

การดัดแปรฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อ
กำจัดฟอสเฟตในน้ำ

MODIFICATION OF PRETREATED RICESTRAW BY
CHEMICAL PROCESS FOR PHOSPHATE REMOVAL IN
WATER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2561

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MODIFICATION OF PRETREATED RICESTRAW BY
CHEMICAL PROCESS FOR PHOSPHATE REMOVAL IN
WATER



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
ACADEMIC YEAR 2018

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การดัดแปรฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อ
กำจัดฟอสเฟตในน้ำ
MODIFICATION OF PRETREATED RICESTRAW BY
CHEMICAL PROCESS FOR PHOSPHATE REMOVAL IN
WATER

ชื่อนักศึกษา

นางสาวกัญญารัตน์ สายวังกง รหัสนักศึกษา 58050585
นายพลิชฐ์ มากทรัพย์ รหัสนักศึกษา 58050658
นางสาวศิริภรณ์ นาทา รหัสนักศึกษา 58050683

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2561

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี
สิ่งแวดล้อม) ประจำปีการศึกษา 2561

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ.ดร.บรรจง บุญชม ประธานกรรมการ	
ดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ กรรมการ	
รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การดัดแปรฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีเพื่อกำจัดฟอสเฟตในน้ำ		
ชื่อนักศึกษา	นางสาวกัญญารัตน์	สายวังกง	รหัสนักศึกษา 58050585
	นายพลีษฐ์	มากทรัพย์	รหัสนักศึกษา 58050658
	นางสาวศิริภรณ์	นาทา	รหัสนักศึกษา 58050683
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีสิ่งแวดล้อม)		
ภาควิชา	เคมี		
ปีการศึกษา	2561		
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์		

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการดัดแปรฟางข้าวที่ปรับสภาพเพื่อกำจัดฟอสเฟตในน้ำ ฟางข้าวที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช จะถูกนำมาปรับสภาพทางเคมีด้วย 8% (w/v) NaOH ตามด้วย 5% (w/v) HNO₃ และ 10% (w/v) H₂O₂ ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ฟางข้าวที่ปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลสสูงขึ้นถึง 68.25 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าการดูดซับเมทิลีนบลู เท่ากับ 170.58 มิลลิกรัมต่อกรัม หลังจากนั้นได้ทำการศึกษาการดัดแปรฟางข้าวที่ปรับสภาพโดยวิธีการตรึงแคทไอออนบนวัสดุโดยใช้วิธีการจุ่ม ชุบเคลือบ แมกนีเซียมและแคลเซียมด้วยกระบวนการตกตะกอนของเฟอร์ริกคลอไรด์ แมกนีเซียมคลอไรด์หรือแคลเซียมคลอไรด์ รวมถึงการตกตะกอนร่วมของเฟอร์ริกและเฟอร์รัส ผลการศึกษาพบว่าฟางข้าวดัดแปรโดยการตรึงแคทไอออนบนวัสดุสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ดีกว่าฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพและฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อเปรียบเทียบฟางข้าวดัดแปรที่มีการจุ่ม/ชุบด้วยแคทไอออนทั้ง 4 แบบพบว่า ฟางข้าวดัดแปรด้วยเฟอร์ริกมีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้ดีที่สุด โดยมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตเท่ากับ 46.96 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การกำจัดฟอสเฟต การตรึงแคทไอออน การปรับสภาพชีวมวล ฟางข้าวดัดแปร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	MODIFICATION OF PRETREATED RICESTRAW BY CHEMICAL PROCESS FOR PHOSPHATE REMOVAL IN WATER		
Students	Miss Kanyarat Saiwangkong	Student ID 58050585	
	Mr. Pasit Marksub	Student ID 58050658	
	Miss Siiriporn Natha	Student ID 58050683	
Degree	Bachelor of Science (Environmental Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2018		
Advisor	Assoc.Prof.Dr. Usarat Thawornchaisit		

Abstract

Modification of pretreated rice straw for phosphate removal from water was investigated in this special project. Rice straw that was crushed and sieved to particle size of 70 mesh was chemically pretreated using with 8% (w/v) of NaOH, followed by 5% (w/v) of HNO₃ and 10% (w/v) of H₂O₂, respectively. Results showed that highest cellulose content up to 68.25% and have Methylene Blue Number (M.B.N.) of 170.58 mg/g. Modification of pretreated rice straw by impregnation cations including iron, magnesium and calcium with direct precipitation of ferric chloride, magnesium chloride or calcium chloride as well as co-precipitation of ferric and ferrous were conducted. Results showed that the cation modified rice straw demonstrated better phosphate removal efficiency than the pretreated rice straw and rice straw. Among the modified rice straw with four different types of modifying cations, the Fe(III)-modified rice straw is superior to other modified rice straw with the phosphate removal efficiency of 46.96%.

Keywords : Phosphate removal, Cations impregnation, Biomass pretreatment, Modified rice straw

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางผู้จัดทำต้องขอขอบพระคุณผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง และให้ความอนุเคราะห์ ดังนี้ รศ.ดร.อุสารัตน์ ถาวรชัยสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ซึ่งกรุณา สละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำในการปรับปรุงข้อบกพร่อง และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษ ได้แก่ รศ.ดร.บรรจง บุญชมและดร.ชวาลย์ ศรีวงษ์ ที่กรุณาสละเวลาให้ข้อคิดเห็นและ คำแนะนำทำให้โครงการพิเศษนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณพี่ๆ นักวิทยาศาสตร์ประจำ ภาควิชาเคมีที่คอยให้คำปรึกษาดูแลอย่างใกล้ชิดและให้ความช่วยเหลือด้านการจัดหาสารเคมีและ อุปกรณ์ ตลอดจนสอนการใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ และบุคคลอื่น ๆ ที่ไม่ได้กล่าวชื่อนามทุกท่านที่ได้ ให้คำแนะนำและช่วยเหลือในการจัดทำโครงการพิเศษนี้



กัญญารัตน์
พลิชฐ์
ศิริภรณ์

สายวังกง
มากทรัพย์
นาทา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขต.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ฟางข้าว.....	4
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว.....	5
2.1.1.1 เซลลูโลส.....	6
2.1.1.2 เฮมิเซลลูโลส.....	6
2.1.1.3 ลิกนิน.....	7
2.1.2 การจัดการฟางข้าว.....	8
2.2 การปรับสภาพวัสดุ.....	9
2.2.1 การปรับสภาพทางกายภาพ.....	9
2.2.2 การปรับสภาพทางเคมี.....	10
2.2.2.1 การปรับสภาพทางเคมีด้วยกรด.....	10
2.2.2.2 การปรับสภาพทางเคมีด้วยด่าง.....	10
2.2.2.3 การกำจัดลิกนินโดยการออกซิเดชัน.....	10
2.3 กระบวนการดูดซับ.....	10
2.3.1 ประเภทของตัวดูดซับ.....	11
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ.....	11
2.3.2.1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

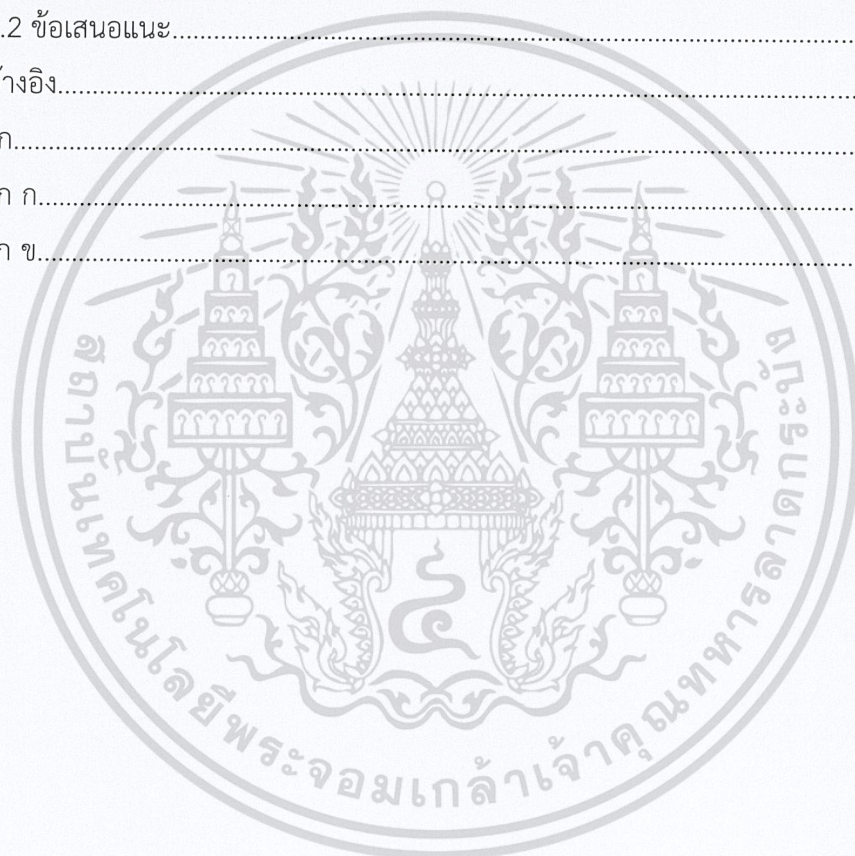
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.2.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ.....	11
2.4 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ.....	12
2.4.1 แหล่งที่มาของฟอสฟอรัส.....	12
2.4.2 ผลกระทบของฟอสเฟตในแหล่งน้ำ.....	13
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	13
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	18
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	18
3.1.1 อุปกรณ์.....	18
3.1.2 สารเคมี.....	18
3.2 การเตรียมฟางข้าวที่ใช้ในการศึกษา.....	19
3.3 การปรับสภาพขานอ้อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไนตริกและ..... ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ.....	20
3.4 การเติมสารดัดแปรลงบนฟางข้าวที่ปรับสภาพ.....	20
3.4.1 การเตรียมสารละลาย.....	20
3.4.2 วิธีการเติมสารดัดแปรลงบนฟางข้าวปรับสภาพ.....	21
3.5 การศึกษาความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟต.....	22
3.5.1 ชนิดของวัสดุที่ศึกษา.....	22
3.5.2 วิธีเตรียมสารละลายสต็อกออร์โธฟอสเฟต.....	22
3.5.3 ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส.....	22
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....	23
4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพด้วยสารเคมี.....	23
4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว.....	23
4.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของฟางข้าวด้วยเครื่อง FT-IR.....	24
4.1.3 ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู.....	25
(Methylene Blue Number, M.B.N).....	
4.1.4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้อง SEM.....	26
4.2 ผลของการดัดแปรพื้นผิวของฟางข้าวด้วยโลหะทรานซิชั่นและโลหะแอลคาไลเอิร์ธ..	27
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ.....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

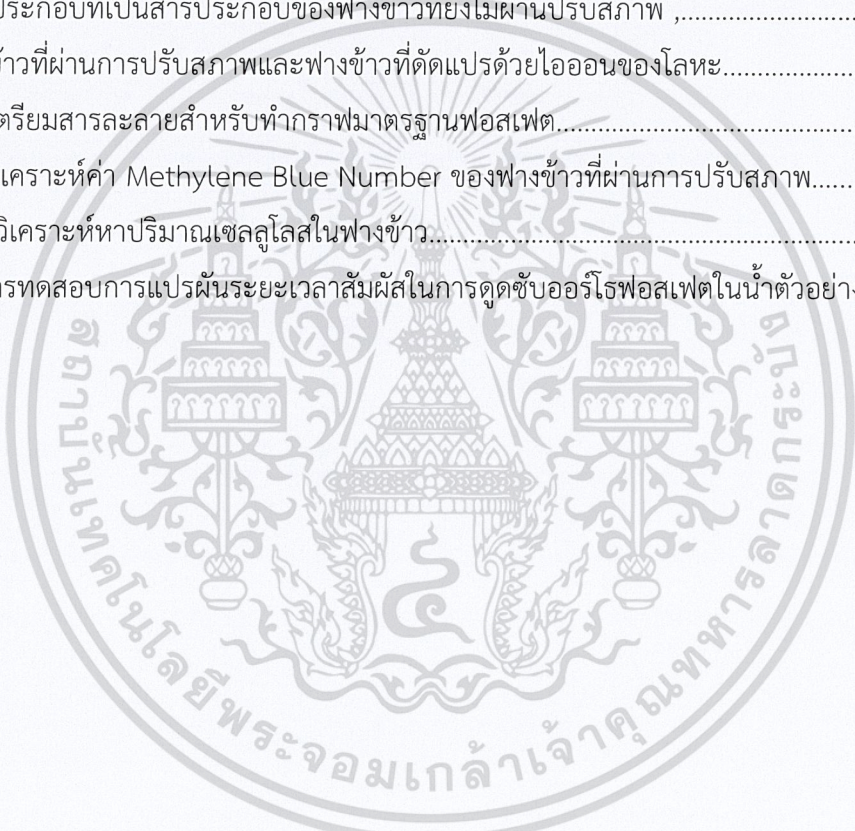
	หน้า
4.2.2 พีเอชที่ค่าประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pHpzc).....	28
4.2.3 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของฟางข้าวตัดแปรด้วยเครื่อง FT-IR.....	29
4.2.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF.....	30
4.3 ความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟต.....	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	33
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	33
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	34
เอกสารอ้างอิง.....	35
ภาคผนวก.....	40
ภาคผนวก ก.....	41
ภาคผนวก ข.....	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ปริมาณชีวมวลทางการเกษตรชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการเพาะปลูก.....	4
ในประเทศประจำปี 2556.....	
2.2 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในฟางข้าวชนิดต่างๆ.....	5
3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟางข้าวและฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพ.....	19
3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟางข้าวตัดแปรที่ทำการศึกษา.....	22
4.1 pH _{pzc} ของฟางข้าวตัดแปรทั้ง 4 ชนิด.....	29
4.2 องค์ประกอบที่เป็นสารประกอบของฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านปรับปรุงสภาพ ,.....	30
ฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพและฟางข้าวที่ตัดแปรด้วยไอออนของโลหะ.....	
ก.1 การเตรียมสารละลายสำหรับทำการฟอสเฟต.....	41
ข.1 การวิเคราะห์ค่า Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับปรุงสภาพ.....	46
ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าว.....	51
ข.3 ผลการทดสอบการแปรผันระยะเวลาสัมผัสในการดูดซับออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง.....	56



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส.....	6
2.2 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส.....	7
2.3 สูตรโครงสร้างของลิกนิน.....	7
4.1 ลักษณะทางกายภาพของฟางข้าว.....	23
4.2 สัดส่วนองค์ประกอบของเซลลูโลสในฟางข้าวก่อนปรับสภาพ (RC)..... และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ (PRC).....	24
4.3 สเปกตรัม FT-IR ของฟางข้าวก่อนการปรับสภาพ (-) , ฟางข้าวที่ผ่านการ..... ปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO ₃ และ 10% H ₂ O ₂ (-).....	25
4.4 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ (RC)..... และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ (PRC).....	26
4.5 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	27
4.6 สีของฟางข้าวตัดแปรด้วยไอออนโลหะ.....	28
4.7 สเปกตรัม FT-IR ของฟางข้าวตัดแปร.....	29
4.8 เปอร์เซ็นต์การกำจัดออร์โธฟอสเฟตที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน.....	32
ข.1 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวยังไม่ผ่านการปรับสภาพ..... เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 1.....	47
ข.2 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวยังไม่ผ่านการปรับสภาพ..... เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 2.....	48
ข.3 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวยังไม่ผ่านการปรับสภาพ..... เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 3.....	48
ข.4 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย..... 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO ₃ และ 10% H ₂ O ₂ ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 ..	49
ข.5 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย..... 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO ₃ และ 10% H ₂ O ₂ ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 2..	49
ข.6 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย..... 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO ₃ และ 10% H ₂ O ₂ ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 3..	50
ข.7 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ Mg ²⁺	52
ข.8 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ Fe ³⁺	53
ข.9 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ Fe ³⁺ /Fe ²⁺	53
เอกสข.10 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ Ca ²⁺	54

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.11 กราฟมาตรฐานเมทธิลีนบลู.....	54
ข.12 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต.....	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
RC	ฟางข้าวก่อนปรับสภาพ
PRC	ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ
Fe(III)-PRC	ฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Fe^{3+}
Fe(III)/Fe(II)-PRC	ฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Fe^{3+}/Fe^{2+}
Mg(II)-PRC	ฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Mg^{2+}
Ca(II)-PRC	ฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Ca^{2+}



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติ จัดเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช น้ำ การเพิ่มของปริมาณฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติสามารถเกิดขึ้นได้หลายสาเหตุ ที่สำคัญได้แก่การระบายน้ำเสีย โดยเฉพาะจากกิจกรรมการซักล้างของครัวเรือนและน้ำที่ไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้ปุ๋ยทางการเกษตรหรือการทำฟาร์มปศุสัตว์ ผลที่ตามมาคือปริมาณของฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติอาจมีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดิน การเพิ่มปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำนั้นเป็นการเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แหล่งน้ำ ทำให้พืชน้ำโดยเฉพาะแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น ซึ่งหากแพลงก์ตอนพืชและสาหร่ายมีจำนวนมากเกินไป ทำให้น้ำมีสีเขียว ไม่เหมาะแก่การนำไปใช้ในกระบวนการอุปโภคบริโภคและอาจนำไปสู่ปัญหาการเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำจนทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำได้ในที่สุด ดังนั้นการควบคุมปริมาณฟอสฟอรัสที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติให้มีปริมาณน้อยที่สุดจึงเป็นแนวทางปฏิบัติในการจัดการควบคุมมลพิษทางน้ำที่เกิดจากฟอสฟอรัส

การดูดซับจัดเป็นเทคโนโลยีที่นิยมใช้ในการควบคุมมลพิษทางน้ำ เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและมีขั้นตอนที่ไม่ยุ่งยาก ในปัจจุบันถ่านกัมมันต์ (activated carbon) จัดเป็นตัวดูดซับที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีพื้นที่ผิวและความเป็นรูพรุนสูงทำให้มีสมบัติในการดูดซับสารเจือปนในน้ำได้หลากหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบอินทรีย์ในน้ำ ข้อจำกัดที่สำคัญคือถ่านกัมมันต์จัดเป็นวัสดุที่มีราคาสูง เนื่องจากนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งถ่านกัมมันต์มีขีดจำกัดในการดูดซับสารเจือปนที่มีประจุไม่เป็นกลางในน้ำเช่น ออร์โธฟอสเฟต (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-) (มาชัย, 2557) ทำให้การพัฒนาตัวดูดซับฟอสเฟตจากวัสดุธรรมชาติจึงเป็นหัวข้อวิจัยที่ยังคงได้รับความสนใจ

