมทิลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นเมทิลีนบลูที่เหลือ (mg/L)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.10	2	30	0.0135	0.0196	0.0129	9.023	9.129	9.008	1.915	2.957	3.319
			0.0106	0.0120	0.0104	24.284	24.072	24.072	9.365	10.436	11.251
			0.0108	0.0106	0.0109	48.974	48.747	48.898	23.691	24.332	24.143
			0.0110	0.0104	0.0101	102.551	99.230	99.306	56.513	70.400	72.136
			0.0106	0.0111	0.0100	253.555	253.857	252.498	200.121	221.404	221.706
			0.0117	0.0110	0.0125	519.925	525.925	516.906	441.434	459.547	467.094
		60	0.0101	0.0101	0.0110	8.767	8.782	8.767	1.470	2.112	2.315
			0.0101	0.0117	0.0100	28.254	28.148	28.103	11.214	12.429	12.859
			0.0101	0.0102	0.0106	49.955	49.653	49.917	22.370	27.011	27.577
			0.0112	0.0109	0.0104	102.023	102.174	102.325	62.702	63.230	70.551
			0.0106	0.0106	0.0108	259.593	255.215	254.008	192.574	204.800	222.762
			0.0112	0.0105	0.0109	481.811	483.698	480.679	433.509	465.208	449.358
		120	0.0114	0.0125	0.0119	8.767	8.782	8.767	1.825	2.263	2.444
			0.0116	0.0105	0.0113	28.254	28.148	28.103	9.893	11.644	11.621

ตาราง ข.4 (ต่อ)

ความเข้มข้น เฟอร์ริกไอออน (โมลาร์)	พีเอช	ระยะเวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นเมทธิลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นเมทธิลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.10	2	120	0.0101	0.0114	0.0127	49.955	49.653	49.917	20.785	24.294	25.011
			0.0117	0.0107	0.0117	102.023	102.174	102.325	60.740	65.947	68.287
			0.0146	0.0101	0.0111	259.593	255.215	254.008	182.008	204.951	206.008
			0.0108	0.0116	0.0102	481.811	483.698	480.679	450.868	431.245	468.981
0.10	2	120	0.0102	0.0112	0.0104	9.114	8.888	9.038	4.217	3.946	3.402
			0.0105	0.0114	0.0111	28.118	27.967	27.725	15.923	14.274	14.172
			0.0111	0.0125	0.012	48.596	48.445	48.143	25.634	25.785	26.785
			0.0101	0.0105	0.0102	100.211	100.060	99.381	75.079	73.381	73.042
			0.0103	0.0101	0.0108	255.064	254.158	253.102	224.989	221.140	216.423
			0.0108	0.0105	0.0106	529.358	524.830	526.717	457.849	458.038	482.189
0.15	2	120	0.0102	0.0101	0.0106	9.114	8.888	9.038	7.425	4.561	3.572
			0.0115	0.0107	0.0102	28.118	27.967	27.725	14.644	14.798	14.780
			0.0102	0.0101	0.0101	48.596	48.445	48.143	26.785	25.728	26.615

ตาราง ข.4 (ต่อ)

ความเข้มข้น เฟอร์รีไคลอออน (โมลาร์)	พีเอช	ระยะเวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นเมทธิลีนบลูเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นเมทธิลีนบลูที่เหลือ (mg/L)		
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0.15	2	120	0.0111	0.0108	0.0100	100.211	100.060	99.381	64.513	73.664	74.438
			0.0104	0.0107	0.0107	255.064	254.158	253.102	212.800	217.555	215.253
			0.0104	0.0122	0.0100	529.358	524.830	526.717	457.660	479.170	477.472
0.20	2	120	0.0100	0.0114	0.0101	9.114	8.888	9.038	2.670	1.644	2.225
			0.0107	0.0107	0.0117	28.118	27.967	27.725	13.697	12.504	10.632
			0.0106	0.0106	0.0107	48.596	48.445	48.143	24.752	23.786	26.925
			0.0105	0.0109	0.0100	100.211	100.060	99.381	64.060	69.192	76.513
			0.0109	0.0105	0.0102	255.064	254.158	253.102	198.460	223.215	220.347
			0.0109	0.0100	0.0112	529.358	524.830	526.717	456.906	438.792	474.642