การใช้วัสดุลิกโนเซลลูโลสเพื่อผลิตเป็นตัวดูดซับสารมลพิษในน้ำ เป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับชีวมวลทางการเกษตรที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก ความสามารถในการดูดซับของวัสดุประเภทนี้มีความสัมพันธ์กับปริมาณเซลลูโลสที่พบเป็นองค์ประกอบภายในเซลล์ (Supantro et al., 2015) ทำให้การปรับสภาพของวัสดุลิกโนเซลลูโลสเพื่อกำจัดองค์ประกอบทางเคมีอื่นในเซลล์ของพืชที่สำคัญได้แก่ ลิกนิน (Lignin) และเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ก่อนนำมาใช้เป็นตัวดูดซับจึงเป็นขั้นตอนที่จำเป็น งานวิจัยของซัชชัยและคณะ (2561) ได้แสดงให้เห็นว่า การปรับสภาพขานอ้อยด้วยสารเคมี 3 ชนิดร่วมกันคือ NaOH 8% (w/v) ตามด้วย HNO_3 5% (w/v) และ H_2O_2 10% (w/v) สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุดเท่ากับ 65.20 ± 2.31 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับขานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารเคมีเพียงชนิดเดียวหรือ 2 ชนิดร่วมกันประกอบกับ โครงการงานพิเศษดังกล่าว ได้แสดงให้เห็นว่าการตัดแปรโครงสร้างของขานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วย เหล็กหรือแมกนีเซียมสามารถเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับ ขานอ้อยก่อนการตัดแปร ในขณะที่การศึกษาเกี่ยวกับการผลิตเซลลูโลสตัดแปรจากฟางข้าวที่มี ความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตยังมีค่อนข้างจำกัด ประกอบกับฟางข้าวจัดเป็นชีวมวลคงเหลือ ในประเทศไทยที่ยังไม่มีการศึกษาถึงการนำไปใช้ประโยชน์มากเท่าที่ควร โครงการงานพิเศษนี้จึงได้จัดทำ ขึ้นเพื่อศึกษาการเตรียมฟางข้าวตัดแปรที่มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำ พร้อมทั้งศึกษา แนวทางในการพัฒนาฟางข้าวตัดแปรให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำให้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการตัดแปรฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีการทางเคมีให้สามารถกำจัด ฟอสเฟตในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- วัสดุที่ใช้ในการศึกษา คือฟางข้าวที่เหลือจากการทำเกษตรกรรมซึ่งเตรียมโดย นำไปบดด้วย เครื่องบดหยาบและเครื่องบดละเอียดตามลำดับ จากนั้นนำไปร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช
- การศึกษสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟางข้าว ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลส (Cellulose Content) หมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนพื้นผิว ลักษณะทางสัญญาณวิทยา การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue number, M.B.N) ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบและค่าพีเอชที่ทำให้ประจุสุทธิ เป็นศูนย์ (Point of zero charge, pH_{pzc})
- การปรับสภาพทางเคมีของฟางข้าว
 - วิธีการปรับสภาพที่ใช้ คือ แช่ใน NaOH 8% (w/v) ตามด้วย HNO_3 5% (w/v) และ H_2O_2 10% (w/v) อ้างอิงจากโครงการงานพิเศษของซซชชัยและคณะ (2561)
 - สมบัติของฟางข้าวปรับสภาพที่วิเคราะห์ ได้แก่ ปริมาณเซลลูโลส (Cellulose Content) หมู่ฟังก์ชันทางเคมีบนพื้นผิว ลักษณะทางสัญญาณวิทยา การดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene blue number, M.B.N) ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ ค่าพีเอชที่ทำให้ประจุสุทธิเป็นศูนย์ (Point of zero charge, pH_{pzc})
- การเตรียมและตัดแปรฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเกลือของเหล็ก แคลเซียมและ แมกนีเซียม

- ตัวแปรต้น คือ ชนิดของสารตัดแปร ได้แก่ $FeCl_3 \cdot 6H_2O$, สารละลายผสมระหว่าง $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ และ $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, $CaCl_2$ และ $MgCl_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น มิได้อยู่ใต้เงื่อนไขเชิงประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สมบัติของฟางข้าวดัดแปรที่ทำการวิเคราะห์เป็นไปตามระบุไว้ในข้อ 2)
 5. ศึกษาความสามารถในการกำจัดออร์โทฟอสเฟตในน้ำ
- ชนิดของวัสดุ คือ ฟางข้าวไม่ผ่านการปรับสภาพ, ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ, ฟางข้าวดัดแปรทั้ง 4 ชนิดได้แก่ ฟางข้าวดัดแปรด้วย Fe^{3+} , ฟางข้าวที่ดัดแปรด้วย $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$, ฟางข้าวที่ดัดแปรด้วย Mg^{2+} และฟางข้าวที่ดัดแปรด้วย Ca^{2+}
- ตัวแปรตาม คือ ความเข้มข้นของฟอสเฟตที่เหลือในน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการใช้ฟางข้าวเป็นตัวดูดซับในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้
2. เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟางข้าว (Rice Straw)

ข้าวเป็นพืชหลักที่ปลูกกันอย่างแพร่หลายในประเทศไทยและสามารถปลูกข้าวพันธุ์ต่างๆได้ตลอดปี โดยทั่วไปการผลิตข้าวสารจะมีปริมาณฟางข้าวเกิดขึ้นระหว่าง 0.7 – 1.4 กิโลกรัม (International Rice Research Institute, 2019) ฟางข้าวจึงจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีปริมาณมากและมีการนำไปใช้ประโยชน์ไม่มากนัก เมื่อเทียบกับปริมาณชีวมวลทางการเกษตรชนิดอื่นที่เกิดขึ้นในปีพ.ศ. 2556 (ตารางที่ 2.1)

ตารางที่ 2.1 ปริมาณชีวมวลทางการเกษตรชนิดต่างๆ ที่เกิดจากการเพาะปลูกในประเทศประจำปี 2556

ชนิดชีวมวล	ปริมาณการเกิด (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณคงเหลือ (ตัน)	สัดส่วนชีวมวลคงเหลือ (%)
ฟางข้าว	19,005,628.14	8,112,801.26	10,892,826.89	57.31
แกลบ	8,145,269.20	8,006,238.36	138,985.84	1.706
ใบและยอดอ้อย	17,016,248.08	1,845,487.74	15,170,760.34	89.15
ชานอ้อย	28,026,761.54	28,026,761.54	0	0
ยอด ใบและลำต้นข้าวโพด	9,315,603.52	465,780.18	8,849,823.34	95.00
ซังข้าวโพด	1,215,078.72	1,094,081.58	120,997.14	9.96
เหง้ำมันสำปะหลัง	6,045,508.40	164,196.52	5,881,311.88	97.28
กากมันสำปะหลัง	1,813,652.52	1,813,652.52	0	0
เปลือกมันสำปะหลัง	8,463,711.76	8,463,711.76	0	0
ลำต้นปาล์มน้ำมัน	1,957,280.00	—	1,957,280.00	100.0
ใบและทางปาล์ม	18,065,006.01	1,707,454.87	16,357,551.14	90.55
ทะลายปาล์ม	4,099,859.52	1,891,958.90	2,207,837.62	53.85
เส้นใยปาล์ม	2,434,291.59	2,434,291.59	0	0

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ชนิดชีวมวล	ปริมาณการเกิด (ตัน)	ปริมาณที่นำไปใช้ ประโยชน์แล้ว (ตัน)	ปริมาณ คงเหลือ (ตัน)	สัดส่วน ชีวมวล คงเหลือ (%)
กะลาปาล์ม	512,482.44	512,482.44	0	0
ใบและลำต้นถั่วเหลือง เขียว ลิสง	65,017.48	3,250.87	61,766.61	95.00
ตอ รากและกิ่งก้านไม้ ยางพารา	1,094,365.00	218,873.00	875,492.00	80.00
ปลายไม้ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0
ปีกไม้ยางพารา	2,626,476.00	2,626,476.00	0	0
ขี้เลื่อยและเส้าไม้ ยางพารา	656,619.00	656,619.00	0	0
จั่นและทะลายมะพร้าว	292,909.57	56,824.46	236,085.11	80.60
เปลือกและกาบมะพร้าว	333,310.89	329,976.78	3,344.11	1.003
กะลามะพร้าว	252,508.25	230,540.03	21,968.22	8.700
เปลือกมะม่วงหิมพานต์	70,038.56	1,674.28	68,364.29	97.61

ที่มา : กระทรวงพลังงาน (2556)

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

ฟางข้าวจัดเป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลสซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนและแข็งแรง ประกอบด้วย 3 องค์ประกอบหลักคือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) ปริมาณหรือสัดส่วนแตกต่างกันไปตามชนิดและพันธุ์ข้าว ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและลิกนินในฟางข้าวชนิดต่างๆ

Agricultural residues	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	Reference
Rice straw	36.5	27.7	12.3	กระทรวงพลังงาน (2556)
Wheat straw	38.6	32.6	14.1	กระทรวงพลังงาน (2556)

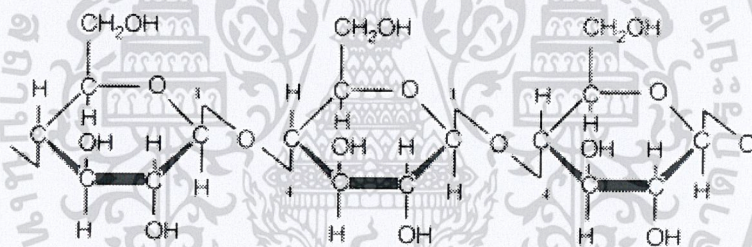
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่มีการแก้ไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

Agricultural residues	Cellulose	Hemicellulose	Lignin	Reference
Maize straw	38.5	28.0	15.0	กระทรวงพลังงาน (2556)
Cassava rhizome	32.2	13.9	27.0	กระทรวงพลังงาน (2556)
Barley straw	44	27	7	อุษารัตน์ (2557)
Oat straw	41	16	11	อุษารัตน์ (2557)

2.1.1.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่พบมากในวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลสโดยพบในส่วนของผนังเซลล์ของพืชอยู่ร่วมกับเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ปริมาณที่พบแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดและส่วนของพืชเช่น เนื้อไม้พบประมาณร้อยละ 40 - 50 และเส้นใยฝ้ายพบประมาณร้อยละ 98 (Eriksson et al., 1990 ; Goshadrou et al., 2011)



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของเซลลูโลส

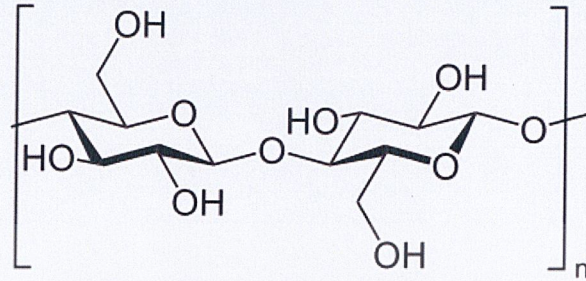
ที่มา : รัชพล (2558)

2.1.1.2 เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลและมีปริมาณการเกิดเป็นพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) ประมาณ 200 โดยมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบในเฮมิเซลลูโลสหลายชนิดกล่าวคือ มีไซโลสมากที่สุดถึง 85 - 90% และส่วนที่เหลือเป็นน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 และ 6 อะตอม เฮมิเซลลูโลสจะถูกย่อยสลายได้ง่ายด้วยกรดหรือเบสเจือจางหรือเอนไซม์เพราะเฮมิเซลลูโลสไม่มีรูปร่างแน่นอน ไม่เป็นเส้นตรงและมีลำดับของหน่วยย่อยน้ำตาลที่เรียงตัวแบบสุ่มจึงทำให้พันธะที่เชื่อมระหว่างไซโลสถูกทำลายด้วยกรดหรือเอนไซม์ได้ง่าย พืชประกอบด้วยเฮมิเซลลูโลสประมาณ 1 ใน 3 ของน้ำหนักแห้งโดยอยู่ร่วมกับเซลลูโลสและลิกนินทำให้เกิดเป็นผนังเซลล์พืชที่แข็งแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮมิเซลลูโลสมีทั้งโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรงและโซ่กิ่งของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอมได้แก่ ไซโลส และอะราบิโนสและน้ำตาลที่มีคาร์บอน 6 อะตอมได้แก่ กลูโคส แมนโนสและกาแลกโตส (ประสิทธิ์ชัย และคณะ, 2556 อ้างถึงในจุฑามาศและคณะ, 2558)

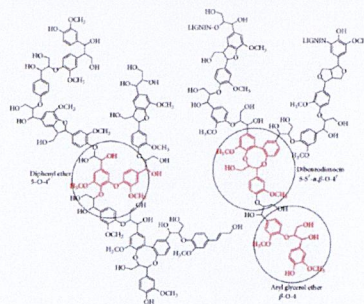


รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส

ที่มา : Abey (2016)

2.1.1.3 ลิกนิน

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ที่พบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างร่วมกับเซลลูโลสและพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่นๆ ลิกนินประกอบด้วยโมเลกุลที่เป็นวงแหวนที่ต่อกันแบบสุ่มเป็นโครงสร้าง 3 มิติโดยภายในโครงสร้างจะเชื่อมกันด้วยพันธะอีเทอร์หรือคาร์บอนระหว่าง 2 โมเลกุล ทำให้ลิกนินทนทานต่อการย่อยสลายด้วยสารเคมีและเอนไซม์มากกว่าพอลิเมอร์ชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงต้องอาศัยสารเคมีในการแยกลิกนินออกจากพอลิแซ็กคาไรด์ ลิกนินมีสมบัติที่สำคัญคือการละลายในตัวทำละลาย โดยปกติลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้วดังนั้นจึงสามารถสกัดลิกนินได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสูง ขณะที่บางส่วนของในกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน (alkaline lignin) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน (dioxane) ไพริดีน (pyridine) และสารละลายเบสเจือจางได้ นอกจากนี้เมื่อมีการเติมหมู่เมทิล (methylation) และหมู่อะซิetyl (acetylation) แทนที่ตำแหน่งต่างๆบนวงแหวนเบนซีนในโครงสร้างของลิกนินทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงอัลตราไวโอเล็ตได้ที่ความยาวคลื่นสูงสุด 280 นาโนเมตร ทั้งนี้การเติมไฮดรอกซีเดียมไฮดรอกไซด์ก็เป็นการเพิ่มหมู่ไฮดรอกซิลให้แก่โครงสร้างของลิกนิน ทำให้ลิกนินสามารถดูดกลืนแสงได้ด้วย



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของลิกนิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ติงมา : Hai Wang et al. (2013)
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การจัดการฟางข้าว

ฟางข้าวจัดเป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีมูลค่าต่ำและมีปริมาณมากทำให้มีการนำฟางข้าวไปใช้ประโยชน์ไม่มากนักที่สำคัญคือ (อินแปลง, 2553)

1. ปุ๋ย : เป็นวัสดุอินทรีย์ในการจัดทำปุ๋ยหมัก วัสดุปลูกพืช วัสดุคลุมดิน
2. อาหารสัตว์ : ผสมปุ๋ยยูเรียเป็นอาหารสำหรับลูกแกะ เป็นหญ้าหมัก
3. วัสดุก่อสร้าง : ผสมกับซีเมนต์อัดแผ่น ใช้เป็นตัวดูดซับคราบน้ำมัน
4. ส่วนประกอบอาหาร : พัฒนาไข่เค็มที่พอกด้วยฟางข้าว เป็นวัสดุเพาะเห็ดฟาง
5. งานศิลป์และงานฝีมือ : ผสมเส้นใยสังเคราะห์ในการผลิตไหมพรม ที่รองนั่ง เครื่องจักรสาน เชือก เครื่องมือ เครื่องใช้ในการจักรสาน เป็นต้น
6. อุตสาหกรรมสิ่งก่อสร้าง : ทำแผ่นฟางซีเมนต์ ใช้ฟางข้าง - แกลบแทนไม้ กระดาษ จากฟางข้าว
7. ทางเคมี : ดูดซับคราบน้ำมัน ผลิตเซลลูโลสด้วยวิธีระเบิดด้วยไอน้ำและผลิตเอทานอลในแก๊สโซฮอลล์
8. อื่นๆ : อนุรักษ์น้ำและดิน ฯลฯ

นอกจากนี้ฟางข้าวที่เหลือจะถูกนำไปจัดการโดย (โสภกา, 2555)

1. การปล่อยทิ้งฟางข้าวไว้ในทุ่งนา วิธีนี้เป็นวิธีดั้งเดิมที่เกษตรกรนิยมใช้กันทั่วไปในพื้นที่ปลูกข้าวนาปีโดยปล่อยฟางทิ้งไว้ในทุ่งนาให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติ ปัจจุบันเกษตรกรประมาณ 50% เลือกใช้วิธีการดังกล่าว โดยเฉพาะในพื้นที่ทำนาปีที่มีการปลูกข้าวเพียงครั้งเดียวต่อปีเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้แรงงานและเวลาในการจัดการน้อยแต่ควมปริมาณธาตุอาหารที่จะสะสมในดินอาจมีน้อย เนื่องจากการทิ้งฟางข้าวไว้นานจนกว่าจะถึงฤดูทำนาอาจทำให้ปริมาณของฟางข้าวลดลงและธาตุอาหารสูญเสียไปเช่น ไนโตรเจน

2. การนำฟางข้าวไปเลี้ยงสัตว์และขายให้คนอื่น การนำฟางข้าวไปเลี้ยงสัตว์เป็นวิธีการที่เกษตรกรใช้กันมานานและในปัจจุบันเกษตรกรจำนวนหนึ่งก็จะขายฟางข้าวให้กับเกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์ เพราะเกษตรกรเริ่มมีการนำเครื่องจักรนวดข้าวมาใช้แล้วมีการอัดฟางเป็นก้อนทำให้มีความสะดวกยิ่งขึ้นในการขนย้ายและเก็บรักษา พร้อมทั้งความต้องการใช้ประโยชน์ของฟางข้าววันสูงขึ้นซึ่งมีเกษตรกรประมาณ 30% เลือกใช้วิธีการทั้งสองนี้ วิธีการดังกล่าวทำให้เกษตรกรมีรายรับเพิ่มขึ้นจากการขายฟางข้าวและสัตว์เลี้ยง เป็นการเพิ่มมูลค่าของฟางข้าวให้เกษตรกรแต่วิธีนี้อาจทำให้ดินสูญเสียความอุดมสมบูรณ์ไปเรื่อยๆ ถ้ามีการขนย้ายฟางข้าวออกจากทุ่งนาอย่างต่อเนื่องกันในแต่ละปี

3. การเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีนี้นิยมใช้กันเฉพาะในพื้นที่ทำนาเขตชลประทานซึ่งมีการปลูกข้าวจำนวนสองครั้งต่อปี เกษตรกรประมาณ 15% จะเผาฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยวข้าวนาปีเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปรังต่อไปเพราะการเผาฟางข้าวทำให้การเตรียมพื้นที่เพาะปลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
"ไม่วารณใดๆ หงสน อักหงหามมเห็ดดแปลงเนอหาและตองอององถึงเจาของเอกสารทุกครทมการนาเบใช้"

แมลงศัตรูพืชและเชื้อโรคที่มีการระบาดในพื้นที่ได้แต่ว่าการเผาฟางข้าวก็อาจทำลายสิ่งมีชีวิตที่เป็นประโยชน์ที่อยู่ในดิน โครงสร้างของดินถูกทำลาย ดินสูญเสียธาตุอาหารเช่น คาร์บอนและไนโตรเจน จะกลายเป็นก๊าซสูญเสียไปในบรรยากาศและยังเป็นมลพิษอีกด้วย โดยเฉพาะก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจะแปรสภาพเป็นรูปซีที่สูญเสียไปกับลมได้ง่าย (วิจิตรธา, 2554)

4. การใช้ฟางข้าวเป็นพลังงานทดแทน ฟางข้าวมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ด้วยการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของหม้อต้มน้ำในโรงงานอุตสาหกรรม นำไปผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า เป็นต้น การจัดการฟางข้าวแบบนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าเศรษฐกิจของฟางข้าวให้สูงขึ้นและนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานฟอสซิลที่นับวันจะหมดไปทุกทีแต่ที่ว่าฟางข้าวเป็นชีวมวลที่ให้ความร้อนต่ำ ยุ่งยากในการเก็บรวบรวมและมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสูง นอกจากนี้แล้วการผลิตพลังงานทดแทนต้องใช้ฟางข้าวปริมาณมาก เมื่อนำฟางข้าวออกไปจากพื้นที่นาจะทำให้ธาตุอาหารที่มีอยู่ถูกนำออกไปด้วย

5. การทำปุ๋ยหมักจากฟางข้าว วิธีนี้เป็นการนำฟางข้าวหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมีหรือจุลินทรีย์ เมื่อหมักแล้วฟางข้าวจะเปลี่ยนสภาพจากเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาลปนดำสามารถนำไปใช้ได้เลย อย่างไรก็ตามการหมักจะทำให้ปริมาณธาตุอาหารพืชเพิ่มสูงขึ้นสามารถนำมาใช้ได้ง่ายเนื่องจากฟางข้าวจะมีขนาดเล็กและความเป็นประโยชน์ต่อพืชจะมากกว่าฟางข้าวที่ไม่ได้หมัก

6. การไถกลบฟางข้าวหลังการเก็บเกี่ยว วิธีนี้เป็นการไถกลบฟางข้าวที่มีอยู่ในนาภายหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วลงไปดิน ในขณะที่ดินยังมีความชื้นและปล่อยทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการย่อยสลายในดินซึ่งจะกลายเป็นแหล่งอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารพืชให้กับดินหลังจากนั้นจึงปลูกพืชผลตามที่ต้องการต่อไป

2.2 การปรับสภาพวัสดุ

การปรับสภาพวัสดุมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนิน ซึ่งมีสมบัติไปห่อหุ้มหรือเคลือบโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลิกนินจึงเป็นเหมือนผนังป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขนาดรูพรุนของตัววัสดุและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (cellulose Crystallinity) ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงวัสดุได้ง่ายขึ้น (Sun and Cheng, 2002) กระบวนการที่เกี่ยวข้องกับโครงการพิเศษนี้แบ่งได้เป็น 2 กระบวนการคือ การปรับสภาพทางกายภาพและการปรับสภาพทางเคมี

2.2.1 การปรับสภาพทางกายภาพ

การปรับสภาพทางกายภาพเป็นการใช้เครื่องมือหรือเครื่องจักรในการหั่น สับและบด (mechanical comminution) เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวและลดขนาดอนุภาคของลิกโนเซลลูโลส นอกจากนี้ยังเป็นการลดผลึกของเซลลูโลสด้วย (Harun et al., 2011) โดยทั่วไปควรลดขนาดวัตถุดิบหลังจากนั้นแล้วให้มีขนาดประมาณ 1 - 3 เซนติเมตร และให้มีขนาด 0.2 - 2 มิลลิเมตร หลังจากการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บดละเอียดแล้ว พลังงานที่ต้องใช้ในการบดวัตถุดิบขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของชีวมวลที่ต้องการ โดยส่วนใหญ่วิธีการปรับสภาพทางกายภาพจะใช้ร่วมกับกระบวนการปรับสภาพอื่นๆด้วย (สุภาวดี, 2557)

2.2.2 การปรับสภาพทางเคมี

2.2.2.1 การปรับสภาพด้วยกรด (acid hydrolysis) กรดที่นิยมใช้ได้แก่ กรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งเดิมเคยใช้กรดเข้มข้นในการย่อยลิกโนเซลลูโลสแต่เนื่องจากกรดเข้มข้นเหล่านี้มีฤทธิ์กัดกร่อน มีความเป็นพิษและเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม จึงจำเป็นต้องใช้ถึงปฏิกิริยาที่ทนทานต่อการกัดกร่อนและมีค่าใช้จ่ายในการคืนสภาพของกรดนั้นสูงมาก ดังนั้นจึงใช้การเจือจางกรดในการปรับสภาพและพบว่า มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาสูงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยเซลลูโลสได้ การปรับสภาพด้วยการเจือจางกรดแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ การเจือจางกรดที่อุณหภูมิสูง (> 160 องศาเซลเซียส) และการเจือจางกรดที่อุณหภูมิต่ำ (< 160 องศาเซลเซียส) (สุภาวดี, 2557)

2.2.2.2 การปรับสภาพด้วยด่าง (alkaline hydrolysis) โซเดียมไฮดรอกไซด์และปูนขาวเป็นสารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการปรับสภาพด้วยด่าง ซึ่งสามารถแตกโครงสร้างของลิกนินและลดการเกิดผลึกของเซลลูโลส (Sun and Cheng, 2002) การปรับสภาพด้วยด่างเป็นกระบวนการที่ง่ายและไม่ต้องใช้พลังงานมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการปรับสภาพด้วยกรด (สุภาวดี, 2557)

2.2.2.3 การกำจัดลิกนินโดยการออกซิเดชัน (oxidative delignification) โดยการปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในขั้นต่อไปได้ (สุภาวดี, 2557)

2.3 กระบวนการดูดซับ (บุษบาและคณะ, 2558)

กระบวนการดูดซับ เป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการสะสมของสารที่สนใจหรือที่เรียกว่าตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) ที่บริเวณพื้นผิวหรือระหว่างผิวหน้า (Interface) ของตัวดูดซับ (Adsorbent) ประเภทของการดูดซับแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามชนิดของแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับดังนี้

1. การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลด้วยแรงทางกายภาพ โดยแรงทางกายภาพที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับผิวของตัวดูดซับที่สำคัญคือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals forces) ซึ่งเกิดจากการรวมของแรง 2 ชนิดคือ แรงกระจายแบบลอนดอน (Landon dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงอย่างอ่อนนี้ทำให้การดูดซับทางกายภาพสามารถเกิดการผันกลับได้ง่าย นอกจากนี้ตัวถูกดูดซับยังสามารถเกาะที่ผิวของตัวดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer)

2. การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) การดูดซับประเภทนี้จะมีการทำปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นระหว่างตัวดูดซับกับตัวถูกดูดซับ โดยทั่วไป คือ จะมีการสร้างพันธะเคมีซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวดูดซับเดิมพันธะเคมีที่เกิดขึ้นมักเป็นพันธะที่แข็งแรงและมีพลังงานกระตุ้นไม่ต่ำกว่า 40 kJ/mol อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ามาเกี่ยวข้องทำให้การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวหน้าตัวดูดซับทำได้ยากกว่าเมื่อเทียบกับการดูดซับทางกายภาพและมีการดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว (Monolayer adsorption) เท่านั้น

2.3.1 ประเภทของตัวดูดซับ คือ สารที่มีความสามารถในการดูดซับ แบ่งได้ 5 ประเภท (นิสาพรและคณะ, 2559)

1. สารอินทรีย์ เช่น ซิลิกาแกมมันต์หรือสินแร่พวกอะลูมิเนียม
2. ถ่านแกมมันต์ เป็นตัวดูดซับที่มีประสิทธิภาพและมีการนำไปใช้งานอย่างมากเช่น ฟอกสีกำจัดกลิ่น กำจัดตะกอน
3. สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น สารแลกเปลี่ยนไอออนพวกเรซิน
4. วัสดุชีวภาพ ส่วนใหญ่เป็นของเหลือใช้ทางด้านการเกษตรเช่น ชานอ้อย แอ้ว กาก
5. สารดูดซับชีวภาพ เช่น เอนไซม์ แบคทีเรีย

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับ (พิสุทธิ, 2557)

2.3.2.1 ธรรมชาติของตัวดูดซับ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับดังนี้

1. พื้นที่ผิวและโครงสร้างรูพรุนของตัวดูดซับ พื้นที่ผิวเป็นสมบัติอย่างหนึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับ ความสามารถในการดูดซับจะเพิ่มขึ้น เมื่อพื้นที่ผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมากขึ้น เนื่องจากปริมาณพื้นที่ผิวส่วนใหญ่ได้มาจากช่องว่างหรือรูพรุนภายในตัวดูดซับ ซึ่งมีส่วนช่วยให้พื้นที่ผิวมีความสามารถในการดูดซับเพิ่มขึ้น เพราะถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนของโมเลกุลของตัวดูดซับได้ การดูดซับก็จะเพิ่มขึ้น
2. ขนาดของตัวดูดซับ อัตราการดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับการลดขนาดของตัวดูดซับให้มีขนาดเล็ก ทำให้อัตราเร็วในการดูดซับเร็วขึ้นกว่าสารที่มีขนาดใหญ่
3. เคมีที่ผิวหน้าของตัวดูดซับ หมู่ฟังก์ชันเฉพาะที่อยู่บนผิวของโมเลกุลที่เป็นตัวดูดซับมี สมบัติที่มีผลต่อกระบวนการดูดซับ เช่น ถ้าโมเลกุลตัวดูดซับเป็นพวกออกไซด์และมีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นกรด ความสามารถในการดูดซับจะลดลงแต่หากมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่คาร์บอนิลความสามารถดูดซับจะเพิ่มขึ้น

2.3.2.2 ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับ ธรรมชาติของตัวถูกดูดซับจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการดูดซับ ดังนี้

1. ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับ เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะถูกดึงออกจากน้ำและไปเกาะบนผิวของตัวดูดซับ สารที่ละลายน้ำได้หรือแตกตัวเป็นไอออนย่อมมีแรงยึดเหนี่ยวกับโมเลกุลของน้ำได้อย่างเหนียวแน่น ความสามารถในการละลายที่สูงจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงปฏิกิริยาของตัวทำละลายและตัวถูกละลาย ทำให้การแพร่ขยายการดูดซับลดลงเพราะก่อนที่จะเกิดกระบวนการดูดซับขึ้น ต้องมีการทำลายพันธะของตัวถูกละลายและตัวทำละลายก่อน

2. ขนาดของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ มีความสำคัญมากต่อการดูดซับ ซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในรูพรุนของตัวดูดซับพบว่า การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อโมเลกุลไม่กว้างกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวถูกดูดซับมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนของตัวดูดซับโดยโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในรูพรุนก่อน จากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่จึงถูกดูดเข้าไป ถ้าขนาดโมเลกุลของสารที่ถูกดูดซับไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ความสามารถในการดูดซับจะต่ำลง

3. ความมีขั้ว (Polarity) นอกจากธรรมชาติของสารแล้ว ยังขึ้นอยู่กับตัวทำละลายและตัวดูดซับของสารด้วย ซึ่งความสามารถในการดูดซับจะลดลง เมื่อความมีขั้วเพิ่มขึ้นเพราะการเพิ่มความมีขั้วจะทำให้ความสามารถในการละลายเพิ่มขึ้น

4. ค่าความเป็นกรด - เบส ถ้าค่าความเป็นกรดของตัวถูกดูดซับลดลงอัตราการดูดซับจะเกิดได้เร็วมากเพราะค่าความเป็นกรด มีผลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออน $[H^+]$ ที่เพิ่มมากขึ้นจากการแตกตัวเป็นไอออนในน้ำของตัวถูกดูดซับยังสามารถเกาะติดผิวคาร์บอน (เช่น ถ่านกัมมันต์) ได้ดีทำให้คาร์บอนมีสภาพเป็นกลางเสมอเนื่องจากคาร์บอนที่ไม่มีขั้วจึงทำให้โมเลกุลไม่มีขั้วของตัวถูกดูดซับในน้ำมาเกาะที่ผิวคาร์บอนได้ดียิ่งขึ้น และทำให้เกิดการดูดซับดีขึ้น

5. ผลของอุณหภูมิ กระบวนการดูดซับเป็นกระบวนการคายความร้อน (Exothermic Process) ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงทำให้การดูดซับมีแนวโน้มเกิดได้ลดลงแต่อัตราเร็วของการดูดซับจะเพิ่มขึ้น

6. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับขึ้นอยู่กับ Film diffusion และ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดซับจะมีความหนามากเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลเข้าไปหาสารดูดซับทำให้ Film diffusion เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วการดูดซับในทางตรงกันข้ามถ้าน้ำมีความปั่นป่วนสูงทำให้ Pore diffusion เป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วการดูดซับทำให้อัตราการดูดซับเร็วขึ้น

7. ระยะเวลาในการดูดซับ การเพิ่มระยะเวลาในการดูดซับทำให้ปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาหนึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเป็นการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกหลังจากนั้นปริมาณดูดซับจำเพาะ ณ เวลาหนึ่ง จะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนกระทั่งเข้าสู่สมดุล

2.4 ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) พบทั้งในน้ำธรรมชาติและน้ำเสียในรูปของฟอสเฟตและโมเลกุลฟอสเฟต อาจพบฟอสฟอรัสได้ทั้งในรูปสารละลาย สารแขวนลอยในน้ำ ตะกอนดินก้นบ่อ ตลอดจนในตัวสิ่งมีชีวิตต่างๆ ออร์โธฟอสเฟตและโพลีฟอสเฟตมักพบในรูปเป็นสารละลายในน้ำและรวมเรียกว่า Soluble reaction phosphorus สารอินทรีย์ฟอสเฟตในน้ำอาจอยู่ในรูปสารละลายเชิงซ้อนหรือในรูปตะกอนแขวนลอย (มันลินและมันรักซ์, 2545)

2.4.1 แหล่งที่มาของฟอสเฟต

ฟอสฟอรัสในแหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสียจะอยู่ในรูปของฟอสเฟตและโมเลกุลของฟอสเฟต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 3 ชนิด คือ

ไม่วารณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) หรือเรียกว่า ฟอสฟอรัสละลายน้ำ (Soluble Reactive Phosphorus) สารเหล่านี้ละลายน้ำได้ดีและแพลงก์ตอนพืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อการเจริญเติบโตได้แก่ Na_3PO_4 , Na_2HPO_4 , NaH_2PO_4 , และ $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$

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

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

2.4.2 ผลกระทบของฟอสเฟตในแหล่งน้ำ

ฟอสฟอรัสจัดเป็น Growth Limiting Nutrient ของพืชน้ำและเป็นธาตุอาหารชนิดหนึ่งซึ่งส่งผลให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายเซลล์เดียว เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินและสาหร่ายสีเขียว ดังนั้นการระบายน้ำทิ้งที่ยังมีสารประกอบของฟอสฟอรัสลงไปในน้ำเป็นจำนวนมากอาจกระตุ้นให้เกิดการเจริญเติบโตของพืชน้ำอย่างรวดเร็วทำให้แหล่งน้ำมีสีเขียวขุ่น ส่งผลให้แหล่งน้ำตื้นเขินขาดออกซิเจนในเวลาที่ไม่ได้มีแสงแดดออกซิเจนในน้ำจะมีปริมาณลดลงและไม่ถึงผิวน้ำทำให้สัตว์น้ำขาดอากาศหายใจซึ่งเป็นการเพิ่มความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำและก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication) ในแหล่งน้ำ โดยเฉพาะในแหล่งน้ำนิ่งคือ ทะเลสาบหรืออ่างเก็บน้ำ (พรทวี, 2557) ปัจจุบันพบว่าเกิดการเกิดยูโทรฟิเคชันไม่ใช่จะเกิดเฉพาะในทะเลสาบหรือหนองน้ำ แต่สามารถเกิดในแม่น้ำ ชายฝั่งทะเลและทะเลได้ (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2556) เพื่อป้องกันปัญหาของภาวะยูโทรฟิเคชัน องค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. EPA) จึงได้กำหนดระดับความเข้มข้นสูงสุดของฟอสฟอรัสทั้งหมดในแหล่งน้ำธรรมชาติให้มีค่าต่ำกว่า 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร (Mullins, 2009)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชัชชัยและคณะ (2561) โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการเตรียมขานอ้อยตัดแปรเพื่อใช้ในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำ ขานอ้อยที่ผ่านการบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช จะถูกนำมาปรับสภาพทางเคมีด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไนตริก และ/หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ผลการศึกษาพบว่าขานอ้อยตัดแปรทางเคมีมีปริมาณเซลลูโลสสูงถึง 65.20% และมีค่าการดูดซับเมทริลีนบลูเท่ากับ 367.44 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อใช้วิธีการปรับสภาพแบบ 3 ขั้นตอนดังนี้คือ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 8% ตามด้วยขั้นตอนที่สองคือการใช้กรดไนตริกเข้มข้น 5% และขั้นตอนสุดท้ายคือการใช้ 10% ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำการเตรียมขานอ้อยตัดแปรที่มีการตรึงแคทไอออนไม่ว่องไวใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนวัสดุโดยใช้วิธีการจุ่ม ชุบแมกนีเซียมหรือเหล็กด้วยกระบวนการตกตะกอนของแมกนีเซียมคลอไรด์ หรือเพอร์ริคคลอไรด์ รวมถึงใช้กระบวนการตกตะกอนร่วมของเพอร์ริสและเพอร์ริค ผลการศึกษาพบว่าขานอ้อยตัดแปรที่มีการตรึงแคทไอออนบนวัสดุสามารถกำจัดฟอสเฟตได้ดีกว่าขานอ้อยตัดแปรทางเคมีและขานอ้อยตามธรรมชาติ เมื่อเปรียบเทียบขานอ้อยตัดแปรที่มีการจุ่มชุบแคทไอออนทั้ง 3 แบบพบว่าขานอ้อยตัดแปรด้วยเพอร์ริคมีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้ดีกว่าโดยมีค่าการดูดซับฟอสเฟตสูงสุดที่ 68.97 มิลลิกรัมต่อกรัม

ณัฐชาและคณะ (2559) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกสับประรดตัดแปรผิวด้วยเพอร์ริคไอออนในการกำจัดไอออนลบ ได้แก่ ฟอสเฟตและคลอไรด์ในน้ำ เปลือกสับประรดที่ใช้เตรียมขึ้นโดยการปรับสภาพด้วย 2.0% NaOH และเคลือบผิวด้วยเพอร์ริคไอออนตามสภาวะที่ระบุในงานวิจัยของกันตพัฒน์ (2558) ผลการศึกษาการกำจัดฟอสเฟตในน้ำพบว่า วัสดุดังกล่าวสามารถกำจัดฟอสเฟต เข้มข้น 1 mg/L ได้สูงถึง 93.676 เมื่อใช้ปริมาณวัสดุเท่ากับ 20 g. ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 8 ชั่วโมง เมื่อทดสอบความสามารถในการกำจัดคลอไรด์ในน้ำพบว่า วัสดุดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดคลอไรด์น้อยมาก (0.7846) เมื่อใช้ปริมาณเปลือกสับประรดตัดแปรผิวด้วยเพอร์ริคไอออนเท่ากับ 200 g/L ที่ระยะเวลาสัมผัสเท่ากับ 4 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามพบว่า การแช่เปลือกสับประรดตัดแปรพื้นผิวด้วยเพอร์ริคไอออนในน้ำสามารถเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ในน้ำ

กันตพัฒน์ (2558) ทำการศึกษาตัวดูดซับจากเปลือกสับประรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย โดยนำเปลือกสับประรดมาปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โดยเปลือกสับประรดที่ปรับสภาพด้วย NaOH เข้มข้น 20% (w/v) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 50°C จะมีความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูมากที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเพิ่มขึ้นของพื้นผิวของวัสดุ การตัดแปรพื้นผิวของเปลือกสับประรดซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วยต่างโดยการแช่ในสารละลายเพอร์ริคคลอไรด์เข้มข้น 0.10 โมลาร์ ทำให้ความสามารถในการดูดซับไอโอดีนและเมทิลีนบลูลดลง การแช่เปลือกสับประรดที่เคลือบผิวด้วยเพอร์ริคไอออน (Fe^{3+}) ในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1.0 โมลาร์ นาน 10 นาทีเพิ่มการดูดซับของ Fe^{3+} ดังจะเห็นได้จากการลดลงของเปอร์เซ็นต์การคายซับจาก 61.71% ในตัวอย่างที่ไม่เพิ่มการดูดซับผิวเหลือ 0.81% ในตัวอย่างที่เพิ่มการดูดซับผิวด้วย NH_4OH ความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตด้วยเปลือกสับประรดที่ปรับปรุงด้วย NaOH และ Fe^{3+} สามารถอธิบายได้ด้วยไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์โดยมีความจุในการดูดซับที่คำนวณได้เท่ากับ 35.35 มิลลิกรัมต่อกรัม ผลจากการบำบัดน้ำเสียจากกิจกรรม การซักผ้าพบว่าเปลือกสับประรดที่ปรับปรุงคุณภาพด้วย NaOH และ Fe^{3+} ความสามารถกำจัดฟอสเฟตทั้งหมดและโพสฟอสเฟตมีค่าเท่ากับ 88.80% และ 91.98% เมื่อบำบัดน้ำเสียดังกล่าวด้วย เปลือกสับประรดที่ปรับปรุงคุณภาพในปริมาณ 16 กรัมต่อลิตร

อรทัยและคณะ (2554) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับน้ำมันในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ขานอ้อยและขานอ้อยที่ปรับสภาพทางเคมี ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมลาร์ ซึ่งการศึกษาทั้งหมดอยู่ในรูปแบบการทดลองแบบกะ โดยปัจจัยการดูดซับที่ทำการศึกษาประกอบด้วย ค่า pH ระยะเวลาสัมผัสและความเข้มข้นเริ่มต้นของน้ำมัน นอกจากนี้เป็นการศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับเพื่อใช้หาค่าความสามารถในการดูดซับและอธิบายกลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นรวมทั้งศึกษาการคายรับของชานอ้อยและชานอ้อยที่ปรับสภาพหลังผ่านกระบวนการดูดซับ จากผลการศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับน้ำมันโดยใช้ชานอ้อยและชานอ้อยที่ปรับสภาพคือ 6 ระยะเวลาในสัมผัส 120 นาทีและความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ณ สภาวะดังกล่าวประสิทธิภาพการดูดซับน้ำมันของชานอ้อยและชานอ้อยที่ปรับสภาพเท่ากับร้อยละ 72.03 และ 79.55 สมการไอโซเทอร์มที่เหมาะสมในการอธิบายกลไกการดูดซับของน้ำมันคือ Langmuir Isoterm ซึ่งอธิบายว่า กลไกการดูดซับเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียวและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับเป็นปัจจัยการดูดซับที่สำคัญ สำหรับความสามารถในการดูดซับสูงสุดของชานอ้อยและชานอ้อยที่ปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 1.15 และ 2.55 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อศึกษาการคายซับพบว่า ประสิทธิภาพการคายซับมีค่าเท่ากับร้อยละ 99.8 และ 99.9 ตามลำดับ