ตาราง ข.5 ผลการทดสอบการแปรผันระยะเวลาสัมผัสในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ (mg/L)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ขานอ้อยที่ไม่ ปรับปรุงสภาพ ด้วย NaOH	2	0.4009	0.4019	0.4019	2.217	2.302	2.310	1.773	1.754	1.329
	4	0.4004	0.4024	0.4027	2.355	2.450	2.303	1.667	1.69	1.676
	8	0.4019	0.4017	0.4002	2.296	2.303	2.220	1.65	1.338	1.702
	12	0.4029	0.4033	0.4017	2.485	2.476	2.445	1.645	1.638	1.609
	24	0.4038	0.4023	0.4026	2.453	2.445	2.422	1.603	1.645	1.603
ขานอ้อยที่ ปรับปรุงสภาพ ด้วย NaOH	2	0.4021	0.4051	0.4007	2.306	2.266	2.218	1.546	1.352	1.348
	4	0.4004	0.4029	0.4031	2.219	2.303	2.296	1.403	1.408	1.391
	8	0.4018	0.4012	0.4039	2.217	2.296	2.310	1.366	1.383	1.399
	12	0.404	0.4015	0.4015	2.303	2.303	2.296	1.375	1.427	1.368
	24	0.4008	0.4016	0.4011	2.300	2.310	2.296	1.42	1.334	1.432

ตาราง ข.5 (ต่อ)

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา (นาที)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)			ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ชานอ้อยที่ เคลือบผิวด้วย Fe ³⁺	2	0.4021	0.4020	0.4020	2.566	2.559	2.559	0.0246	0.0354	0.0327
	4	0.4019	0.4000	0.4006	2.566	2.579	2.526	0.0219	0.0219	0.0233
	8	0.4009	0.4027	0.4051	2.526	2.566	2.566	0.0192	0.021	0.0192
	12	0.4042	0.4011	0.4000	2.546	2.526	2.546	0.0179	0.0125	0.0206
	24	0.4020	0.4006	0.4022	2.519	2.526	2.539	0.0112	0.0112	0.0125

ตารางที่ ข.6 ผลการทดสอบการแปรผันความเข้มข้นของน้ำตัวอย่างในการดูดซับออร์โธฟอสเฟต

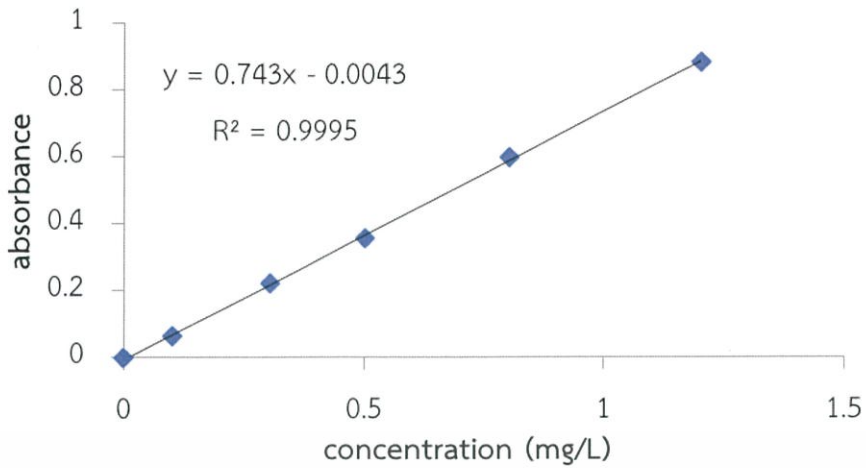
ชนิดตัวดูดซับ	ความเข้มข้น PO ₄ ³⁻ (mg/L)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)		ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)		ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ชานอ้อยที่เคลือบผิว ด้วย Fe ³⁺	2.5	0.4010	0.4001	2.2190	2.3030	0.0250	0.0370
	5	0.4007	0.4000	4.8600	4.8500	0.0250	0.0200