เกศศิริ (2551) งานวิจัยนี้ได้เตรียมถ่านกัมมันต์จากฟางข้าว แกลบ และชานอ้อยโดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริกซึ่งใช้สภาวะที่ทำการศึกษาที่เหมาะสมในการกระตุ้นเดียวกันได้แก่ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างกรดฟอสฟอริกต่อวัตถุดิบคือ 1:1 ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการกระตุ้นคือ 60 นาที โดยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จะนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบแบบประมาณและทดสอบความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนและเมทิลีนบลู นอกจากนี้ยังศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับปริมาณไอโอดีนและเมทิลีนบลูโดยอาศัยสมการของ Freundlich ผลการวิจัยพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวสามารถดูดซับปริมาณไอโอดีนได้สูงที่สุดคือ 998 มิลลิกรัมต่อกรัม ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากแกลบสามารถดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูได้สูงที่สุดคือ 305 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้า 2 ชนิดพบว่า ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าวมีความสามารถในการดูดซับปริมาณไอโอดีนใกล้เคียงกับถ่านกัมมันต์ในทางการค้าชนิดที่ 2 แต่น้อยกว่าชนิดที่ 1 ส่วนถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากวัตถุดิบทั้งสามมีความสามารถในการดูดซับปริมาณเมทิลีนบลูต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ในทางการค้าทั้งสองชนิด อย่างไรก็ตามถ่านกัมมันต์ที่เตรียมขึ้นจากฟางข้าว แกลบและชานอ้อยมีคุณสมบัติเป็นถ่านกัมมันต์ที่ดีเนื่องจากมีค่าไอโอดีนนัมเบอร์มากกว่า 600 มิลลิกรัมต่อกรัมและค่าความชื้นมีค่าน้อยกว่า 8% ตามมาตรฐานของ มอก. 900-2547 ที่กำหนดไว้

Supranto et al. (2015) งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนชานอ้อยให้เป็นวัสดุที่มีเส้นใยเซลลูโลสสูงด้วยการเติมสาร NaOH ร่วมกับ HNO₃ และ H₂O₂ ซึ่งจากการปรับสภาพชานอ้อยด้วยสารเคมีที่ต่างชนิดกันพบว่าเมื่อเติม 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO₃ และ 10% H₂O₂ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสส่งผลให้มีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มสูงถึง 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ronda et al. (2013) ทำการศึกษาการปรับสภาพกิ่งมะกอกด้วยสารละลายที่ต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ H_2SO_4 , HNO_3 , และ NaOH เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับตะกั่วในสารละลาย โดยนำกิ่งมะกอกที่บดจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร มาปรับสภาพด้วย H_2SO_4 , HNO_3 , และ NaOH เข้มข้นอย่างละ 0.1 โมลาร์ โดยใช้อัตราส่วนระหว่างกิ่งมะกอกต่อสารปรับสภาพ เป็น 1:10 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและ ปริมาตรรูพรุนรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 K พบว่ากิ่งมะกอกที่ปรับสภาพ ด้วย 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 ส่งผลให้กิ่งมะกอกมีปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก $0.00154 \text{ cm}^3/\text{g}$ เป็น $0.00165 \text{ cm}^3/\text{g}$ ขณะที่การปรับสภาพด้วย HNO_3 ทำให้ปริมาตรรูพรุนรวมลดลงเหลือ $0.00098 \text{ cm}^3/\text{g}$ ส่วนการปรับสภาพด้วย NaOH ส่งผลให้พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตรรูพรุนรวมของ กิ่งมะกอกเพิ่มขึ้นเป็น $3.53 \text{ m}^2/\text{g}$ และ $0.00583 \text{ m}^2/\text{g}$ ตามลำดับ เมื่อทำการทดสอบการดูดซับ ตะกั่วในสารละลาย พบว่ากิ่งมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วย NaOH สามารถดูดซับตะกั่วได้ มากกว่ากิ่งมะกอกที่ผ่านการปรับสภาพด้วย H_2SO_4 และ HNO_3

Nasuha and Hameed (2011) ทำการศึกษาการปรับสภาพกากชาด้วยกระบวนการทาง เคมีเพื่อใช้สำหรับดูดซับเมทธิลีนบลู โดยนำกากชามาล้างให้สะอาดและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศา เซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดจนมีขนาด 250 – 355 ไมโครเมตร แขนในสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 โมลาร์ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมาล้างและอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยพบว่ากากชาที่ผ่านการปรับสภาพมีพื้นที่ผิวคล้ายรังผึ้ง มีรอย แตกและมีรูพรุนมากกว่ากากชาที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวจำเพาะและปริมาตร รูพรุนรวมด้วยเทคนิค Nitrogen Adsorption ที่อุณหภูมิ 77 K พบว่ากากชาที่ปรับสภาพมีพื้นที่ผิวจำเพาะ เพิ่มขึ้นจาก $4.2 \text{ m}^2/\text{g}$ เป็น $6.5 \text{ m}^2/\text{g}$ และปริมาตรรูพรุนรวมเพิ่มขึ้นจาก $230.0045 \text{ cm}^3/\text{g}$ เป็น $0.0064 \text{ cm}^3/\text{g}$ ซึ่งเมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลูพบว่ากากชาที่ผ่านการปรับ สภาพสามารถดูดซับเมทธิลีนบลูเพิ่มขึ้นจาก 147 mg/g เป็น 242 mg/g

Zhao et al. (2009) ทำการสังเคราะห์เส้นใยเซลลูโลสที่เติมเฟอร์ริกจากใยฝ้ายเพื่อใช้เป็นตัว ดูดซับสารหนูในน้ำ โดยนำใยฝ้ายมาแขวนในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เข้มข้น 0.6 โมลาร์ เป็นเวลา 8 ชั่วโมง เมื่อวิเคราะห์พื้นที่ผิวของใยฝ้ายที่ผ่านการดัดแปรกับใยฝ้ายที่ไม่ผ่านการดัดแปรพบว่าเส้นใยฝ้าย ที่ผ่านการดัดแปรมีรูพรุนขนาดใหญ่ (5 - 30 ไมโครเมตร) มีพื้นที่ผิวที่ขรุขระและมีพื้นที่ผิว $2.23 \text{ m}^2/\text{g}$ ผลการดูดซับสารหนูในน้ำพบว่า การดูดซับจะเข้าสู่สมดุลเมื่อใช้เวลา 15 นาทีและเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการ ดัดแปรสามารถกำจัดสารหนูได้ 98%

Krishnan and Haridas (2008) ทำการศึกษาการดัดแปรพื้นผิวถ่านกัมมันต์จากขุยมะพร้าว ด้วย Fe^{3+} เพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำโดยนำขุยมะพร้าวมาล้างให้สะอาด ตากแดดให้แห้งและนำขุยมะพร้าวมา 50 กรัม แขนในสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสโดยแบ่งการเติม ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ เป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรก เติมสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ นาทึละ 15 มิลลิลิตรจนครบ 30 นาทีและในขั้นตอนที่ 2 จะทำการเติมสารละลาย $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ ปริมาตร 300 มิลลิลิตร แช่ไว้เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที นำมาล้างและอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเครื่อง XRD พบว่าซุยมะพร้าวที่ผ่านการปรับปรุงมีพีคที่ $2\theta = 44.70$ และ 9.71 แสดงให้เห็นถึง Fe^{3+} ที่อยู่ในโครงสร้างของเซลลูโลสและเมื่อทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับฟอสเฟตในน้ำพบว่าซุยมะพร้าวที่ผ่านการดัดแปรพื้นผิวสามารถดูดซับฟอสเฟตได้สูงสุด 70.92 mg/g



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, AAS) รุ่น AAnalyst 200 บริษัท PerkinElmer
2. เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR) รุ่น IRTracer-100 บริษัท SHIMADZU
3. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) รุ่น BlueStar B ยี่ห้อ LabTech บริษัท โปรวิชั่น ไซแอนติฟิก จำกัด
4. เครื่องวัดหาปริมาณธาตุ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF) รุ่น SRS 3400 ยี่ห้อ Bruker AXS ประเทศเยอรมัน
5. เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-ray diffractometer, XRD) รุ่น D8 Advance ยี่ห้อ Bruker AXS ประเทศเยอรมัน
6. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) รุ่น QUANTA 250 ยี่ห้อ FEI ประเทศอเมริกา
7. เครื่องเขย่าแนวนอน (Horizontal Shaker) รุ่น Orbital Shaker ยี่ห้อ Gallenkamp
8. เครื่องบดหยาบ (Coarse grinding) รุ่น B65 ยี่ห้อ Bosco
9. เครื่องบดละเอียด (Hammer mill) รุ่น VLFJ-OD บริษัท ย.ย่ง ฮะ เอง ประเทศไทย
10. ตู้อบ (Oven) รุ่น UN 55 ยี่ห้อ Memmert
11. เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance) รุ่น MS204TS ยี่ห้อ Metter Toledo
12. เครื่องกรองสุญญากาศ (Vacuum Filtration Apparatus) รุ่น A-1000S ยี่ห้อ EYELA
13. โถดูดความชื้น (Desiccator)
14. ตะแกรงร่อน (Sieve) ขนาด 70 เมช มาตรฐาน ASTM E11 ประเทศอังกฤษ
15. กระดาษวัดพีเอช (pH paper)
16. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
17. บริภัณฑ์เครื่องแก้ว

3.1.2 สารเคมี

1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) AR Grade, Carlo Erba

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เข้มข้น 10% (H₂O₂) AR Grade, Carlo Erba ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เมทิลีนบลู (Methylene blue) AR Grade, Fisher Scientific
4. โพแทสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) AR Grade, Fisher Scientific
5. แอสคอร์บิก (Ascorbic acid) AR Grade, Carlo Erba
6. โพแทสเซียมแอนติโมนีทาร์เทรตเฮมิไฮเดรต ($\text{K}(\text{SbOC}_4\text{H}_4\text{O}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O})$) AR Grade, Carlo Erba
7. ฟีนอล์ฟทาเลิน (phenolphthalein) AR Grade, Fisher Scientific
8. แอมโมเนียมโมลิบเดตเตตระไฮเดรต ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) AR Grade, Carlo Erba
9. กรดซัลฟูริก เข้มข้น 98% (H_2SO_4) AR Grade, Carlo Erba
10. กรดแกลซีลแอซีติก เข้มข้น 99% (Glacial acetic acid) AR Grade, Carlo Erba
11. กรดไนตริก เข้มข้น 5% (HNO_3) AR Grade, Carlo Erba
12. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) AR Grade, Carlo Erba
13. น้ำกลั่นปราศจากไอออน (Deionized water)
14. ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) AR Grade, Carlo Erba
15. แมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) AR Grade, Carlo Erba
16. เฟอริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) AR Grade, LobaChemie
17. เฟอรัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) AR Grade, LobaChemie
18. แคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) AR Grade, Carlo Erba
19. กรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 34.5% (HCl) AR Grade, Carlo Erba

3.2 การเตรียมฟางข้าวที่ใช้ในการศึกษา

นำฟางข้าวมาตัดเป็นชิ้นยาวประมาณ 10 เซนติเมตรจากนั้นมัดด้วยเครื่องมัดหยาบและเครื่องบดละเอียด ตามลำดับ แล้วนำมาร้อนด้วยตะแกรงร่อนขนาด 70 เมช จากนั้นนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟางข้าวและฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
ปริมาณเซลลูโลส	เทคนิค acid digestion-gravimetry (Kurschner-Hernack, 1987 อ้างถึงในซัชชัยและคณะ, 2561)
หมู่ฟังก์ชันทางเคมี	เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
ค่าการดูดซับเมทิลีนบลู	การหาค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู อ้างอิงตามงานวิจัยของปริญทร (2551)
ลักษณะทางสัญญาณวิทยา	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, (SEM))

3.3 การปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กรดไนตริกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ตามลำดับ

- นำฟางข้าวที่เตรียมในข้อ 3.2 มาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 8% (w/v) ในอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักฟางข้าวกับปริมาตรของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เท่ากับ 1:30 ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายที่ผ่านการกรองมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น
- ถ่ายฟางข้าวที่ได้จากการกรองลงในสารละลายกรดไนตริก (HNO₃) เข้มข้น 5% (w/v) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายที่ผ่านการกรองมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น
- ถ่ายฟางข้าวที่ได้จากการกรองลงในสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เข้มข้น 10% (w/v) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ล้างด้วยน้ำกลั่นจนสารละลายที่ผ่านการกรองมีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าพีเอชของน้ำกลั่น
- นำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ก่อนนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุที่เตรียมได้ตามที่ระบุใน ตารางที่ 3.1 และศึกษาการเติมสารดัดแปรชนิดต่างๆ

3.4 การเติมสารดัดแปรลงบนฟางข้าวที่ปรับสภาพ

3.4.1 การเตรียมสารละลาย

- สารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตเข้มข้น 0.27 โมลาร์ ซึ่งเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (FeCl₃·6H₂O) 72.67 กรัม ละลายในน้ำกลั่นใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร
- ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. สารละลายผสมเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรตและเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรตเข้มข้น 0.27 โมลาร์ ซึ่งเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 36.33 กรัมและเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) 39.00 กรัม ละลายในน้ำกลั่นใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร

3. สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.27 โมลาร์ ซึ่งแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) 25.67 กรัม ละลายในน้ำกลั่นใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร

4. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 0.27 โมลาร์ ซึ่งแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2) 29.97 กรัม ละลายในน้ำกลั่น ใส่ลงในขวดปรับปริมาตรขนาด 1000 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ถึงขีดวัดปริมาตร

3.4.2 วิธีการเตรียมสารตัดแปรลงบนฟางข้าวปรับสภาพ

1. นำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพจากข้อ 3.3 มาแช่ในสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 0.27 โมลาร์ กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักฟางข้าวต่อปริมาตรสารละลายเท่ากับ 1:30

2. ทำการปั่นกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที พร้อมกับค่อยๆหยดสารละลาย NaOH เข้มข้น 1N ทีละหยดจนพีเอชของของผสมที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 11.0 ปั่นกวนต่ออีก 1 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ 120 นาที

3. นำของผสมที่ได้ไปทำการกรองลดความดันด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 เพื่อแยกส่วนที่เป็นของแข็งคือฟางข้าวตัดแปรด้วยเหล็กจากส่วนที่เป็นสารละลาย

4. นำฟางข้าวที่ผ่านการตัดแปรไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและทางเคมีตั้งระบุไว้ในตารางที่ 3.2

5. ทำการทดลอง ข้อ 1 - 4 ข้าง แต่เปลี่ยนสารละลายที่ใช้จากเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 0.27 โมลาร์ เป็นสารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์ (MgCl_2) และเฟอร์รัสซัลเฟตเฮปตะไฮเดรต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) กับเฟอร์ริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) และแคลเซียมคลอไรด์ (CaCl_2)

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟางข้าวตัดแปรที่ทำการศึกษา

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
ศึกษาค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ (pH_{pzc})	pH Drift Method (ยूपดีและคณะ, 2558)
หมู่ฟังก์ชันทางเคมี	เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถคัดลอกหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ
ปริมาณธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	เครื่องวัดปริมาณธาตุโดยใช้เทคนิครังสีเอ็กซ์ (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF)

3.5 การศึกษาความสามารถในการกำจัดสารละลายออร์โธฟอสเฟต

3.5.1 ชนิดของวัสดุที่ศึกษา

วัสดุที่ศึกษาได้แก่ ฟางข้าวไม่ผ่านการปรับสภาพ, ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ, ฟางข้าวตัดแปรทั้ง 4 ชนิดได้แก่ ฟางข้าวตัดที่แปรด้วย Fe^{3+} , ฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Fe^{3+}/Fe^{2+} , ฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Mg^{2+} และฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Ca^{2+}

3.5.2 วิธีเตรียมสารละลายสต็อกออร์โธฟอสเฟต

ละลาย KH_2PO_4 219.5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร สารละลายนี้จะมีปริมาตรฟอสเฟตเท่ากับ 50.0 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร

3.5.3 ศึกษาผลของระยะเวลาสัมผัส

1. ชั่งวัสดุที่ต้องการศึกษา 0.1 กรัม ใส่ลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟตเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วนำไปเขย่าที่เครื่องเขย่าแนวนอนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
2. กรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 นำสารละลายที่กรองได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณออร์โธฟอสเฟตที่เหลืออยู่ในสารละลายด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีด้วย Ascorbic acid (APHA et al, 2012)
3. ทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนระยะเวลาสัมผัสจาก 1 ชั่วโมงเป็น 3 , 6 , 12 , 24 ชั่วโมงตามลำดับ
4. ทำชุดควบคุม โดยทำการทดลองเหมือนข้อที่ 1 – 3 แต่ไม่ใส่ฟางข้าวลงในสารละลายออร์โธฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

โครงการพิเศษนี้ทำการศึกษาการเตรียมฟางข้าวดัดแปรเพื่อใช้เป็นวัสดุดูดซับฟอสเฟตในน้ำ โดยแบ่งการศึกษาเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้คือ ขั้นตอนที่ 1 การปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารละลาย โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ต่อด้วยกรดไนตริก (HNO_3) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ตามลำดับและขั้นตอนที่ 2 การเติมเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) ลงบนฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ ผลที่ได้เป็นดังนี้

4.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพด้วยสารเคมี

ฟางข้าวที่ผ่านการบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 70 เมช จะได้ฟางข้าว (RC) ที่มีลักษณะเป็น ผงละเอียดสีน้ำตาล ดังรูปที่ 4.1a เมื่อนำฟางข้าวไปปรับสภาพด้วยการแช่ในเบส (NaOH) ตามด้วย กรด (5% HNO_3) และตัวออกซิไดซ์ (10% H_2O_2) ตามลำดับ พบว่าฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ มีสีจางลง (รูปที่ 4.1b) สีน้ำตาลที่จางลงในฟางข้าวหลังปรับสภาพด้วยสารเคมี สะท้อนถึง ความสามารถของกรด เบสและตัวออกซิไดซ์ในการสกัดแยกกลีคนิน รวมถึงเฮมิเซลลูโลสออกจาก โครงสร้างของฟางข้าว สอดคล้องกับโครงการพิเศษของซัชชัยและคณะ (2561) ที่พบว่าเมื่อนำชาน อ้อยไปปรับสภาพด้วยวิธีการเดียวกัน ชานอ้อยมีสีจางลง

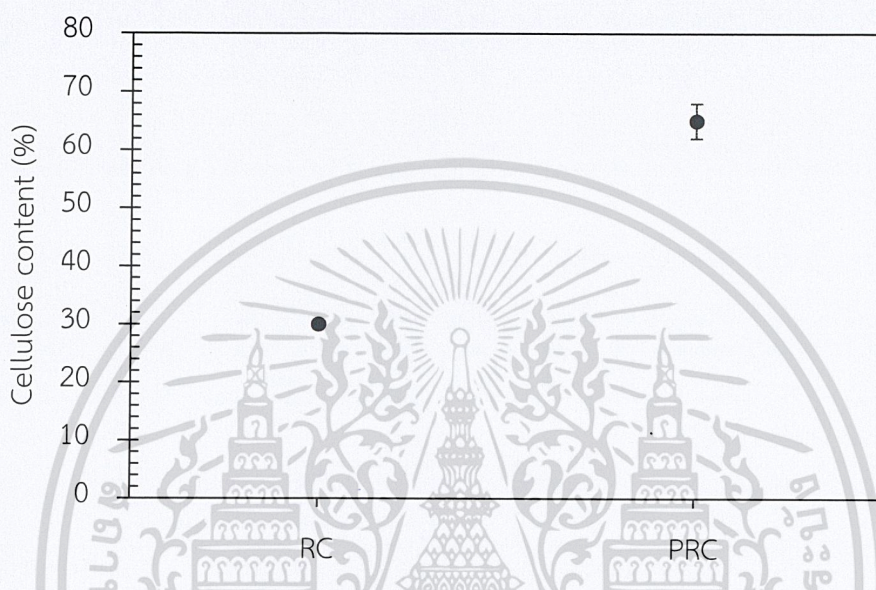


รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของ (a) ฟางข้าวไม่ผ่านการปรับสภาพ และ (b) ฟางข้าวที่ปรับสภาพ ด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2 ตามลำดับ

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟางข้าว

ผลการวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าวทั้งก่อนและหลังปรับสภาพพบว่า ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีองค์ประกอบของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (รูปที่ 4.2) โดยฟางข้าวก่อนการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 31.02 ± 0.97 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำไปปรับสภาพโดยใช้ 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2 ตามลำดับ มีปริมาณเซลลูโลสเพิ่มขึ้นเป็น 68.25 ± 3.99 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Supantro et al. (2015) และซัชชัยและคณะ (2561) ซึ่งพบว่าวิธีการปรับสภาพโดยใช้ด้วยสารเคมีทั้ง 3 ชนิดร่วมกันจะทำให้วัสดุภายหลังการปรับสภาพมีปริมาณเซลลูโลสสูงสุด

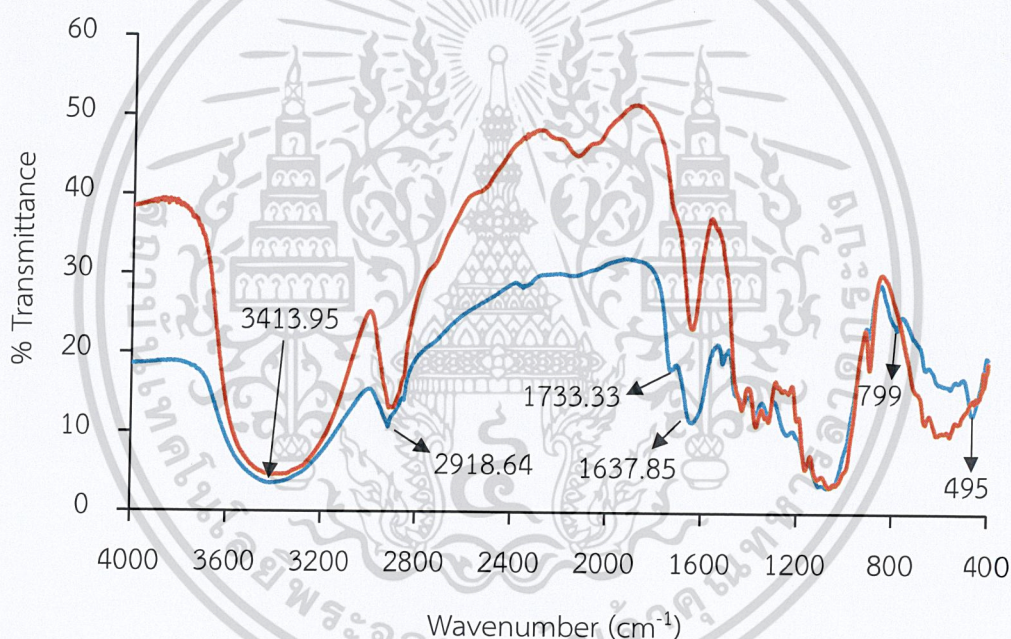


รูปที่ 4.2 สัดส่วนองค์ประกอบของเซลลูโลสในฟางข้าวก่อนปรับสภาพ (RC) และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ (PRC)

4.1.2 การศึกษาหมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของฟางข้าวด้วยเทคนิค FT-IR

ผลการศึกษาหมู่ฟังก์ชันในฟางข้าวก่อนและหลังปรับสภาพด้วยเทคนิค FT-IR พบว่าการปรับสภาพฟางข้าวด้วยสารเคมีจำพวกเบส ร่วมกับกรดและตัวออกซิไดซ์ สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของวัสดุ ได้ดังจะเห็นได้จากสเปกตรัมอินฟราเรดของฟางข้าวก่อนการปรับสภาพปรากฏพีคลักษณะกว้างที่เลขคลื่นประมาณ 3413.95 cm^{-1} ซึ่งระบุได้ว่าเป็นหมู่ไฮดรอกซิลจาก O-H stretching และที่เลขคลื่นประมาณ 2918.64 cm^{-1} ปรากฏพีคที่มีความเข้มต่ำ ซึ่งเป็นแถบการยืดของพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนจาก C-H stretching ของ C-H Aliphatic (รูปที่ 4.3) ในขณะที่ภายหลังการปรับสภาพ จะพบสัญญาณที่ตำแหน่งเลขคลื่นใกล้เคียงกันกับที่ปรากฏในฟางข้าวก่อนการปรับสภาพแต่มีความเข้มของพีคเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน (รูปที่ 4.3) การปรับสภาพด้วยสารเคมีทั้งสามชนิดร่วมกันยังสามารถแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนินในฟางข้าวได้โดยฟางข้าวก่อนปรับสภาพปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 1733.33 cm^{-1} ซึ่งคาดว่า เป็นพีคของ C=O stretching ในหมู่ Ester carbonyl ที่เป็นองค์ประกอบของลิกนิน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ning-chuang et.al. (2010) หรือในขณะที่ฟางข้าวหลังการปรับสภาพไม่พบสัญญาณที่เลขคลื่น 1733.33 cm^{-1} นอกจากนี้ยังพบว่าสัญญาณที่เลขคลื่นประมาณ $1600 - 1650\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นหมู่ Carbonyl (C=O) จากกลุ่ม Carboxylate ที่เพิ่มขึ้นในฟางข้าวที่ปรับสภาพ นอกจากนี้ยังปรากฏแถบการสั่นของ Si-O stretching และ bending ตามลำดับ ซึ่งเป็นองค์ประกอบในฟางข้าวที่เลขคลื่นประมาณ 799 และ 495 cm^{-1} ตามลำดับ Liu et al. (2011) แต่ไม่พบพีดังกล่าวในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพอาจเป็นผลมาจากการละลายของ Si ในสภาพต่าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tang et al. (2019) ความเข้มของพีดที่ชัดเจนขึ้นในช่วงเลขคลื่นประมาณ $3200 - 3600\text{ cm}^{-1}$ และที่เลขคลื่นประมาณ $1600 - 1650\text{ cm}^{-1}$ ในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพยืนยันถึงบทบาทของกระบวนการดังกล่าวในการเพิ่มหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลและหมู่คาร์บอกซิเลตซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญที่ใช้แลกเปลี่ยนไอออนกับโลหะ



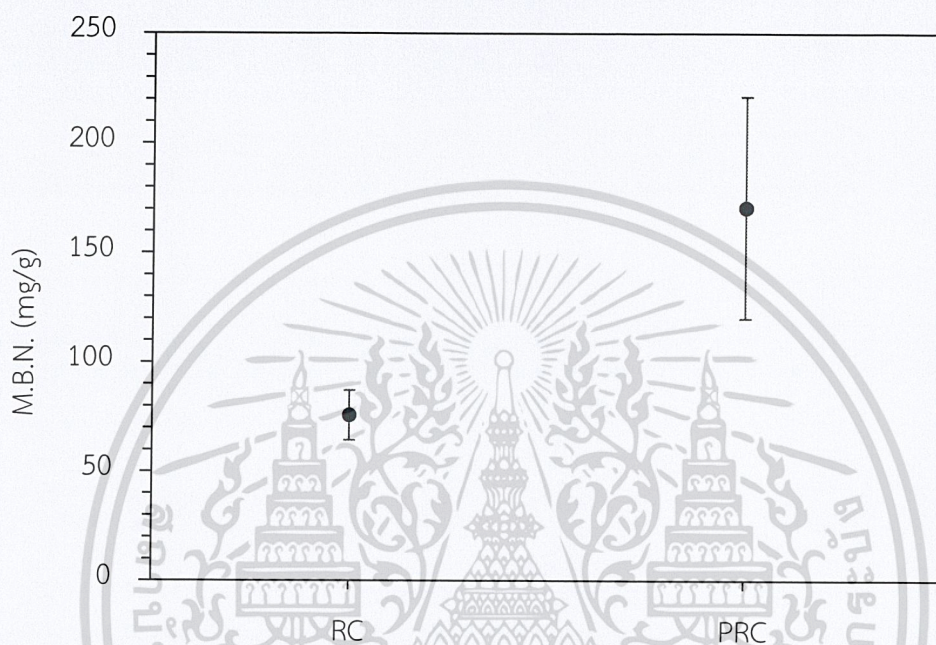
รูปที่ 4.3 สเปกตรัม FT-IR ของฟางข้าวก่อนการปรับสภาพ (—), ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2 ตามลำดับ (---)

4.1.3 ค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลู (Methylene Blue Number, M.B.N)

ผลการวิเคราะห์ M.B.N. ของฟางข้าวทั้งก่อนและหลังปรับสภาพพบว่าค่า M.B.N. ในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับฟางข้าวก่อนปรับสภาพ (รูปที่ 4.4) โดยฟางข้าวก่อนการปรับสภาพมีค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูเท่ากับ 75.66 ± 11.38 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อนำไปปรับสภาพโดยใช้ 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามลำดับ มีค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูเป็น 170.58 ± 50.63 มิลลิกรัมต่อกรัม สอดคล้องกับโครงงานพิเศษของซัชชัยและคณะ (2561) ที่พบการเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูจาก 46.65 ± 11.46 มิลลิกรัมต่อกรัมเป็น 367.44 ± 96.84 มิลลิกรัมต่อกรัม ในชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยวิธีเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าการปรับสภาพช่วยเพิ่มความเป็นรูพรุนและเพิ่มพื้นที่ผิวของวัสดุ ทำให้สามารถดูดซับสารที่สนใจได้มากขึ้น



รูปที่ 4.4 ค่าการดูดซับเมทิลีนบลูของฟางข้าวก่อนปรับสภาพ (RC) และฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ (PRC)

4.1.4 ลักษณะทางสัญญาณวิทยาด้วยกล้อง SEM

จากการศึกษาลักษณะทางสัญญาณวิทยาของฟางข้าวก่อนการปรับสภาพและฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยกล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่าพบว่า ลักษณะพื้นผิวของฟางข้าวมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบ (รูปที่ 4.5A) เมื่อทำการปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO₃ และ 10% H₂O₂ ตามลำดับ พบว่าพื้นผิวของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีลักษณะขรุขระมากขึ้น (รูปที่ 4.5B) สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ M.B.N. ในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ การเพิ่มขึ้นของพื้นผิวในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพอาจเป็นผลมาจากกลไกการทำงานของ NaOH ซึ่งเชื่อว่าไปทำให้โครงสร้างของลิกโนเซลลูโลสเกิดการพองบวม (swollen) นำไปสู่การเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสภายในโครงสร้างของวัสดุ การใช้กรดและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมในการปรับสภาพช่วยให้ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเฮมิเซลลูโลสและการกำจัดลิกนินด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ดีขึ้น ผลที่ตามมาคือทำให้เกิดการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของเซลลูโลส สอดคล้องกับงานวิจัยของ Dhabhi et al. (2013) ที่แสดงให้เห็นว่าฟางข้าวสาลีที่ปรับสภาพด้วยกรดมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูงขึ้นเมื่อเทียบกับฟางข้าวสาลีก่อนปรับสภาพ



(A)

(B)

รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า ของ (A) คือ ฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ และ (B) คือ ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO₃ และ 10% H₂O₂ ตามลำดับ

4.2 ผลของการตัดแปรพื้นผิวของฟางข้าวด้วยโลหะทรานซิชั่นและโลหะแอลคาไลเอิร์ธ

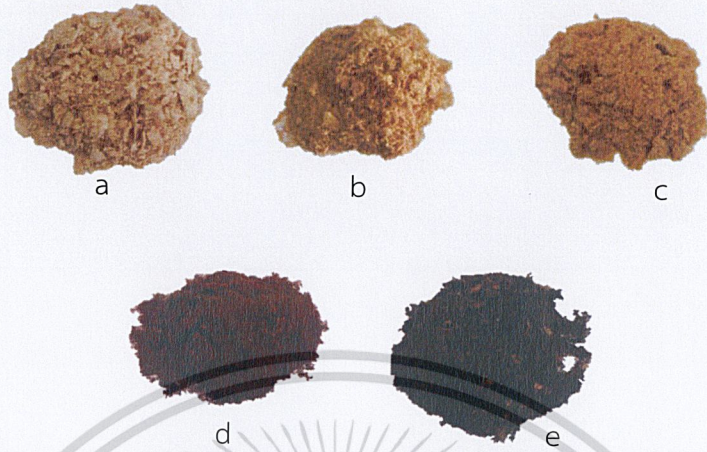
ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับฟอสเฟตของฟางข้าวโดยวิธีการตกตะกอนของเหล็ก แมกนีเซียม หรือแคลเซียมลงบนฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO₃ และ 10% H₂O₂ ตามลำดับ อ้างอิงวิธีการเตรียมวัสดุตามงานวิจัยของ Yang et al. (2018) ผลการศึกษาเป็นดังนี้

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ

การตัดแปรโครงสร้างของฟางข้าวด้วยไอออนของเหล็ก, แมกนีเซียมและแคลเซียมมีผลต่อสีของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ลักษณะของฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย Mg²⁺ และ Ca²⁺ มีเฉดสีเดียวกับฟางข้าวก่อนการตัดแปร แต่จะมีลักษณะสีที่เข้มขึ้นเมื่อเทียบฟางข้าวก่อนการตัดแปร (รูปที่ 4.6a, 4.6b และ 4.6c) สีที่เข้มขึ้นในฟางข้าวภายหลังจากการเติมแมกนีเซียมหรือแคลเซียมลงบนวัสดุ ยืนยันให้เห็นว่ามีการเกาะติดของสารตัดแปรทั้งสองชนิดในฟางข้าว ลักษณะเฉดสีที่ไม่เปลี่ยนแปลงอาจเป็นผลมาจากการที่สารละลายแมกนีเซียมคลอไรด์และสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เป็นสารละลายไม่มีสี ในขณะที่สีของฟางข้าวที่ตัดแปรพื้นผิวด้วย Fe³⁺ และฟางข้าวที่ตัดแปรพื้นผิวด้วย Fe³⁺/Fe²⁺ แตกต่างไปจากฟางข้าวก่อนการตัดแปร โดยเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลแดงและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

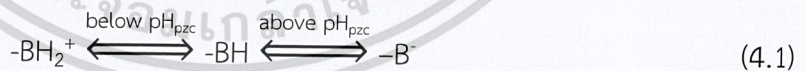
สีน้ำตาลออกดำ แสดงถึงการดูดติดของเหล็กที่ผิวของฟางข้าว (รูปที่ 4.6d และ 4.6e)



รูปที่ 4.6 สีของฟางข้าวตัดแปรด้วยไอออนโลหะ เมื่อ (a) คือฟางข้าวก่อนตัดแปร (b) คือฟางข้าวตัดแปรด้วย Mg^{2+} (c) คือฟางข้าวตัดแปรด้วย Ca^{2+} (d) คือฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe^{3+} และ (e) คือฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe^{3+}/Fe^{2+}

4.2.2 พีเอชที่ค่าประจุสุทธิเป็นศูนย์ (pH_{pzc})

pH_{pzc} บอกถึงความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลบ (Anion Exchange Capacity, AEC) ของวัสดุดูดซับที่สนใจ ณ พีเอชของสารละลายที่กำหนดได้ (Chintala et al., 2013) เมื่อพีเอชของสารละลายมีค่ามากกว่า pH_{pzc} ผิวตัวดูดซับแสดงประจุเป็นลบซึ่งสามารถดูดซับสารจำพวกไอออนบวกได้ดี ในทางตรงกันข้ามเมื่อพีเอชของสารละลายมีค่าน้อยกว่า pH_{pzc} ผิวตัวดูดซับแสดงประจุเป็นบวกซึ่งสามารถดูดซับสารจำพวกไอออนลบได้ดี ดังสมการที่ 4.1 Farooq et al. (2010)



เมื่อพิจารณา pH_{pzc} ของฟางข้าวตัดแปรทั้ง 4 ชนิดพบว่าค่า pH_{pzc} ของฟางข้าวตัดแปรด้วยเหล็กและแมกนีเซียมมีค่ามากกว่า 7 (ตารางที่ 4.1) สะท้อนให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ในการบำบัดฟอสเฟตในน้ำเสียชุมชนซึ่งมีค่าพีเอชโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 6 – 8 (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) เนื่องจากที่พีเอชดังกล่าวทำให้ประจุที่ผิวของฟางข้าวที่ตัดแปรด้วยเหล็กและแมกนีเซียมมีค่าเป็นบวกดังตัวอย่างสมการที่ (4.1) ทำให้สามารถดูดซับไอออนลบต่างๆ รวมถึงฟอสเฟตในน้ำได้เป็นอย่างดี ในขณะที่ pH_{pzc} ของฟางข้าวตัดแปรด้วยแคลเซียมมีค่าน้อยกว่า 7 และมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับฟางข้าวตัดแปรด้วยเหล็กและแมกนีเซียม ปัจจัยดังกล่าวมีผลต่อความสามารถของฟางข้าวที่ตัดแปรด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

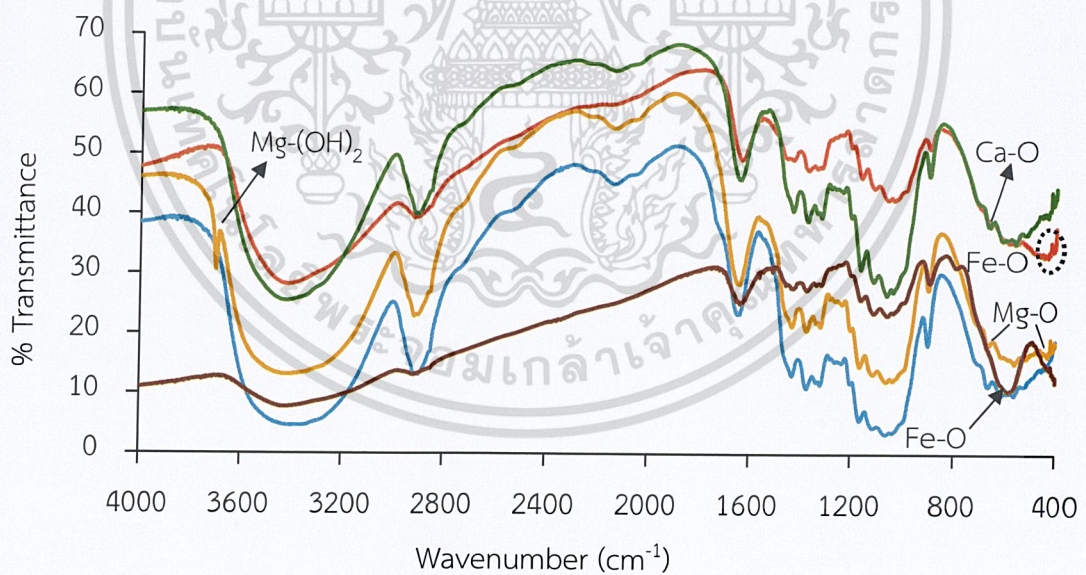
แคลเซียมในการบำบัดฟอสเฟตเมื่อพีเอชของน้ำมีค่ามากกว่า pH_{pzc} ของวัสดุ เนื่องจากที่สภาวะดังกล่าวประจุสุทธิที่ผิวของฟางข้าวที่ดัดแปรด้วยแคลเซียมมีค่าเป็นลบ

ตารางที่ 4.1 pH_{pzc} ของฟางข้าวดัดแปรทั้ง 4 ชนิด

ชนิดของวัสดุ	pH_{pzc}
Mg-PRC	9.38
Fe(III)-PRC	8.99
Fe(III)/Fe(II)-PRC	8.48
Ca-PRC	6.63

4.2.3 หมู่ฟังก์ชันบนพื้นผิวของฟางข้าวดัดแปรด้วยเทคนิค FT-IR

เมื่อนำฟางข้าวที่ดัดแปรด้วยไอออนโลหะไปศึกษาหมู่มฟังก์ชันที่เป็นส่วนประกอบด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR) ที่เลขนคลื่นในช่วง $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$ ปรากฏผลดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 สเปกตรัม FT-IR ของฟางข้าวก่อนการดัดแปร (—), ฟางข้าวดัดแปรด้วย Fe^{3+} (—), ฟางข้าวดัดแปรด้วย $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ (—), ฟางข้าวดัดแปรด้วย Mg^{2+} (—) และฟางข้าวดัดแปรด้วย Ca^{2+} (—)