ตารางที่ ข.6 (ต่อ)

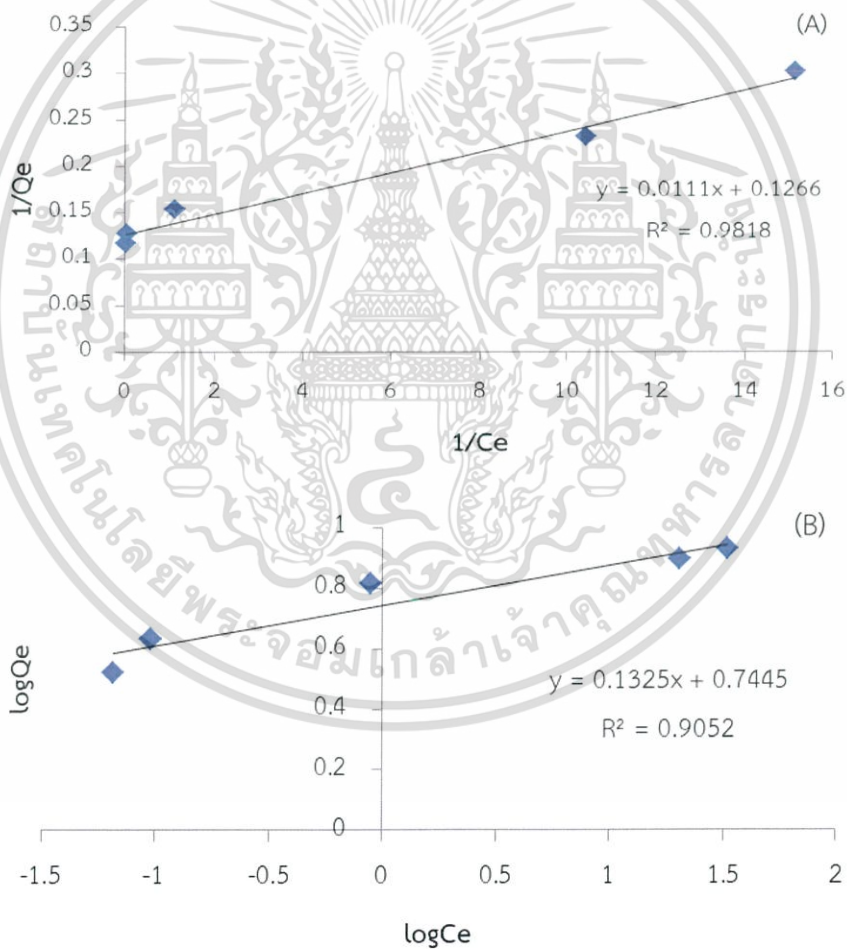
ชนิดตัวดูดซับ	ความเข้มข้น PO ₄ ³⁻ (mg/L)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)		ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)		ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)	
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
ชานอ้อยที่เคลือบผิว ด้วย Fe ³⁺	10	0.4007	0.4003	9.5100	9.5300	0.0290	0.0270

ตาราง ข.7 ผลการทดสอบการแปรผันปริมาณตัวดูดซับในการดูดซับในน้ำตัวอย่าง

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	ความเข้มข้นของน้ำ ตัวอย่าง (mg/L)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)	ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นฟอสเฟตที่ เหลือ (mg/L)
ชานอ้อยที่เคลือบติดผิว ด้วย Fe ³⁺	4	50.0	0.1001	32.658	49.751
			0.2014	20.276	51.972
			0.4008	0.887	53.183
			0.6011	0.096	51.972
			0.8000	0.066	53.183



รูปที่ ข.3 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต



รูปที่ ข.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับออร์โธฟอสเฟตเมื่อ (A) คือ ไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์ของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH และ (B) คือ ไอโซเทอร์มแบบฟรอนดลิชของชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วย NaOH และเพิ่มการดูดติดผิวของ Fe^{3+} ด้วย NH_4OH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้