จากการศึกษาผลของการปรับสภาพต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลส ที่ผ่านการเติมไอออนของโลหะด้วยเครื่อง FT-IR พบว่าสเปกตรัมอินฟราเรดของฟางข้าวหลังการดัดแปรด้วยไอออนโลหะต่าง ๆ มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างจากฟางข้าวที่ไม่ผ่านการดัดแปร ไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดัดแปรด้วยโลหะปรากฏสัญญาณที่ตำแหน่งเลขคลื่นสำคัญๆ คล้ายคลึงกับที่พบในฟางข้าวก่อนการดัดแปรได้แก่ การปรากฏพีคลักษณะกว้างที่เลขคลื่นประมาณ $3200 - 3600 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งระบุได้ว่าเป็นหมู่ไฮดรอกซิลจาก O-H stretching ปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 2918.64 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการยืดของพันธะระหว่างคาร์บอนและไฮโดรเจนจาก C-H stretching ของ C-H Aliphatic ที่เลขคลื่นประมาณ $1600 - 1650 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นหมู่ Carbonyl (C=O) จากกลุ่ม Carboxylate และที่เลขคลื่นประมาณ $1000 - 1150 \text{ cm}^{-1}$ ปรากฏแถบการสั่นจาก C-O ของ Alcohol อย่างไรก็ตามพบว่าพีคที่ตำแหน่งเลขคลื่นดังกล่าวมีความเข้มลดลงในฟางข้าวที่มีการเติมโลหะเทียบกับฟางข้าวก่อนการดัดแปร แสดงให้เห็นถึงการทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะที่หมู่ฟังก์ชันดังกล่าว เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของฟางข้าวที่ดัดแปรด้วย Fe^{3+} และฟางข้าวที่ดัดแปรด้วย $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ พบว่าปรากฏพีคในช่วงเลขคลื่น $450 - 550 \text{ cm}^{-1}$ ซึ่งอาจเกิดแถบการสั่นของ Fe-O Garcia et al. (2013) ที่มีลักษณะชัดเจนขึ้นยืนยันให้เห็นถึงการเกาะติดของเหล็กในฟางข้าว สำหรับสเปกตรัมของฟางข้าวที่ดัดแปรด้วยแมกนีเซียม ปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 3699.37 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการสั่นของ $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (Borchet et al., 2007) ที่เกิดปฏิกิริยาร่วมกับหมู่ไฮดรอกซิล นอกจากนี้ยังปรากฏพีคที่เลขคลื่นประมาณ 432 cm^{-1} และ 662 cm^{-1} คาดว่าเป็นแถบการสั่นของ Mg-O (Hofmeister et al., 2003 ; Samanta et al., 2019) และยังพบพีคที่เลขคลื่นประมาณ 662.80 cm^{-1} บนฟางข้าวที่ผ่านการเติม Ca^{2+} สันนิษฐานว่าเป็นพีคที่เกิดจากการยืดของพันธะ Ca-O (Putra et al., 2017) ผลดังกล่าวชี้ให้เห็นว่าวิธีการที่ใช้ในการดัดแปรฟางข้าวสามารถทำให้เกิดการทำปฏิกิริยาของแมกนีเซียมและแคลเซียมที่ผิวของฟางข้าวได้

4.2.4 การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF

ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีที่เป็นธาตุและสารประกอบด้วยเครื่องวิเคราะห์การเรืองรังสีเอ็กซ์ (XRF) ของฟางข้าวทั้ง 6 ชนิด ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบที่เป็นสารประกอบของฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ, ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพและฟางข้าวที่ดัดแปรด้วยไอออนของโลหะ

สูตรทางเคมี	ฟางข้าว	ฟางข้าวปรับสภาพ	ฟางข้าวดัดแปร			
			Fe^{3+}	$\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$	Mg^{2+}	Ca^{2+}
Al_2O_3	34.7	74.1	37.4	23.3	47.6	n.d.
CaO	2.22	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	19.1
Cl	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	10.7	n.d.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

สูตรทางเคมี	ฟางข้าว	ฟางข้าวปรับสภาพ	ฟางข้าวตัดแปร			
			Fe ³⁺	Fe ³⁺ /Fe ²⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
CoO	1.08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
CuO	0.271	n.d.	n.d.	0.237	0.297	1.33
Fe ₂ O ₃	n.d.	n.d.	52.4	48.9	n.d.	n.d.
K ₂ O	14.2	10.6	2.55	3.34	7.66	17.4
MgO	1.04	n.d.	n.d.	n.d.	13.6	7.04
MnO	n.d.	6.19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Na ₂ O	n.d.	n.d.	4.00	2.97	n.d.	n.d.
SiO ₂	41.9	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
SO ₃	n.d.	n.d.	n.d.	10.5	16.1	34.6
ZnO	n.d.	n.d.	0.19	n.d.	n.d.	n.d.

หมายเหตุ : n.d. = not detected

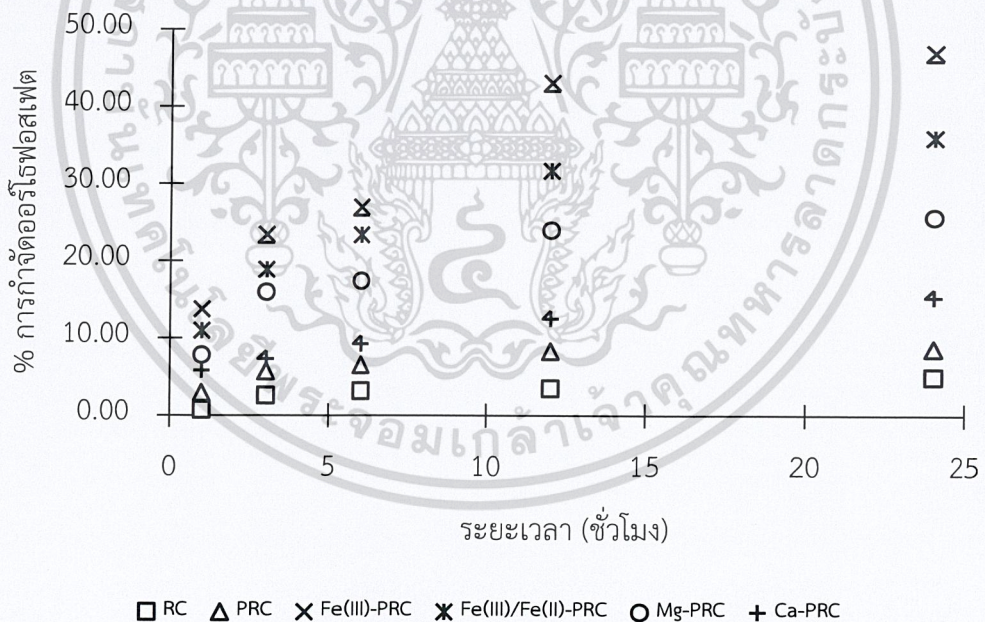
จากตารางที่ 4.2 พบว่าฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพมี SiO₂ เป็นส่วนประกอบถึง 41.9% สอดคล้องกับงานวิจัยของ Binod et al. (2010) ที่แสดงถึงการมี SiO₂ เป็นองค์ประกอบและสอดคล้องกับผลของการศึกษาหุ้มฟางข้าวชั้นบนพื้นผิวของฟางข้าวตัดแปรด้วยเทคนิค FT-IR ที่พบพันธะ Si-O แต่เมื่อนำฟางข้าวมาปรับสภาพด้วยเบส กรดและตัวออกซิไดซ์พบว่ามีกรดลดลงของธาตุ Si ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการละลายของธาตุเหล่านี้ในสภาพต่าง สอดคล้องกับงานวิจัยของ Tang et al. (2019)

เมื่อนำฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมาเติมเหล็ก แมกนีเซียมและแคลเซียมพบว่ามีปริมาณสารประกอบเหล็กถึง 52.4% ในฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe³⁺, 48.9% ในฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe³⁺/Fe²⁺, 13.6% ในฟางข้าวตัดแปรด้วย Mg²⁺ และ 19.1% ในฟางข้าวตัดแปรด้วย Ca²⁺ แสดงถึงการเกาะติดของธาตุนั้นๆบนวัสดุแต่ละชนิด อย่างไรก็ตามพบว่าปริมาณของเหล็กโดยเฉพาะเฟอร์ริกพบในเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ (ทั้งที่โหลดเข้าไปในปริมาณที่เท่าๆกัน) แสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนของไอออนเหล็กเกิดขึ้นได้ดีกว่าแมกนีเซียมหรือแคลเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ความสามารถในการกำจัดออร์โธฟอสเฟต

ผลการศึกษาความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของฟางข้าวทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ 1) ฟางข้าวก่อนการปรับสภาพ (RC) 2) ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO₃ และ 10% H₂O₂ ตามลำดับ (PRC) 3) ฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe³⁺ (Fe(III)-PRC) 4) ฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe³⁺/Fe²⁺ (Fe(III)/Fe(II)-PRC) 5) ฟางข้าวตัดแปรด้วย Mg²⁺ (Mg-PRC) 6) ฟางข้าวตัดแปรด้วย Ca²⁺ (Ca-PRC) ที่ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาแตกต่างกัน โดยใช้ปริมาณฟางข้าว 0.2 กรัมต่อลิตรในสารละลายฟอสเฟตเข้มข้น 25 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร พบว่าความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของฟางข้าวทั้ง 6 ชนิดจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาจนเข้าสู่สมดุลที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง (รูปที่ 4.14) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตระหว่างฟางข้าวทั้ง 6 ชนิดพบว่าฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe³⁺ มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดฟอสเฟตสูงที่สุด รองลงมาคือฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe³⁺/Fe²⁺, ฟางข้าวตัดแปรด้วย Mg²⁺, ฟางข้าวตัดแปรด้วย Ca²⁺, ฟางข้าวที่ปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO₃ และ 10% H₂O₂ และฟางข้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าฟางข้าวที่เติมไอออนบวกของโลหะจำพวกเฟอร์ริกลงบนวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเบส กรดและตัวออกซิไดซ์ จะช่วยเพิ่มความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้



รูปที่ 4.8 เปอร์เซนต์การกำจัดออร์โธฟอสเฟตที่ระยะเวลาสัมผัสต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการปรับสภาพฟางข้าวโดยใช้สารเคมี 3 ชนิดร่วมกันได้แก่ เบส กรดและตัวออกซิไดซ์ พร้อมทั้งศึกษาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตในฟางข้าวด้วยวิธีการเติมเหล็กจำพวกเฟอร์ริก (Fe^{3+}), เหล็กผสมระหว่างเฟอร์ริกและเฟอร์รัส (Fe^{3+}/Fe^{2+}), แมกนีเซียมไอออน (Mg^{2+}) และแคลเซียมไอออน (Ca^{2+}) สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. ฟางข้าวที่ปรับสภาพ 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2 ตามลำดับ ทำให้ฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีองค์ประกอบของเซลลูโลสในปริมาณที่มากขึ้นจาก 31.02 ± 0.97 เป็น 68.25 ± 3.99 เปอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ FT-IR ที่พบการลดลงของหมู่ฟังก์ชันของเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยของเซลลูโลสในฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพมีความขรุขระและซ้อนทับกันอย่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบความสามารถในการดูดซับเมทิลีนบลูพบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจาก 75.66 ± 11.38 เป็น 170.58 ± 50.63 มิลลิกรัมต่อกรัม

2. ผลการวิเคราะห์สมบัติของฟางข้าวตัดแปรด้วยเหล็ก แมกนีเซียม หรือแคลเซียมในสภาวะที่เป็นต่างด้วยเทคนิค FT-IR ร่วมกับ XRF ยืนยันว่า ฟางข้าวที่ตัดแปรมีเหล็ก, แมกนีเซียมและแคลเซียมปรากฏที่ผิวของวัสดุตั้งปรากฏพิคที่เป็นแถบการยึดของของพันธะ Fe-O, Mg-O และ Ca-O ผลการวิเคราะห์ปริมาณไอออนเหล็ก, แมกนีเซียมและแคลเซียมด้วยเทคนิค XRF พบว่า ฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe^{3+} มีร้อยละของสารประกอบ Fe_2O_3 เท่ากับ 52.4 เปอร์เซ็นต์ ฟางข้าวตัดแปรด้วย Fe^{3+}/Fe^{2+} มีร้อยละของธาตุ Fe เท่ากับ 34.2 เปอร์เซ็นต์และมีร้อยละของสารประกอบ Fe_2O_3 เท่ากับ 48.9 เปอร์เซ็นต์ ฟางข้าวตัดแปรด้วย Mg^{2+} และฟางข้าวตัดแปรด้วย Ca^{2+} มีร้อยละของสารประกอบ MgO และ CaO เท่ากับ 13.6 และ 19.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

3. ผลการทดสอบความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของวัสดุที่ใช้ศึกษาพบว่า ฟางข้าวตัดแปรด้วยไอออนของโลหะมีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพและฟางข้าวก่อนการปรับสภาพทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดของโลหะที่เติมในฟางข้าวพบว่า ฟางข้าวตัดแปรด้วยเหล็กมีความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตได้ดีที่สุด รองลงไปคือ ฟางข้าวตัดแปรด้วยแมกนีเซียมและแคลเซียม ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรควบคุมปริมาณของไอออนที่เติมลงบนวัสดุให้เท่ากันและศึกษาความสามารถในการกำจัดฟอสเฟตของฟางข้าวตัดแปรที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่ใกล้เคียง
2. ควรศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถของวัสดุในการกำจัดฟอสเฟตในน้ำได้แก่ พีเอช ปริมาณของวัสดุ ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำ
3. ควรศึกษาความสามารถในการนำไปบำบัดน้ำเสียจริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. **มาตรฐานคุณภาพน้ำ**. [Online]. Available : water.rid.go.th/wrd/const14/images/KL/KL3.pdf.

กระทรวงพลังงาน, กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2555. **ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย**. [Online]. Available : http://www.dede.go.th/ewt_w3c/ewt_news.php?nid=486.

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

กันตพัฒน์ กสิบุตร. 2558. “การเตรียมตัวดูดซับจากเปลือกสับปะรดเพื่อใช้กำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

เกศศิริ เหล่าวัชรสุวรรณ. 2551. “การศึกษาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากฟางข้าว แกลบและชานอ้อย โดยการกระตุ้นทางเคมีด้วยกรดฟอสฟอริก.” *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย*. 28(4) : 84-98.

จุฑามาศ ขาวผ่อง, ขวัญพร บ้องศรี และศศิลักษณ์ ศักดิ์พุทธสกุล. 2558. “การดูดซับทองแดงและนิกเกิลที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกส้มโอที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และแคลเซียมคลอไรด์.” *โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.

ชัชชัย ปสังคานนท์, ปัทมาธิริย์ ต้นเฮง และสุภัทรา นลินรัตน์. 2561. “การผลิตชานอ้อยดัดแปรเพื่อใช้ในการกำจัดฟอสเฟต.” *โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.

ณัชชา ชินวงษ์, กรรณิการ์ แสงฉาย และปาริฉัตร นาครักษา. 2559. “การใช้ประโยชน์ของเปลือกสับปะรดดัดแปรผิวด้วยเฟอร์ริกไอออนในการกำจัดไอออนลบในน้ำ.” *โครงการพิเศษปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*.

นिसาพร มุหะมัด, สมภพ เกาทอง, อุบล ต้นสม และปิยศิริ สุนทรนนท์. 2559. “การดูดซับสีย้อมด้วยกากชา.” *รายงานวิจัย คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร, มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา*.

บุษบา สีทานาม, พัชรี พรหมเสนา และวิทยา ระติเดช. 2558. “การดูดซับฟีนอลจากสารละลายนี้”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปแจ้งประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้โดยใช้ซีโอดีทวายที่สังเคราะห์ได้จากแกลบและข้าว.” โครงการพิเศษโปรแกรมวิชาเคมี คณะครุศาสตร์, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

ปริญทร เต็มญารศิลป์. 2551. “การเตรียมและการวิเคราะห์คุณลักษณะเฉพาะของถ่านกัมมันต์จาก ไม้ตงและไม้หมากजू.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี, มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์.

พรทวี กองร้อย. 2557. “การกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสียจากการซักล้างโดยแห่นแดง.” รายงานวิจัย ฉบับสมบูรณ์ สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัย ราชภัฏเพชรบูรณ์.

พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล. 2557. **พื้นฐานกระบวนการถ่ายเทมวลสารและการแยกทางกายภาพในงาน วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.** กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มาชัย ณีฐกัญชร. 2557. “การปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารโดยกำจัดสารอินทรีย์ละลายและ ฟอสฟอรัสด้วยการดูดซับโดยตัวกลางถ่านกัมมันต์เคลือบเหล็กออกไซด์.” วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตัณฑุลเวศม์ และมันรัช ตัณฑุลเวศม์. 2545. **เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ยุพดี กุศลรัตน์กิตติวงศ์, อุษณีย์ รักษาไชยวรรณ, และโกวิท ปิยะมั่งคลา. 2558. “จลนศาสตร์และ กลไกการดูดซับไอออนเงินโดยโคโคซานดัดแปรเรซิน : ผลความเป็นกรด-เบสของสารละลาย.” *วิศวกรรมสาร มก* 28(94) : 63-72.

รัชพล พวงศรีรัตน์. 2558. “กระบวนการปรับสภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตเอทานอลจาก วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทลิกโนเซลลูโลส.” *Verdian E-Journal, Science and Technology Silpakorn University.* 1 : 143-157.

วิจิตรา ยงยุทธอาไพ. 2554. **ลดการเผาฟางข้าวและตอซัง ลดภาวะโลกร้อน.** มูลนิธิรักษ์ไทย. [Online]. Available : raksthai.org/thai/news/detail.php?content=1&topic=522.

โสภา เกตุสุวรรณ. 2555. “การศึกษา ออกแบบ และพัฒนาของตกแต่งบ้านจากวัสดุเหลือใช้ ทางการเก็บเกี่ยวข้าว.” การศึกษาค้นคว้าอิสระสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์ ภาควิชา การออกแบบผลิตภัณฑ์, มหาวิทยาลัยศิลปากร.

สุภาวดี ผลประเสริฐ. 2557. “การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับผลิตเอทานอล.” *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.* 22(5) : 641-649.

อินแปง ดวงวงสา. 2553. **การจัดการฟางข้าวเพื่ออนุรักษ์ธาตุ N , P และ K ในดินนาของ**

ประเทศลาว. [Online]. Available : www.agri.ubu.ac.th/masterstu/seminar/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า .inpaeng.pdf.

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรรถัย วิเศษรัตน์, รินรดี งามสมบัติ, ปานใจ สื่อประเสริฐสิทธิ์ และจิตติมา ประสาระ.
2554. “การดูดซับน้ำมันโดยใช้ขานอ้อยและขานอ้อยปรับสภาพ.” *วารสารวิชาการ*.
31(4) : 354-362.

อุษารัตน์ รัตนคำนวน. 2557. “การเตรียมเซลล์โลสตัดแปรที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากวัสดุ
เหลือทิ้งทางการเกษตรภายใต้พลังงานไมโครเวฟ.” รายงานผลการวิจัย มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Abey, S.D. 2016. **Difference between Cellulose and Hemicellulose.** [Online].
Available : <https://www.differencebetween.com/difference-between-cellulose-and-vs-hemicellulose/>.

APHA, AWWA and WEF. 2012. “Standard Methods for the Examination of Water
and Wastewater.” 22nd Edition. USA : American Public Health Association.

Binod, P. Sindhu, R. Singhanian, R.R. Vikram, S. Devi, L. Nagalakshmi, S. Kurien, N.
Sukumaran, R.K. Pandey, A. 2010. “Bioethanol Production from Rice Straw:
an Overview.” *Bioresource Technology*. 101 : 4767-4774.

Borchert, H. Jürgens, B. Zielasek, V. Rupprechter, G. Giorgio, S. Henry, C.R. and
Bäumer, M. 2007. “Pd Nanoparticles with Highly Defined Structure on MgO as
Model Catalysts: an FTIR Study of the Interaction with CO, O₂ and H₂ Under
Ambient Conditions.” *Journal of Catalysis*. 247 : 145-154.

Chintala R., Mollinedo J., Schumacher T.E., Papiernik S.K., Malo D.D., Clay D.E.,
Kumar S. and Gulbrandson D.W. 2013. “Nitrate Sorption and Desorption in
Biochars from Fast Pyrolysis” *Microporous Mesoporous Mater*. 179 : 250-257.

Dhabhai, R. Chaurasia, S.P. and Dalai, A.K. 2013. “Effect of Pretreatment Conditions
on Structural Characteristic of Wheat Straw.” *Chemical Engineering
Communications*. 200(9) : 1251-1259.

Farooq, U. Kozinski, J.A. Khan, M.A. and Athar, M. 2010. “Biosorption of Heavy Metal
Ions Using Wheat Based Biosorbents.” *Bioresource Technology*. 101 : 5043-5053.

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 Nanoparticle.” *Journal of the Chilean Chemical Society*. 58(4) : 707-717.

Goshadrou, A. Karimi, K. and Taherzadeh, M.J. 2011. “Bioethanol Production from
Sweet Sorghum Bagasse by *Mucor hiemalis*.” *Industrial Crops and Products*.
34 : 1219-1225.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Harun, M.Y. Radiah, A.B.D. Abidin, Z.Z. Yanus, R. 2011. "Effect of Physical Pretreatment on Dilute Acid Hydrolysis of Water Hyacinth (*Eichhornia crassipes*).” *Bioresource Technology*. 102 : 5193-5199.

Hofmeister, A.M. Keppel, E. and Speck, A.K. 2003. "Absorption and Reflection Infrared Spectra of MgO and Other Diatomic Compounds.” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 345 : 16-18.

Krishnan K.A. and Haridas, A. 2008. "Removal of Phosphate from Aqueous Solutions and Sewage Using Natural and Surface Modified Coir Pith.” *Journal of Hazardous Materials*. 152 : 527-535.

Kulić, G.J. and Radojčić, V.B. 2011. "Analysis of Cellulose Content in Stalks and Leaves of Large Leaf Tobacco.” *Journal of Agricultural Sciences*. 56(3) : 207-215.

Liu, Y. Guo, Y. Zyu, Y. An, D. Gao, W. Wang, Z. Ma, Y. Wang, Z. 2011. "A Sustainable Route for the Preparation of Activated Carbon and Silica from Rice Husk Ash.” *Journal of Hazardous Materials*. 186 : 1314-1319.

Mullins, G. 2009. **Agriculture and The environment**. [Online]. Available : <https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/55777/424-029.pdf?sequence=1>.

Nasuha, N. and Hameed, B.H. 2011. "Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution on to NaOH-Modified Rejected Tea.” *Journal of Chemical Engineering*. 166 : 783-786.

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.

Putra, R.S. Liyanita, A. Arifah, N. Puspitasari, E. Sawaludin. And Hizam, M.N. 2017. "Enhanced Electro-Catalytic Process on the Synthesis of FAME Using CaO from Eggshell.” *Energy Procedia*. 105 : 289-296.

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.

Samanta, A. Goswami, M.N. and Mahapatra, P.K. 2019. "Multiferroicity in Mg-Doped
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ZnO Nanoparticles.” *Materials Science & Engineering B*. 245 : 1-8.
- Sun, Y. and Cheng, J. 2002. “Hydrolysis of Lignocellulosic Materials for Bioethanol Production : review.” *Bioresource Technology*. 83(1) : 1-11.
- Supranto, S. Tawfiequrrahman, A. Yunanto, D.E. 2015. “Sugarcane Bagasse Conversion to High Refined Cellulose Using Nitric Acid , Sodium Hydroxide and Hydrogen Peroxide As the Delignificating Agents.” *Journal of Engineering Science and Technology, Special Issue1* : 35-46.
- Tang, Q. Shi, C. Shi, W. Huang, K. Ye, Y. Jiang, W. Kang, J. Liu, D. Ren, Y. and Li, D. 2019. “Preferable Phosphate Removal by Nano-La(III) Hydroxides Modified Mesoporous Rice Husk Biochars: Role of the Host Pore Structure and Point of Zero Charge.” *Science of the Total Environment*. 662 : 511-520.
- Wang, H. Tucker, T. and Ji, Y. 2013. “Recent Development in Chemical Depolymerization of Lignin: A Review.” *Journal of Applied Chemistry*. 1-9.
- Yang, Q. Wang, X. Luo, W. Sun, J. Xu, Q. Chen, F. Zhao, J. Wang, S. Yao, F. Wang, S. Yao, F. Wang, D. Li, X. and Zeng, G. 2018. “Effectiveness and Mechanisms of Phosphate Adsorption on Iron-Modified Biochars Derived from Waste Activated Sludge.” *Bioresource Technology*. 247 : 537-544.
- Zhao, Y. Huang, M.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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีวิเคราะห์ฟอสฟอรัสต่าง ๆ

ก1. การวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำ (Orthophosphate)

การวิเคราะห์ปริมาณออร์โธฟอสเฟตในน้ำทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการทำให้เกิดสีโดยวิธี Ascorbic acid ตามวิธีของ APHA et al., 2012 ซึ่งมีรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์เป็นดังนี้

1. การเตรียมสารละลายสต็อกฟอสเฟตเข้มข้น

- ละลายโมโนโพแทสเซียมฟอสเฟต (KH_2PO_4) 219.5 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร สารละลาย KH_2PO_4 จะมีปริมาณฟอสเฟต 50.0 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร

2. การเตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับทำการกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

- นำสารละลายจากข้อที่ 1 มา 50 มิลลิลิตร ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเท่ากับ 1000 มิลลิลิตร จะได้สารละลายมาตรฐานฟอสเฟตที่มีความเข้มข้นฟอสเฟต 2.5 ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร สารละลายนี้จะถูกนำไปใช้เตรียมสารละลายมาตรฐานสำหรับทำการกราฟมาตรฐานตามตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การเตรียมสารละลายสำหรับทำการกราฟมาตรฐานฟอสเฟต

สารละลายมาตรฐานฟอสเฟต (มิลลิลิตร)	น้ำยารวม (มิลลิลิตร)	น้ำกลั่น (มิลลิลิตร)	ปริมาตรรวม (มิลลิลิตร)	ความเข้มข้นของฟอสเฟต (ไมโครกรัมฟอสฟอรัสต่อมิลลิลิตร)
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
32	8	10	50	1.6
40	8	2	50	2.0
50	8	0	50	2.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. ปิเปตน้ำตัวอย่างมา 50 มิลลิลิตร ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมฟีนอล์ฟทาลีน 1 หยด ถ้าได้สีแดงให้เติมกรดซัลฟิวริก 5 N ที่ละลายจนสีแดงหายไป แล้วเติมน้ำยารวม 8 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร

5. การคำนวณ

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

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

เป็นการทดสอบเพื่อวิเคราะห์ความสามารถสูงสุดในการดูดซับสารละลายเมทิลีนบลูอ้างอิงตามงานวิจัยของปริญทร์ (2551) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสรุปดังนี้

1. การเตรียมสารเคมี

1.1 สารละลายบัฟเฟอร์พีเอชเท่ากับ 7.0

อบสาร (A) คือ โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) และสาร (B) คือ ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (Na_2HPO_4) ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นชั่งสาร (A) มา 9.08 กรัม และสาร (B) มา 23.88 กรัม ตามลำดับ ละลายด้วยน้ำกลั่นปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร นำสารละลาย (A) มา 400 มิลลิลิตรและสารละลาย (B) มา 600 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลายบัฟเฟอร์พีเอช เท่ากับ 7.0

1.2 สต็อกสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (พีเอช 7.0)

ซึ่งเมทิลีนบลูมา 0.5000 กรัม ละลายในสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0 และเทลงในขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร จากนั้นปรับปริมาตรจนถึงขีดวัดปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ พีเอช 7.0

2. วิธีทำ

2.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานเมทิลีนบลู ความเข้มข้น 2 , 4 , 6 , 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปิเปตสารละลายเมทธิลีนบลูความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 0.2 ,0.4 ,0.6 ,0.8 และ 1 มิลลิลิตร ลงในขวดปรับปริมาตร 50 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7.0 นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร

2.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลู

1. เตรียมสารละลายเมทธิลีนบลูที่มีความเข้มข้น 15 , 20 , 25 , 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยปิเปตสารละลายเมทธิลีนบลูความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร มา 3 , 4 , 5 , 10 และ 20 มิลลิลิตร ใส่ลงขวดปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากนั้นปรับปริมาตรด้วยสารละลายบัฟเฟอร์พีเอช 7.0 แล้วทำการห่อฟอยล์

2. ชั่งฟางข้าวมา 0.01 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายเมทธิลีนบลูที่เข้มข้น 15 , 20 , 25 , 50 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ทำการห่อฟอยล์แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแนวนอน ที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแบบลดความดันด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

4. นำสารละลายที่ได้จากการกรองไปทำการวิเคราะห์ปริมาณเมทธิลีนบลูที่เหลือด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 667 นาโนเมตร

5. คำนวณค่าความจุในการดูดซับเมทธิลีนบลู (Q_e) ในแต่ละขวด โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) * V}{M}$$

เมื่อ Q_e = ค่าความจุในการดูดซับ (mg/g)

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของเมทธิลีนบลู (mg/L)

C_e = ความเข้มข้นที่เหลือของเมทธิลีนบลู (mg/L)

V = ปริมาตรสารละลายเมทธิลีนบลู (L)

M = น้ำหนักของฟางข้าว (g)

6. ทำการพล็อตกราฟเส้นตรงระหว่างค่า $1/C_e$ คือ แกน x และค่า $1/Q_e$ คือ แกน y จะได้กราฟที่มีฟังก์ชันสมการเส้นตรง โดยส่วนกลับของจุดตัดแกน y ของกราฟจะเป็นค่าความจุสูงสุดในการดูดซับสารละลายเมทธิลีนบลู (Q_e) หน่วย mg/g

ก.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส (Cellulose Content)

เป็นวิธีการใช้ความไม่ละลายน้ำและความต้านทานต่อกรดและเบส โดยวัสดุจะถูกละลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยส่วนผสมของกรดไนตริกและกรดอะซิติกด้วยการรีฟลักซ์ อ้างอิงวิธีการจาก Kulic and Radojicic (2011) ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์โดยสรุปดังนี้

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบและบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 เมช มา 0.0500 กรัม
2. เติมสารกราเซียอะซิติกแอซิด เข้มข้น 99% 80 มิลลิลิตร กรดไนตริก เข้มข้น 5% 10 มิลลิลิตรและน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร
3. ต้มให้เดือด 5-10 นาที แล้วทำการรีฟลักซ์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น
4. ทำการกรองแบบลดความดันผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จากนั้นนำออกมาชั่งน้ำหนัก

ก.4 การศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ (pH of zero point charge, pH_{pzc}) โดยใช้วิธี pH Drift Method

1. เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเข้มข้น 0.01 โมลาร์
2. จากนั้นนำสารละลายจากข้อ 1 มา 100 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรด-เบส ให้อยู่ในช่วงระหว่างพีเอช 3.00 – 12.00 ด้วยสารละลายกรดไนตริกและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่มีความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ โดยวัดเป็นกรด-เบส โดยใช้พีเอชมิเตอร์
3. จากนั้นนำฟางข้าวที่ผ่านการเติมแคลเซียมออกไซด์ลงบนฟางข้าวที่ปรับสภาพมา 0.2000 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ ปิดปากขวดให้สนิทด้วยพาราฟิล์ม
4. นำไปเขย่าที่ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
5. เมื่อครบตามกำหนดเวลานำฟางข้าวที่ผ่านการเติมแคลเซียมออกไซด์ไปวัดพีเอชคงเหลือด้วยพีเอชมิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1 การวิเคราะห์ค่า Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพ

สารเคมีที่ใช้ ปรับสภาพ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	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	0.0100	0.0101	0.0101	13.6585	13.6585	13.6585	1.8428	1.7988	1.8218
		0.0101	0.0102	0.0103	18.1877	18.1877	18.1877	2.5915	2.3001	2.5156
		0.0100	0.0105	0.0106	20.4336	20.4336	20.4336	3.3889	3.3523	3.2649
		0.0110	0.0110	0.0116	46.9715	46.9715	46.9715	7.5549	5.3848	9.0908
		0.0125	0.0146	0.0151	96.7683	96.7683	96.7683	25.4065	23.4688	20.0000
8% NaOH, 5% HNO ₃ , 10% H ₂ O ₂ โดยน้ำหนัก ปริมาตร	24	0.0110	0.0100	0.0100	13.2046	13.2046	13.2046	5.3977	3.9709	4.9837
		0.0101	0.0103	0.0103	18.5772	18.5772	18.5772	7.5549	7.3970	6.7195
		0.0100	0.0101	0.0106	21.7818	21.7818	21.7818	8.5440	9.4045	8.7947
		0.0109	0.0108	0.0103	49.2547	49.2547	49.2547	20.4743	21.3618	19.3157
		0.0100	0.0106	0.0102	118.1301	118.1301	118.1301	51.0027	59.3089	58.1368

การคำนวณ

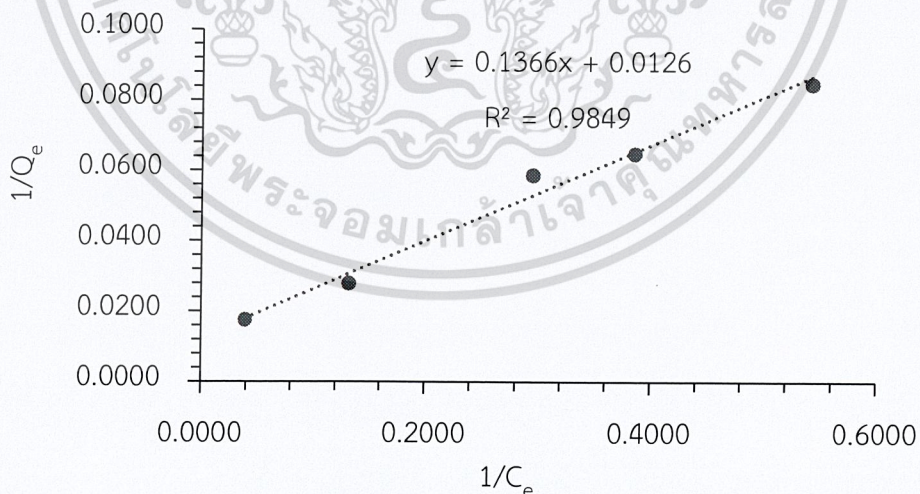
ตัวอย่างการคำนวณค่า Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 โดยชั่งฟางข้าว 0.0125 กรัม (M) ในสารละลายเมทธิลีนบลูที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น (C_0) เท่ากับ 96.7683 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร (V) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองฟางข้าวแล้วนำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมทธิลีนบลูที่เหลือ (C_e) ได้เท่ากับ 25.4065 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาคำนวณความสามารถในการดูดซับเมทธิลีนบลู (Q_e) ของฟางข้าวด้วยสมการ

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) * V}{M}$$

$$Q_e = \frac{(96.7683 \text{ mg/L} - 25.4065 \text{ mg/L}) \times 0.01 \text{ L}}{0.0125 \text{ g}}$$

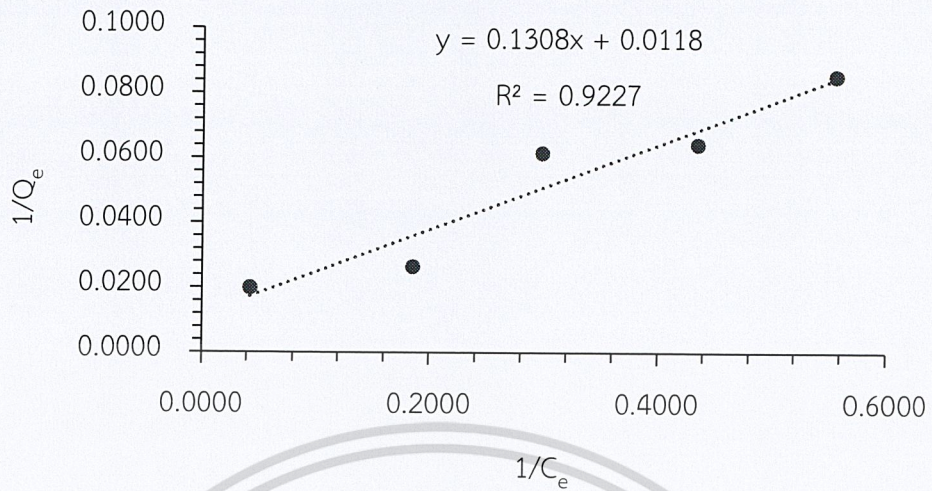
$$Q_e = 57.0894 \text{ mg/g}$$

ทำการทดลองซ้ำแต่เปลี่ยนความเข้มข้นของสารเมทธิลีนบลูจาก 15 mg/g เป็น 20 , 25 , 50 และ 100 mg/L จากนั้นพลอตกราฟเส้นตรงระหว่าง $1/C_e$ กับค่า $1/Q_e$ จะได้กราฟดังรูปที่ ข.1 โดยส่วนกลับของจุดตัดแกน y ของกราฟจะเป็นค่าความจุสูงสุดในการดูดซับเมทธิลีนบลู (Q_e) หรือค่า Methylene Blue Number ซึ่งมีหน่วยเป็น mg/g

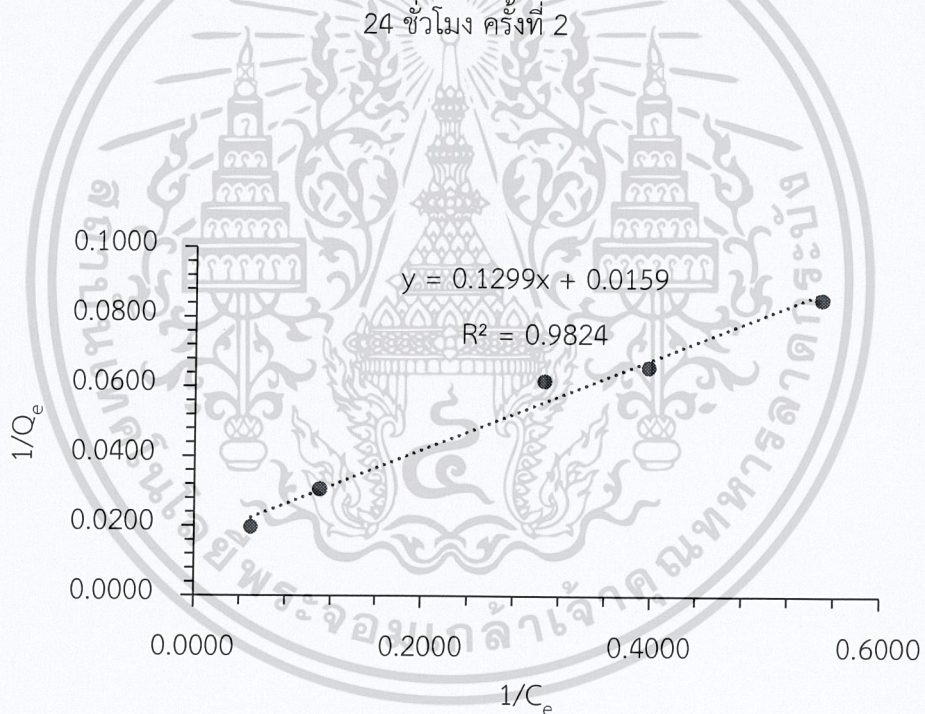


รูปที่ ข.1 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

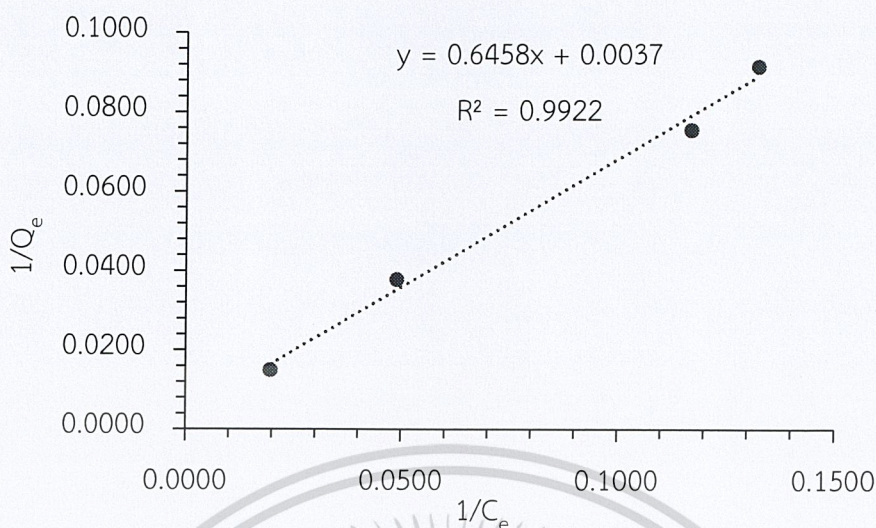


รูปที่ ข.2 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวยังไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

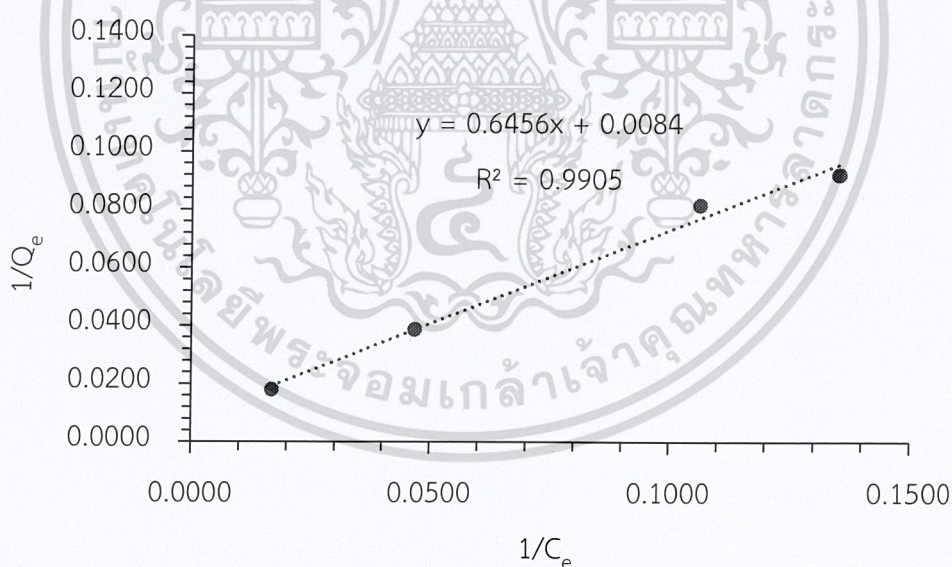


รูปที่ ข.3 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวยังไม่ผ่านการปรับสภาพเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

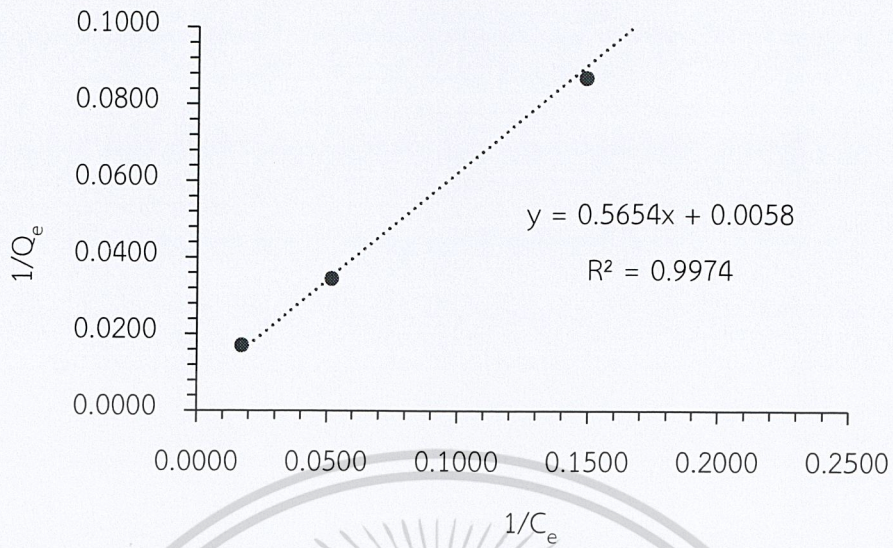


รูปที่ ข.4 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2 ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 1



รูปที่ ข.5 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2 ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.6 กราฟเส้นตรง Methylene Blue Number ของฟางข้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วย 8% NaOH ตามด้วย 5% HNO_3 และ 10% H_2O_2 ตามลำดับ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.2 การวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลสในฟางข้าว

สารเคมีที่ใช้	น้ำหนักฟางข้าว (กรัม)			น้ำหนักกระดาษกรองก่อนอบ (กรัม)			น้ำหนักกระดาษกรองหลังอบ (กรัม)		
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3
ไม่ปรับสภาพ	0.0505	0.0507	0.0513	0.3658	0.3565	0.3695	0.3815	0.3727	0.3849
NaOH 8%, HNO ₃ 5%, H ₂ O ₂ 10% โดย น้ำหนักปริมาตร	0.0515	0.0503	0.0510	0.3382	0.3401	0.3418	0.3750	0.3742	0.3747

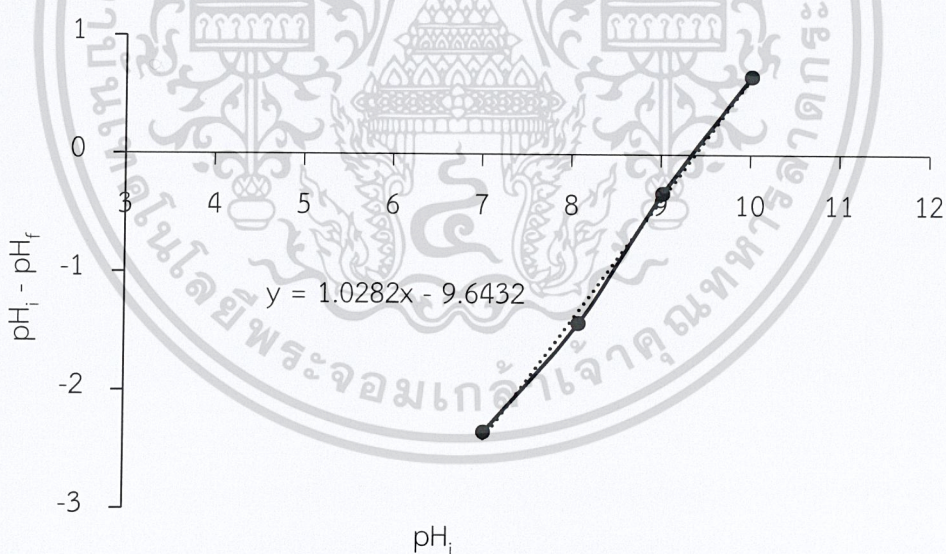
การคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาปริมาณเซลลูโลสของฟางข้าวที่ยังไม่ผ่านการปรับสภาพ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ครั้งที่ 1 โดยชั่งฟางข้าว 0.0505 กรัม (M) ลงในสารละลายที่เตรียมรอการรีฟลักซ์ 1 ชั่วโมง นำไปอบและชั่งฟางข้าวคงเหลือเท่ากับ 0.0157 กรัม (M) นำมาคำนวณหาปริมาณเซลลูโลสของฟางข้าวด้วยสมการ

$$\% \text{ Cellulose} = \frac{M \cdot 100}{M_0}$$

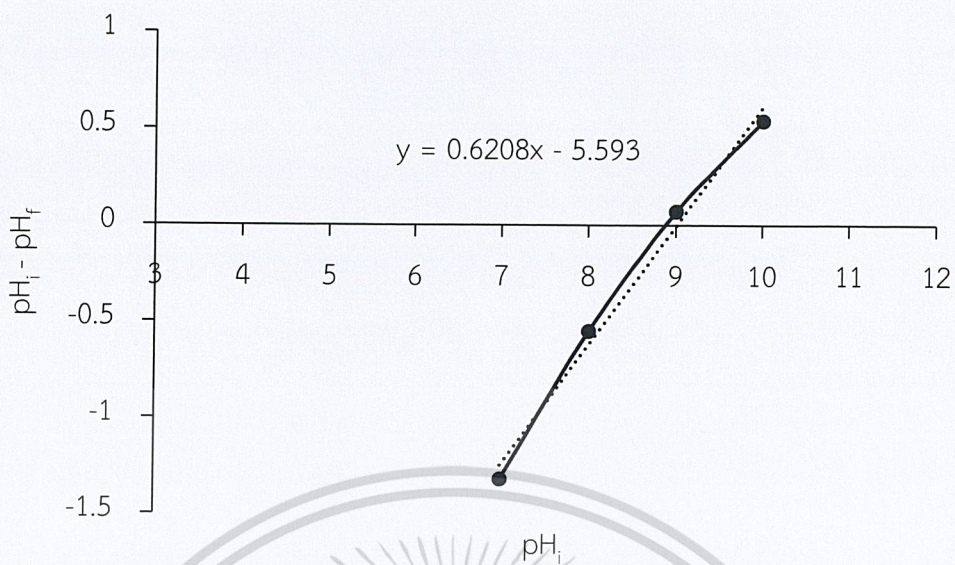
$$\% \text{ Cellulose} = \frac{0.0157 \text{ g} \cdot 100}{0.0505 \text{ g}}$$

$$\% \text{ Cellulose} = 31.09$$

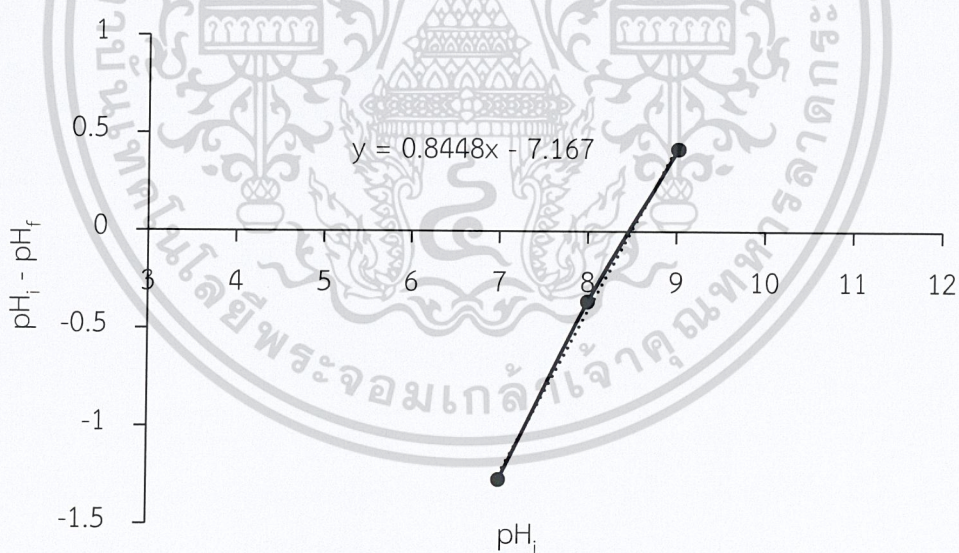


รูปที่ ข.7 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์กลางของ Mg^{2+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

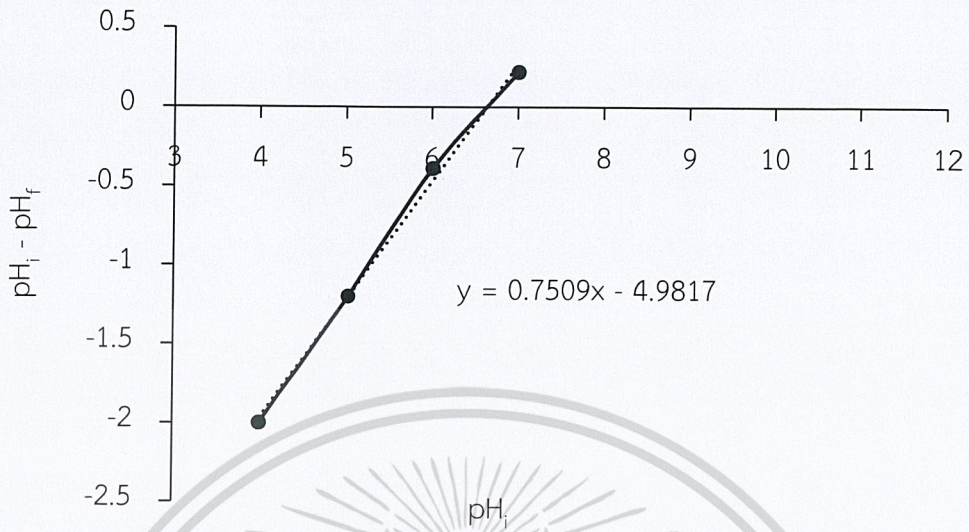


รูปที่ ข.8 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ Fe^{3+}

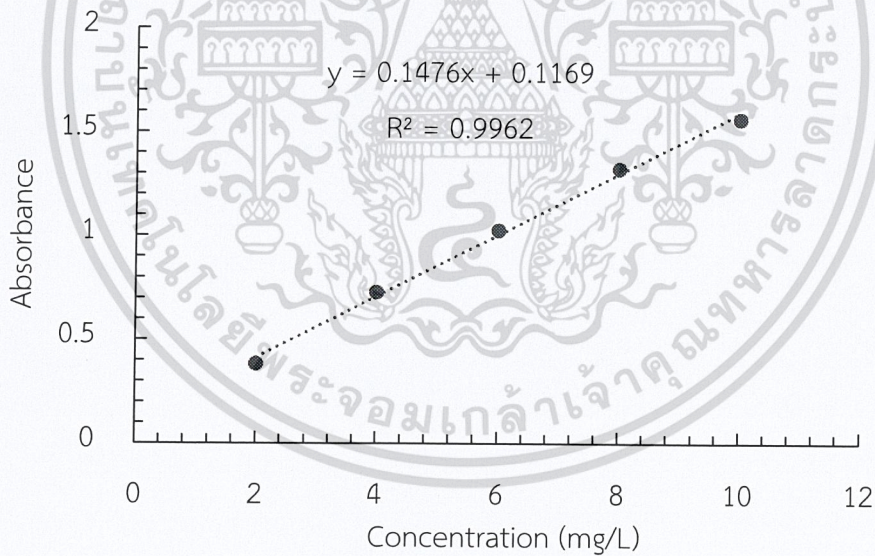


รูปที่ ข.9 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ Fe^{3+}/Fe^{2+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

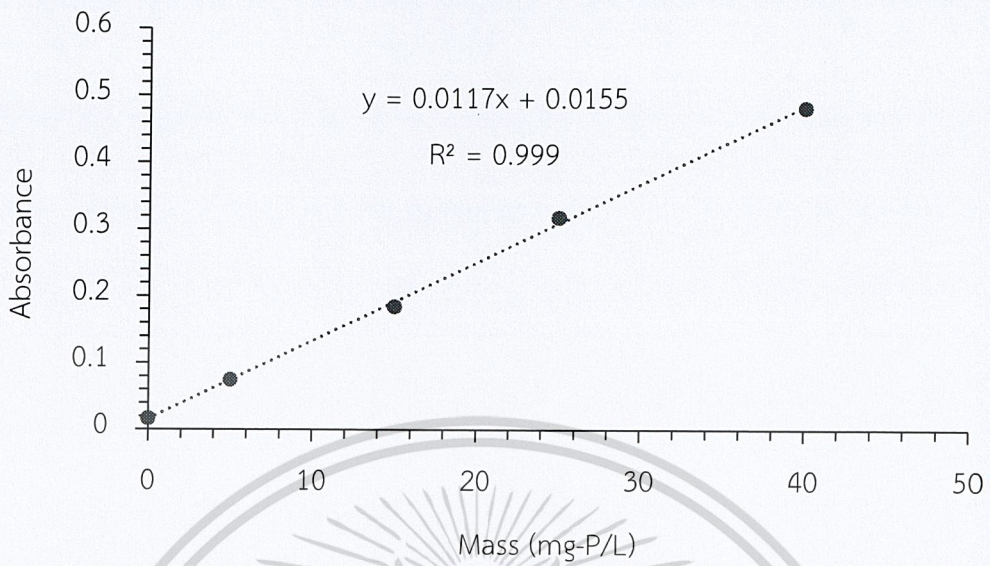


รูปที่ ข.10 ค่าความเป็นกรด-ด่างที่ประจุพื้นผิวเป็นศูนย์ของ Ca^{2+}



รูปที่ ข.11 กราฟมาตรฐานเมทิลีนบลู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ข.12 กราฟมาตรฐานฟอสเฟต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3 ผลการทดสอบการแปรผันระยะเวลาสัมผัสในการดูดซึมออร์โธฟอสเฟตในน้ำตัวอย่าง

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg- P/L)			ความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ (mg- P/L)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ฟางข้าวที่ยังไม่ ผ่านการปรับ สภาพ	1	0.1024	0.1004	0.1003	25.2097	22.2906	24.4274	25.0161	22.1026	24.2564
	3	0.1003	0.1000	0.1010	24.906	21.3162	23.1795	24.8034	20.5641	22.2735
	6	0.1008	0.1008	0.1001	25.5161	22.3077	22.4274	24.7742	21.4701	21.7607
	12	0.1002	0.1000	0.1002	21.7949	20.8205	22.4274	21.0769	19.9658	21.7094
	24	0.1001	0.1009	0.1001	21.6923	21.7436	22.7009	20.7521	20.735	21.3504
ฟางข้าวที่ปรับ สภาพด้วย NaOH 8% , HNO ₃ 5% และ H ₂ O ₂ 10%	1	0.1015	0.1008	0.1003	25.2097	22.2906	24.4274	24.4839	21.6581	23.6581
	3	0.1002	0.1006	0.1009	24.906	21.3162	23.1795	23.5385	20.0000	21.8974
	6	0.1003	0.1004	0.1001	25.5161	22.3077	22.4274	23.8387	20.8889	20.9231
	12	0.1020	0.1002	0.1003	21.7949	20.8205	22.4274	20.0171	19.5385	20.906
	24	0.1005	0.1001	0.1002	21.6923	21.7436	22.7009	20.2564	19.7094	21.0085

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg- P/L)			ความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ (mg- P/L)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ฟางข้าวที่ตัด แปรรูปด้วย Fe ³⁺	1	0.1037	0.1005	0.1015	25.2097	22.2906	24.4274	21.8871	19.1624	21.0256
	3	0.1005	0.1002	0.1003	24.906	21.3162	23.1795	19.3846	15.9316	17.9145
	6	0.1008	0.1000	0.1001	25.5161	22.3077	22.4274	18.5323	16.4957	16.2906
	12	0.1002	0.1000	0.1006	21.7949	20.8205	22.4274	12.3248	11.8632	12.8718
	24	0.1002	0.1007	0.1004	21.6923	21.7436	22.7009	11.3846	11.1624	11.7778
ฟางข้าวที่ตัด แปรรูปด้วย Fe ³⁺ /Fe ²⁺	1	0.1005	0.1001	0.1001	25.2097	22.2906	24.4274	22.4355	19.8632	21.7607
	3	0.1004	0.1002	0.1000	24.906	21.3162	23.1795	20.3077	17.2308	18.7863
	6	0.1003	0.1004	0.1004	25.5161	22.3077	22.4274	19.629	17.0427	17.1966
	12	0.1020	0.1001	0.1012	21.7949	20.8205	22.4274	14.735	14.6496	15.0598
	24	0.1009	0.1010	0.1009	21.6923	21.7436	22.7009	13.7265	13.9487	14.4615

ตารางที่ ข.3 (ต่อ)

ชนิดตัวดูดซับ	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)			ความเข้มข้นฟอสเฟตเริ่มต้น (mg- P/L)			ความเข้มข้นฟอสเฟตที่เหลือ (mg- P/L)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
ฟางข้าวที่ตัด แปรด้วย Mg ²⁺	1	0.1005	0.1008	0.1003	25.2097	22.2906	24.4274	22.8065	20.4957	23.0085
	3	0.1001	0.1002	0.1004	24.906	21.3162	23.1795	21.0256	17.7949	19.5214
	6	0.1000	0.1005	0.1001	25.5161	22.3077	22.4274	21.2742	18.0855	18.6838
	12	0.1001	0.1000	0.1000	21.7949	20.8205	22.4274	16.1880	16.1197	17.1453
	24	0.1001	0.1002	0.1002	21.6923	21.7436	22.7009	15.8462	16.3932	16.5812
ฟางข้าวที่ตัด แปรด้วย Ca ²⁺	1	0.1007	0.1001	0.1002	25.2097	22.2906	24.4274	23.6935	21.0598	22.9573
	3	0.1001	0.1003	0.1010	24.9060	21.3162	23.1795	23.0427	19.7607	21.5043
	6	0.1005	0.1002	0.1001	25.5161	22.3077	22.4274	23.1129	20.1368	20.4957
	12	0.1006	0.1000	0.1003	21.7949	20.8205	22.4274	19.5043	17.8291	19.5897
	24	0.1014	0.1002	0.1007	21.6923	21.7436	22.7009	18.7009	18.4444	18.8547